

Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

Ενότητα 5^η: Αλκένια – Δεσμοί, ονοματολογία, ιδιότητες, αντιδράσεις

Δημήτρης Π. Μακρής *PhD DIC*

Αναπληρωτής Καθηγητής



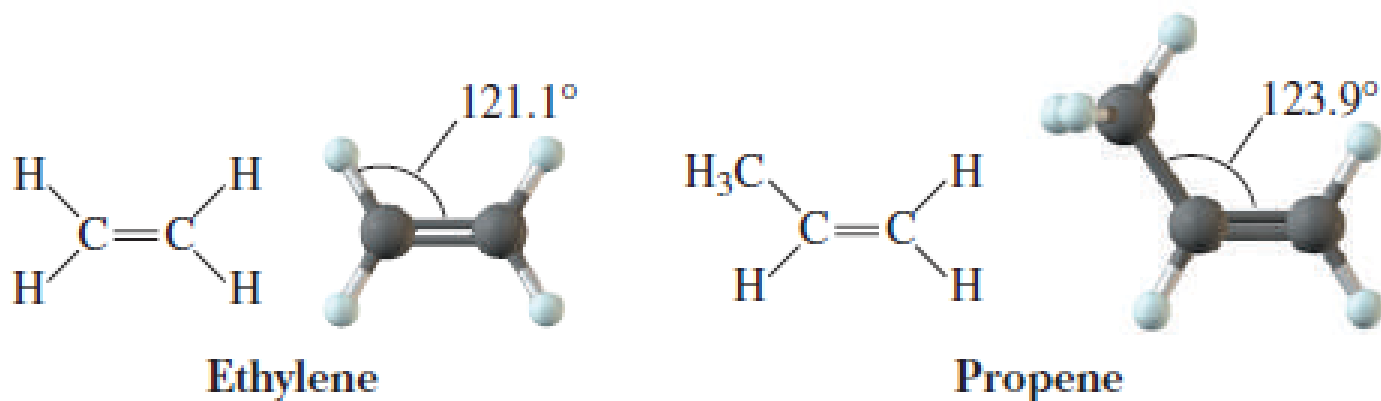
© 2019 - 2020

1. Δομή αλκενίων

Σχήματα αλκενίων

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο απώθησης ζεύγους ηλεκτρονίων στιβάδας σθένους (VSEPR) για τον διπλό δεσμό C=C, μπορεί να προβλεφθεί μια τιμή των 120° για τις γωνίες δεσμών στον κάθε άνθρακα. Η παρατηρούμενη γωνία δεσμού H-C=C στο αιθυλένιο είναι 121.1° , κοντά στην προβλεπόμενη.

Σε άλλα αλκένια, αποκλίσεις από την προβλεπόμενη γωνία των 120° μπορεί να είναι λίγο μεγαλύτερες, εξαιτίας της τάσης που προέρχεται από αλληλεπιδράσεις των υποκαταστατών ενωμένων με τους άνθρακες του διπλού δεσμού. Για παράδειγμα, η γωνία δεσμού C-C=C στο προπένιο είναι 123.9° .



1. Δομή αλκενίων

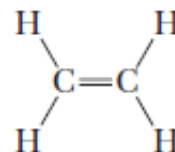
Τροχιακά διπλών δεσμών άνθρακα - άνθρακα

Ένας διπλός δεσμός C=C αποτελείται από έναν σ δεσμό και έναν π δεσμό. Κάθε άνθρακας του διπλού δεσμού χρησιμοποιεί τα τρία sp^2 υβριδικά τροχιακά για να σχηματίσει σ δεσμούς με τρία άτομα.

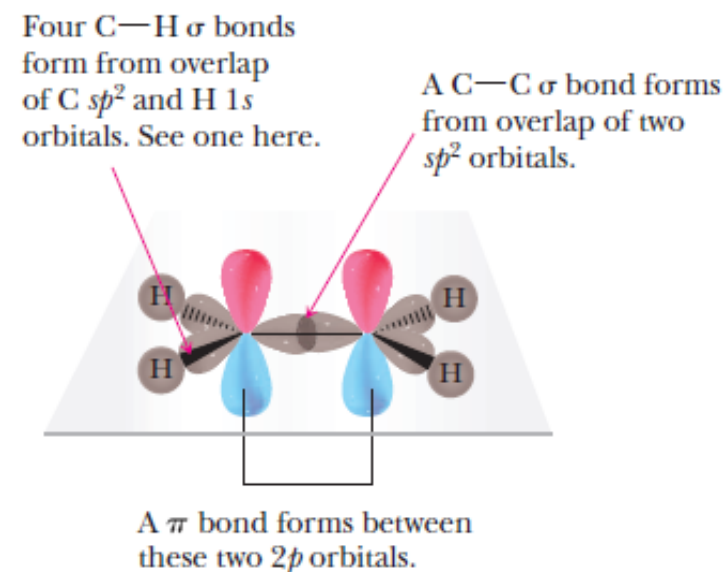
Τα μη-υβριδοποιημένα $2p$ ατομικά τροχιακά, τα οποία είναι κάθετα στο επίπεδο που ορίζουν οι άξονες των τριών sp^2 υβριδικών τροχιακών, συνδυάζονται για να σχηματίσουν δύο π μοριακά τροχιακά: ένα δεσμικό και ένα αντιδεσμικό.

Για να είναι παράλληλα τα μη-υβριδοποιημένα $2p$ τροχιακά, έτσι ώστε να έχουν την μέγιστη αλληλοεπικάλυψη, θα πρέπει οι δύο άνθρακες του διπλού δεσμού και τα τέσσερα ενωμένα άτομα να βρίσκονται πάνω σ' ένα επίπεδο.

(a)



(b)

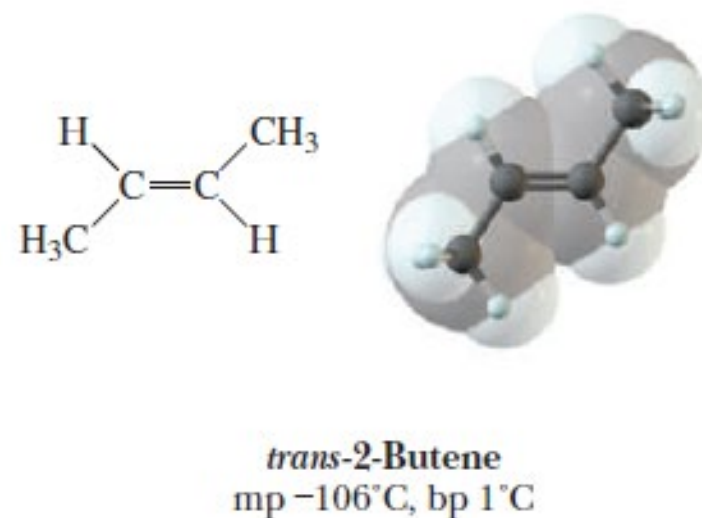
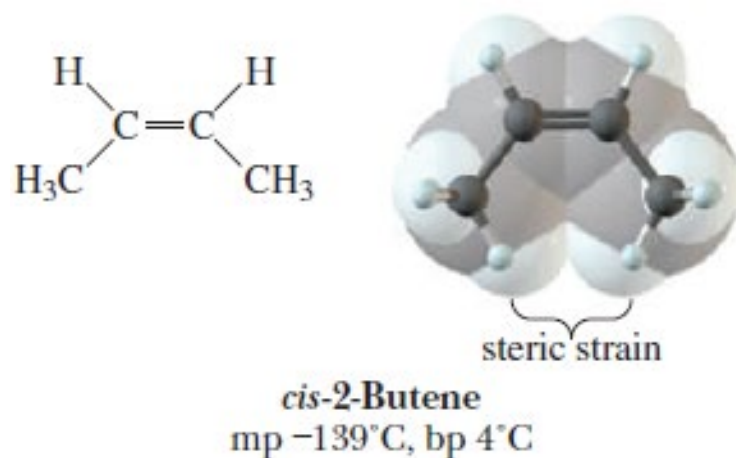


2. Ισομέρεια *cis*, *trans* στα αλκένια

Επειδή δεν μπορεί να υπάρξει περιστροφή σ' έναν διπλό δεσμό C=C, το κάθε αλκένιο στο οποίο κάθε άνθρακας του διπλού δεσμού έχει δύο διαφορετικούς υποκαταστάτες, επιδεικνύει ισομέρεια *cis*, *trans*.

Για παράδειγμα, το 2-βουτένιο έχει δύο στερεοϊσομερή. Στο *cis*-2-βουτένιο, οι δύο μεθυλομάδες είναι στην ίδια πλευρά του διπλού δεσμού και τα δύο υδρογόνα στην άλλη. Στο *trans*-2-βουτένιο, οι δύο μεθυλομάδες βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές.

Δεν υπάρχει αλληλομετατροπή αυτών των δύο ενώσεων σε θερμοκρασία δωματίου, γιατί δεν γίνεται να υπάρξει περιστροφή γύρω από τον διπλό δεσμό. Είναι διαφορετικές ενώσεις (διαστερεομερή), με διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες.



3. Ονοματολογία αλκενίων

Ονόματα κατά IUPAC

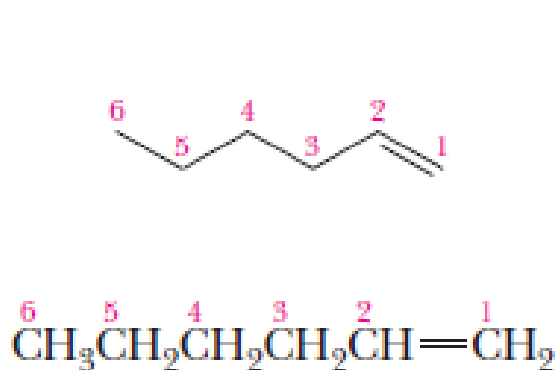
Για να σχηματιστούν τα κατά IUPAC ονόματα των αλκενίων, μεταβάλλεται το -αν- ένθεμα του μητρικού αλκανίου με το -εν-. Επομένως, το $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ονομάζεται αιθένιο και το $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ προπένιο.

Στα ανώτερα αλκένια, όπου υπάρχουν ισομερή που διαφέρουν στην τοποθεσία του διπλού δεσμού, χρησιμοποιείται ένα σύστημα αρίθμησης. Σύμφωνα με το σύστημα IUPAC:

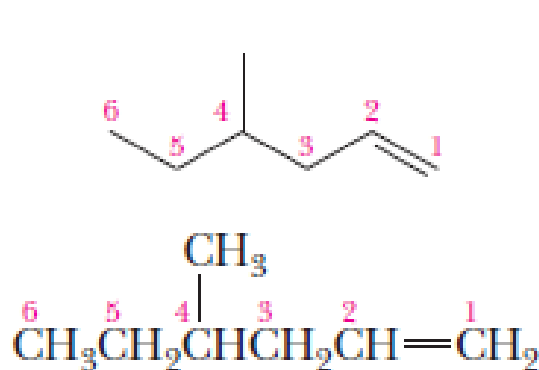
1. Αριθμείται η μακρύτερη ανθρακική αλυσίδα που περιέχει τον διπλό δεσμό προς την κατεύθυνση που δίνει στους άνθρακες του διπλού δεσμού τους χαμηλότερους δυνατούς αριθμούς.
2. Υποδεικνύεται η θέση του διπλού δεσμού μ' έναν αριθμό του πρώτου άνθρακα του διπλού δεσμού.
3. Τα διακλαδιζόμενα ή υποκατεστημένα αλκένια ονομάζονται όπως και τα αλκάνια.
4. Αριθμούνται οι άνθρακες, εντοπίζονται και ονομάζονται οι υποκαταστάτες, εντοπίζεται ο διπλός δεσμός και ονοματοδοτείται η κύρια αλυσίδα.

3. Ονοματολογία αλκενίων

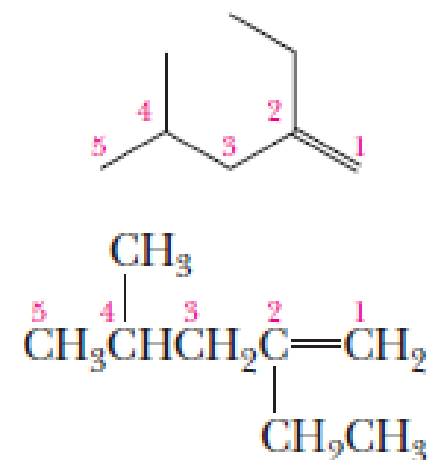
Για παράδειγμα, στο 2-αιθυλ-4-μεθυλ-1-πεντένιο υπάρχει μια εξαμελής ανθρακική αλυσίδα. Εντούτοις, επειδή η μακρύτερη αλυσίδα που περιέχει τον διπλό δεσμό έχει μόνο 5 άνθρακες, ο μητρικός υδρογονάνθρακας είναι πεντάνιο και το μόριο ονομάζεται ως δι-υποκατεστημένο 1-πεντένιο.



1-Hexene



4-Methyl-1-hexene



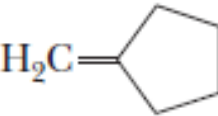
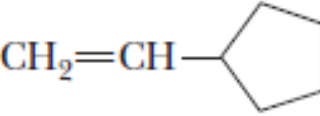
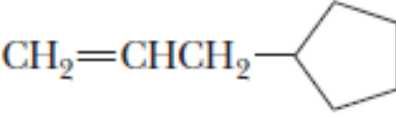
2-Ethyl-4-methyl-1-pentene

3. Ονοματολογία αλκενίων

	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3\text{C}=\text{CH}_2 \end{array}$
IUPAC name:	Ethene	Propene	2-Methylpropene
Common name:	Ethylene	Propylene	Isobutylene

Κοινά ονόματα

Μερικά αλκένια, ειδικά αυτά που είναι χαμηλού μοριακού βάρους, είναι γνωστά σχεδόν αποκλειστικά με τα κοινά τους ονόματα.

Alkenyl Group	IUPAC Name	Common Name	Example	IUPAC Name (Common Name)
$\text{CH}_2=$	Methylene	Methylidene		Methylidenecyclopentane (Methylenecyclopentane)
$\text{CH}_2=\text{CH}-$	Ethenyl	Vinyl		Ethenylcyclopentane (Vinylcyclopentane)
$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2-$	2-Propenyl	Allyl		2-Propenylcyclopentane (Allylcyclopentane)

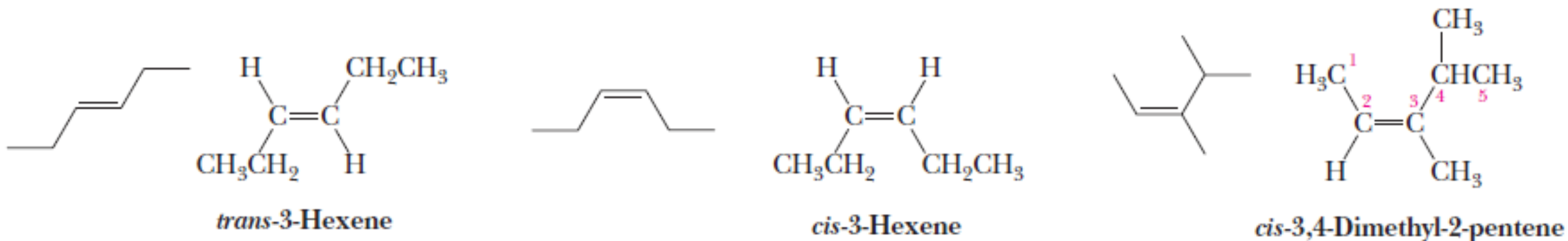
3. Ονοματολογία αλκενίων

Συστήματα καθορισμού διάταξης στα αλκένια – Το σύστημα *cis, trans*

Η πιο κοινή μέθοδος καθορισμού διάταξης στα αλκένια είναι η χρήση των προθεμάτων *cis* και *trans*.

Για πιο πολύπλοκα αλκένια, ο προσανατολισμός των ατόμων της μητρικής αλυσίδας προσδιορίζει πότε το αλκένιο είναι *cis* ή *trans*.

Για παράδειγμα, στο 3,4-διμεθυλ-2-πεντένιο, τα άτομα άνθρακα της κύριας αλυσίδας (άνθρακες 1 και 4) είναι στην ίδια πλευρά του διπλού δεσμού. Επομένως, είναι το *cis* ισομερές.

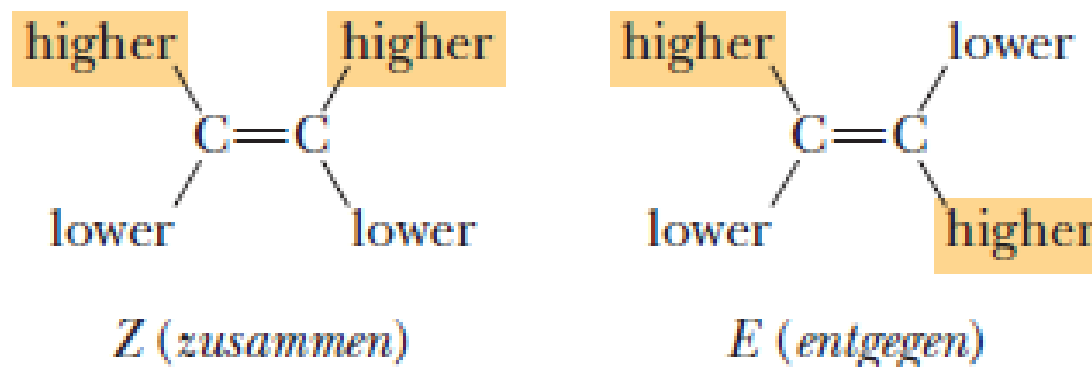


3. Ονοματολογία αλκενίων

Συστήματα καθορισμού διάταξης στα αλκένια – Το σύστημα *E, Z*

Επειδή το σύστημα *cis, trans* δημιουργεί σύγχυση με τρι- και τετρα-υποκατεστημένα αλκένια και δεν είναι αρκετά λεπτομερές για την ονοματολογία των αλκενίων, αναπτύχθηκε το **σύστημα *E, Z***. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί τους κανόνες προτεραιότητας του συστήματος *R, S* για να δώσει προτεραιότητα στους υποκαταστάτες του κάθε άνθρακα στον διπλό δεσμό.

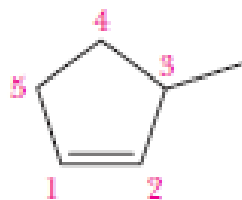
Με την χρήση αυτών των κανόνων, μπορεί να ληφθεί απόφαση για το ποια ομάδα σε κάθε άνθρακα έχει την υψηλότερη προτεραιότητα. Αν οι ομάδες με την υψηλότερη προτεραιότητα είναι στην ίδια πλευρά του επιπέδου που ορίζει ο διπλός δεσμός, η διάταξη του αλκενίου είναι **Z**. Αν βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές, είναι **E**.



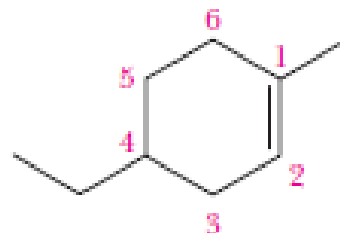
3. Ονοματολογία αλκενίων

Κυκλοαλκένια

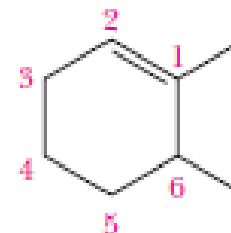
Στην ονοματολογία των κυκλοαλκενίων, τα άτομα των ανθράκων του διπλού δεσμού στον δακτύλιο αριθμούνται 1 και 2 προς την κατεύθυνση που δίνει στον πρώτο υποκαταστάτη τον χαμηλότερο αριθμό.



3-Methylcyclopentene



4-Ethyl-1-methylcyclohexene

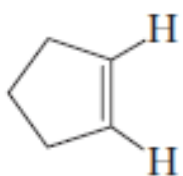


1,6-Dimethylcyclohexene

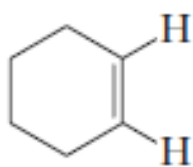
3. Ονοματολογία αλκενίων

Ισομέρεια *cis*, *trans* στα κυκλοαλκένια

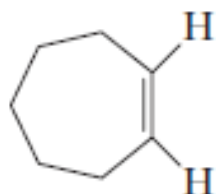
Δίνονται οι δομές τεσσάρων κυκλοαλκενίων:



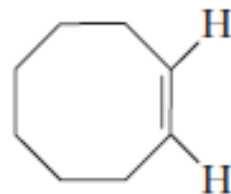
Cyclopentene



Cyclohexene



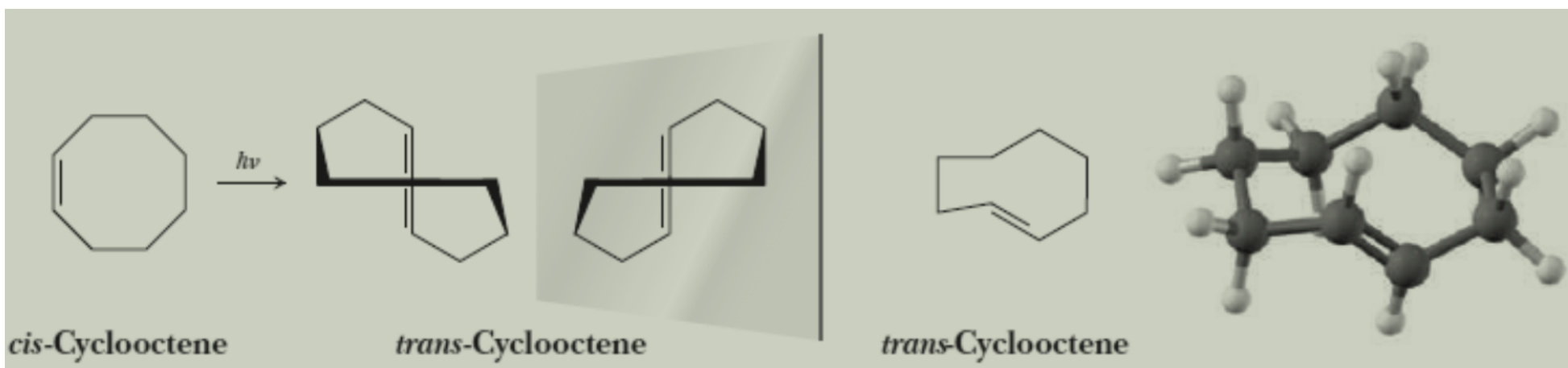
Cycloheptene



Cyclooctene

Η διάταξη αυτών των ενώσεων είναι *cis*. Το *trans* κυκλοοκτένιο είναι το μικρότερο κυκλοαλκένιο το οποίο είναι σταθερό σε θερμοκρασία δωματίου.

Όμως, επειδή η γωνιακή τάση είναι σημαντική, και σ' αυτό το κυκλοαλκένιο η πιο σταθερή διάταξη είναι η *cis*. Το ισομερές *trans* είναι χειρόμορφο, αν και δεν υπάρχει κέντρο χειρομορφίας.



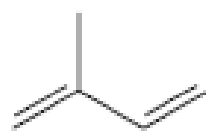
3. Ονοματολογία αλκενίων

Διένια, τριένια και πολυένια

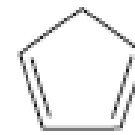
Για αλκένια που περιέχουν δύο ή περισσότερους διπλούς δεσμούς, το ένθεμα -εν- μεταβάλλεται σε -αδιεν-, -ατριεν-, κτλ. Αυτά τα αλκένια που περιέχουν πολλαπλούς διπλούς δεσμούς αναφέρονται ως πολυένια.



1,4-Pentadiene



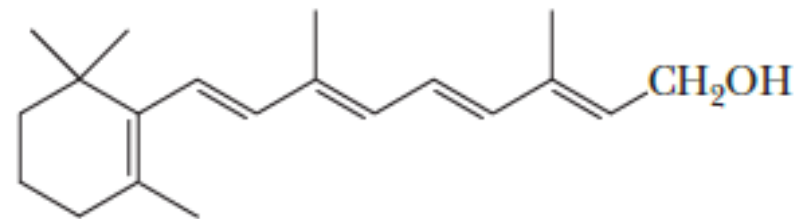
2-Methyl-1,3-butadiene
(Isoprene)



1,3-Cyclopentadiene

Για ένα αλκένιο με έναν διπλό δεσμό που επιδεικνύει ισομέρεια *cis*, *trans*, δύο στερεοϊσομερή είναι πιθανά. Για ένα αλκένιο με n διπλούς δεσμούς, 2^n στερεοϊσομερή είναι πιθανά.

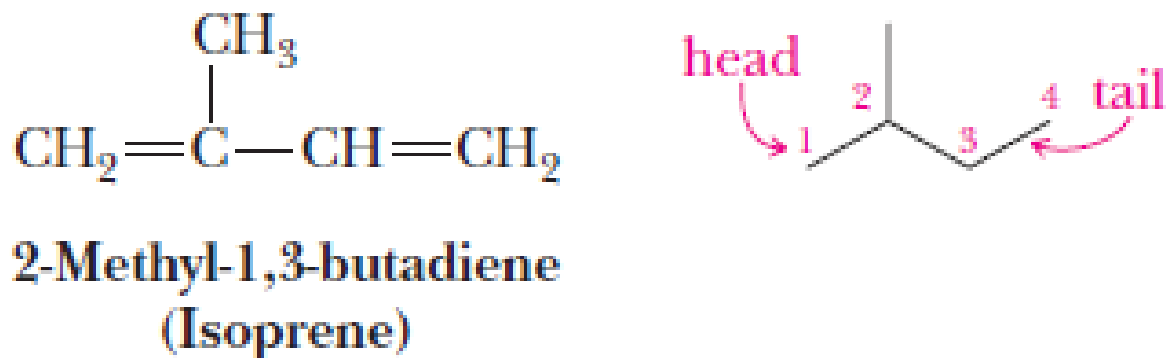
Ένα παράδειγμα μιας βιολογικώς σημαντικής ένωσης με πιθανά *cis*, *trans* ισομερή είναι η βιταμίνη Α. Υπάρχουν τέσσερις διπλοί δεσμοί σε πλευρική ανθρακική αλυσίδα, η οποία ενώνεται με έναν δακτύλιο κυκλοεξενίου. Η βιταμίνη Α είναι το all-*E* ισομερές.



Vitamin A (retinol)

4. Φυσικά αλκένια – Τερπενικοί υδρογονάνθρακες

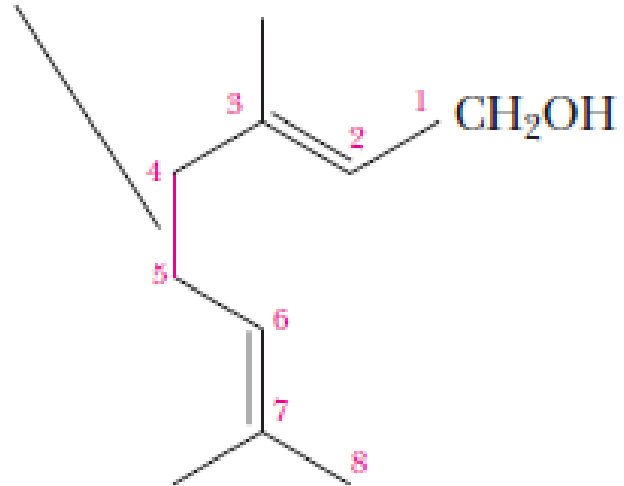
Τερπένια είναι οι ενώσεις των οποίων ο σκελετός μπορεί να διαχωριστεί σε δύο ή περισσότερες μονάδες ισοπρενίου. Ο άνθρακας 1 μιας μονάδας ισοπρενίου ονομάζεται κεφαλή, ενώ ο άνθρακας 4 ονομάζεται ουρά. Τα τερπένια σχηματίζονται ενώνοντας την ουρά μιας μονάδας ισοπρενίου με την κεφαλή μιας άλλης. Αυτό ονομάζεται ο **κανόνας ισοπρενίου**.



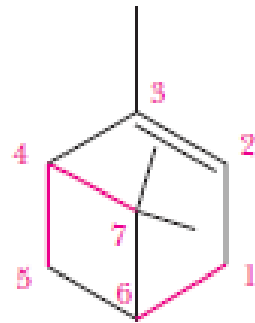
Τα τερπένια είναι χαρακτηριστικά συστατικά των αιθέριων ελαίων. Τα αιθέρια έλαια περιέχουν χαμηλού μοριακού βάρους ενώσεις, υπεύθυνες για το άρωμα που παράγουν μερικοί φυτικοί ιστοί (π.χ άνθη). Πολλά αιθέρια έλαια, κυρίως από άνθη, χρησιμοποιούνται στην αρωματοποιία.

4. Φυσικά αλκένια – Τερπενικοί υδρογονάνθρακες

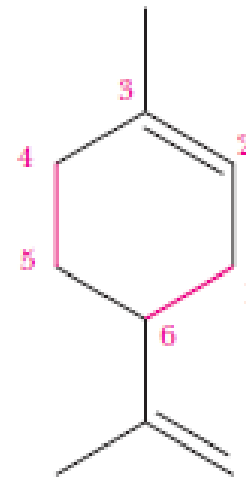
Bond joining the head
of one isoprene unit to
the tail of the second.



Geraniol
(rose and other flowers)



α-Pinene
(turpentine)



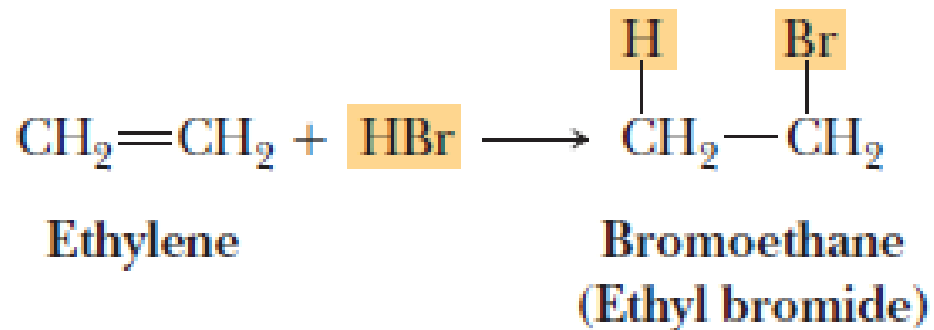
Limonene
(oil of lemon and orange)

5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη υδρογονοαλογονιδίων

Τα υδρογονοαλογονίδια HCl, HBr, και HI προστίθενται στα αλκένια και δίνουν αλογονοαλκάνια. Αυτές οι προσθήκες μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε με καθαρά αντιδραστήρια ή υπό την παρουσία πολικών διαλυτών, όπως π.χ. το οξικό οξύ.

Το HCl αντιδρά πιο αργά σε σχέση με τα άλλα δύο οξέα. Προσθήκη HBr στο αιθυλένιο δίνει βρωμοαιθάνιο.

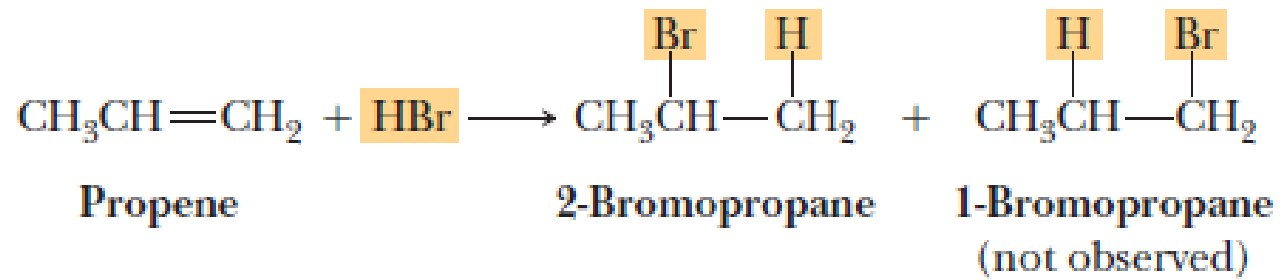


5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη υδρογονοαλογονιδίων

Προσθήκη HBr στο προπένιο δίνει 2-βρωμοπροπάνιο. Το H προστίθεται στον άνθρακα 1 και το βρώμιο στον άνθρακα 2. Θεωρητικά, μπορεί να προκύψει και 1-βρωμοπροπάνιο, αλλά τα πειραματικά αποτελέσματα αποδεικνύουν το σχηματισμό σχεδόν αποκλειστικά 2-βρωμοπροπανίου.

Δηλαδή, η προσθήκη HBr στο προπένιο παρουσιάζει υψηλή τοποεκλεκτικότητα. Μια **τοποεκλεκτική αντίδραση** είναι μια αντίδραση όπου υπάρχει δημιουργία ή διάσπαση δεσμού προς μια κατεύθυνση, κατά προτίμηση όλων των άλλων θεωρητικώς δυνατών αποτελεσμάτων.



Αυτή η τοποεκλεκτικότητα γενικεύεται με τον **κανόνα Markovnikov**: κατά την προσθήκη ενός υδρογονοαλογονιδίου H-X σ' ένα αλκένιο, το υδρογόνο προστίθεται στον άνθρακα του διπλού δεσμού που έχει τον μεγαλύτερο αριθμό υδρογόνων.

Ο κανόνας Markovnikov προβλέπει αλλά δεν εξηγεί την δημιουργία ενός δεσπόμενου προϊόντος.

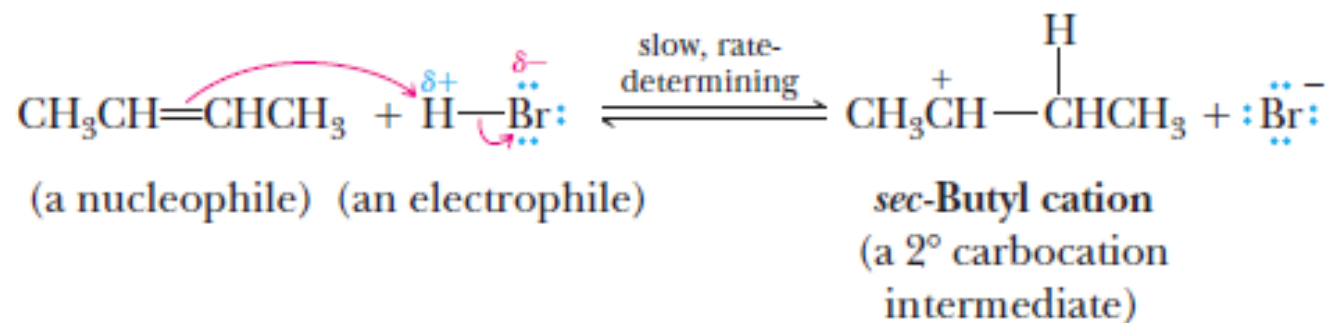
5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη υδρογονοαλογονιδίων - Μηχανισμός

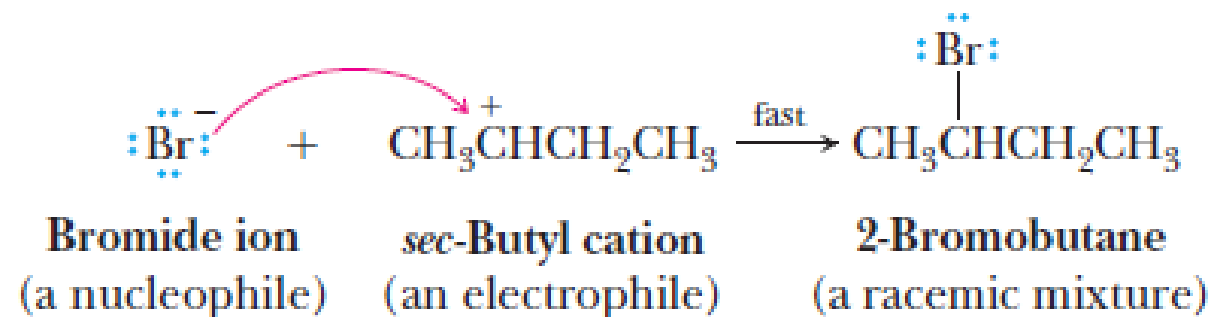
Η προσθήκη ξεκινάει με την μεταφορά πρωτονίου από το H-Br στο 2-βουτένιο, όπως φαίνεται και από τα καμπυλωτά βέλη στην αντίδραση.

Το πρώτο βέλος δείχνει ότι ο π-δεσμός του αλκενίου διασπάται και το ζεύγος ηλεκτρονίων του σχηματίζει έναν νέο ομοιοπολικό δεσμό με το υδρογόνο του H-Br.

Το δεύτερο βέλος δείχνει ότι ο πολικός ομοιοπολικός δεσμός στο H-Br διασπάται και το ζεύγος ηλεκτρονίων του μετακινείται στο Br προς σχηματισμό ιόντος βρωμίου. Το αποτέλεσμα αυτού του σταδίου είναι ο σχηματισμός ενός οργανικού κατιόντος και ενός ιόντος βρωμίου.



Η αντίδραση του ιόντος του δευτεροταγούς βουτυλίου, που είναι ηλεκτρονιόφιλο με το ιόν του βρωμίου, ένα πυρηνόφιλο, συμπληρώνει την στοιβάδα σθένους του άνθρακα και δίνει 2-βρωμοβουτάνιο.



5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη υδρογονοαλογονιδίων - Μηχανισμός

Η αντίδραση ξεκινάει όταν ο πλούσιος σε ηλεκτρόνια π-δεσμός του αλκενίου (η πηγή ηλεκτρονίων) αλληλεπιδρά με το σχετικά ηλεκτροθετικό άτομο H του HBr (υποδοχέας ηλεκτρονίων) προς σχηματισμό ενός νέου δεσμού.

Ο π-δεσμός είναι σχετικά πλούσιος σε ηλεκτρόνια επειδή η ηλεκτρονιακή πυκνότητα ενός π-δεσμού βρίσκεται πάνω και κάτω από τον άξονα του δεσμού, όχι μεταξύ των θετικά φορτισμένων πυρήνων των ατόμων, όπως στην περίπτωση των σ-δεσμών.

Οι περισσότερες αντιδράσεις των αλκενίων ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία, με τον π-δεσμό να λειτουργεί ως πυρηνόφιλο και να αλληλεπιδρά με μια ποικιλία ηλεκτρονιόφιλων. Αυτό το μηχανιστικό βήμα αναφέρεται ως **δημιουργία δεσμού μεταξύ ενός πυρηνόφιλου (π-δεσμός) και ενός ηλεκτρονιόφιλου**, για να δοθεί έμφαση στο ότι η πηγή του βέλους δημιουργίας δεσμού είναι ο π-δεσμός του αλκενίου.

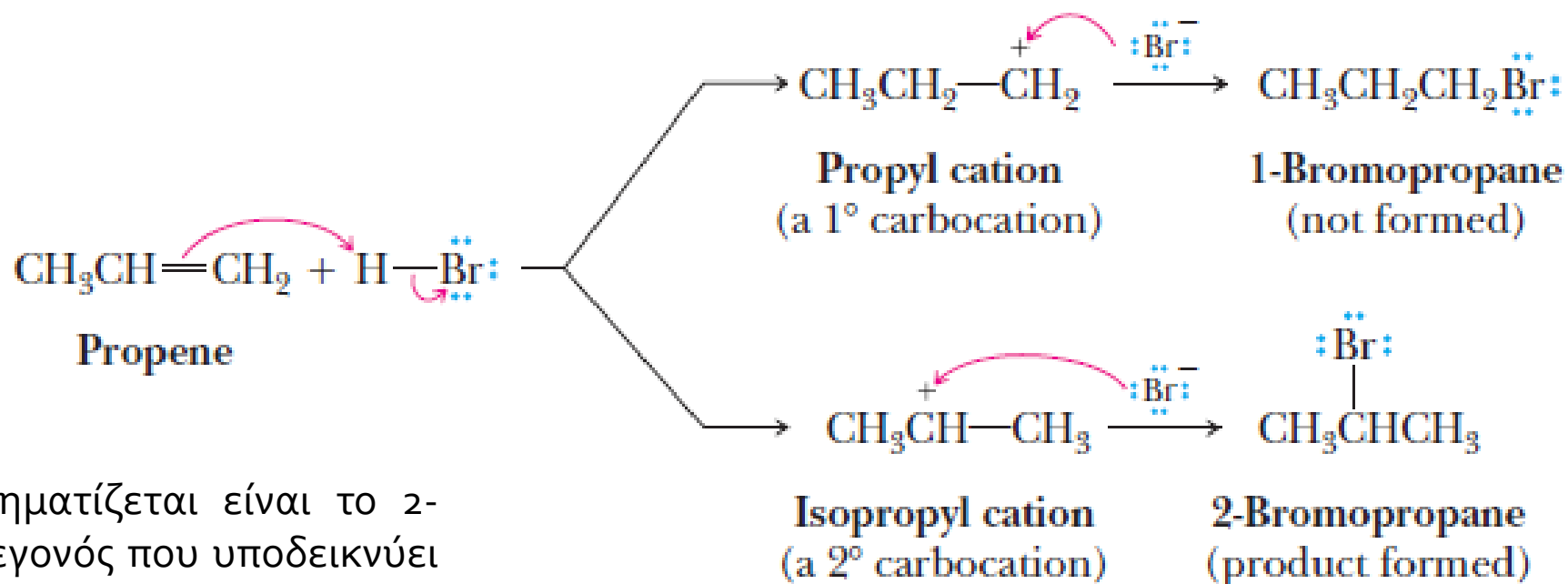
Επειδή σ' αυτήν την περίπτωση το πρωτόνιο είναι το ηλεκτρονιόφιλο, αυτό το βήμα μπορεί να θεωρηθεί και ως **προσθήκη πρωτονίου**.

Το HBr μπορεί να θεωρηθεί ως ηλεκτρονιόφιλο επειδή έχει μια περιοχή χαμηλής ηλεκτρονιακής πυκνότητας και επομένως μερικού θετικού φορτίου στο άτομο H. Η διάσπαση του δεσμού H-Br οδηγεί στην δημιουργία σταθερού ανιόντος Br.

5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη υδρογονοαλογονιδίων – Τοποεκλεκτικότητα και σχετική σταθερότητα καρβοκατιόντων

Η αντίδραση ενός HX και ενός αλκενίου μπορεί θεωρητικά να δώσει δύο διαφορετικά ενδιάμεσα καρβοκατιόντα, επειδή το πρωτόνιο μπορεί να μεταφερθεί σε καθένα από τους άνθρακες του διπλού δεσμού.

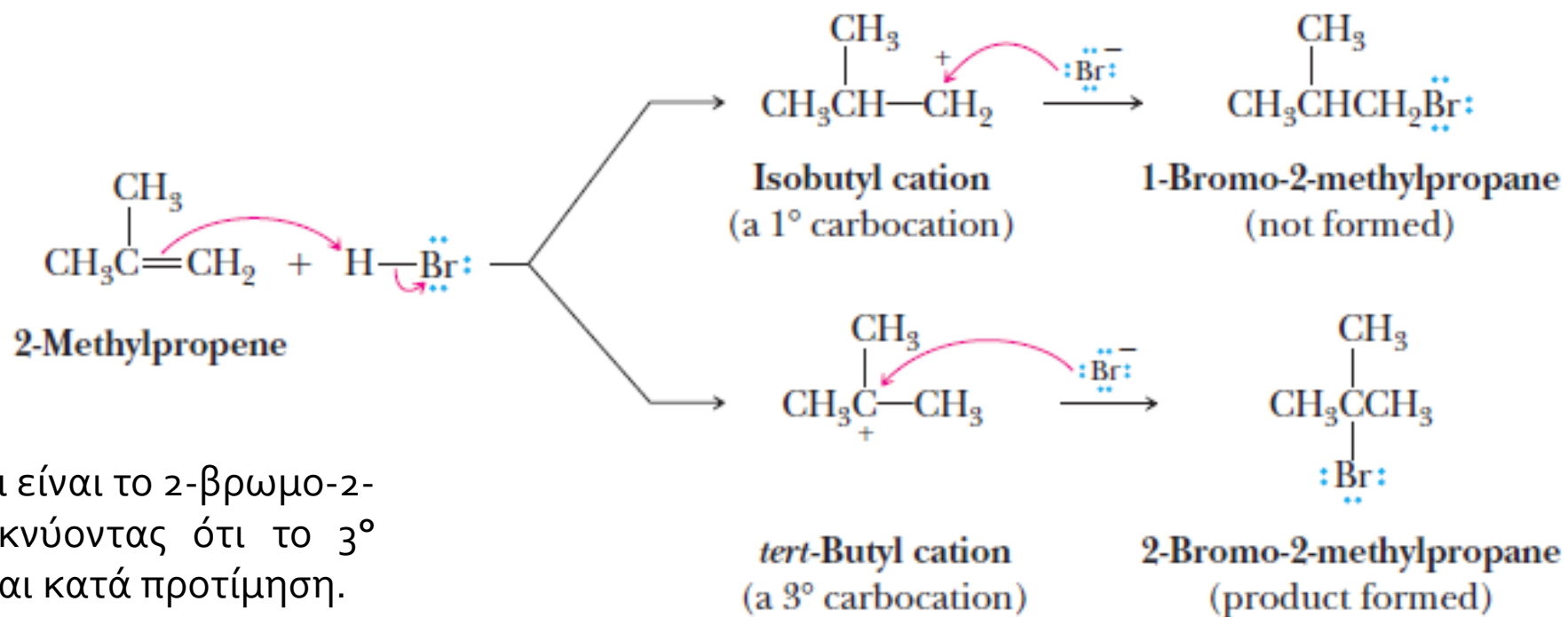


Το προϊόν που σχηματίζεται είναι το 2-βρωμοπροπάνιο, γεγονός που υποδεικνύει ότι το 2° ενδιάμεσο καρβοκατιόν σχηματίζεται κατά προτίμηση, σε σχέση με το 1° ενδιάμεσο καρβοκατιόν.

5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη υδρογονοαλογονιδίων – Τοποεκλεκτικότητα και σχετική σταθερότητα καρβοκατιόντων

Ομοίως, στην αντίδραση του HBr με το 2-μεθυλπροπάνιο, η μεταφορά πρωτονίου στον διπλό δεσμό μπορεί να σχηματίσει είτε το κατιόν ισοβουτυλίου (ένα 1° καρβοκατιόν) είτε το κατιόν *tert*-βουτυλίου (ένα 3° καρβοκατιόν).



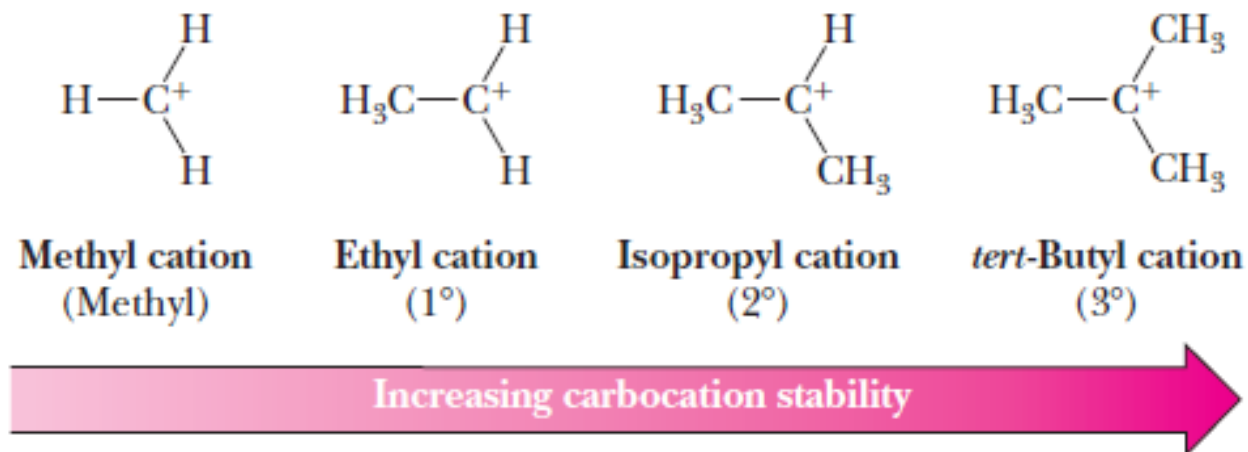
Το προϊόν που προκύπτει είναι το 2-βρωμο-2-μεθυλπροπάνιο, υποδεικνύοντας ότι το 3° καρβοκατιόν σχηματίζεται κατά προτίμηση.

5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη υδρογονοαλογονιδίων – Τοποεκλεκτικότητα και σχετική σταθερότητα καρβοκατιόντων

Από μια σειρά παρόμοιων πειραμάτων είναι γνωστό ότι ένα 3° καρβοκατιόν είναι πιο σταθερό και απαιτεί χαμηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης για τον σχηματισμό του, απ' ό,τι ένα 2° καρβοκατιόν. Ομοίως, ένα 2° καρβοκατιόν είναι πιο σταθερό και ο σχηματισμός του απαιτεί χαμηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης απ' ό,τι ένα 1° καρβοκατιόν.

Το μεθυλ και το 1° καρβοκατιόν είναι τόσο ασταθή που σπάνια παρατηρούνται σε διαλύματα. Ένα πιο σταθερό καρβοκατιόν σχηματίζεται ταχύτερα. Παρακάτω δίνεται η σειρά σταθερότητας τεσσάρων τύπων αλκυλ καρβοκατιόντων.



5. Αντιδράσεις αλκενίων

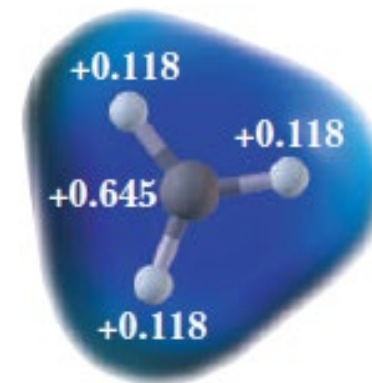
Επαγωγικό φαινόμενο (inductive effect)

Το επαγωγικό φαινόμενο λειτουργεί ως εξής: Η ηλεκτρονιακή ανεπάρκεια ενός κατιονικού άνθρακα ασκεί ένα **επαγωγικό φαινόμενο** απόσπασης ηλεκτρονίων που πολώνει ηλεκτρόνια από γειτονικούς σ-δεσμούς προς αυτό. Μ' αυτόν τον τρόπο, το θετικό φορτίο του κατιόντος δεν είναι εντοπισμένο στον τρισθενή άνθρακα αλλά μετατοπίζεται στα γειτονικά άτομα.

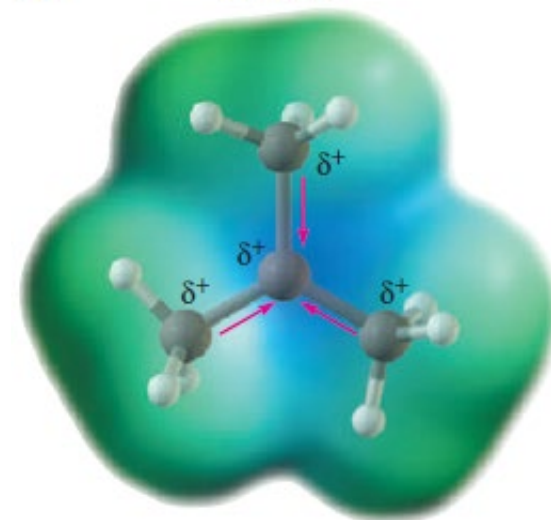
Όσο μεγαλύτερος ο όγκος στον οποίο μετατοπίζεται το θετικό φορτίο, τόσο μεγαλύτερη η σταθερότητα του κατιόντος. Καθώς αυξάνει ο αριθμός των αλκυλίων που ενώνονται με τον κατιονικό άνθρακα, αυξάνει και η σταθερότητα του κατιόντος. Η εικόνα δείχνει το επαγωγικό φαινόμενο απόσπασης ηλεκτρονίων του θετικά φορτισμένου άνθρακα και την επακόλουθη μετατόπιση φορτίου.

Σύμφωνα με σχετικούς υπολογισμούς, ακόμα και στο μεθυλ κατιόν, το θετικό φορτίο δεν εντοπίζεται εξολοκλήρου στον άνθρακα, αλλά μετατοπίζεται σε όλον τον όγκο που καταλαμβάνει το ιόν. Αυτή η μετατόπιση είναι πιο εκτενής στο *tert*-βουτυλ κατιόν.

(a) H_3C^+



(b) $(\text{CH}_3)_3\text{C}^+$



5. Αντιδράσεις αλκενίων

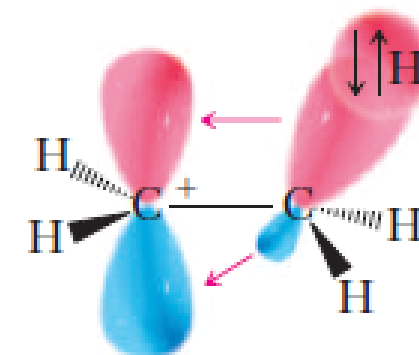
Υπερσυζυγιακό φαινόμενο (hyperconjugation)

Το δεύτερο φαινόμενο που σχετίζεται με την σταθεροποίηση των καρβοκατιόντων από αλκυλομάδες είναι το **υπερσυζυγιακό φαινόμενο**.

Σ' αυτό εμπλέκεται μερική αλληλοεπικάλυψη τροχιακών σ-δεσμών ενός γειτονικού C-H ή C-C δεσμού της αλκυλομάδας με το κενό $2p$ τροχιακό του καρβοκατιόντος.

Με άλλα λόγια, μερική ηλεκτρονιακή πυκνότητα από την αλκυλομάδα του δεσμού C-H ή C-C διαπλέκεται (υπεισέρχεται) στο $2p$ τροχιακό. Η μετατόπιση αυτή είναι το αποτύπωμα του υπερσυζυγιακού φαινομένου.

Cartoon diagram of the ethyl cation. There is delocalization of C—H bonding electrons into the empty $2p$ orbital of the positively charged carbon. The orbital that results from this delocalization contains two electrons [see (b)].



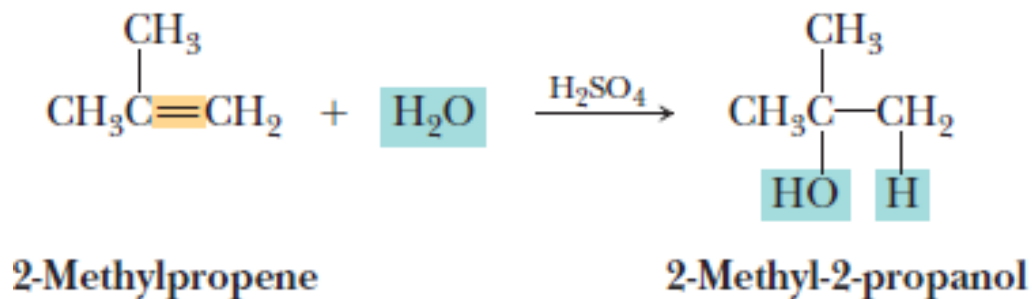
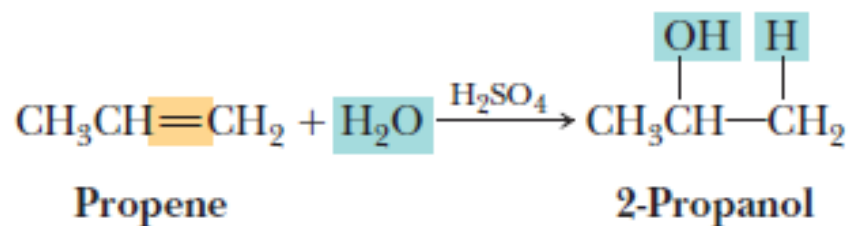
Το καθαρό αποτέλεσμα του υπερσυζυγιακού φαινομένου είναι μια αύξηση της ηλεκτρονιακής πυκνότητας στο καρβοκατιόν, και επομένως μετατόπιση του θετικού φορτίου σε γειτονικές αλκυλομάδες.

Αν περισσότερες αλκυλομάδες ενώνονται με το καρβοκατιόν, το υπερσυζυγιακό φαινόμενο γίνεται ισχυρότερο και το καρβοκατιόν σταθερότερο.

5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη νερού

Υπό την παρουσία όξινου καταλύτη, συνήθως πυκνού θειικού οξέος, γίνεται προσθήκη νερού σε αλκένια προς δημιουργία αλκοολών. Η αντίδραση αυτή ονομάζεται ενυδάτωση.



Στην περίπτωση απλών αλκενίων, το H προστίθεται στον άνθρακα του διπλού δεσμού με τον μεγαλύτερο αριθμό υδρογόνων και το OH στον άνθρακα με τα λιγότερα.

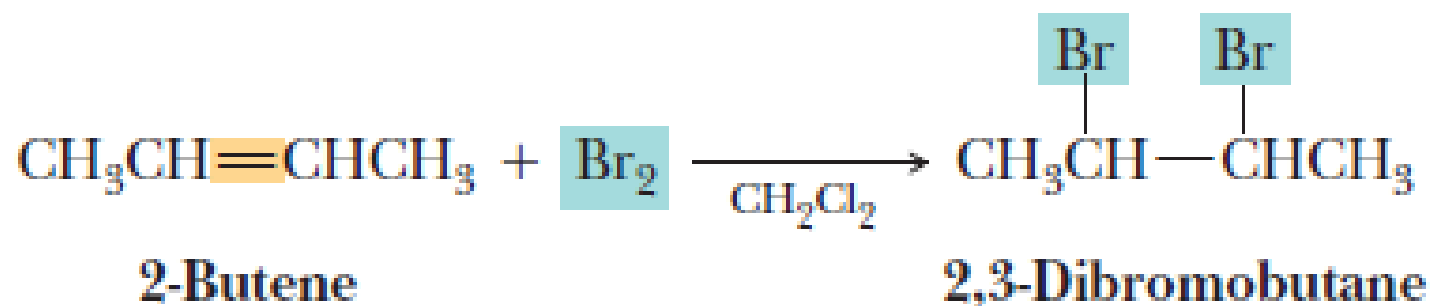
Έτσι, η προσθήκη H-OH στα αλκένια γίνεται σύμφωνα με τον κανόνα Markovnikov.

5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη βρωμίου και χλωρίου

Το Cl_2 και το Br_2 αντιδρούν με αλκένια σε θερμοκρασία δωματίου με προσθήκη ατόμων αλογόνου στα άτομα άνθρακα του διπλού δεσμού, σχηματίζοντας δύο νέους δεσμούς άνθρακα – αλογόνου.

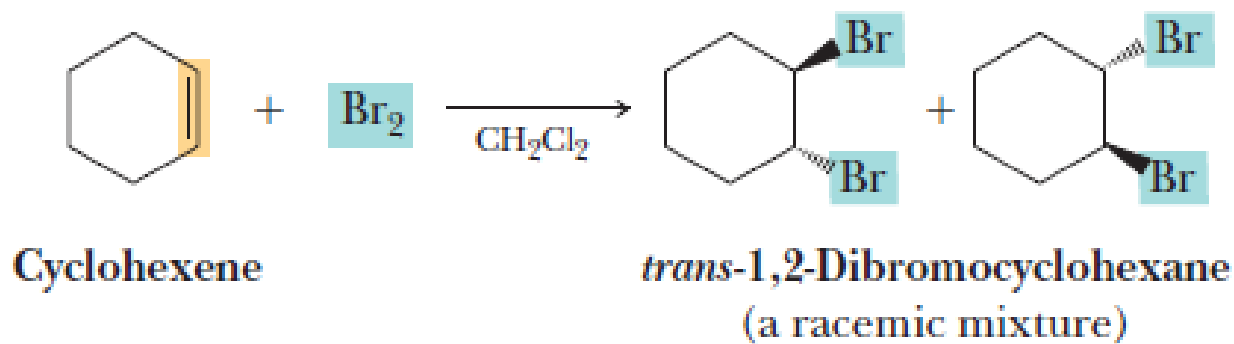
Το F_2 αντιδρά πολύ γρήγορα και οι αντιδράσεις του είναι δύσκολο να ελεγχθούν, γι' αυτό και δεν εμφανίζουν ιδιαίτερη χρησιμότητα. Το I_2 δεν δίνει ποσοτικές αντιδράσεις.



5. Αντιδράσεις αλκενίων

Προσθήκη βρωμίου και χλωρίου

Η προσθήκη Br_2 ή Cl_2 σ' ένα κυκλοαλκένιο δίνει ένα *trans*-διαλογονοαλκάνιο που σχηματίζεται ως ρακεμικό μίγμα. Η προσθήκη Br_2 στο κυκλοεξένιο, για παράδειγμα, δίνει *trans*-1,2-διβρωμοκυκλοεξάνιο.



Τα δύο εναντιομερή δεν έχουν επίπεδο συμμετρίας ή κέντρο συμμετρίας, οπότε είναι αμφότερα χειρόμορφες ενώσεις.

Αυτές οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται με αντι-προσθήκη των ατόμων αλογόνου, δηλαδή γίνονται με **αντι-στερεοεκλεκτικότητα**.

Βιβλιογραφία

Brown W.H., Iverson B.L., Anslyn E.V., Foote C.S., Novak B.M., **2014**. Organic Chemistry, 7th Edition, Wadsworth Cengage Learning, U.S.A.