

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены галогеном.

Их общая формула:



где R – углеводородный радикал; X = F, Cl, Br или I.

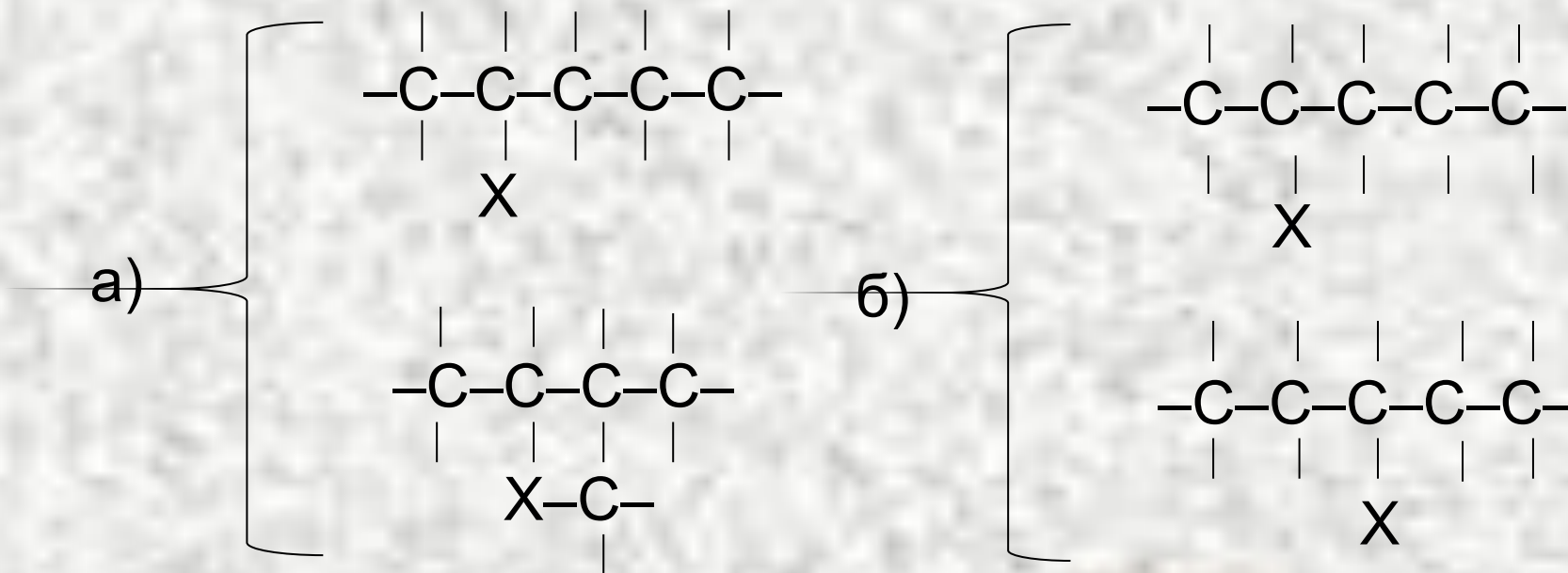
Если $\text{R} = \text{C}_n\text{H}_{2n+1}$, т. е. является алкильным радикалом, то галогенопроизводные называются *алкилгалогенидами* или галогеналканами.

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

ИЗОМЕРИЯ R – X. НОМЕНКЛАТУРА

Изомерия $C_n H_{2n+1} X$ обусловлена:

- а) изомерией углеродного скелета;
- б) положением галогена;

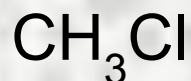


ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

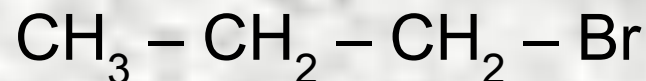
НОМЕНКЛАТУРА R – X

1. Рациональная номенклатура = название радикала R + название галогена X

Причем название X ставится либо перед, либо после названия радикала:



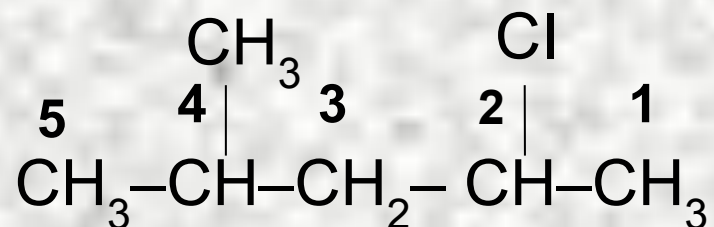
хлористый метил
(метилхлорид)



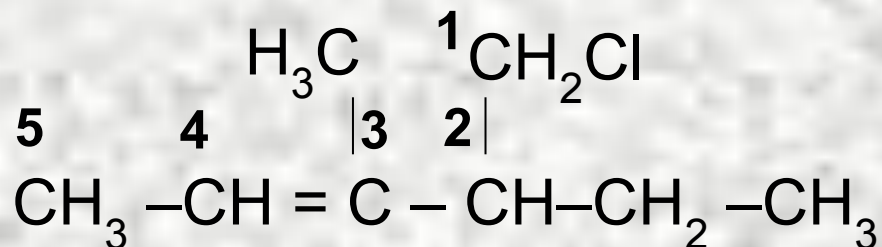
бромистый
пропил
(пропилбромид)

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

2. Заместительная номенклатура:



4-метил-2-хлорпентан

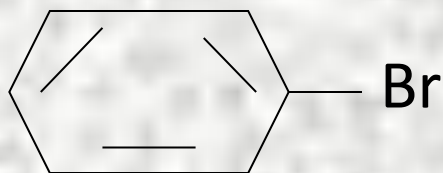


3-метил-1хлор-2-этилпентан-3

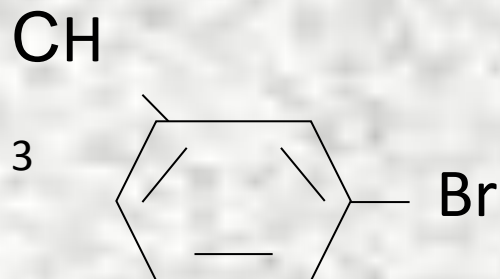
ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

АРИЛГАЛОГЕНИДЫ

Общая формула $Ar - X$; в этих соединениях галоген непосредственно связан с атомом углерода ароматического кольца (**поэтому мало подвижен!!**):



бромбензол



1-бром-3-метилбензол
(М-бромтолуол)

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

МЕТОДЫ СИНТЕЗА R – X

(звездочкой (*) отмечены методы, используемые также в промышленности).

1. Из спиртов:

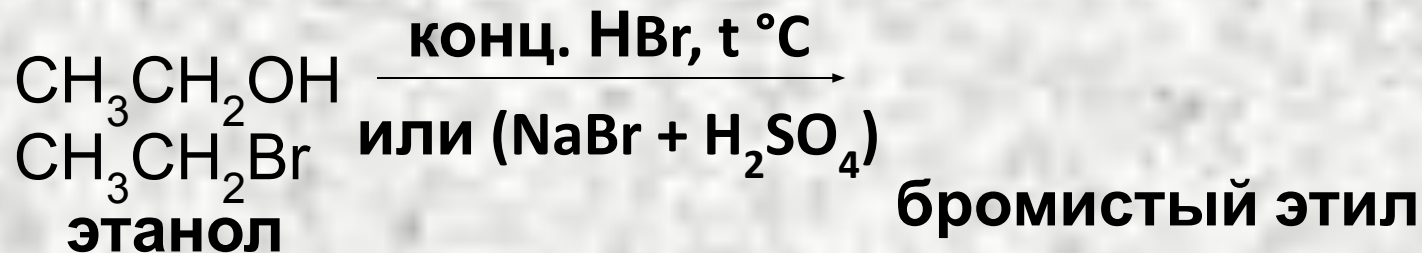
действием галогеноводородов (HX) и галогенидов фосфора (PX):

Общая схема:

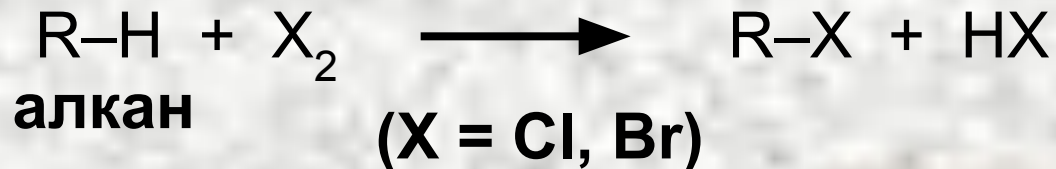


ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

МЕТОДЫ СИНТЕЗА R – X. ПРИМЕРЫ:



2*. Галогенирование углеводородов:

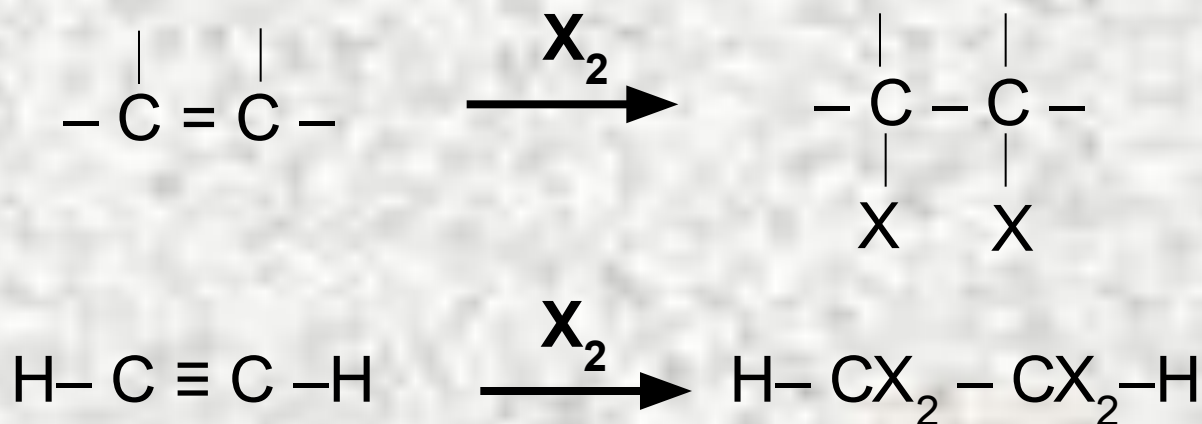


ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

3*. Присоединение галогеноводородов к алкенам:



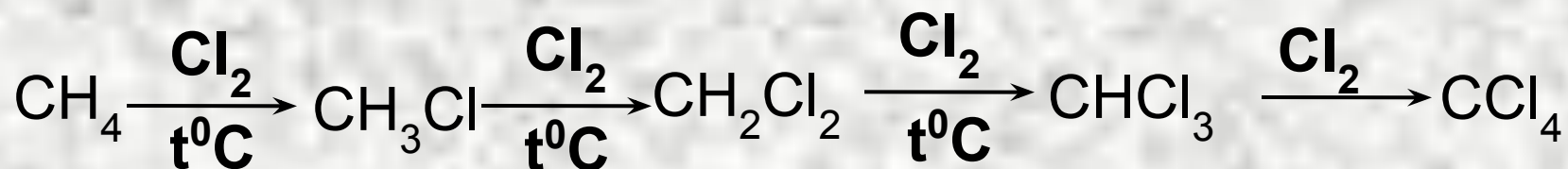
4*. Присоединение галогенов к алкенам и алкинам:



ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ. ПОЛУЧЕНИЕ

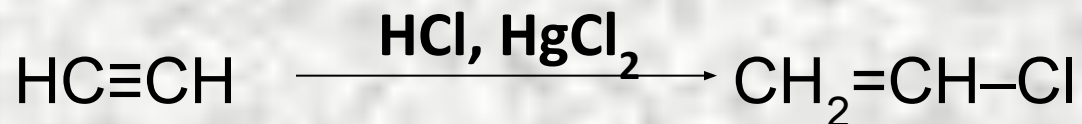
Промышленные способы:

1.1. Галогенирование алканов (обычно образуются смеси изомеров, что несколько снижает ценность метода):



метан

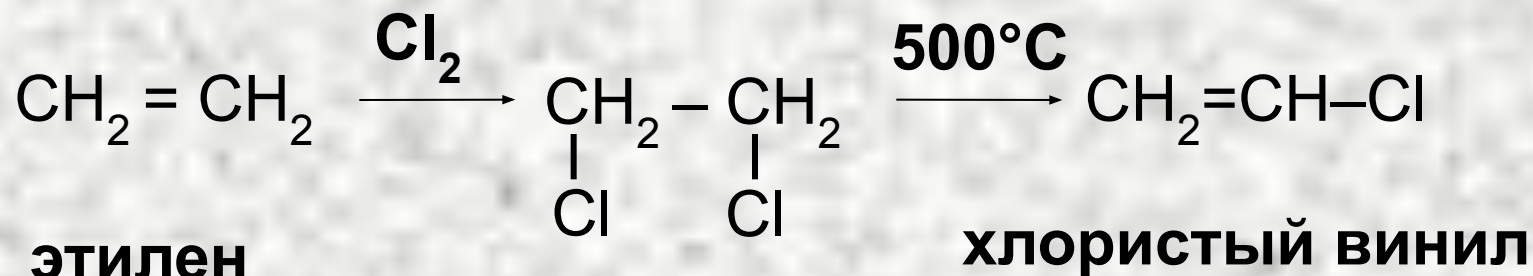
1.2. Присоединение галогеноводородов и галогенов к алкенам и алкинам:



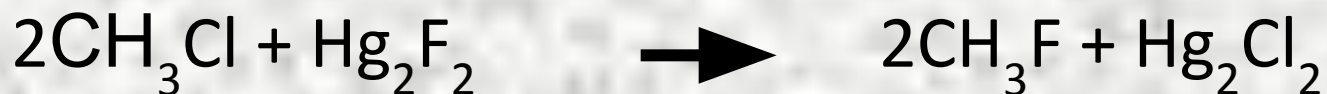
ацетилен

хлористый винил

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ. ПОЛУЧЕНИЕ



1.3. Фторопродукты получают из других галогенопродуктов при помощи неорганических фторидов:



полифториды:

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА R – X

1. Температура плавления и кипения R – X > Температура плавления и кипения R – H ?

2. При данном R температура кипения повышается в ряду:



3. Растворимость R – X: хотя R – X – полярные соединения, они нерастворимы в воде (**почему ?**), но хорошо растворимы в обычных органических растворителях.

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

РАСТВОРИМОСТЬ: ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Старинное правило:

«ПОДОБНОЕ РАСТВОРЯЕТСЯ В ПОДОБНОМ»

Компонент **A** \longleftrightarrow Компонент **B**
(Растворяемое вещество) (Растворитель)

ЭНЕРГИЯ СВЯЗЕЙ E:

1. $E_{A\cdots A} > E_{A\cdots B}$ — нет растворения

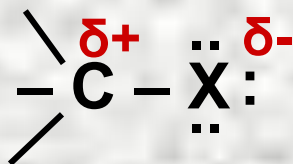
2. $E_{B\cdots B} > E_{A\cdots B}$ — нет растворения

3. $E_{A\cdots A} \approx E_{A\cdots B} \approx E_{B\cdots B}$ — есть растворение

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА R – X

Характерной чертой RX является наличие группировки:



Анализ строения позволяет отметить следующее:

1. функциональная группа не имеет кратных связей, поэтому несклонна к реакциям присоединения;
2. галогены как элементы более электроотрицательные, чем углерод, создают на связанном с ними атоме углерода частичный положительный заряд ($\delta+$).

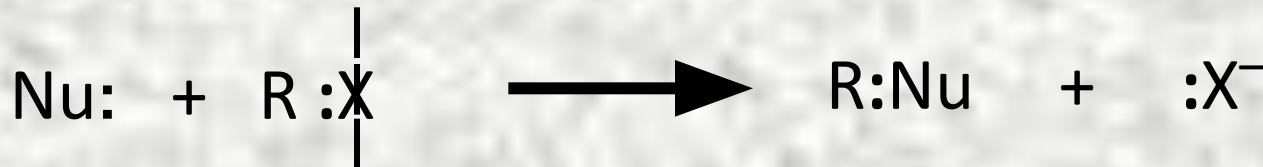
ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА R – X

Отмеченные обстоятельства заставляют предположить: **Наиболее характерными реакциями галогено-производных будут реакции нуклеофильного замещения (S_N – реакции).**

– «S» - от слова «**substitution**» - замещение;
«N» - от слова «**nucleophilic**».

В S_N – реакциях происходит атака нуклеофила :Nu (т.е. реагента, предоставляющего электронную пару) на атом углерода с вытеснением галогена в виде :X⁻



НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ:

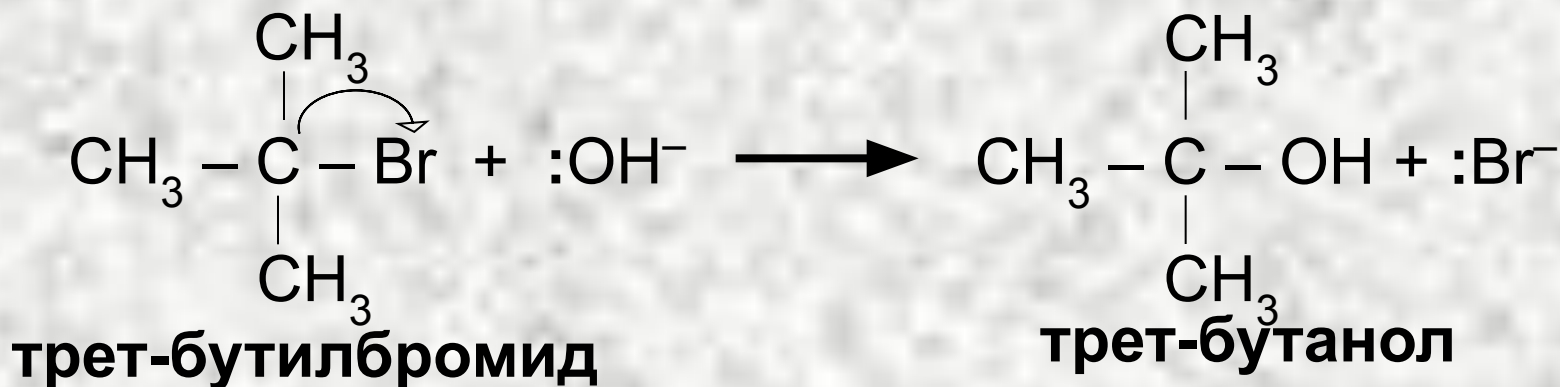
МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ

В зависимости от природы галогенопроизводного ($R - X$), нуклеофильного реагента ($:Nu$) и условий реакции (растворитель, температура) процессы нуклеофильного замещения могут идти по двум механизмам: **S_N1 или S_N2 .**

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА R – X

S_N – реакция: механизм и кинетика.

Рассмотрим реакцию между трет-бутилбромидом и гидроксид-ионом:



Известно (**экспериментальный факт!**), что скорость этой реакции зависит от концентрации только одного реагента - трет-бутилбромида:

$$v = K [(\text{CH}_3)_3\text{CBr}]$$

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА R – X

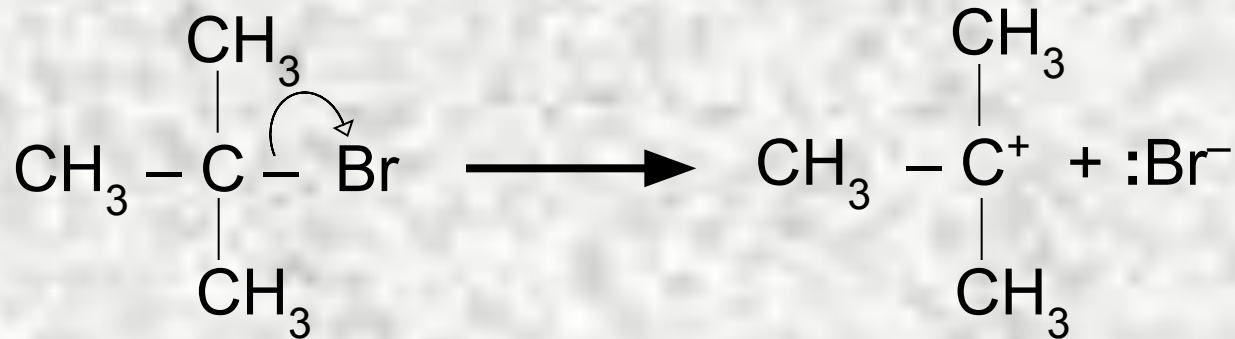
S_N – РЕАКЦИЯ: МЕХАНИЗМ И КИНЕТИКА.

Возникает вопрос, почему скорость реакции не зависит от концентрации гидроксид-иона $:OH^-$?

Ответ: Если скорость реакции не зависит от $[OH^-]$, это может означать только то, что гидроксид-ион не участвует в реакции, скорость которой определяют.

Отсюда можно предположить следующий механизм реакции:

1. Медленная стадия (лимитирующая скорость):



2. Вторая стадия: быстрая

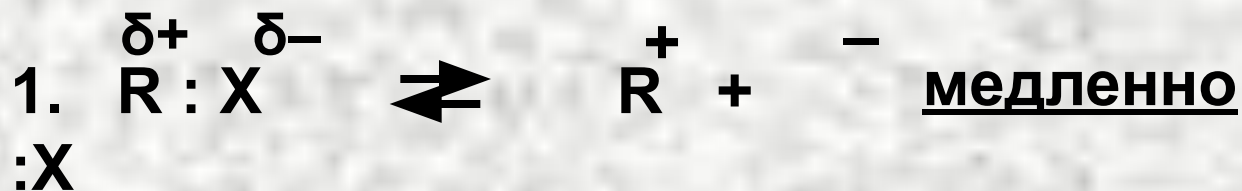


S_N1 -ЗАМЕЩЕНИЕ

МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ. ОБЩИЙ ВИД:

Первая стадия – ионизация реагента и образование карбкатиона (*протекает медленно*)

Вторая стадия – взаимодействие карбкатиона с нуклеофильной частицей (*идет быстро*)



S_N1 -ЗАМЕЩЕНИЕ

МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ. ОБЩИЙ ВИД:

Скорость S_N1 – реакции зависит только от концентрации алкилгалогенида, т. е. S_N1 – реакция является реакцией первого порядка:

$$v = k [RX]$$

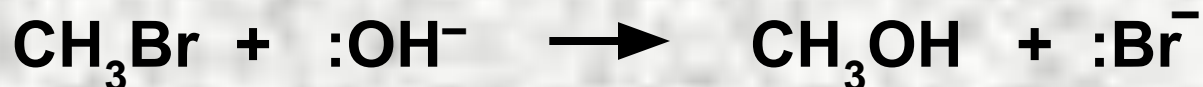
Скорость общей реакции определяется первой (*медленной*) стадией: как быстро ионизируется RX .

Порядком реакции по данному реагенту называют степень в которой его концентрация входит в уравнение скорости реакции; общий порядок равен сумме этих степеней.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА R – X

S_N – РЕАКЦИЯ: МЕХАНИЗМ И КИНЕТИКА.

Рассмотрим теперь реакцию бромистого метила с гидроксид-ионом, приводящую к метиловому спирту:



Кинетические данные для этой реакции показывают, что скорость реакции в этом случае зависит от концентрации обоих реагентов и выражается кинетическим уравнением второго порядка:

$$v = k [\text{HO:}][\text{CH}_3\text{Br}]$$

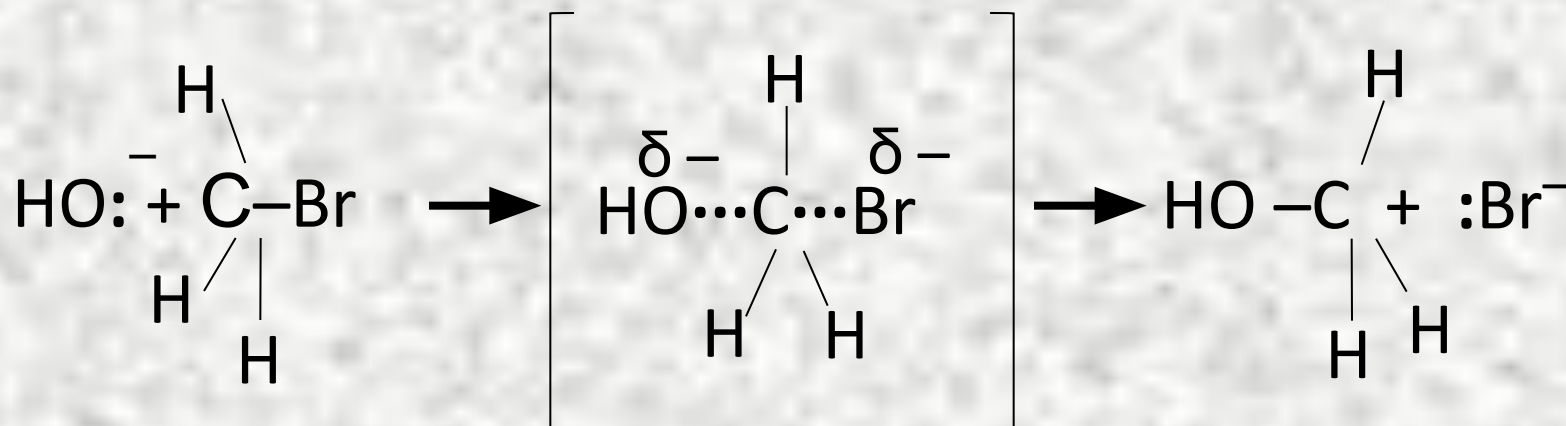
Это бимолекулярное нуклеофильное замещение или
 S_N2 -реакция

МЕХАНИЗМ S_N2- РЕАКЦИИ

(бимолекулярное нуклеофильное замещение)

S_N2 – реакция – одностадийный процесс, в ходе которого присоединение нуклеофила :OH⁻ и удаление уходящей группы :Br⁻ происходит одновременно.

В ходе реакции возникает переходное состояние с пятивалентным атомом углерода :



переходное состояние:

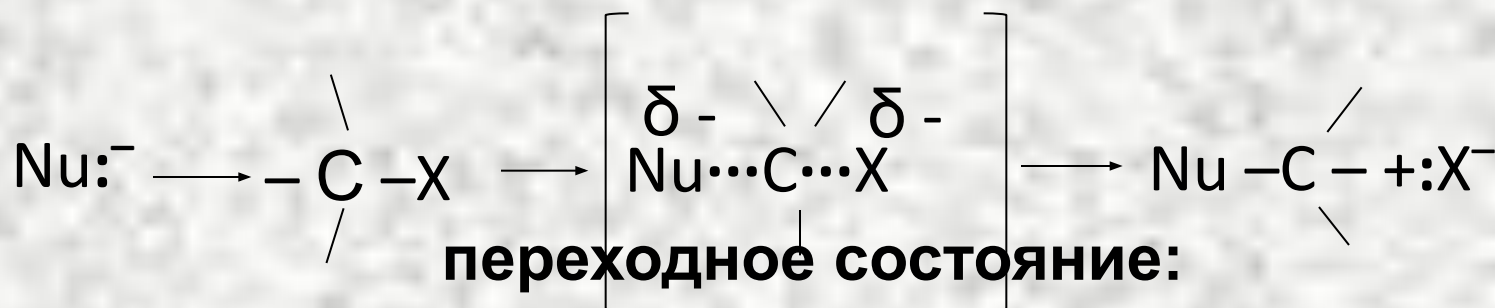
углерод связан с пятью группами; заряд распределен между выступающей и уходящей группами

S_N2 -ЗАМЕЩЕНИЕ

МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ. ОБЩИЙ ВИД:

S_N2 – реакция – одностадийный процесс, в ходе которого присоединение нуклеофила $:Nu^-$ и удаление уходящей группы $:X^-$ происходит одновременно.

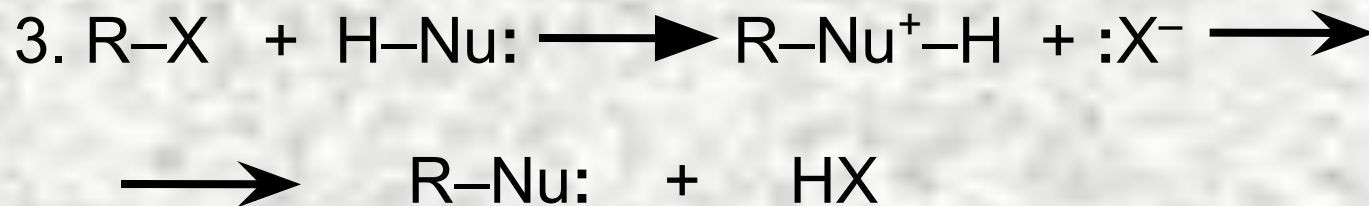
В ходе реакции возникает переходное состояние с пятивалентным атомом углерода :



углерод связан с пятью группами; заряд распределен между выступающей и уходящей группами

ПРИРОДА НУКЛЕОФИЛЬНОГО РЕАГЕНТА:

Роль нуклеофильного реагента могут играть как анионы, так и нейтральные частицы. Характер действия каждого из них иллюстрируется следующими уравнениями:



ПРИМЕРЫ НУКЛЕОФИЛОВ:

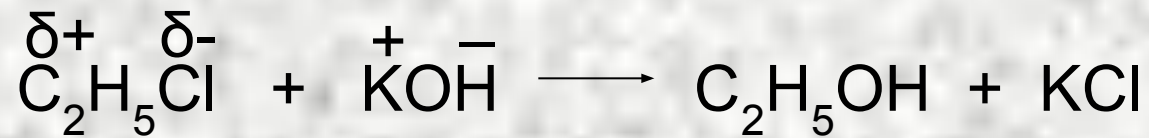
а) Анионы:

HO^-	(гидроксил-анион)
RO^-	(алкоголят-ионы)
RCOO^-	(ионы органических кислот)
CN^-	(цианид-ион)

б) Нейтральные молекулы: $\text{H}_2\ddot{\text{O}}$, $\ddot{\text{N}}\text{H}_3$ и их производные $\text{R}\ddot{\text{O}}\text{R}$, $\ddot{\text{N}}\text{H}_2\text{R}$, $\ddot{\text{N}}\text{HR}_2$, $\ddot{\text{N}}\text{R}_3$ – нуклеофильные свойства нейтральных молекул обусловлены свободной электронной парой.

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ: примеры реакций

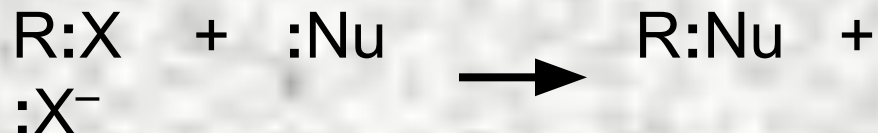


этилхлорид

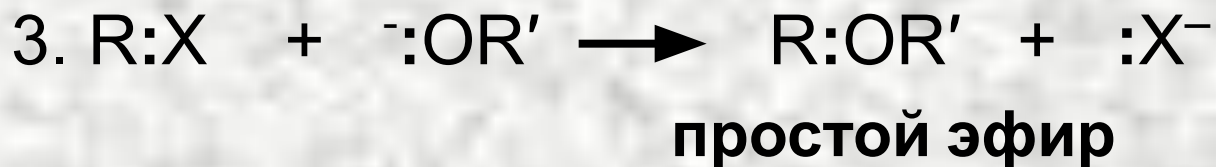
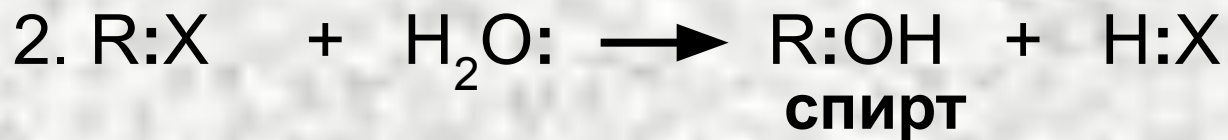
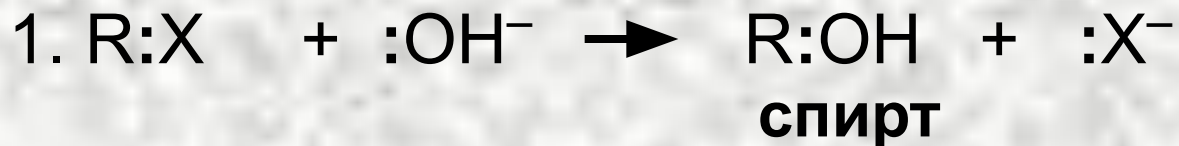
этанол

НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ:

ОБЩАЯ СХЕМА:

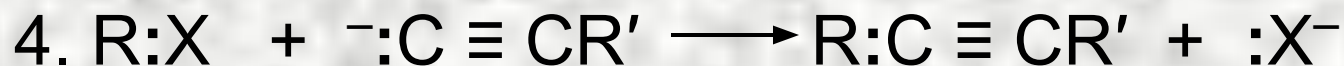


ПРИМЕРЫ РЕАКЦИЙ



НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ:

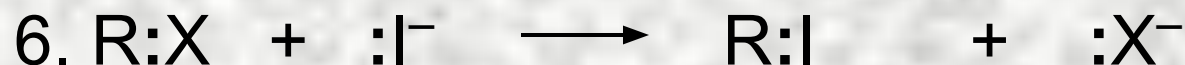
ПРИМЕРЫ РЕАКЦИЙ



алкин



алкан



иодистый алкил



нитрил



сложный эфир

НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ:

ПРИМЕРЫ РЕАКЦИЙ



реакция Фриделя – Крафтса:

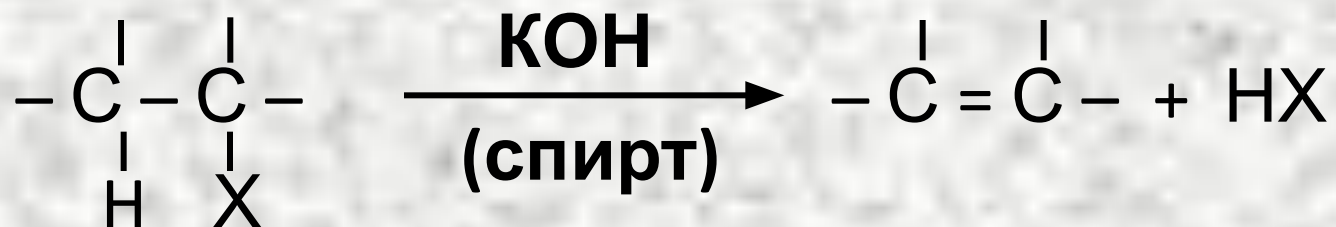


12. и др.

...

ДРУГИЕ РЕАКЦИИ ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫХ

2) Дегидрогалогенирование: отщепление

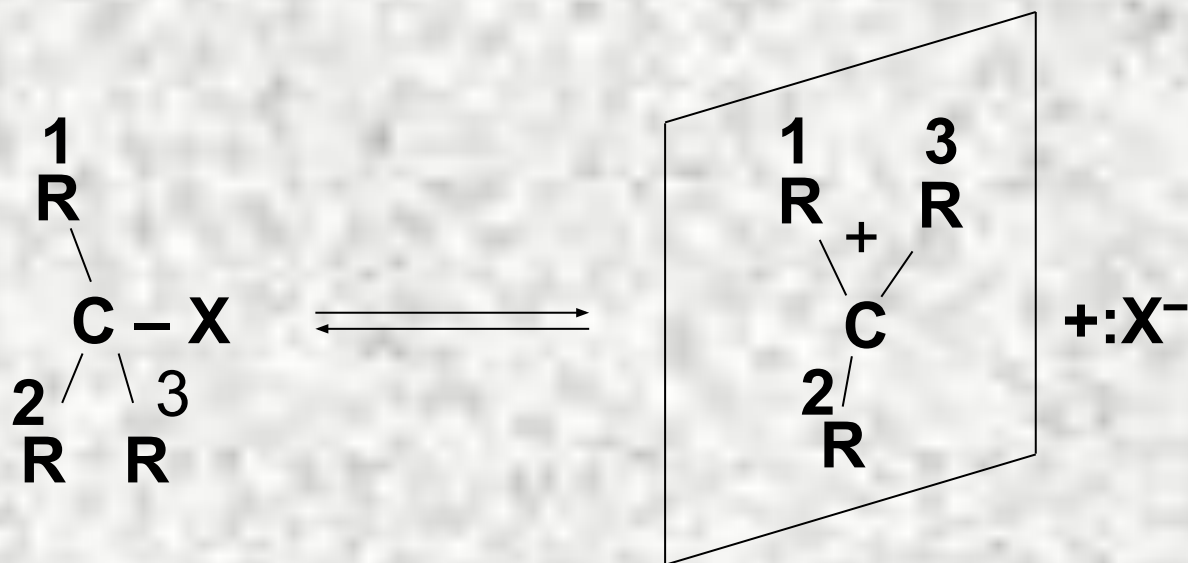


3) Синтез реактива Гриньяра:



СТЕРЕОХИМИЯ S_N1-Реакций

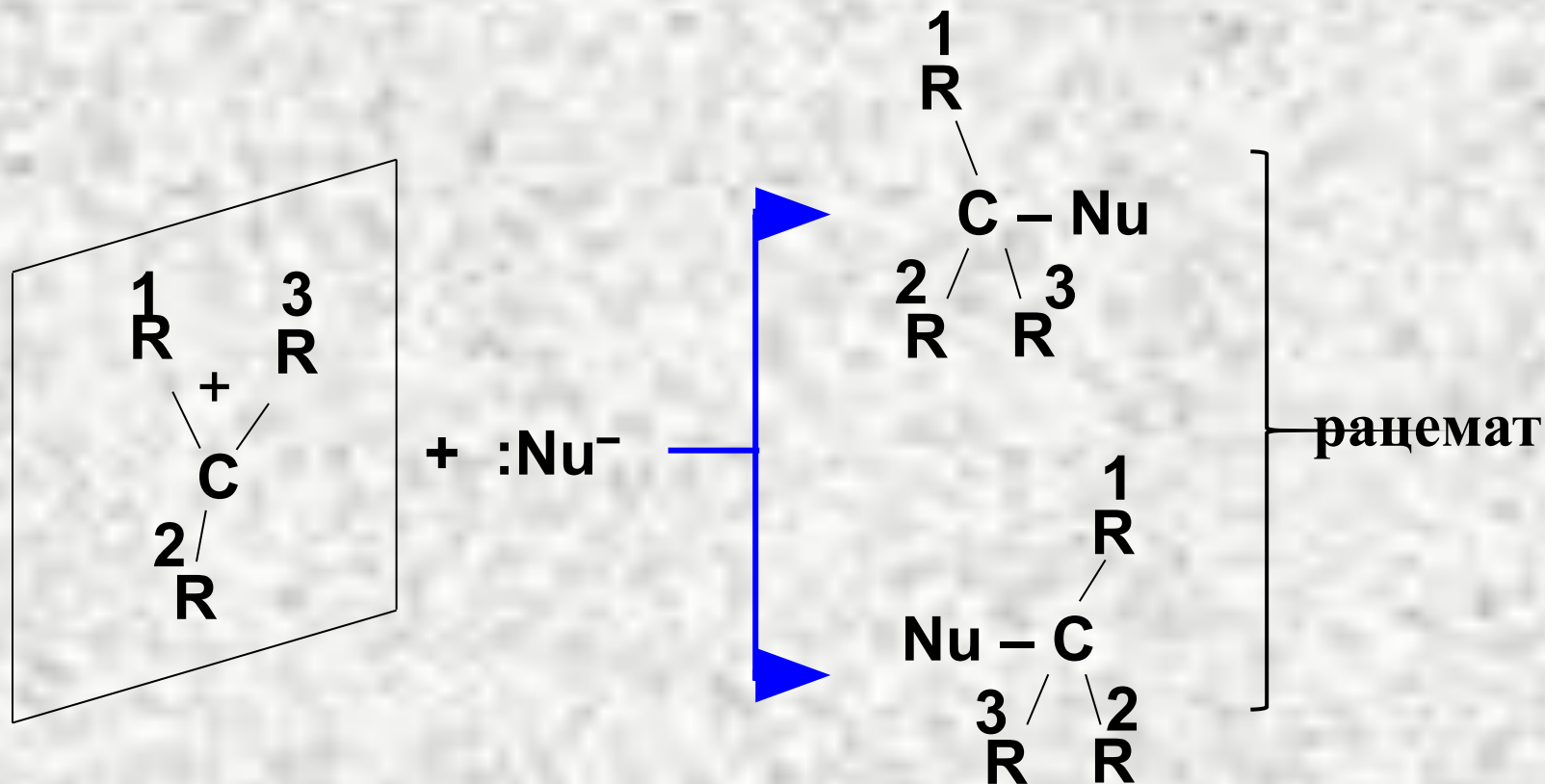
1. Первая стадия: ионизация галогенопроизводного (*медленная стадия*).



карбокатион
(плоская конфигурация)

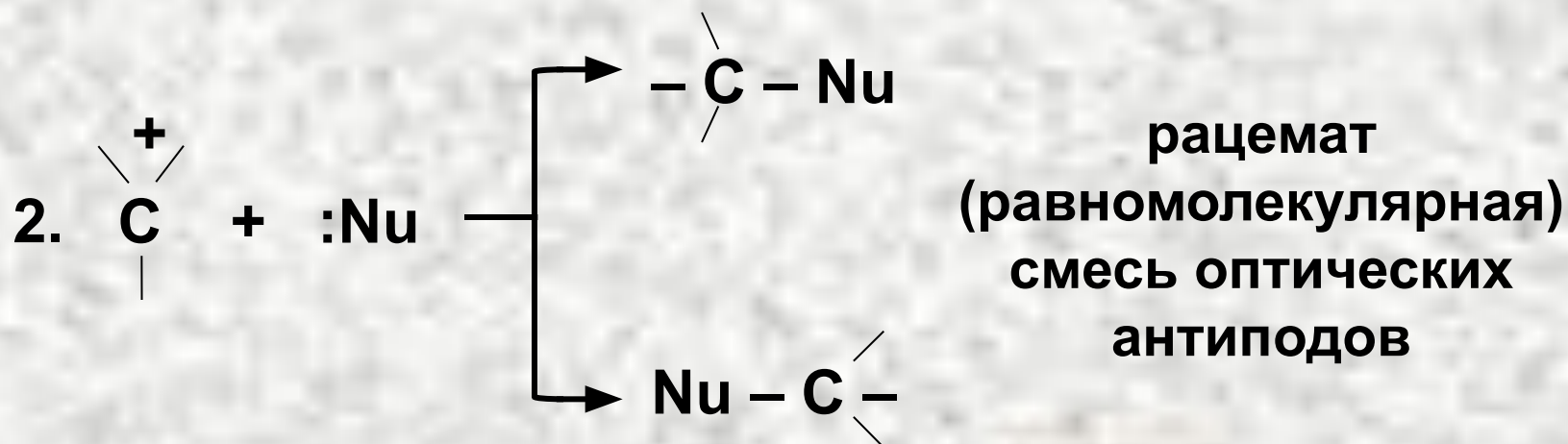
СТЕРЕОХИМИЯ S_N1-Реакций

2. Вторая стадия (*быстрая*): подход нуклеофила возможен с любой стороны плоскости.



СТЕРЕОХИМИЯ S_N1-Реакций

повторение пройденного

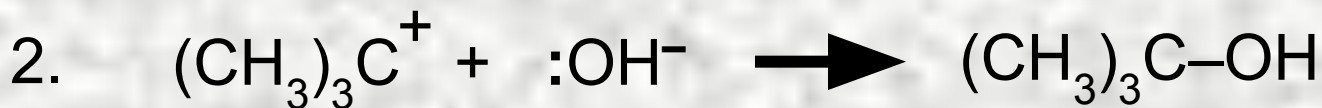
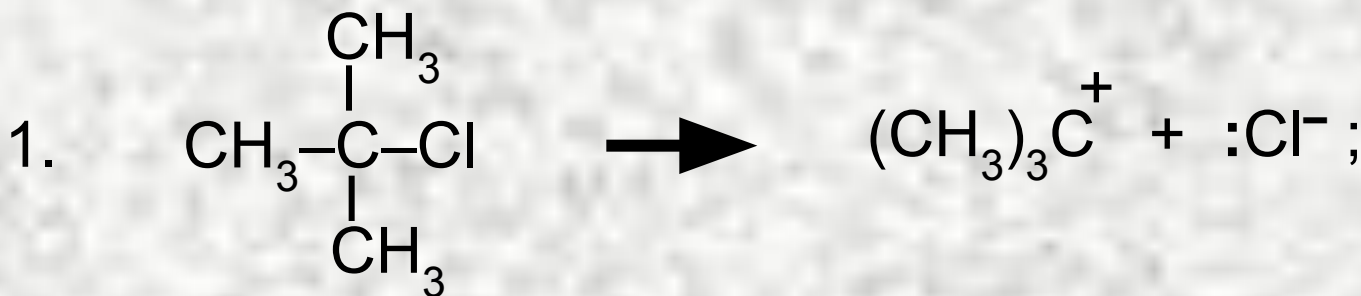


КИНЕТИКА S_N1-Реакций

повторение пройденного

Скорость S_N1 – реакции определяется кинетическим уравнением первого порядка, т. е. зависит только от концентрации RX:

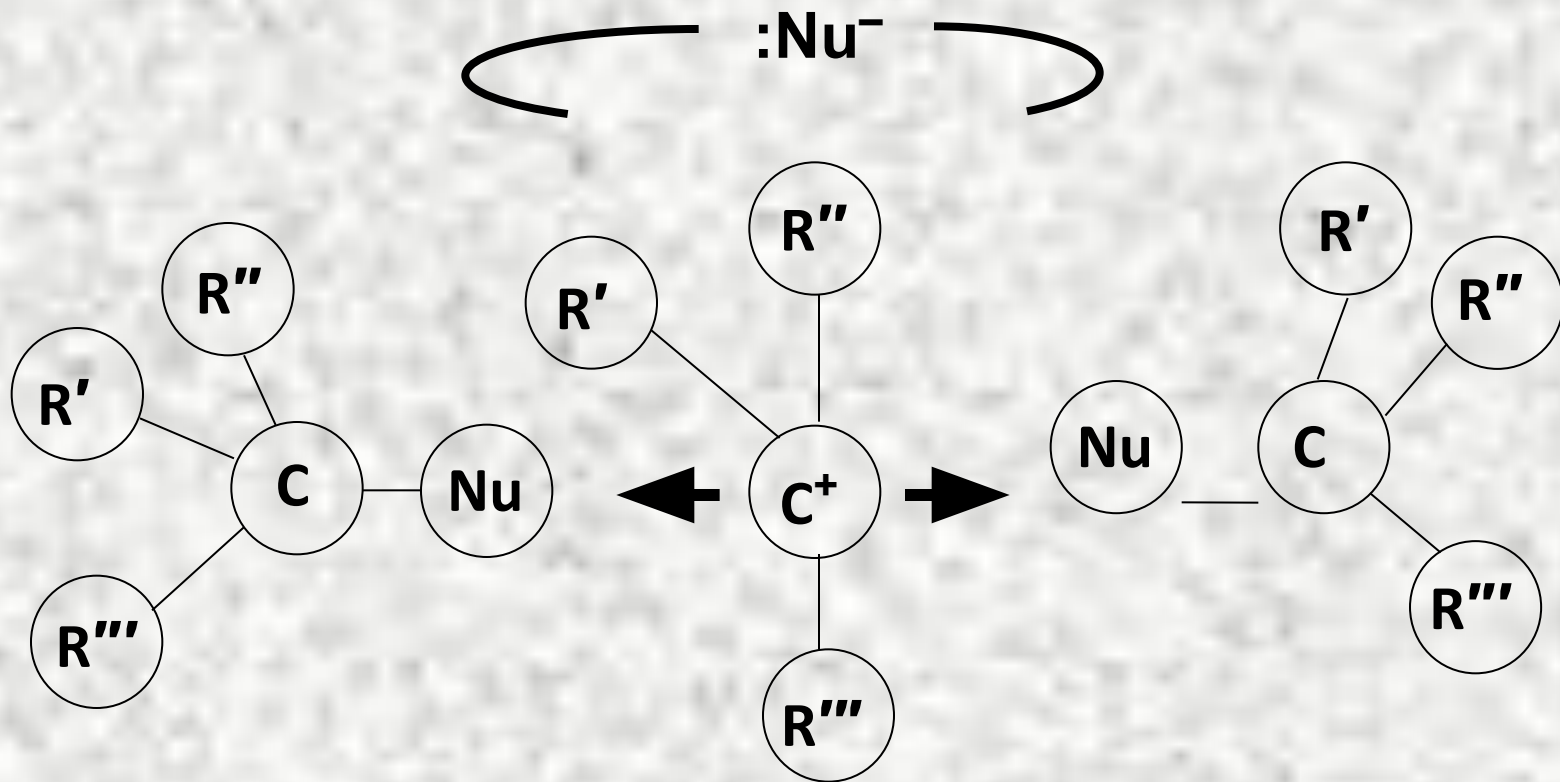
$$v = k [(CH_3)_3C-Cl]$$



СТЕХЕОХИМИЯ S_N1 – РЕАКЦИЙ

Конечный продукт S_N1 – реакции представляет собой смесь оптических антиподов – рацемат. Образование рацемата можно представить из схемы:

СТЕХЕОХИМИЯ S_N1 – РЕАКЦИЙ

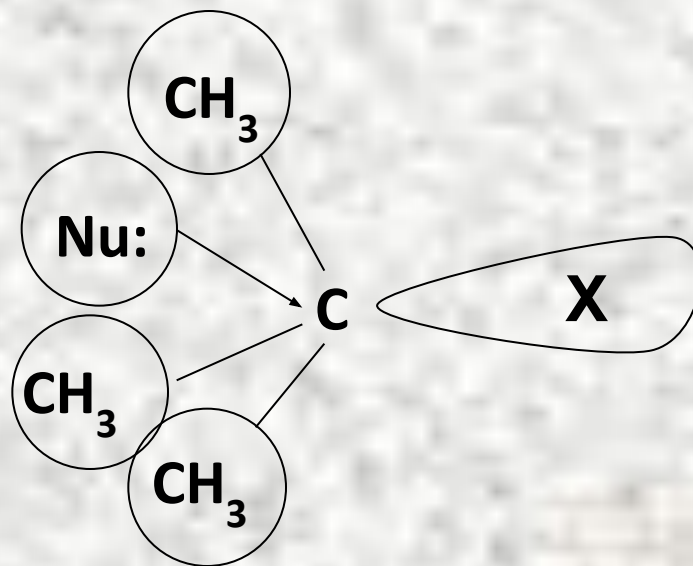


подход нуклеофила возможен с любой стороны плоского карбкатиона

S_N2 – РЕАКЦИИ



СТЕРИЧЕСКИЕ (ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ) ЗАТРУДНЕНИЯ



S_N1 – МЕХАНИЗМ: РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ

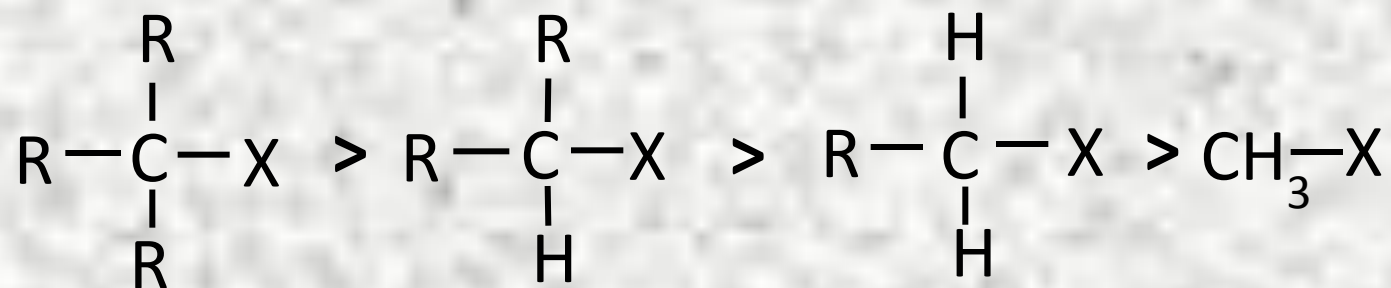
Выше отмечалось, что S_N1 – реакция – двухстадийный процесс, общая скорость которого определяется лимитирующей стадией, т. е. стадией образования карбкатиона:



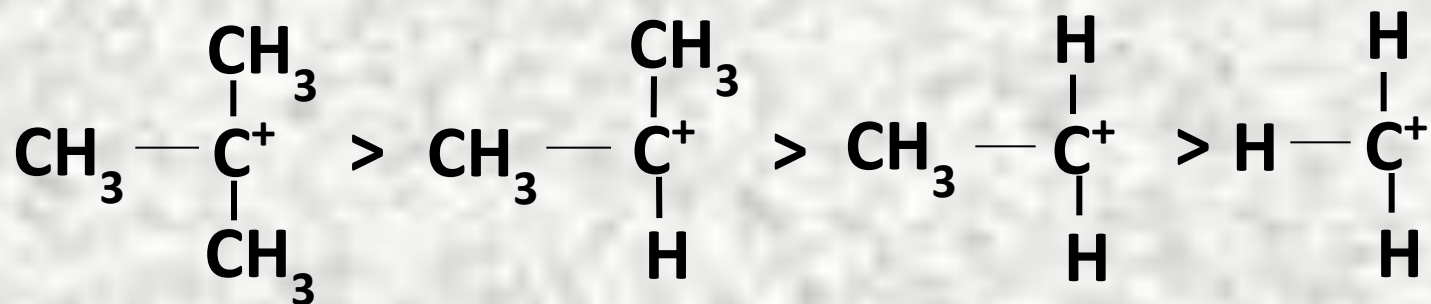
Поэтому реакционная способность RX изменяется в том же направлении, что и устойчивость карбкатионов.

S_N1 – МЕХАНИЗМ: РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ

Реакционная способность RX в S_N1 – реакции уменьшается в ряду:



Такой порядок реакционной способности RX соответствует ряду изменения устойчивости карбокатионов:



третичный

вторичный

первичный

метил-
катион

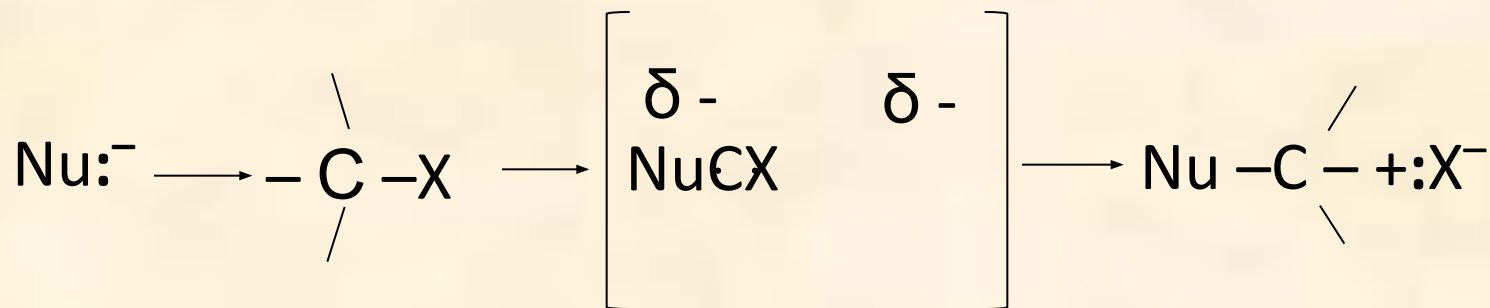
ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Механизм S_N2

(бимолекулярное нуклеофильное замещение)

S_N2 – реакция – одностадийный процесс, в ходе которого присоединение нуклеофила $:Nu^-$ и удаление уходящей группы $:X^-$ происходит одновременно.

В ходе реакции возникает переходное состояние с пятивалентным атомом углерода :



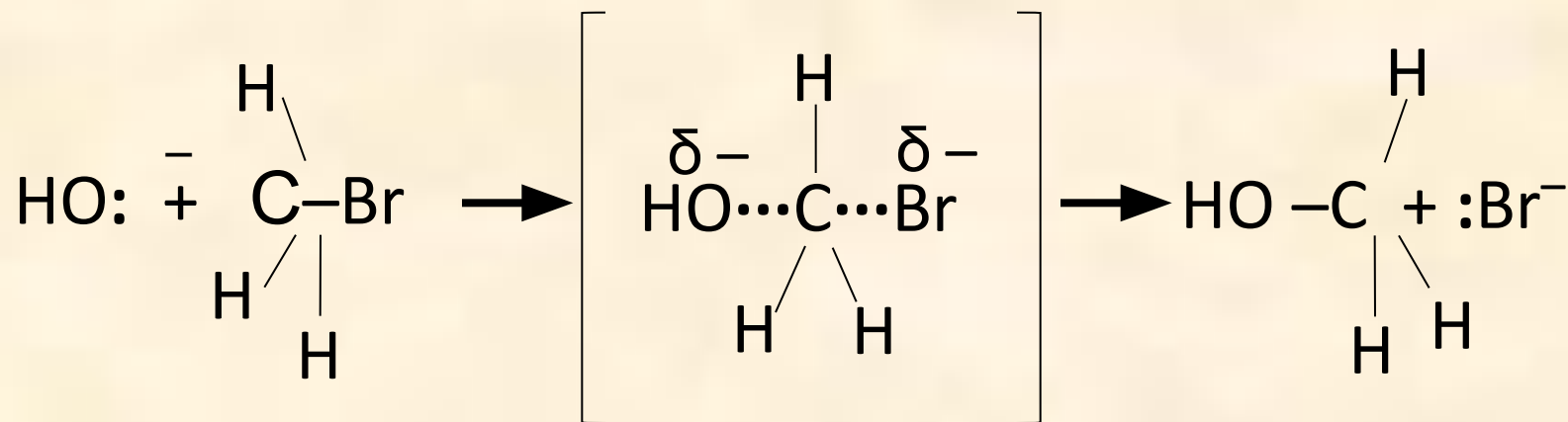
переходное состояние: углерод связан с пятью группами; заряд распределен между вступающей и уходящей группами

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Такой механизм согласуется с данными по кинетике, стереохимии и реакционной способности процесса:

1. Кинетические данные:

В качестве примера рассмотрим реакцию бромистого метила с гидроксид-ионом, приводящую к метиловому спирту:



ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

В решающей стадии реакции участвуют оба реагента и HO^- и CH_3Br , следовательно скорость реакции должна быть пропорциональна концентрации обоих реагентов:

$$v = K [\text{HO}^-][\text{CH}_3\text{Br}]$$

(кинетическое уравнение второго порядка)

Эксперименты показывают, что это действительно так, т. е. SN_2 – реакция имеет второй порядок.

2. СТЕРЕОХИМИЯ S_N2 – ЗАМЕЩЕНИЯ:

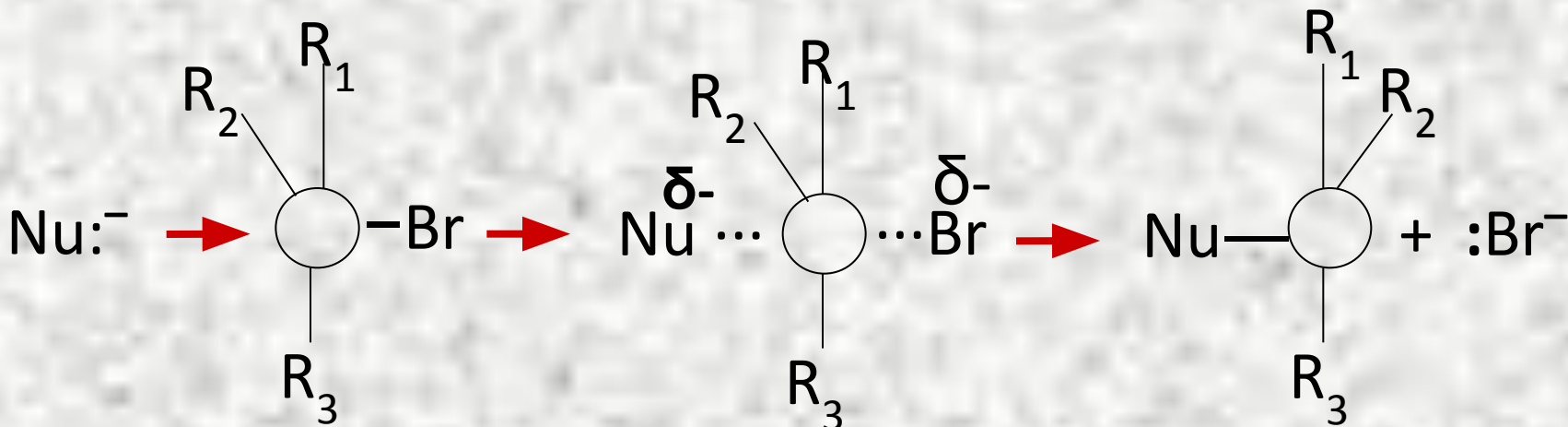
Изучение S_N – реакций на примере оптически активных алкилгалогенидов (и др. веществ) показало, что в том случае, когда реакция имеет второй порядок (т. е. в случае S_N2 – замещения) конечный продукт имеет конфигурацию противоположную конфигурации исходного вещества (является оптическим антиподом).

ВАЛЬДЕНОВСКОЕ ОБРАЩЕНИЕ

(П. Вальден, кон. XIX в.).

Процесс обращения конфигурации можно сравнить с выворачиванием зонтика от сильного ветра. Роль «ветра» здесь играет нуклеофил $:Nu^-$, роль «спиц»-валентные связи:

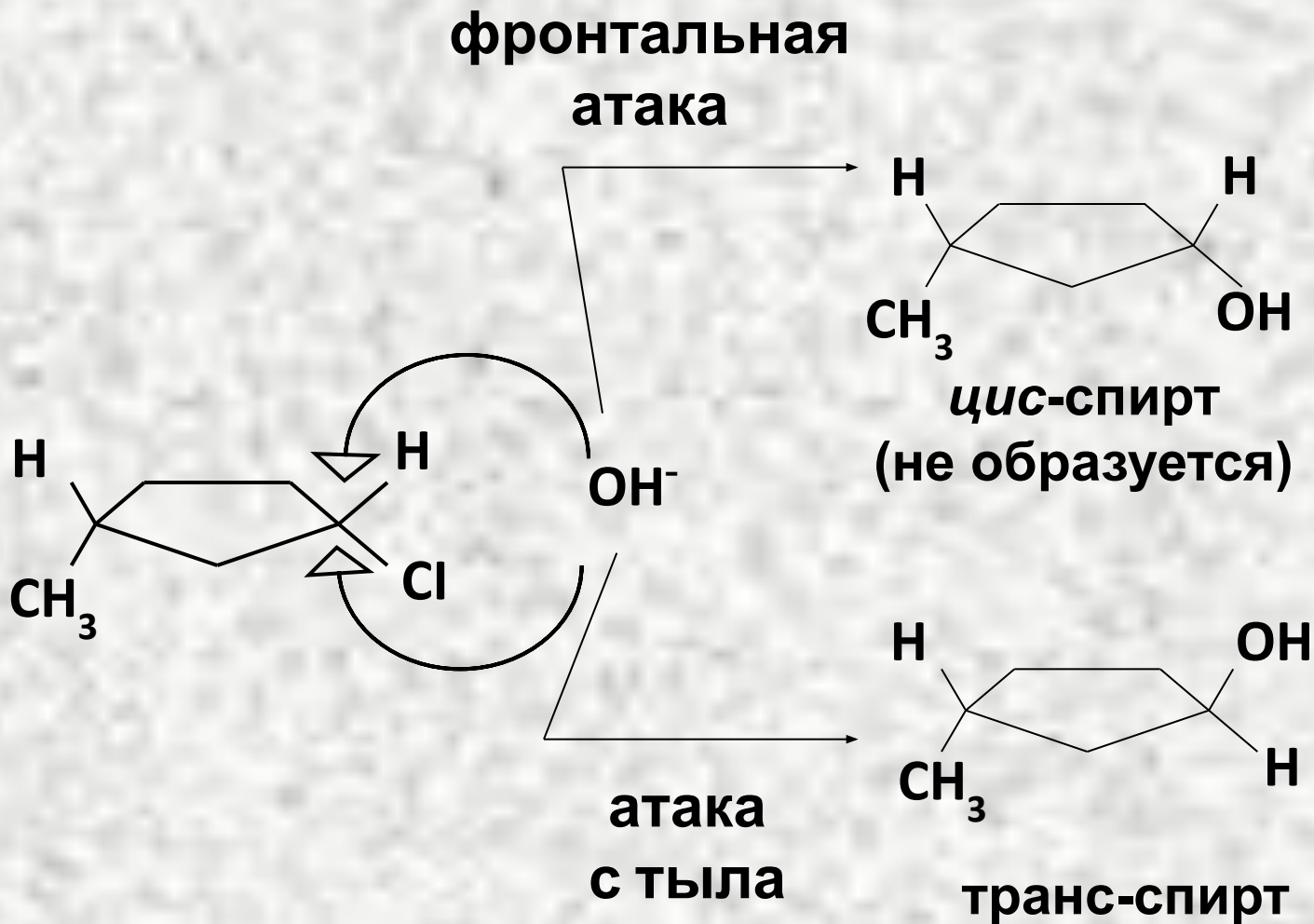
2. СТЕРЕОХИМИЯ S_N2 – ЗАМЕЩЕНИЯ:



Обращение конфигурации в S_N2 – реакция указывает на то, что нуклеофил атакует молекулу с тыла, т. е. со стороны, противоположной той, где находится галоген. Если бы нуклеофил атаковал молекулу с той же стороны, где находится галоген (фронтальная атака), то обращение конфигурации не наблюдалось бы.

Это наглядно видно на примере взаимодействия гидроксид-иона с цис-3-метилциклопентилхлоридом:

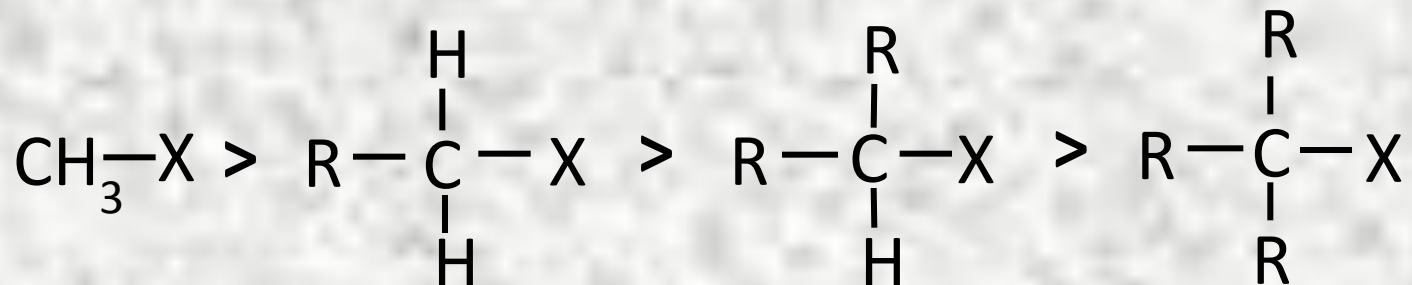
S_N2 – РЕАКЦИЯ: ОБРАЩЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ



S_N2 – РЕАКЦИЯ

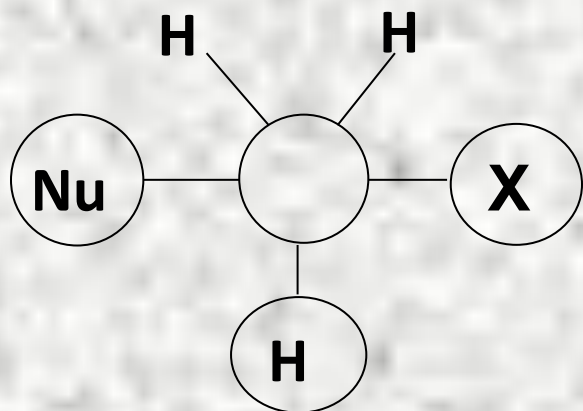
3. Данные по реакционной способности:

В S_N2 – реакциях реакционная способность RX уменьшается в следующем порядке:

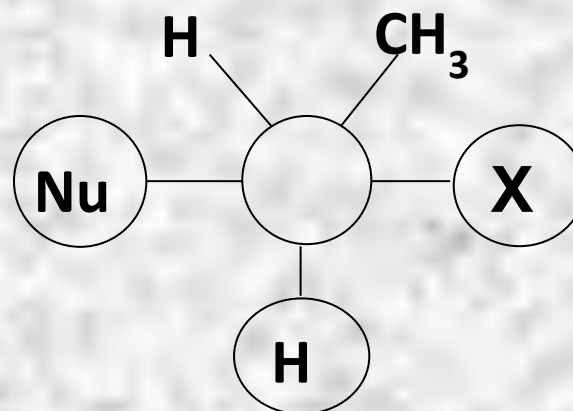


Для объяснения данной закономерности нужно рассмотреть влияние пространственных факторов в реакциях S_N2 – замещения:

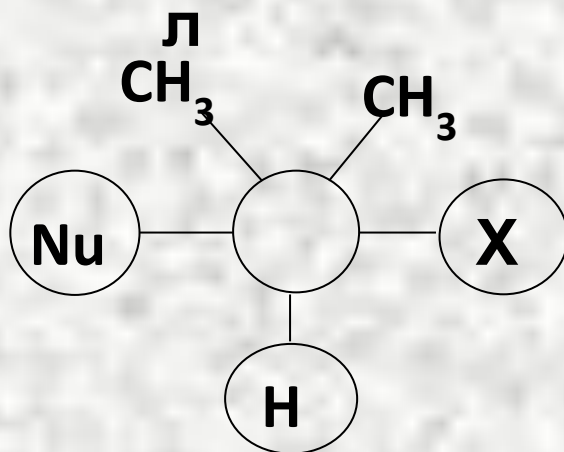
Пространственные факторы в S_N2 – реакциях.



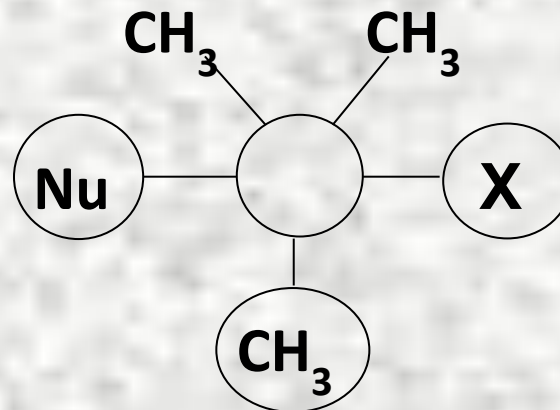
мети



этил



**изопрони
л**



**трет-
бутил**

Пространственные факторы в S_N2 – реакциях.

Увеличение числа алкильных заместителей создает пространственные препятствия для приближения атакующего реагента с тыльной стороны. Более объемным заместителям труднее разместиться вокруг центрального углерода, это повышает энергию переходного состояния и замедляет реакцию.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ И ПРИРОДЫ РАСТВОРИТЕЛЯ В S_N2 – РЕАКЦИЯХ

Механизму S_N1 способствуют:

- 1) Большой объем заместителей (центральный углерод третичный или вторичный).
- 2) Растворитель с большой диэлектрической постоянной.
- 3) Малоактивный нуклеофильный реагент.
- 4) Легко уходящая группа X.

Механизму S_N2 способствуют:

- 1) Малый объем заместителей (центральный углерод первичный или вторичный).
- 2) Растворитель с малой диэлектрической постоянной.
- 3) Активный нуклеофильный реагент.
- 4) Трудно уходящая группа X.

ВЛИЯНИЕ АЛКИЛЬНОГО РАДИКАЛА:

Полезно правило: первичные алкилгалогениды реагируют по механизму S_N2 , а третичные – по механизму S_N1 .

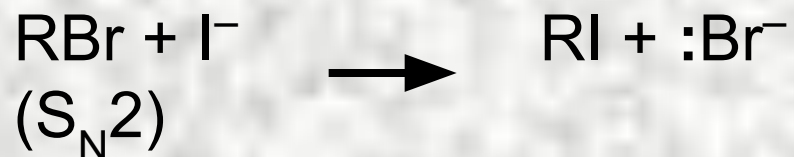
ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Скорость SN_2 – реакции
возрастает

$RX=CH$ X, первичный, вторичный, третичный

Скорость SN_1 – реакции
возрастает

СРАВНЕНИЕ СКОРОСТЕЙ РЕАКЦИЙ S_N1 И S_N2



R	Относительная скорость S _N 2-реакции	Относительная скорость S _N 1-реакции
– CH ₃	145	1,05
– CH ₂ CH ₃	1	1
– CH(CH ₃) ₂	8•10 ³	12
– C(CH ₃) ₃	5•10 ⁴	1,2•10 ⁵

S_N - РЕАКЦИИ

НЕКОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

Нуклеофил – частица, предоставляющая электронную пару другому атому:



нуклеофил атакует
электронодефицитный
участок другой молекулы

Основание – частица, предоставляющая электронную пару для связывания протона (H⁺):



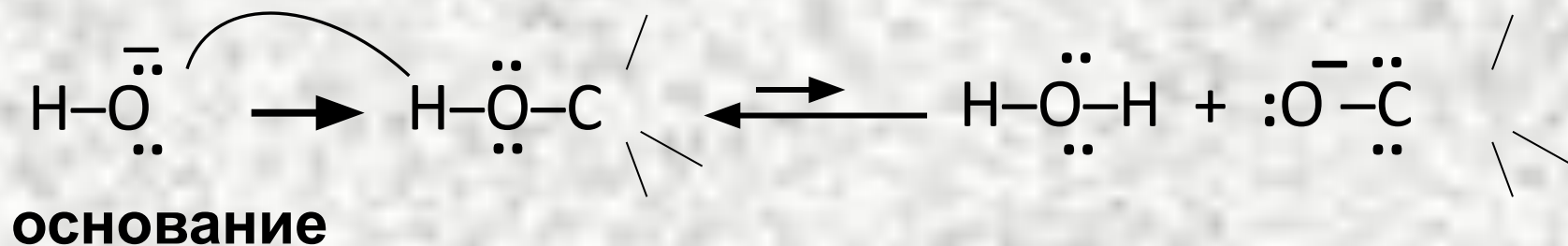
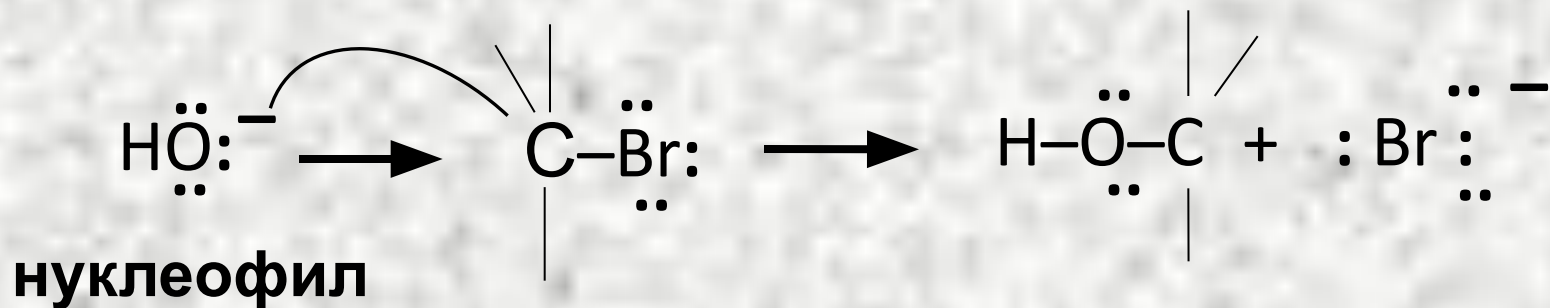
НУКЛЕОФИЛ И ОСНОВАНИЕ

Общее: и нуклеофил, и основание – доноры электронных пар.

Различие: если электронной парой частицы атакуется углерод, то частицу называют «нуклеофилом», если протон – «основанием».

Вывод: термины «нуклеофил» и «основание» могут быть использованы для описания одних и тех же частиц, но участвующих в различных реакциях :

НУКЛЕОФИЛ И ОСНОВАНИЕ



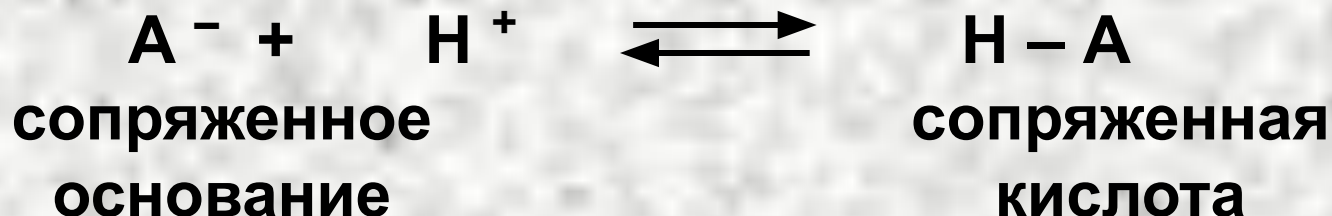
НУКЛЕОФИЛЬНОСТЬ И ОСНОВНОСТЬ:

Нуклеофильность частицы – способность к взаимодействию за счет своей электронной пары с атомом углерода.

Основность частицы – способность связывать протон за счет своей электронной пары.

Основность частицы можно оценить по константе диссоциации кислоты, сопряженной данному основанию:

СОПРЯЖЕННАЯ КИСЛОТА И ОСНОВАНИЕ



Правило: Чем сильнее кислота, тем слабее сопряженное ей основание и, наоборот, сильному основанию соответствует слабая сопряженная кислота:

Сила кислот:



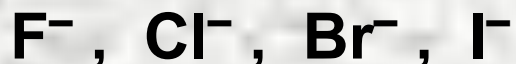
Сила оснований:



ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Нуклеофильность реагентов не всегда изменяется параллельно их основности:

нуклеофильность растёт:



основность растёт:

Нуклеофильность частицы (аниона) зависит от двух свойств: основности и поляризуемости:

нуклеофильность = f (основность, поляризуемость)

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Правило: 1. Если атакующий атом один и тот же, то нуклеофильность аниона прямо пропорциональна его основности:



основность и нуклеофильность растут

2. Если атакующие атомы (нуклеофильные центры) различны по природе, то нуклеофильность пропорциональна их поляризуемости:

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

нуклеофильность растет

(основность падает)



поляризуемость растет

Поляризуемость электронов – способность электронов смещаться под воздействием внешнего электрического поля (деформация внешней электронной оболочки).

Поляризуемость растет с **увеличением радиуса частицы (атома, иона)** и **уменьшением его заряда**.

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Наименее прочно удерживаются несвязывающие электроны, откуда следует, что атом, выступая в качестве нуклеофила, использует, как правило, несвязывающие электроны: **порядок нуклеофильности:**

несвязывающие электроны >> π -связывающие электроны >> σ -связывающие электроны

Природа уходящей группы X

Правило: Хорошие уходящие группы, покидая молекулу, обозначают устойчивые ионы. Плохие уходящие группы образуют нестойкие ионы.

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Из этого правила следует: сильные основания обычно бывают плохими уходящими группами; слабые основания обычно являются хорошими уходящими группами, т. е.

[Существует обратное соотношение между основностью частицы и ее способностью быть уходящей группой.]

основность растёт:



F^- , Cl^- , Br^- , I^-



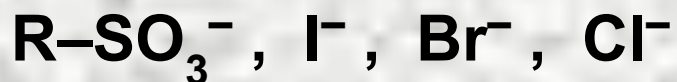
способность быть уходящей группой растёт:

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

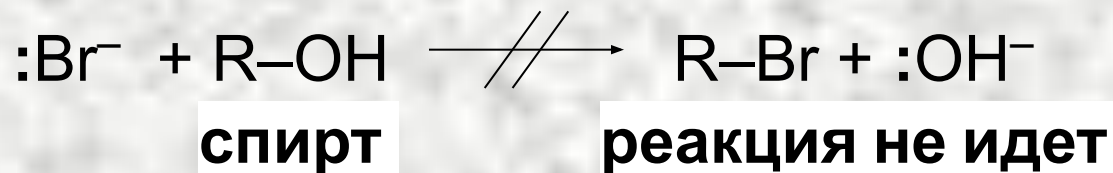
плохие уходящие группы (сильные основания):



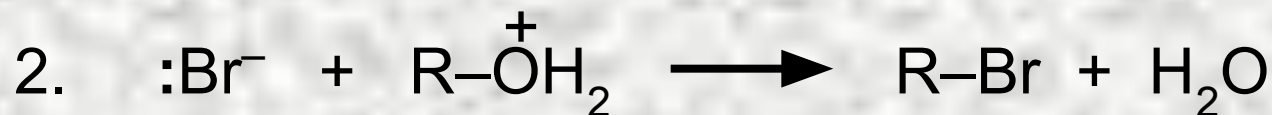
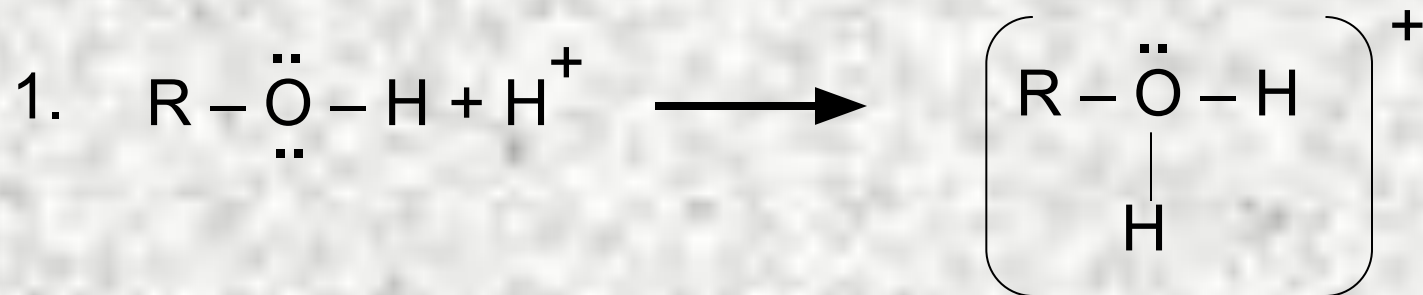
хорошие уходящие группы (слабые основания):



ион $:\text{OH}^-$ – более сильное основание, чем $\text{H}_2\text{O}:$ и является худшей уходящей группой, чем вода:



ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ



замещение идет хорошо

Протонные растворители – растворители типа воды H_2O и спиртов $\text{R}-\text{OH}$; эти растворители содержат водород, связанный с кислородом (или другим сильно электроотрицательным элементом) и вследствие этого довольно кислый.

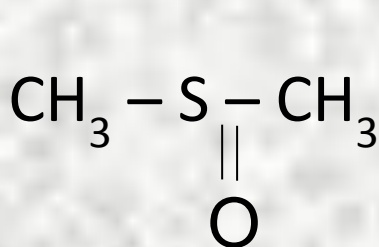
ПРИРОДА РАСТВОРИТЕЛЯ

Протонные растворители – растворители типа воды HON и спиртов $\text{R} - \text{OH}$; эти растворители содержат водород, связанный с кислородом (или другим сильно электроотрицательным элементом) и вследствие этого довольно кислый.

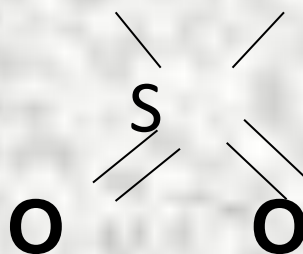
ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Образуя водородные связи с анионами такие растворители понижают их основность, а следовательно и нуклеофильность.

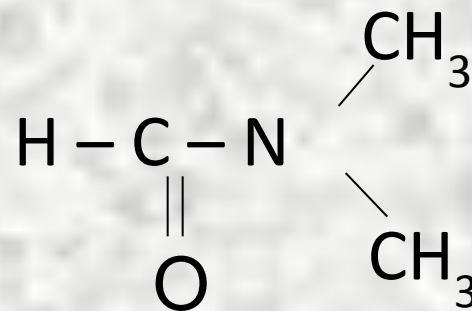
АПРОТОННЫЕ РАСТВОРИТЕЛИ:



диметил-
сульфоксид
(ДМСО)



сульфофан



N, N-диметил-
формаид (ДМФ)

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Апротонные растворители – полярные растворители с высокой диэлектрической проницаемостью, но не способны к образованию водородных связей.

Они составляют анионы относительно свободными и сильно реакционноспособными (высоко нуклеофильными).

Реакции отщепления:

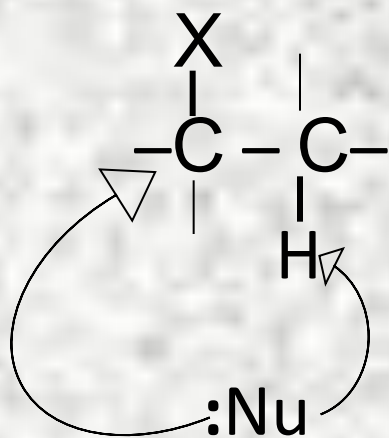
Реакции отщепления приводят к образованию алкенов. Эти реакции часто конкурируют с реакциями нуклеофильного замещения:



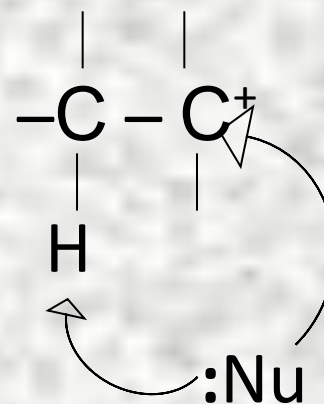
ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ

Реакциям отщепления способствует высокая t° и основность среды.

Конкуренция реакций замещения (S_N -реакций) и отщепления (E-реакций)



$S_N2, E2$



$S_N1, E1$

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ



Фреоны (CF_2Cl_2)– галогеналканы, фторсодержащие производные насыщенных углеводородов, используемые как хладагенты. Это бесцветные газы или жидкости, без характерного запаха, очень инертны, не горят в воздухе, взрывобезопасны.