

***Мы все к двадцатилетнему  
возрасту были бы великими  
химиками, математиками,  
ботаниками, зоологами, если  
бы в детстве жгучее  
любопытство ко всему  
окружающему не ослабевало  
бы в нас***

***К.И. Чуковский***

**Химия**  
**(Органическая**  
**химия)**

# Котов Александр Дмитриевич



- Доктор химических наук
- Профессор
- ***kotad@mail.ru***  
***kot@bio.uniyar.ac.ru***

# Органическая химия

- **Лекции** – 16 ч (8 лекций)
- **Лабораторные работы** – 32 ч  
(16 занятий)  
(халат, перчатки, правила ТБ)
- **Экзамен** – НХ + ОХ + экзамен  
(ОХ - рейтинговая система)

# Рейтинг

- **Лекции** – до 40 баллов (8×5)
- **Лабораторные занятия** (отчеты) – до 300 баллов (15×20)
- **Домашние** самостоятельные работы – до 80 баллов (16×5)
- **Контрольные работы** – до 160 баллов (16×10)
- **Творческие** дополнительные задания - до 100 баллов

# Органическая химия

**Штрафы** – прогулы, не  
соблюдение ТБ

**Допуск** к экзамену если  $> 250$   
баллов

*Г.С. Миронов*

*В.Ю. Орлов*

*А.Д. Котов*

**Курс  
органической химии  
для биологов и экологов**

*Учебное пособие*

# Органическая химия

В электронном виде:

- *Справочники*
- *Учебники*
- *Программа курса*
- *Оформление отчета*



# Лекция №1

# Правила поведения на лекции

- *Не опаздывать!*
- *Поздороваться с лектором!*
- *Отключить телефоны*
- *Не шуметь*
- *Не отвлекать других слушателей*
- *Не спать (или хотя бы не храпеть)*
- *Стремиться понять лектора*

# Классификация органических соединений

Принципы  
классификации

По строению  
Углеродного  
скелета

По  
Функциональным  
группам

По  
Гомологическим  
рядам

# По строению углеродного скелета



# По функциональным группам

- углеводороды (**R-H**)
- галогенуглеводороды (**R-Hal**)
- спирты (**R-OH**)
- альдегиды (**R-CH=O**)
- кетоны (**RR'C=O**)
- кислоты (**R-COOH**)

# По функциональным группам

- простые эфиры ( $\text{ROR}'$ )
- сложные эфиры ( $\text{RCOOR}'$ )
- амины ( $\text{R-NH}_2$ )
- нитросоединения ( $\text{R-NO}_2$ )
- нитрилы ( $\text{R-C}\equiv\text{N}$ )
- сульфокислоты ( $\text{R-SO}_3\text{H}$ )
- тиоспирты или тиолы ( $\text{R-SH}$ )

# По гомологическим рядам

- **Ряд соединений, сходных по химическим свойствам, имеющих общую эмпирическую формулу, в которой каждый последующий член отличается от предыдущего на группу  $\text{CH}_2$  (гомологическая разность), называется гомологическим рядом**

# По гомологическим рядам

- Алканы  $C_n H_{2n+2}$
- Циклоалканы  $C_n H_{2n}$
- Алкены  $C_n H_{2n}$
- Алкадиены  $C_n H_{2n-2}$
- Алкины  $C_n H_{2n-2}$
- Арены (ароматические):

ряд бензола  $C_n H_{2n-6}$

полиядерные и конденсированные



# Гомологические ряды

- Предельные спирты  $C_n H_{2n+1} OH$
- Предельные кислоты  
 $C_n H_{2n+1} COOH$
- Ароматические кислоты  
ряда бензола  $C_n H_{2n-7} COOH$

# Номенклатура органических соединений

- ***Тривиальная***
- ***Рациональная***
- ***Систематическая***  
(заместительная и радикально – функциональная)

# Систематическая номенклатура

$\text{CH}_4$  - метан,  $\text{C}_2\text{H}_6$  - этан,

$\text{C}_3\text{H}_8$  - пропан,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  - бутан,

$\text{C}_5\text{H}_{12}$  - пентан,  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  - гексан,

$\text{C}_7\text{H}_{16}$  - гептан,  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  - октан,

$\text{C}_9\text{H}_{20}$  - нонан,  $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$  - декан

$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$  - тетрадекан

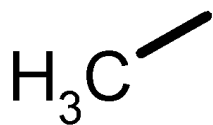
# Систематическая номенклатура

- Выбирается ***самая длинная*** неразветвленная ***углерод-углеродная цепь***
- ***Нумеруются*** атомы углерода этой цепи с того конца, к которому ближе разветвление цепи (заместители, кратная связь)

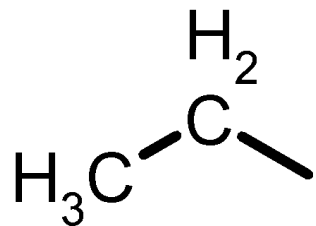
# Систематическая номенклатура

- **Одинаковые заместители группируются** (указываются в названии один раз)
- В названии **цифрой** (цифрами) **указывается** место радикала (заместителя), **называется заместитель и его количество**, а затем **называется углеводород**, которому отвечает самая длинная углерод-углеродная цепь

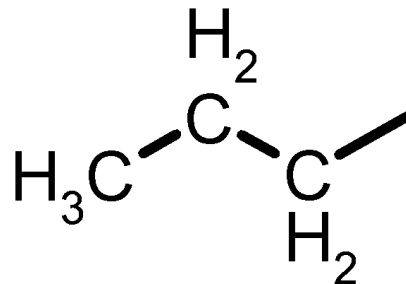
# Названия радикалов



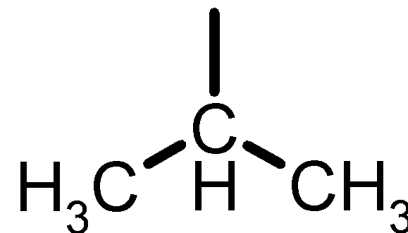
Метил



Этил

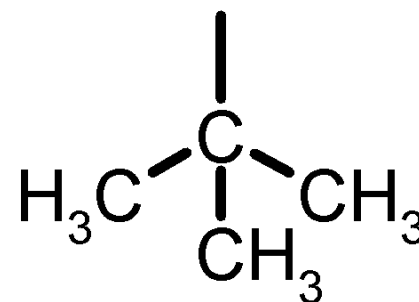
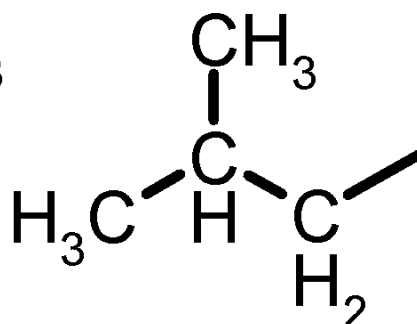
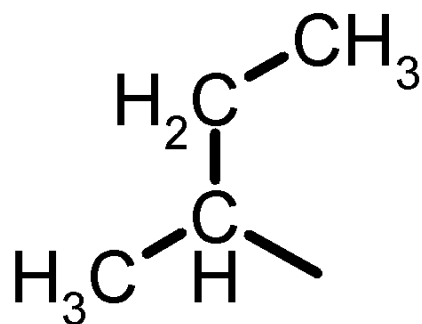
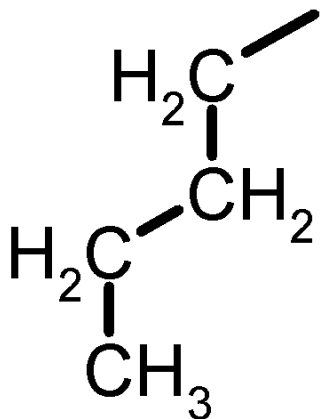


Пропил



Изопропил

# Названия радикалов



Бутил

бутил

Вторичный

Изобутил

бутил

Третичный

# Систематическая номенклатура

- В названиях соединений с *кратными* углерод-углеродными *связями* заменяют суффикс “ан” на “ен” или “ин”
- Для некоторых классов соединений к названию основной цепи добавляют суффиксы «**ол**», «**он**» и др.



# Теория строения органических соединений

- *Химическое строение* – последовательность соединения атомов в молекуле
- Атомы в молекуле соединяются не произвольно, а в определенном порядке
- Связь атомов осуществляется *согласно их валентности*

# Теория строения органических соединений

- *Атом углерода* в подавляющем большинстве соединений *4-х валентен*
- Атомы углерода способны соединяться, образуя *линейные, разветвленные* и *замкнутые цепи*

# Теория строения органических соединений

- *Свойства* вещества *определяются* его *химическим строением*
- Каждому *веществу* присуща только *одна определенная структура*
- *Атомы* и группы атомов в молекуле *взаимно влияют друг на друга*

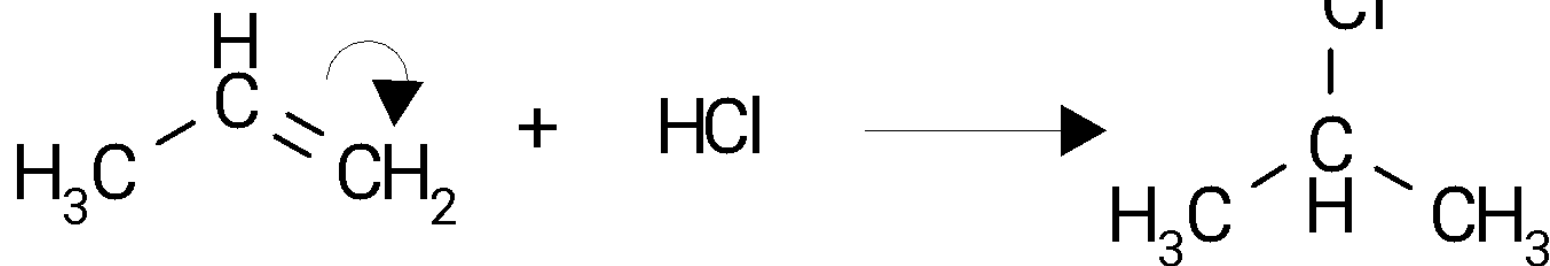
# Стереохимическая теория

- Семидесятые годы XIX века
- Теория ***пространственного расположения атомов в молекулах***
- На ее основе было объяснено ***явление пространственной изомерии***

# Электронная теория Льюиса

- Начало XX века
- Дала **объяснение влиянию атомов** и групп атомов в молекулах друг на друга
- Это влияние заключается в **смещении электронной плотности** от одних атомов к другим

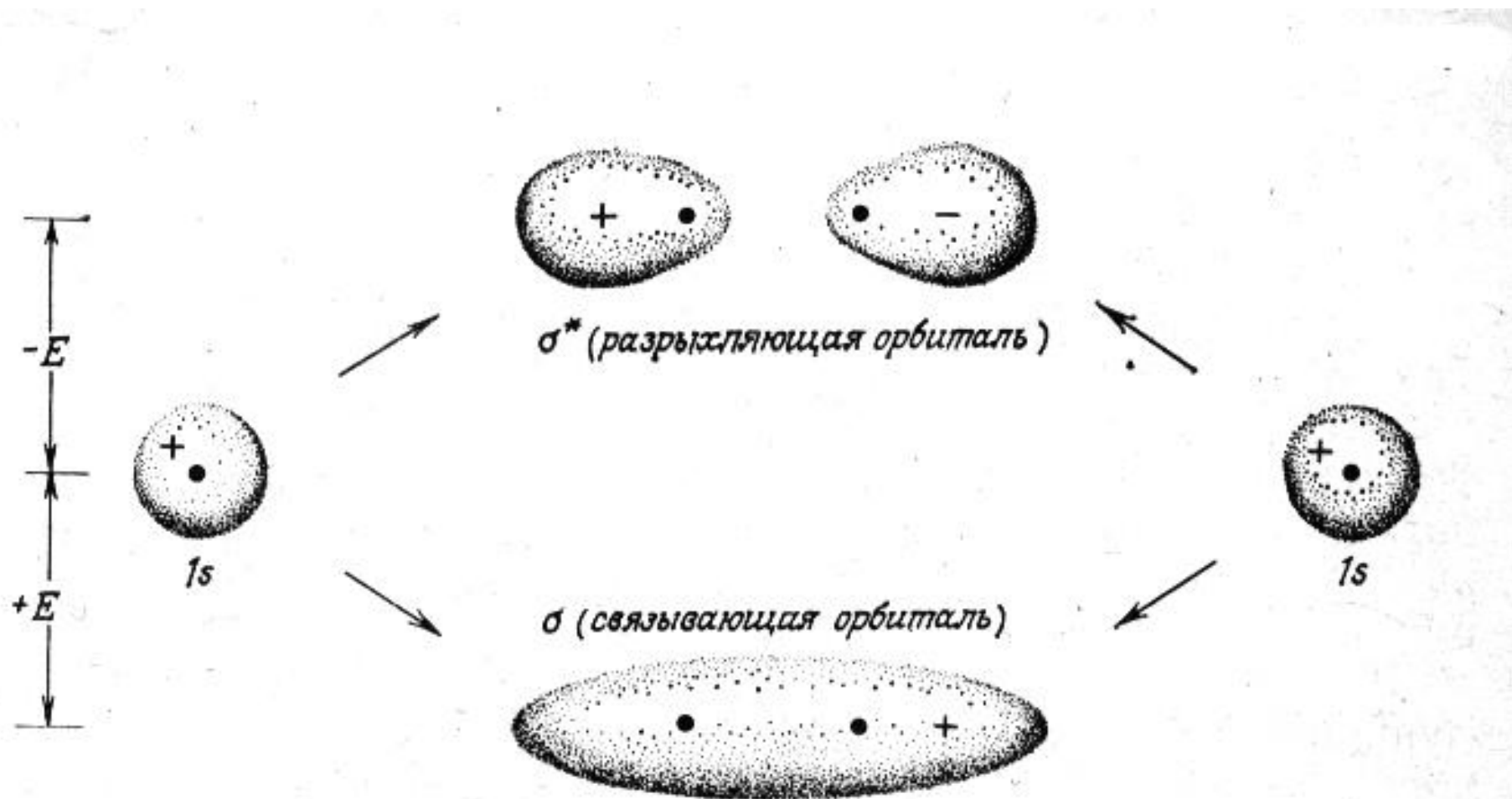
# Электронная теория Льюиса



# Квантово-химические методы

- Развитие теории химического строения
- Квантово-механические методы описания химических связей в органических соединениях
- ***Химическая связь*** возникает в результате ***взаимодействия электронов и ядер***

# Квантово-химические методы





# Изомерия

- ***Изомеры*** - это соединения, имеющие ***одинаковый состав***, но ***различное строение*** и вследствие этого разные физико-химические свойства

# Изомеры

- **Структурные** (отличаются друг от друга способом связывания атомов)
- **Пространственные**  
(соединения, имеющие одинаковый способ связывания атомов, но различное расположение атомов и групп в пространстве)

# Структурная изомерия

- Изомерия *углеродного скелета*
- Изомерия *положения кратной связи*
- Изомерия *положения функциональной группы*
- *Межклассовая* изомерия

# Структурная изомерия

## *Изомерия положения функциональной группы*



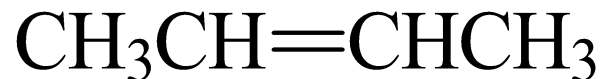
**бутанол-1**



**бутанол-2**



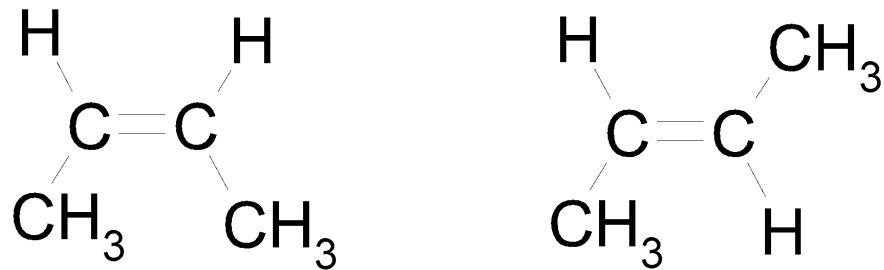
**бутен-1**



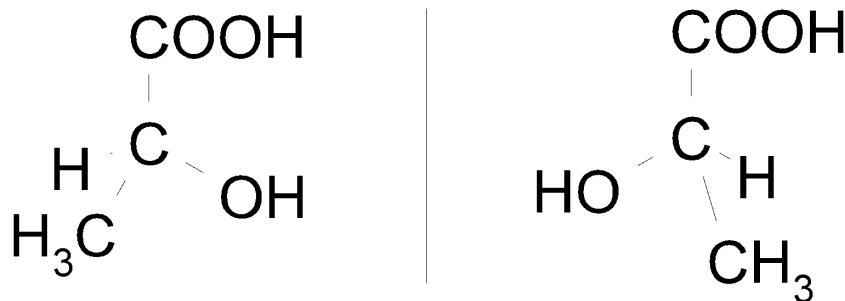
**бутен-2**

# Пространственная изомерия

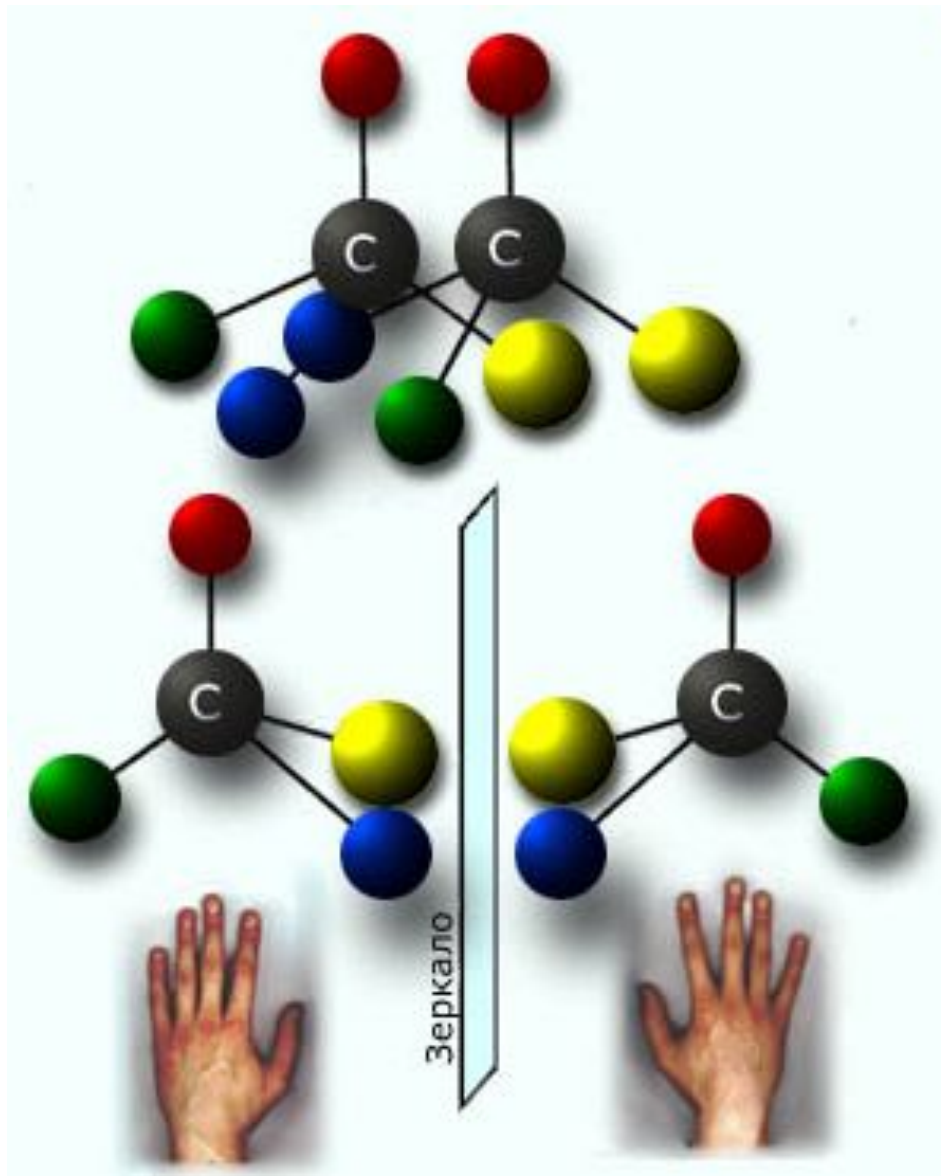
- **Геометрическая** или *цис-транс* изомерия



- **Оптическая** изомерия

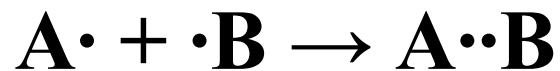


# Оптическая изомерия

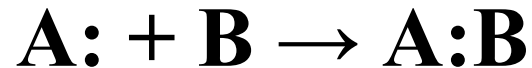


# Химическая связь в органических соединениях

- Ковалентная связь – образуется *обобщением пары валентных электронов с противоположными спинами:*



*Донорно-акцепторный* механизм образования



*Семиполярная* СВЯЗЬ



# Химическая связь в органических соединениях

## Ковалентная связь:

- ***$\sigma$ -связь*** – перекрывание орбиталей вдоль линии, связывающей центры атомов





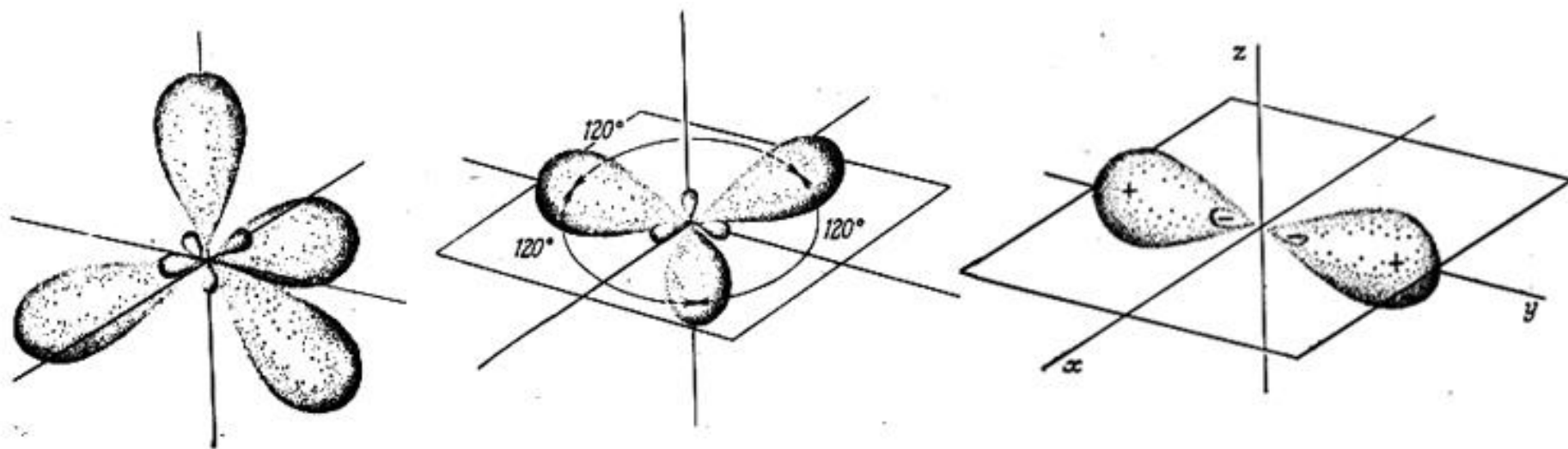
# Химическая связь в органических соединениях

## Ковалентная связь:

- *$\pi$ -связь* - боковое перекрывания двух  $2p$ -орбиталей

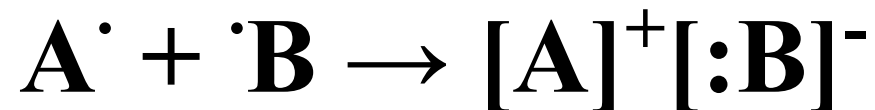


# Валентные состояния атома углерода в органических соединениях



# Химическая связь в органических соединениях

- Ионная связь – притяжение разноименных заряженных ионов, образующихся за счет передачи неспаренного электрона одного атома другому



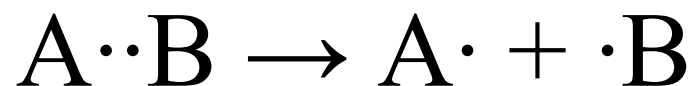
# Химическая связь в органических соединениях

- *Водородная связь* – химическая связь между атомами водорода, связанными с *сильно электроотрицательными атомами* (чаще всего атомами кислорода), и атомами, имеющими неподеленную электронную пару:



# Типы разрыва ковалентной связи

- *Гомолитический* (радикальный)

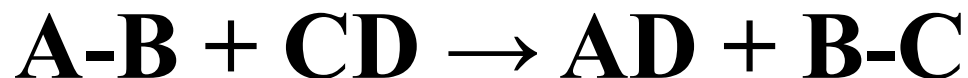


- *Гетеролитический* (ионный)



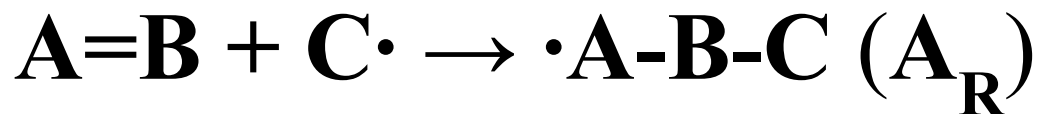
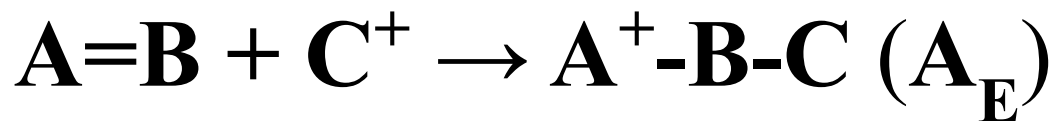
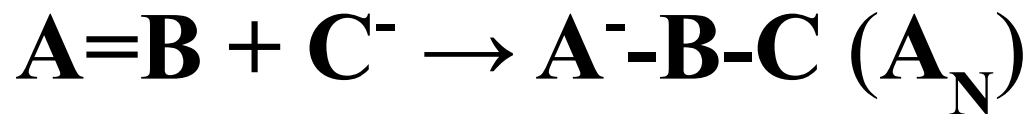
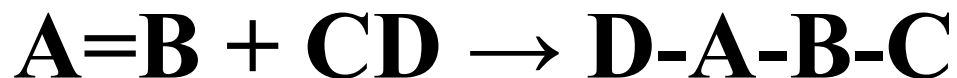
# Классификация органических реакций

- Реакции *замещения*



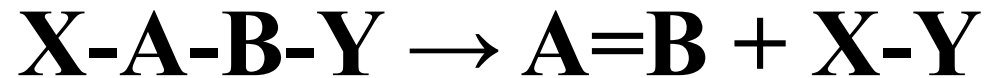
# Классификация органических реакций

- Реакции *присоединения*



# Классификация органических реакций

- Реакции *элиминирования*  
(отщепления) *E*





# Классификация органических реакций

- По *молекулярности*:
  - *Мономолекулярные* ( $S_N1$ , E1)
  - *Бимолекулярные* ( $S_N2$ , E2)

Определяется *числом частиц*,  
участвующих *в самой медленной*  
*стадии* процесса

# **Алканы**

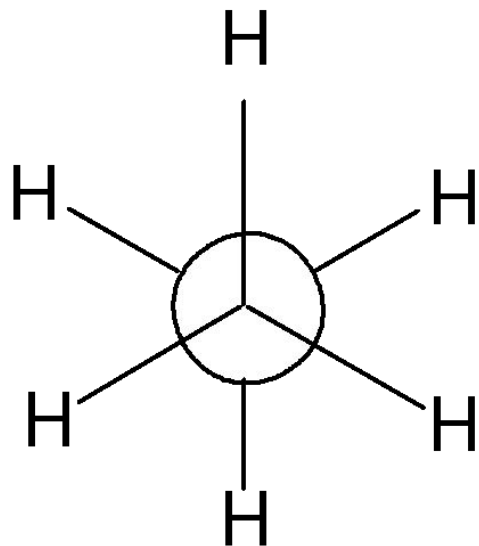
**(предельные углеводороды, парафины)**

$C_n H_{2n+2}$   
***sp*<sup>3</sup>-гибридизация**

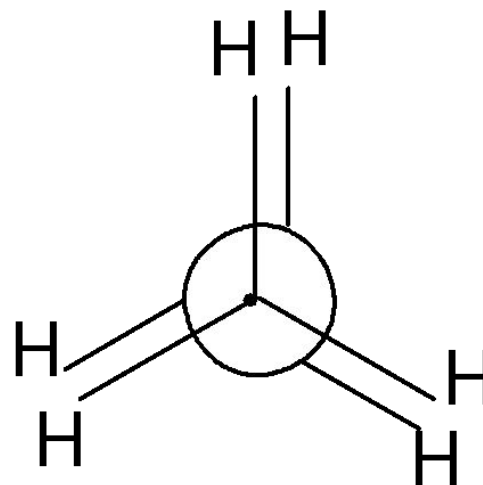
# Алканы

- **$\sigma$ -связи** между атомами углерода обладают цилиндрической симметрией (0,154 нм)
- группы ***вращаются*** вокруг углерод-углеродной связи почти свободно
- возможны различные расположения атомов в пространстве, называемые ***конформациями***

# Этан



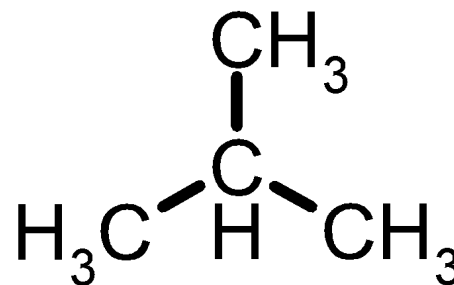
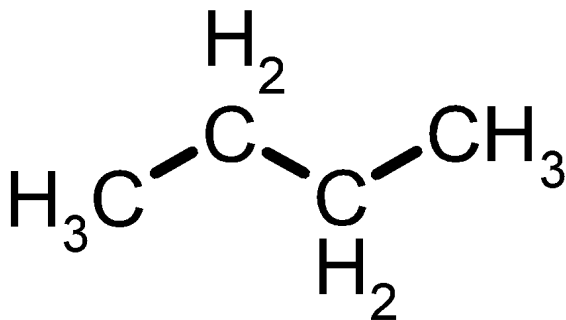
заторможенная  
конформация



заслоненная  
конформация

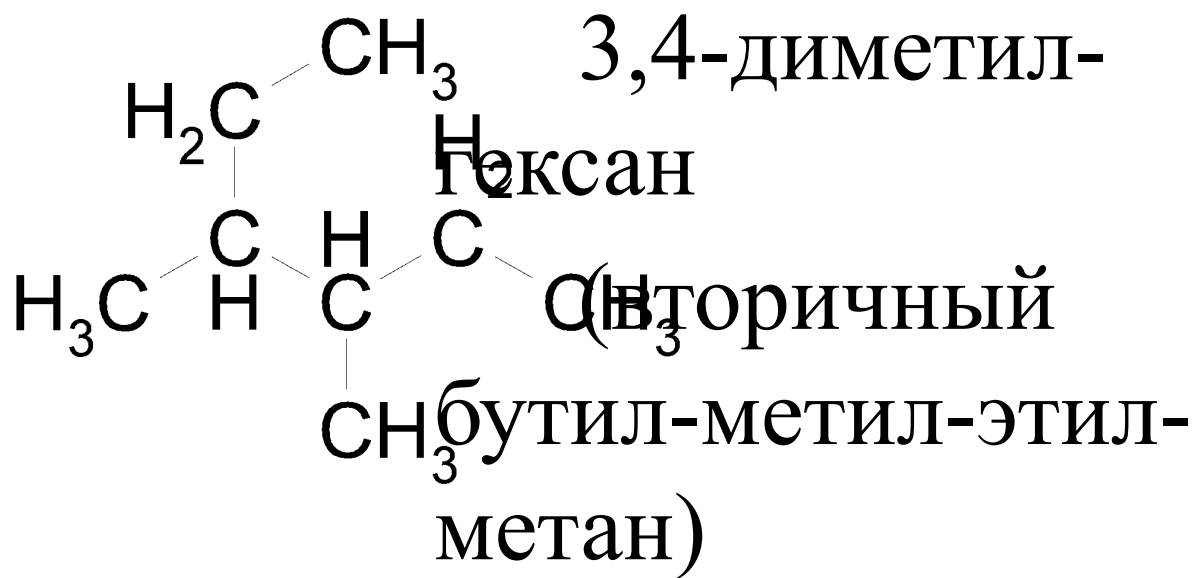
# Алканы

- Изомерия: углеродного скелета



- Число изомеров для C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> равно 3, для C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> – 5, C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> – 9, C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> – 75, C<sub>20</sub>H<sub>42</sub> – 336319

# Номенклатура



# Способы получения алканов

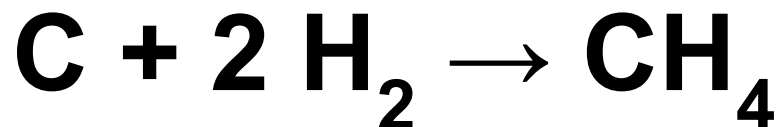
## Получение в промышленности метана и других алканов:

- **Фракционирование**  
природного **газа**
- Фракционирование перегонкой  
углеводородов **нефти**

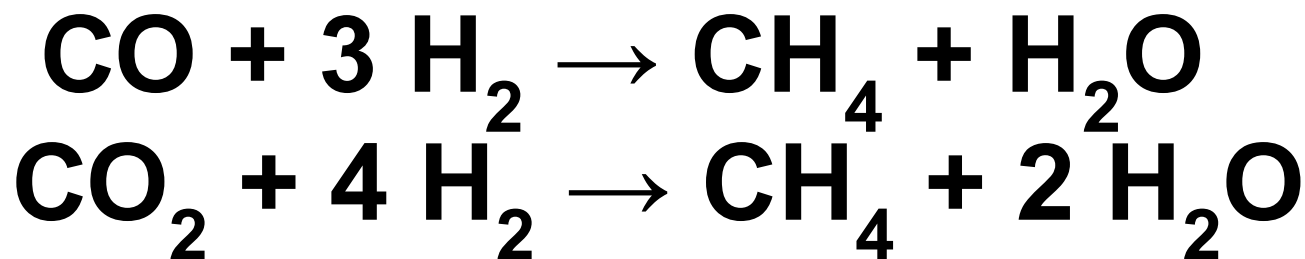


# Получение метана

- Синтез из элементов при высокой температуре (вольтова дуга)

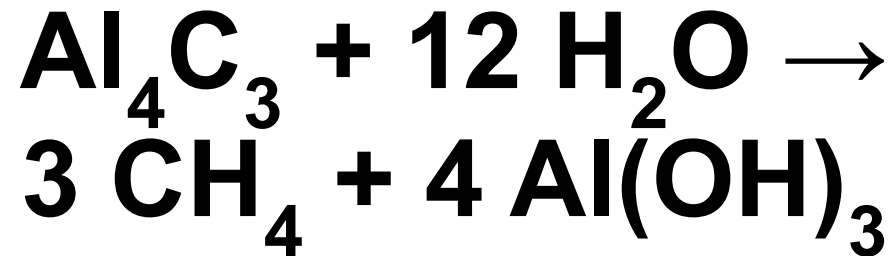


- Восстановлением на никелевом катализаторе при 250-400°C

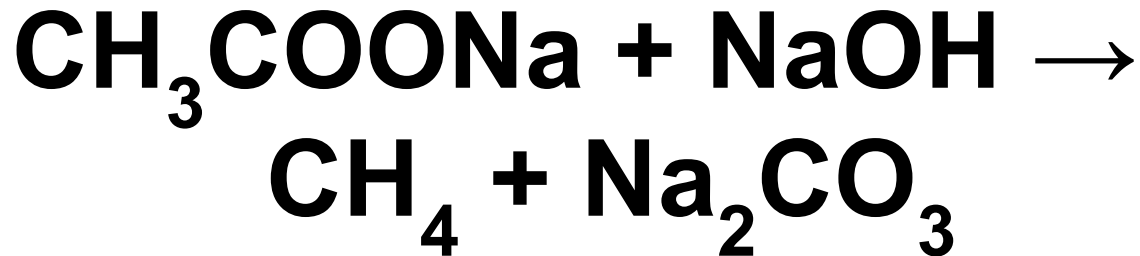


# Получение метана

- Гидролизом карбида алюминия

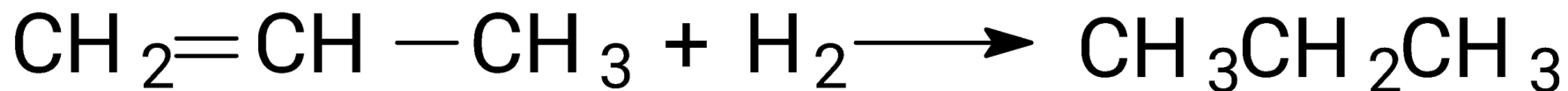


- Сплавление ацетата натрия со щелочью



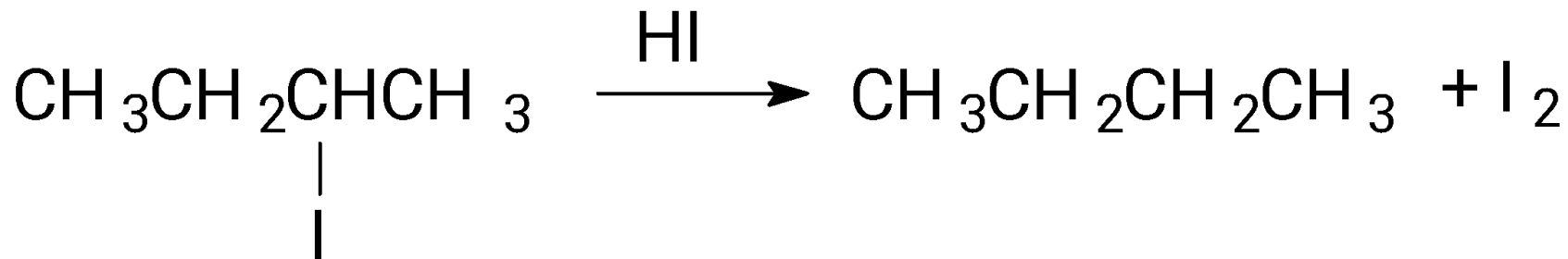
# Способы получения

- *Гидрирование алкенов* протекает под давлением водорода в присутствии катализатора (Pt, Pd или Ni)



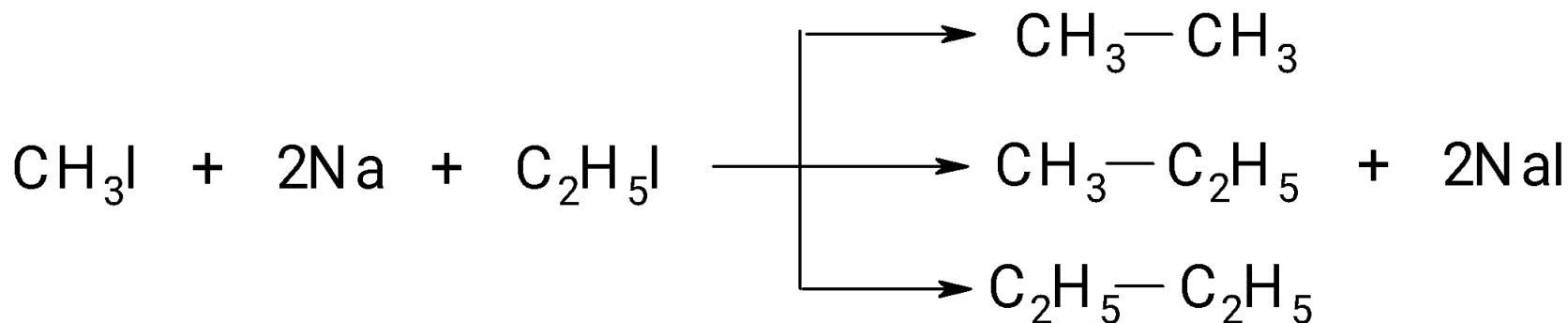
# Способы получения

- Восстановление алкилгалогенидов

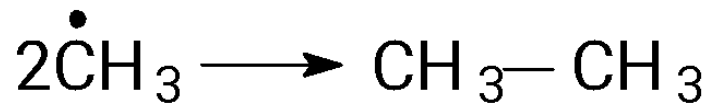
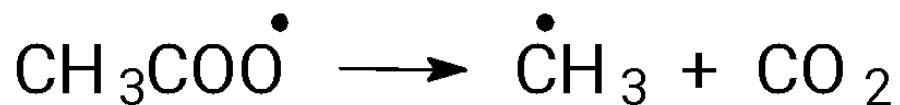
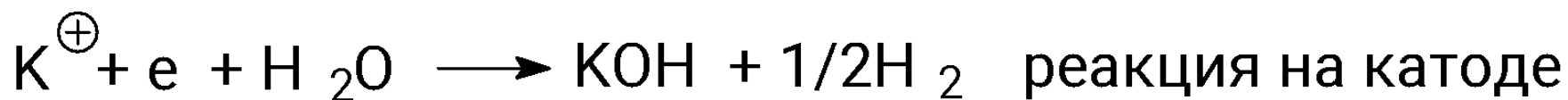
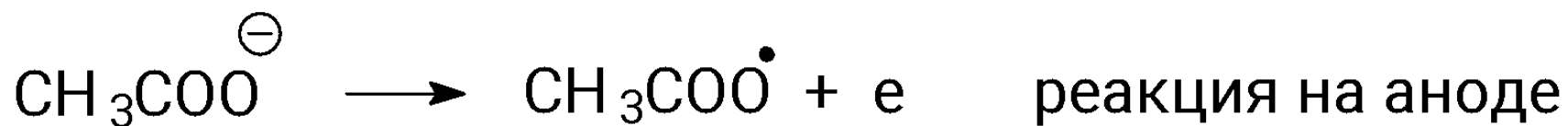


# Способы получения

- Реакция Вюрца (только из **первичных** алкилгалогенидов)



# Синтез Кольбе



# Физические свойства

- $C_1$ - $C_4$  при обычной температуре – *газы*
- $C_5$ - $C_{15}$  – *жидкости*
- с  $C_{16}$  – *твердые вещества*
- Плотность лежит в пределах 0.4-0.7 г/мл
- Растворимость в воде ничтожна

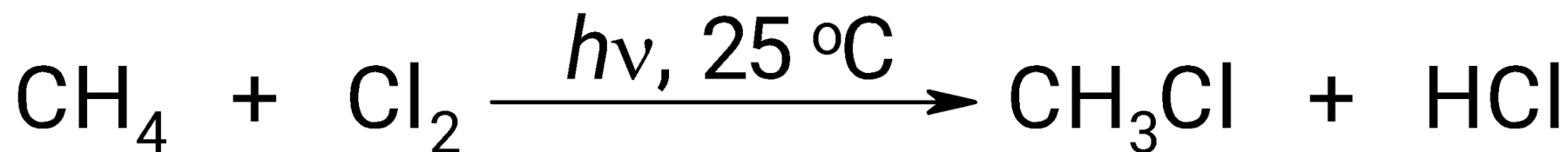
# Химические свойства

- Нечувствительны к ионным реагентам
- Инертны по отношению к кислотам, основаниям, окислителям
- Наиболее характерным свойством является **радикальное замещение** незаряженного атома водорода при действии незаряженных радикальных реагентов



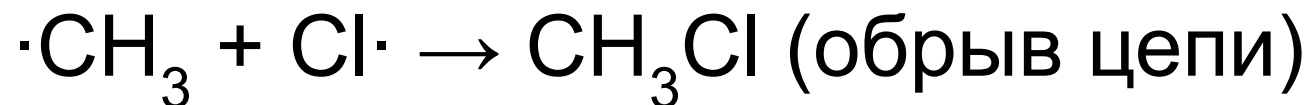
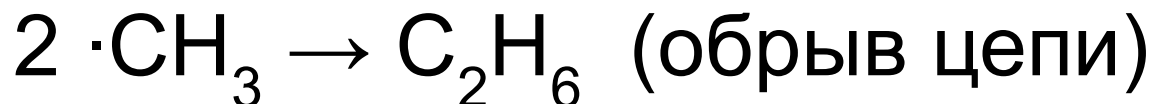
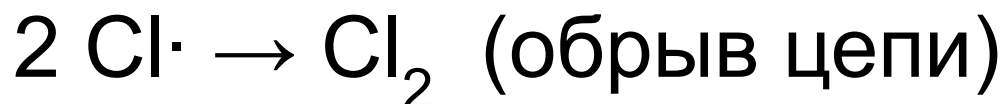
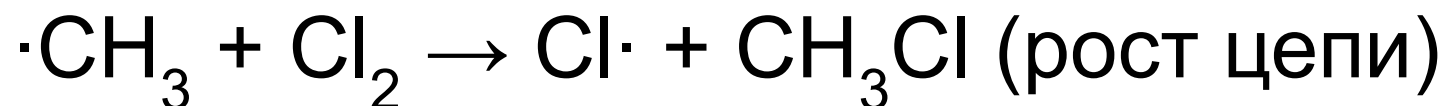
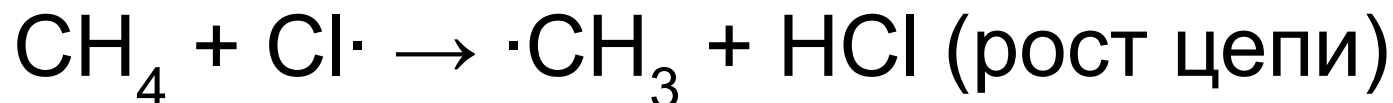
# Галогенирование

Замещение атомов водорода на галоген - наиболее характерная реакция алканов

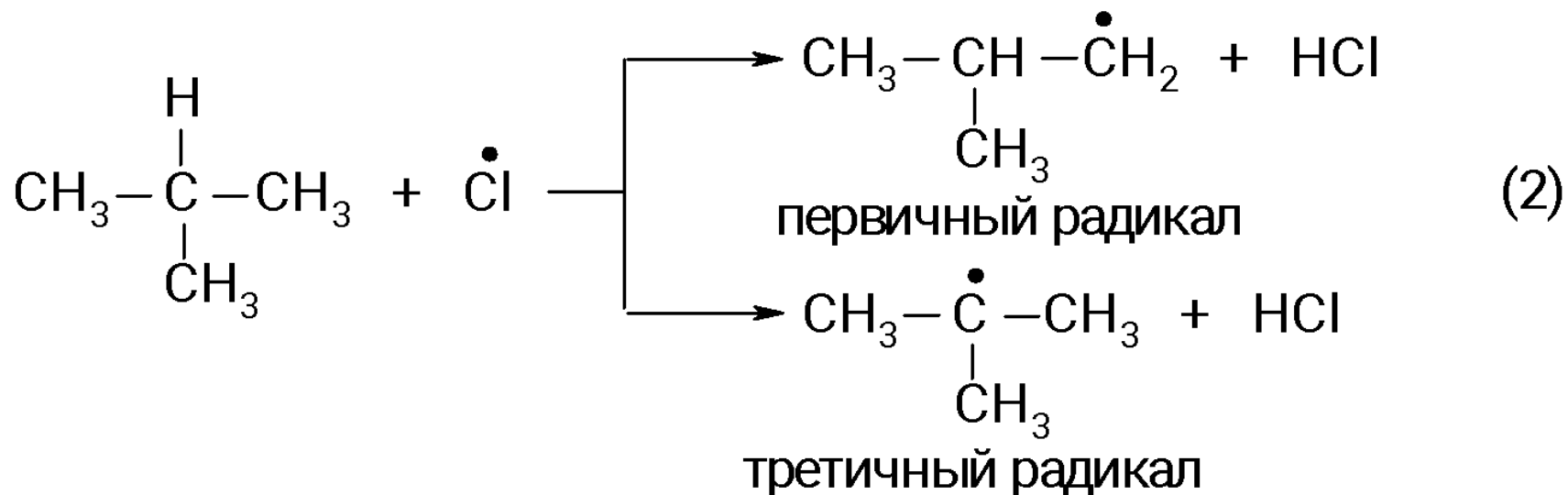


# Механизм хлорирования

•  $S_R$



# Галогенирование высших алканов



# Устойчивость радикалов

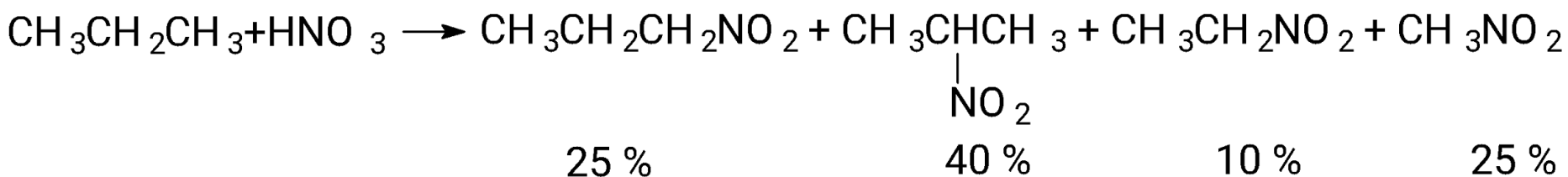
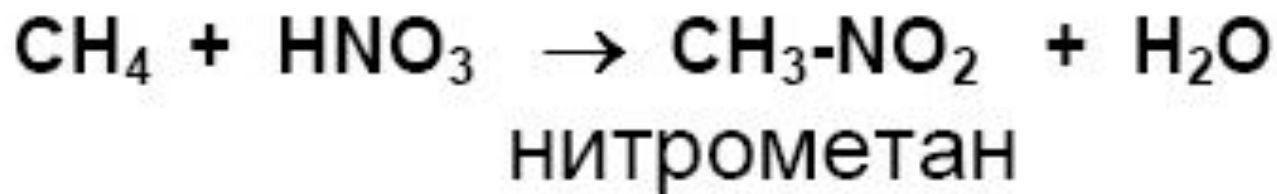
третичный >

вторичный >

первичный >

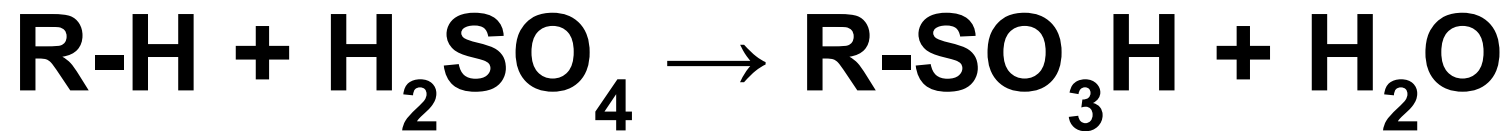


# Нитрование алканов

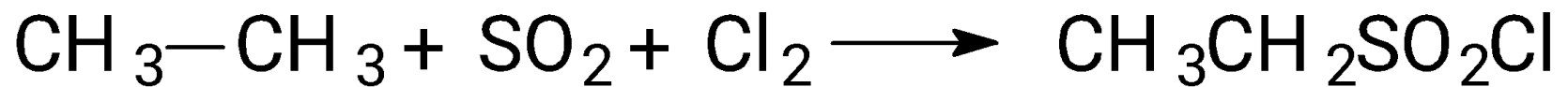
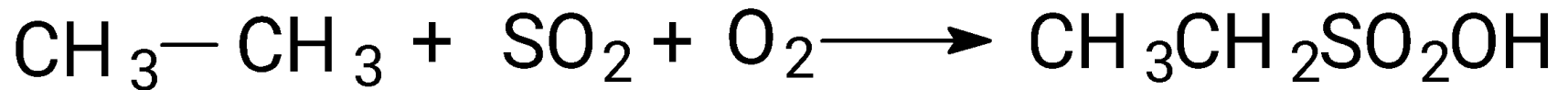


# Сульфирование

- Серная кислота при комнатной температуре не действует на алканы, а при нагревании она действует как окислитель. Дымящая серная кислота с высшими парафинами образует сульфокислоты:



# Сульфоокисление и сульfoxлорирование

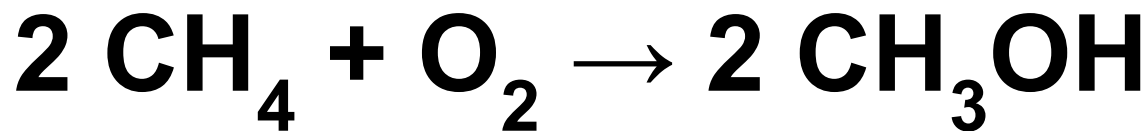
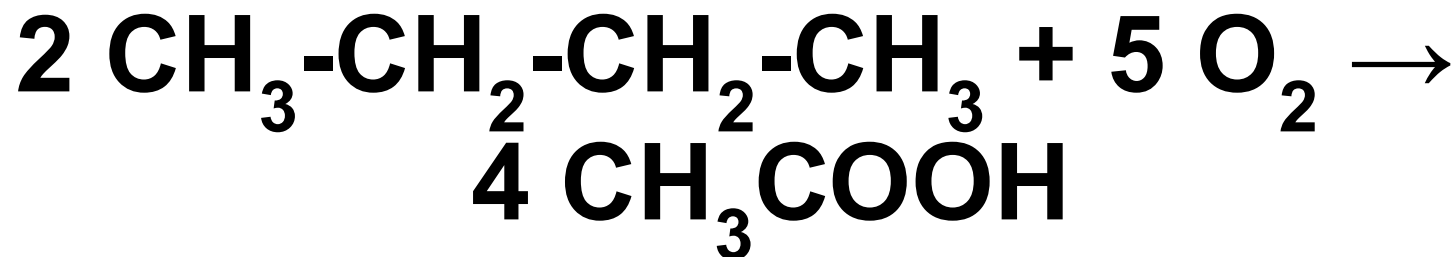
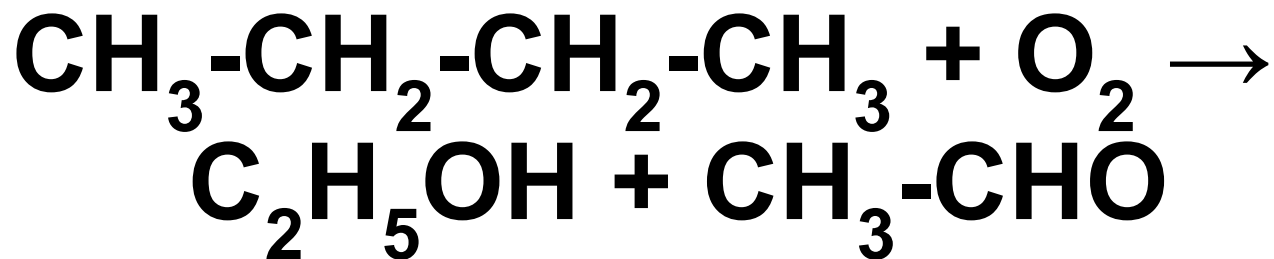


# Окисление

- Кислород воздуха,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и др., окисляют парафины только ***при высоких температурах*** с разрывом углеродной цепи и образованием в основном кислот
- Идет также процесс декарбоксилирования с выделением  $\text{CO}_2$

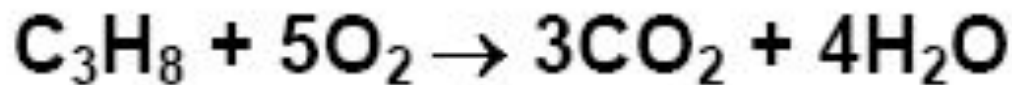
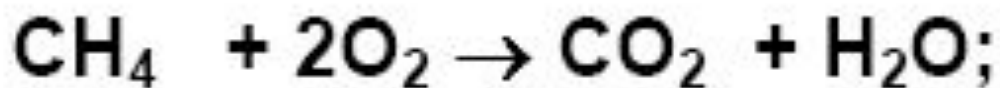


# Окисление



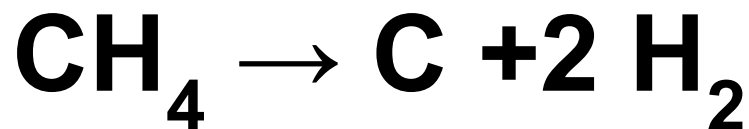
# Горение

- Требуется поджигания, или искры
- Смеси алканов (особенно метана) с воздухом (1:10) чрезвычайно взрывоопасны (причина взрывов на шахтах)



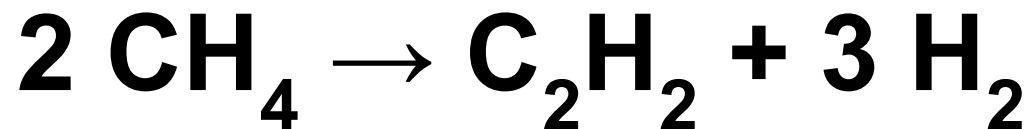
# Термический и каталитический крекинг

- При температурах выше 1000°C все предельные углеводороды распадаются на углерод и водород (производство дешевой газовой сажи и водорода)



# Термический и каталитический крекинг

- В определенных условиях удастся отделять промежуточные продукты (ацетилен получают из метана)



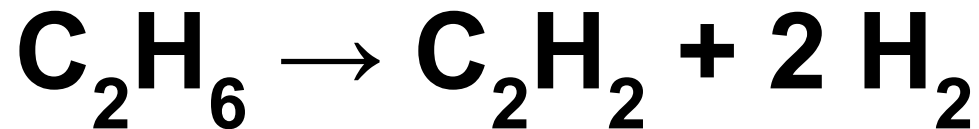
# Термический и каталитический крекинг



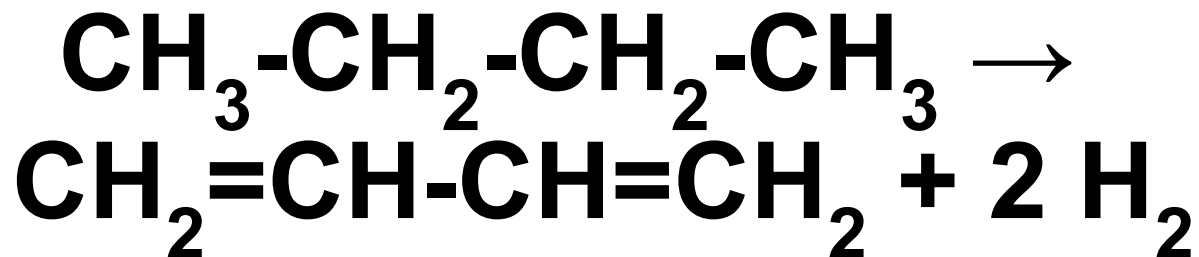
- Введение катализатора в процесс может сильно изменить направление реакции

# Каталитический крекинг

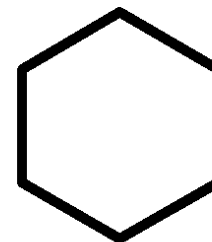
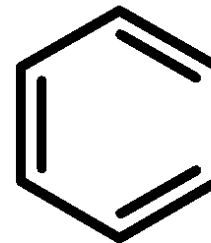
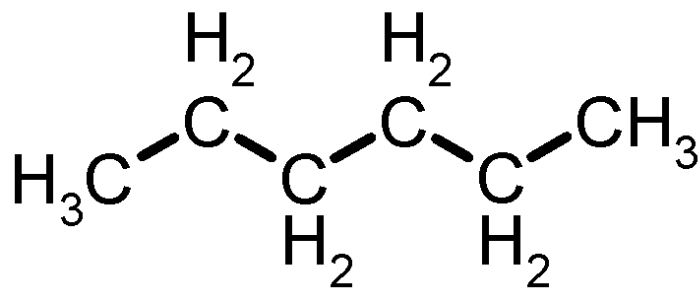
- При каталитическом крекинге этана обычно образуется ацетилен



- Из бутана получают бутадиен, а из 2-метилбутана - изопрен



# Каталитический крекинг



# Реакции изомеризации

- В присутствии катализаторов ( $\text{AlCl}_3$ ) нормальные алканы могут превращаться в алканы с разветвленной цепью:





# Применение алканов

- Газообразное и жидкое *топливо*
- *Смазочные материалы*
- *Сырьё* для получения сажи, ацетилена, высших синтетических кислот и др.

**Алкены  
(этиленовые  
углеводороды или  
олефины)**



# Номенклатура

- $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  этен, этилен
- $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$  пропен, метилэтилен, пропилен
- $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  1-бутен, этилэтилен, бутилен
- $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$  2-бутен, симметричный диметилэтилен, псевдобутилен

# Изомерия

## Структурная изомерия

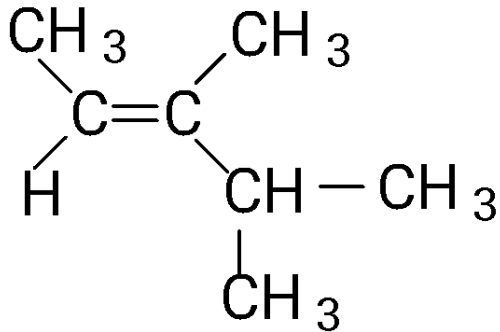
- Углеродного *скелета*
- Положения *двойной связи*  
 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  (бутен-1)  
 $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$  (бутен-2)
- *Межклассовая* (с циклоалканами)

## Пространственная изомерия

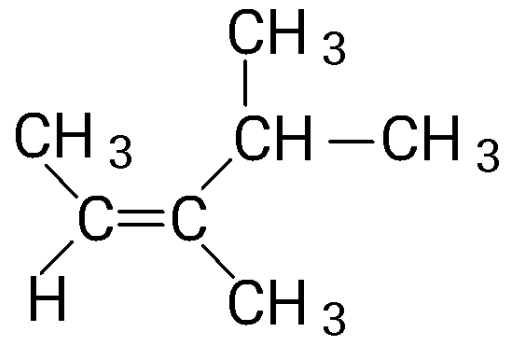
- *Геометрическая*

# Изомерия

- Геометрическая изомерия (*цис-транс*)

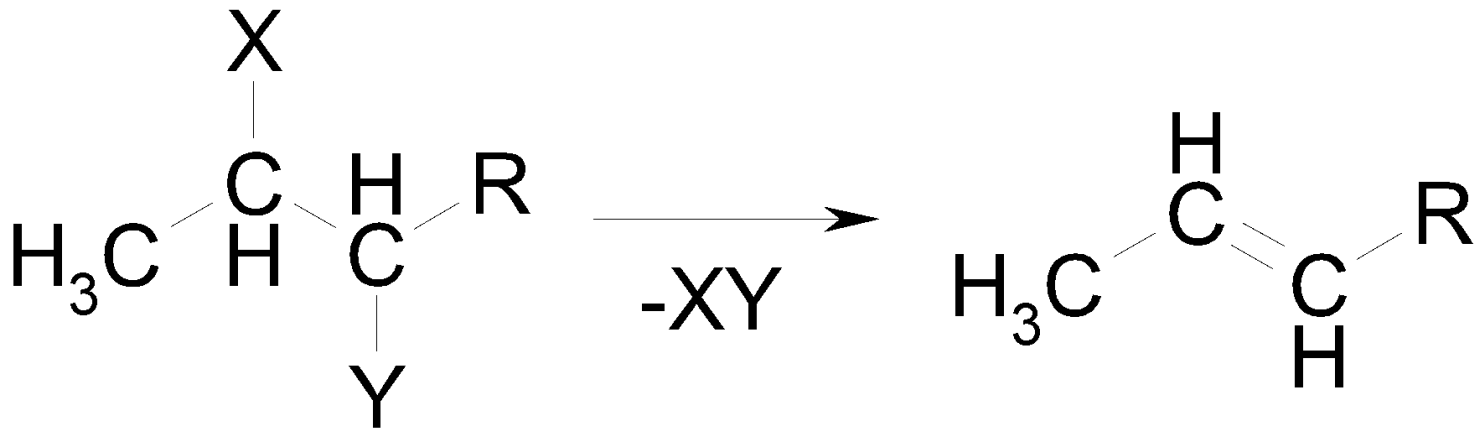


(E)-3,4-диметил-2-пентен



(Z)-3,4-диметил-2-пентен

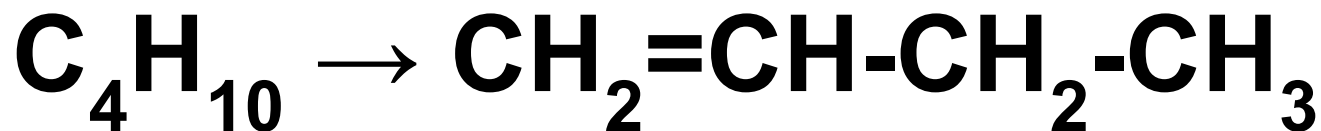
# Получение алкенов



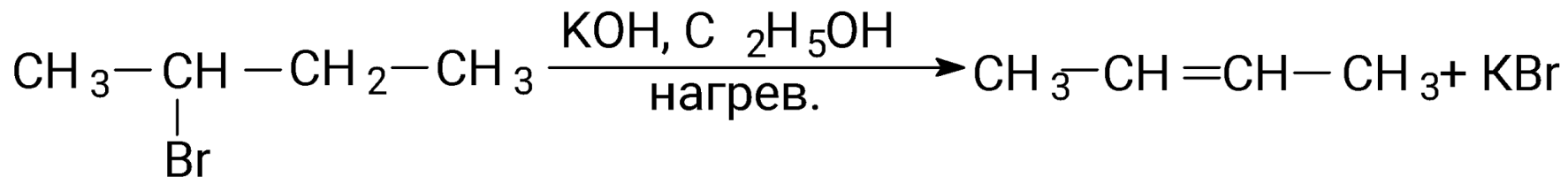
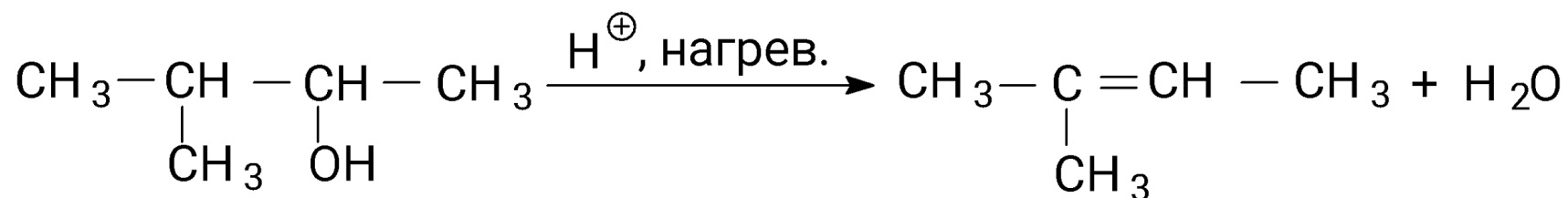
# Способы получения

- *Дегидрогенизацией*

предельных углеводородов на окиси хрома (катализатор):



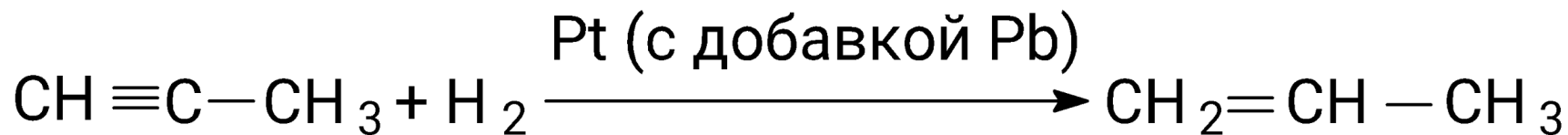
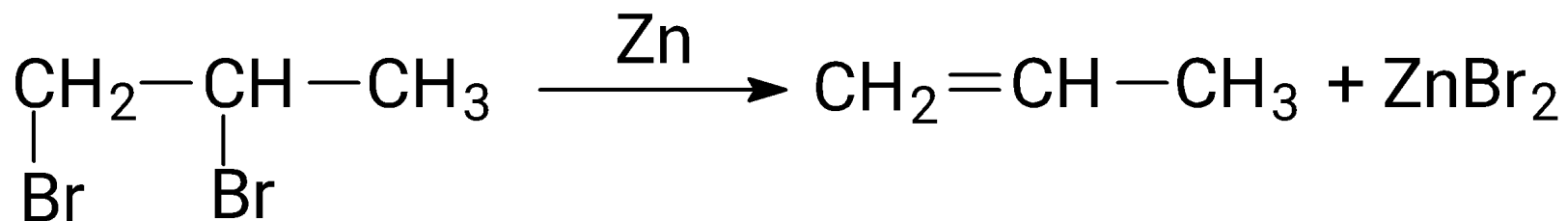
# Способы получения





- Отщепление воды и галогенводородов определяется **правилом Зайцева**: водород отщепляется от ближайшего углерода наименее гидрогенизированного

# Способы получения



# Физические свойства

- $C_2-C_4$  – газы,  
 $C_5-C_{17}$  – жидкости,  
далее - твердые вещества
- Перемещение двойной связи в центр молекулы вызывает повышение температуры кипения олефина

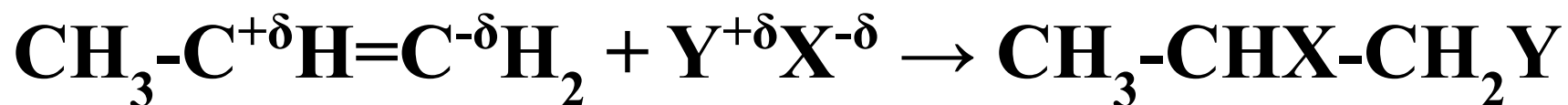
# Физические свойства

- *Цис*-изомеры кипят при более высокой температуре, чем *транс*-изомеры
- ***Плотность*** олефинов меньше единицы, но больше, чем соответствующих парафинов
- ***Растворимость в воде*** мала, но выше, чем у парафинов

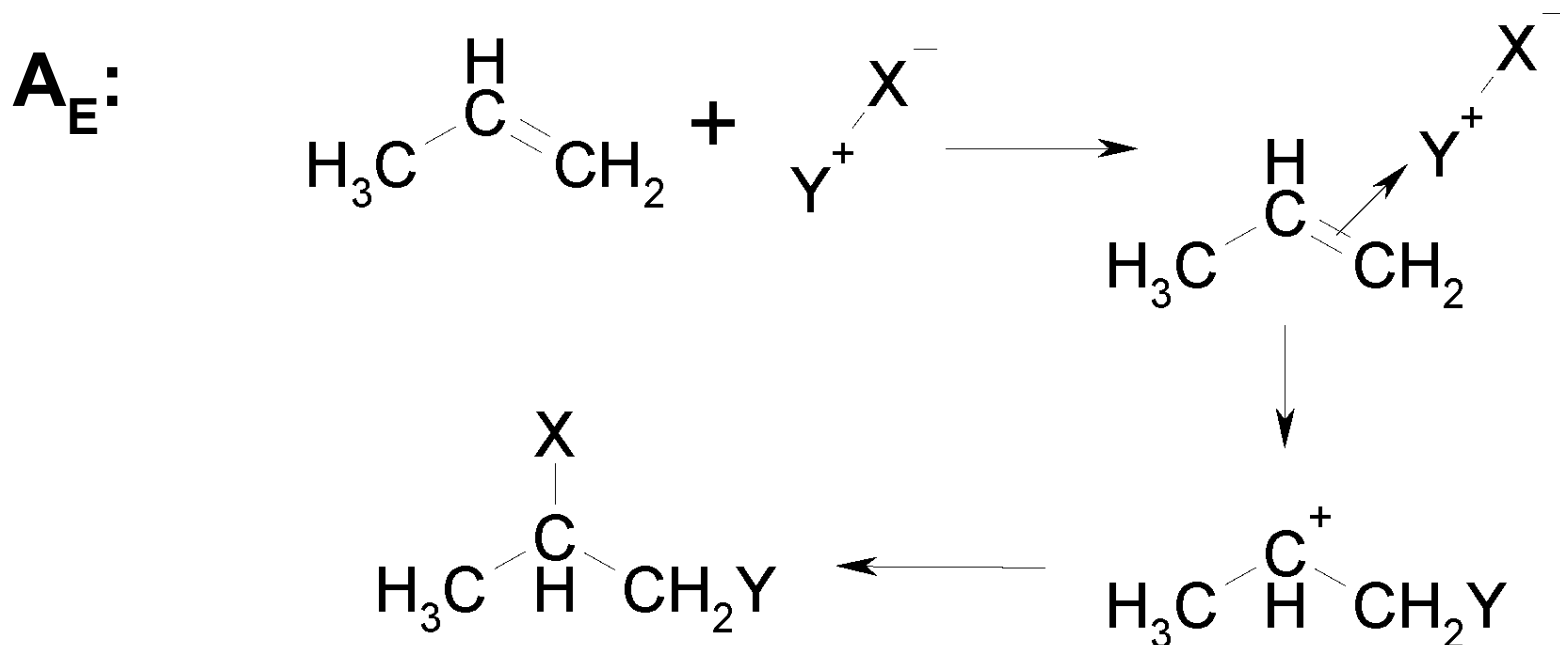
# Химические свойства

- Реакции *присоединения*
- Реакции *окисления*
- Реакции *полимеризации*

# Реакции присоединения



*правило Марковникова*



# Электрофильное присоединение

- ***Правило Марковникова:***

***водород присоединяется по месту разрыва двойной связи преимущественно к наиболее гидrogenизированному атому углерода***

# Устойчивость карбокатионов

- Чем больше распределен (делокализован) заряд в карбокатионе, тем устойчивее карбокатион

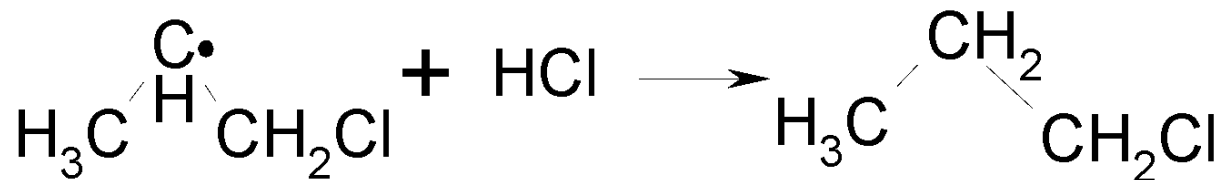
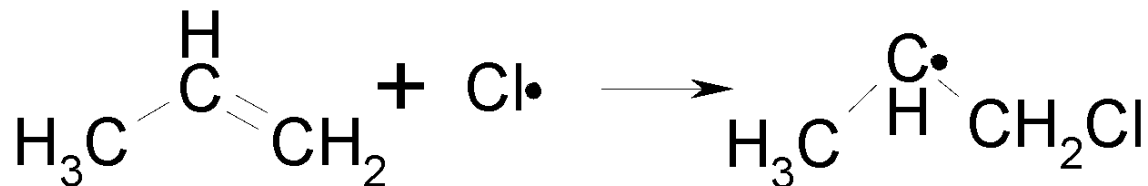
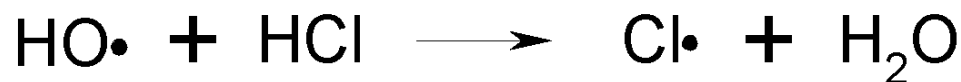
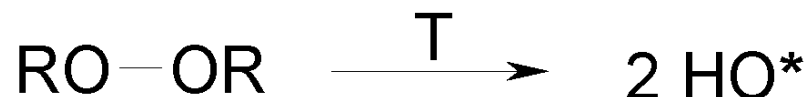


# Реакции присоединения

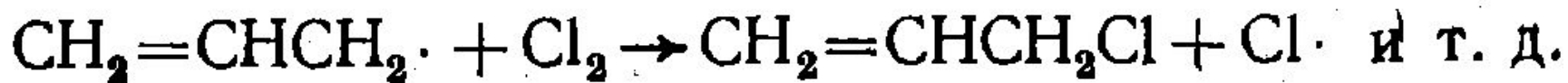
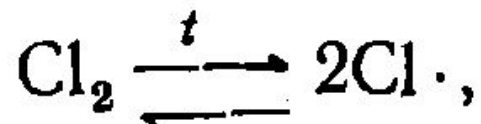


*эффект Карраша*

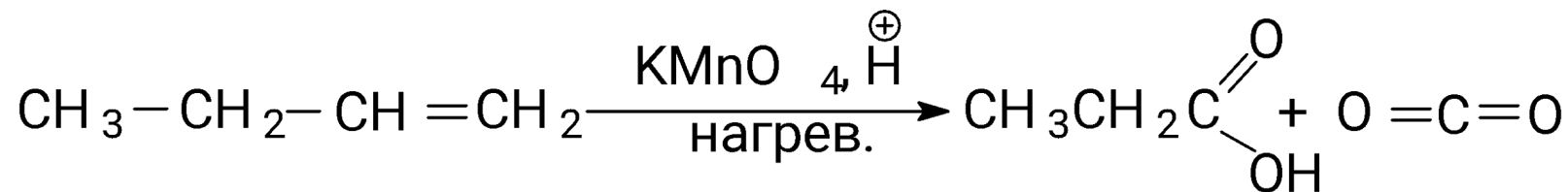
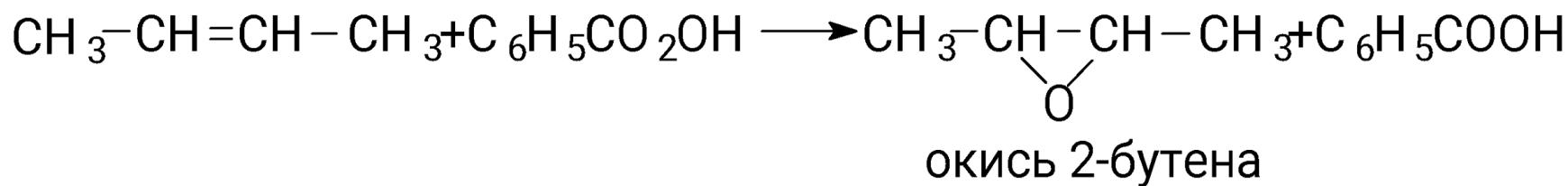
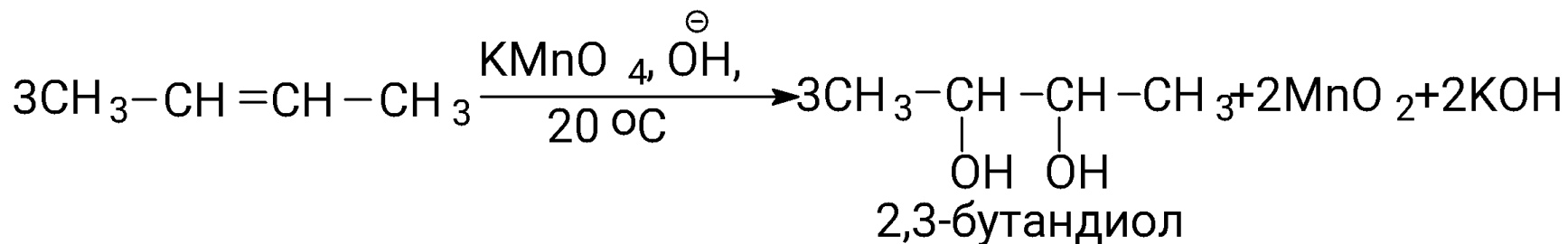
$\text{A}_R:$



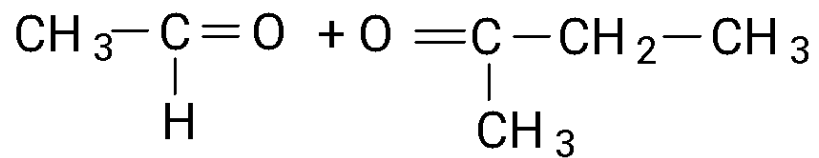
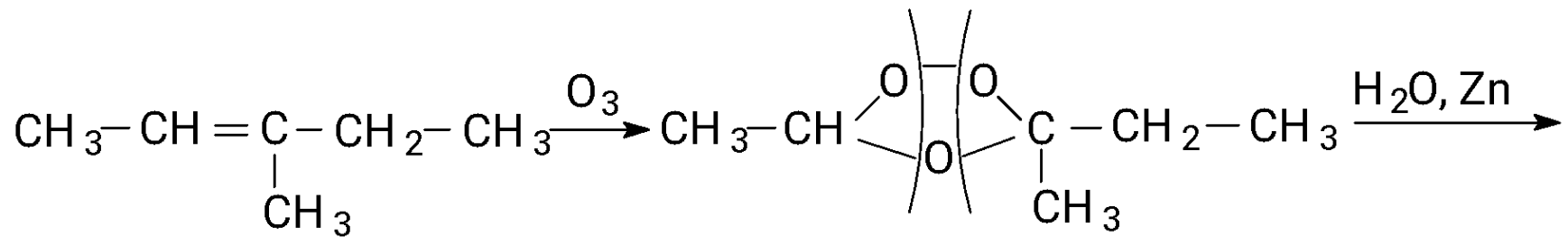
# Газообразное хлорирование пропилена



# Окисление алкенов

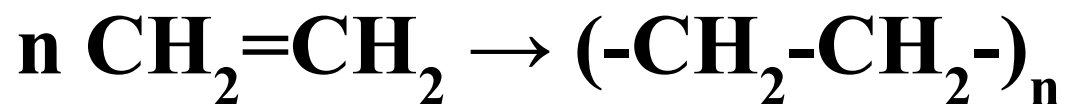


# Озонолиз

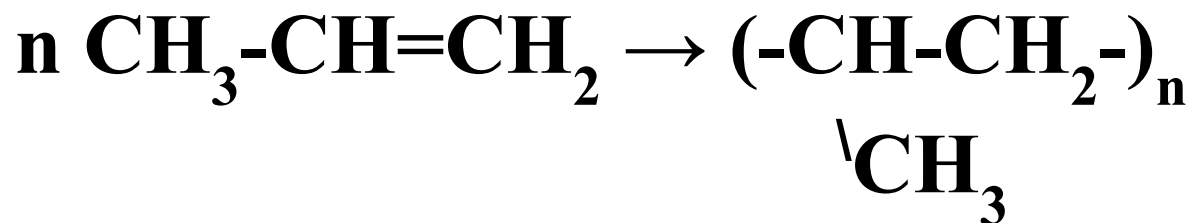


# Реакции полимеризации

Получение полиэтилена:

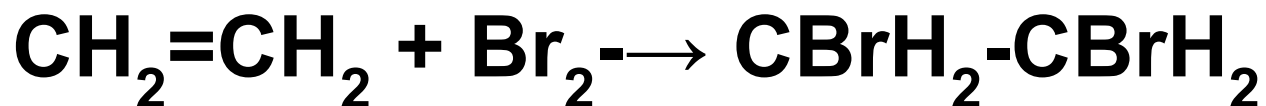


Получение полипропилена:

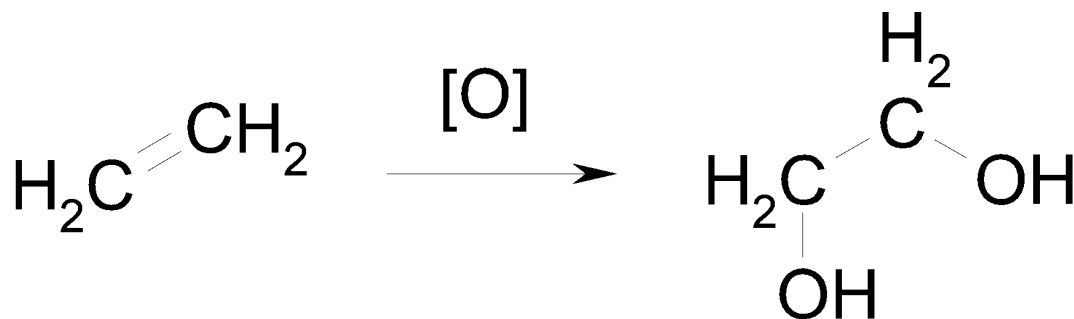


# Качественные реакции

- Обесцвечивание бромной воды



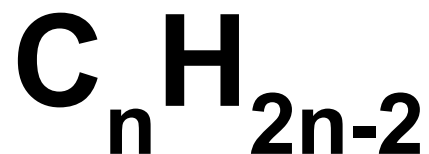
- Обесцвечивание раствора перманганата калия



# Применение алкенов

- В производстве ***полимерных материалов*** (пластмасс, каучуков, пленок)
- Для ***получения*** спиртов, альдегидов, галогенопроизводных и многих других органических соединений

# Алкадиены (диеновые углеводороды)



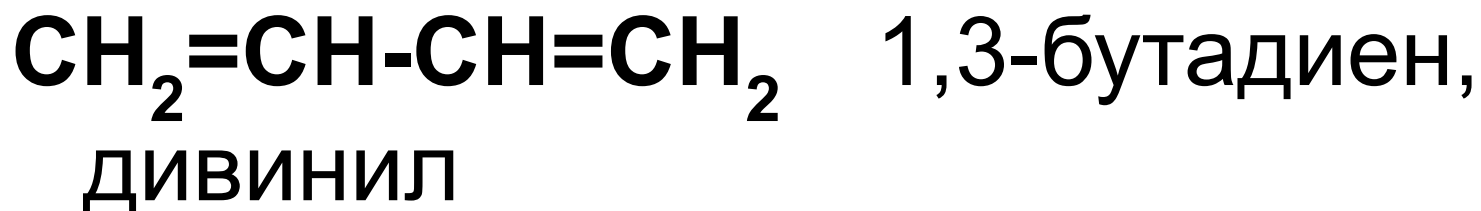


# Диеновые углеводороды

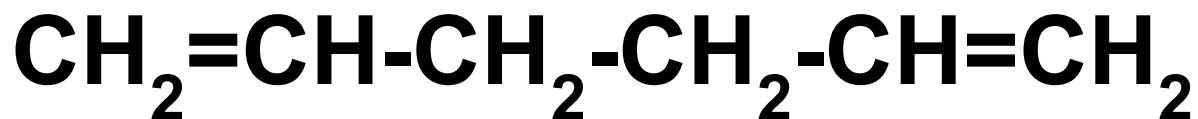
- С кумулированными связями



- С сопряженными связями



- С изолированными связями



1,5-гексадиен, диаллил

# Изомерия

## Структурная изомерия

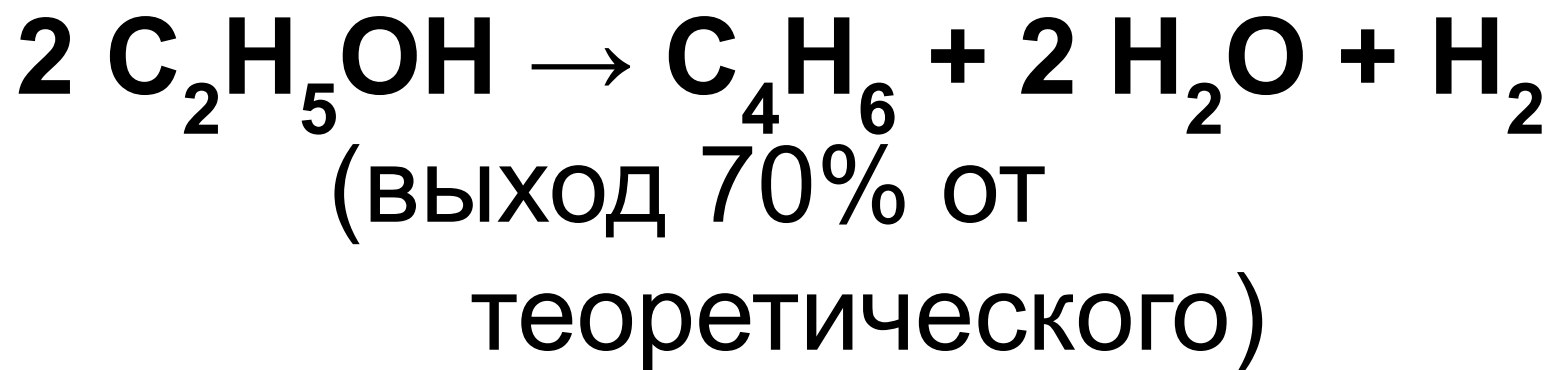
- Углеродного **скелета**
- Положения **двойных связей**
- **Межклассовая** (с алкинами)

## Пространственная изомерия

- **Геометрическая**

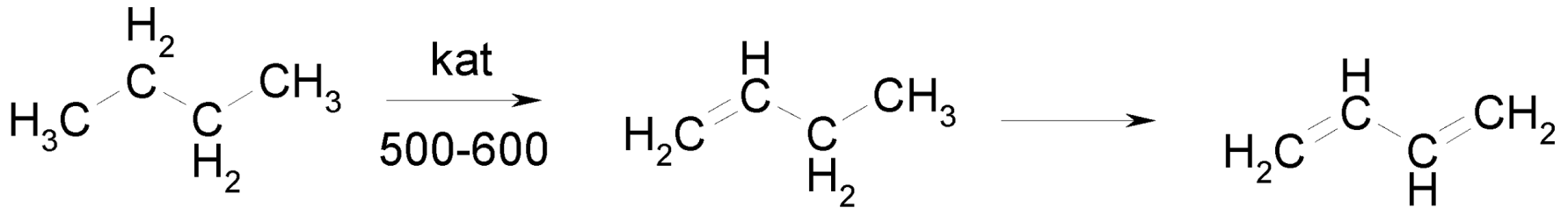
# Способы получения дивинила

- Метод С.В.Лебедева, 1932 г.  
Ярославль СК-1



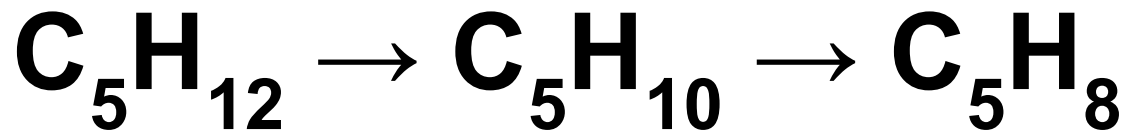
# Способы получения дивинила

- **Дегидрирование** бутано-бутиленовых смесей (метод Бызова)



# Способы получения изопрена

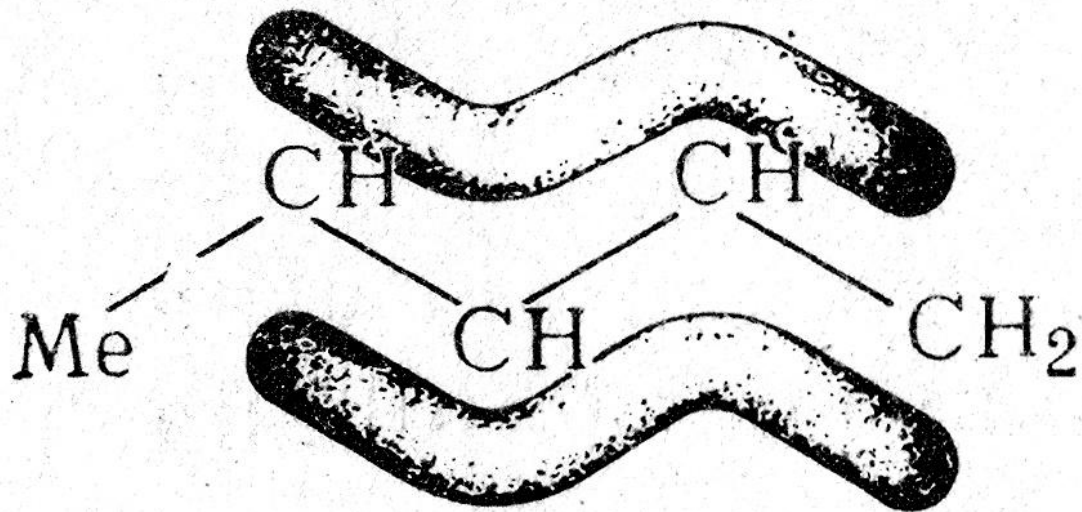
- *Дегидрирование* изопентан -  
изоамиленовых смесей



# Сопряженные диены

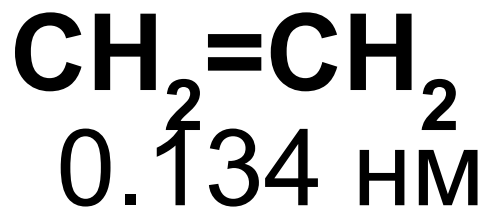
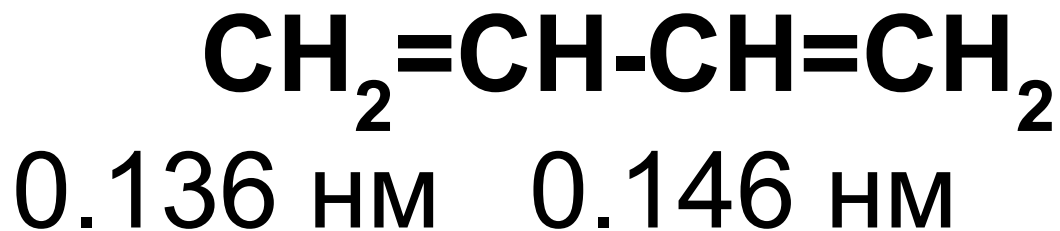
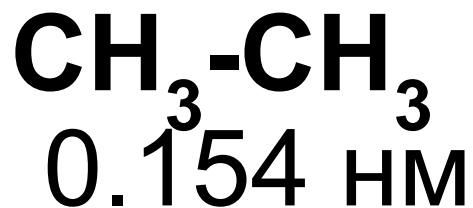
- **Дивинил** - газ с  $T_{\text{кип}} 4,5^{\circ}\text{C}$ , в воде нерастворим, легко взрывается с воздухом
- **Изопрен** и другие простейшие диены - жидкости

# Сопряженные диены



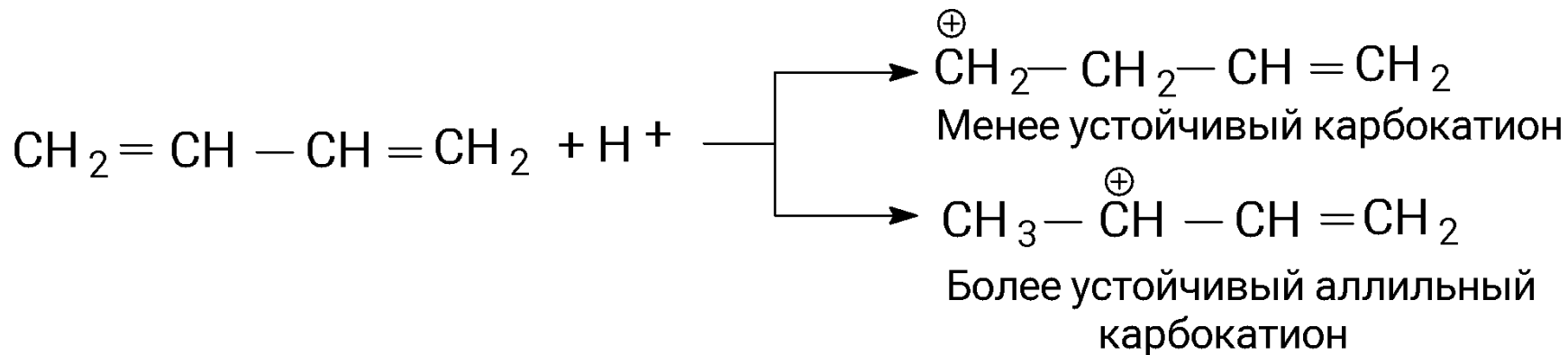
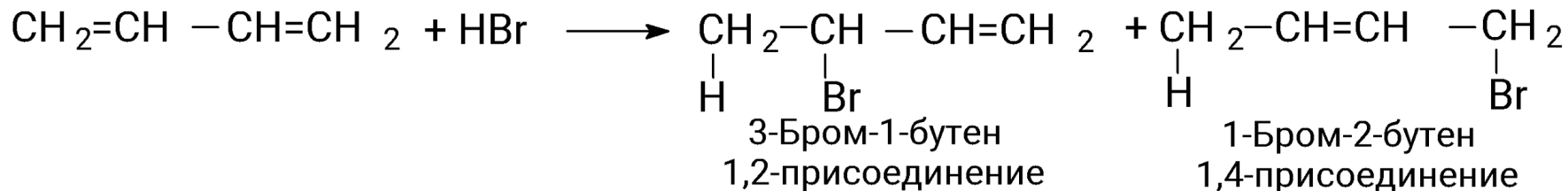
# Сопряженные диены

- Происходит изменение межатомных расстояний

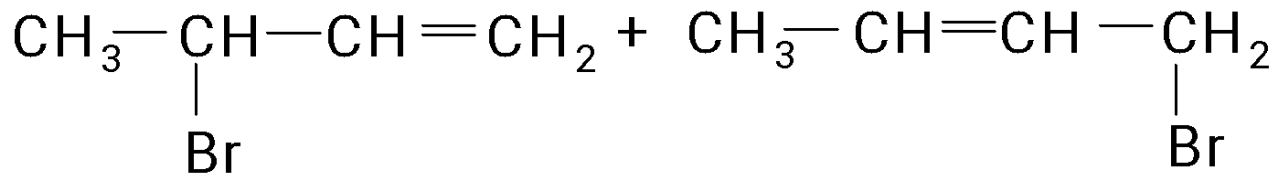
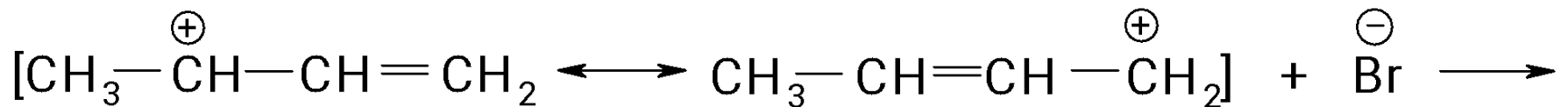
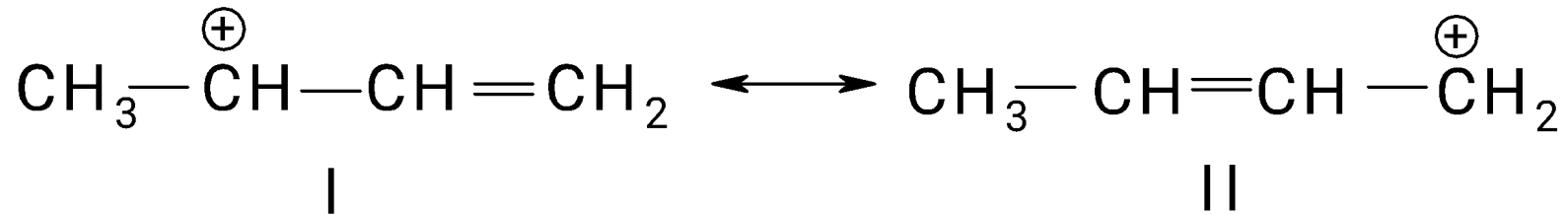




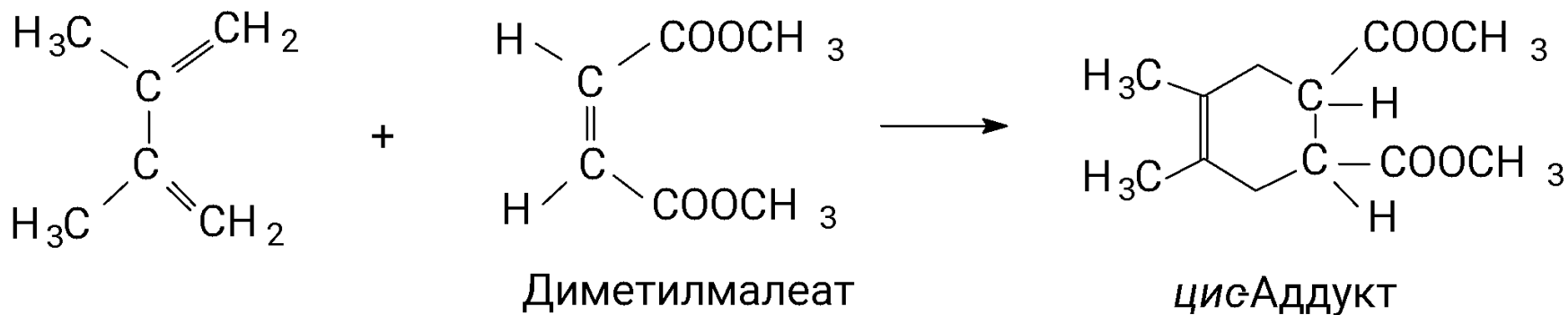
# Электрофильное присоединение



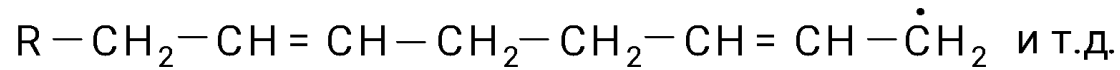
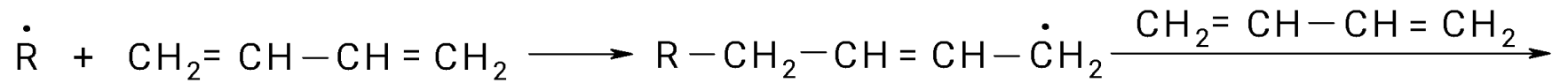
# Электрофильное присоединение



# Реакция Дильса-Альдера



# Полимеризация

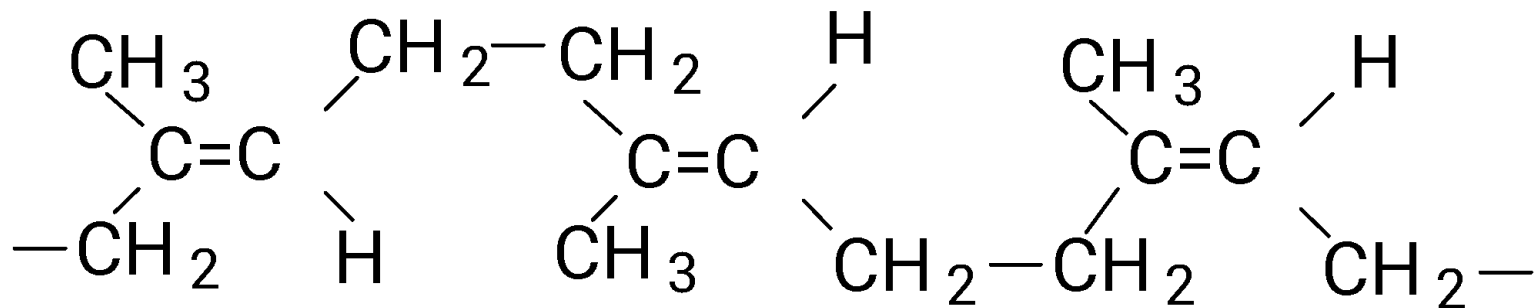
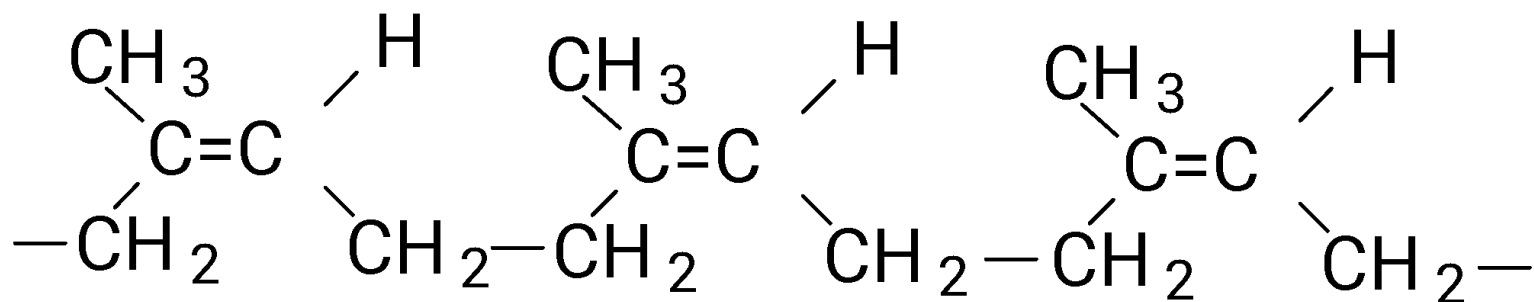


# Натуральный каучук

- Добывается из млечного сока некоторых растений (гевея, гваюлла, коксалыз, таусалыз и др.)
- Промышленное значение имеют только плантации гевеи

# Натуральный каучук

## Гуттаперча





# Контрольное задание № 1

Напишите реакции  
окисления *метана*,  
*бутана*,  
*этилена*,  
*бутена-2* и  
*бутадиена-1,3*