# Механизмы реакций в органической химии: методические аспекты

**Составлено старшим преподавателем кафедры ЕНО НИПКиПРО Лапиной Ю.В.**

**2026 год**

# Преемственность идей

октябрь 2025 года




Цель: актуализировать некоторые методические и содержательные аспекты изучения химических свойств органических веществ




**ФГОС СОО**

характеризовать состав, строение и характерные свойства важнейших веществ, подтверждать на конкретных примерах характер зависимость реакционной способности органических соединений от кратности и вида ковалентной связи (σ- и π-связь), взаимного влияния атомов и групп атомов в молекулах, а также от особенностей реализации различных механизмов протекания реакций;

http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202609170017?index=149

Цель: раскрыть дидактический потенциал и границы доступности вопросов о механизмах реакций для эффективного освоения курса органической химии

## Что такое механизм реакции?

последовательность элементарных стадий процесса, в результате которого исходные вещества превращаются в продукты

## Зачем изучают механизмы реакций?

аспекты:

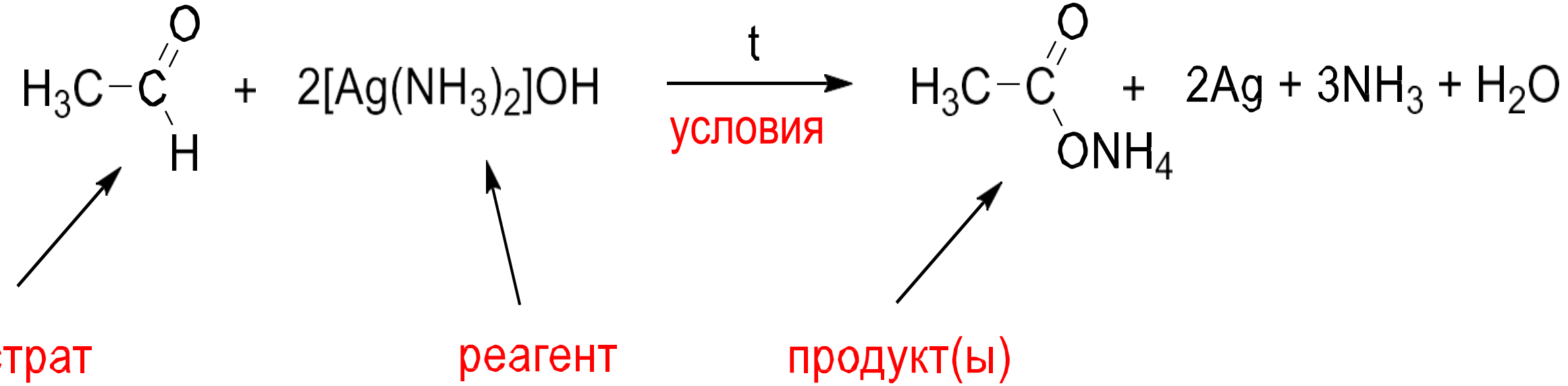
- теоретический
- технологический
- прогностический
- методический
- креативный

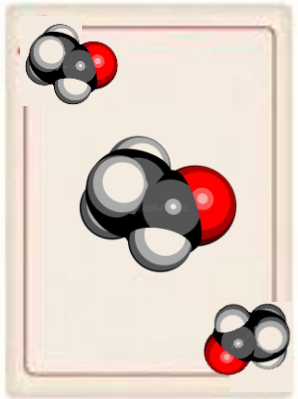
## Уровни изучения

- репродуктивный
- продуктивный
- творческий

# Вспомним… Химическая реакция

субстрат + реагент = продукт(ы) реакции



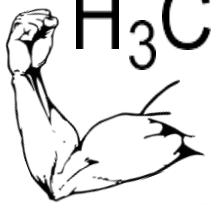
«карта субстрата»

субстрат → условия → реагент → продукт



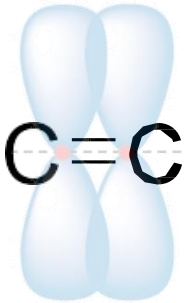
Говорим о сложном апеллируя к аналогиям…

# Реагенты в органической химии



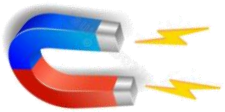
$$H_3C-CH_2-CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} H_3C-\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}-CH_3 + HBr$$

реагент **Br$^{\bullet}$**
(радикал)



$$H_2C=CH-CH_3 + Br_2 \longrightarrow H_2C(Br)-CH(Br)-CH_3$$

реагент **Br$^{+}$**
(электрофил)

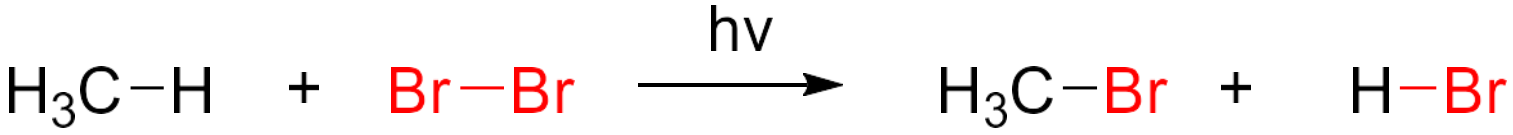


$$H_3C-CH_2-OH + HBr \longrightarrow H_3C-CH_2-Br + H_2O$$

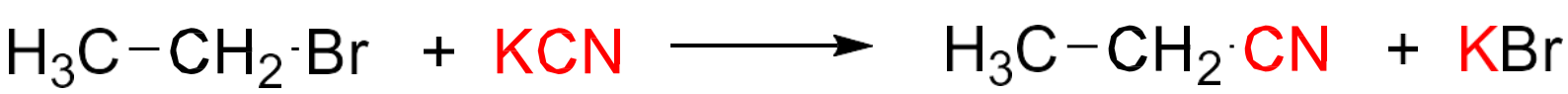
реагент Br$^{-}$
(нуклеофил)

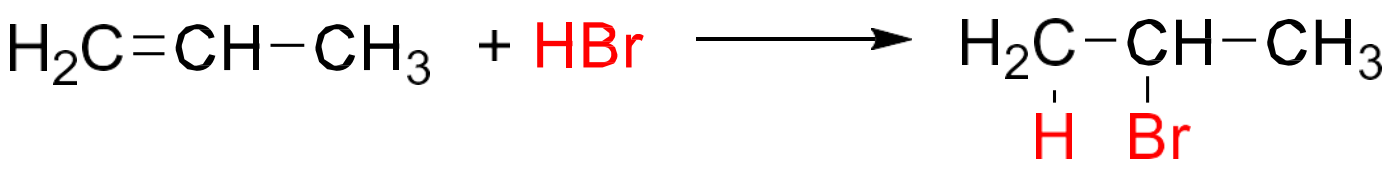


# Вспомним… Типы реакций в органической химии



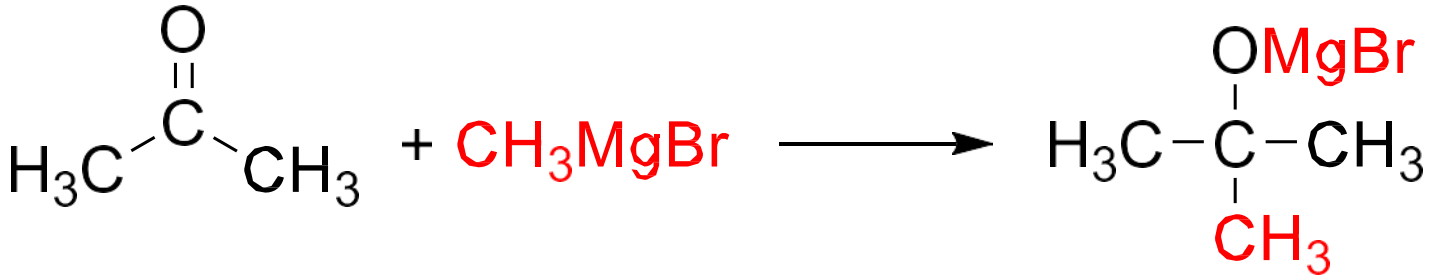

Замещение (S)

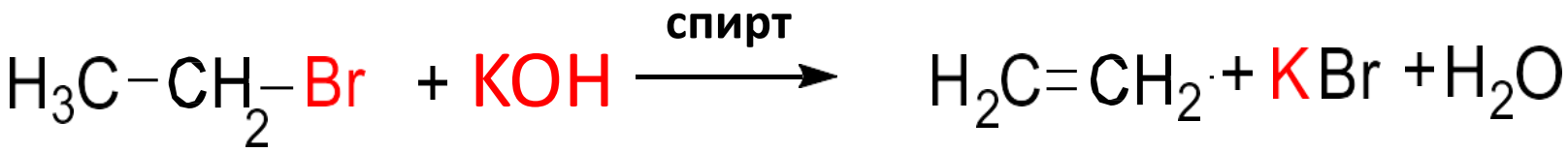




**Правило:** при написании любого уравнения реакции, идентифицируем ее тип, если есть возможность механизм, название

Присоединение (Ad)

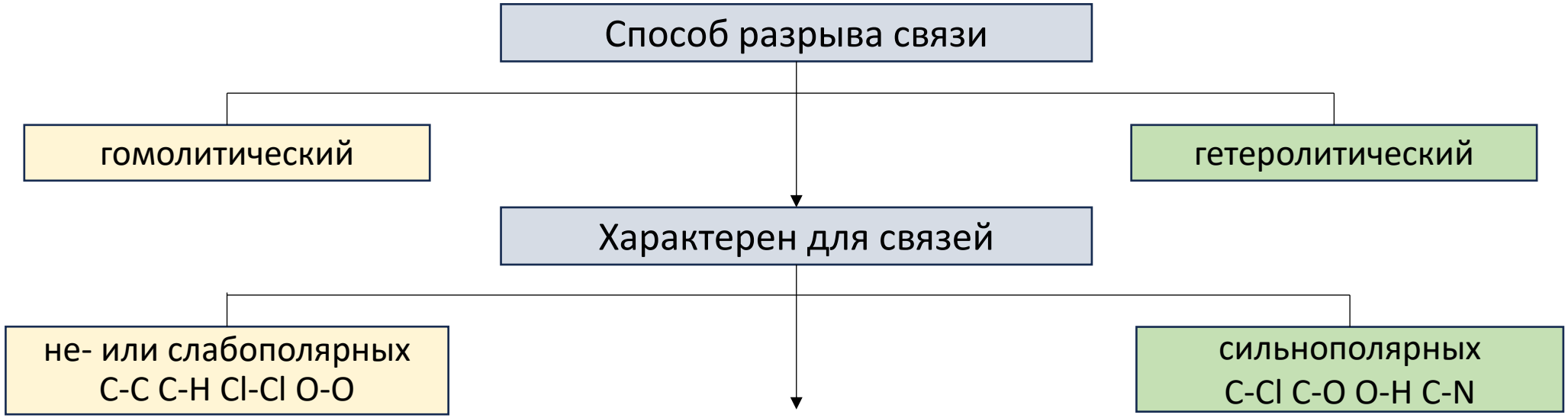




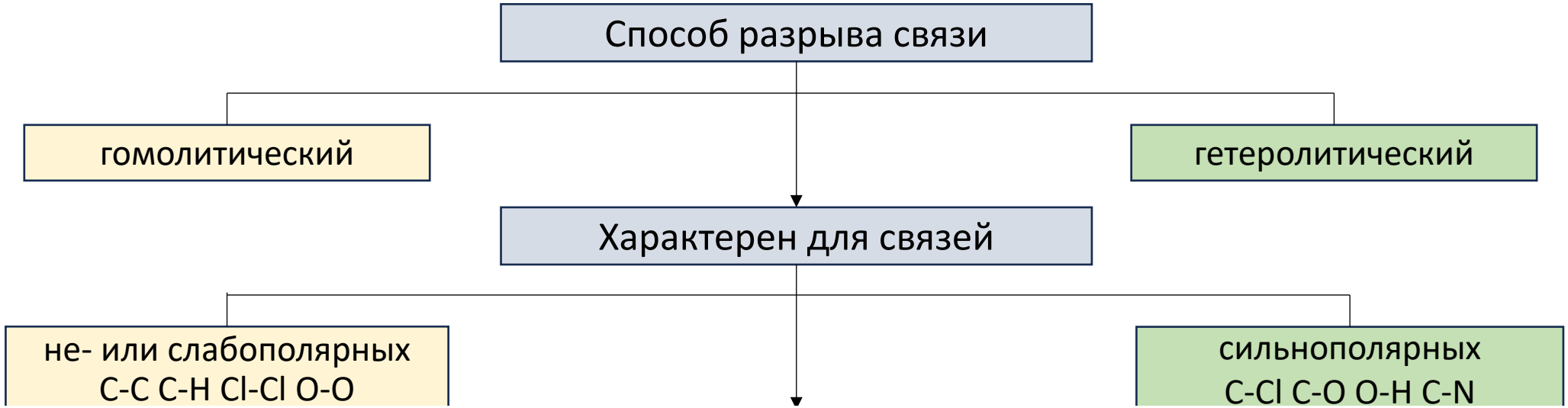

Отщепление (E)

# Алгоритм идентификации механизма реакции

# Алгоритм идентификации механизма реакции



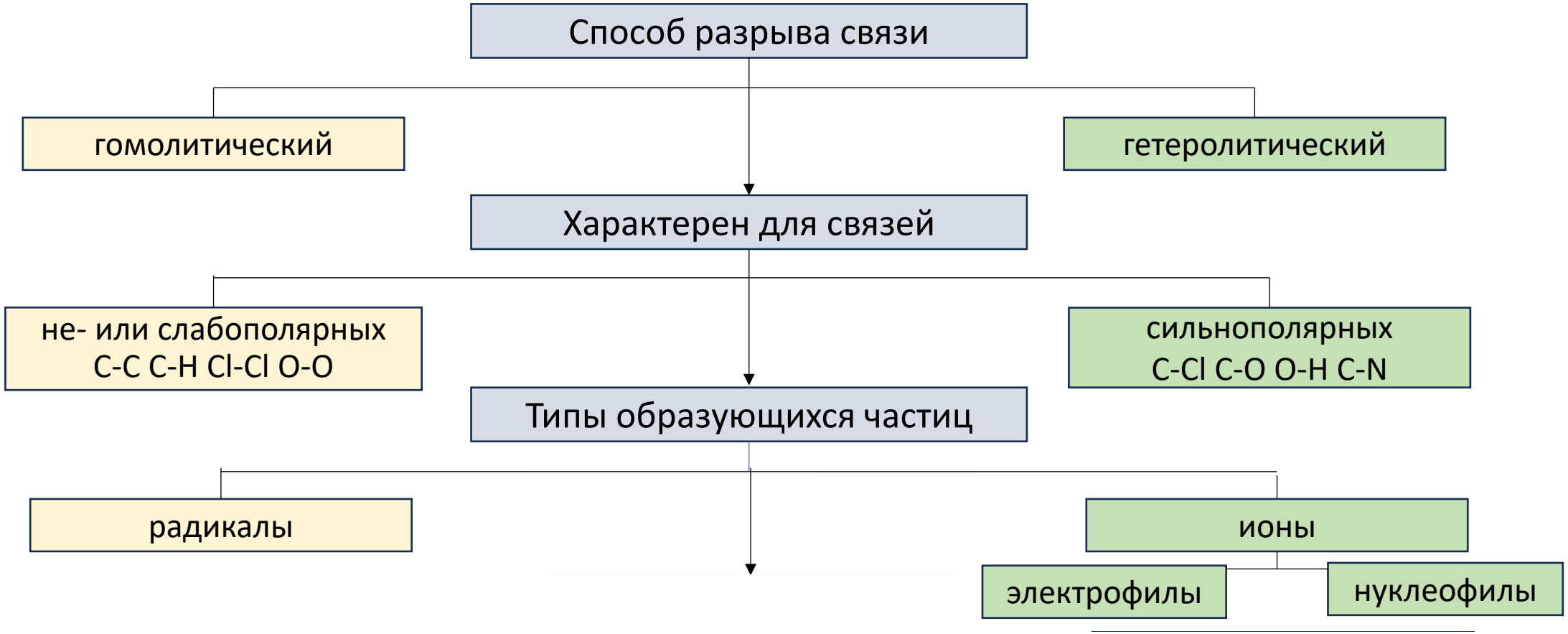
# Алгоритм идентификации механизма реакции



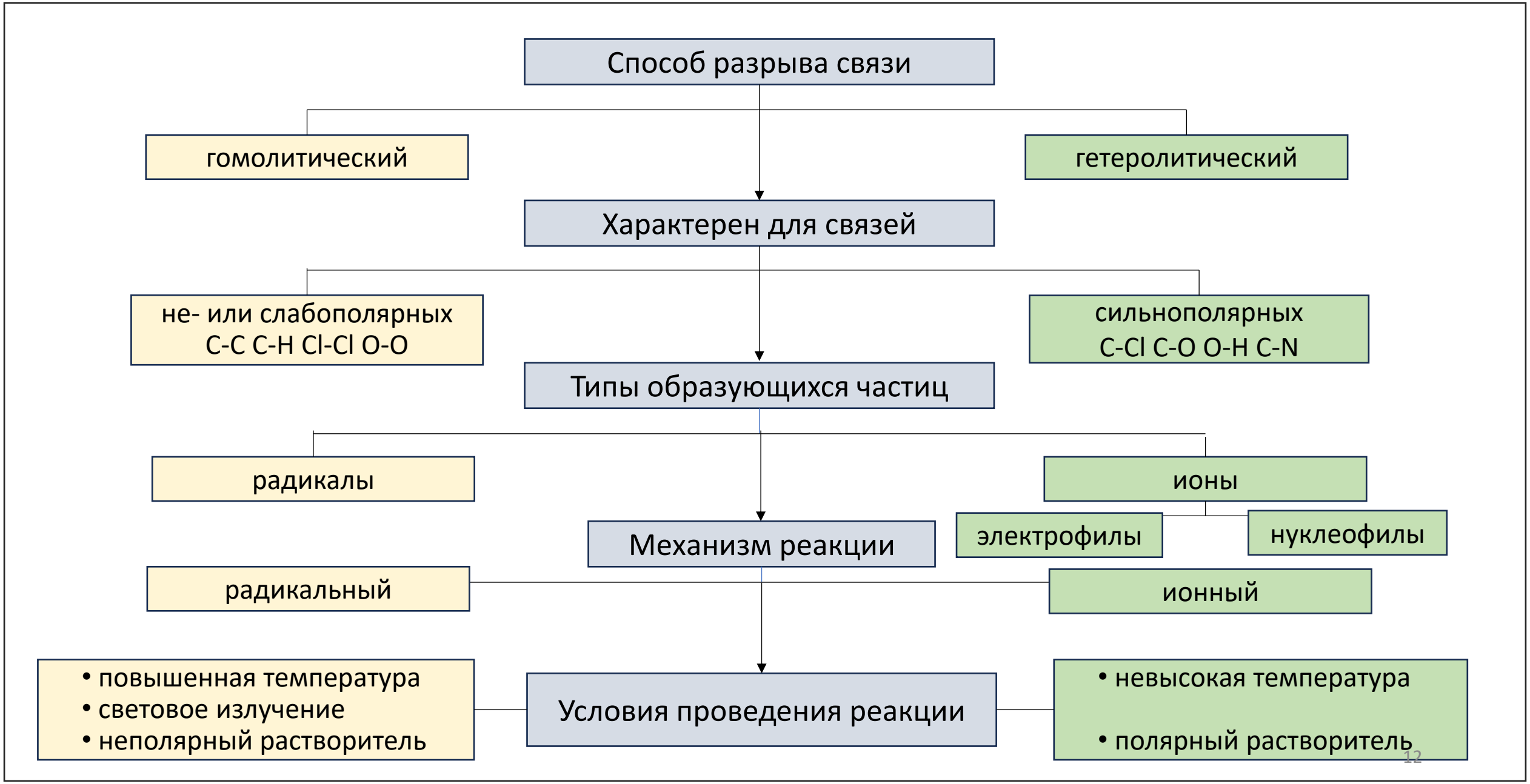
# Алгоритм идентификации механизма реакции



# Алгоритм идентификации механизма реакции



# Алгоритм идентификации механизма реакции



# Классификация механизмов реакции



# Проиллюстрируем, как это работает…

**32**

Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:




амин

потенциальные нуклеофилы

$$\text{хлорид } \textit{трет}\text{-бутиламмония} \leftarrow X_2 \xleftarrow{NH_3,\ \text{кат.},\ t^\circ} X_1 \xrightarrow{HBr}$$

$$\rightarrow X_3 \rightarrow \text{метилпропен} \rightarrow \text{ацетон}$$

третбутанол

При написании уравнений реакций указывайте преимущественно образующиеся продукты, используйте структурные формулы органических веществ.

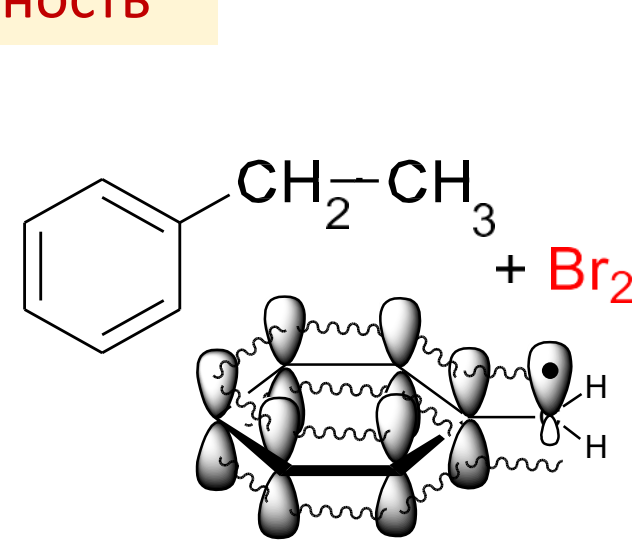
присоединение HCl по амино-группе

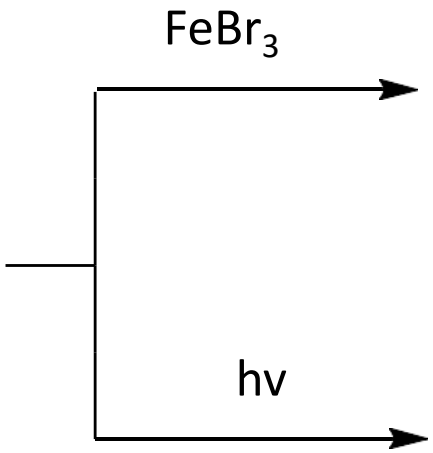


жесткое окисление

# Механизмы химических реакций – ключ к пониманию

Проблемность




$S_E$

$S_R$

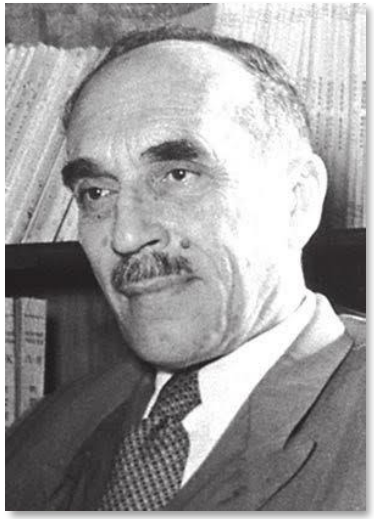
**разные условия – разный продукт**



Утром завкафедрой сказал: «К вечеру нужен чистейший бромэтилбензол для курсовой». Студент всё помнил: железо, бром, темнота — классика. Поставил, накрыл колбу чёрной тканью, как учили. Ушёл обедать.

После обеда сдал преподавателю то, что получилось. Преподаватель посмотрел хроматограмму и сказал: «Здесь четыре вещества. Ты сдаёшь смесь или сдаёшь работу?» Что произошло и о каких четырех веществах идет речь?

# Свободнорадикальный механизм, радикальное замещение $S_R$

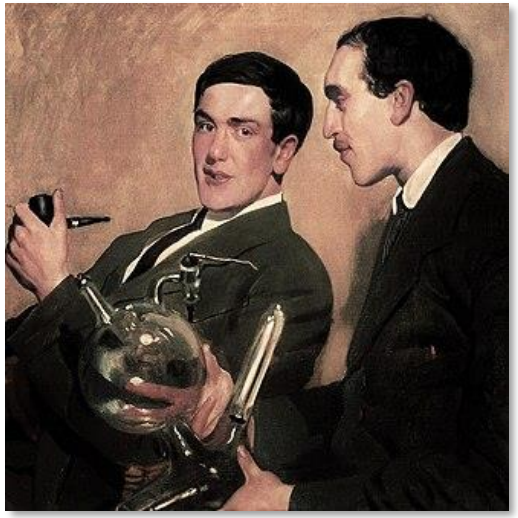


Н.Н. Семенов
1896 -1986

$$H_3C-CH_2-CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} H_3C-CH_2-CH_2-Br$$

или

$$H_3C-\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$



П. Капица и Н. Семенов
*Б. Кустодиев*

**ФГОС СОО:** сформированность представлений: о вкладе выдающихся ученых в развитие химии в контексте изучаемого учебного содержания;

исторические факты

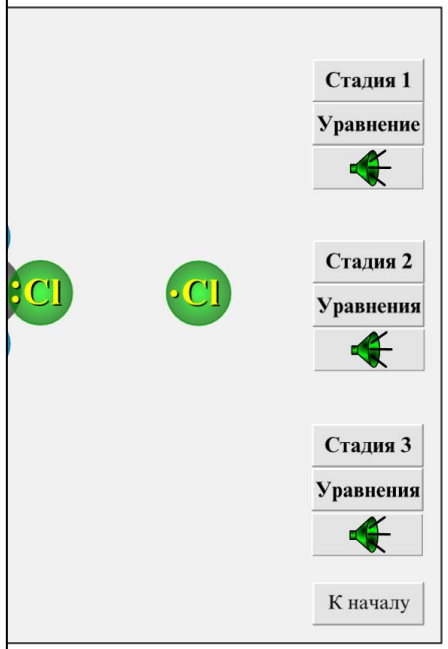
На заводе по производству растворителей есть реактор непрерывного действия для бромирования пропана. Технологический регламент жёстко предписывает: температуру 250–300°C, мольное соотношение пропан:бром = 4:1, время контакта 10 секунд. Завод выпускает бромпропан с содержанием 2-изомера не менее 90% — это условие контракта с покупателем.

Очередная смена запускает реактор строго по регламенту. Но на выходе анализ показывает: содержание 2-бромпропана упало до 42%, резко выросла доля 1-бромпропана (50%) и появились дибромиды (5%). Продукция не соответствует спецификации. Партия объёмом 20 тонн — брак. Возможные причины падения селективности реакции бромирования?

# Свободнорадикальный механизм, радикальное замещение $S_R$

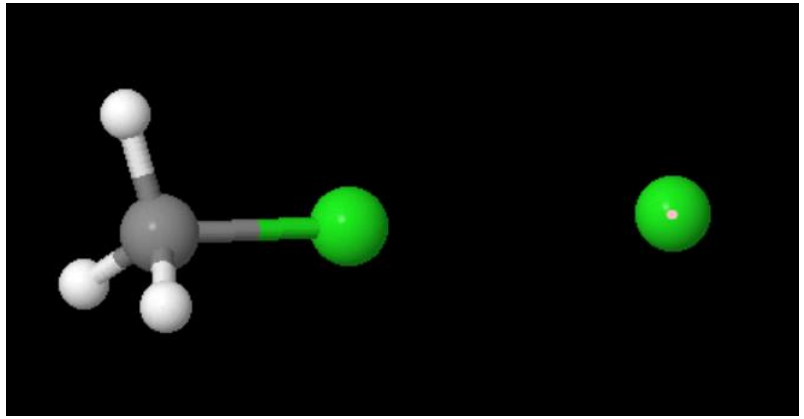
Энергия образования и длины связей

| Связь | Энергия Образования связи, кДж/моль | Длина связи, нм | Связь | Энергия Образования связи, кДж/моль | Длина связи, нм |
|---|---|---|---|---|---|
| C-H | 415 | 0,112 | C-S | 272 | 0,182 |
| C-C | 347 | 0,154 | C-Li | 200 | 0,219 |
| C-Cl | 326 | 0,177 | Cl-Cl | 234 | 0,199 |
| C-Br | 286 | 0,191 | Br-Br | 188 | 0,228 |
| C-I | 213 | 0,231 | H-Cl | 427 | 0,127 |
| C-O | 335 | 0,143 | H-H | 436 | 0,074 |
| C ≡ C | 803 | 0,121 | C = C | 607 | 0,133 |
| C - N | 285 | 0?147 | C = N | 615 | 0?127 |



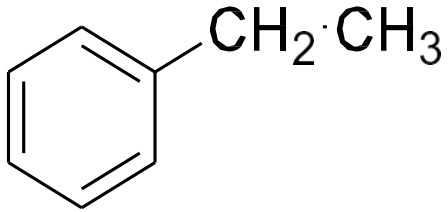

комплексные задания

динамические модели



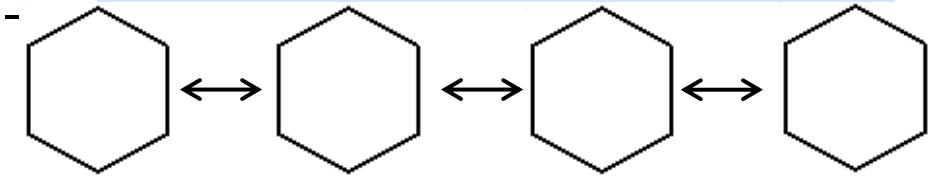
**Пример задания.** Напишите уравнения реакций сульфохлорирования, нитрования (по Коновалову) и монобромирования 3,4-диметил-гексана. Приведите механизм сульфохлорирования. Получите 3,4-диметилгексан по реакции Вюрца из третичного галогенопроизводного и сплавлением соли соответствующей карбоновой кислоты со щелочью.

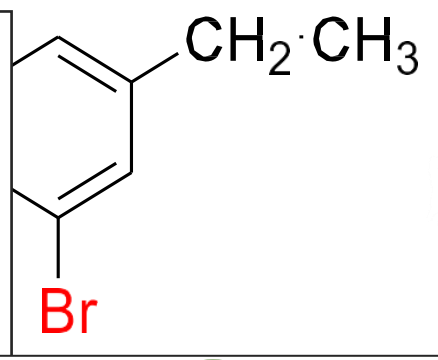
# Катионный механизм, электрофильное замещение $S_E$

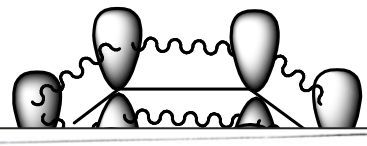


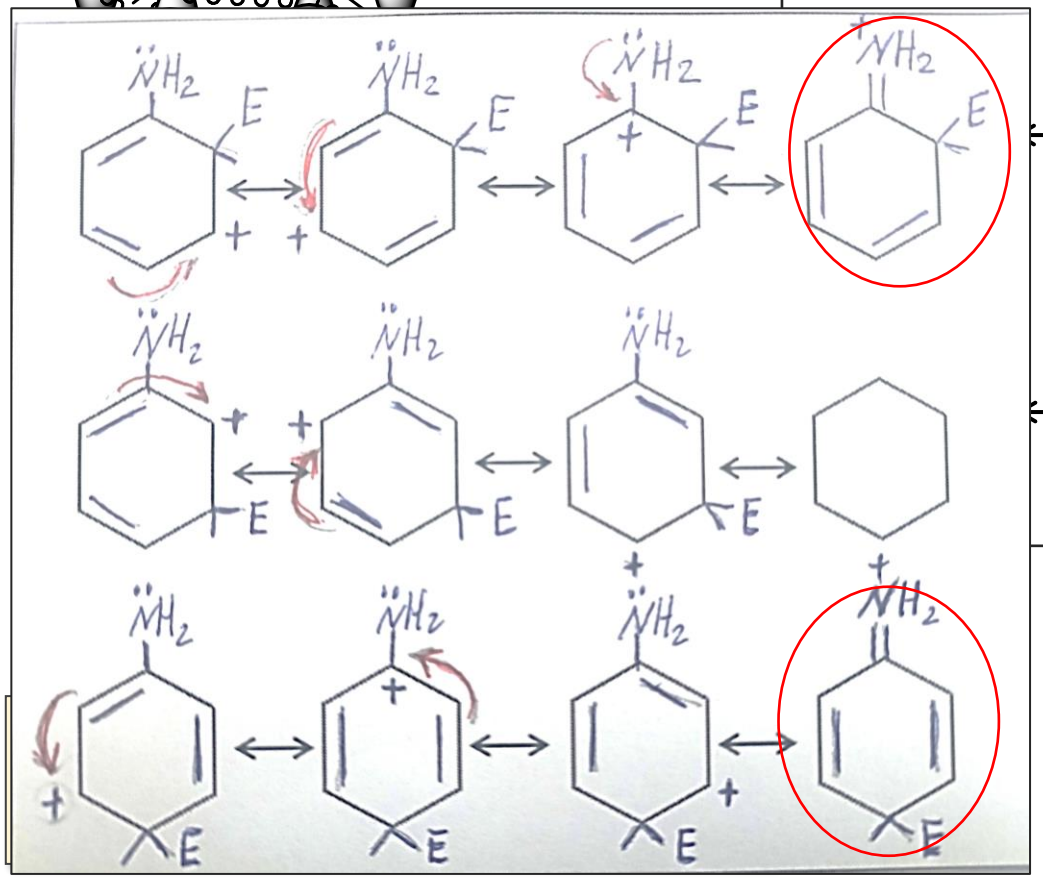

+ $Br_2$ -

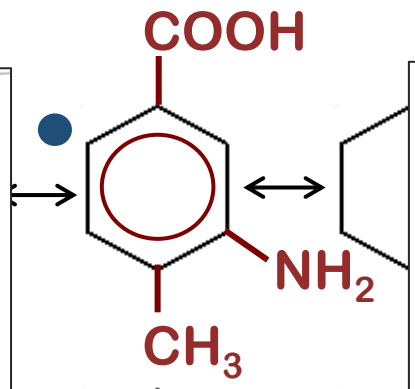
Шаблоны для тренинга

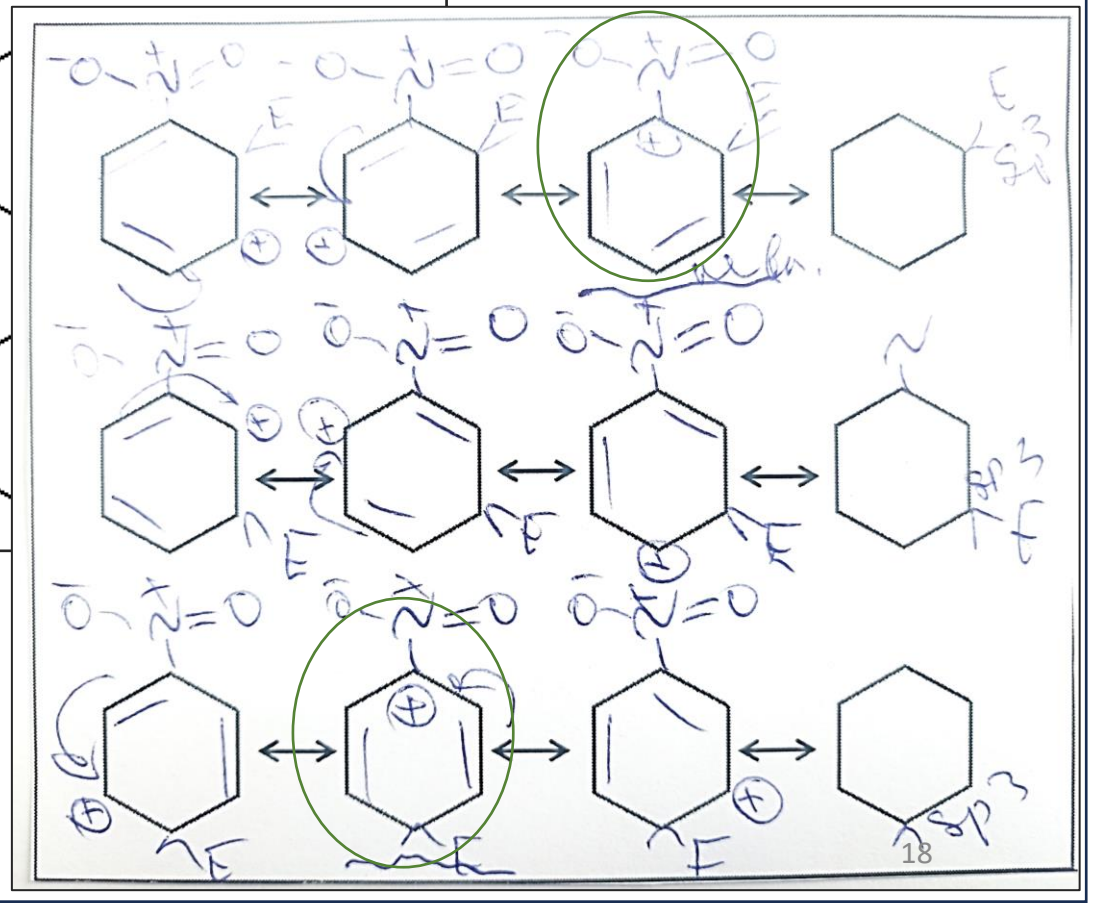








# Катионный механизм, электрофильное замещение $S_E$

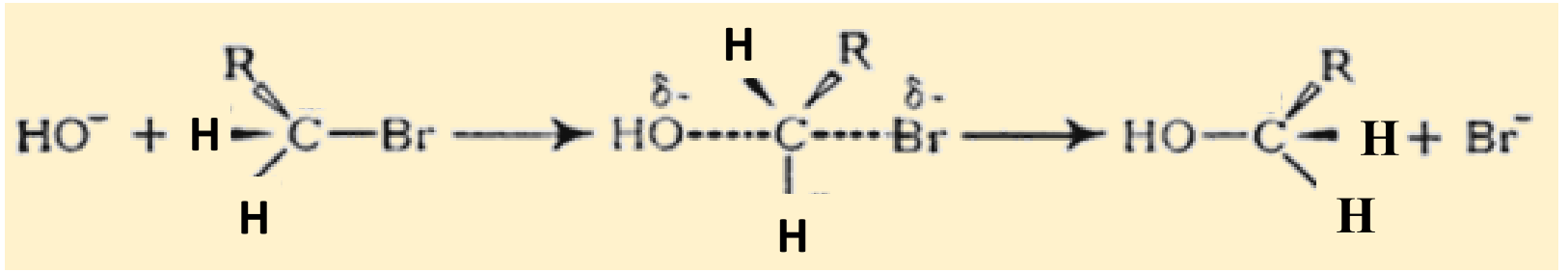
Пример задания 1. Напишите уравнения реакций нитрования бензола, толуола, хлорбензола и нитробензола. Объясните механизм нитрования, влияние заместителей в перечисленных соединениях на скорость и направление реакции электрофильного замещения. Расположите эти соединения в порядке уменьшения их реакционной способности в реакциях.

Примет задания 2. Напишите структурные формулы изомерных ароматических углеводородов состава $C_8H_{10}$, назовите их. Осуществите реакции хлорирования этилбензола в ядро и по алкильному радикалу. Объясните механизмы этих реакций и влияние алкильного радикала на скорость и направление реакции замещения.

# Анионный механизм, нуклеофильное замещение $S_N$

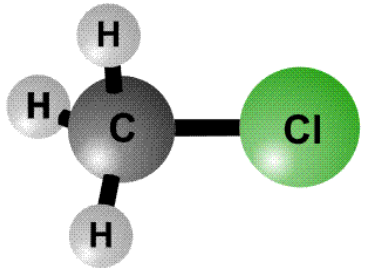
## $S_{N2}$



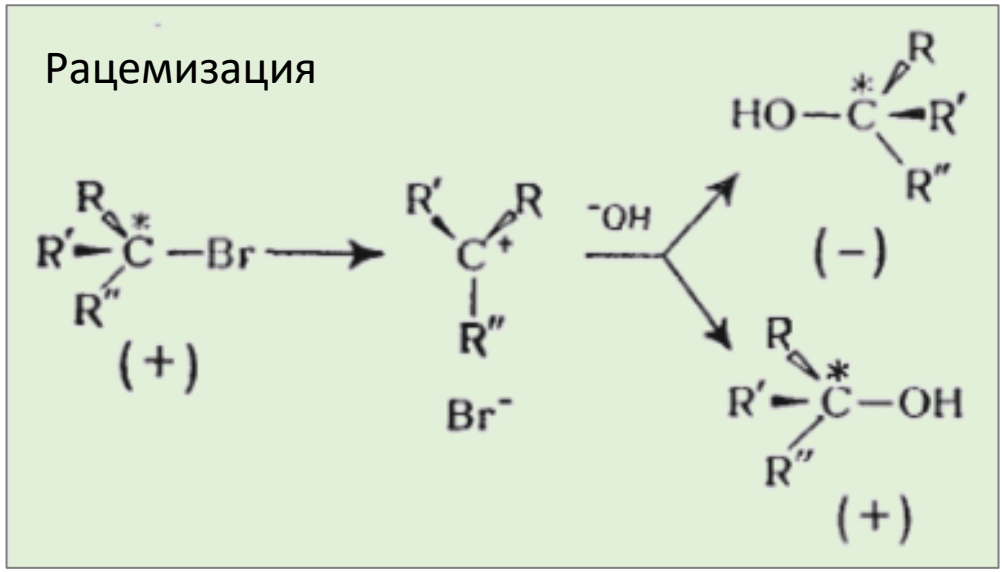





Обращение конфигурации



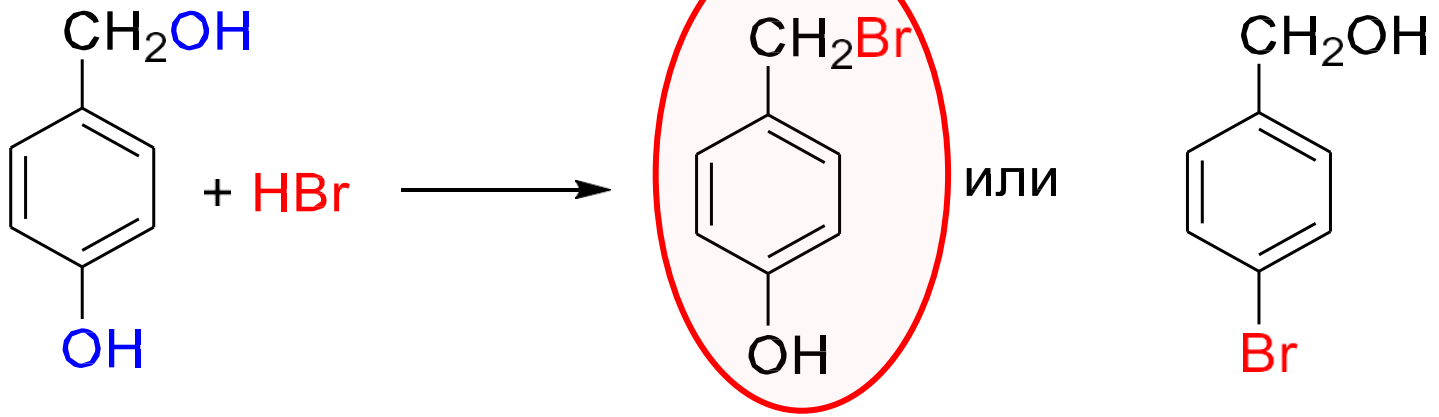

## $S_{N1}$

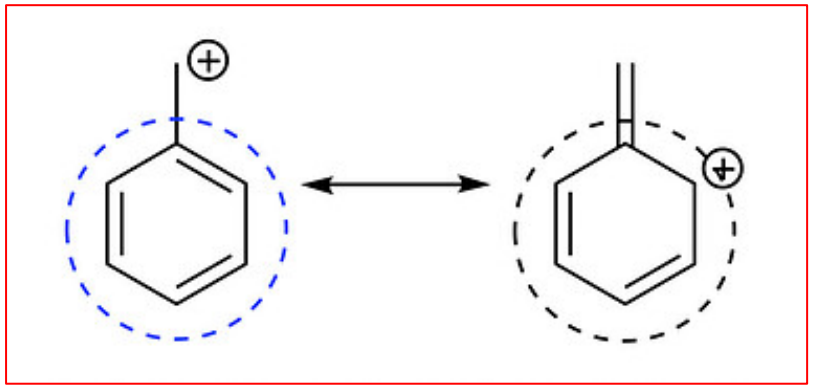


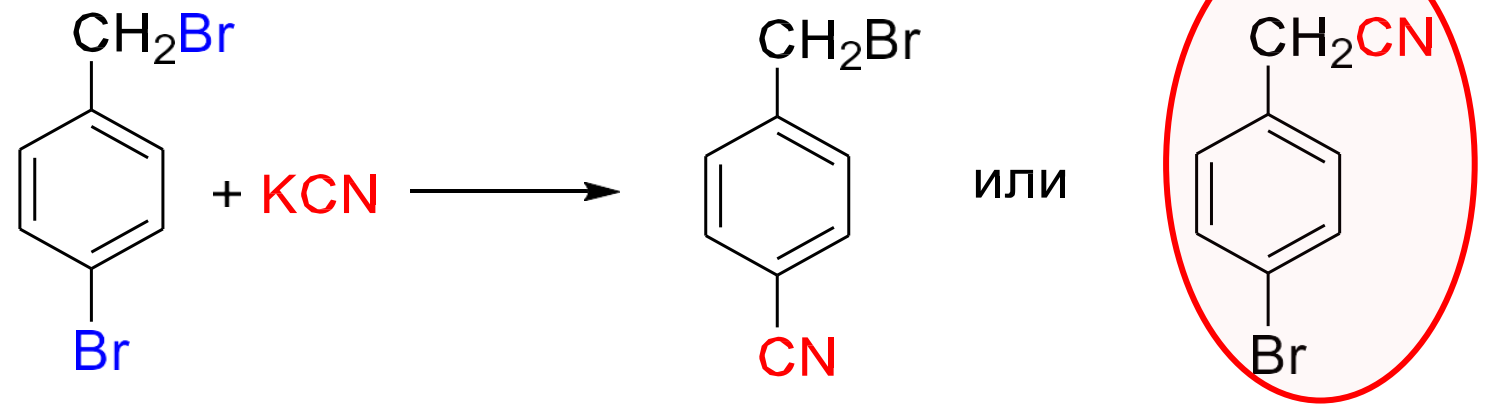

| Факторы | $S_{N2}$ | $S_{N1}$ |
|---|---|---|
| Строение субстрата | Предпочтительнее первичные | Предпочтительнее третичные |
| Вступающая группа | Сильный нуклеофил | Слабый нуклеофил |
| Уходящая группа | Хорошая уходящая группа | Плохая уходящая группа |
| Стерические факторы | Атака с тыла на частичный плюс | Атака с любой стороны на целый плюс |
| Влияние растворителя | Апротонный | Протонный |
| Концентрация нуклеофила | Высокая | Незначительная |

# Анионный механизм, нуклеофильное замещение $S_N$

$S_{N1}$





# Примеры комплексных заданий на знание механизмов реакций

Пример задания 1. Гидролизом 1-иодпропана и 2-иод-2-метилбутана получите соответствующие спирты. Разберите механизм реакций.

Пример задания 2. Напишите уравнения реакций бромистого этила и бромистого *трет*-бутила с KCN и с водным раствором NaOH. Разберите механизм реакции, протекающей по соответствующему механизму.

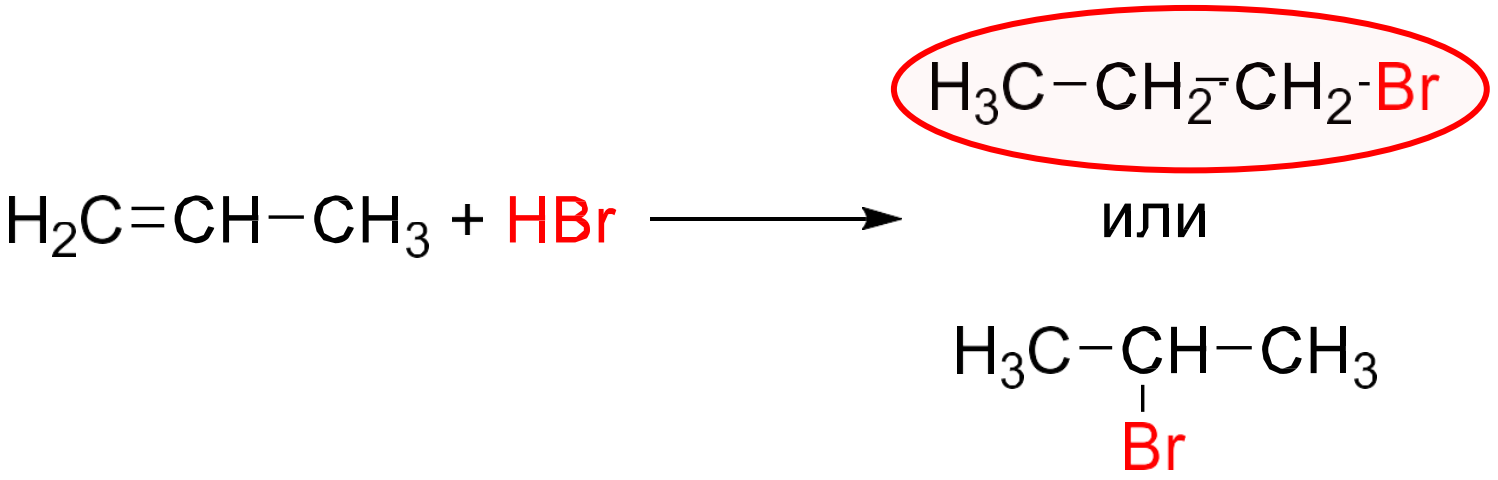
Пример задания 3. Укажите на сходство и различие в механизмах электрофильного присоединения к π-связи этиленовых углеводородов и электрофильного замещения в бензольном ядре. Напишите для толуола реакции нитрования и алкилирования хлористым этилом. Объясните механизм этих реакций, влияние заместителя на их скорость и направление.

# Свободнорадикальный механизм, радикальное присоединение

Проблемность



Морис Хараш
1895-1957




Представьте, что вы – студент-химик. Профессор дает вам задачу – провести реакцию гидробромирования пропилена. В колбе вы получили смесь двух веществ: 2-бромпропана и 1-бромпропана в соотношении 9:1. Однако в вашем лабораторном журнале записано, что должен был получиться только 2-бромпропан. Найдите ошибку в эксперименте.

# Катионный механизм, электрофильное присоединение $A_E$

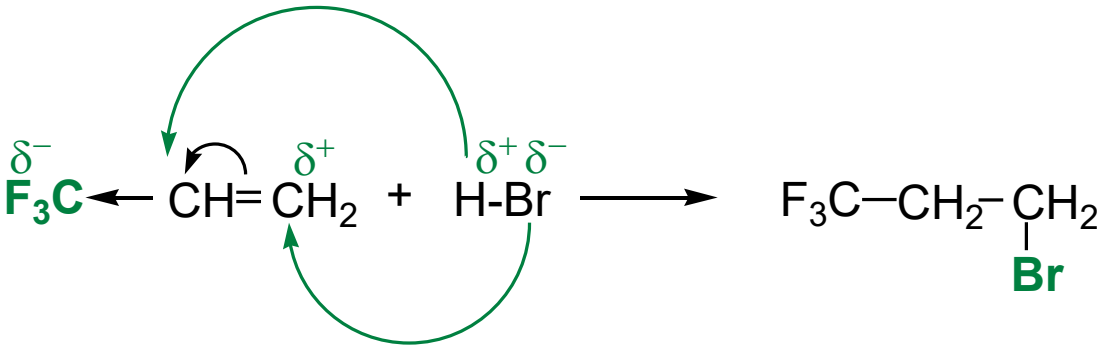


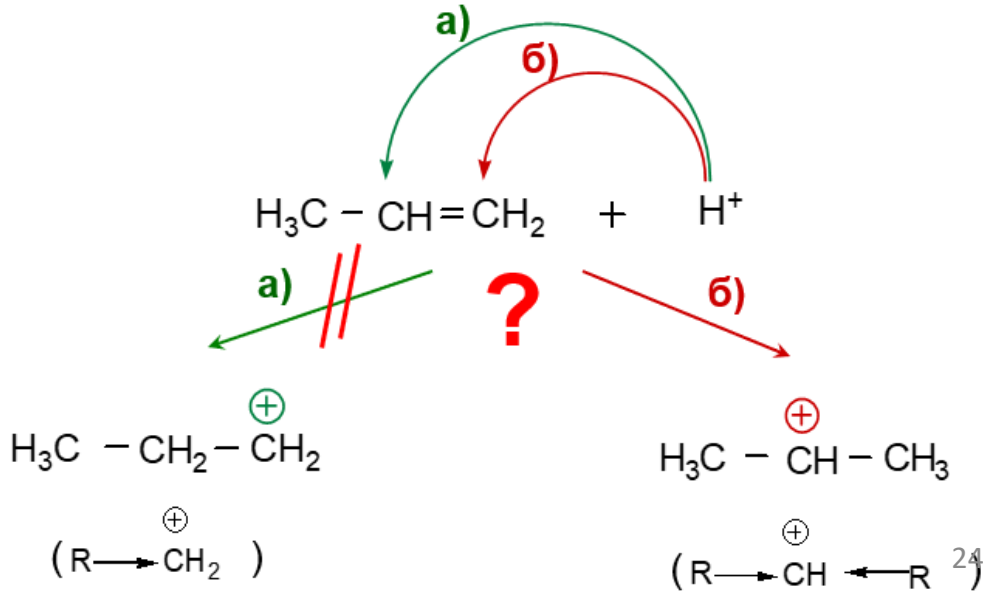
Марковников В.В.
1838-1904

$$H_2C{=}CH{-}CH_3 + HBr \longrightarrow H_3C{-}CH_2{-}CH_2{-}Br$$

или

$$H_3C{-}\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3$$



# Катионный механизм, электрофильное присоединение $A_E$

Пример 1. Из каких галогенуглеводородов действием спиртового раствора KOH можно получить: а) пропен; б) 3-метил-4-этилгексен-2; в) 3,4-диметил-3-гептен? Для какого из этих соединений возможна геометрическая (*цис*-, *транс*-) изомерия? Напишите для этих соединений реакцию с одним молем бромоводорода. Приведите механизм взаимодействия указанных соединений с бромоводородом. Сформулируйте правило Марковникова.

Пример 2. Напишите уравнения реакций получения 1-бутена из соответствующего спирта, галогенпроизводного, алкина. Напишите реакции бутена-1:

а) с бромистым водородом;

б) с бромистым водородом (в присутствии $H_2O_2$);

в) с водой (в присутствии серной кислоты);

г) окисления ($KMnO_4 + H_2O$);

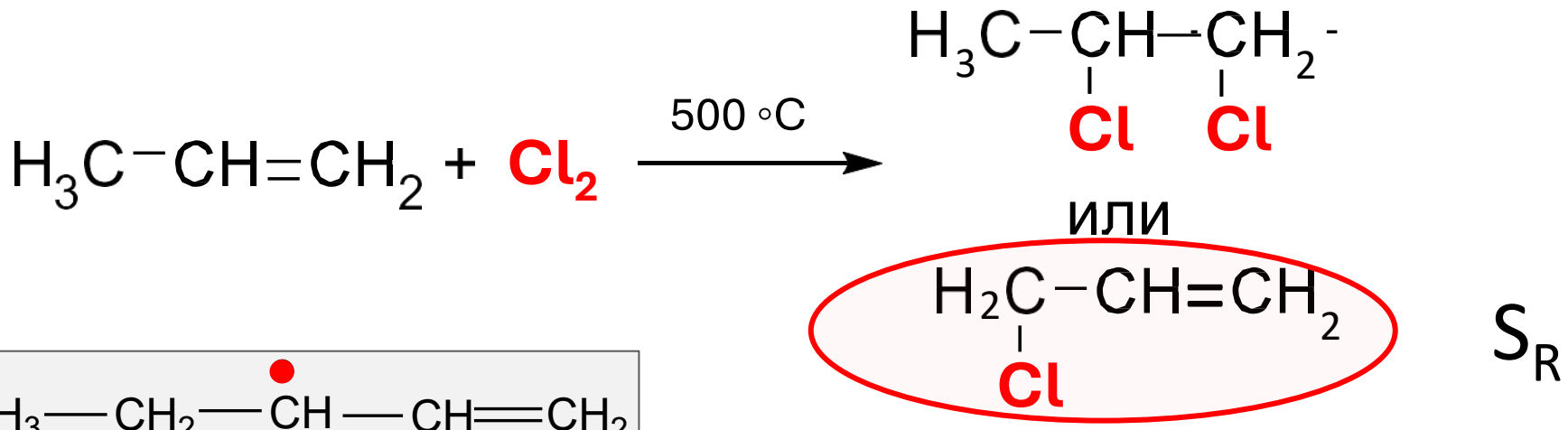
д) окисления ($KMnO_4 + H_2SO_4$).

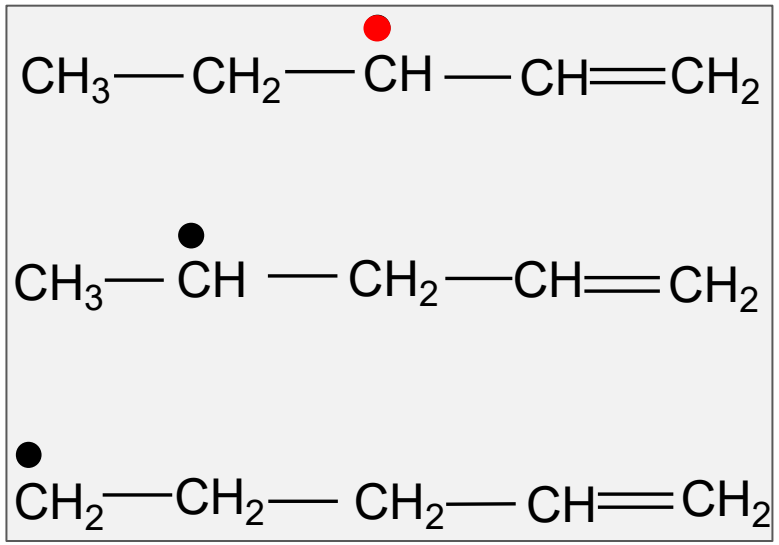
Приведите механизмы присоединения HBr к бутену-1 (электрофильный и радикальный).

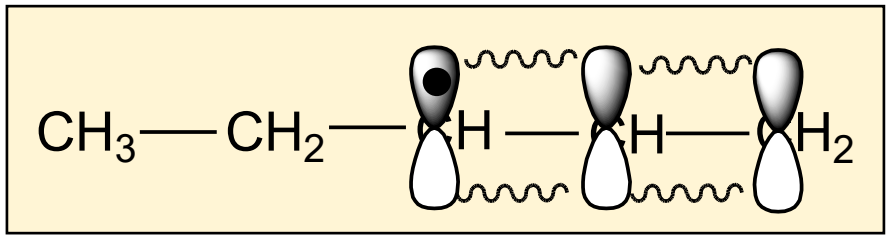
# Присоединение или замещение



Львов М. Д.
1848-1899



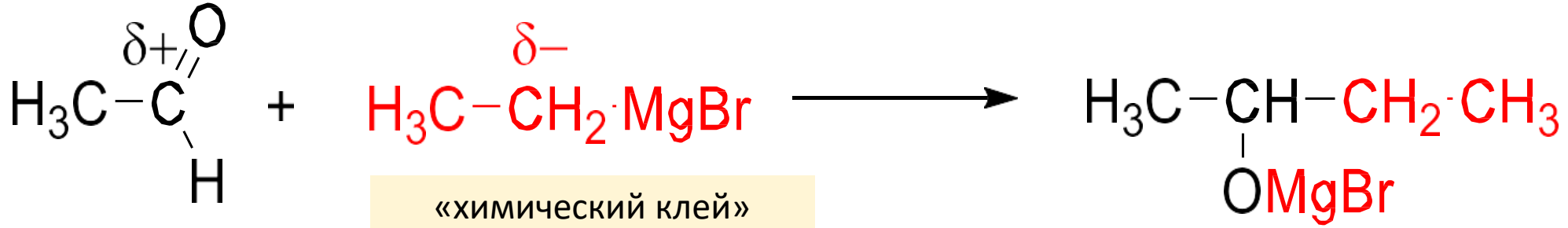



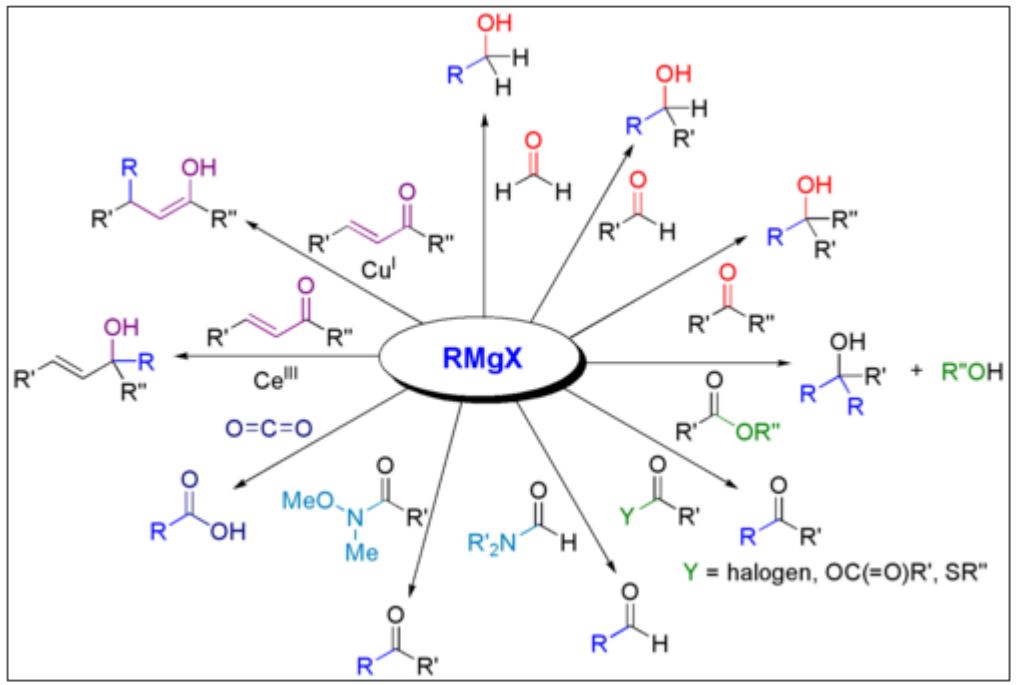
# Анионный механизм, нуклеофильное присоединение $A_N$

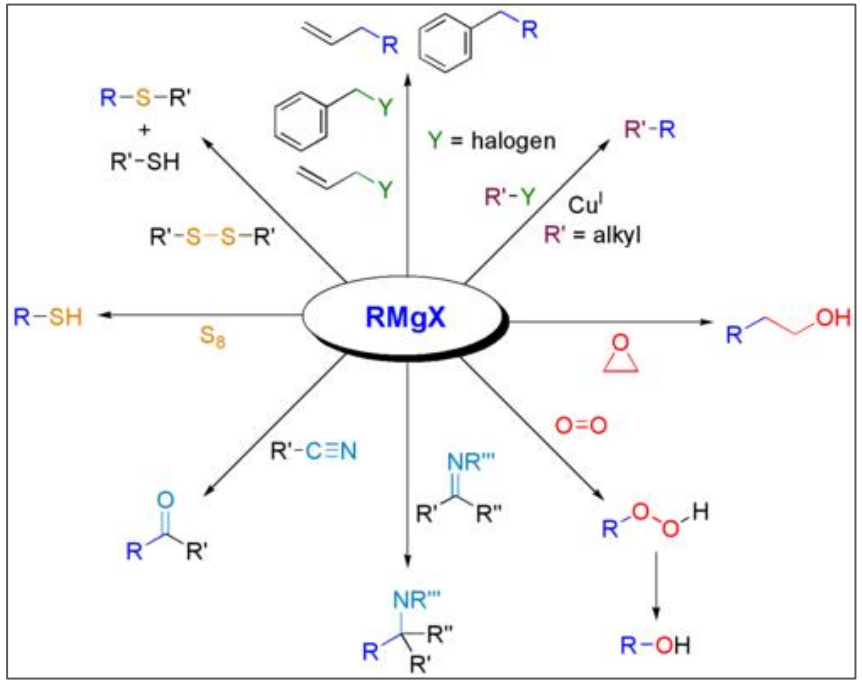


Франсуа Огюст Виктор Гриньяр 1871-1935




«химический клей»




https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%8C%D1%8F%D1%80%D0%B0

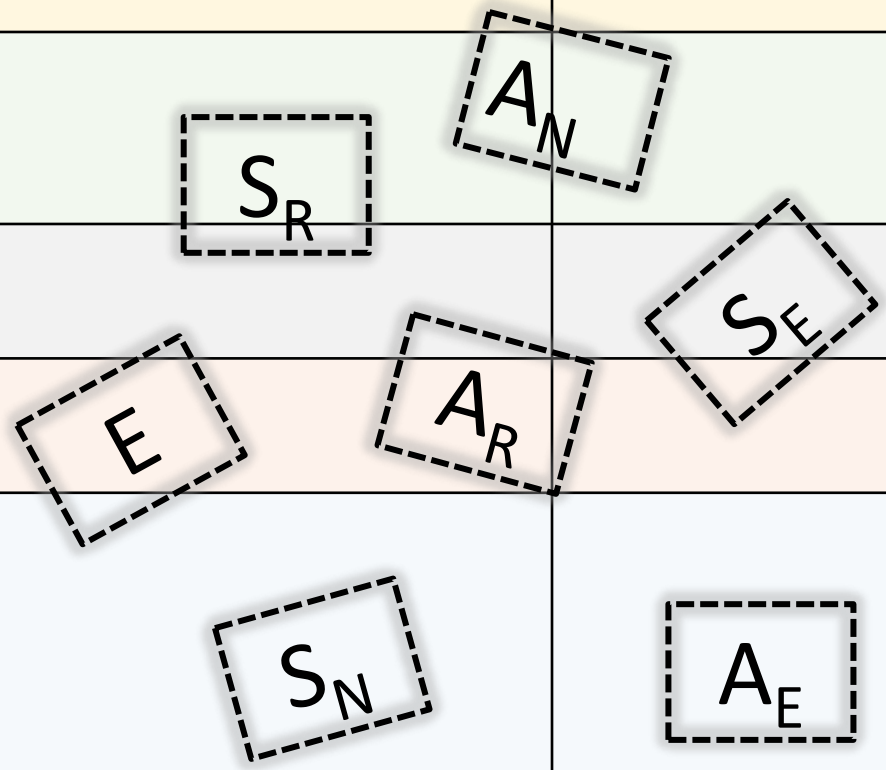
# Анионный механизм, нуклеофильное присоединение $A_N$

Пример задания 1. Получите пентаналь и 2-пентанон из соответствующих спиртов, дигалогеноуглеводородов, алкенов. Приведите механизм реакций пентаналя и 2-пентанона с HCN и аммиаком, сравните активность альдегида и кетона в этих реакциях.

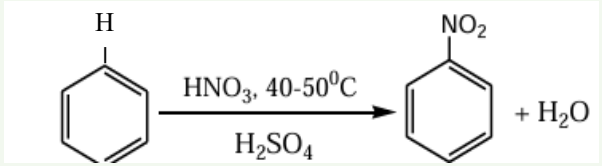
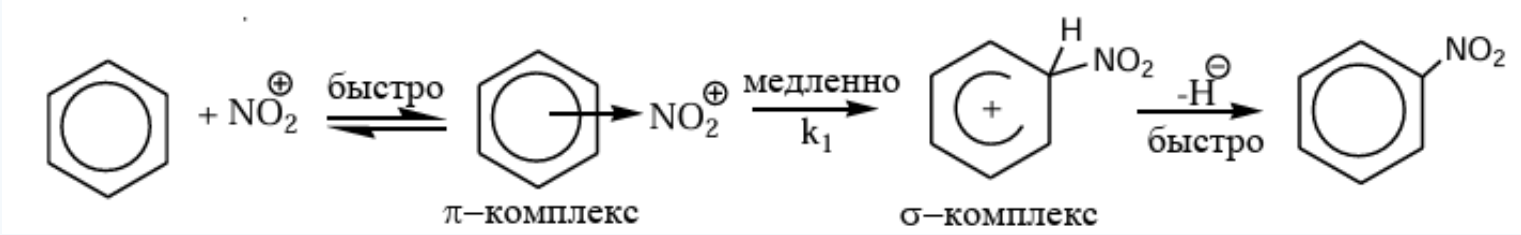
Пример задания 2. Используя реакции с соответствующими реактивами Гриньяра, получите из пропаналя 3-пентанол, 1-бутанол, 2-метил-3-пентанол. Приведите условия и механизм реакции пропаналя с 1-бутанолом.

# Матрица ответа

| | **Механизм реакции** - | |
|---|---|---|
| | Название классов, частиц | Примеры |
| Типичные субстраты | | |
| Типичные реагенты | | |
| Сущность реакции | | |
| Условия проведения реакции | | |
| Промежуточные частицы | | |
| Основные стадии | | |

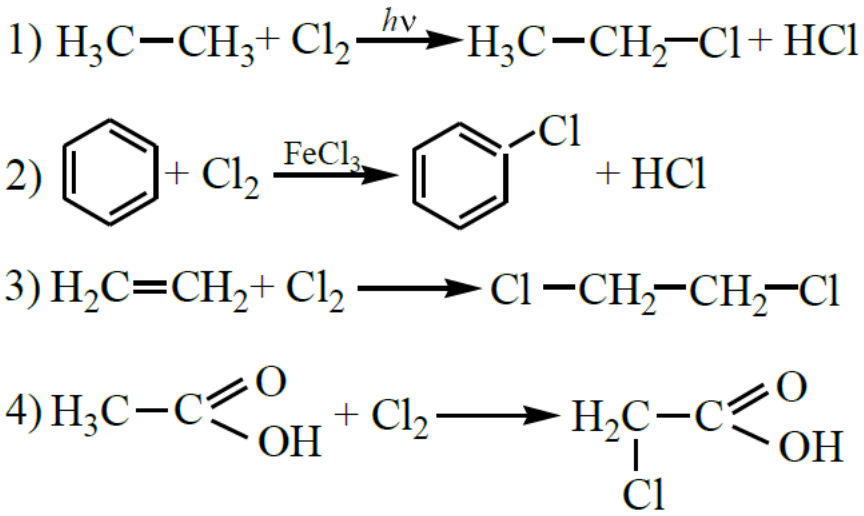


# Матрица ответа $S_E$

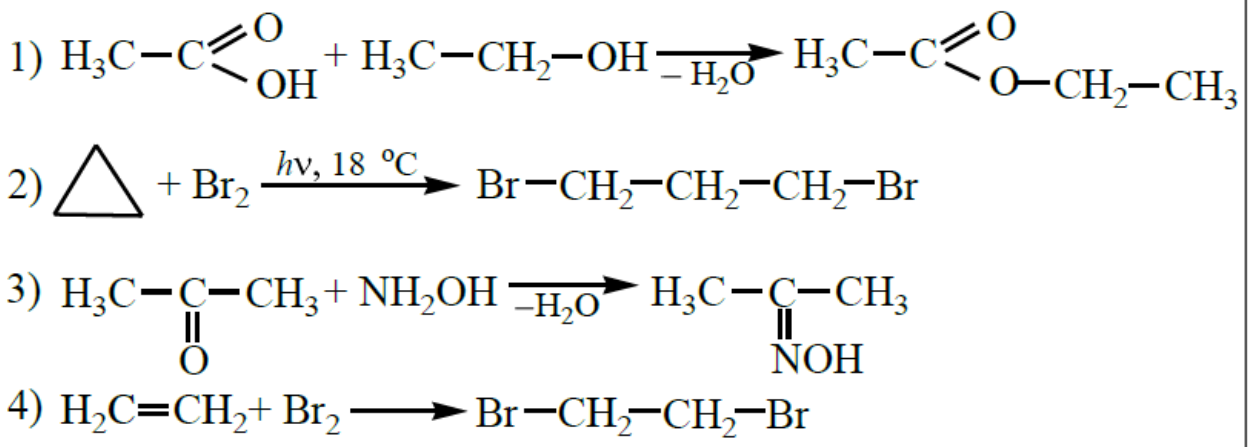
| | **Механизм реакции -** | |
|---|---|---|
| | Название классов, частиц | Примеры |
| Типичные субстраты | **Арены и их производные** | **Толуол, фенол, анилин, бензойная кислота ….** |
| Типичные реагенты | **Электрофилы $E^+$** | **$Cl^+$, $NO_2^+$, $R^+$, $SO_3$** |
| Сущность реакции | **Замещение атома водорода бензольного кольца на $E^+$** |   |
| Условия проведения реакции | **Катализаторы** | **Кислоты Льюиса, неорганические кислоты…** |
| Промежуточные частицы | **π- комплекс и σ- комплекс** | |
| Основные стадии |   | |

# Примеры заданий и методических приемов, способствующих усвоению и отработке вопросов о механизмах реакций в органической химии

Пример 1. Реакция хлорирования, протекающая по механизму радикального замещения ($S_R$)



Пример 2. Реакция, протекающая по механизму нуклеофильного присоединения ($A_N$)



Тесты

# Примеры заданий и методических приемов, способствующих усвоению и отработке вопросов о механизмах реакций в органической химии

| |
|---|
| самостоятельно формулировать и актуализировать проблему в ходе решения учебной задачи, рассматривать ее всесторонне; |
| выделять главные и второстепенные признаки объектов;<br>обосновывать основания для сравнения, классификации и обобщения; |
| обосновывать причинно-следственные связи при изучении явлений и процессов; |
| использовать дедуктивные и индуктивные умозаключения, умозаключения, формулировать гипотезы о взаимосвязях и закономерностях в процессе решения учебных задач; |
| применять различные способы решения учебных задач с использованием различных мыслительных операций на основе разработанных критериев; |



# Использованные источники информации


1. Антипин Р.Л. Механизмы органических реакций. Основные трудности изучения школьного курса органической химии. https://www.chem.msu.ru/rus/events/2020-10-17/book2020-10-17.pdf?ysclid=mv24gseflx48164113
2. Карцова А.А. Механизмы органических реакций https://ppt-online.org/229581
3. Офицеров Е.Н. К вопросу об определении механизма реакции © https://butlerov.com/files/reports/2006/vol10/6/64/64-67.pdf
4. Никишина И.В. Шахкельдян И.М. Ахромушкина Т.М. Интегративный подход к формированию системы знаний о химических реакциях. file:///C:/Users/User/Downloads/integrativnyy-podhod-k-formirovaniyu-sistemy-znaniy-o-himicheskih-reaktsiyah
5. Органическая химия [Электронный ресурс] : сб. задач и тестовых заданий / Н. М. Вострикова, И. В. Дубова, И. В. Лавор, В. Е. Лопатин, Е. А. Салькова, С. В. Стаханова – Изд. 2-е, испр. и доп. / Центр обучающих систем ИнТК СФУ. – Электрон. дан. (2,7 Мб). – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011
6. Трофимов Д.Г. Задачи по органической химии : практикум : в 2 ч. / Д. Г. Трофимов ; СУНЦ НГУ ; – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019.