

МИНОБРНАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Майкопский государственный технологический университет»

Кафедра химии, физики и физико-химических методов исследования

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по органической химии (часть I)

для иностранных учащихся подготовительного отделения

Майкоп 2017

УДК 547(07)

ББК 24.2

М- 54

Печатается по решению научно-методического совета аграрного факультета  
ФГБОУ ВО «МГТУ»

Рецензент:

Кандидат химических наук, доцент Очерет Н.П.

Составитель:

кандидат химических наук, доцент Голованова Т.Н.

М-54 Методические указания по органической химии для иностранных  
учащихся подготовительного отделения / Сост.: Голованова Т.Н. – 2017. – 34С.

Настоящее учебное пособие предназначено для иностранных учащихся подготовительного отделения. Пособие содержит объём учебной информации, необходимый для успешного продолжения образования в вузах: теория А.М. Бутлерова, предельные, углеводороды ряда метана, непредельные, углеводороды ряда этилена, непредельные, углеводороды ряда диеновых, непредельные, углеводороды ряда ацетиленов, циклоалканы, ароматические углеводороды.

Содержание пособия соответствует программе по органической химии для подготовительных факультетов для иностранных граждан.

Термин «органическая химия» появился в 1806 году с легкой руки шведского ученого Якоба Йёенса Берцелиуса. Именно тогда вышел его труд «Лекции по животной химии». Однако процессы, которые изучаются этим разделом химии, были знакомы человечеству и активно им эксплуатировались задолго до возникновения первых государств.

Органической химией изначально называлась химия веществ, полученных из организмов растений и животных. С такими веществами человечество знакомо с глубокой древности. Люди умели получать уксус из прокисшего вина, а эфирные масла из растений, выделять сахар из сахарного тростника, извлекать природные красители из организмов растений и животных.

Химики разделяли все вещества в зависимости от источника их получения на минеральные (неорганические), животные и растительные (органические).

Химические реакции, которые сегодня изучает и использует органическая химия, известны с давних времен. Это получение красителей индиго и ализарина (их изготовление освоили еще древние египтяне), производство хлеба (с применением дрожжей) и такая крупная отрасль пищевой промышленности, как виноделие. Но дальше этого древние ученые не пошли – не было ни теоретической, ни технологической базы. Положение стало меняться примерно в 16 веке, когда развитие науки заложило основы органической химии в современном понимании.

Однако подлинный прорыв произошел лишь в 18 столетии. Тогда немец Андреас Маргграф обнаружил сахарные кристаллы в некоторых сортах свеклы, что дало толчок производству сахара, а до этого его изготавливали исключительно из сахарного тростника. Примерно в это же время швед Карл Шееле разработал технологию производства фосфора из золы, полученной при сжигании костей. И это лишь два примера появления новых методов и технологий в век «просвещенного абсолютизма», как современники именовали восемнадцатое столетие. Это стало началом интенсивного развития органической химии.

На сегодняшний день сложилась такая ситуация, что изучает органическая химия огромное количество соединений, практически каждый день создавая новые, востребованные в самых различных областях человеческой деятельности. В качестве материальной базы по-прежнему, кроме нефти, используются каменноугольная смола и продукты биологического происхождения.

Представления о валентности составили важную часть теории химического строения А.М. Бутлерова в 1861 г.

Периодический закон, сформулированный Д.И. Менделеевым в 1869 г., вскрыл зависимость валентности элемента от его положения в периодической системе.

Оставалось неясным большое многообразие органических веществ, имеющих одинаковый качественный и количественный состав, но разные свойства. К примеру, было известно около 80 разнообразных веществ, отвечающих составу  $C_6H_{12}O_2$ . Йенс Якоб Берцелиус предложил называть эти вещества изомерами.

Ученые многих стран своими работами подготовили почву для создания теории, объясняющей строение и свойства органических веществ.

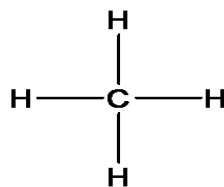
На съезде немецких естествоиспытателей и врачей в городе Шпейере был прочитан доклад, называвшийся “Нечто в химическом строении тел”. Автором доклада был профессор Казанского университета Александр Михайлович Бутлеров. Именно это самое “нечто” и составило теорию химического строения, которая легла в основу наших современных представлений о химических соединениях.

Органическая химия получила прочную научную основу, обеспечившую ее стремительное развитие в последующее столетие вплоть до наших дней. Эта теория позволила предсказывать существование новых соединений и их свойства. Понятие о химическом строении позволило объяснить такое загадочное явление, как изомерия.

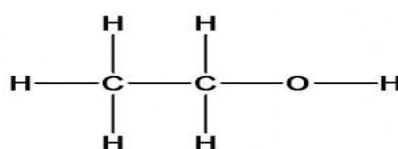
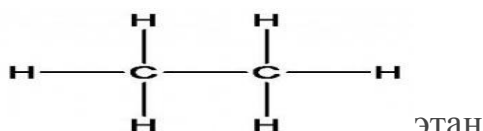
Основные положения теории химического строения сводятся к следующему:

- 1. Атомы в молекулах органических веществ соединяются в определенной последовательности согласно их валентности.**
- 2. Свойства веществ определяются качественным, количественным составом, порядком соединения и взаимным влиянием атомов и групп атомов в молекуле.**
- 3. По свойствам данного вещества можно определить строение его молекулы, а по строению молекулы предвидеть свойства.**
- 4. Атомы и группы атомов взаимно влияют друг на друга.**

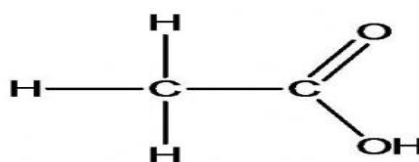
Рассмотрим эти положения более подробно. Молекулы органических веществ содержат атомы углерода (валентность IV), водорода (валентность I), кислорода (валентность II), азота (валентность III). Каждый атом углерода в молекулах органических веществ образует четыре химические связи с другими атомами, при этом атомы углерода могут соединяться в цепи и кольца. На основании первого положения теории химического строения мы будем составлять структурные формулы органических веществ. Например, установлено, что метан имеет состав  $CH_4$ . Учитывая валентности атомов углерода и водорода можно предложить только одну структурную формулу метана:



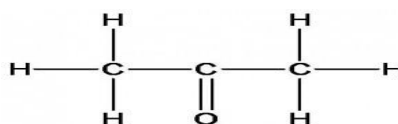
Химическое строение других органических веществ может быть описано следующими формулами:



этиловый спирт



уксусная кислота



ацетон

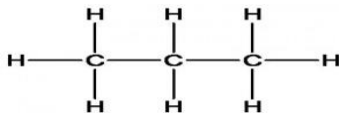
Второе положение теории химического строения описывает известную нам взаимосвязь: состав — строение — свойства. Посмотрим проявление этой закономерности на примере органических веществ.

Этан и этиловый спирт имеют разный качественный состав. Молекула спирта в отличие от этана содержит атом кислорода. Как это скажется на свойствах?

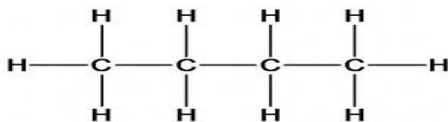
Вещество	Агрегатное состояние при н.у.	Температура кипения, °С	Температура плавления, °С
$\text{C}_2\text{H}_6$	газ	- 182,8	- 88,6
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	жидкость	- 114	+ 78

Введение в молекулу атома кислорода резко меняет физические свойства вещества. Это подтверждает зависимость свойств от качественного состава.

Сравним состав и строение углеводородов метана, этана, пропана и бутана.



пропан



бутан

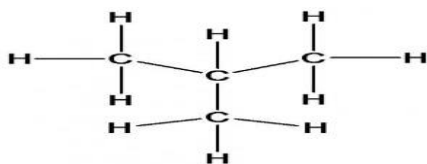
## УГЛЕВОДОРОДЫ

Метан, этан, пропан и бутан имеют одинаковый качественный состав, но разный количественный (число атомов каждого элемента). Согласно второму положению теории химического строения они должны обладать различными свойствами.

Вещество	Температура кипения, °С	Температура плавления, °С
CH <sub>4</sub>	- 182,5	- 161,5
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	- 182,8	- 88,6
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	- 187,6	- 42,1
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	- 138,3	- 0,5

Как видно из таблицы, с увеличением числа атомов углерода в молекуле происходит повышение температур кипения и плавления, что подтверждает зависимость свойств от количественного состава молекул.

Молекулярной формуле C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> соответствует не только бутан, но и его изомер изобутан:



Изомеры имеют одинаковый качественный (атомы углерода и водорода) и количественный (4 атома углерода и десять атомов водорода) состав, но отличаются друг от друга порядком соединения атомов (химическим строением). Посмотрим как различие в строении изомеров скажется на их свойствах.

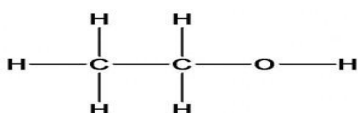
Вещество	Температура кипения, °С	Температура плавления, °С
Бутан	- 138,3	- 0,5

Изобутан	– 159,4	– 11,7
----------	---------	--------

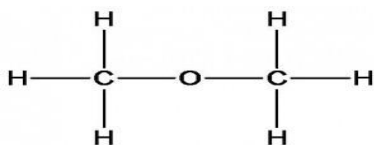
Углеводород разветвленного строения (изобутан) имеет более высокие температуры кипения и плавления, чем углеводород нормального строения (бутан). Это можно объяснить более близким расположением молекул друг к другу в бутане, что повышает силы межмолекулярного притяжения и, следовательно, требует больших затрат энергии для их отрыва.

Третье положение теории химического строения показывает обратную связь состава, строения и свойств веществ: состав — строение — свойства. Рассмотрим это на примере соединений состава  $C_2H_6O$ .

Представим, что у нас имеются образцы двух веществ с одинаковой молекулярной формулой  $C_2H_6O$ , которая была определена в ходе качественного и количественного анализа. Но как узнать химическое строение этих веществ? Ответить на этот вопрос поможет изучение их физических и химических свойств. При взаимодействии первого вещества с металлическим натрием реакция не идет, а второе – активно с ним взаимодействует с выделением водорода. Определим количественное отношение веществ в реакции. Для этого к известной массе второго вещества прибавим определенную массу натрия. Измерим объем водорода. Вычислим количества веществ. При этом окажется, что из двух моль исследуемого вещества выделяется один моль водорода. Следовательно, каждая молекула этого вещества является источником одного атома водорода. Какой вывод можно сделать? Только один атом водорода отличается по свойствам и значит строением (с какими атомами связан) от всех остальных. Учитывая валентность атомов углерода, водорода и кислорода для данного вещества может быть предложена только одна формула:



Для первого вещества может быть предложена формула, в которой все атомы водорода имеют одинаковое строение и свойства:



Аналогичный результат можно получить и при изучении физических свойств этих веществ.

Вещество	Температура кипения, °С	Температура плавления, °С
Этиловый спирт	– 114	+ 78,4
Диметиловый эфир	– 138,5	– 25,0

Таким образом, на основании изучения свойств веществ можно сделать вывод о его химическом строении.

Значение теории химического строения трудно переоценить. Ученые смогли объяснить поведение органических веществ в ходе химических реакций. На основе теории А.М. Бутлеров предсказал существование изомеров некоторых веществ, которые позднее были получены. Так же как и Периодический закон, теория химического строения получила свое дальнейшее развитие после становления теории строения атома, химической связи и стереохимии.

### 3. Предельные, углеводороды ряда метана (алканы)

Алканы, или парафины — алифатические предельные углеводороды, в молекулах которых атомы углерода связаны между собой простой s-связью. Оставшиеся валентности углеродного атома, не затраченные на связь с другими атомами углерода, полностью насыщены водородом. Поэтому предельные углеводороды содержат в молекуле максимальное число водородных атомов.

Углеводороды ряда алканов имеют общую формулу  $C_nH_{2n+2}$ . В таблице представлены некоторые представители ряда алканов и их некоторые физические свойства.

Формула	Название	Название радикала	T пл. 0C	T кип. 0C
CH <sub>4</sub>	метан	метил	-184	-162
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	этан	этил	-172	-88
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	пропан	пропил	-190	-42
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	бутан	бутил	-135	-0,5
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	изобутан	изобутил	-140	-10
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	пентан	пентил	-132	36
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	изопентан	изопентил	-161	28
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	неопентан	неопентил	-20	10



$C_6H_{14}$	гексан	гексил	-94	69
$C_7H_{16}$	гептан	гептил	-90	98
$C_{10}H_{22}$	декан	децил	-30	174
$C_{15}H_{32}$	пентадекан		10	271
$C_{20}H_{42}$	эйкозан		37	348

Из таблицы видно, что эти углеводороды отличаются друг от друга количеством групп -  $CH_2$ -. Такой ряд сходных по строению, обладающих близкими химическими свойствами и отличающихся друг от друга числом данных групп называется гомологическим рядом. А вещества, составляющие его, называются гомологами.

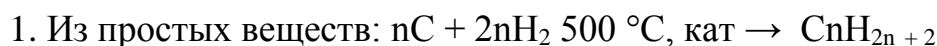
### Физические свойства

Первые четыре члена гомологического ряда метана — газообразные вещества, начиная с пентана — жидкости, а углеводороды с числом углеродных атомов 16 и выше — твердые вещества (при обычной температуре). Алканы — неполярные соединения и трудно поляризуемые. Они легче воды и в ней практически не растворяются. Не растворяются также в других растворителях с высокой полярностью. Жидкие алканы — хорошие растворители для многих органических веществ. Метан и этан, а также высшие алканы не имеют запаха. Алканы — горючие вещества. Метан горит бесцветным пламенем.

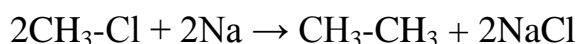
### Получение алканов

Для получения алканов используют в основном природные источники.

Газообразные алканы получают из природного и попутных нефтяных газов, а твердые алканы — из нефти. Природной смесью твердых высокомолекулярных алканов является горный воск — природный битум.



2. Действие металлического натрия на галогенопроизводные алканов — **реакция А. Вюрца**:



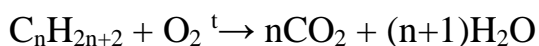
### Химические свойства алканов

## Sp<sup>3</sup> - гибридизация

1. Реакции замещения - Галогенирование (стадийно):



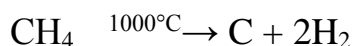
2. Реакции горения (горят светлым не коптящим пламенем)



3. Реакции разложения

а) Крекинг при температуре 700-1000°C разрываются (-C-C-) связи:  
 $\text{C}_{10}\text{H}_{22} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_{12} + \text{C}_5\text{H}_{10}$

б) Пиролиз при температуре 1000°C разрываются все связи, продукты – С (сажа) и H<sub>2</sub>:



## АЛКЕНЫ

Общая формула – **C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>**

Физические свойства алкенов похожи на свойства алканов, хотя все они имеют несколько более низкие температуры плавления и кипения, чем соответствующие алканы. Например, пентан имеет температуру кипения 36 °С, а пентен-1 — 30 °С. При обычных условиях алкены C<sub>2</sub> — C<sub>4</sub> — газы. C<sub>5</sub> – C<sub>15</sub> — жидкости, начиная с C<sub>16</sub> — твердые вещества. Алкены не растворимы в воде, хорошо растворимы в органических растворителях.

Формула		Название
углеводорода	изомера	изомера
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	этен (этилен)
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> -CH=CH <sub>2</sub>	пропен

$C_4H_8$	$CH_3-CH_2-CH=CH_2$	бутен-1
	$CH_3-\underset{\substack{  \\ H}}{C}=\underset{\substack{  \\ H}}{C}-CH_3$	цис-бутен-2
	$CH_3-\underset{\substack{  \\ H}}{C}=\underset{\substack{  \\ H}}{C}-CH_3$	транс-бутен-2
	$CH_3-\underset{\substack{  \\ CH_3}}{C}=CH_2$	2-метил-пропен (изобутен)
$C_5H_{10}$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH=CH_2$	пентен-1
	$CH_3-CH_2-CH=CH-CH_3$	пентен-2
	$CH_3-\underset{\substack{  \\ CH_3}}{CH}-CH=CH_2$	3-метил-бутен-1 (изопентен-1)
	$CH_3-\underset{\substack{  \\ CH_3}}{C}=CH-CH_3$	3-метил-бутен-2 (изопентен-2)

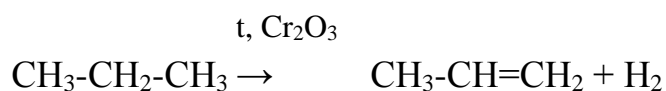
В природе алкены встречаются редко. Поскольку алкены являются ценным сырьем для промышленного органического синтеза, разработаны многие способы их получения.

1. Основным промышленным источником алкенов служит крекинг алканов, входящих в состав нефти:



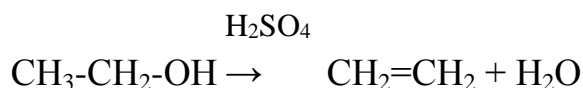
Крекинг протекает по свободнорадикальному механизму при высоких температурах (400-700 °С).

2. Другой промышленный способ получения алкенов — дегидрирование алканов:

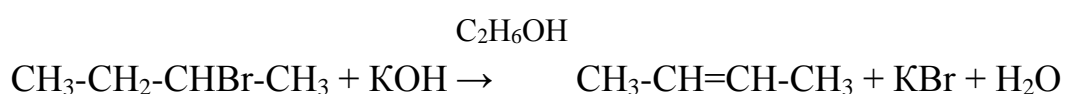


3. В лабораторных условиях алкены получают по реакциям отщепления (элиминирования), при которых от соседних атомов углерода отщепляются два атома или две группы атомов, и образуется дополнительная  $\pi$ -связь. К таким реакциям относятся следующие:

1) Дегидратация спиртов происходит при их нагревании с водоотнимающими средствами, например с серной кислотой при температуре выше  $150^{\circ}\text{C}$ :

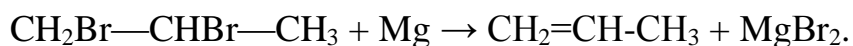


2) Отщепление галогеноводородов проводят при действии спиртовых растворов щелочей на моноалкилгалогениды:

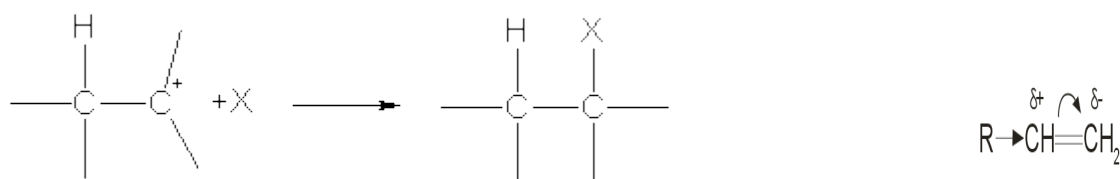


При отщеплении  $\text{H}_2\text{O}$  от спиртов,  $\text{HBr}$  и  $\text{HCl}$  от алкилгалогенидов атом водорода преимущественно отщепляется от того из соседних атомов углерода, который связан с наименьшим числом атомов водорода (от наименее гидрогенизированного атома углерода). Эта закономерность носит название правила Зайцева.

3) Дегалогенирование происходит при нагревании дигалогенидов, имеющих атомы галогена у соседних атомов углерода, с активными металлами:



**Химические свойства алкенов** определяются наличием в их молекулах двойной связи. Электронная плотность  $\pi$ -связи достаточно подвижна и легко вступает в реакции с электрофильными частицами. Поэтому многие реакции алкенов протекают по механизму электрофильного присоединения.



Ион водорода в реакциях электрофильного присоединения присоединяется к тому из атомов углерода при двойной связи, на котором больше отрицательный заряд. Распределение зарядов определяется смещением  $\delta$ -электронной плотности под влиянием заместителей: .

Электронодонорные заместители, проявляющие  $+I$ -эффект, смещают  $\delta$ -электронную плотность к более гидрогенизированному атому углерода и создают на нем частичный отрицательный заряд. Этим объясняется правило Марковникова: при

присоединении полярных молекул типа  $\text{HX}$  ( $\text{X} = \text{Hal}, \text{OH}, \text{CN}$  и т.п.) к несимметричным алкенам водород преимущественно присоединяется к более гидрогенизированному атому углерода при двойной связи.

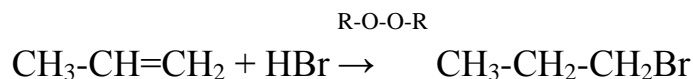
Рассмотрим конкретные примеры реакций присоединения:

1) Гидрогалогенирование. При взаимодействии алкенов с галогеноводородами ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ) образуются алкилгалогениды:



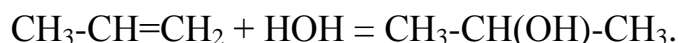
Продукты реакции определяются правилом Марковникова.

Следует, однако, подчеркнуть, что в присутствии какого-либо органического пероксида полярные молекулы  $\text{HX}$  реагируют с алкенами не по правилу Марковникова:

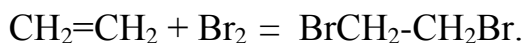


Это связано с тем, что присутствие перекиси обуславливает радикальный, а не ионный механизм реакции.

2) Гидратация. При взаимодействии алкенов с водой в присутствии минеральных кислот (серной, фосфорной) образуются спирты. Минеральные кислоты выполняют роль катализаторов и являются источниками протонов. Присоединение воды также идет по правилу Марковникова:

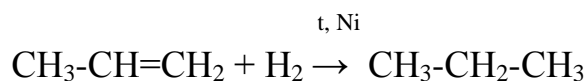


3) Галогенирование. Алкены обесцвечивают бромную воду:

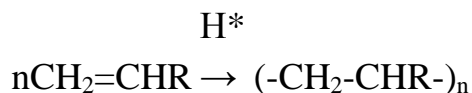


Эта реакция является качественной на двойную связь.

4) Гидрирование. Присоединение водорода происходит под действием металлических катализаторов:



5) Полимеризация алкенов и их производных в присутствии кислот протекает по механизму:



где R = H, CH<sub>3</sub>-, Cl, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>- и т.д.

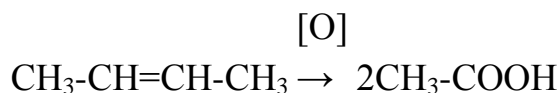
Молекула CH<sub>2</sub>=CHR называется мономером, полученное соединение — полимером, число n-степень полимеризации.

Полимеризация различных производных алкенов дает ценные промышленные продукты: полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и другие.

Кроме присоединения, для алкенов характерны также реакции окисления. При мягком окислении алкенов водным раствором перманганата калия (реакция Вагнера) образуются двухатомные спирты:

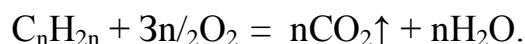


В результате протекания этой реакции фиолетовый раствор перманганата калия быстро обесцвечивается и выпадает коричневый осадок оксида марганца (IV). Эта реакция, как и реакция обесцвечивания бромной воды, является качественной на двойную связь. При жестком окислении алкенов кипящим раствором перманганата калия в кислой среде происходит полный разрыв двойной связи с образованием кетонов, карбоновых кислот или CO<sub>2</sub>, например:

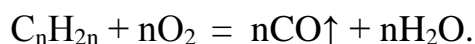


По продуктам окисления можно установить положение двойной связи в исходном алкене.

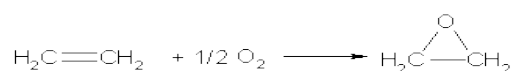
Как и все другие углеводороды, алкены горят, и при обильном доступе воздуха образуют диоксид углерода и воду:



При ограниченном доступе воздуха горение алкенов может приводить к образованию монооксида углерода и воды:



Если смешать алкен с кислородом и пропустить эту смесь над нагретым до 200°C серебряным катализатором, то образуется оксид алкена (эпоксидалкан), например:



При любых температурах алкены окисляются озоном (озон более сильный окислитель, чем кислород). Если газообразный озон пропускают через раствор какого-либо алкена в тетрахлор-метане при температурах ниже комнатной, то происходит реакция присоединения, и образуются соответствующие озониды (циклические перекиси). Озониды очень неустойчивы и могут легко взрываться. Поэтому обычно их не выделяют, а сразу после получения разлагают водой — при этом образуются карбонильные соединения (альдегиды или кетоны), строение которых указывает на строение подвергнувшегося озонированию алкена.

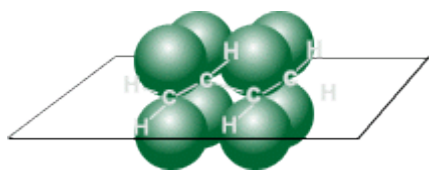
## ДИЕНОВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

1. Алкадиены – алифатически (ациклические), непредельные (ненасыщенные) углеводороды, с двумя двойными связями в цепи.

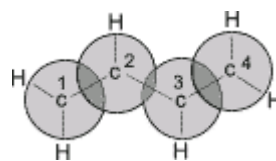
2. Общая формула –  $C_nH_{2n-2}$

3. Строение:

Атомы углерода в молекуле бутадиена-1,3 находятся в  $sp^2$  - гибридном состоянии, что означает расположение этих атомов в одной плоскости и наличие у каждого из них одной  $p$  - орбитали, занятой одним электроном и расположенной перпендикулярно к упомянутой плоскости.



а)



б)

*Схематическое изображение строения молекул бутадиена -1,3 (а) и вид модели сверху (б). Перекрывание электронных облаков между  $C_1-C_2$  и  $C_3-C_4$  больше, чем между  $C_2-C_3$ .*

$p$  - Орбитали всех атомов углерода перекрываются друг с другом, т.е. не только между первым и вторым, третьим и четвертым атомами, но и также между вторым и третьим. Отсюда видно, что связь между вторым и третьим атомами углерода не является простой  $\sigma$  - связью, а обладает некоторой плотностью  $p$  - электронов, т.е. слабым характером двойной связи. В молекуле отсутствуют в классическом понимании одинарные и двойные связи, а наблюдается делокализация  $p$  - электронов, т.е. равномерное распределение  $p$  - электронной плотности по всей молекуле с образованием единого  $p$  - электронного облака. Взаимодействие двух или нескольких соседних  $p$  - связей с образованием единого  $p$  - электронного облака, в результате чего происходит передача взаимовлияния атомов в этой системе, называется эффектом сопряжения. Таким образом, молекула бутадиена -1,3 характеризуется системой сопряженных двойных связей. Такая особенность в строении диеновых углеводородов делает их способными присоединять различные реагенты не только к соседним углеродным атомам (1,2-

присоединение), но и к двум концам сопряженной системы (1,4- присоединение) с образованием двойной связи между вторым и третьим углеродными атомами. Отметим, что очень часто продукт 1,4- присоединения является основным.

- $sp^2$  гибридизация
  - Плоское-тригональное строение
  - Связи  $\sigma$  и  $\pi$  (вращение относительно двойной C-C связи не возможно)
  - Угол HCH =  $120^\circ$
  - Длина связи (-C = C - C = C - C - C -)
- |       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 0,135 | 0,148 | 0,154 |
|-------|-------|-------|

#### 4. Классификация алкадиенов:

В зависимости от взаимного расположения двойных связей диены подразделяются на три типа:

1) углеводороды с кумулированными двойными связями, т.е. примыкающими к одному атому углерода.

Например, пропадиен или аллен  $\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2$

2) углеводороды с изолированными двойными связями, т.е. разделенными двумя и более простыми связями.

Например, пентадиен -1,4  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$

3) углеводороды с сопряженными двойными связями, т.е. разделенными одной простой связью.

Например, бутадиен -1,3 или дивинил  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$   
Наибольший интерес представляют углеводороды с сопряженными двойными связями.

#### 5. Физические свойства:

Бутадиен -1,3 – легко сжижающийся газ с неприятным запахом,  $t^\circ_{\text{пл.}} = -108,9^\circ\text{C}$ ,  $t^\circ_{\text{кип.}} = -4,5^\circ\text{C}$ ; растворяется в эфире, бензоле, не растворяется в воде.  
2- Метилбутадиен -1,3 (изопрен) – летучая жидкость,  $t^\circ_{\text{пл.}} = -146^\circ\text{C}$ ,  $t^\circ_{\text{кип.}} = 34,1^\circ\text{C}$ ; растворяется в большинстве углеводородных растворителях, эфире, спирте, не растворяется в воде.



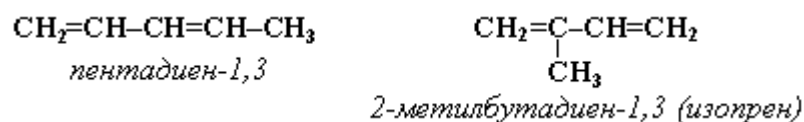
## 6. Изомерия сопряженных диенов

### Структурная изомерия

1. Изомерия положения сопряженных двойных связей:

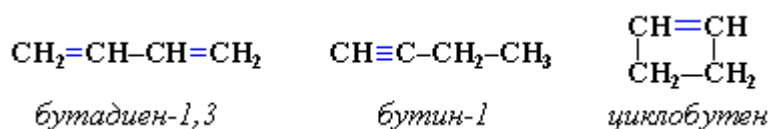


2. Изомерия углеродного скелета:



3. Межклассовая изомерия с алкинами и циклоалкенами.

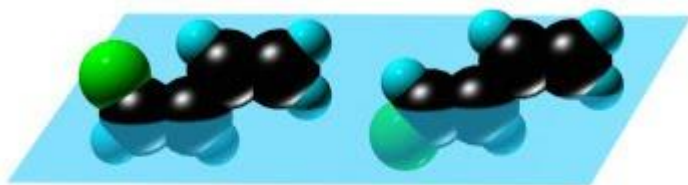
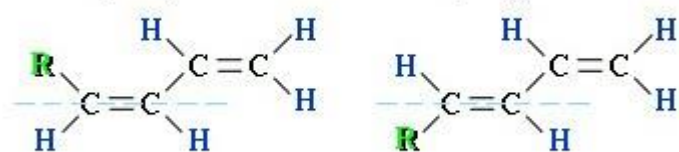
Например, формуле  $\text{C}_4\text{H}_6$  соответствуют следующие соединения:



### 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

## 7. Получение диеновых углеводородов $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$

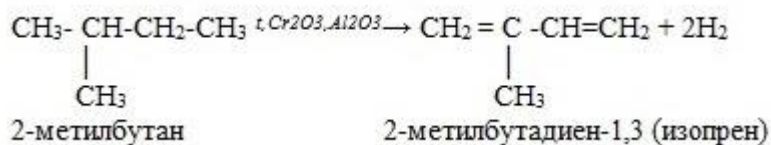
В промышленности

1. Дегидрирование алканов:

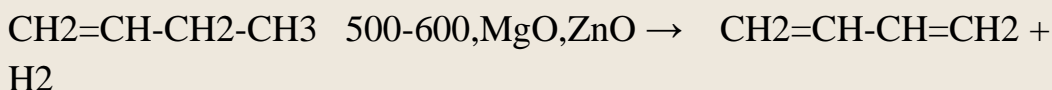


бутан

бутадиен-1,3 (дивинил)



## 2. Дегидрирование алкенов:

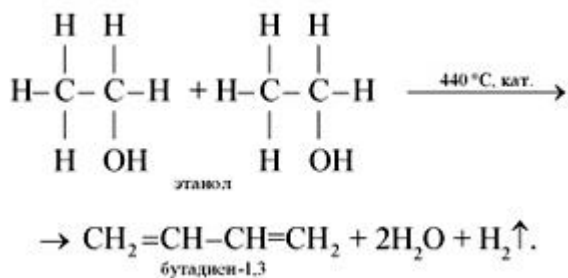
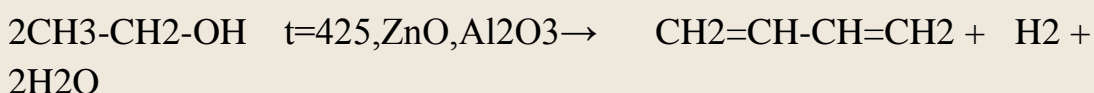


бутен-1

бутадиен-1,3

## 3. Дегидратация и дегидрирование этанола: (р. Лебедева)

Каталитический способ получения бутадиена-1,3 из этанола был открыт в 1932 г. Сергеем Васильевичем Лебедевым. По способу Лебедева бутадиен-1,3 получается в результате одновременного дегидрирования и дегидратации этанола в присутствии катализаторов на основе ZnO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:



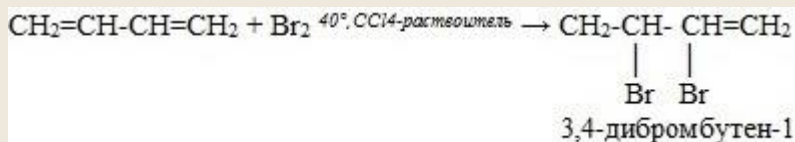
## 8. Химические свойства диеновых углеводородов C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub>

(характерны реакции горения, присоединения, обесцвечивают водный раствор перманганата калия и бромную воду)

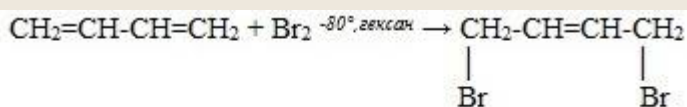
Реакции присоединения (+Г<sub>2</sub>; +НГ; +Н<sub>2</sub>; +НОН)

1. Галогенирование: (образуется смесь продуктов)

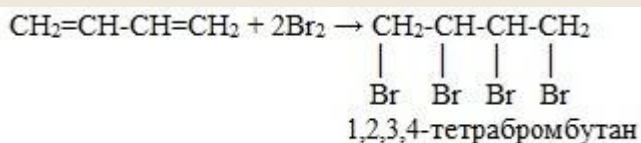
а) 1,2-присоединение



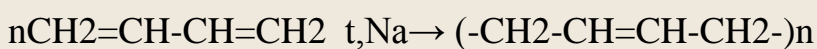
б) 1,4-присоединение (преимущественно)



в) Галогенирование достаточным количеством галогена:

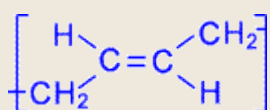


2. Полимеризация



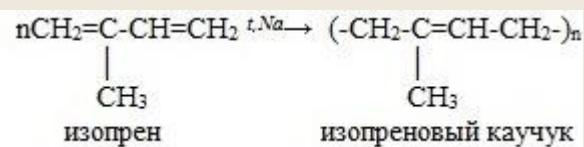
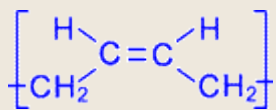
синтетический – бутадиеновый каучук

Элементарная ячейка полибутадиена представляется следующим образом:



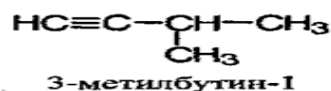
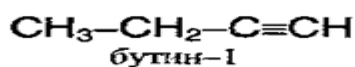
Как видно, образующийся полимер характеризуется транс-конфигурацией элементарной ячейки полимера. Однако наиболее ценные в практическом отношении продукты получают при стереорегулярной (иными словами, пространственно

упорядоченной) полимеризации диеновых углеводородов по схеме 1,4- присоединения с образованием цис- конфигурации полимерной цепи. Например, цис- полибутадиен



## Алкины

Алкины – это непредельные углеводороды, молекулы которых содержат тройную связь. Представитель – ацетилен, гомологи его:



Общая формула –  $C_n H_{2n-2}$ .

Строение алкинов.

Атомы углерода, которые образуют тройную связь, находятся в *sp*-гибридизации.  $\sigma$ -связи лежат в плоскости, под углом  $180^\circ$ , а  $\pi$ -связи образованы путем перекрывания 2х пар негибридных орбиталей соседних атомов углерода.

Изомерия алкинов.

Для алкинов характерна изомерия углеродного скелета, изомерия положения кратной связи.

Пространственная изомерия не характерна.

Физические свойства алкинов.

В нормальных условиях:

$C_2-C_4$  – газы;

$C_5-C_{16}$  – жидкости;

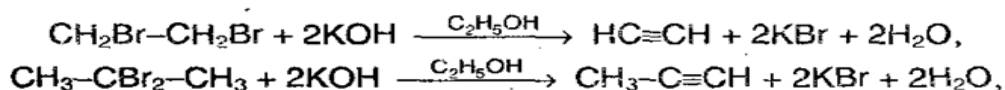
$C_{17}$  и более – твердые вещества.

Температуры кипения алкинов выше, чем у соответствующих алканов.

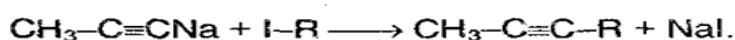
Растворимость в воде незначительна, немного выше, чем у алканов и алкенов, но все равно очень мала. Растворимость в неполярных органических растворителях высокая.

Получение алкинов.

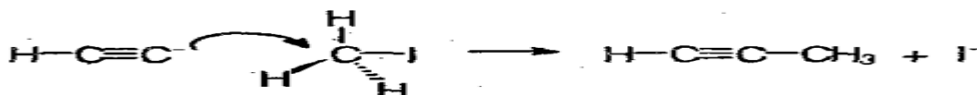
1. Отщепление 2х молекул галогенводорода от дигалогеналканов, которые находятся либо у соседних атомов углерода или у одного. Отщепление происходит под воздействием спиртового раствора щелочи:



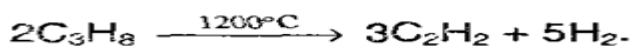
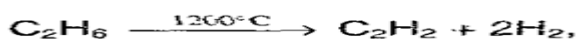
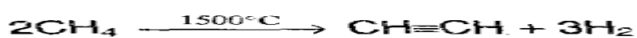
2. Действие галогеналканов на соли ацетиленовых углеводородов:



Реакция протекает через образование нуклеофильного карбаниона:



3. Крекинг метана и его гомологов:



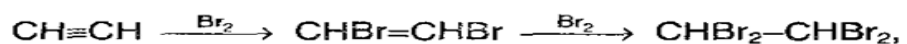
В лаборатории ацетилен получают:



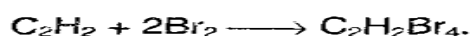
**Химические свойства алкинов.**

Химические свойства алкинов объясняет наличие тройной связи в молекуле алкина. Типичная реакция для **алкинов** – реакция присоединения, которая протекает в 2 стадии. На первой происходит присоединение и образование двойной связи, а на второй – присоединение к двойной связи. Реакция у алкинов протекает медленнее, чем и алкенов, т.к. электронная плотность тройной связи «размазана» более компактно, чем у алкенов, и поэтому менее доступна для реагентов.

1. Галогенирование. Галогены присоединяются к алкинам в 2 стадии. Например,

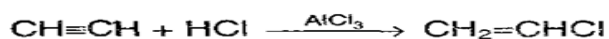


А суммарно:

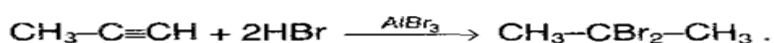


Алкины также как алкены обесцвечивают бромную воду, поэтому эта реакция является качественной и для алкинов.

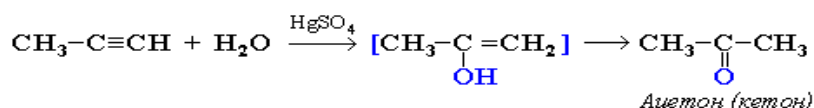
2. Гидрогалогенирование. Галогенводороды присоединяются к тройной связи несколько труднее, чем к двойной. Для ускорения (активации) процесса используют сильную кислоту Льюиса –  $\text{AlCl}_3$ . Из ацетилена при таких условиях можно получить винилхлорид, который идет на производства полимера – поливинилхлорида, имеющего важнейшее значение в промышленности:



Если же галогенводород в избытке, то реакция (особенно у несимметричных алкинов) идет по правилу Марковникова:



3. Гидратация (присоединение воды). Реакция протекает только в присутствии солей ртути (II) в качестве катализатора:

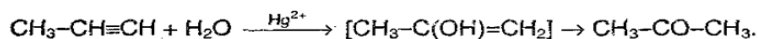


На 1ой стадии образуется неопределенный спирт, в котором гидроксигруппа находится у атома углерода, образующего двойную связь. Такие спирты называются **виниловыми** или **фенолами**.

Отличительная черта таких спиртов – неустойчивость. Они изомеризуются в более стабильные карбонильные соединения (альдегиды и кетоны) вследствие переноса протона от *ОН*-группы к углероду при двойной связи. При этом  $\pi$ -связь рвется (между

атомами углерода), и образуется новая  $\pi$ -связь между атомами углерода и атомом кислорода. Такая изомеризация происходит из-за большей плотности двойной связи  $C=O$  по сравнению с  $C=C$ .

Только ацетилен превращается в альдегид, его гомологи - в кетоны. Реакция протекает по правилу Марковникова:



Эта реакция носит названия – **реакции Кучерова**.

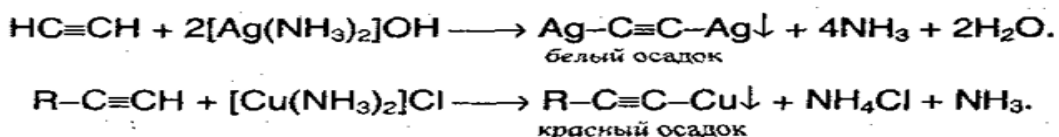
4. Те алкины, которые имеют концевую тройную связь, могут отщеплять протон под действием сильных кислотных реагентов. Такой процесс обусловлен сильной

поляризацией связи  $\equiv\text{C}\leftarrow\text{H}$ .

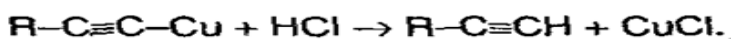
Причиной поляризации служит сильная электроотрицательность атома углерода в  $sp$ -гибридизации, поэтому алкины могут образовывать соли – ацетилениды:



Ацетилениды меди и серебра легко образуются и выпадают в осадок (при пропускании ацетилена через аммиачный раствор оксидсеребра или хлорида меди). Эти реакции являются **качественными** на концевую тройную связь:

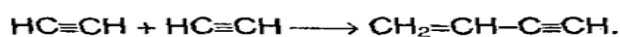


Полученные соли легко разлагаются под действием  $\text{HCl}$ , в результате выделяется исходный алкин:



Поэтому алкины легко выделить из смеси других углеводородов.

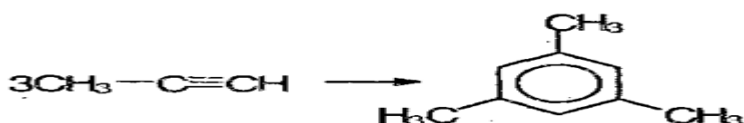
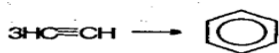
5. Полимеризация. При участии катализаторов алкины могут реагировать друг с другом, причем в зависимости от условий, могут образовываться различные продукты. Например, под воздействием хлорида меди (I) и хлорида аммония:



Винилацетилен (полученное соединение) присоединяет хлороводород, образуя хлорпрен, который служит сырьем для получения синтетического каучука:



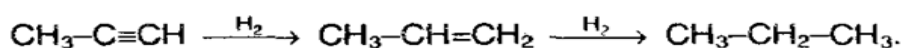
6. Если ацетилен пропускать через уголь при 600 °С, получают ароматическое соединение – бензол. Из гомологов ацетилена, получают гомологи бензола:



7. Реакция окисления и восстановления. Алкины легко окисляются перманганатом калия. Раствор обесцвечивается, т.к. в исходном соединении есть тройная связь. При окислении происходит расщепление тройной связи с образованием карбоновой кислоты:



В присутствии металлических катализаторов происходит восстановление водородом:

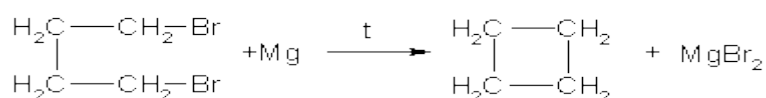


## ЦИКЛОАЛКАНЫ

Физические свойства. При обычных условиях первые два члена ряда (C<sub>3</sub> — C<sub>4</sub>) — газы, (C<sub>5</sub> — C<sub>16</sub>) — жидкости, начиная с C<sub>17</sub> — твердые вещества. Температуры кипения и плавления циклоалканов выше, чем у соответствующих алканов.

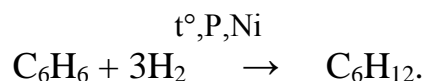
Получение.

1. Основной способ получения циклоалканов — отщепление двух атомов галогена от дигалогеналканов:



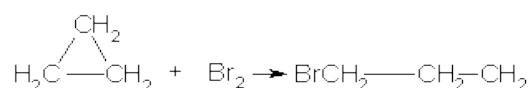
2. При каталитическом гидрировании ароматических углеводородов образуются циклогексан или его производные:



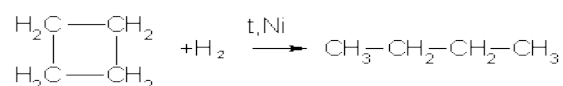


**Химические свойства.** По химическим свойствам малые и обычные циклы существенно различаются между собой. Циклопропан и циклобутан склонны к реакциям присоединения, т.е. сходны в этом отношении с алкенами. Циклопентан и циклогексан по своему химическому поведению близки к алканам, так как вступают в реакции замещения.

1. Так, например, циклопропан и циклобутан способны присоединять бром (хотя реакция и идет труднее, чем с пропеном или бутеном):



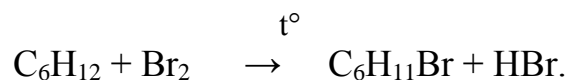
2. Циклопропан, циклобутан и даже циклопентан могут присоединять водород, давая соответствующие нормальные алканы. Присоединение происходит при нагревании в присутствии никелевого катализатора:



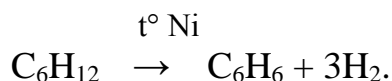
3. В реакцию присоединения с галогеноводородами опять же вступают только малые циклы. Присоединение к гомологам циклопропана происходит по правилу Марковникова:



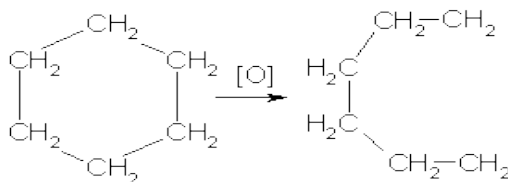
4. Реакции замещения. Обычные циклы ( $\text{C}_6$  и выше) устойчивы и вступают только в реакции радикального замещения подобно алканам:



5. Дегидрирование циклогексана в присутствии никелевого катализатора приводит к образованию бензола:



6. При действии сильных окислителей (например, 50%-ной азотной кислоты) на циклогексан в присутствии катализатора образуется адипиновая (гександиовая) кислота:



## АРЕНЫ

Физические свойства. Бензол и его ближайшие гомологи – бесцветные жидкости со специфическим запахом. Ароматические углеводороды легче воды и в ней не растворяются, однако легко растворяются в органических растворителях – спирте, эфире, ацетоне.

Бензол и его гомологи сами являются хорошими растворителями для многих органических веществ. Все арены горят коптящим пламенем ввиду высокого содержания углерода в их молекулах.

Физические свойства некоторых аренов представлены в таблице.

Таблица. Физические свойства некоторых аренов

Название	Формула	t° .пл., °C	t° .кип., °C
<i>Бензол</i>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	+5,5	80,1
<i>Толуол (метилбензол)</i>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	-95,0	110,6
<i>Этилбензол</i>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	-95,0	136,2
<i>Ксилол (диметилбензол)</i>	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		
<i>орто-</i>		-25,18	144,41
<i>мета-</i>		-47,87	139,10
<i>пара-</i>		13,26	138,35
<i>Пропилбензол</i>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-99,0	159,20
<i>Кумол (изопропилбензол)</i>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-96,0	152,39
<i>Стирол (винилбензол)</i>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>	-30,6	145,2

Бензол – легкокипящая (t<sub>кип</sub> = 80,1°C), бесцветная жидкость, не растворяется в воде

Внимание! Бензол – яд, действует на почки, изменяет формулу крови (при длительном воздействии), может нарушать структуру хромосом.

Большинство ароматических углеводородов опасны для жизни, токсичны.

Получение аренов (бензола и его гомологов)

В лаборатории

1. Сплавление солей бензойной кислоты с твёрдыми щелочами



бензоат натрия

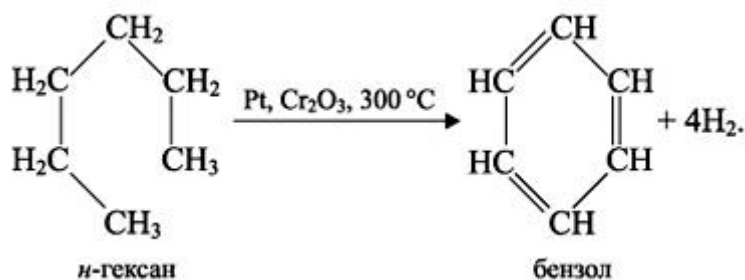
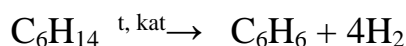
2. Реакция Вюрца-Фиттинга: (здесь Г – галоген)



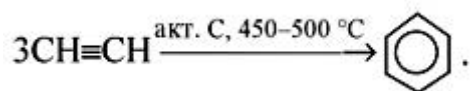
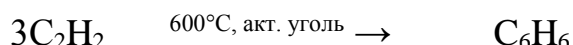
В промышленности

выделяют из нефти и угля методом фракционной перегонки, риформингом; из каменноугольной смолы и коксового газа

1. Дегидроциклизацией алканов с числом атомов углерода больше 6:

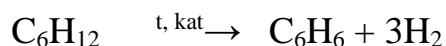


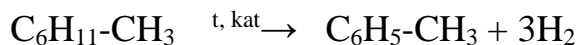
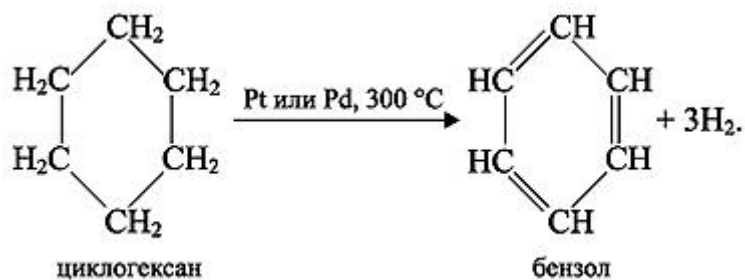
2. Тримеризация ацетилена (только для бензола) – р. Зелинского:



3. Дегидрированием циклогексана и его гомологов:

Советский академик Николай Дмитриевич Зелинский установил, что бензол образуется из циклогексана (дегидрирование циклоалканов)



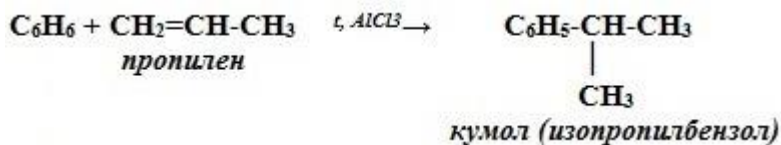


метилциклогексан      толуол

4. Алкилирование бензола (получение гомологов бензола) – р Фриделя-Крафтса.



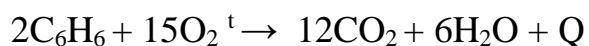
хлорэтан                      этилбензол



Химические свойства аренов

## I. РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ

1. Горение (копящее пламя):



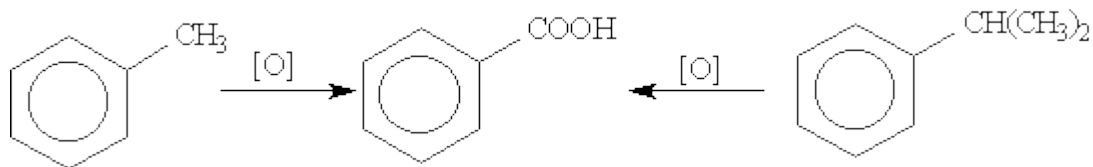
2. Бензол при обычных условиях не обесцвечивает бромную воду и водный раствор марганцовки

3. Гомологи бензола окисляются перманганатом калия (обесцвечивают марганцовку):

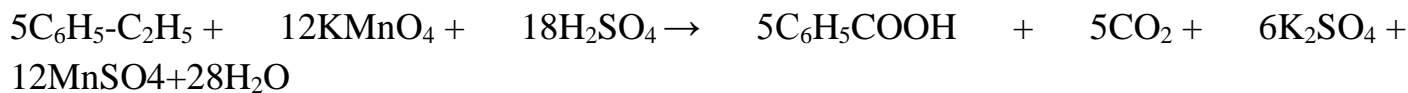
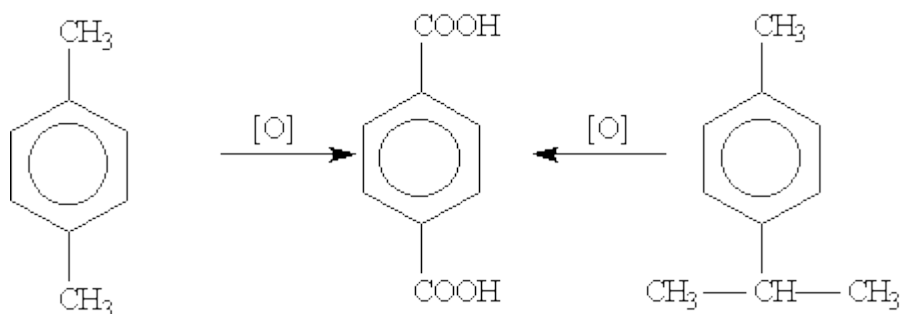
А) в кислой среде до бензойной кислоты

При действии на гомологи бензола перманганата калия и других сильных окислителей боковые цепи окисляются. Какой бы сложной ни была цепь заместителя, она разрушается, за исключением а -атома углерода, который окисляется в карбоксильную группу.

Гомологи бензола с одной боковой цепью дают бензойную кислоту:



Гомологи, содержащие две боковые цепи, дают двухосновные кислоты:



Упрощённо:

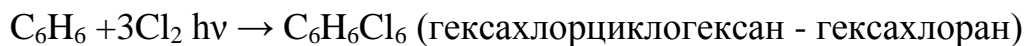


Б) в нейтральной и слабощелочной до солей бензойной кислоты

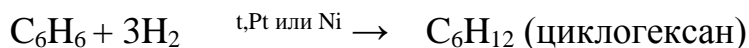


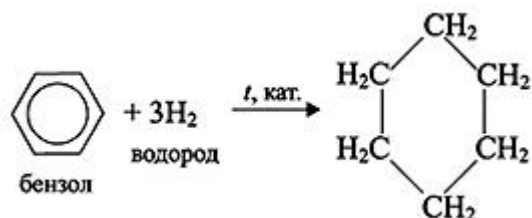
II. РЕАКЦИИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ (труднее, чем у алкенов)

1. Галогенирование

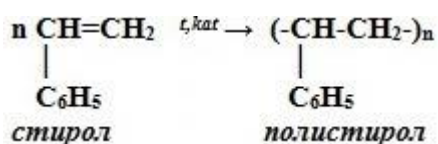


2. Гидрирование





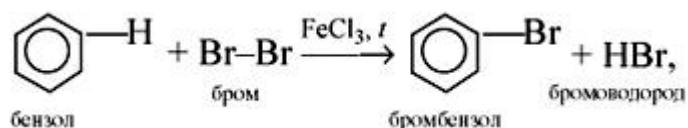
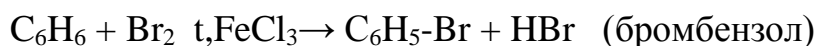
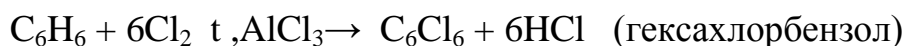
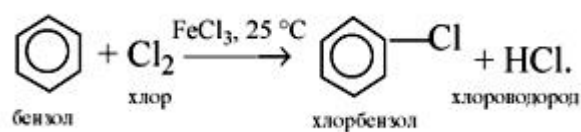
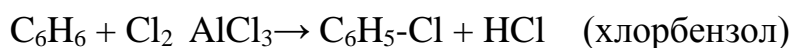
### 3. Полимеризация



## III. РЕАКЦИИ ЗАМЕЩЕНИЯ – ионный механизм (легче, чем у алканов)

### 1. Галогенирование -

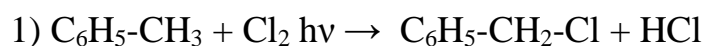
#### а) бензола



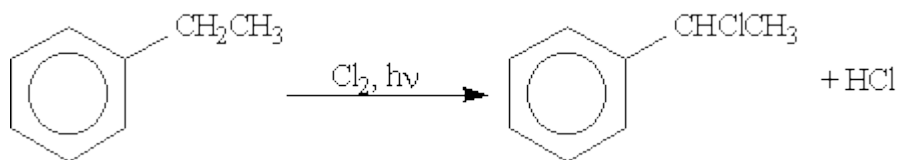
#### б) гомологов бензола при облучении или нагревании

По химическим свойствам алкильные радикалы подобны алканам. Атомы водорода в них замещаются на галоген по свободно-радикальному механизму. Поэтому в отсутствие катализатора при нагревании или УФ-облучении идет радикальная реакция замещения в боковой цепи. Влияние бензольного кольца на алкильные заместители приводит к тому, что замещается всегда атом водорода у атома

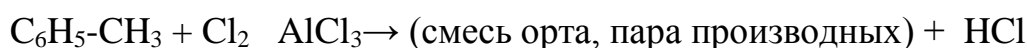
углерода, непосредственно связанного с бензольным кольцом (α-атома углерода).



2)



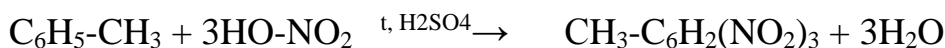
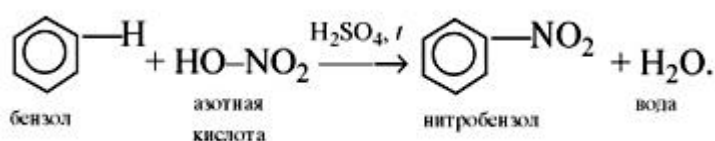
в) гомологов бензола в присутствии катализатора



2. Нитрование (с азотной кислотой)



нитробензол - запах миндаля!



2,4,6-тринитротолуол (тол, тротил)

Применение бензола и его гомологов

Бензол  $\text{C}_6\text{H}_6$  – хороший растворитель. Бензол в качестве добавки улучшает качество моторного топлива. Служит сырьем для получения многих ароматических органических соединений – нитробензола  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$  (растворитель, из него получают анилин), хлорбензола  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ , фенола  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ , стирола и т.д.

Толуол  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$  – растворитель, используется при производстве красителей, лекарственных и взрывчатых веществ (тротил (тол), или 2,4,6-тринитротолуол ТНТ).

Ксилолы  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ . Технический ксилол – смесь трех изомеров (орто-, мета- и пара-ксилолов) – применяется в качестве растворителя и исходного продукта для синтеза многих органических соединений.

Изопропилбензол  $C_6H_5-CH(CH_3)_2$  служит для получения фенола и ацетона. Стирол  $C_6H_5-CH=CH_2$  очень легко полимеризуется, образуя полистирол, а сополимеризуясь с бутадиеном – бутадиенстирольные каучуки.

Таблица №1

«Классификация и номенклатура органических соединений - углеводородов»

Название класса	Общая формула гомологического ряда	Примеры молекулярных формул гомологов класса
Предельные, углеводороды ряда метана (алканы)	$C_nH_{2n+2}$	1. $CH_4$ – метан 2. $C_2H_6$ - этан
Непредельные, углеводороды ряда этилена (алкены)	$C_nH_{2n}$	1. $C_2H_4$ – этилен (этен) 2. $C_3H_6$ – пропилен (пропен)
Непредельные, углеводороды ряда диеновых (алкадиены)	$C_nH_{2n-2}$	$CH_2=CH-CH=CH-CH_2-CH_3$ гексадиен-1,3 $CH_3-CH=CH-CH=CH-CH_3$ гексадиен-2,4
Непредельные, углеводороды ряда ацетиленов (алкины)	$C_nH_{2n-2}$	$HC\equiv CH$ , ацетилен, этин $CH_3-C\equiv CH$ пропин $CH_3-CH_2-C\equiv CH$ бутин-1 $CH_3-C\equiv C-CH_3$ бутин-2
Циклоалканы	$C_nH_{2n}$	$C_3H_6$ – циклопропан, $C_4H_8$ -циклобутан
Ароматические углеводороды (арены)	$C_nH_n$	$C_6H_6$ – бензол, $C_6H_5CH_3$ - толуол (метилбензол)

Таблица №2

«Сравнение характерных химических свойств основных классов углеводородов»

Название класса	Общая формула	Примеры химических реакций
Предельные,	$C_nH_{2n+2}$	1. замещения: $CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Cl$ (хлорметан)



углеводороды ряда метана (алканы)		<p>+ HCl</p> <p>2. окисления: <math>C_3H_8 + 2 O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O</math></p> <p>3. дегидрирования: <math>CH_4 = C_2H_2 + 3 H_2</math></p> <p>4. изомеризации:</p> $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3 \quad CH_3-\overset{\overset{CH_3}{ }}{CH}-CH_3$
Непредельные, углеводороды ряда этилена (алкены)	$C_nH_{2n}$	<p>1. присоединения: <math>CH_3-CH=CH_2 + HOH = CH_3-CH(OH)-CH_3</math>.</p> <p>2. гидрогалогенирование: <math>CH_3-CH=CH_2 + HBr = CH_3-CHBr-CH_3</math></p> <p>3. Галогенирование: <math>CH_2=CH_2 + Br_2 = BrCH_2-CH_2Br</math>.</p> <p>4. Гидрирование: <math>CH_3-CH=CH_2 + H_2 \rightarrow CH_3-CH_2-CH_3</math></p> <p>5. Полимеризации: <math>nCH_2=CHR \rightarrow (-CH_2-CHR-)_n</math></p>
Непредельные, углеводороды ряда диеновых (алкадиены)	$C_nH_{2n-2}$	<p>1. Галогенирование:</p> $CH_2=CH-CH=CH_2 + 2Br_2 \rightarrow \begin{array}{cccc} CH_2-CH-CH-CH_2 \\   \quad   \quad   \quad   \\ Br \quad Br \quad Br \quad Br \end{array}$ <p>1,2,3,4-тетрабромбутан</p> <p>2. Полимеризации:</p> $nCH_2=C(\overset{\overset{CH_3}{ }}{CH})=CH_2 \xrightarrow{t, Ni} (-CH_2-C(\overset{\overset{CH_3}{ }}{CH})=CH-CH_2-)_n$ <p>изопрен <span style="margin-left: 200px;">изопреновый каучук</span></p>
Непредельные, углеводороды ряда ацетилена (алкины)	$C_nH_{2n-2}$	<p>1. галогенирование:</p> $C_2H_2 + 2Br_2 \rightarrow C_2H_2Br_4$ <p>2. гидрогалогенирование:</p> $CH \equiv CH + HCl \xrightarrow{AlCl_3} CH_2=CHCl$ <p>3. гидратация:</p> $CH_3-C \equiv CH + H_2O \xrightarrow{HgSO_4} [CH_3-\overset{\overset{OH}{ }}{C}=CH_2] \rightarrow CH_3-\overset{\overset{O}{  }}{C}-CH_3$ <p style="text-align: right;">Ацетон (кетон)</p> <p>4. реакции Кучерова:</p> $CH_3-C \equiv CH + H_2O \xrightarrow{Hg^{2+}} [CH_3-C(OH)=CH_2] \rightarrow CH_3-CO-CH_3$ <p>5. Полимеризации:</p> $nHC \equiv CH \rightarrow CH_2=CH-C \equiv CH$ <p>или</p> $3HC \equiv CH \rightarrow \text{бензол}$
Циклоалканы	$C_nH_{2n}$	<p>1. присоединения: <span style="float: right;">a)</span></p> $\begin{array}{c} CH_2 \\ / \quad \backslash \\ H_2C-CH_2 \end{array} + Br_2 \rightarrow BrCH_2-CH_2-CH_2$ <p>б)</p> $\begin{array}{cc} H_2C-CH_2 & \\   \quad   & \\ H_2C-CH_2 & \end{array} + H_2 \xrightarrow{t, Ni} CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ <p>в)</p>

		$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 - \text{CH} \\    \quad   \\  \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2  \end{array}  + \text{HBr} \longrightarrow  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\    \quad   \\  \text{Br} \quad \text{H}  \end{array}  $
<p>Ароматически е углеводороды (арены)</p>	<p><b>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub></b></p>	<p>1. Горение (копящее пламя):  <math>2\text{C}_6\text{H}_6 + 15\text{O}_2 \xrightarrow{t} 12\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + Q</math></p> <p>2. Галогенирование  <math>\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6</math> (гексахлорциклогексан - гексахлоран)</p> <p>3. Полимеризации:  <math display="block">  \begin{array}{ccc}  n \text{CH}=\text{CH}_2 &amp; \xrightarrow{t, \text{кат}} &amp; (-\text{CH}-\text{CH}_2-)_n \\    &amp; &amp;   \\  \text{C}_6\text{H}_5 &amp; &amp; \text{C}_6\text{H}_5 \\  \text{стирол} &amp; &amp; \text{полистирол}  \end{array}  </math></p> <p>4. Нитрование (с азотной кислотой)  <math>\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HO}-\text{NO}_2 \xrightarrow{t, \text{H}_2\text{SO}_4} \text{C}_6\text{H}_5-\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}</math>, или</p> <p><math>\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_3 + 3\text{HO}-\text{NO}_2 \xrightarrow{t, \text{H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3 + 3\text{H}_2\text{O}</math></p>