



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Τμήμα Δειφορικής
Γεωργίας, Γεωπονική Σχολή

Αναλυτική & Οργανική Χημεία

5^η Ενότητα

Αλκυλαλογονίδια

Γαλάνη Απ. Αγγελική, Χημικός PhD
Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, (Ε.ΔΙ.Π.)

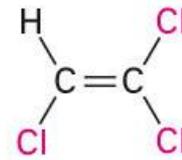
Οργανοαλογονίδια: Ενώσεις που περιέχουν ένα ή περισσότερα άτομα αλογόνου

- **Ευρέως διαδεδομένα στη φύση** (περισσότερα από 5000 σε φύκη και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς). Οι θαλάσσιοι οργανισμοί τα παράγουν ως αυτοάμυνα έναντι αρπακτικών ή ως φυσικά παρασιτοκτόνα. Το ανθρώπινο ανοσοποιητικό σύστημα παράγει αλογονωμένες ενώσεις για άμυνα έναντι μολύνσεων.
- **CH₃Cl**: Απελευθερώνεται από θαλάσσια φαιοφύκη, δασικές πυρκαγιές και ηφαίστεια.



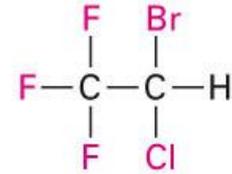
Χρησιμοποιούνται ευρέως ως:

- βιομηχανικοί διαλύτες,
- ιατρικά αναισθητικά (εισπνεόμενα),
- εντομοκτόνα,
- φάρμακα, (παράδειγμα το halomon που απομονώθηκε από φύκη και εμφανίζει αντικαρκινική δράση),
- πρόσθετα τροφίμων όπως το γλυκαντικό σουκραλόζη που περιέχει τρία άτομα χλωρίο.



Trichloroethylene
(a solvent)

© 2007 Thomson Higher Education



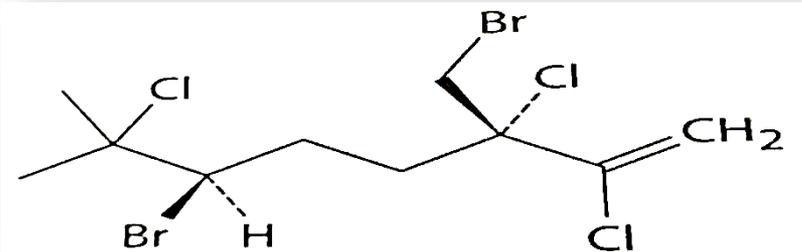
Halothane
(an inhaled anesthetic)



Dichlorodifluoromethane
(a refrigerant)



Bromomethane
(a fumigant)



Στα οργανοαλογονίδια, το αλογόνο, $X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$, μπορεί να συνδέεται με:

Αλκυνυλο ομάδα: $\text{C} \equiv \text{C}-\text{X}$

Βινυλομάδα: $\text{C} = \text{C}-\text{X}$

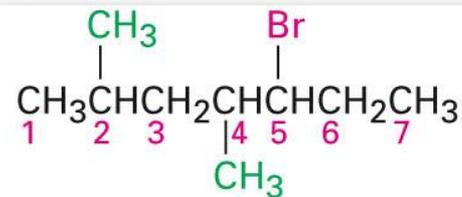
Αρωματικό δακτύλιο: $\text{Ar}-\text{X}$

Αλκυλομάδα: Αλκυλαλογονίδια, ενώσεις όπου το αλογόνο συνδέεται με sp^3 υβριδισμένο C

Αλκυλαλογονίδια με πολλά αλογόνα ονομάζονται πολυαλογονομένοι υδρογονάνθρακες. Τέτοιοι χλωροφθοροϊωμένοι υδρογονάνθρακες (π.χ. CHCl_2F , CHClF_2 , CCl_3F , CCl_2F_2 , CClF_3), είναι γνωστοί ως Freon. Χρησιμοποιούνταν ως ψυκτικά υγρά και προωθητικά αέρια σε spray. Η χρήση τους έχει απαγορευθεί, διότι συμβάλλουν στην καταστροφή του όζοντος της ατμόσφαιρας.

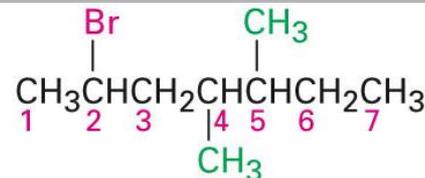
Ονοματολογία αλκυλαλογονιδίων

1. Βρίσκεται η μακρύτερη αλυσίδα και ονοματίζεται ως κύρια.
2. Αριθμούνται τα άτομα C της κύριας αλυσίδας, αρχίζοντας από εκείνο το άκρο που βρίσκεται πιο κοντά στον 1^ο υποκαταστάτη, είτε αυτός είναι αλκυλομάδα, είτε αλογόνο. Εάν υπάρχουν διαφορετικά αλογόνα, αριθμούνται ανάλογα με τη θέση τους στην ανθρακική αλυσίδα και παραθέτονται με λατινική αλφαβητική σειρά.
3. Εάν οι υποκαταστάτες ισαπέχουν από τα άκρα της κύριας ανθρακικής αλυσίδας, η αρίθμηση αρχίζει από το άκρο που είναι πιο κοντά σε αυτόν που προηγείται αλφαβητικά.

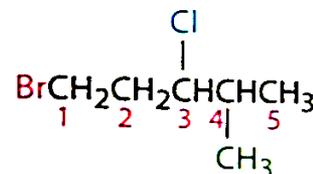


5-Bromo-2,4-dimethylheptane

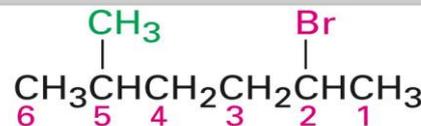
© 2007 Thomson Higher Education



2-Bromo-4,5-dimethylheptane



1-Βρωμο-3-χλωρο-4-μεθυλοπεντάνιο



2-Bromo-5-methylhexane
(NOT 5-bromo-2-methylhexane)

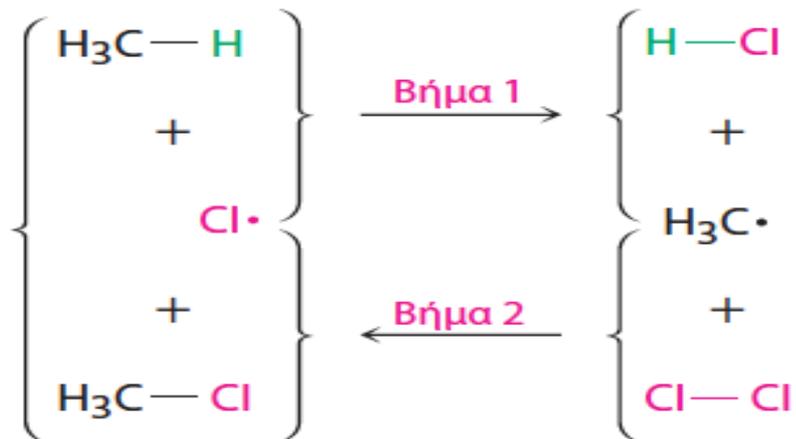
© 2007 Thomson Higher Education

Μηχανισμός ελευθέρων ριζών

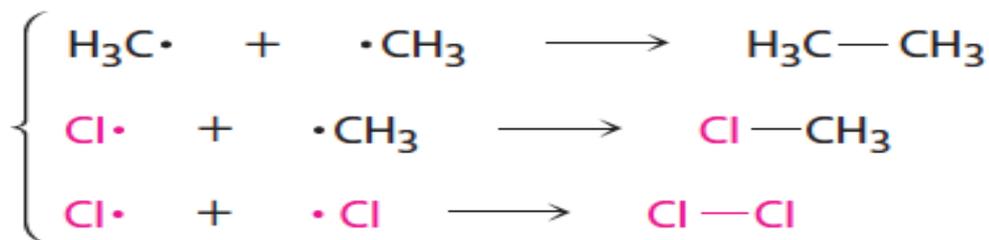
Στάδιο έναρξης



Στάδια διάδοσης
(επαναλαμβανόμενος
κύκλος)



Στάδια τερματισμού



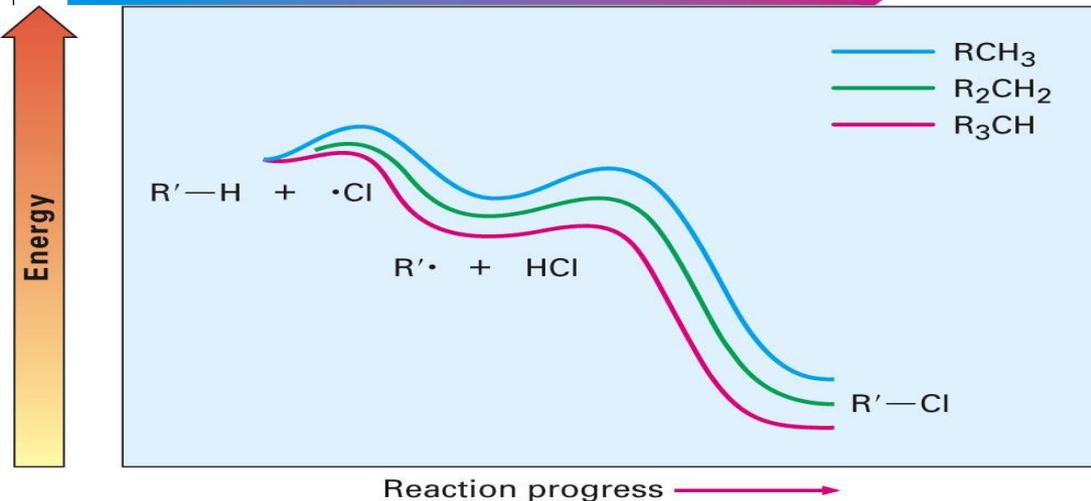
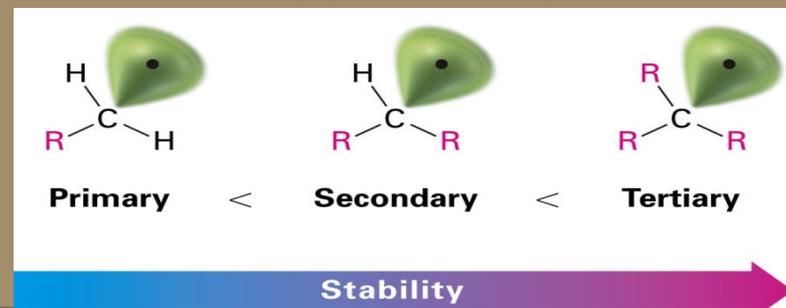
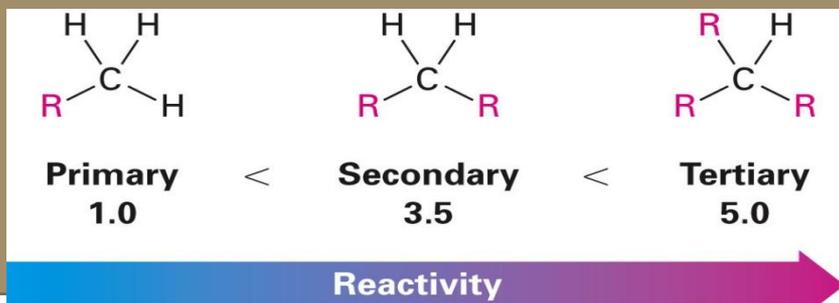
Συνολική αντίδραση



Οι 3^ο ταγείς δεσμοί C-H ασταθέστεροι των 2^ο ταγών και οι 2^ο ταγείς ασταθέστεροι των 1^ο ταγών δεσμών C-H

- Σχετική δραστηριότητα ως προς τη χλωρίωση: $R_3CH > R_2CH_2 > RCH_3$
5 : 3,5 : 1,0

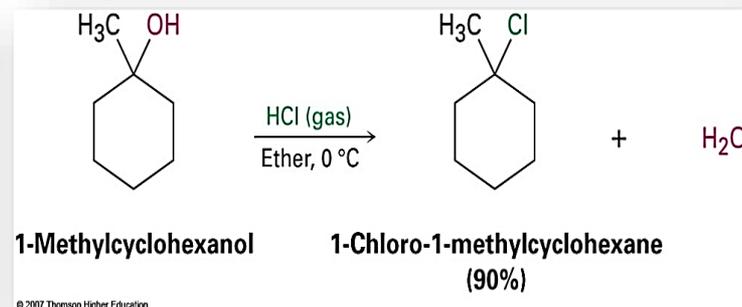
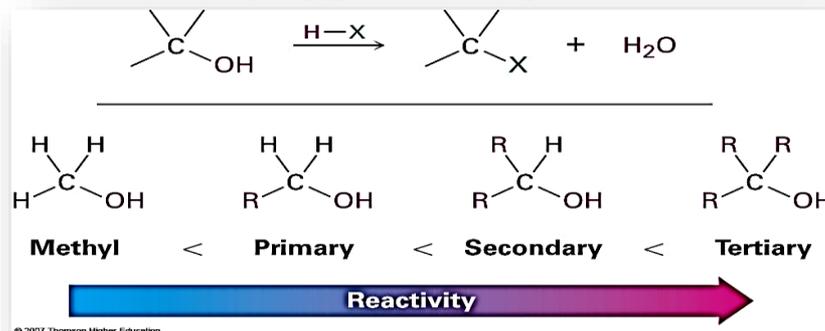
- Σχετική δραστηριότητα ως προς τη βρωμίωση: $R_3CH > R_2CH_2 > RCH_3$
1700 : 80 : 1,0



Οι 3^ο ταγείς ρίζες είναι σταθερότερες και σχηματίζονται ταχύτερα από τις ασταθέστερες. Άρα τα 3^ο ταγή H, απομακρύνονται ευκολότερα.

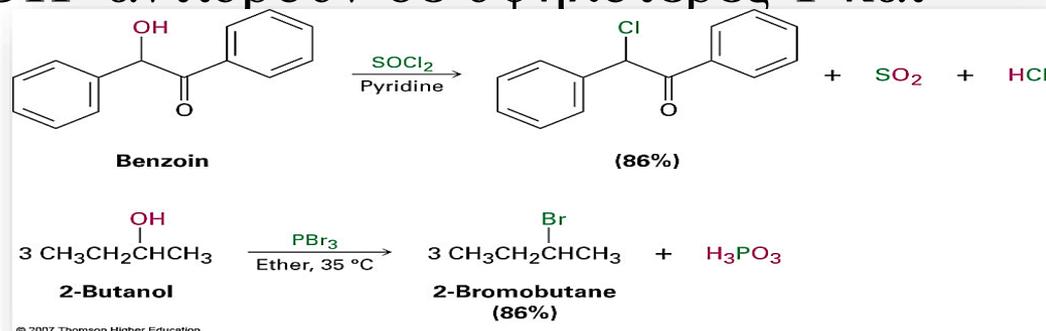
Παρασκευή αλκυλαλογονιδίων από αλκοόλες

- Η πιο γενική μέθοδος παρασκευής αλκυλαλογονιδίων. Κατεργασία αλκοόλης με HCl, HBr ή HI, η πιο απλή μέθοδος.
- Για τις R₃COH απαιτείται απλά διοχέτευση αέριου HCl ή HBr σε ψυχρό αιθερικό διάλυμά τους.



- Οι R₂CHOH και RCH₂OH αντιδρούν σε υψηλότερες T και με πιο μικρή ταχύτητα.

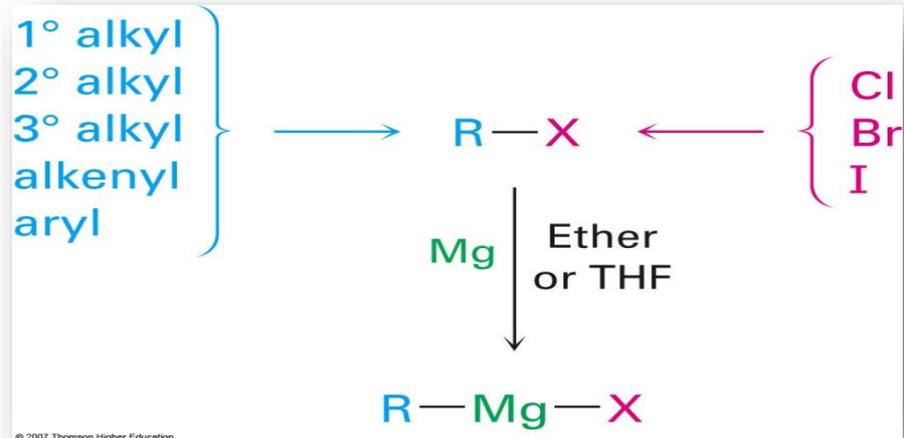
Κατεργασία με
θειονυλοχλωρίδιο
ή PBr₃



Αντιδράσεις αλκυλαλογονιδίων

Αντιδραστήρια Grignard

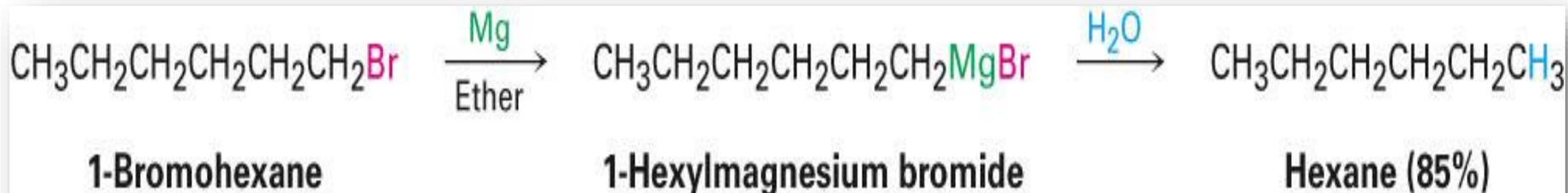
- Αντίδραση RX με μεταλλικό Mg σε αιθερικό διάλυμα THF.
- Προϊόν: Οργανομαγνησιακή ένωση, $RMgX$.
- Οι οργανομεταλλικές ενώσεις, περιέχουν δεσμό C-μετάλλου.



Ο δεσμός C-Mg, είναι πολωμένος, άρα το άτομο C στα αντιδραστήρια Grignard είναι πυρηνόφιλο και βασικό.

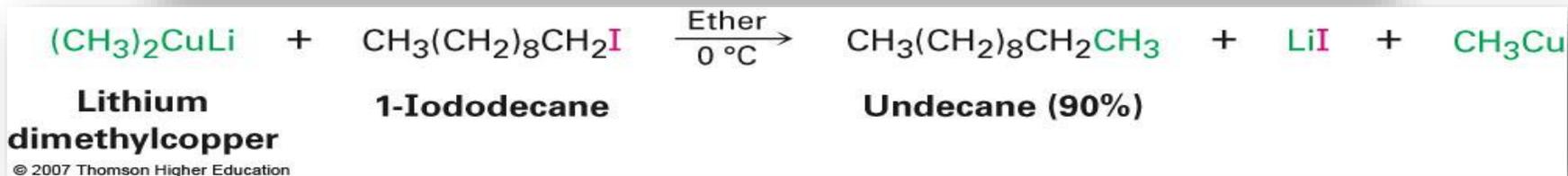
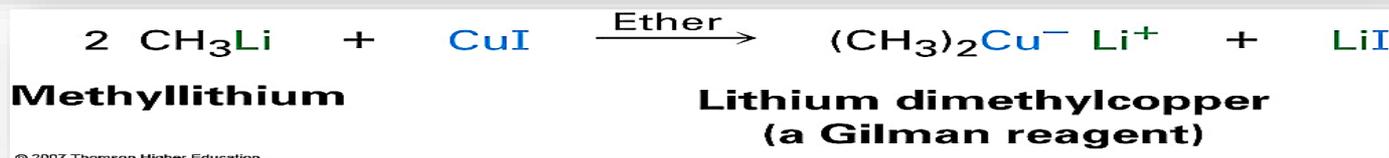
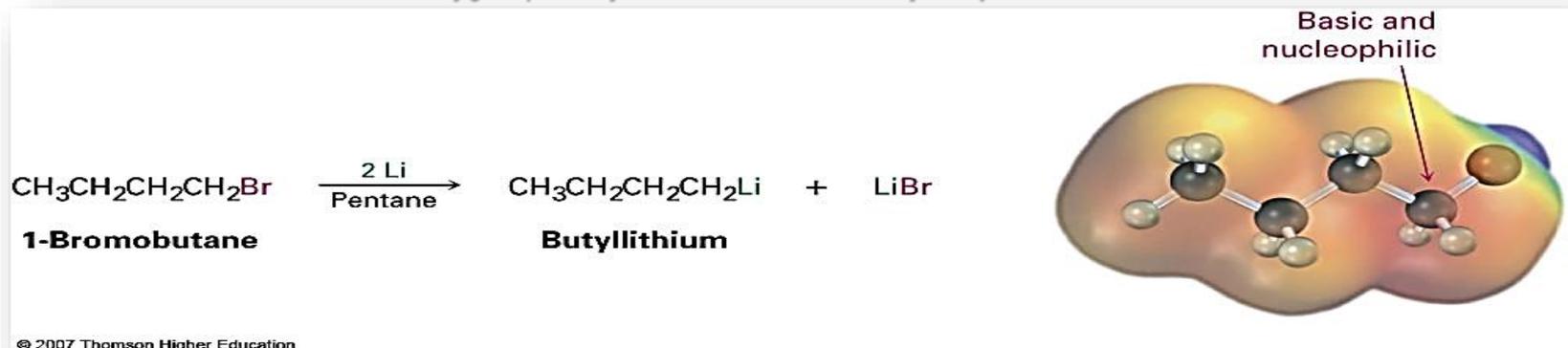
Αντιδραστήρια Grignard

- Ένα αντιδραστήριο Grignard τυπικά μπορεί να θεωρηθεί άλας με Mg, $R_3C^- +MgX$, το οποίο προέρχεται από το οξύ R_3C-H .
- Άρα είναι ανιόν του άνθρακα, δηλαδή καρβανιόν.
- Οι υδρογονάνθρακες είναι ασθενή οξέα, άρα τα καρβανιόντα ισχυρές βάσεις και συνεπώς τα αντιδραστήρια Grignard πρέπει να προστατεύονται από την υγρασία της ατμόσφαιρας ώστε να αποτρέπεται η καταστροφή τους.

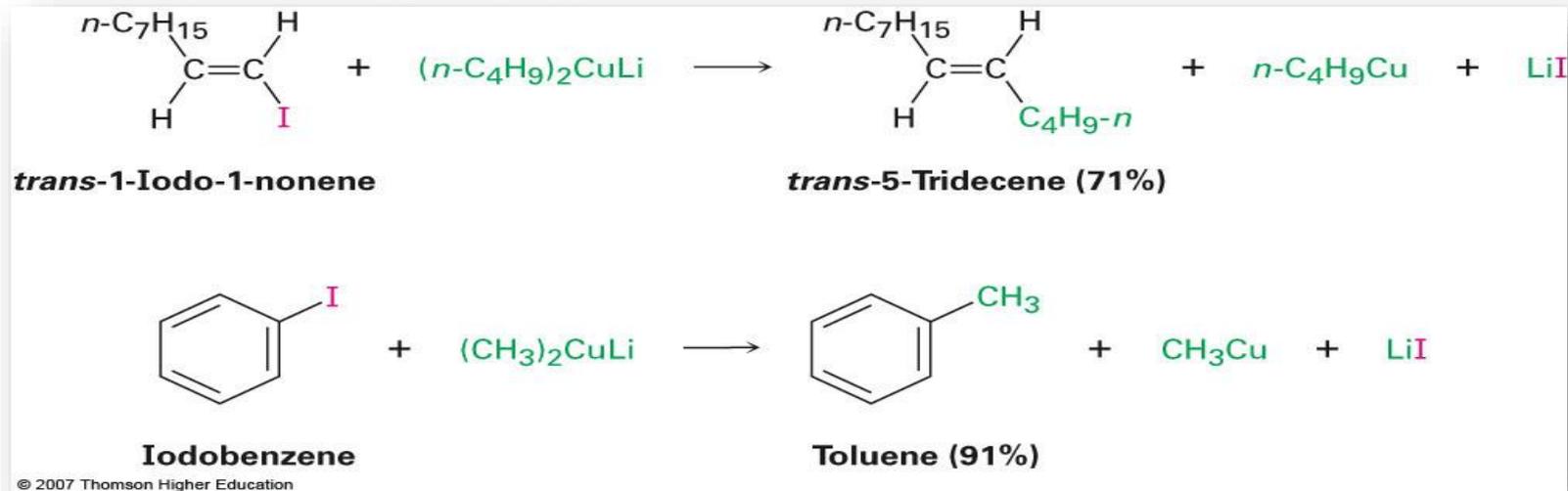


Αντιδράσεις σύζευξης οργανομεταλλικών ενώσεων

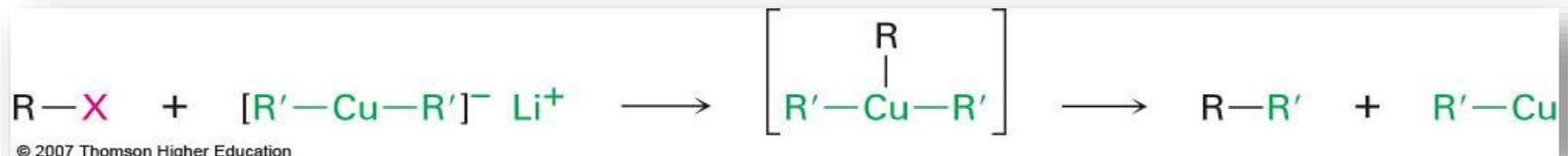
- RX με μεταλλικό $Li \rightarrow$ αλκυλολιθικά αντιδραστήρια, RLi .
- RLi με $CuI \rightarrow$ ενώσεις τύπου R_2CuLi (αντιδραστήρια Gilman).
- Τα R_2CuLi αντιδρούν με οργανοχλωρίδια, βρωμίδια, ιωδίδια, αλλά όχι φθορίδια και παράγουν αλκάνια.



- Η Χρησιμότητα των αντιδράσεων σύζευξης οργανομεταλλικών ενώσεων στην οργανική σύνθεση έγκειται στο γεγονός πως από τη σύζευξη δύο οργανομεταλλικών μορίων προκύπτουν μεγαλύτερα μόρια καθορισμένης δομής.



- Αρχικά σχηματίζεται τριυποκατεστημένο ενδιάμεσο Cu που ακολουθείται από σύζευξη και απόσπαση RCu.



Οξείδωση και αναγωγή στην οργανική χημεία

Οξείδωση

Μείωση της ηλεκτρονιακής πυκνότητας ενός ατόμου C, λόγω:

- σχηματισμού δεσμών:



- διάσπασης δεσμών



Αναγωγή

Αύξηση της ηλεκτρονιακής πυκνότητας ενός ατόμου C, λόγω:

- σχηματισμού δεσμών:



- διάσπασης δεσμών

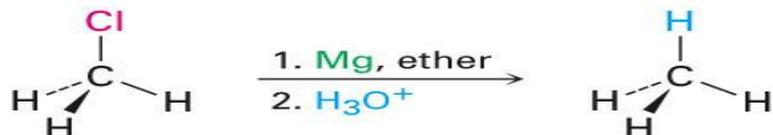




Methane

Chloromethane

Oxidation: C-H bond broken and C-Cl bond formed



Chloromethane

Methane

Reduction: C-Cl bond broken and C-H bond formed

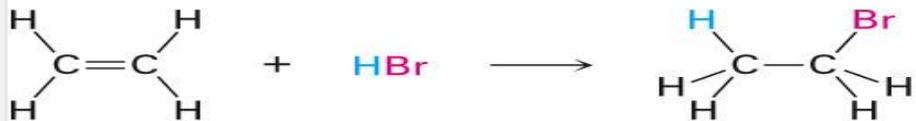
© 2007 Thomson Higher Education



Ethylene

1,2-Dibromoethane

Oxidation: Two new bonds formed between carbon and a more electronegative element



Ethylene

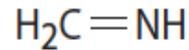
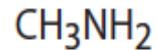
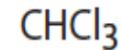
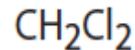
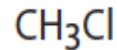
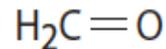
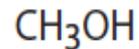
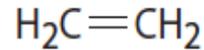
Bromoethane

Neither oxidation nor reduction: One new C-H bond and one new C-Br bond formed

© 2007 Thomson Higher Education

Αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής στην Οργανική Χημεία

Οξειδωτικές βαθμίδες



Χαμηλή οξειδωτική
βαθμίδα



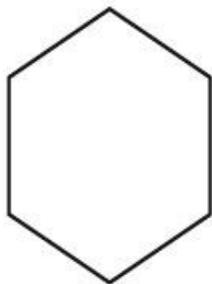
Υψηλή οξειδωτική
βαθμίδα

- Κάθε αντίδραση που μετατοπίζει μια ένωση από χαμηλότερη σε υψηλότερη οξειδωτική βαθμίδα, θεωρείται οξείδωση.
- Κάθε αντίδραση που μετατοπίζει μια ένωση από υψηλότερη σε χαμηλότερη οξειδωτική βαθμίδα, θεωρείται αναγωγή.

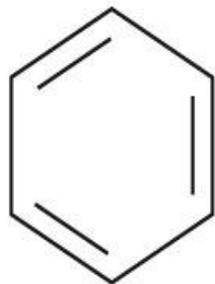
Υπολογισμός οξειδωτικής βαθμίδας

- Ενώσεις οι οποίες έχουν ίδιο αριθμό ατόμων C, μπορούν να συγκριθούν με πρόσθεση του αριθμού των δεσμών C-O, C-N και C-X και αφαίρεση του αριθμού των δεσμών C-H.
- Όσο μεγαλύτερος αριθμός προκύπτει, τόσο υψηλότερη η οξειδωτική βαθμίδα.

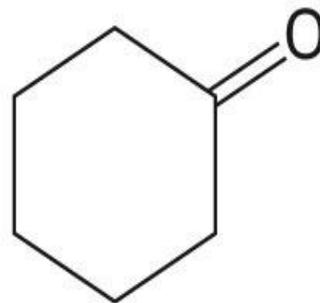
(a)



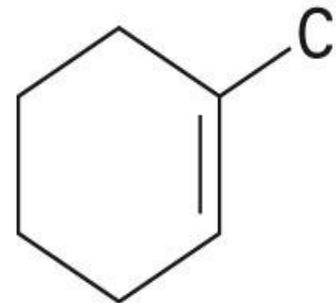
$$0-12 = -12$$



$$0-6 = -6$$



$$2-10 = -8$$



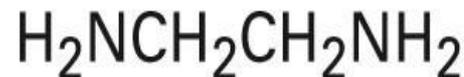
$$1-9 = -8$$



$$3-3 = 0$$



$$1-5 = -4$$



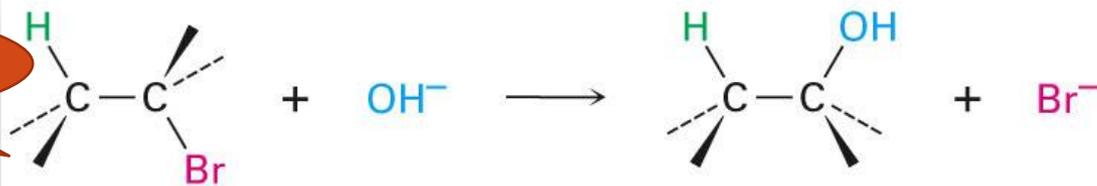
$$2-4 = -2$$

ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΟΦΙΛΗΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟΣΠΑΣΗΣ ΑΛΚΥΛΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

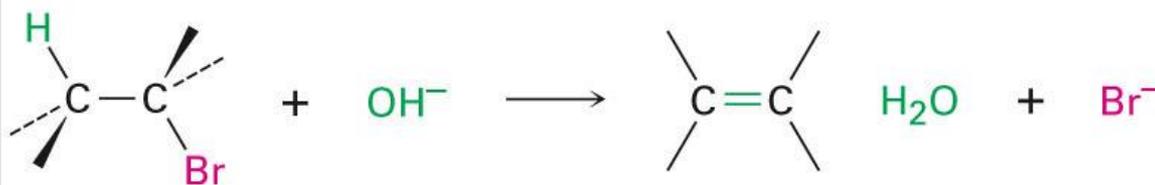
Ο δεσμός άνθρακα-αλογόνου είναι πολικός και το άτομο C είναι ηλεκτρονιακά φτωχό.

- Τα αλκυλαλογονίδια είναι ηλεκτρονιόφιλα αντιδραστήρια και δίνουν πολικές αντιδράσεις.
- Τα αλκυλαλογονίδια αντιδρούν με πυρηνόφιλα αντιδραστήρια και με βάσεις

Υποκατάσταση
Substitution

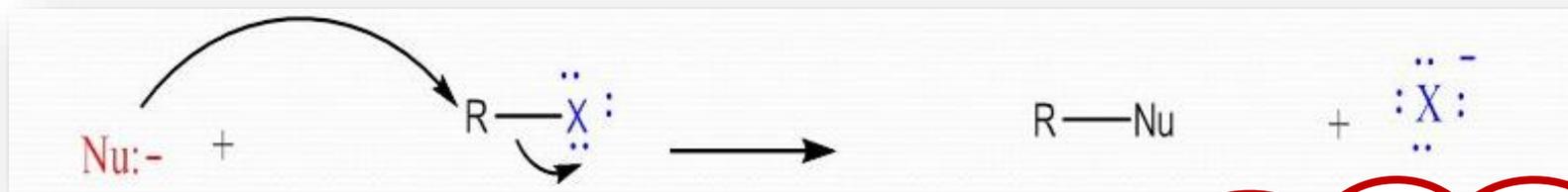


Απόσπαση
Elimination



Πυρηνόφιλη υποκατάσταση

- Η πυρηνόφιλη υποκατάσταση είναι μια γενική κατηγορία αντιδράσεων, χαρακτηριστικών για όσα οργανικά μόρια διαθέτουν μια καλή αποχωρούσα ομάδα, για την οποία υπάρχει η δυνατότητα υποκατάστασής της από άλλη ομάδα.
- Η πιο χαρακτηριστική ομάδα οργανικών μορίων που δίνουν τέτοιες αντιδράσεις είναι τα αλκυλαλογονίδια.



Πυρηνόφιλο

Πυρηνόφιλες ενώσεις: π.χ. ουδέτερων μορίων

H₂O, R-O-H, R-O-R, :NH₃, :NH₂R, :NHR₂, :NR₃, R-S-H

Πυρηνόφιλες ενώσεις: π.χ. ανιόντων

Cl⁻(chloride ion), Br⁻(bromide ion), I⁻(iodide ion), HO⁻(hydroxide ion), CN⁻(cyanide ion), NO₂⁻(nitrite ion)

Πυρηνόφιλες ενώσεις: ανιόντα ή ουδέτερα μόρια τα οποία έχουν ελεύθερο ζεύγος ηλεκτρονίων.

Παραδείγματα αντιδράσεων πυρηνόφιλης υποκατάστασης αλκυλαλογονιδίων

Πυρηνόφιλο			Προϊόν
-OH	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R-OH} + \text{X}^-$
H_2O	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R-OH} + \text{HX}$
$\text{R}'\text{-O}^-$	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R-O-R}' + \text{X}^-$
$\text{R}'\text{-OH}$	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R-O-R}' + \text{HX}$
NH_3	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R-NH}_2 + \text{HX}$
-SH	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R-SH} + \text{X}^-$
$\text{R}'\text{-S}^-$	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R-S-R}' + \text{X}^-$
-CN	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R-CN} + \text{X}^-$
$\text{R}'\text{-C}\equiv\text{C}^-$	+	$\text{R-X} \rightarrow$	$\text{R}'\text{-C}\equiv\text{C-R} + \text{X}^-$

Μηχανισμός Πυρηνόφιλης Υποκατάστασης

S_N2

S_N1

S: Υποκατάσταση (Substitution)

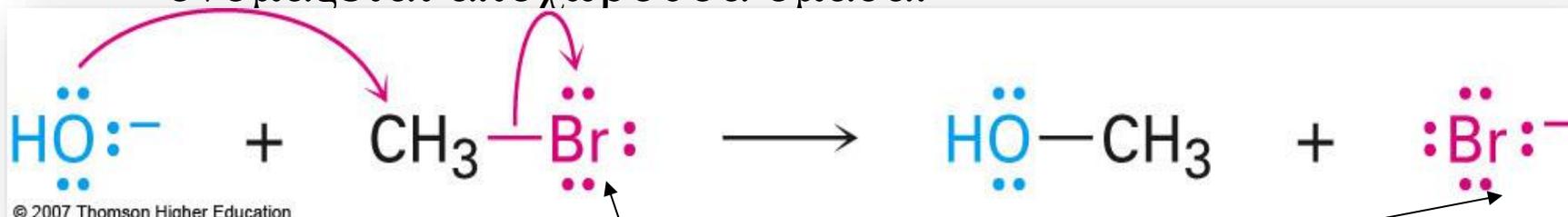
N: Πυρηνόφιλος (Nucleophilic)

2: η
ταχύτητα
της
αντίδρασης
εξαρτάται
από δύο
μόρια

1: η
ταχύτητα
της
αντίδρασης
εξαρτάται
από ένα
μόριο

Αντίδραση S_N2

- Η αντίδραση πραγματοποιείται με αναστροφή της στερεοχημικής απεικόνισης του μορίου.
- Ακολουθεί κινητική 2^{ης} τάξεως:
 - Ταχύτητα αντίδρασης = K x [RX] x [Πυρηνόφιλο]
 - Πραγματοποιείται σε ένα στάδιο, χωρίς σχηματισμό ενδιάμεσου. Το εισερχόμενο πυρηνόφιλο, προσβάλλει το υπόστρωμα, (αλκυλαλογονίδιο) σε κατεύθυνση αντίθετη με εκείνη της ομάδας που αντικαθιστάται και η οποία ονομάζεται αποχωρούσα ομάδα.



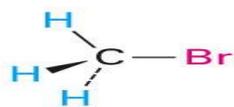
Nucleophile

Electrophile

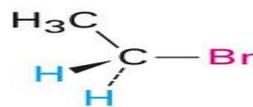
Leaving Group

Αντίδραση S_N1

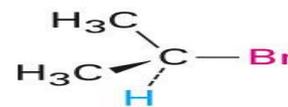
- Πραγματοποιείται σε δύο διακριτά στάδια:
 1. Το αλκυλαλογονίδιο διασπάται αυθόρμητα και σχηματίζεται ένα καρβοκατιόν. Αυτό είναι το αργό στάδιο, και καθορίζει την ταχύτητα της αντίδρασης, που εξαρτάται μόνο από τη συγκέντρωση του αλκυλαλογονιδίου. Κινητική 1^{ης} τάξης Ταχύτητα = K x [RX]
 2. Το πυρηνόφιλο αντιδρά γρήγορα με το καρβοκατιόν, δίνοντας το προϊόν.
- Τα τριτοταγή αλκυλαλογονίδια αντιδρούν ταχέως σε πρωτικούς διαλύτες. Τα πρωτοταγή ελάχιστα.



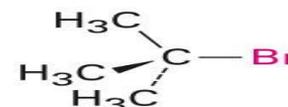
Methyl
< 1



Primary
1



Secondary
12

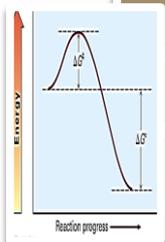


Tertiary
1,200,000

Relative reactivity



- Γίνεται σε ένα στάδιο.
- Κινητική 2^{ης} τάξης.
- Οδηγεί σε αναστροφή της στερεοχημικής διάταξης.
- Ευνοείται σε μεθυλο και πρωτοταγή αλκυλαλογονίδια. Τα δευτεροταγή αντιδρούν αργά, ενώ τα τριτοταγή δεν αντιδρούν με S_N2.
- Τα αρνητικά φορτισμένα πυρηνόφιλα, ελαττώνουν την ΔG^\ddagger και αυξάνουν τη v .
- Τα σταθερότερα ανιόντα, (καλές αποχωρούσες ομάδες), αυξάνουν την ταχύτητα v .
- Οι πρωτικοί διαλύτες μειώνουν τη v , σε αντίθεση με τους πολικούς απρωτικούς.



S_N2

• Γίνεται σε **ένα στάδιο**.

• Κινητική **2^{ης} τάξης**.

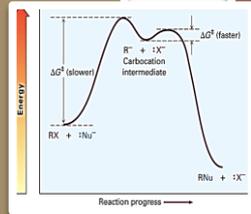
• Οδηγεί σε αναστροφή της στερεοχημικής διάταξης.

• **Ευνοείται σε** μεθυλο και πρωτοταγή αλκυλαλογονίδια. Τα δευτεροταγή αντιδρούν αργά, ενώ τα τριτοταγή δεν αντιδρούν με S_N2.

• Τα αρνητικά φορτισμένα πυρηνόφιλα, ελαττώνουν την ΔG^\ddagger και αυξάνουν τη ν .

• Τα σταθερότερα ανιόντα, (καλές αποχωρούσες ομάδες), αυξάνουν την ταχύτητα ν .

• Οι πρωτικοί διαλύτες μειώνουν τη ν , σε αντίθεση με τους πολικούς απρωτικούς.



S_N1

• Γίνεται σε **δύο στάδια**.

• Κινητική **1^{ης} τάξης**.

• Οδηγεί σε ρακεμοποίηση.

• Ευνοείται σε τριτοταγή, αλλυλικά και σε βενζυλικά αλογονίδια.

• Το πυρηνόφιλο αρκεί να μην είναι βασικό, κατά τα άλλα δεν επηρεάζει.

• Οι καλές αποχωρούσες ομάδες αυξάνουν τη ν .

• Οι πολικοί διαλύτες σταθεροποιούν με επιδιαλύτωση το ενδιάμεσο, και αυξάνουν την ταχύτητα

Απόσπαση

E

Elimination

Γίνεται με επίδραση βάσης (B:) σε αλκυλαλογονίδιο, (υπόστρωμα).

Υπακούει στον κανόνα Zaitsev.

Σχηματίζονται συνήθως τα σταθερότερα αλκένια, δηλαδή όσα έχουν τις περισσότερες αλκυλομάδες στα άτομα C του διπλού δεσμού

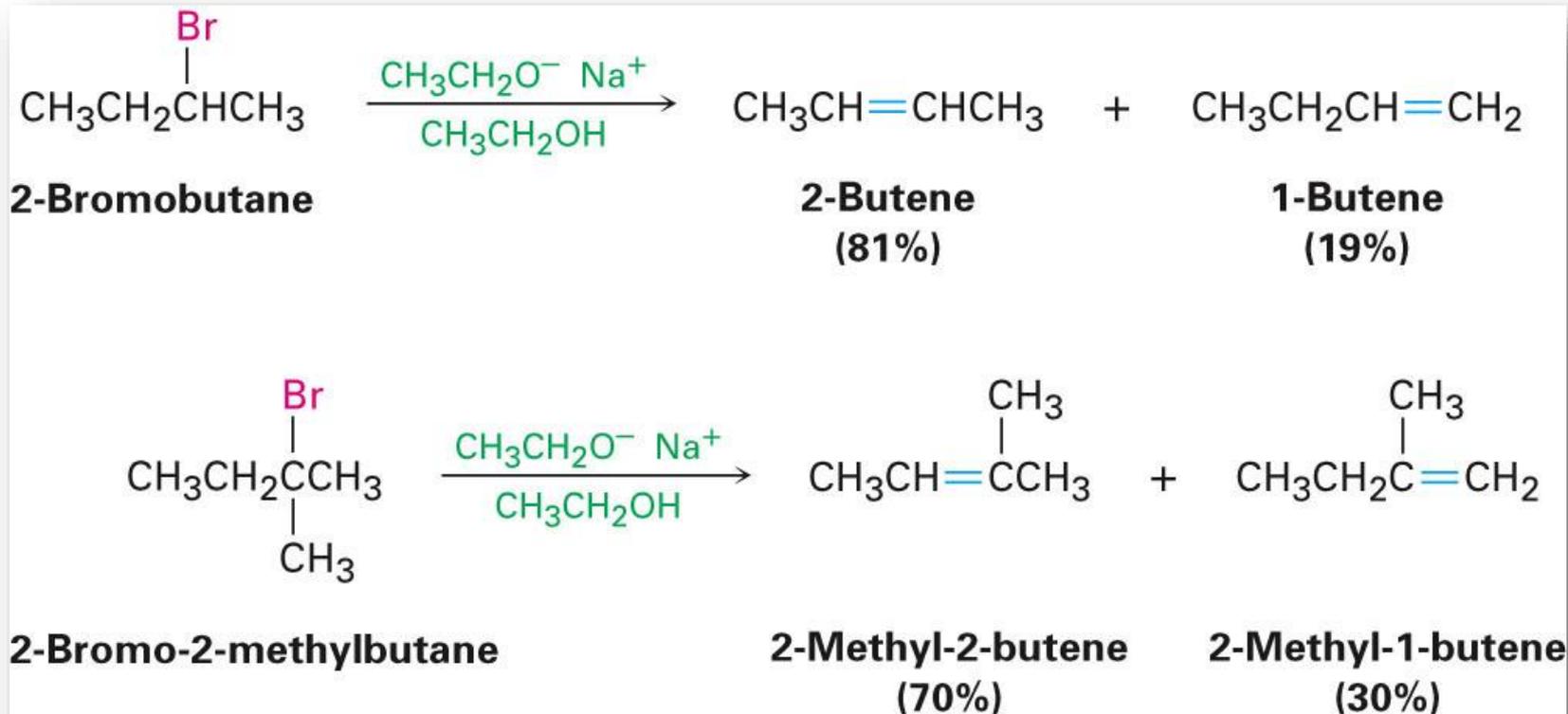
E1 Μονομοριακός μηχανισμός. Η ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται μόνο από το αλκυλαλογονίδιο. **Γίνεται σε δύο στάδια**

- **E1**
- **E1cB:** Πραγματοποιείται μέσω ενδιάμεσου καρβανιόντος και όχι καρβοκατιόντος όπως η E1. Γίνεται αν η αποχωρούσα ομάδα απέχει κατά 2 άτομα C από μια καρβονυλομάδα

E2: Διμοριακός μηχανισμός. Η ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται από τη συγκέντρωση και του αλκυλαλογονιδίου, (υποστρώματος), και της βάσης. **Γίνεται σε ένα στάδιο**

Αντιδράσεις απόσπασης αλκυλαλογονιδίων

Κανόνας του Zaitsev

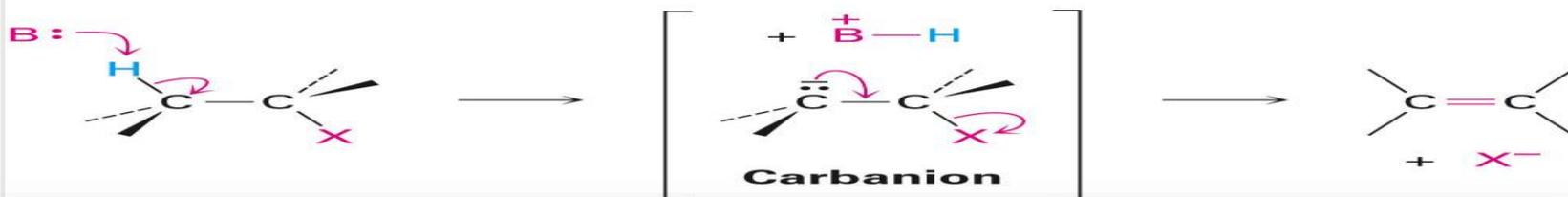


© 2007 Thomson Higher Education

Αντίδραση E1cB

- Πραγματοποιείται μέσω ενδιάμεσου καρβανιόντος που σχηματίζεται όταν η βάση αποσπά πρωτόνιο.
- Στο 2^ο ταχύτερο στάδιο, ακολουθεί η απώλεια της ομάδας που αποχωρεί από γειτονικό άνθρακα.
- Ευνοείται όταν η αποχωρούσα ομάδα είναι δύο άτομα C μακριά από ένα καρβονύλιο. Το καρβονύλιο σταθεροποιεί το καρβανιόν μέσω του φαινομένου του συντονισμού. Μέσω E1cB, συνήθως οι βιολογικές αντιδράσεις απόσπασης.

E1cB Reaction: C–H bond breaks first, giving a carbanion intermediate that loses X⁻ to form the alkene.



Σύνοψη αντιδράσεων υποκατάστασης - απόσπασης

	S_N1	S_N2	$E1$	$E2$
RCH_2X	Δεν γίνεται	Ευνοείται πολύ παρουσία καλού πυρηνόφιλου	Δεν γίνεται	Γίνεται παρουσία ισχυρών και ογκωδών βάσεων
R_2CHX	Γίνεται σε 2 ^ο ταγή βενζυλικά και αλλυλικά αλκυλαλογονίδια και με ασθενώς βασικά πυρηνόφιλα σε πρωτικούς διαλ/τες	Γίνεται με ασθενείς βάσεις ως πυρηνόφιλα σε πολικούς απρωτικούς διαλύτες	Γίνεται σε 2 ^ο ταγή βενζυλικά και αλλυλικά αλκυλαλογονίδια και με ασθενώς βασικά πυρηνόφιλα σε πρωτικούς διαλ/τες	Ευνοείται παρουσία ισχυρών βάσεων
R_3CX	Ευνοείται σε ουδέτερες συνθήκες όπως καθαρή αιθανόλη ή νερό	Δεν γίνεται	Λαμβάνει χώρα, ανταγωνιζόμενη την S_N1 σε ουδ. συνθ. όπως καθαρή αιθανόλη ή νερό	Ευνοείται παρουσία βάσεων

Καλό πυρηνόφιλο όπως RS^- , I^- , CN^- , NH_3 , Br^- S_N2

1^ο
ταγές



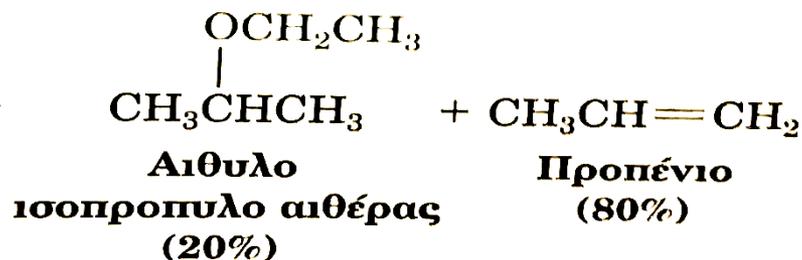
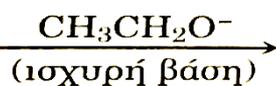
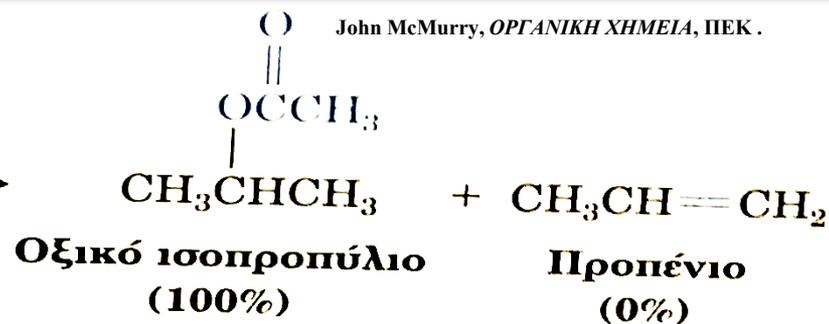
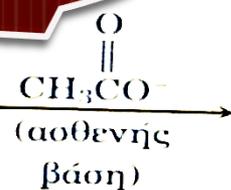
Ισχυρή ογκώδης
βάση $E2$

Ασθενώς βασικό
πυρηνόφιλο σε πολικό
απρωτικό διαλύτη S_N2

2^ο
ταγές



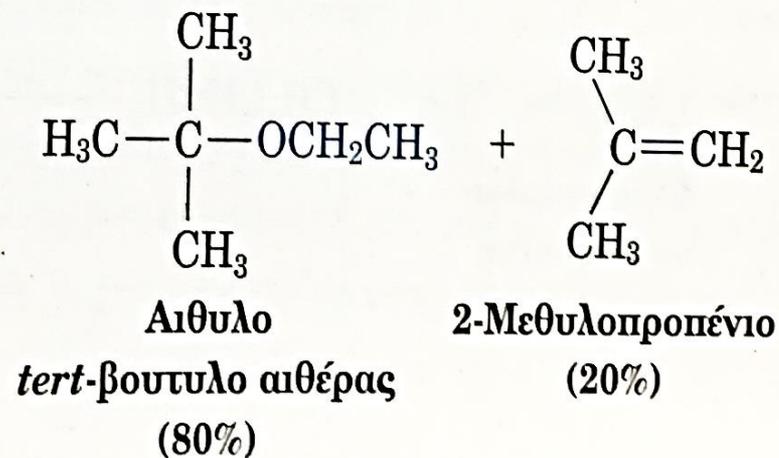
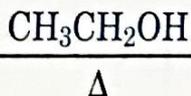
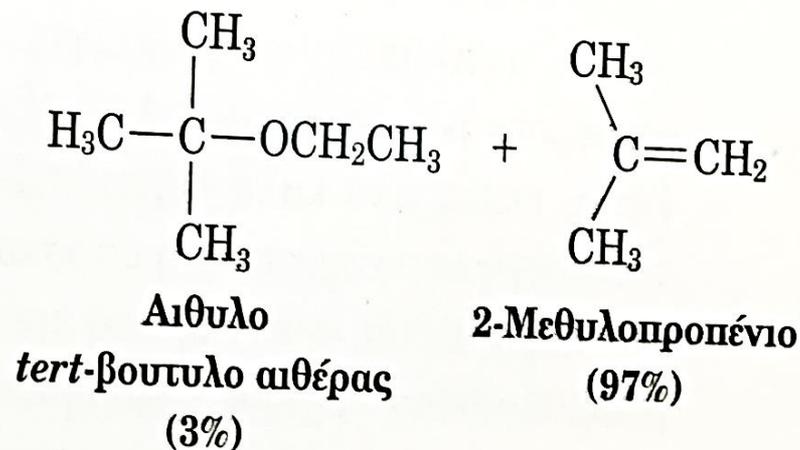
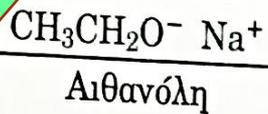
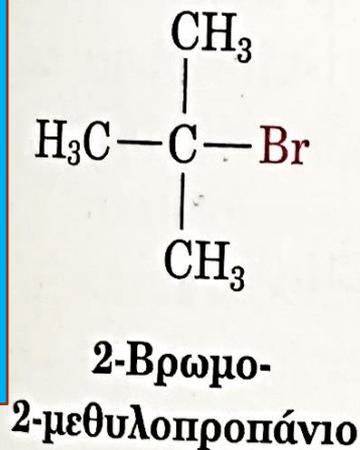
Ισχυρή βάση
όπως $CH_3CH_2O^-$,
 OH^- , NH_2^- , $E2$



John McMurry, ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ, ΠΕΚ.

Όταν χρησιμοποιηθούν βάσεις
όπως OH^- και RO^- E2

3^ο
ταγές



Σε μη βασικές συνθήκες
όπως είναι η θέρμανση σε
καθαρή αιθανόλη ή νερό
μίγμα $\text{S}_\text{N}1$ και E1

Πράσινη Χημεία

Ασχολείται με το σχεδιασμό και την υλοποίηση διεργασιών παραγωγής χημικών ουσιών που μειώνουν τα απόβλητα, ενώ ταυτόχρονα προσπαθεί να ελαττώσει την παραγωγή επιβλαβών χημικών ουσιών.

Βασίζεται σε 12 αρχές:

1. Αποφυγή αποβλήτων
2. Μεγιστοποίηση οικονομίας ατόμων.
3. Χρήση λιγότερο επιβλαβών διεργασιών.
4. Σχεδιασμός ασφαλών χημικών προϊόντων.
5. Χρήση ασφαλέστερων διαλυτών.
6. Μείωση ενεργειακών απαιτήσεων.
7. Χρήση ανακυκλώσιμων πρώτων υλών.
8. Ελαχιστοποίηση σταδίων.
9. Χρήση καταλυτών.
10. Σχεδιασμός βιοαποικοδομήσιμων προϊόντων.
11. Έλεγχος αντιδράσεων σε πραγματικό χρόνο.
12. Πρόληψη ατυχημάτων.

(John McMurry Οργανική Χημεία Π.Ε.Κ.)

Βιβλιογραφία

- Οργανική Χημεία John McMurry, Μετάφραση Επιστημονική επιμέλεια Αναστάσιος Βάρβογλης, Μιχάλης Ορφανόπουλος, Ιουλία Σμόνου, Μανώλης Στρατάκης, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
- Βασική Οργανική Χημεία, Ιωακείμ Σπηλιόπουλος, Εκδόσεις Σταμούλης, 2008
- «Οργανική Χημεία» L. G. Wade, JR., 7^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα
- «Επίτομη Οργανική Χημεία», Βάρβογλης Αναστάσιος Γ., 1^η Έκδοση 2005, Εκδόσεις Ζήτη Πελαγία & Σια Ι.Κ.Ε.
- <https://el.wikipedia.org/wiki/>
- [https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Organic_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_Organic_Chemistry_\(Smith\)/Chapter_09%3A_Alcohols%2C_Ethers%2C_and_Epoxides/9.6%3A_Preparation_of_Alcohols%2C_Ethers%2C_and_Epoxides](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Organic_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_Organic_Chemistry_(Smith)/Chapter_09%3A_Alcohols%2C_Ethers%2C_and_Epoxides/9.6%3A_Preparation_of_Alcohols%2C_Ethers%2C_and_Epoxides)
- http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.71666.html?rid=a6bfdeb8-6a20-4d98-8001-bf641eda247b&page_num=0
- http://fac.ksu.edu.sa/sites/default/files/108-ch-3_alkene_0.pptx