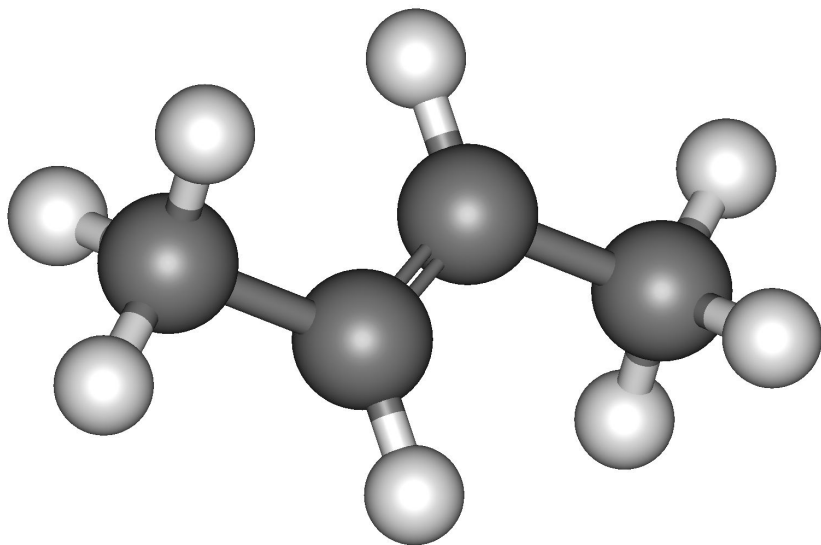
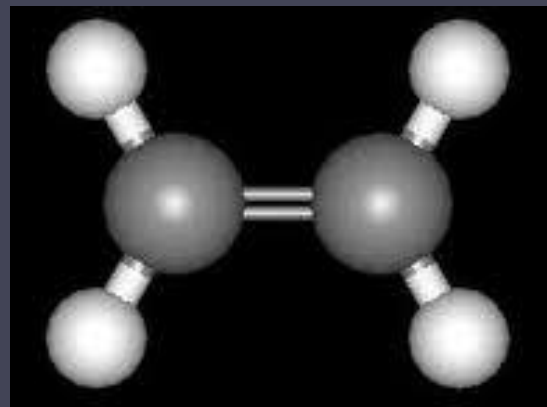
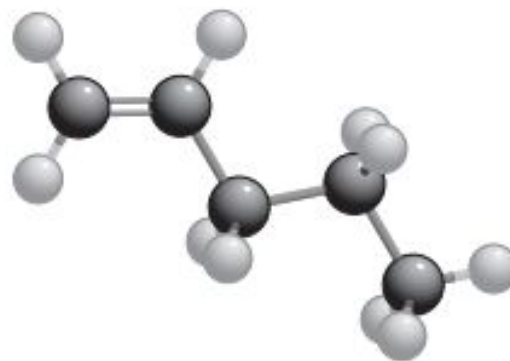
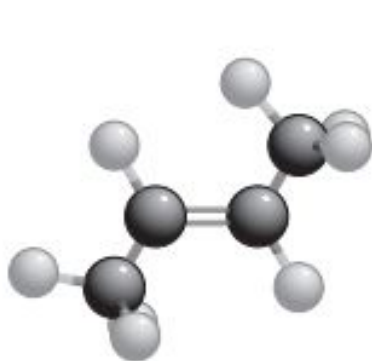
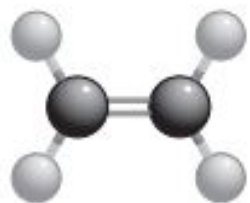


# Алкены



*Алкены (этиленовые углеводороды, олефины) - непредельные алифатические углеводороды, молекулы которых содержат двойную связь.*

# Гомологический ряд алкенов



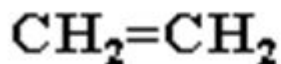
# Алкены



- Алкены (этиленовые углеводороды, олефины) - непредельные алифатические углеводороды, молекулы которых содержат двойную связь.

Общая формула ряда алкенов  $C_n H_{2n}$ , где  $n \geq 2$ .

- Простейшие представители:



*этен (этилен)*

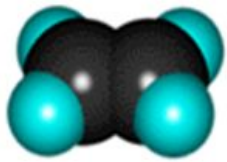


*пропен*

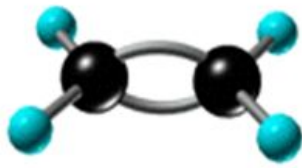


*бутены*

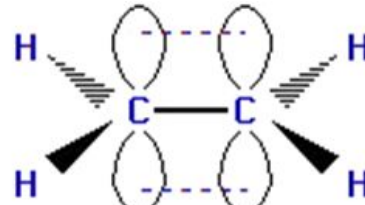
# Электронное строение алкенов



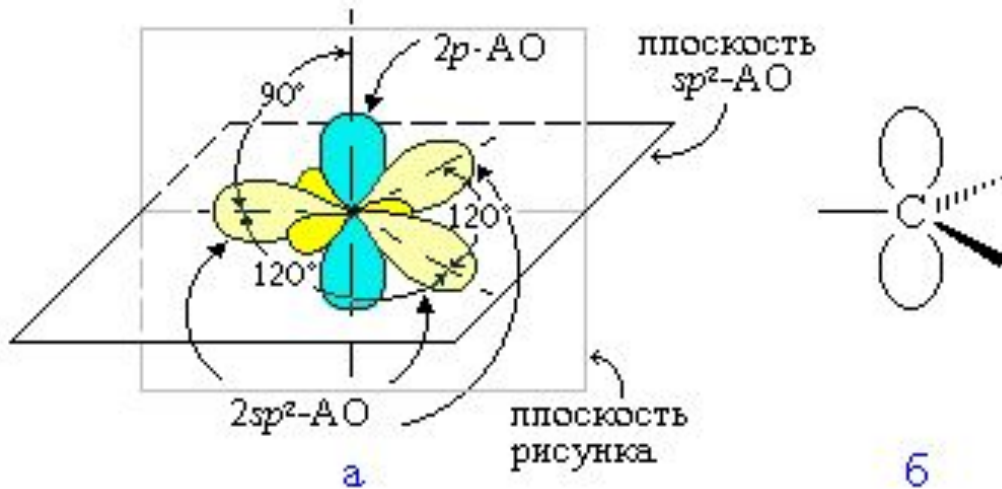
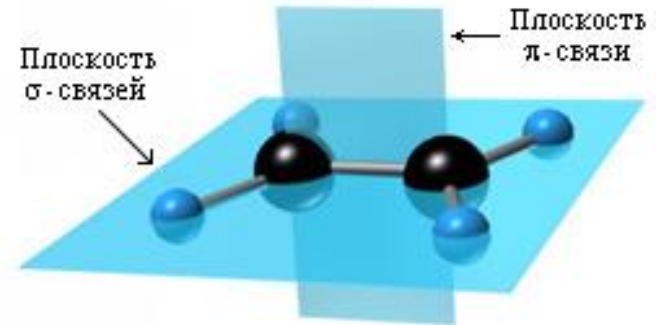
Масштабная модель



Шаростержевая

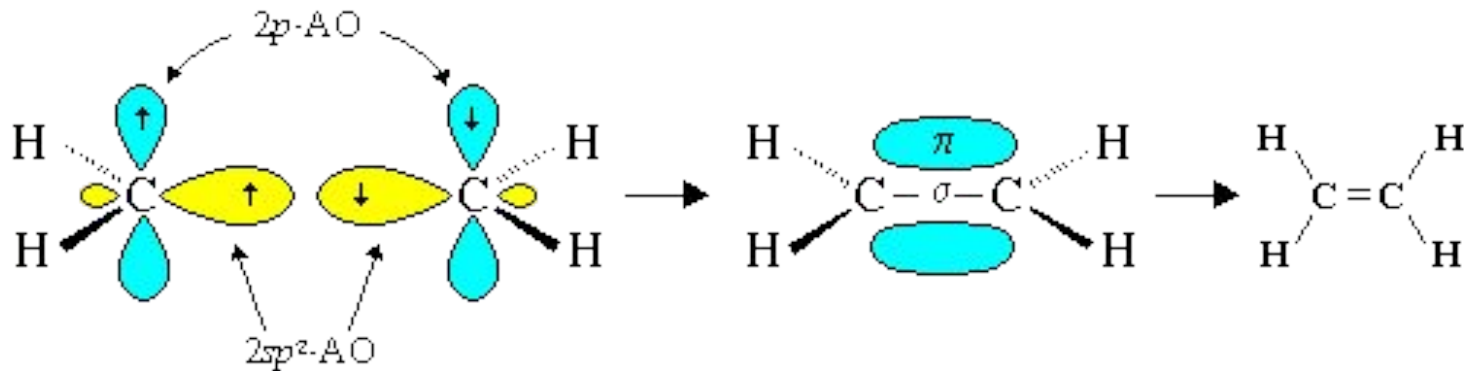


Атомно-орбитальная



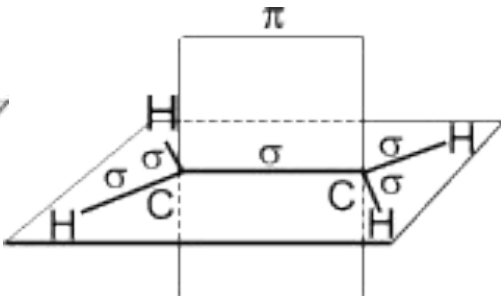
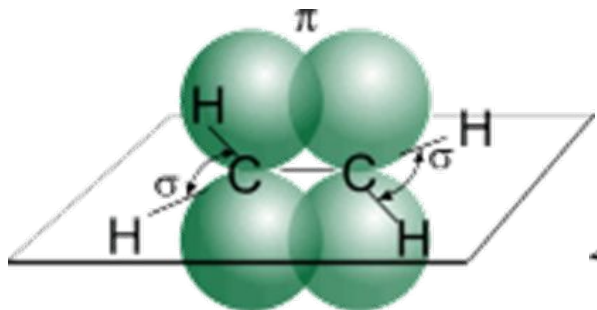
Атомы углерода при двойной связи находятся в  $sp^2$ -гибридизации и область двойной связи имеет плоскостное строение. Угол между гибридными валентными электронами на плоскости  $120^\circ$ .

## Образование двойной связи C=C





$\sigma$ -перекрывание



**$\sigma$**  (сигма) – более прочная связь, образованная гибридными электронами и расположенная по линии, соединяющей центры атомов. Вторая связь -  **$\pi$**  (пи) – менее прочная, образована она боковым перекрыванием негибридных р-электронов и расположена выше и ниже линии, соединяющей центры атомов.

## Энергия двойной C=C СВЯЗИ

Связь	Энергия, кДж/моль	Длина связи, нм
C-C	348	0,154
C=C	620	0,133

- $E_{\sigma+\pi}$  (энергия двойной связи) C=C ( $\sigma + \pi$ ) 620 кДж/моль
- $E_{\sigma}$  (энергия  $\sigma$ -связи) C-C 348 кДж/моль
- Отсюда  $E_{\pi}$  (энергия  $\pi$ -связи) 272 кДж/моль, т.е.  $E_{\pi}$  на 76 кДж/моль меньше  $E_{\sigma}$ .
- Поэтому **для алкенов наиболее характерны реакции**, протекающие за счет раскрытия менее прочной  $\pi$ -связи. При этом  $\pi$ -связь (в исходном алкене) преобразуется в  $\sigma$ -связь в продукте реакции. Исходное ненасыщенное соединение превращается в насыщенное без образования других продуктов, т.е. происходит **реакция присоединения**.

# Повторим алкены: строение

- 1. Что называется длиной связи?

*(Длина связи – это расстояние между центрами ядер связываемых атомов в молекуле.)*

- 2. Что можно сказать о длине углерод-углеродной связи веществ с одинарной (C–C) и двойной (C=C) связью?

*(Длина углерод-углеродной одинарной связи – 0,154 нм двойной связи – 0,133 нм, двойная связь прочнее и короче одинарной.)*

- 3. Сколько  $\sigma$ -связей может возникнуть между атомами?

*(Одна.)*

- 4. Что можно сказать о прочности  $\pi$ -связи?

*(Она менее прочная, чем одинарная  $\sigma$ -связь.)*

- 5. Какая химическая связь образуется между гибридизированными облаками?

*(Сигма.)*

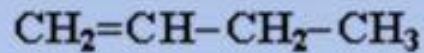
- 6. Сколько валентных электронов у атома углерода?

*(Четыре.)*

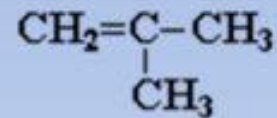
# Изомерия алкенов

## 1) Структурная изомерия алкенов

1. Изомерия углеродного скелета (начиная с  $C_4H_8$ ):

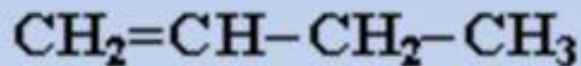


*бутен-1*

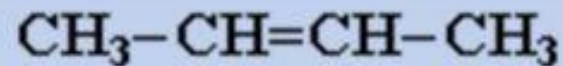


*2-метилпропен*

2. Изомерия положения двойной связи (начиная с  $C_4H_8$ ):

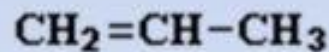


*бутен-1*

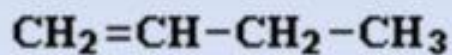
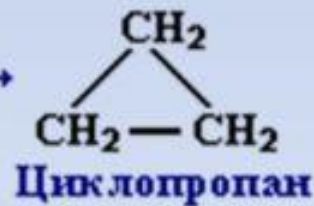
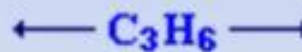


*бутен-2*

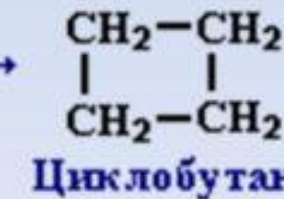
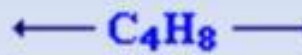
3. Межклассовая изомерия с циклоалканами, начиная с  $C_3H_6$ :



**Пропен**

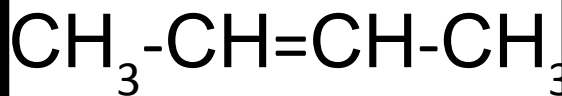
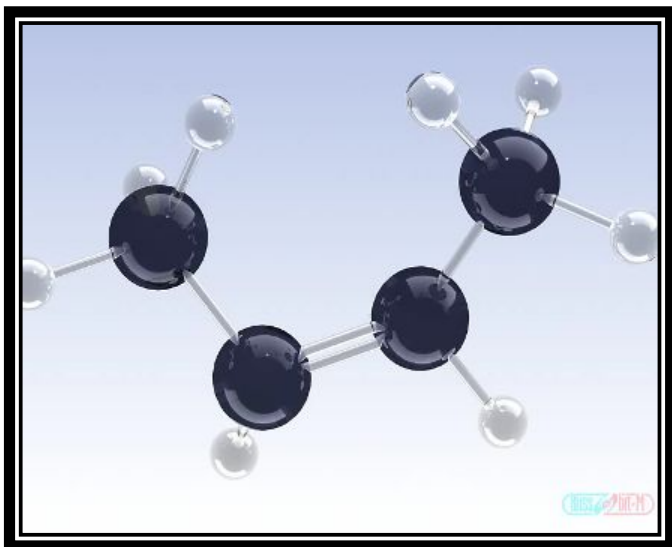


**Бутен-1**

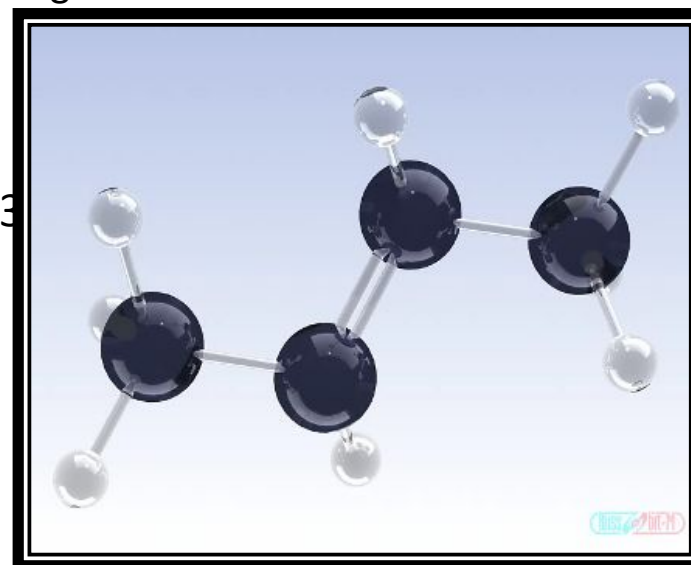


# 2) Геометрическая (пространственная) цис-транс-изомерия

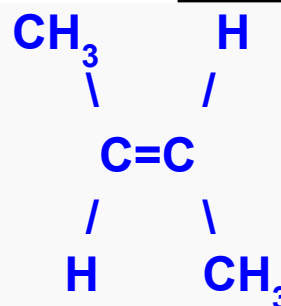
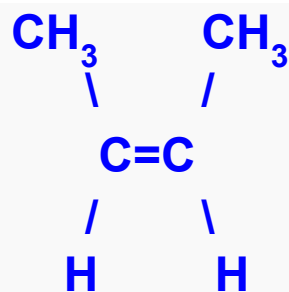
(начиная с бутена  $C_4H_8$ )



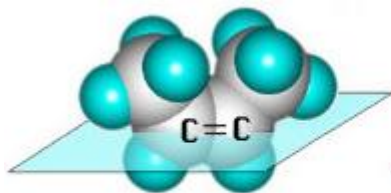
бутен-2



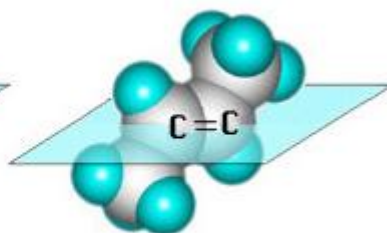
**Цис-изомер**  
(Цис-бутен-2)



**Транс-изомер**  
(Транс-бутен-2)



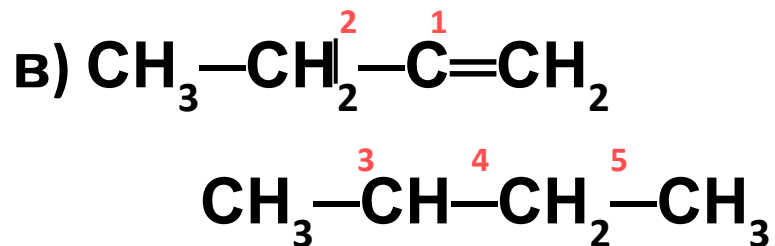
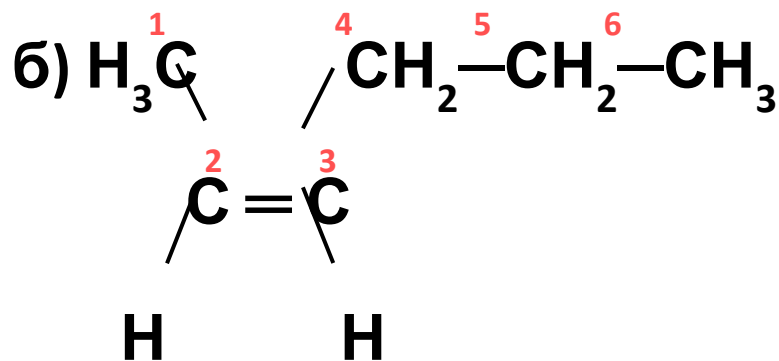
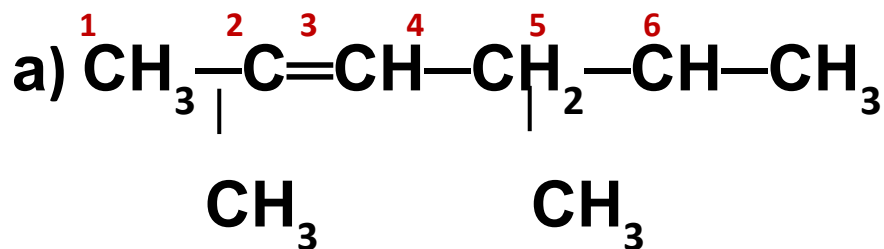
цис-изомер



транс-изомер



# Назовите следующие алкены



Ответы:

а) 2,5-диметилгексен-2

б) цис-изомер-гексен-2

в) 3-метил-2-этилпентен-1

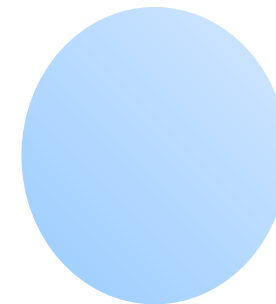
# Физические свойства алкенов

Агрегатное состояние:

$C_2H_4$  — газобразные вещества;

$C_4H_8$  — жидкости;  
 $C_5H_{10}$

$C_6H_{12}$  — твердые вещества  
 $C_{16}H_{32}$   
 $C_{17}H_{34}$



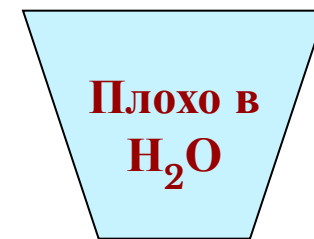
С увеличением молекулярной массы соединений температуры кипения и плавления закономерно повышаются.

Этилен  $C_2H_4$

Г, 3 нефтяной, Д

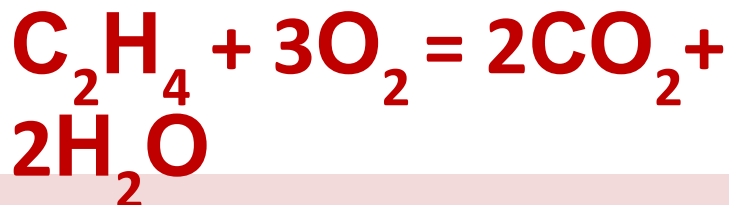
$T_{пл} = -169,2^{\circ}C$

$T_{кип} = -103,7^{\circ}C$



# Химические свойства алкенов

Алкены горят желтоватым пламенем, немного коптят



Алкены вступают в реакции

присоединения:

- 1) Гидрирование - *реакции с водородом*
- 2) Галогенирование – *реакции с галогенами*
- 3) Гидратация – *взаимодействие с водой*
- 4) Гидрогалогенирование – *реакции с галогеноводородами*

- гидрирование  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$ ;  

этен
этан
- галогенирование  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2$   

этен

|  
Br

|  
Br

(дибромэтан)
- гидрогалогенирование  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{HBr} \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2\text{Br}$ ;  

этен
бромоводород
бромэтан
- гидратация  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$ ;  

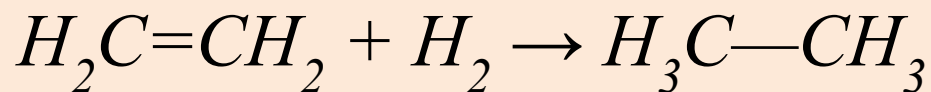
этен
вода
этанол

# Химические свойства алкенов

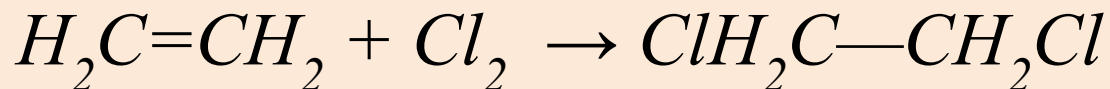
Алкен	Реагент	Продукт	Вид реакции
$\begin{array}{c} -\text{C}=\text{C}- \\   \quad   \end{array}$	$+ \text{H}_2$	$\xrightarrow{\text{Ni}} \begin{array}{c}   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Гидрирование (восстановление)
$\begin{array}{c} -\text{C}=\text{C}-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

# Реакции присоединения

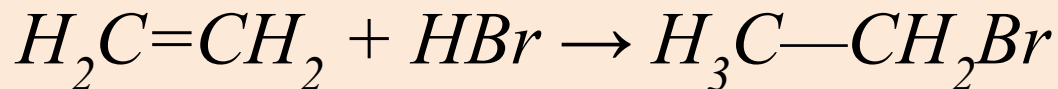
- Присоединение водорода:



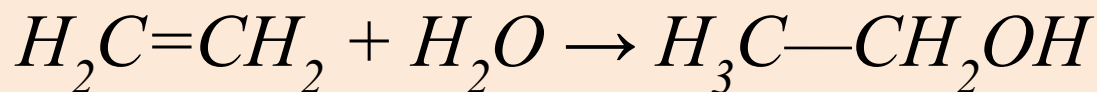
- Присоединение галогенов:



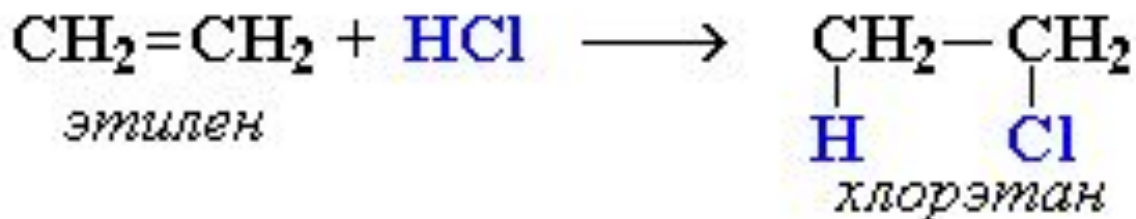
- Присоединение галогеноводородов:



- Присоединение воды (реакция гидратации):



# Механизм реакции присоединения галогеноводородов к алкенам



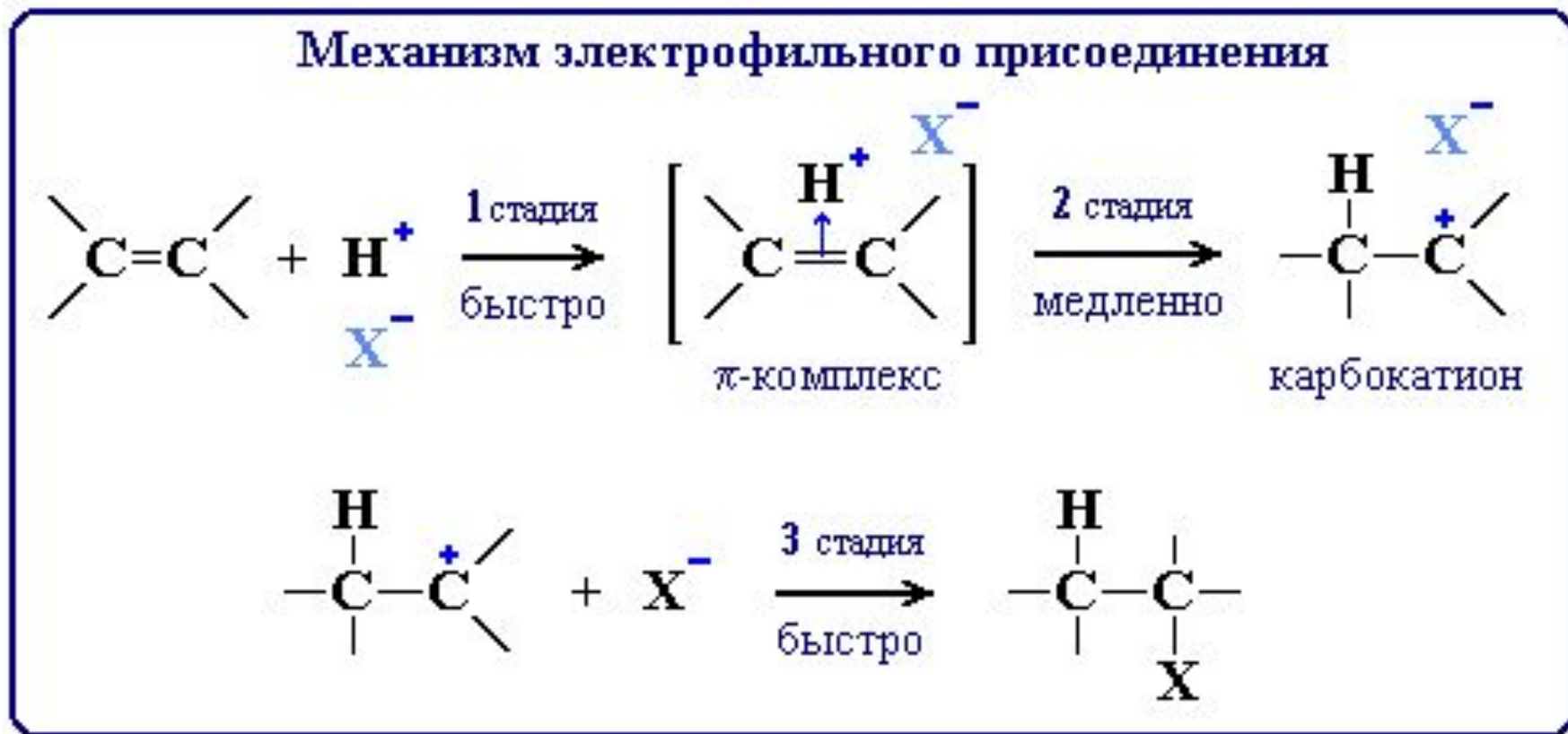
- Реакция идёт по **ионному механизму электрофильного присоединения**

с гетеролитическим (неравномерным) разрывом связей.

**Электрофилом** является протон  $\text{H}^+$  в составе молекулы галогеноводорода  $\text{HX}$  ( $\text{X}$  – галоген).

# Механизм реакции присоединения галогеноводородов к алкенам

- При химической реакции  $\pi$ -связь легко разрывается и по линии разрыва происходит присоединение атомов или групп атомов.



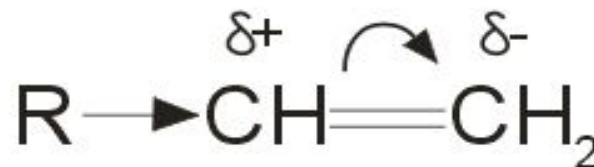


# Правило Марковникова



Русский химик-органик.

- В реакциях присоединения **полярных молекул к несимметричным алкенам** водород присоединяется к более гидрированному атому углерода при двойной связи.

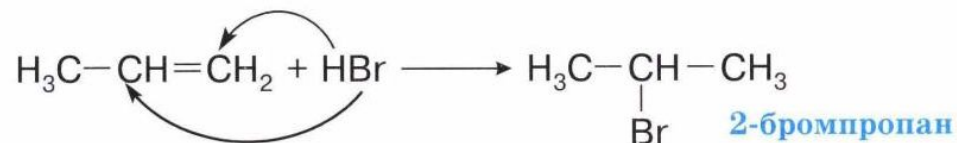


Реакция идет по ионному механизму.

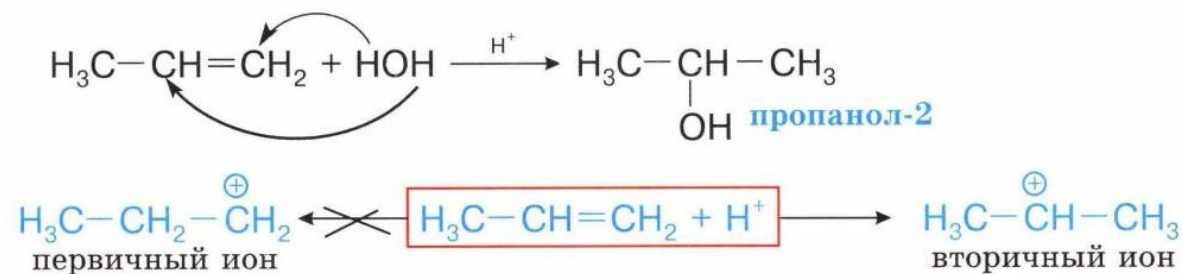


## ПРИСОЕДИНЕНИЕ ПО ПРАВИЛУ МАРКОВНИКОВА

### Гидрогалогенирование пропена

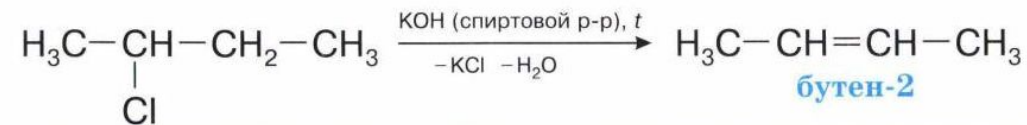


### Гидратация пропена

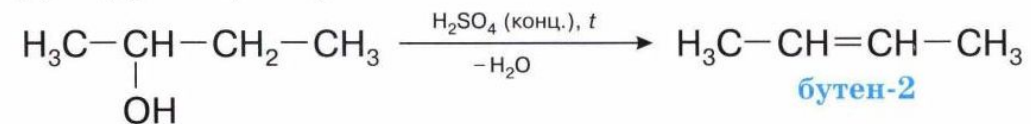


## ОТЩЕПЛЕНИЕ ПО ПРАВИЛУ ЗАЙЦЕВА

### Дегидрогалогенирование 2-хлорбутана



### Дегидратация бутанола-2

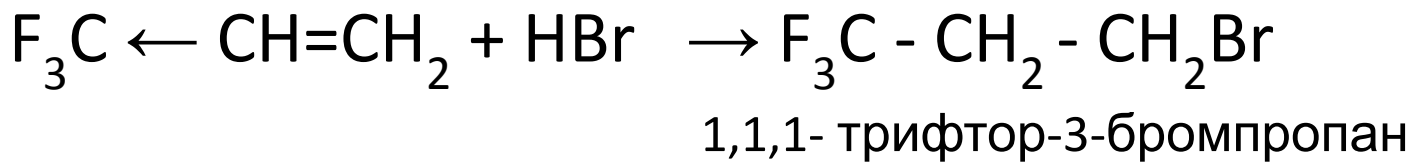


## Важно:

Присоединение может происходить против правила Марковникова, если:

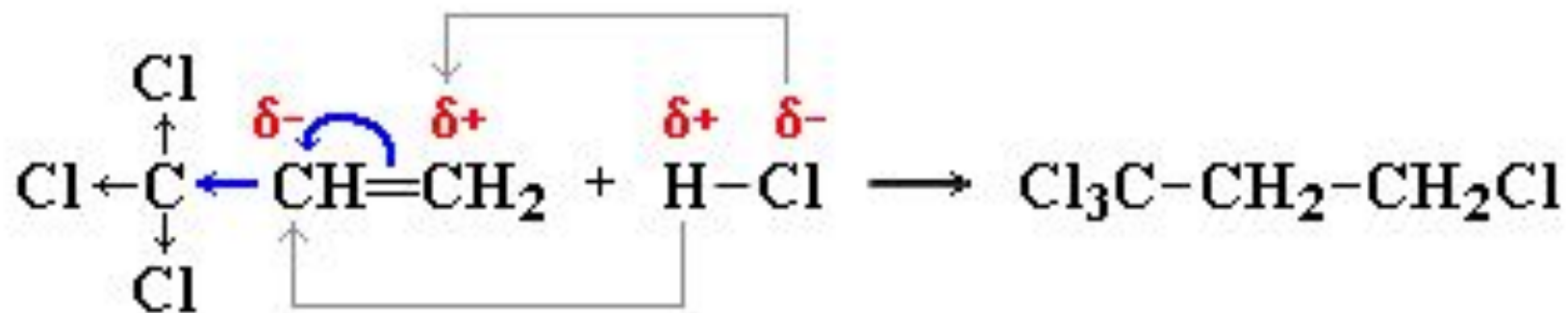
### *Исключения!!!*

- 1) если в алкене присутствует электроноакцепторный заместитель, т.е. группа способная оттягивать на себя электронную плотность, т.к. обладает большей электроотрицательностью (например, атомы F, Cl, O):



- 2) Присоединение в присутствии  $\text{H}_2\text{O}_2$  (эффект Хараша)

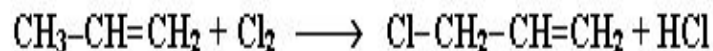
## Присоединение против правила Марковникова



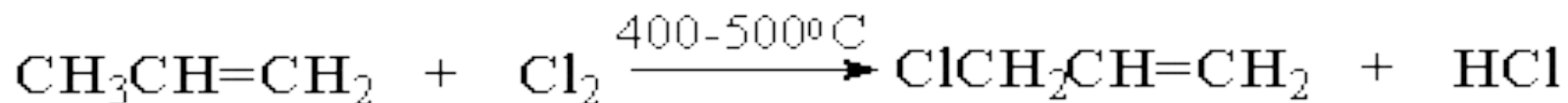
-I-эффект  
группы  $\text{CCl}_3$

# При высоких температурах возможны реакции радикального замещения с галогенами

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

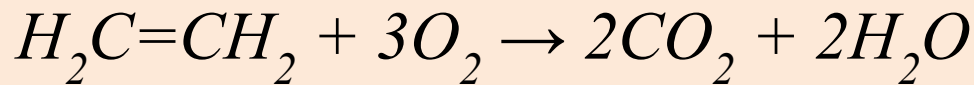


- **При высоких температурах** (более 400 °С) реакции **радикального присоединения**, носящие обратимый характер, подавляются.
- В этом случае становится возможным провести замещение атома водорода, находящегося в аллильном положении (соседнее при двойной связи) при этом двойная связь сохраняется.
- Реакция носит радикальный характер (радикальное замещение) и протекает аналогично хлорированию алканов.

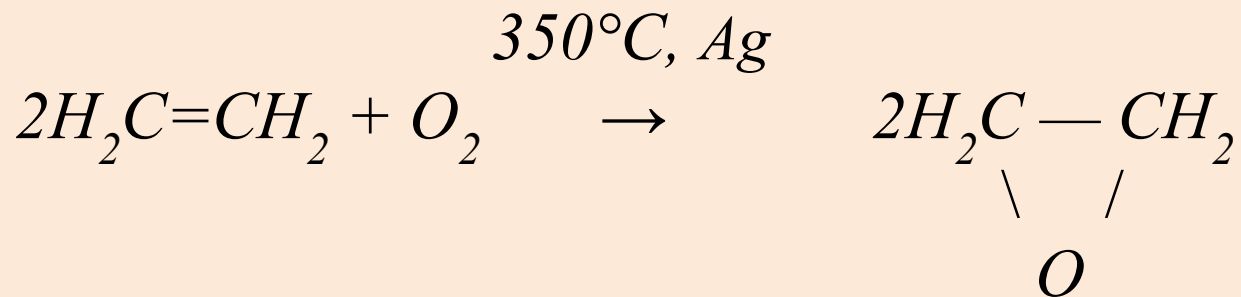


# 1) Реакции окисления кислородом воздуха

- 1) Полное окисление (горение):



- 2) Частичное окисление на катализаторе:



на серебряном катализаторе  $2CH_2=CH_2 + O_2 \rightarrow 2CH_2-CH_2$  (оксид этилена)



В присутствии солей меди  $2CH_2=CH_2 + O_2 \rightarrow 2CH_3CHO$  (уксусный альдегид).

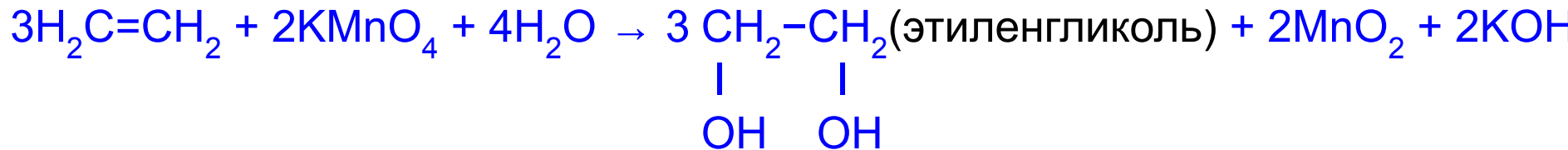
## 2) Окисление алкенов в мягких условиях

(без нагревания, нейтральная среда)

(Реакция Вагнера Е.Е.)

При окислении алкенов *разбавленным раствором перманганата калия*  $\text{KMnO}_4$  при обычных условиях или на холоду, образуются *двухатомные спирты – гликоли*.

**Это качественная реакция на алкены.**

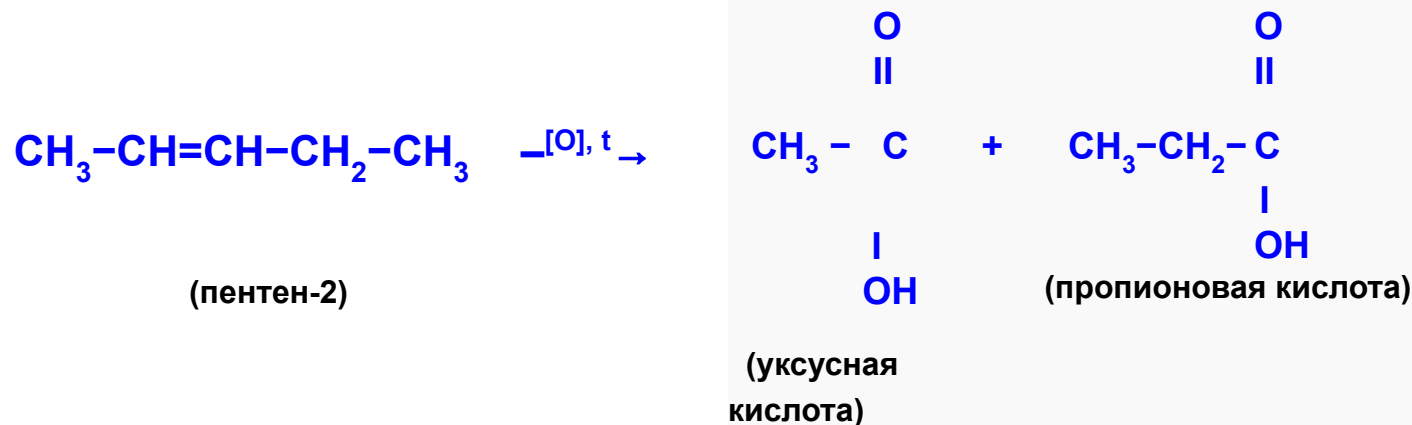


В результате реакции наблюдается **обесцвечивание раствора** перманганата калия.

Реакция Вагнера служит качественной пробой на двойную связь.

### 3) Окисление алкенов в жёстких условиях (нагревание, кислотная среда)

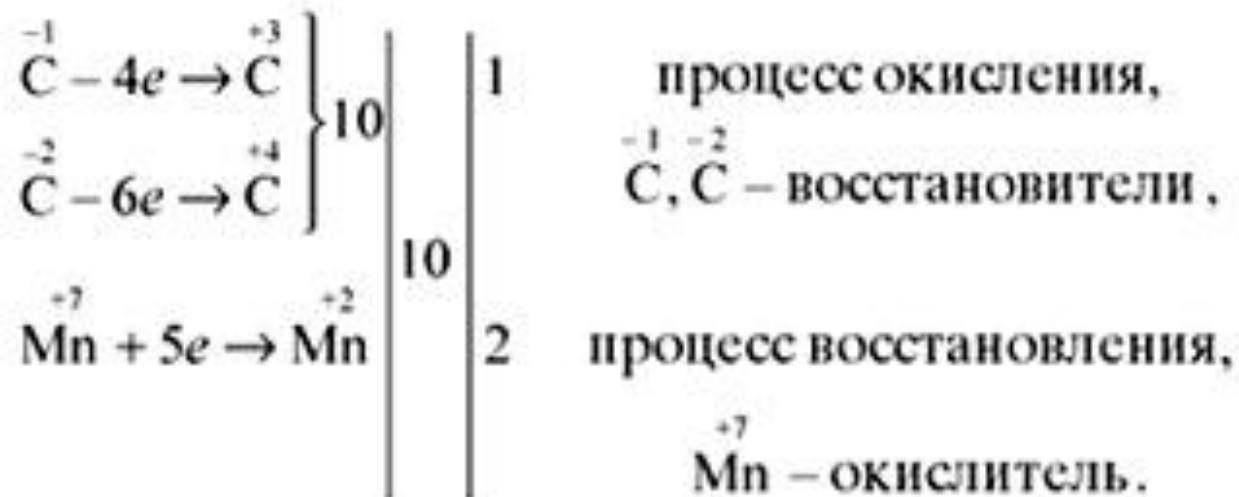
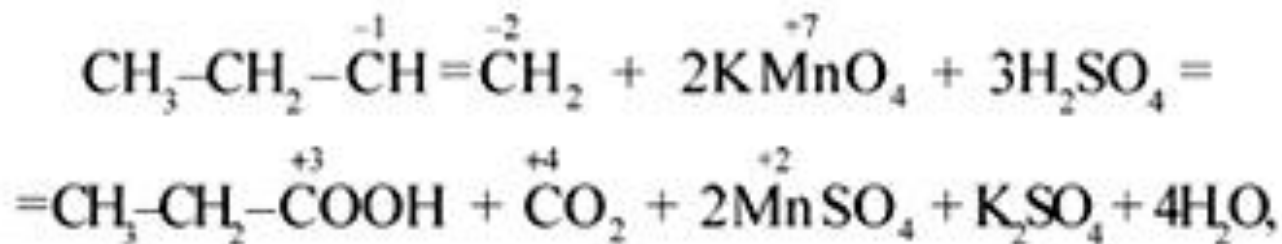
При **жестком окислении** алкенов кипящим раствором перманганата калия в кислой среде происходит полный разрыв двойной связи и образование кислот или кетонов.



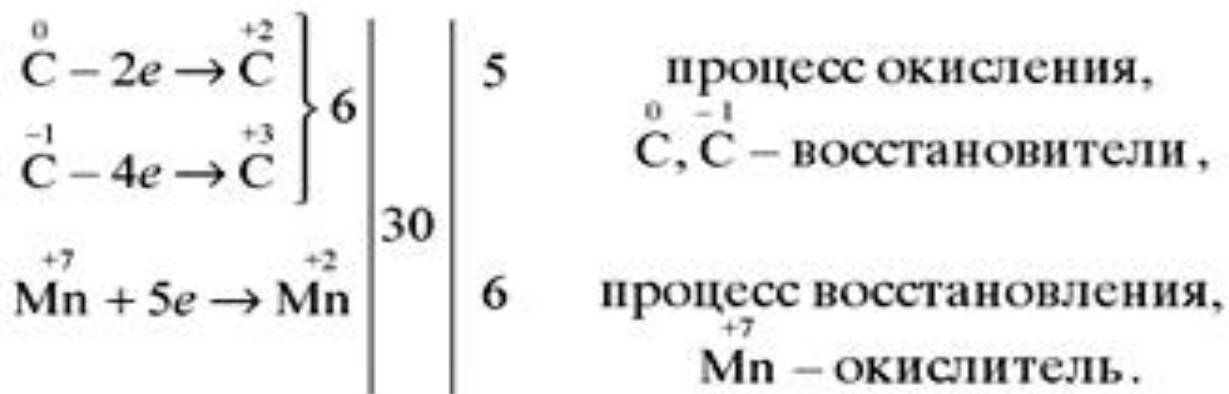
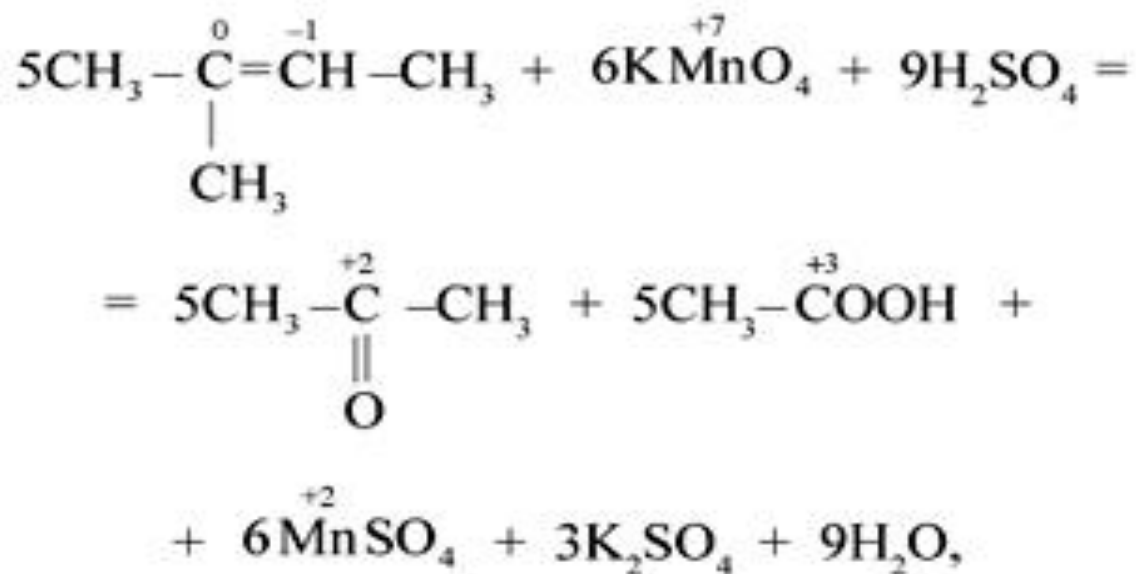
По образовавшимся продуктам (кислотам и кетонам) можно сделать заключение о строении и составе радикалов, связанных с этиленовой группировкой в исходном соединении.



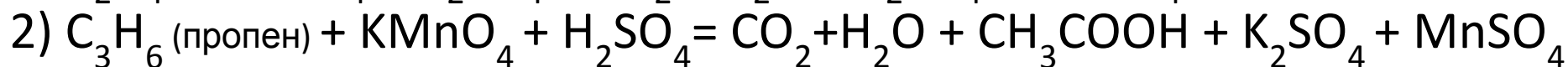
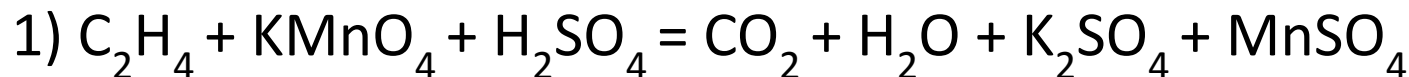
# Окисление алкенов в жестких условиях



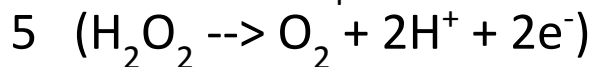
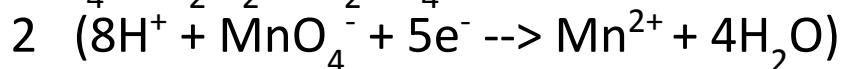
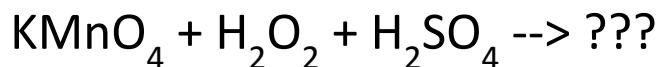
# Окисление алкенов в жёстких условиях



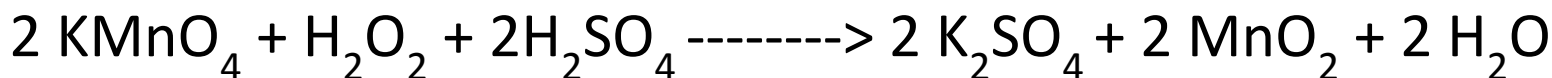
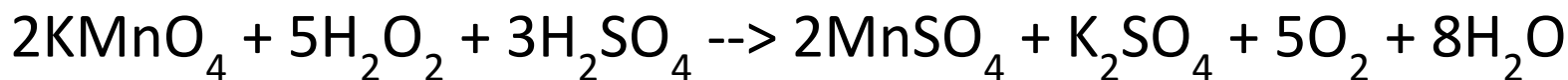
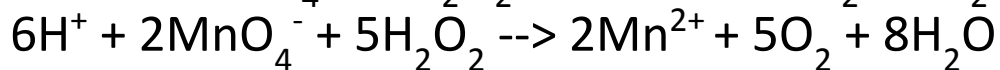
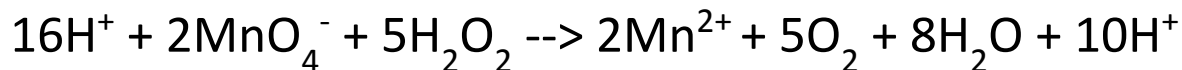
# Разные случаи окисления алкенов в жёстких условиях



При окислении бутадиена в кислой среде разрыв будет по обоим двойным связям?

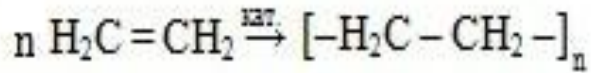
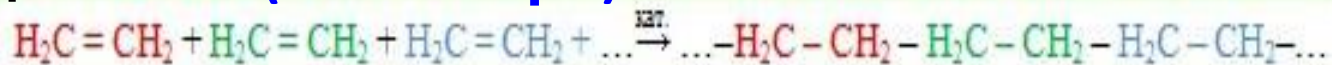


----- ...



# Полимеризация алкенов

процесс образования высокомолекулярного соединения (**полимера**) путем соединения друг с другом молекул исходного низкомолекулярного соединения (**мономера**)

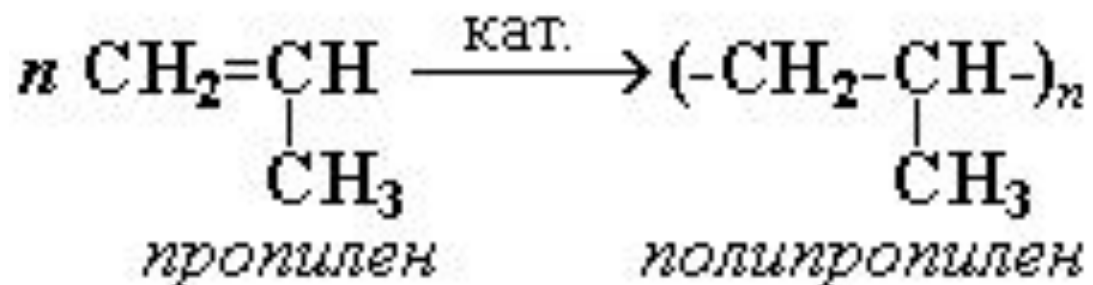
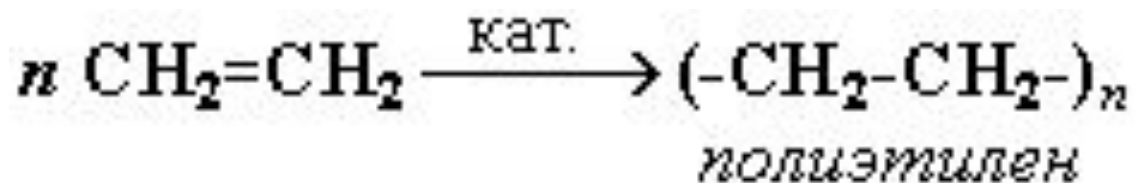


Где,  $n$  – число структурных звеньев в молекуле.

Исходное низкомолекулярное вещество, вступающее в реакцию полимеризации, называется **мономер**.

**При полимеризации двойные связи в молекулах исходного неопределенного соединения "раскрываются", и за счет образующихся свободных валентностей эти молекулы соединяются друг с другом.**

# Полимеризация алкенов



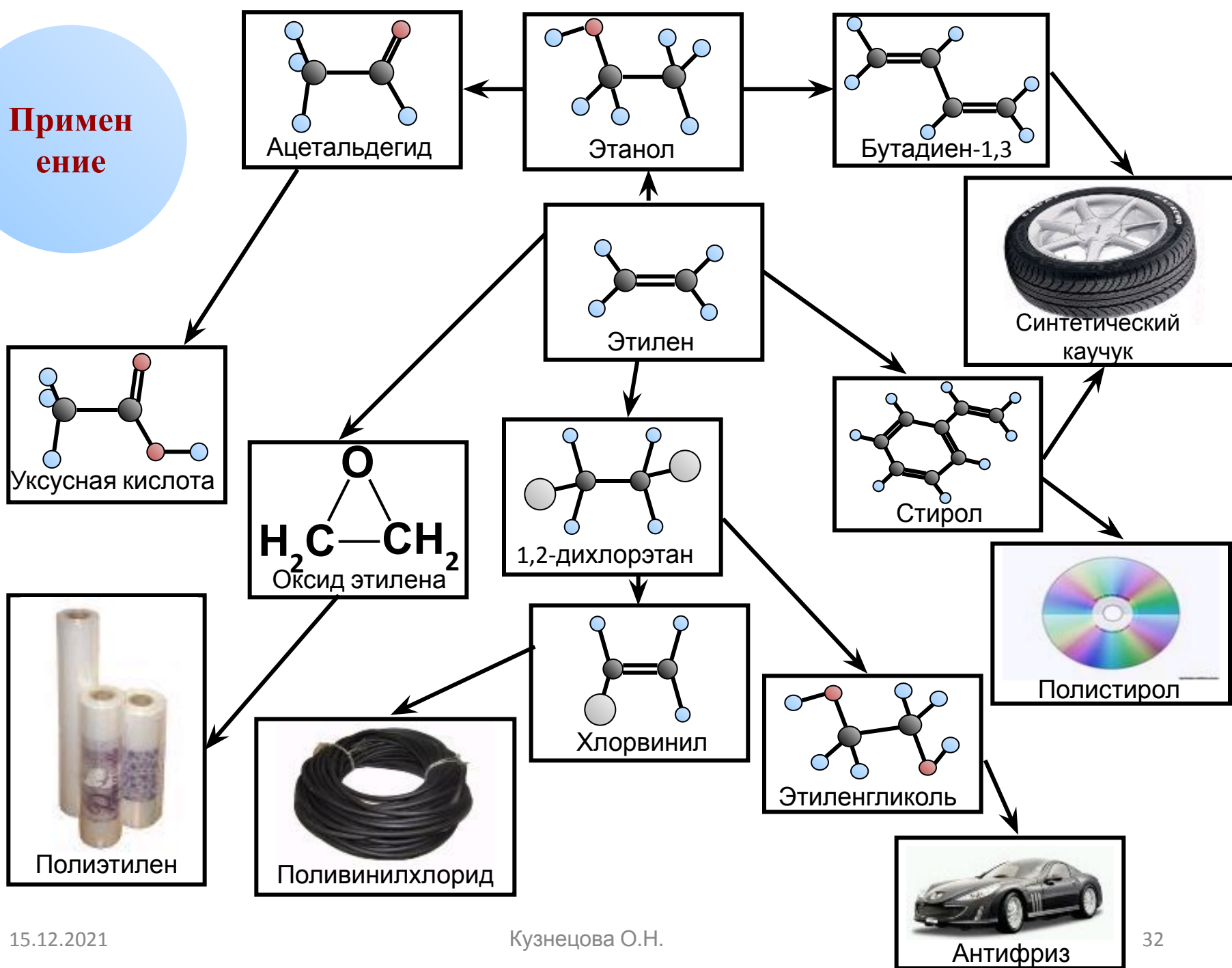
## Химические свойства алкенов



## Выводы:

- Алкены – непредельные углеводороды, в молекулах которых имеется одна двойная связь. Атомы углерода находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Общая формула –  $C_n H_{2n}$ . В названии алкенов используется суффикс –ен.
- Для алкенов характерны: изомерия углеродной цепи, изомерия положения двойной связи, пространственная (геометрическая) и изомерия между классами.
- Алкены обладают большой химической активностью. За счёт наличия  $\pi$ -связи алкены вступают в реакции присоединения, окисления, полимеризации.

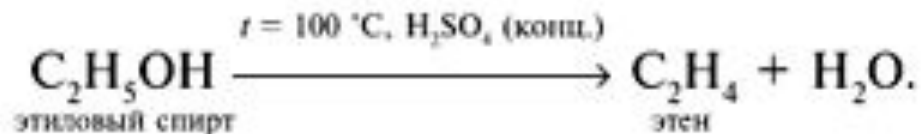
**Применение**



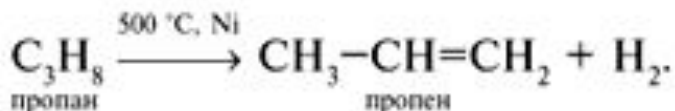
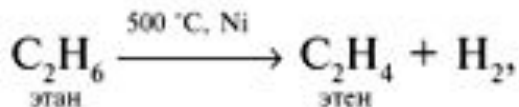
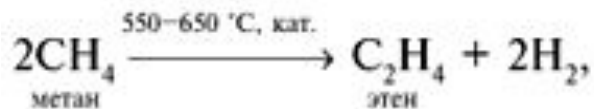


# Получение алкенов

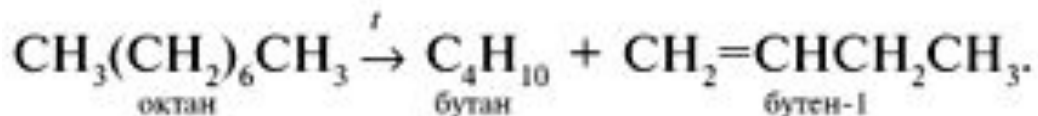
1) Дегидратация спиртов:



2) Дегидрирование алканов:

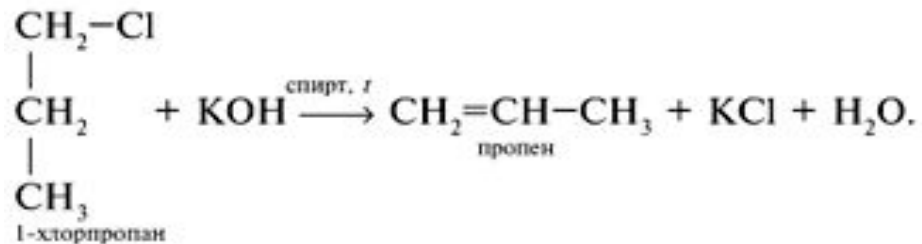
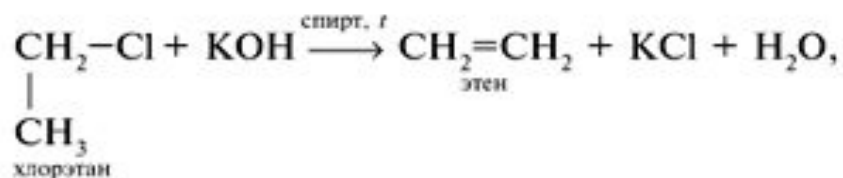
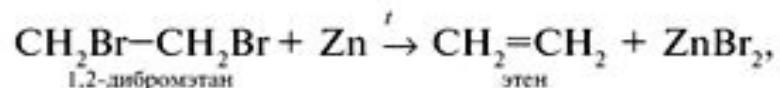
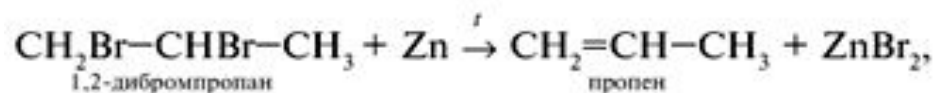


3) Пиролиз и крекинг нефти и природного газа:



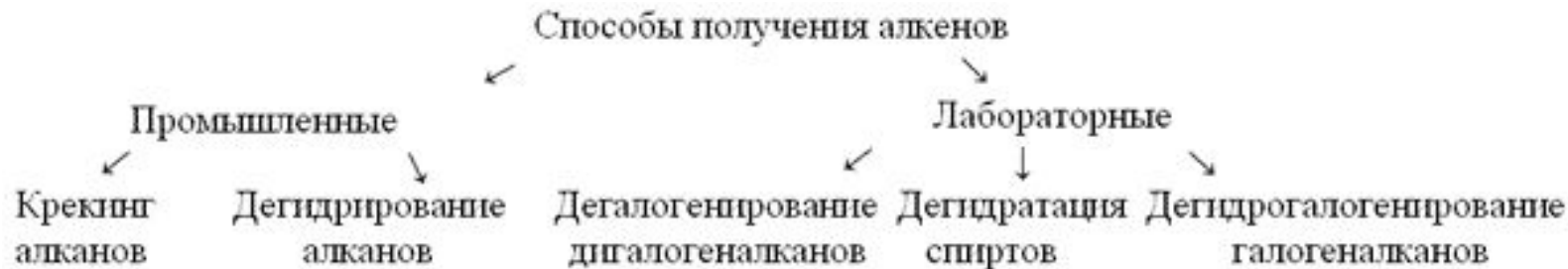
4) Из галогенопроизводных алканов:

4) Из галогенопроизводных алканов:



## Применение алкенов

Свойство	Уравнение	Применение
1. Полимеризация	$n\text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow (-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$	Производство пластмасс.
2. Алкилирование	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	В качестве моторного топлива
3. Галогенирование и гидрогалогенирование	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$	Растворитель
	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl}$	Местная анестезия, растворитель, в с/х для обеззараживания зернохранилищ.
4. Гидратация	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH}$	Растворитель, в медицине.ю в производстве синтетического каучука
5. Окисление [O] р-ром $\text{KMnO}_4$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + [\text{O}] + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$	Получение антифризов, тормозных жидкостей, в производстве пластмасс.
6. Особые свойства этилена этилен-регулятор роста растений	$\text{Cl}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{P}(\text{OH})_2=\text{O} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HCl}$	Препарат «этрел» (1946г. М.И. Кабачник и П.А. Российская) попадая в растение разлагается с выделением этилена, ускоряет созревание плодов.



## Способы получения алкенов

– крекинг нефтепродуктов (алканов)  $C_8H_{18} \rightarrow C_4H_8 + C_4H_{10}$ ; (термический крекинг при 400-700 °С)

октан          бутен          бутан

– дегидрирование алканов  $C_4H_{10} \rightarrow C_4H_8 + H_2$ ; (t, Ni)  
                                   бутан          бутен          водород

– дегидрогалогенирование галогеналканов  $C_4H_9Cl + KOH \rightarrow C_4H_8 + KCl + H_2O$ ;  
   хлорбутан      гидроксид          бутен      хлорид      вода  
   калия   калия

– дегидрогалогенация  $CH_2Cl-CH_2Cl + Zn \rightarrow ZnCl_2 + CH_2=CH_2$ ;  
                                   |        |        цинк      хлорид      этен  
                                   Cl      Cl   цинка

дихлорэтан

– дегидратация спиртов  $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$  (при нагревании в присутствии концентрированной серной кислоты)

**Запомните!** При реакциях дегидрирования, дегидратации, дегидрогалогенирования и дегалогенирования нужно помнить, что водород преимущественно отрывается от менее гидрогенизированных атомов углерода (правило Зайцева, 1875 г.)

# Тестовое задание № 1:

- 1. Ациклические углеводороды, в молекулах которых содержится одна двойная связь, называются  
А) алканы    Б) алкены    В) алкины    Г) арены.
- 2. Для алкенов характерна изомерия  
А) углеродного скелета    Б) положения кратной связи  
В) геометрическая    Г) все ответы верны.
- 3. Формула 2,3-диметилпентена-1  
А)  $\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$     Б)  $\text{CH}_3-\overset{\text{H}_3\text{C}}{\text{C}}=\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$   
В)  $\text{CH}_3-\underset{\text{H}_3\text{C}}{\text{CH}_2}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$     Г)  $\text{CH}_2=\overset{\text{H}_3\text{C}}{\text{C}}-\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

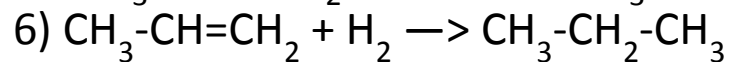
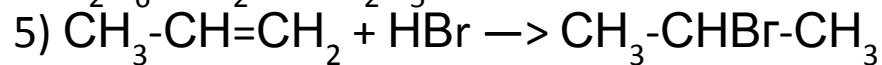
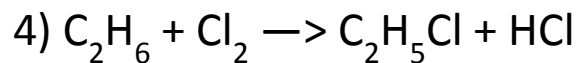
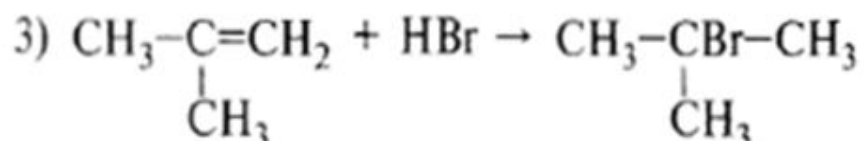
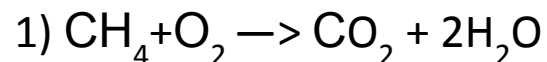
## Тестовое задание № 2:

- 1. Реакция присоединения водорода называется  
*А) гидрирование*                      *Б) гидрогалогенирование*  
*В) гидратация*                      *В) дегидрирование*
- 2. В реакции бромирования пропена образуется  
*А) 1,3-дибромпропан*              *Б) 1-бромпропан*  
*В) 2-бромпропан*                      *Г) 1,2-дибромпропан*
- 3. Сумма коэффициентов в уравнении горения пропена равно:  
*А) 11*              *Б) 15*              *В) 21*              *Г) 23*
- 4. При гидрогалогенировании алкенов атом водорода присоединяется к ... гидрированному атому углерода, а атом галогена – к ... гидрированному.  
*А) более*                      *Б) менее*

## Тестовое задание № 3:

- 1. Бутен можно получить крекингом:  
А) бутана    Б) пентана    В) гексана    Г) октана
- 2. Какие признаки характеризуют физические свойства этена: 1) бесцветная жидкость, 2) имеет резкий запах, 3) бесцветный газ, 4) немного легче воздуха, 5) почти без запаха, 6) плохо растворим в воде, 7) не горит, 8) с воздухом образует взрывоопасные смеси?  
А) 3,4,5,6,8    Б) 1,2,6,7    В) 2,3,4,6,8    Г) 3,4,6,8
- 3. Плотность паров алкена по водороду равна 49. Массовая доля углерода в нём – 85,71%, массовая доля водорода – 14,29%. Молекулярная формула этого углеводорода  
А)  $C_5H_{10}$     Б)  $C_6H_{12}$     В)  $C_7H_{14}$     Г)  $C_8H_{16}$

4. По ионному механизму протекают реакции, уравнения которых:





## Взаимодействие пропена с хлором на свету

- 1) относится к реакции присоединения
- 2) протекает по радикальному механизму
- 3) протекает с разрывом  $\sigma$ -связи
- 4) протекает в соответствии с правилом Марковникова
- 5) приводит к образованию 3-хлорпропена
- 6) является каталитической реакцией

--	--	--

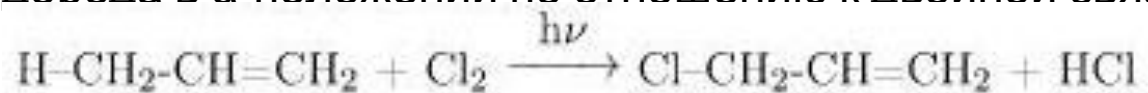
## Взаимодействие пропена с хлором на свету

- 1) относится к реакции присоединения
- 2) протекает по радикальному механизму
- 3) протекает с разрывом  $\beta$ -связи
- 4) протекает в соответствии с правилом Марковникова
- 5) приводит к образованию 3-хлорпропена
- 6) является каталитической реакцией

--	--	--

### Решение.

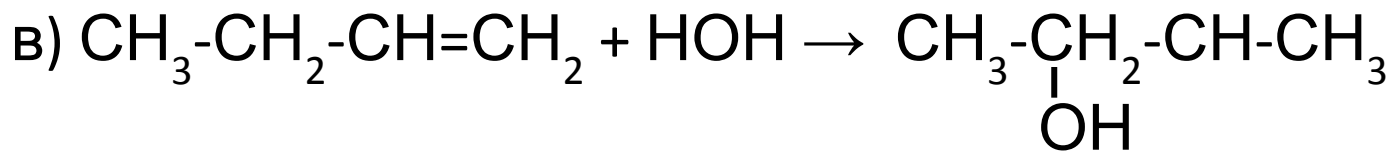
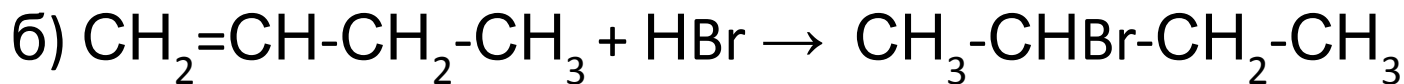
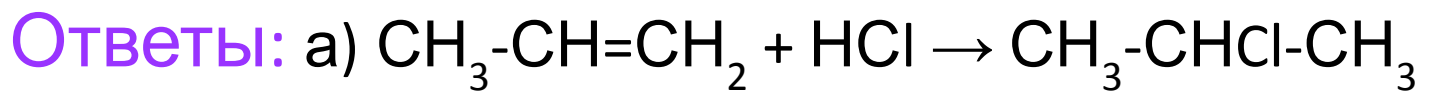
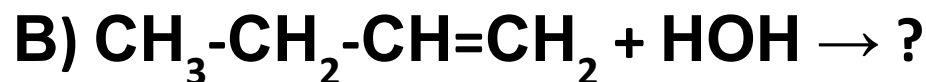
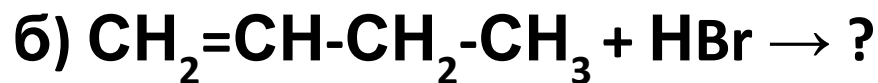
Взаимодействие пропена с хлором на свету (реакция Львова) - реакция замещения водорода в  $\alpha$ -положении по отношению к двойной связи.



Реакция протекает по радикальному механизму, с разрывом  $\beta$ -связи. Продуктами реакции являются хлороводород и 3-хлорпропен

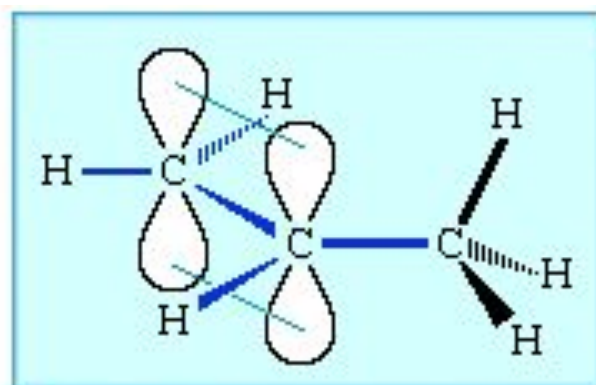
Ответ: 235

Используя правило Марковникова, напишите уравнения следующих реакций присоединения:



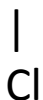
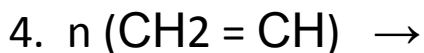
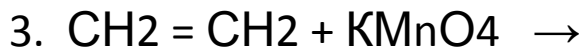
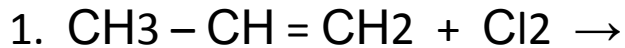
Составьте уравнения реакций:

- а) пропена с хлороводородом,
- б) пентена-1 с бромом,
- в) полимеризации этилена.

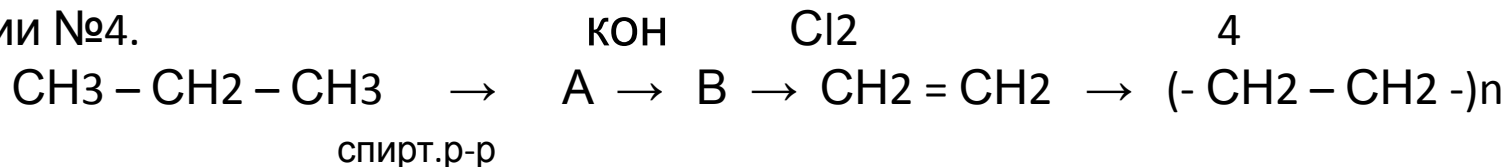


## Итоговый контроль

I. Укажите продукты реакции и тип реакции:



II. Укажите вещество В и укажите тип реакции №4. Дайте название продукта реакции №4.



III. Напишите уравнение реакции полимеризации пропилена.

IV. Как бутены -1 и -2 реагируют с галогеноводородами? Подтвердите соответствующими уравнениями реакций.

V. Осуществите цепочку превращений:



Дайте названия продуктам реакций.



# Алкены в природе

В природе ациклические алкены практически не встречаются. Простейший представитель

этого класса органических соединений — этилен ( $C_2H_4$ ) — является гормоном для растений и

в незначительном количестве в них синтезируется.

Один из немногих природных алкенов — мускалур (цис-трикозен-9) является ключевым аттрактантом самки домашней мухи (*Musca domestica*).

Низшие алкены в высоких концентрациях обладают наркотическим эффектом. Высшие члены ряда также вызывают судороги и раздражение оболочек дыхательных путей.

Отдельные представители:

**Этилен** — вызывает наркоз, обладает раздражающим и мутагенным действием.

**Пропилен** — вызывает наркоз (сильнее, чем этилен), оказывает общетоксическое и мутагенное действие.

**Бутен-2** — вызывает наркоз, обладает раздражающим действием.



# Лабораторный опыт: Получить этилен и изучить его свойства

## *Инструкция по получению этилена и опытов с ним*

- 1. Поместите в пробирку 2 мл концентрированной серной кислоты, 1 мл спирта и небольшое количество песка.
- 2. Закройте пробирку пробкой с газоотводной трубкой и нагрейте в пламени спиртовки.
- 3. Выделяющийся газ пропустите через раствор с перманганатом калия. Обратите внимание на изменение цвета раствора.
- 4. Подожгите газ у конца газоотводной трубки. Обратите внимание на цвет пламени.  
– алкены горят светящимся пламенем. (Почему?)  
$$\text{C}_2\text{H}_4 + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$
  
(при полном окислении продуктами реакции являются углекислый газ и вода)
- Качественная реакция: «мягкое окисление (в водном растворе)»  
– алкены обесцвечивают раствор перманганата калия (реакция Вагнера)
- При более жёстких условиях в кислой среде продуктами реакции могут быть карбоновые кислоты, например (в присутствии кислот):  
$$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 + 4[\text{O}] \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{HCOOH}$$
- – каталитическое окисление.