

# Химическая реакция

***Терминология в теории  
химической реакции:  
реакционный центр,  
реакционная способность,  
субстрат, реагент.  
Классификация реагентов.***

**1. Химическая реакция** – взаимодействие молекул, при котором в рассматриваемой системе происходит перераспределение атомов и атомных групп между молекулами, т. е. разрыв старых и образование новых связей. С точки зрения теории МО, химическая реакция это процесс образования или перестройки МО в исходной системе с формированием новой системы, отличающейся от первоначальной энергетическими характеристиками и взаимным расположением.

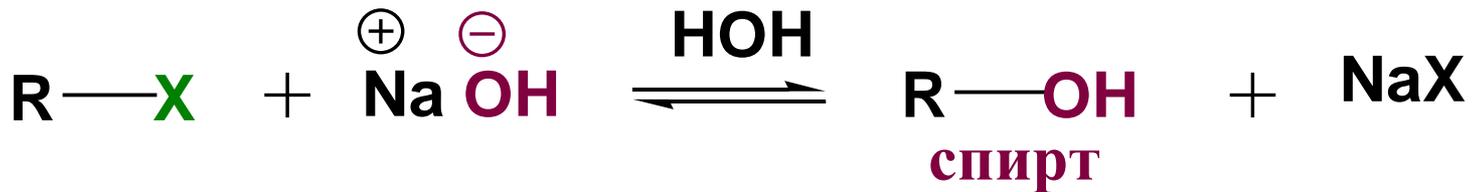
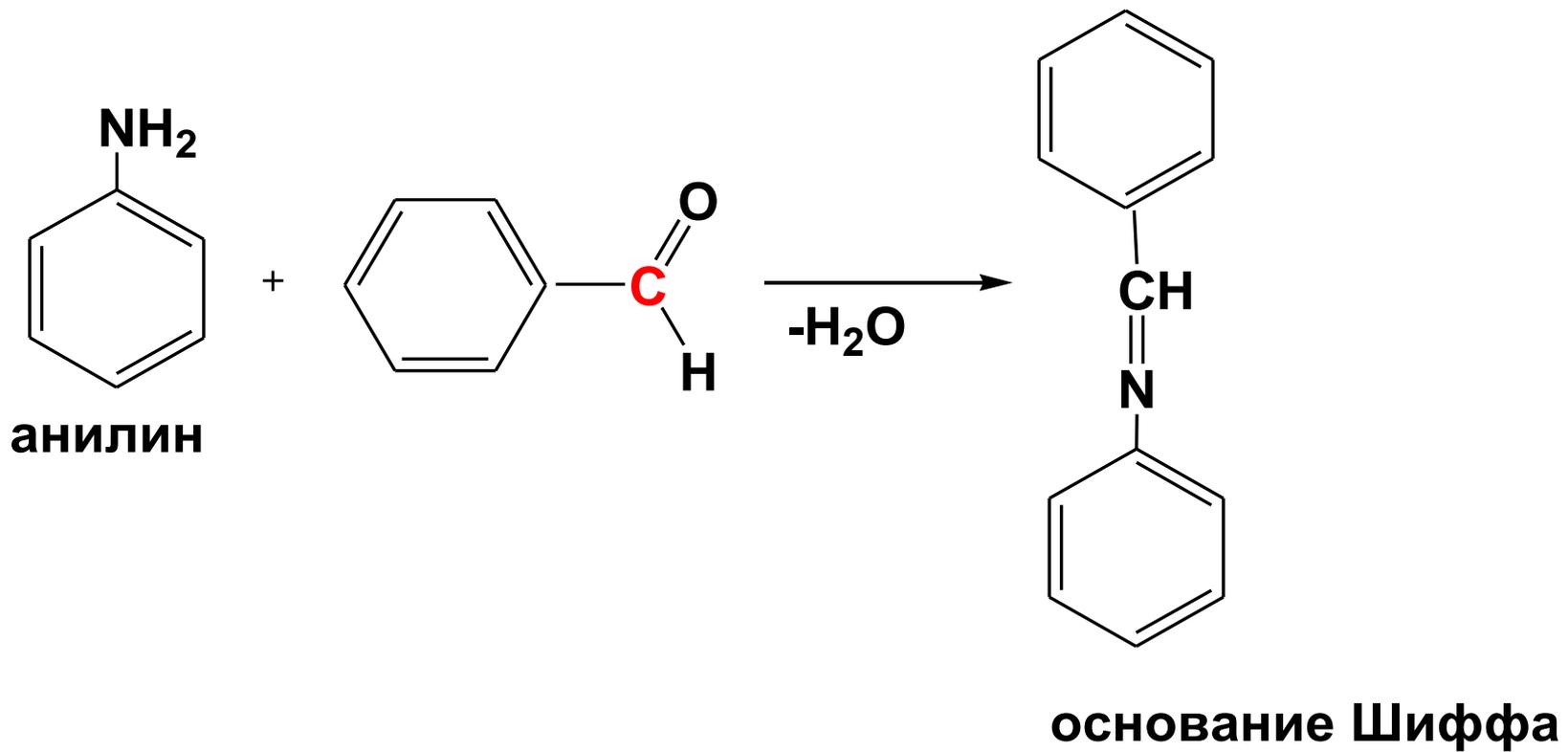
**Движущая сила реакции** – это возможность образования новой более стабильной системы, обладающей минимальной потенциальной энергией.

Факторы, определяющие реакционную способность:

**электронный** – неравномерное распределение электронной плотности;

**пространственный** – при объемных заместителях затруднен подход реагента к реакционному центру – реакция может идти по другому направлению.

**Реакционным центром** называют атом или группу атомов, участвующих в разрыве или образовании связей. Способность вещества вступать в ту или иную химическую реакцию и реагировать с большей или меньшей скоростью характеризует его **реакционную способность**, которая всегда рассматривается по отношению к конкретному партнеру реакции.



**Исходные соединения в органических реакциях называют реагентами, а образующиеся вещества – продуктами.**

**Для удобства принято одно из реагирующих веществ называть атакующим реагентом, а другое – субстратом.**

**Субстрат** – одно из реагирующих веществ, имеющее, как правило, более сложное строение, которое рассматривается в качестве объекта превращения и содержит реакционный центр, чаще всего атом углерода. Как правило, субстратом обозначают ту молекулу, которая поставляет атом углерода для новой связи.

**Реагент** – частица (радикал, ион, молекула), атакующая реакционный центр субстрата. Понятия «субстрат» и «реагент» условны и во многих случаях их можно поменять местами.

В реакциях, сопровождающихся гетеролитическим разрывом связи реагент обычно или отдает электронную пару субстрату, или принимает ее. Реагенты, которые отдают электронную пару называют нуклеофилами, а их реакции – нуклеофильными.

Электрофильные реагенты (электрофилы) – реагенты, которые принимают электронную пару для образования связи с субстратом. Их реакции называют электрофильными.

При расщеплении молекулы субстрата часть ее, не содержащую атома углерода, называют уходящей группой. Уходящую с электронной парой группу называют нуклеофугом, а группу, уходящую без электронной пары, – электрофугом.

При гомолитическом разрыве связи реагент предоставляет субстрату неспаренный электрон для образования связи, т. е. является радикалом или атомом.

# Классификация реагентов

<p><u>Радикалы <math>R\cdot</math></u>— частицы со свободными электронами</p>	<p><u>Электрофилы <math>E^{\oplus}</math></u>— частицы с вакантной орбиталью:</p>	<p><u>Нуклеофилы <math>Nu^-</math></u> — частицы со свободными электронными парам</p>
<p>1. Атомы: <math>F\cdot</math>, <math>Cl\cdot</math>, <math>Br\cdot</math>, <math>I\cdot</math>, <math>H\cdot</math>.</p> <p>2. Группы атомов (частицы) с неспаренным электроном:  <math>\bullet NO_2</math>, <math>\bullet CH_3</math>,  <math>\bullet OOR</math>, <math>\bullet OH</math>,  <math>\bullet R</math> др.</p>	<p>1. <b>Катионы:</b>  <math>Cl^{\oplus}</math>, <math>Br^{\oplus}</math>, <math>^{\oplus}</math>  <math>NO_2</math> и др.</p> <p>2. <b>Нейтральные электрофилы:</b>  <math>\square AlCl_3</math>, <math>\square BF_3</math>,  <math>\square SnCl_4</math>, <math>SO_3</math> и др.</p>	<p>1. <b>Анионы:</b>  <math>RO^-</math>, <math>Br^-</math>, <math>Cl^-</math>, <math>HO^-</math>, <math>H^-</math>, <math>NC^-</math></p> <p>2. <b>Нейтральные нуклеофилы:</b>  <math>\dot{N}H_3</math>, <math>H_2\ddot{O}</math>, <math>CH_3\ddot{O}H</math> и др.</p> <p>3. <b>Доноры <math>\pi</math>-электронов:</b>  <math>CH_2=CH_2</math>,  и др.</p>

## ***2. Классификация органических реакций.***

**Органические реакции классифицируют по различным признакам:**

- по характеру разрыва связей;***
- по типу превращения субстрата;***
- по типу активирования***
- по числу частиц, принимающих участие в стадии, определяющей скорость.***

## 2.1. По характеру разрыва связей реакции делят на **радикальные, ионные и согласованные.**

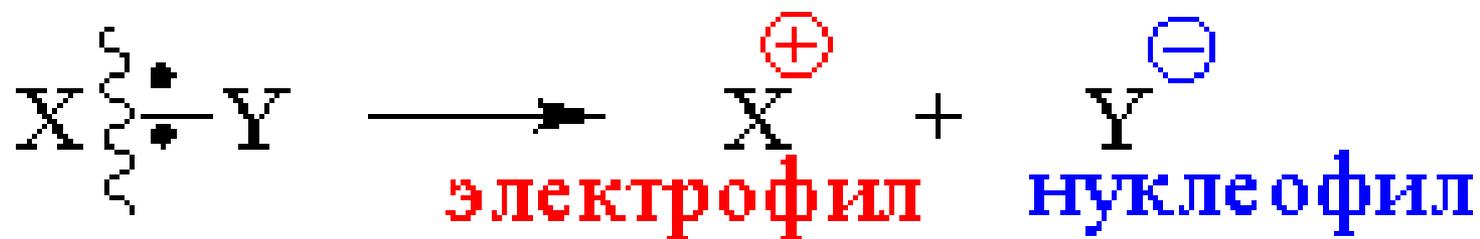
**Гомолитическая (радикальная) реакция** – реакция, протекающая с участием радикалов, которые образуются при гомолитическом разрыве связей.  
**Свободный радикал (радикал)** – частица, имеющая неспаренный валентный электрон.

- Гомолитические реакции характерны для неполярных реагентов, их протеканию способствует высокая температура, УФ облучение, присутствие перекисных соединений как инициаторов радикальных процессов.

## *Факторы, обуславливающие гомолитический разрыв связи*

- 1) разрываются **неполярные или малополярные** связи с низкой поляризуемостью;
- 2) газовая фаза, высокая температура, давление, УФ- или  $\gamma$ -облучение;
- 3) присутствие инициаторов свободных радикалов

**Ионные реакции** протекают при гетеролитическом разрыве связей. При этом образуются электрофильные и нуклеофильные частицы:

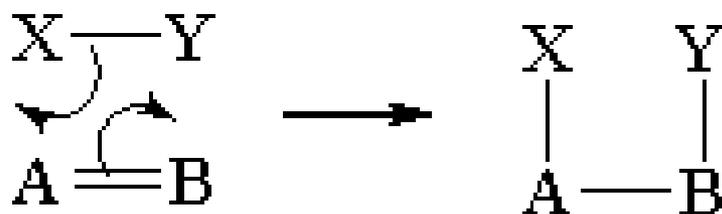


Ионные реакции характерны для полярных соединений, их протеканию способствуют полярные апротонные и протонные растворители, катализаторы, в качестве которых зачастую выступают кислоты или основания.

# *Факторы, обуславливающие гетеролитический разрыв связи*

- 1) полярные и легкополяризуемые СВЯЗИ**
- 2) разрыв облегчается при проведении реакции в растворах в присутствии полярных растворителей, хорошо сольватирующих ионы.**
- 3) ионные или полярные катализаторы**

**Согласованные (синхронные реакции)** – реакции, в которых разрыв старых и образование новых связей происходит одновременно без участия радикальных или ионных частиц. Такие реакции протекают через **циклическое переходное состояние**.



**Эти реакции называют перициклическими.** Протеканию этих реакций способствуют или нагревание, или УФ-облучение.

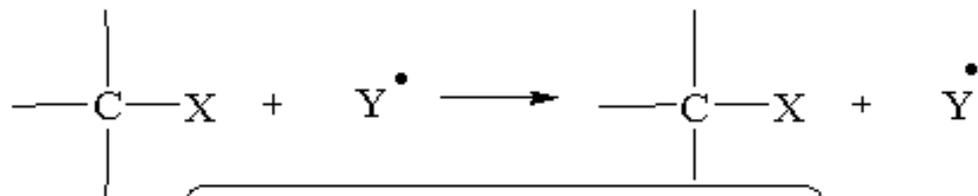
## 2.2. По типу превращения субстрата реакции делят на :

**Реакции замещения** (символ **S** от англ. **substitution**) – реакции, в которых атом либо группа атомов в субстрате замещается на другой атом либо группу атомов.

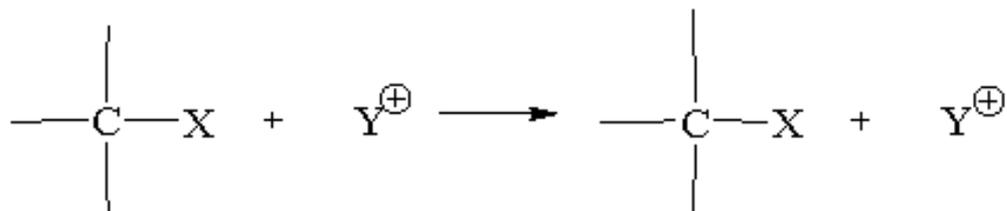
Замещение в зависимости от атакующего реагента может быть **радикальное**, **электрофильное** или **нуклеофильное**:

В представленных реакциях Y является уходящей группой: в первой реакции это **радикал**, во второй **катион** Y – электрофуг, в последней **анион** Y – нуклеофуг.

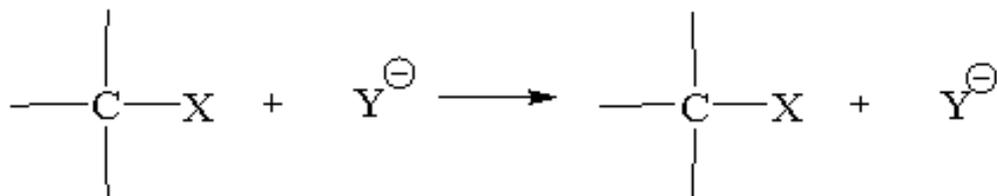
Радикальное замещение  $S_R$



Электрофильное замещение  $S_E$



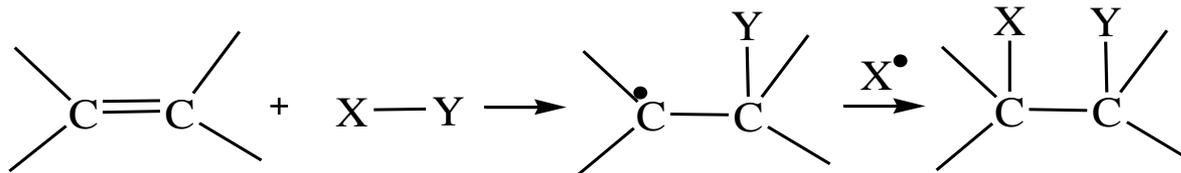
Нуклеофильное замещение  $S_N$



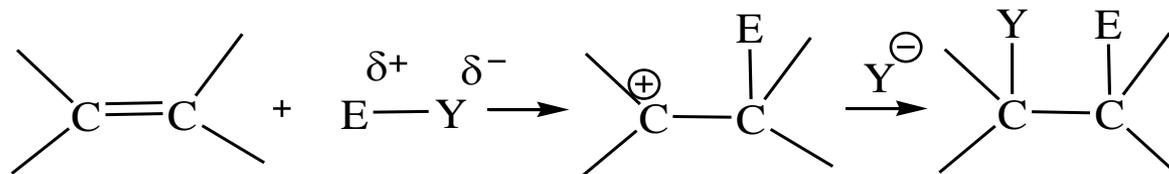
***Реакции присоединения*** (символ ***A*** от англ. ***addition***) – реакции, в которых реагент присоединяется по месту разрыва кратной связи субстрата.

Эти реакции также могут происходить по приведенным ниже возможным механизмам, которые представлены на примере присоединения по двойной связи  $C=C$ :

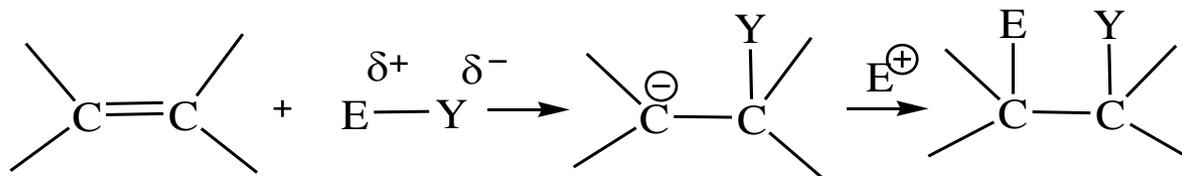
### Радикальное присоединение $A_R$



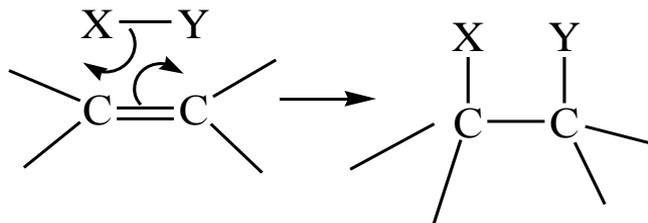
### Электрофильное присоединение $A_E$



### Нуклеофильное присоединение $A_N$



### Синхронное присоединение



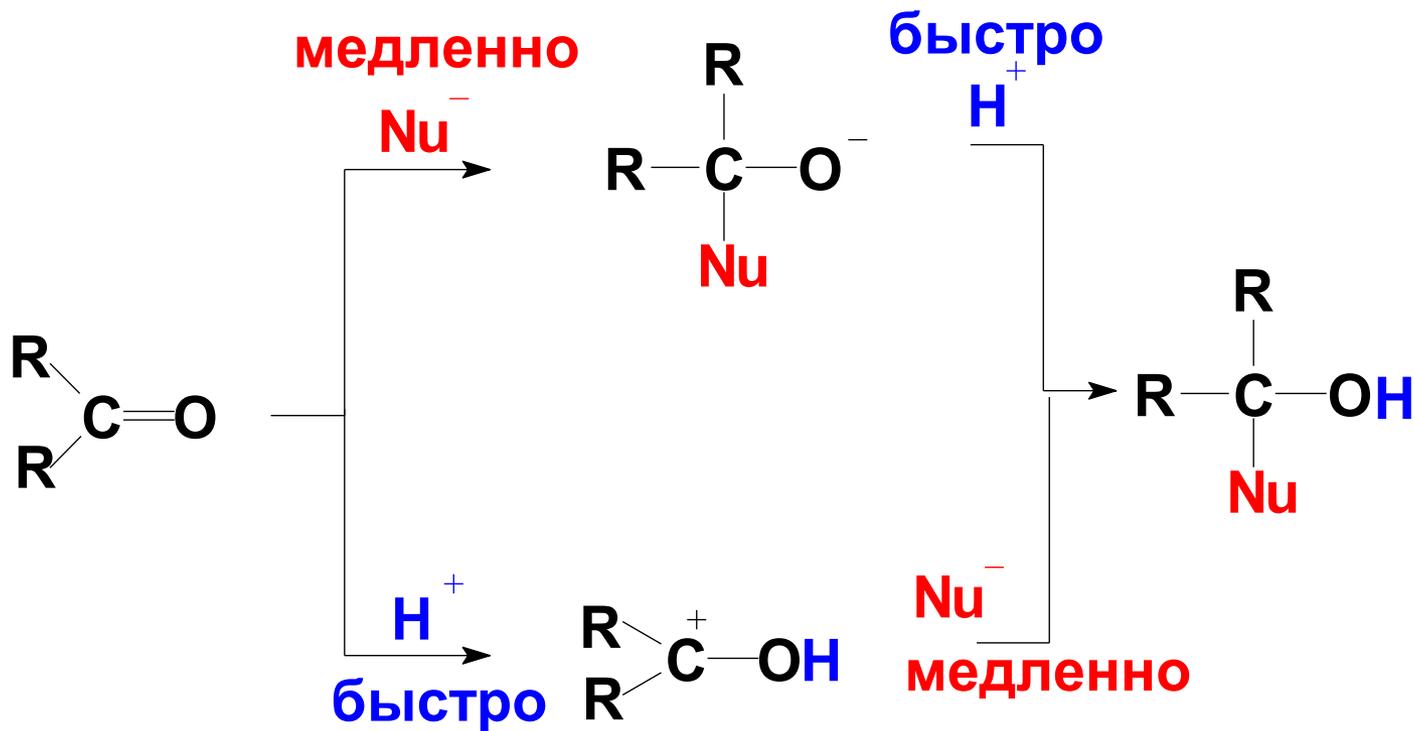
**Присоединения (A)** – происходит присоединение молекул или частиц по месту разрыва кратных связей:



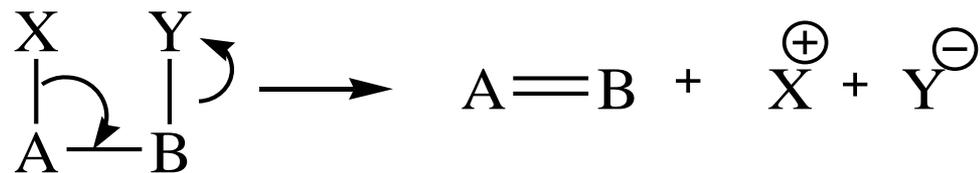
**A<sub>E</sub> – ненасыщенные UV**  
**(Электрофильное присоединение)**

# $A_N$ – альдегиды и кетоны (Нуклеофильное присоединение)

Идут по одной из двух схем:



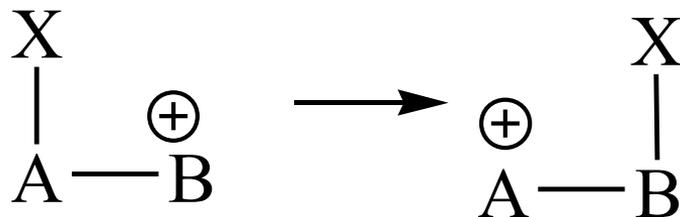
**Реакции отщепления или элиминирования (символ E от англ. elimination) – реакции, в которых от субстрата отщепляется молекула или частица. По направлению обратны реакциям присоединения. Как правило отщепление осуществляется как β-элиминирование, при котором отщепление происходит от соседних атомов углерода:**



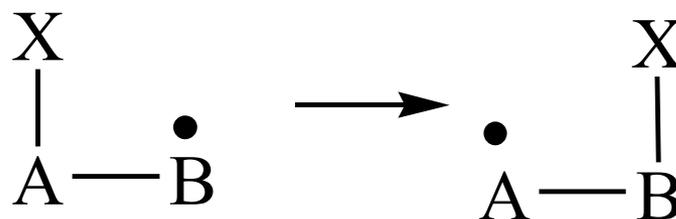
**Эти реакции могут происходить либо по гетеролитическому либо по согласованному механизмам, а вот свободнорадикальное β-элиминирование наблюдается крайне редко.**

***Реакции перегруппировки*** – перемещение атомов или групп от одного атома к другому. Наиболее распространены 1,2-перегруппировки (1,2-сдвиги), при которых мигрирующая группа переходит к соседнему атому, но известны перемещения групп в более удаленное положение.

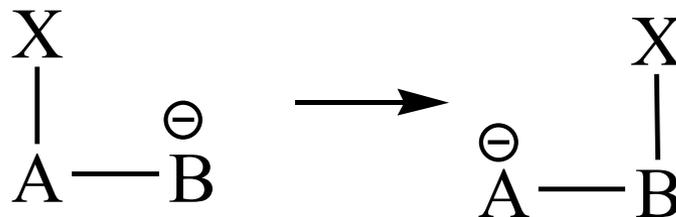
## Нуклеофильная перегруппировка



## Радикальная перегруппировка

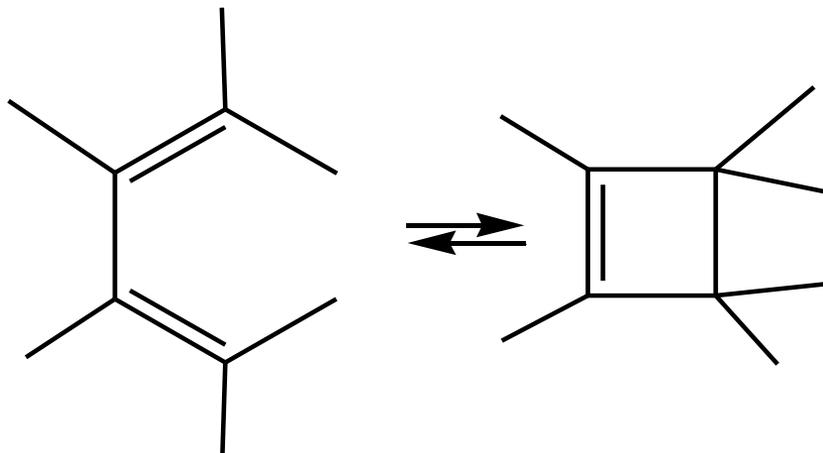


## Электрофильная перегруппировка

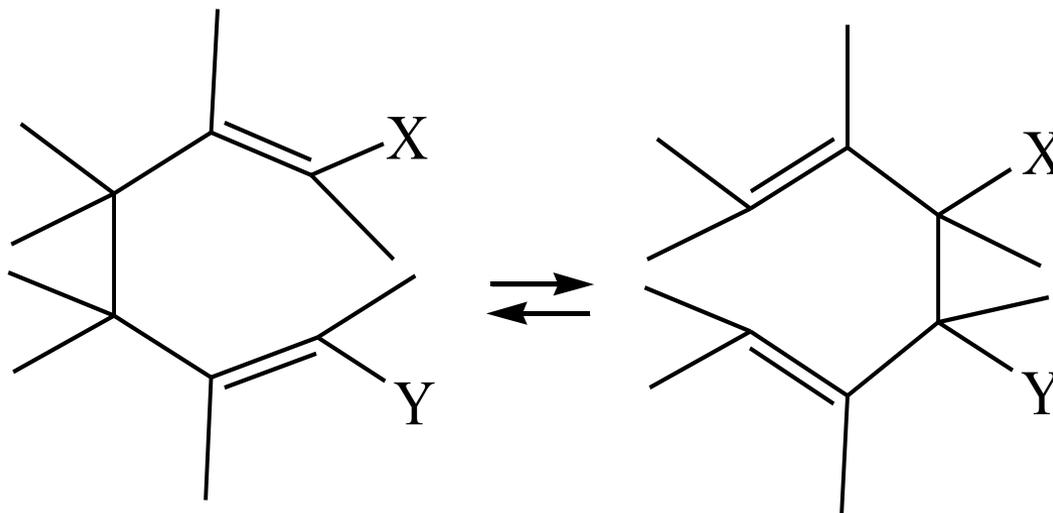


**Перициклические реакции** – реакции, в которых образование новых связей происходит согласованно с одновременным перераспределением  $\pi$ -связей внутри циклического переходного состояния. К этим реакциям относятся реакции циклоприсоединения, электроциклические реакции, сигматропные перегруппировки, реакции переноса групп.

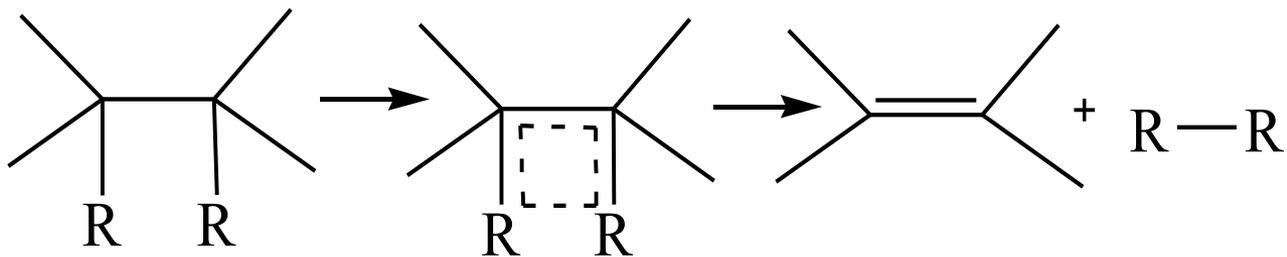
Электроциклические реакции



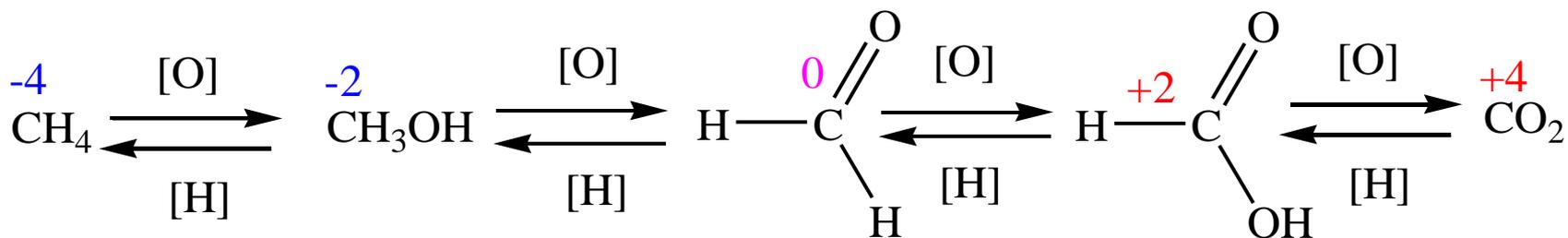
## Сигматропные перегруппировки



## Реакции переноса групп



- **Окислительно-восстановительные реакции** – это реакции, в ходе которых меняется степень окисления у реакционного центра. Окисление органического соединения сопровождается переходом электронов от него к реагенту, а восстановление, наоборот, переходом электронов к органическому субстрату.
- Окисление органических соединений – это процесс удаления водорода с образованием кратной связи или связи с более электроотрицательным атомом. При восстановлении протекают обратные процессы.



## 2.3. По типу активирования реакции разделяют на каталитические и некаталитические.

***Каталитические реакции*** требуют присутствия катализатора.

***Катализ*** – явление, состоящее в том, что присутствие в системе какого-либо вещества (катализатора) вызывает или ускоряет протекание химической реакции.

***Катализатор*** – вещество, которое участвует в химической реакции и увеличивает ее скорость, но при этом общее количество этого вещества не изменяется, т. е. катализатор остается в неизменном виде и количестве.

**Катализ** бывает **гетерогенный** и **гомогенный** .

Если в качестве катализатора выступает кислота - **кислотный катализ**, а если основание – **основной катализ**.

**Ферменты** – это катализаторы белковой природы.

**Фотохимические реакции** – реакции, катализируемые облучением света. Для обозначения фотохимической активации реакции применяют обозначение  **$h\nu$** .

**2.4. По числу частиц, принимающих участие в стадии, определяющей скорость,** органические реакции подразделяют на диссоциативные (мономолекулярные) и ассоциативные (бимолекулярные и тримолекулярные).

*Молекулярность реакции* – понятие, характеризующее число частиц, участвующих в элементарном акте или необходимых для образования переходного состояния.

**Мономолекулярными** являются процессы распада молекулы или превращения типа  
 $A \rightarrow B$ .

**3. Представления о механизме реакций.  
Термодинамический и кинетический  
аспекты. Лимитирующая стадия реакции.  
Интермедиа́т**

**Механизм реакции** – это детальное описание пути (элементарных стадий), по которому реагирующие вещества превращаются в продукты. Он включает перераспределение электронов, что ведет к образованию и разрыву связей, а также пространственные отношения между атомами в ходе реакции.

Движущей силой реакции является образование новой более стабильной системы, обладающей минимальной потенциальной энергией.

Химическая реакция характеризуется двумя факторами:

***термодинамическим*** – изменением свободной энергии;

***кинетическим*** – скоростью превращения и его механизмом.

- **Термодинамический фактор характеризует реакцию с позиций ее принципиальной возможности**, при этом анализируются изменения энтальпии  $\Delta H$ , энтропии  $\Delta S$  и свободной энергии  $\Delta G$  в процессе реакции. Эти параметры связаны уравнением:

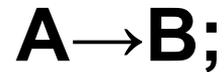
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S.$$

- Величины  $\Delta G$ ,  $\Delta H$  и  $\Delta S$  не зависят от механизма реакции, однако они служат критерием ее осуществимости и важными характеристиками конкретного превращения. Термодинамически предпочтительна та реакция, протекание которой сопровождается уменьшением свободной энергии, т. е. для которой значение  $\Delta G$  отрицательно и происходит высвобождение энергии.

***Кинетический аспект*** реакции дает более детальную информацию о механизме реакции. Каждая химическая реакция проходит через определенные стадии, которые называют механизмом реакции. Большинство органических реакций протекает через ряд промежуточных стадий, причем скорость суммарной реакции определяется скоростью самой ***медленной стадии, которая называется лимитирующей стадией.***

Пример схем одностадийной реакции:

а) мономолекулярной



б) бимолекулярной



Реакции, в элементарном акте которых участвует **одна частица**, называются **мономолекулярными**; **две частицы - бимолекулярными**.

Пример схемы двухстадийной реакции:



Каждая промежуточная стадия называется **элементарным актом реакции**.

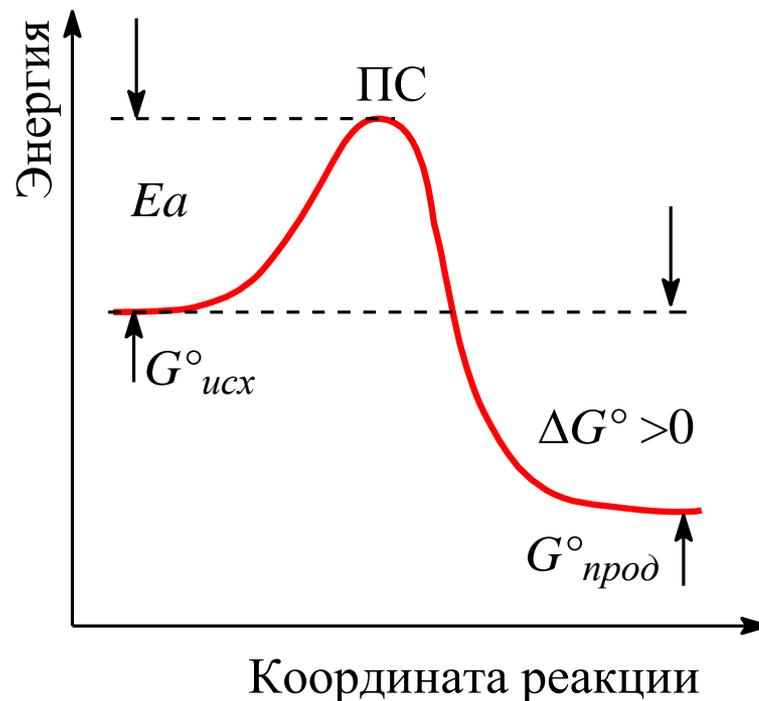
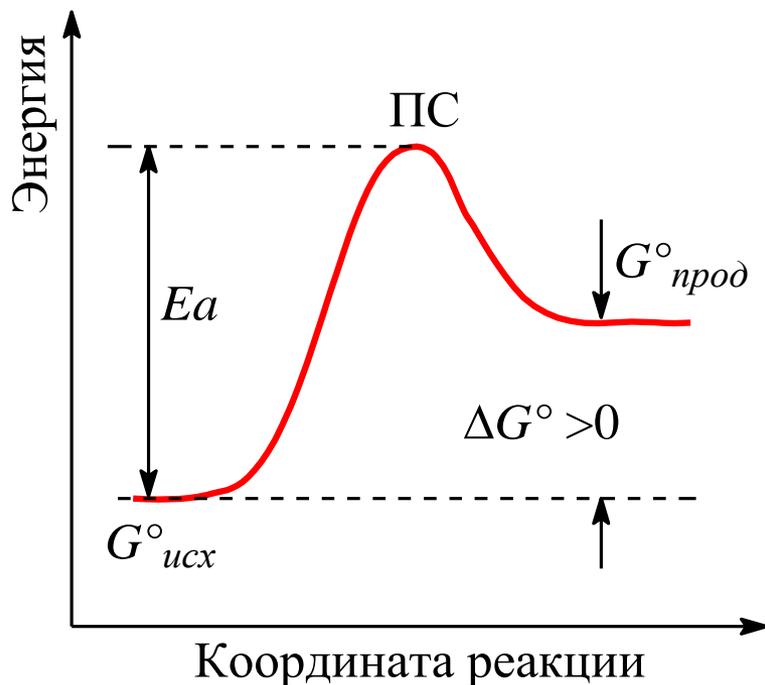
Тот факт, что  $\Delta G$  является отрицательной величиной не означает, что реакция пойдет самопроизвольно. Отрицательное значение  $\Delta G$  является необходимым условием для протекания реакции, но не достаточным.

Чтобы реакция пошла, необходима энергия активации. **Энергия активации ( $E_a$ )** – это минимальное количество энергии, необходимое для осуществления реакции.

**Переход от исходных веществ к продуктам реакции иллюстрируется графиком зависимости энергии или энтальпии реакции от параметра, называемого координата реакции.**

***Координата реакции*** – точка на кривой, характеризующей путь реакции от реагирующих веществ к продуктам. Энергию системы представляют как функцию расстояния между реагирующими атомами.

# Диаграмма изменения энергии одностадийной реакции $A + B$ : а) эндотермическая реакция; б) экзотермическая реакция

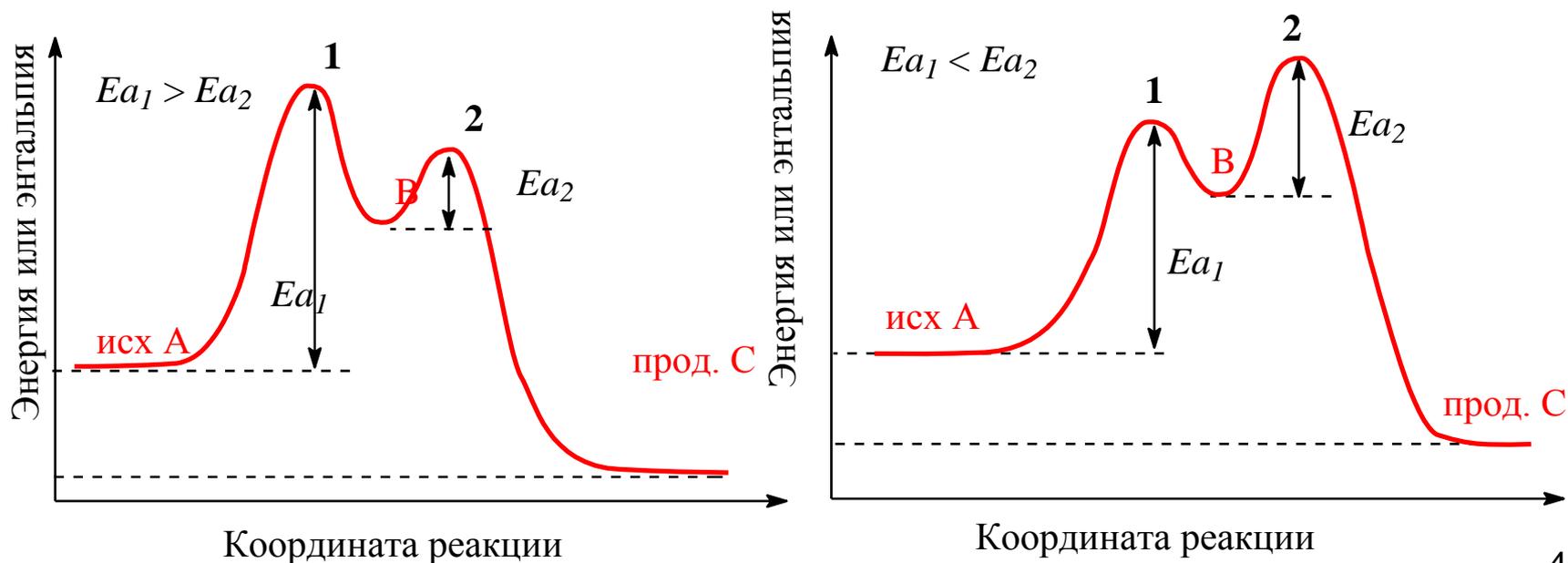


Точка на вершине каждой кривой соответствует **переходному состоянию**, характеризующемуся максимумом энергии для обоих веществ, вступающих в реакцию. Группировку атомов, находящихся в переходном состоянии называют **активированным комплексом**.

В двухстадийной реакции  $A \rightarrow B \rightarrow C$  появляется промежуточная частица – **интермедиат**, которая обладает конечным временем жизни.

**Интермедиат** – нестойкий промежуточный продукт реакции (радикал, карбокатион, карбанион).

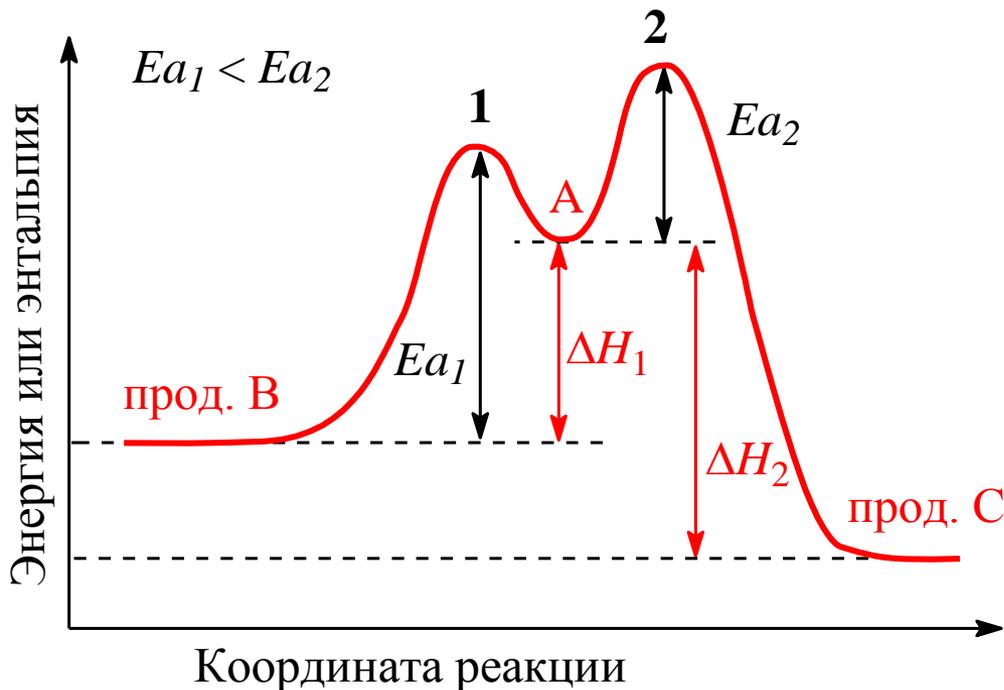
Диаграмма изменения энергии двухстадийной реакции  $A \rightarrow B \rightarrow C$



# Диаграмма изменения энергии конкурирующих реакций $B \rightleftharpoons A \rightarrow C$ .

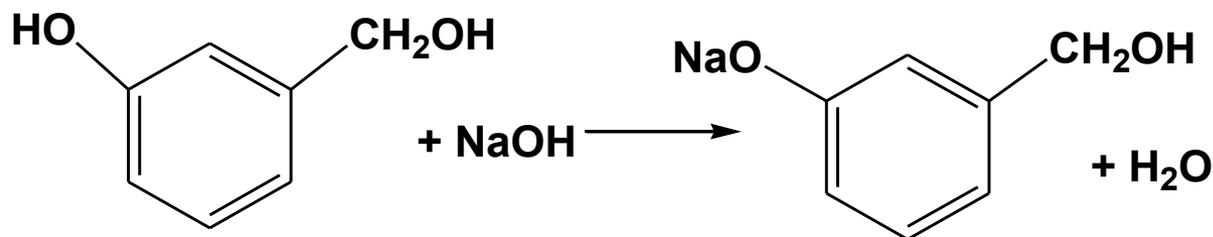
**В**-кинетически контролируемый продукт реакции, образующийся с большей скоростью.

**С**-термодинимически контролируемый продукт, обладающий большей стабильностью.

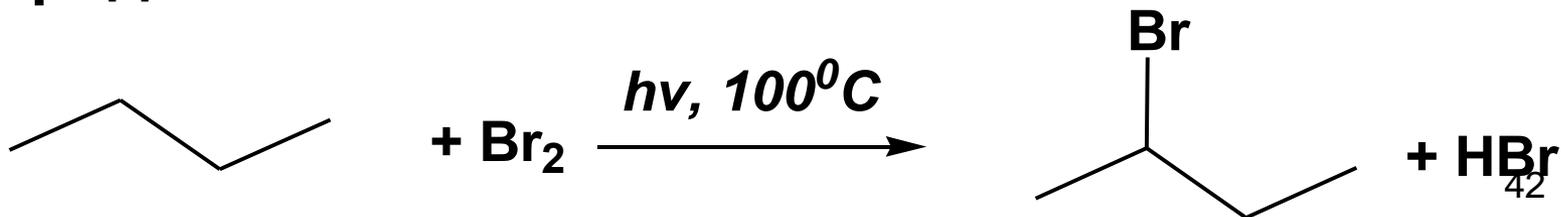


Существенным аспектом химической реакции, в которой возможно образование нескольких продуктов является ее **селективность**.

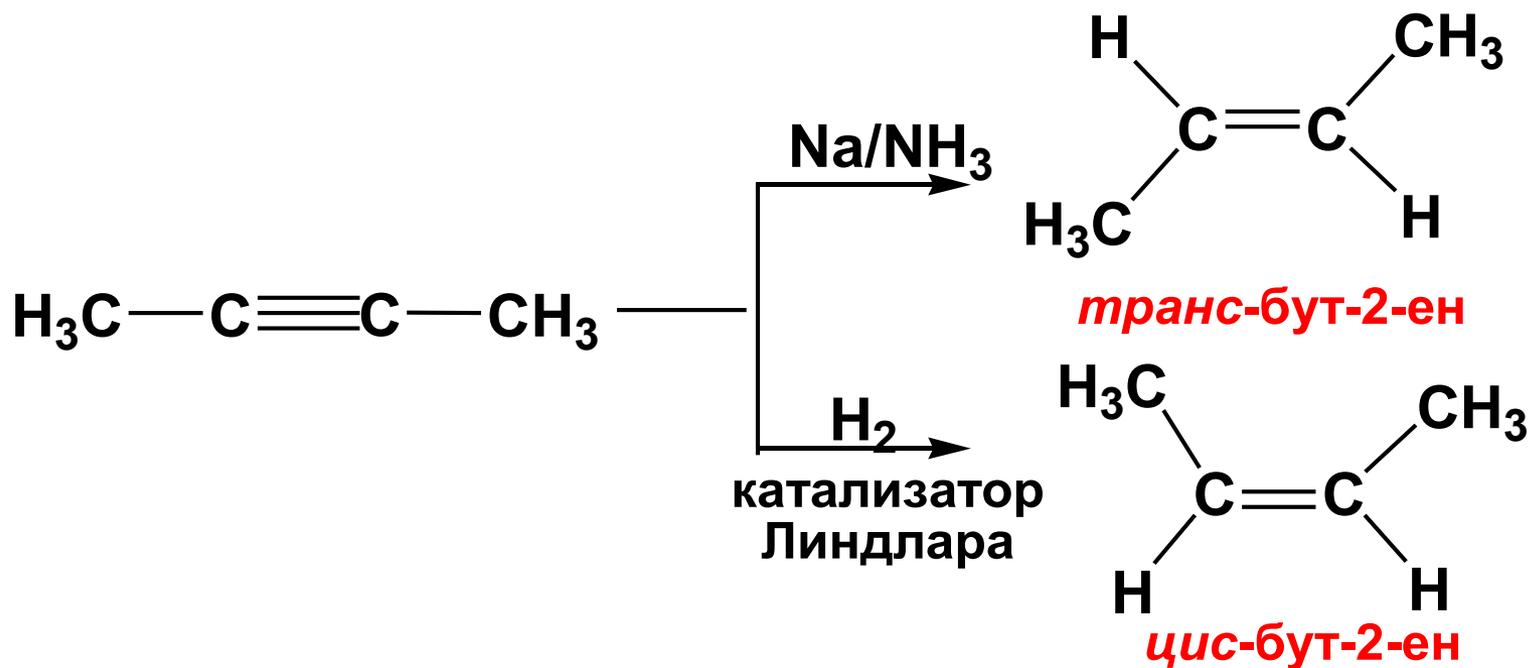
Под **хемоселективностью** понимают предпочтительное протекание реакции по одной из родственных функциональных групп.



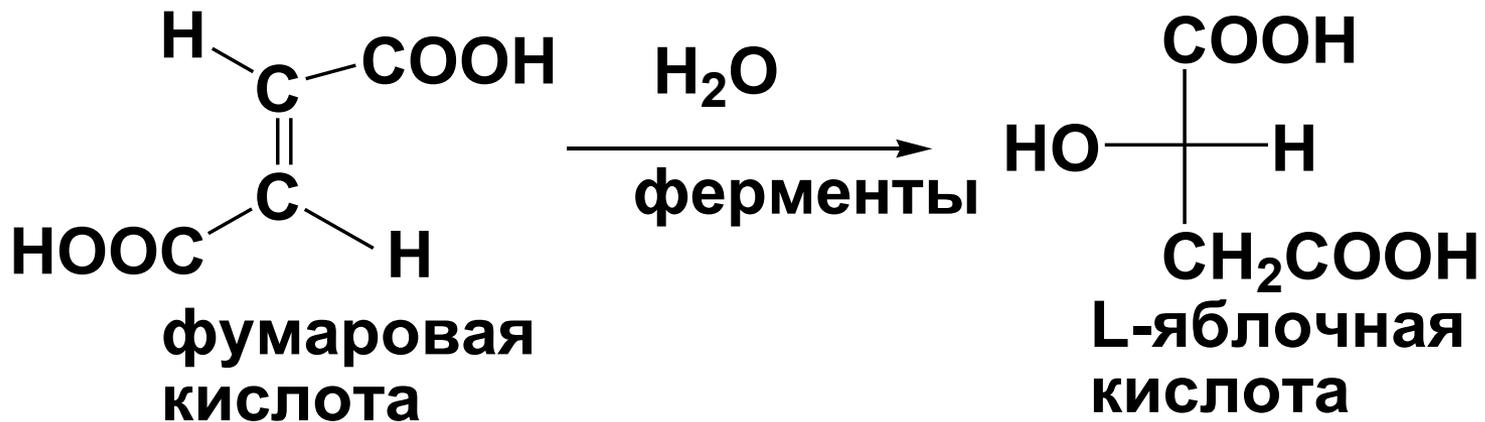
**Региоселективность** - предпочтительное протекание реакции по одному из нескольких реакционных центров одинаковой химической природы.



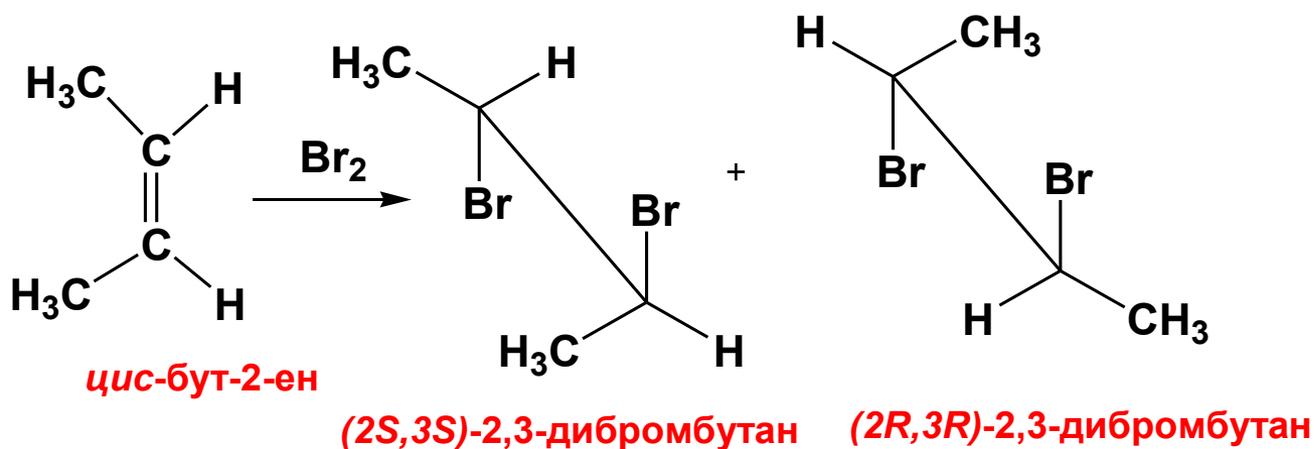
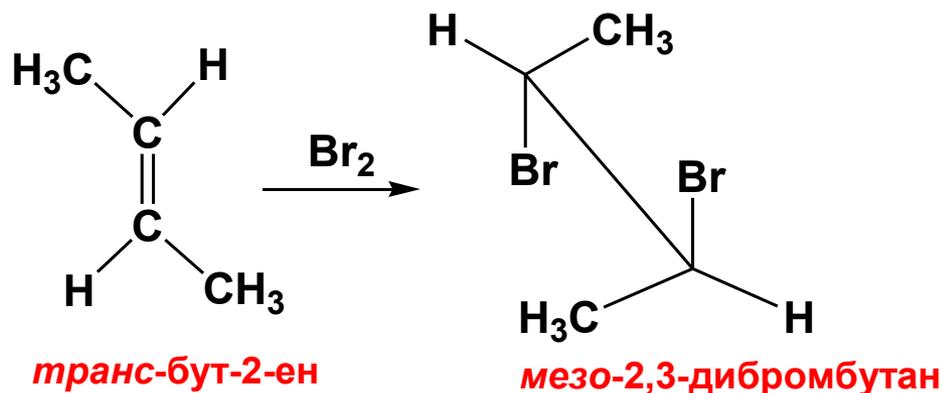
**Стереоселективная реакция** – реакция, в которой предпочтительно образуется один из нескольких возможных стереоизомеров.



**Стереоселективность –**  
предпочтительное образование в  
реакции одного из нескольких  
возможных стереоизомеров



**Стереоспецифичная реакция** – реакция, в которой реагирует только специфический изомер и именно так, что его пространственная структура влияет на строение продукта.



# Кислоты и основания. Общие положения протолитической теории кислот и оснований Бренстеда-Лоури и теории Льюиса.

В теории Бренстеда-Лоури кислотность и основность связывают с **переносом протона  $H^+$** .

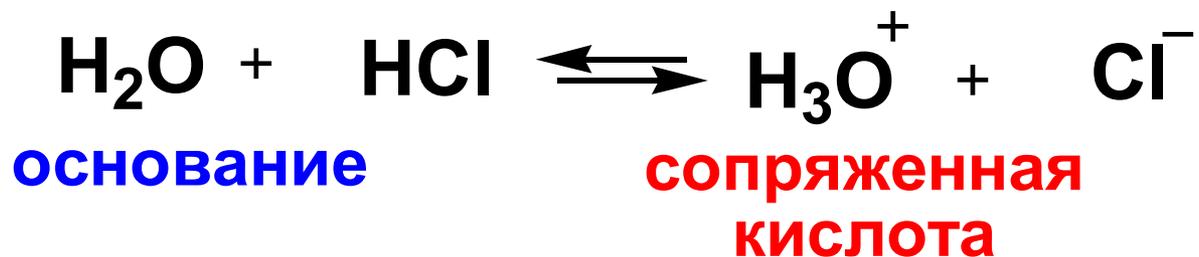
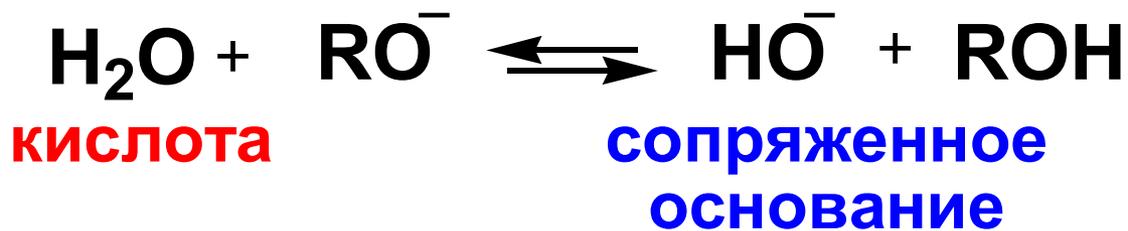
**Кислота Бренстеда** (протонная кислота) – ион или нейтральная молекула, способная **отдавать протон** (донор протона).

**Основание Бренстеда** – ион или нейтральная молекула, способная **присоединять протон** (акцептор протона).



Когда кислота отдает протон, оставшаяся частица сохраняет электронную пару и может снова захватить протон, поэтому она является основанием. Его называют **сопряженным основанием кислоты**. Всем кислотам соответствуют сопряженные **основания**, а основаниям – **сопряженные кислоты**.

Соединения, одновременно обладающие свойствами и основания, и кислоты, называются *амфотерными*.



**$K_a$  –характеризует силу кислоты.**

**Показатель кислотности  $pK_a = -\lg K_a$ .**

**Чем меньше показатель кислотности, тем сильнее кислота.**

<b>Кислота</b>	<b><math>pK_a</math></b>
<b>Неорганические кислоты</b>	<b>&lt; 2</b>
<b>Органические кислоты</b>	<b>3,7–5,0</b>
<b>Угольная кислота <math>H_2CO_3</math></b>	<b>6,4</b>
<b>Фенолы</b>	<b>8 – 11</b>
<b>Спирты</b>	<b>16 – 18</b>



В зависимости от природы элемента, с которым связан протон, кислоты Бренстеда-Лоури делятся на :

**ОН** – кислоты (карбоновые кислоты, фенолы, спирты);

**SH** – кислоты – тиолы;

**NH** – кислоты: амины, амиды, имины;

**СН** – кислоты: УВ и их производные

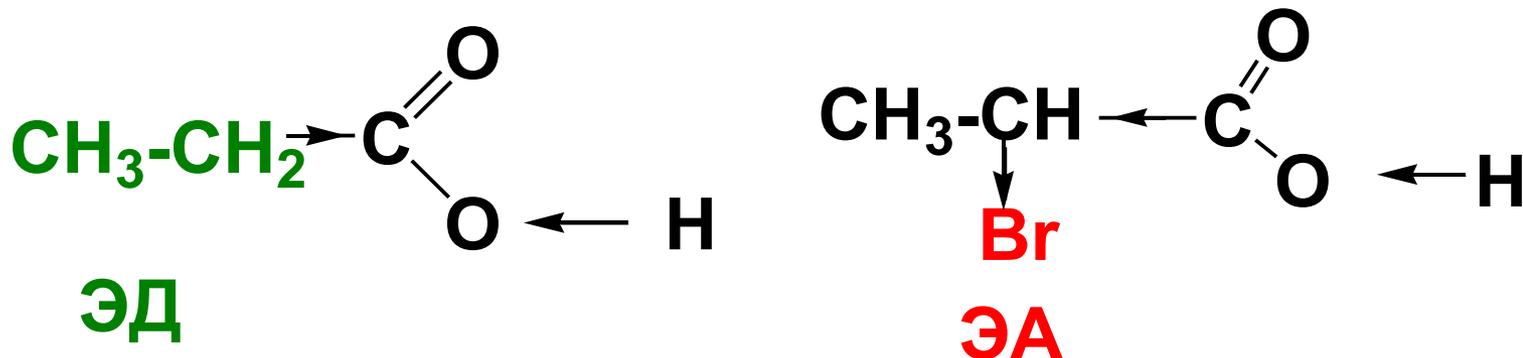
# На величину кислотности влияют:

1. Полярность связи **O-H**. Чем выше полярность, тем сильнее кислота.

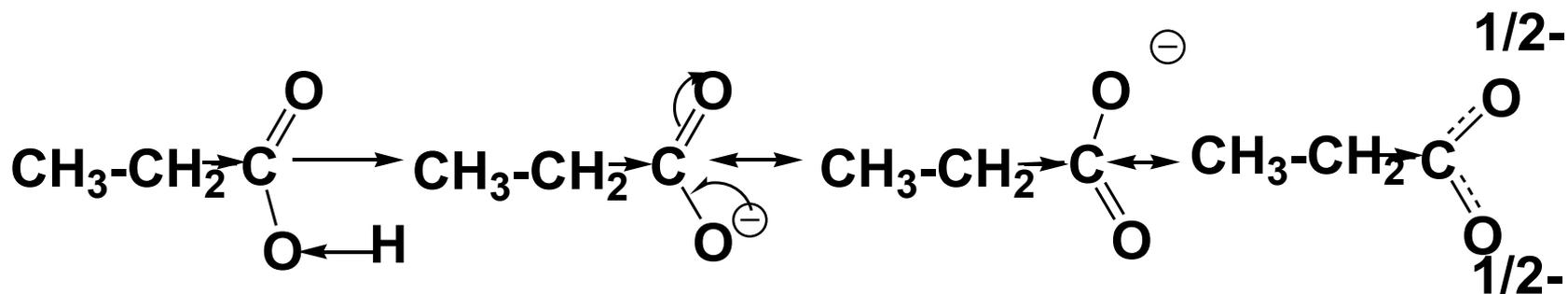
**СН-кислота < NH-кислота < OH-кислота;**

**ЭД** – заместители **уменьшают** полярность связи, следовательно, **уменьшают кислотность;**

**ЭА** - **увеличивают**.



2) **Стабильность аниона, который образуется при диссоциации кислоты. Чем стабильнее анион, тем выше сила кислоты.**

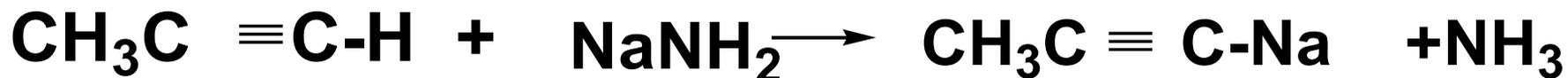


### 3) Тип гибридизации атома углерода C-H

кислоты:



Чем выше ЭО атома углерода, тем сильнее кислота.



### 4) Влияние растворителя:

сольватированный растворителем анион будет более стабильным и сила кислоты будет выше

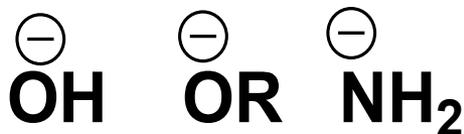
# Основания Бренстеда-Лоури:

- $n$  – основания, которые содержат неподеленную пару электронов:

нейтральные  
молекулы



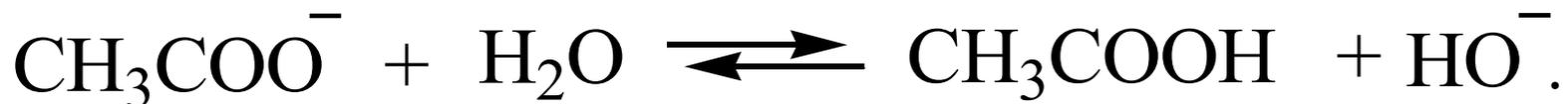
анионы



$\pi$  – основания: алкены, алкины,  
алкадиены, арены.

- **Основность соединений в водном растворе характеризуют константой  $pK_b$ , которая связана с  $pK_a$  через ионное произведение воды:**

- **$pK_b = 14 - pK_a$ .**



$$pK_b = 14 - 4,75 = 9,25.$$

- Для характеристики основности чаще используют величину  $pK_a$  сопряженной кислоте  $BH^+$ , обозначаемую  $pK_{BH^+}$ . Это позволяет применять одну и ту же шкалу для характеристики ионизации как кислот, так и оснований. Чем больше величина  $pK_{BH^+}$ , тем сильнее основание



# Значения $pK_{\text{BH}^+}$ некоторых оснований различных классов

Название	Основание	Сопряженная кислота	$pK_{\text{BH}^+}$
<b><i>N-основания</i></b>			
Аммиак	$\text{NH}_3$	$\text{NH}_4^+$	9,25
Метиламин	$\text{CH}_3\text{NH}_2$	$\text{CH}_3\text{NH}_3^+$	10,6
Диметиламин	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+$	10,7
Триметиламин	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	$(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+$	9,8
Анилин	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+$	4,6
<b><i>O-основания</i></b>			
Вода	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_3\text{O}^+$	-1,7
Метанол	$\text{CH}_3\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{OH}_2^+$	-2
Фенол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}_2^+$	-6
Уксусная кислота	$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{C}(\text{OH}) + \text{OH}$	-6

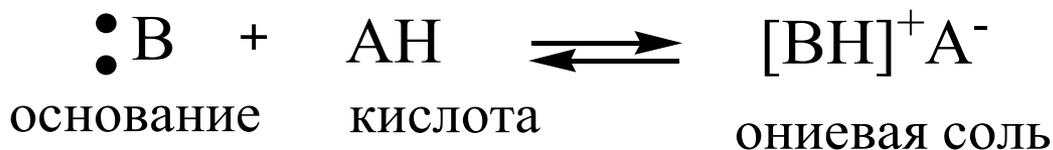
- Среди оснований Бренстеда анионы по сравнению с нейтральными молекулами обычно обладают более выраженными основными свойствами:



Все эти анионы являются очень сильными основаниями. Основность убывает в ряду:

**анионы > *n*-основания >  $\pi$ -основания.**

- При присоединении протона к нейтральному основанию образуются солеобразные **ониевые** соединения (аммониевые, оксониевые, сульфониевые):



- Сила основания определяется доступностью электронов гетероатома и стабильностью образующегося катиона. Чем стабильнее катион, тем сильнее основание.

## На величину основности влияют:

1). Природа основного атома. Сила *n*-оснований с одинаковыми заместителями при гетероатоме уменьшается в порядке:



2). Характер заместителей основного атома:

**ЭД** – заместители увеличивают электронную плотность и, следовательно, увеличивают основность; **ЭА** - наоборот.

## Кислоты и основания Льюиса

- **Кислоты Льюиса** – акцепторы электронной пары, **основания Льюиса** – доноры электронной пары.
- Понятие кислоты в теории Льюиса имеет более широкий смысл. Кислотой считается любая частица с вакантной орбиталью, способная дополнить свою оболочку парой электронов.

## **Кислоты и основания Льюиса**

**Кислоты (электрофилы) – акцепторы пары электронов:**

- галогениды элементов второй и третьей групп (вакантная орбиталь):



- катионы металлов например,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ , протон  $\text{H}^+$ , карбокатионы  $\text{R}_3\text{C}^+$ , катионы  $\text{NO}_2^+$ ,  $\text{Br}^+$  и др.

**Основания Льюиса – доноры электронной пары:**

-анионы;

-молекулы с невалентными электронами;

-нейтральные молекулы с  $\pi$ -электронами.



основание

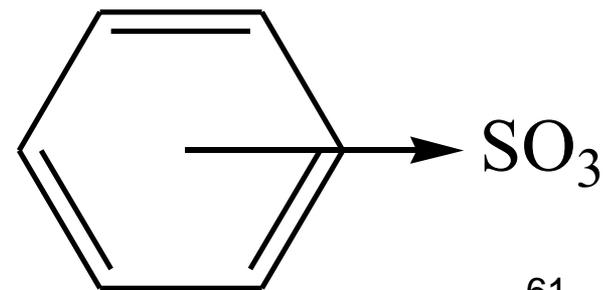
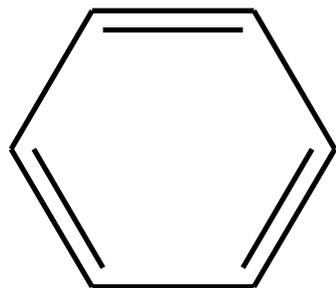
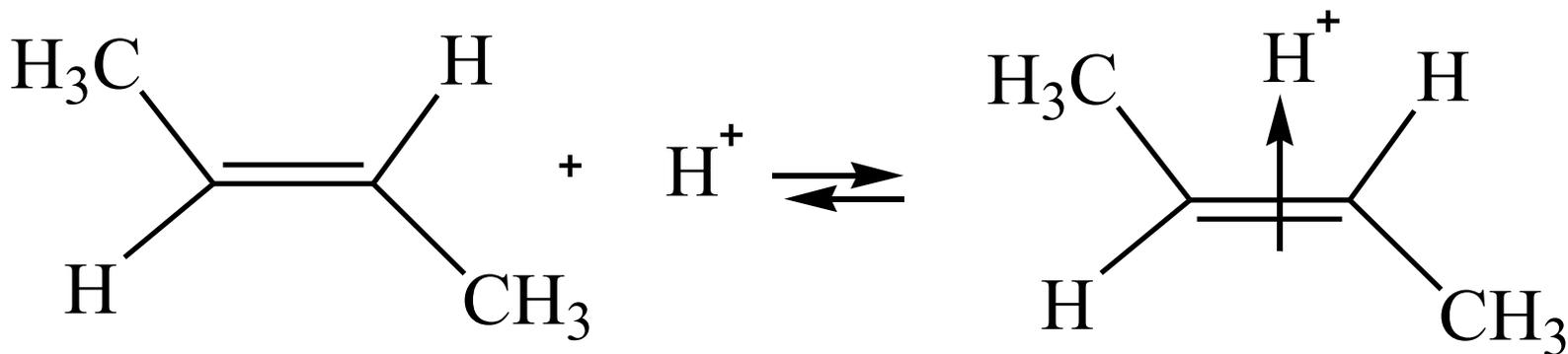
кислота

донорно-акцепторный  
комплекс

*p*-Основания Льюиса

Кислоты Льюиса

$\pi$ -комплексы



Для кислот Льюиса сделано меньше количественных измерений относительной силы кислот и отсутствуют общие таблицы в отличие кислот Бренстеда. Предложена качественная оценка приблизительной кислотности кислот Льюиса типа  $MX_n$  (X-галоген):



Легкость протекания кислотно-основных реакций зависит не только от силы кислоты и основания, но и от другого свойства, которое Пирсон назвал **«жесткостью»** и **«мягкостью»** кислоты или основания.

• **Жесткие кислоты** – это кислоты Льюиса, в которых акцепторы электронных пар малы по размеру, обладают большим положительным зарядом, электроотрицательностью и высокой поляризуемостью. **Мягкие кислоты Льюиса** – это кислоты, содержащие акцепторы большого размера с малым положительным зарядом, небольшой электроотрицательностью и высокой поляризуемостью

**Принцип жестких и мягких кислот и оснований выведен исходя из экспериментальных данных и состоит в следующем: *жесткие кислоты преимущественно взаимодействуют с жесткими основаниями, а мягкие кислоты – с мягкими основаниями.***

<b>Жесткие кислоты</b>	<b>Мягкие кислоты</b>	<b>Промежуточные кислоты</b>
$\text{H}^+$ , $\text{Li}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{BF}_3$ , $\text{B}(\text{OR})_3$ , $\text{AlCl}_3$ , $\text{AlH}_3$ , $\text{SO}_3$ , $\text{RCO}^+$ , $\text{CO}_2$	$\text{Cu}^+$ , $\text{Ag}^+$ , $\text{Pd}^{2+}$ , $\text{Hg}^{2+}$ , $\text{I}_2$ , $\text{Br}_2$ , $\text{RX}$ , $\text{RCH}_2^+$	$\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{R}_3\text{C}^+$ , $\text{NO}^+$ , $\text{C}_6\text{H}_5^+$
<b>Жесткие основания</b>	<b>Мягкие основания</b>	<b>Промежуточные основания</b>
$\text{H}_2\text{O}$ , $\text{OH}^-$ , $\text{F}^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{ROH}$ , $\text{RO}^-$ , $\text{R}_2\text{O}$ , $\text{RNH}_2$ , $\text{NH}_3$	$\text{RSH}$ , $\text{RS}^-$ , $\text{I}^-$ , $\text{R}_3\text{P}$ , $\text{CN}^-$ , $\text{CO}$ , $\text{C}_2\text{H}_4$ , $\text{C}_6\text{H}_6$ , $\text{H}^-$ , $\text{R}^-$	$\text{ArNH}_2$ , $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}$ , $\text{Br}^-$ , $\text{NO}_2^-$