

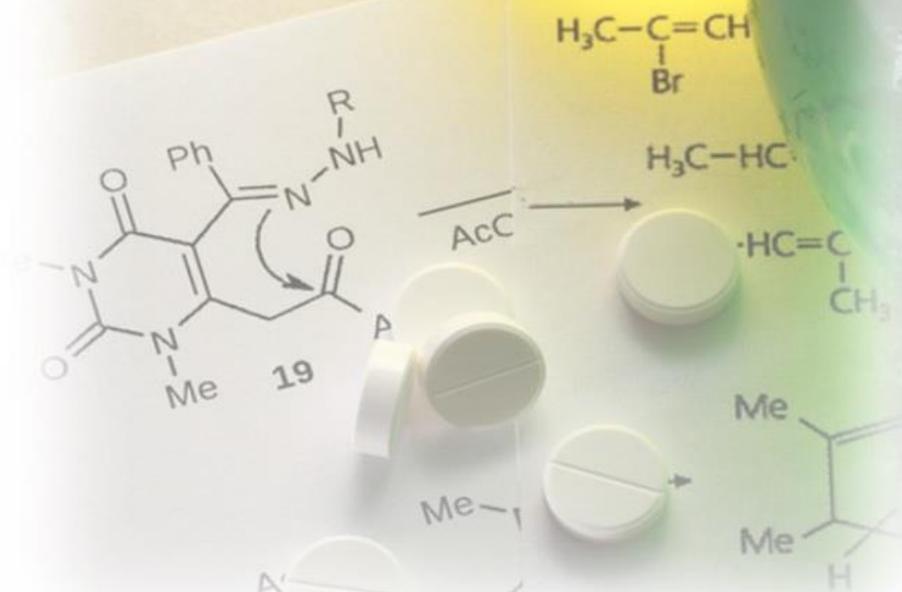
ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Лямин Алексей Николаевич,

доцент, кандидат педагогических наук,

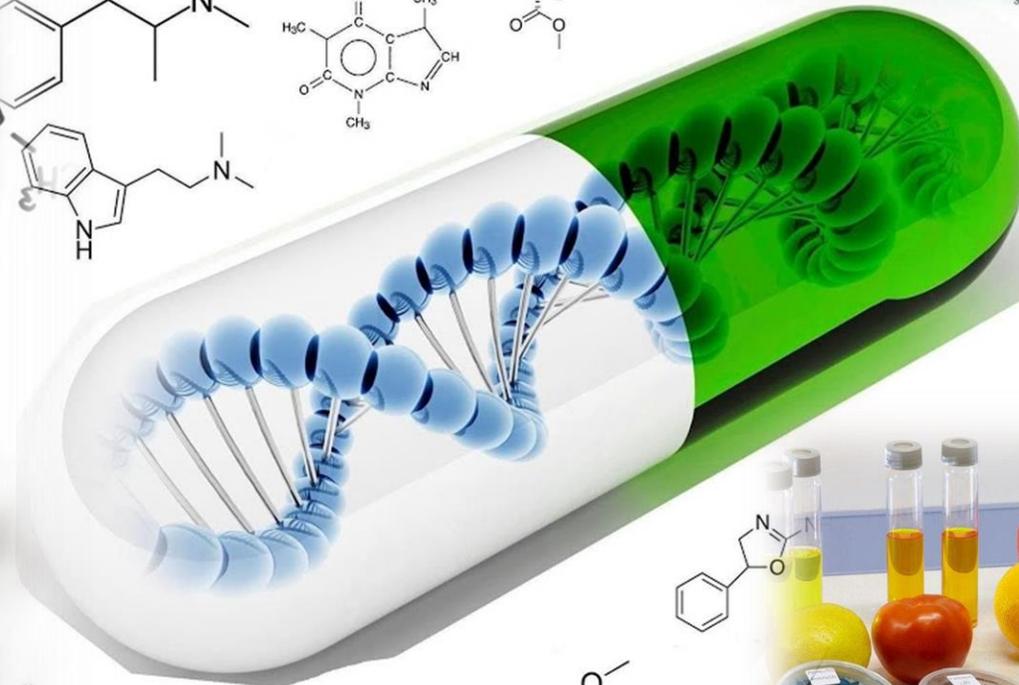
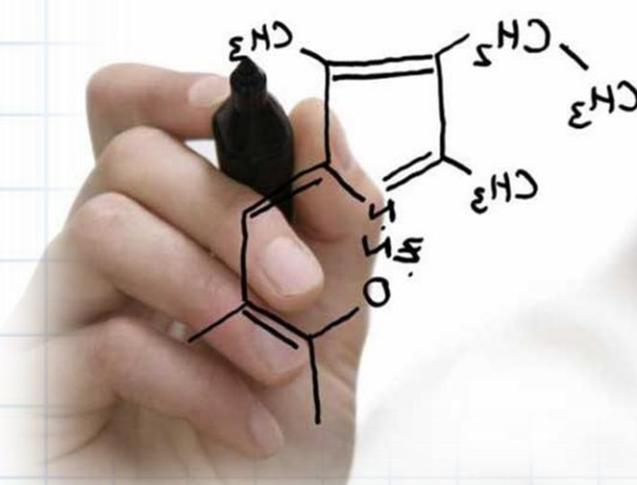
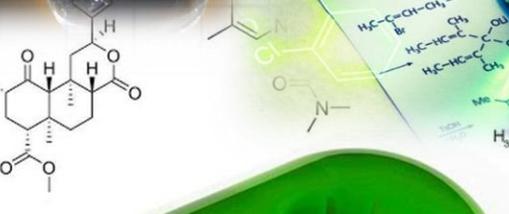
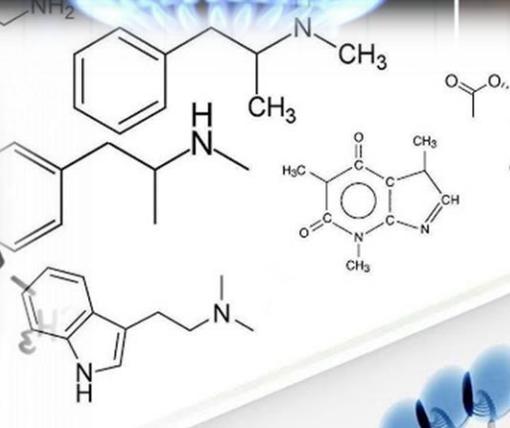
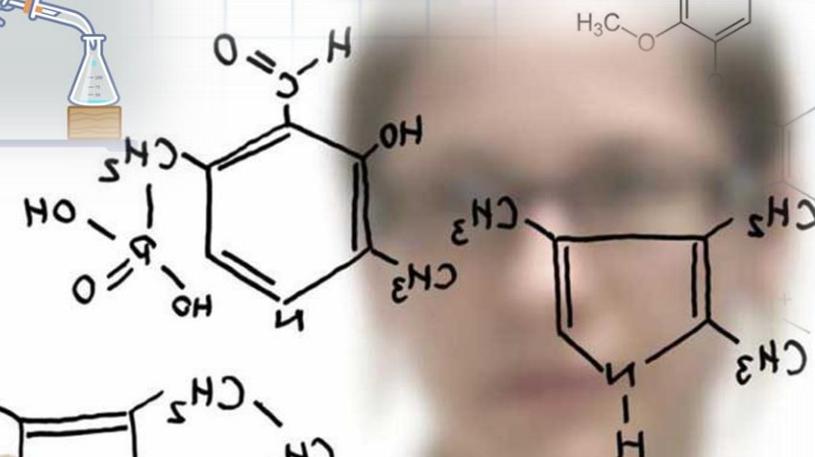
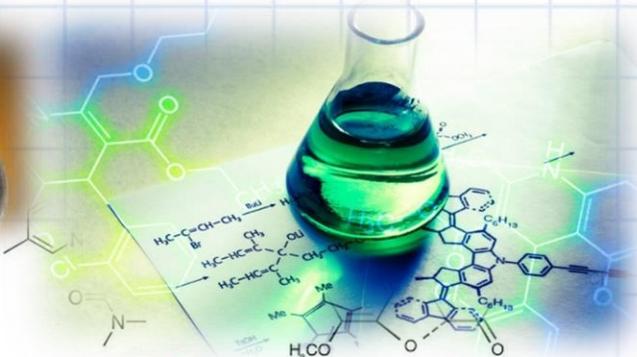
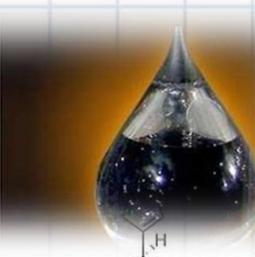
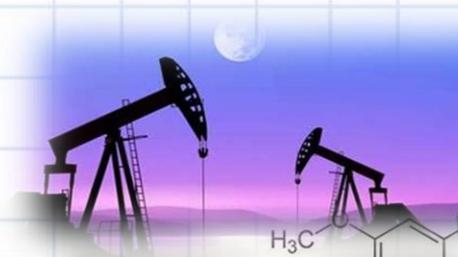
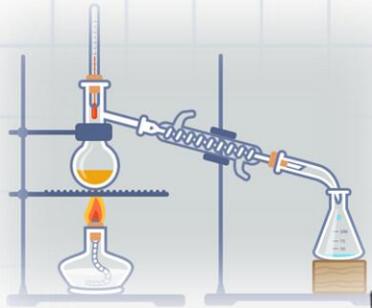
Почётный работник образования РФ

ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России, г. Киров





наука жизни





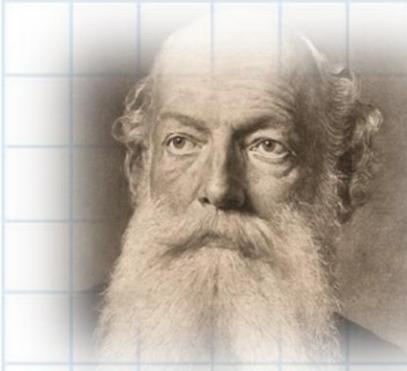
ЭМПИРИЧЕСКИЙ И АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ

первые попытки классификации веществ на представителей «минерального, растительного и животного царств», по дошедшей до нас информации, были предприняты ещё в IX – X в.в. арабским алхимиком **Абу Бакр ар Рази** (865-925 г.);



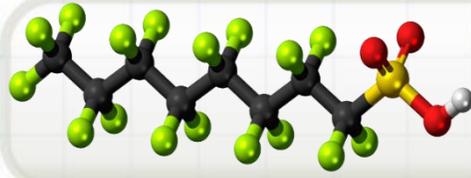
в 1807 г. шведский химик и минералог **Якоб Йёнс Берцелиус** предложил вещества животного и растительного происхождения называть органическими;

эмпирический, от древнегреческого *ἐμπειρία* – опыт, эмпиризм – учение, признающее опыт, основанный на ощущениях, единственным источником знаний, этап развития органической химии, середина XVII – конец XVIII в.в., по определению Берцелиуса: «этап химии растительных и животных веществ»;



конец XVIII – середина XIX в.в. — **аналитический этап**, от греческого *ἀνάλυσις* – разложение, анализ – научное исследование, характерен исследованиями по установлению состава вещества, в результате которых стало очевидно: «Органическая химия — раздел химии, изучающий соединения четырёхвалентного углерода»

Фридрих Август Кекуле фон Штрадониц



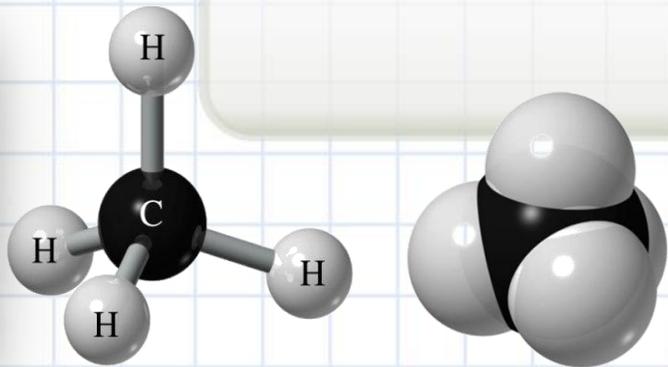
СТРУКТУРНЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ

*период второй половины XIX – начала XX в.в. получил название структурного этапа развития органической химии, от латинского *structura* – строение, расположение, порядок; в основу этого этапа развития органической химии легло учение русского химика Александра Михайловича Бутлерова «теория химического строения органических веществ»*

рассматривая и исследуя химические соединения, Бутлеров вывел следующие закономерности:

- ✓ *атомы соединяются в молекулу согласно их валентности — руководство к составлению графических формул;*
- ✓ *свойства органических соединений зависят не только от их качественного и количественного состава, но и от того, в каком порядке соединены атомы в молекулы, т.е. от строения молекулы — объяснение явления изомерии;*
- ✓ *атомы в молекулах взаимно влияют друг на друга — электронные эффекты в молекулах;*
- ✓ *свойства веществ определяются их строением, и наоборот, строение прогнозируется свойствами химического соединения;*
- ✓ *строение вещества может быть установлено физико-химическими методами.*





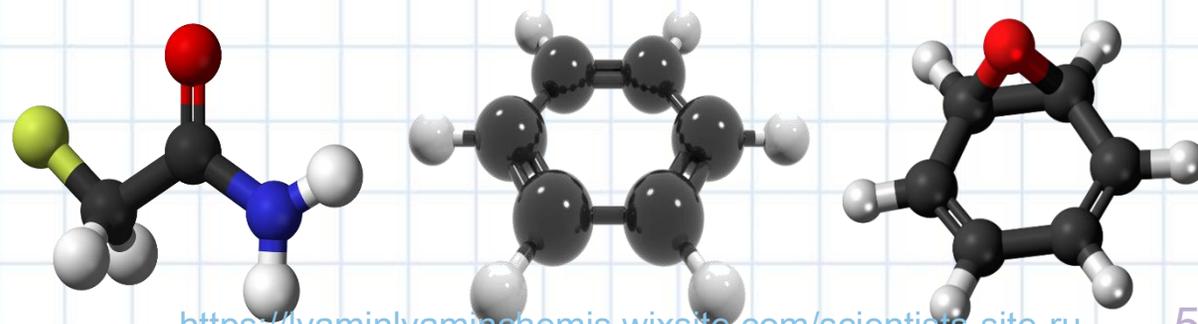
ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ КАК НАУКА

немецкий химик Карл Шорлеммер (1834-1892) определил органическую химию как «науку об углеводородах и их производных».

Мы живём в органическом мире и сами являемся его неотъемлемой частью; каждая клетка организма представляет собой сложный микроскопический реактор, в котором каждую секунду с органическими веществами происходят тысячи параллельных и последовательных ферментативных химических реакций при нормальной температуре и давлении со 100 % селективностью и количественными выходами.

*Химики-органики в содружестве с биохимиками и молекулярными биологами уже сумели выяснить механизмы многих из таких превращений и промоделировать их *in vitro*, полученные при этом результаты открывают исключительные перспективы создавать, подражая живой природе, искусственные катализаторы, не уступающие по активности и селективности ферментам, а в перспективе и превосходящие их.*

Сегодня известно более 150 000 000 природных и синтетических органических соединений, и только около 700 000 неорганических веществ;





СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ

с начала ХХ в. зародился современный этап развития органической химии

эволюционная химия, от латинского *evolutio* – развёртывание, — наука, исследующая технологии основанные на принципах биокатализа из опыта живой природы, в том числе и опыта формирования самого фермента, клетки и даже организма, т.е. наука пролагающая пути принципиально новой технологии, способной стать аналогом живых систем;

биоорганическая химия, от древнегреческого *βίος* – жизнь, *ὄργανον* – инструмент, — раздел химии, изучающий строение и свойства веществ, участвующих в процессах жизнедеятельности организма, в связи с познанием их физиологических функций;

биополимеры, от древнегреческого *βίος* – жизнь, *πολύ* – много; *μέρος* – часть — высокомолекулярные природные соединения, являющиеся структурной основой всех живых организмов и играющие важную роль в процессах жизнедеятельности;

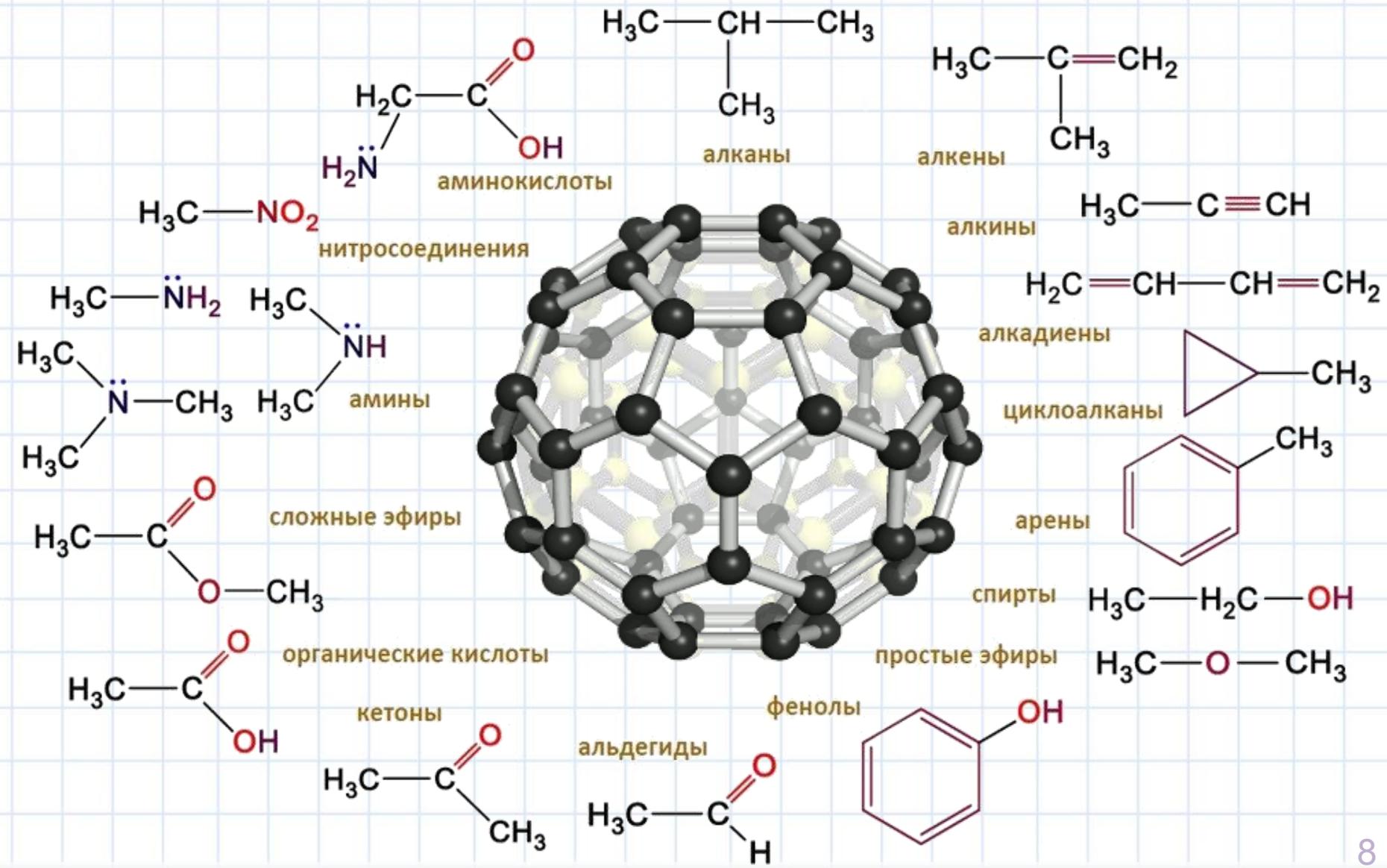
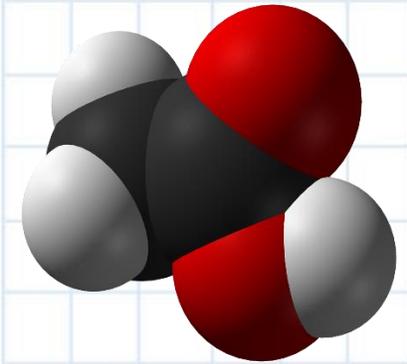
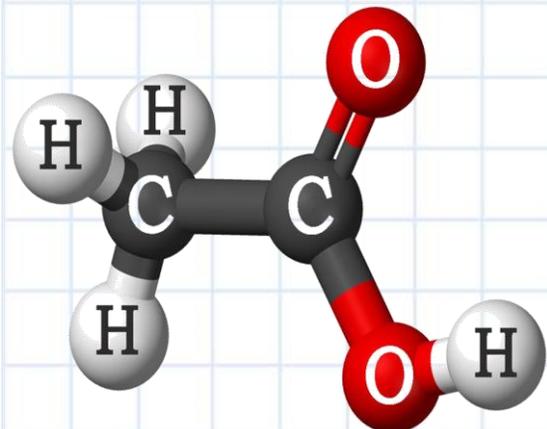
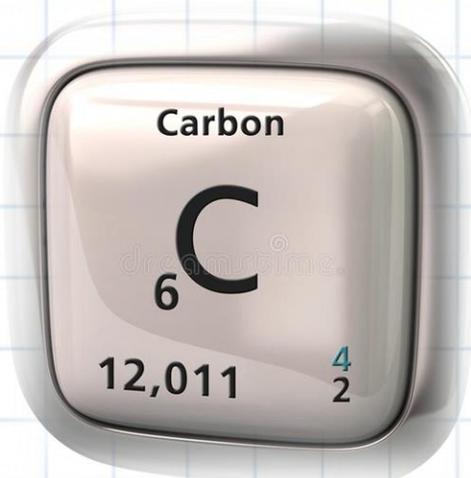


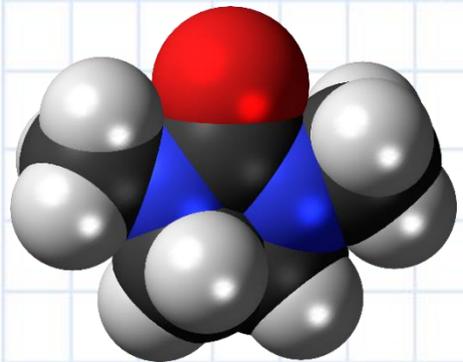
Химики — это те, кто на самом деле понимает мир.
Лайнус Полинг

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ



ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ





ФОРМУЛЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

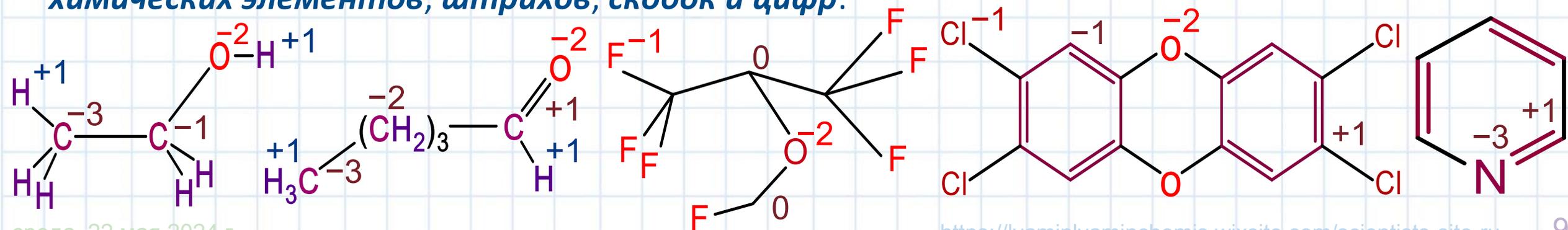
химическая формула — изображение состава вещества с помощью символов химических элементов, цифр, скобок, штрихов;

эмпирическая формула — запись, отображающая соотношение количеств элементов в составе вещества, с помощью их символов и цифр: H_{10}C_4 ; H_{16}C_7 ; $\text{H}_6\text{C}_2\text{O}$...;

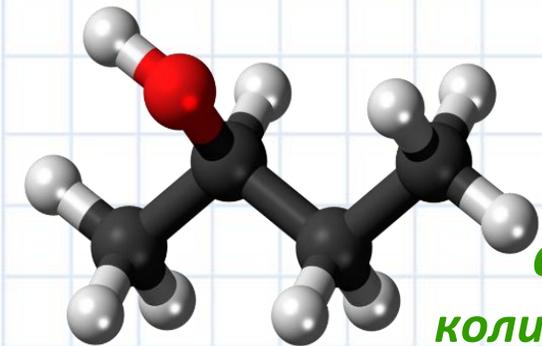
линейная формула — условная запись, отображающая количественные соотношения элементов и порядок соединения их ядер в частице вещества, с помощью символов химических элементов, скобок и цифр; скобки используют для обозначения групп и раскрывать их нельзя:



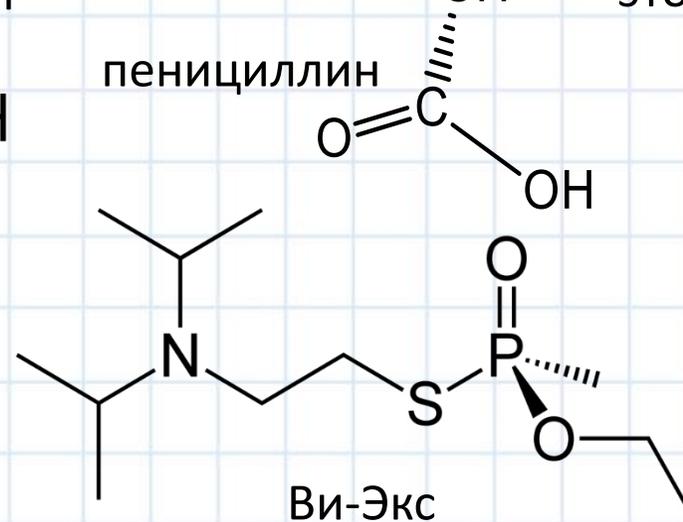
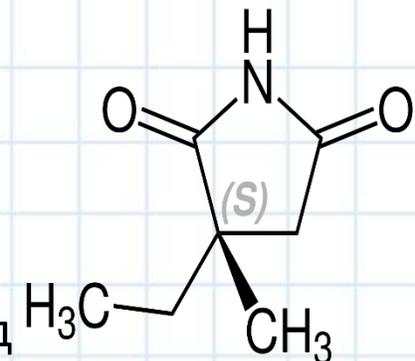
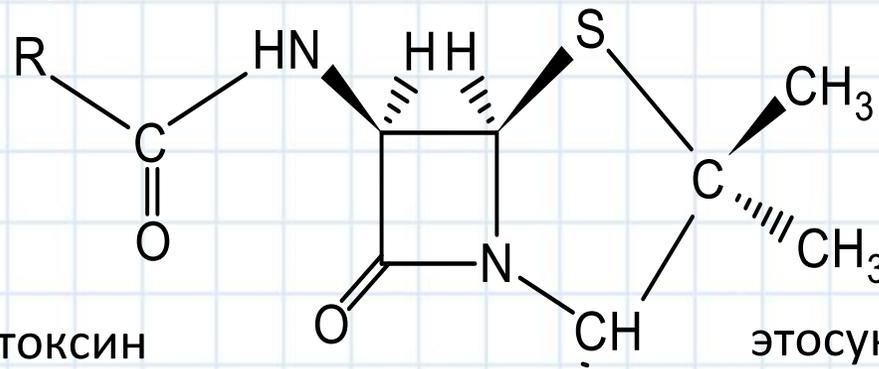
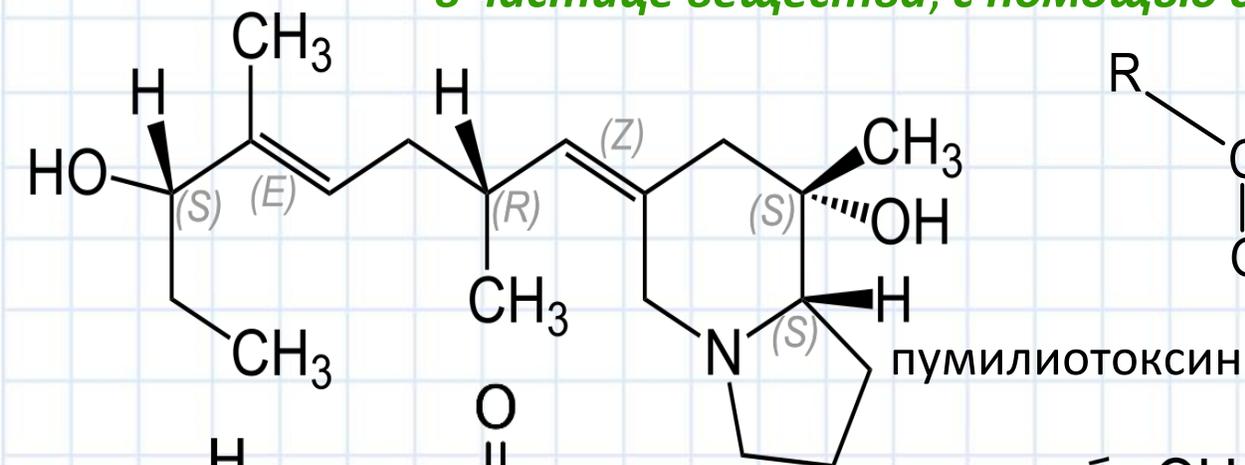
графическая формула — условная запись, отображающая количественные соотношения элементов и порядок соединения их ядер в частице вещества, с помощью символов химических элементов, штрихов, скобок и цифр:

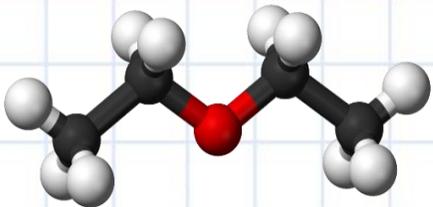


СТРУКТУРНЫЕ ФОРМУЛЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ



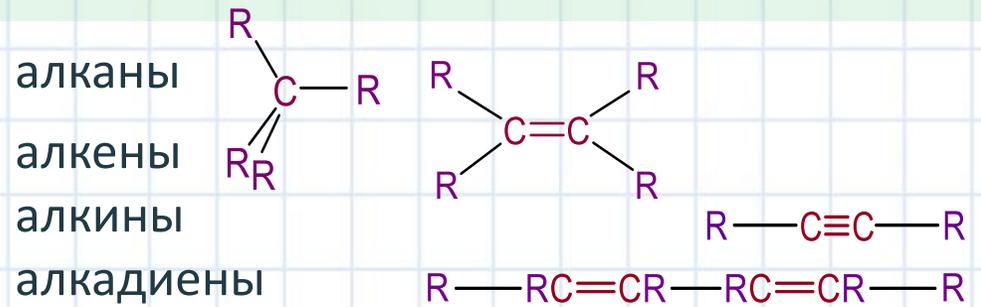
структурная формула, 3D-формула — условная запись, отображающая количественные соотношения элементов и пространственное расположение их ядер в частице вещества, с помощью символов химических элементов, штрихов и цифр:





УГЛЕВОДОРОДЫ И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ

алифатические, ациклические

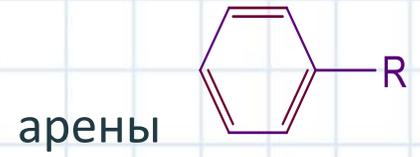


карбоциклические

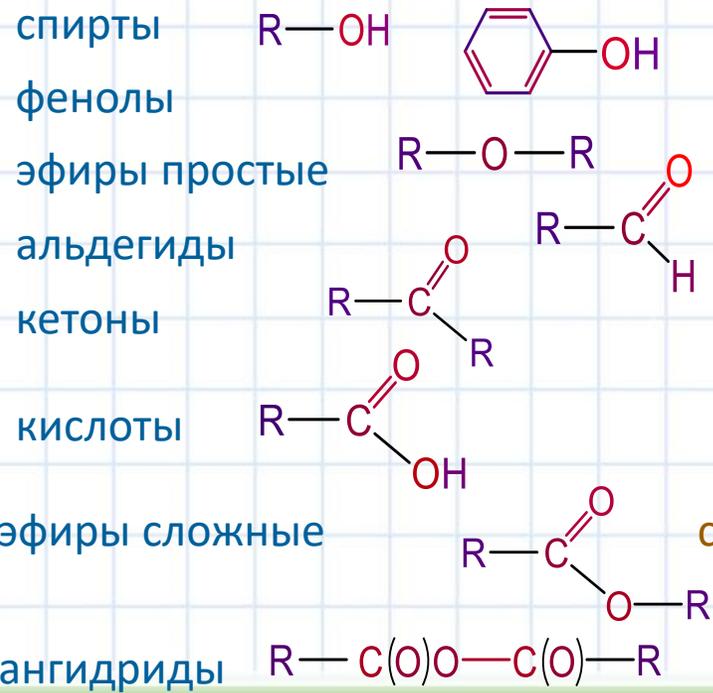
алициклические



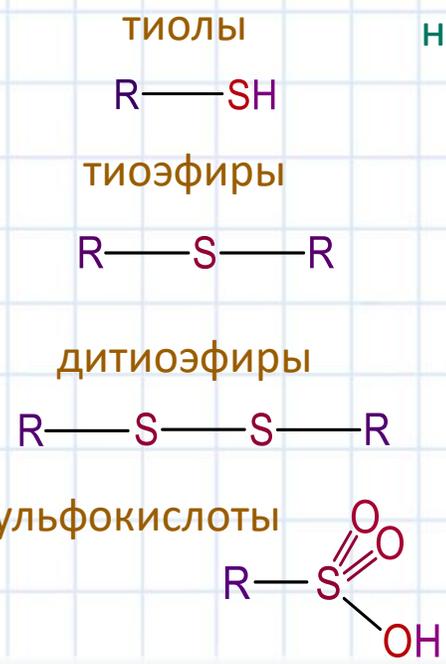
ароматические



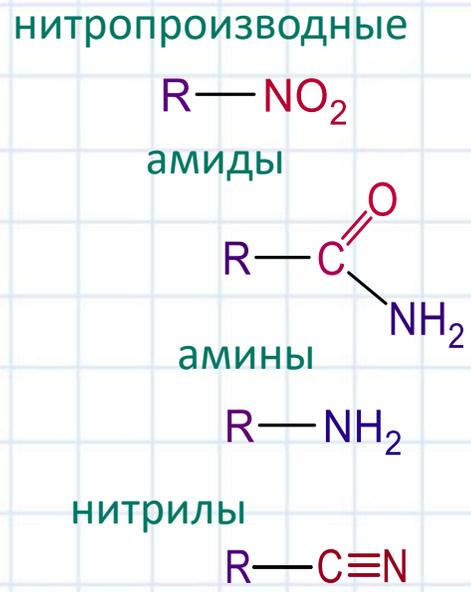
кислородсодержащие



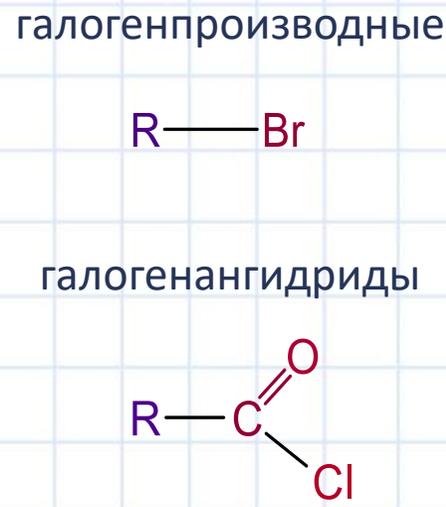
серусодержащие



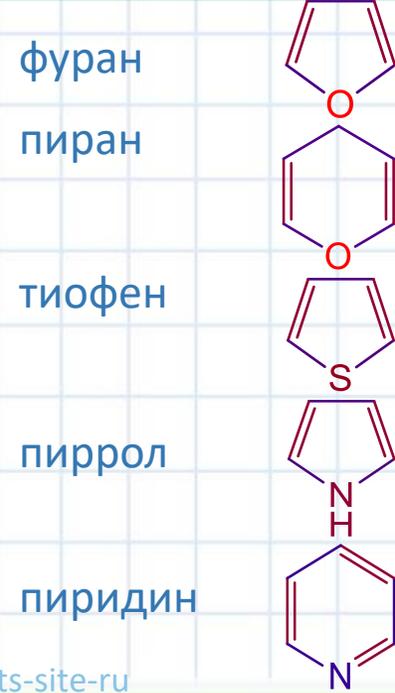
азотсодержащие

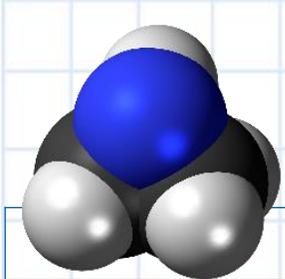


галогенсодержащие



гетероциклы





ОБЩИЕ ФОРМУЛЫ КЛАССОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

УГЛЕВОДОРОДЫ

алифатические (ациклические)

алканы C_nH_{2n+2}

алкены C_nH_{2n}

алкадиены C_nH_{2n-2}

алкины C_nH_{2n-2}

карбоциклические

алициклические

циклоалканы C_nH_{2n}

циклоалкены C_nH_{2n-2}

ароматические

арены C_nH_{2n-6}

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

кислородсодержащие

спирты $C_nH_{2n+2}O_z$

фенолы $C_nH_{2n-6}O_z$

эфирь простые $C_nH_{2n+2}O$

альдегиды $C_nH_{2n}O$

кетонь $C_nH_{2n}O$

кислоть $C_nH_{2n}O_2$

эфирь сложнь $C_nH_{2n}O_2$

ангидридь $C_nH_{2n-2}O_3$

углеводь $C_n(H_2O)_m$

серусодержащие

тиоль $C_nH_{2n+2}S$

тиоэфирь $C_nH_{2n+2}S$

тиоэфирь сложнь
 $C_nH_{2n}OS$

сульфокислоть

$C_nH_{2n+2}SO_3$

азотсодержащие

нитро $C_nH_{2n+1}NO_2$

амидь $C_nH_{2n+1}ON$

аминь $C_nH_{2n+3}N$

анилин C_6H_5+2N

нитриль $C_nH_{2n-1}N$

галогенсодержащие

галогенпроизводнь

$C_nH_{2n+1}Hal$

галогенангидридь

$C_nH_{2n-1}OHal$

гетероцикль

фуран C_4H_4O

пиран C_5H_6O

тиофен C_4H_4S

пирроль C_4H_5N

пиридин C_5H_5N



НОМЕНКЛАТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

ПРЕФИКСЫ

РОДОНАЧАЛЬНАЯ СТРУКТУРА

СУФФИКС

КОРЕНЬ

СУФФИКС

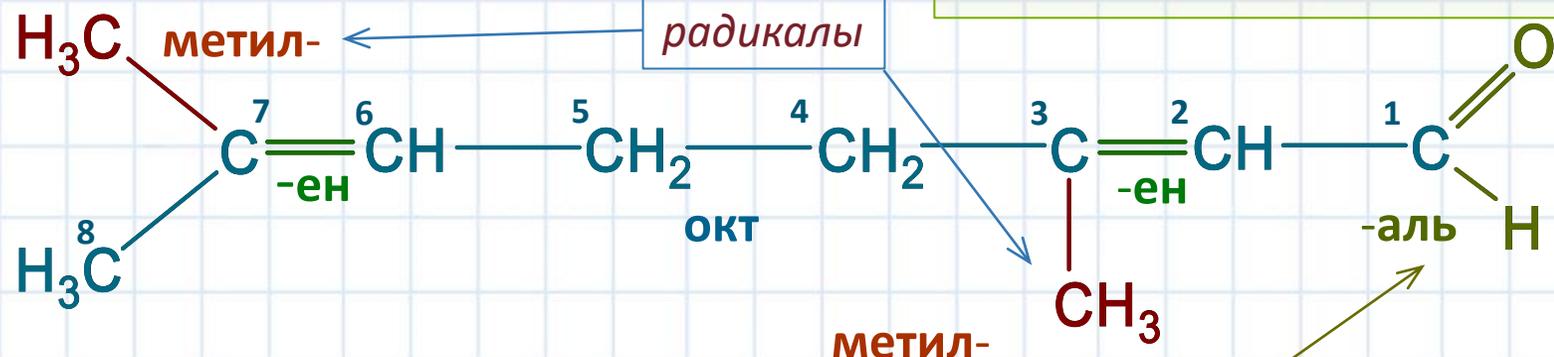
все заместители в алфавитном порядке с локантами и числительными

главная цепь, циклическая или гетероциклическая структура

степень насыщенности с числительными и локантами: -ан, -ен, -ин

старшая функциональная группа с числительными и локантами

3,7-диметилокта-2,6-диеналь;



цитраль — ароматизатор, запах лимона; антисептик



НОМЕНКЛАТУРНЫЙ АЛГОРИТМ

1. Определить родоначальную структуру — главную цепь соединения:

- наличие старшей характеристической группы;
- наличие циклической структуры;
- наибольшее число кратных связей;
- наибольшее число атомов углерода и ответвлений.

2. Определить характеристические группы.

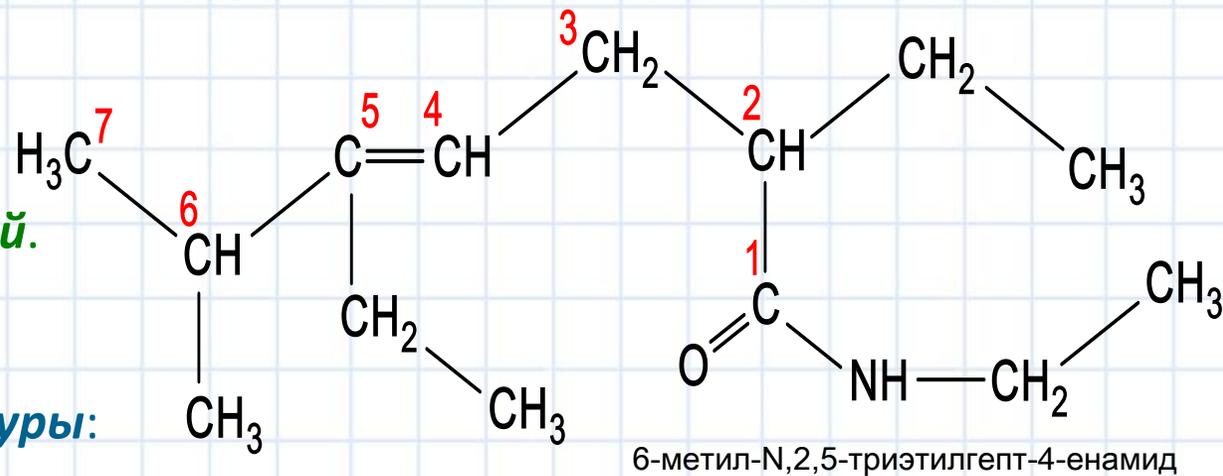
3. Определить нумерацию родоначальной структуры:

- углеродный атом старшей характеристической группы — первый номер;
- углеродный атом кратной связи — минимальный номер;
- заместители имеют минимальные номера.

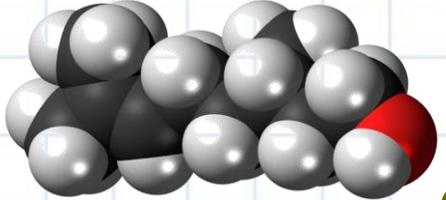
4. Определить степень насыщенности главной цепи и суффикс — ан, ен, ин; с соответствующей числительной приставкой: ди, три, тетра... и локантами перед ним.

5. Определить суффикс старшей характеристической группы при необходимости с соответствующей числительной приставкой: ди, три, тетра...

6. Определить префиксы заместителей в алфавитном порядке с соответствующими числительными приставками: ди, три, тетра... и локантами перед ними.



НАЗВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ



4-гидрокси-3-метоксибензальдегид;

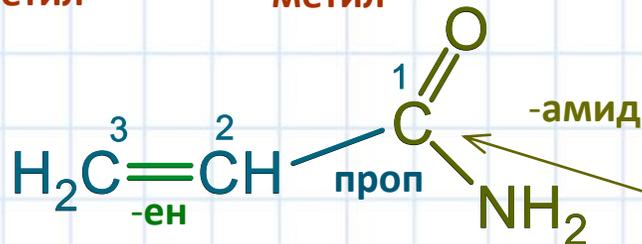
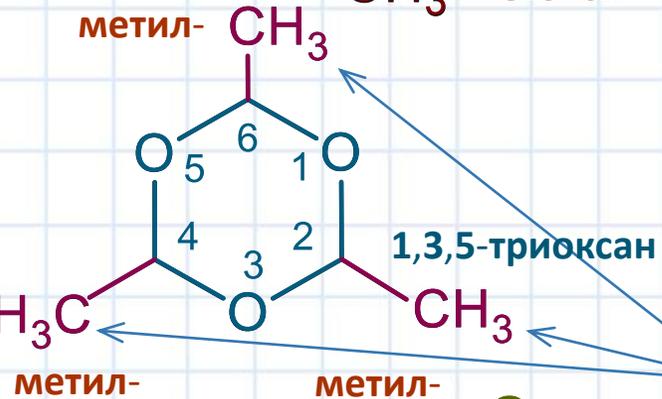
ванилин, применяется как ароматизатор в пищевой, парфюмерной и фармацевтической промышленности

характеристические группы, радикалы

2,4,6-триметил-1,3,5-триоксан;

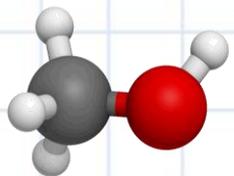
паральдегид, бесцветная прозрачная жидкость со своеобразным запахом, растворимая в воде; используется для лечения эпилептического статуса

характеристические группы, радикалы



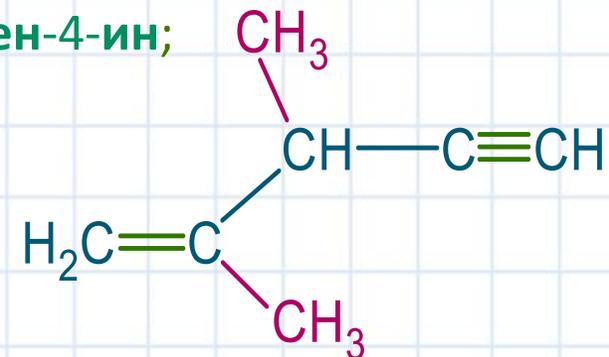
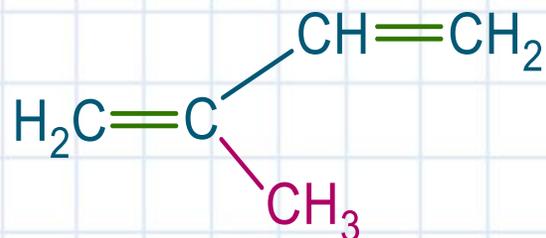
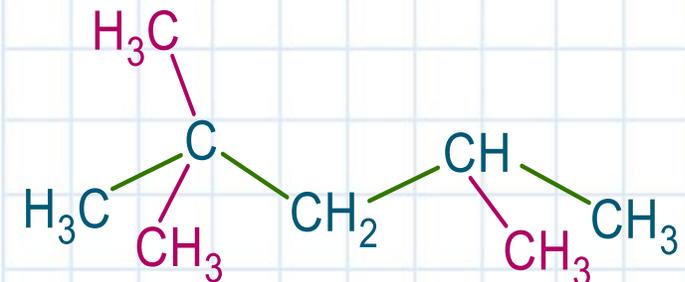
проп-2-енамид; акриламид — образуется при жарке, запекании, на гриле или во фритюре при температуре выше 120° С

функциональная группа

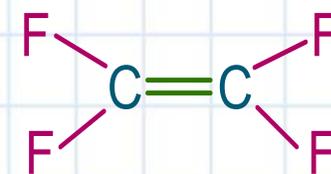
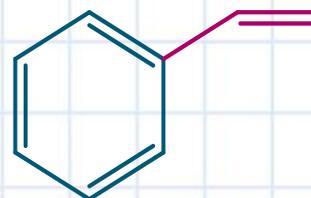
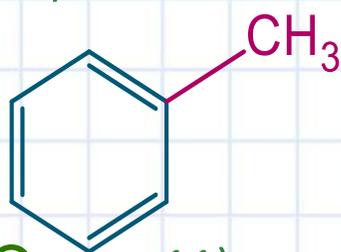
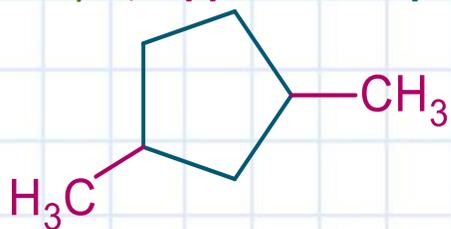


СИСТЕМНЫЕ НАЗВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

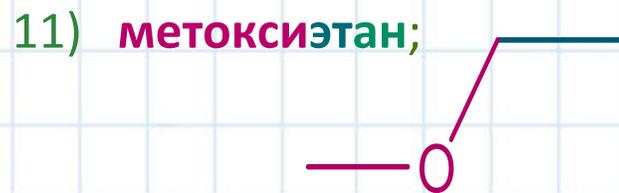
- 1) 2,2,4-триметилпентан; 2) 2-метилбута-1,3-диен; 3) 2,3-диметилпент-1-ен-4-ин;



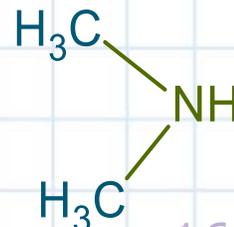
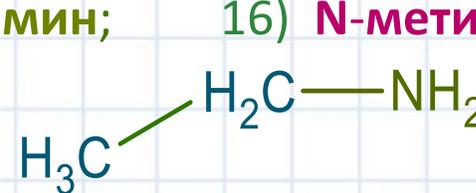
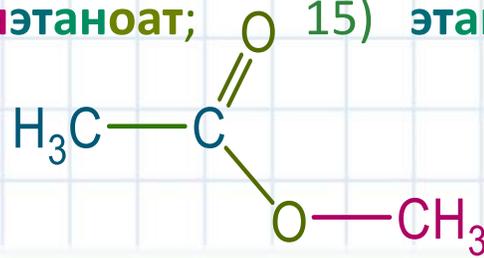
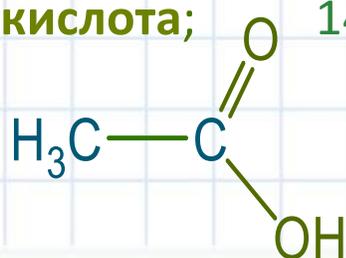
- 4) 1,3-диметилциклопентан; 5) метилбензол; 6) этилбензол; 7) хлорэтен; 8) тетрафторэтен;

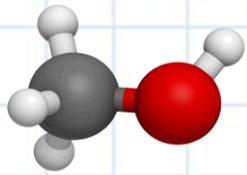


- 9) этанол; 10) пропанон; 11) метоксиэтан; 12) этан-1,2-диол;

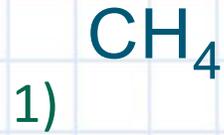


- 13) этановая кислота; 14) метилэтанойт; 15) этанамин; 16) N-метилметанамин

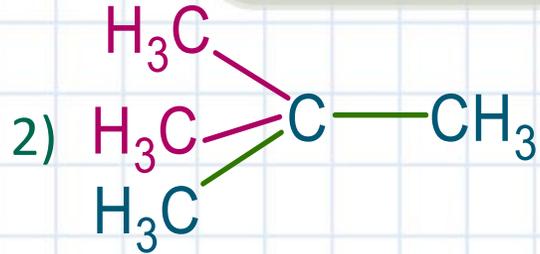




СОСТАВЛЕНИЕ НАЗВАНИЙ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ



метан;



диметилпропан;
неопентан;



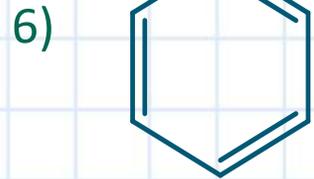
этен; этилен;



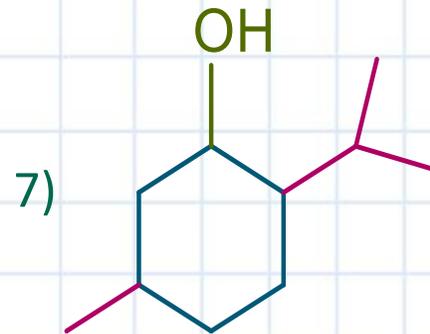
бута-1,3-диен; дивинил;



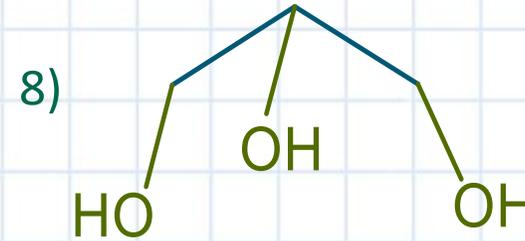
этин;
ацетилен;



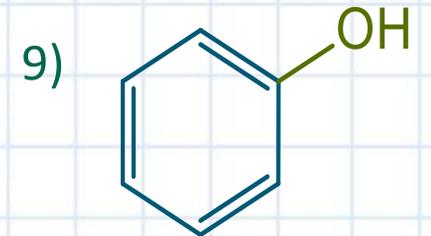
циклогекса-1,3,5-триен;
бензол;



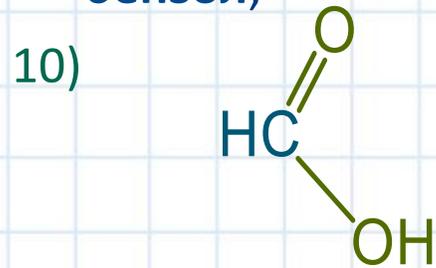
2-изопропил-5-метилциклогексанол;
ментол;



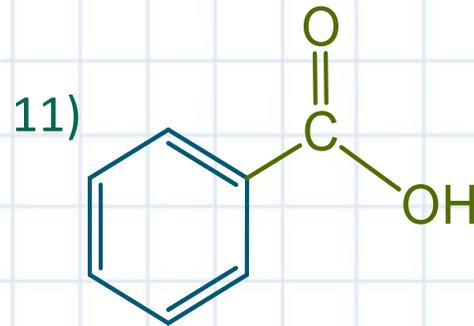
пропан-1,2,3-триол;
глицерин;



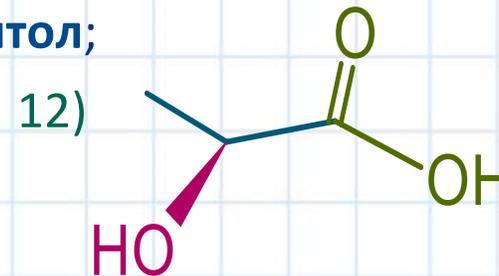
фенол;
гидроксibenзол;



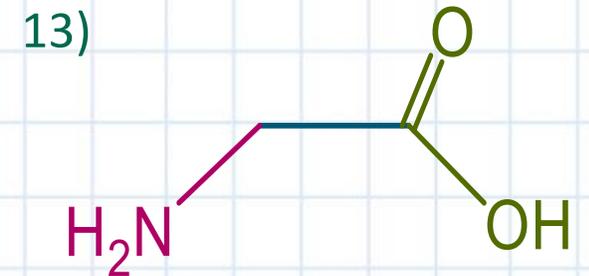
метановая кислота;
муравьиная кислота;



бензолкарбоновая кислота;
бензойная кислота;



2-гидроксипропановая кислота;
молочная кислота;

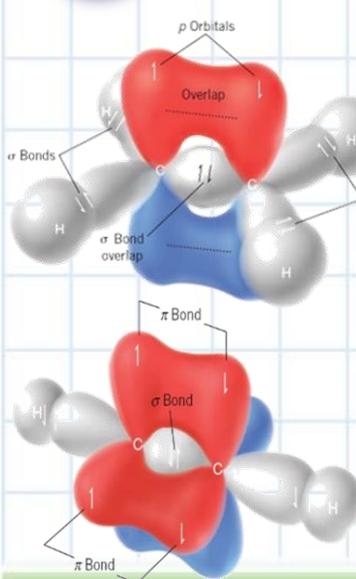
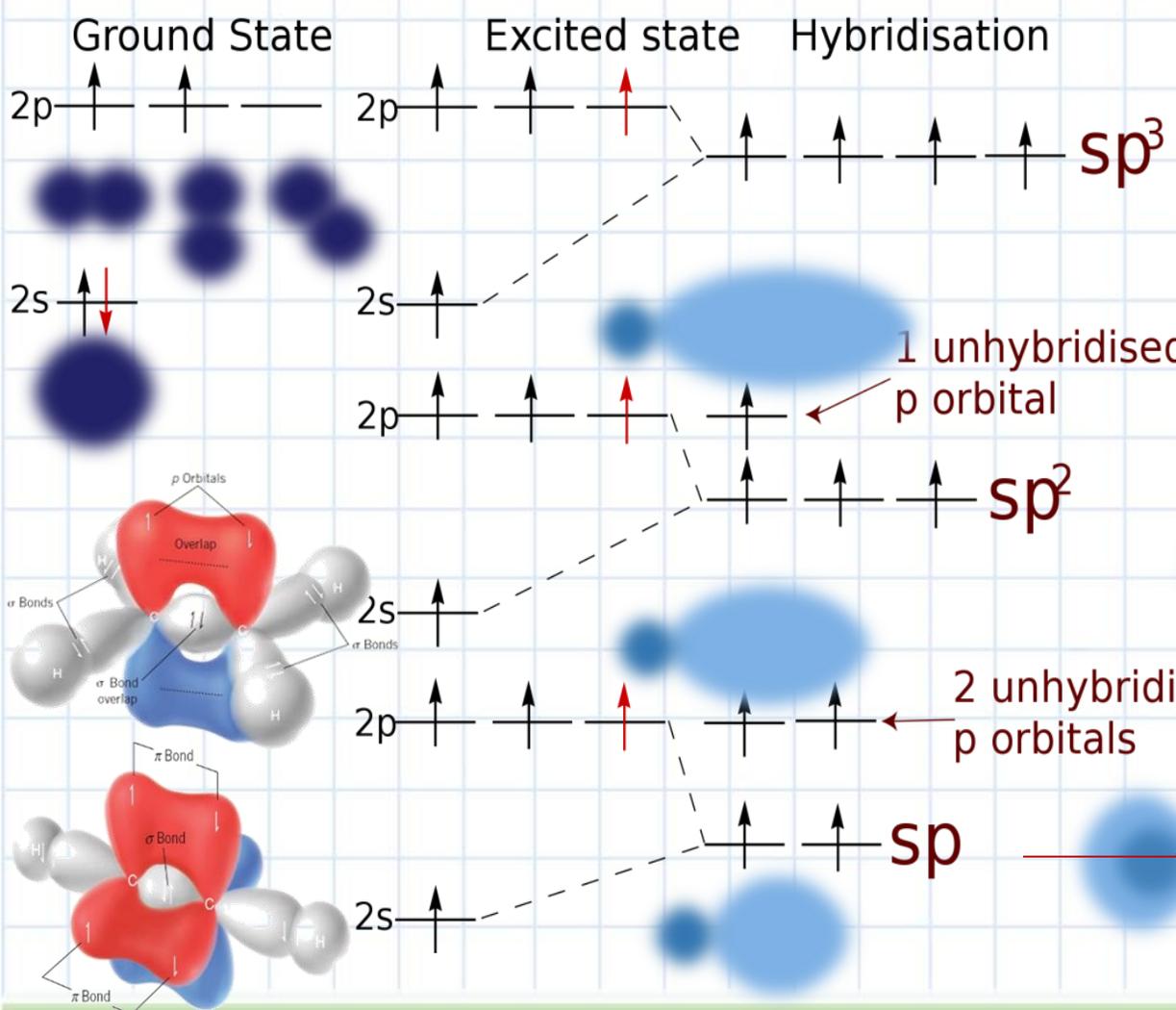


аминоэтановая кислота;
глицин;

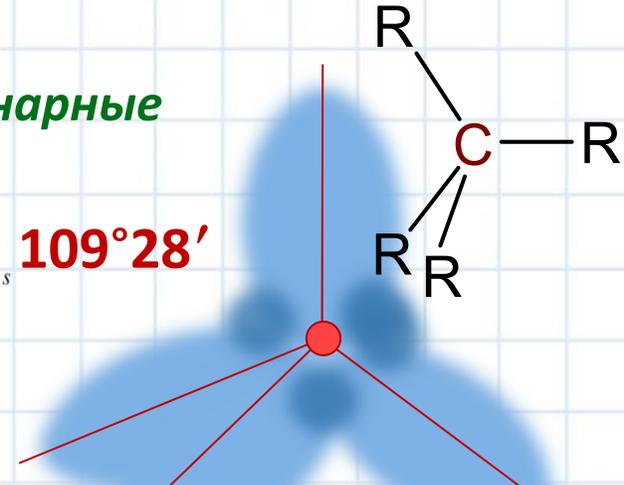
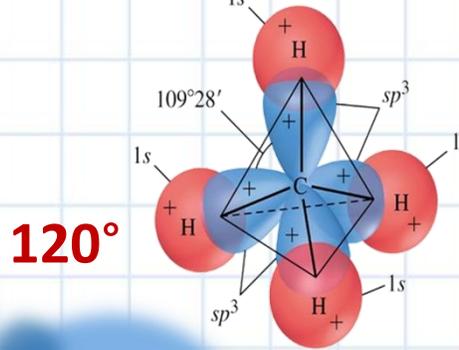
6 12.011
C
 1s²2s²2p²
 Carbon

СТРОЕНИЕ АТОМА УГЛЕРОДА

у атомных орбиталей углерода возможны три гибридных состояния sp^3 , sp^2 и sp :

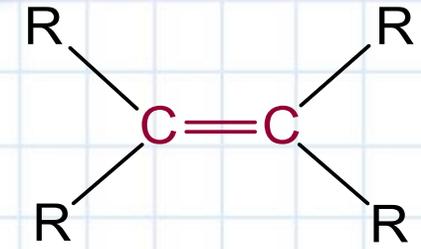
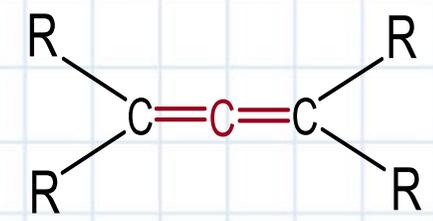


все связи — σ , одинарные



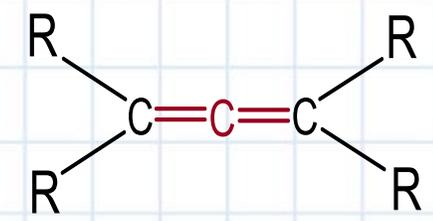
120°

три связи — σ ,
 одна связь — π , двойная

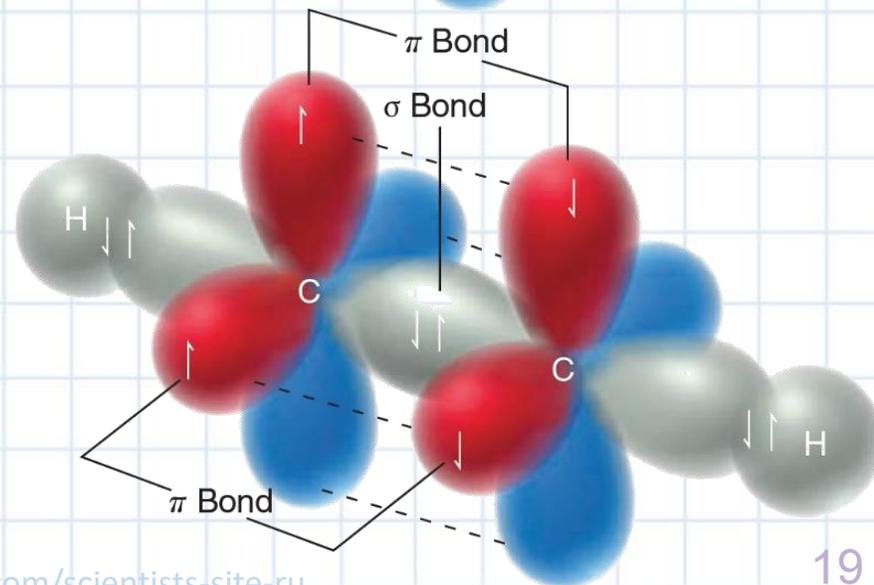
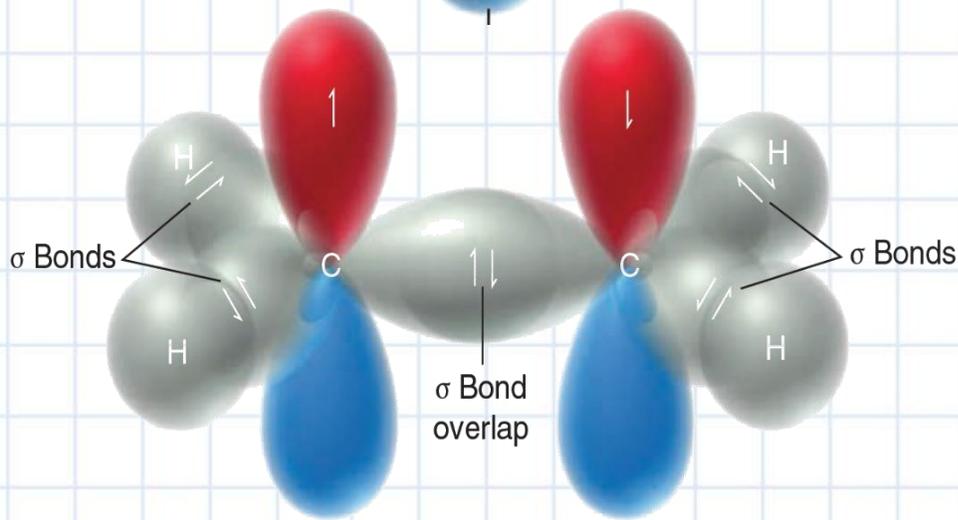
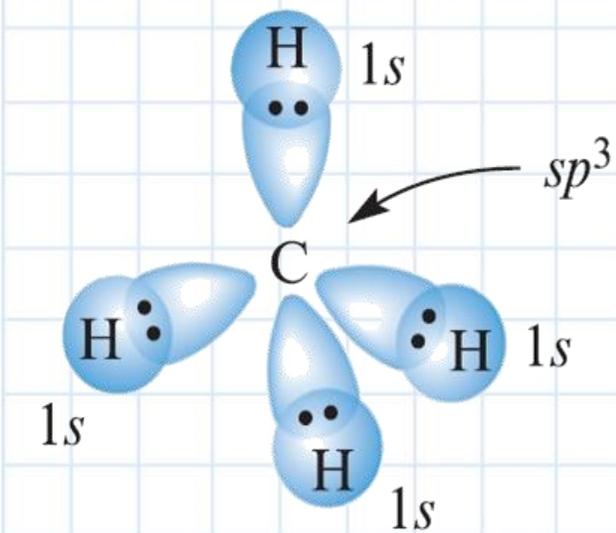
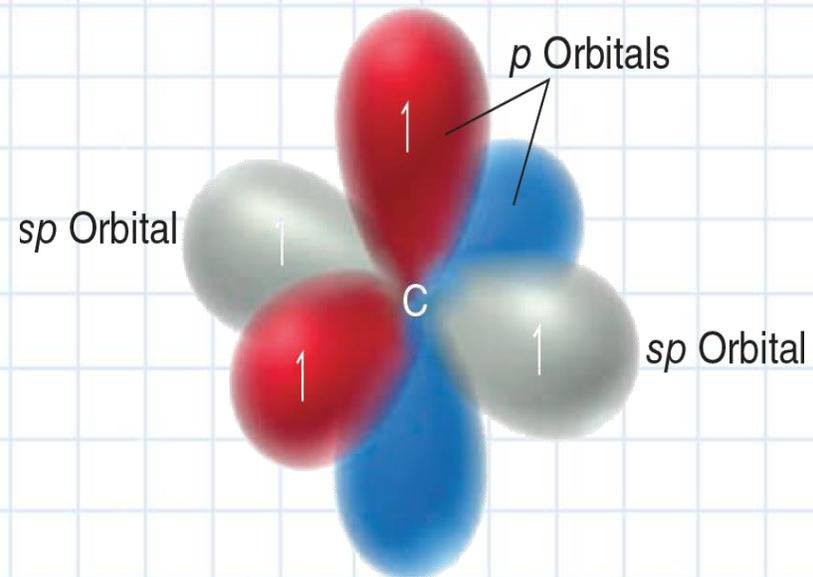
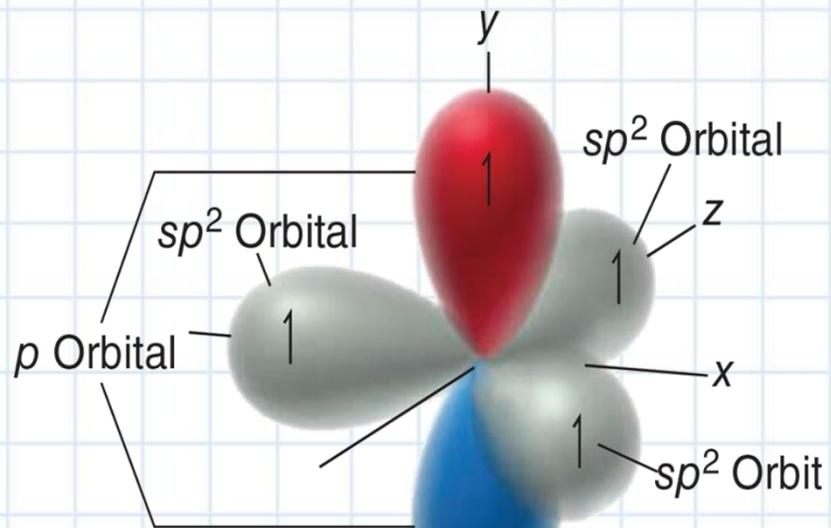
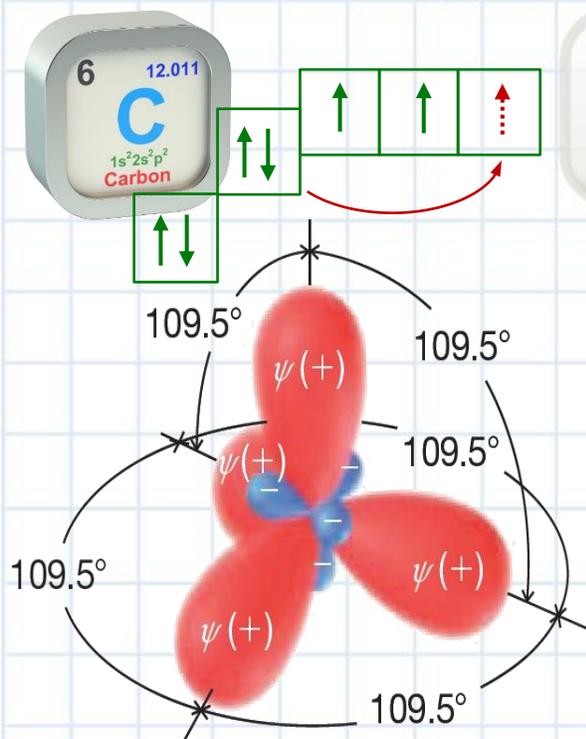


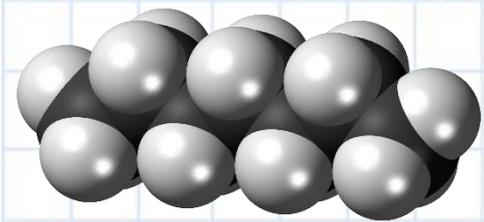
180°

одна связь — σ , две связи — π ,
 тройная или две двойных у одного углерода



ГИБРИДНЫЕ СОСТОЯНИЯ УГЛЕРОДА





УГЛЕРОДНЫЕ σ -СВЯЗИ

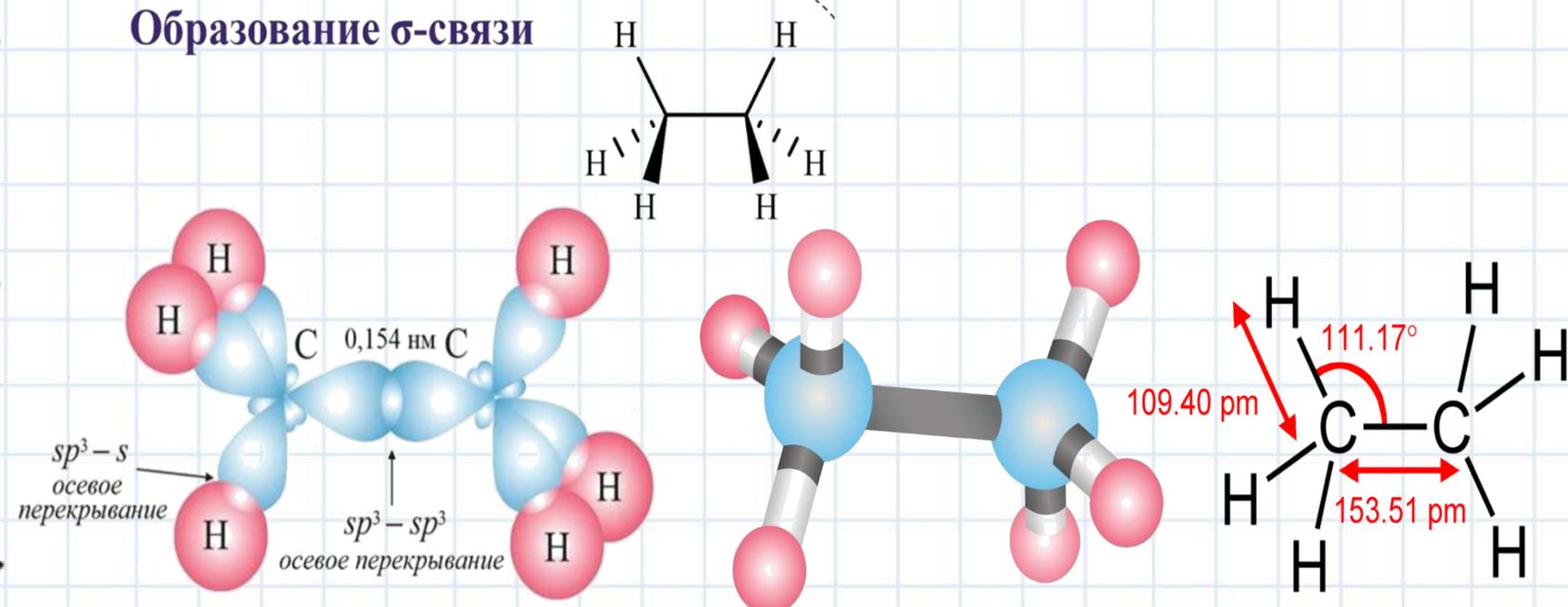
Длина связи

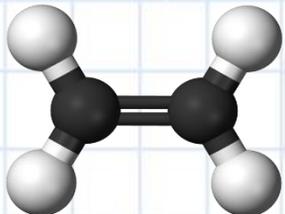
σ СВЯЗЬ

l H-H	S-S	
l 1,54Å C-C	SP ³ -SP ³	
l 1,09Å C-H	SP ³ -S	
l 1,34Å C=C	SP ² -SP ²	
C-H	SP ² -S	
l 1,2Å C≡C	SP-SP	
C-H	SP-S	
C-C	P _x -P _x	

σ -связь — одинарная ковалентная связь, образованная при максимальном перекрывании атомных орбиталей по оси, соединяющей два ядра:

Образование σ -связи



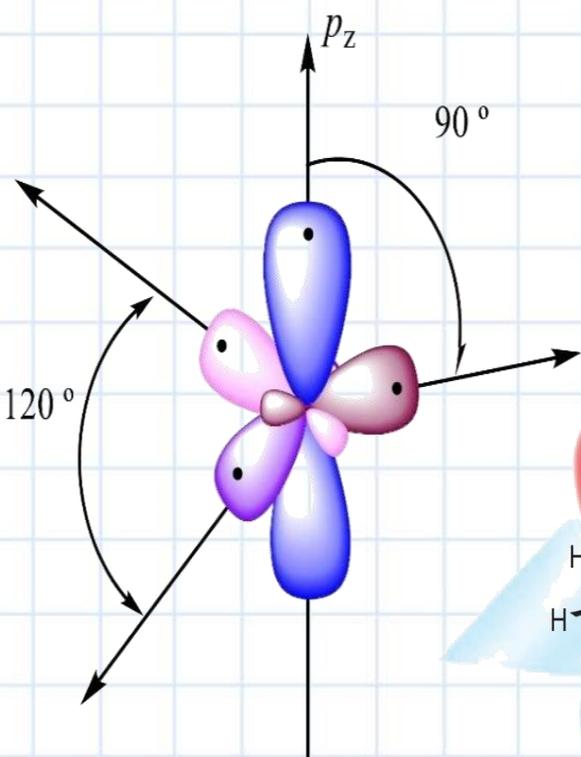


УГЛЕРОДНЫЕ π -СВЯЗИ

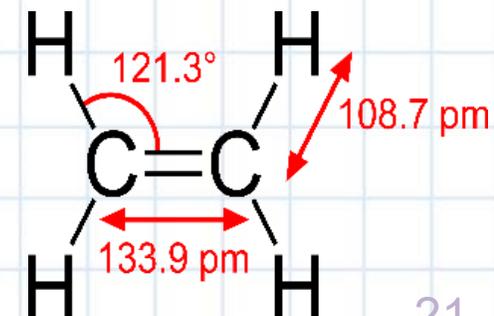
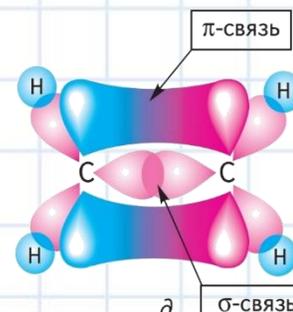
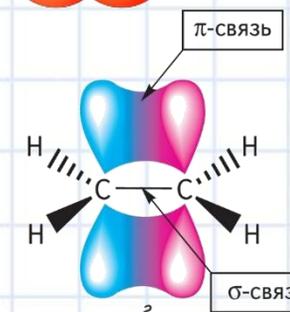
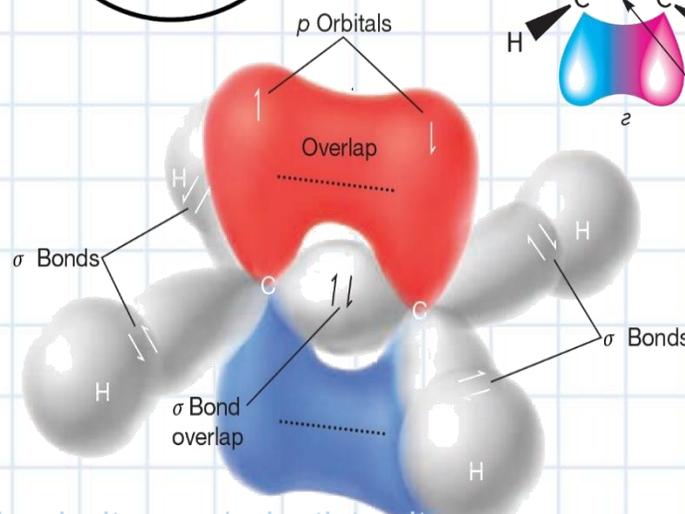
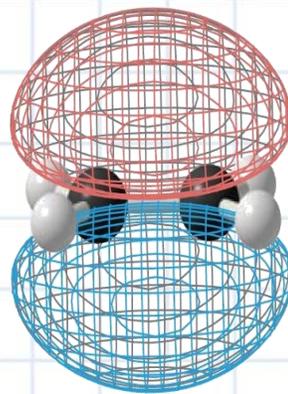
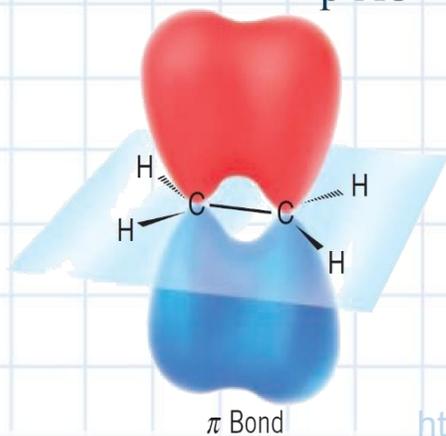
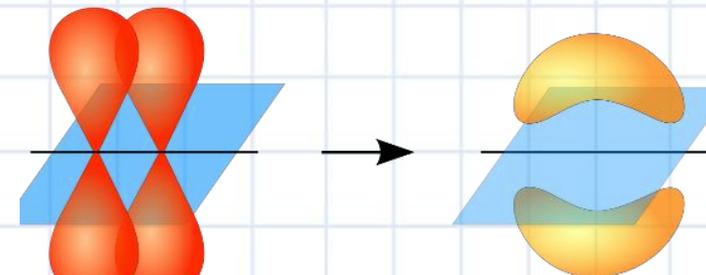
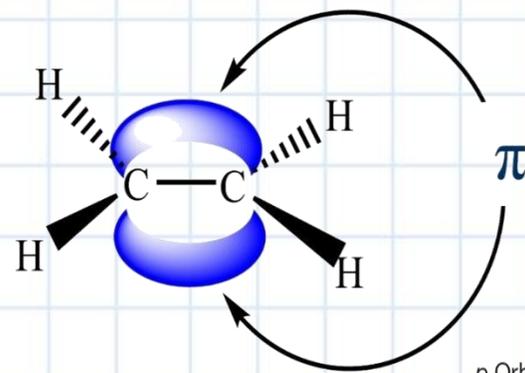
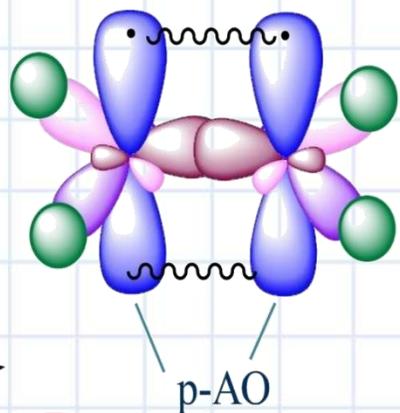
π -связь — связь, образованная при боковом перекрывании p -атомных орбиталей с максимальным перекрыванием над и под плоскостью σ -связей:

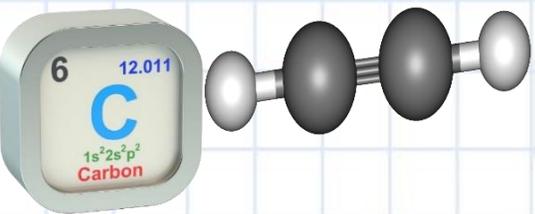
Образование π -связи

sp^2 -Гибридизация

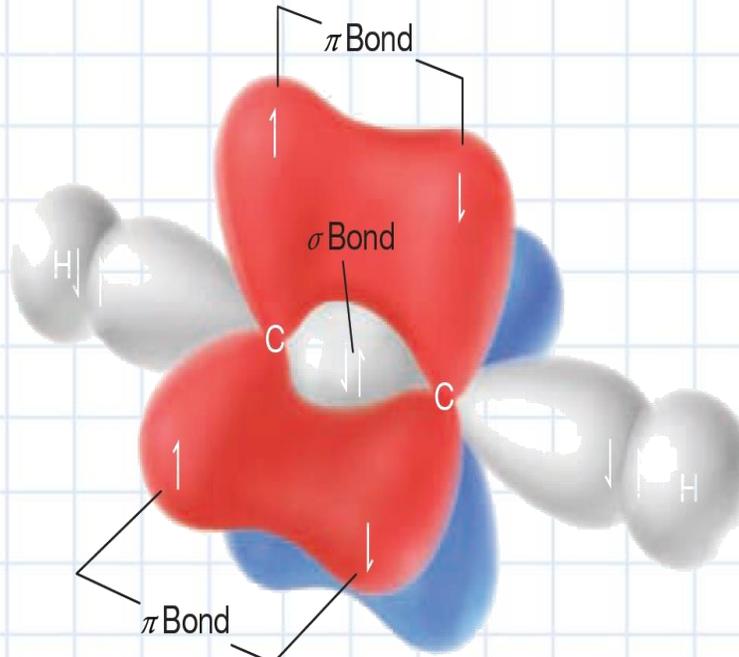
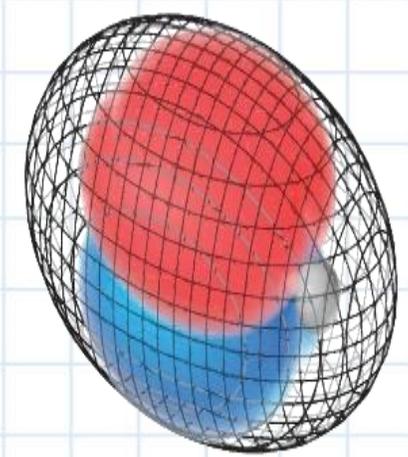
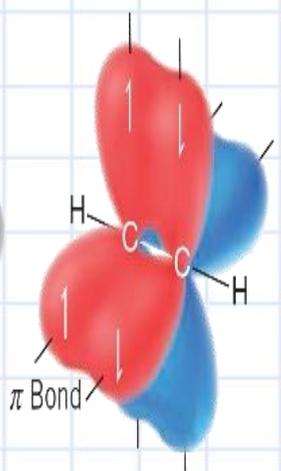
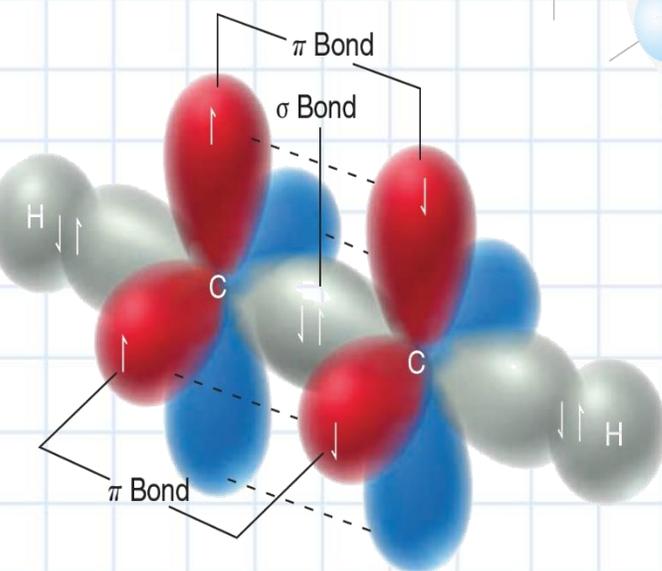
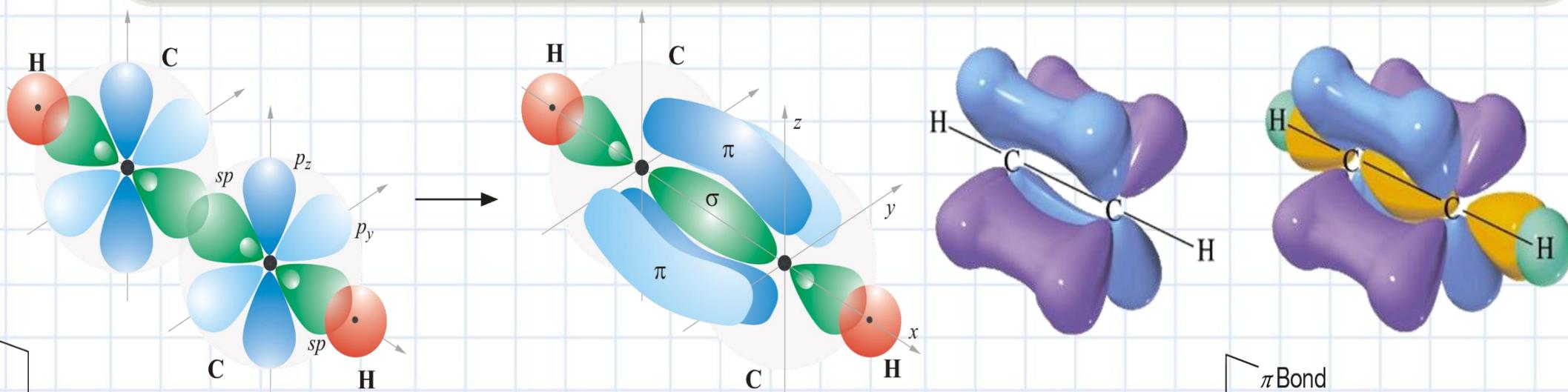
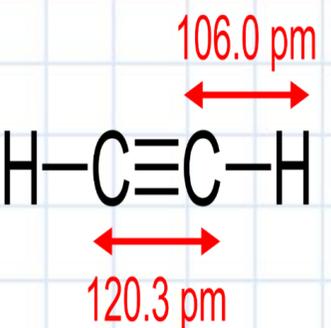


боковое перекрывание

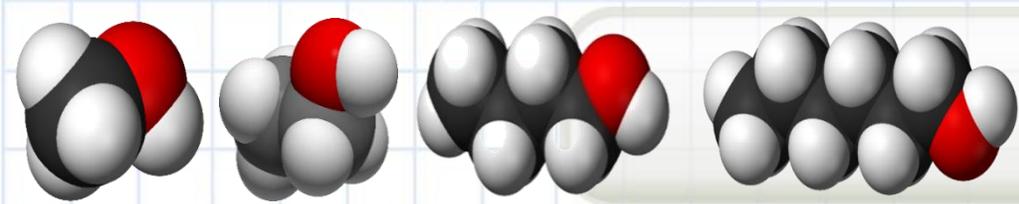




ОБРАЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЫ ЭТИНА



ГОМОЛОГИ

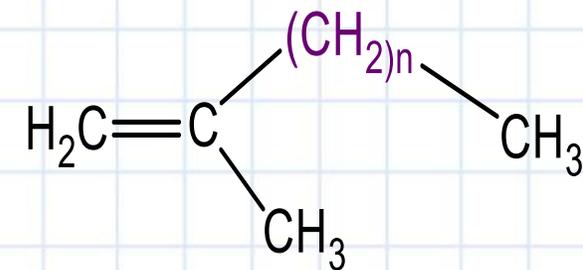
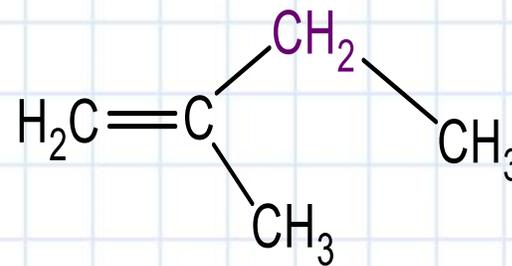
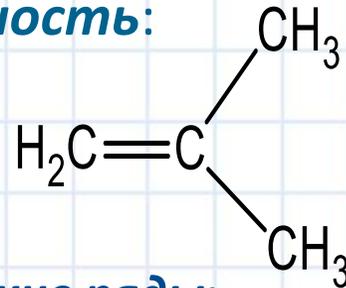


от греческого ὁμολογία – соответствие

гомóлоги, от древнегреческого ὅμοιος – подобный и λόγος – слово, закон — вещества, имеющие различный количественный состав, но сходное строение;

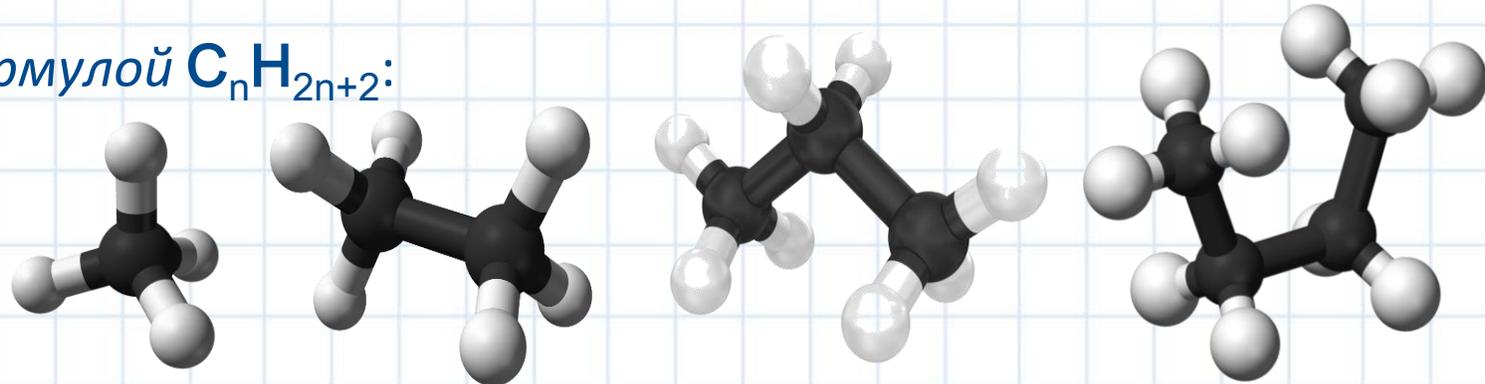
гомологический ряд — химические соединения одного структурного типа, отличающихся друг от друга по составу на определённое число повторяющихся структурных единиц ($-\text{CH}_2$)_n в углеродной цепи — гомологическую разность:

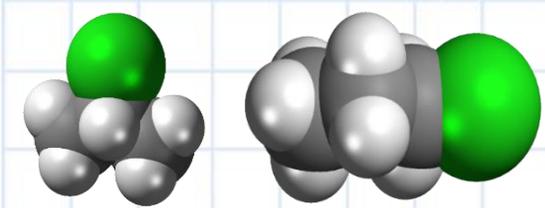
✓ гомологи принадлежат одному классу соединений, но определённый класс содержит разные гомологические ряды;



неразветвлённые алканы с общей формулой $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$:

Метан	CH_4	CH_4
Этан	CH_3-CH_3	C_2H_6
Октан		C_8H_{18}

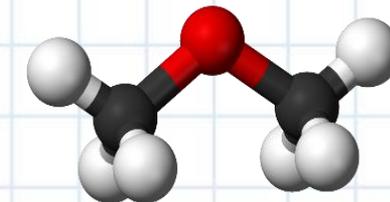
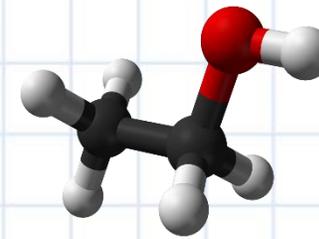
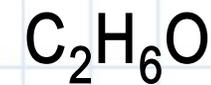
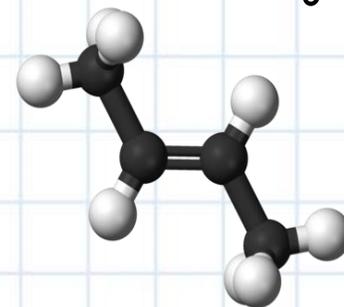
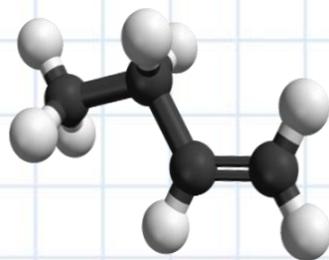
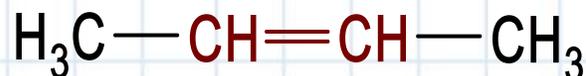
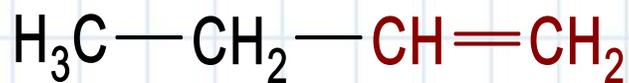
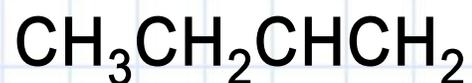
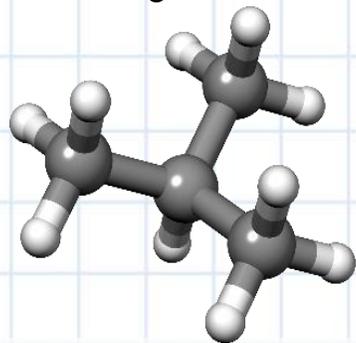
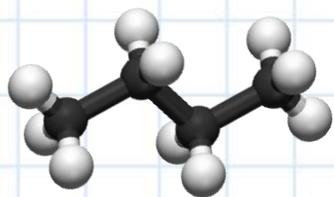


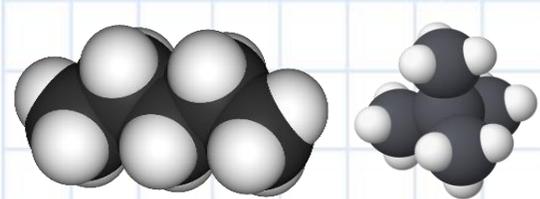


СТРУКТУРНЫЕ ИЗОМЕРЫ

изомеры, от древнегреческого ἴσος – равный и μέρος – доля, часть — **вещества, имеющие одинаковый качественный и количественный состав, но различное строение;**

структурные изомеры имеют одинаковую эмпирическую формулу, но разные линейные, графические и структурные формулы; структурные изомеры могут принадлежать одному или разным классам:



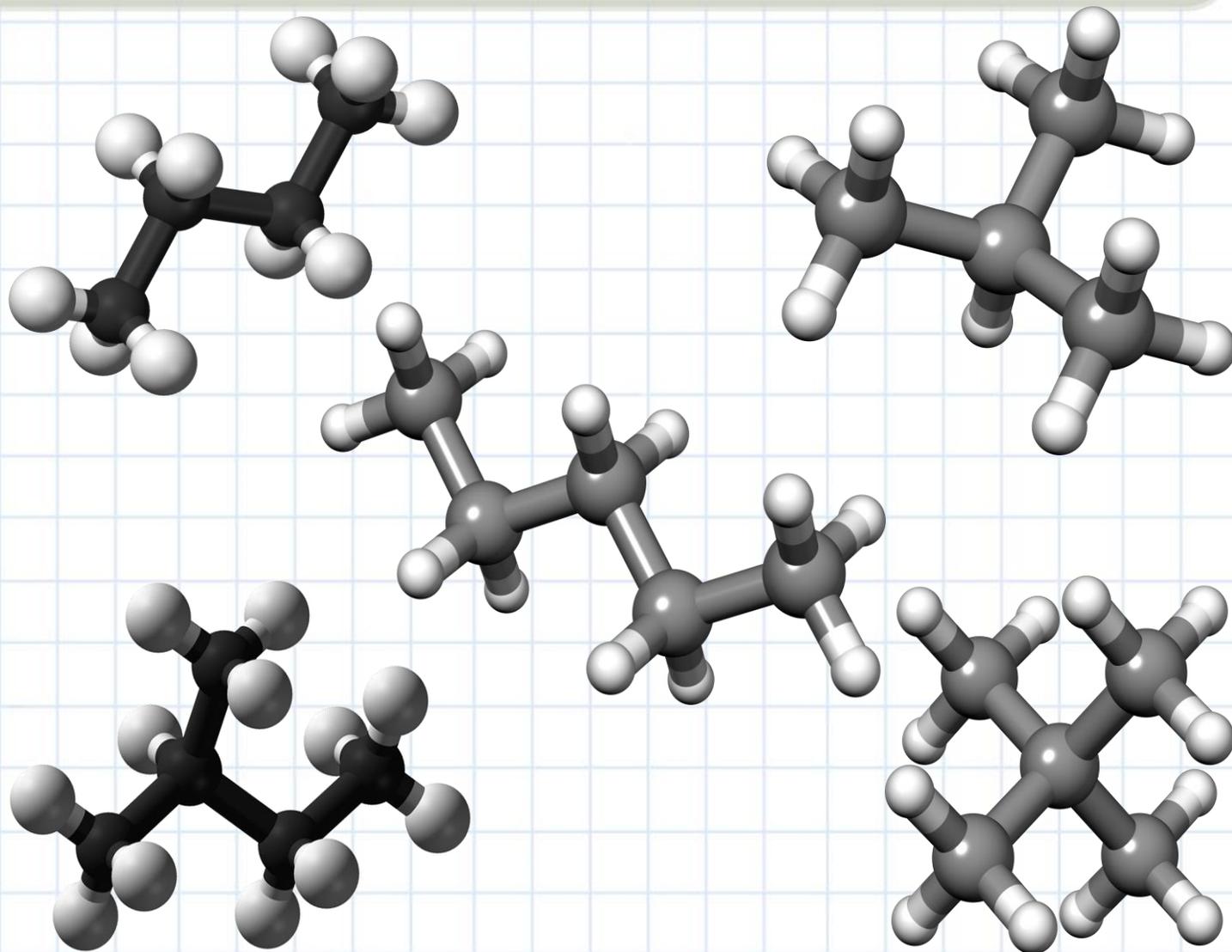


ИЗОМЕРЫ РЯДА АЛКАНОВ

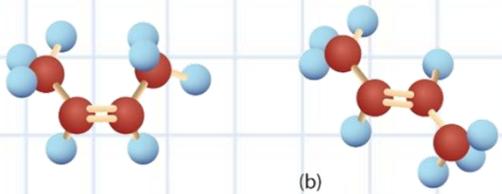
MOLECULAR FORMULA

NUMBER OF CONSTITUTIONAL ISOMERS

C_3H_8	1
C_4H_{10}	2
C_5H_{12}	3
C_6H_{14}	5
C_7H_{16}	9
C_8H_{18}	18
C_9H_{20}	35
$C_{10}H_{22}$	75
$C_{15}H_{32}$	4,347
$C_{20}H_{42}$	366,319
$C_{30}H_{62}$	4,111,846,763
$C_{40}H_{82}$	62,481,801,147,341

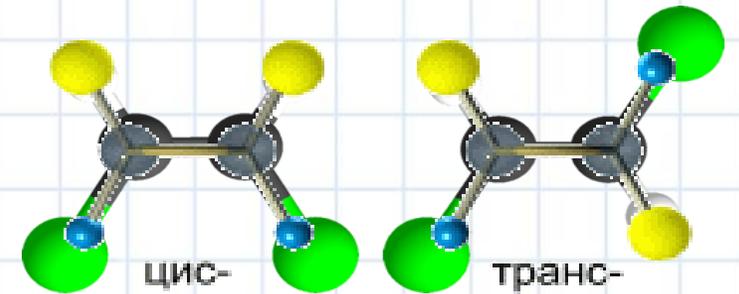
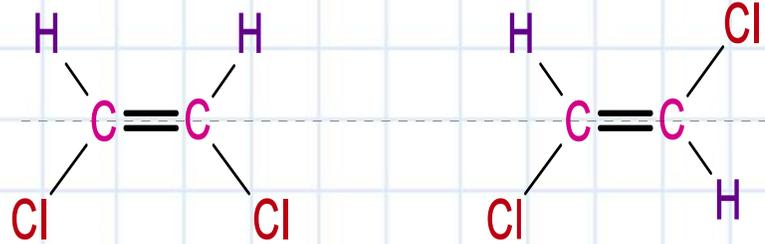


СТЕРЕОИЗОМЕРЫ



вещества, имеющие одинаковый качественный и количественный состав, но различное пространственное строение: геометрические и оптические изомеры;

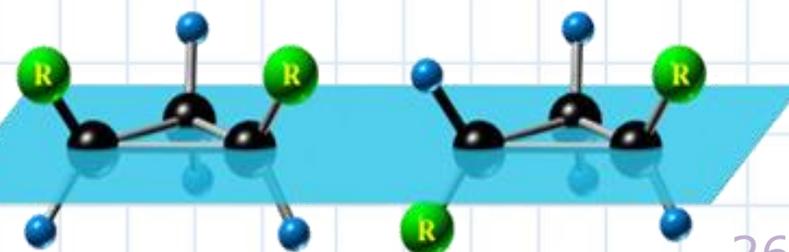
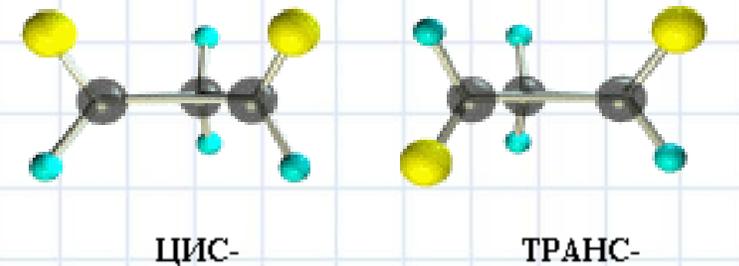
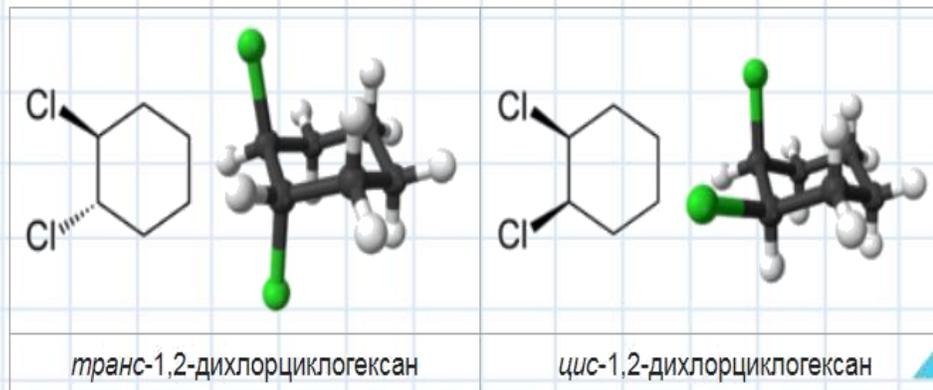
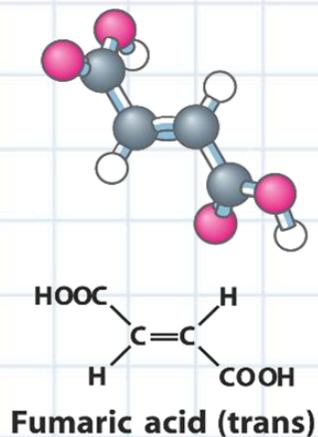
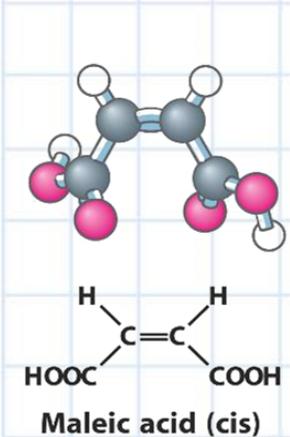
стереоизомеры имеют одинаковую эмпирическую и линейную, но разные графические и структурные формулы $H_2C_2Cl_2$:

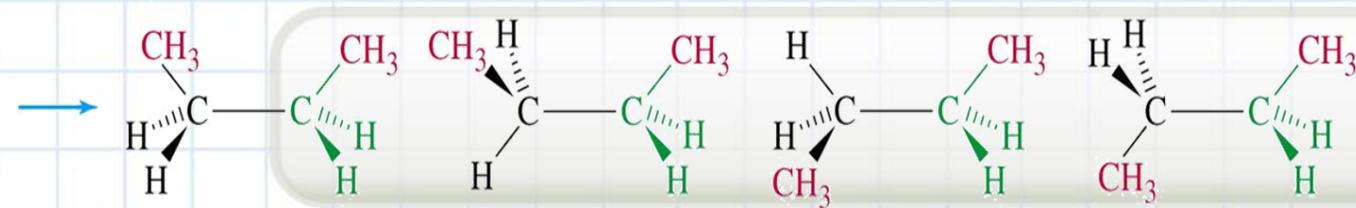
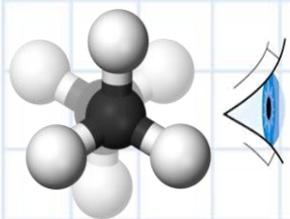


производные циклоалканов:

Z-zusammen, вместе; ЦИС-ИЗОМЕР

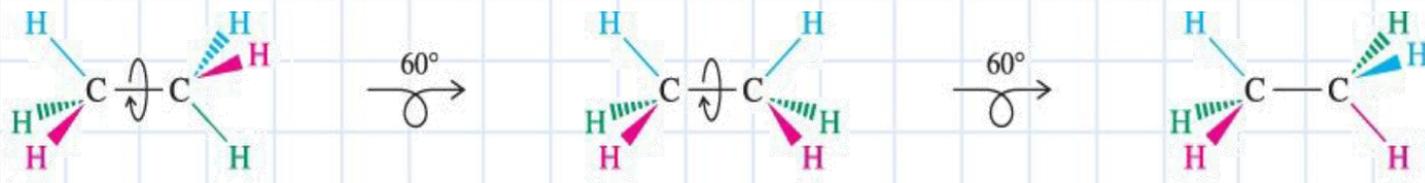
E-entgegen, напротив; ТРАНС-ИЗОМЕР



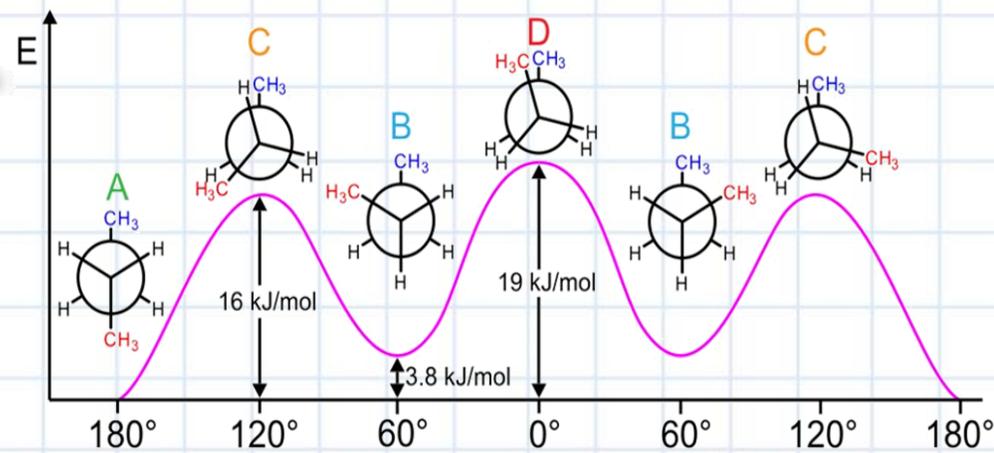
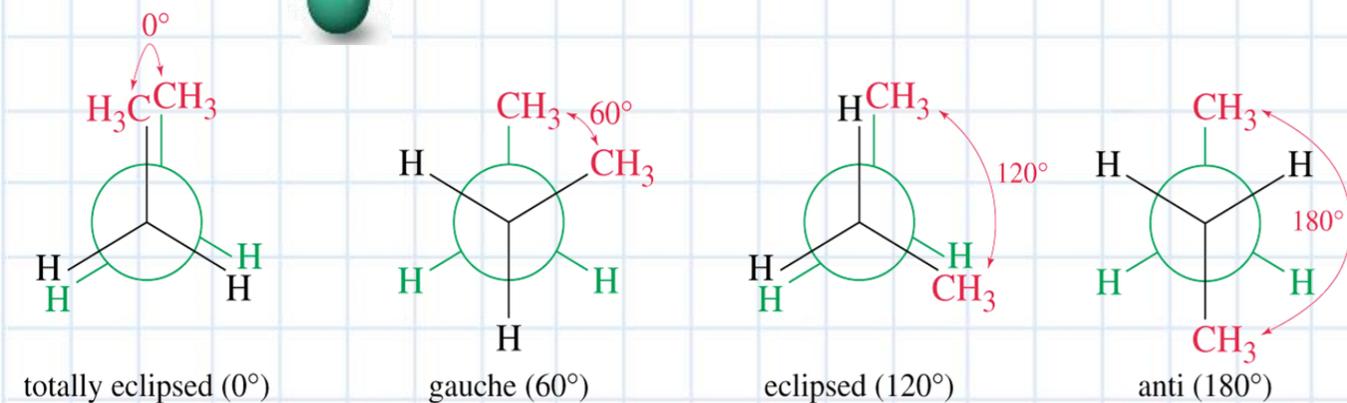
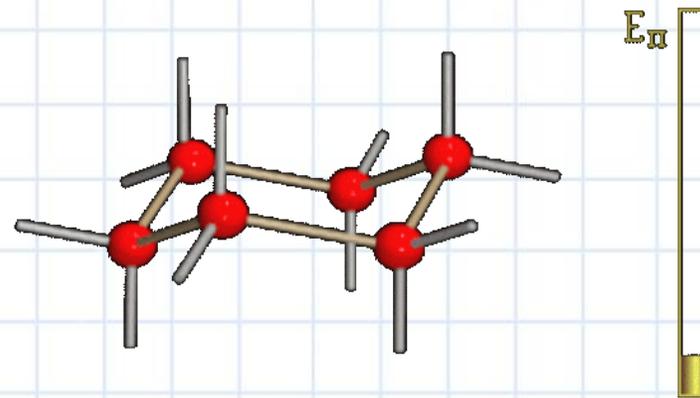
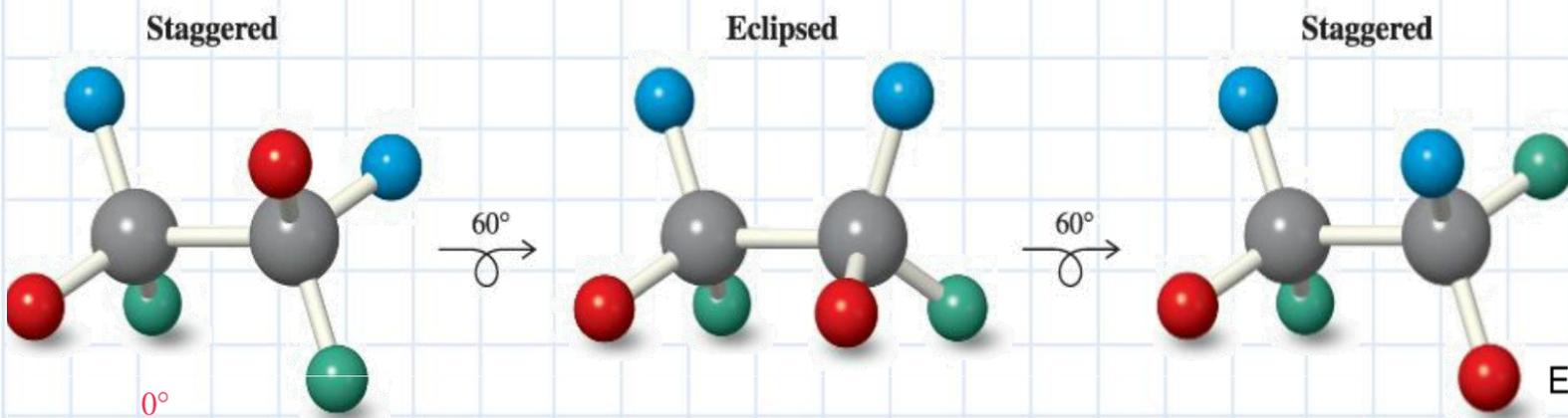


КОНФОРМЕРЫ

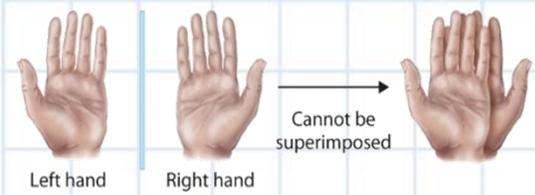
стереоизомеры, находящиеся в динамическом равновесии посредством вращения вокруг σ -связей:



Конформации циклогексана

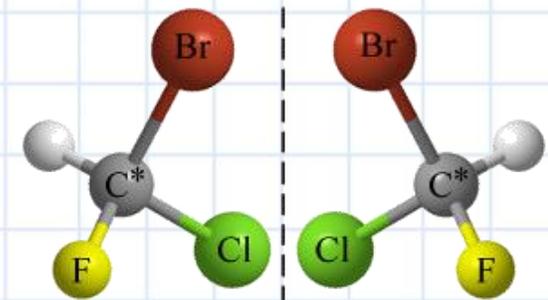
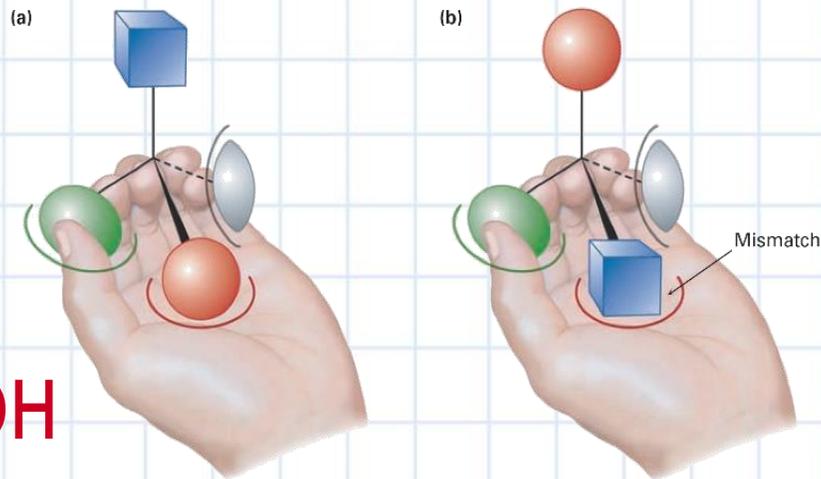
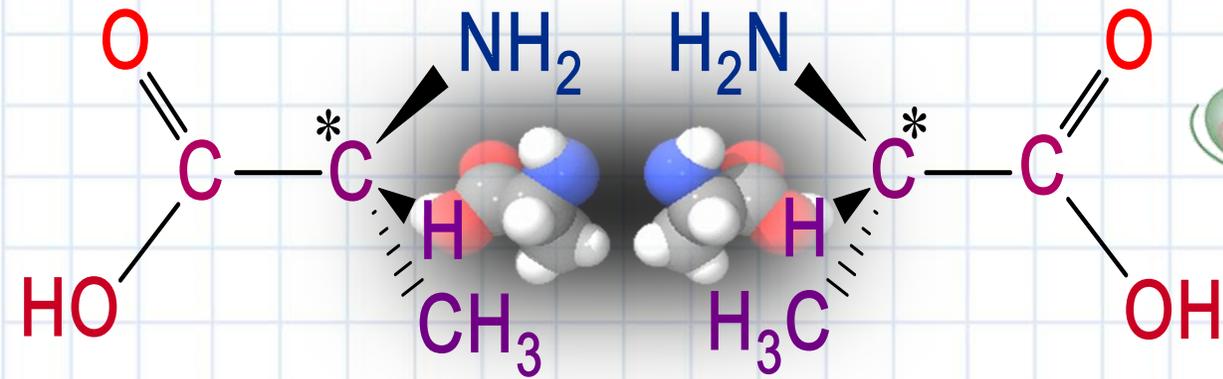


ОПТИЧЕСКИЕ ИЗОМЕРЫ

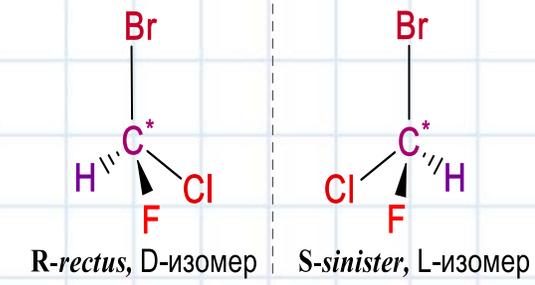
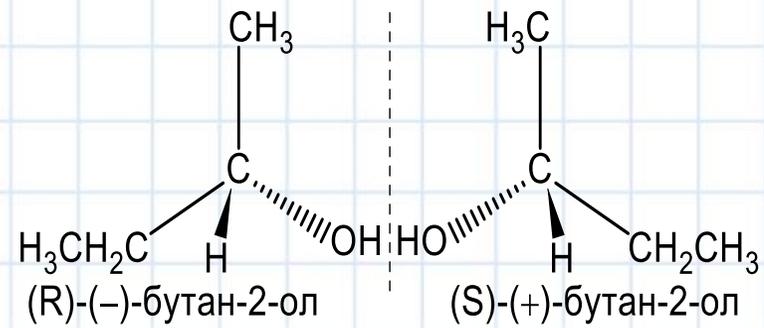
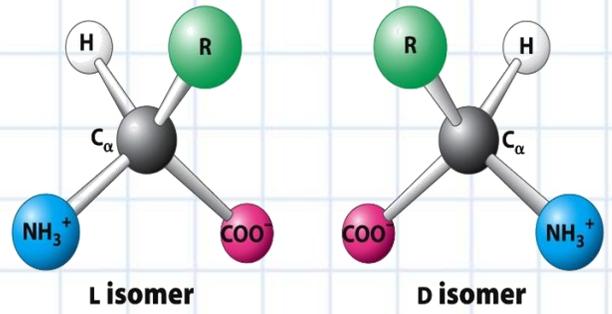
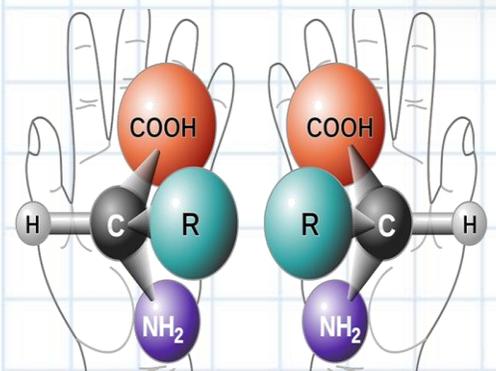


оптические антиподы — стереоизомеры, представляющие собой зеркальные отражения друг друга, не совмещаемые в пространстве;

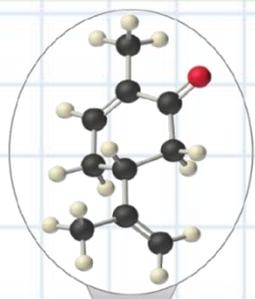
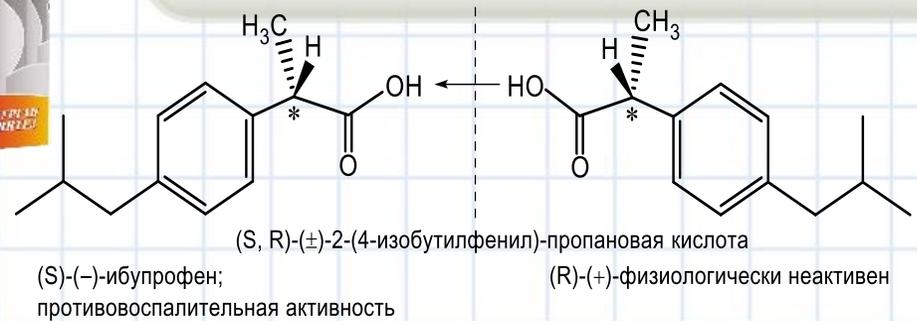
энантиомеры, от древнегреческого *ἐνάντιος* – противоположный и *μέρος* – часть, мера, — **зеркальные изомеры**:



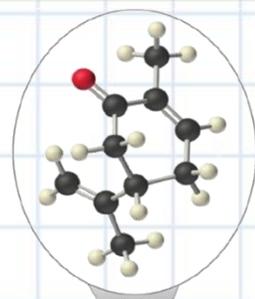
энантиомеры имеют разные структурные формулы:



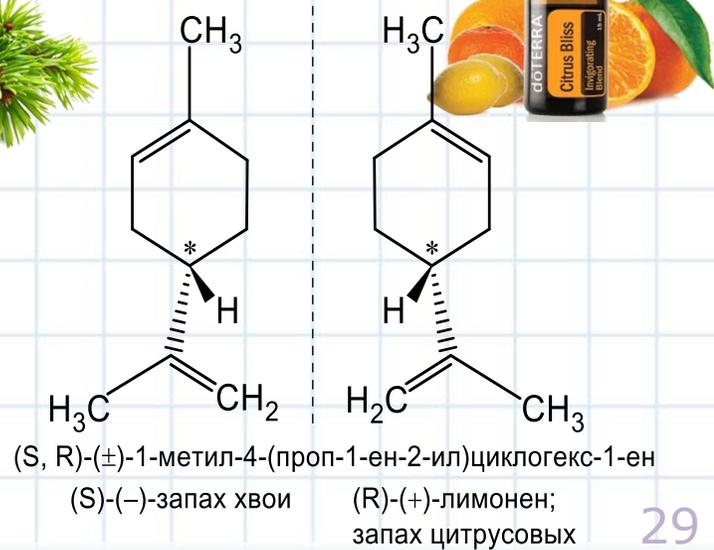
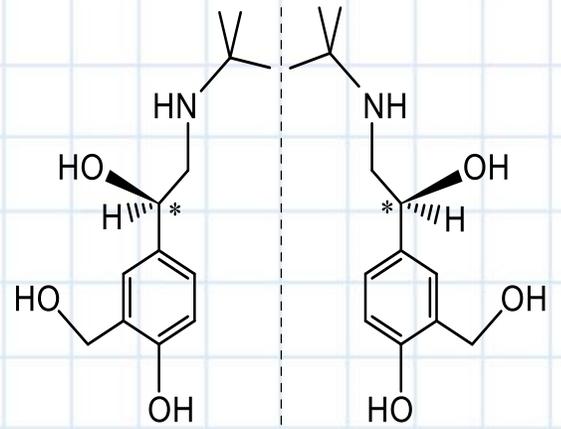
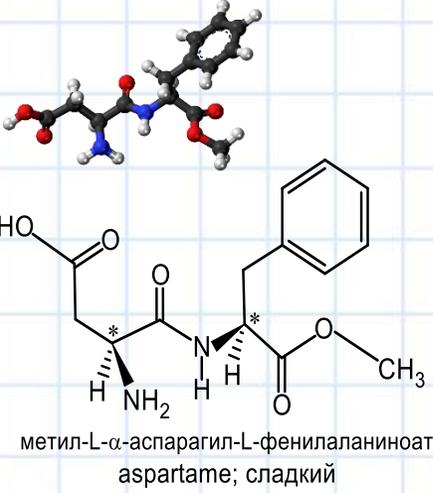
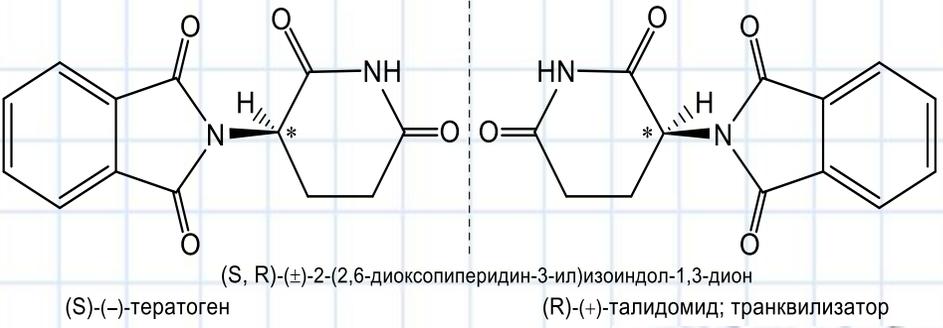
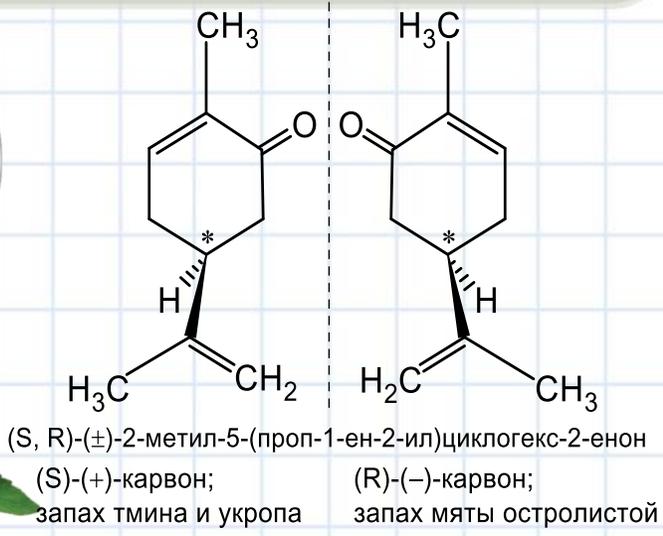
ЭНАНТИОМЕРЫ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

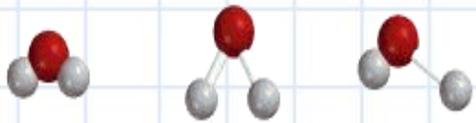


Caraway seeds



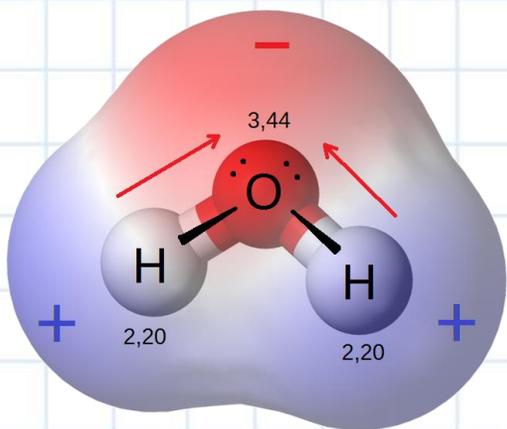
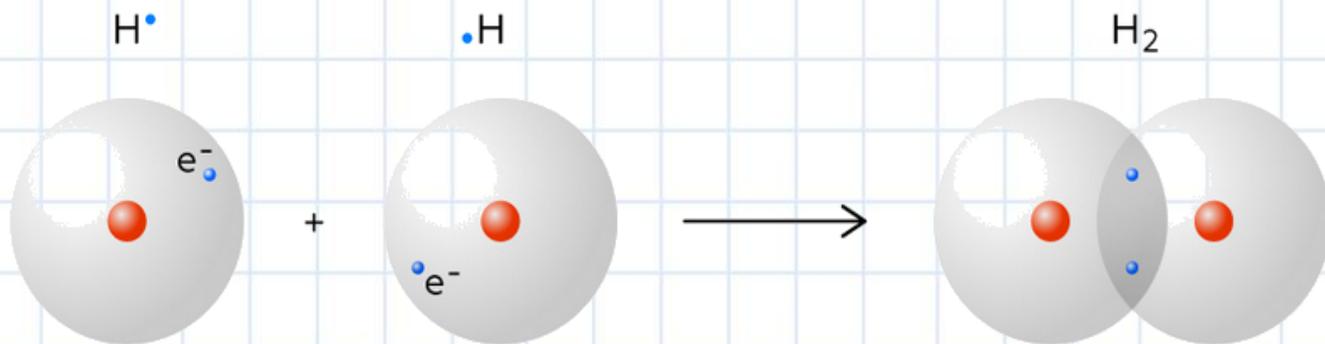
Spearmint oil





ЭНЕРГИЯ И ПОЛЯРНОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

$E_{\text{св}}$, $\Delta H^{\circ}_{\text{св}}$, DH° , кДж·моль⁻¹ — энергия, необходимая для полного разрыва ковалентной связи с образованием бесконечно удалённых друг от друга и находящихся в состоянии покоя изолированных частиц; или энергия, выделяемая в процессе образования химической связи и характеризующая её прочность:



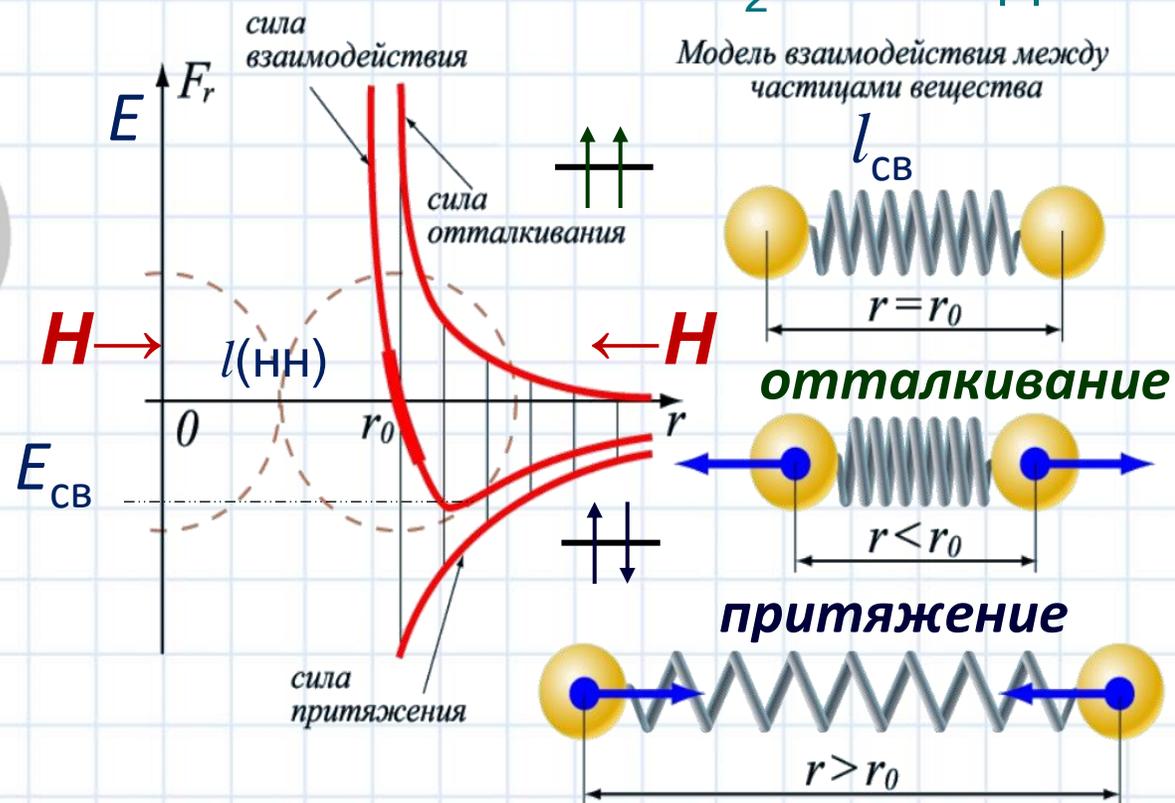
Полярность
Дипольный момент связи (μ)

$$\vec{\mu} = q \cdot l$$

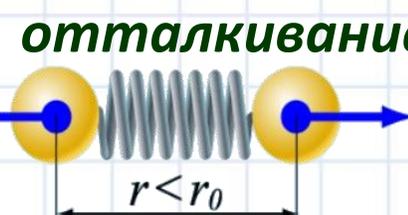
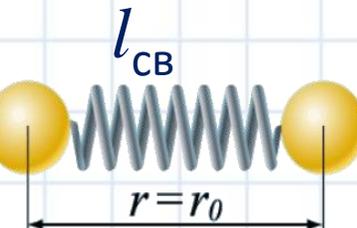
[Д] (Дебай) или [Кл·м]
1 Д = $0.33 \cdot 10^{-29}$ Кл·м

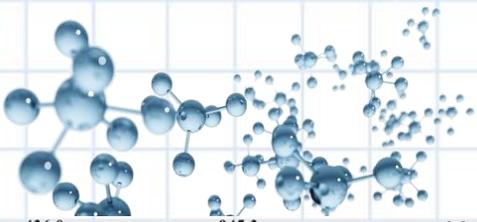
l — длина связи

q — эффективный заряд

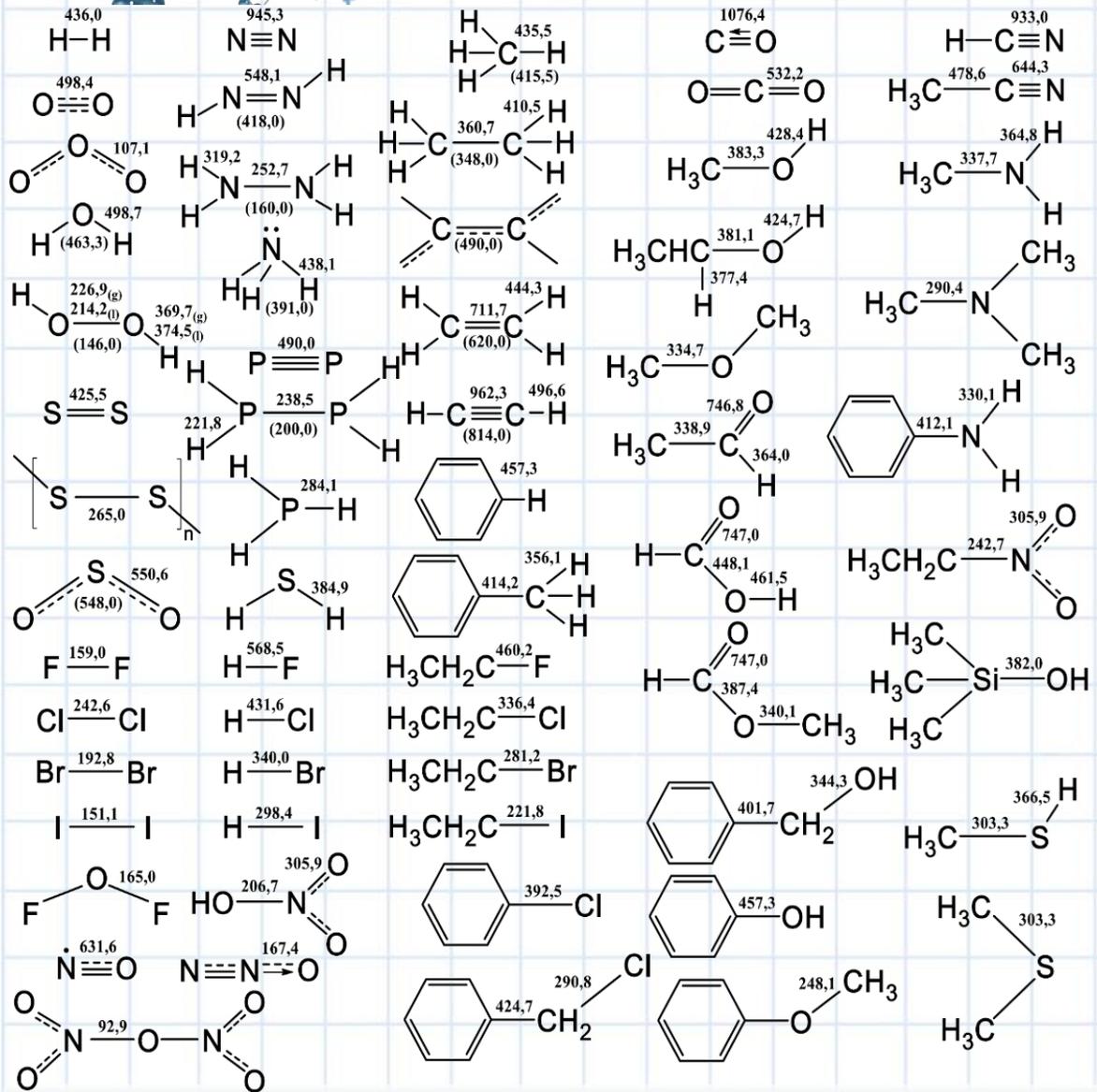


Модель взаимодействия между частицами вещества

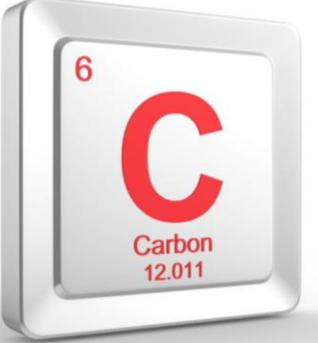




ПАРАМЕТРЫ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ СОЕДИНЕНИЙ УГЛЕРОДА



Связь	Гибридизация атома С	Энергия, кДж/моль	Длина, нм	Дипольный момент, D
C-C	sp^3	348	0.154	0
C=C	sp^2	626	0.134	0
C≡C	sp	814	0.120	0
C-H	sp^3	414	0.110	0.30
C-H	sp^2	435	0.107	0.40
C-O	sp^3	344	0.143	0.86
C=O	sp^2	708	0.121	2.40
C-N	sp^3	293	0.147	0.45
C=N	sp^2	598	0.128	1.40
C-F	sp^3	451	0.140	1.39
C-Cl	sp^3	331	0.176	1.47
O-H		460	0.096	1.51
N-H		390	0.101	1.31
S-H		348	0.130	0.70



ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТИ УГЛЕРОДА

Si	Sb	B	Te	As	H	P	Se	C	S	I	Br	Cl	N	O	F
				$\chi < 2,0$				$\chi < 2,5$				$\chi < 4,0$			

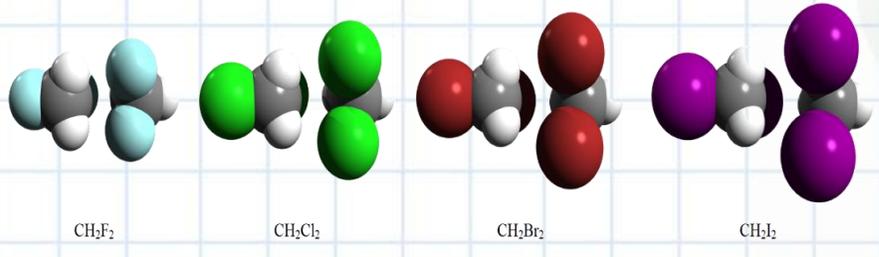
с увеличением степени окисления элемента значение его электроотрицательности увеличивается:



с увеличением заряда иона значение его электроотрицательности возрастает:



с изменением гибридного состояния меняется электроотрицательность элемента в соединении:



χ

H_3C-	$H_2C=$	$HC\equiv$	$N\equiv C-$	Cl_3C-	F_3C-
sp^3	sp^2	sp	sp	sp^3	sp^3
2,5	2,8	3,1	3,2	3,3	3,35

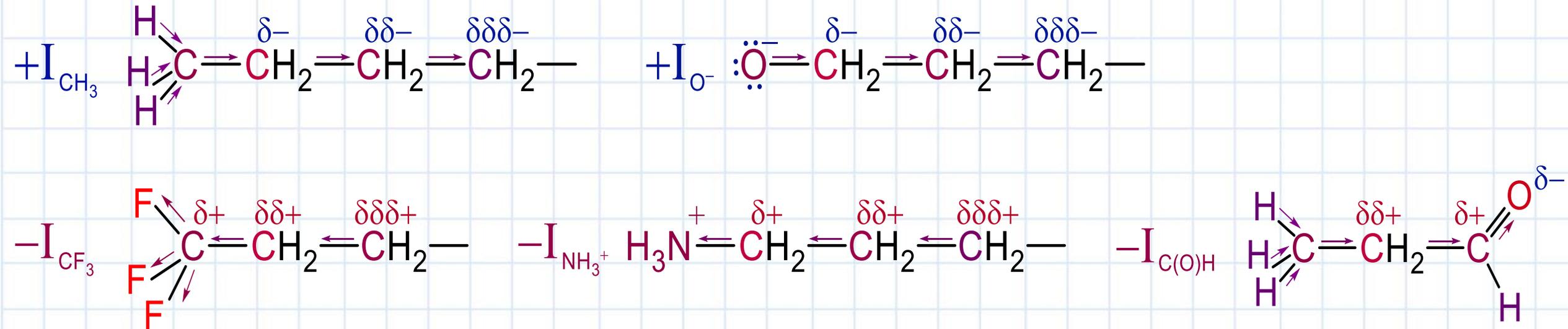
ИНДУКЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ

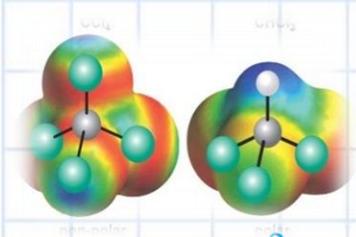
от латинского *inductio* – наведение, побуждение

индуктивный эффект I — смещение электронной плотности по цепи σ -связей;

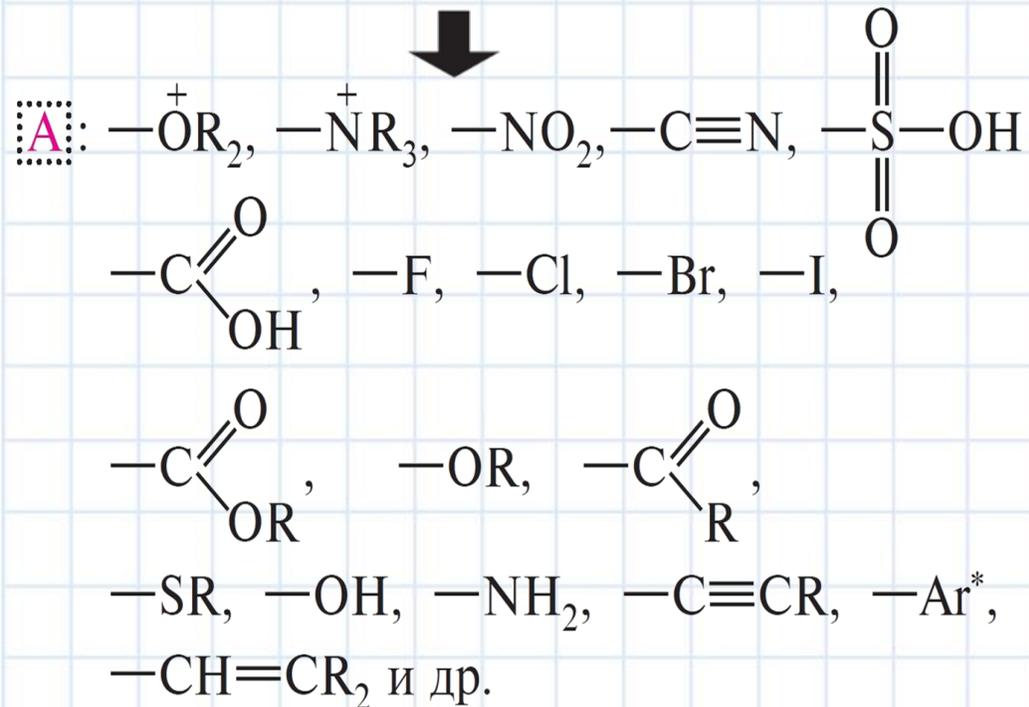
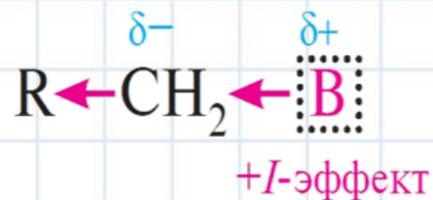
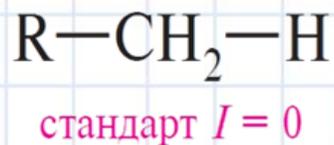
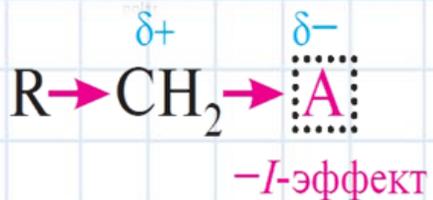
действие индуктивного эффекта принято изображать стрелкой, совпадающей с обозначением σ -связи и направленной в сторону смещения электронной плотности;

индуктивный эффект водорода в углеводородных цепях принимают равным нулю:

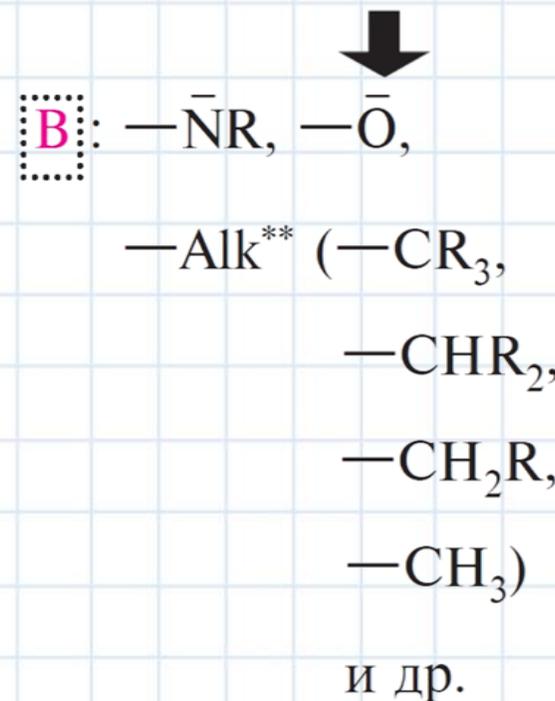




НАПРАВЛЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО ЭФФЕКТА



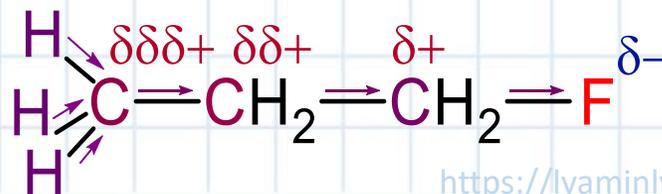
У
б
ы
в
а
н
и
е

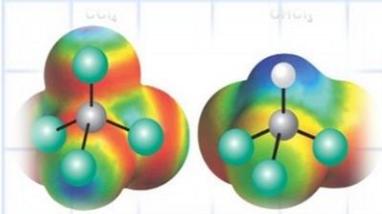


1. Индуктивный эффект проявляется всегда при наличии в молекуле элементов с различной электроотрицательностью.
2. Индуктивный эффект распространяется только через σ -связи и всегда в одном направлении, т.е. либо положительный, либо отрицательный.
3. Индуктивный эффект затухает в цепи через 3 – 4 σ -связи.

* Ar — ароматический радикал.

** Alk — алкильные группы.





СИЛА ИНДУКЦИОННОГО ЭФФЕКТА

в ряду первичных алкилов

положительный индуктивный эффект

возрастает с увеличением углеродной цепи:

электронодонорные свойства

алкильных групп возрастают при переходе

от первичных к третичным заместителям:

наибольший +I-эффект проявляют заместители,

с отрицательным зарядом;

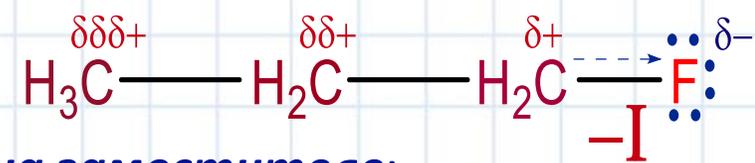
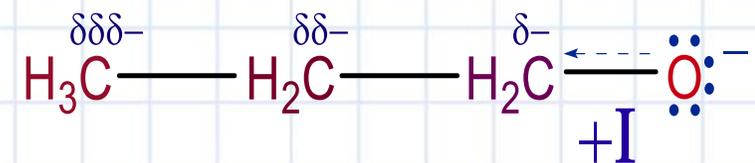
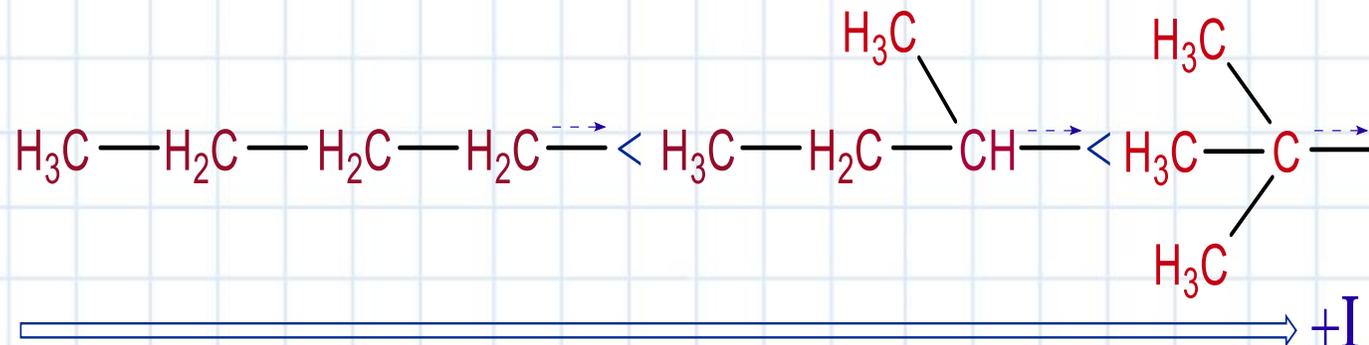
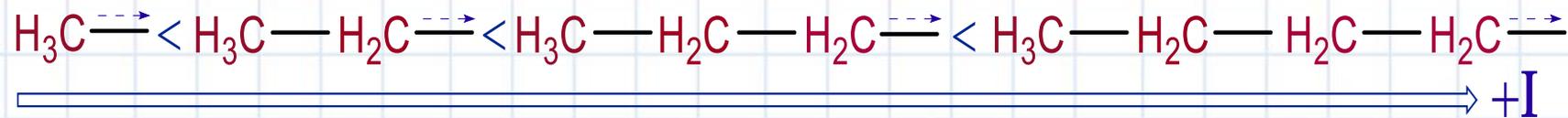
чем больше значение электроотрицательности элементов,

образующих заместитель тем сильнее выражен

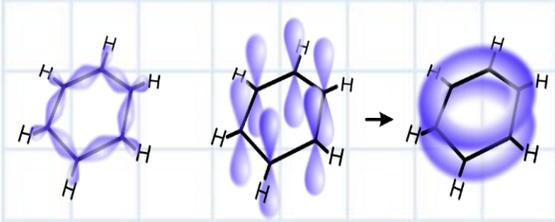
–I-эффект этого заместителя;

величина –I-эффекта растёт с увеличением положительного заряда на заместителе;

ненасыщенные заместители обладают –I-эффектом, который возрастает с увеличением доли s-характера гибридных орбиталей, т.е. чем больше кратность, тем сильнее –I-эффект.



СОПРЯЖЕНИЕ

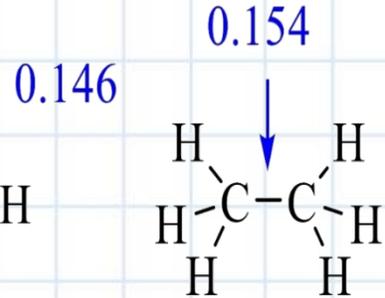
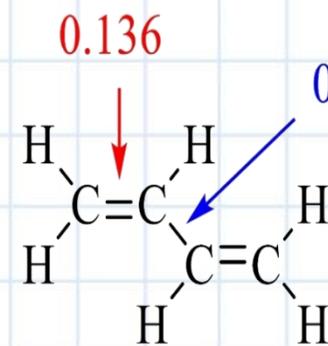
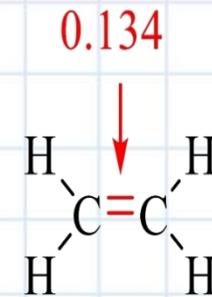
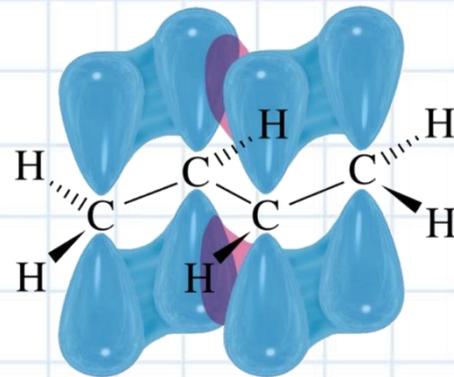
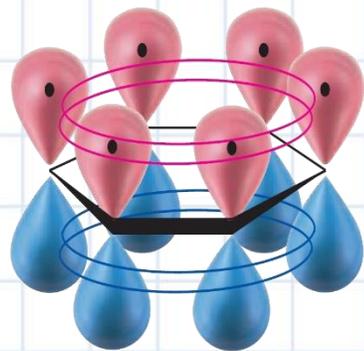
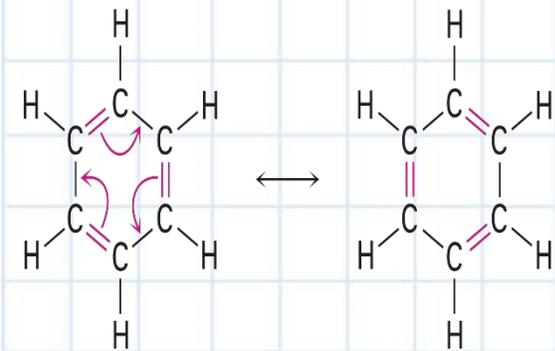
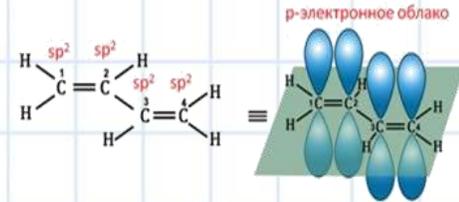


сопряжение — образование в молекуле единого делокализованного электронного облака в результате перекрывания *p*-орбиталей;

сопряжённая система — кратные π -связи, отделённые одной простой σ -связью от соседнего элемента, имеющего *p*-орбиталь;

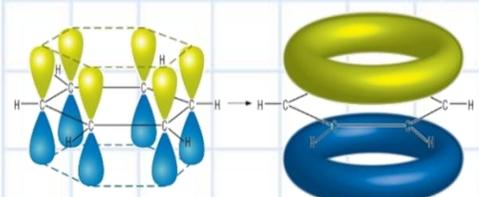
делокализованная связь, от латинского *de* – отрицание; *lokalis* – место — ковалентная связь, электроны которой поделены между тремя и более ядрами в молекуле, т.е. химическая связь, охватывающая более двух ядер элементов в частице;

при делокализации происходит выравнивание связей по энергии, длине и зарядам;



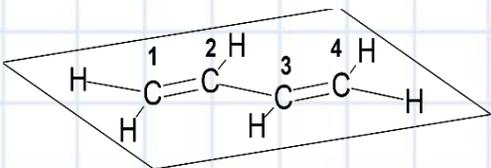
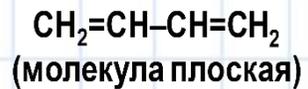
сопряжённая система — система делокализованных связей!

π, π -СОПРЯЖЁННАЯ СИСТЕМА

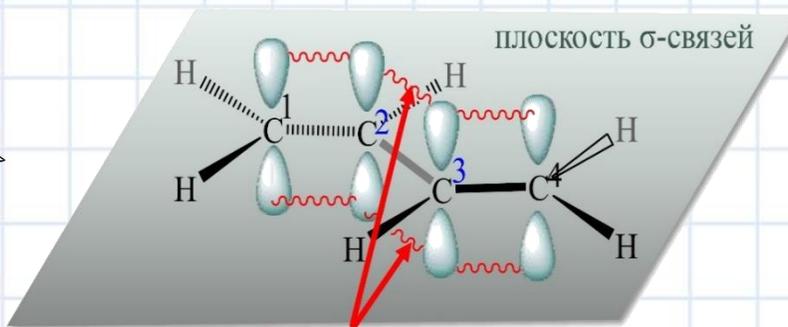


π, π -Сопряжение

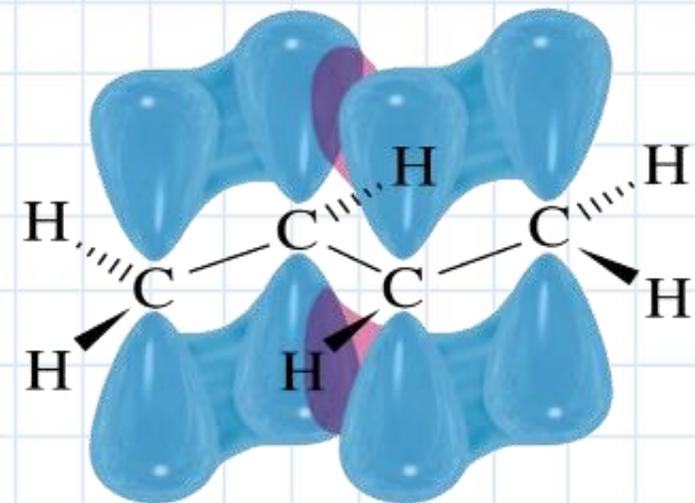
Сопряжение в бутадиене-1,3



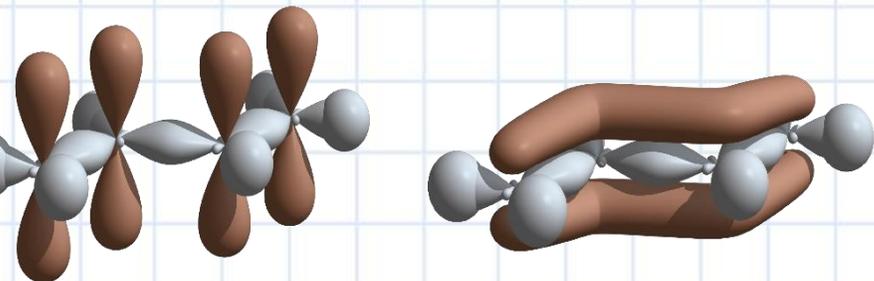
Делокализация π -связей в бута-1,3-диене



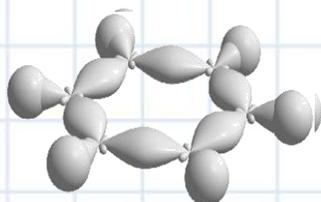
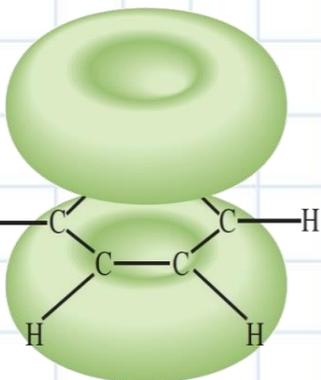
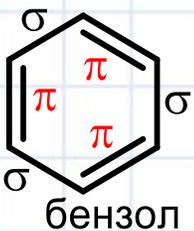
π -перекрывание негибридных p -АО атомов C2 и C3



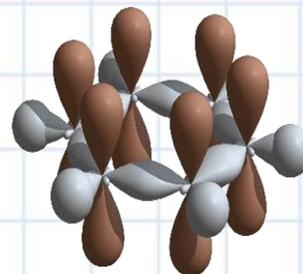
π - π -сопряжение с гетероатомом



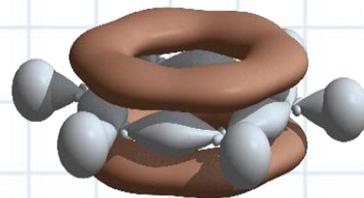
p orbitals



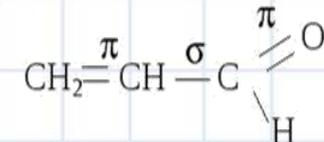
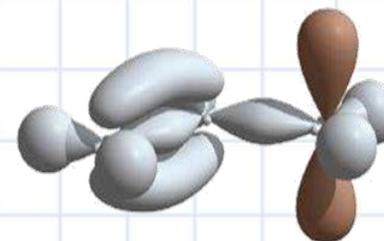
σ -связи в бензоле



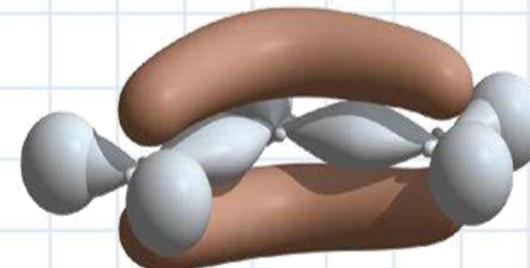
σ -связи и p -орбитали

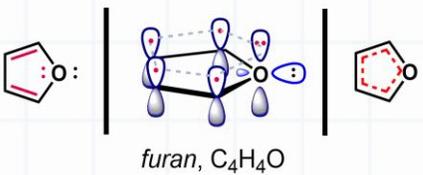


ароматическая электронная система (π, π -сопряжение)



пропеналь

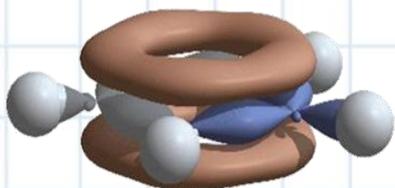
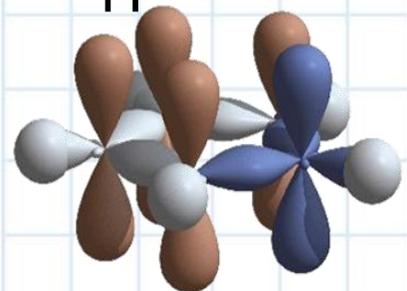
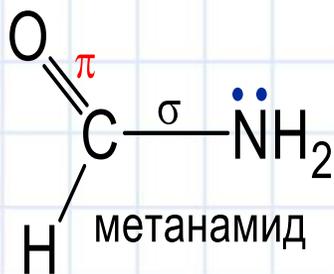
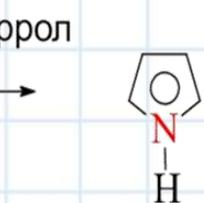
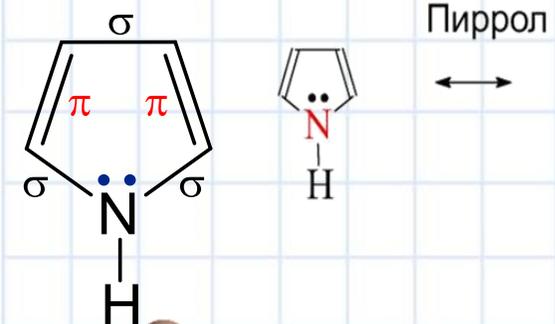
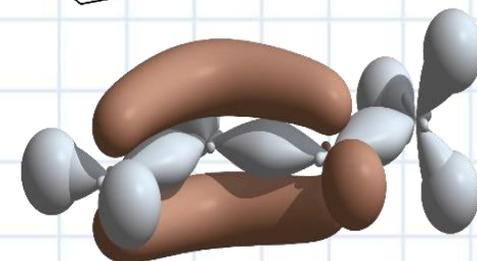
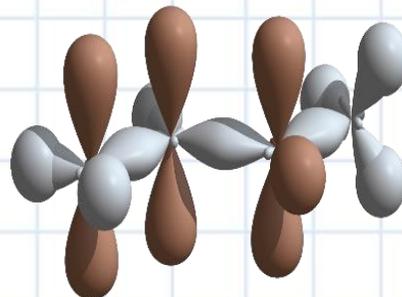
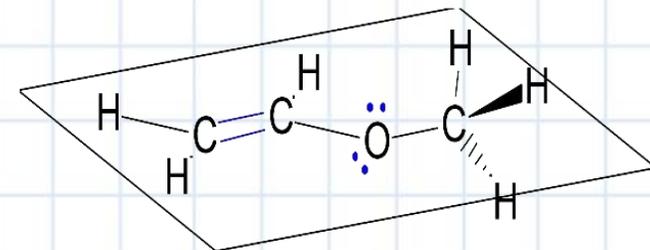
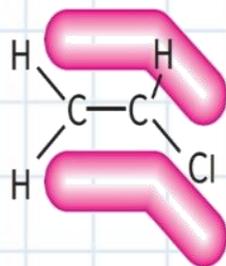
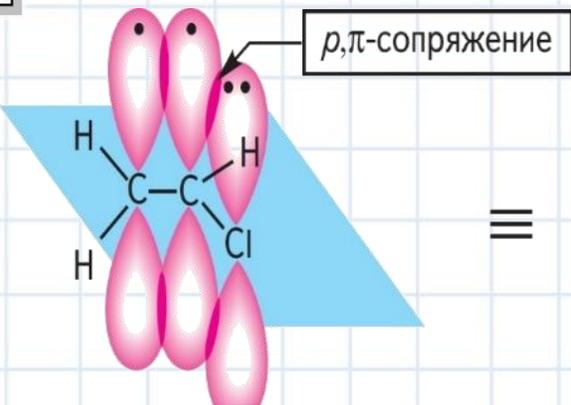




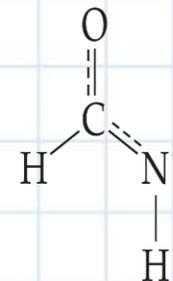
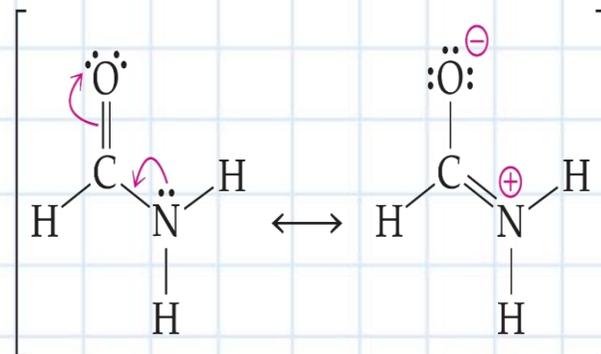
p, π-СОПРЯЖЁННАЯ СИСТЕМА

p, π-Сопряжение

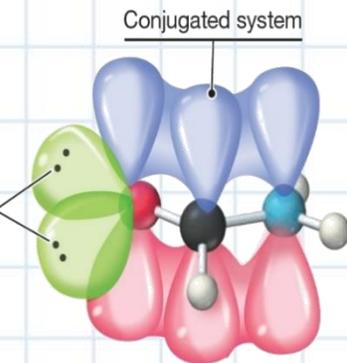
Сопряжение в винилметилом эфире



ароматическая электронная система
(*π, π*-сопряжение и *p, π*-сопряжение)

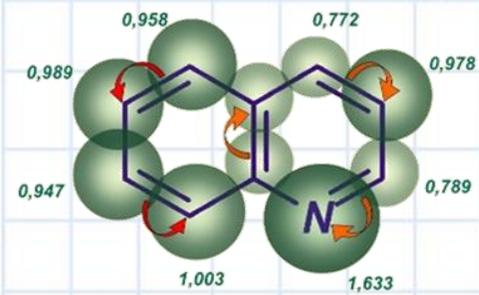


The lone pairs on oxygen are in sp² hybrid orbitals and are not part of the conjugated system.

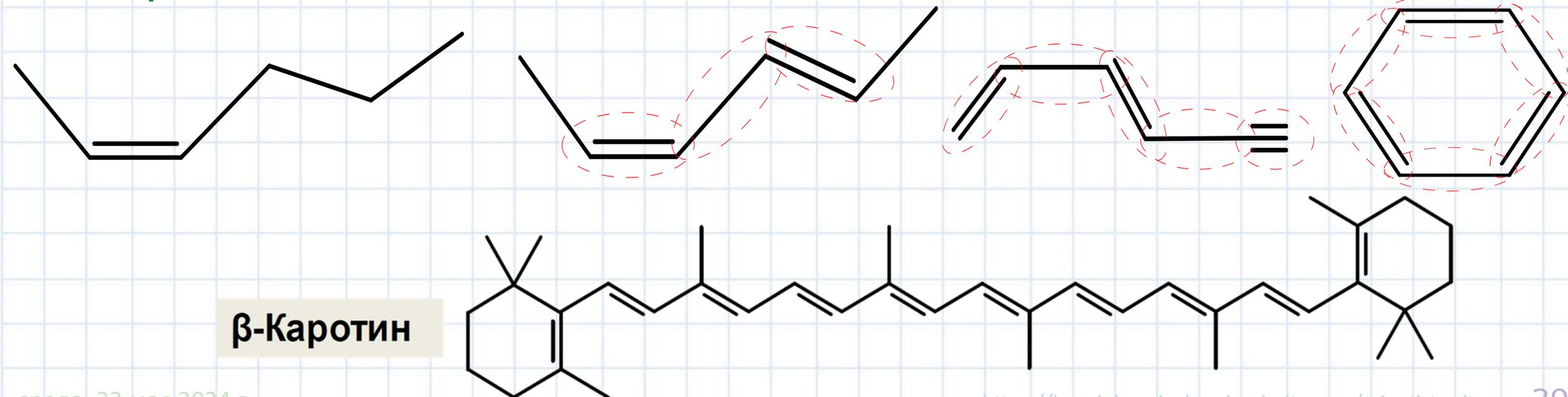


Conjugated system in formamide

ЭФФЕКТ СОПРЯЖЕНИЯ

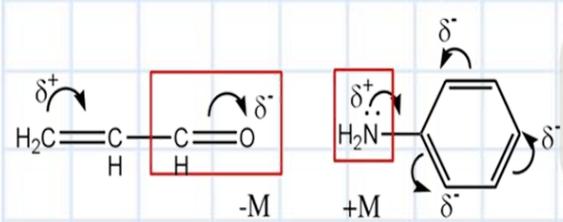


- ✓ соединения, содержащие сопряжённые связи, термодинамически более устойчивы в сравнении с соединениями, не содержащими сопряжённые связи;
- ✓ чем длиннее цепь сопряжённых связей, тем устойчивее соединение;
- ✓ замкнутые сопряжённые системы более устойчивы, чем открытые;
- ✓ замкнутые ароматические системы стабильнее, чем замкнутые неароматические сопряжённые системы:



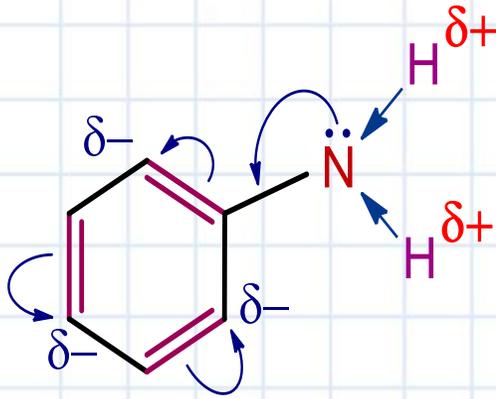
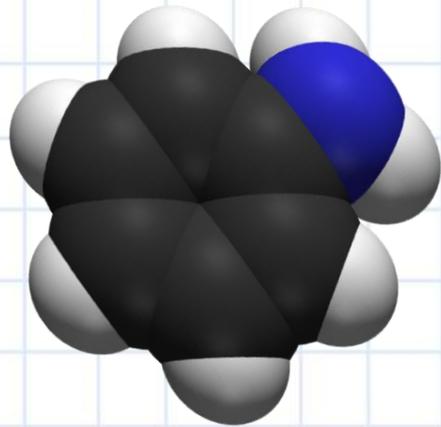
β-Каротин

МЕЗОМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ



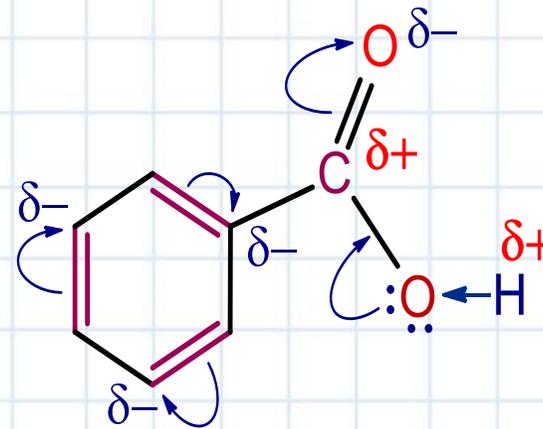
от греческого μέσος – средний; μέρος – часть, мера

сопряжения эффект (С)М — смещение электронной плотности по сопряжённой системе;



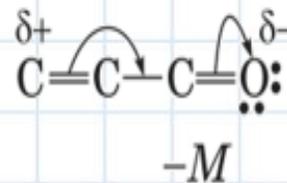
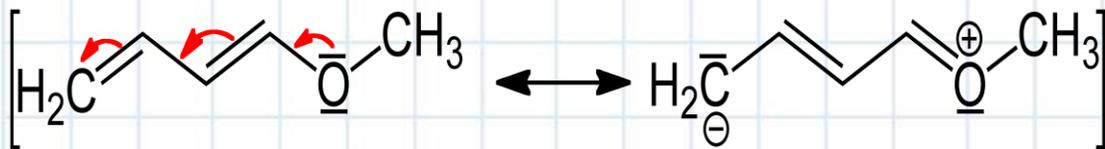
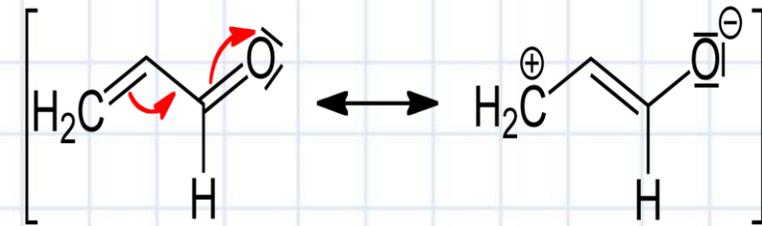
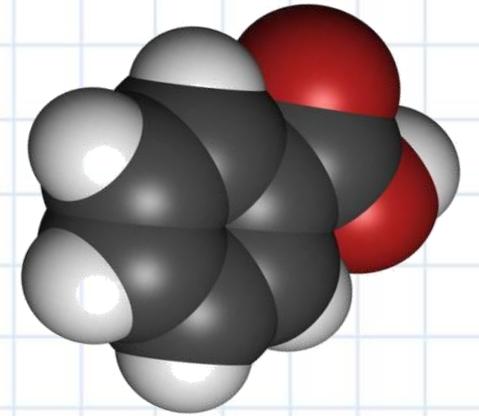
анилин

$$+M \quad \mu(\text{H}_6\text{C}_5\text{NH}_2) = 1,48 \text{ D}$$

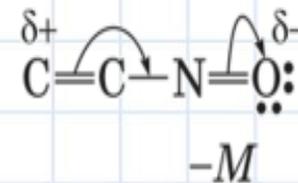


бензойная кислота

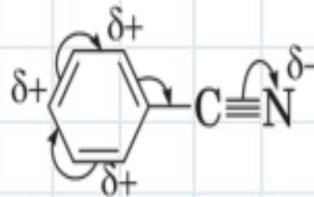
$$-M \quad \mu(\text{H}_6\text{C}_5\text{COOH}) = 1,00 \text{ D}$$



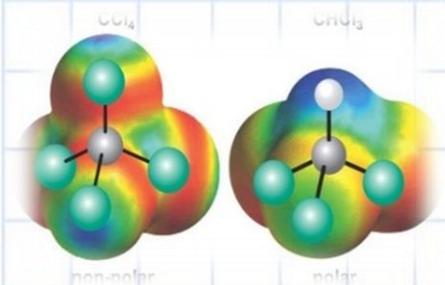
-M



-M



-M



ЭЛЕКТРОННЫЕ ЭФФЕКТЫ

мезомерный эффект преобладает над индуктивным и подавляет последний в случае рассогласованного (противоположного) действия, исключение — **F**

Характеристические группы

Электронный эффект

индуктивный мезомерный

алкильные группы



+I

—

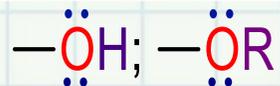
амино-группа



—I

+M

гидроксо-группа



—I

+M

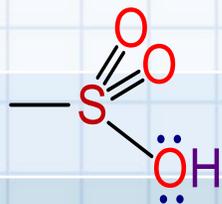
галогенная группа



—I

+M

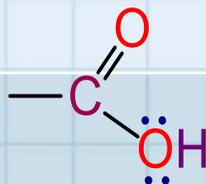
сульфо-группа



—I

—M

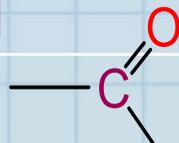
карбоксильная группа



—I

—M

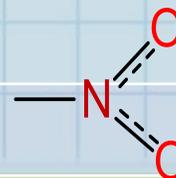
карбонильная группа



—I

—M

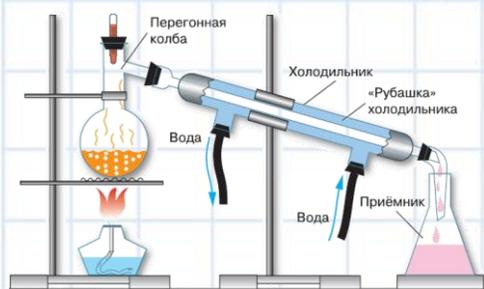
нитро-группа



—I

—M

ЭНЕРГЕТИКА РЕАКЦИ С УЧАСТИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ



из древнегреческого $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}\rho\upsilon\epsilon\iota\alpha$ – действие, деятельность, мощь;

субстрат + реагент = продукт + продукт \pm энергия

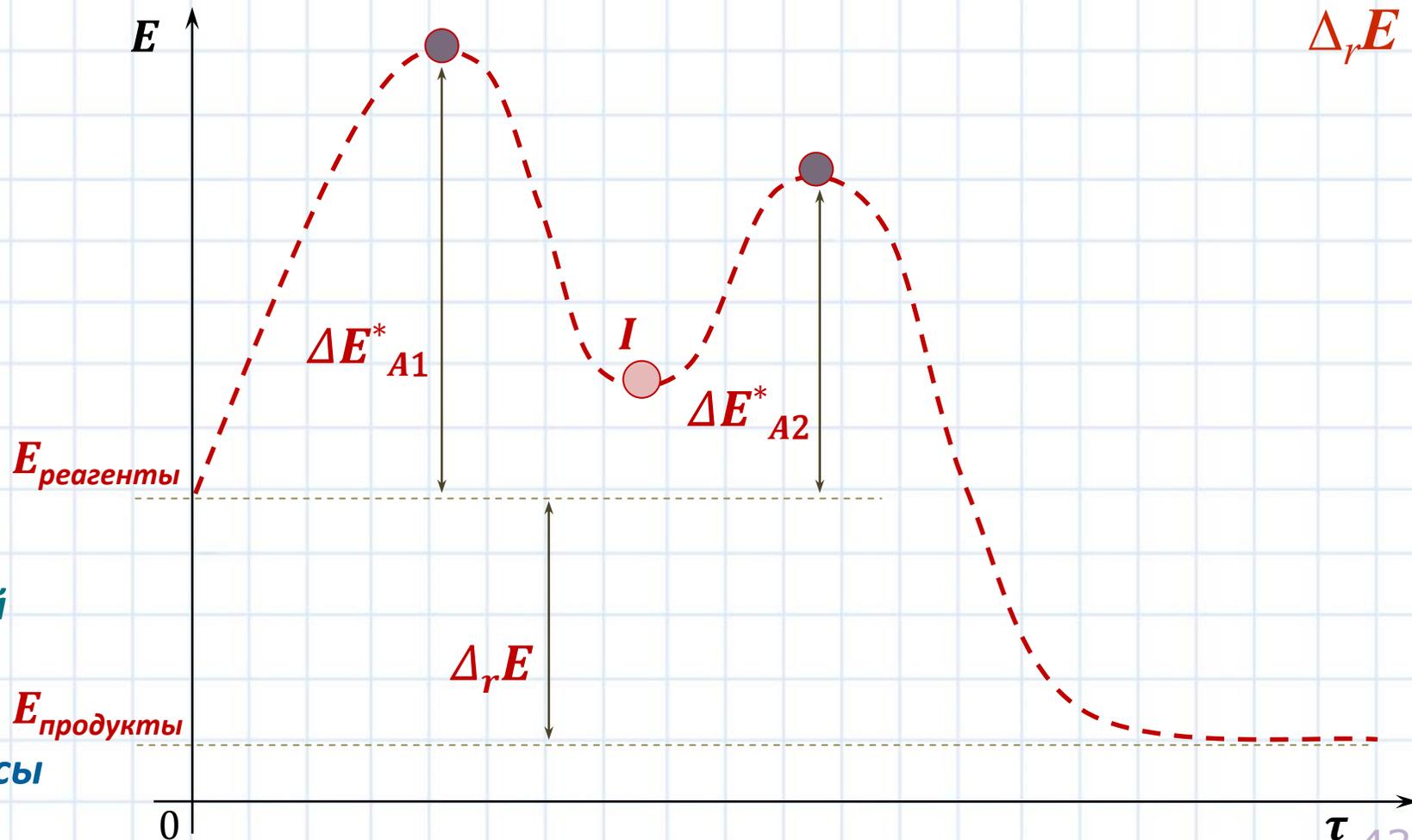


E — энергия реагентов и энергия продуктов;

ΔE^*_A — энергия активации переходных состояний;

I — интермедиат;

$\Delta_r E$ — энергия реакции; стадию, переходное состояние которой имеет наиболее высокую энергию активации, называют лимитирующей и она является скоростью определяющей. Интермедиатами чаще бывают карбокатионы, карбанионы, свободные радикалы и σ -комплексы



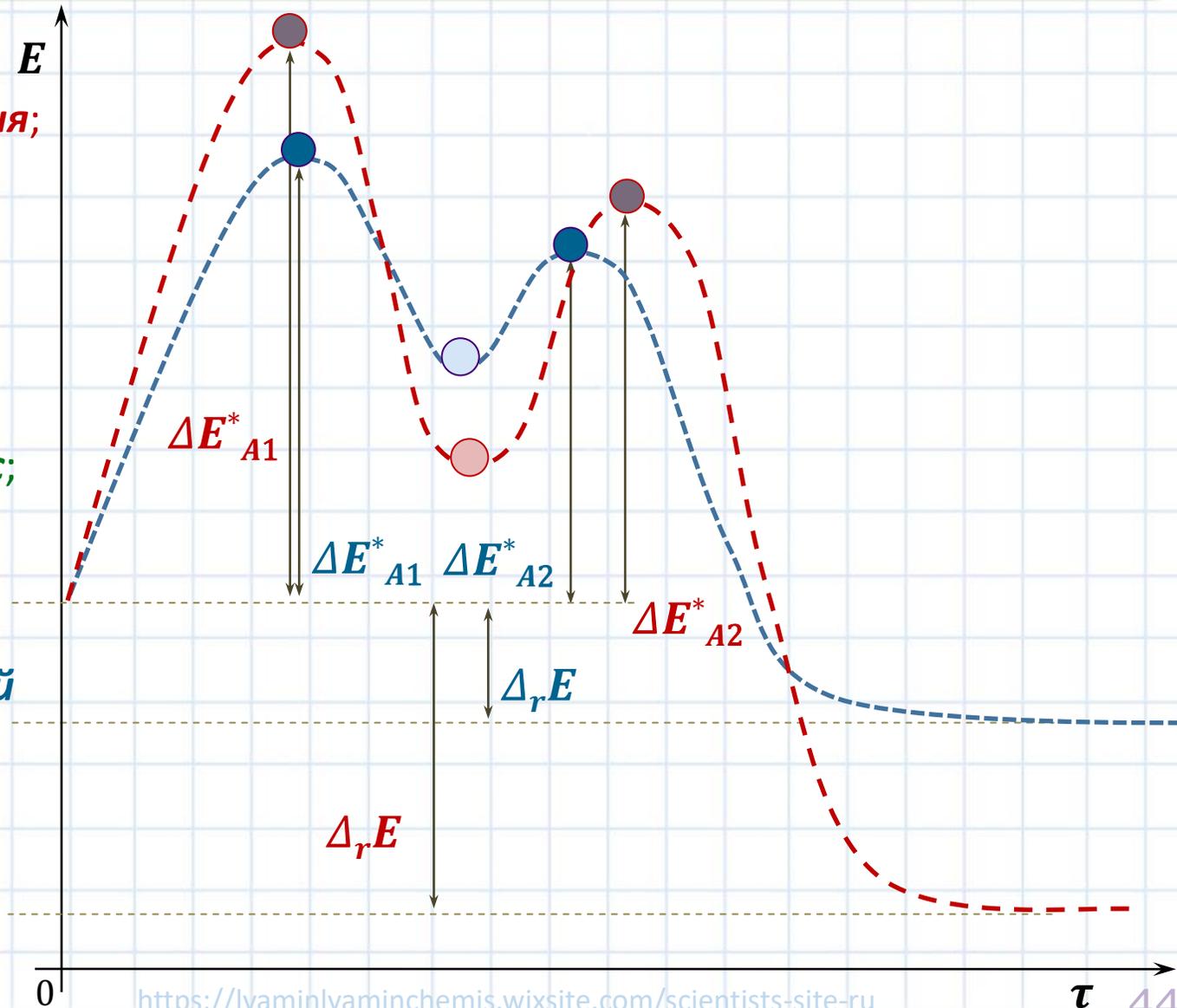
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ И КИНЕТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

из французского *contrôle* – список;

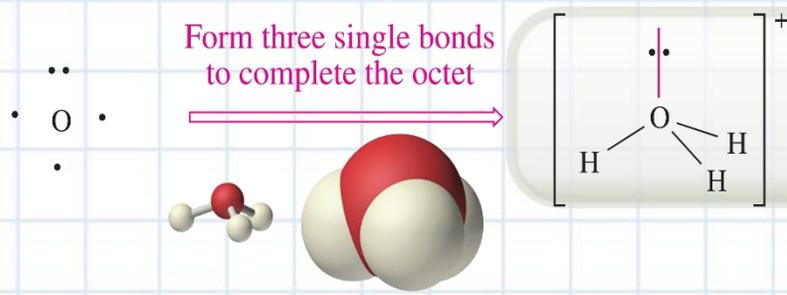
--- — термодинамически контролируемая реакция;

--- — кинетически контролируемая реакция;

при проведении реакции в условиях повышенной температуры преобладает наиболее устойчивый продукт, т.е. с наименьшей внутренней энергией — термодинамически контролируемый процесс; проведение реакции в условиях пониженной температуры обеспечивает образование продуктов, скорость образования которых наибольшая — кинетически контролируемый процесс; в общем случае короткое время реакции благоприятствует кинетическому управлению, а более длительное время реакции благоприятствует термодинамическому управлению реакцией



ЭЛЕКТРОФИЛЬНОСТЬ



из древнегреческого ἤλεκτρον – янтарь, электрон и φιλία – любовь;

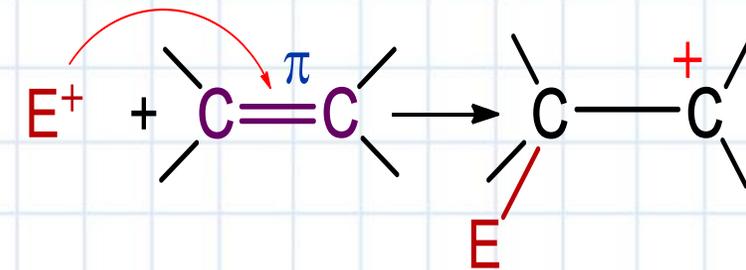
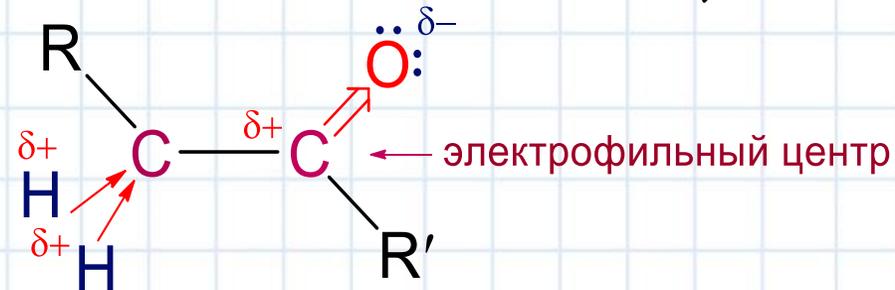
дескриптор реакционной способности и электронной природы частицы;

электрофильными «ищущими электроны» называют реагенты, катионы или нейтральные частицы имеющие свободную орбиталь на внешнем электронном уровне и принимающие электронную пару от субстрата при образовании с ним химической связи:

доноры протонов — водные растворы кислот HI , HBr , HCl , H_2SO_4 ...; катионы — NO_2^+ , NO^+ , $\text{H}_3\text{C}-\text{Mg}^+$, $\text{H}_5\text{C}_6-\text{Mg}^+$; молекулы с частичным положительным зарядом на углероде — $\text{R}_3\text{C}-\text{Cl}$, $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$...; кислоты Льюиса — AlCl_3 , FeBr_3 , BF_3 , SnCl_4 ...; оксиды неметаллов и галогениды — CO_2 , SO_3 , NO_2 , NO , SOCl_2 ...; галогены — Cl_2 , Br_2 , I_2 ;

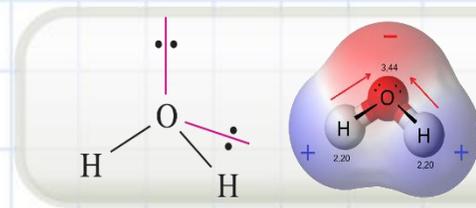
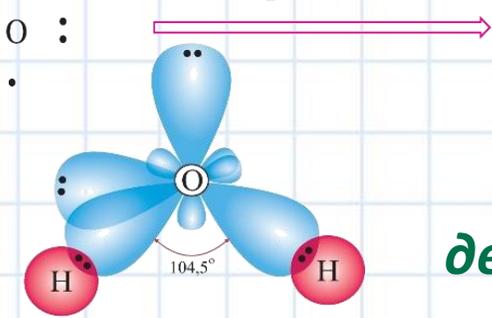
в химических реакциях электрофильные реагенты атакуют субстрат на участках с повышенной электронной плотностью:

электрофильный центр — область молекулы, в которой сосредоточен наибольший частичный положительный заряд:



НУКЛЕОФИЛЬНОСТЬ

Form two single bonds to complete the octet



от латинского *nucleus* – ядро; из древнегреческого *φιλία* – любовь;

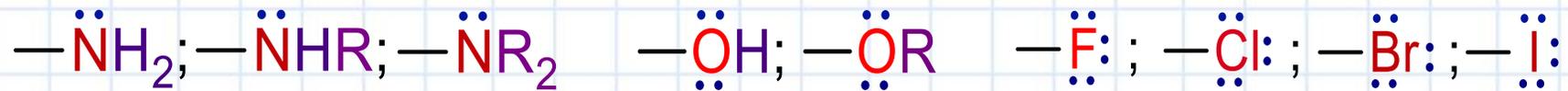
дескриптор реакционной способности и электронной природы частицы;

нуклеофильными «ищущими ядра» называют реагенты, имеющие неподелённую пару электронов на

внешнем уровне, и предоставляющие электронную пару субстрату при образовании с ним

химической связи: анионы — $(\text{OH})^-$, $(\text{CN})^-$, $(\text{RO})^-$, $(\text{NH}_2)^-$, $(\text{RCOO})^-$, $(\text{RS})^-$, $(\text{SH})^-$, Cl^- , Br^- , I^- ,

$(\text{HSO}_3)^-$, $(\text{CNS})^-$...; молекулы с неподелёнными электронными парами на внешнем уровне —



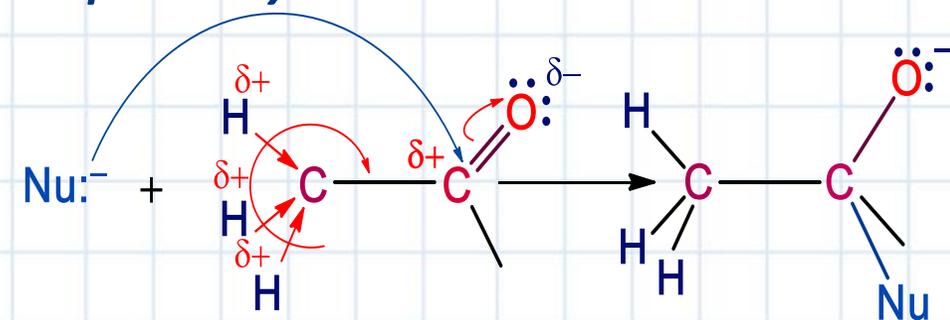
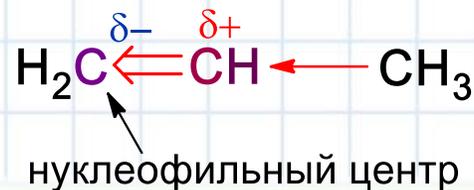
молекулы с повышенной электронной плотностью — $\text{R}_2\text{C}=\text{C}_2\text{R}$, $\text{R}_2\text{C}=\text{CH}-\text{HC}=\text{CR}_2$, C_6H_6 ...;

в химических реакциях нуклеофильные реагенты атакуют субстрат на участках с пониженной электронной плотностью:

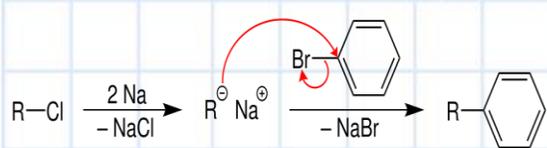
нуклеофильный центр — область молекулы,

в которой сосредоточен наибольший

частичный отрицательный заряд:



ГРУППЫ РЕАКЦИЙ С УЧАСТИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ



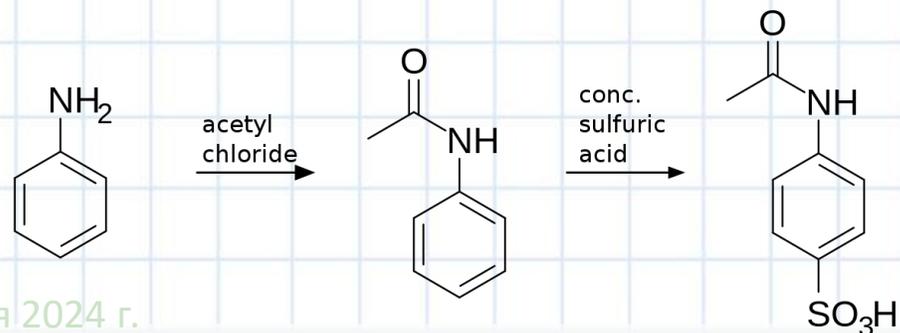
ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ



радикальные R
электрофильные E
нуклеофильные N



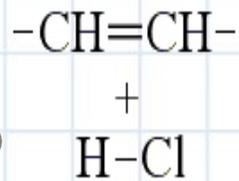
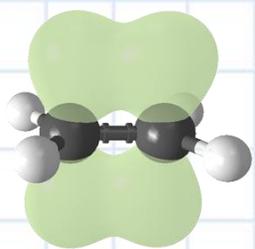
КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ



реакции с участием органических веществ

замещения S
присоединения A
отщепления E
(элиминирования)

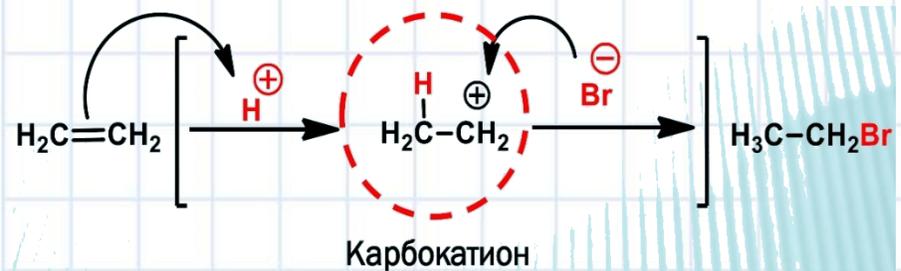
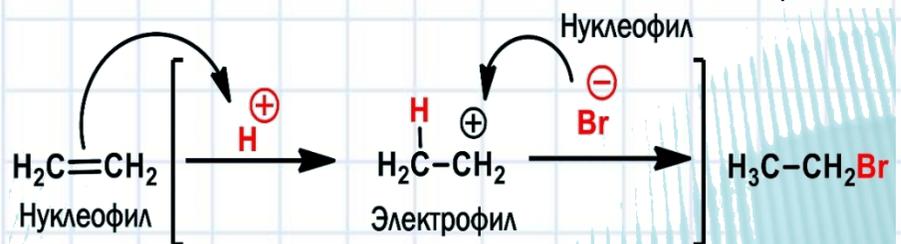
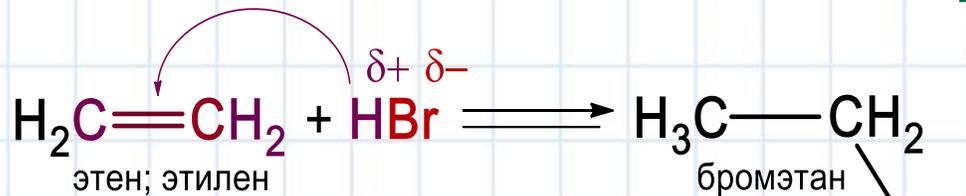
горения
гидрирования и дегидрирования
галогенирования и дегалогенирования
гидрогалогенирования и дегидрогалогенирования
гидролиза
пиролиза
озонолиза
нитрования
аммонолиза
гидратации и дегидратации
изомеризации и перегруппировки
полимеризации и поликонденсации
сульфирования и десульфирования
карбоксилирования и декарбоксилирования
фосфорилирования и дефосфорилирования



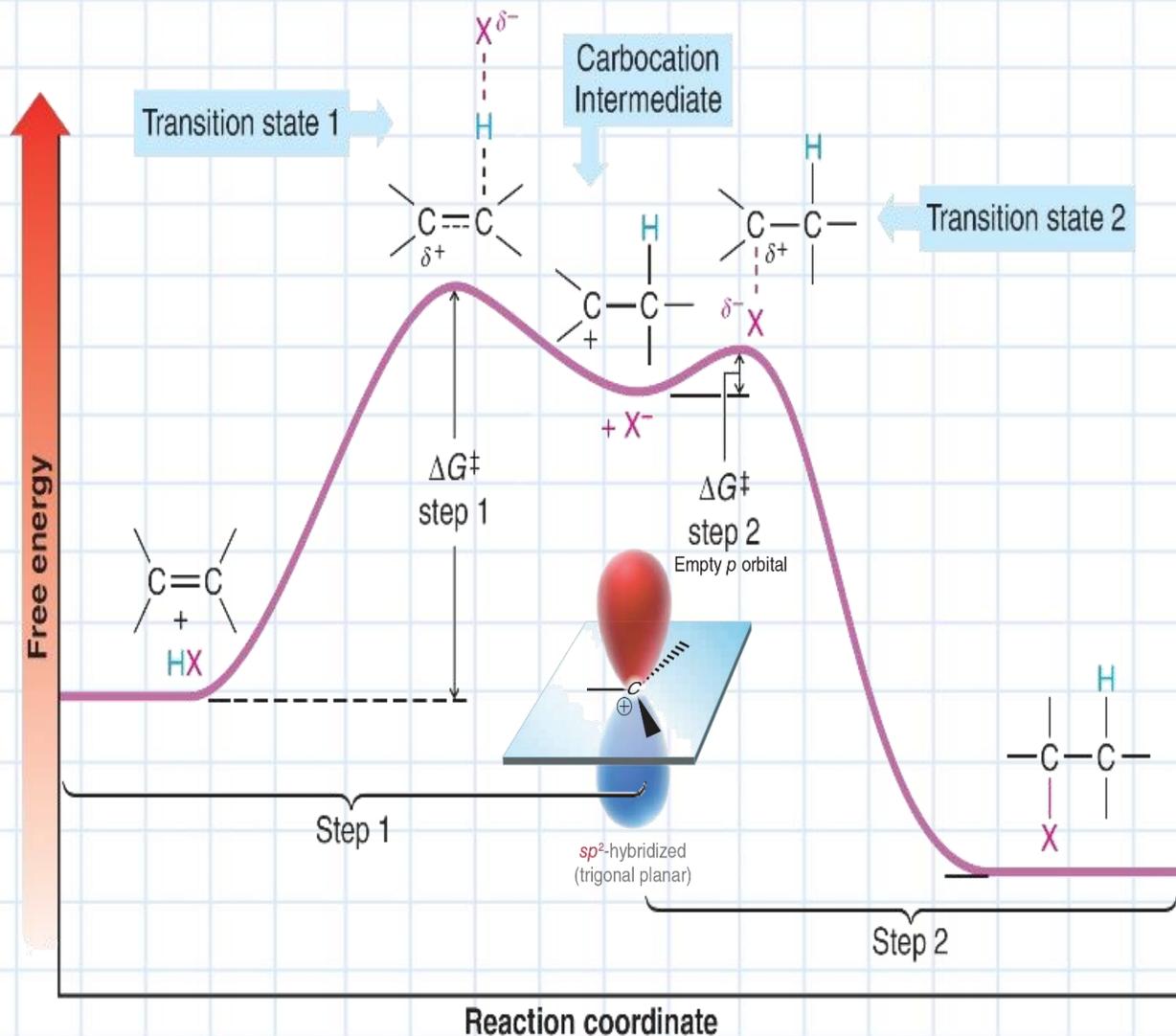
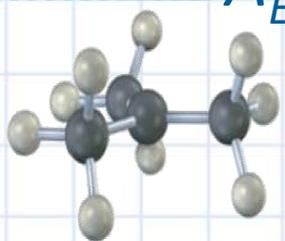
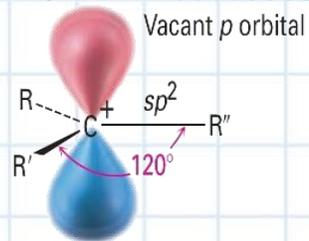
МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ С УЧАСТИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

из древнегреческого *μηχάνησις* – устройство, прибор;

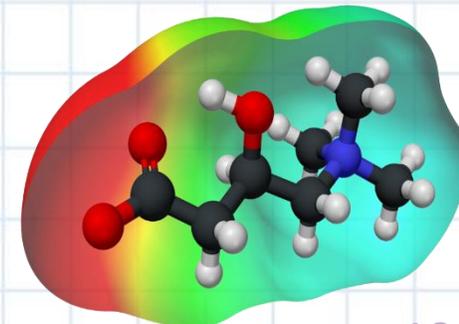
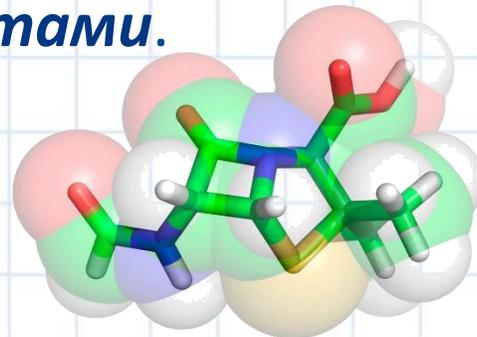
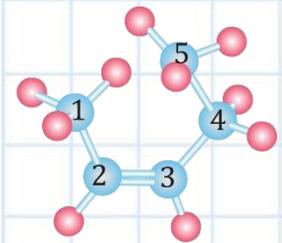
описание всех стадий химического процесса

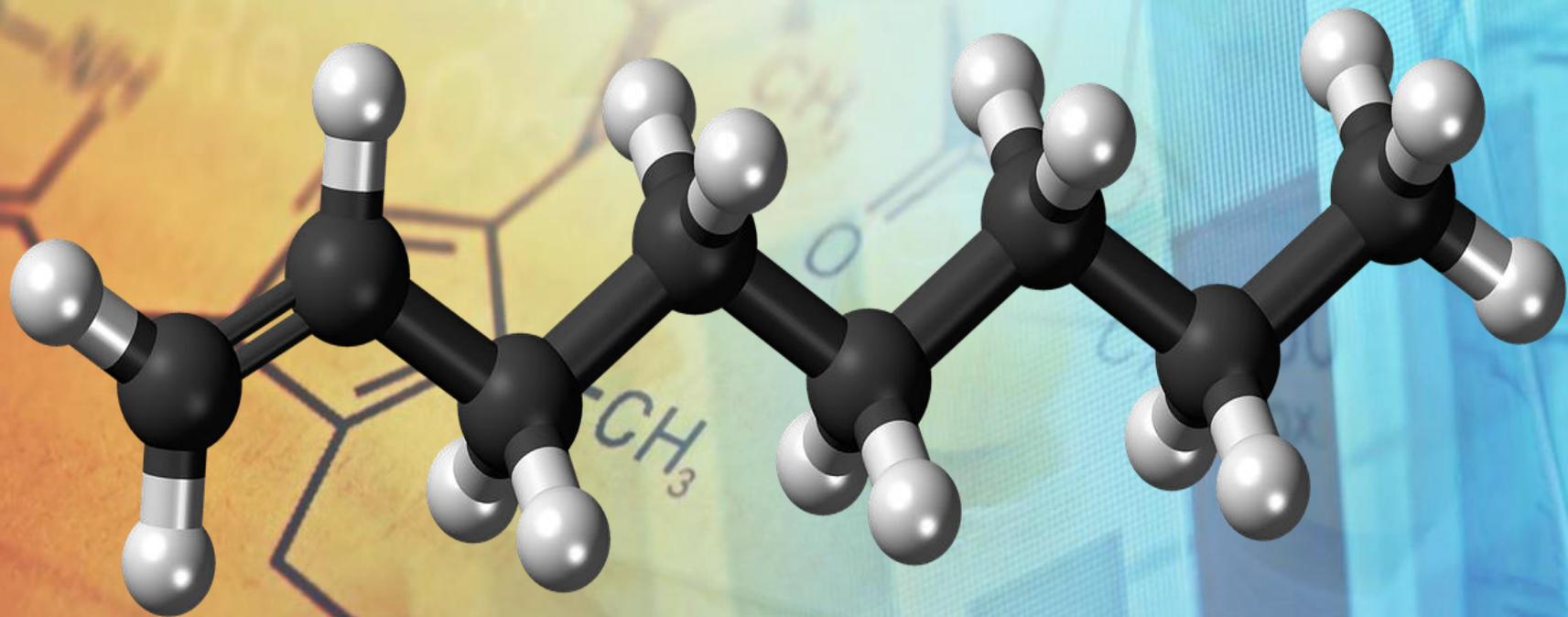


Карбокатион



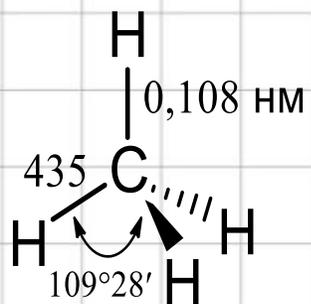
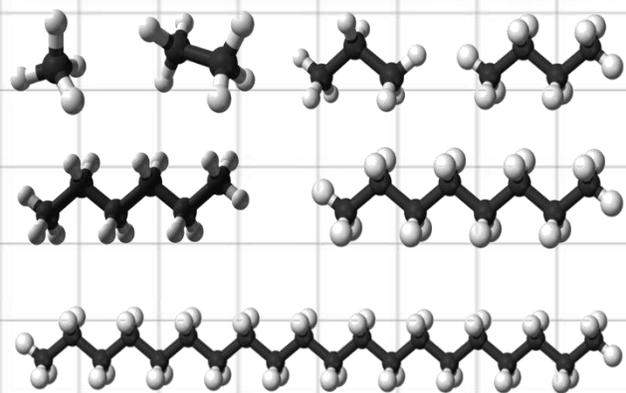
- ✓ **органическое соединение чаще всего изображают графической формулой;**
- ✓ **углерод в органических соединениях всегда образует четыре связи;**
- ✓ **в sp^3 -гибридном состоянии углерод образует четыре σ -связи;**
- ✓ **в sp^2 -гибридном состоянии углерод образует три σ -связи и одну π -связь;**
- ✓ **в sp -гибридном состоянии углерод образует две σ -связи и две π -связи;**
- ✓ **одинарная связь — σ -связь, вторая и третья связь в кратных — π -связи;**
- ✓ **классовую принадлежность определяет кратность связи, цикл и характеристическая группа;**
- ✓ **реакционные центры в молекуле органического соединения определяются электронными эффектами.**



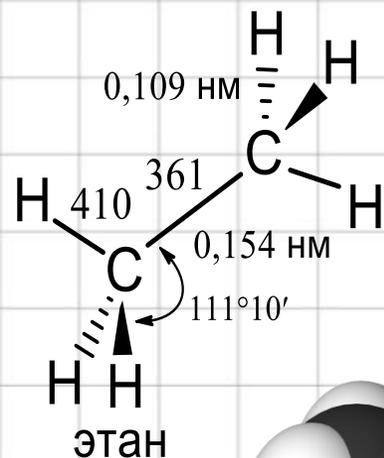
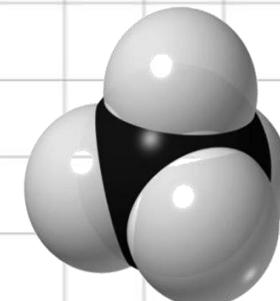
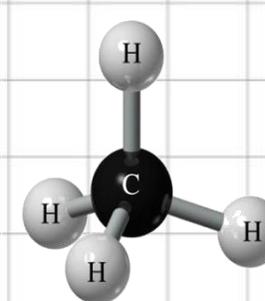
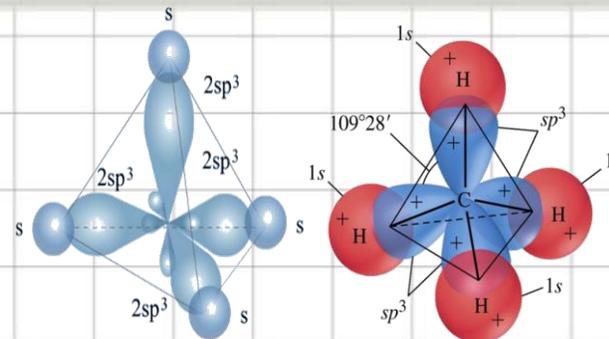
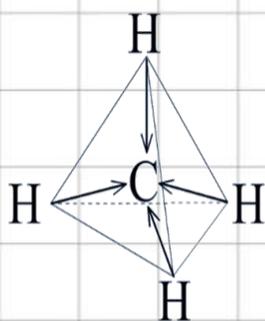


УГЛЕВОДОРОДЫ

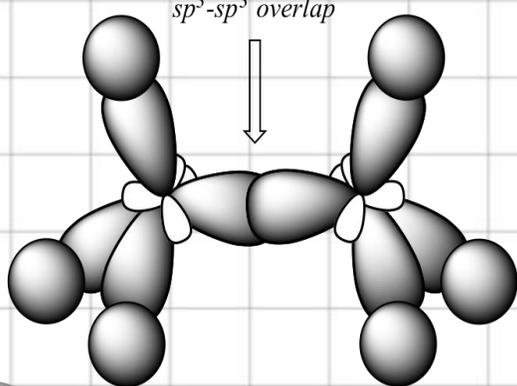
АЛКАНЫ



метан



этан

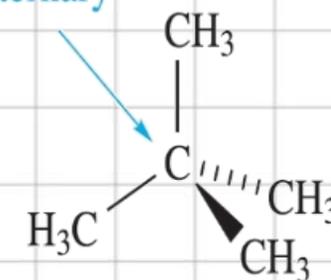
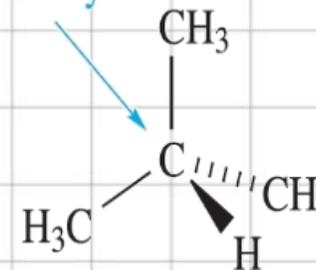
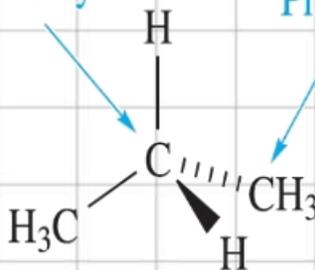


Secondary

Primary

Tertiary

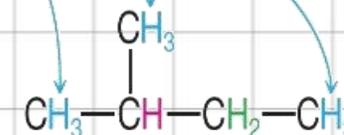
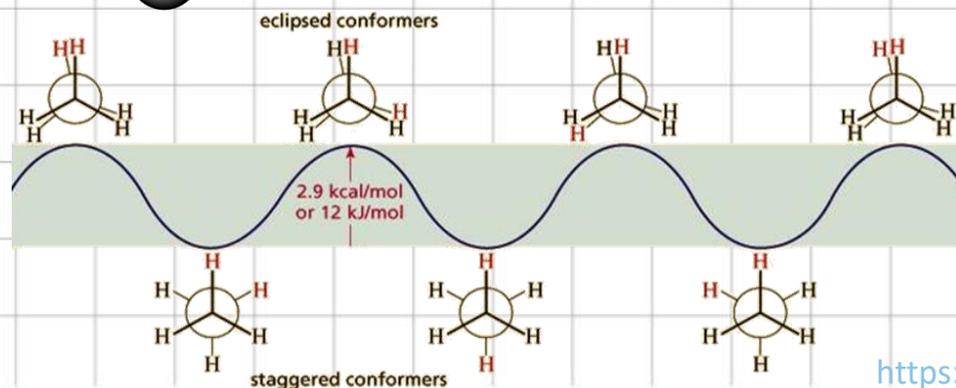
Quaternary



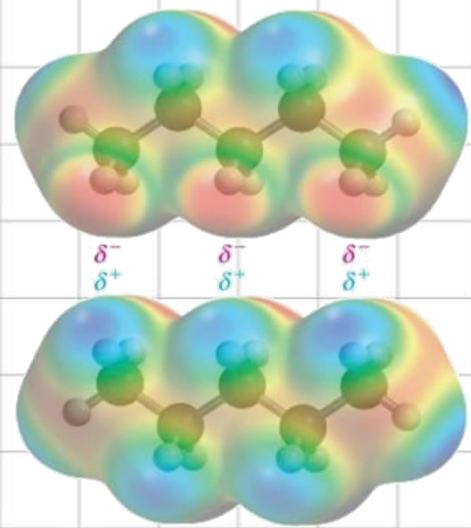
1° Hydrogen atoms

3° Hydrogen atom

2° Hydrogen atoms



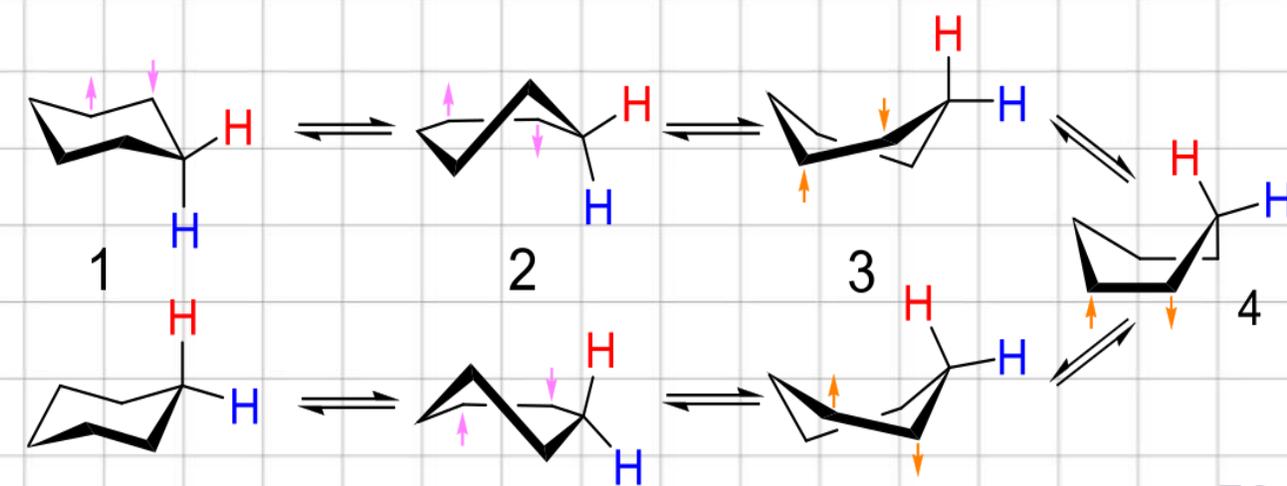
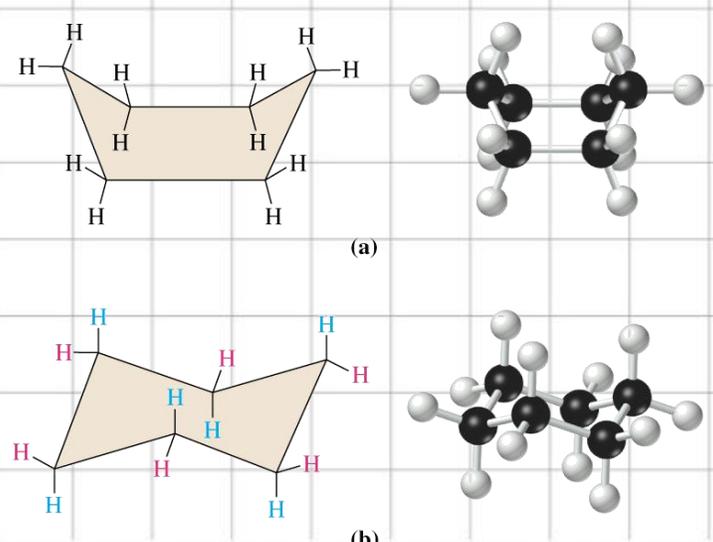
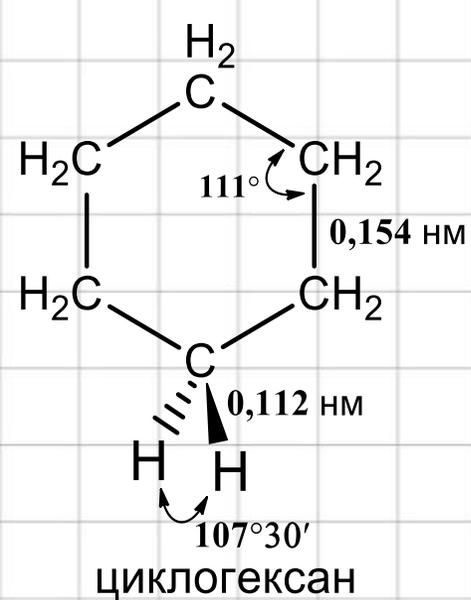
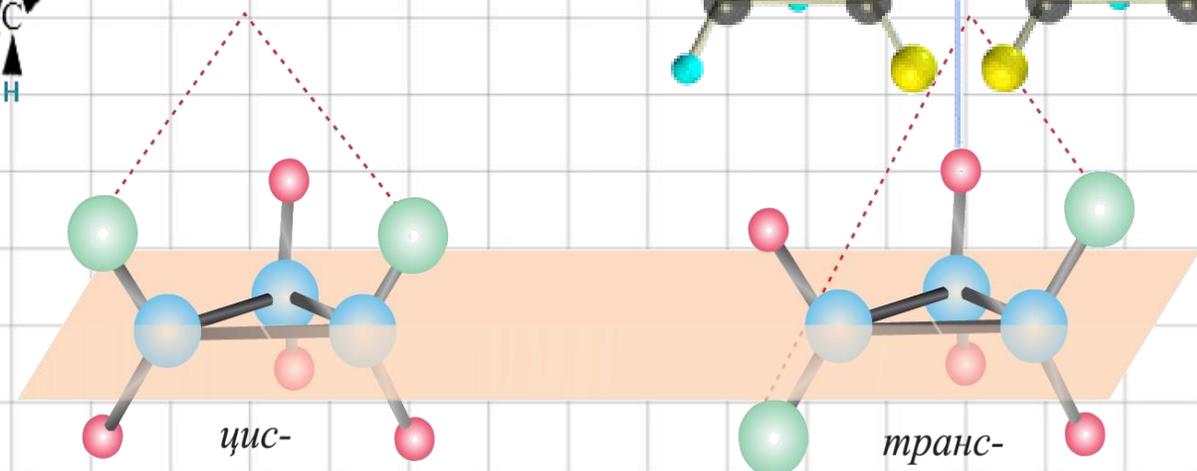
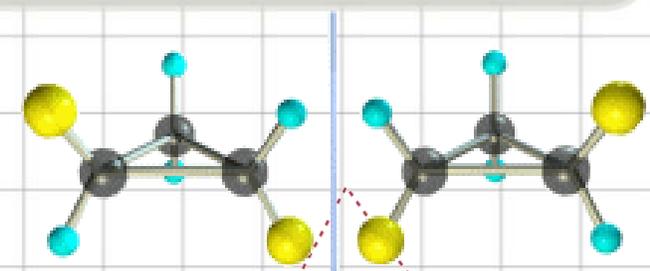
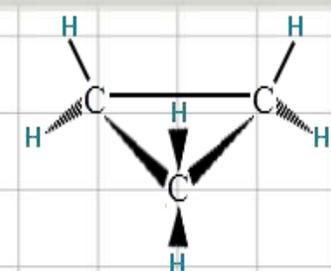
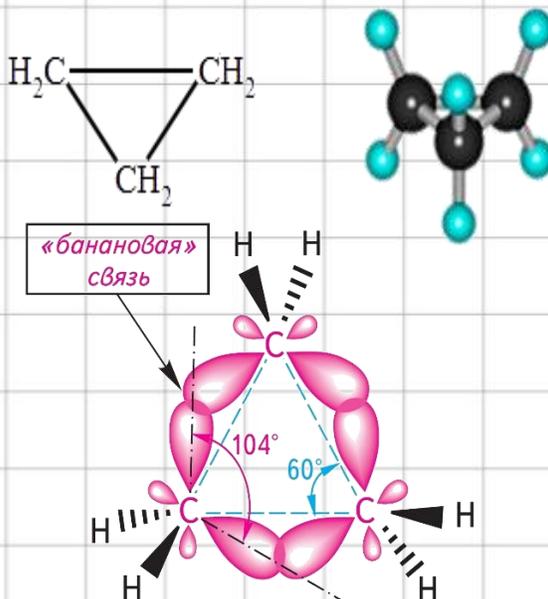
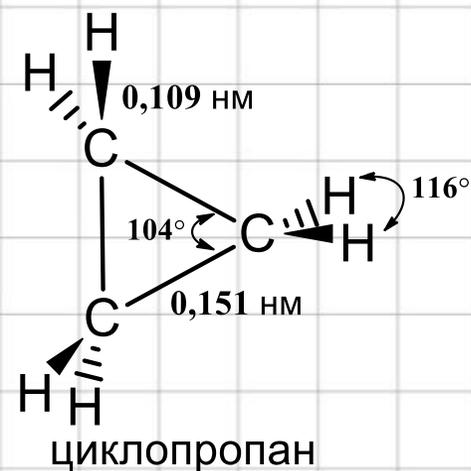
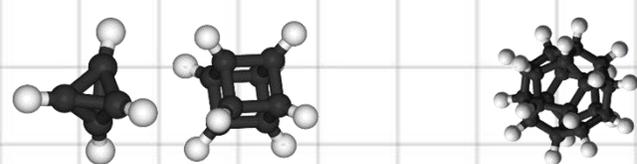
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛКАНОВ



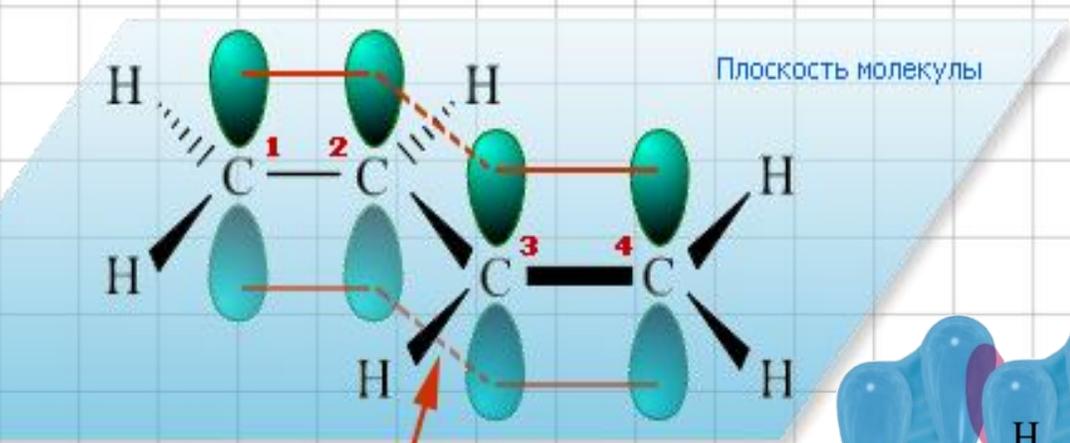
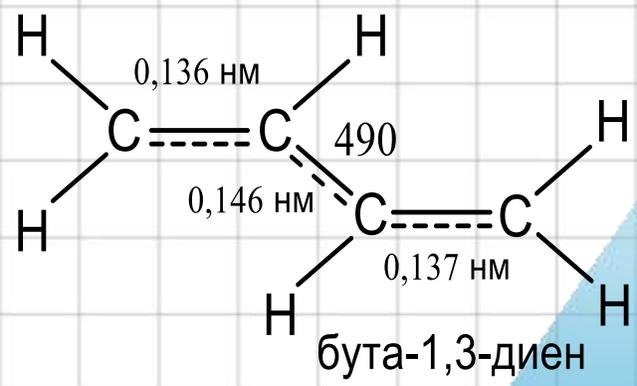
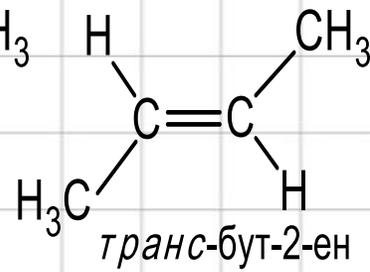
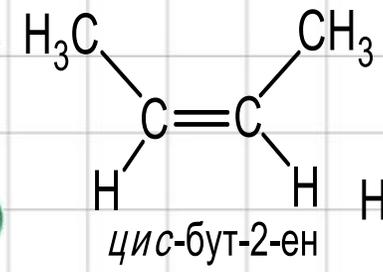
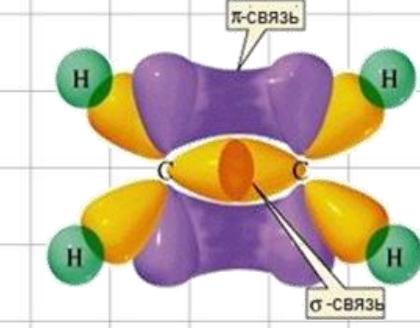
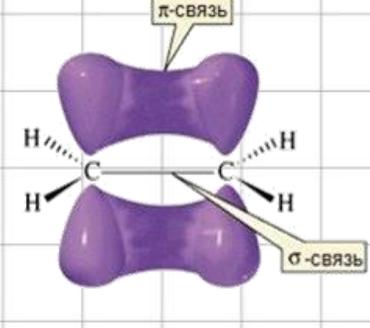
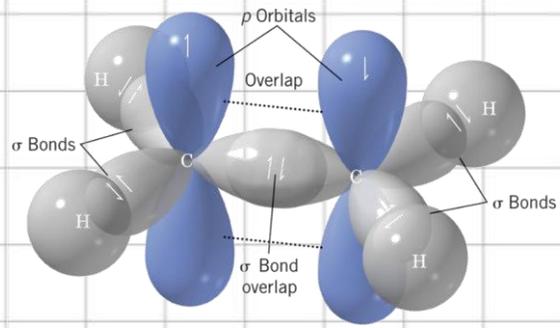
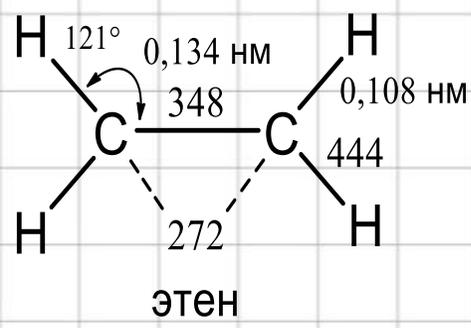
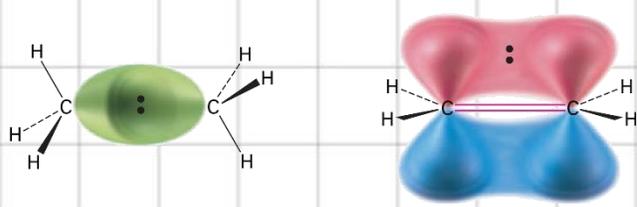
температуры кипения и плавления алканов возрастают с ростом молярной массы, причём межмолекулярное взаимодействие алканов с разветвлённой цепью слабее, следовательно, их температуры кипения ниже, чем у неразветвленных изомеров

Number of Carbon Atoms	IUPAC Name	Condensed Structural Formula	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Density (g/mL)	Bond-Line Formula	mp (°C)	bp (°C) ^a (1 atm)	Density (g mL ⁻¹) at 20°C
1	methane	CH ₄	-182.5	-164.0	0.55				
2	ethane	CH ₃ CH ₃	-183.2	-88.6	0.57		-95	68.7	0.6594
3	propane	CH ₃ CH ₂ CH ₃	-189.7	-42.1	0.58		-153.7	60.3	0.6532
4	butane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-133.4	-0.5	0.60		-118	63.3	0.6643
5	pentane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-129.7	36.1	0.63				
6	hexane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-95.3	68.9	0.66				
7	heptane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-90.6	98.4	0.68		-128.8	58	0.6616
8	octane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-56.8	125.7	0.70				
9	nonane	CH ₃ CH ₂ CH ₃	-53.5	150.8	0.72				
10	decane	CH ₃ CH ₂ CH ₃	-29.7	174.1	0.73		-98	49.7	0.6492

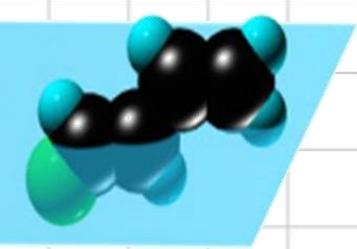
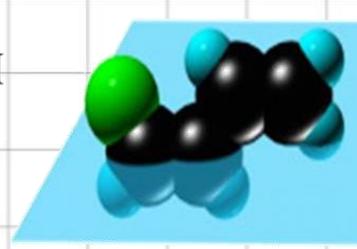
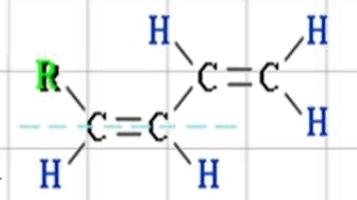
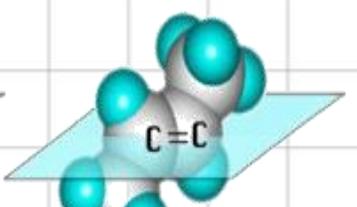
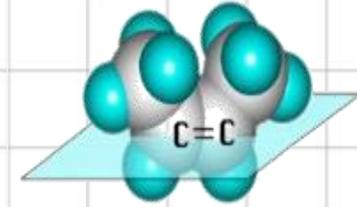
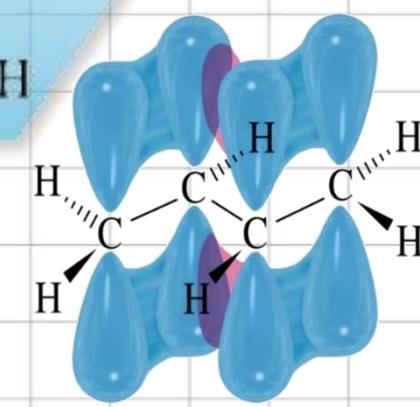
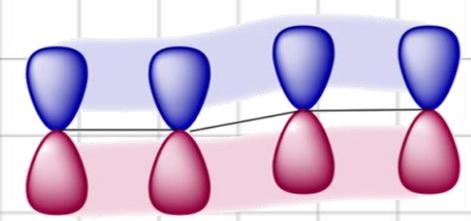
ЦИКЛОАЛКАНЫ



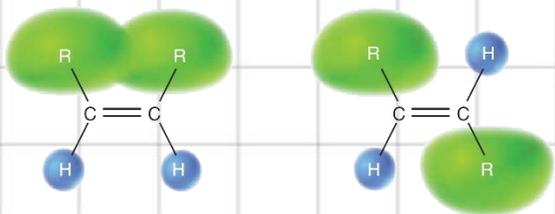
АЛКЕНЫ И АЛКАДИЕНЫ



цепь сопряжения



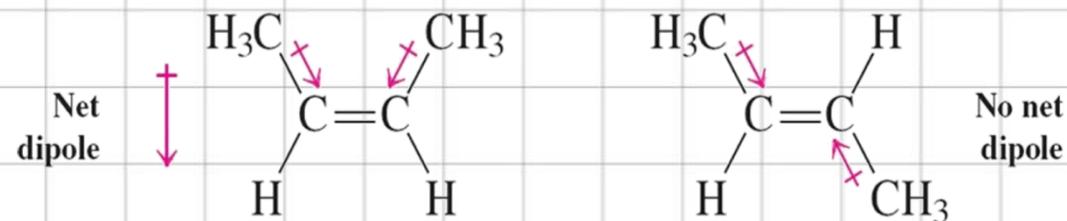
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗОМЕРОВ АЛКЕНОВ



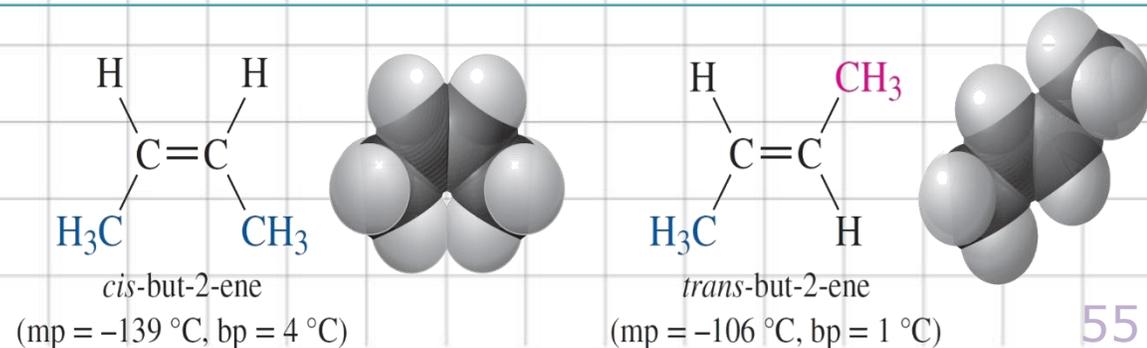
нерастворимы в воде, но хорошо растворяются в неполярных растворителях: циклогексан, бензол, эфир, хлороформ и др.;

плотность меньше плотности воды от 0,6 до 0,8 г·мл⁻¹ и с ростом молярной массы увеличивается; температуры кипения повышаются примерно на 20-30° С при увеличении цепи на один углерод;

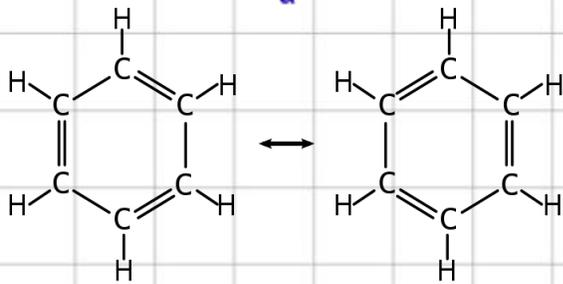
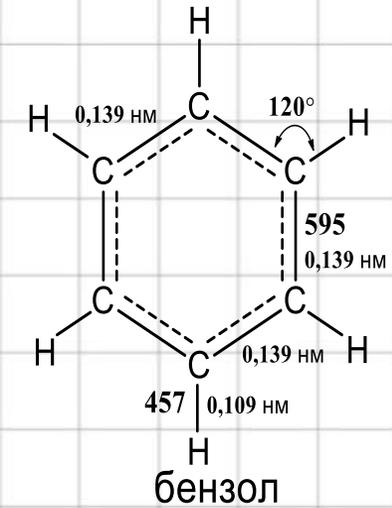
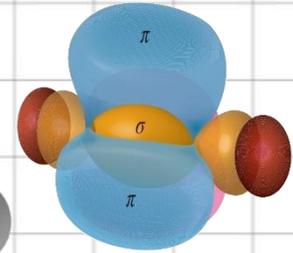
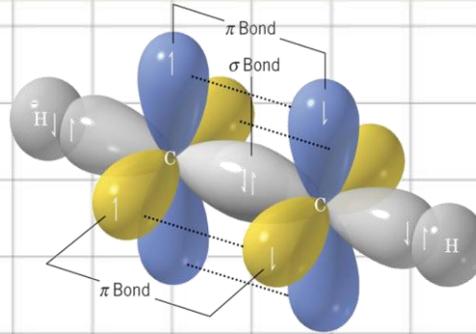
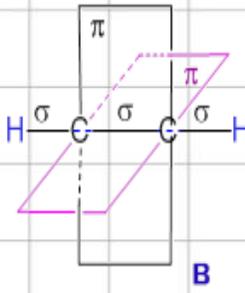
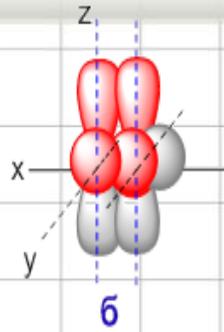
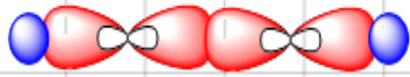
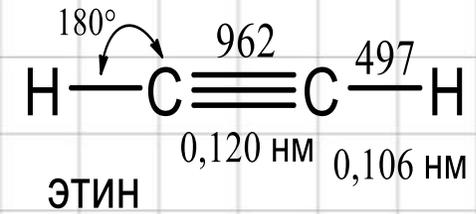
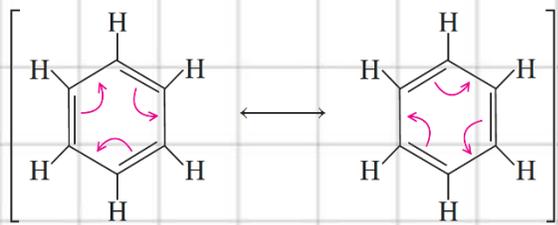
цис-изомеры кипят при более высокой температуре, чем транс-изомеры; перемещение двойной связи в центр молекулы вызывает повышение температуры плавления: транс-изомеры плавятся при более высокой температуре, чем цис-изомеры:



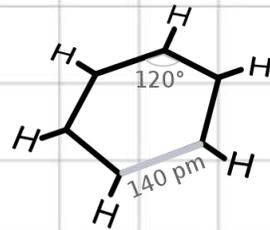
алкен	T _{пл} , Melting point, (° C)	T _к , Boiling point, (° C)	дипольный момент, μ (D)
бут-1-ен	-185,4	-6,3	0
метилпропен	-140,4	-7,0	0,5
цис-бут-2-ен	-138,9	+3,7	0,3
транс-бут-2-ен	-105,5	+0,9	0



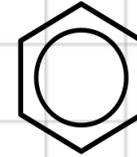
АЛКИНЫ И АРЕНЫ



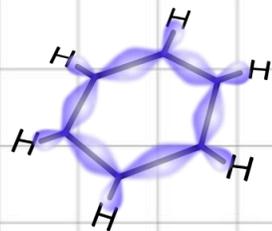
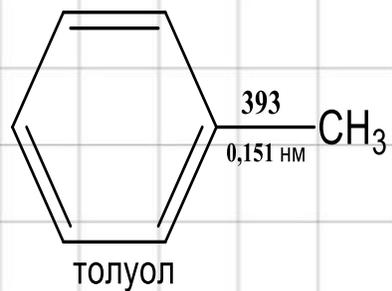
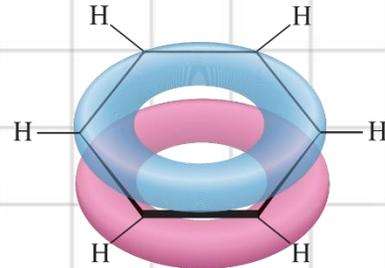
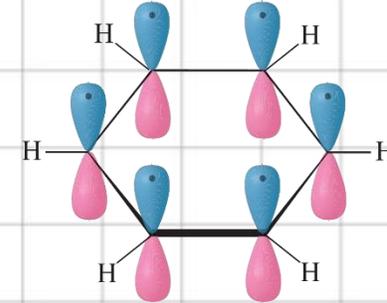
Бензол
Кекulé-Структурформел
(Mesomerie)



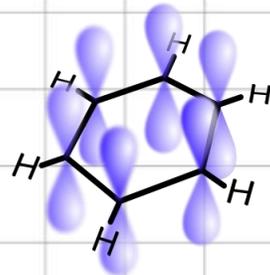
Бензол
планарес Hexagon
Kantenlänge 140 pm



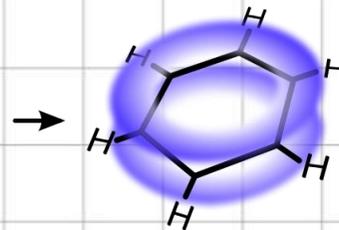
Бензол
Darstellung der
Aromatizität



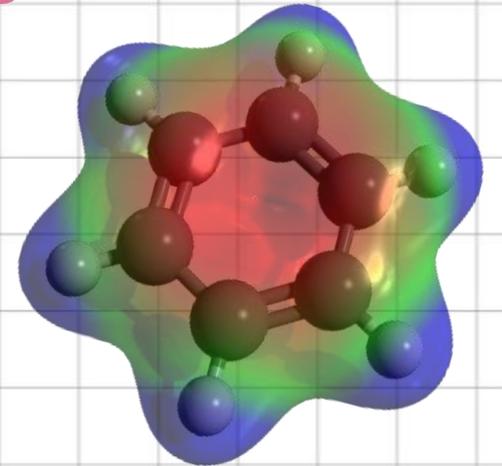
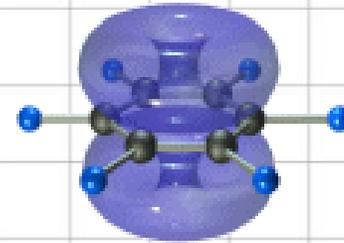
Бензол
 σ -Биндунген сит hybridisierten sp^2 -Orbitalen



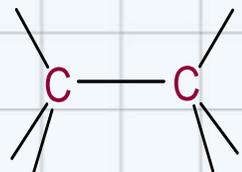
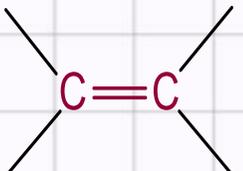
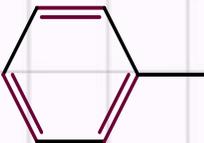
Бензол
6 p_z -Orbitale



Бензол
delokalisierte
 π -Orbitalwolke

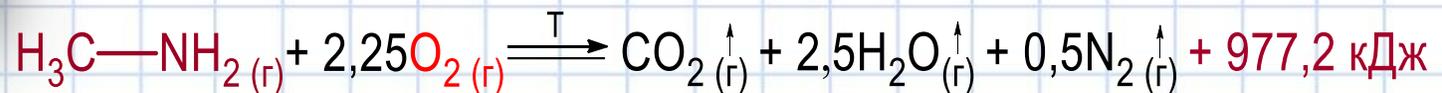
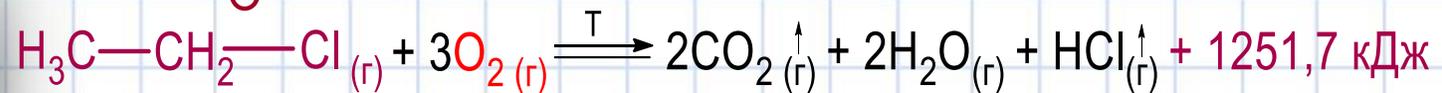
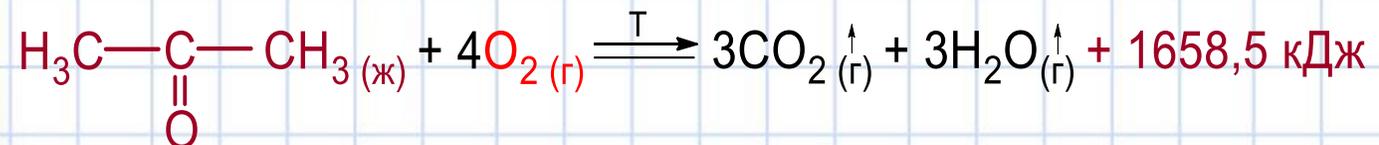
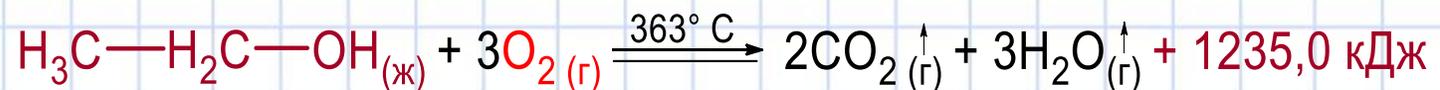
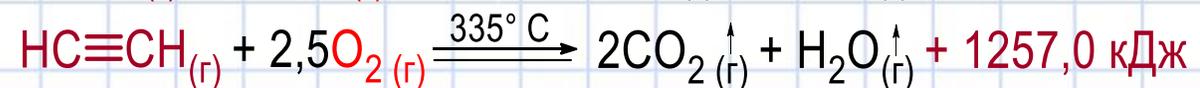
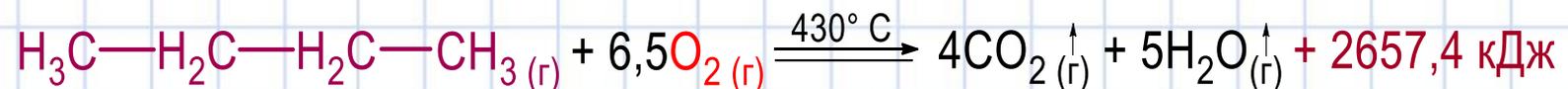
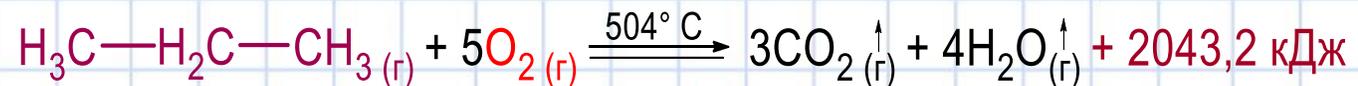
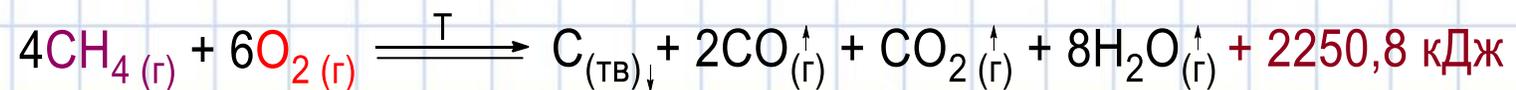
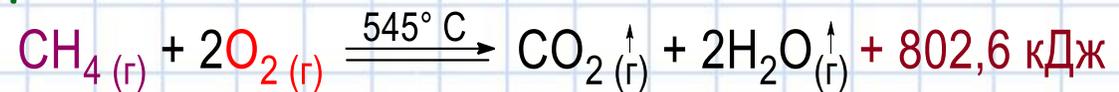


УГЛЕВОДОРОДЫ

тип гибридизации	χ	связи	типы реакций	условия
АЛКАНЫ sp^3 	2,5	одинарные σ -связи $E \approx 348 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$	замещение, крекинг	жёсткие: $h\nu$, эл. ток, T
АЛКЕНЫ sp^2 	2,8	двойная σ -связь и π -связь $E \approx 620 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$	присоединение	полярный растворитель
АЛКИНЫ sp 	3,2	тройная σ -связь и две π -связи $E \approx 810 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$	присоединение, замещение концевого водорода	полярный растворитель
АРЕНЫ, БЕНЗОЛ sp^2 		σ -связи и π -электронное кольцо, кратность 1,5 $E \approx 490 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$	присоединение замещение в кольцо	жёсткие: $h\nu$, T катализатор: $AlCl_3$; $FeCl_3$; $AlBr_3$

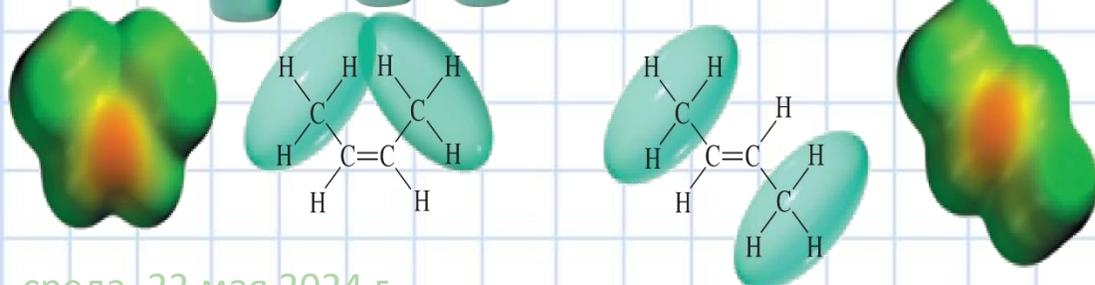
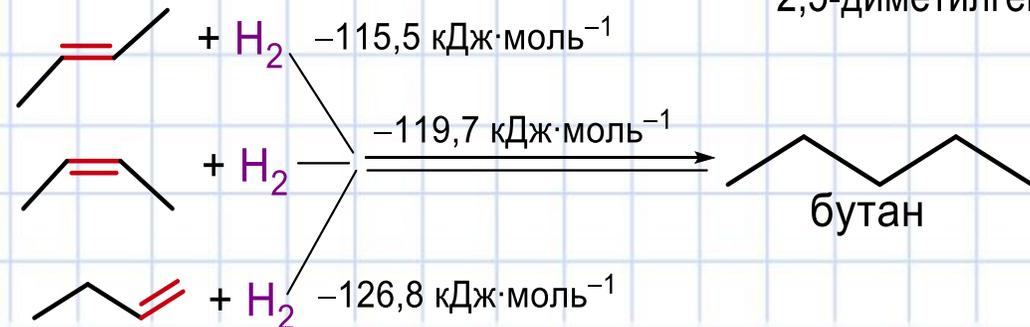
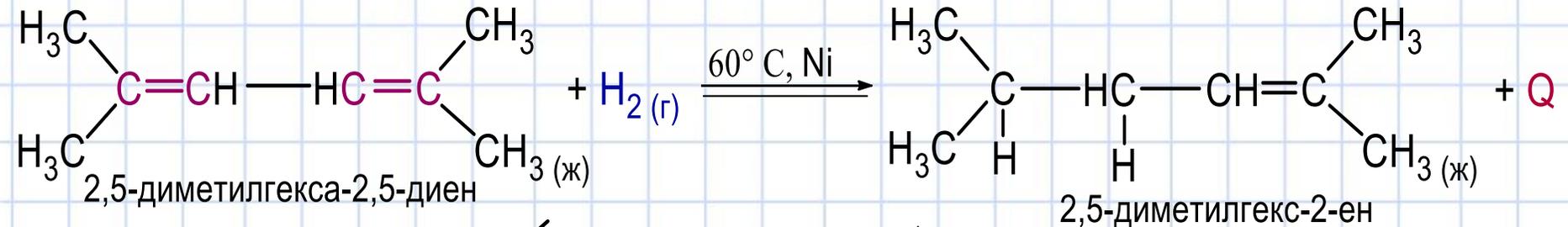
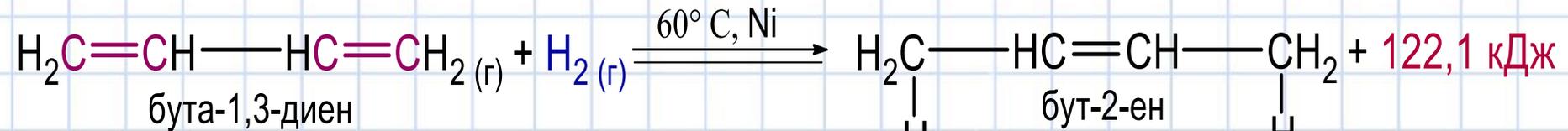
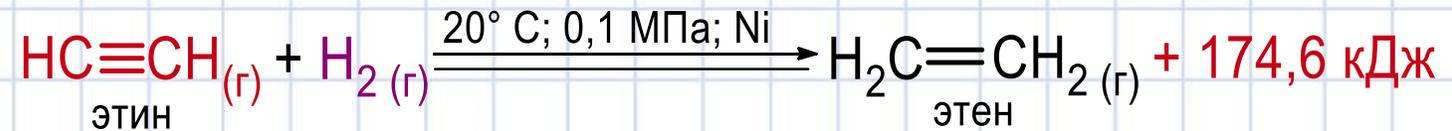
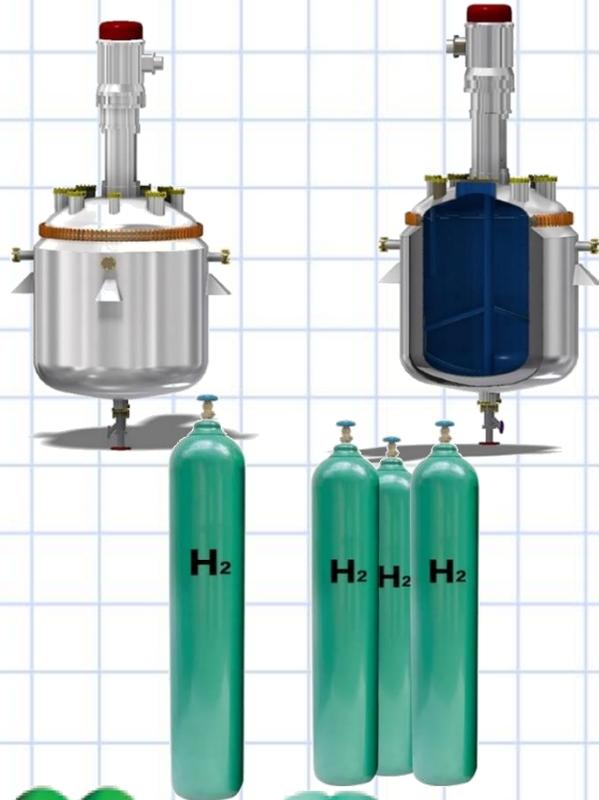
ГОРЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

подавляющее большинство органических соединений способны гореть:



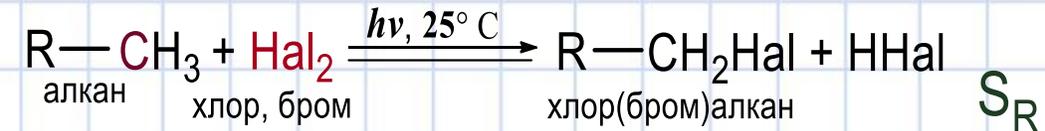
ГИДРИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

радикальное присоединение водорода, от английского *addition radical reaction* (A_R):



ГАЛОГЕНИРОВАНИЕ АЛКАНОВ

взаимодействие алканов с галогенами:

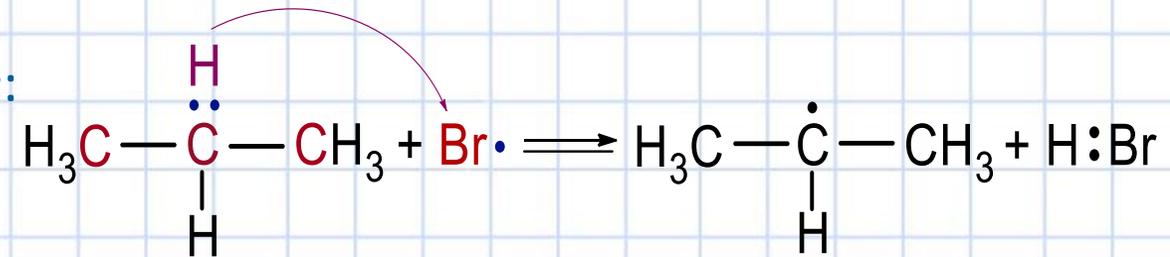
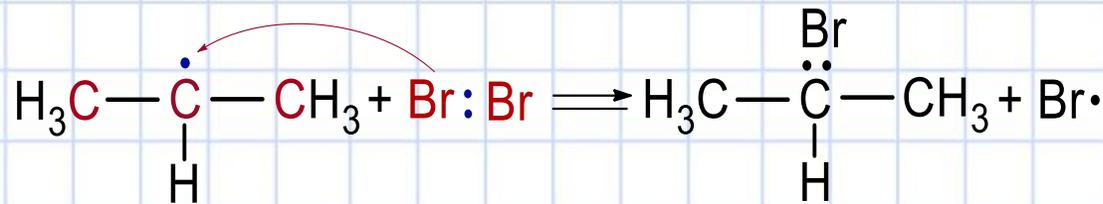


механизм радикального замещения, от английского *substitution radical reaction* (S_R):

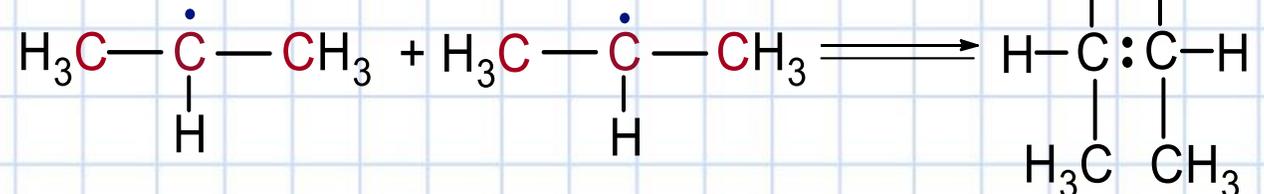
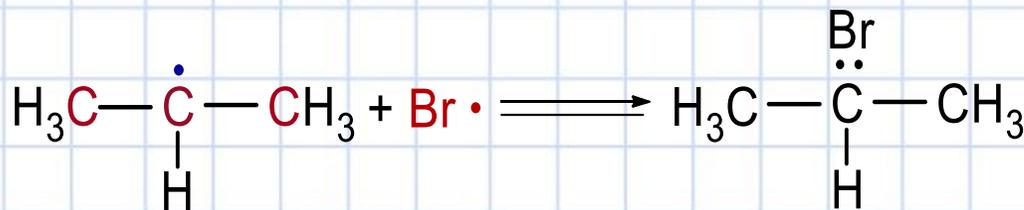
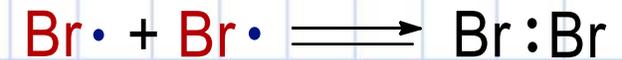
1) инициирование цепи, образование радикалов:



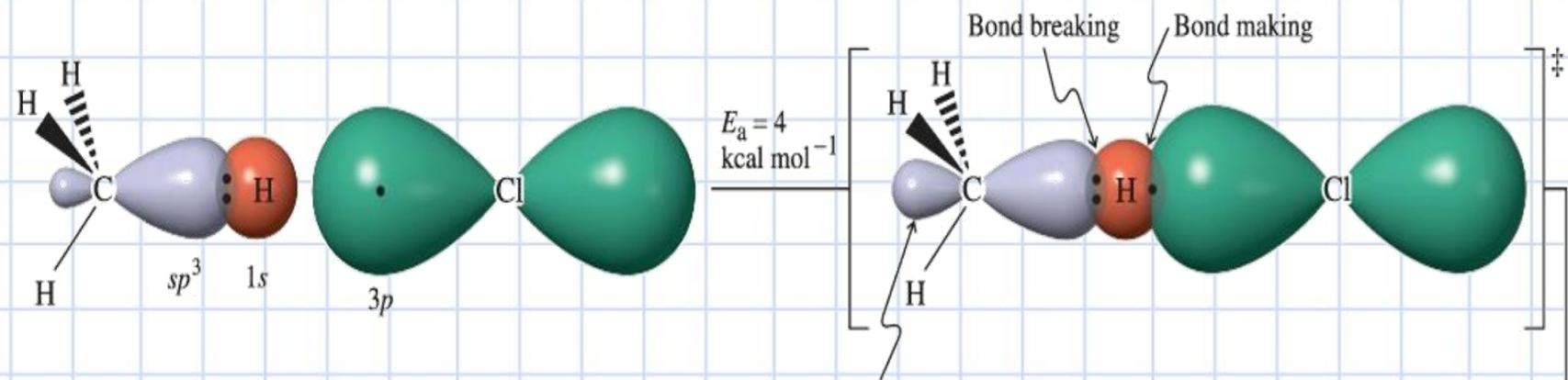
2) рост цепи, цепное увеличение числа радикалов:



3) обрыв цепи, образование основного и побочного продуктов:



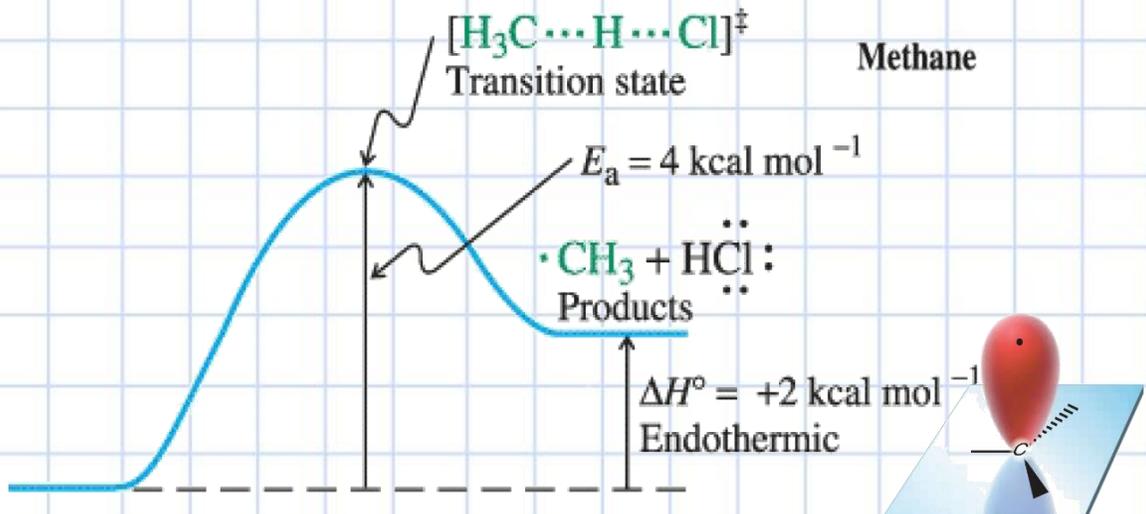
РОСТ ЦЕПИ РАДИКАЛОВ



Methane

Chlorine atom

Transition state

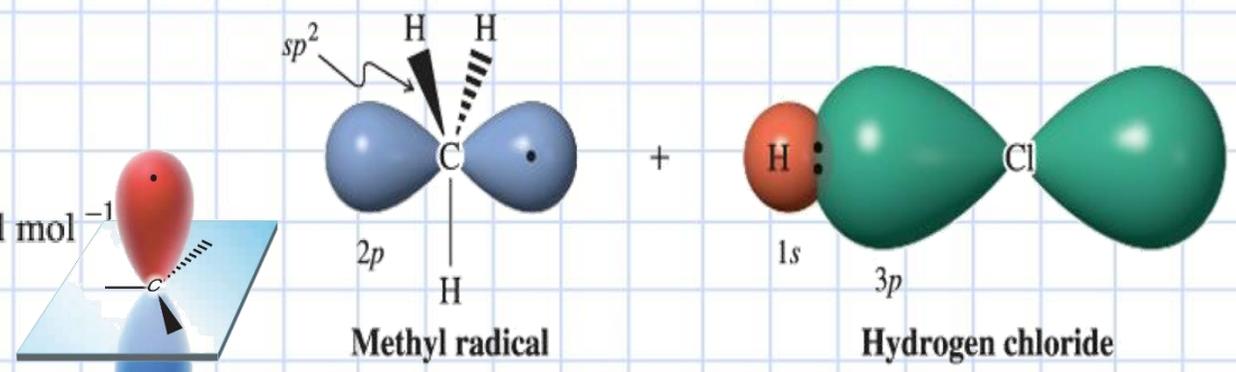


$\text{CH}_4 + \cdot\text{Cl}$
Starting molecules

$[\text{H}_3\text{C}\cdots\text{H}\cdots\text{Cl}]^\ddagger$
Transition state

$E_a = 4 \text{ kcal mol}^{-1}$
 $\cdot\text{CH}_3 + \text{HCl}$
Products

$\Delta H^\circ = +2 \text{ kcal mol}^{-1}$
Endothermic

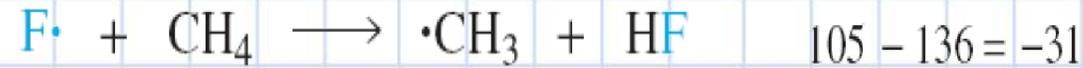


Methyl radical

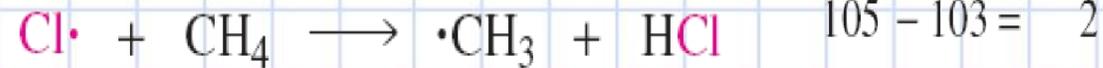
Hydrogen chloride

Growing back lobe of the sp^3 hybrid orbital as it rehybridizes to p

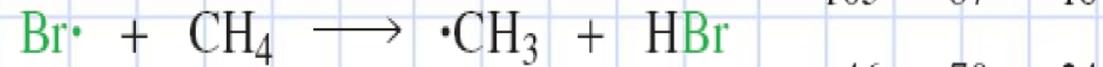
РОСТ ЦЕПИ РАДИКАЛОВ



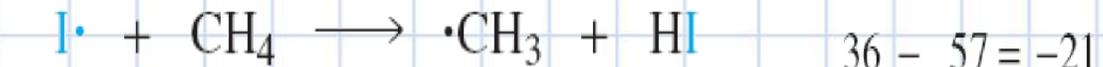
$$\Delta H^\circ = -101 \text{ kcal/mol (or } -423 \text{ kJ/mol)}$$



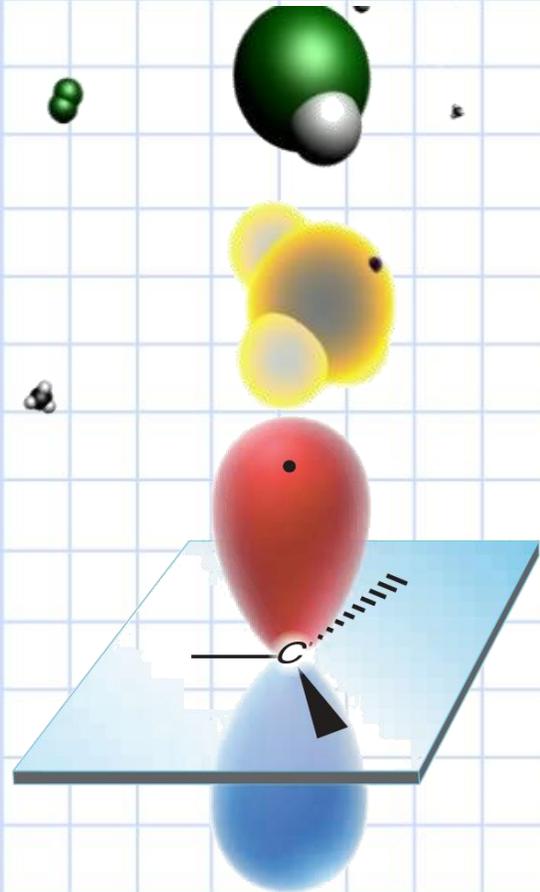
$$\Delta H^\circ = -24 \text{ kcal/mol (or } -100 \text{ kJ/mol)}$$



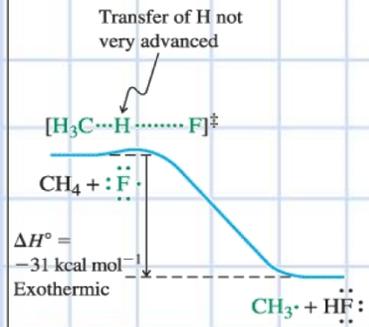
$$\Delta H^\circ = -6 \text{ kcal/mol (or } -25 \text{ kJ/mol)}$$



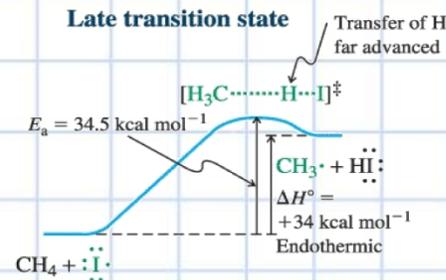
$$\Delta H^\circ = 13 \text{ kcal/mol (or } 54 \text{ kJ/mol)}$$



Early transition state



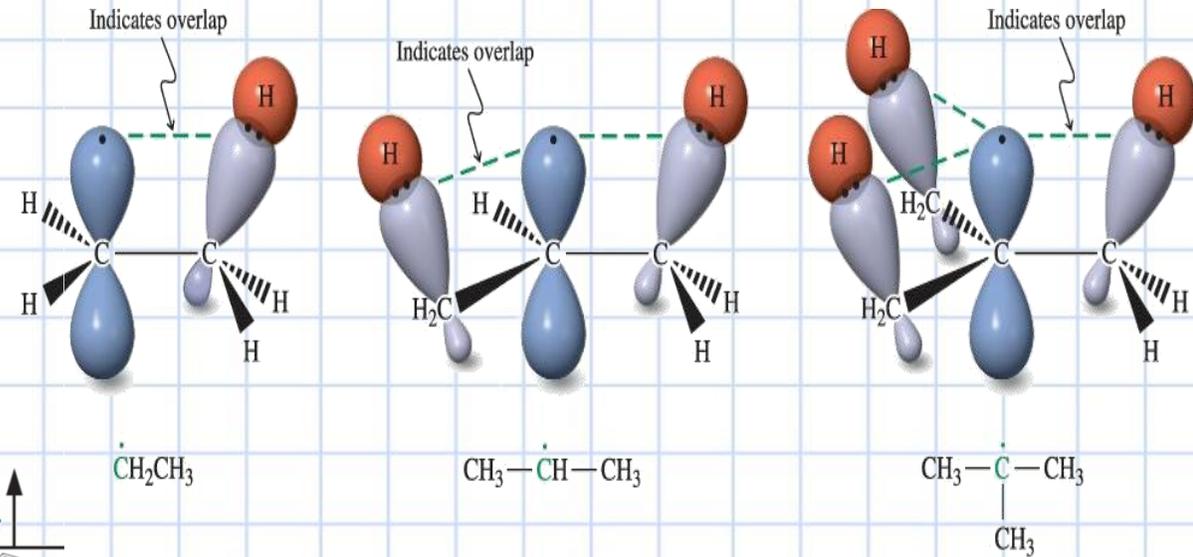
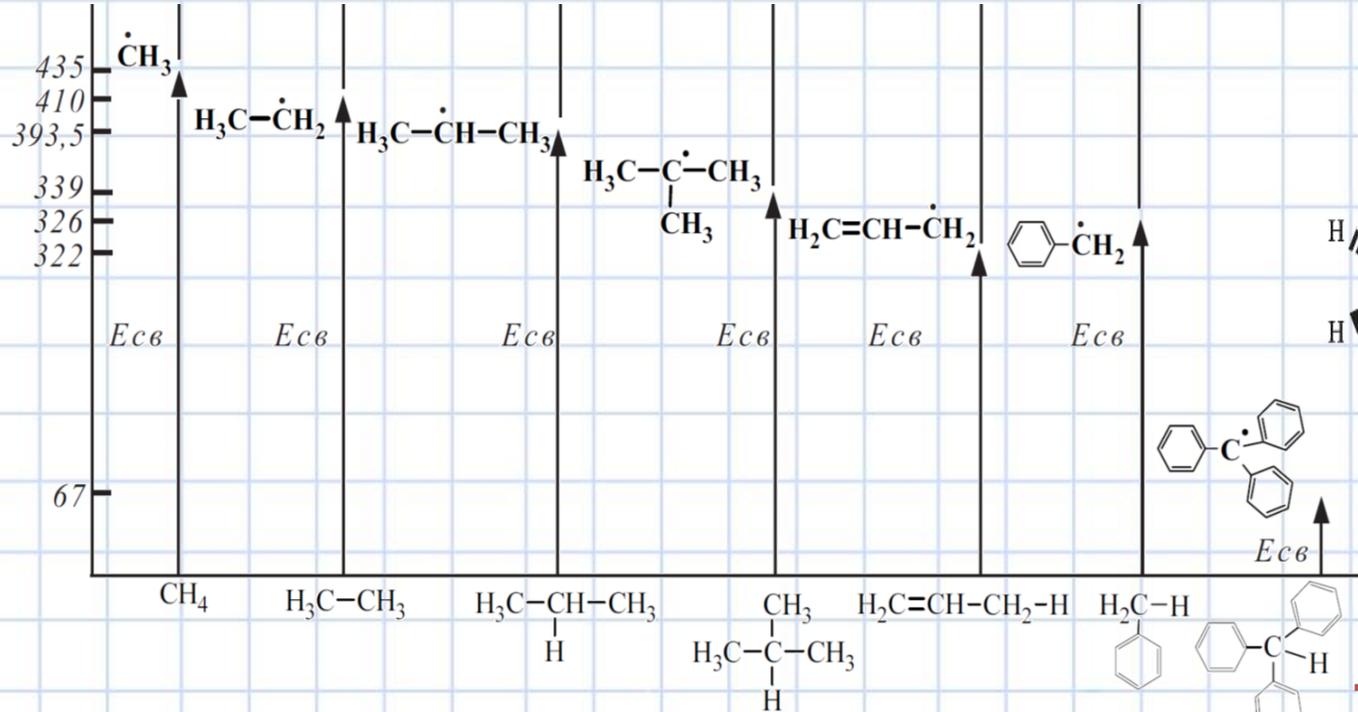
Late transition state



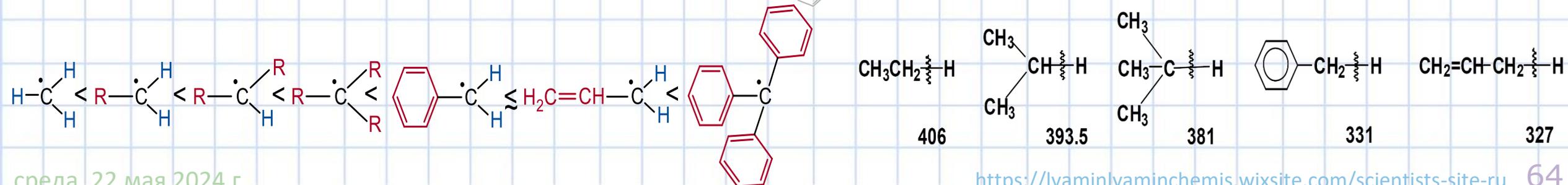
РЕГИОСЕЛЕКТИВНОСТЬ ГАЛОГЕНИРОВАНИЯ АЛКАНОВ

региоселективность, от латинского *regio* – направление и *selectio* – выбор, отбор — предпочтительное прохождение химической реакции по одному из нескольких реакционных центров субстрата

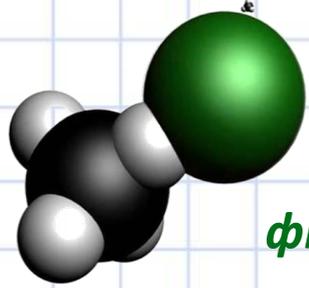
E



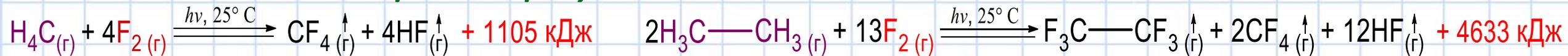
Преимущественное направление радикальной атаки



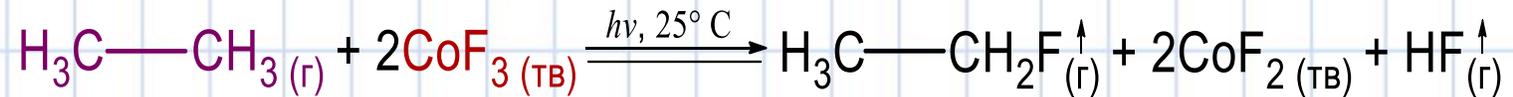
ГАЛОГЕНИРОВАНИЕ АЛКАНОВ



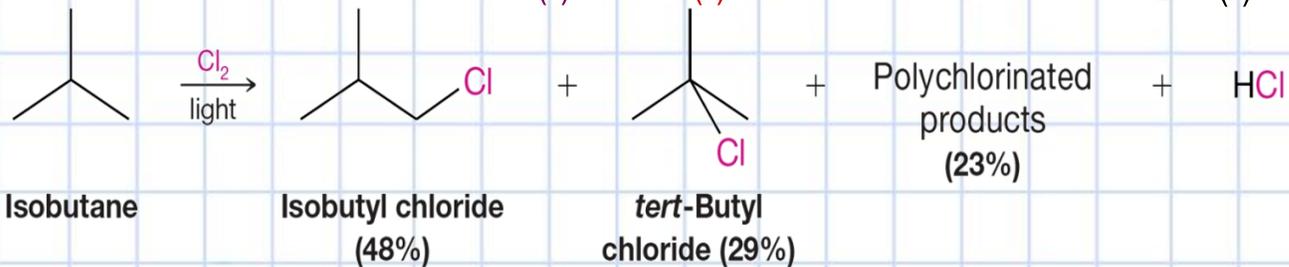
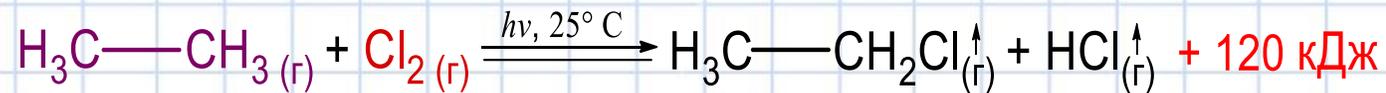
фторирование алканов сопровождается выделением большого количества тепла; при этом способны к разрыву углерод-углеродные связи и образуется смесь разных продуктов:



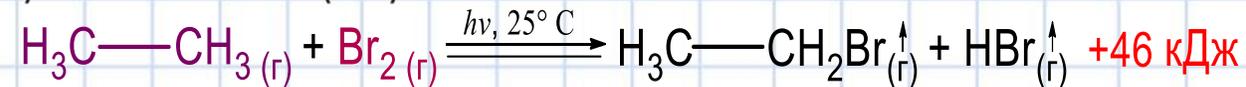
провести избирательное фторирование можно только с помощью фторсодержащих реагентов, например, CoF_3 :



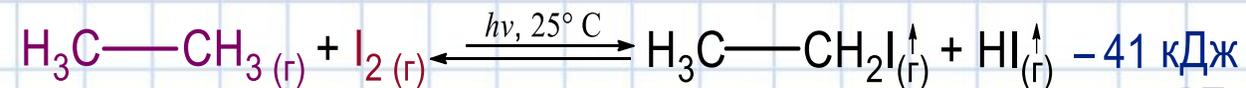
хлорирование менее энергичный процесс, но избирательность низкая:

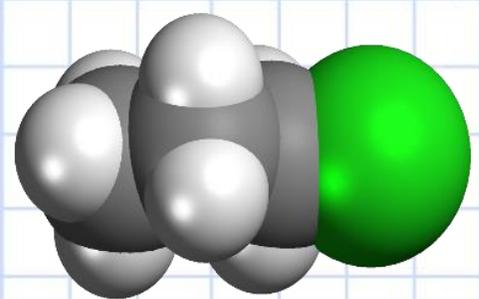


бромирование алканов проходит избирательно:



при иодировании равновесие сдвинуто в обратную сторону, следовательно, выход продукта ничтожно мал:

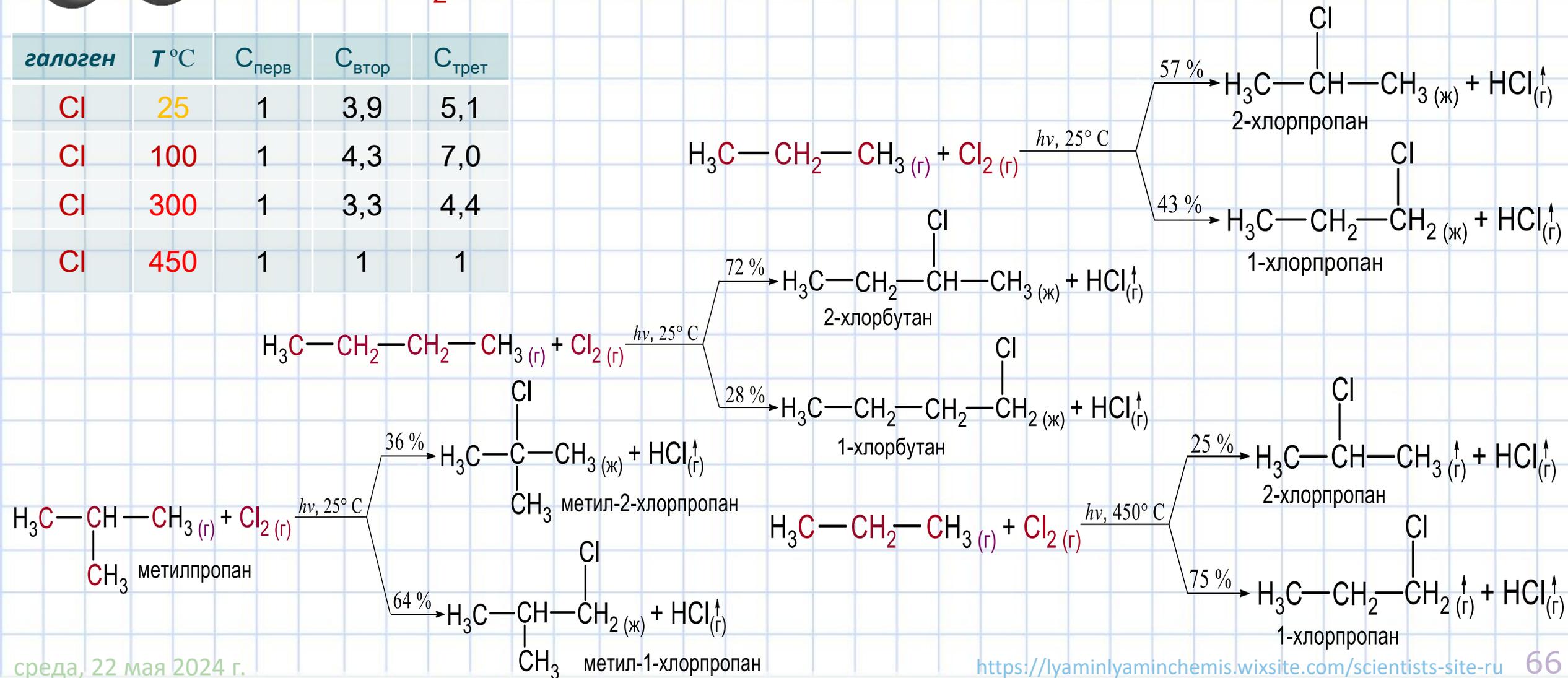




ХЛОРИРОВАНИЕ АЛКАНОВ

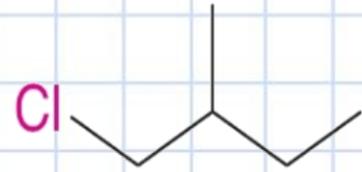
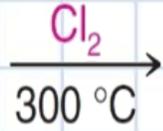
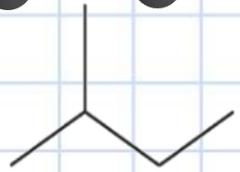
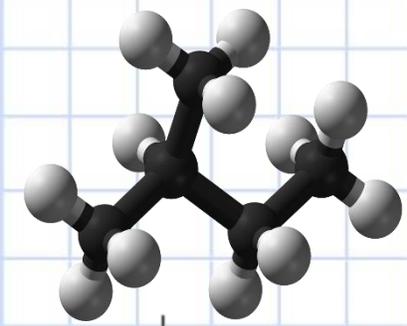
Cl_2 — большая реакционная способность, низкая региоселективность:

галоген	$T^\circ\text{C}$	$C_{\text{перв}}$	$C_{\text{втор}}$	$C_{\text{трет}}$
Cl	25	1	3,9	5,1
Cl	100	1	4,3	7,0
Cl	300	1	3,3	4,4
Cl	450	1	1	1

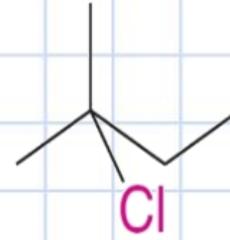


ХЛОРИРОВАНИЕ МЕТИЛБУТАНА

механизм радикального замещения (S_R):



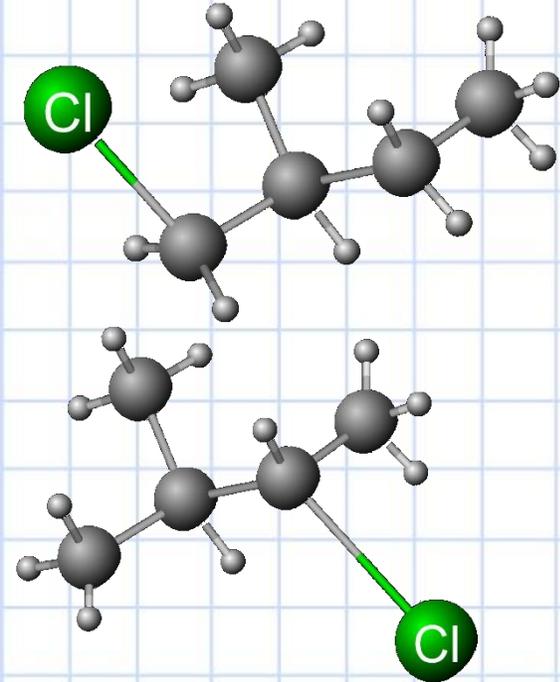
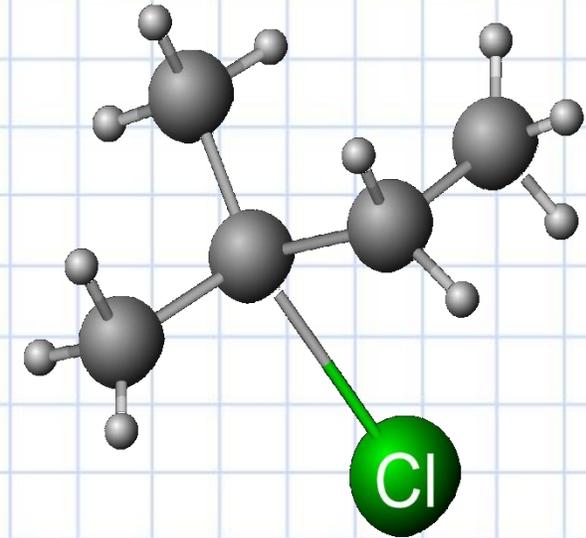
+



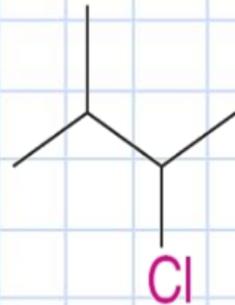
2-Methylbutane

1-Chloro-2-methylbutane
(30%)

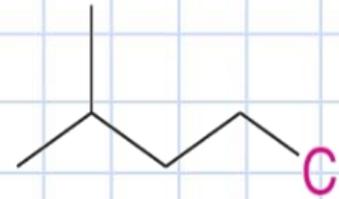
2-Chloro-2-methylbutane
(22%)



+

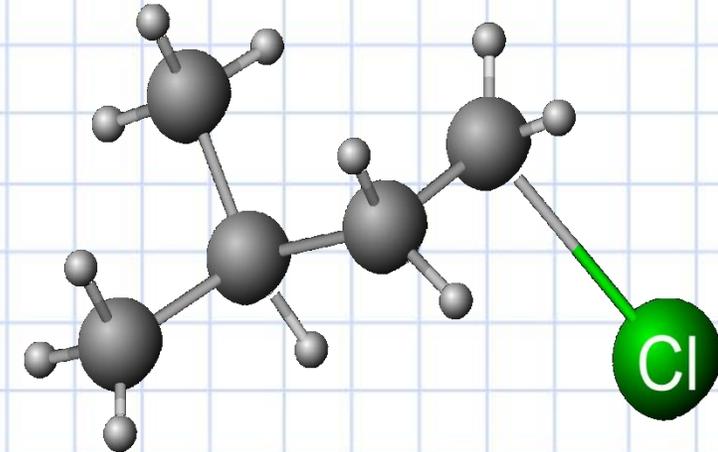


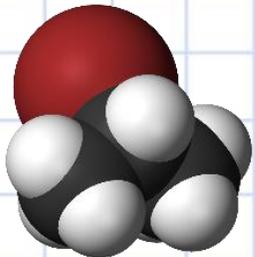
+



2-Chloro-3-methylbutane
(33%)

1-Chloro-3-methylbutane
(15%)

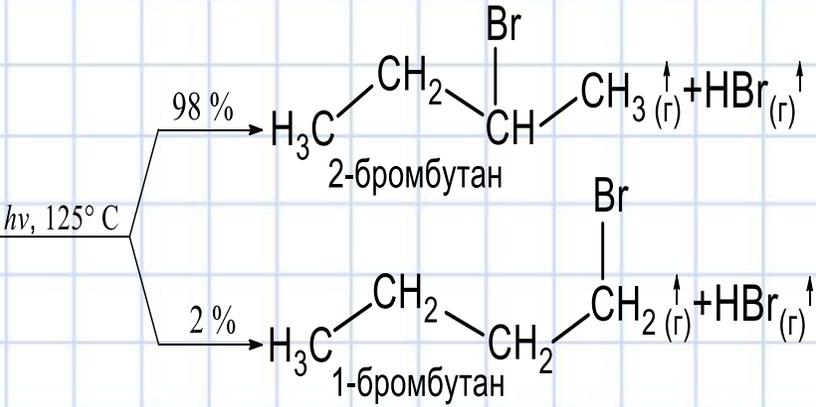
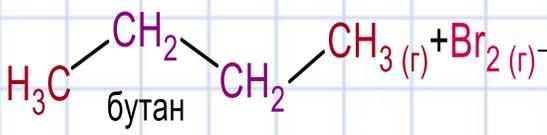
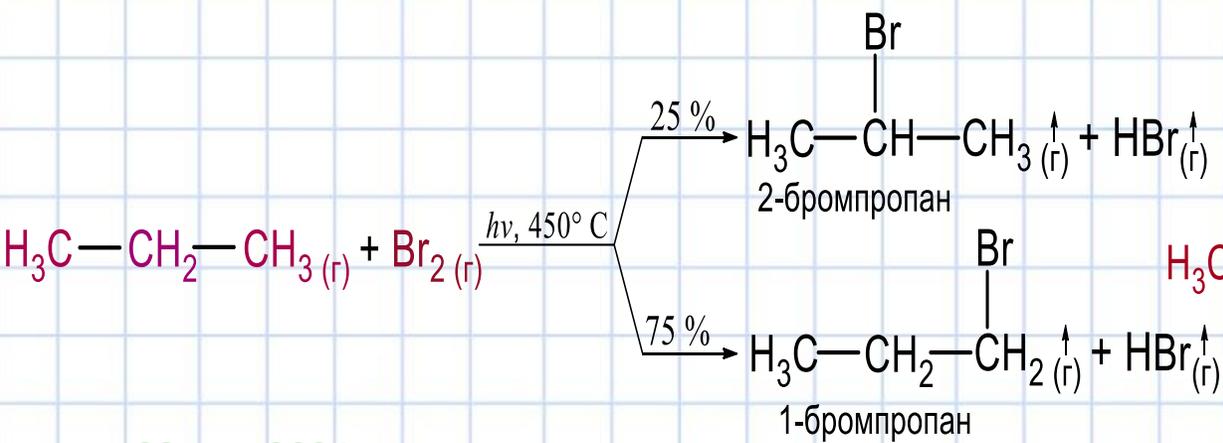
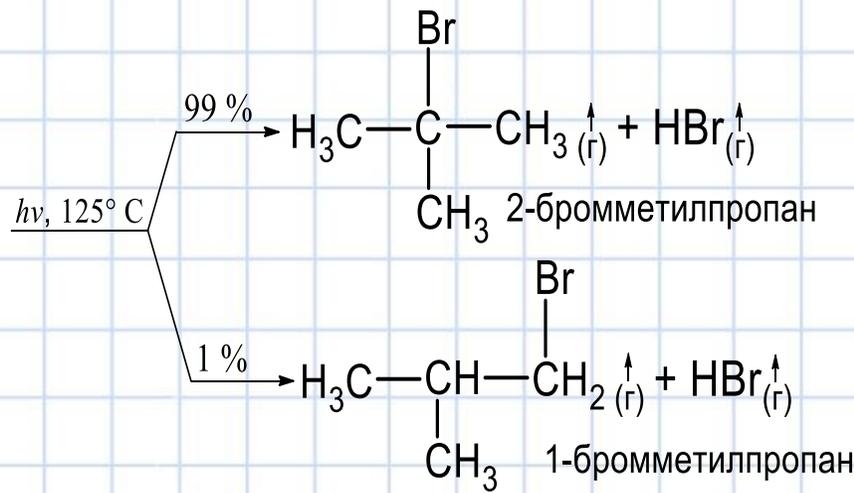
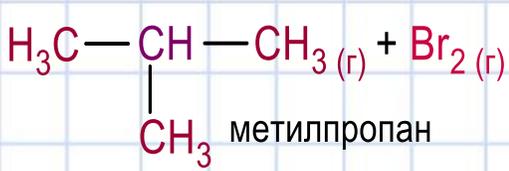
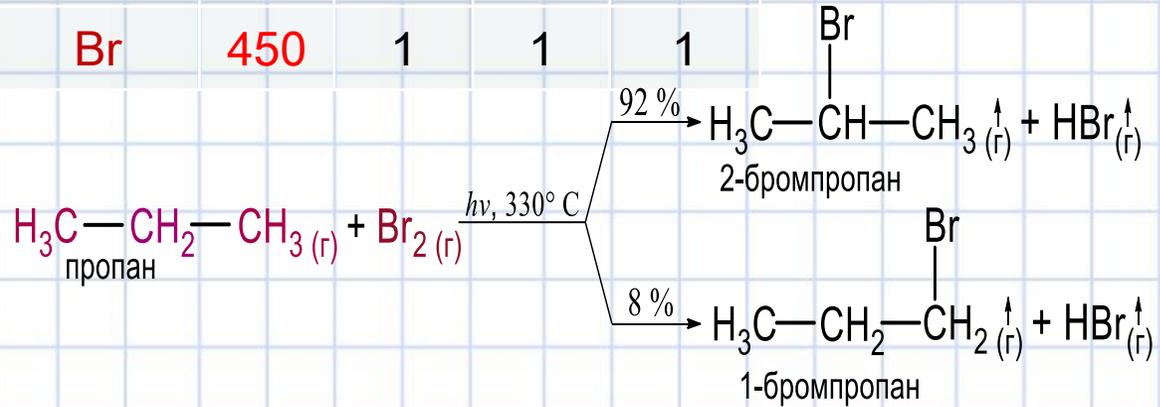




БРОМИРОВАНИЕ АЛКАНОВ

Br₂ — средняя реакционная способность, высокая региоселективность:

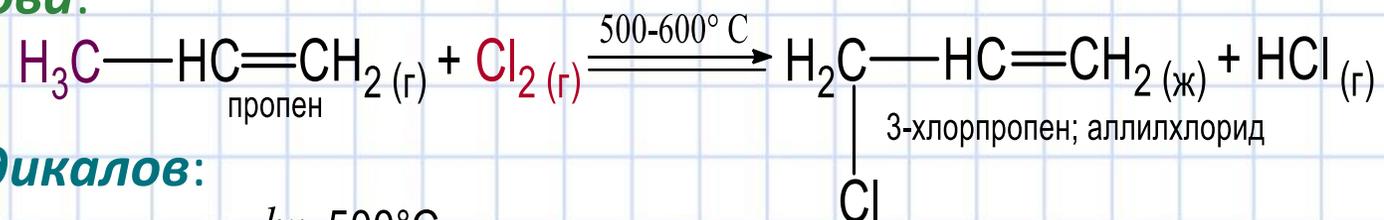
галоген	T °C	C _{перв}	C _{втор}	C _{трет}
Br	125	1	82	1600
Br	450	1	1	1



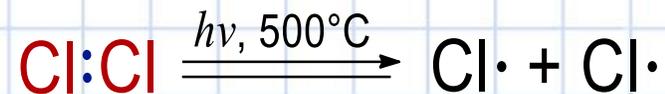


РАДИКАЛЬНОЕ ГАЛОГЕНИРОВАНИЕ АЛКЕНОВ

аллильное замещение (S_R): благодаря сверхсопряжению (σ , π -сопряжение) водороды, расположенные у 3-углерода по отношению к двойной связи, подвижны и способны вступать в реакции радикального замещения (S_R), которые идут значительно легче, чем у соответствующих алканов, **реакция Львова:**

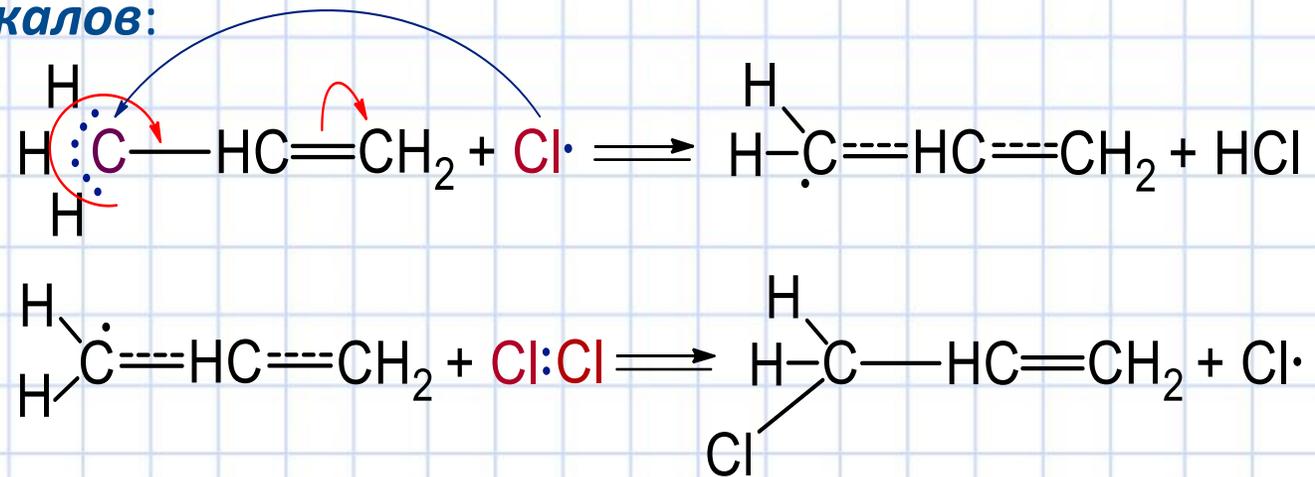
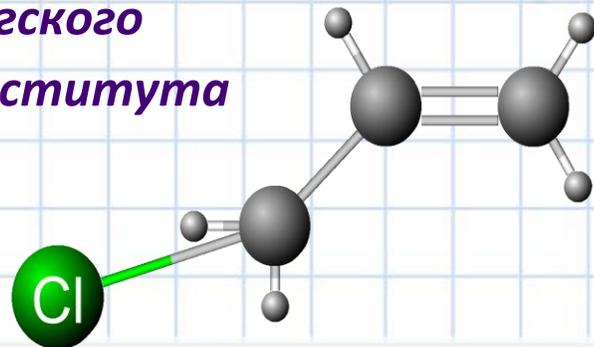


1) инициирование цепи, образование радикалов:



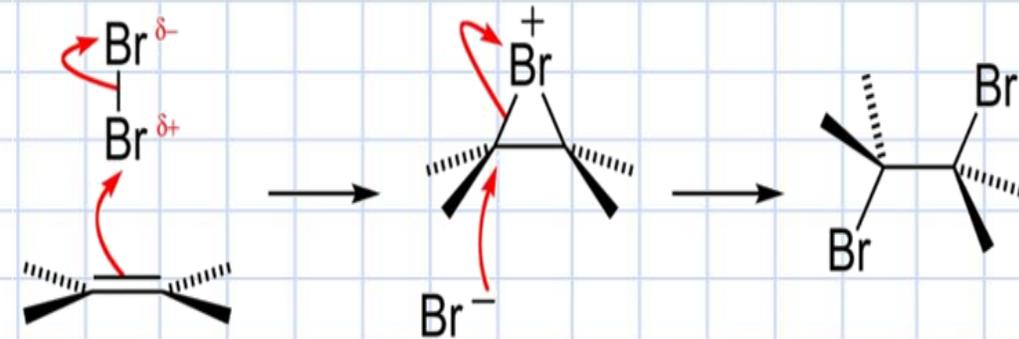
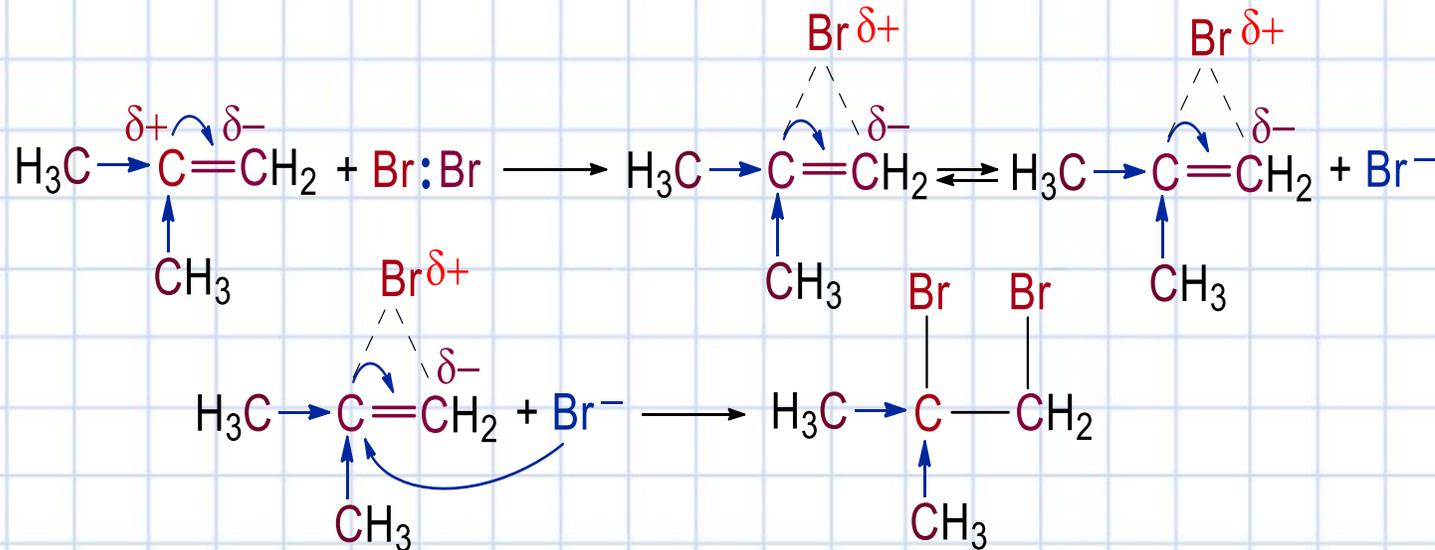
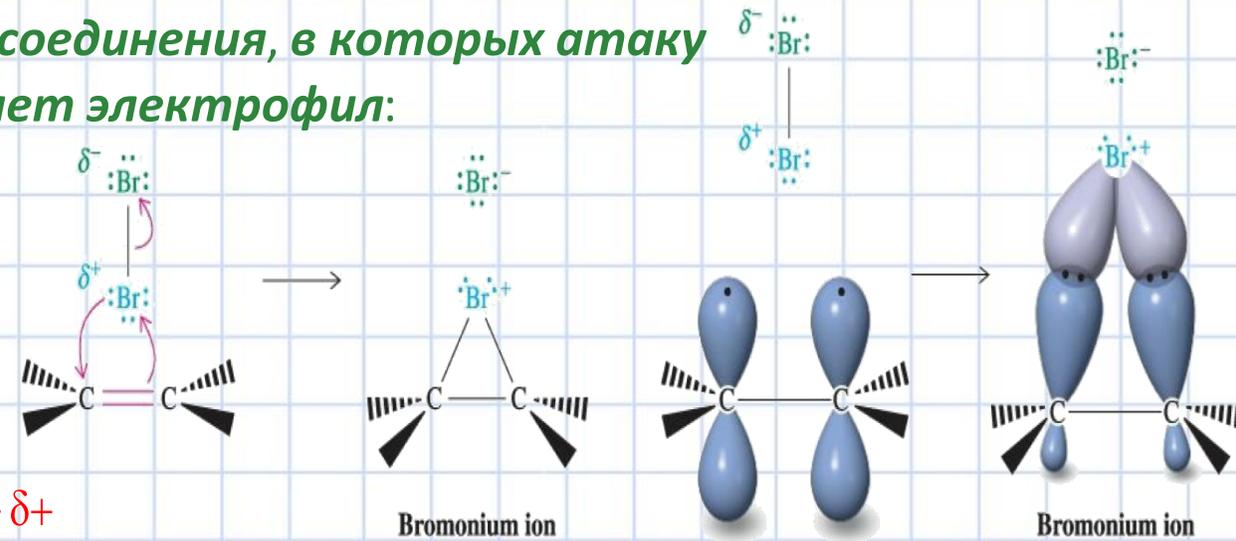
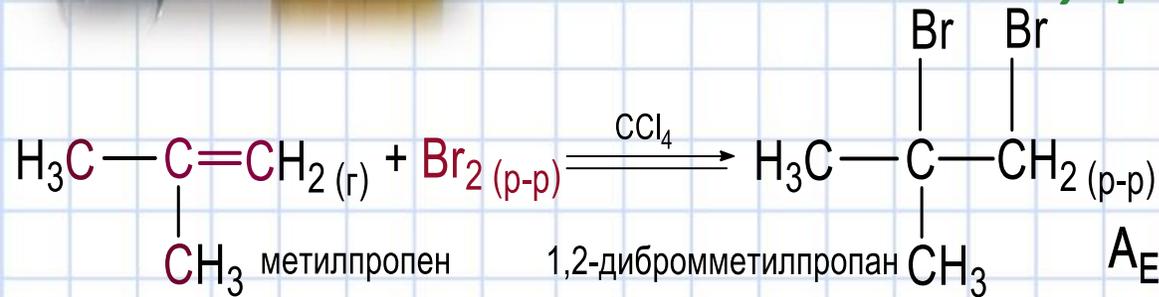
2) рост цепи, цепное увеличение числа радикалов:

Михаил Дмитриевич Львов
 российский химик-органик,
 профессор Петербургского
 технологического института



ПРИСОЕДИНЕНИЕ ГАЛОГЕНОВ К АЛКЕНАМ

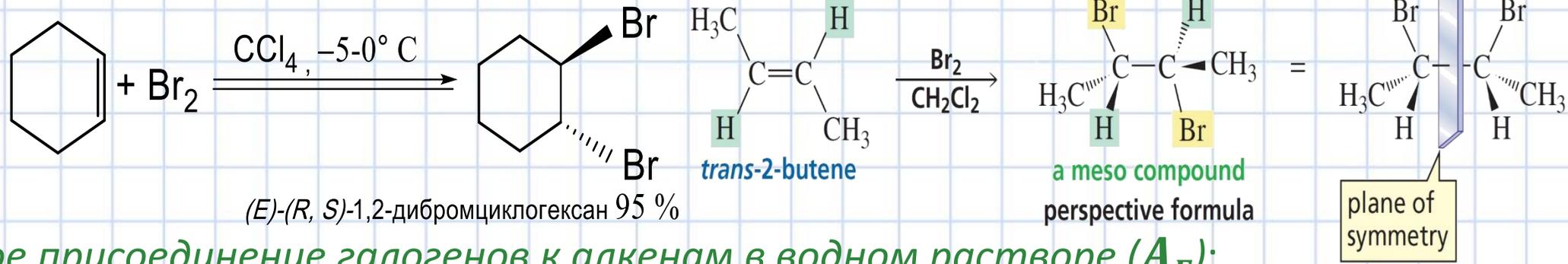
электрофильное присоединение галогенов к алкенам от английского *addition electrophilic reaction (A_E)* реакции присоединения, в которых атаку на начальной стадии осуществляет электрофил:



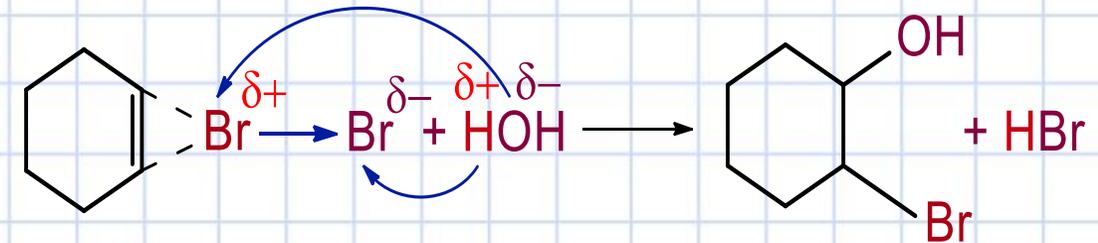
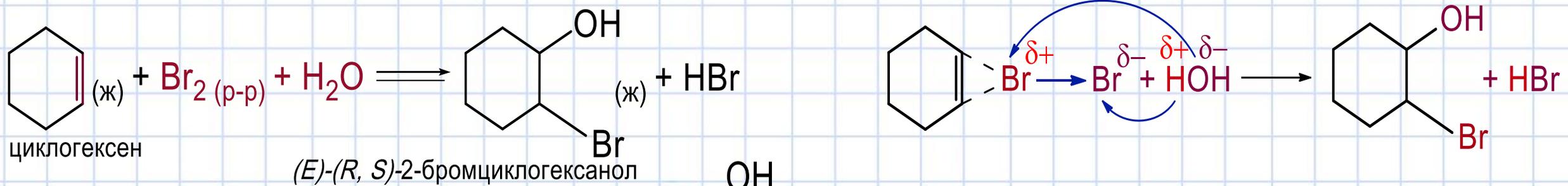
ПРИСОЕДИНЕНИЕ ГАЛОГЕНОВ К УГЛЕВОДОРОДАМ



электрофильное присоединение галогенов в неполярном растворителе (A_E):

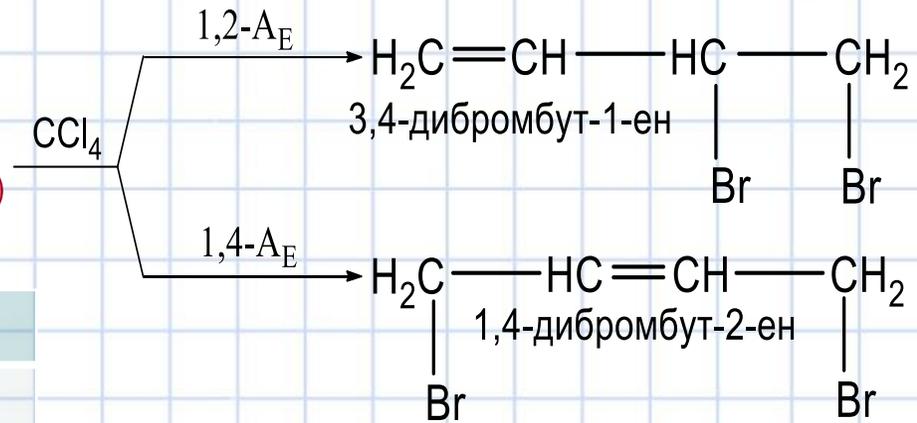
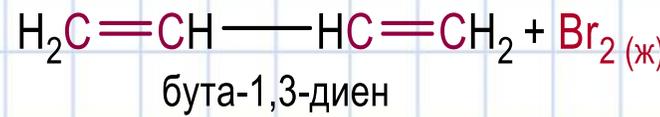
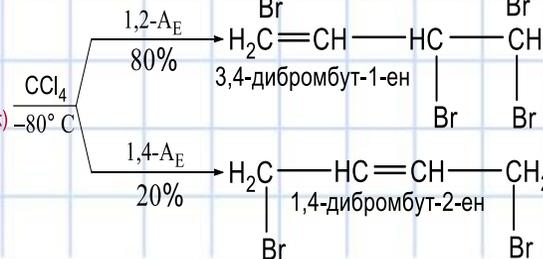
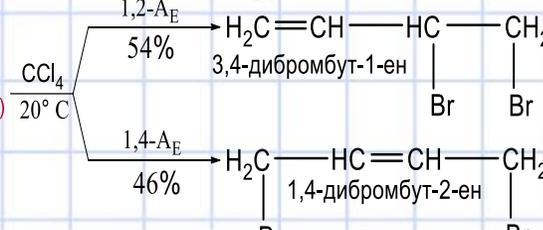
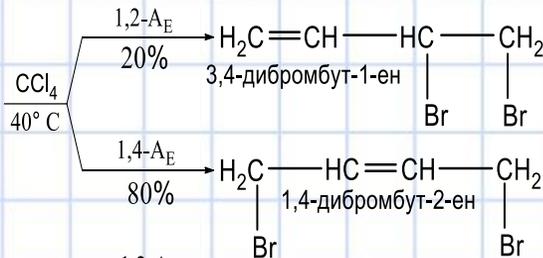
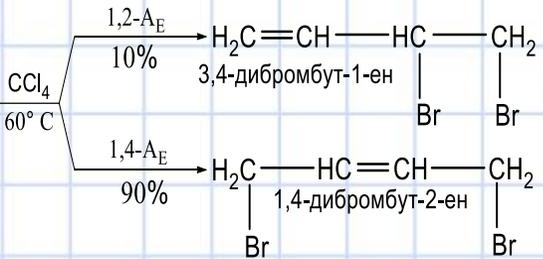
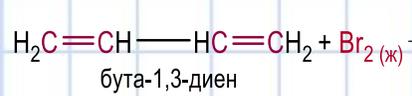
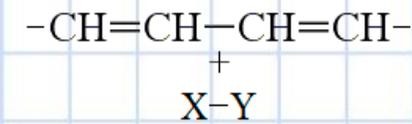
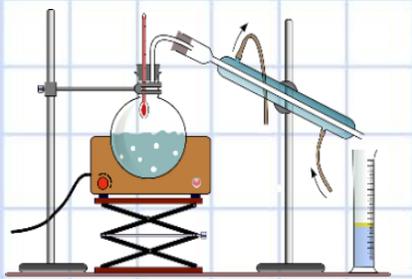


электрофильное присоединение галогенов к алкенам в водном растворе (A_E):

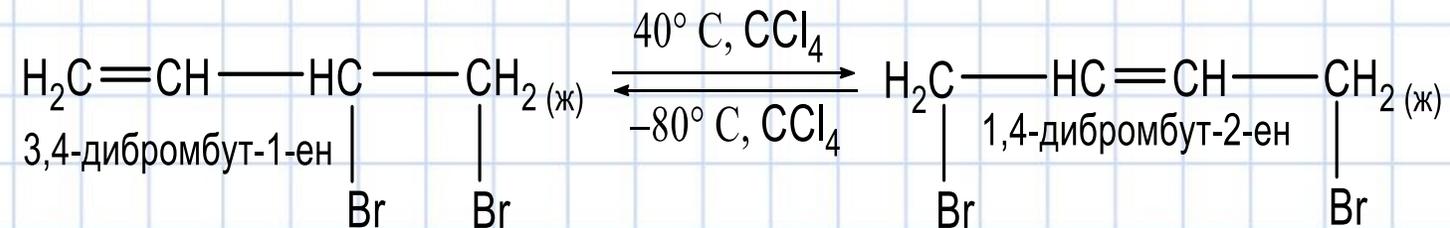


ПРИСОЕДИНЕНИЕ ГАЛОГЕНОВ К УГЛЕВОДОДАМ

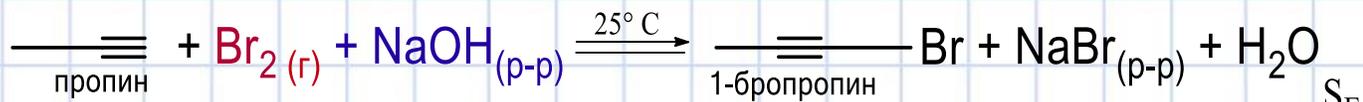
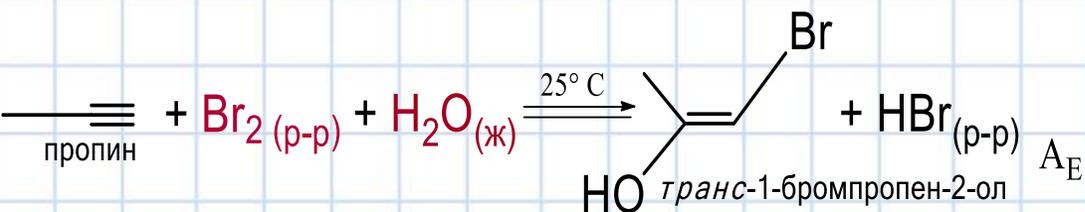
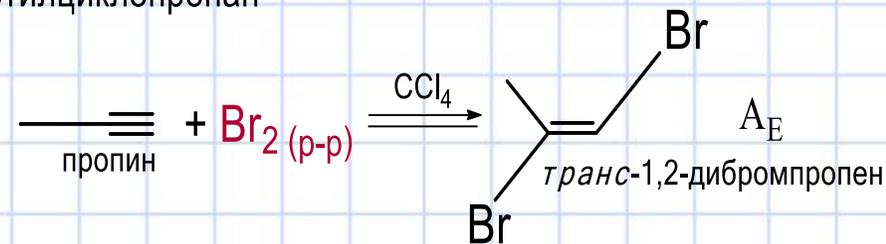
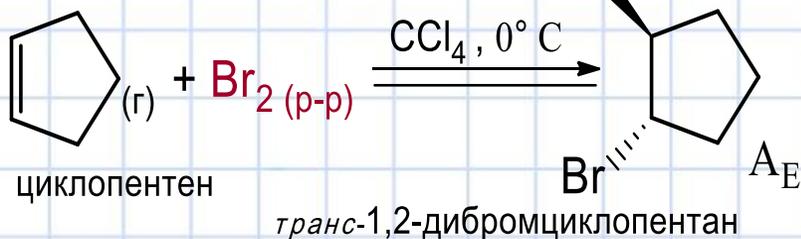
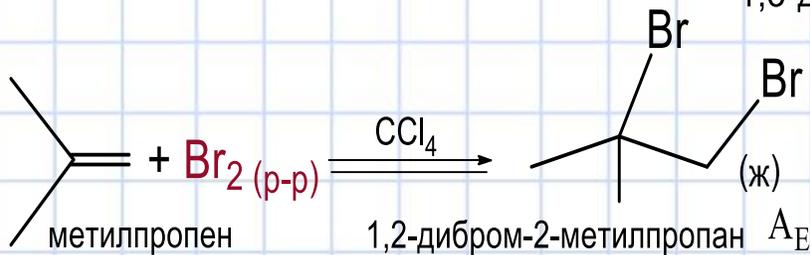
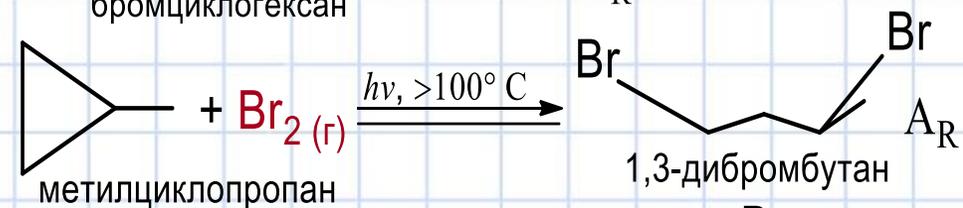
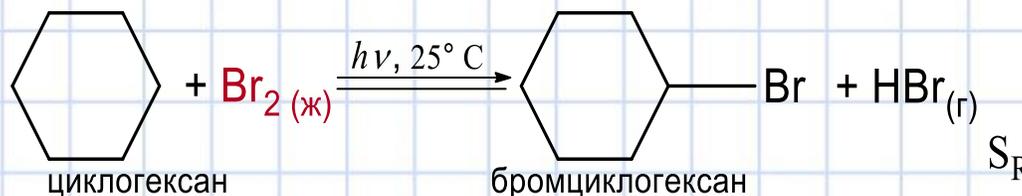
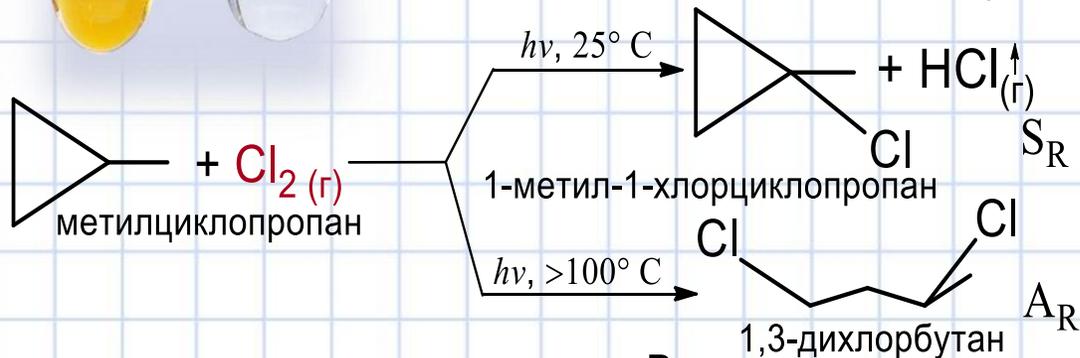
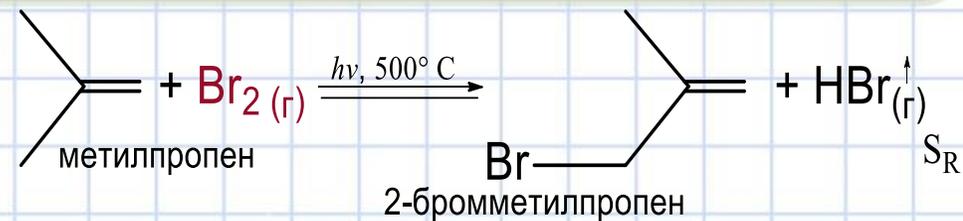
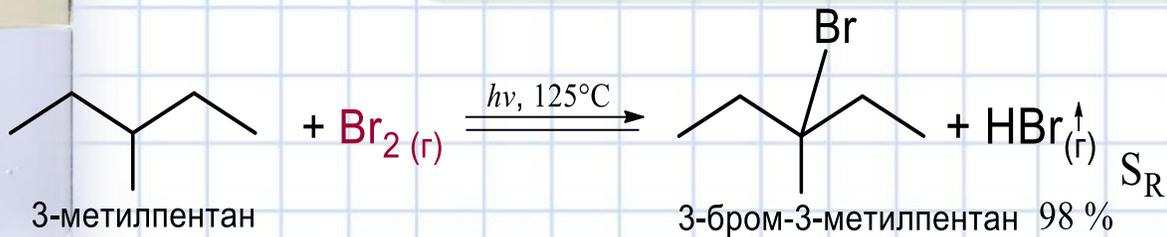
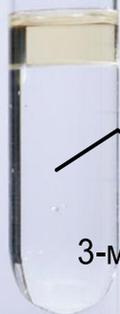
электрофильное присоединение галогенов к сопряжённым диенам (A_E):



$T^\circ\text{C}$	1,2- %	1,4- %
-80	80	20
-9	55	45
20	46	54
40	20	80
60	10	90

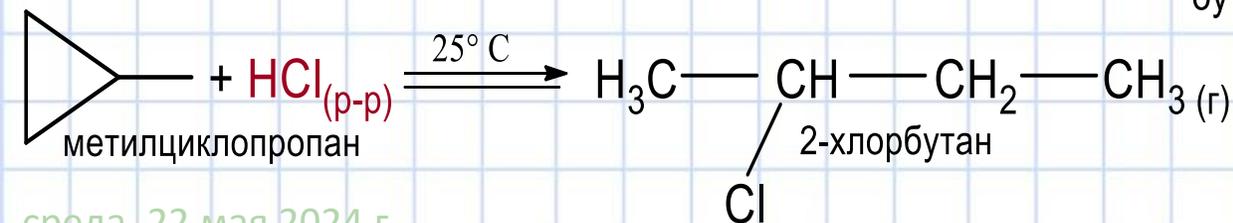
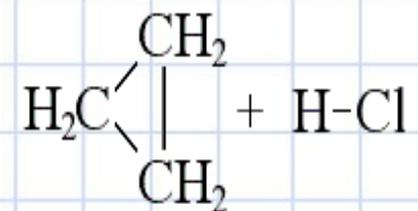
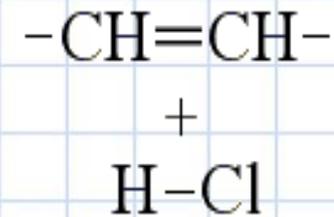
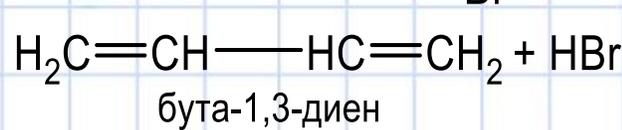
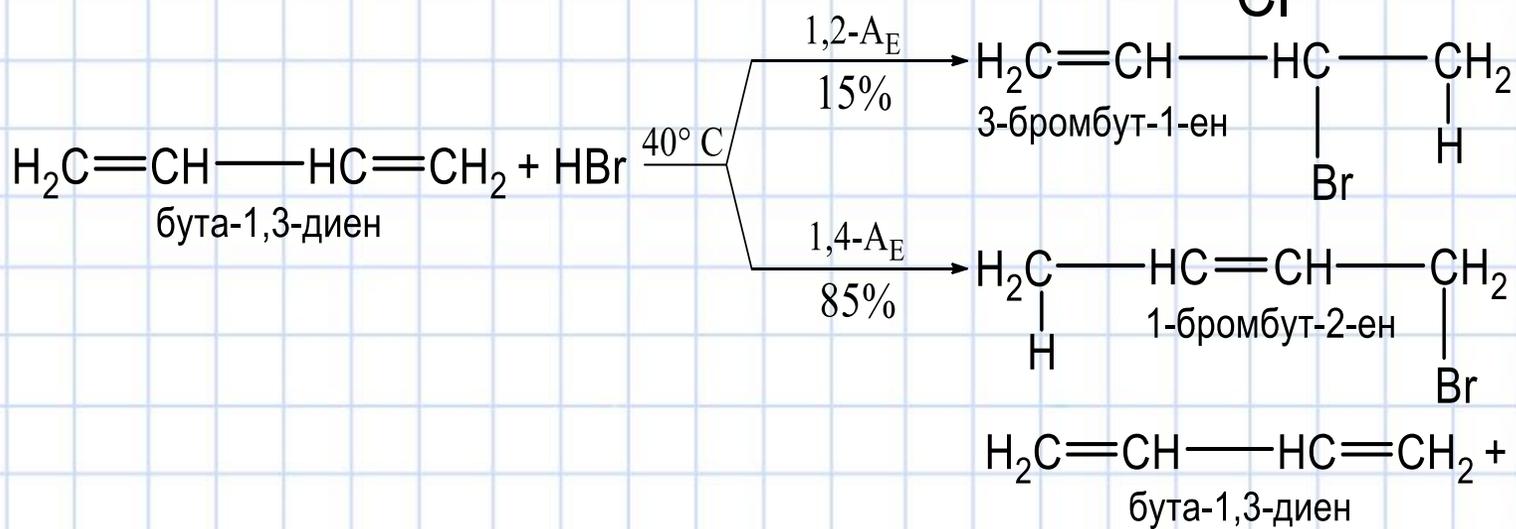
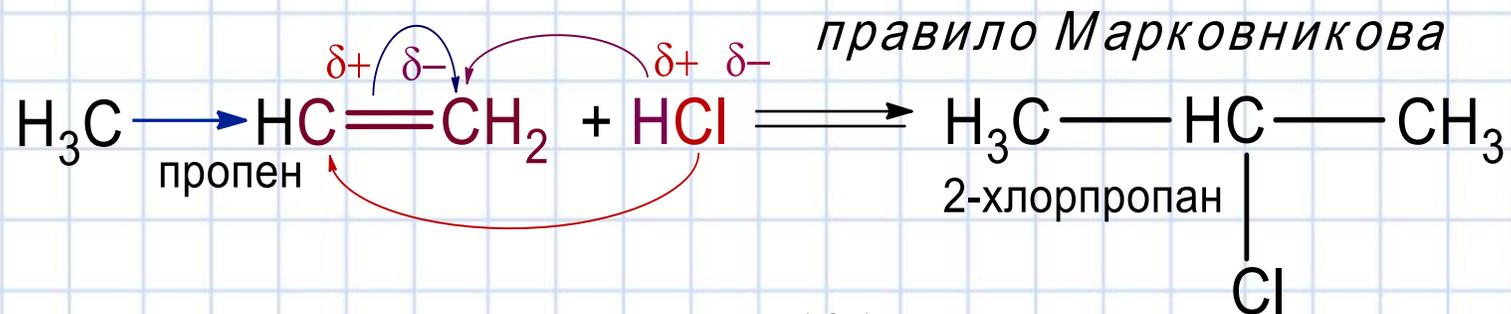


ГАЛОГЕНИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ



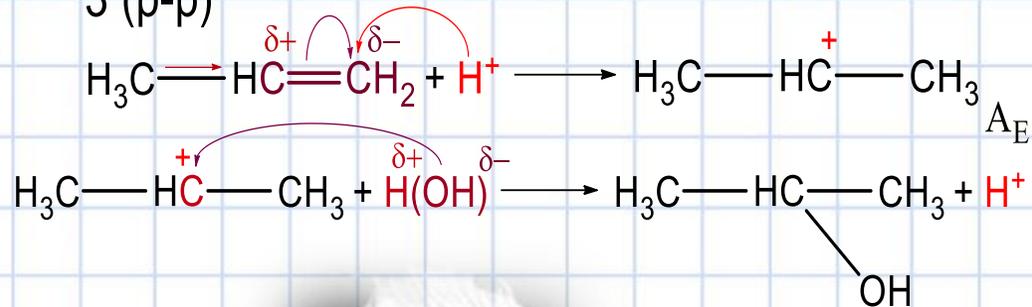
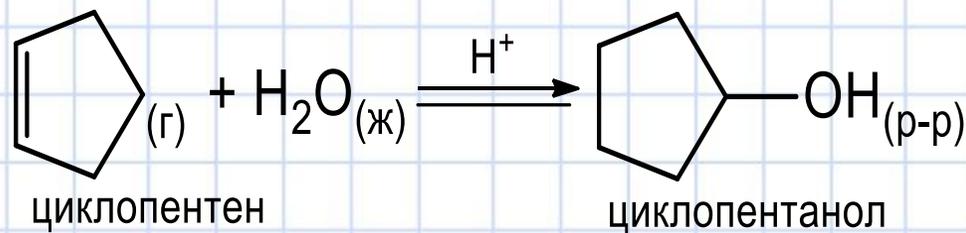
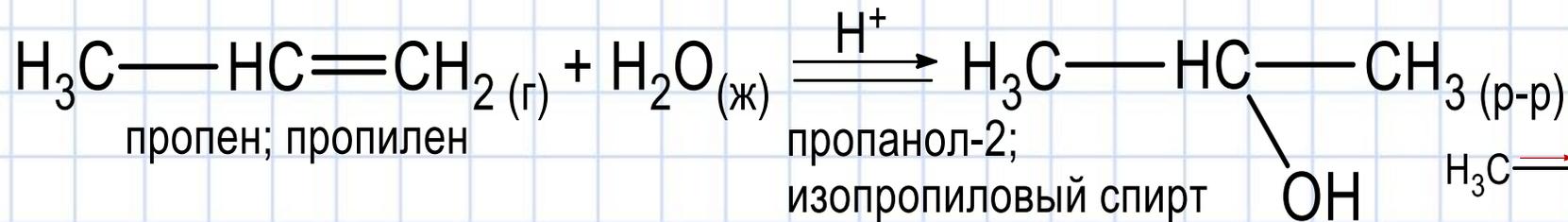
ПРИСОЕДИНЕНИЕ ГАЛОГЕНВОДОРОДОВ К УГЛЕВОДОДАМ

гидрогалогенирование (присоединение галогенводородов) (A_E):

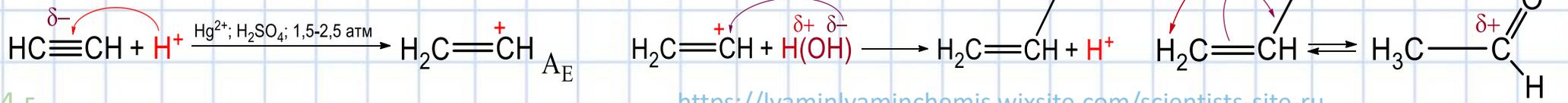
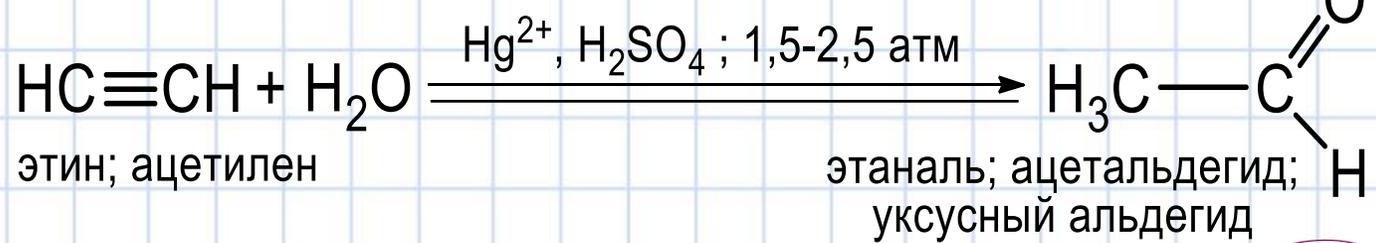


ПРИСОЕДИНЕНИЕ ВОДЫ К УГЛЕВОДОРОДАМ

гидратация (присоединение воды) (A_E):

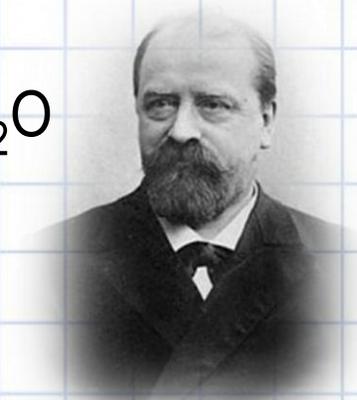
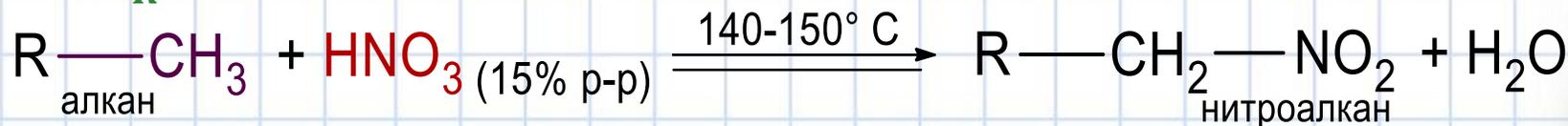


реакция Кучерова

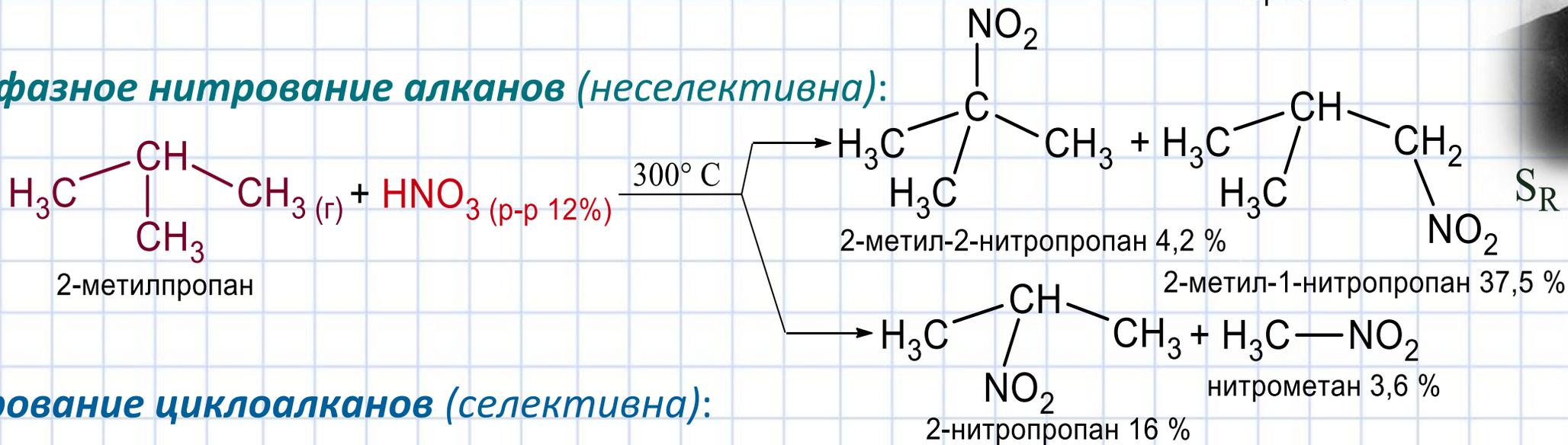


ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ С АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ

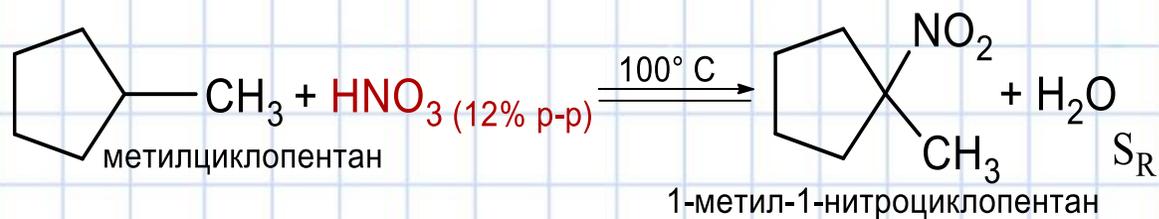
нитрование алканов (S_R):



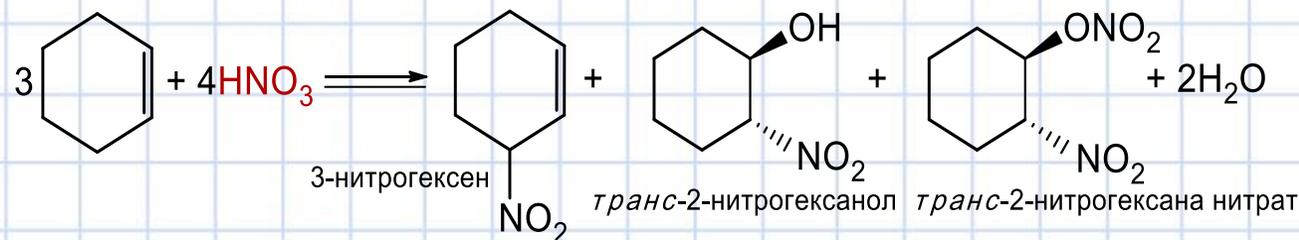
парофазное нитрование алканов (неселективна):



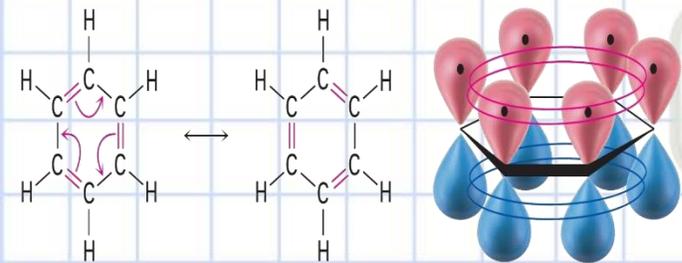
нитрование циклоалканов (селективна):



нитрование алкенов:

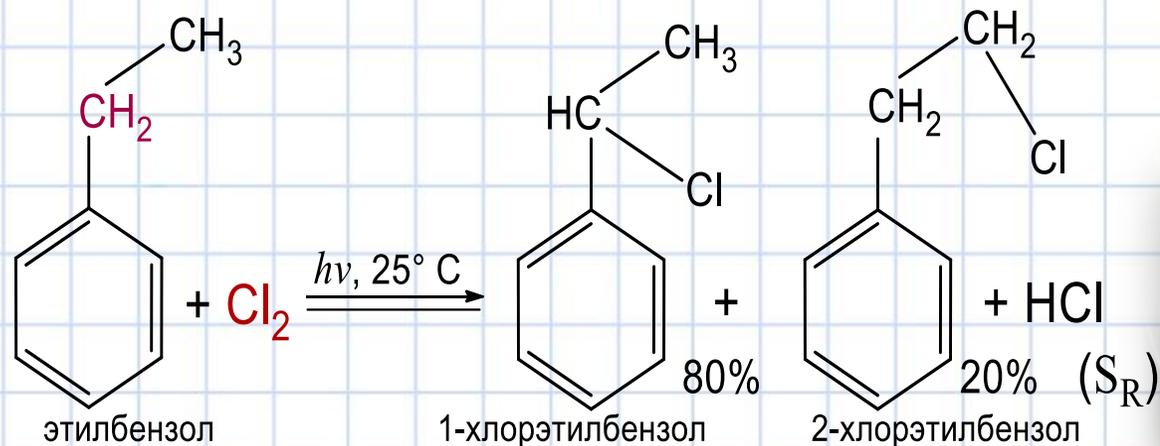
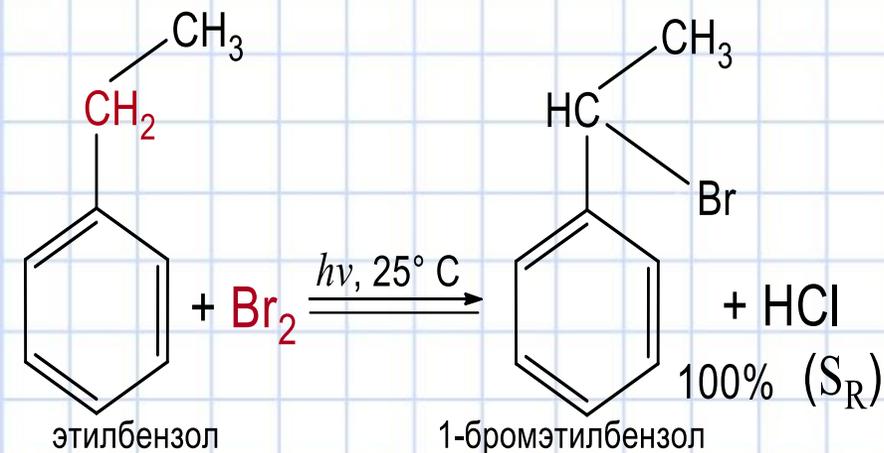
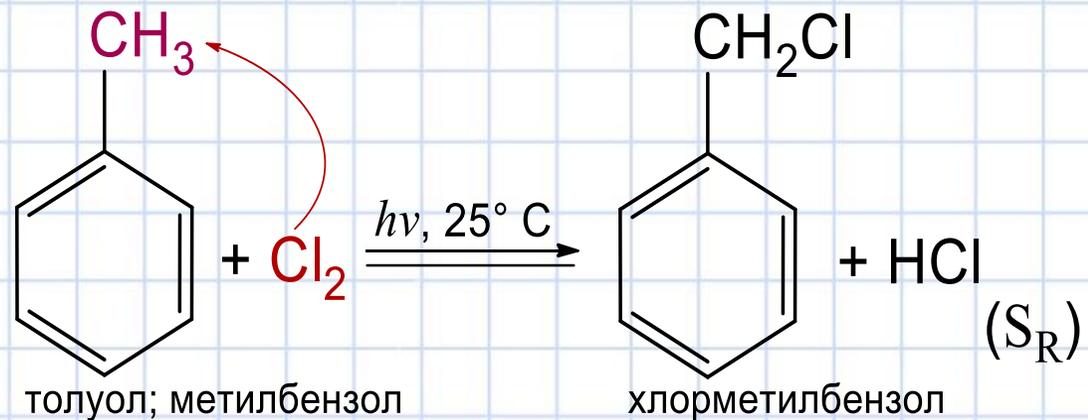
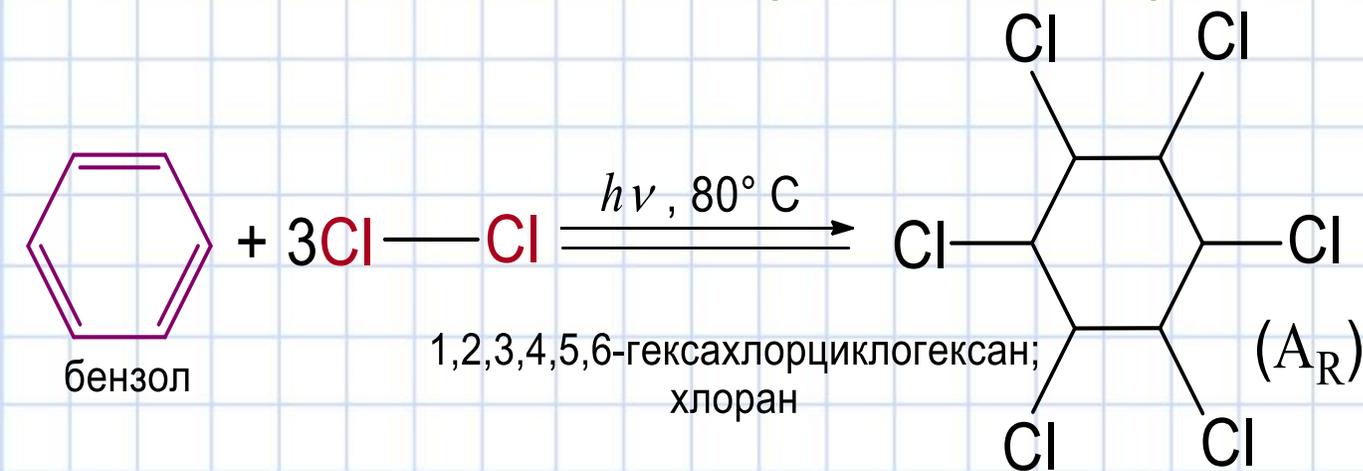


РАДИКАЛЬНОЕ ГАЛОГЕНИРОВАНИЕ АРЕНОВ



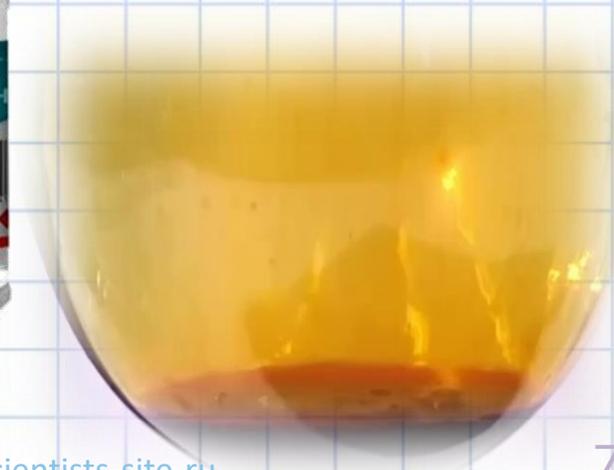
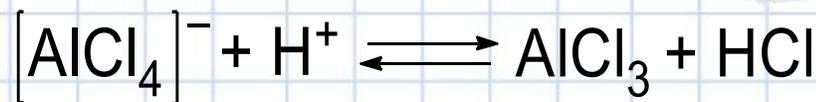
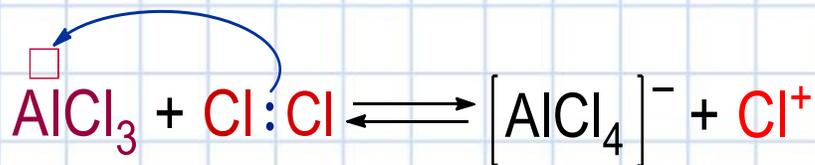
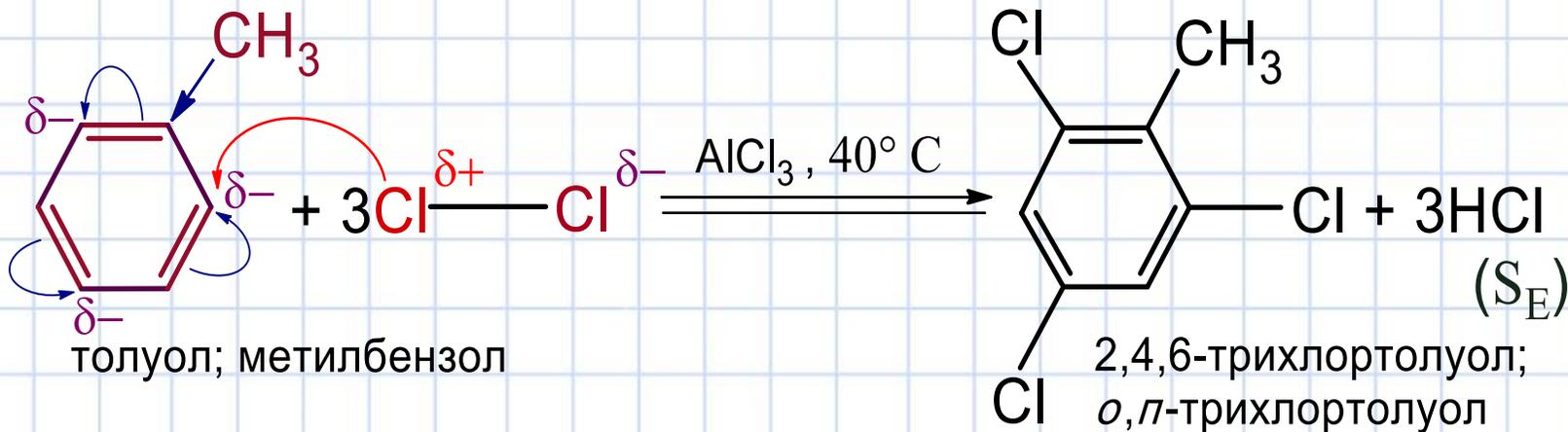
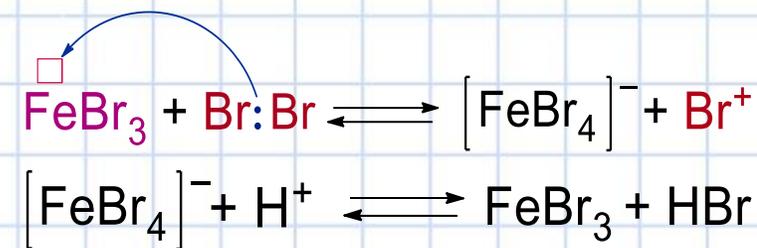
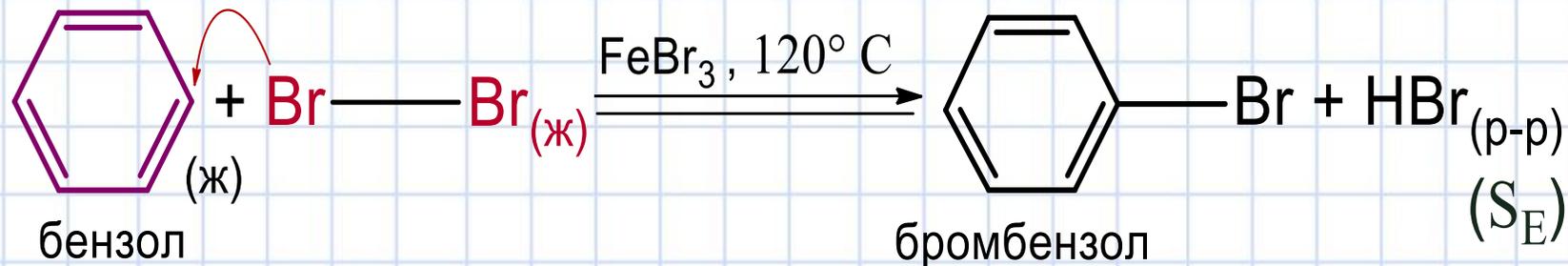
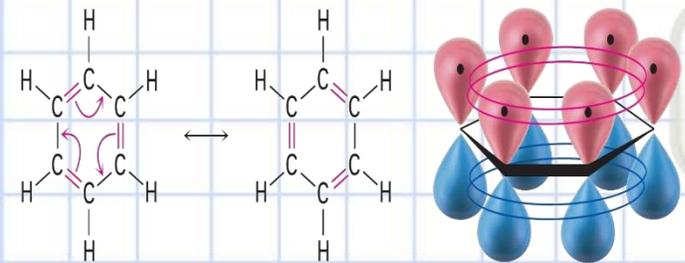
радикальное присоединение (A_R):

радикальное замещение (S_R):

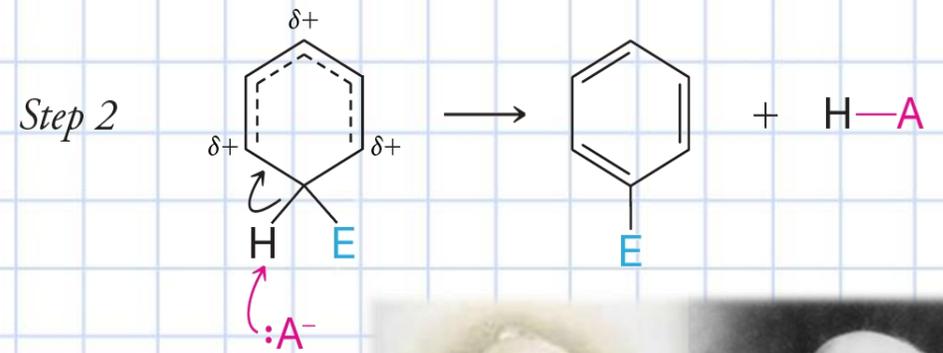
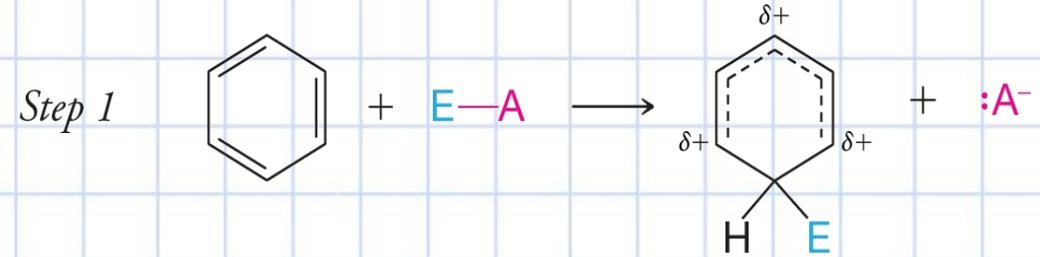
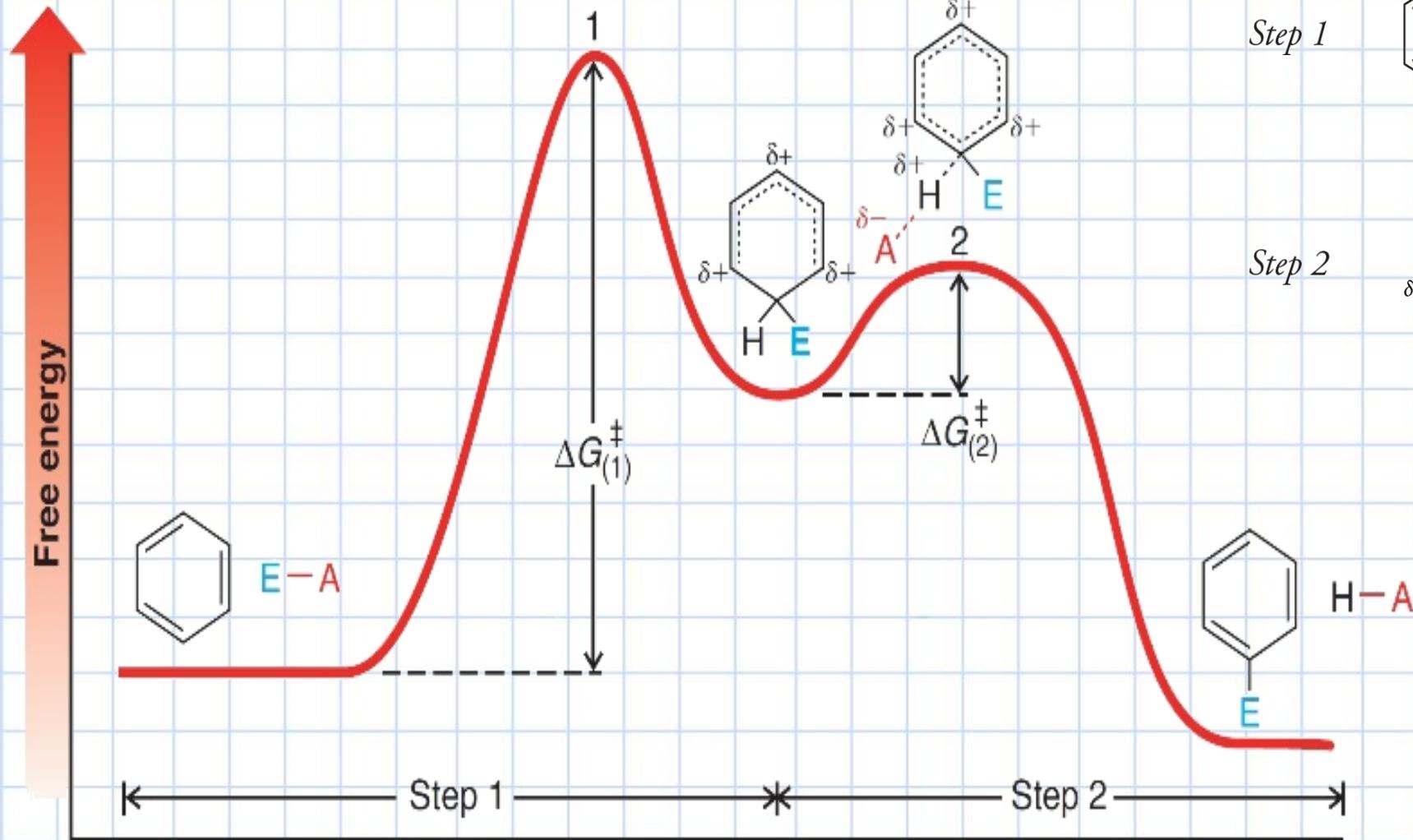
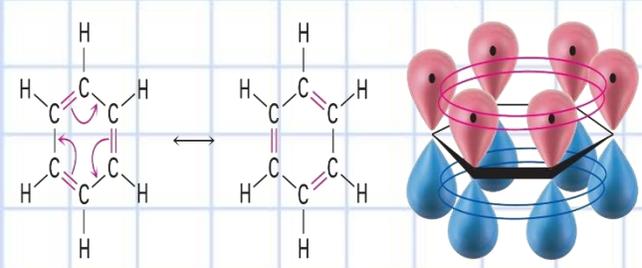


КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ГАЛОГЕНИРОВАНИЕ АРЕНОВ

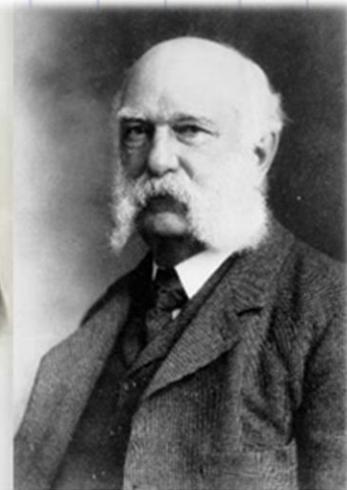
электрофильное замещение (S_E):



ЭЛЕКТРОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В АРЕНАХ



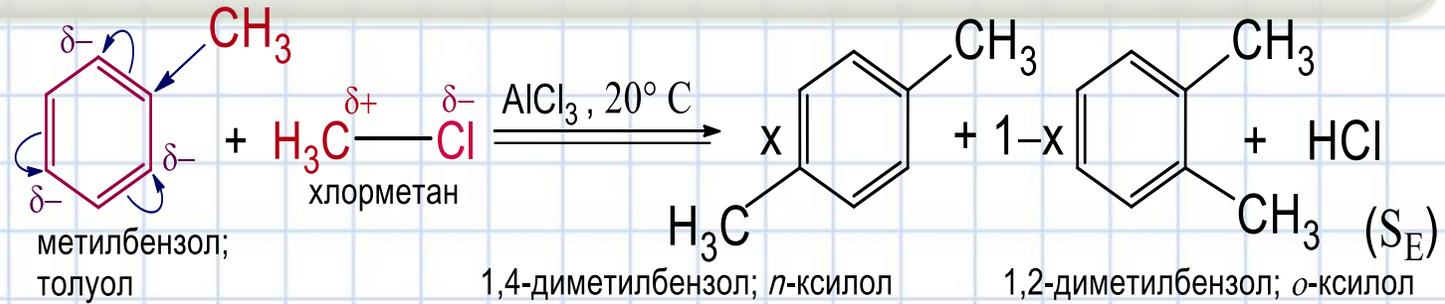
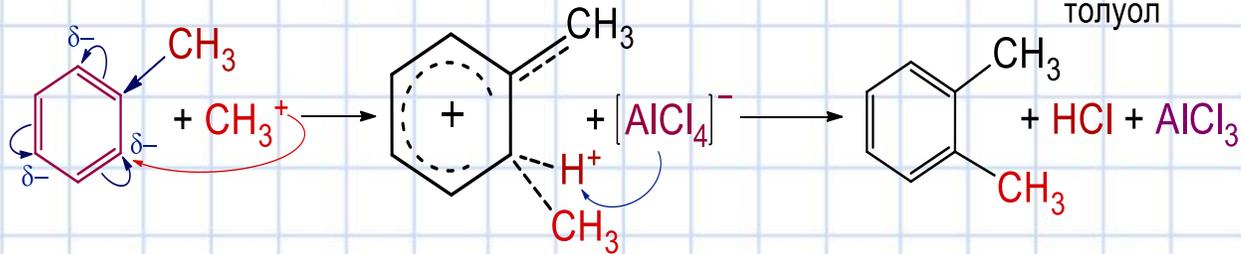
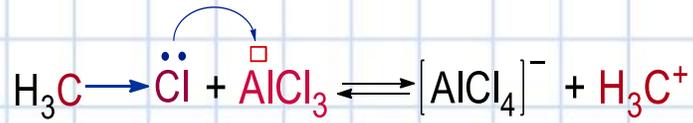
Charles Friedel



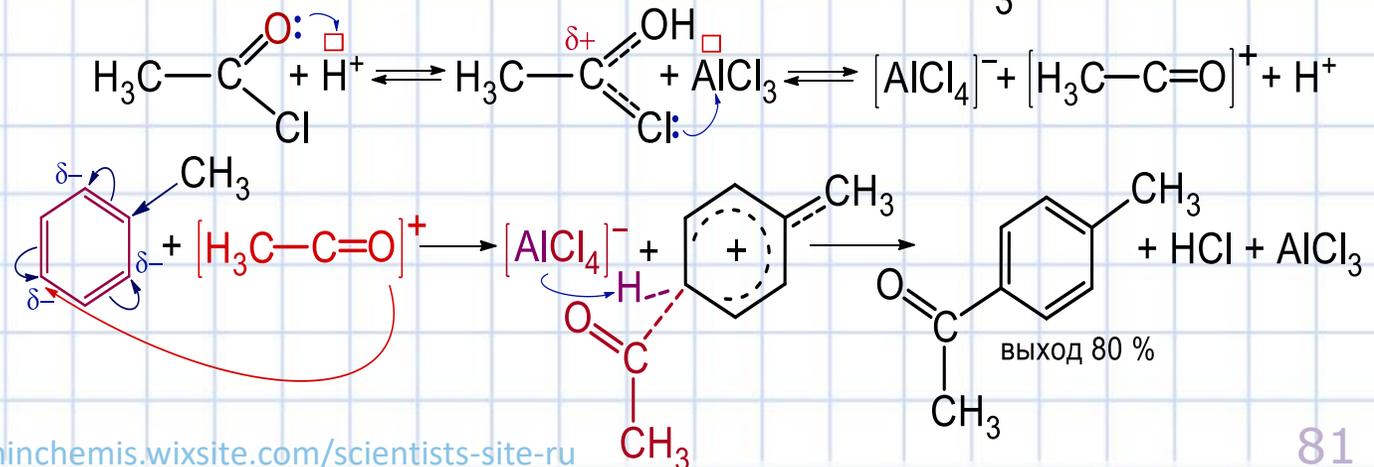
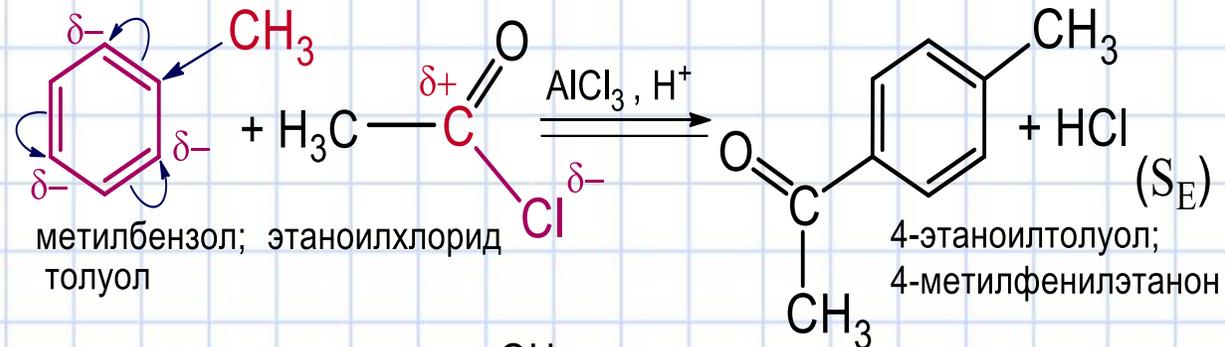
James Mason Crafts

РЕАКЦИИ ФРИДЕЛЯ — КРАФТСА

алкилирование (S_E):



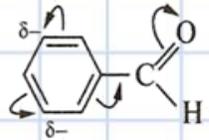
ацилирование (S_E):



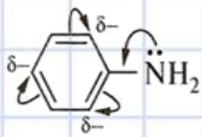
Charles Friedel



James Mason Crafts

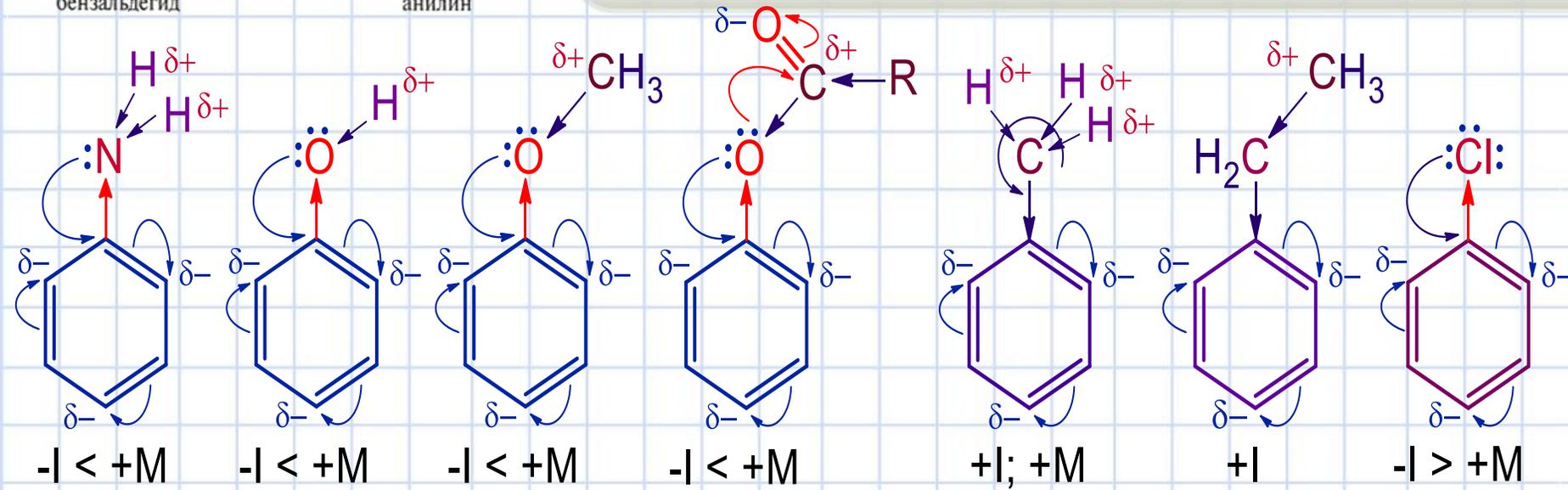


бензальдегид



анилин

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В БЕНЗОЛЬНОМ КОЛЬЦЕ



Activating substituents

Most activating

$-\text{NH}_2$
 $-\text{NHR}$
 $-\text{NR}_2$
 $-\text{OH}$
 $-\text{OR}$

Strongly activating

$-\text{NHCO}$
 $-\text{OCR}$

Moderately activating

$-\text{R}$
 $-\text{Ar}$
 $-\text{CH}=\text{CHR}$

Weakly activating

Ortho/para directing

Standard of comparison $\rightarrow -\text{H}$

Deactivating substituents

$-\text{F}$
 $-\text{Cl}$
 $-\text{Br}$
 $-\text{I}$

Weakly deactivating

$-\text{CH}$
 $-\text{CR}$
 $-\text{COR}$

Moderately deactivating

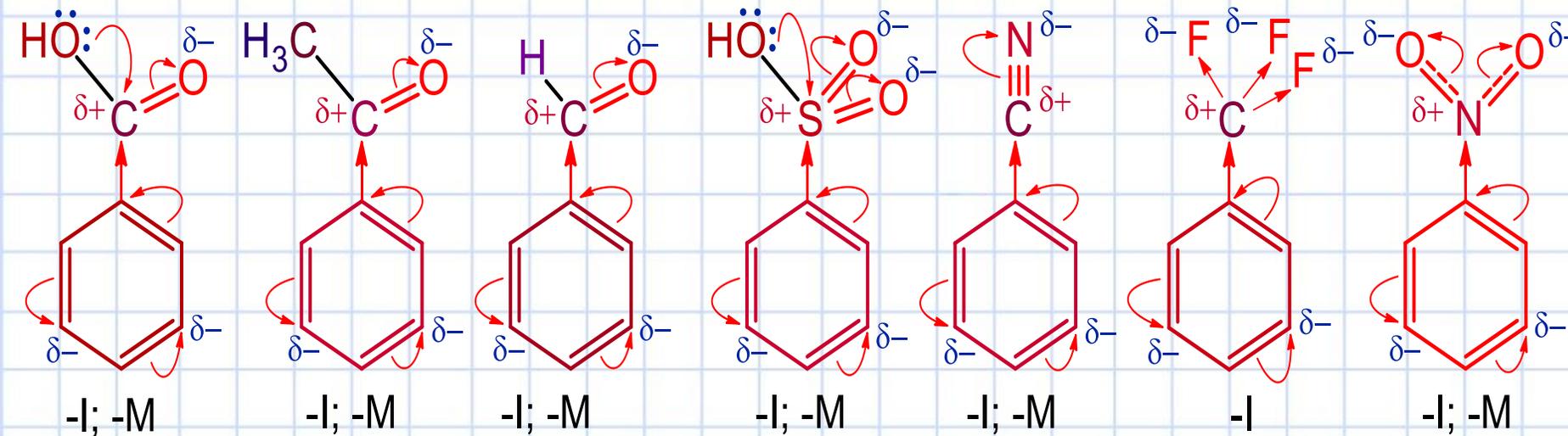
$-\text{COH}$
 $-\text{CCl}$

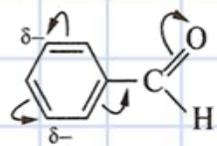
Meta directing

$-\text{C}\equiv\text{N}$
 $-\text{SO}_3\text{H}$
 $-\text{NH}_3^+$
 $-\text{NHR}_2^+$
 $-\text{NR}_3^+$
 $-\text{NO}_2$

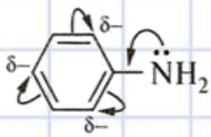
Strongly deactivating

Most deactivating





бензальдегид



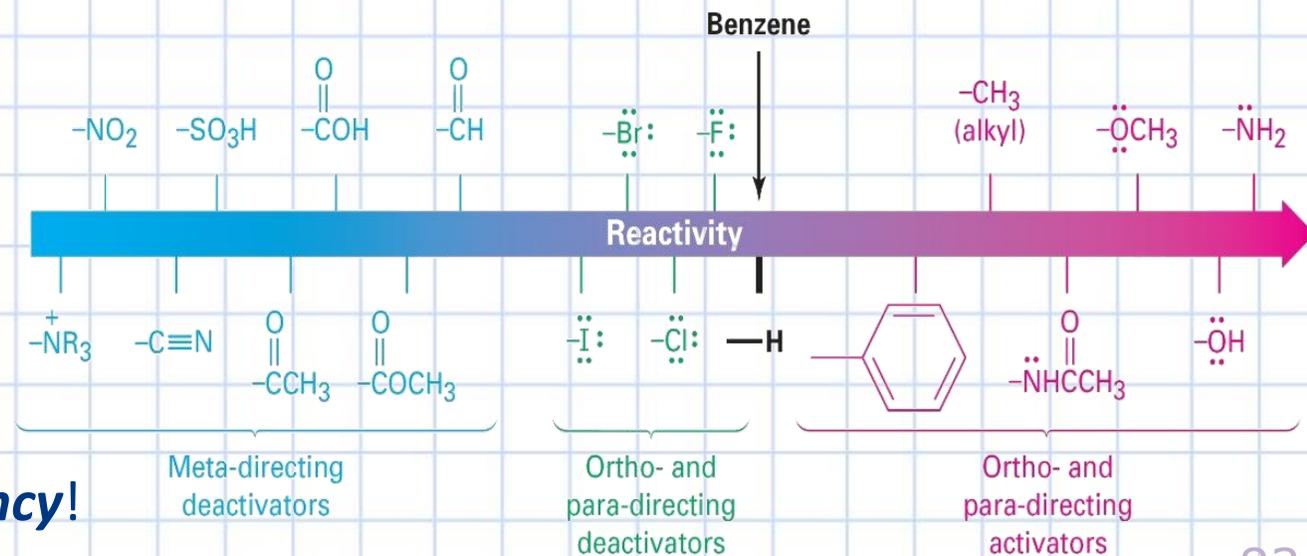
анилин

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ В БЕНЗОЛЬНОМ КОЛЬЦЕ

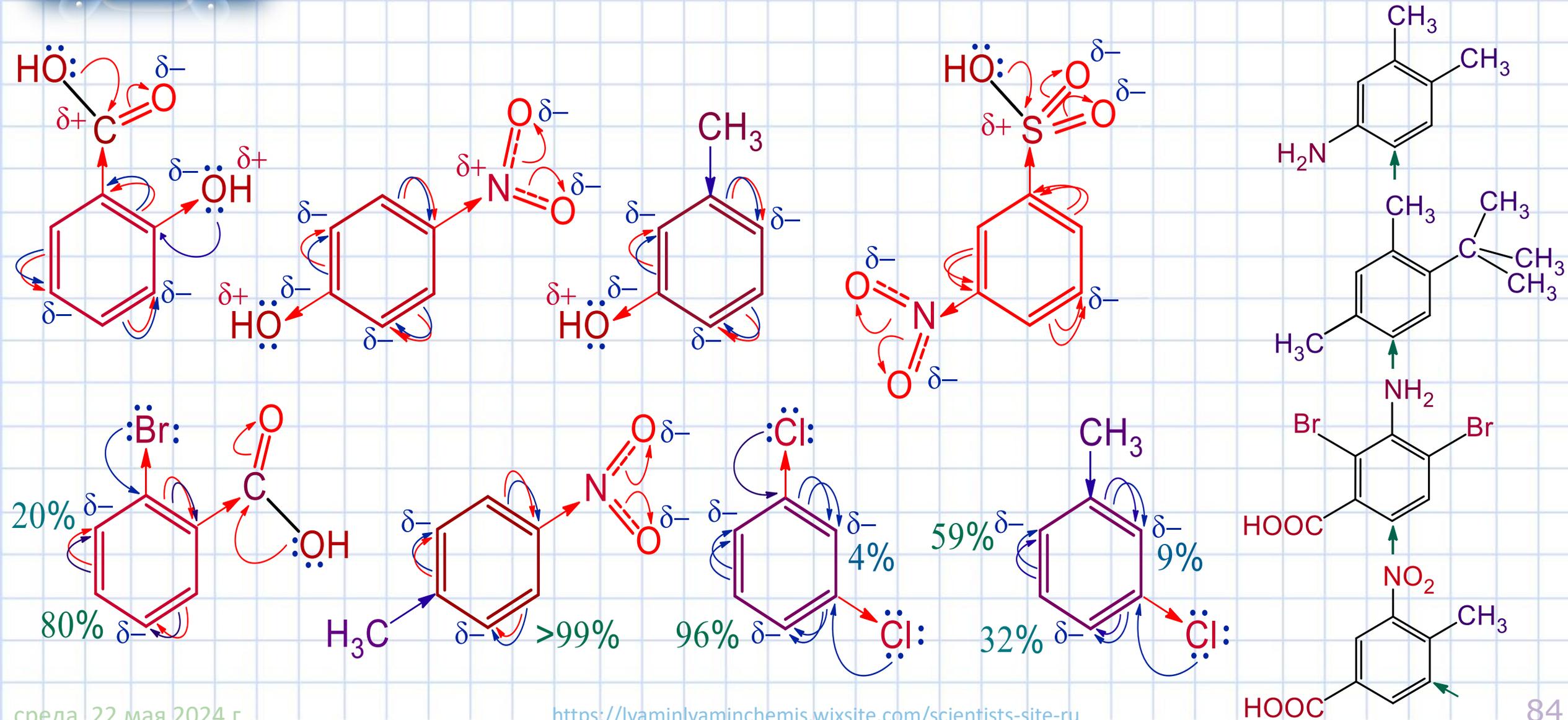
	донорные заместители		акцепторные заместители	
положение	сильно активирующие	активирующие	дезактивирующие	сильно дезактивирующие
2, 4, 6-замещение <i>o</i> , <i>p</i> -положения	NRR', NHR, NH ₂ , OH	OR, OC(O)R, NHC(O)R, Ar, R	F, Cl, Br, I	—
3, 5-замещение <i>m</i> -положение	—	—	S(O) ₂ OH, C(OH), C(O)R, C(O)OH, C(O)OR, CCl ₃	[R ₃ N] ⁺ , NO ₂ , CF ₃ , CN

галогены являются *o*-, *p*-ориентантами, но дезактивируют реакции замещения в кольцо; все *m*-ориентанты затрудняют реакции замещения в бензольное кольцо!

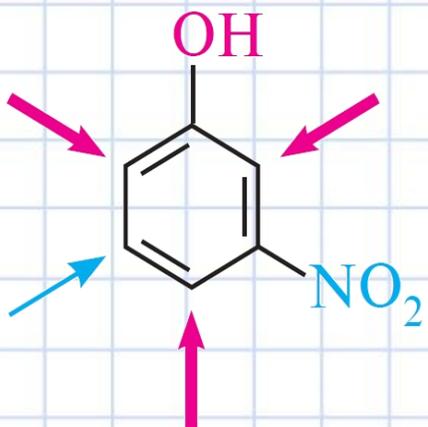
электроноакцепторные заместители (NO₂, CF₃, CN, S(O)₂OH, C(O)OR, COR и др.) блокируют ацилирование по Фриделю-Крафтсу!



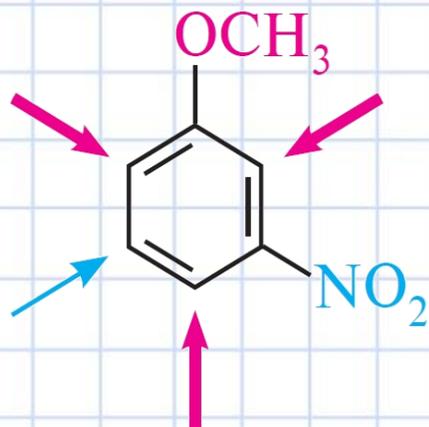
СОГЛАСОВАННОЕ ДЕЙСТВИЕ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ



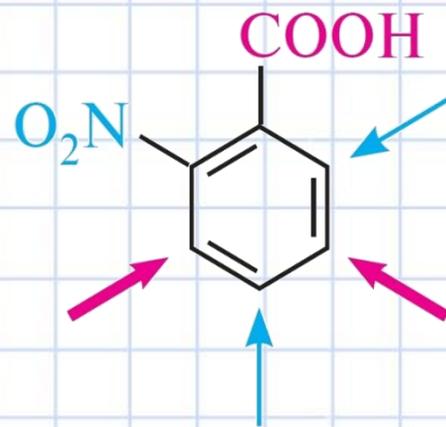
НЕСОГЛАСОВАННОЕ ДЕЙСТВИЕ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ



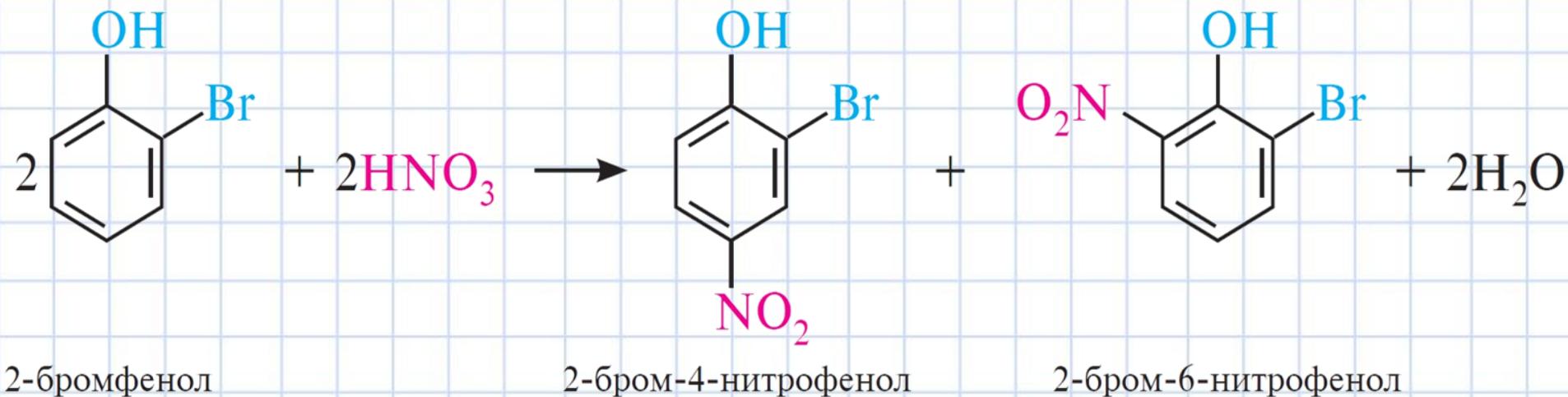
м-нитрофенол



м-метоксинитробензол



о-нитробензойная кислота



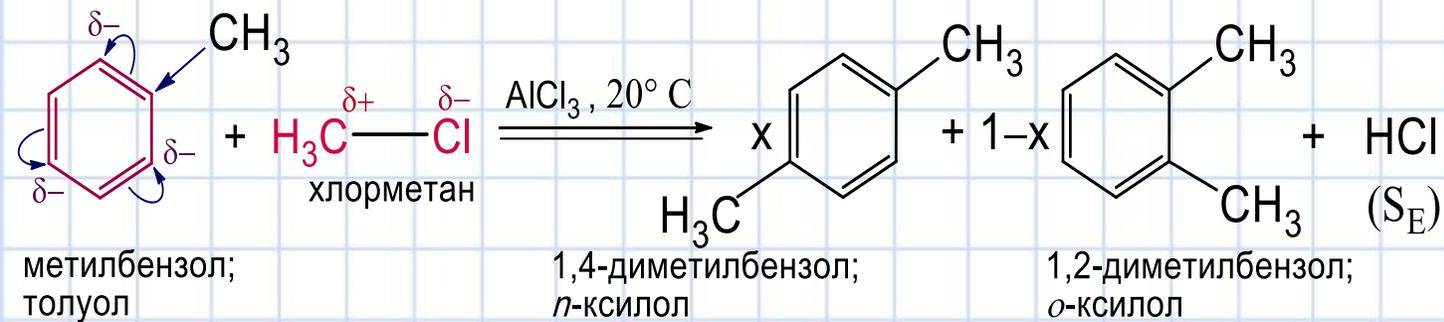
2-бромфенол

2-бром-4-нитрофенол

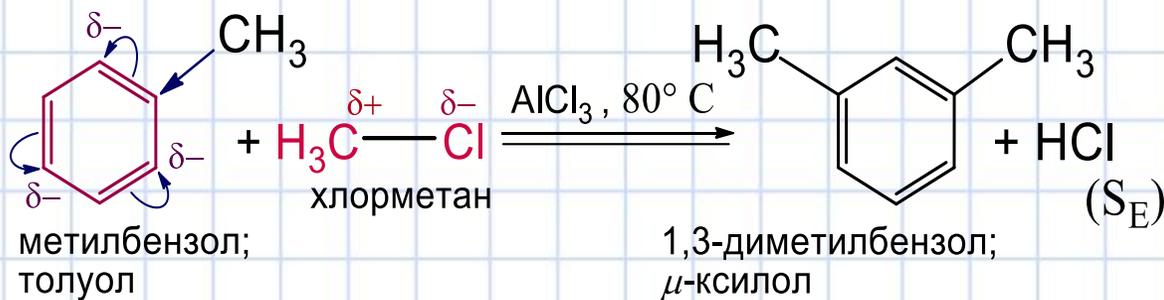
2-бром-6-нитрофенол

РЕГИОСЕЛЕКТИВНОСТЬ АЛКИЛИРОВАНИЯ ТОЛУОЛА

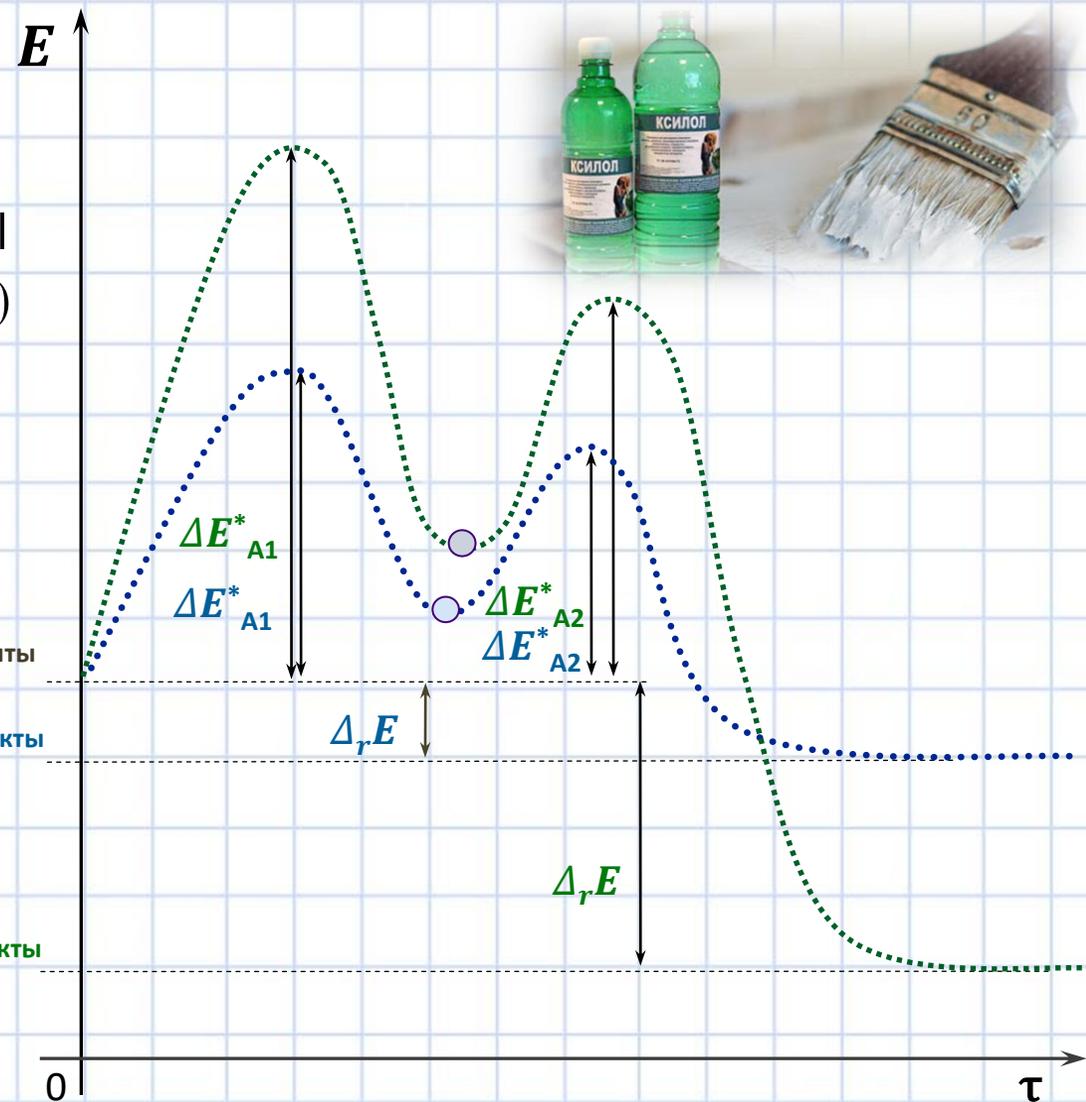
кинетически контролируемый процесс:

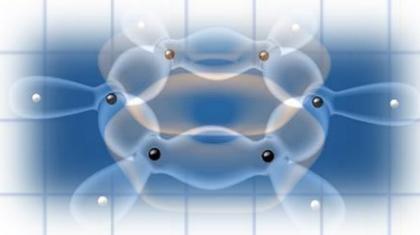


термодинамически контролируемый процесс:



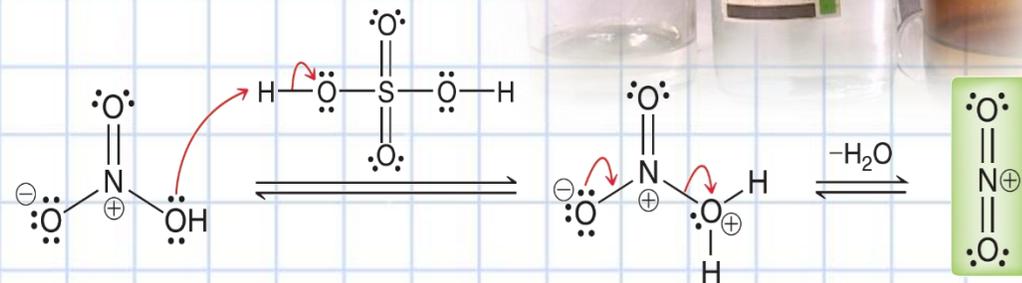
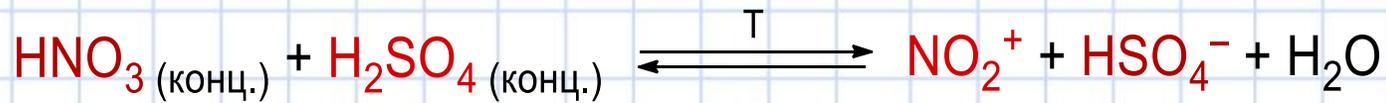
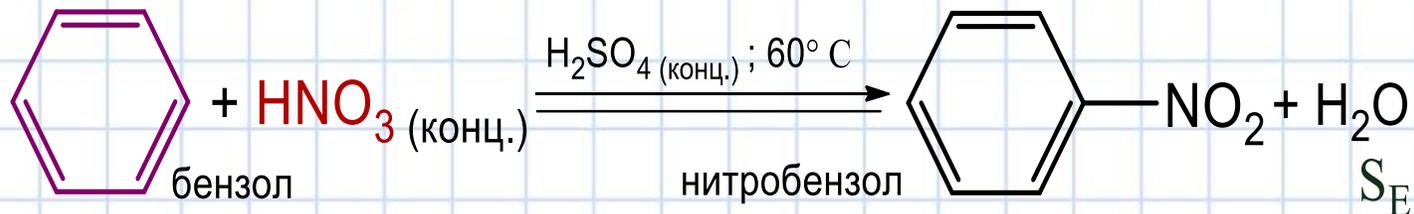
алкилирование по Фриделю-Крафтсу относится к немногочисленной группе обратимых реакций электрофильного ароматического замещения, подчиняющихся термодинамическому контролю, когда в продуктах реакции преобладают более стабильные 1,3-диалкил- или 1,3,5-триалкилбензолы (мета-изомеры)



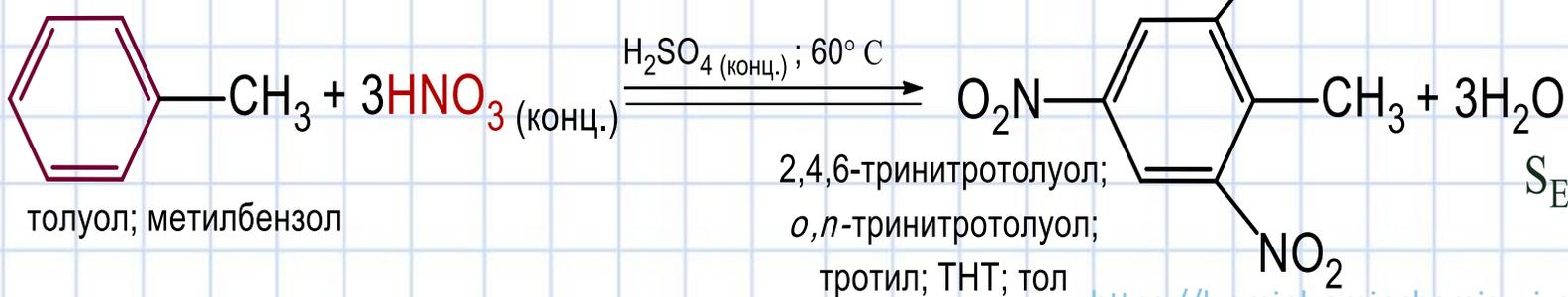
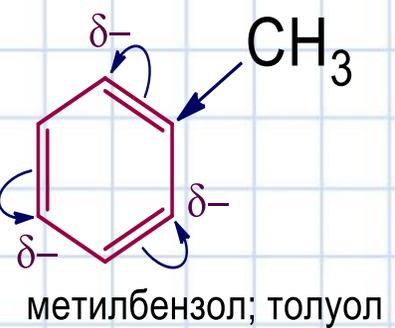
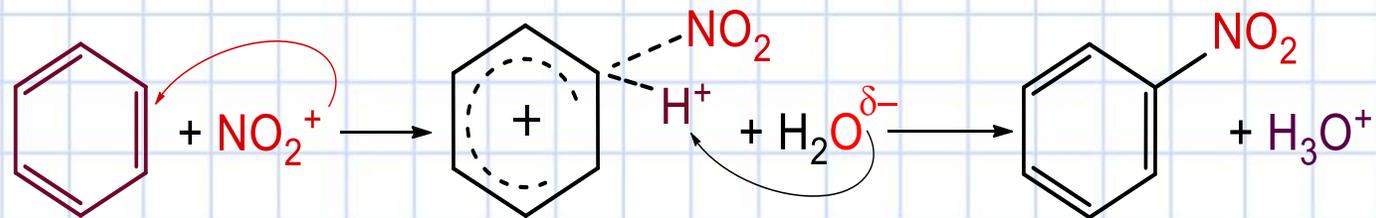


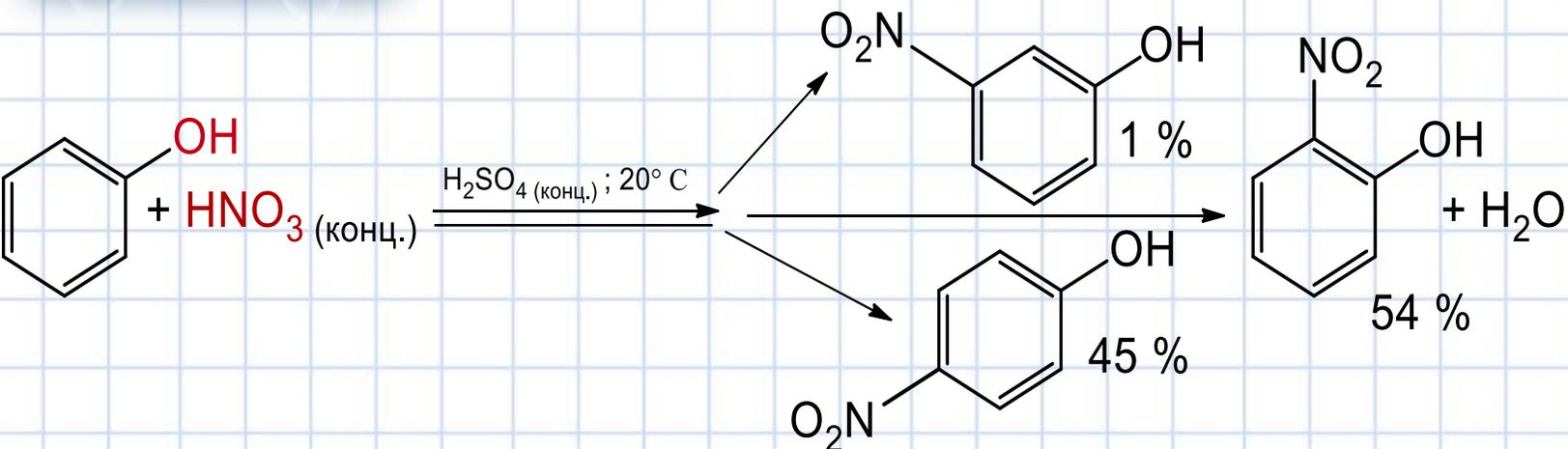
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АРЕНОВ С АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ

взаимодействие аренов с азотной кислотой (S_E):

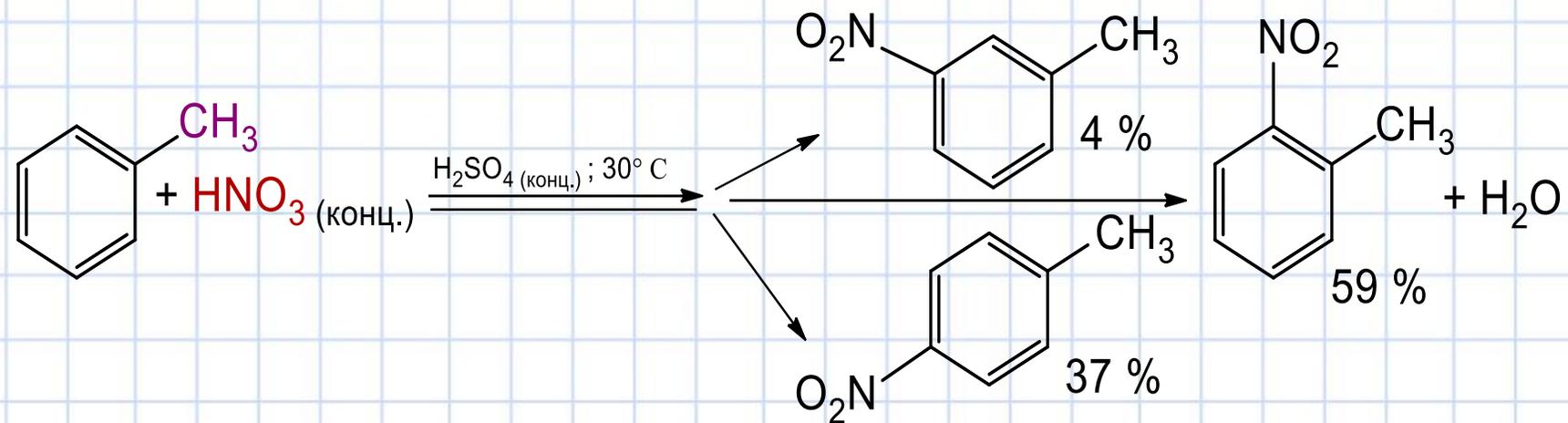


Nitronium ion



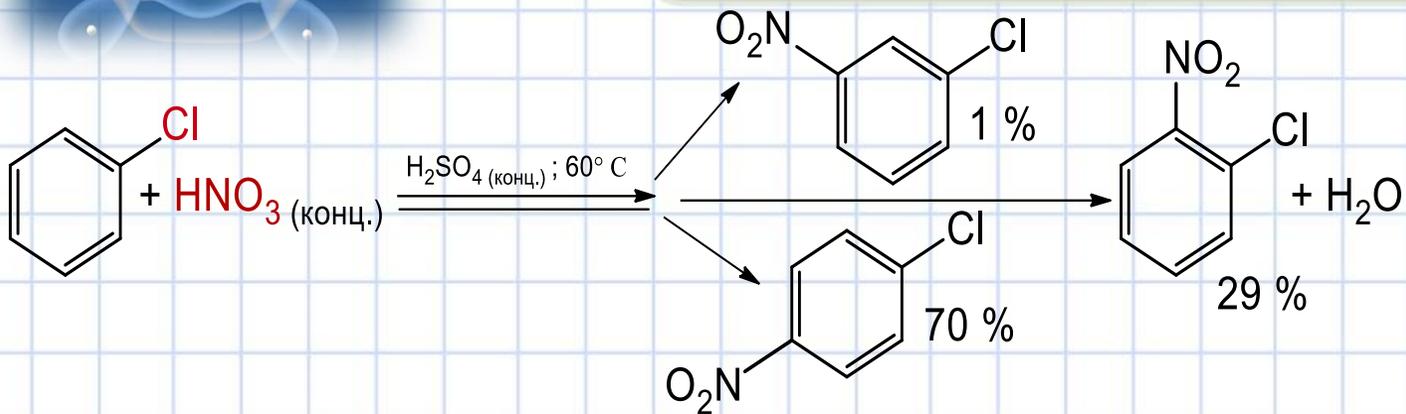


скорость относительно скорости нитрования бензола — 1×10^3

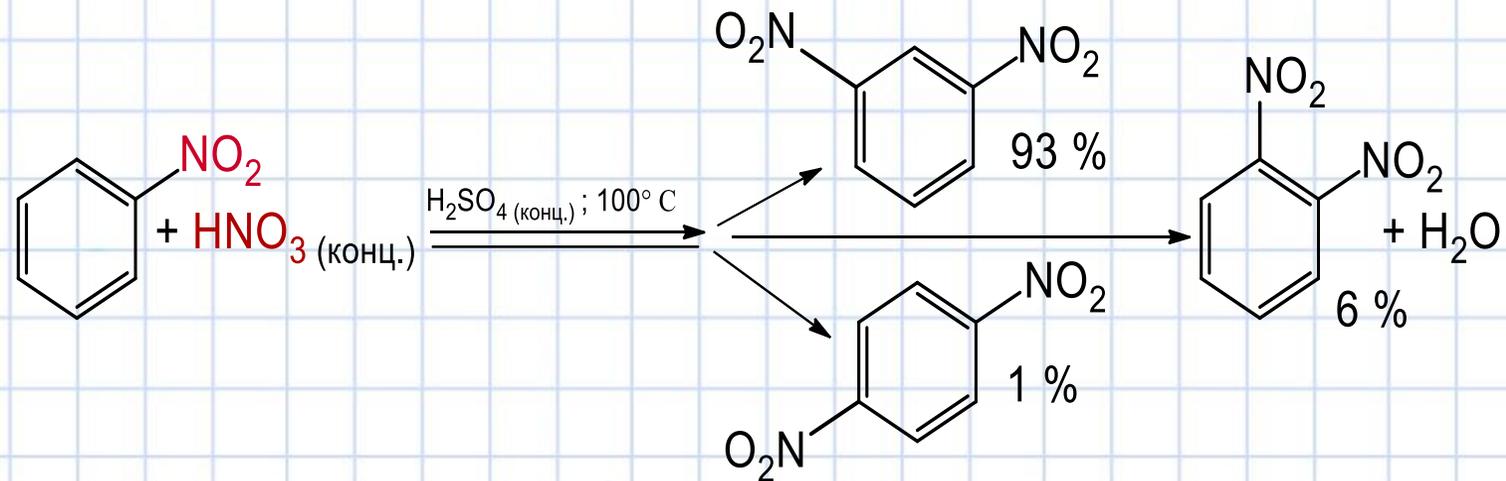


скорость относительно скорости нитрования бензола — 25

НИТРОВАНИЕ АРЕНОВ

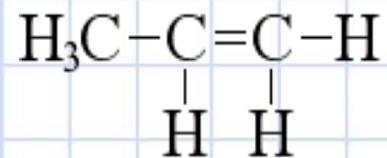


скорость относительно скорости нитрования бензола — 6×10^{-2}

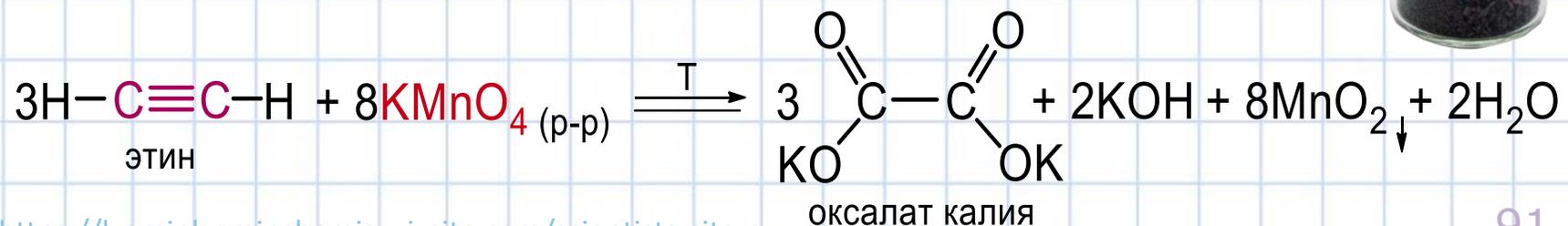
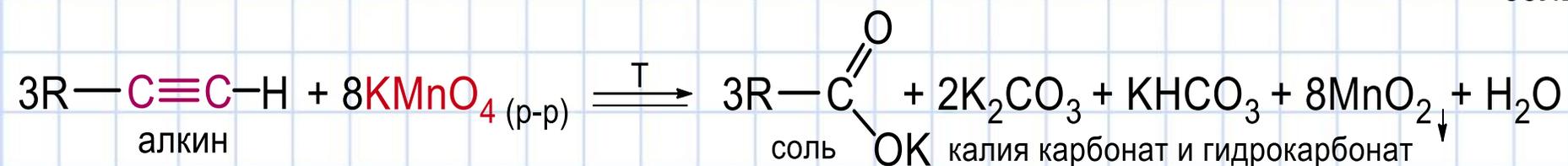
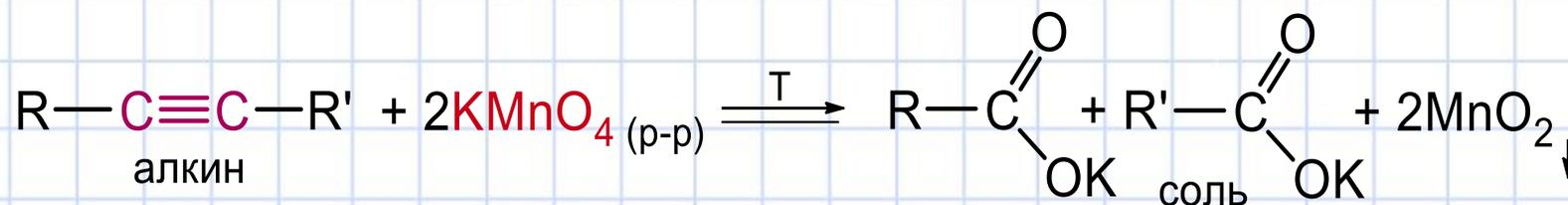
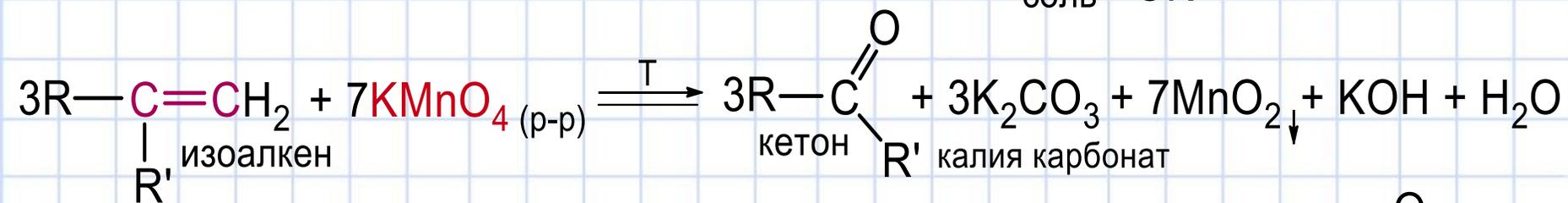
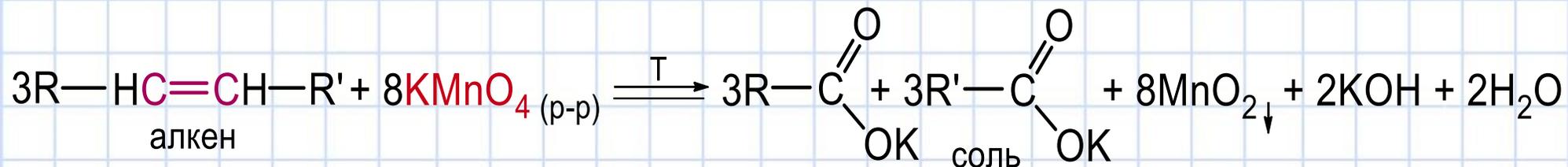


скорость относительно скорости нитрования бензола — 6×10^{-8}

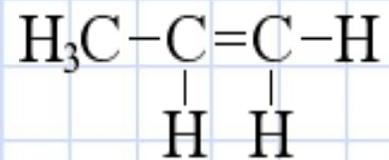
ЖЁСТКОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ



жёсткое окисление в нейтральной среде:



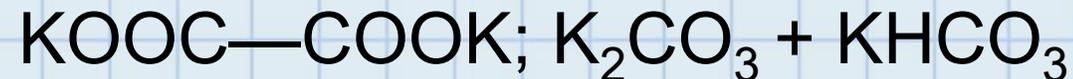
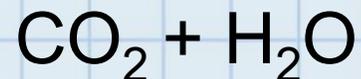
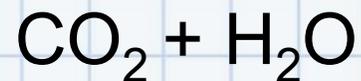
ЖЁСТКОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ



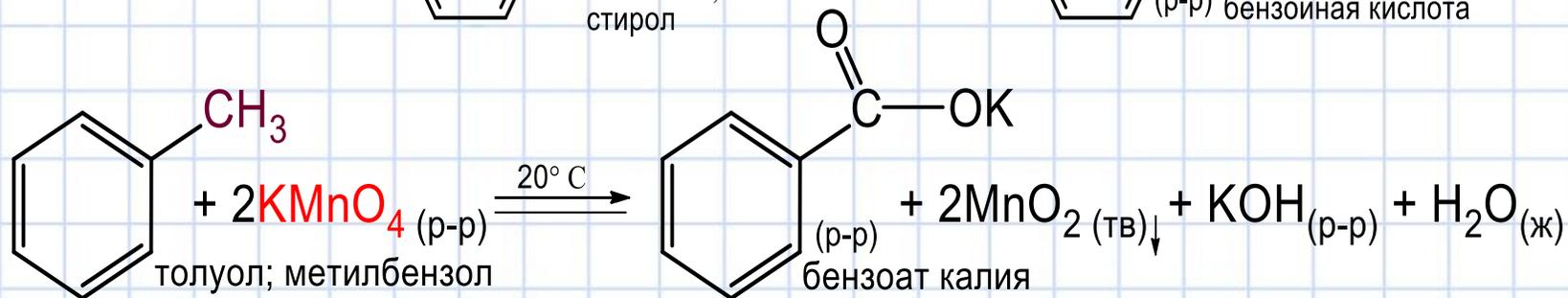
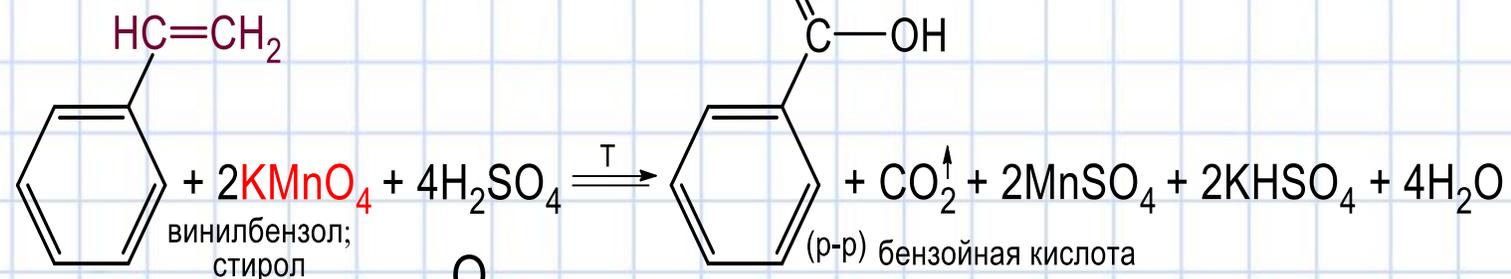
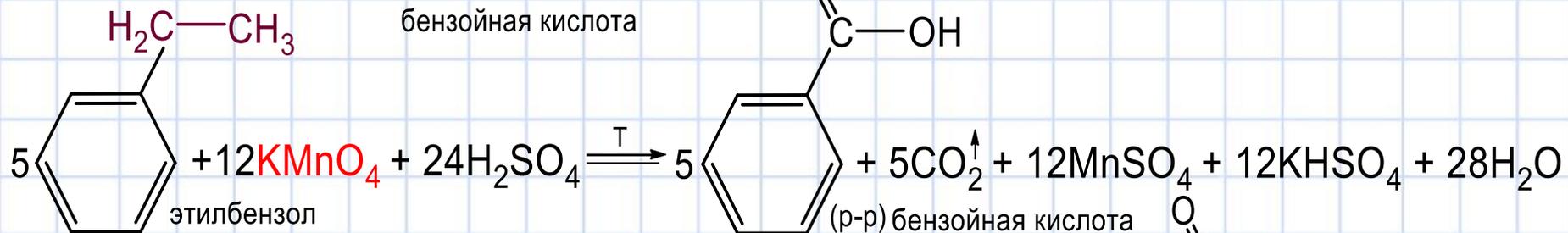
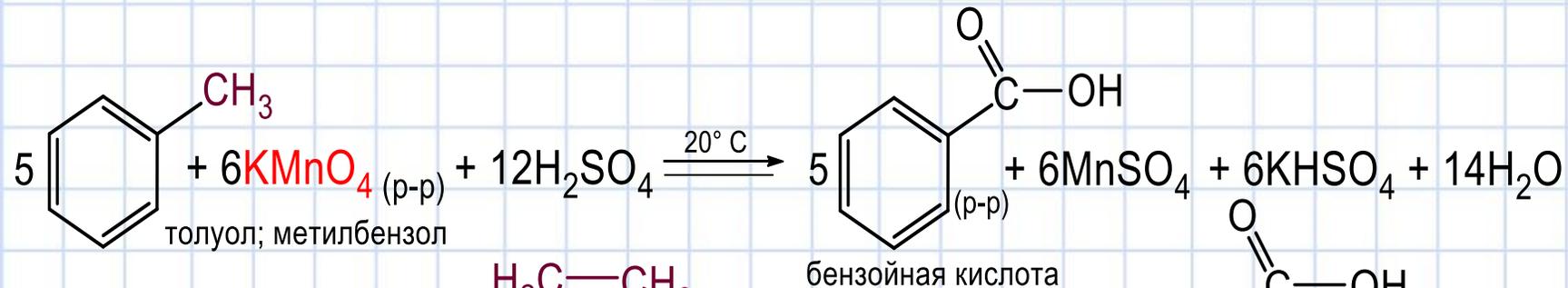
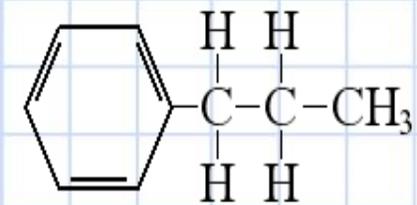
окисляемый углерод

кислая среда

нейтральная или щелочная среда



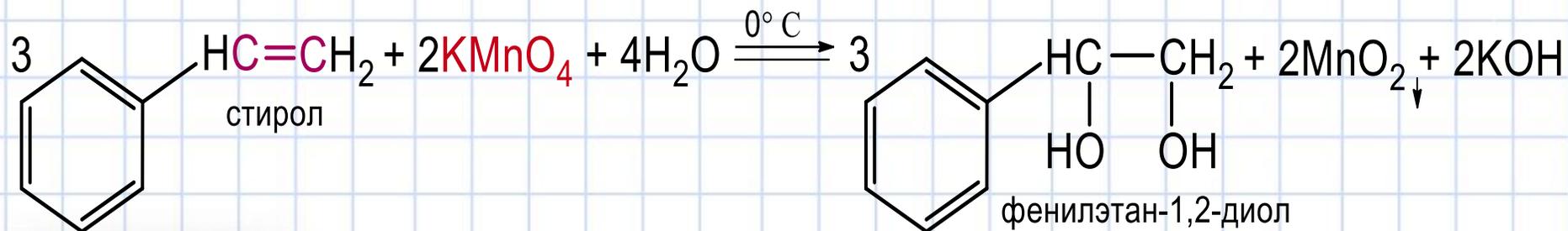
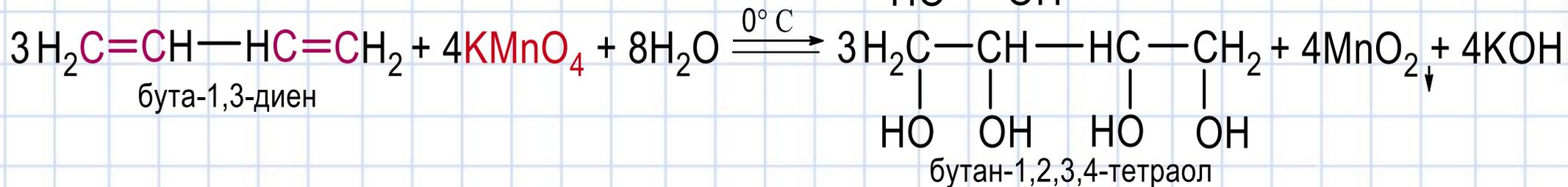
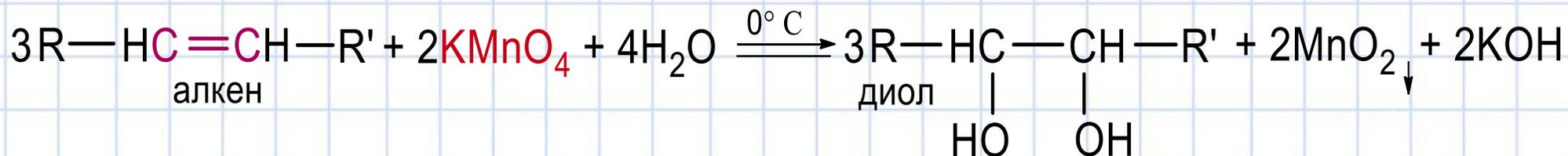
ЖЁСТКОЕ ОКИСЛЕНИЕ АРЕНОВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ



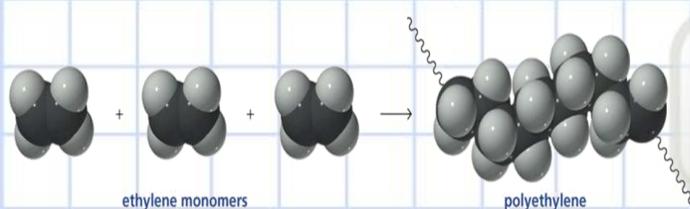


МЯГКОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

реакция Вагнера

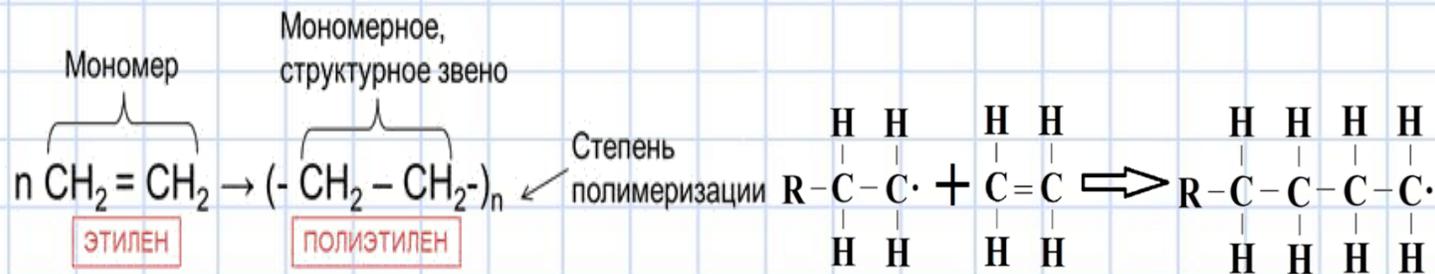
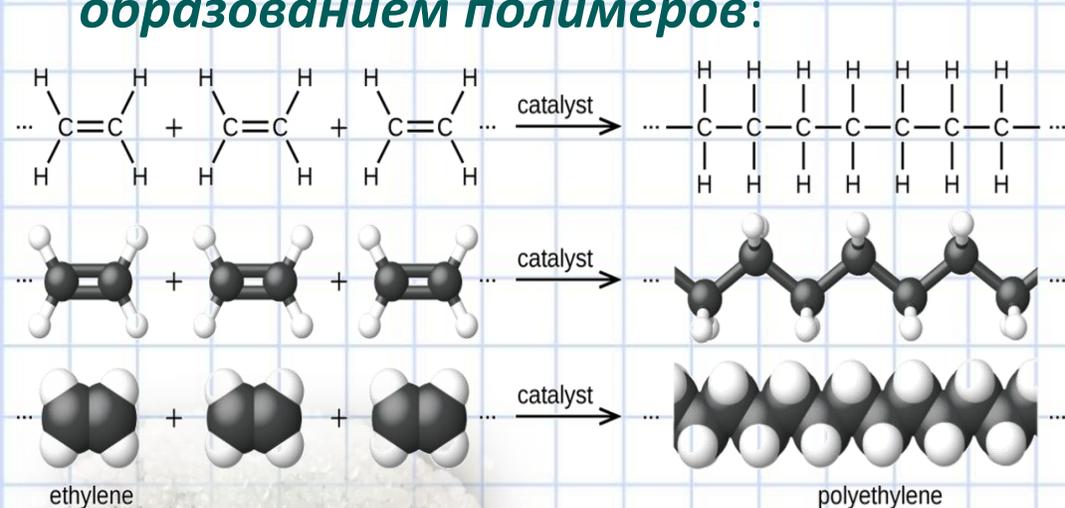


ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ



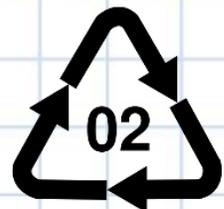
полимер, высокомолекулярное соединение, ВМС — химическое соединение с молярной массой, выше $1000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$, состоящее из большого числа повторяющихся структурных звеньев — мономеров, соединённых между собой химическими связями;

мономер, низкомолекулярное соединение, НМС — химическое соединение с низкой, до $1000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$, молярной массой, способное реагировать с идентичными соединениями с образованием полимеров:



$$M_r(\text{полимера}) = M_r(\text{структурного звена}) \cdot n_{\text{ср.}}$$

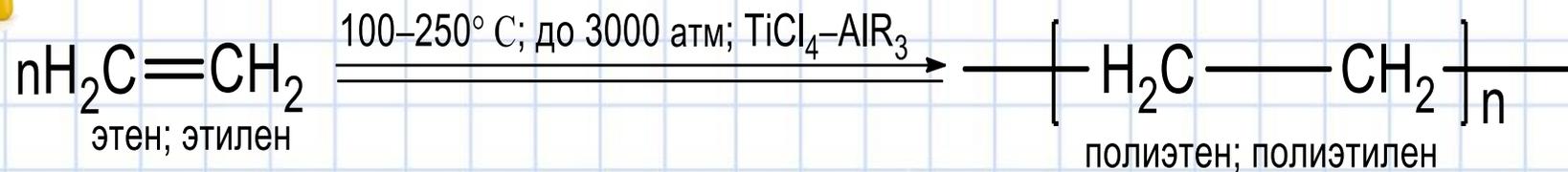




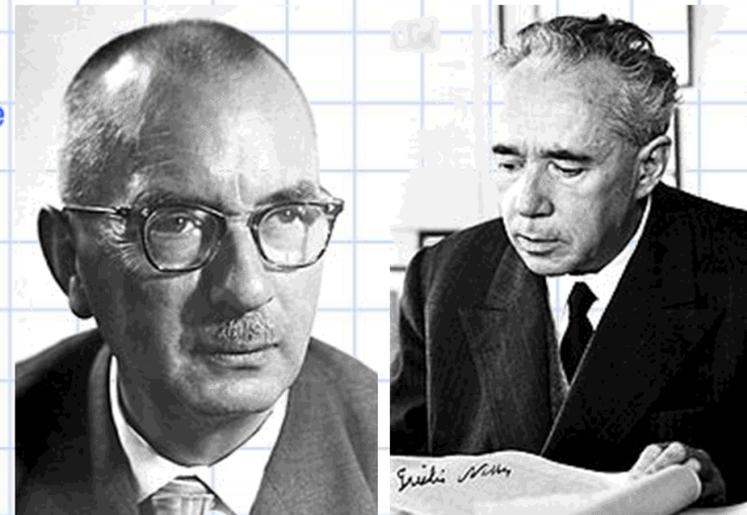
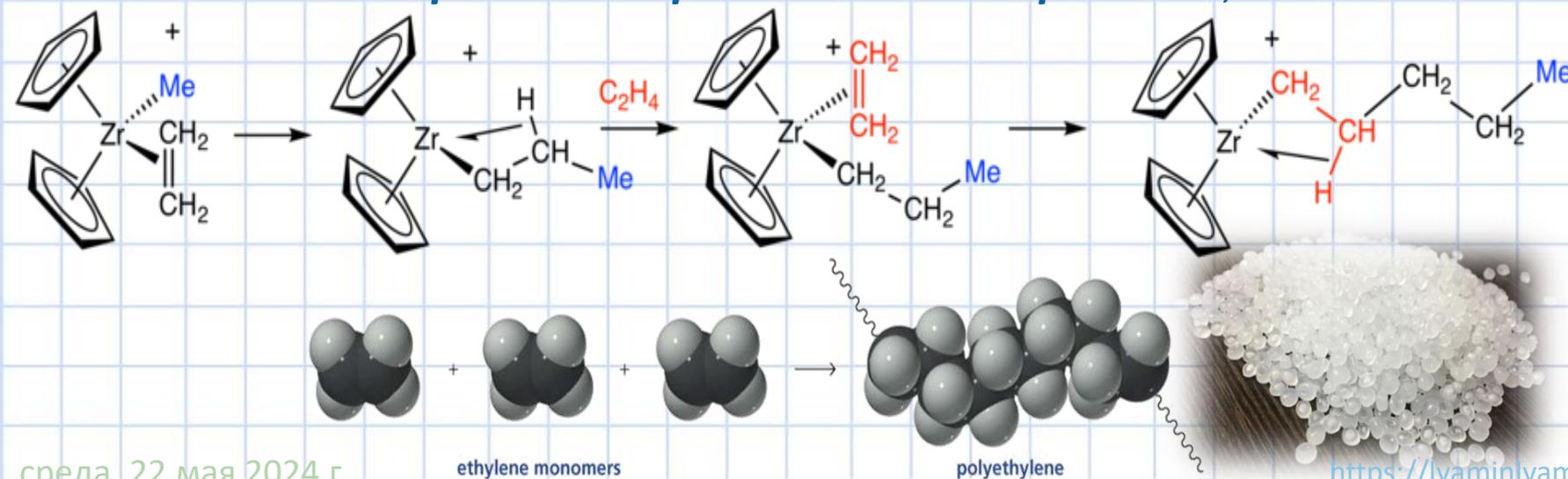
PE-HD



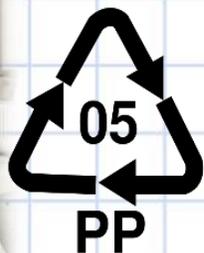
PE-LD



получение полиэтилена низкого давления, высокой плотности: ионная полимеризация при 120-150° C и давлении ниже 2 МПа на катализаторах Циглера — Натта, основанных на комплексах металлов 4-й группы Ti, Zr, Hf и AlR₃;
получение полиэтилена высокого давления, низкой плотности: радикальная полимеризация при 200-260° C и 150-300 МПа в присутствии инициатора — дикислорода или органического пероксида;



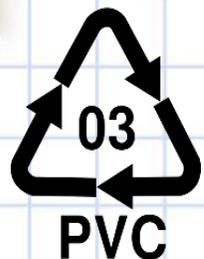
ПОЛИПРОПЕН, ПОЛИВИНИЛХЛОРИД, ПОЛИСТИРОЛ



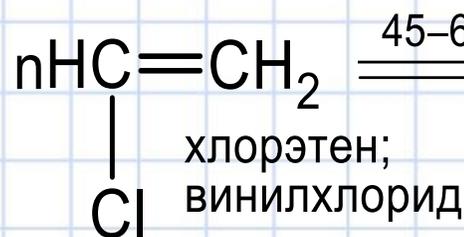
PP



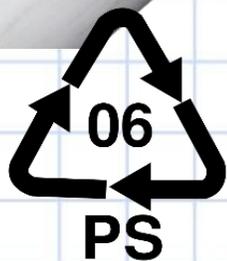
полипропен; полипропилен



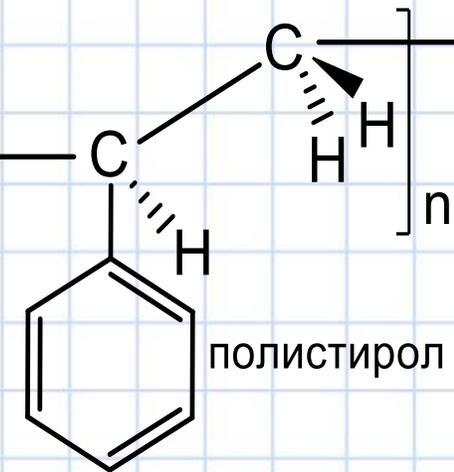
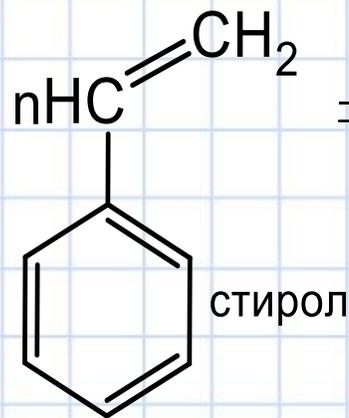
PVC



полихлорэтен; поливинилхлорид; ПВХ



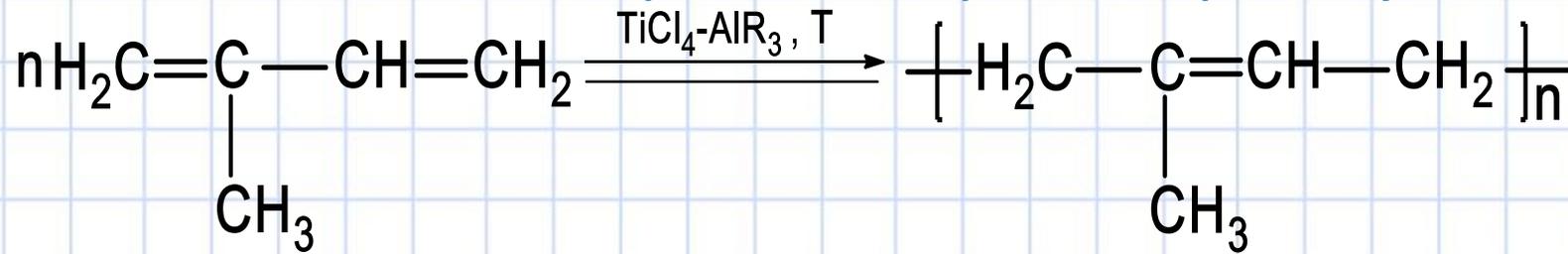
PS



полимерные материалы, способные испытывать значительные упругие деформации без разрушения при сравнительно небольшой действующей силе во всём диапазоне температур эксплуатации;

каучуки — натуральные или синтетические эластомеры, характеризующиеся эластичностью, водонепроницаемостью и электроизоляционными свойствами;

природный каучук — цис-полимер изопрена; содержится в млечном соке — латексе гевеи, коксагыза — многолетнего травянистого растения рода одуванчик и других каучуконосных растений:



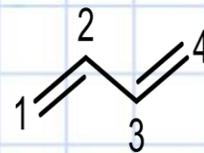
2-метилбут-1,3-диен; изопрен

поли-2-метилбут-1,3-диен; полиизопрен

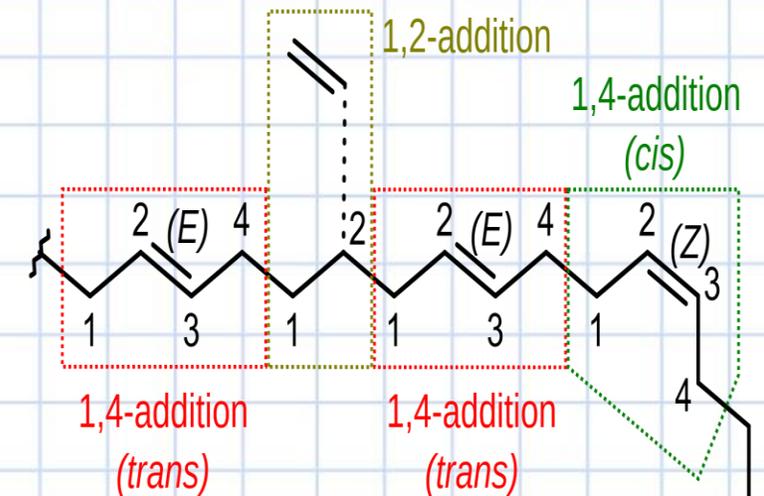
иницирование полимеризации литием в неполярном растворителе даёт каучук с 94 % цис-звеньев;

катализатор Циглера — Натта

позволяет получить каучук, идентичный натуральному:



polymerization





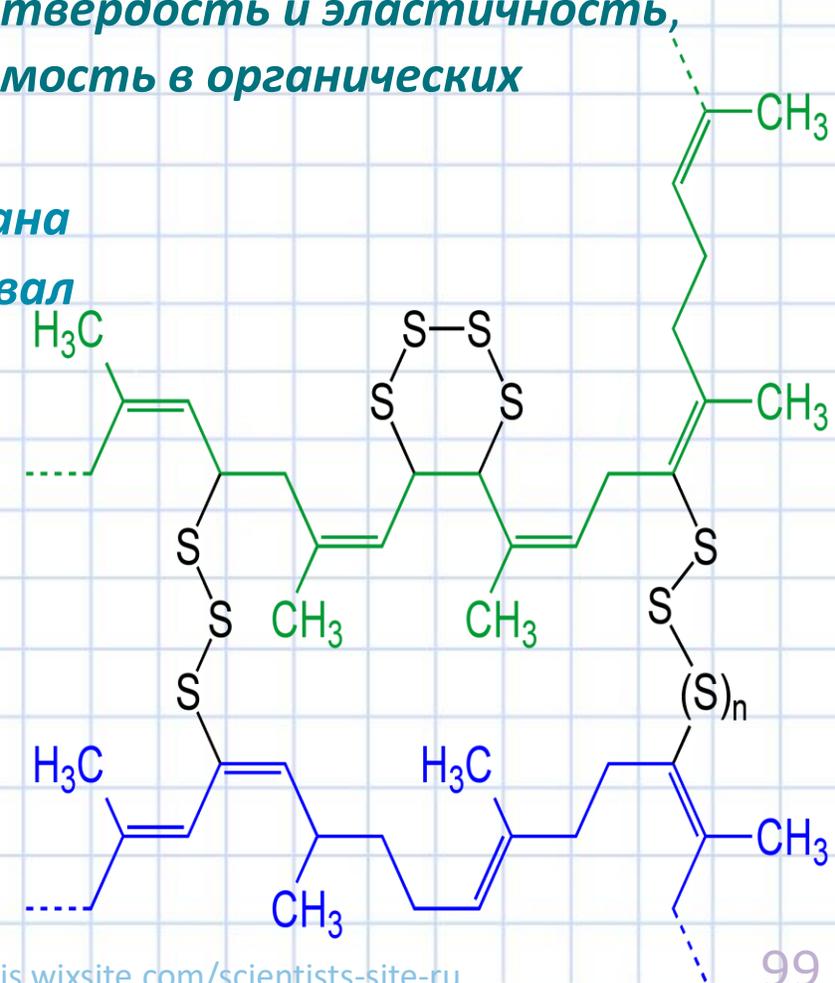
ВУЛКАНИЗАЦИЯ КАУЧУКА

технологический процесс взаимодействия каучуков с вулканизирующим реагентом, при котором происходит сшивание молекул каучука в единую пространственную сетку;
при этом повышаются прочностные характеристики каучука, его твёрдость и эластичность, снижаются пластические свойства, степень набухания и растворимость в органических растворителях;

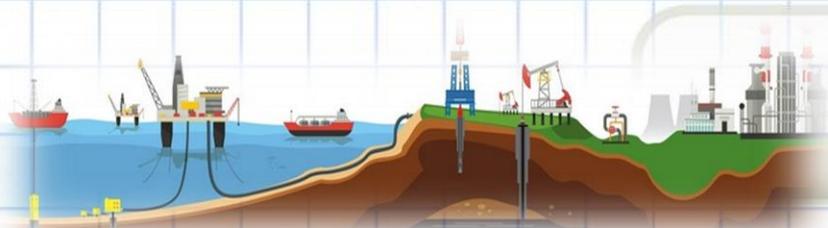
процесс открыл и назвал в честь древнеримского бога огня — Вулкана американский изобретатель Чарльз Гудьир, который и запатентовал вулканизацию натурального каучука в 1844 г.;

на практике применяют несколько методов вулканизации, но их объединяет одно — обработка вулканизационной серой:

резина, от латинского *resina* – смола — материал, получаемый вулканизацией каучука с компонентами: наполнителями, пластификаторами, активаторами вулканизации, противостарителями, ускорителями вулканизации, замедлителями подвулканизации.



ПРИРОДНЫЙ ГАЗ



природный источник углеводородов: смесь газов образовавшихся в недрах Земли при анаэробном разложении органических веществ; природный газ относится к полезным ископаемым и находится в виде газовой шапки или в растворённом состоянии в нефти, в кристаллическом состоянии в виде естественных газогидратов; при $p = 101325$ Па и $T = 25^\circ\text{C}$ находится в газообразном состоянии; природный газ в 1,8 раза легче воздуха, поэтому при утечке поднимается вверх, а не собирается в низинах; основным компонентом природного газа является метан — от 70 до 98 %; также в состав могут входить: этан, пропан, бутан; и неорганические газы: водород, сероводород, углекислый газ, азот, инертные газы (преимущественно гелий);

температура самовозгорания природного газа — 650°C ;

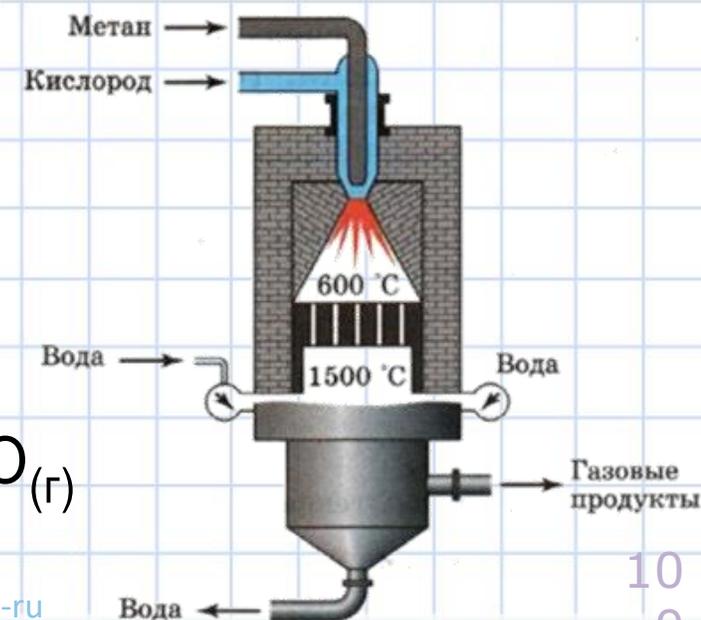
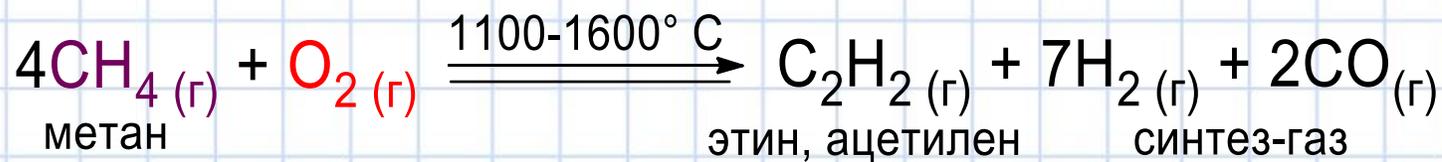
взрывоопасные смеси с воздухом от 5 до 15 % по объёму;

октановое число: 120-130; удельная теплота сгорания: $28-46$ МДж·м⁻³,

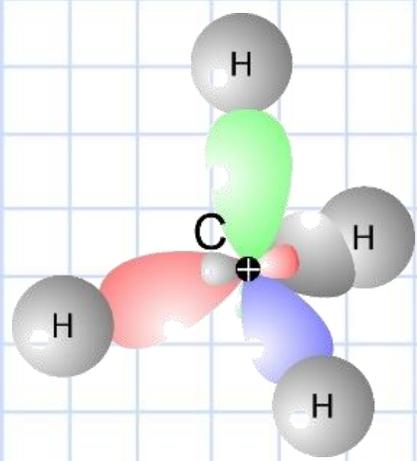
8-12 кВт·ч·м⁻³; выработка ГЭС «Три ущелья» (Three Gorges HPP) Китай,

составляет около 100 млрд. кВт·ч·год⁻¹, т.е. около 10 млрд м³ газа;

пиролиз метана:

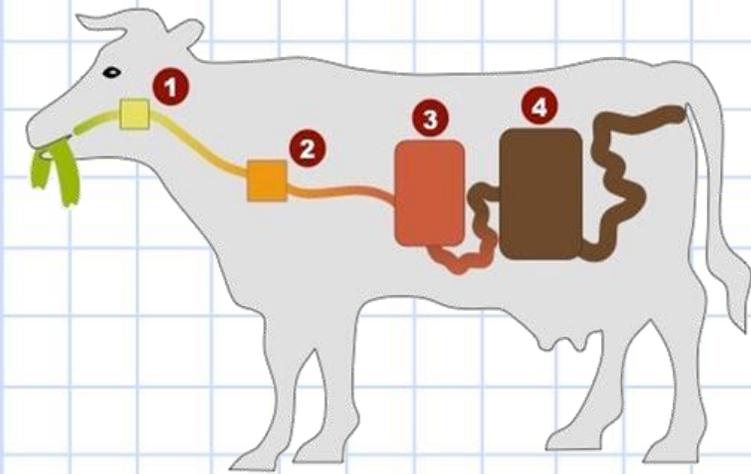


БИОСИНТЕЗ МЕТАНА



H_4C , образование метана в природе происходит в анаэробных средах — донные отложения озёр и морей, рубец коров, кишечник термитов и человека, рисовые поля или болота; метаногены также используют метаболиты бактерий *Clostridium butyricum*, вызывающих гниение влажной древесины; метан образуют

около 50 видов из 17 родов, все из которых относятся к археям отдела *Euryarchaeota* и являются анаэробами, рост некоторых из них полностью подавляется при появлении в газовой фазе 0,004 % O_2



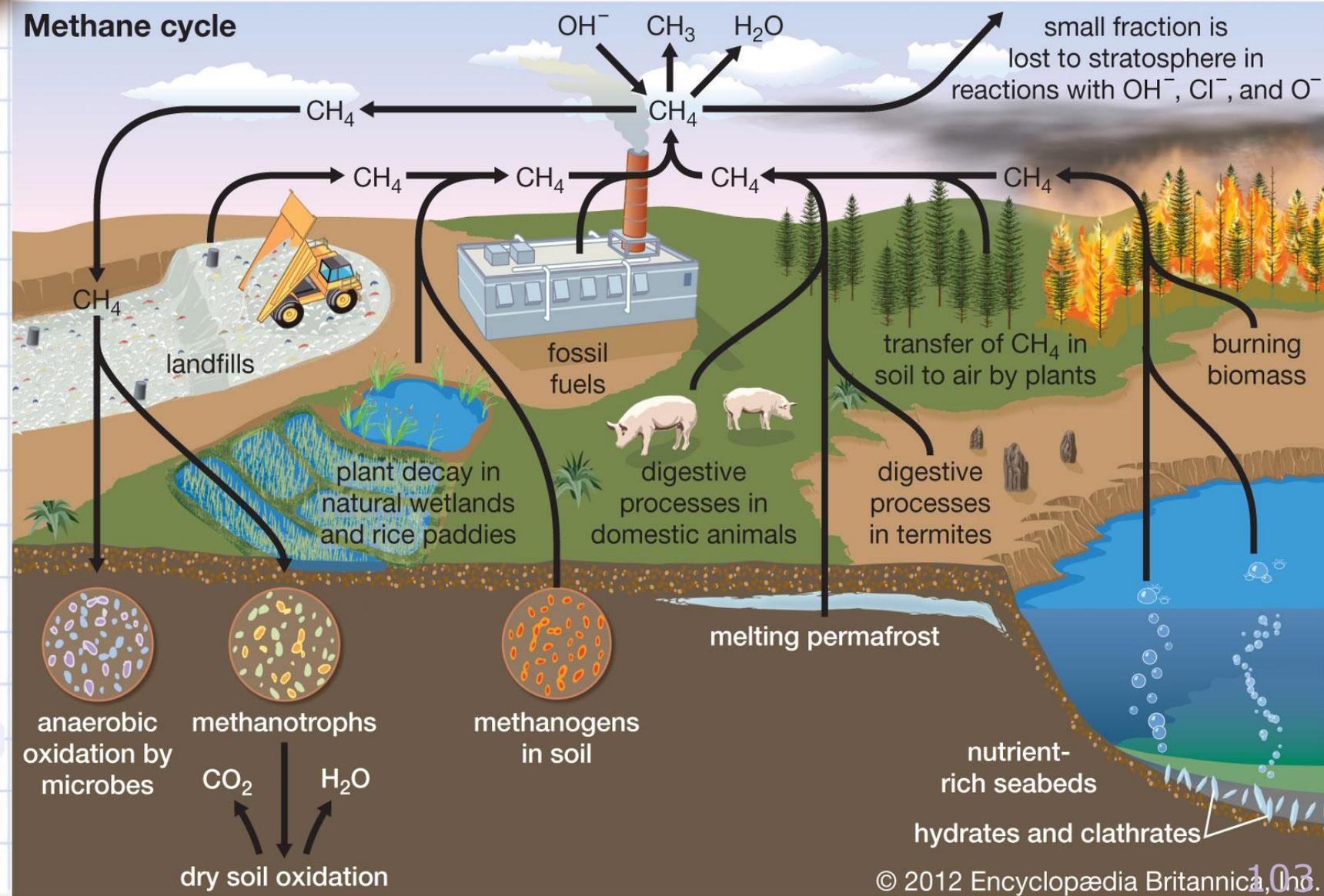
метаногенез, завершая анаэробную деградацию биомассы, с использованием диводорода, углекислого газа и угарного газа, а также органических кислот, выделяющихся в процессах брожения, является ключевым компонентом цикла углерода Земли.

1. Hydrolysis	Polymers → Monomers (sugars, fatty acids, etc.)
2. Acidogenesis	Monomers → Alcohols (ethanol via fermentation)
3. Acetogenesis	Alcohols → Acetate (+ methane as a by-product)
4. Methanogenesis	Acetate → Methane (+ CO_2 as a by-product)

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ МЕТАНА



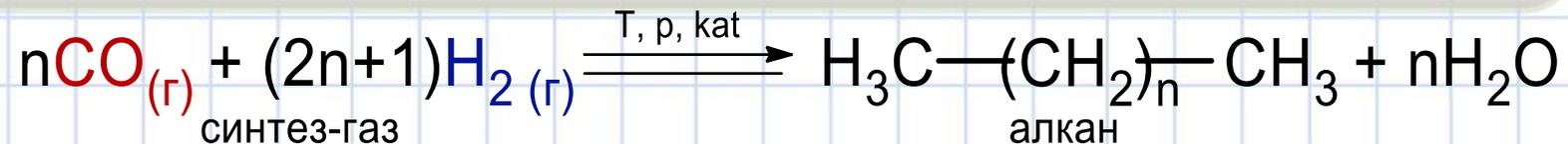
Methane cycle





ПРОМЫШЛЕННЫЙ СИНТЕЗ УГЛЕВОДОРОДОВ

процесс Фишера — Тропша:



термодинамические закономерности для продуктов синтеза Фишера — Тропша: возможно образование из синтез-газа углеводородов любой молярной массы кроме ацетилена, образование которого энергетически невыгодно;

образование углеводородов уменьшается в ряду: метан > алканы > алкены; вероятность образования нормальных алканов снижается, а нормальных алкенов — повышается с увеличением длины цепи;

повышение общего давления в системе способствует образованию более тяжёлых продуктов, а увеличение парциального давления водорода в синтез-газе ведёт к образованию алканов.

синтез	катализатор	носитель	T °C	p МПа	продукт
метана	Co, Ni	MgO, ThO ₂	250-500	0,1	метан
высших алканов	Co, Ni, Ru	MgO, ThO ₂ , TiO ₂ , ZrO ₂	150-230	0,1-1	твёрдые алканы
изоалканов	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , ThO ₂	K ₂ CO ₃	400-450	10	изоалканы

полезное ископаемое, представляющее горючую маслянистую жидкость, чаще всего чёрного цвета, но в зависимости от месторождения она может быть коричневой, вишнёвой, зелёной, жёлтой и даже прозрачной; по составу представляет собой смесь различных углеводородов с примесью соединений серы, азота и др.

содержание основных классов углеводородов в нефти различных месторождений (во фракциях, выкипающих до 300° С в % на всю нефть)

<i>месторождение</i>	<i>ρ г·см⁻³</i>	<i>алканы</i>	<i>алкены</i>	<i>арены</i>
<i>пермское, РФ</i>	0,941	8,1	6,7	15,3
<i>грозненское, РФ</i>	0,844	22,2	10,5	5,5
<i>сураханское, Азербайджан</i>	0,848	13,2	21,3	5,2
<i>калифорнийское, США</i>	0,897	9,8	14,9	5,1
<i>техасское, США</i>	0,845	26,4	9,7	6,4



атмосферная перегонка — предназначена для отбора светлых нефтяных фракций бензиновой, керосиновой и дизельных, выкипающих до 360°C , потенциальный выход которых составляет 45-60 %; остаток атмосферной перегонки — мазут;

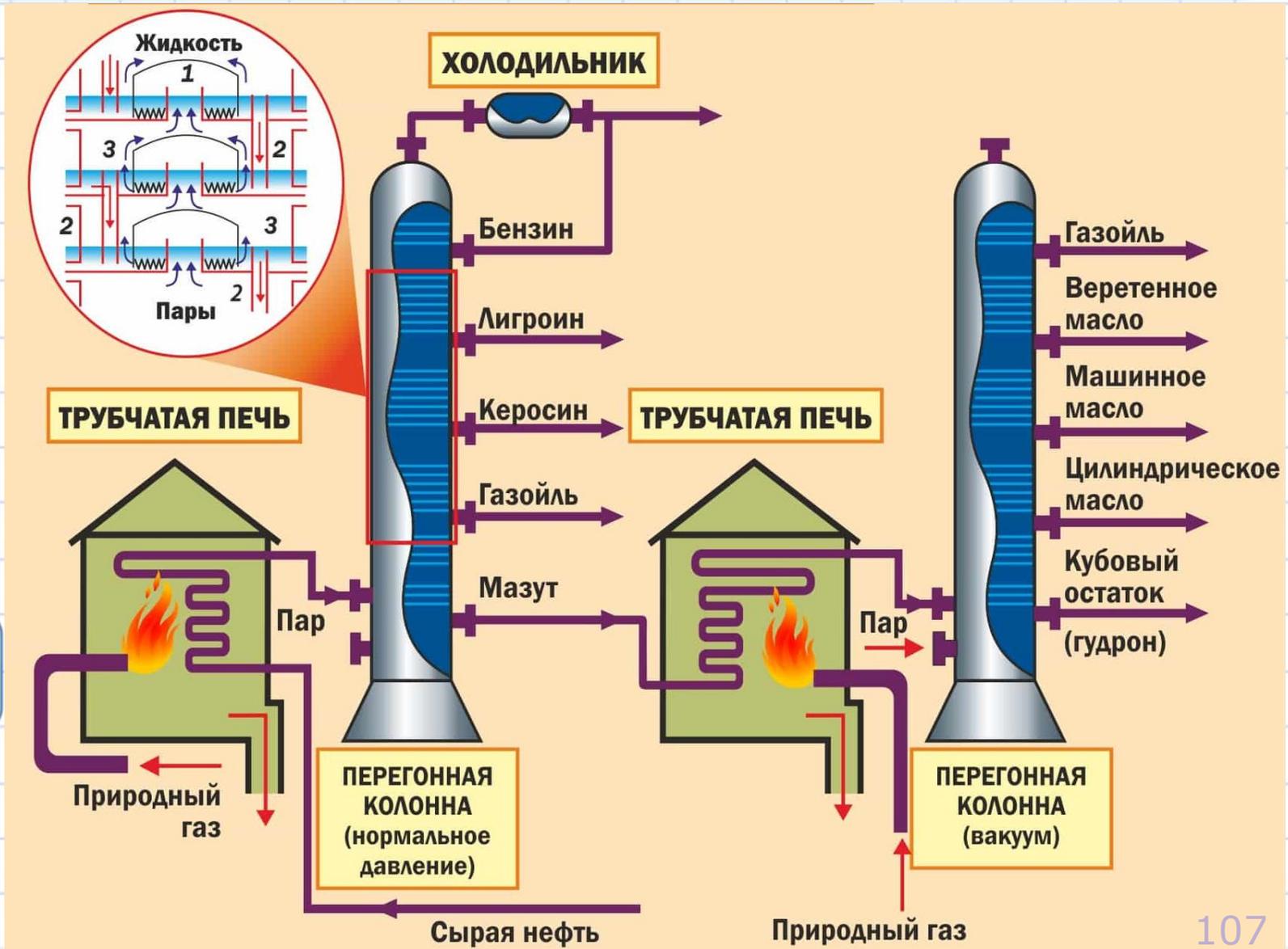
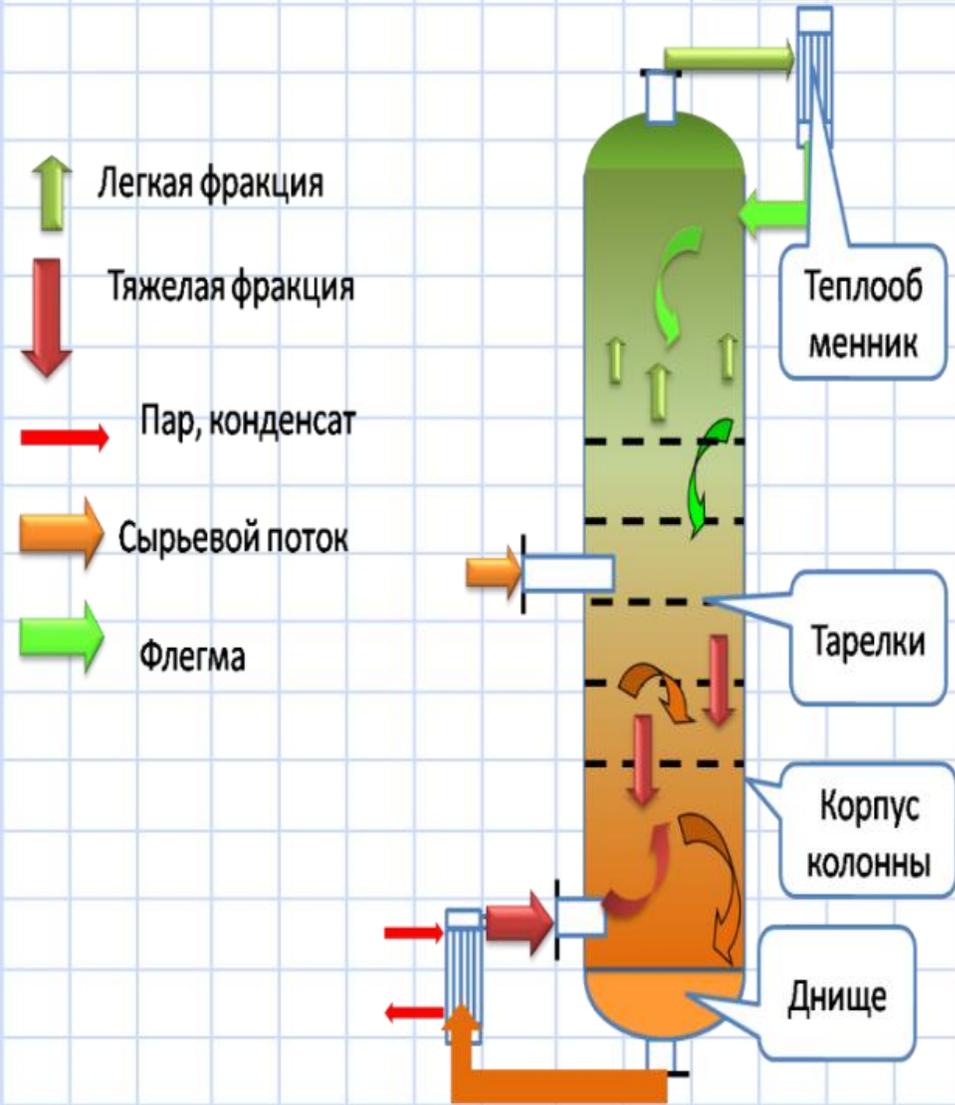
вакуумная перегонка — предназначена для отбора от мазута масляных дистиллятов или широкой масляной фракции — вакуумного газойля; остатком вакуумной перегонки является гудрон;

крекинг — термокаталитическая переработка нефтяных фракций с целью получения компонента высокооктанового бензина;

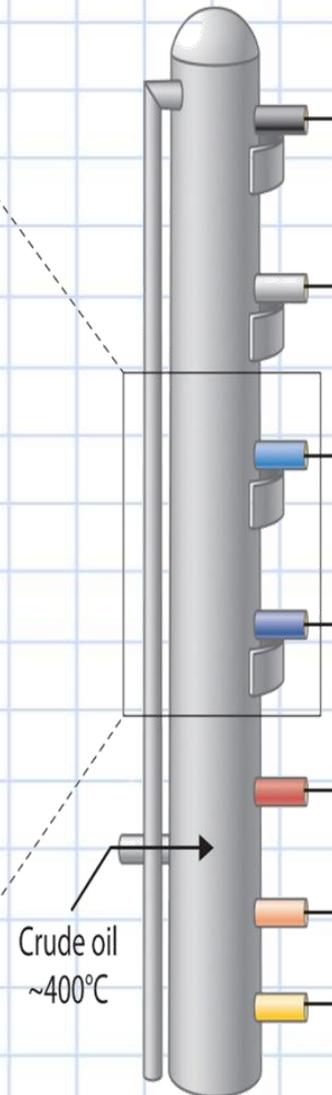
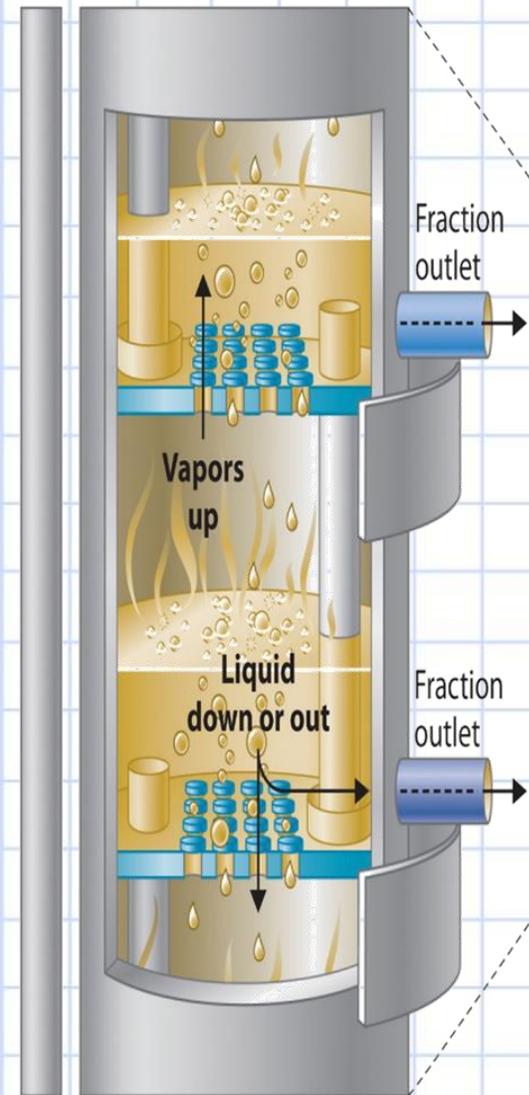
гидрокрекинг — процесс, направленный на получение высококачественных керосиновых и дизельных дистиллятов, а также вакуумного газойля путём крекинга углеводородов исходного сырья в присутствии водорода



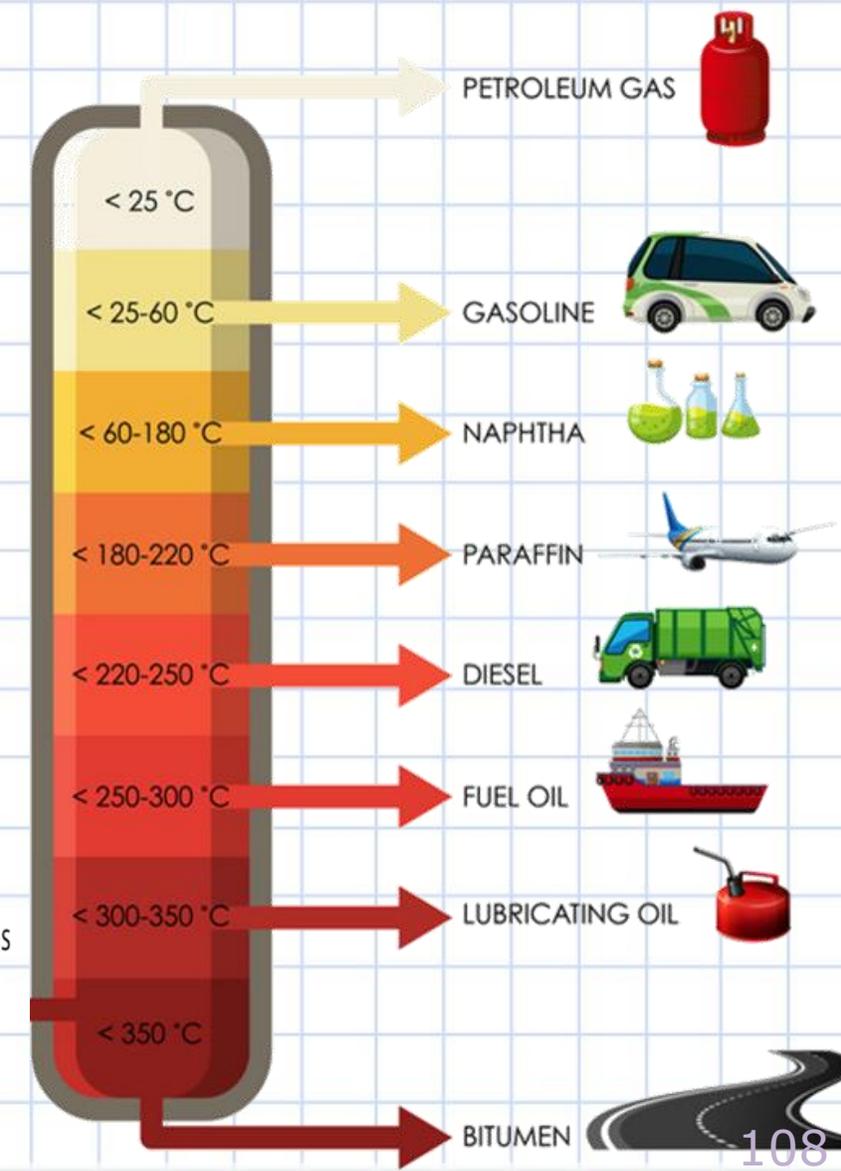
ПЕРЕГОНКА НЕФТИ



ФРАКЦИОННАЯ ПЕРЕГОНКА НЕФТИ



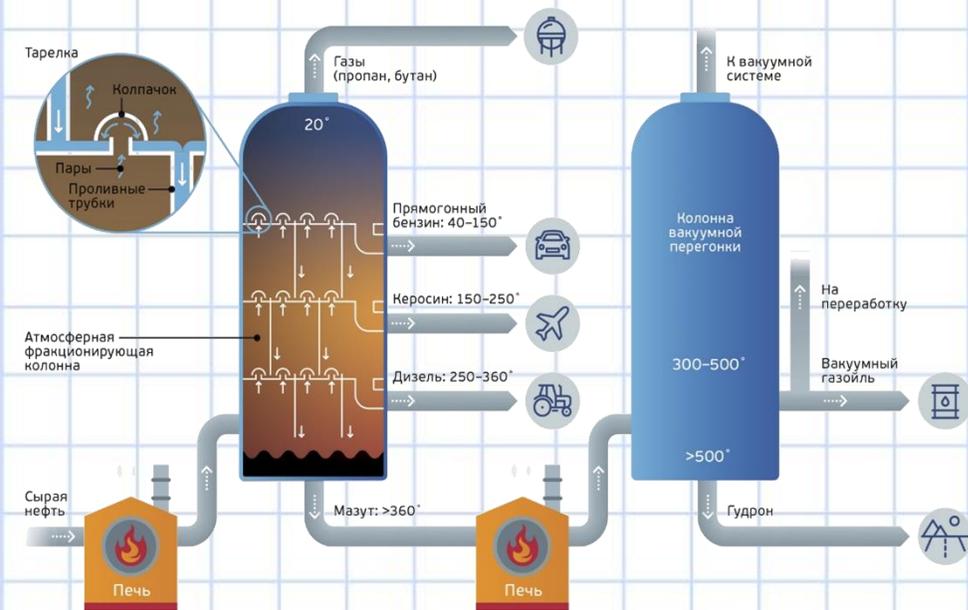
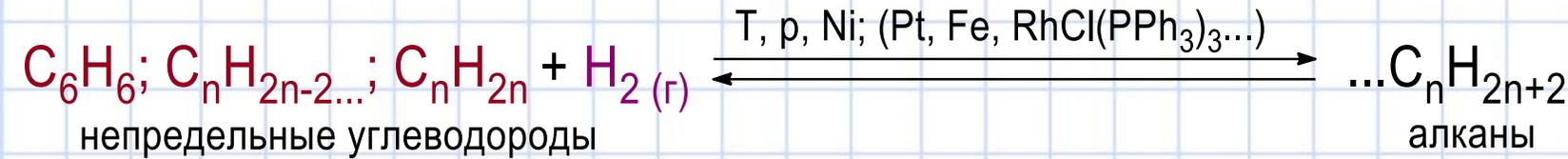
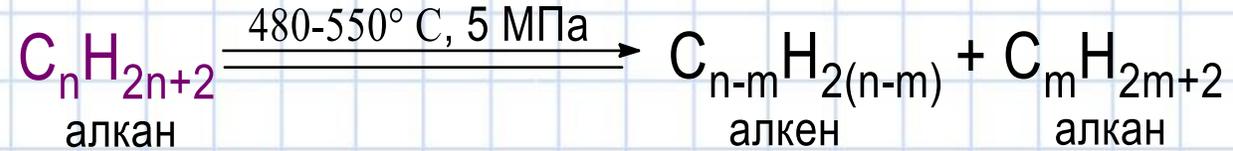
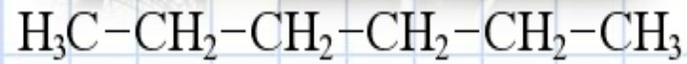
	Number of carbons	Boiling point range	Uses
Gases	1-4	0-30°C	Bottled and natural gas
Naphthas	5-10	30-180°C	Gasoline
Kerosenes	10-16	180-260°C	Kerosene for home heaters, jet fuel
Gas oils	16-60	260-350°C	Diesel fuel, feedstock for cracking
Lubricants	>60	350-575°C	Motor oil, feedstock for cracking
Fuel oil	>70	>490°C	Candles, fuel oil for ships and power stations
Asphalt	>80	>580°C	Roofing tar, road tar



КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ НЕФТИ

Владимир Григорьевич Шухов, 28.08.1853, Курская губерния — 02.02.1939, Москва,

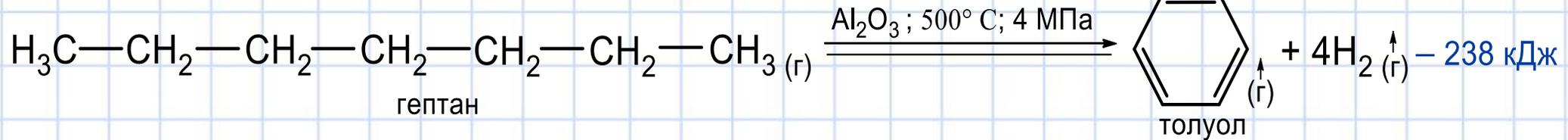
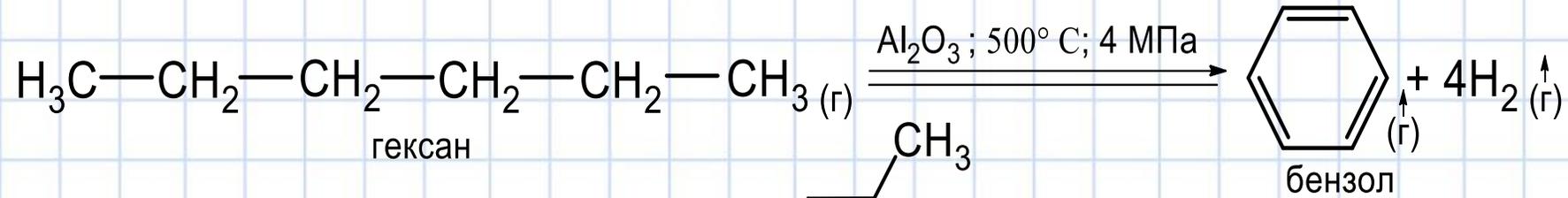
крекинг алканов:



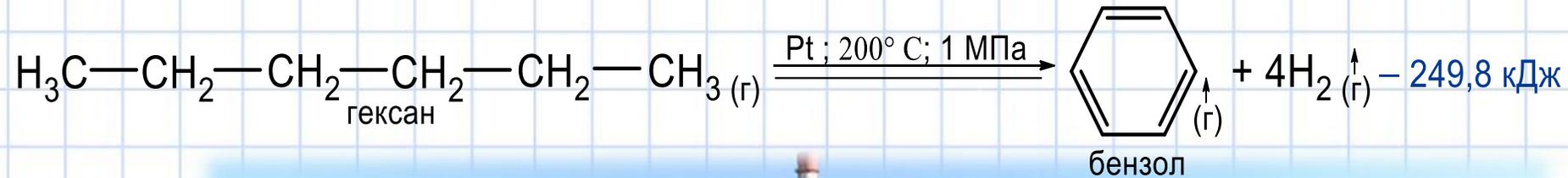
109

РИФОРМИНГ И ПЛАТФОРМИНГ

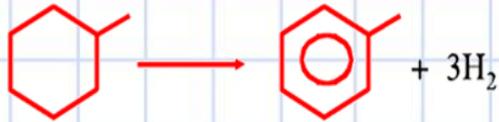
риформинг:



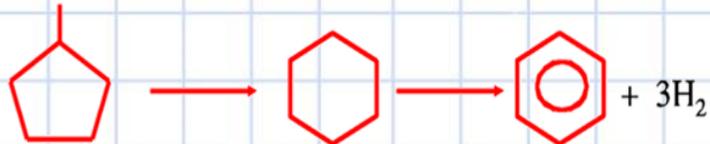
платформинг:



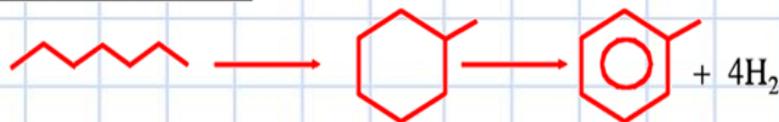
1. Dehydrogenation



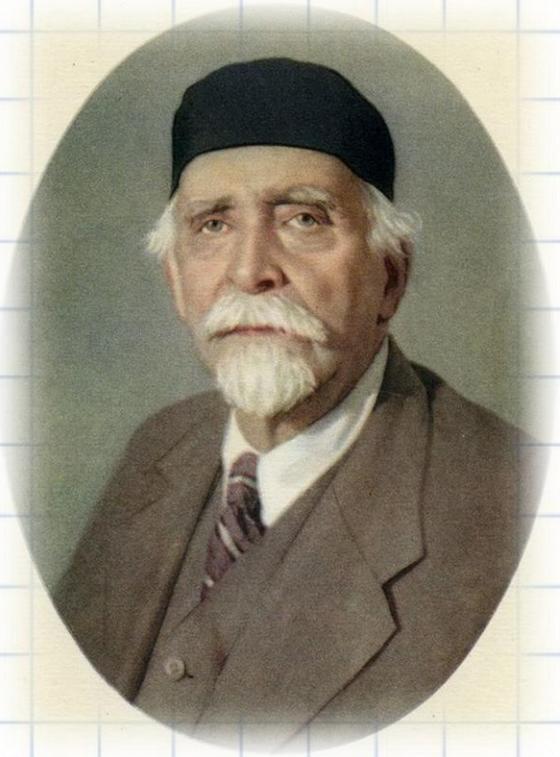
2. Dehydroisomerization



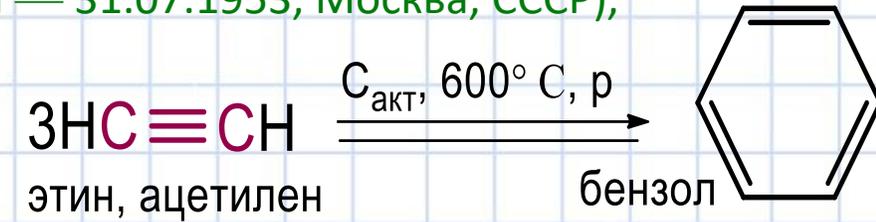
3. Dehydrocyclization



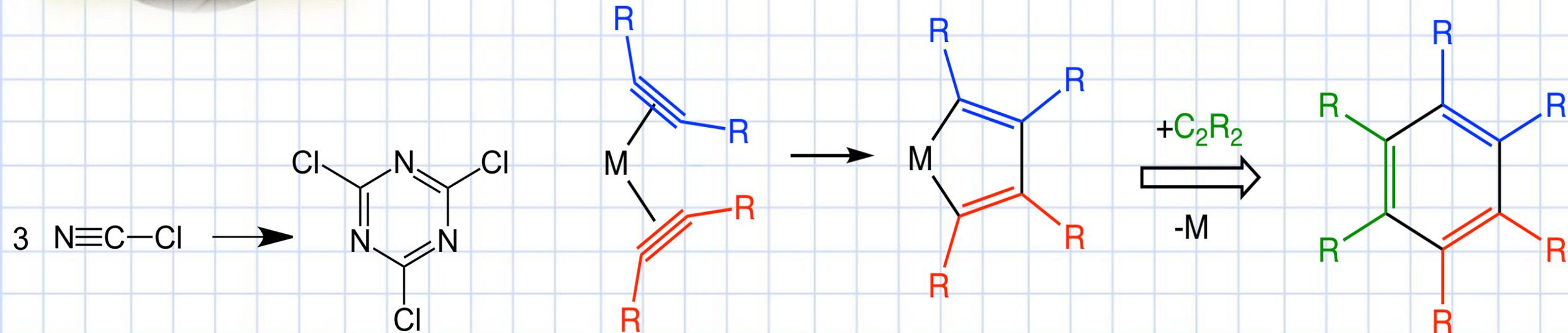
ПРОМЫШЛЕННЫЙ СИНТЕЗ БЕНЗОЛА И АРЕНОВ



реакция Зелинского, Никола́й Дми́триевич Зе́линский (25.01.1861, Тирасполь, Херсонская губерния, Российская империя — 31.07.1953, Москва, СССР),
тримеризация ацетилена:



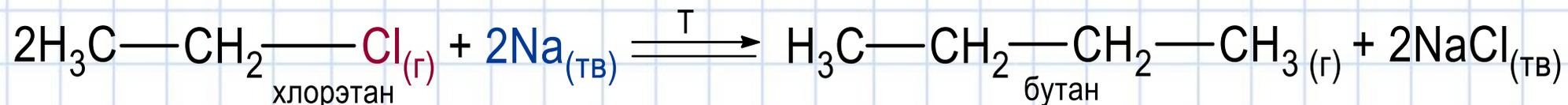
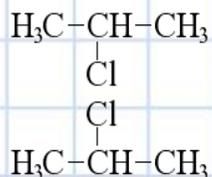
в 1948 г. немецкий химик Вальтер Реппе предложил наиболее выгодный способ с использованием соединений никеля при 60°C:



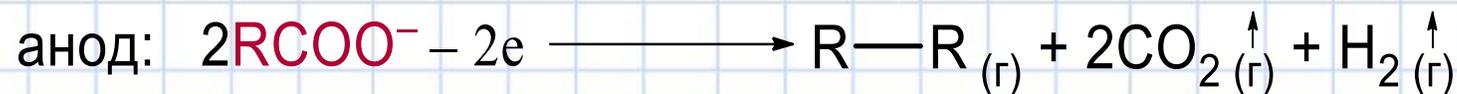
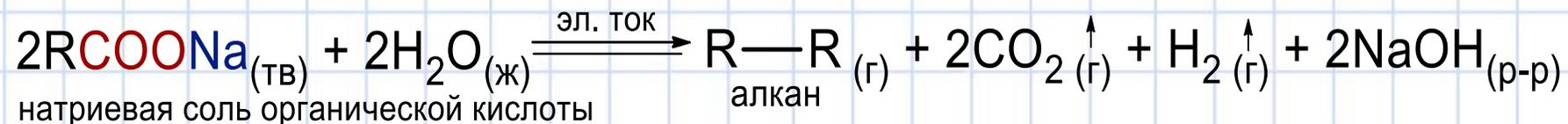


ЛАБОРАТОРНЫЙ СИНТЕЗ УГЛЕВОДОРОДОВ

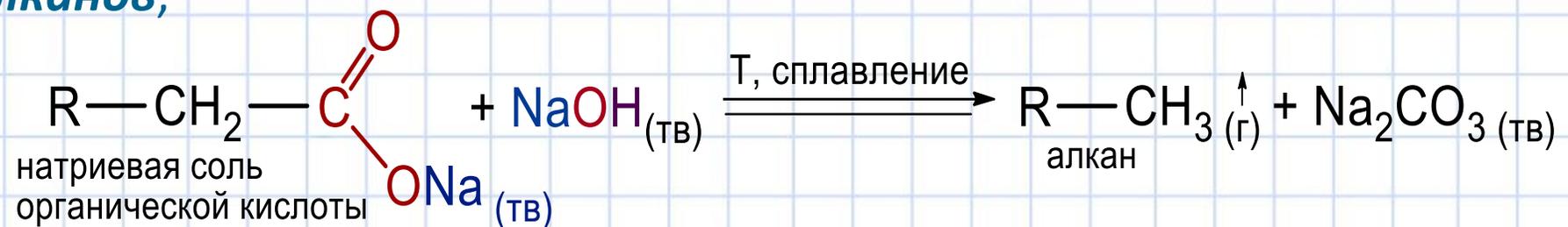
лабораторный синтез симметричных алканов, синтез Вюрца:



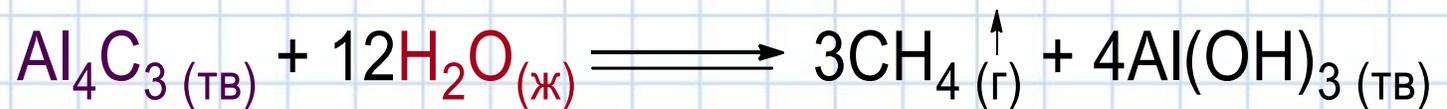
лабораторный синтез симметричных алканов, синтез Кольбе:



лабораторный синтез алканов, синтез Дюма:



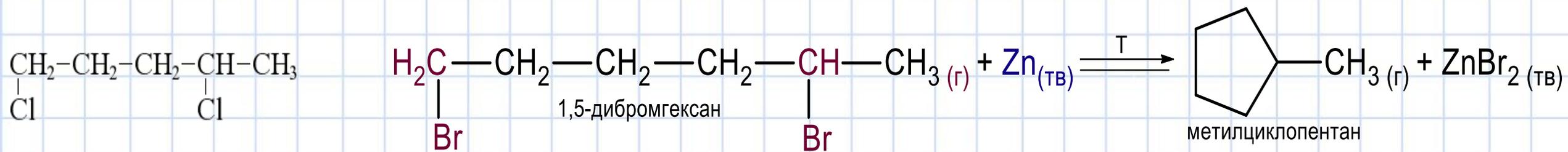
лабораторный синтез метана гидролизом карбида алюминия:



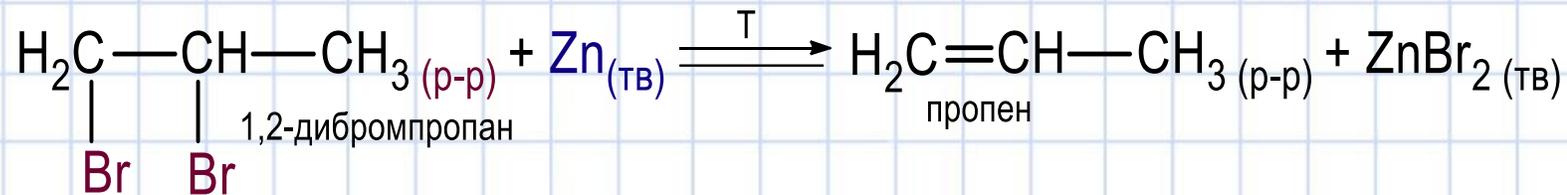


ЛАБОРАТОРНЫЙ СИНТЕЗ УГЛЕВОДОРОДОВ

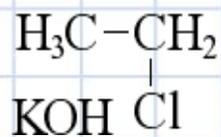
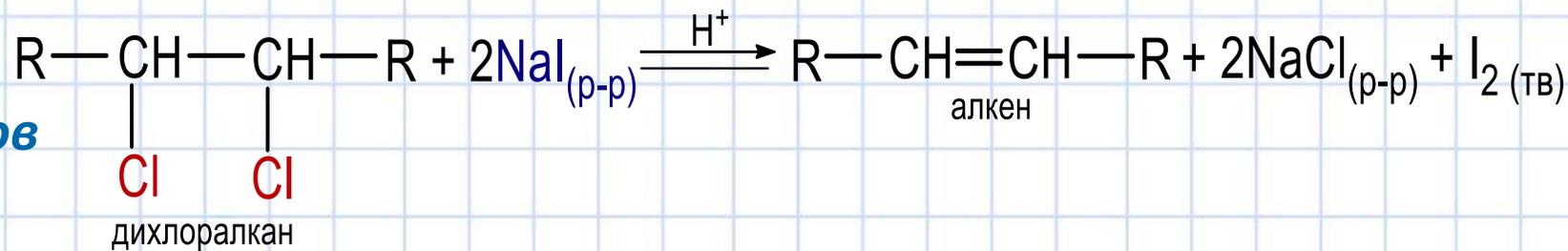
лабораторный синтез циклоалканов, синтез Густавсона:



лабораторный синтез алкенов из вицинальных дигалогенпроизводных:

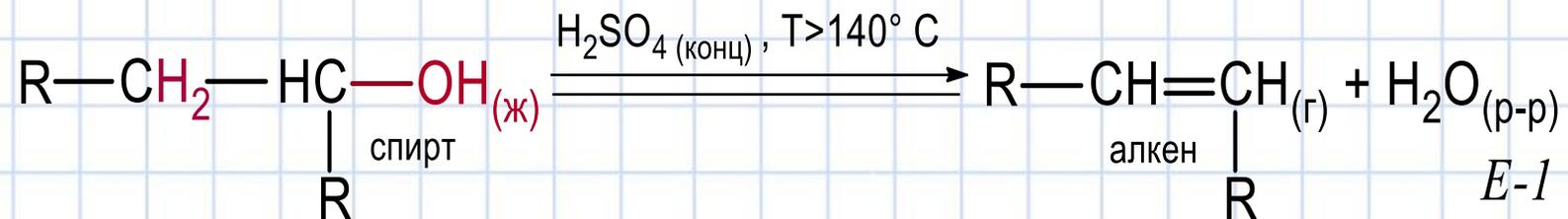
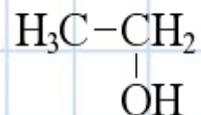


лабораторный синтез алкенов дегидрогалогенированием моногалогенпроизводных:

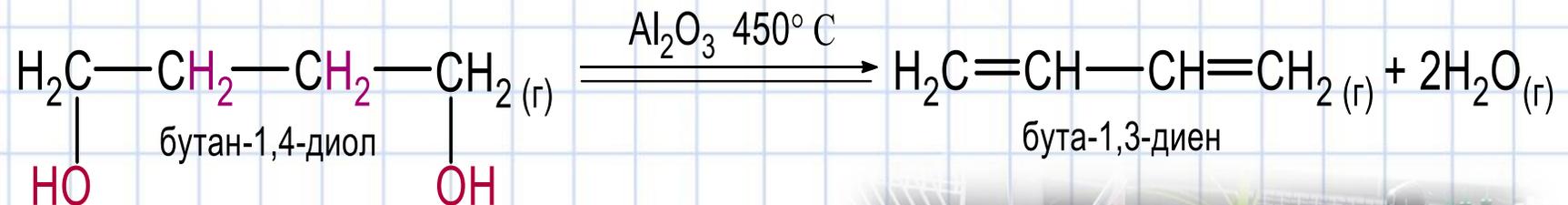


ЛАБОРАТОРНЫЙ СИНТЕЗ УГЛЕВОДОРОДОВ

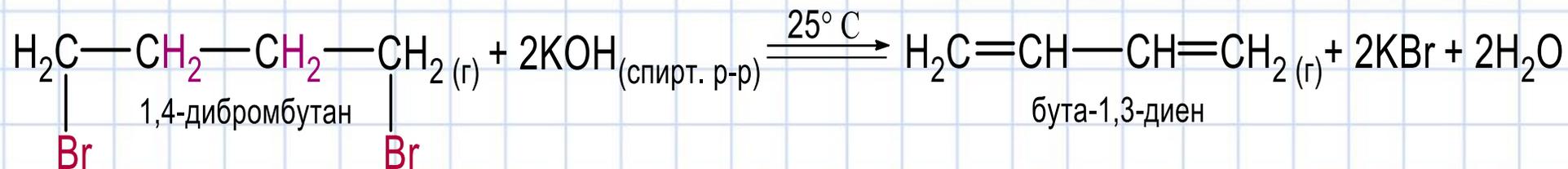
**лабораторный синтез алкенов
дегидратацией спиртов:**



**лабораторный синтез
алкенов дегидратацией
двуатомных спиртов:**



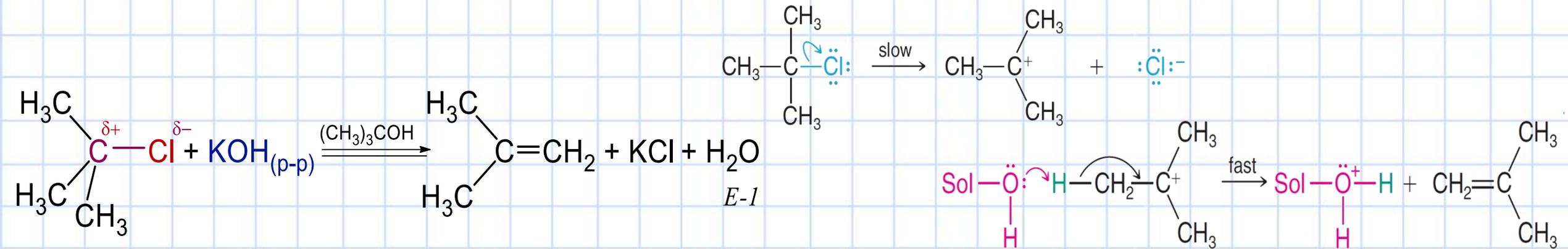
**лабораторный синтез алкадиенов
дегидрогалогенированием
дигалогенпроизводных:**



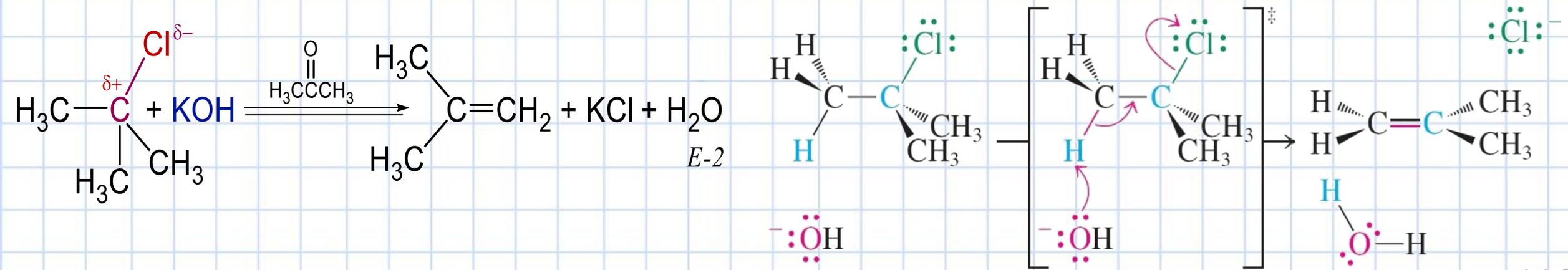


РЕАКЦИИ ЭЛИМИНИРОВАНИЯ

E-1 механизм реализуется у третичных и вторичных производных, но при повышенной температуре с использованием оснований в полярных протонных растворителях:

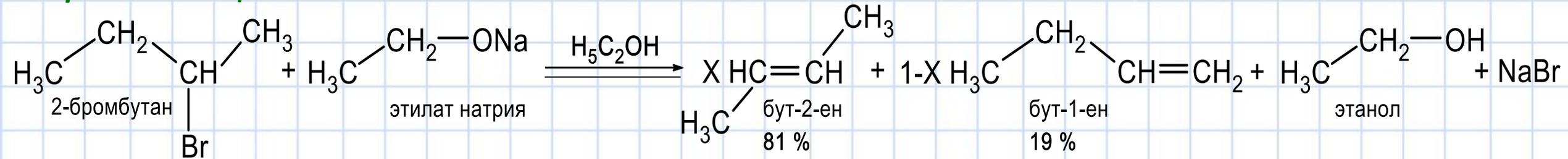


E-2 механизм отлично реализуется при использовании сильных оснований в полярных апротонных растворителях:

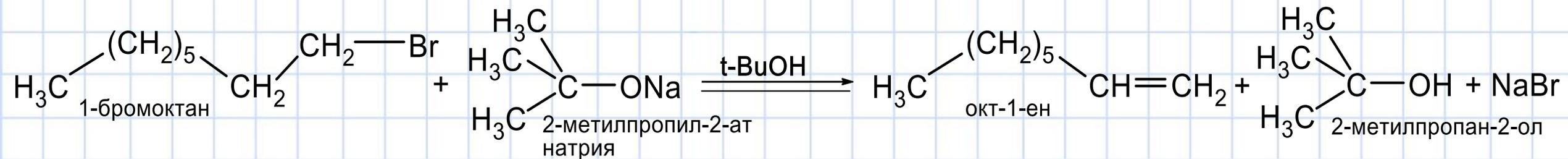


ПРОДУКТЫ РЕАКЦИИ ЭЛИМИНИРОВАНИЯ

в большинстве реакций элиминирования водород отщепляется преимущественно от соседнего наименее гидрогенизированного углерода с образованием более замещённого алкена — **правило Зайцева**:



использование стерически объёмных оснований способствует реакции элиминирования по **правилу Гофмана** — отщепление водорода от соседнего более гидрогенизированного углерода с образованием менее замещённого алкена; реакции, в которых уходящая группа — нейтральная молекула, подчиняются правилу Гофмана:





СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕАКЦИЙ E-1 И E-2

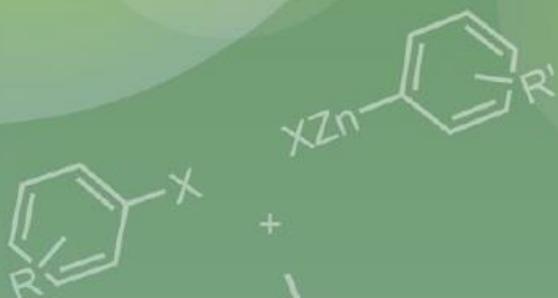
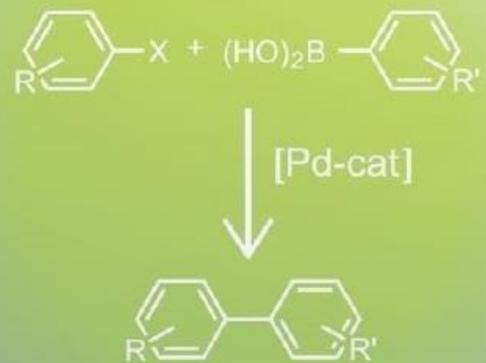
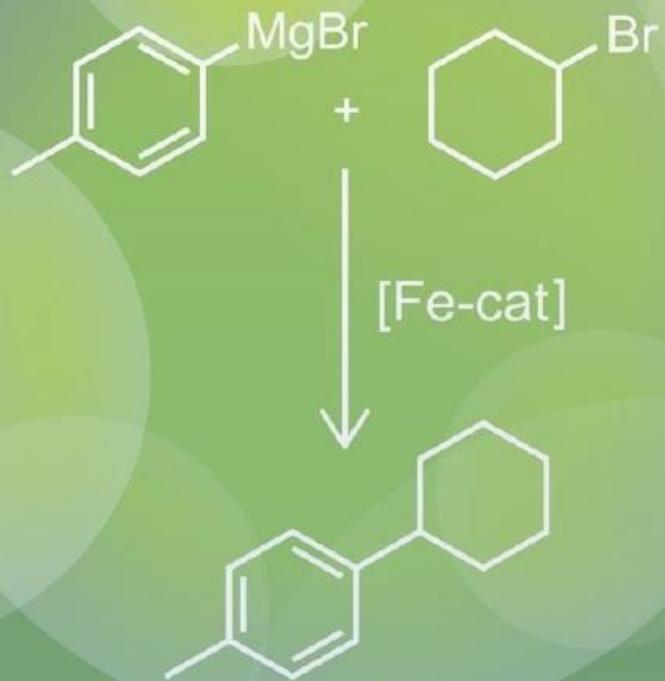
	<i>E-1 механизм</i>	<i>E-2 механизм</i>
скорость реакции	$k \cdot C(R-X)$	$k \cdot C(R-X) \cdot C(Y)$
изомерия	<i>перегруппируются, стереоспецифичны транс-</i>	<i>неперегруппируются, стереоспецифичны транс-</i>
субстрат	<i>третичный, разветвлённый</i>	<i>первичный < вторичный < третичный R-F < R-Cl < R-Br < R-I</i>
реагент	<i>не зависит</i>	<i>сильное основание (HO-) < (H₃CO-) < ((H₃C)₃CO-) < (H₂N-)</i>
растворитель	<i>протонный: H₂O; H₃COH; HCOOH</i>	<i>полярный, апротонный: (H₃C)₂SO ДМСО</i>
R-X + KOH	<i>не идёт</i>	<i>идёт частично</i>
R ₃ C-X + KOH	<i>идёт частично</i>	<i>отлично</i>
R-X + H ₃ CONa	<i>не идёт</i>	<i>идёт частично</i>
R-X + (H ₃ C) ₃ CONa	<i>не идёт</i>	<i>отлично</i>
R ₃ C-X + H ₃ CCOONa	<i>идёт частично</i>	<i>не идёт</i>



- ✓ **все углеводороды горят;**
- ✓ **из всех углеводородов алканы и большие циклоалканы наименее реакционны;**
- ✓ **алканы и большие циклоалканы вступают в реакции радикального хлорирования, бромирования, нитрования в жёстких условиях;**
- ✓ **алкены и алкадиены вступают в реакции радикального и электрофильного присоединения и полимеризации;**
- ✓ **алкины вступают в реакции нуклеофильного присоединения и реакции замещения концевого водорода;**
- ✓ **арены вступают в реакции радикального присоединения в жёстких условиях и реакции электрофильного замещения на катализаторе;**
- ✓ **все углеводороды, за исключением алканов, больших циклоалканов и бензола, в водных растворах окисляются перманганат-ионами и дихромат-ионами.**

ВЫВОДЫ

	H ₂	Br ₂	H ₂ O	HCl	[Ag(NH ₃) ₂]	Cu(OH) ₂	KMnO ₄	HNO ₃
алканы	—	<i>hν</i>	—	—	—	—	—	+
циклоалканы	±	+ / <i>hν</i>	—	±	—	—	—	+
алкены	+	+	+	+	—	—	+	+
алкины	+	+	+	+	±	—	+	+
бензол	+	FeBr ₃ / <i>hν</i>	—	—	—	—	—	+
арены	+	FeBr ₃ / <i>hν</i>	—	—	—	—	+	+



ГАЛОГЕНПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДОВ



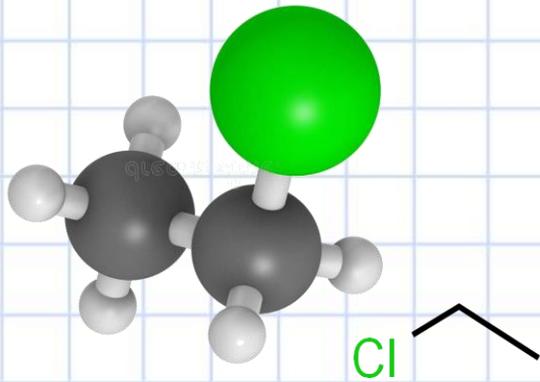
X = Cl, Br, I

ГАЛОГЕНУГЛЕВОДОРОДЫ

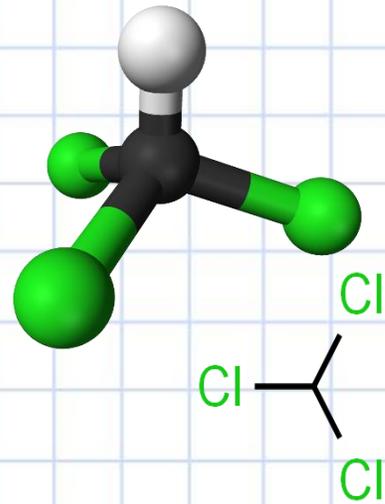
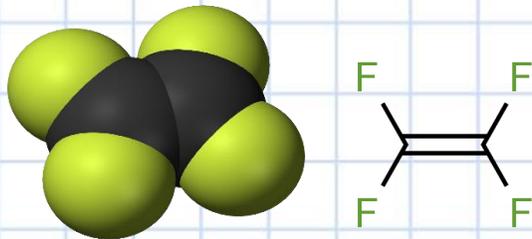
органические соединения с общей формулой: $R-OH$, $Ar-OH$;

в зависимости от типа заместителя R эти соединения подразделяют на:
моно-, ди-, три-, полигалогенуглеводороды; первичные, вторичные, третичные:

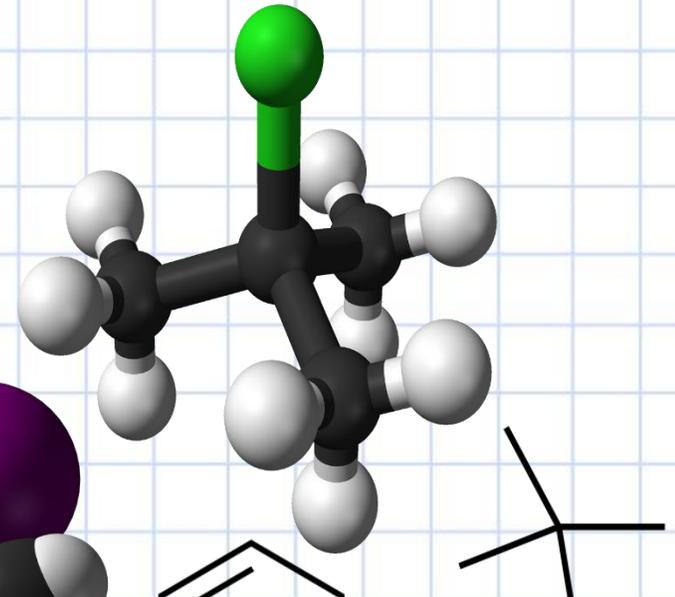
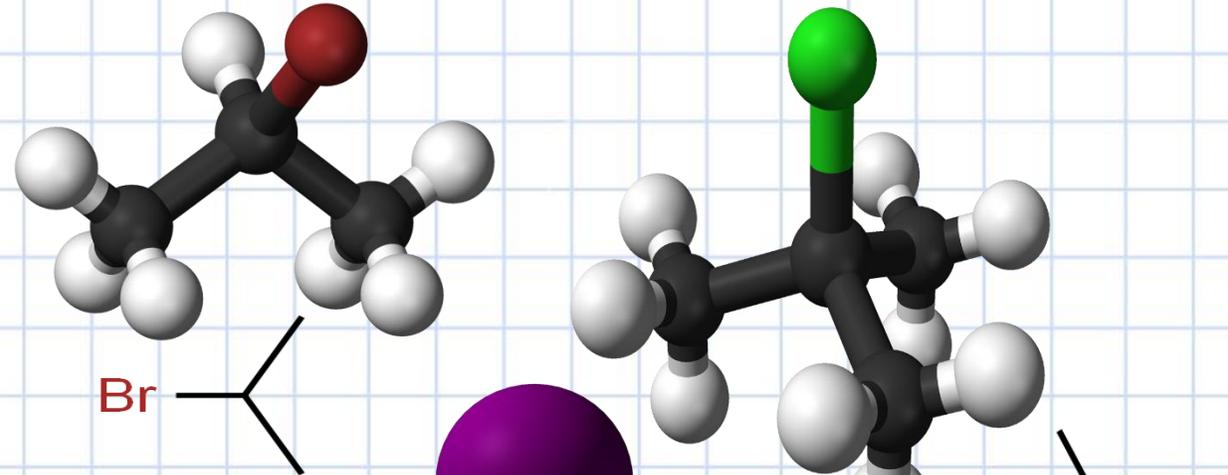
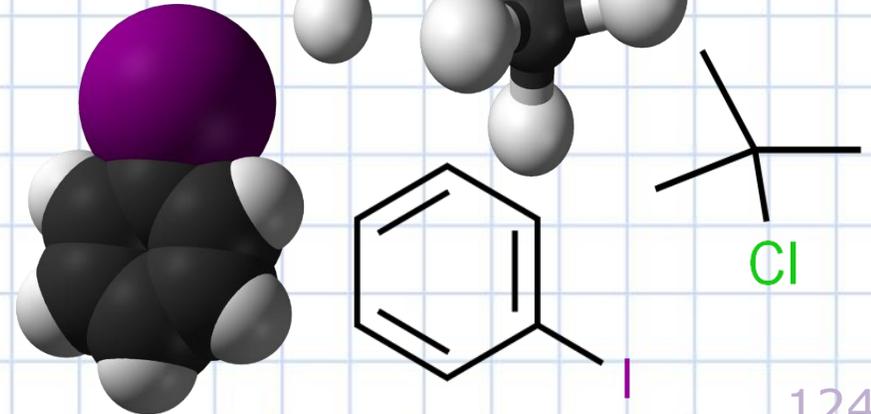
хлорэтан, хлорэтил; трихлорметан, хлороформ; 2-бромпропан; 2-метил-2-хлорпропан;
 H_3C-CH_2-Cl ; $CH-Cl_3$; $H_3C-CH(Cl)-CH_3$; $H_3C-CH(CH_3)(Cl)-CH_3$;



тетрафторэтен;
 $F_2C=CF_2$;



иодбензол;
 H_5C_6-I ;





ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЛОГЕНУГЛЕВОДОРОДОВ

агрегатное состояние при стандартных условиях: температуры кипения и плавления увеличиваются с ростом числа атомов углерода в главной цепи, чем больше разветвлений в цепи, тем ниже температура кипения:

все галогенпроизводные имеют резкий специфический запах;

все соединения, кроме фторпроизводных, тяжелее воды;

весьма плохо растворимы в воде, однако в органических соединениях растворяются очень хорошо и сами являются хорошими органическими растворителями

название	формула	$T_{\text{пл}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{кип}} (^{\circ}\text{C})$
фторметан	H_3CF	-142	-78,5
хлорметан	H_3CCl	-98	-23,7
бромметан	H_3CBr	-94	3,6
иодметан	H_3CI	-66	42,5
хлорэтан	$\text{H}_3\text{CH}_2\text{CCl}$	-139	12,3
1-хлорпропан	$\text{H}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CCl}$	-123	47,2
2-хлорпропан	$\text{H}_3\text{CHC}(\text{Cl})\text{H}_3\text{C}$	-117	35,4
дифторметан	H_2CF_2	-136	-51,6
трифторметан	HCF_3	-163	-82,2
тетрафторметан	CF_4	-184	-128
хлорэтен	$\text{H}_2\text{C}=\text{CHCl}$	-154	-13,8
хлорбензол	$\text{H}_5\text{C}_6\text{Cl}$	-46	131,7



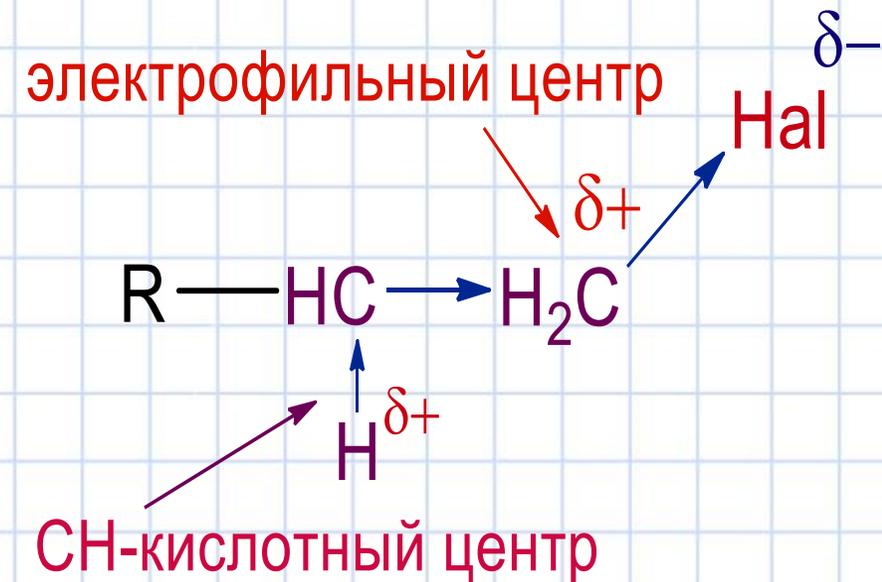
РЕАКЦИОНОСПОСОБНОСТЬ ГАЛОГЕНУГЛЕВОДОРОДОВ

по электрофильному центру возможны реакции нуклеофильного замещения (S_N) — взаимодействие с нуклеофильными реагентами;

СН-кислотный центр может атаковать сильное основание и результатом будет элиминирование (отщепление) водорода и галогена от соседних углеродов;

гаогенпроизводные могут реагировать с металлами, в результате чего образуются металлоорганические соединения $R-MgHal$, $R-Li$;

галогенопроизводные могут восстанавливаться водородом на катализаторе или при нагревании с иодоводородом

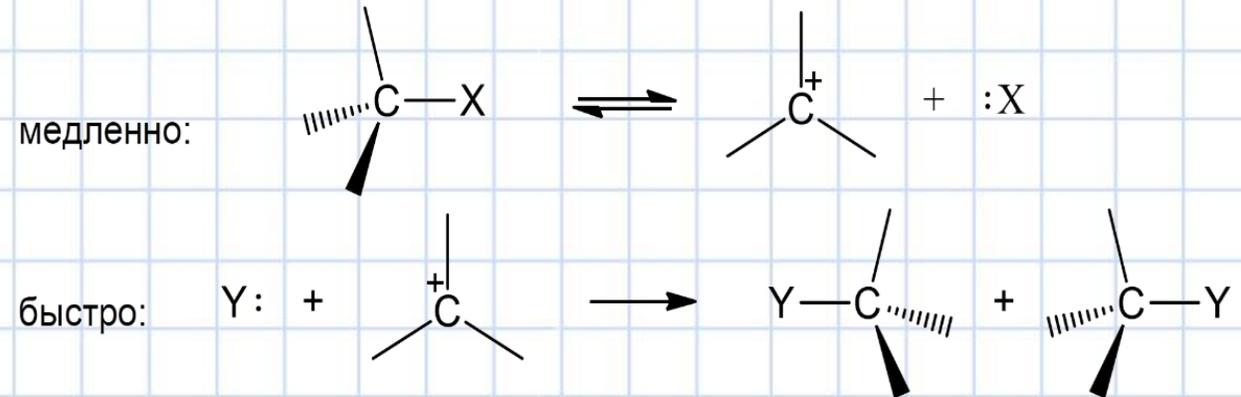
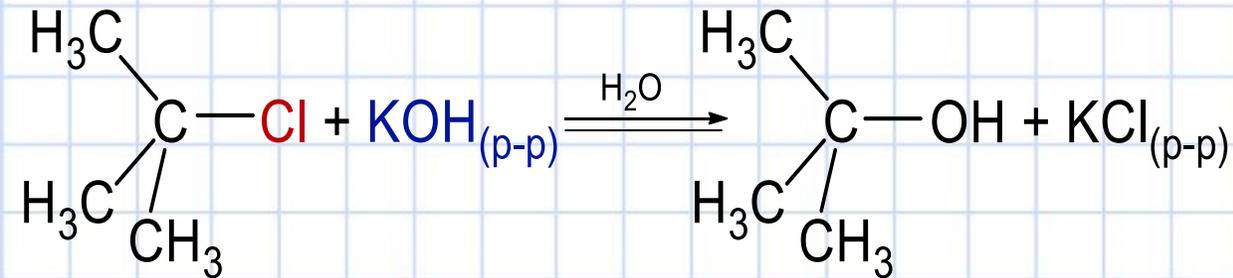




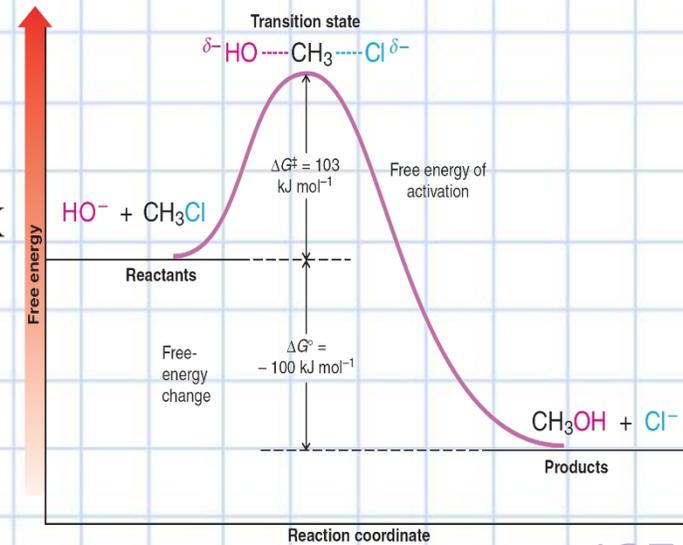
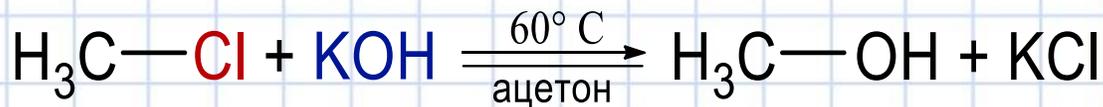
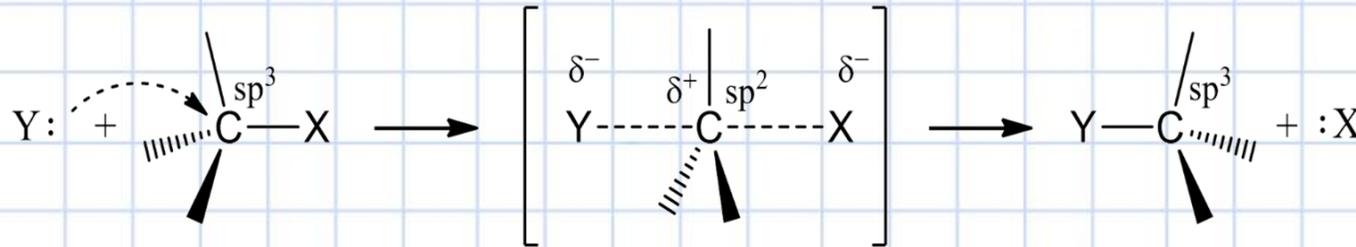
РЕАКЦИИ НУКЛЕОФИЛЬНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ

активность нуклеофила: $(RS)^- > (HS)^- > I^- > (CN)^- > (RO)^- > Br^- > (HO)^- > (R_2NH) > (RNH_2) > > NH_3 > RSH > H_2S > Cl^- > ROH > F^- > (RCOO)^- > H_2O > I_2 > Br_2 > Cl_2 > F_2 > RCOOH$;

S_N-1 механизм:



S_N-2 механизм:

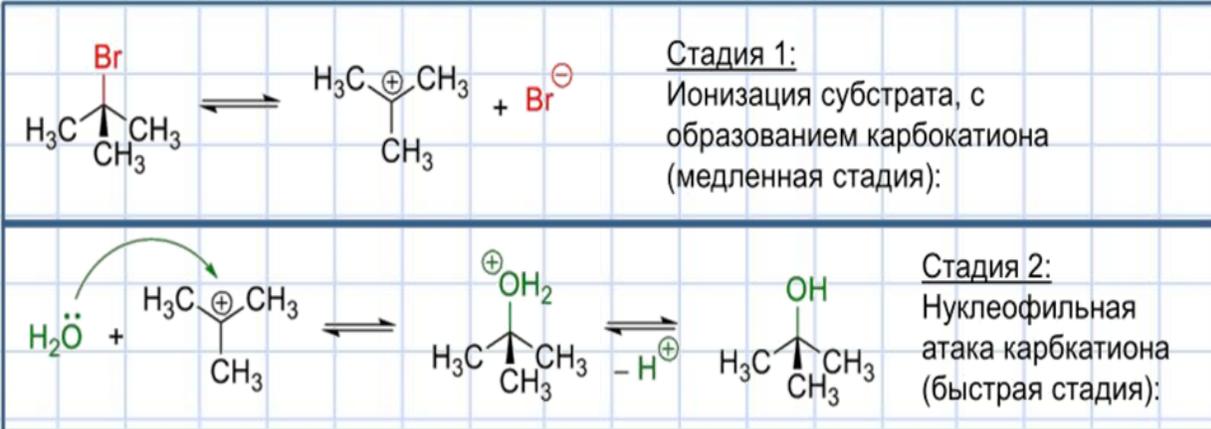




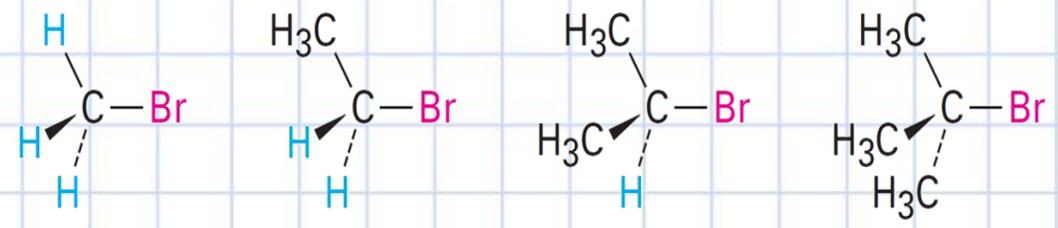
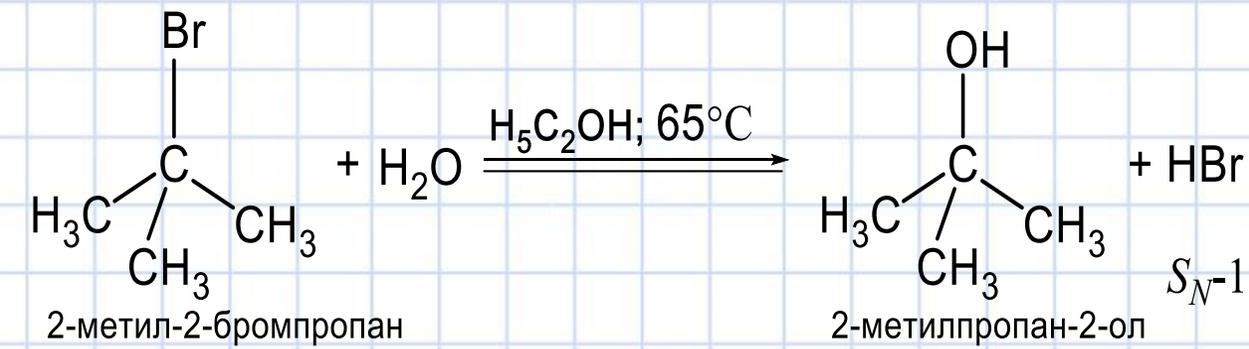
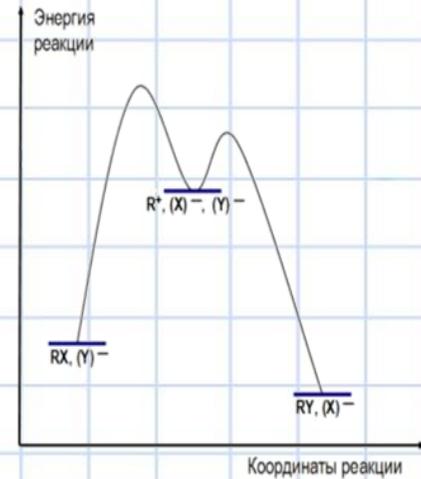
НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ S_N-1

Механизм реакции S_N1

(реакции мономолекулярного нуклеофильного замещения)
(substitution nucleophilic monomolecular)



Стадия 1: $\text{R-X} \rightarrow \text{R}^+ + \text{X}^-$
 Стадия 2: $\text{R}^+ + \text{Y}^- \rightarrow \text{R-Y}$
 Скорость реакции = $k \times [\text{RX}]$



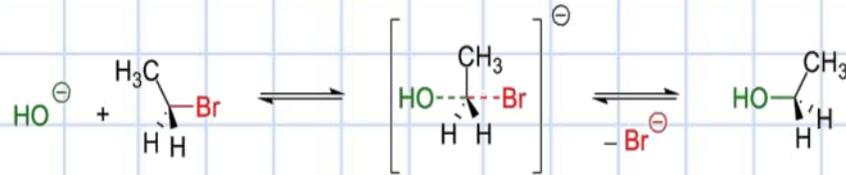
Relative reactivity	Methyl	Primary	Secondary	Tertiary
	< 1	1	12	1,200,000



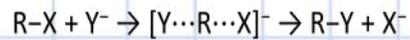
НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ S_N-2

Механизм реакции S_N2

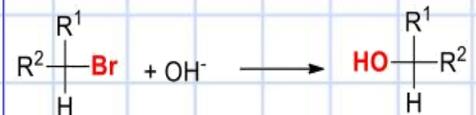
реакции бимолекулярного нуклеофильного замещения
(*substitution nucleophilic bimolecular*)



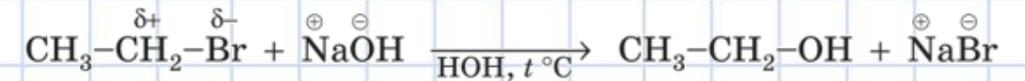
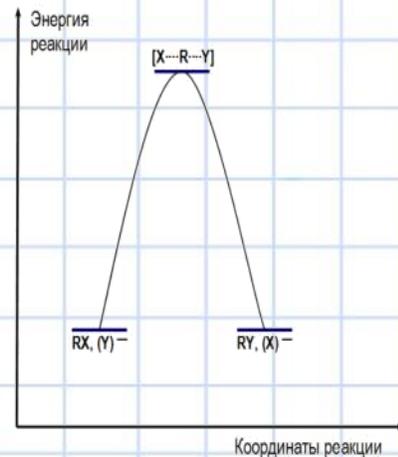
Одна стадия:
Атака нуклеофила и отщепление уходящей группы происходят синхронно, карбокатион не образуется



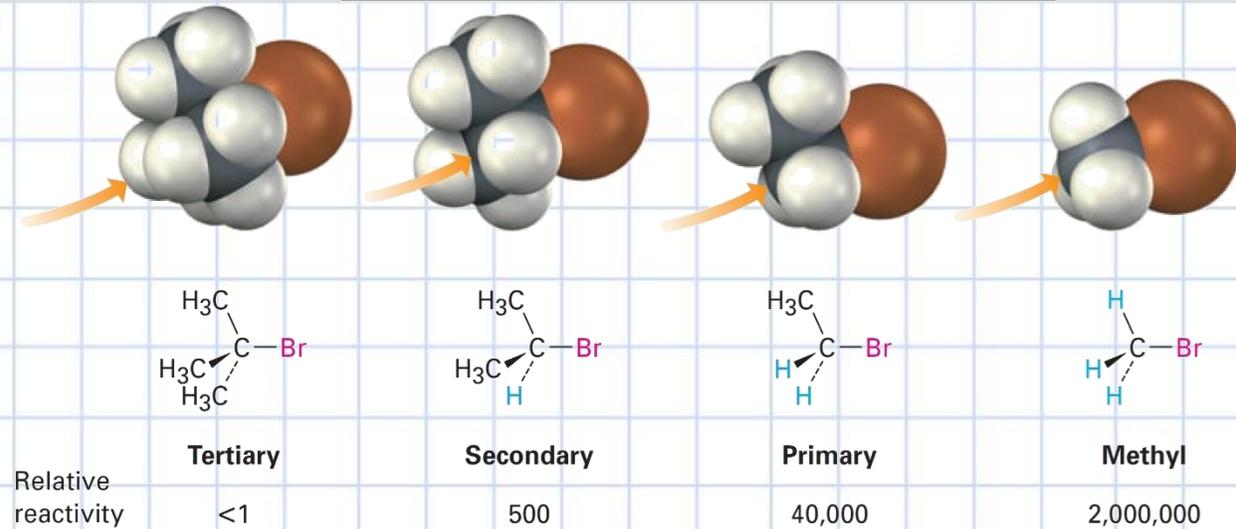
Скорость реакции = $k [\text{RX}] [\text{Y}]$



В реакциях S_N2 оптически активных субстратов происходит «обращение конфигурации» и образуется продукт противоположной конфигурации. Т.е. (+) субстрат дает (-)-продукт и наоборот.



:Br^- — уходящая группа — нуклеофуг





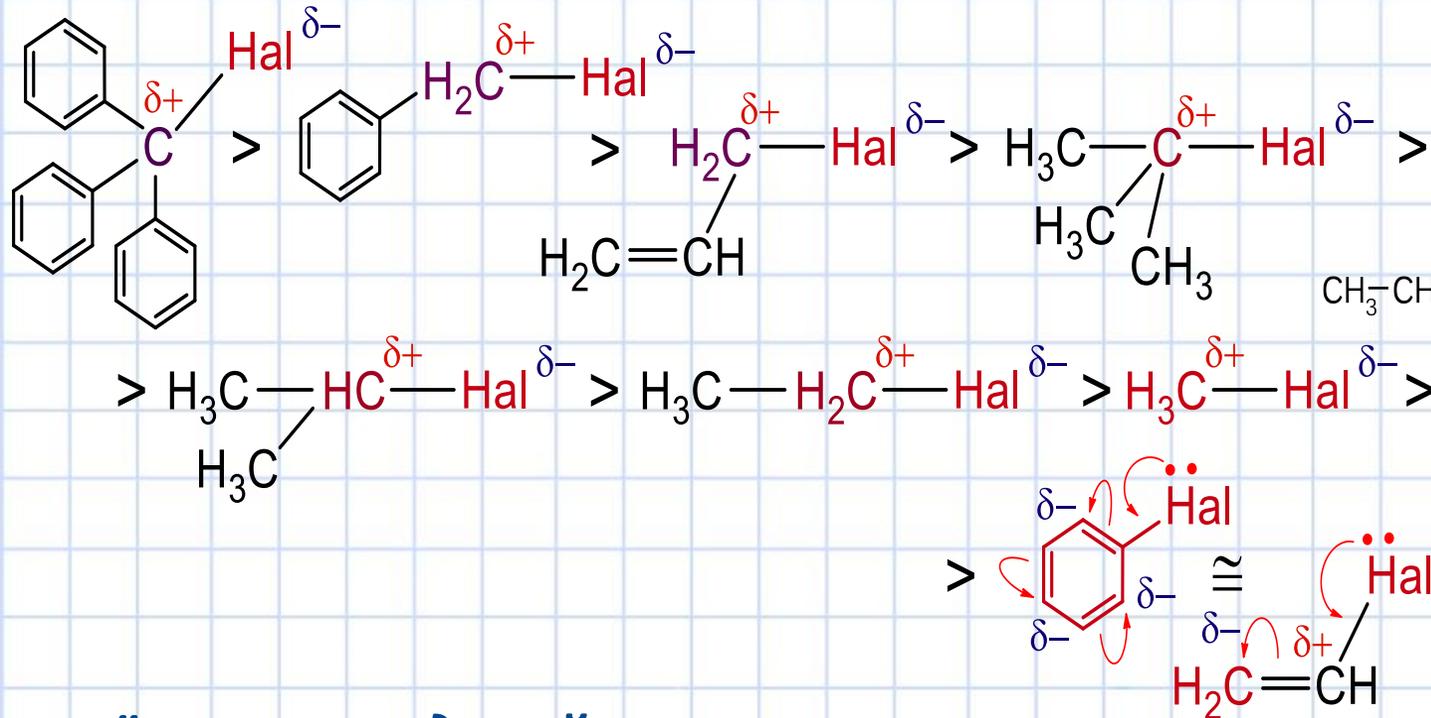
СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕАКЦИЙ S_N-1 И S_N-2

	S_N-1 механизм	S_N-2 механизм
скорость реакции	$k \cdot C(R-X)$	$k \cdot C(R-X) \cdot C(Y)$
стереохимия	рацемизация	инверсия
субстрат	первичный < вторичный < третичный	первичный > вторичный > третичный
нуклеофил	не зависит	сильный
растворитель	полярный, протонный: H_2O ; ROH ; $RCOOH$	полярный, апротонный: $H_3CC(O)CH_3$; H_3COCH_3 ; ДМСО
CH_3-X	не идёт	очень хорошо
R_3C-X	идёт частично	не идёт
$R-CH=CH-CH_2-X$	идёт частично	очень хорошо
$C_6H_5-CH_2-X$	идёт частично	очень хорошо
$R-C(O)-CH_2-X$	не идёт	отлично
$R-O-CH_2-X$	отлично	идёт частично
R_2N-CH_2-X	отлично	идёт частично

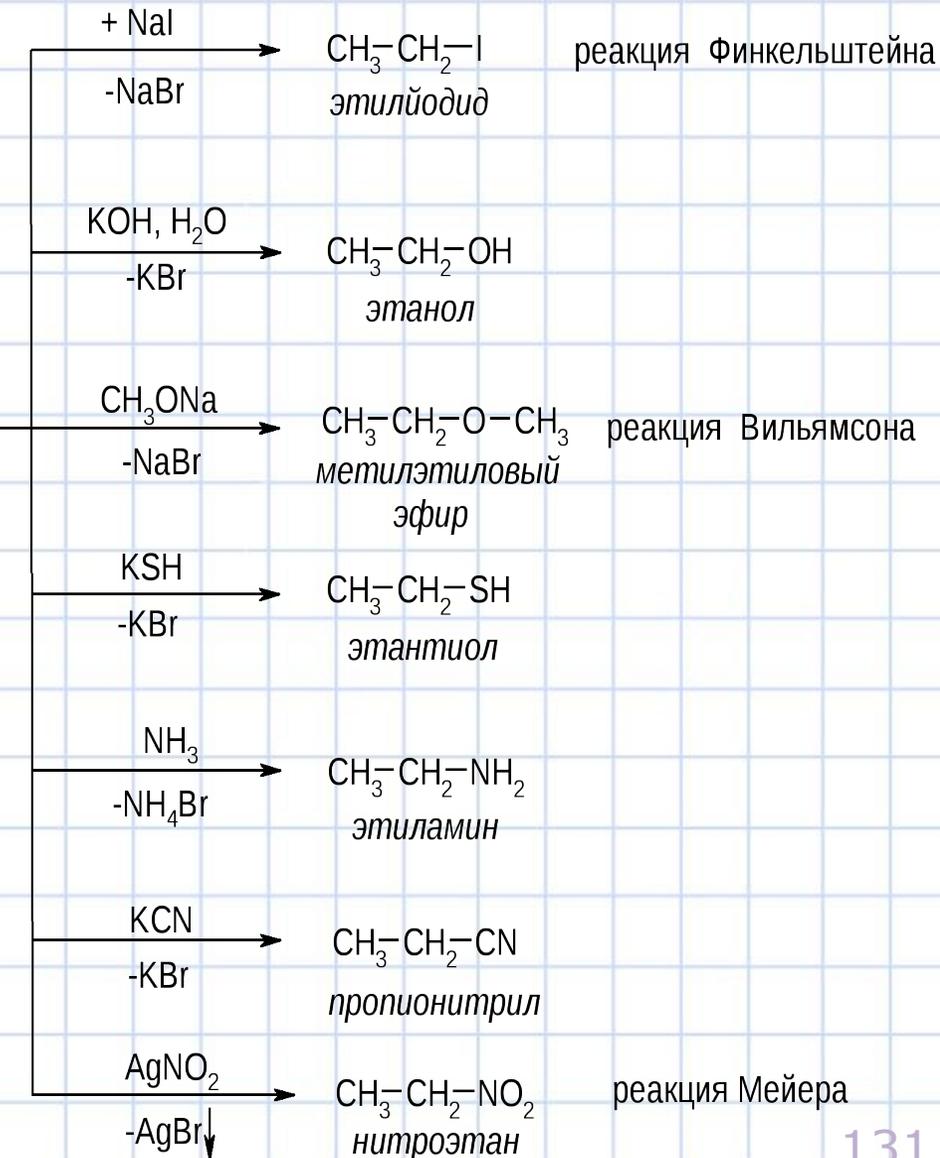
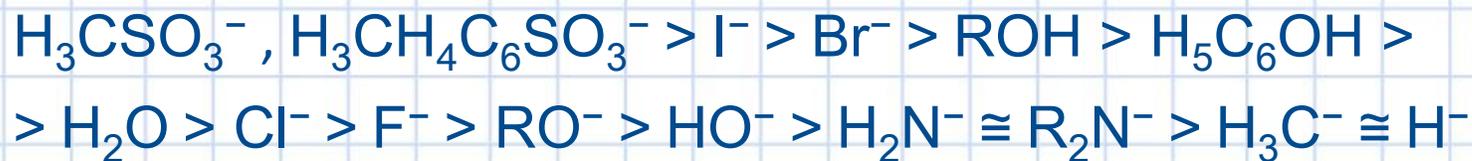


РЕАКЦИИ ГАЛОГЕНАЛКАНОВ

активность галогенпроизводных:



лёгкость уходящей группы:

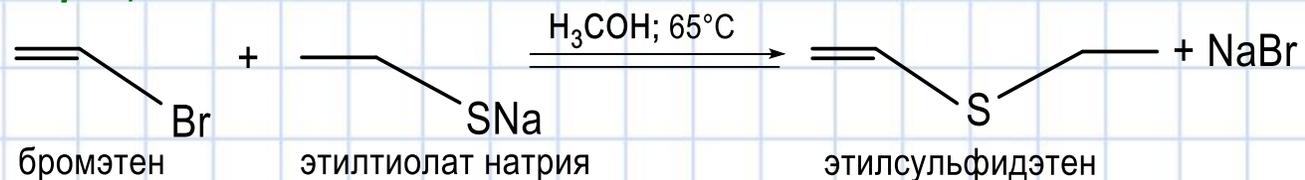




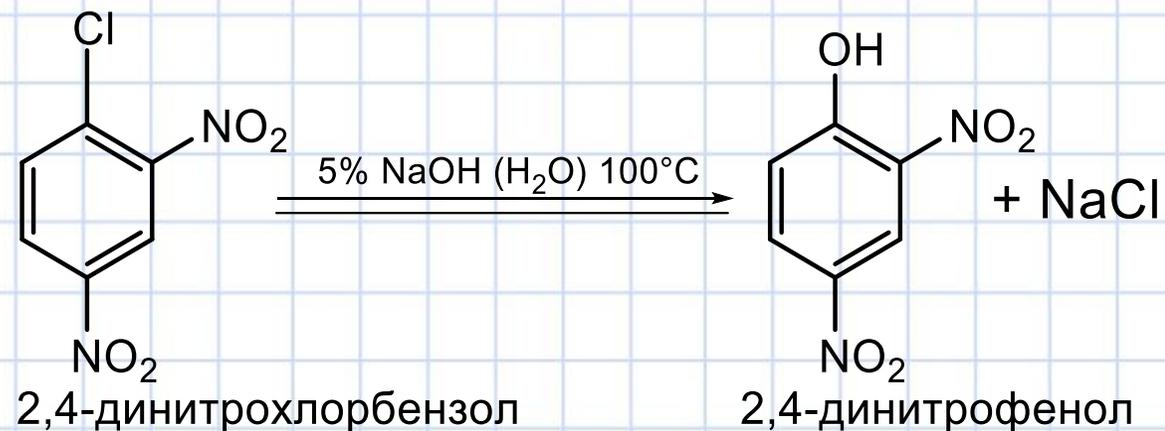
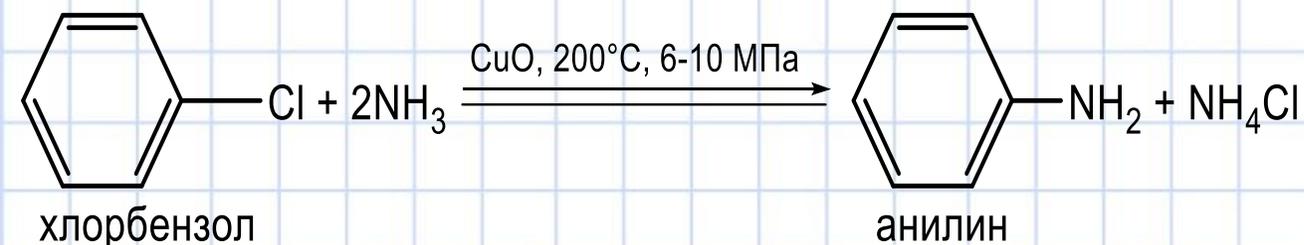
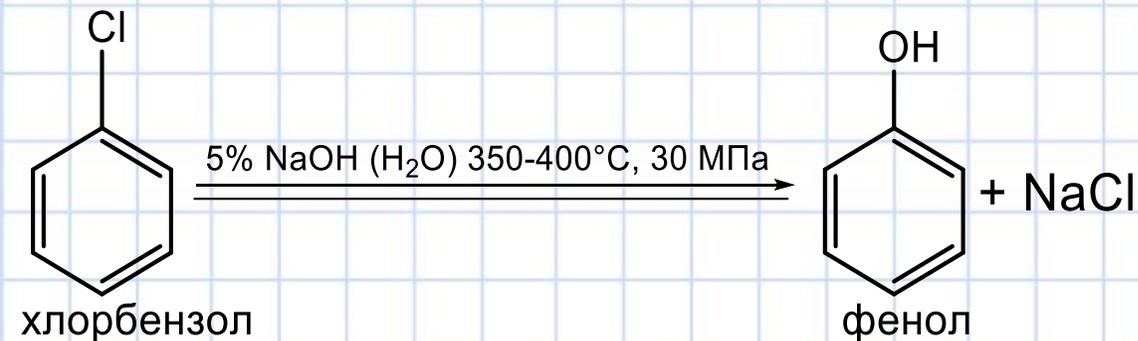
РЕАКЦИИ ВИНИЛ- И АРИЛГАЛОГЕНИДОВ

винилгалогениды являются соединениями с низкой подвижностью галогена и они инертны в реакциях нуклеофильного замещения; при температурах 200-300° С образуются смеси продуктов реакций отщепления, присоединения, полимеризации;

арилгалогениды вступают в реакции нуклеофильного замещения только при температуре выше 200-300° С; так получают фенол, анилин и другие галогенарены:

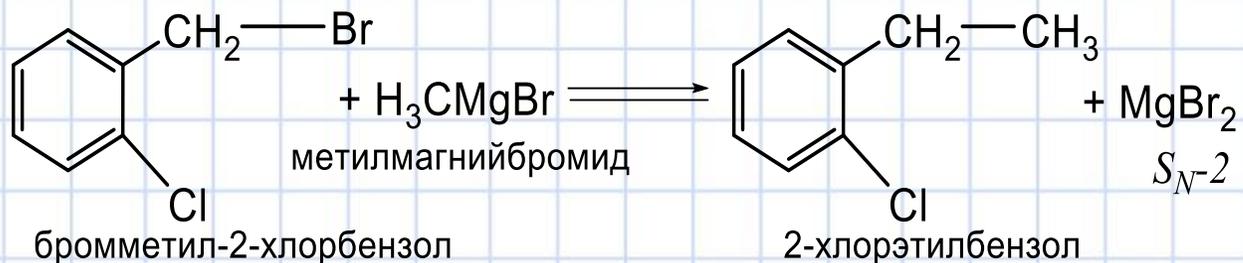


электроноакцепторные группы в положении 2- и 4- активируют ароматическое кольцо и значительно повышают скорость нуклеофильного замещения:



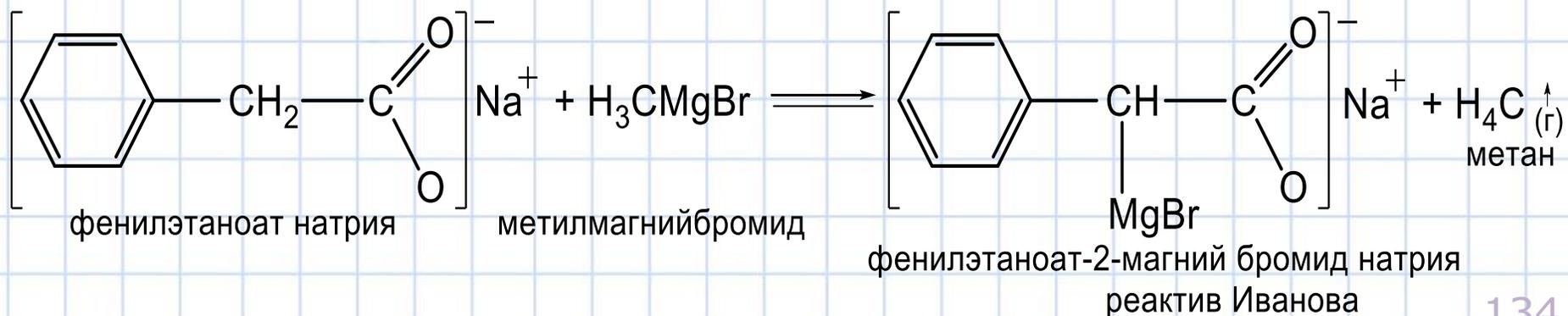
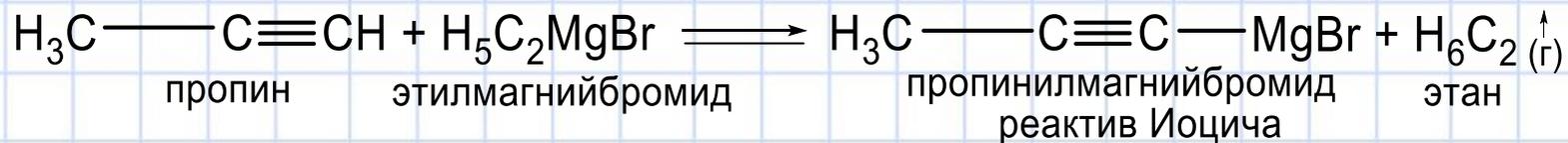
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕАКТИВА ГРИНЬЯРА

связь углерод-металл — сильнополярная, и большая часть электронной плотности находится именно на атоме углерода, что делает его сильным нуклеофилом и находит применение при создании новых связей C—C посредством атаки на электрофилы по механизмам S_N-2 и A_N ,



также реактивы Гриньяра

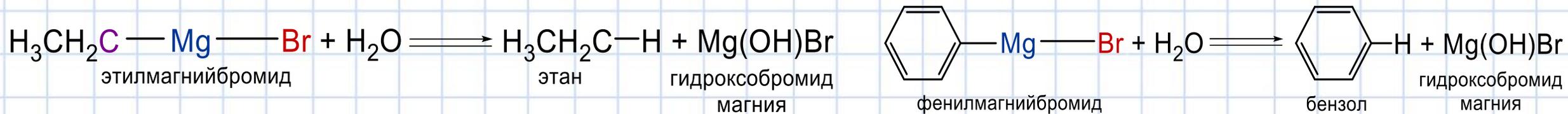
являются сильными основаниями и вступают в кислотно-основное взаимодействие:



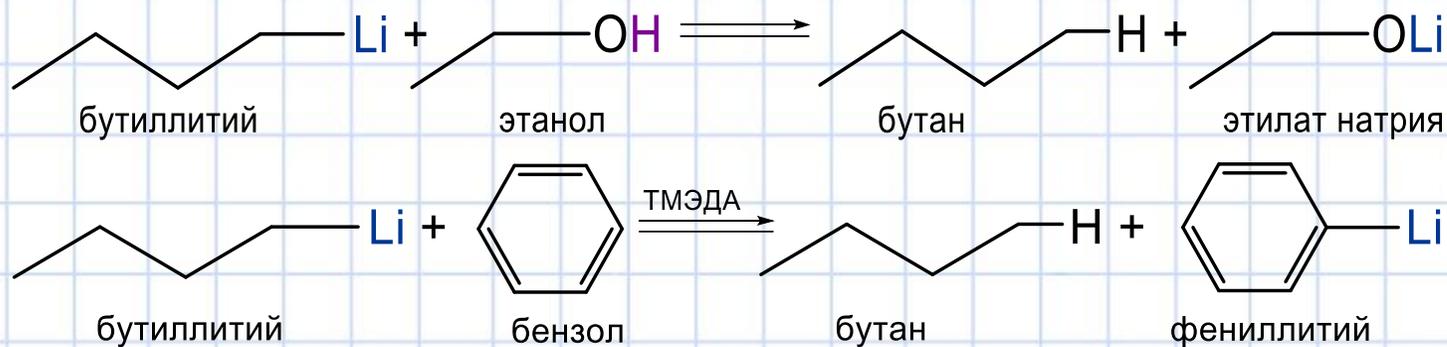


КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА РЕАКТИВА ГРИНЬЯРА

литий- и магнийорганические соединения очень быстро реагируют с водой — гидролизуются!

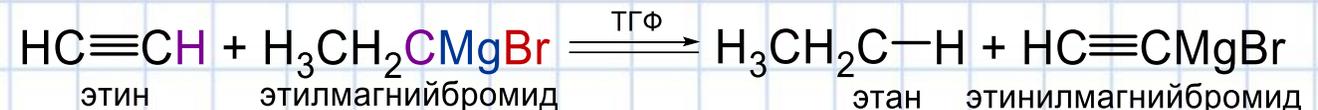


это свойство соединений требует работы с ними в «абсолютных» (т.е. безводных) растворителях; будучи очень сильными основаниями, литийорганические соединения способны депротонировать очень слабые кислоты и даже углеводороды:



поэтому бутиллитий реагирует с большинством СН-, NH- и OH-кислот (более сильных, чем бутан) в апротонных растворителях;

магнийорганические соединения реагируют только с относительно сильными СН-кислотами, например:

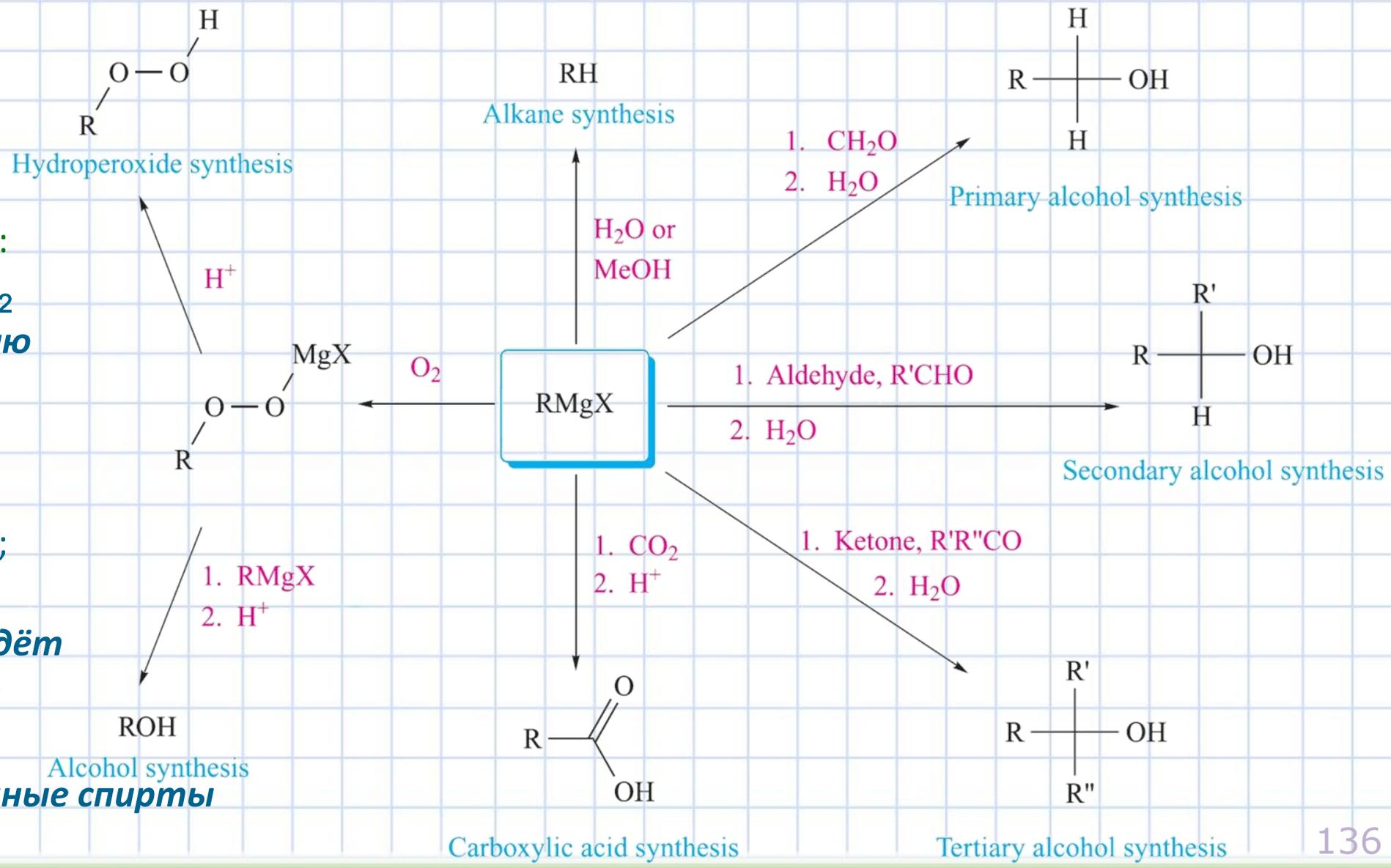




СИНТЕЗ С УЧАСТИЕМ РЕАКТИВА ГРИНЬЯРА

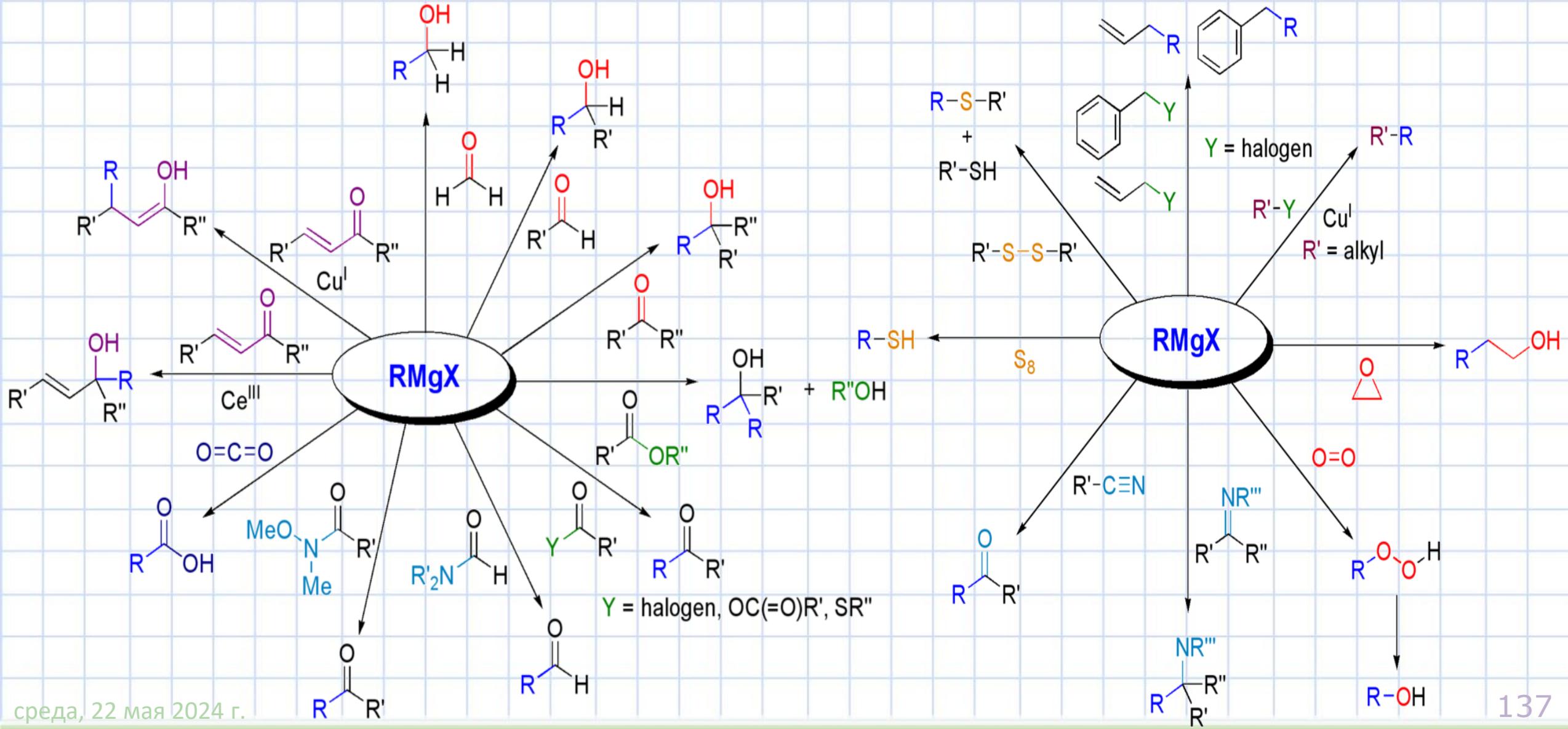
во всех реакциях присоединения реактива Гриньяра к карбонилам уровень окисления понижается:

- ✓ присоединение к CO_2 приводит к образованию карбоновой кислоты;
- ✓ присоединение к формальдегиду (H_2CO) даёт первичный спирт;
- ✓ присоединение к альдегидам (RHC=O) ведёт к вторичным спиртам;
- ✓ присоединение к кетонам даёт третичные спирты



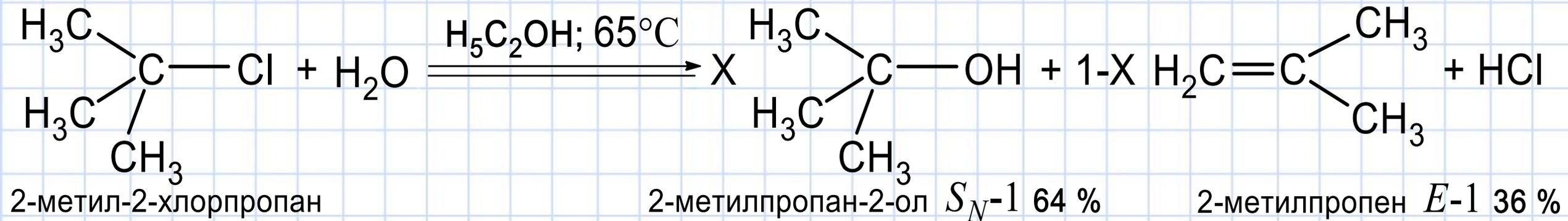
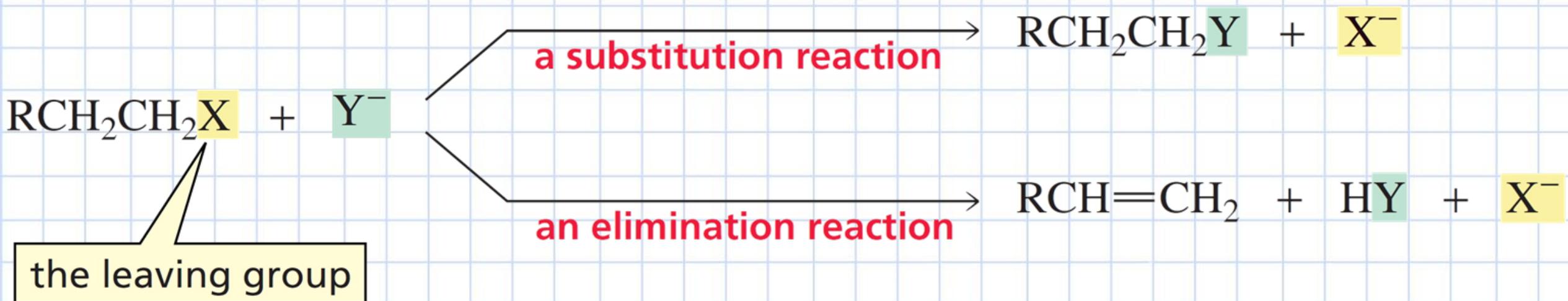


СИНТЕЗ С УЧАСТИЕМ РЕАКТИВА ГРИНЬЕРА



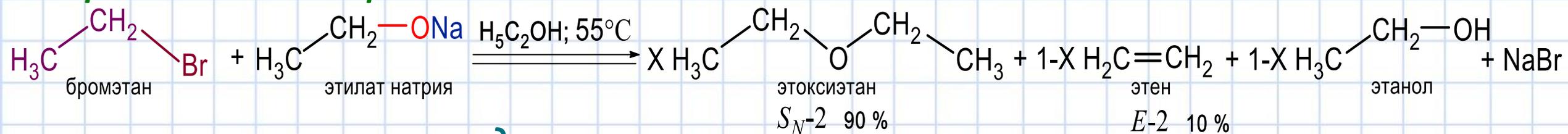


КОНКУРИРУЮЩИЕ РЕАКЦИИ S_N И E

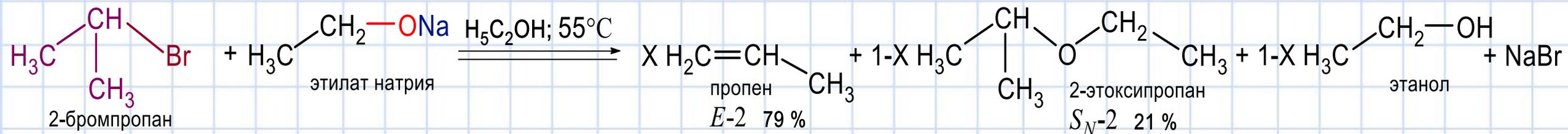


КОНКУРИРУЮЩИЕ РЕАКЦИИ S_N-2 и E-2, S_N-1 и E-1

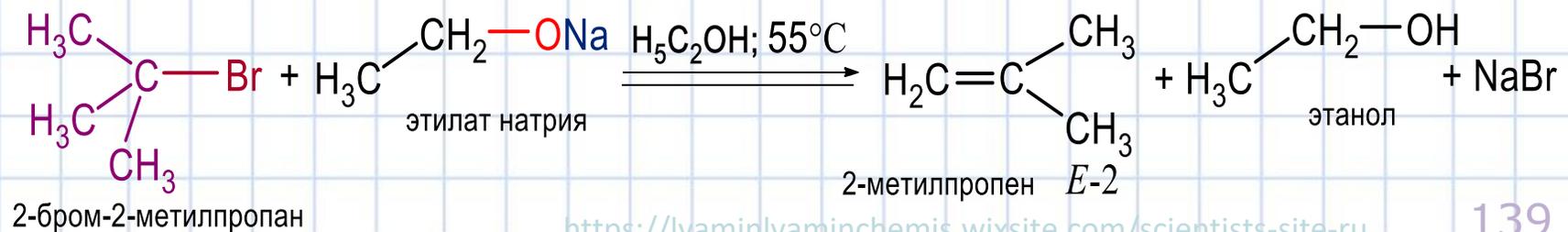
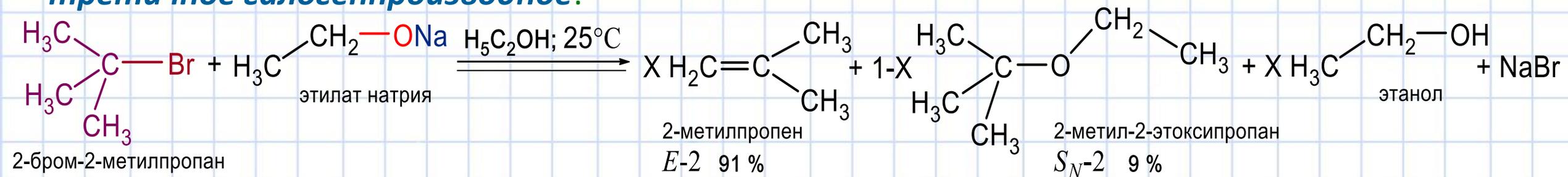
первичное галогенпроизводное:



вторичное галогенпроизводное:



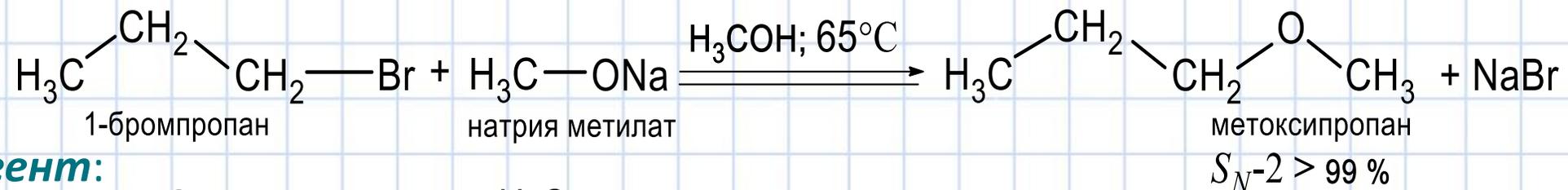
третичное галогенпроизводное:



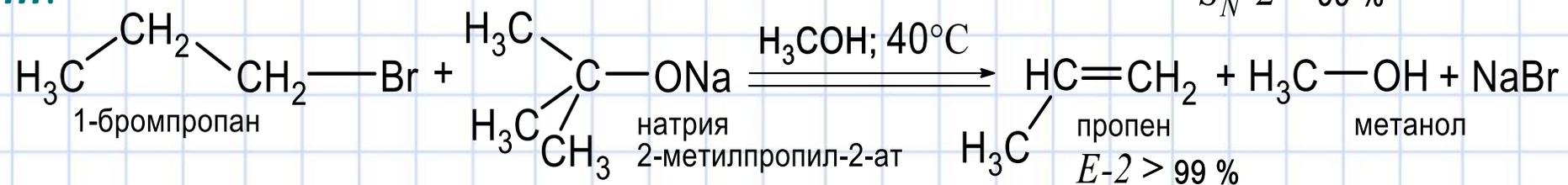


КОНКУРИРУЮЩИЕ РЕАКЦИИ S_N-2 и E-2, S_N-1 и E-1

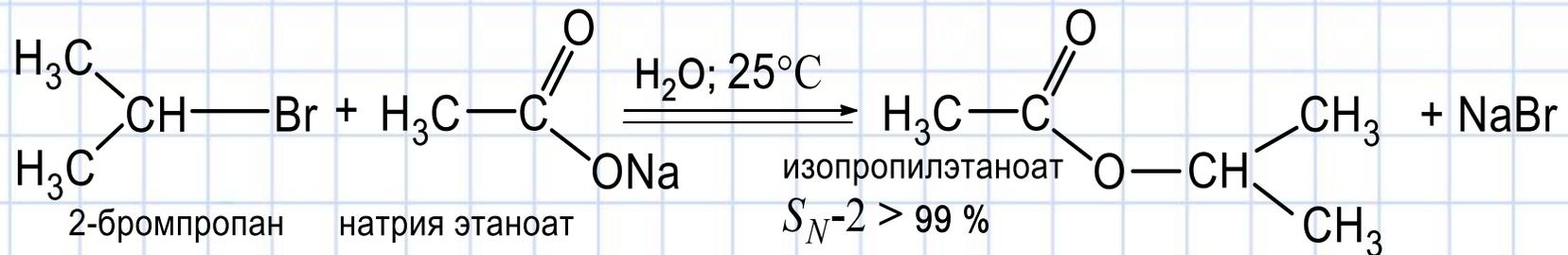
не разветвлённый реагент:



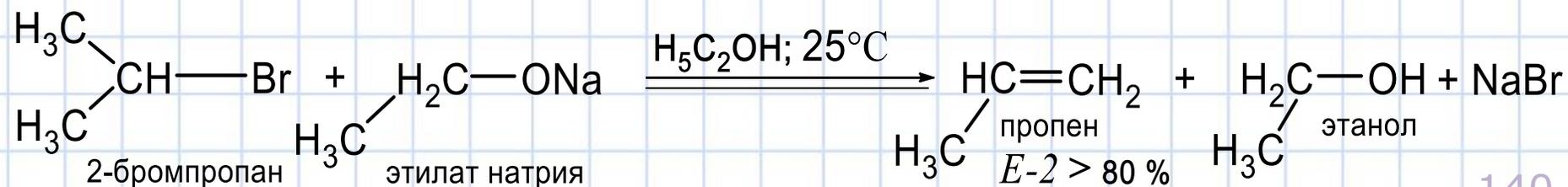
разветвлённый реагент:



слабоосновный реагент:



сильноосновный реагент:





КОНКУРИРУЮЩИЕ РЕАКЦИИ S_N-2 и $E-2$, S_N-1 и $E-1$

- ✓ в более полярных растворителях предпочтительно идёт реакция нуклеофильного замещения относительно реакции элиминирования; так, в водном растворе щёлочи идёт реакция нуклеофильного замещения, а в спиртовом растворе щёлочи доминирует реакция элиминирования;
- ✓ повышение температуры реакции значительно увеличивает степень элиминирования;
- ✓ чем больший объем занимают радикалы, связанные с реакционным центром, тем предпочтительнее становится элиминирование;
- ✓ первичные галогеналканы преимущественно подвергаются нуклеофильному замещению;
- ✓ вторичные и третичные галогеналканы в большей мере подвергаются элиминированию;
- ✓ третичные галогеналканы при условии сильного основания и слабоионизирующей среды могут подвергаться только элиминированию, т.е. образуют только алкены; т.о. реакции по S_N-1 механизму практически не реализуются или дают плохие выходы продукта замещения.



СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ S_N-2 И $E-2$, S_N-1 И $E-1$

	<i>слабый нуклеофил</i> H_2O ; ROH	<i>сильный нуклеофил</i> I^- ; RS^-	<i>сильное основание</i> KOH ; H_2O	<i>сильное основание</i> KOH ; R_3CO^-
CH_3-X	<i>не идёт</i>	<i>хорошо</i> S_N-2	<i>хорошо</i> S_N-2	<i>хорошо</i> S_N-2
RCH_2-X	<i>не идёт</i>	<i>хорошо</i> S_N-2	<i>идёт частично</i> $S_N-2, E-2$	<i>хорошо</i> $E-2$
$R-CH(R)CH_2-X$	<i>не идёт</i>	<i>хорошо</i> S_N-2	<i>идёт частично</i> $S_N-2, E-2$	<i>хорошо</i> $E-2$
$R-CH(R)-X$	<i>идёт частично</i> $S_N-1, E-1$	<i>хорошо</i> S_N-2	<i>идёт частично</i> $S_N-2, E-2$	<i>хорошо</i> $E-2$
$R-C(R)_2-X$	<i>идёт частично</i> $S_N-1, E-1$	<i>идёт частично</i> $E-1$	<i>хорошо</i> $E-2$	<i>хорошо</i> $E-2$

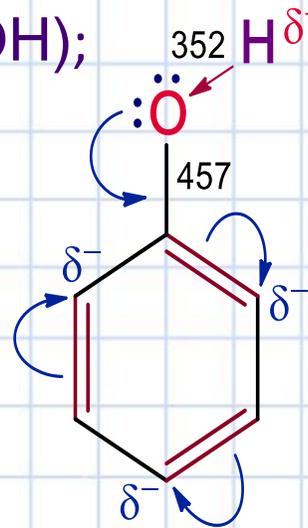
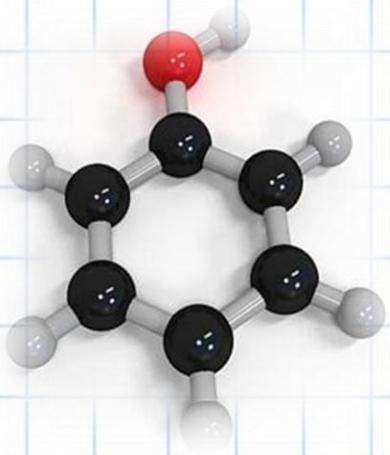


КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

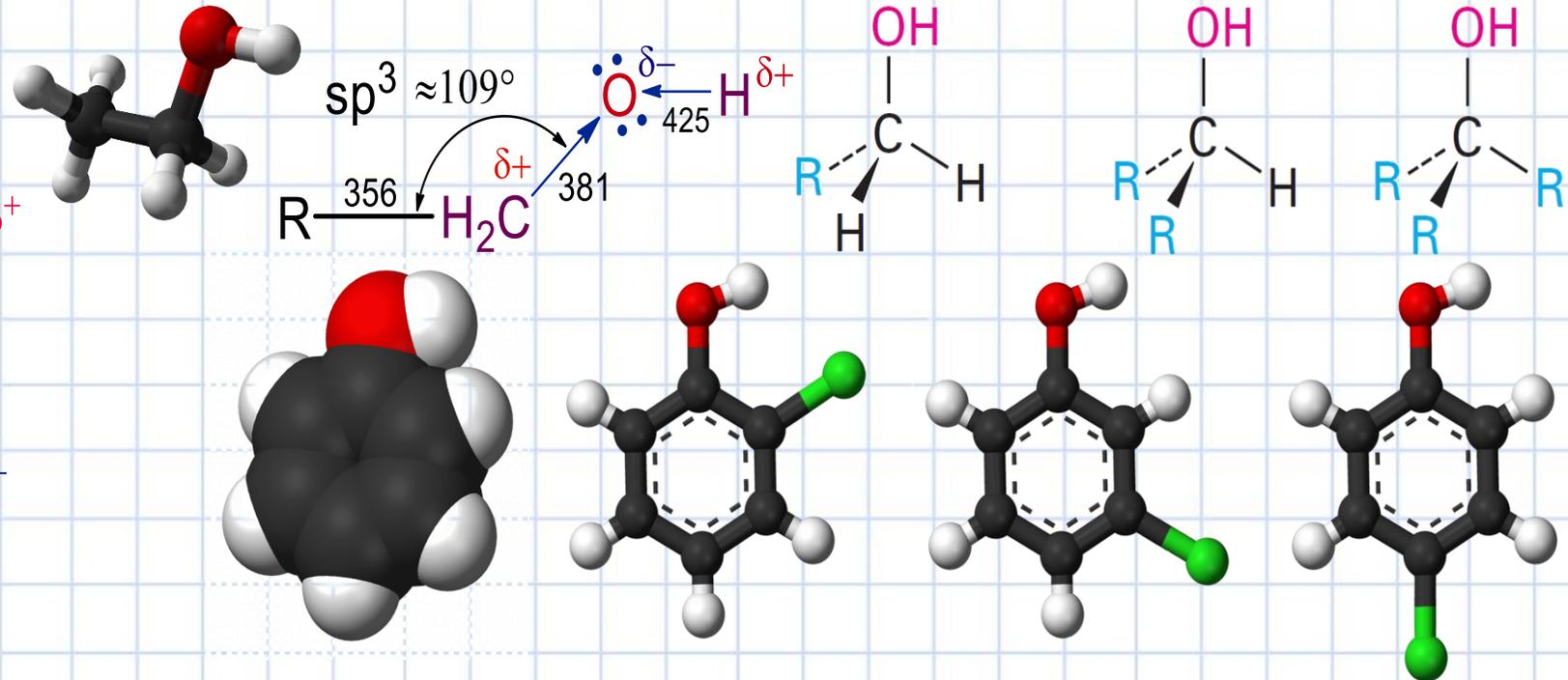
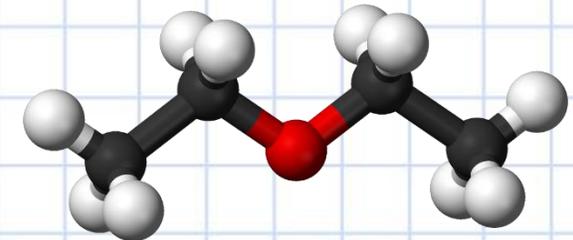
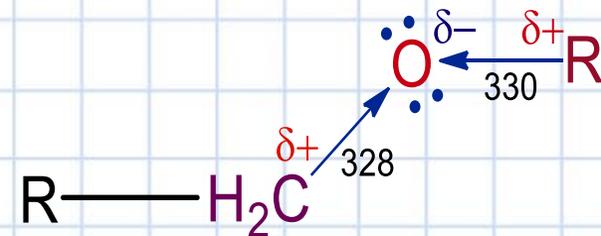
ГИДРОКСИЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

органические вещества, молекулы которых содержат гидроксильную группу: —OH;
в зависимости от типа заместителя R эти соединения подразделяют на:
спирты ($R(CH_2)_nCH_3-OH$);

фенолы ($(C_6H_5)-OH$);



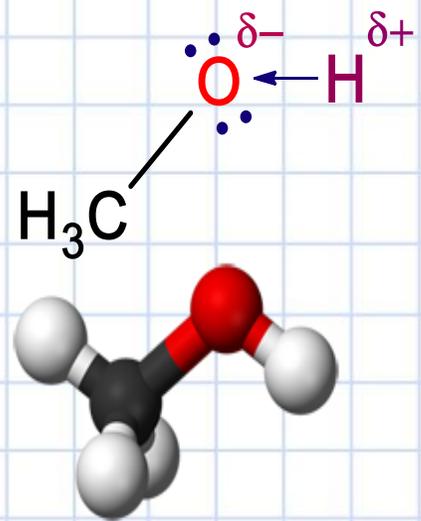
и их производные — простые эфиры
($R-O-(CH_2)_nCH_3$; $R-O-(C_6H_5)$):



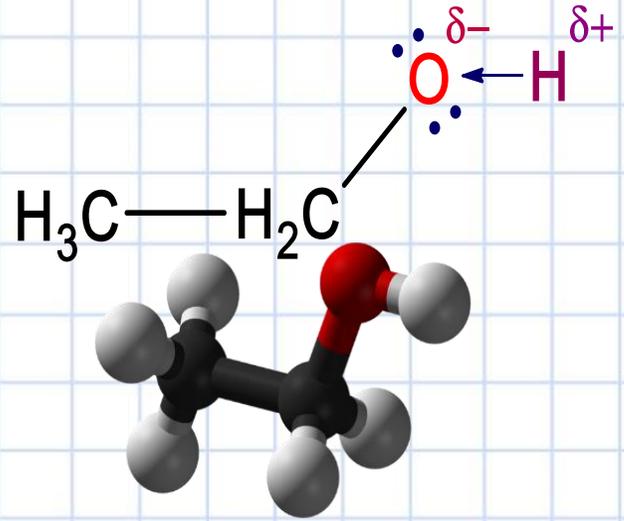


ПРЕДЕЛЬНЫЕ СПИРТЫ

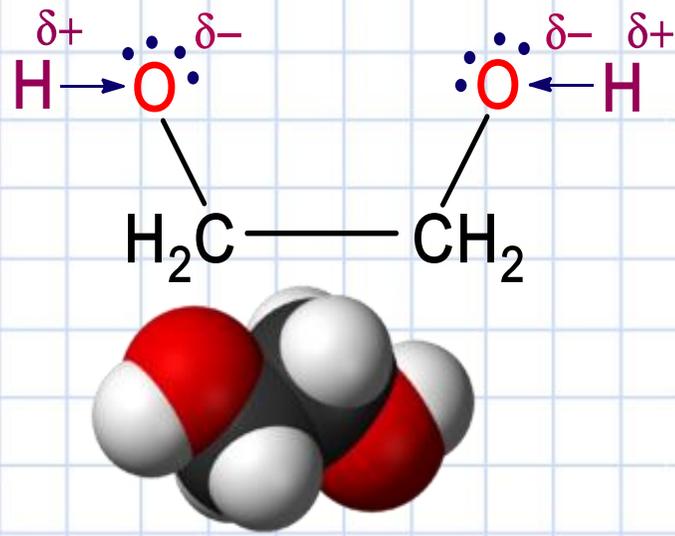
метанол;



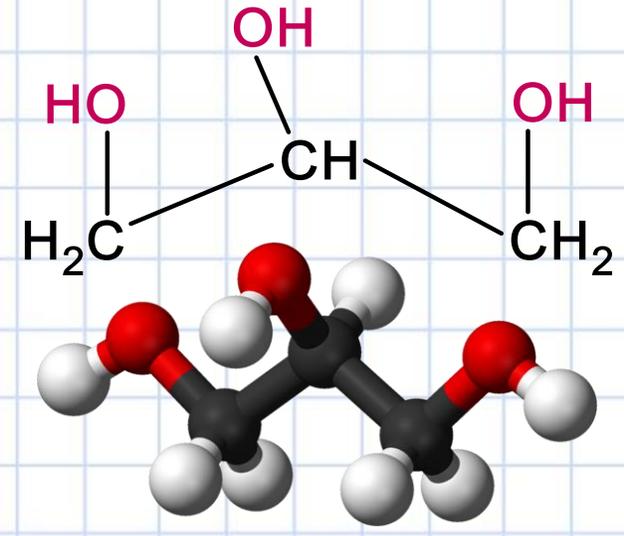
этанол;



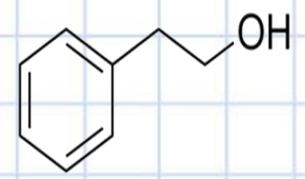
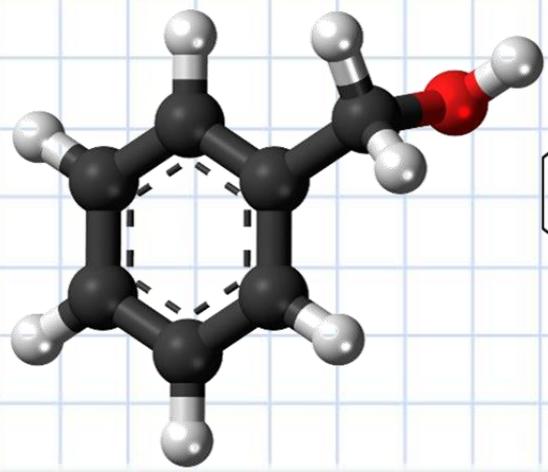
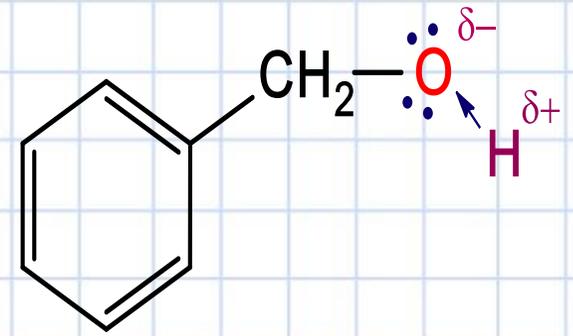
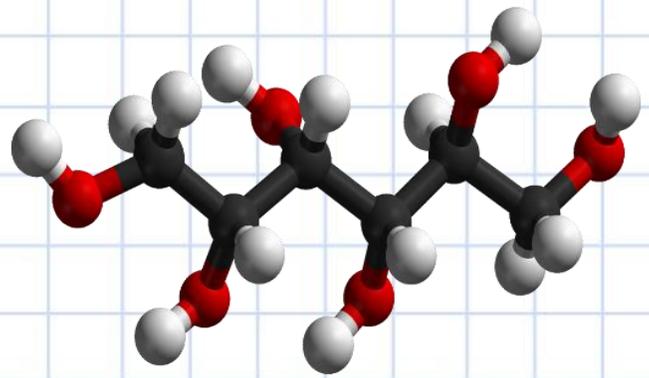
этан-1,2-диол;



пропан-1,2,3-триол:



гексан-1,2,3,4,5,6-гексол; сорбит; фенолметанол, бензиловый спирт; 2-фенилэтанол:



Фенилэтиловый спирт
($\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$)

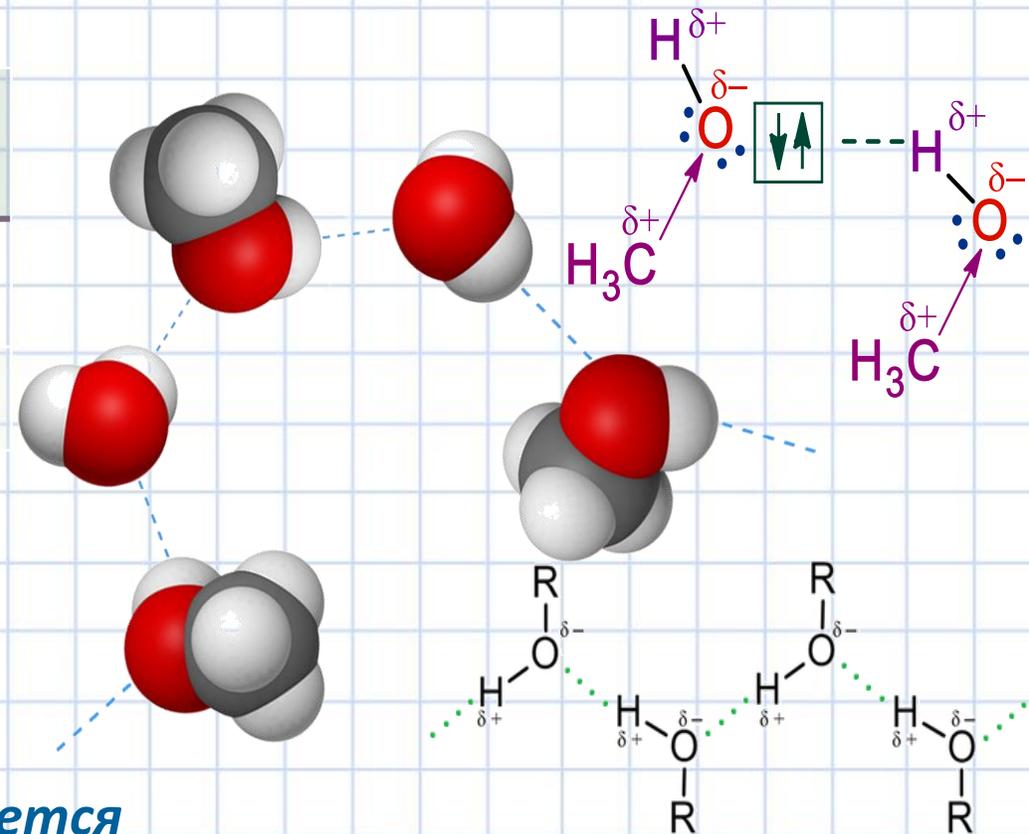




ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПИРТОВ

относительно высокие температуры кипения спиртов обусловлены наличием межмолекулярных водородных связей; так, для метанола энергия водородной связи составляет $16,7 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$, тогда как связи C–H, C–O и O–H имеют энергию $391,7$; $383,5$ и $428,8 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ соответственно;

	<u>Метан</u> CH_4	<u>Метанол</u> CH_3OH	<u>Хлорметан</u> CH_3Cl	<u>Бромметан</u> CH_3Br
$M, \text{ г}\cdot\text{моль}^{-1}$	16,04	32,04	50,48	94,94
$T_{\text{кип}} \text{ }^\circ\text{C}$	-161,5	64,5	-24,2	3,6



с увеличением алифатической углеводородной цепи в силу положительного индуктивного эффекта цепи энергия межмолекулярной водородной связи уменьшается



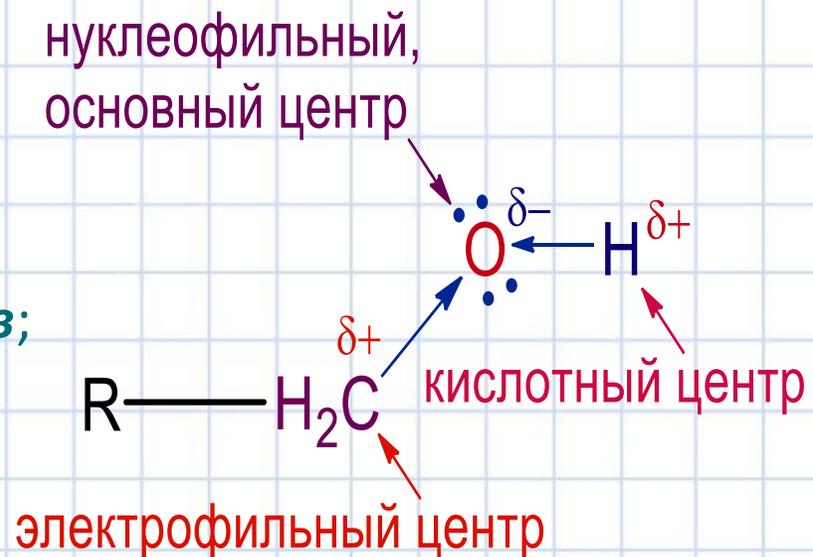
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПИРТОВ

по электрофильному центру спиртов возможны реакции нуклеофильного замещения (S_N) — взаимодействие с галогенводородами и реакции отщепления (E) — с отрывом OH -группы в присутствии сильных кислот: дегидратация (внутримолекулярная и межмолекулярная);

нуклеофильный центр может атаковать электрофил с отрывом иона водорода: взаимодействие со щелочными металлами; взаимодействие с кислотами с образованием сложных эфиров; взаимодействие с галогеналкилами (алкилирование);

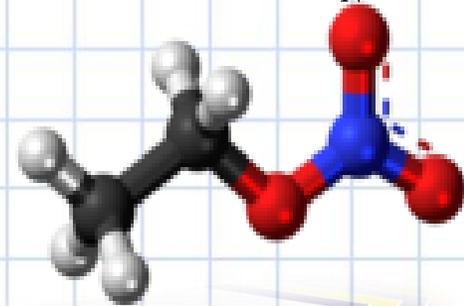
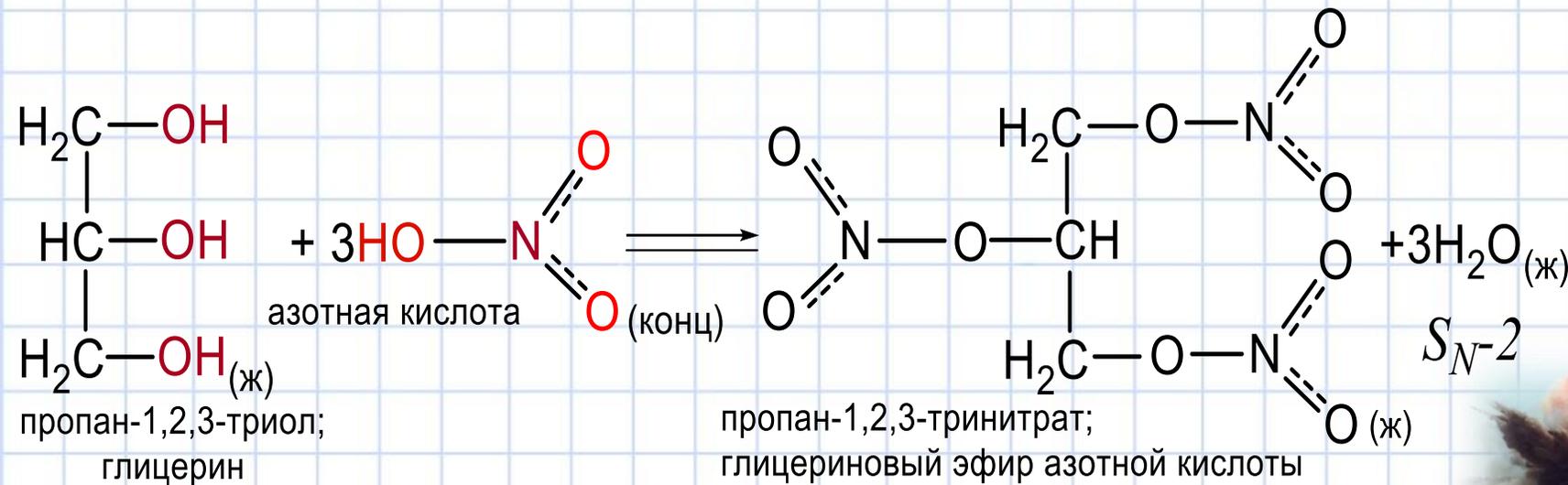
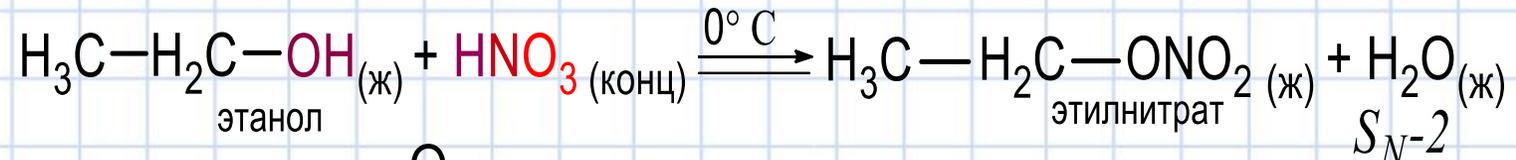
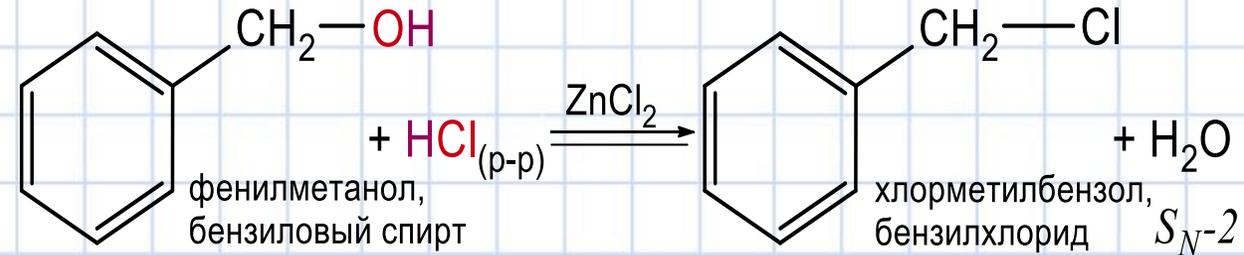
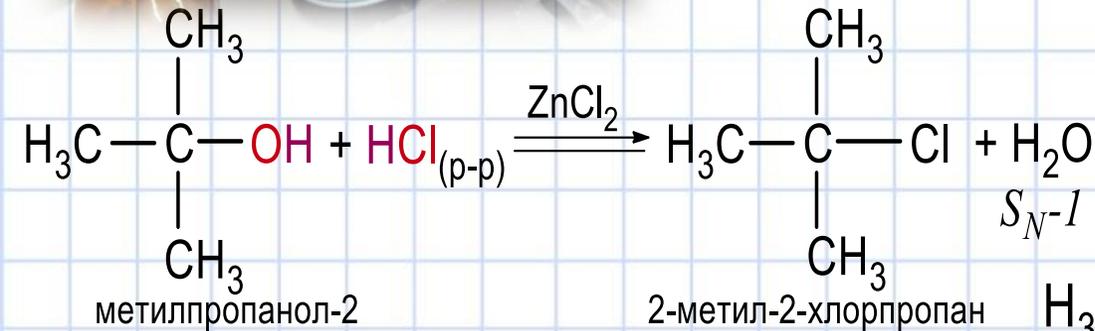
с разрывом связи $C-O$ проходят реакции восстановления, а с разрывом связи $O-H$ проходят реакции окисления;

спирты проявляют слабые амфотерные свойства

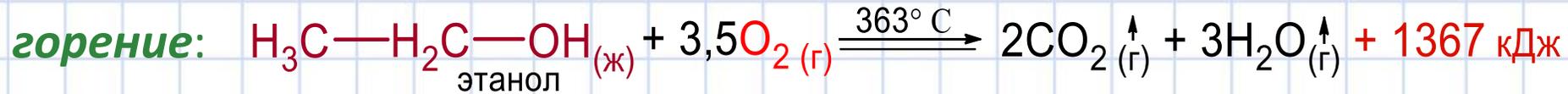


ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СПИРТОВ

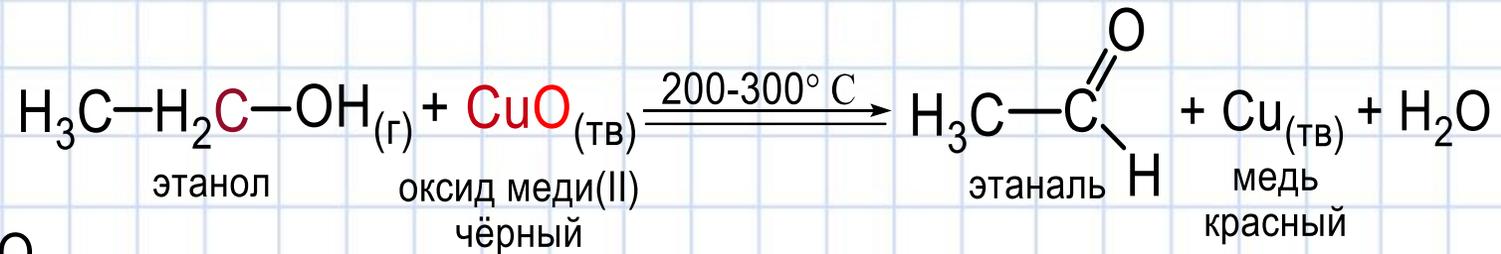
взаимодействие с кислотами (S_N):



ОКИСЛЕНИЕ СПИРТОВ



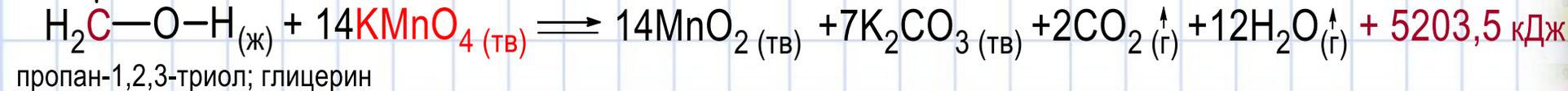
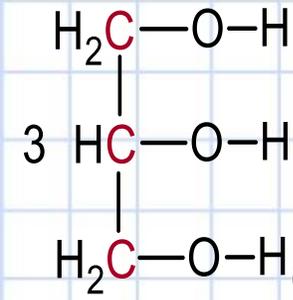
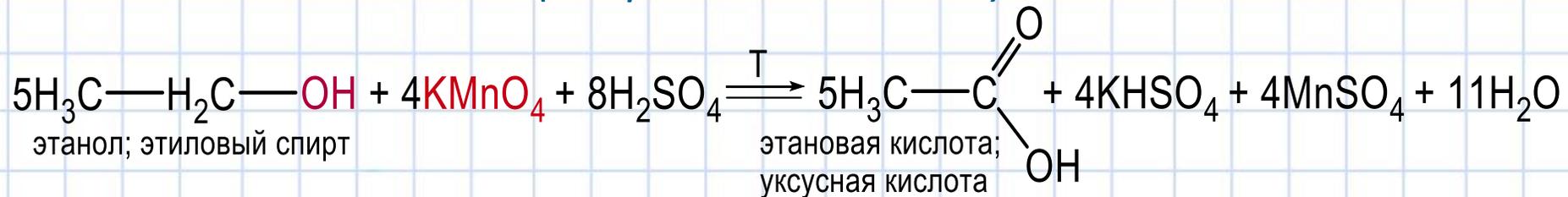
окисление спиртов на оксиде меди:



окисление спиртов на воздухе:

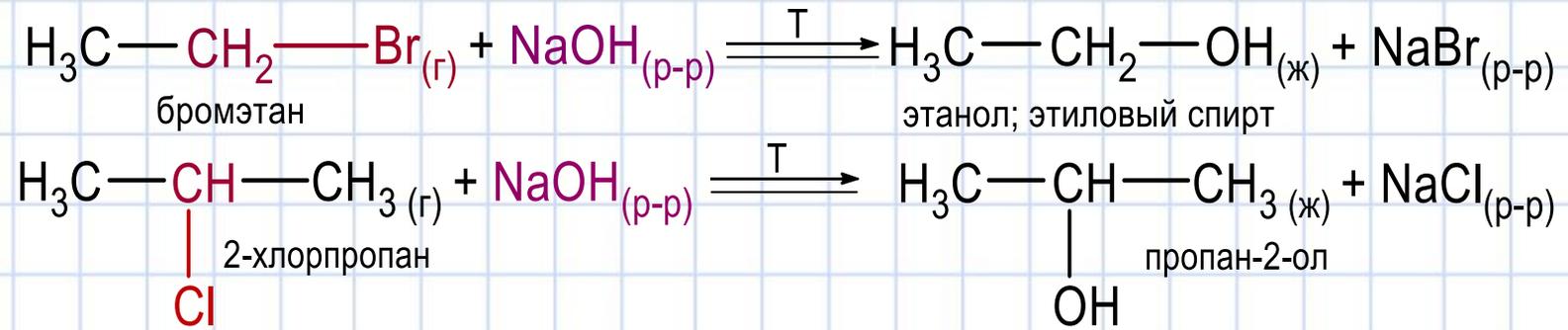
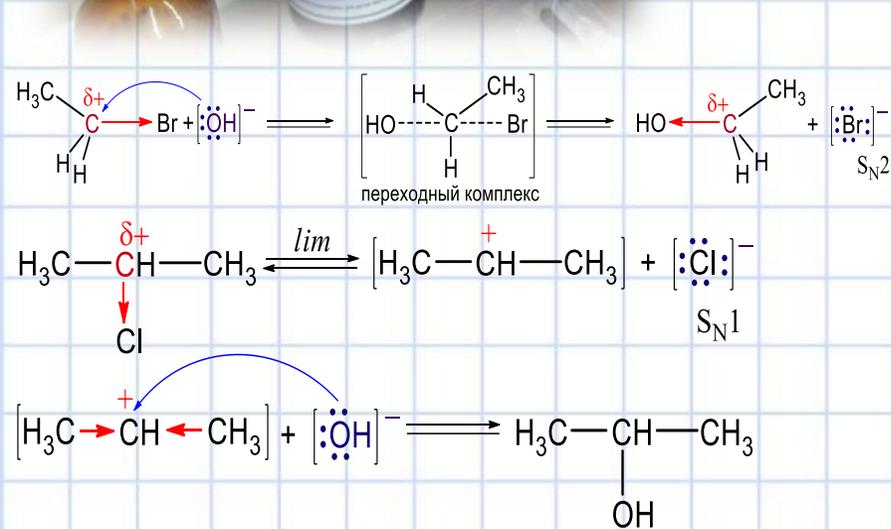


окисление перманганат-анионом (дихромат-анионом):

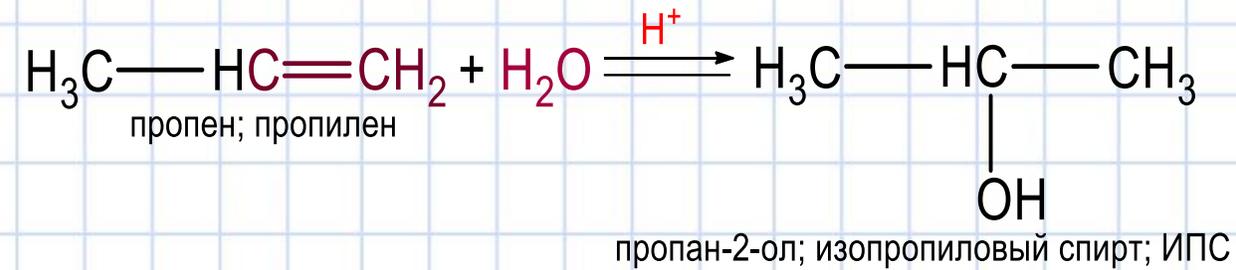
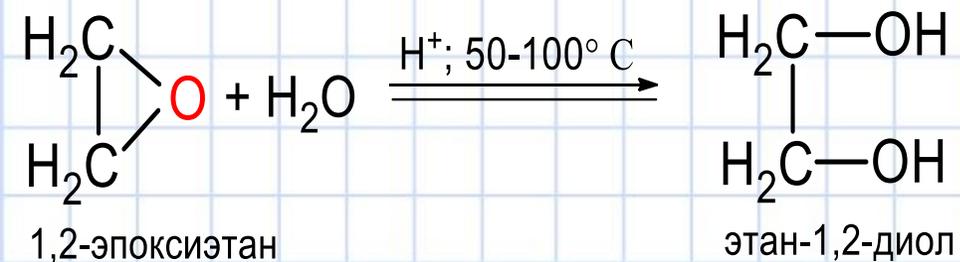


ЛАБОРАТОРНЫЙ СИНТЕЗ СПИРТОВ

щелочной гидролиз галогенпроизводных углеводородов (S_N-1 , S_N-2):

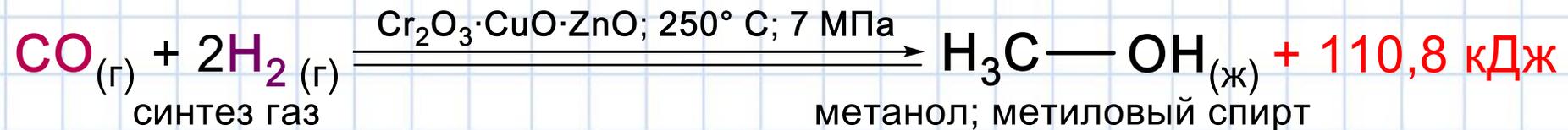


гидратация алкенов и алкоксидов (A_E):

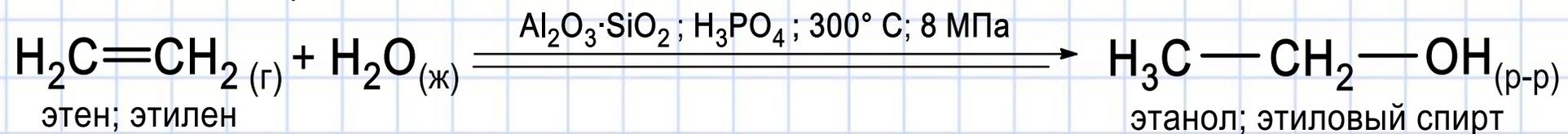
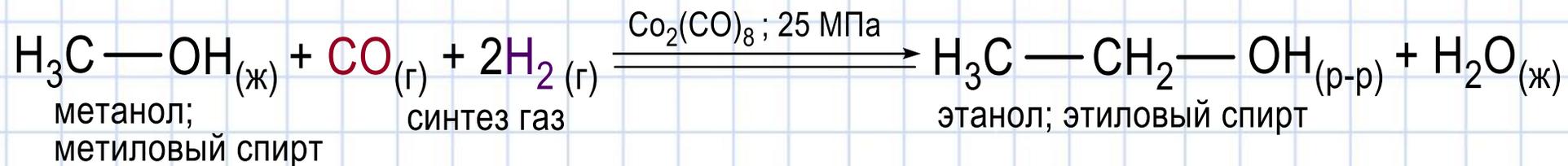


ПРОМЫШЛЕННЫЙ СИНТЕЗ СПИРТОВ

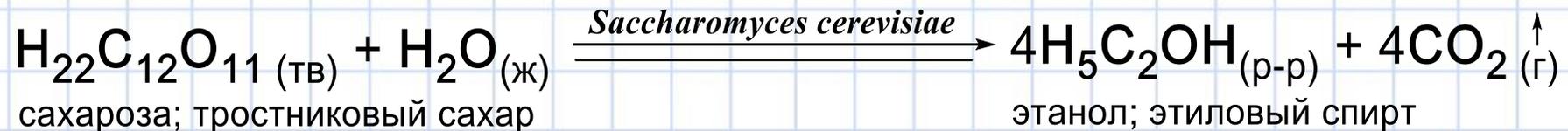
метиловый спирт, древесный спирт, карбинол, CH_3OH :

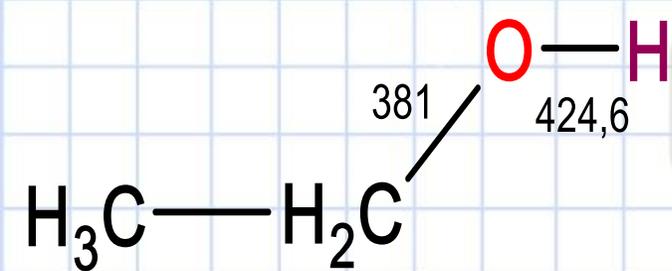


этиловый спирт; метилкарбинол; винный спирт или алкоголь:



спиртовое брожение





этиловый спирт, винный спирт или алкоголь, «спирт» $\text{H}_3\text{CH}_2\text{COH}$

бесцветная летучая жидкость с характерным запахом; 3,28 % об. – 18,95 % об. смесь с воздухом взрывоопасна, $T_{\text{своспл.}} = 363^\circ \text{C}$; смешивается во всех отношениях с водой и органическими растворителями; $\rho_{\text{ст.у.}} = 0,79 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, $T_{\text{пл}} = -114,3^\circ \text{C}$, $T_{\text{кип}} = 78,4^\circ \text{C}$;



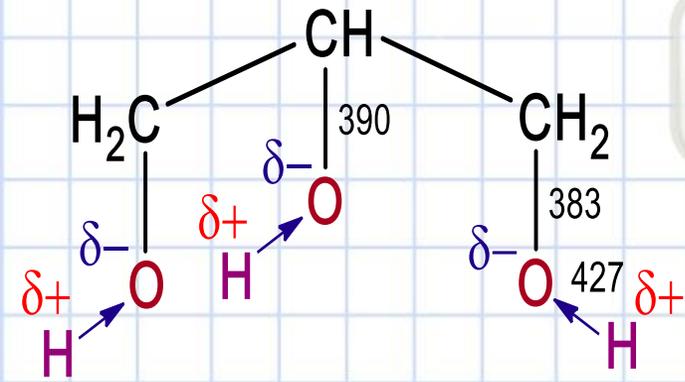
этанол является биопродуктом и используется как растворитель лекарственных, пищевых и косметических веществ; этиловый спирт действующий компонент алкогольных напитков, т.е. является депрессантом, угнетающим ЦНС;



алкоголь, от латинского alcohol, от арабского الكحل, al-kuḥl – тонкий порошок, с XVII века алкоголем называют напитки, содержащие этанол; среди них различают слабоалкогольные напитки, полученные сбраживанием сахаро- или крахмалосодержащих продуктов, и изделия с высоким содержанием

алкоголя, изготавливаемые добавлением продуктов перегонки изделий с низким содержанием алкоголя; энергетическая ценность этанола $7,1 \text{ ккал}\cdot\text{г}^{-1}$; при приеме внутрь алкоголь расширяет сосуды с ощущением тепла, но теплоотдача при этом резко возрастает; этанол зарегистрирован как пищевая добавка E1510

ГЛИЦЕРИН



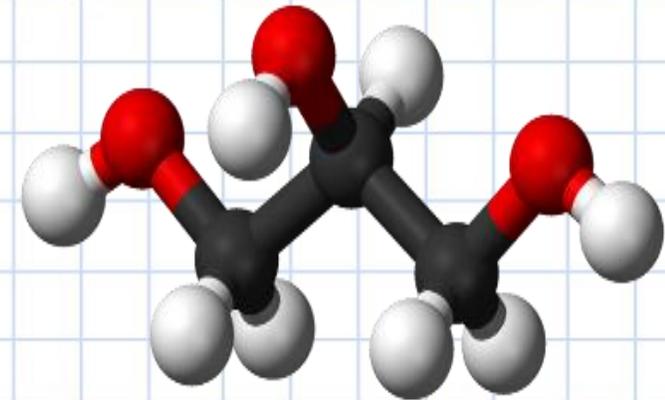
пропан-1,2,3-триол, глицерин, от древнегреческого $\gamma\lambda\upsilon\kappa\epsilon\rho\acute{o}\varsigma$ — сладкий, **впервые получен в 1779 г. шведским аптекарем Карлом Вильгельмом Шееле**; бесцветная, вязкая, сладкая на вкус гигроскопичная жидкость,

смешивается с водой в любых отношениях; получают при омылении жиров;

применение глицерина: медицина; моющие, гигиенические и косметические средства; пищевая, бумажная, текстильная, кожевенная и лакокрасочная промышленность; производство полимеров;

глицерин относится к стабилизаторам, обладающим свойством увеличивать степень вязкости пищевых продуктов; зарегистрирован как пищевая добавка E422;

используется в качестве эмульгатора, при помощи которого смешиваются различные несмешиваемые смеси; глицерин, наряду с пропиленгликолем, используется в качестве основного компонента жидкости и картриджей для электронных сигарет





МЕРКАПТАНЫ

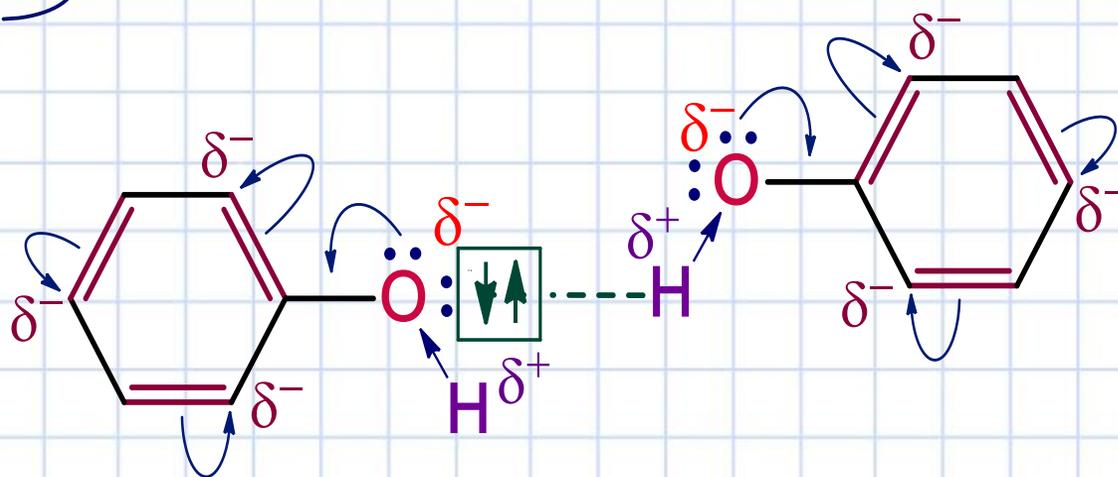
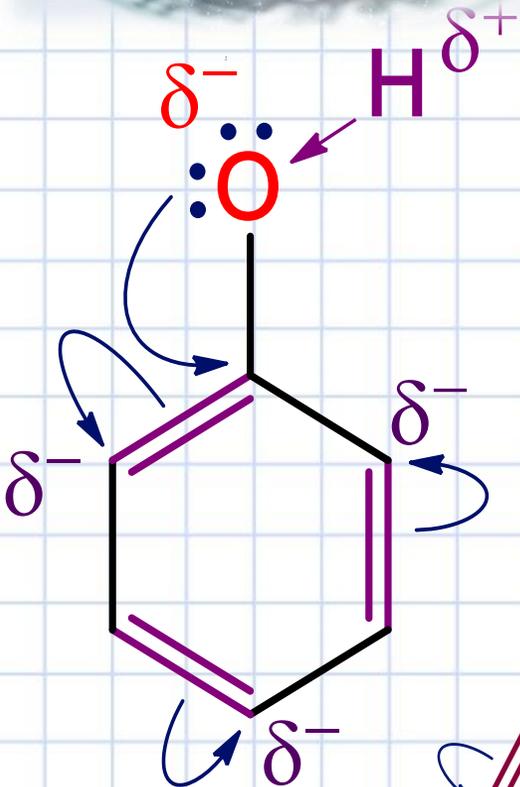
бутилселеномеркаптан $\text{C}_4\text{H}_9\text{SeH}$

основной компонент скунсовой «струи»; ощущаем человеком 2×10^{-12} г в 1 л воздуха; при попадании в глаза эта жидкость вызывает жжение и даже временную слепоту, однако у скунса в железах содержится жидкости всего на 5-6 «зарядов», и требуется порядка 10 дней, чтобы их восстановить, поэтому скунс предпочитает отпугивать хищников своей контрастной раскраской и угрожающими позами; запах скунса настолько стоек, что испорченную одежду приходится только сжигать; израильское средство для разгона демонстраций «Скунс», используется с 2008 г.

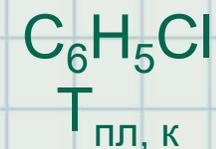




гидроксibenзол, был обнаружен в 1834 г. немецким химиком-органиком Фридрихом Фердинандом Рунге, который извлёк его из каменноугольной смолы; в 1841 году французский химик Огюст Лоран получил фенол в чистом виде; бесцветные игольчатые кристаллы, розовеющие на воздухе из-за окисления, обладает специфическим запахом; умеренно растворим в воде (6 г на 100 г воды), в растворах щелочей, в спирте, в бензоле, в ацетоне; 5 %-й раствор в воде — антисептик, антисептические свойства фенола конце 1870-х использовал и пропагандировал Склифосовский Николай Васильевич (1836-1904) — русский профессор медицины, военный врач-хирург



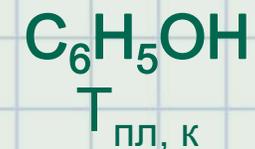
Хлорбензол



-45,6

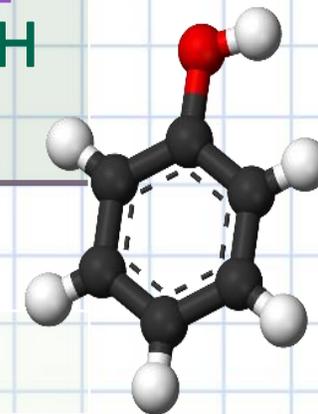
131

Фенол



41

182



ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕНОЛА



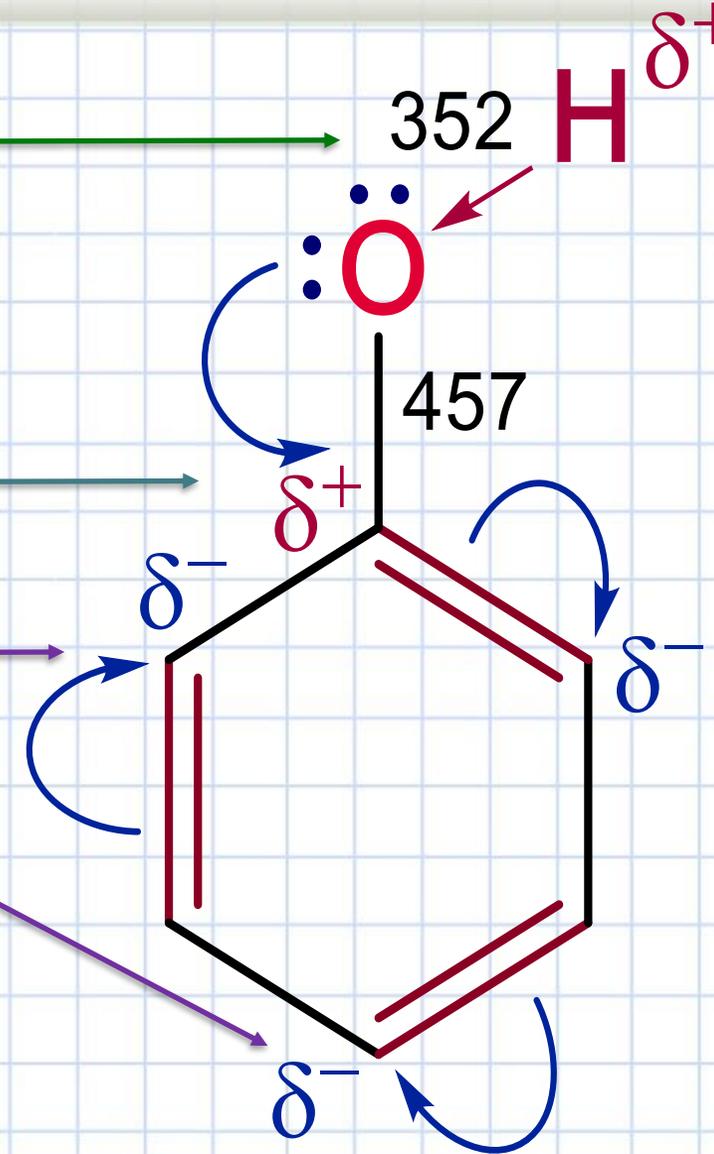
кислотный центр



электрофильный центр

нуклеофильный центр

из-за наличия ароматического кольца и гидроксильной группы фенол проявляет химические свойства, характерные как для спиртов, так и для ароматических углеводородов:



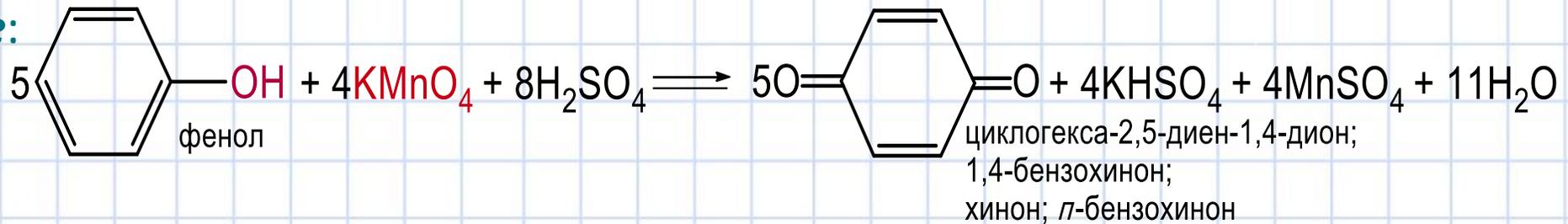
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕНОЛА



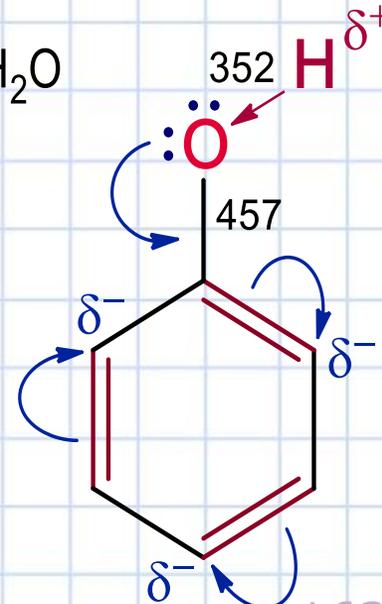
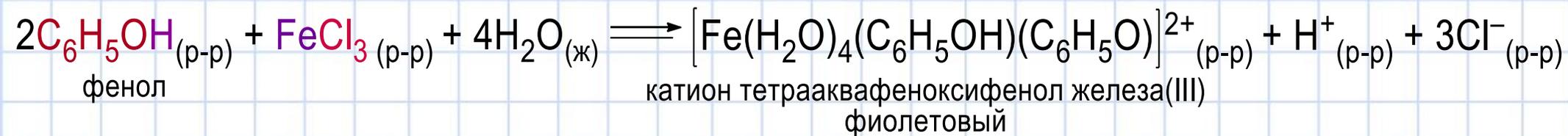
нитрование:



окисление:

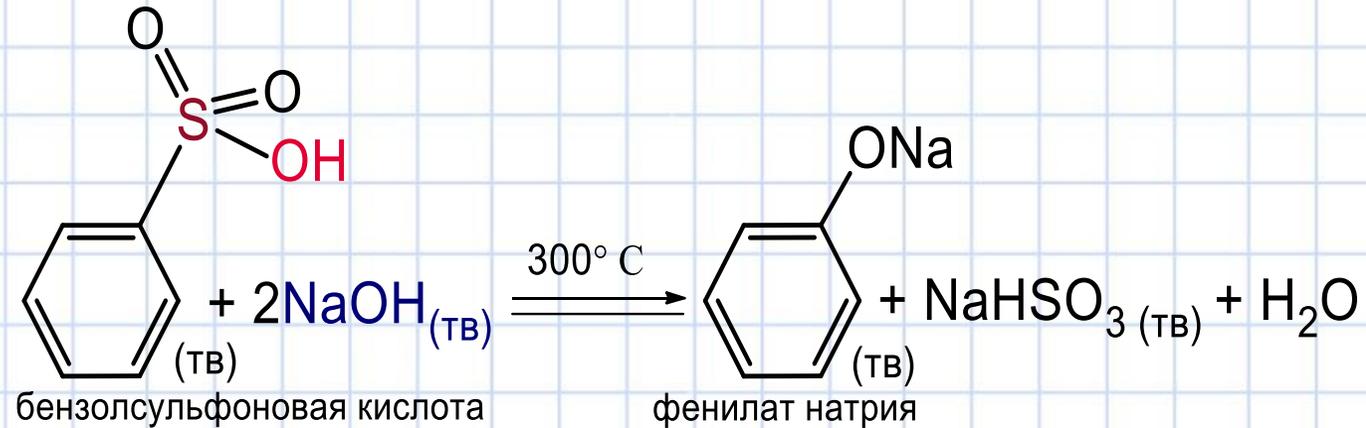


реакция с хлоридом железа(III) (качественная идентификация фенола):

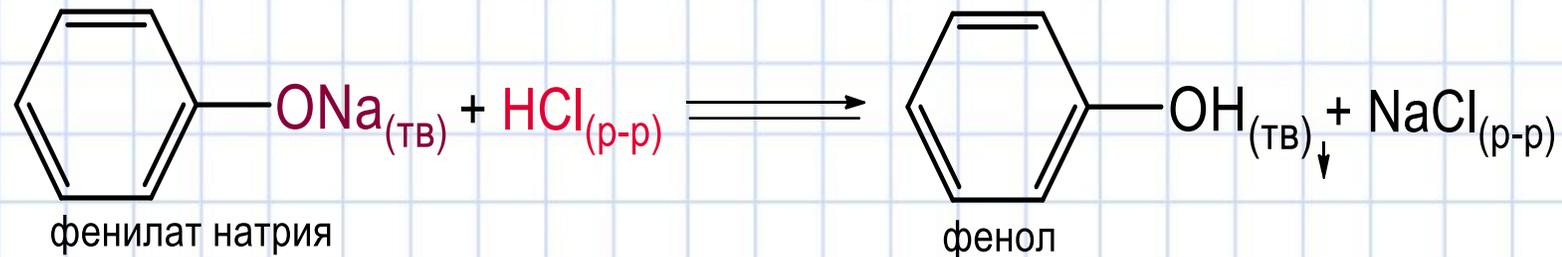


ЛАБОРАТОРНЫЙ СИНТЕЗ ФЕНОЛА

сплавление бензолсульфоновой кислоты со щёлочью натрия:

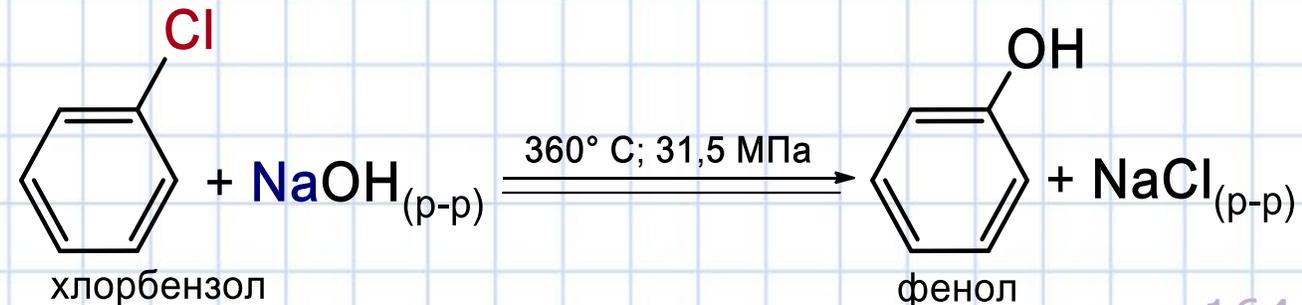


обработка фенолата соляной кислотой:



44 % фенола расходуется на производство поликарбоната и эпоксидных смол;
30 % фенола расходуется на производство фенолформальдегидных смол;
12 % фенола гидрированием превращается в циклогексанол, используемый для получения искусственных волокон — нейлона и капрона;

промышленный синтез из хлорбензола:



СПАСИБО!

ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ...

ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России
центр довузовской подготовки



<https://lyaminlyaminchemis.wixsite.com/scientists-site-ru>

среда, 22 мая 2024 г.