



# Organická chemie pro biochemiky I-II

## část 13

Základní typy činidel a reakcí v organické chemii a jejich roztrídění,  
elektrofilů a nukleofilů,  
pohyb elektronů a částic při reakci,

reakce

polární a radikálové,  
adice, eliminace, substituce, kondenzace, přesmyk a solvolýza,

oxidace, redukce,

acidobazická katalýza,

přesmyky,

retrosyntetická analýza,

přeměna funkčních skupin,

~~štěpení a tvorba C-C vazeb,~~

~~vnesení heteroatomu,~~

synthon,

probereme si u konkrétních reakcí a sloučenin

pojem chránicí skupina, orthogonalita

Základní typy činidel a reakcí v organické chemii a jejich rozřídění,

základní pojmy

syntéza jedostupňová, vícestupňová

reakce byly v době, kdy nebylo mnoho známo o jejich chemické podstatě pojmenovávány podle jejich objevitelů, dnes je to systém „pro pamětníky“ který patří k dobrému tónu mezi chemiky mezi nejznámější reakce patří

Claisenova, reakce esterů karboxylových kyselin s alkoholáty

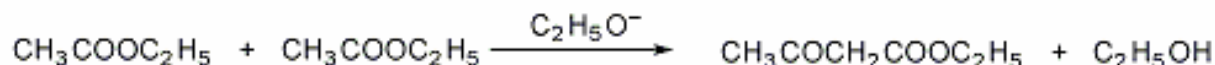
Grignardova, reakce organohorečnatých sloučenin s aldehydy a ketony

Friedelova Craftsova reakce, alkylace a acylace aromatických uhlovodíků

## 76. Claisen Condensation (Acetoacetic Ester Condensation)

L. Claisen, O. Lowman, *Ber.* **20**, 651 (1887).

Base-catalyzed condensation of an ester containing an  $\alpha$ -hydrogen atom with a molecule of the same ester or a different one to give  $\beta$ -keto esters:



C. R. Hauser, B. E. Hudson, *Org. React.* **1**, 266-322 (1942); H. O. House, *Modern Synthetic Reactions* (W. A. Benjamin, Menlo Park, California, 2nd ed., 1972) pp 734-746; J. F. Garst, *J. Chem. Ed.* **56**, 721 (1979); J. E. Bartmess *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **103**, 1338 (1981); B. R. Davis, P. J. Garratt, *Comp. Org. Syn.* **2**, 795-805 (1991). Cf. [Dieckmann Reaction](#).

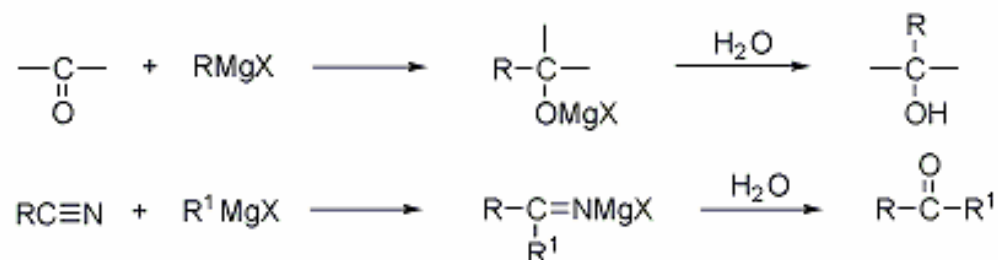
---

Copyright © 2001 by Merck & Co., Inc., Whitehouse Station, NJ, USA. All rights reserved.

## 164. Grignard Reaction

V. Grignard, *Compt. Rend.* **130**, 1322 (1900).

Traditionally, it is the addition of organomagnesium compounds (Grignard reagents) to carbonyl compounds to generate alcohols. A more modern interpretation extends the scope of the reaction to include the addition of Grignard reagents to a wide variety of electrophilic substrates:



Early review: D. A. Shirley, *Org. React.* **8**, 28-58 (1954). Preparation of Grignard reagents: Y. H. Lai, *Synthesis* **1981**, 585-604. Mechanistic study: K. Maruyama, T. Katagiri, *J. Phys. Org. Chem.* **2**, 205 (1989). Review of stereoselective addition of carbonyl compounds: D. M. Huryn, *Comp. Org. Syn.* **1**, 49-75 (1991). General review: G. S. Silverman, P. E. Rakita in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* vol. **12** (Wiley-Interscience, New York, 4th ed., 1994) pp 768-786. Cf. [Barbier\(-type\) Reaction](#).

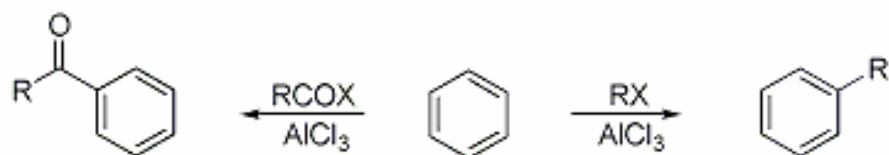
---

Copyright © 2001 by Merck & Co., Inc., Whitehouse Station, NJ, USA. All rights reserved.

## 147. Friedel-Crafts Reaction






C. Friedel, J. M. Crafts, *Compt. Rend.* **84**, 1392, 1450 (1877).

The alkylation or acylation of aromatic compounds catalyzed by aluminum chloride or other Lewis acids:



$\text{RCOX}$  = acyl halides, anhydrides  
 $\text{RX}$  = alkyl halides, alkenes, alkynes, alcohols

*Reviews:* C. C. Price, *Org. React.* **3**, 1 (1946); G. A. Olah, *Friedel-Crafts and Related Reactions*, vol. 1-4 (Interscience, New York, 1963-1965); J. K. Groves, *Chem. Soc. Rev.* **1**, 73 (1972); H. Heaney, *Comp. Org. Syn.* **2**, 733-752, 753-768 (1991); **3**, 293-339. Aliphatic version: S. C. Eyley, *ibid.* **2**, 707-731. Intramolecular reactions: H.-J. Knölker, *Angew. Chem. Int. Ed.* **38**, 2583 (1999); M.-C. P. Yeh *et al.*, *J. Organometal. Chem.* **599**, 128 (2000); C.-L. Kao *et al.*, *Tetrahedron Letters* **41**, 2207 (2000). Modified conditions: U. Bierman, J. O. Metzger, *Angew. Chem. Int. Ed.* **38**, 3675 (1999). Cf. [Darzens-Nenitzescu Synthesis of Ketones](#); [Haworth Phenanthrene Synthesis](#); [Nencki Reaction](#).

-  Aldol Reaction (Condensation)
-  Algar-Flynn-Oyamada Reaction
-  Allan-Robinson Reaction
-  Allylic Rearrangements
-  Aluminum Alkoxide Reduction
-  Aluminum Alkoxide Reduction (see Meerwein-Ponndorf-Verley Reduction)
-  Amadori Rearrangement
-  Amidine and Ortho Ester Synthesis
-  Aniline Rearrangement
-  Arbuzov (see Michaelis-Arbuzov Reaction)
-  Arens-van Dorp Synthesis
-  Arndt-Eistert Synthesis
-  Auwers Synthesis
-  Babayan (see Favorskii-Babayan Synthesis)
-  Bachmann (see Gomberg-Bachmann Reaction)
-  Bäcklund (see Ramberg-Bäcklund Reaction)
-  Baeyer-Drewson Indigo Synthesis
-  Baeyer-Villiger Reaction
-  Baker-Venkataraman Rearrangement
-  Bakshi (see Corey-Bakshi-Shibata Reduction)
-  Balz-Schiemann Reaction
-  Bamberger Rearrangement
-  Bamford-Stevens Reaction
-  Barbier(-type) Reaction
-  Barbier-Wieland Degradation
-  Bart Reaction
-  Barton Decarboxylation
-  Barton Deoxygenation
-  Barton Olefin Synthesis
-  Barton Reaction
-  Barton-Kellogg Reaction
-  Barton-McCombie Reaction
-  Barton-Zard Reaction

Merck Index  
katalogizuje 450  
reakcí podle jmen autorů



Při chemické reakci reagují reaktanty na produkt

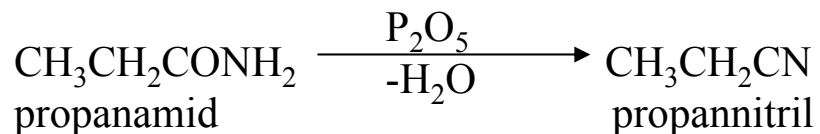
**reaktant + reaktant**  $\longrightarrow$  **produkt**

substrát je obvykle látka podléhající reakci (tj. sloučenina na níž hodláme uskutečnit změnu o níž nám (nebo přírodě) jde

činidlo je sloučenina (často jednodušší) reagující se substrátem může jím být kyselina báze oxidační či redukční činidlo aj.

každá reakce probíhá za určitých (je žádoucí za známých a popsanych) reakčních podmínek a má určitý výtěžek

reakce je pak znázorněna reakčním schématem



u schémat nepíšeme rovnítko ale šipku;  
je-li reakce rovnovážná píšeme šipky dvě; u šipek uvádíme činidla a vedlejší produkty



pokud reakce probíhají za sebou



je jedna z nich rychlejší a druhá pomalejší, tudíž rychlost reakce rychlejší není vůbec podstatná a celkovou rychlost určuje ta pomalejší říká se o ní reakční stupeň (pořadí) **určující rychlost**

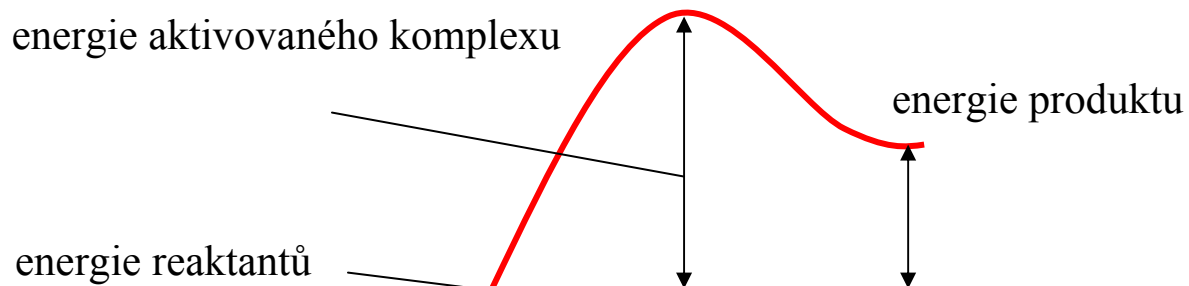
reakční rychlosti závisejí na teplotě

empiricky platí, že zvýšení teploty o 10 °C zvýší rychlost reakce na dvojnásobek a naopak

to souvisí s pojmem aktivační energie

což je energie, kterou musí částice překonat aby spolu mohly interagovat (říká se jí také někdy Arrheniova bariera)

aby papír shořel, musíme jej zahřát na „451 °F“



pokud probíhá reakce, při které se tvoří dva různé produkty pak se rychleji tvoří ten, jehož reakce má nižší aktivační energii

proces se nazývá **reakce řízená kineticky**

pokud nemůže žádná látka z reakčního prostředí uniknout probíhá reakce velmi často směrem tam i zpět (zvratně)

nicméně, se po určité době ustaví rovnováha jejíž „pozice“ odpovídá poměru reakčních rychlostí tam a zpět

uniká-li pak některá z komponent posouvá se reakční rovnováha tak, aby byla tato komponenta doplněna

pokud při zvratné reakci může vzniknout více produktů pak převažujícím výsledným produktem není produkt vznikající nejrychleji ale produkt, který je termodynamicky nejstálejší

proces se nazývá **reakce řízená termodynamicky**

katalyzátory (homogenní i heterogenní) snižují aktivační energii

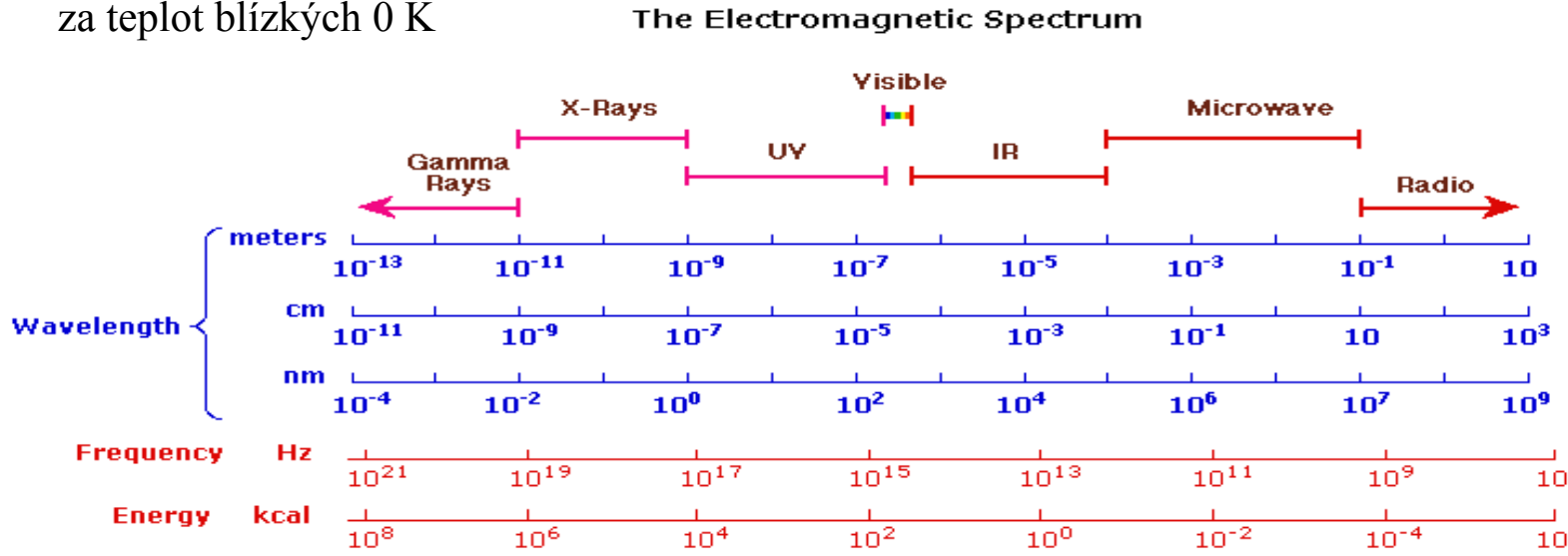
reakce spočívá v tom, že se některé vazby přeruší a jiné vzniknou

k tomu je obvykle potřeba vložit určitou energii, což můžeme učinit

vzájemnými srážkami částic (čím dodáme více tepla tím je jich více a jsou intenzivnější) - reakce termické

předáním energie z fotonu elektromagnetického záření částici (částicím) - reakce fotochemické

protože ale energie odpovídající možnému ovlivnění štěpení či aktivace vazby je na rozhraní mezi fotony infračerveného a viditelného záření je takové dělení spíše bez velmi ostré hranice rozdíl je např. v tom, že fotochemické reakce mohou probíhat za teplot blízkých 0 K



reakce je ovlivněna i tím jaká je celková energetická bilance procesu

štěpení vazeb absorbuje energii (teplo) tzv. disociační energii

tvorba vazeb energii uvolňuje (teplo)

celková bilance těchto pochodů dává enthalpický člen reakční energetické rovnice  $\Delta H$  (s tím souvisí i to, zda je reakce endothermní či exothermní)

entropický člen souvisí s uspořádaností systému,

neuspořádanost klesá  $\Delta S$  je negativní

neuspořádanost roste  $\Delta S$  je pozitivní

$$\Delta H + \Delta S = \Delta G$$

suma entropie a enthalpie je Gibbsova volná energie,

je-li  $\Delta G$  negativní reakce proběhne spontánně a má příznivou rovnovážnou konstantu a naopak

chemická (kovalentní) vazba při termické aktivaci

každý atom vázaný původně kovalentní vazbou si ponechá po aktivaci jeden elektron - homolýza (*homos* stejný, *lysis* odloučení)



protože vznikají částice s nepárovým elektronem tzv. radikály hovoříme o reakcích radikálových

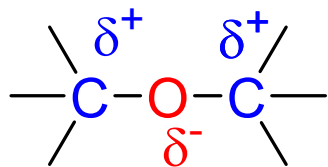
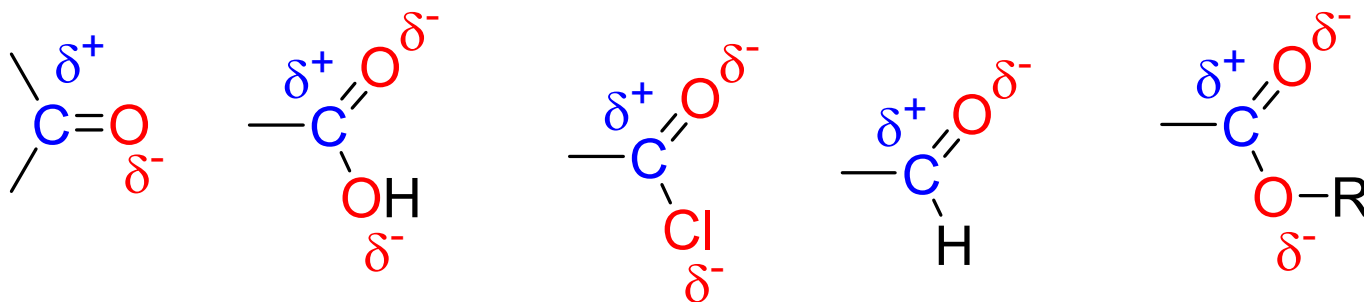
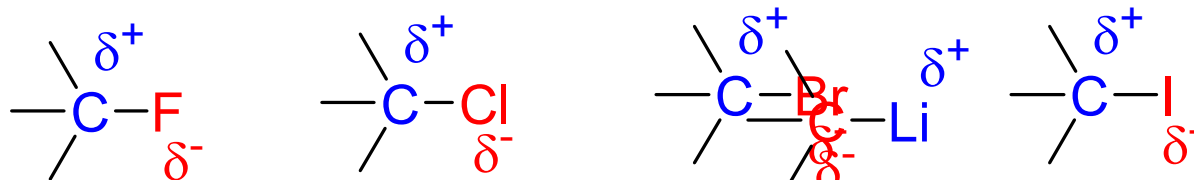
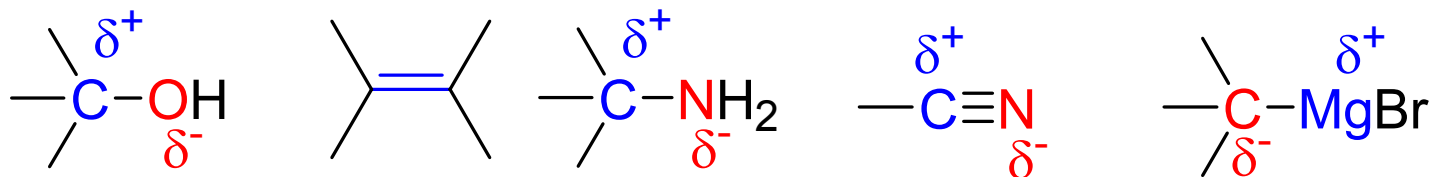
homolýzu vyvolá velké zahřátí případně i ozáření UV zářením či atak radikálu

každý atom vázaný původně kovalentní vazbou lišící se od sebe elektronegativitou se oddělí tak, že po aktivaci elektronegativnější atom odloučí OBA elektrony jež byly původně sdíleny a nabije se tak záporně; druhý takto o elektron ochuzený se nabije kladně - heterolýza (*heteros* jiný-rozdílný, *lysis* odloučení)



protože při reakci vznikají ionty hovoříme o reakcích iontových  
heterolýzu obvykle vyvolá zahřátí či atak polární substance

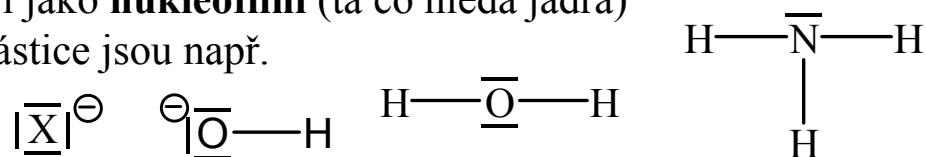
chemická (kvalentní) vazba může být již sama o sobě „polarizována“



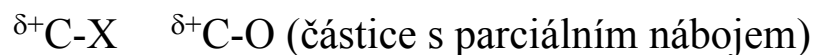
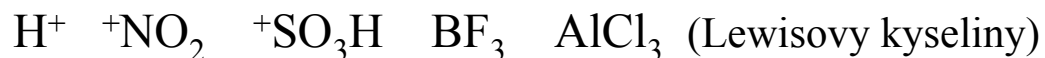
iontové (polární) reakce probíhají většinou mezi částicemi s různými náboji (úplnými či částečnými) tj. mezi ionty či polarizovanými molekulami

pokud reagující částice má (a může poskytnout) jeden či více nevázaných (volných) elektronů či elektronových párů pro vytvoření nové kovalentní vazby označujeme ji jako **nukleofilní** (ta co hledá jádra)

nukleofilní částice jsou např.



pokud je reagující částice schopna přijmout takové elektrony od částice nukleofilní je nazývána **elektrofilní** (ta co hledá elektrony) jsou to např.



termické reakce se zpravidla provádějí v roztocích, tj. po rozpuštění komponent ve vhodném rozpouštědle, které samo s reaktanty nereaguje

rozpouštědla dělíme na

organická a anorganická  
podle složení

polární a nepochární  
podle relativní permitivity (dielektrické konstanty)  $\epsilon$

protická a aprotická  
podle toho zda mohou uvolňovat proton či nikoliv

reakce se může uskutečnit i ve směsi (směs pevných látek, směs nemísitelných látek kapalných, směs pevné látky a plynu, aerosol aj.)  
v takovém případě je nutno často zvětšit relativní povrch částic na jednotku hmoty (jemné částice) směs třepat či míchat aby se usnadnily srážky mezi částicemi

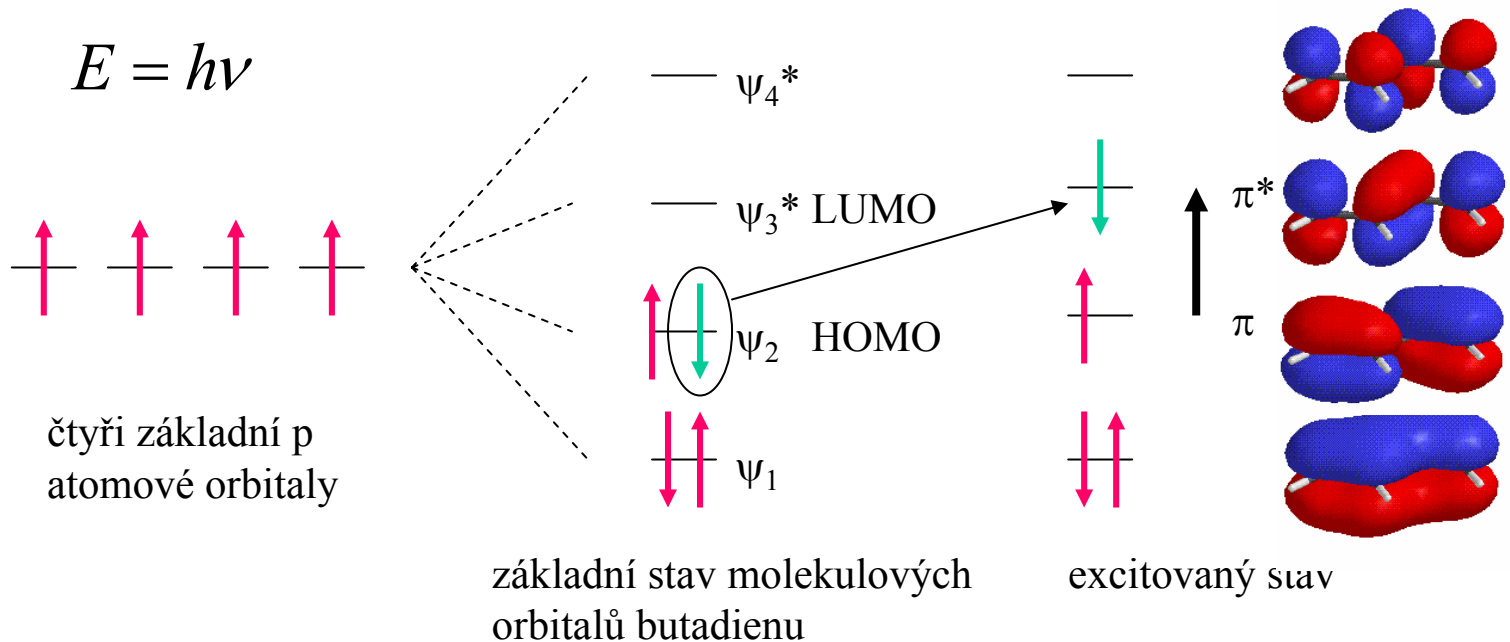


fotochemické (radikálové) reakce

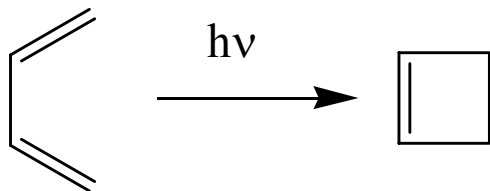
jsou aktivovány přijetím kvanta energie (záření), které může ovlivnit stav a strukturu vazebných elektronů

takovým zářením je např. záření UV světla, které odpovídá svojí energií přechodu elektronu z jedné energetické vrstvy do druhé

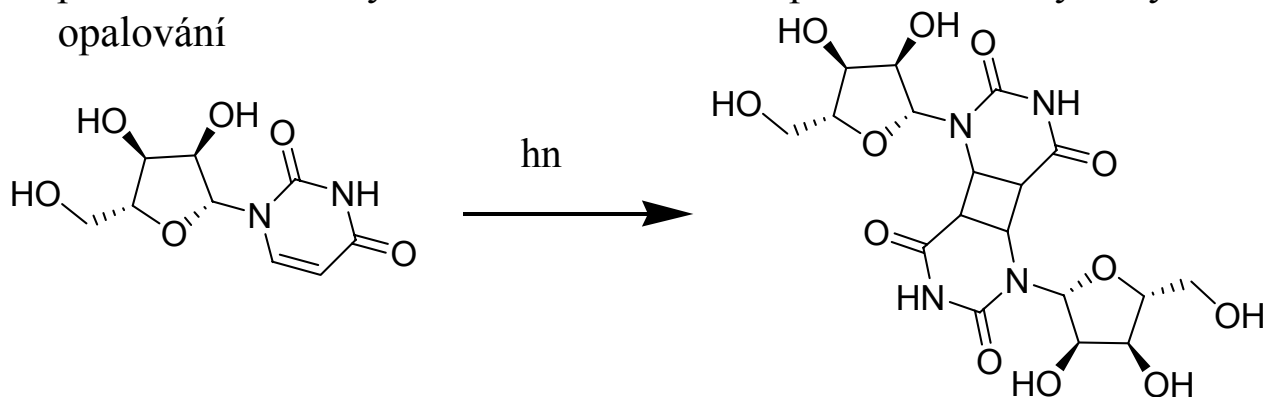
podívejme se, jak taková excitace proběhne např. u butadienu



příkladem fotochemické reakce je například  
přeměna butadienu v cyklobuten



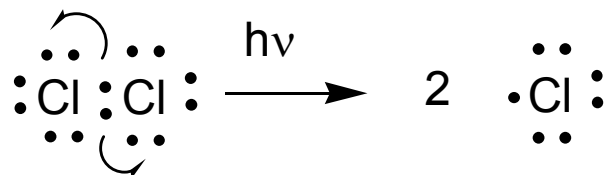
příkladem může být i nevratná změna komponent nukleových kyselin v kůži při  
opalování



příkladem je i fotosyntéza, vidění, ale i hnědnutí pokožky při opalování

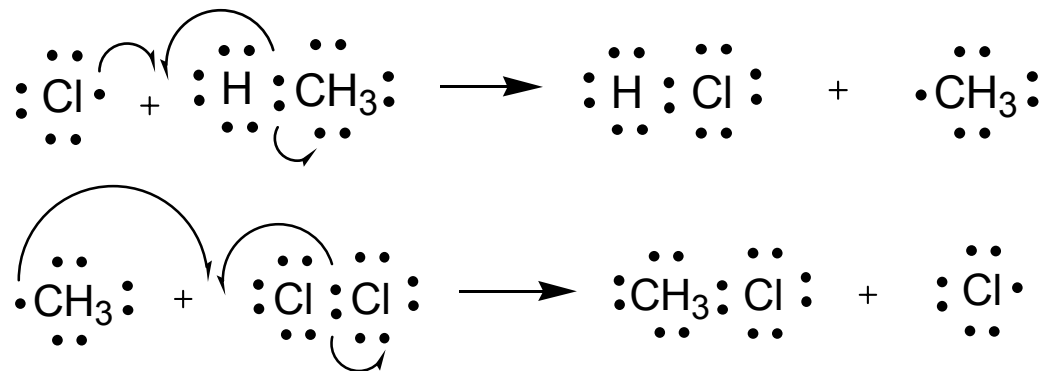
fotochemické či radikálové reakce probíhají nejčastěji v několika krocích

zahájení, iniciace



všimněte si, že se někdy kreslí pohyb jednoho elektronu v homolytické reakci šipkou s „polovičním hrotem“ tzv. „rybářským háčkem (fishhook)“

další krok je propagace, šíření reakce



tyto dva kroky se opakují a opakují

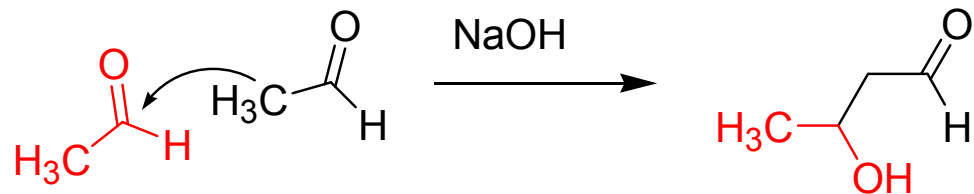
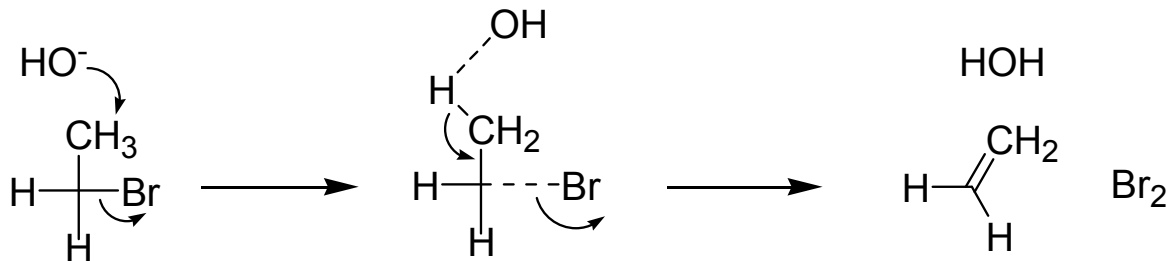
třetím krokem je pak ukončení, terminace  
dva volné radikály se setkají a utvoří molekulu



podobně tomu bude u všech druhů radikálů

pohyb elektronů a částic při reakci je často velmi instruktivní a my je znázorňujeme zakřivenými či „kudrnatými“ šipkami

takovými šipkami znázorňujeme nejenom přesun elektronů v molekule, pohyb elektronů ke vzniku nové vazby, přistoupení a odstoupení částic a třeba i atak určitého centra molekuly na daný atom substrátu (jímž obvykle vzniká či zaniká vazba)



adice, eliminace, substituce, kondenzace, přesmyk a solvolýza,

A + B	-->	A-B	adice
A	-->	B + C	eliminace
A-B + C	-->	A + B-C	substituce
A	-->	B	přesmyk
A + B	-->	C	kondenzace
(A	<u>rozpouštědlo</u> >	B	solvolýza)

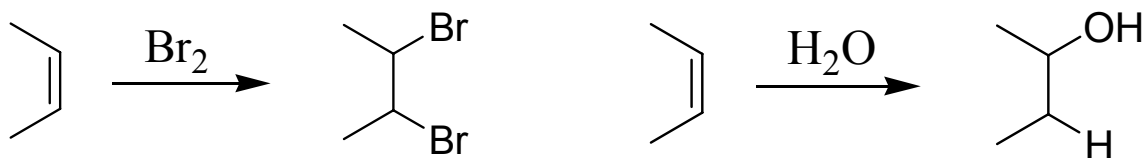
reakce můžeme dělit i podle jiných hledisek

snížení počtu $\pi$ a zvýšení počtu $\sigma$ vazeb	adice
zvýšení počtu $\pi$ a snížení počtu $\sigma$ vazeb	eliminace
bez výše popsaných změn	substituce

dělení je opět metodické, protože reakce probíhají v synergii či kaskádovitě anebo za sebou, či též konkurenčně

adice

čínidlo napadá dvojnou vazbu, při reakci dojde k zániku vazby  $\pi$  a z čínidla se obvykle vytvoří dvě části, která se každá připojí na jeden z konců vazby jejíž  $\pi$  složka byla zrušena



příkladem může být adice na dvojnou vazbu, kdy čínidlo je brom či voda

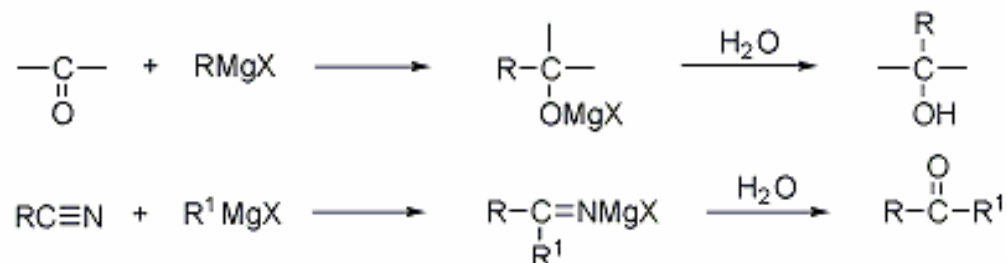
čínidla, která se adují rozlišujeme na elektrofilní  
 $\text{Hal}_2$ ,  $\text{HalH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  v přítomnosti kyseliny

jako nukleofilní adující se čínidla můžeme mít systémy bohaté na elektrony  
jako  $\text{OH}^-$

## 164. Grignard Reaction

V. Grignard, *Compt. Rend.* **130**, 1322 (1900).

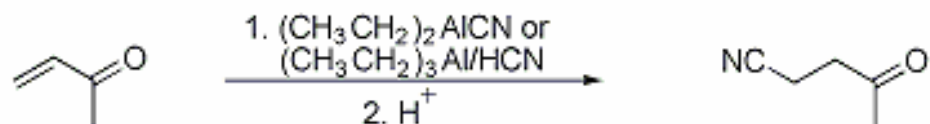
Traditionally, it is the **addition** of organomagnesium compounds (Grignard reagents) to carbonyl compounds to generate alcohols. A more modern interpretation extends the scope of the reaction to include the **addition** of Grignard reagents to a wide variety of electrophilic substrates:



## 268. Nagata Hydrocyanation

W. Nagata *et al.*, *Tetrahedron Letters* **1962**, 461.

Alkylaluminum-mediated 1,4-**addition** of hydrogen cyanide to  $\alpha,\beta$ -unsaturated carbonyl compounds:

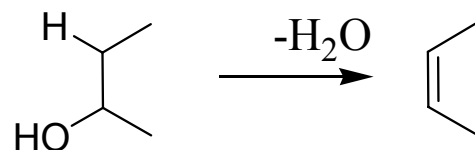




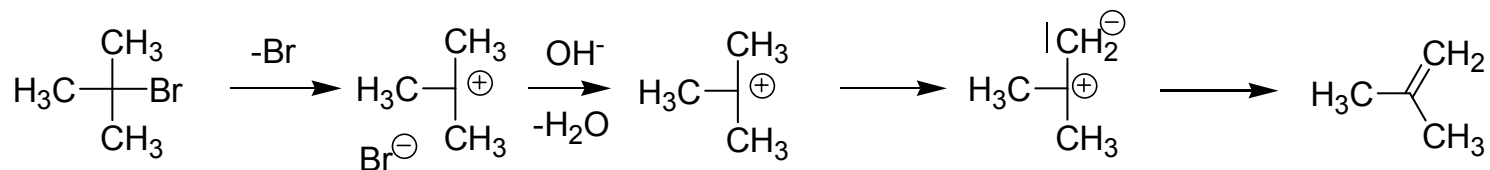
## eliminace

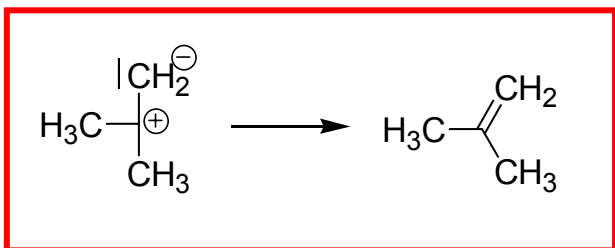
je proces opačný k adici, kdy se např. z nasyceného alkoholu stane odštěpením vody nenasycená sloučenina

při takové reakci zaniknou dvě  $\sigma$  vazby a jedna  $\pi$  vazba vznikne



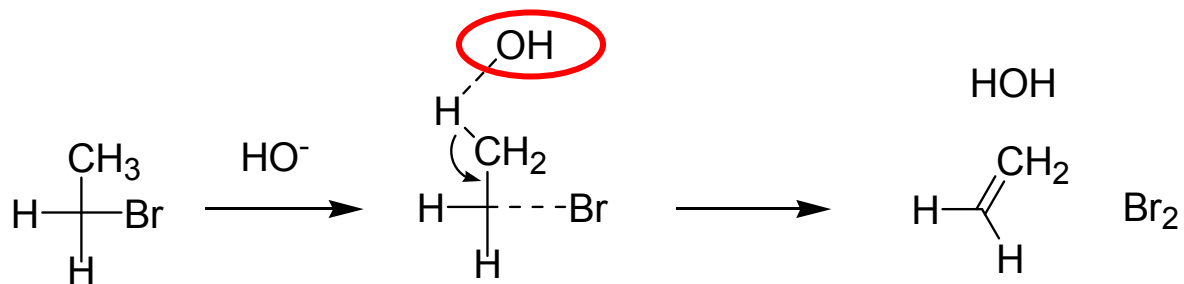
v případě eliminací rozlišujeme, zda eliminace proběhne jako odštěpení vedlejšího produktu z reagentu bez další reakce, nebo zda proběhne za účasti dalšího činidla





takovouto eliminaci na které se ve stadiu stabilizace vzniklého karbokationtu nezúčastní žádná další částice (činidlo) nazveme eliminaci mononukleární a označíme E1

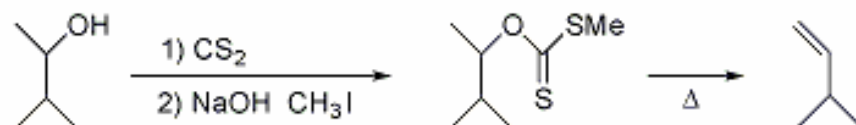
naopak, pokud se při eliminaci tvorby karbokationtu i jeho stabilizace zúčastní další látka (reaktant) nazveme ji bimolekulární a označíme E2



## 74. Chugaev Reaction (Tschugaeff Olefin Synthesis)

L. Chugaev (Tschugaeff), *Ber.* **32**, 3332 (1899).

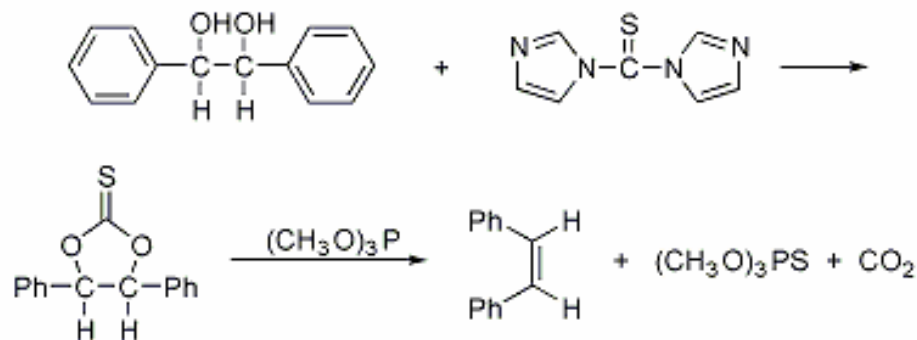
Formation of olefins from alcohols without rearrangement through pyrolysis of the corresponding xanthates *via cis-elimination*:



## 86. Corey-Winter Olefin Synthesis

E. J. Corey, R. A. E. Winter, *J. Am. Chem. Soc.* **85**, 2677 (1963).

Synthesis of olefins from 1,2-diols and thiocarbonyldiimidazole. Treatment of the intermediate cyclic thionocarbonate with trimethylphosphite yields the olefin by *cis-elimination*:

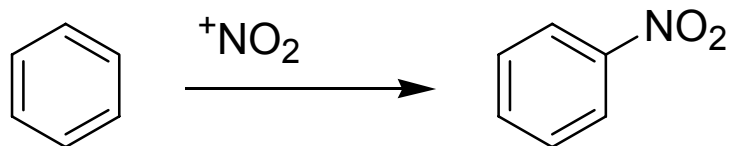


substituce

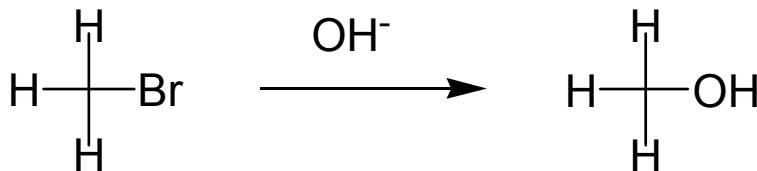
jak již název napovídá jde o záměnu jedné skupiny skupinou jinou

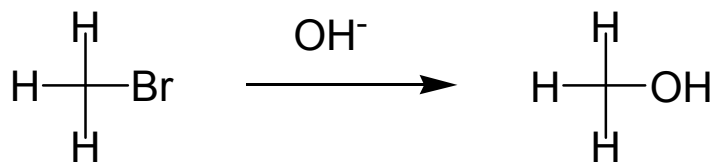
činitel, které k naší látce přistupuje může být elektrofil nebo nukleofil

elektrofilní činidlo můžeme mít např.  $^+\text{NO}_2$  nitroniový kation, který dokáže vodík na benzenu zaměnit za nitroskupinu (takový iont vzniká ve směsi kys. sírové a dusičné)



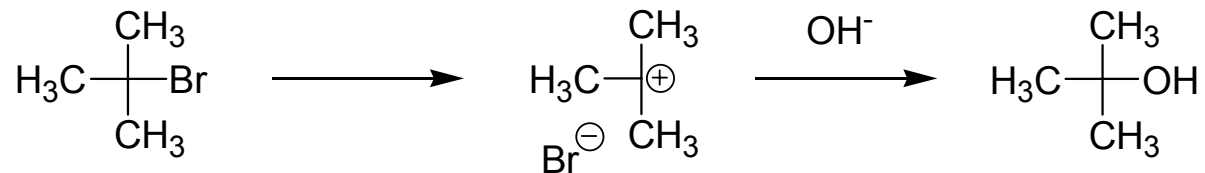
nukleofilem pak může být např.  $\text{OH}^-$ , který vymění brom v metylbromidu za hydroxylovou skupinu



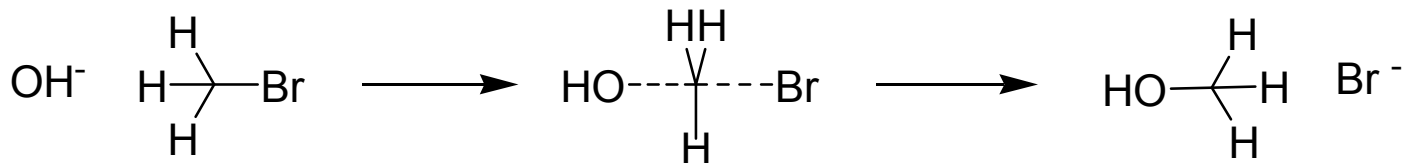


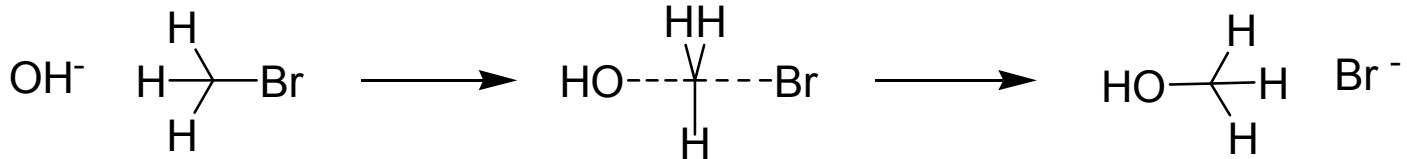
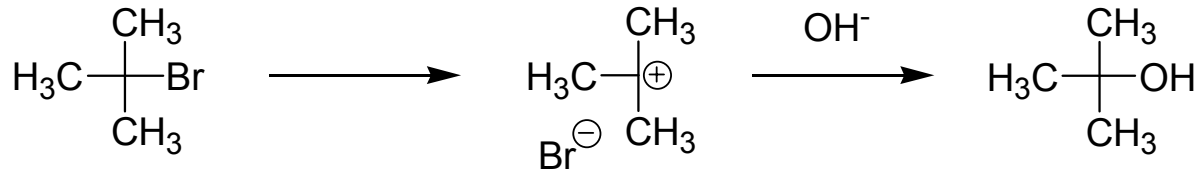
při zkoumání takové reakce bylo ale zjištěno, že rychlost reakce závisí na koncentraci  $\text{OH}^-$  iontů

naopak při podobné reakci *terc.*-butylbromidu rychlost substituce na této koncentraci nezávisí, reakce probíhá tak, že se nejprve pomalu odštěpí brom



podobný mechanismus pro ethylbromid je možno napsat

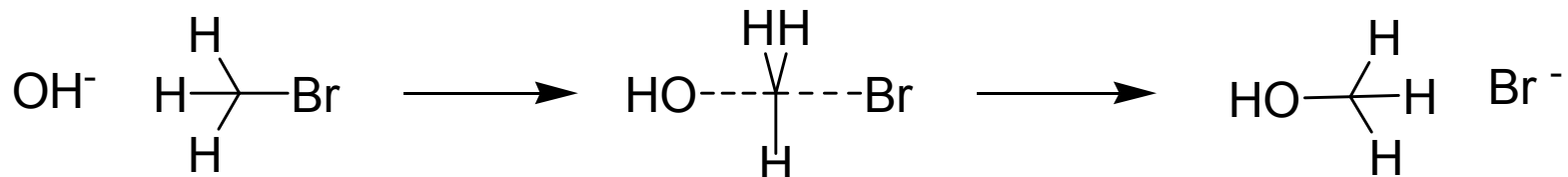




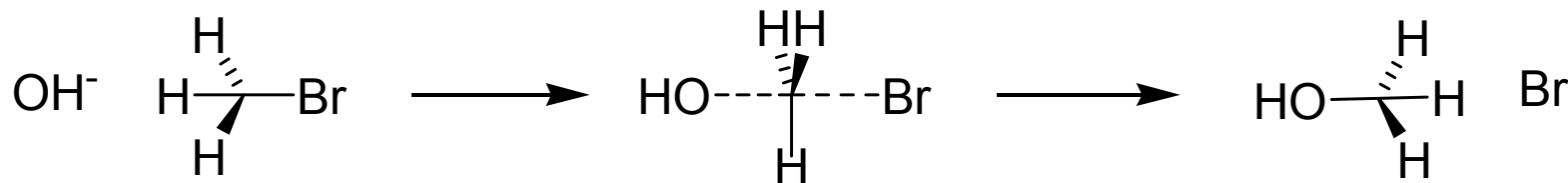
obě reakce, podle druhu činidla, nazveme nukleofilní substituce, přičemž tu prvou ve které se sloučenina nejprve rozpadne na karbokation a ten reaguje dále s hydroxidovým iontem označíme jako substituci nukleofilní monomolekulární a

tu druhou ve které vzniká spojením dvou částic meziprodukt říkáme substituci nukleofilní bimolekulární

značíme je  $S_N1$  a  $S_N2$



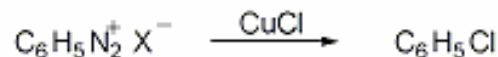
Pro substituci  $S_N2$  je typický tzv. Waldenův zvrát, jde o to, že když si schema  $S_N2$  ukážeme v prostorovém provedení je jasné, že při něm dochází ke změně chiralilty asi tak jako se ve větru překlopí deštník



### 355. Sandmeyer Reaction; Gattermann Reaction; Körner-Contardi Reaction

T. Sandmeyer, *Ber.* **17**, 1633, 2650 (1884); L. Gattermann, *Ber.* **23**, 1218 (1890); G. Körner, A. Contardi, *Atti Accad. nazl. Lincei* **23** II, 464 (1914), *C.A.* **9**, 1478 (1915).

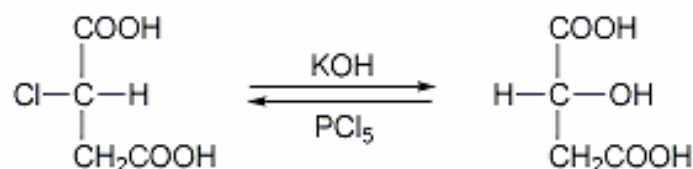
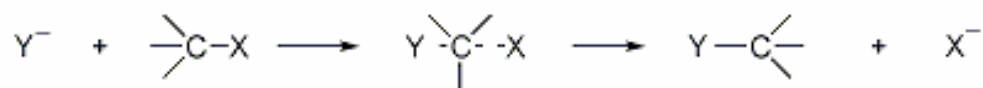
**Substitution** of diazonium groups in aromatic compounds by halo or cyano groups in the presence of cuprous salts (Sandmeyer reaction), copper powder and hydrochloric or hydrobromic acid (Gattermann reaction) or cupric salts (Körner-Contardi reaction):



### 418. Walden Inversion

P. Walden, *Ber.* **28**, 1287, 2766 (1895).

Inversion of configuration of a chiral center in bimolecular nucleophilic **substitution** (S<sub>N</sub>2) reaction

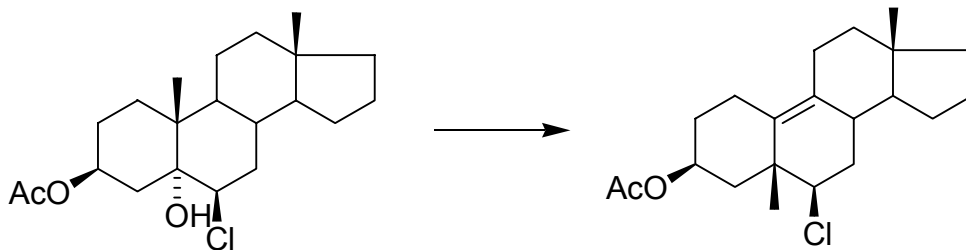




## přesmyk

je reakce, při které se jedna molekula přemění na jinou, obvykle pouze jakoby se změnil způsob zřetězení uhlíků

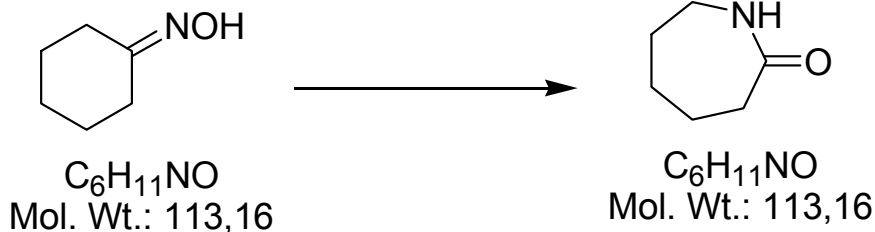
někdy se přesmyku účastní i činidlo či odcházející částice



Westphalenův přesmyk na stereoidech

(vlastně přesmyk methyly spojený s eliminací vody)

klasický je přesmyk cyklohexannonoximu (Beckmannův přesmyk) v kyselém prostředí na  $\epsilon$ -kaprolaktam



## 77. Claisen Rearrangement; Eschenmoser-Claisen Rearrangement; Johnson-Claisen Rearrangement; Ireland-Claisen Rearrangement

L. Claisen, *Ber.* **45**, 3157 (1912); L. Claisen, E. Tietze, *ibid.* **58**, 275 (1925); **59**, 2344 (1926).

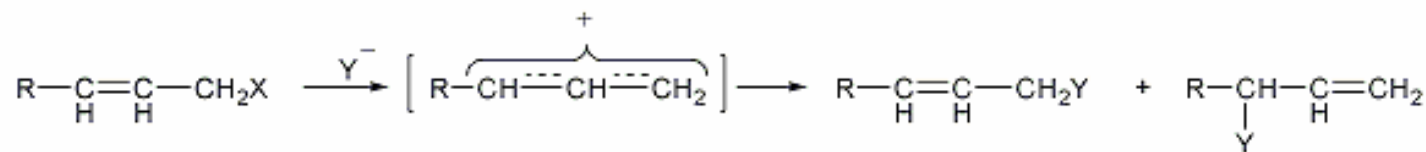
Highly stereoselective [3,3]-sigmatropic rearrangement of allyl vinyl or allyl aryl ethers to yield  $\gamma,\delta$ -unsaturated carbonyl compounds or *o*-allyl substituted phenols, respectively.



## 7. Allylic Rearrangements

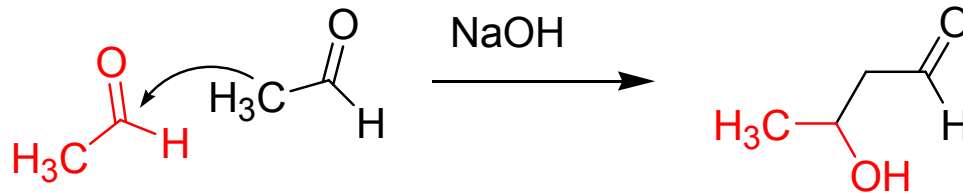
L. Claisen, *Ber.* **45**, 3157 (1912).

Migration of a carbon-carbon double bond in a three carbon (allylic) system on treatment with nucleophiles under  $S_N1$  conditions (or under  $S_N2$  conditions when the nucleophilic attack takes place at the  $\gamma$ -carbon):



kondenzace

je spojení dvou molekul (stejných či jiných), které může být provázeno odštěpením menší molekuly (jako např. voda či alkohol)

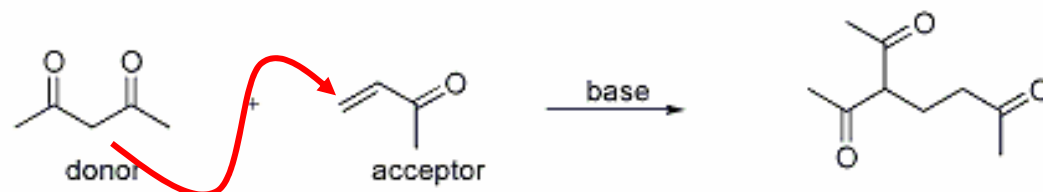


spojení dvou acetaldehydů představuje typ aldolové kondenzace

## 258. Michael Reaction (Addition, **Condensation**)

A. Michael, *J. Prakt. Chem.* [2] **35**, 349 (1887).

Base-promoted conjugate addition of carbon nucleophiles (donors) to activated unsaturated systems (acceptors):



donor = malonates, cyanoacetates, acetoacetates, carboxylic esters, ketones, aldehydes, nitriles, nitro compounds, sulfones

acceptor =  $\alpha,\beta$ -unsaturated ketones, esters, aldehydes, amides, carboxylic acids, nitriles, sulfoxides, sulfones, nitro compounds, phosphonates, phosphoranes

base =  $\text{NaOCH}_2\text{CH}_3$ ,  $\text{NH}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_2$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{KOC}(\text{CH}_3)_3$ ,  $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3$ ,  $\text{NaH}$ ,  $\text{BuLi}$ ,  $\text{LDA}$

## 330. Reformatsky (Reformatskii) Reaction

S. Reformatskii, *Ber.* **20**, 1210 (1887); *J. Russ. Phys. Chem. Soc.* **22**, 44 (1890).

**Condensation** of aldehydes or ketones with organozinc derivatives of  $\alpha$ -halo esters to yield  $\beta$ -hydroxy esters:

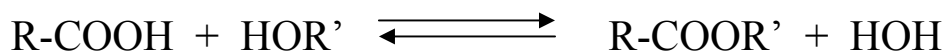


solvolýza

je obvykle reakce, kterou pozorujeme po rozpuštění (vzniku) nějaké látky v rozpouštědle s nímž, vzhledem ke své podstatě může reagovat

nejjednodušším příkladem je hydrolýza

příkladem může být hydrolýza esterů

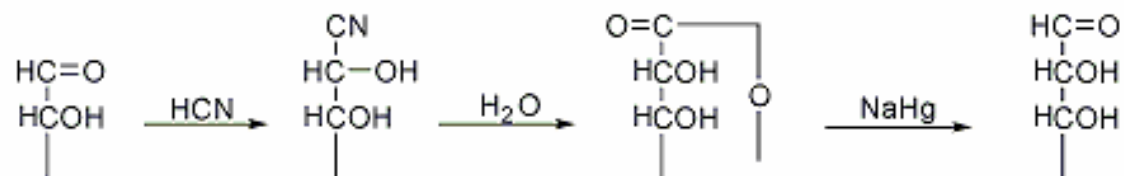


taková esterifikace alkoholů je vlastně „alkoholýza kyselin“ a naopak jde o hydrolýzu (zmýdelnění) esterů

## 211. Kiliani-Fischer Synthesis

H. Kiliani, *Ber.* **18**, 3066 (1885); E. Fischer, *ibid.* **22**, 2204 (1889).

Extension of the carbon atom chain of aldoses by treatment with cyanide. **Hydrolysis** of the cyanohydrins followed by reduction of the lactone yields the homologous aldose:



## 174. Harries Ozonide Reaction (Ozonolysis)

C. Harries, *Ann.* **343**, 311 (1905).

Treatment of olefins with ozone as a method of cleaving olefinic linkages. On **hydrolysis** or catalytic hydrogenation the initially formed ozonide yields two molecules of carbonyl compounds:

