

E-mail: [irkrav66@gmail.com](mailto:irkrav66@gmail.com)

# ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Семинар-8.  
Углеводороды. Алкены

лектор:  
проф. Рохин Александр  
Валерьевич

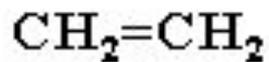
# Алкены

---

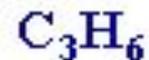
- (этиленовые углеводороды, олефины) - непредельные алифатические углеводороды, молекулы которых содержат двойную связь.
- Общая формула ряда алкенов:



# Простейшие представители

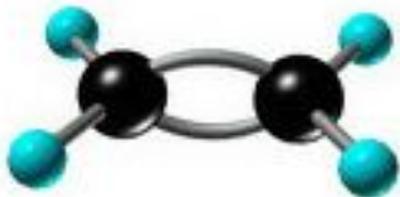


*этилен*  
(этен)

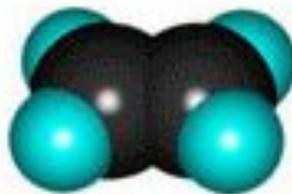


*пропилен*  
(пропен)

## Этилен

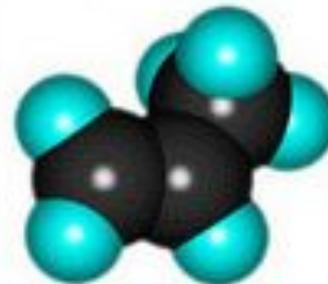


Шаростержневая  
модель



Масштабная модель  
(полусферическая)

## Пропилен



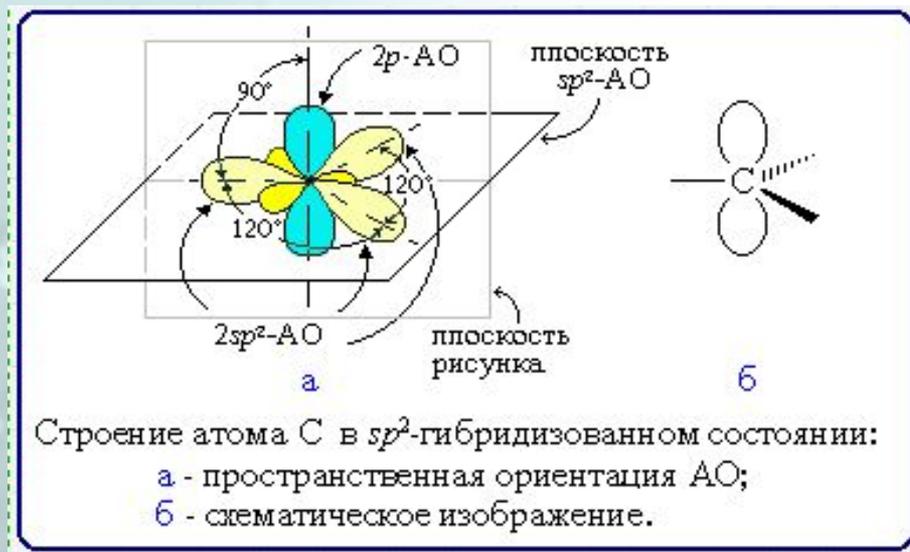
# Алкены

---

- В отличие от предельных углеводородов, алкены содержат двойную связь  $C=C$ , которая осуществляется 4-мя общими электронами:  $H_2C:::CH_2.$
- В образовании такой связи участвуют атомы углерода в  $sp^2$ -гибридизованном состоянии

# Строение C=C связи

- Каждый из атомов имеет по три  $2sp^2$ -гибридных орбитали, направленных друг к другу под углом  $120^\circ$ , и одну негибридизованную  $2p$ -орбиталь, расположенную под углом  $90^\circ$  к плоскости гибридных АО:



# Строение C=C связи

---

- Двойная связь является сочетанием  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей (хотя она изображается двумя одинаковыми черточками, всегда следует учитывать их неравноценность).
- $\sigma$ -Связь возникает при осевом перекрывании  $sp^2$ -гибридных орбиталей,
- $\pi$ -связь - при боковом перекрывании  $p$ -орбиталей соседних  $sp^2$ -гибридизованных атомов углерода.

# Строение C=C связи

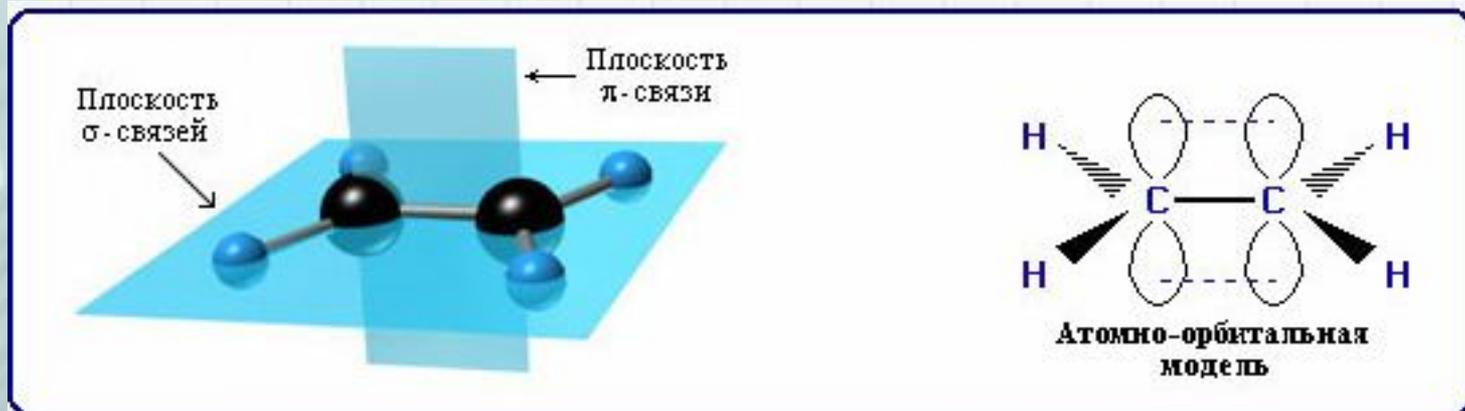
- Образование связей в молекуле этилена можно изобразить следующей схемой:



C=C  $\sigma$ -связь (перекрывание АО  $2sp^2-2sp^2$ ) и  $\pi$ -связь ( $2p_z-2p_z$ );  
C-H  $\sigma$ -связь (перекрывание  $2sp^2$ -АО углерода и  $1s$ -АО водорода).

# Строение C=C связи

- $\sigma$ -Связи, образуемые  $sp^2$ -гибридными орбиталями, находятся в одной плоскости под углом  $120^\circ$ .
- Поэтому молекула этилена имеет плоское строение :



# Номенклатура алкенов

---

- названия алкенов производят от названий соответствующих алканов (путем замены суффикса *-ан* на *-ен*):
- 2 атома C → этан → этен;
- 3 атома C → пропан → пропен
- Главная цепь выбирается таким образом, чтобы она обязательно включала в себя двойную связь.

# Номенклатура алкенов

---

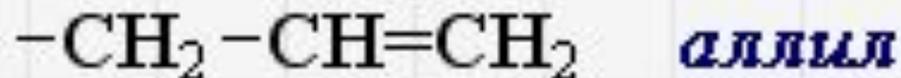
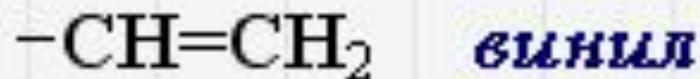
- названия алкенов производят от названий соответствующих алканов (путем замены суффикса *-ан* на *-ен*):
- 2 атома C → этан → этен;
- 3 атома C → пропан → пропен
- Главная цепь выбирается таким образом, чтобы она обязательно включала в себя двойную связь.



# Номенклатура алкенов

---

- В номенклатуре различных классов органических соединений наиболее часто используются следующие одновалентные радикалы алкенов:



# Номенклатура алкенов

Назовите следующие алкены:

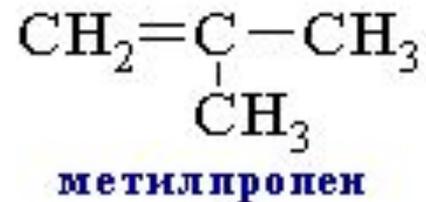
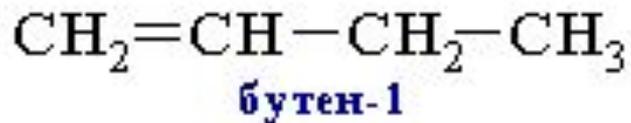
---

- $\text{CH}_2=\text{CH}_2$
- $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$
- $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$
- $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$
- $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$
- $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$

# Структурная изомерия алкенов

---

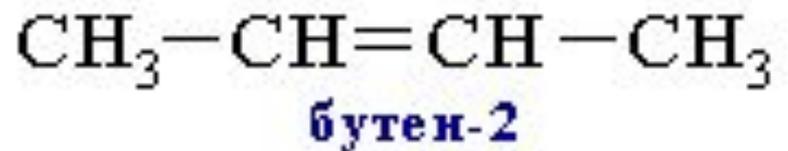
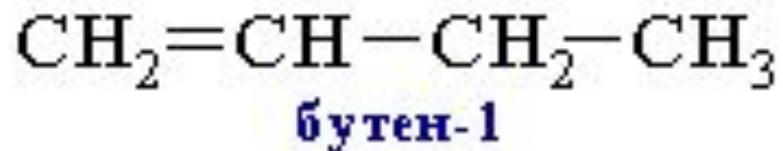
1. Изомерия углеродного скелета (начиная с  $C_4H_8$ ):



# Структурная изомерия алкенов

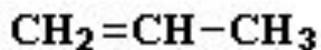
---

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

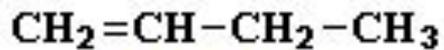
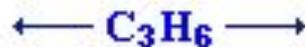


# Структурная изомерия алкенов

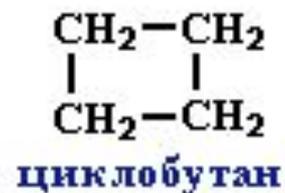
3. Межклассовая изомерия с циклоалканами, начиная с  $C_3H_6$  :



пропен

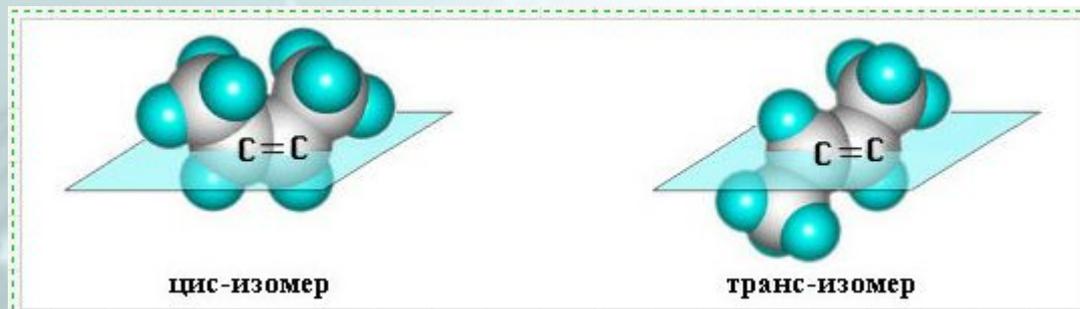


бутен-1



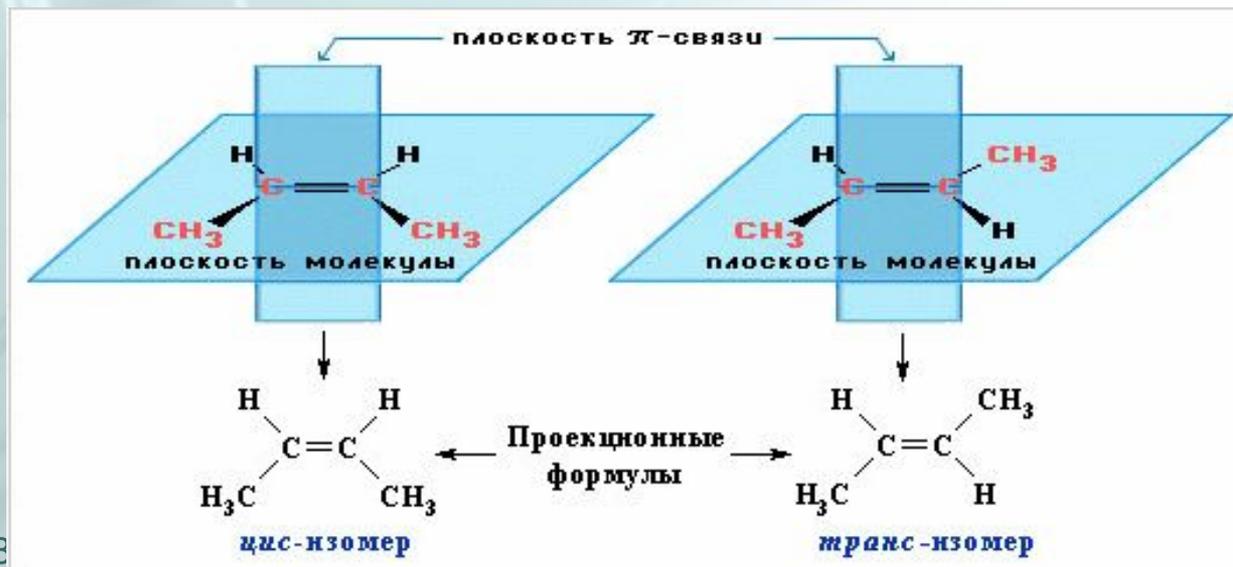
# Пространственная изомерия алкенов

- Вследствие жесткой закреплённости атомов поворотная изомерия относительно двойной связи не проявляется.
- Но становится возможной *цис-транс-*изомерия:



# Пространственная изомерия алкенов

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



# Свойства алкенов

---

Физические свойства алкенов  
изменяются в гомологическом ряду:

- от  $C_2H_4$  до  $C_4H_8$  - газы,
- начиная с  $C_5H_{10}$  - жидкости,
- с  $C_{18}H_{36}$  - твердые вещества.
- Алкены практически нерастворимы в воде, но хорошо растворяются в органических растворителях

# Свойства алкенов

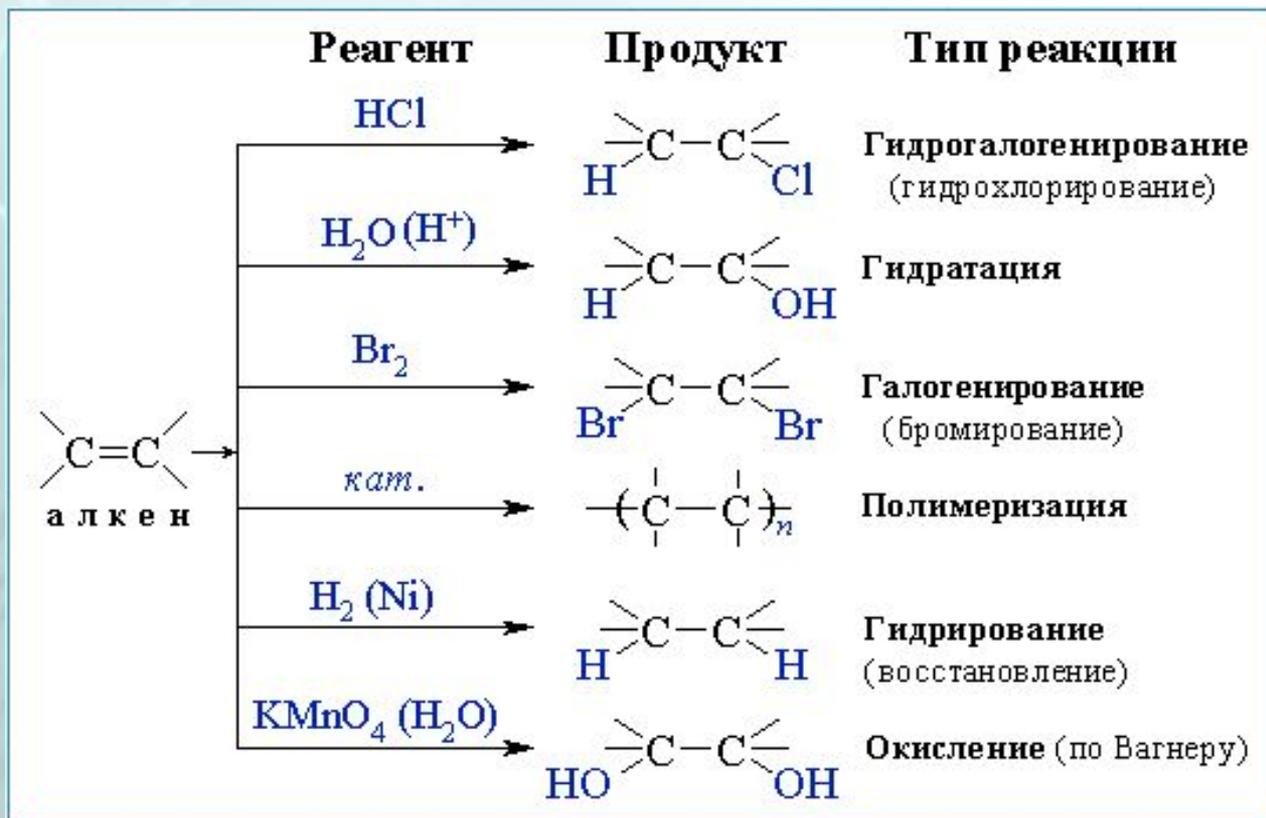
---

*Химические свойства алкенов определяются строением и свойствами двойной связи  $C=C$ , которая значительно активнее других связей в молекулах этих соединений.*

*Алкены химически более активны, чем алканы.*

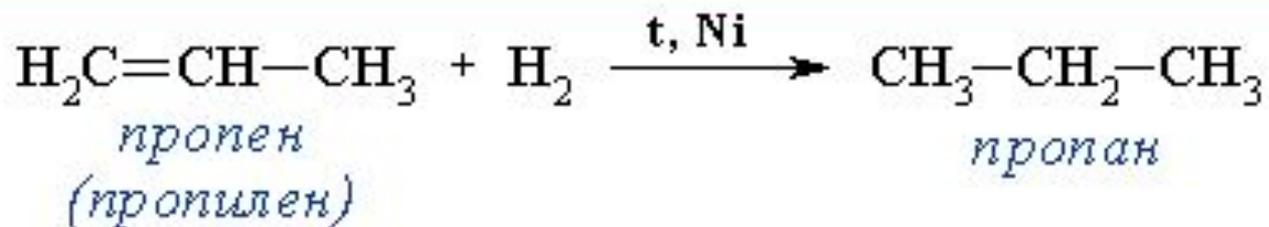
# Реакции присоединения

- Алкены вступают в реакции с различными соединениями:



# Гидрирование (присоединение водорода)

- Алкены взаимодействуют с водородом при нагревании в присутствии металлов Pt, Pd или Ni:



# Гидрирование (присоединение водорода)

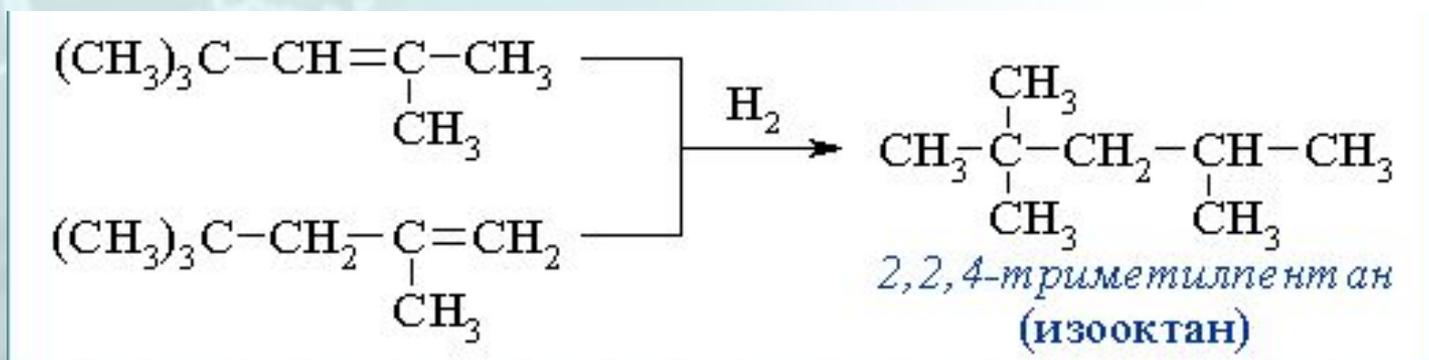
- Присоединение водорода к атомам углерода в алкенах приводит к понижению степени их окисления:



- Поэтому гидрирование алкенов относят к реакциям восстановления.

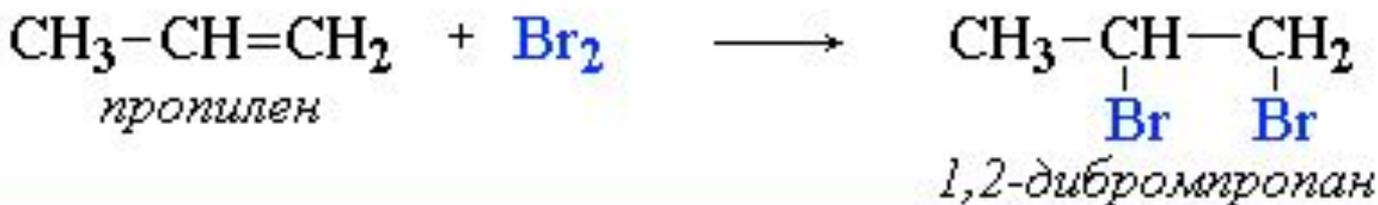
# Гидрирование (присоединение водорода)

- Эта реакция используется в промышленности для получения высокооктанового топлива:



# Галогенирование (присоединение галогенов)

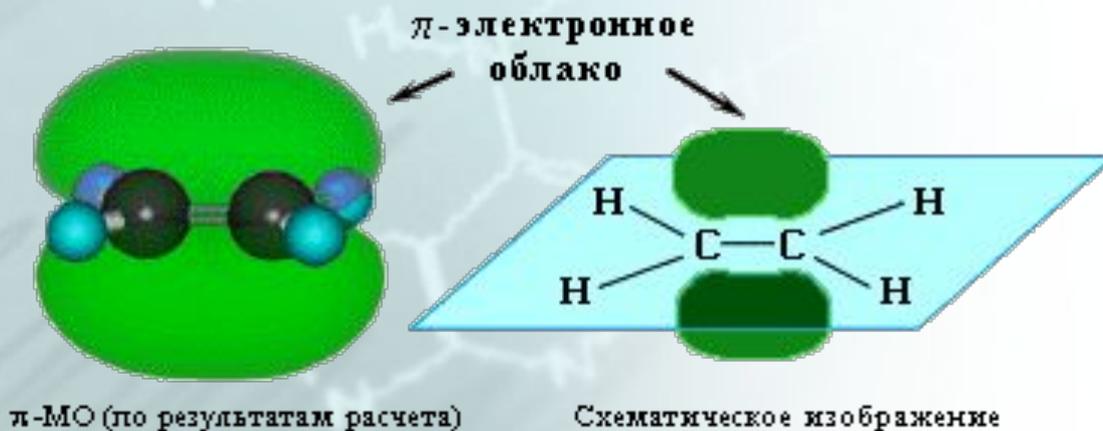
- Присоединение галогенов по двойной связи C=C происходит легко в обычных условиях (при комнатной температуре, без катализатора):



- Эти реакции протекают по механизму электрофильного присоединения

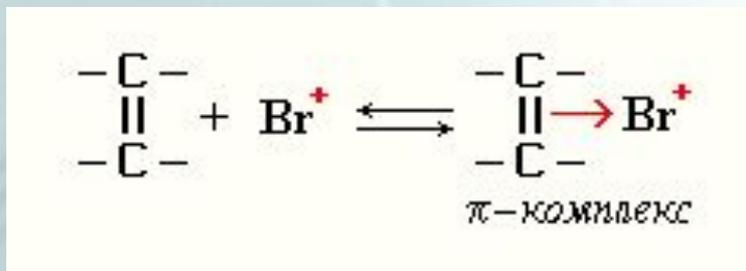
# Механизм электрофильного присоединения галогена к алкенам

- Электрофильные ("любящие электроны") реагенты, это частицы (катионы или молекулы), имеющие свободную орбиталь на внешнем электронном уровне ( $H^+$ ,  $CH_3^+$ ,  $Br^+$ ,  $Cl^+$ ,  $NO_2^+$ ,  $AlCl_3$  и т.п.) :



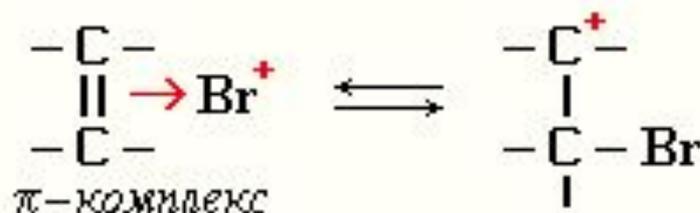
# Механизм электрофильного присоединения галогена к алкенам

- Механизм присоединения протекает в три стадии:
- *Стадия 1*: образование  $\pi$ -комплекса.  $p$ -Электронное облако двойной связи  $C=C$  взаимодействует с электрофилом, например, с катионом брома ( $Br^+$ ):



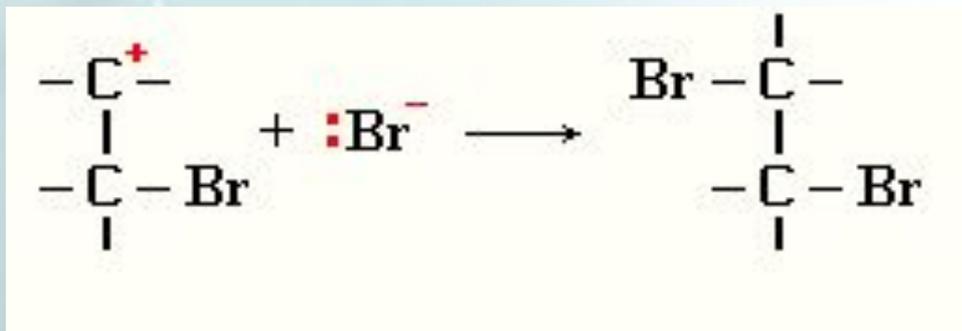
# Механизм электрофильного присоединения галогена к алкенам

- Стадия 2 (лимитирующая): образование карбокатиона. Электрофил ( $\text{Br}^+$ ) присоединяется к одному из атомов углерода за счет электронной пары  $\pi$ -связи.
- На втором углеродном атоме, лишенном связывающих  $p$ -электронов, появляется положительный заряд:



# Механизм электрофильного присоединения галогена к алкенам

- Стадия 3: взаимодействие карбокатиона с анионом  $\text{Br}^-$ , образовавшемся при диссоциации  $\text{HBr}$  (или  $\text{Br}_2$ ), которое приводит к продукту реакции:



# Механизм электрофильного присоединения галогена к алкенам)

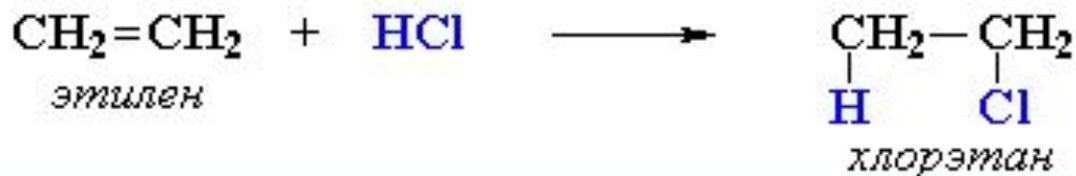
- Изменение энергии на различных стадиях реакции:



I, II, III - переходные состояния стадий 1, 2 и 3

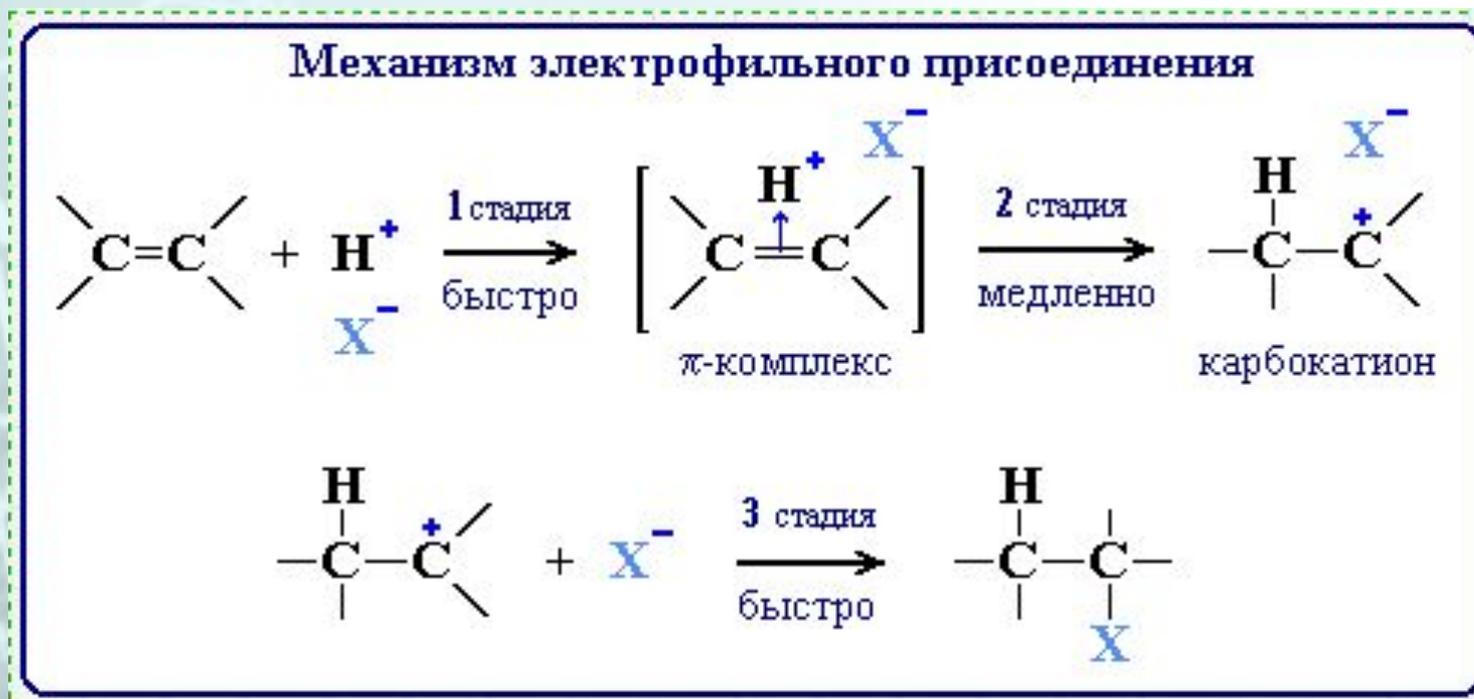
# Гидрогалогенирование (присоединение галогеноводородов)

- Реакция идет по механизму электрофильного присоединения с гетеролитическим разрывом связей.
- Электрофилом является протон  $H^+$  в составе молекулы галогеноводорода  $HX$  ( $X$  - галоген):



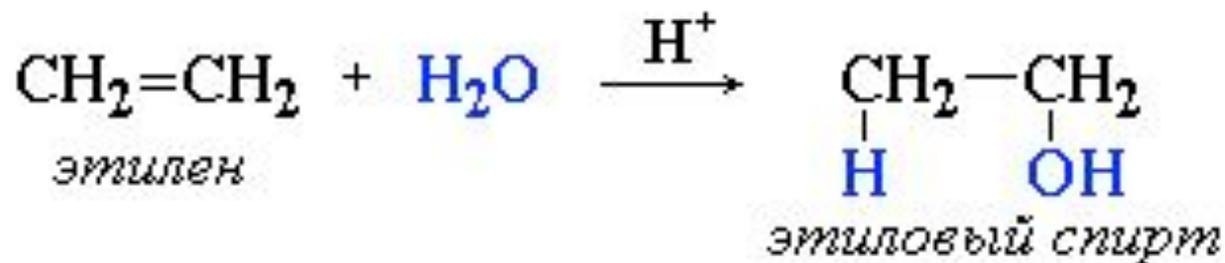
# Гидрогалогенирование (присоединение галогеноводородов)

- Механизм реакции протекает в три стадии:



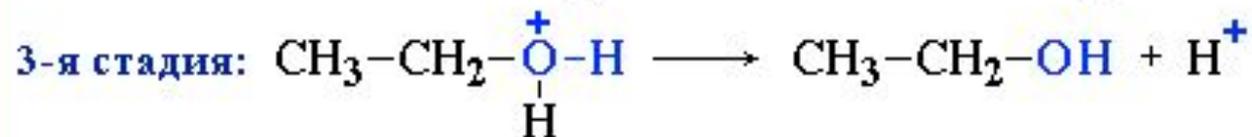
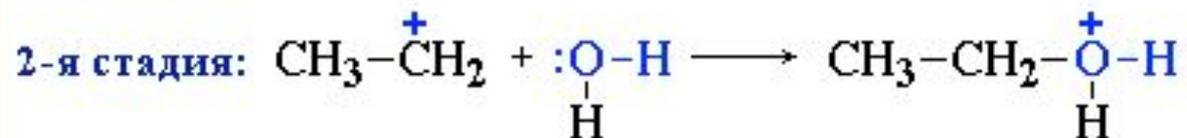
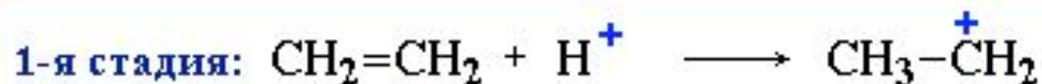
# Гидратация (присоединение воды)

- Гидратация происходит в присутствии минеральных кислот по механизму электрофильного присоединения:



# Гидратация (присоединение воды)

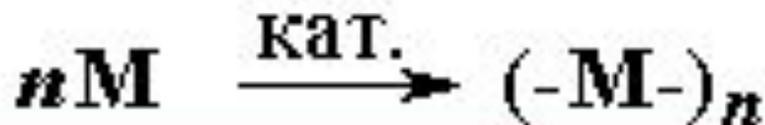
- Реакция происходит в присутствии минеральных кислот (донора  $\text{H}^+$ ) по механизму электрофильного присоединения:



# Полимеризация алкенов

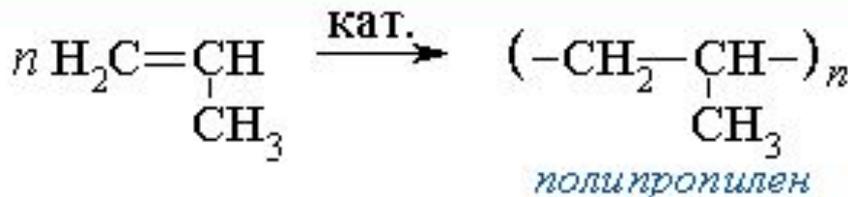
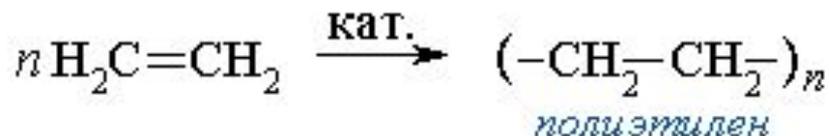
---

- 1. Полимеризация – реакция образования высокомолекулярного соединения (полимера) путем последовательного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера) по схеме:



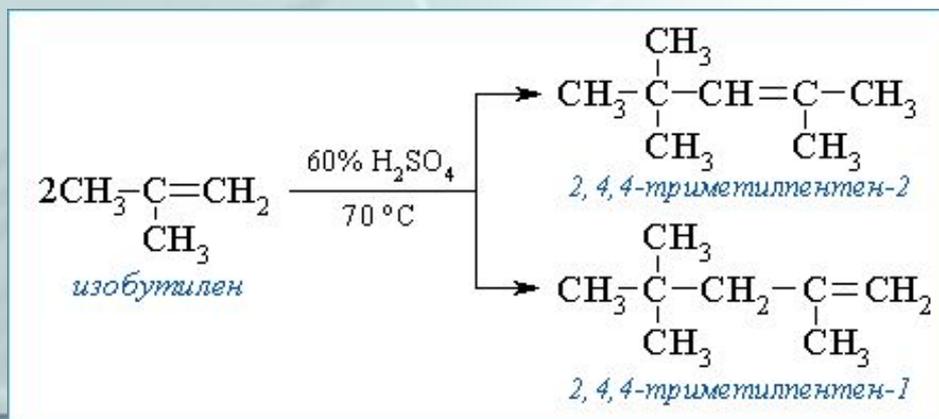
# Полимеризация алкенов

- Число  $n$  называется степенью полимеризации. Реакции полимеризации алкенов идут в результате присоединения по кратным связям:



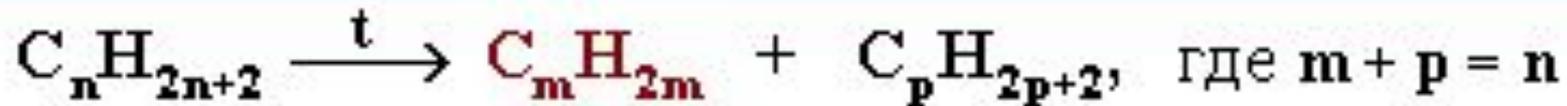
# Полимеризация алкенов

- 2. Димеризация алкенов - образование димера в результате реакции присоединения.
- В присутствии минеральной кислоты (донора протона  $H^+$ ) происходит присоединение протона по двойной связи:

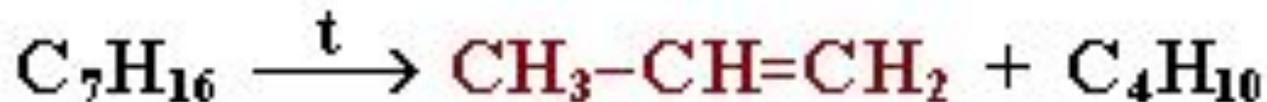


# Получение алкенов

## ■ I. Крекинг алканов:



## ■ например:

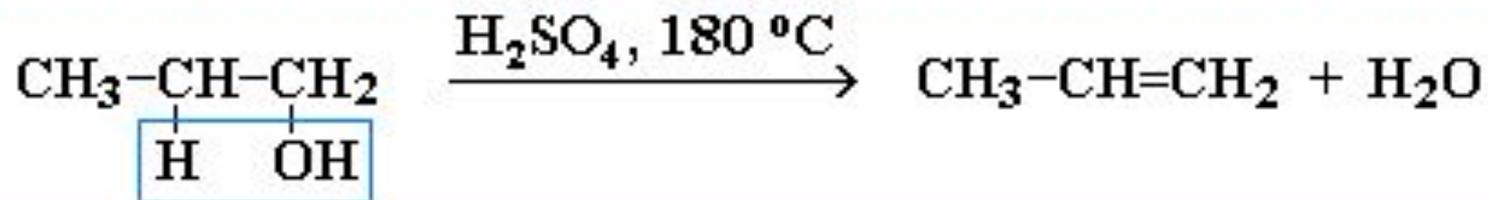


# Получение алкенов

- II. Отщепление (элиминирование) двух атомов или групп атомов от соседних атомов углерода с образованием между ними  $\pi$ -связи двух типов:
  - дегидратация
  - дегидрогалогенирование

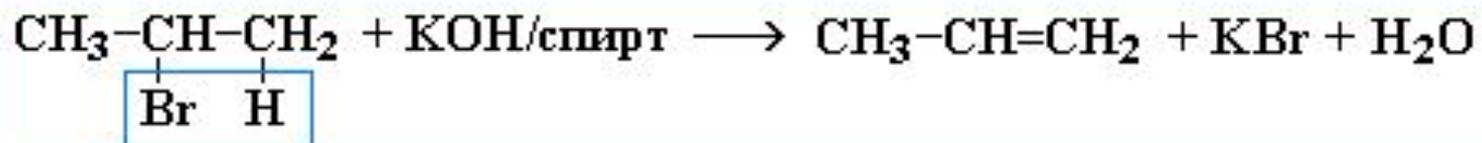
# Получение алкенов

- II. Отщепление :
  - дегидратация (при температуре менее 150°С в присутствии водоотнимающих реагентов )



# Получение алкенов

- II. Отщепление :
  - Дегидрогалогенирование (Дегидрогалогенирование моногалогеналканов при действии спиртового раствора щелочи)



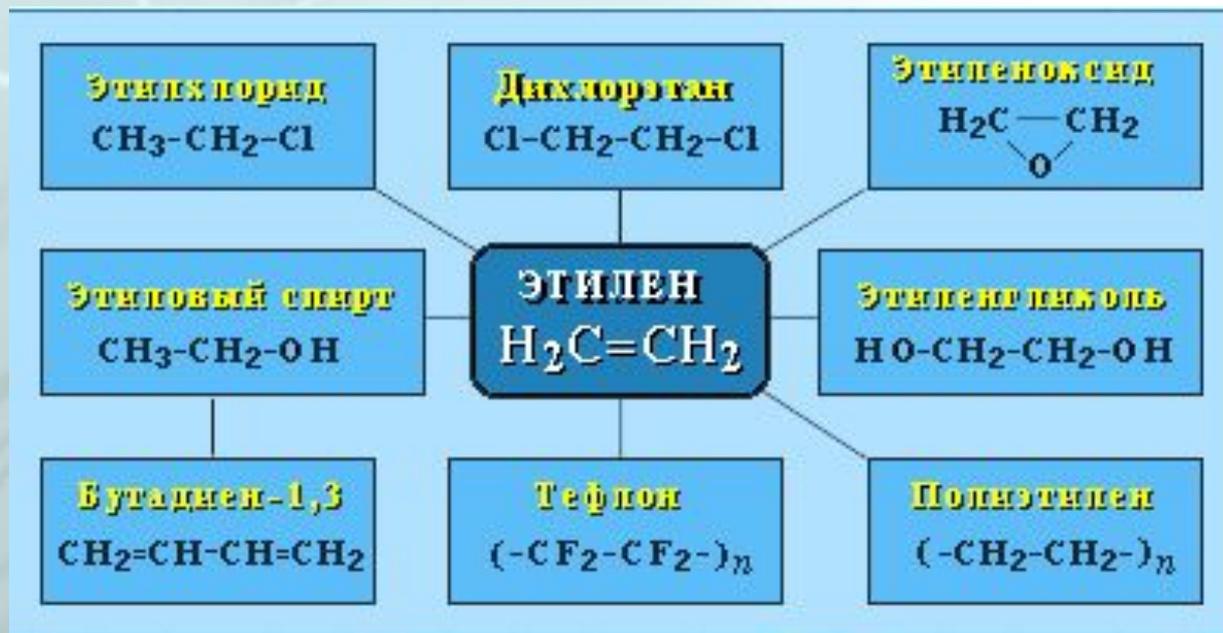
# Применение алкенов

---

- Алкены применяются в качестве исходных продуктов в производстве полимерных материалов (пластмасс, каучуков, пленок) и других органических веществ

# Применение алкенов

- Этилен (этен)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$  используется для получения многих органических соединений.



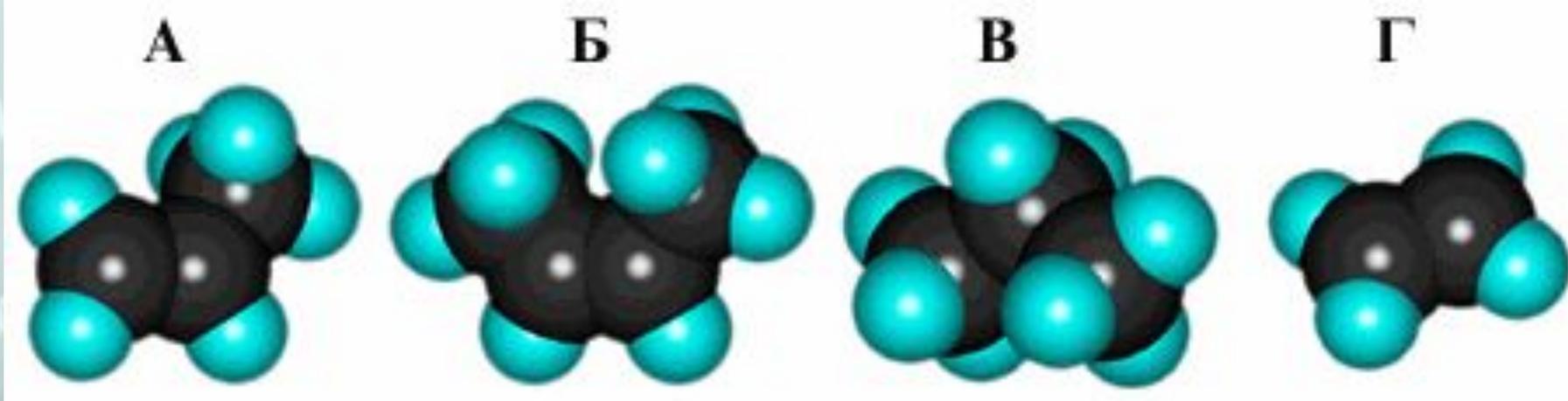
# Применение алкенов

---

- Пропилен (пропен)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2-\text{CH}_3$  и бутилены (бутен-1 и бутен-2) используются для получения спиртов и полимеров.
- Изобутилен (2-метилпропен)  $\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$  применяется в производстве синтетического каучука.

# 1. Контрольная работа

1. Какие модели соответствуют молекулам алкенов?



## 2. Контрольная работа

---

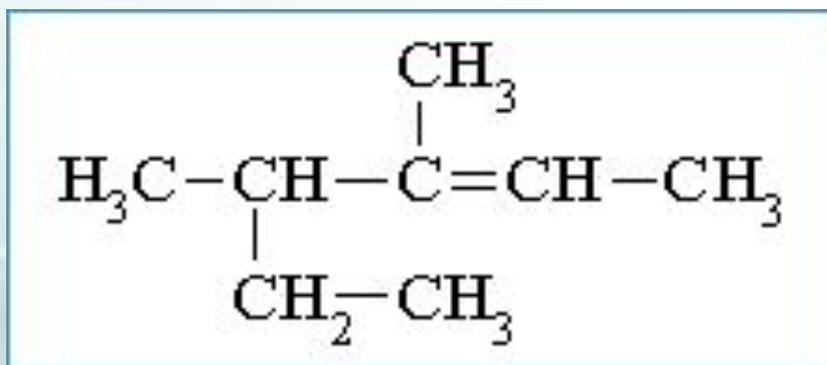
Дайте названия следующих алкенов, полученных из алканов:

- пропан
- декан
- октан
- этан
- пентан
- гексан

# 3. Контрольная работа

---

Назовите соединение:



Ответ 1: 3-метил-4-этилпентен-2

Ответ 2: 3-метил-2-этилпентен-3

Ответ 3: 3,4-диметилгексен-2

Ответ 4: 2-этил-3-метилпентен-2

# 4. Контрольная работа

---

Сколько изомерных алкенов соответствует формуле  $C_4H_8$  ?

Ответ 1: изомеров нет

Ответ 2: два

Ответ 3: три

Ответ 4: четыре

# 5. Контрольная работа

---

Двойная связь является сочетанием . . .

Ответ 1: двух  $\sigma$ -связей

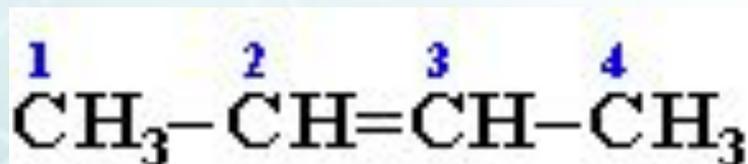
Ответ 2: двух  $\pi$ -связей

Ответ 3: одной  $\sigma$ -связи и одной  $\pi$ -связи

Ответ 4: ионной связи и ковалентной  
связи

# 6. Контрольная работа

Какова гибридизация атомов углерода в молекуле алкена:



Ответ 1: 1 и 4 -  $sp^2$ , 2 и 3 -  $sp^3$

Ответ 2: 1 и 4 -  $sp^3$ , 2 и 3 -  $sp^2$

Ответ 3: 1 и 4 -  $sp^3$ , 2 и 3 -  $sp$

Ответ 4: 1 и 4 - не гибридизованы, 2 и 3 -  $sp^2$

# 7. Контрольная работа

---

Наиболее характерными реакциями алкенов являются:

Ответ 1: реакции замещения

Ответ 2: реакции присоединения

Ответ 3: реакции разложения