



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



Кафедра биологии растений и химии

ХИМИЯ

**Теоретический раздел
Лекция
Углеводороды (алканы)**



УГЛЕВОДОРОДЫ

1. Классификация углеводов

Углеводороды – органические соединения, в состав которых входят только два элемента: углерод и водород. Например: CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_6H_6 , C_8H_{10} и т.п. В общем виде – C_xH_y .

Углеводороды имеют важное научное и практическое значение. Во-первых, представления о строении и свойствах этих веществ служат основой для изучения органических соединений других классов, так как молекулы любых органических веществ содержат углеводородные фрагменты. Во-вторых, знание свойств углеводородов позволяет понять исключительную ценность этих соединений как исходного сырья для синтеза самых разнообразных органических веществ, широко используемых человеком. Углеводороды содержатся в земной коре в составе нефти, каменного угля, природного и попутного газов, сланцев и торфа. Запасы этих полезных ископаемых на Земле не безграничны. Однако до настоящего времени они расходуются главным образом в качестве топлива (двигатели внутреннего сгорания, тепловые электростанции, котельные) и лишь незначительная часть используется как сырье в химической промышленности. Так, до 85 % всей добываемой нефти идет на получение горюче-смазочных материалов и лишь около 15 % применяется как химическое сырье. Поэтому важнейшей задачей является поиск и разработка альтернативных источников энергии, которые позволят более рационально использовать углеводородное сырье.

Классификацию углеводородов проводят по следующим структурным признакам, определяющим свойства этих соединений:

- 1) строение углеродной цепи (углеродного скелета);
- 2) наличие в цепи кратных связей $\text{C}=\text{C}$ и $\text{C}\equiv\text{C}$ (степень насыщенности).

1. В зависимости от строения углеродной цепи углеводороды подразделяются на две группы:

ациклические или алифатические, т. е. «жирные» (от греческого слова «алейфар» – «жир», так как впервые структуры с длинными углеродными цепями были обнаружены в составе жиров);

циклические.

Открытая (незамкнутая) цепь алифатических углеводородов может быть неразветвленной или разветвленной. Углеводороды с неразветв-



ленной углеродной цепью называют нормальными (н-) углеводородами.

Среди циклических углеводородов выделяют:
 алициклические (т.е. алифатические циклические);
 ароматические (арены).

В этом случае классификационным признаком служит строение цикла.

К ароматическим углеводородам относят соединения, содержащие один или несколько бензольных циклов (формула бензола C_6H_6).

2. По степени насыщенности различают:

насыщенные (предельные) углеводороды (алканы и циклоалканы), в которых имеются только простые связи С–С и отсутствуют кратные связи;

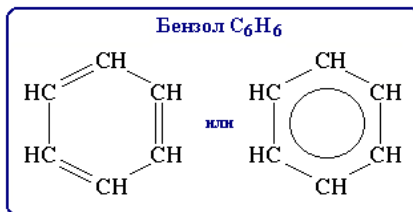
ненасыщенные (непредельные), содержащие наряду с одинарными связями С–С двойные и (или) тройные связи (алкены, алкадиены, алкины, циклоалкены, циклоалкины).



Следует заметить, что хотя по составу бензол C_6H_6 формально соответствует ненасыщенным циклическим углеводородам (его молекулу часто изображают как шестичленный цикл с тремя двойными связями).



ми). По свойствам это соединение резко отличается от ненасыщенных веществ из-за делокализации кратных связей. Поэтому соединения ряда бензола относят к самостоятельной группе ароматических углеводов (аренов).



2.2. Алканы: способы получения и химические свойства

Алканы (парафины) – это предельные углеводороды, которые имеют все одинарные связи при атоме углерода в sp^3 – гибридизации. Общая формула C_nH_{2n+2} .

Гомологический ряд – это группа органических соединений с однотипной структурой, в котором каждый последующий член отличается от предыдущего на постоянную группу атомов ($-CH_2-$). Отдельные члены этого ряда называются гомологами, а группа атомов, на которую различаются соседние гомологи, – гомологической разностью. Гомологи отличаются молекулярной массой, и следовательно, физическими характеристиками.

Имея одинаковый качественный состав и однотипные химические связи, гомологи обладают сходными химическими свойствами. Поэтому, зная химические свойства одного из членов гомологического ряда, можно предсказать химическое поведение и других членов этого ряда.

С увеличением числа углеродных атомов в молекуле алкана (с ростом молекулярной массы) в гомологическом ряду наблюдается закономерное изменение физических свойств гомологов (переход количества в качество): повышаются температуры кипения и плавления, увеличивается плотность.

Гомологический ряд алканов легко составить, прибавляя каждый раз к предыдущей цепочке новый атом углерода и дополняя его оставшиеся валентности до 4-х атомами водорода. Другой вариант – добавление в цепь группы $-CH_2-$:

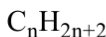


CH_4 или $\text{H}-\text{CH}_2-\text{H}$ – первый член гомологического ряда – метан (содержит 1 атом C);

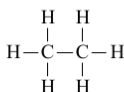
CH_3-CH_3 или $\text{H}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{H}$ – 2-й гомолог – этан (2 атома C);

$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ – 3-й гомолог – пропан (3 атома C);

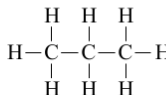
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ или $\text{H}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{H}$ – бутан (4 атома C).



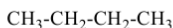
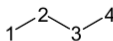
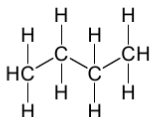
метан



этан



пропан

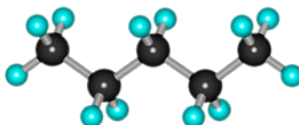


н-бутан

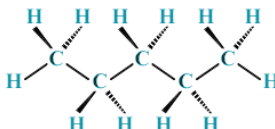
Суффикс **-ан** является характерным для названия всех алканов. Начиная с пятого гомолога, название алкана образуется из греческого числительного, указывающего число атомов углерода в молекуле, и суффикса -ан: пентан C_5H_{12} , гексан C_6H_{14} , гептан C_7H_{16} , октан C_8H_{18} , нонан C_9H_{20} , декан $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ и т.д.

Алканы от CH_4 до C_4H_{10} – газы, от C_5H_{12} до $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$ – жидкости, далее – твердые вещества.

Пентан C_5H_{12}



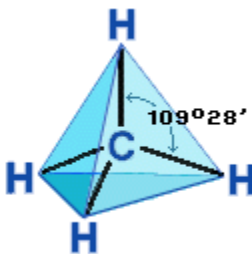
Модель молекулы



Стереохимическая формула

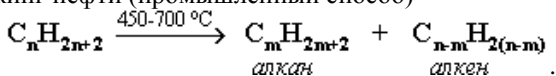


Насыщенный атом углерода в алканах связан с четырьмя другими атомами. Следовательно, его состояние соответствует sp^3 -гибридизации. В этом случае каждая из четырех sp^3 -гибридных АО углерода участвует в осевом (σ -) перекрывании с s -АО водорода или с sp^3 -АО другого атома углерода, образуя σ -связи C–H или C–C. Четыре σ -связи углерода направлены в пространстве под углом $109^\circ 28'$, что соответствует наименьшему отталкиванию электронов. Поэтому молекула простейшего представителя алканов – метана CH_4 имеет форму тетраэдра, в центре которого находится атом углерода, а в вершинах – атомы водорода:



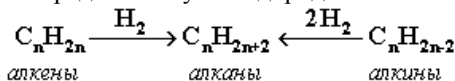
Для получения гомологов используются общие методы синтеза.

Алканы выделяют из природных источников (природный и попутный газы, нефть, каменный уголь). Используются также синтетические методы. Крекинг нефти (промышленный способ)

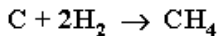


При крекинге алканы получаются вместе с непредельными соединениями (алкенами). Этот способ важен тем, что при разрыве молекул высших алканов получается очень ценное сырье для органического синтеза: пропан, бутан, изобутан, изопентан и др.

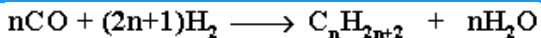
Гидрирование непредельных углеводородов:



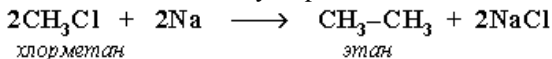
Газификация твердого топлива (при повышенной температуре и давлении, катализатор Ni):



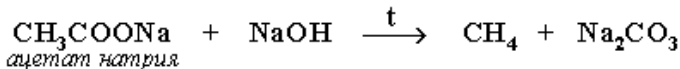
Из синтез-газа ($CO + H_2$) получают смесь алканов:



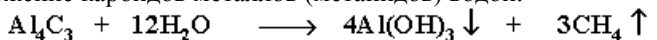
Реакция Вюрца: синтез более сложных алканов из галогенопроизводных с меньшим числом атомов углерода:



Из солей карбоновых кислот сплавление со щелочью (реакция Дюма)



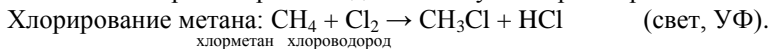
Разложение карбидов металлов (метанидов) водой:



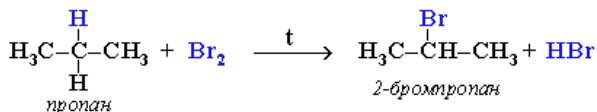
Химические свойства алканов

Реакции замещения. В молекулах алканов связи С–Н пространственно более доступны для атаки другими частицами, чем менее прочные связи С–С. В определенных условиях происходит разрыв именно С–Н-связей и осуществляется замена атомов водорода на другие атомы или группы атомов.

Галогенирование алканов – реакция замещения одного или более атомов водорода в молекуле алкана на галоген. Продукты реакции называют галогеналканами или галогенопроизводными алканов. Реакция алканов с хлором и бромом идет на свету или при нагревании.

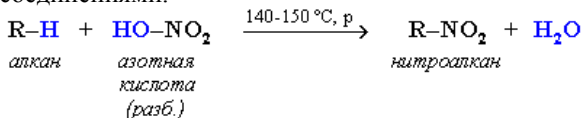


При хлорировании или бромировании алкана с вторичными или третичными атомами углерода легче всего идет замещение водорода у третичного атома, труднее – у вторичного и еще труднее – у первичного. Это объясняется большей устойчивостью третичных и вторичных углеводородных радикалов по сравнению с первичными вследствие делокализации неспаренного электрона. Поэтому, например, при бромировании пропана основным продуктом реакции является 2-бромпропан:

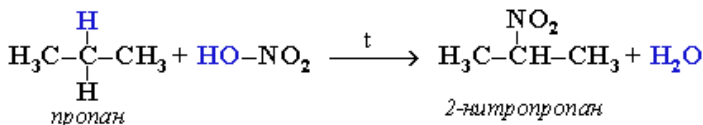




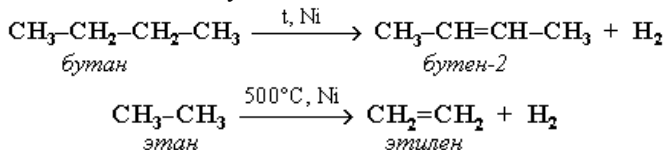
Алканы обесцвечивают раствор брома при нагревании, вступая в реакцию радикального замещения. На алканы действует разбавленная азотная кислота при нагревании и давлении. В результате происходит замещение атома водорода на остаток азотной кислоты – нитрогруппу NO_2 . Эту реакцию называют реакцией нитрования, а продукты реакции – нитросоединениями.



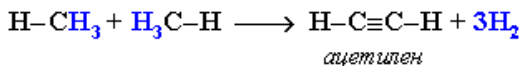
При нитровании алканов также соблюдается порядок реакционной способности C–H-связей, характерный для реакций радикального замещения:



Дегидрирование алканов. При нагревании алканов в присутствии катализаторов происходит их каталитическое дегидрирование за счет разрыва связей C–H и отщепления атомов водорода от соседних углеродных атомов. При этом алкан превращается в алкен с тем же числом углеродных атомов в молекуле:

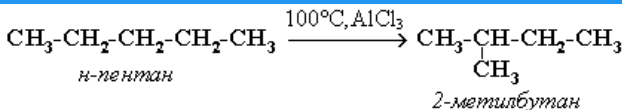


При $t = 1500^\circ\text{C}$ происходит межмолекулярное дегидрирование метана по схеме:

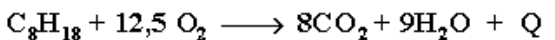
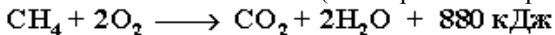


Эта реакция используется для промышленного получения ацетилена.

Изомеризация алканов. Алканы нормального строения под влиянием катализаторов и при нагревании способны превращаться в разветвленные алканы без изменения состава молекул, т.е. вступать в реакции изомеризации. В этих реакциях участвуют алканы, молекулы которых содержат не менее 4-х углеродных атомов.



Реакции окисления алканов. В органической химии реакции окисления и восстановления рассматриваются как реакции, связанные с потерей и приобретением органическим соединением атомов водорода и кислорода. Эти процессы, естественно, сопровождаются изменением степеней окисления атомов. Окисление органического вещества – введение в его состав кислорода и (или) отщепление водорода. Восстановление – обратный процесс (введение водорода и отщепление кислорода). Учитывая состав алканов ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$), можно сделать вывод о их неспособности вступать в реакции восстановления, но возможности участвовать в реакциях окисления. При обычной температуре алканы не вступают в реакции даже с сильными окислителями ($\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KMnO_4 и т.п.). При внесении в открытое пламя алканы горят. При этом в избытке кислорода происходит их полное окисление до CO_2 , где углерод имеет высшую степень окисления +4, и воды. Горение углеводородов приводит к разрыву всех связей C–C и C–H и сопровождается выделением большого количества тепла (экзотермическая реакция).



Применение алканов. Предельные углеводороды находят широкое применение в самых разнообразных сферах жизни и деятельности человека.

Газообразные алканы (метан и пропан-бутановая смесь) используются в качестве ценного топлива. Жидкие углеводороды составляют значительную долю в моторных и ракетных топливах и используются в качестве растворителей. Вазелиновое масло (смесь жидких углеводородов с числом атомов углерода до 15) – прозрачная жидкость без запаха и вкуса, используется в медицине, парфюмерии и косметике. Вазелин (смесь жидких и твердых предельных углеводородов с числом углеродных атомов до 25) применяется для приготовления мазей, используемых в медицине. Парафин (смесь твердых алканов $\text{C}_{19}\text{--C}_{35}$) – белая твердая масса без запаха и вкуса ($t_{\text{пл.}} = 50\text{--}70^\circ\text{C}$) – применяется для изготовления свечей, пропитки спичек и упаковочной бумаги, для тепловых процедур в медицине и т.д. В современной нефтехимической промышленности предельные углеводороды являются базой для полу-



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»

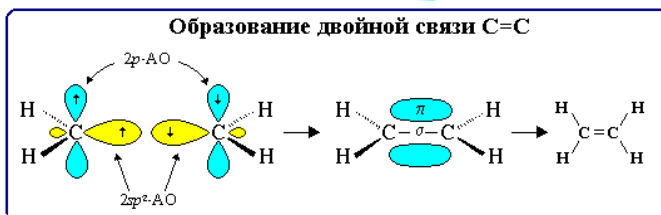
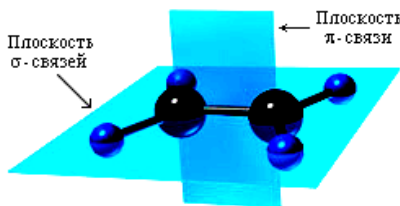
чения разнообразных органических соединений, важным сырьем в процессах получения полупродуктов для производства пластмасс, каучуков, синтетических волокон, моющих средств и многих других веществ.

3. Алкены: способы получения и химические свойства

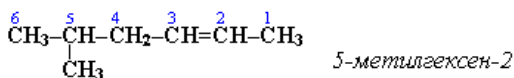
Алкены – это углеводороды, которые имеют одну двойную связь при атоме углерода в sp^2 -гибридации. Общая формула C_nH_{2n} . По систематической номенклатуре названия алкенов производят от названий соответствующих алканов (с тем же числом атомов углерода) путем замены суффикса **-ан** на **-ен**:

2 атома С → этан → этен; 3 атома С → пропан → пропен и т.д.

Главная цепь выбирается таким образом, чтобы она обязательно включала в себя двойную связь (т.е. она может быть не самой длинной).



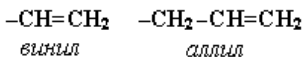
Нумерацию углеродных атомов начинают с ближнего к двойной связи конца цепи. Цифра, обозначающая положение двойной связи, ставится обычно после суффикса -ен. Например:



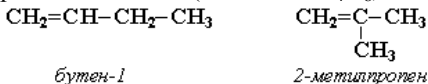
Для простейших алкенов применяются также исторически сложившиеся названия: этилен (этен), пропилен (пропен), бутилен (бутен-



1), изобутилен (2-метилпропен) и т.п. В номенклатуре различных классов органических соединений наиболее часто используются следующие одновалентные радикалы алкенов:



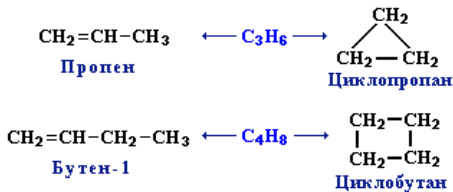
Изомерия углеродного скелета (начиная с C_4H_8):



Изомерия положения двойной связи (начиная с C_4H_8):



Межклассовая изомерия с циклоалканами, начиная с C_3H_6 :



Пространственная изомерия алкенов. Вращение атомов вокруг двойной связи невозможно без ее разрыва. Это обусловлено особенностями строения π -связи (π -электронное облако сосредоточено над и под плоскостью молекулы). Вследствие жесткой закрепленности атомов поворотная изомерия относительно двойной связи не проявляется. Но становится возможной *цис-транс*-изомерия. Алкены, имеющие у каждого из двух атомов углерода при двойной связи различные заместители, могут существовать в виде двух пространственных изомеров, отличающихся расположением заместителей относительно плоскости π -связи.

Так, в молекуле бутена-2 $\text{CH}_3\text{—CH=CH—CH}_3$ группы CH_3 могут находиться либо по одну сторону от двойной связи в *цис*-изомере, либо по разные стороны в *транс*-изомере.

Получение алкенов. В природе алкены встречаются в значительно меньшей степени, чем предельные углеводороды, по-видимому, вследствие своей высокой реакционной способности. Поэтому их получают с использованием различных реакций.

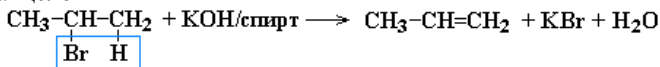
Крекинг алканов:



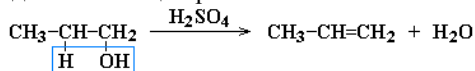


Отщепление (элиминирование) двух атомов или групп атомов от соседних атомов углерода с образованием между ними π -связи.

Дегидрогалогенирование галогеналканов при действии спиртового раствора щелочи



Дегидратация спиртов при повышенной температуре (выше 140°C) в присутствии водоотнимающих реагентов

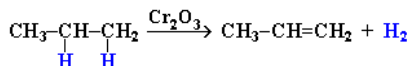


Реакции элиминирования идут в соответствии с правилом Зайцева: отщепление атома водорода в реакциях дегидрогалогенирования и дегидратации происходит преимущественно от наименее гидрогенизированного атома углерода. Такие алкены обладают более низкой энергией.

Дегалогенирование дигалогеналканов, имеющих атомы галогена у соседних атомов углерода, при действии активных металлов:



Дегидрирование алканов при 500°C :



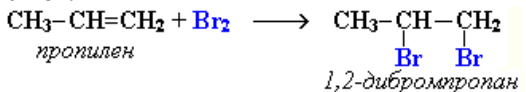
Химические свойства алкенов

Реакции присоединения к алкенам идут по месту разрыва двойной связи. Алкены вступают в разнообразные реакции присоединения.

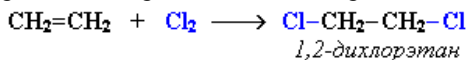
Алкен	Реагент	Продукт	Вид реакции
$\begin{array}{c} -\text{C}=\text{C}- \\ \quad \end{array}$	$+ \text{H}_2$	$\xrightarrow{\text{Ni}} \begin{array}{c} -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Гидрирование (восстановление)
$\begin{array}{c} -\text{C}=\text{C}- \\ \quad \end{array}$	$+ \text{Br}_2$	$\longrightarrow \begin{array}{c} -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{Br} \quad \text{Br} \end{array}$	Галогенирование (бромирование)
$\begin{array}{c} -\text{C}=\text{C}- \\ \quad \end{array}$	$+ \text{HCl}$	$\longrightarrow \begin{array}{c} -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$	Гидрогалогенирование (гидрохлорирование)
$\begin{array}{c} -\text{C}=\text{C}- \\ \quad \end{array}$	$+ \text{H}_2\text{O}$	$\xrightarrow{\text{H}^+} \begin{array}{c} -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$	Гидратация
$n \begin{array}{c} -\text{C}=\text{C}- \\ \quad \end{array}$	катализатор	$\longrightarrow \left(\begin{array}{c} -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \end{array} \right)_n$	Полимеризация



Присоединение галогенов по двойной связи $C=C$ происходит легко в обычных условиях (при комнатной температуре, без катализатора). Например, быстрое обесцвечивание красно-бурой окраски раствора брома в воде (бромной воды) служит качественной реакцией на наличие двойной связи:

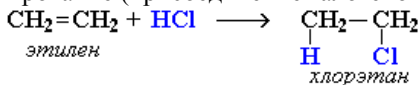


Еще легче происходит присоединение хлора:



Эти реакции протекают по механизму электрофильного присоединения с гетеролитическим разрывом связей в молекуле галогена.

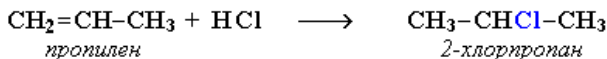
Гидрогалогенирование (присоединение галогеноводородов)



Реакция идет по механизму электрофильного присоединения с гетеролитическим разрывом связей. Электрофилом является протон H^+ в составе молекулы галогеноводорода HX (X – галоген). Схема механизма реакции гидрохлорирования этилена $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl}$.

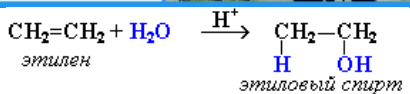
Направление реакции присоединения галогеноводородов к алкенам несимметричного строения (например, к пропилену $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$) определяется правилом Марковникова: в реакциях присоединения полярных молекул типа HX к несимметричным алкенам водород присоединяется к более гидрогенизированному атому углерода при двойной связи (т.е. атому углерода, связанному с наибольшим числом атомов водорода).

Так, в реакции HCl с пропиленом из двух возможных структурных изомеров 1-хлорпропана и 2-хлорпропана, образуется последний:

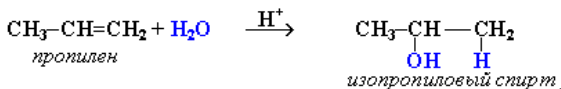


Эта закономерность была первоначально установлена эмпирически. В современной органической химии дано теоретическое обоснование правила Марковникова на основе положения о влиянии электронного строения молекул на их реакционную способность.

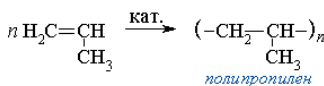
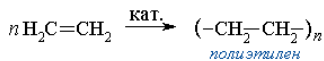
Гидратация (присоединение воды)



В реакциях несимметричных алкенов соблюдается правило Марковникова.

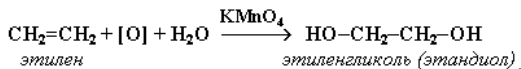


Полимеризация алкенов. Полимеризация – реакция образования высокомолекулярного соединения (полимера) путем последовательного присоединения молекул низкомолекулярного. Реакции полимеризации алкенов идут за счет присоединения по кратным связям:

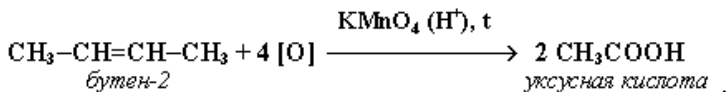


Реакции окисления алкенов. Строение продуктов окисления алкенов зависит от условий реакции и природы окислителя.

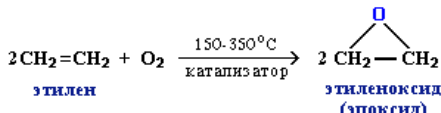
Мягкое окисление алкенов водным раствором перманганата калия приводит к образованию двухатомных спиртов (реакция Вагнера):



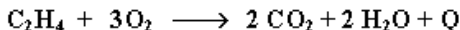
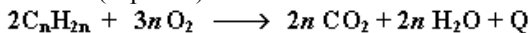
В ходе этой реакции происходит обесцвечивание фиолетовой окраски водного раствора KMnO_4 . Поэтому она используется как качественная реакция на алкены. При жестком окислении алкенов кипящим раствором KMnO_4 в кислой среде происходит полный разрыв двойной связи:



Промышленное значение имеет частичное окисление алкенов с образованием циклических оксидов, которые широко используются в органическом синтезе:

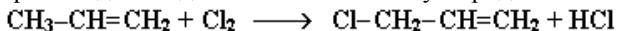


Полное окисление (горение):



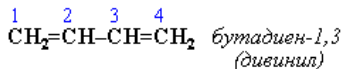
Газообразные гомологи алкенов образуют с воздухом взрывчатые смеси.

При нагревании до 500°C возможно радикальное замещение атома водорода при соседнем к двойной связи атоме углерода:

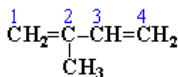


Применение алкенов. Алкены применяются в качестве исходных продуктов в производстве полимерных материалов (пластмасс, каучуков, пленок) и других органических веществ. Этилен (этен) $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ используется для получения полиэтилена, политетрафторэтилена (тефлона), этилового спирта, уксусного альдегида, галогенопроизводных и многих других органических соединений. Применяется как средство для ускоренного созревания фруктов. Пропилен (пропен) $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2-\text{CH}_3$ и бутилены (бутен-1 и бутен-2) используются для получения спиртов и полимеров. Изобутилен (2-метилпропен) $\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$ применяется в производстве синтетического каучука.

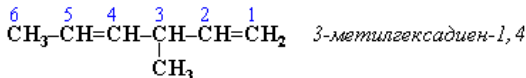
Алкадиены, имеют общую формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$. По правилам IUPAC главная цепь молекулы алкадиена должна включать обе двойные связи. Нумерация атомов углерода в цепи проводится так, чтобы двойные связи получили наименьшие номера. Названия алкадиенов производят от названий соответствующих алканов (с тем же числом атомов углерода), в которых последняя буква заменяется окончанием **-диен**. Местоположение двойных связей указывается в конце названия, а заместителей – в начале названия. Например:



Название «дивинил» происходит от названия радикала $-\text{CH}=\text{CH}_2$ «винил».



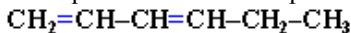
2-метилбутадиен-1,3
(изопрен)



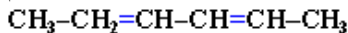
3-метилгексадиен-1,4

Изомерия сопряженных диенов. Структурная изомерия

Изомерия положения сопряженных двойных связей:

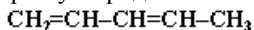


гексадиен-1,3

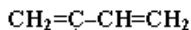


гексадиен-2,4

Изомерия углеродного скелета:



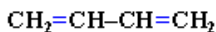
пентадиен-1,3



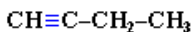
2-метилбутадиен-1,3 (изопрен).

Межклассовая изомерия с алкинами и циклоалкенами.

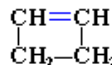
Например, формуле C_4H_6 соответствуют следующие соединения:



бутадиен-1,3



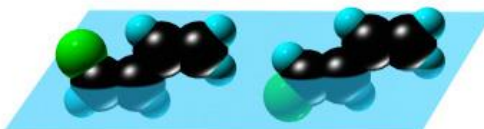
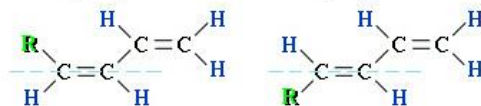
бутин-1



циклобутен

Пространственная изомерия. Диены, имеющие различные заместители при углеродных атомах у двойных связей, подобно алкенам, проявляют цис-транс-изомерию.

Пространственные изомеры диенов



цис-изомер

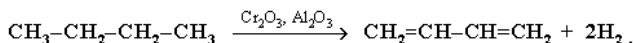
транс-изомер

Кроме того, возможен поворот по σ -связи, разделяющей двойные связи, приводящий к поворотным изомерам. Некоторые химические

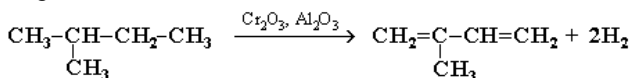


реакции сопряженных диенов идут избирательно только с определенным поворотным изомером.

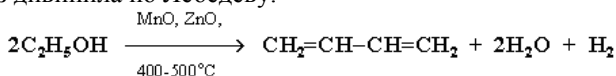
Получение диенов. Общие способы получения диенов аналогичны способам получения алкенов. Каталитическое двухстадийное дегидрирование алканов (через стадию образования алкенов). Этим путем получают в промышленности дивинил из бутана, содержащегося в газах нефтепереработки и в попутных газах:



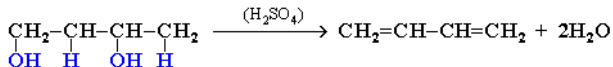
Каталитическим дегидрированием изопентана (2-метилбутана) получают изопрен:



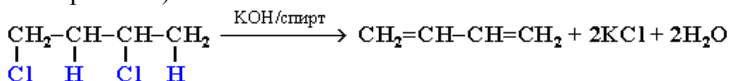
Синтез дивинила по Лебедеву:



Дегидратация гликолей (двухатомных спиртов, или алкандиолов):



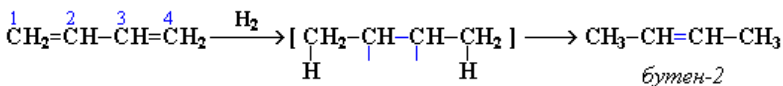
Действие спиртового раствора щелочи на дигалогеналканы (дегидрогалогенирование):



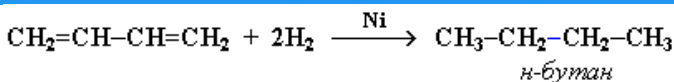
Химические свойства диенов

Реакции присоединения к сопряженным диенам.

Гидрирование. При гидрировании бутадиена-1,3 получается бутен-2, т.е. происходит 1,4-присоединение. При этом двойные связи разрываются, к крайним атомам углерода C₁ и C₄ присоединяются атомы водорода, а свободные валентности образуют двойную связь между атомами C₂ и C₃:

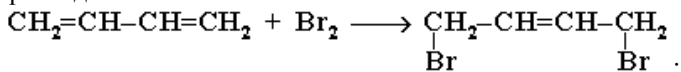


В присутствии катализатора Ni получается продукт полного гидрирования:

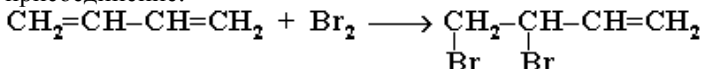


Галогенирование.

1,4-присоединение:

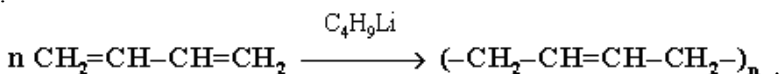


1,2-присоединение:



При избытке брома присоединяется еще одна его молекула по месту оставшейся двойной связи с образованием 1,2,3,4-тетрабромбутана.

Присоединение галогенов, галогеноводородов, воды и других полярных реагентов происходит, как в алкенах. К реакциям присоединения относятся реакции полимеризации, характерные для диенов. Этот процесс имеет важное значение в производстве синтетических каучуков. Полимеризация 1,3-диенов может протекать либо по типу 1,4-присоединения, либо по смешанному типу 1,2- и 1,4-присоединения. Направление присоединения зависит от условий проведения реакции. Избирательное 1,4-присоединение происходит при использовании металлорганических катализаторов (например, бутиллития $\text{C}_4\text{H}_9\text{Li}$, который не только инициирует полимеризацию, но и определенным образом координирует в пространстве присоединяющиеся молекулы диена):



Таким способом получен стереорегулярный 1,4-цис-полиизопрен – синтетический аналог натурального каучука. Для практического использования каучуки превращают в резину. Резина – это вулканизованный каучук с наполнителем (сажа). Суть процесса вулканизации заключается в том, что нагревание смеси каучука и серы приводит к образованию трехмерной сетчатой структуры из линейных макромолекул каучука, придавая ему повышенную прочность. Атомы серы присоединяются по двойным связям макромолекул и образуют между ними сшивающие дисульфидные мостики.



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»

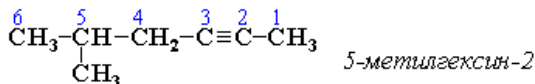
Сетчатый полимер более прочен и проявляет повышенную упругость – высокоэластичность (способность к высоким обратимым деформациям). В зависимости от количества сшивающего агента (серы) можно получать сетки с различной частотой сшивки. Предельно сшитый натуральный каучук – эбонит – не обладает эластичностью и представляет собой твердый материал.

4.Алкины: способы получения и химические свойства

Алкины – это углеводороды, которые имеют одну тройную связь при атоме углерода в sp -гибридизации. Общая формула C_nH_{2n-2} . По систематической номенклатуре названия ацетиленовых углеводородов производят от названий соответствующих алканов (с тем же числом атомов углерода) путем замены суффикса -ан на -ин:

2 атома С → этан → этин; 3 атома С → пропан → пропин и т.д.

Главная цепь выбирается таким образом, чтобы она обязательно включала в себя тройную связь (т.е. она может быть не самой длинной). Нумерацию углеродных атомов начинают с ближнего к тройной связи конца цепи. Цифра, обозначающая положение тройной связи, ставится обычно после суффикса **-ин**. Например:



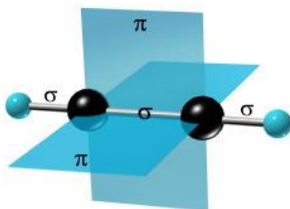
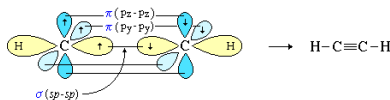
Для простейших алкенов применяются также исторически сложившиеся названия: ацетилен (этин), аллилен (пропин), кротонилен (бутин-1), валерилен (пентин-1). В номенклатуре различных классов органических соединений наиболее часто используются следующие одновалентные радикалы алкинов:



Тройная связь является комбинацией из одной σ - и двух π -связей, образуемых двумя sp -гибридизованными атомами. σ -связь возникает при осевом перекрывании sp -гибридных орбиталей соседних атомов углерода; одна из π -связей образуется при боковом перекрывании p_y -орбиталей, другая – при боковом перекрывании p_z -орбиталей.

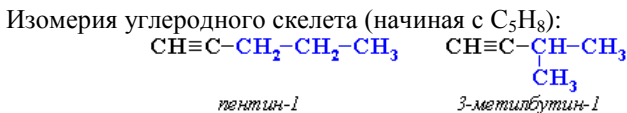
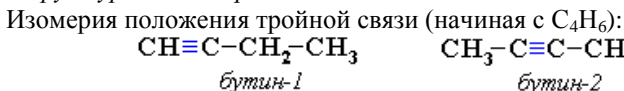


Образование тройной связи C≡C

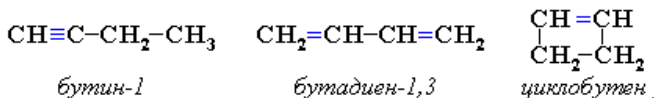


σ-связи, образуемые *sp*-гибридными орбиталями углерода, располагаются на одной прямой (под углом 180° друг к другу). Поэтому молекула ацетилена имеет линейное строение.

Структурная изомерия.

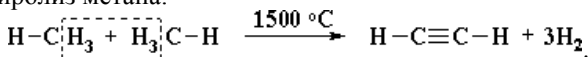


Межклассовая изомерия с алкадиенами и циклоалкенами, начиная с C_4H_6 :



Пространственная изомерия относительно тройной связи в алкинах не проявляется, так как заместители могут располагаться только одним способом – вдоль линии связи.

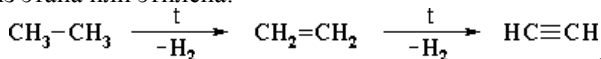
Получение алкинов. Ацетилен является важнейшим исходным продуктом в производстве многих органических веществ и материалов. Его получают в больших количествах, используя ряд промышленных методов. Пиролиз метана:





Реакцию проводят электродуговым способом, пропуская метан между электродами с временем контакта 0,1–0,01 секунды. Столь малое время нагревания обусловлено тем, что ацетилен при такой температуре может разлагаться на углерод и водород.

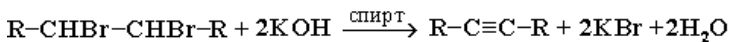
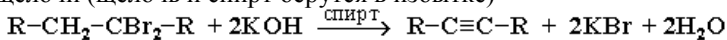
Пиролиз этана или этилена:



Гидролиз карбида кальция: $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$.

Для синтеза гомологов ацетилена применяют следующие методы:

1) дегидрогалогенирование дигалогеналканов спиртовым раствором щелочи (щелочь и спирт берутся в избытке)



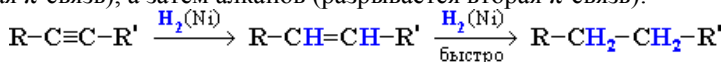
2) удлинение цепи (алкилирование ацетиленидов) при действии на ацетилениды алкилгалогенидами



Химические свойства алкинов

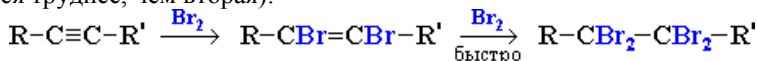
Реакции присоединения к алкинам.

Гидрирование. В присутствии металлических катализаторов (Pt, Ni) алкины присоединяют водород с образованием алкенов (разрывается первая π -связь), а затем алканов (разрывается вторая π -связь):

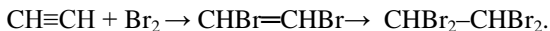


При использовании менее активного катализатора ($\text{Pd}/\text{CaCO}_3/\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) гидрирование останавливается на стадии образования алкенов.

Галогенирование. Электрофильное присоединение галогенов к алкинам протекает медленнее, чем для алкенов (первая π -связь разрывается труднее, чем вторая):

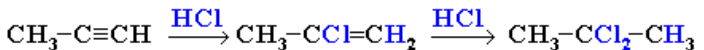


Алкины обесцвечивают бромную воду (качественная реакция). Реакции взаимодействия с галогенами идет при н.у. или с катализатором AlCl_3

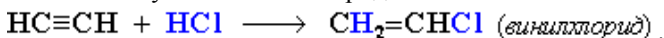




Гидрогалогенирование. Продукты присоединения к несимметричным алкинам определяются правилом Марковникова:

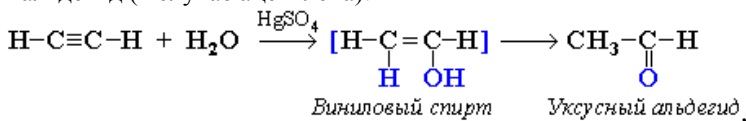


Гидрохлорирование ацетилена используется в одном из промышленных способов получения винилхлорида:

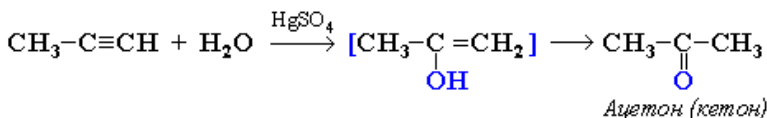


Винилхлорид является исходным веществом (мономером) в производстве поливинилхлорида (ПВХ).

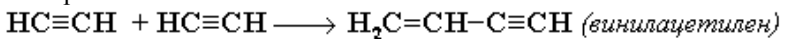
Гидратация (реакция Кучерова). Присоединение воды происходит в присутствии катализатора соли ртути(II) и идет через образование неустойчивого непредельного спирта, который изомеризуется в уксусный альдегид (в случае ацетилена):



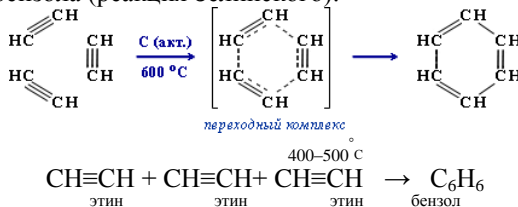
или в кетон (в случае других алкинов):



Полимеризация. Димеризация под действием водно-аммиачного раствора CuCl:



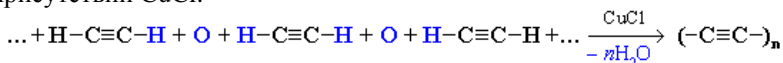
Тримеризация ацетилена над активированным углем приводит к образованию бензола (реакция Зелинского):



Возможно образование молекул, содержащих большее число звеньев ацетилена как циклического, так и линейного строения (-CH=CH-

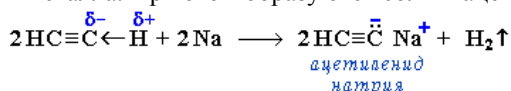


СН=СН-СН=СН-). Такие полимеры обладают полупроводниковыми свойствами). Высокомолекулярное вещество – карбин (одна из аллотропных модификаций углерода) – образуется не в результате полимеризации ацетилена, а при окислительной поликонденсации ацетилена в присутствии CuCl:

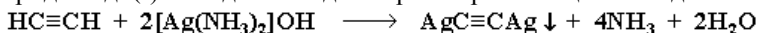


(поликонденсация относится к реакциям замещения)

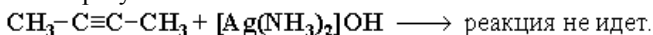
Образование солей. Ацетилен и его гомологи с концевой тройной связью R-C≡C-H (алкины-1) вследствие полярности связи C(sp)-H проявляют слабые кислотные свойства: атомы водорода могут замещаться атомами металла. При этом образуются соли – ацетилениды:



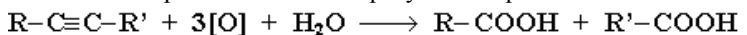
Ацетилениды щелочных и щелочноземельных металлов используются для получения гомологов ацетилена. При взаимодействии ацетилена (или R-C≡C-H) с аммиачными растворами оксида серебра или хлорида меди(I) выпадают осадки нерастворимых ацетиленидов:



Если тройная связь находится не на конце углеродной цепи, то кислотные свойства отсутствуют (нет подвижного атома водорода) и ацетилениды не образуются:



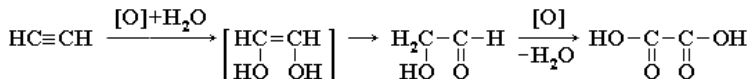
Окисление алкинов. Ацетилен и его гомологи легко окисляются различными окислителями (перманганатом калия в кислой и щелочной среде, дихроматом калия в кислой среде и др.). Строение продуктов окисления зависит от природы окислителя и условий проведения реакций. При жестком окислении (нагревание, концентрированные растворы, кислая среда) происходит расщепление углеродного скелета молекулы алкина по тройной связи и образуются карбоновые кислоты:



Алкины обесцвечивают разбавленный раствор перманганата калия, что используется для доказательства их ненасыщенности. В этих условиях происходит мягкое окисление без разрыва σ-связи C-C (разрушаются только π-связи). Например, при взаимодействии ацетилена с



разбавленным раствором KMnO_4 при комнатной температуре возможны следующие превращения с образованием щавелевой кислоты HOOC-COOH :



При сгорании алкинов происходит их полное окисление до CO_2 и H_2O . Горение ацетилена сопровождается выделением большого количества тепла ($Q = 1300$ кДж/моль): $2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Температура ацетиленово-кислородного пламени достигает более $2800\text{--}3000$ °С. На этом основано применение ацетилена для сварки и резки металла. Ацетилен образует с воздухом и кислородом взрывоопасные смеси. В сжатом, и особенно в сжиженном, состоянии ацетилен способен взрываться от удара. Поэтому он хранится в стальных баллонах в виде растворов в ацетоне, которым пропитывают асбест. Наибольшее практическое значение имеют ацетилен $\text{H-C}\equiv\text{C-H}$ и винилацетилен $\text{CH}_2=\text{CH-C}\equiv\text{CH}$. Ацетилен используется для получения самых разнообразных веществ.

5. Арены: способы получения и химические свойства

Ароматическими соединениями (аренами) называются плоские сопряженные системы с числом π -электронов $4n+2$. Арены имеют общую формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$, ($n \geq 6$). Бензол C_6H_6 – родоначальник ароматических углеводов.

π -Электронное облако в молекуле бензола

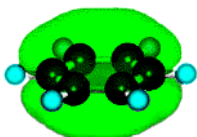
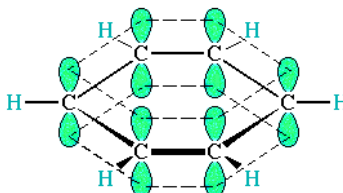
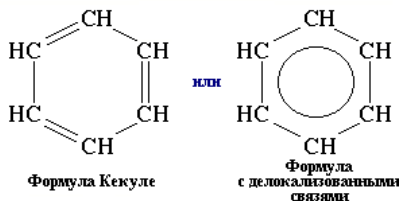


Схема делокализации π -электронов



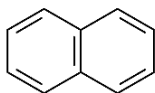


Бензол C_6H_6

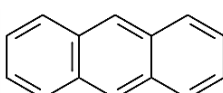


Сокращенные формулы

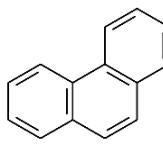
Полиядерные арены



нафталин



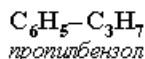
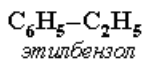
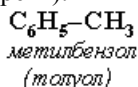
антрацен



фенантрен

Атомы углерода в состоянии sp^2 -гибридизации и связан с двумя соседними атомами углерода и атомом водорода тремя σ -связями. Валентные углы между каждой парой π -связей равны 120° . Таким образом, скелет σ -связей представляет собой правильный шестиугольник, в котором все атомы углерода и все σ -связи C–C и C–H лежат в одной плоскости. p -электроны всех атомов углерода взаимодействуют между собой путем бокового перекрывания соседних $2p$ -АО, расположенных перпендикулярно плоскости σ -скелета бензольного кольца. Они образуют единое циклическое π -электронное облако, сосредоточенное над и под плоскостью кольца.

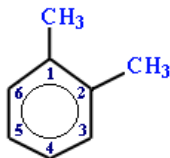
Гомологи бензола – соединения, образованные заменой одного или нескольких атомов водорода в молекуле бензола на углеводородные радикалы (R): C_6H_5-R алкилбензол. Широко используются тривиальные названия (толуол, ксилол, кумол и т.п.). Систематические названия строят из названия углеводородного радикала (приставка) и слова бензол (корень):





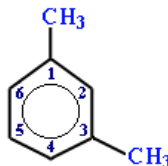
Если радикалов два или более, их положение указывается номерами атомов углерода в кольце, с которыми они связаны. Нумерацию кольца проводят так, чтобы номера радикалов были наименьшими. Например:

1,2-Диметилбензол



орто-ксилол
(*о*-ксилол)

1,3-Диметилбензол



мета-ксилол
(*м*-ксилол)

1,4-Диметилбензол



пара-ксилол
(*п*-ксилол)

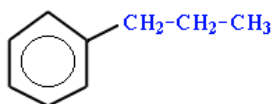
Для дизамещенных бензолов $R-C_6H_4-R$ используется также и другой способ построения названий, при котором положение заместителей указывают перед тривиальным названием соединения приставками:

орто- (*о*-) заместители у соседних атомов углерода кольца, т.е. 1,2-;

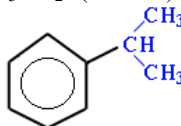
мета- (*м*-) заместители через один атом углерода (1,3-);

пара- (*п*-) заместители на противоположных сторонах кольца (1,4-).

Ароматические одновалентные радикалы имеют общее название «арил». Из них наиболее распространены в номенклатуре органических соединений два: C_6H_5- (фенил) и $C_6H_5CH_2-$ (бензил).



н-Пропилбензол



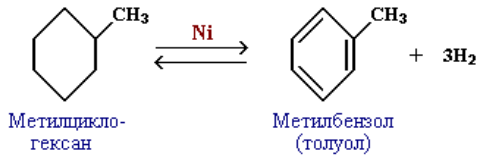
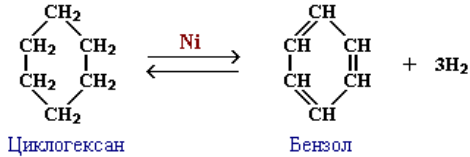
Изопропилбензол
(кумол)

Пространственная изомерия относительно бензольного кольца в алкилбензолах отсутствует.

Получение ароматических углеводов. Основными природными источниками ароматических углеводов являются каменный уголь и нефть. При коксовании каменного угля образуется каменноугольная смола, из которой выделяют бензол, толуол, ксилолы, нафталин и многие другие органические соединения.



Дегидрирование циклогексана и его алкильных производных



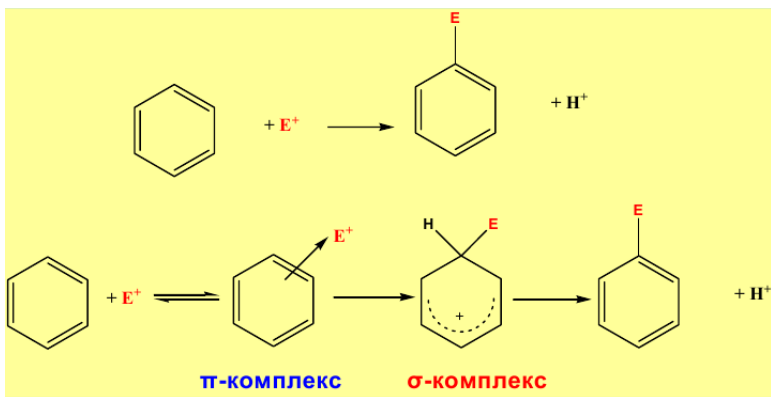
При дегидрировании этилбензола образуется производное бензола с неопредельной боковой цепью – винилбензол (стирол) C₆H₅-CH=CH₂ (исходное вещество для получения ценного полимера полистирола).

Реакции получения аренов указывают на взаимосвязь между различными группами углеводородов и на возможность их превращения друг в друга.

Химические свойства аренов

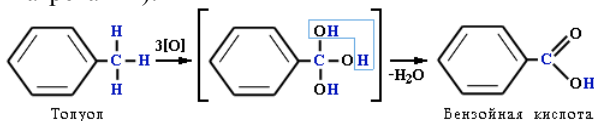
Реакции замещения в бензольном кольце

Электрофильное замещение

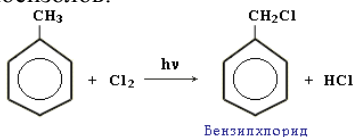




Под влиянием бензольного кольца метильная группа CH_3 в толуоле становится более активной в реакциях окисления и радикального замещения по сравнению с метаном CH_4 . Толуол в отличие от метана окисляется в мягких условиях (обесцвечивает подкисленный раствор KMnO_4 при нагревании):



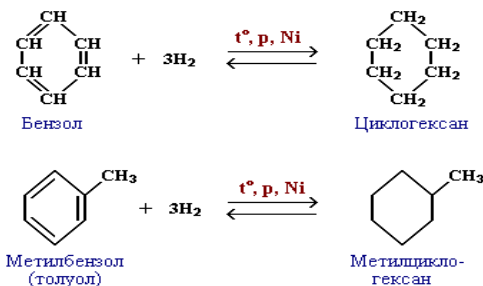
Легче, чем в алканах, протекают реакции радикального замещения в боковой цепи алкилбензолов:



Реакции присоединения к аренам. В реакции присоединения, приводящие к разрушению ароматической структуры бензольного кольца, арены могут вступать с большим трудом.

Гидрирование. Присоединение водорода к бензолу и его гомологам происходит при повышенной температуре и давлении в присутствии металлических катализаторов.

Гидрирование бензола и его гомологов

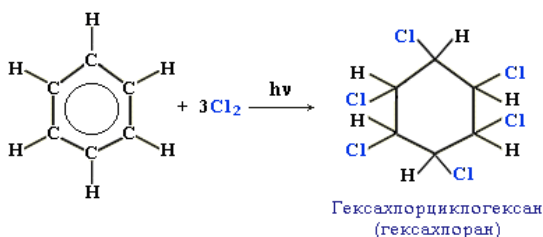


Эта реакция является обратной образованию бензола при дегидрировании циклогексана.

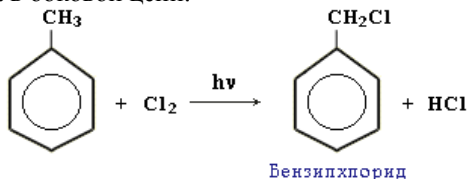
Радикальное хлорирование аренов. В условиях радикальных реакций (ультрафиолетовый свет, повышенная температура) возможно присоединение галогенов к ароматическим соединениям. При радикальном хлорировании бензола получен «гексахлоран» (средство борьбы с вредными насекомыми).



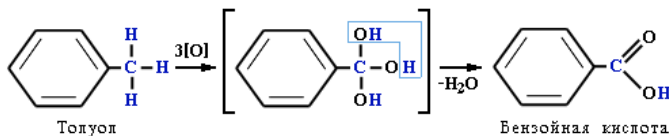
Радикальное хлорирование на свету



Применение гексахлорана в настоящее время запрещено из-за его токсичности для человека и животных. Заметим, что в случае гомологов бензола более легко происходит реакция радикального замещения атомов водорода в боковой цепи:



Реакции окисления аренов. Бензол не окисляется даже под действием сильных окислителей (KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и т.п.). Поэтому он часто используется как инертный растворитель при проведении реакций окисления других органических соединений. В отличие от бензола его гомологи окисляются довольно легко. При действии раствора KMnO_4 в кислой среде и нагревании в гомологах бензола окислению подвергаются только боковые цепи:

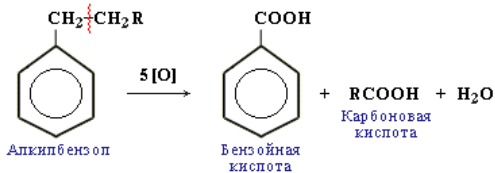


Толуол обесцвечивает раствор KMnO_4 (H^+) при нагревании.

Окисление других гомологов (этилбензол, пропилбензол и т.д.) также приводит к образованию бензойной кислоты. Разрыв связи при этом происходит между двумя ближайшими к кольцу атомами углерода в боковой цепи.

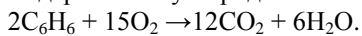


Окисление алкилбензолов



Алкильные группы в алкилбензолах окисляются легче, чем алканы. Это объясняется влиянием бензольного кольца на атомы в боковой цепи.

Бензол и его гомологи на воздухе горят коптящим пламенем, что обусловлено высоким содержанием углерода в их молекулах:





Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Мерой полярности связи является *электрический момент диполя* – ЭДМ- μ , представляющий собой произведение длины диполя l на абсолютный эффективный заряд g : $\mu = g \cdot l$. Электрический момент диполя обычно выражают в дебаях (D): $1D = 3,33 \cdot 10^{-30}$ Кл·м.)

Некоторые характеристики простейших связей

Связь	Энергия, кДж/моль	Длина, нм	Полярность μ		Поляризуемость $a \cdot 10^{-24}$, см ³
			10^{30} Кл · м	D	
C–C	339	0,154	0	0	1,3
C=C	611	0,133	0	0	4,2
C≡C	833	0,120	0	0	6,2
H–C	414	0,109	1,33	0,4	1,7
C–N	305	0,147	4,00	1,2	1,5
C=N	595	0,127	4,34	1,3	3,8
C≡N	888	0,115	13,36	4,0	4,8
C–O	368	0,143	5,34	1,6	1,5
C=O	724	0,121	10,68	3,2	3,3
C–F	427	0,140	7,68	2,3	1,7
C–Cl	326	0,176	7,68	2,3	6,5
C–Br	272	0,191	7,34	2,2	9,6
C–I	238	0,212	6,68	2,0	14,6
H–O	460	0,096	5,01	1,5	1,9
H–N	389	0,101	4,34	1,3	1,8
N–N	160	0,147			
N≡N	946	0,110			
N=O	678	0,115			

Приложение 2

Номенклатура органических соединений

В настоящее время международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) рекомендует для использования номенклатуру, получившую название *номенклатура ИЮПАК*.

Таблица 1. Названия предельных углеводородов

Формула углеводорода	Название	Формула углеводорода	Название
C ₅ H ₁₂	Пентан	C ₁₁ H ₂₄	Ундекан
C ₆ H ₁₄	Гексан	C ₁₂ H ₂₆	Додекан
C ₇ H ₁₆	Гептан	C ₁₃ H ₂₈	Тридекан
C ₈ H ₁₈	Октан	C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан
C ₉ H ₂₀	Нонан
C ₁₀ H ₂₂	Декан	C ₂₀ H ₄₂	Эйкозан



Таблица 2. Названия важнейших заместителей

Заместитель	Название	Заместитель	Название
CH_3-	метил	CH_3	
CH_3-CH_2-	этил	$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	неопентил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	n-пропил	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	трет-пентил
$\text{CH}_3-\underset{\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	изопропил (пропил-2)	$\text{CH}_2=$	метилен
CH_3		$\text{CH}\equiv$	метин
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	n-бутил	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$	этилиден
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\underset{\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{CH}}-$	втор-бутил	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	этилен
CH_3		$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	триметилен
$\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-$	изобутил (2-метил-пропил-1)	$\text{CH}_2=\text{CH}-$	винил
$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$		$\text{HC}\equiv\text{C}-$	этинил
$\text{CH}_3-\text{C}-$	трет-бутил	$\text{CH}_2=\text{C}-$	изопропенил
$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$		$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	n-пентил	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-$	1-бутенил
$\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2-$	изопентил	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2-$	2-бутенил
$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$		$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-$	метилаллил (металлил)
C_6H_5-	фенил	$\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-$	толил (n-изомер)	$\text{CH}_3-\text{C}=\text{O}$	ацетил
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-$	бензил	$\begin{array}{c} \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	бензоил
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-$	стирил	$-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-$	метилендиоксид
$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CH}-$	бензгидрил (дифенил-метил)		
$(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{C}-$	третил		
$\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2$	винилиден		
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-$	аллил		
$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-$	пропенил		
$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-$	ацетонил		
$\text{CH}_3-\text{O}-$	метокси		
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-$	этокси		



Простейшие спирты можно называть по соответствующему радикалу: метильный спирт CH_3OH , изопропиловый спирт $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ (но не изопропанол), трет-бутиловый спирт $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$.

За некоторыми спиртами сохраняются тривиальные названия:

Аллиловый спирт	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{OH}$;
Бензиловый спирт	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2\text{OH}$;
Фенилэтиловый спирт	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$;
Этиленгликоль	$\text{HOCH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$;
Пропиленгликоль	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2\text{OH}$;
Глицерин (глицерол)	$\text{CH}_2(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2(\text{OH})$.

Для альдегидов допускаются тривиальные названия, если соответствующая кислота имеет тривиальное название:

Формальдегид	CH_2O ;
Ацетальдегид	CH_3-CHO ;
Пропиональдегид	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CHO}$;
Бутиральдегид	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHO}$;
Изобутиральдегид	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CHO}$;
Валеральдегид	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CHO}$;
Изовалеральдегид	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CHO}$;
Акролеин (акриальдегид)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$;
Кронональдегид	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CHO}$;
Бензальдегид	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CHO}$.

Имеются исключения, например глиоксаль $\text{O}=\text{CH}-\text{CH}=\text{O}$.

Для некоторых кетонов допускаются тривиальные названия:

ацетон	$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$;
окись мезитила	$(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CH}-\text{CO}-\text{CH}_3$;
диацетил	$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CO}-\text{CH}_3$;
бензил (или дибензоил)	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_5$.

Сохраняются тривиальные названия заместителей:

ацетонил $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-$, фенацил $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-\text{CH}_2-$.



ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743. .
2. Барковский, Е. В. Аналитическая химия: Учеб. пособие/ Е. В. Барковский. – Мн.: Высш. шк., 2004. – 351 с.
3. Барковский, Е. В. Введение в химию биогенных элементов и химический анализ: Учеб. пос./ Е. В. Барковский, С. В. Ткачев и др. – М.: Высш. шк., 1997. –126 с.
4. Болдырев, А. И. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1983.
5. Гольбрайх, З. Е. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие/ З. Е. Гольбрайх.–М.:ООО «Издательство Астрель»,2004.–383с
6. Грандберг, И.И. Органическая химия: Учеб. для студ. вузов обучающихся на агрономических специальностях/ И. И. Грандберг. – М.: Дрофа, 2004. –672 с.
7. Князев Д. А. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Д. А. Князев, С. Н. Смарыгин. – М.: Высш. шк., 1990. – 430 с.
8. Руководство к изучению курса “Общая и неорганическая химия”: Пособие для студентов нехимических специальностей / И. Е. Шиманович [и др.]; под ред. И.Е. Шимановича. – 3-е изд. – Минск: РИВШ, 2008. – 112 с.
9. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
10. Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
11. Химия: учебно-методический комплекс: Учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная, И.В. Ковалева и др. – Горки: БГСХА, 2011. – 452 с. ISBN 978-985-467-359-2
12. Хмельницкий, Р. А. Физическая и коллоидная химия: Учебник для вузов/ Р. А. Хмельницкий. – М.: Высш. шк., 1988.
13. Цитович, Н. К. Курс аналитической химии: Учебник для вузов/ Н. К. Цитович. – М.: Высш. шк., 1987. – 403 с.
14. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.
15. Щербина, А.Э. Органическая химия. Задачи и упражнения: Учеб. пособие / А.Э. Щербина, Л.Г. Матусевич, И.В. Сенько. – Минск : Новое знание, 2007. – 304 с.

Дополнительная

1. Белясова, Н.А. Биохимия и молекулярная биология: Учеб. пособие/ Н.А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
2. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн : Высш. шк., 2003. – 96 с.
3. Дорохова, Е. Н. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа: Учебник для почвенно-агрохимических специальностей / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – М.: Высш. шк., 1991. – 354 с.
4. Жарский, И. М. Теоретические основы химии: сборник задач: Учеб. пособие. – Минск.: Аверсев, 2004. – 397 с.
5. Практикум по общей и биоорганической химии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В. А. Попкова. – 3-е изд. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 240 с.
6. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: Учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб: Химиздат, 2001. – 784 с.
7. Степин, Б. Д. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Б. Д. Степин, А.А.



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



Цветков. – М.: Высш. шк., 1994. – 608 с.

Справочники:

1. Краткий химический справочник. – М.: Химия, 1977.
2. Кольман, Я. Наглядная биохимия: Пер. с нем/ Я.Кольман, К.Г. Рем. – М.: Мир, 2000. – 469 с.
3. Лидин, Р.А. Химические свойства неорганических веществ/ Под ред. Р.А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М.: КолосС, 2008, – 480 с.

Составители

Поддубная Ольга Владимировна
Ковалева Ирина Владимировна
Мохова Елена Владимировна
Шагитова Марина Николаевна