## НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

# Алкены

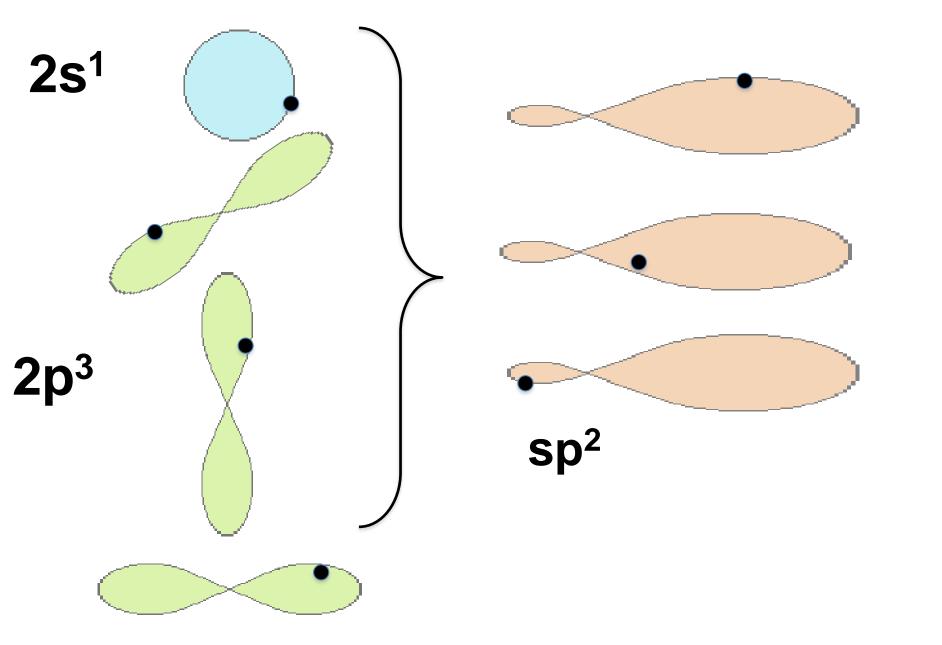
# $C_nH_{2n}$

### Определение

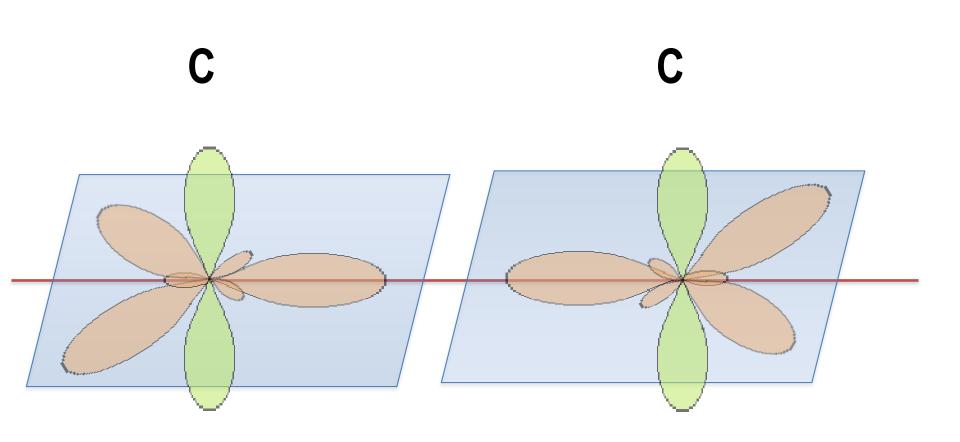
• Алкены (этиленовые углеводороды) - непредельные углеводороды, молекулы которых содержат двойную связь

Формула	Название
$C_2H_4$	Этен (этилен)
$C_3H_6$	Пропен (пропилен)
$C_4H_8$	Бутен
$C_{5}H_{10}$	Пентен
$C_{6}H_{12}$	Гексен

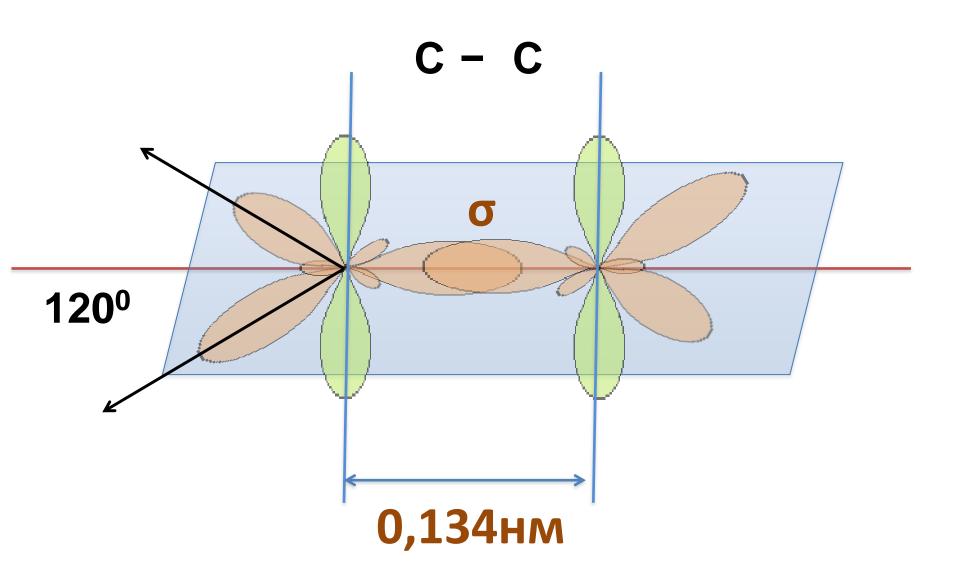
### Второе валентное состояние – sp<sup>2</sup> гибридизация



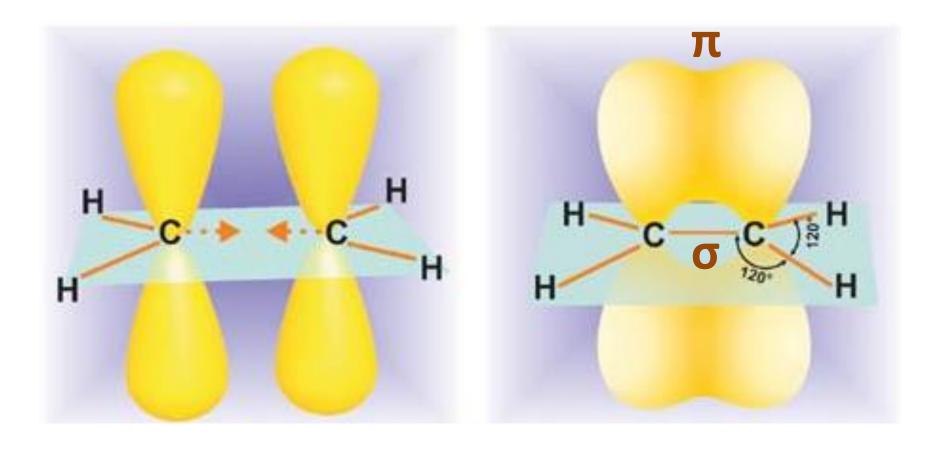
### Второе валентное состояние – sp<sup>2</sup> гибридизация



### Второе валентное состояние – sp<sup>2</sup> гибридизация

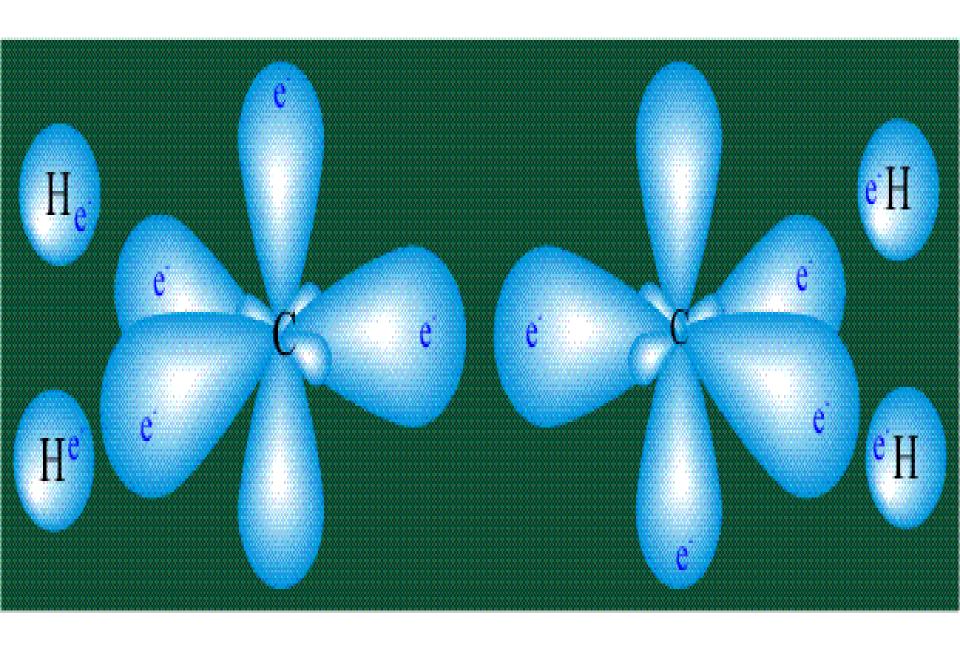


#### Образование связей при sp<sup>2</sup> - гибридизации



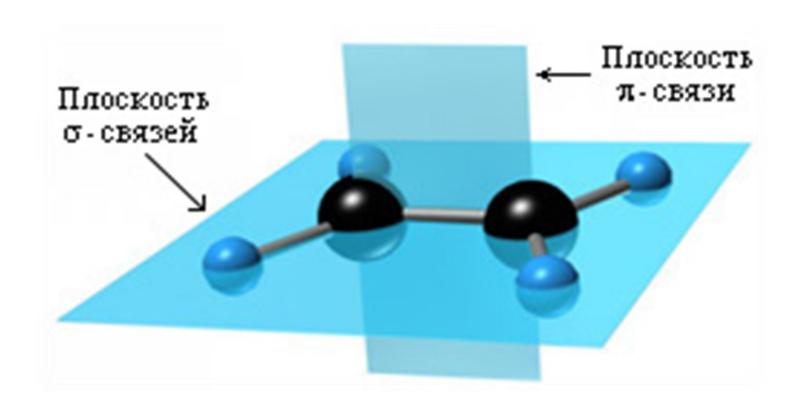
т-связи – это ковалентные связи, при образовании которых область перекрывания электронных облаков находится по обе стороны от линии, соединяющей ядра атомов

### Образование связей при sp<sup>2</sup> - гибридизации



#### Плоскости расположения связей

- σ связи, образуемые sp²-гибридными орбиталями, находятся в одной плоскости под углом 120°
- молекула этилена имеет плоское строение:



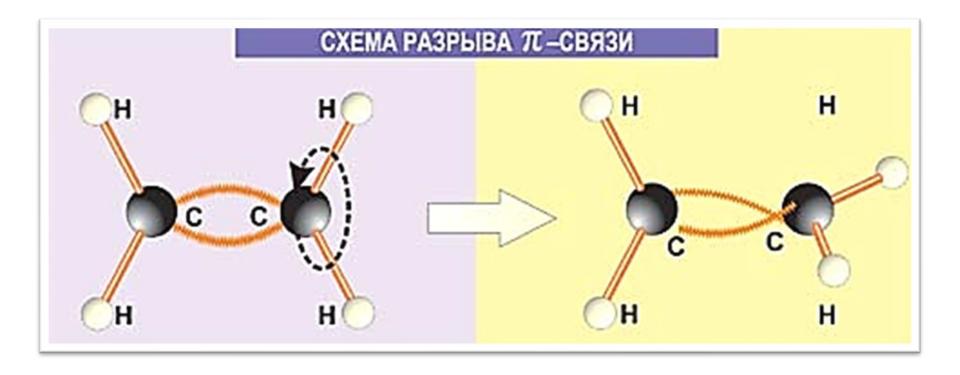
#### Свойства



#### СВЯЗИ

#### Особенности п-связи:

- менее прочная, чем σ-связь
- вокруг нее невозможно вращение без ее разрыва
- легко поляризуется, то есть отклоняется под действием внешних зарядов или из-за определенного распределения электронной плотности в молекуле.



### Номенклатура

- названия алкенов производят от названий соответствующих алканов (с тем же числом атомов углерода) путем замены суффикса –ан на –ен
- главная цепь выбирается таким образом, чтобы она обязательно включала в себя двойную связь (т.е. она может быть не самой длинной)
- нумерацию углеродных атомов начинают с ближнего к двойной связи конца цепи
- цифра, обозначающая положение двойной связи, ставится обычно после суффикса –ен

## Виды изомерии

Структурная	Пространственная
Углеродного скелета	
Положения двойной связи	Геометрическая
Межклассовая	

1. Изомерия углеродного скелета

$$CH_3 - CH_2 - CH = CH_2$$
  $CH_3 - C = CH_2$   $CH_3$ 

2. Изомерия положения двойной связи

$$CH_3 - CH_2 - CH = CH_2$$
  $CH_3 - CH = CH - CH_3$ 

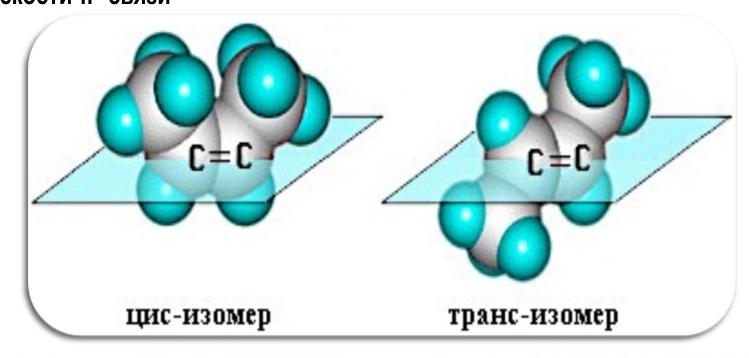
3. Межклассовая изомерия с циклоалканами

$$CH_3 - CH = CH_2$$

$$CH_3 - CH = CH_2$$

$$CH_2$$

• Алкены, имеющие у каждого из двух атомов углерода при двойной связи различные заместители, могут существовать в виде двух пространственных изомеров, отличающихся расположением заместителей относительно плоскости π -связи



$$CH_3-CH=CHCI \longrightarrow \underset{H}{\text{pashble}} \xrightarrow{H_3C} C=C \xrightarrow{CI} \xrightarrow{\underset{pashble}{\text{pashble}}} \xrightarrow{\text{строим изомер}} \xrightarrow{H_3C} C=C \xrightarrow{CI}$$

Пространственная изомерия не характерна:

$$CH_3$$
- $CH=CCI_2$   $\longrightarrow$   $H_3C$   $C=C$   $CI$  одинаковые

#### Физические свойства

• закономерно изменяются в гомологическом ряду:

от 
$$C_2H_4$$
 до  $C_4H_8$  – газы

$${\bf C} {\bf C}_5 {\bf H}_{10} - {\bf ж} {\bf u} {\bf d} {\bf K} {\bf o} {\bf c} {\bf T} {\bf u}$$

• Алкены практически нерастворимы в воде, но хорошо растворяются в органических растворителях

#### Химические свойства

- химические свойства алкенов определяются строением и свойствами двойной связи C=C
- для алкенов наиболее характерны реакции, протекающие за счет раскрытия менее прочной π –связи это реакции присоединения
- алкены химически более активны, чем алканы
- с увеличением молекулярной массы алкенов, в гомологическом ряду, повышаются температура кипения и плавления, увеличивается плотность веществ

### Реакции присоединения

$$H_2C = CH_2 + H_2 \longrightarrow H_2C - CH_2$$
 гидрирование  $H = H$ 

$$H_2C = CH_2 + Br_2 \longrightarrow H_2C - CH_2$$
 галогенирование Br Br

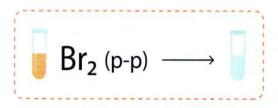
$$H_2C=CH_2+HCI\longrightarrow H_2C-CH_2$$
 гидрогалогенирование H CI

$$H_2C = CH_2 + H_2O \longrightarrow H_2C - CH_2$$
 гидратация  $H = OH$ 

$$n H_2C = CH_2 \longrightarrow (-H_2C - CH_2 -)_n$$
 полимеризация

#### Особенности

Для бромирования алкенов используют <u>бромную воду</u> (~2-5%-ный раствор брома в воде) или раствор брома в органических растворителях (например, ССІ₄). Бромная вода имеет желтовато оранжевую окраску, при постепенном пропускании алкена окраска становится бледнее и в конечном итоге исчезает. Это <u>качественная реакция</u> на кратную связь.



Алкены обесцвечивают бромную воду.

При высокой температуре алкены могут вступать с хлором и бромом в реакцию замещения. При этом в первую очередь замещается атом водорода при соседнем с кратной связью атоме углерода, то есть в так называемом α-положении. Стоит помнить такой процесс для пропена:

CH<sub>2</sub>=CH−
$$\overset{\alpha}{\text{CH}_3}$$
 + Cl<sub>2</sub>  $\xrightarrow{550^{\circ}\text{C}}$ 



Владимир Васильевич Марковников 1837-1904

### Правило Марковникова:

В реакциях присоединения полярных молекул к несимметричным алкенам водород присоединяется к более гидрогенизированному атому углерода при двойной связи

$$H_3C - HC = CH_2 + HCI \rightarrow H_3C - HC - CH_2$$
 $CI H$ 

$$H_3C - HC = CH_2 + HOH \rightarrow H_3C - HC - CH_2$$
OH

Чем меньше орбиталь – тем больше её электроотрицательность

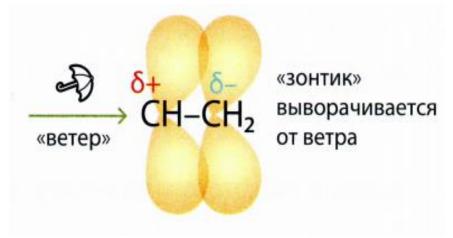
$$\begin{array}{c} H \\ \downarrow \\ K + \\ K - \\ H \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \delta + \\ \delta + \\ \delta - \\ \delta - \\ \delta + \\ \delta - \\ \delta - \\ \delta + \\ \delta - \\ \delta -$$

Более электроотрицательный C<sup>2</sup> тянет на себя электроны от менее электроотрицательного C<sup>3</sup>

Электронная плотность C<sup>3</sup>–C<sup>2</sup> смещается в сторону C<sup>2</sup>

И электронная плотность «пи»-связи также смещается дальше



Если в молекулу алкена ввести атомы элементов с высокой электроотрицательностью, то изменится распределение электронной плотности по сравнению с соответствующим обычным алкеном.

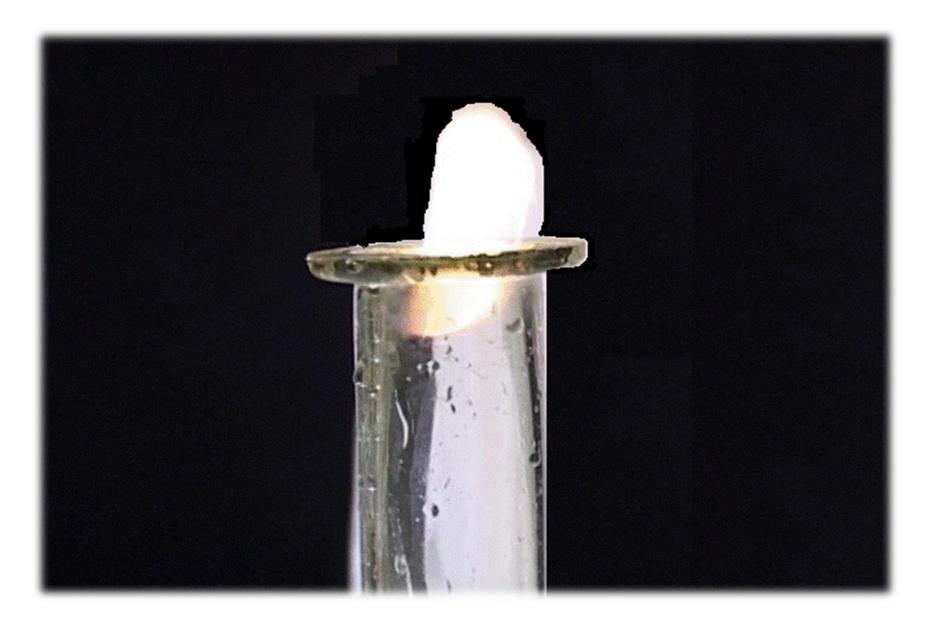
#### Исключения из правила Марковникова -

Если сразу после двойной связи находятся указанные ниже заместители, то присоединение галогеноводородов (и воды) к этой связи идет против правила Марковникова.

 $CH_2=CH-CF_3$   $CH_2=CH-CCI_3$   $CH_2=CH-COOH$ 

CH<sub>2</sub>=CH-CHF<sub>2</sub> CH<sub>2</sub>=CH-CHO CH<sub>2</sub>=CH-COOR

# Горение



### Реакции окисления алкенов

Каталитическое окисление протекает под действием катализатора.

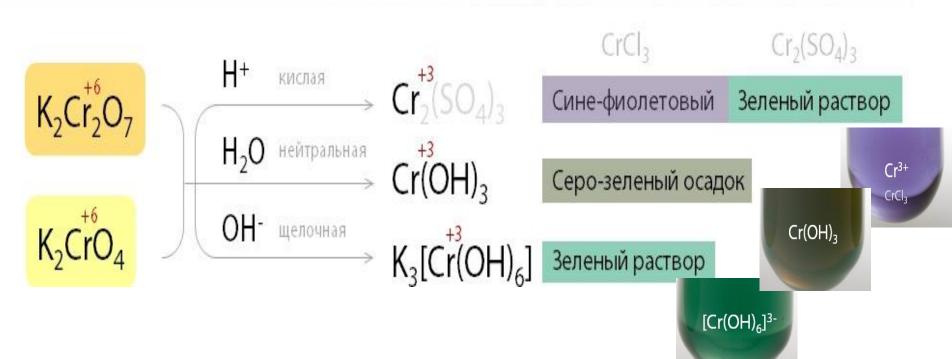
Взаимодействие этилена с кислородом в присутствии солей палладия протекает с образованием этаналя (уксусного альдегида)

$$2CH_2 = CH_2 + O_2 \xrightarrow{PdCl_2, CuCl_2} 2CH_3 - C_H$$

Взаимодействие этилена с кислородом в присутствии серебра протекает с образованием эпоксида

$$2CH_2 = CH_2 + O_2 \xrightarrow{Ag, t} 2CH_2 - CH_2$$





### Реакции окисления алкенов

Мягкое окисление протекает при низкой температуре в присутствии перманганата калия. Раствор перманганата обесцвечивается.

В молекуле алкена разрывается только **т-связь** и окисляется каждый атом углерода при двойной связи.

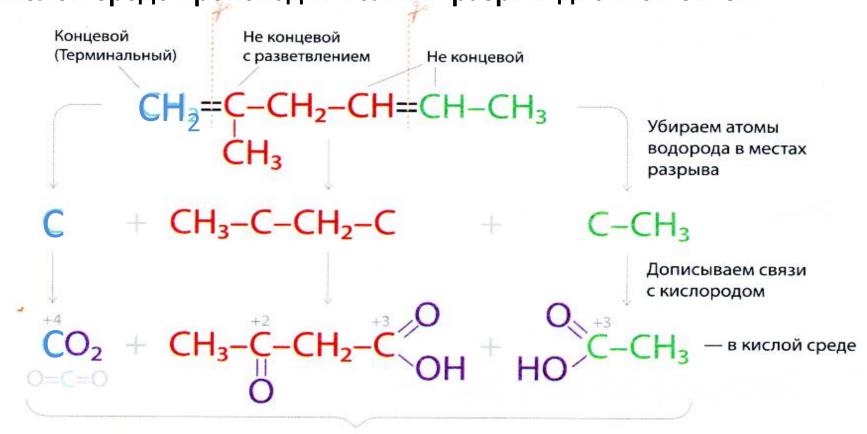
При этом образуются двухатомные спирты (диолы).

$$H_3C - HC = CH_2 + KMnO_4 + HOH \xrightarrow{0^0C}$$

$$\longrightarrow H_3C - HC - CH_2 + MnO_2 + KOH$$

$$OH OH$$





+ КОН: переход в щелочную среду с образованием солей

### Изомеризация

• Алкены вступают в реакцию изомеризации при нагревании в присутствии катализатора

$$H_3C - H_2C - HC = CH_2 \xrightarrow{t, AlCl_3} H_3C - C = CH_2$$

$$CH_3$$

### Получение

1. Крекинг алканов:

$$C_n H_{2n+2} \rightarrow C_m H_{2m} + C_p H_{2p+2}$$
 где m + p = n

2. Дегидрогалогенирование галогеналканов при действии спиртового раствора щелочи

$$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \text{CH}_3 - \overset{\mid}{\text{CH}} - \overset{\mid}{\text{CH}}_2 + \overset{\mid}{\text{K}} \text{OH}_{\text{(спирт)}} \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2 + \overset{\mid}{\text{KBr}} + \text{H}_2 \end{array}$$

3. Дегидратация спиртов при температуре более 150°C в присутствии водоотнимающих реагентов (H<sub>2</sub>SO<sub>4 конц</sub>)

$$CH_3 - CH - CH_2 \rightarrow CH_3 - CH = CH_2 + H_2O$$
H OH

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

5. Дегидрирование алканов при 500°С:

$$CH_3 - CH - CH_2 \rightarrow CH_3 - CH = CH_2 + H_2$$



Александр Михайлович Зайцев 1841-1910

## Правило Зайцева:

Отщепление атома водорода при дегалогенировании и дегидратации происходит преимущественно от наименее гидрогенизированного атома углерода.

$$\rightarrow$$
 CH<sub>3</sub>—CH = CH — CH<sub>3</sub> + KBr + H<sub>2</sub>O

### Применение

- В природе алкены встречаются реже, чем предельные углеводороды, вследствие своей высокой реакционной способности
- Алкены применяются в производстве полимерных материалов (пластмасс, каучуков, пленок) и других органических веществ
- Этилен (этен) H2C=CH2 используется для получения полиэтилена, политетрафторэтилена (тефлона), этилового спирта, уксусного альдегида, галогенопроизводных и многих других органических соединений.





При гидратации 31,50 г этиленового углеводорода образовалось 23,76 г органического вещества.

Выход продукта составил 60 %. Определите молекулярную формулу углеводорода и установите его структуру, если известно, что при его жёстком окислении перманганатом калия образуются кетон и кислота. Напишите уравнение реакции углеводорода с водой, в уравнении изобразите структурные формулы органических веществ (ЕГЭ, 2019)