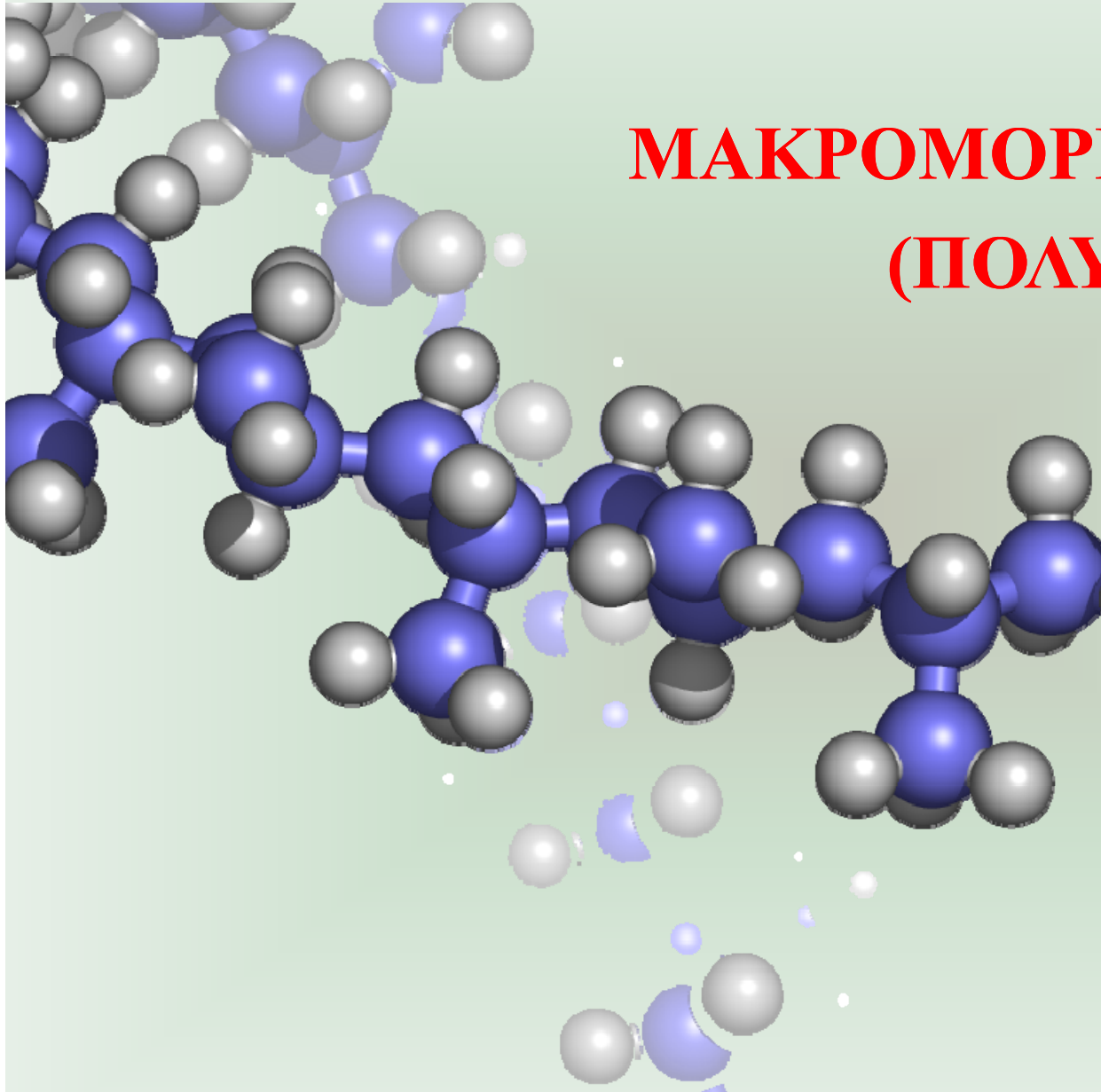


# ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

## ΜΑΚΡΟΜΟΡΙΑΚΗ ΧΗΜΕΙΑ (ΠΟΛΥΜΕΡΗ)



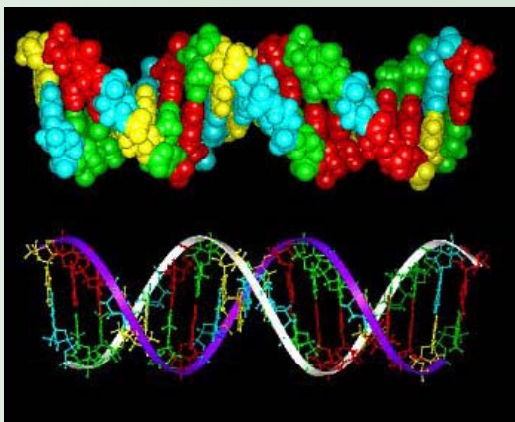
Ιστοσελίδα μαθήματος: <http://eclass.uoa.gr/courses/CHEM126/>



"I just want to say one word to you -  
- just one word -- '**plastics**.'"

*The Graduate*

# Πολυμερή στην καθημερινή ζωή



**DNA**



**Άμυλο**



**Κυτταρίνη**



**Ελαστικά**



**HDPE**



**Teflon**



**Nylon**



**PVC**

# Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
2. ‘ΠΛΑΣΤΙΚΑ’ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ
3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ
4. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ
5. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ
6. ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ
7. ΜΕΣΑ ΜΟΡΙΑΚΑ ΒΑΡΗ
8. ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΥ
9. ΣΤΑΔΙΑΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΥ
10. ΑΛΥΣΩΤΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΥ
11. ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΡΙΖΕΣ
12. ΑΝΙΟΝΤΙΚΟΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ
13. ΚΑΤΙΟΝΤΙΚΟΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ
14. ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ ΜΕΓΕΘΩΝ
15. ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΙΑ ΑΡΑΙΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ
16. ΩΣΜΩΜΕΤΡΙΑ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ
17. ΩΣΜΩΜΕΤΡΙΑ ΤΑΣΗΣ ΑΤΜΩΝ
18. ΣΤΑΤΙΚΗ ΣΚΕΔΑΣΗ ΦΩΤΟΣ

# Χρονολογική Ανάπτυξη Βιομηχανικών Πολυμερών

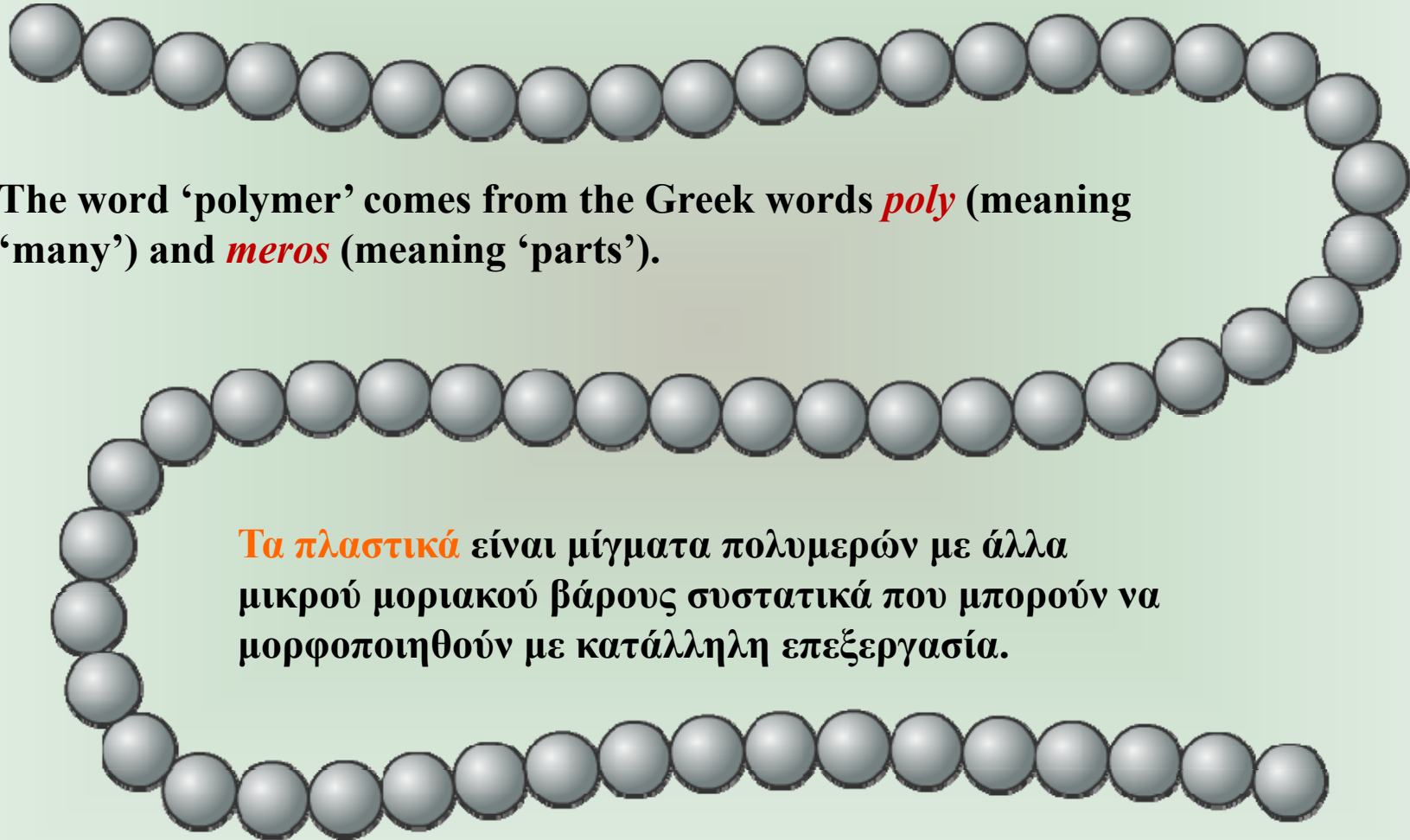
<u>Χρόνος</u>	<u>Πολυμερές</u>	<u>Χρόνος</u>	<u>Πολυμερές</u>
Πριν το 1800	Βαμβάκι, Λινάρι, Μαλλί, Μετάξι, Ασφαλτώδη υλικά, Δέρμα, Χαρτί, Φυσικό καουτσούκ, Γουταπέρκα	1950	Πολυεστερικές ίνες
<b>1839</b>	<b>Βουλκανισμός καουτσούκ (C. Goodyear)</b>	1950	Πολυακρυλονιτριλικές ίνες
1851	Εβονίτης (Nelson Goodyear)	1956	Πολυοξυμεθυλένιο
1862	Νιτρική κυτταρίνη (A. Parkes)	<b>1957</b>	<b>Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (Ziegler)</b>
1868	Κελλουλοΐτης (J. Hyatt)	<b>1957</b>	<b>Πολυπροπυλένιο Ισοτακτικό (Natta)</b>
<b>1889</b>	<b>Αναγεννημένη κυτταρίνη (Chardonet)</b>	1957	Πολυανθρακικά
1890	Ραιγιόν χαλκαμμωνίας (Despeisses)	1959	Ελαστομερή cis-πολυβουταδιενίου και cis-πολυισοπρενίου
1892	Ραιγιόν βισκόζης (Cross, Bevan, Beadle)	1960	Συμπολυμερή αιθυλενίου-προπυλενίου
<b>1907</b>	<b>Βακελίτης (Baekeland)</b>	1962	Πολυϊμιδικές ρητίνες
1907	Οξική κυτταρίνη (Doerfingher)	1964	Πολυ(φαινυλενοξειδίο)
1926	Αλκυδικοί πολυεστέρες (Kienle)	1965	Πολυσουλφόνες
<b>1927</b>	<b>Πολυ(βινυλοχλωρίδιο)</b>	<b>1965</b>	<b>Συμπολυμερή κατά συστάδες στυρενίου – βουταδιενίου</b>
1929	Πολυσουλφίδια (Patrick)	1971	Πολυ(τερεφθαλικός βουτυλενεστέρας)
<b>1931</b>	<b>Πολυ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)</b>	1972	Θερμοπλαστικά Πολυιμίδια
1931	Πολυχλωροπρένιο	1973	Πολυαιθεροσουλφόνες
1936	Πολυ(οξικός βινυλεστέρας)	1974	Πολυβουτυλένιο
<b>1937</b>	<b>Πολυστυρένιο</b>	1983	Πολυαιθεροαιθεροκετόνες
<b>1938</b>	<b>Nylon-6,6 (Carothers)</b>	<b>1985</b>	<b>Υγρά Κρυσταλλικά Πολυμερή</b>
1940	Βουτυλικό καουτσούκ (Sparks – Thomas)	<b>1987</b>	<b>Πολυακετυλένια</b>
<b>1941</b>	<b>Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας</b>	<b>1992</b>	<b>Γραμμικό Πολυαιθυλένιο Χαμηλής Πυκνότητας</b>
<b>1943</b>	<b>Teflon (Plunkett)</b>	<b>1998</b>	<b>Νανοςύνθετα Πολυμερικά Υλικά</b>
<b>1943</b>	<b>Σιλικόνες</b>	<b>2001</b>	<b>Κράμματα Πολυεστέρων/Πολυανθρακικών</b>
<b>1943</b>	<b>Πολυουρεθάνες (Baeyer)</b>		
<b>1947</b>	<b>Εποξειδικές ρητίνες</b>		
1948	Συμπολυμερή ακρυλονιτριλίου – βουταδιενίου - στυρενίου (ABS)		

# Βασικές έννοιες

- Πολυμερές (polymer) ή μακρομόριο (macromolecule)
- Ολιγομερές (oligomer)
- Μονομερές (monomer)
- Δομικές μονάδες (repeating units) ή μονομερικά στοιχεία (monomeric units)

Πολυμερές είναι ουσία που τα μόριά της χαρακτηρίζονται από την επανάληψη ενός ή περισσότερων ειδών ατόμων ή ομάδων ατόμων, που αποκαλούνται δομικές μονάδες, ενωμένων μεταξύ τους με ομοιοπολικό δεσμό, σε ένα ικανοποιητικό αριθμό, ώστε η ουσία να παρουσιάζει ένα σύνολο ιδιοτήτων που δεν μεταβάλλεται πρακτικά με την προσθήκη ή αφαίρεση μίας ή περισσότερων δομικών μονάδων.

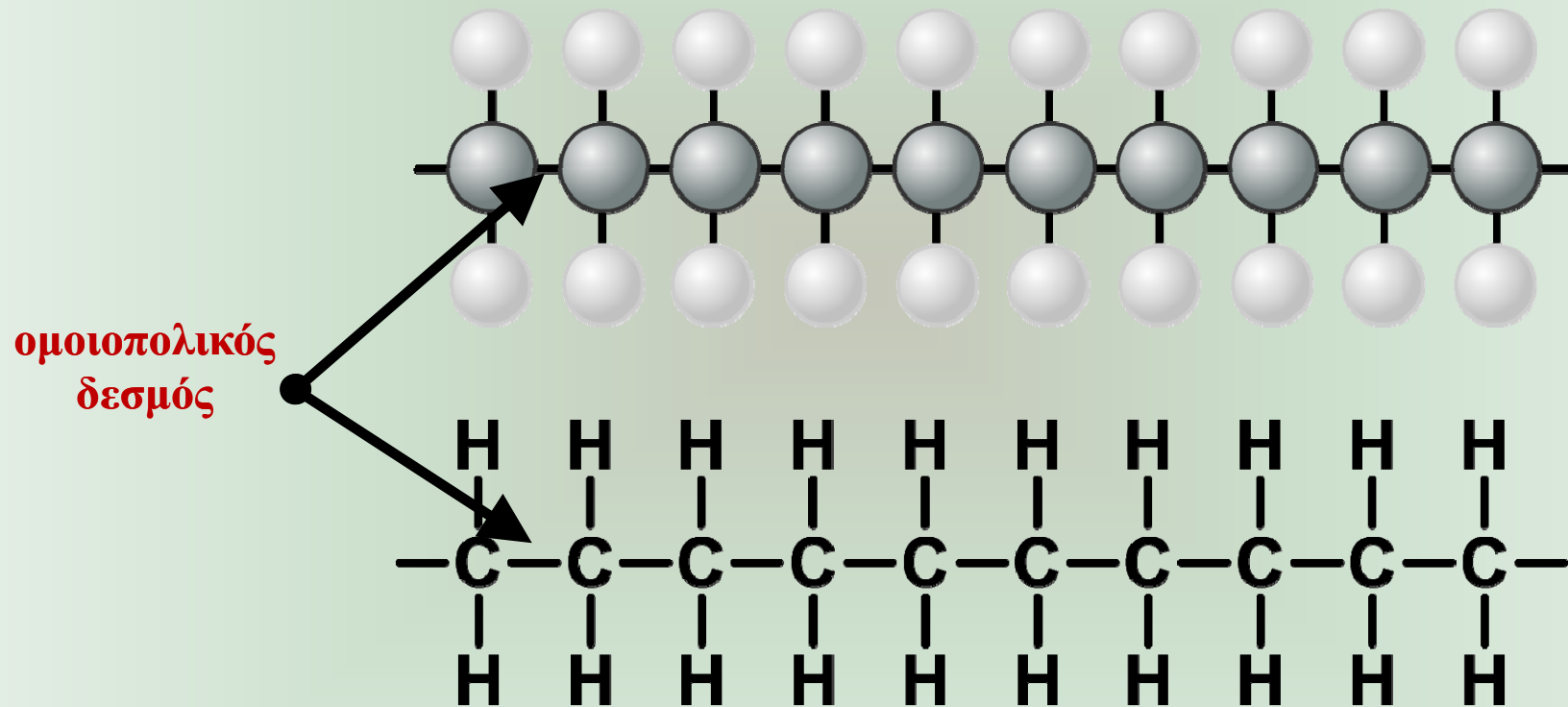
**Τα πολυμερή** είναι μεγάλα μόρια που παρασκευάζονται όταν πολλά μόρια **μονομερών** συνδέονται χημικά μεταξύ τους σε μεγάλες αλυσίδες



The word 'polymer' comes from the Greek words *poly* (meaning 'many') and *meros* (meaning 'parts').

**Τα πλαστικά** είναι μίγματα πολυμερών με άλλα μικρού μοριακού βάρους συστατικά που μπορούν να μορφοποιηθούν με κατάλληλη επεξεργασία.

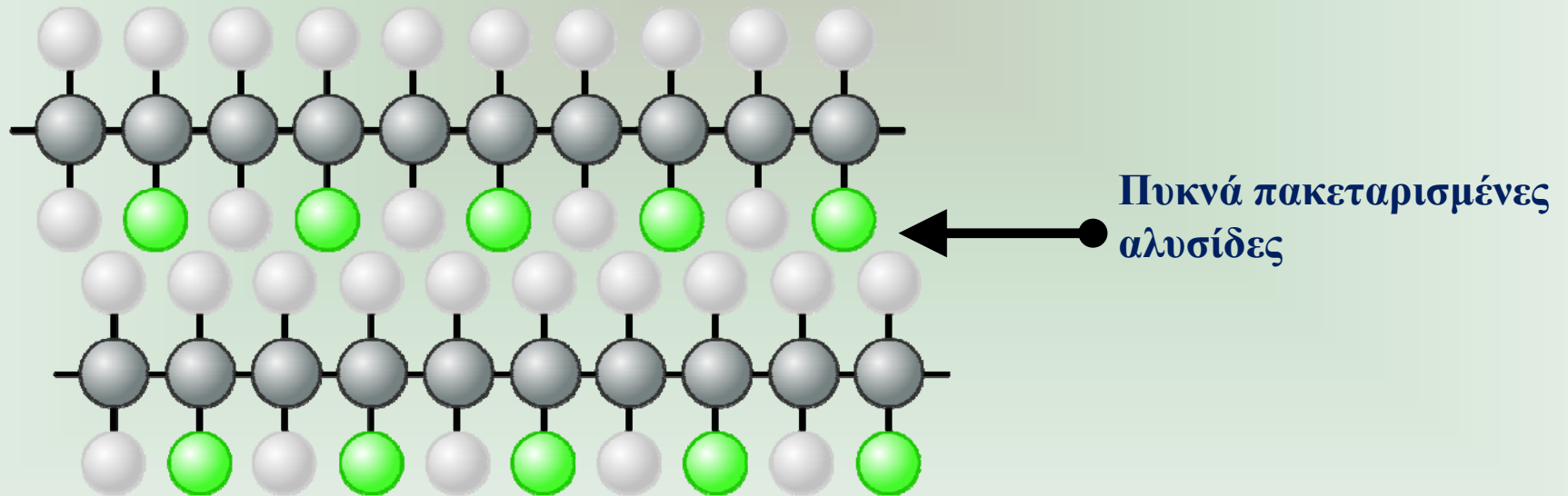
Τα μονομερή συνδέονται μεταξύ τους στην πολυμερική αλυσίδα με **ομοιοπολικούς δεσμούς**.



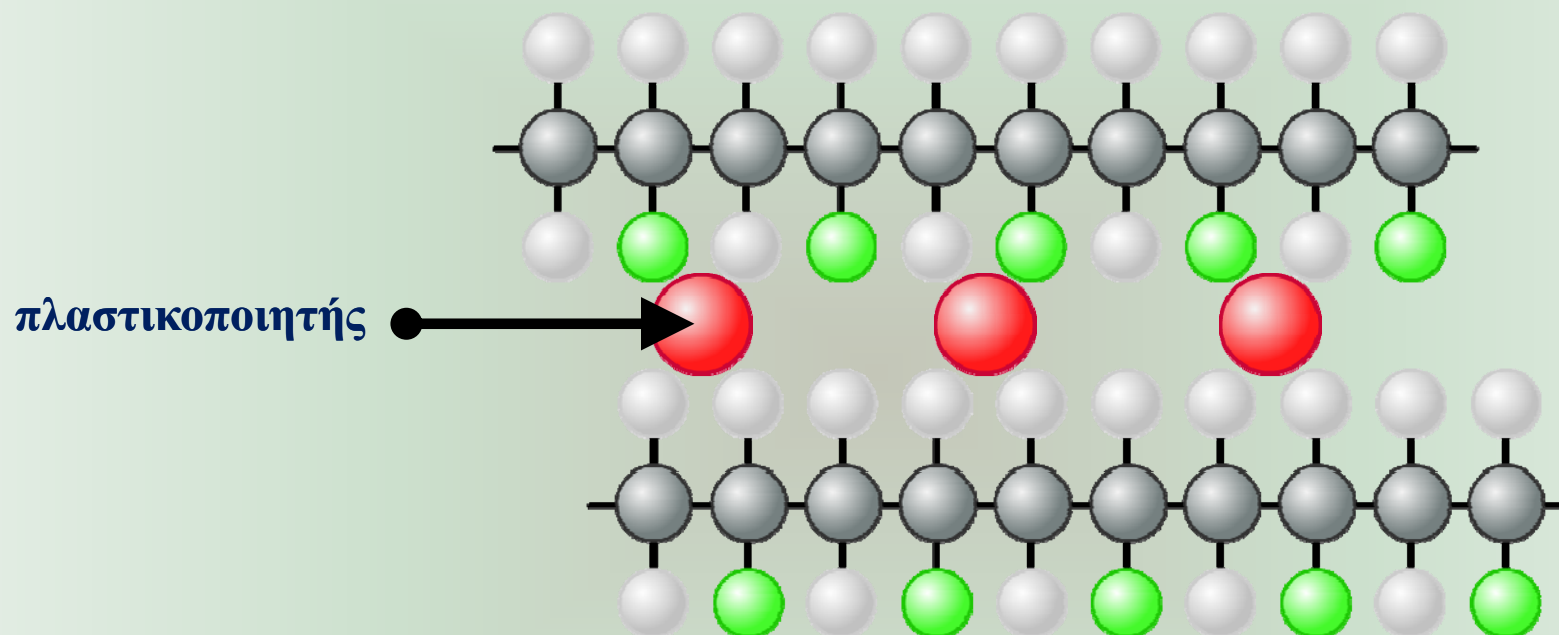


Το uPVC χρησιμοποιείται για την κατασκευή παραθύρων (σκληρό, ανθεκτικό και ελαφρύ)

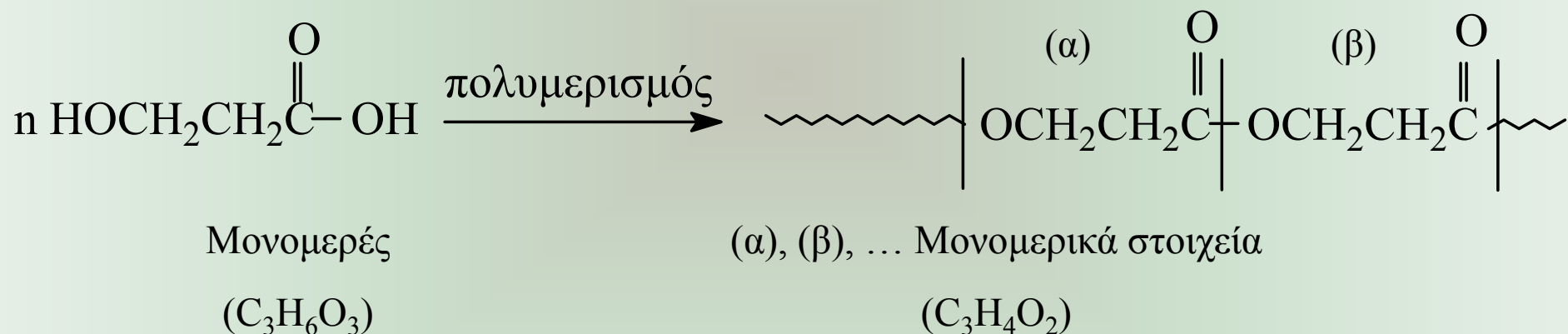
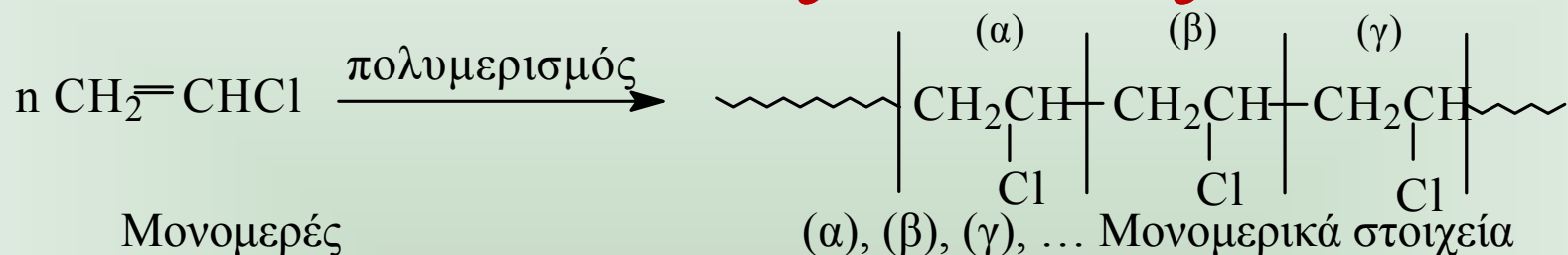
Το 'u' σημαίνει **unplasticized**, δηλαδή δεν έχει πλαστικοποιητή



Η προσθήκη **πλαστικοποιητή** επιτρέπει στις αλυσίδες να γλιστρούν μεταξύ τους



# Βασικές έννοιες



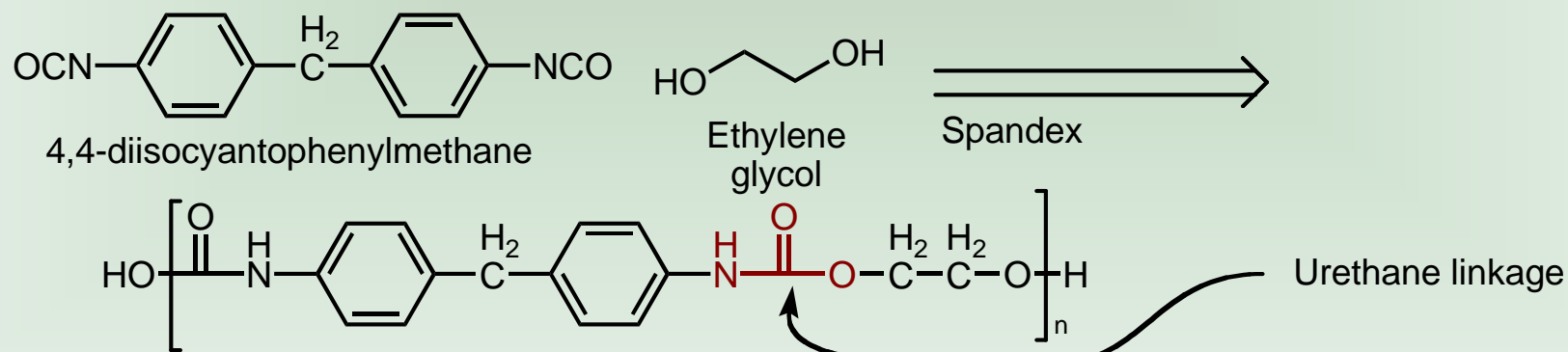
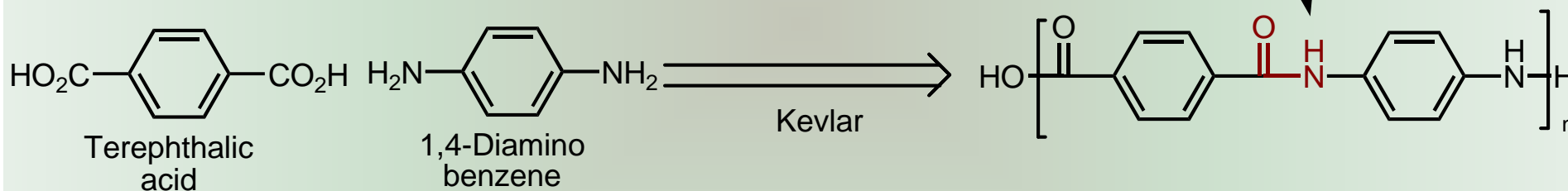
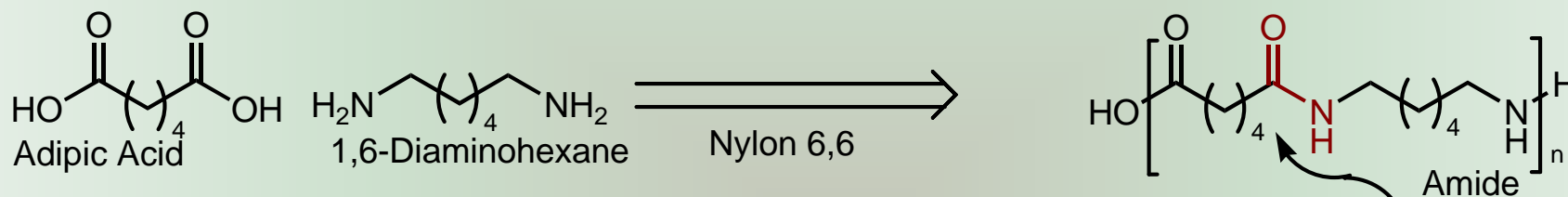
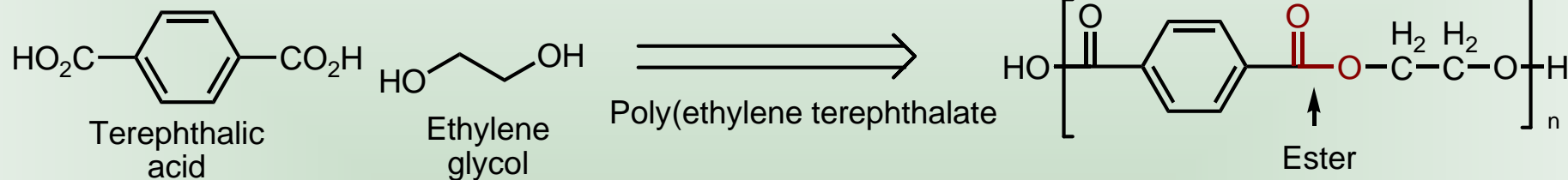
Ο αριθμός των μονομερικών στοιχείων του μακρομορίου ονομάζεται **βαθμός πολυμερισμού**, X (degree of polymerization) :

$$X = (\text{μοριακό βάρος πολυμερούς}) / (\text{μοριακό βάρος μονομερικού στοιχείου}) = M / M_0$$



## Monomer

## Polymer



# Ονοματολογία πολυμερών

Υπάρχουν τρία συστήματα ονοματολογίας των πολυμερών

## α) Εμπορικά ονόματα (trade names)

Terylene, Dakron, Trevira

Dylene, Dylite, Fostarene

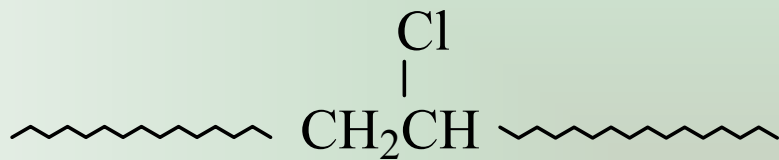
Plexiglas, Diakon

Nylon-m,n

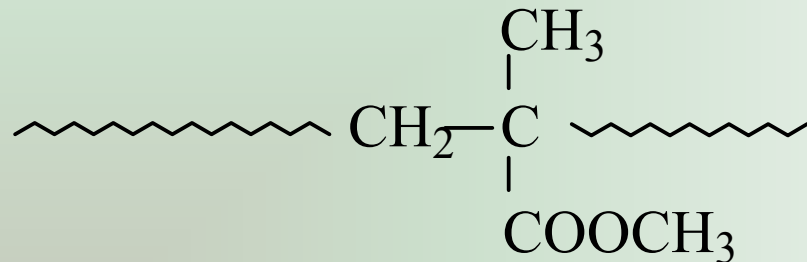
Nylon-m

# Ονοματολογία πολυμερών

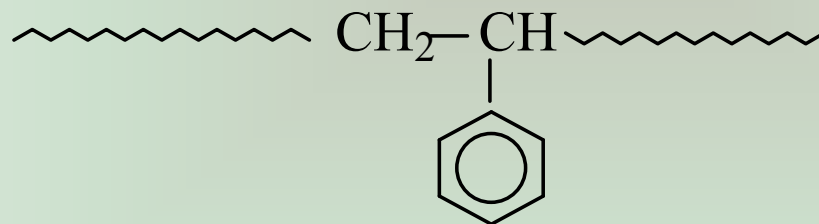
## β) Εμπειρικοί κανόνες χημικής ονοματολογίας



πολυ(βινυλοχλωρίδιο)

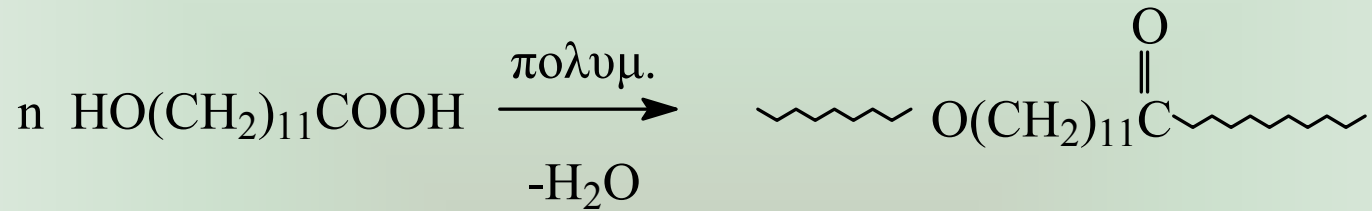


πολυ(μεθακρυλικος μεθυλεστερας)



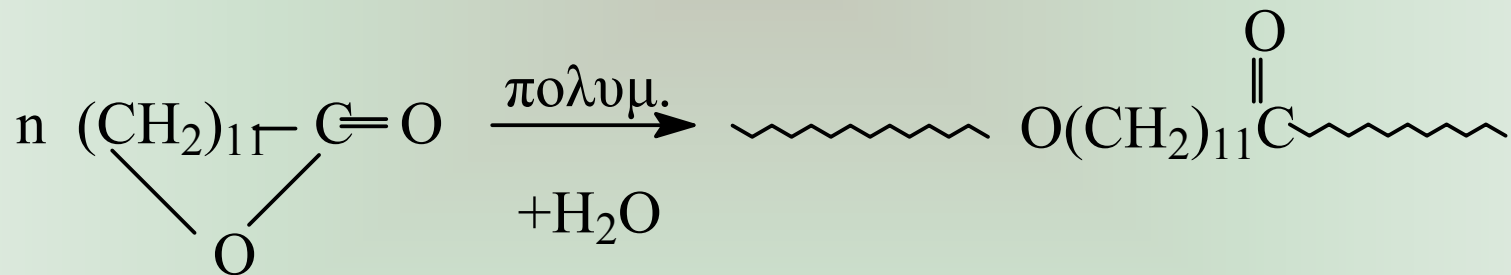
πολυστυρένιο

# Ονοματολογία πολυμερών



ω-υδροξυλαυρικό οξύ

πολυ(ω-υδροξυλαυρικό οξύ)

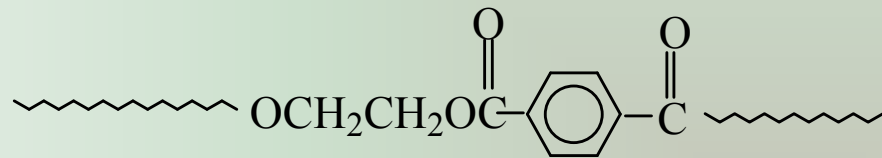
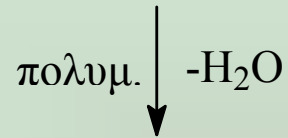
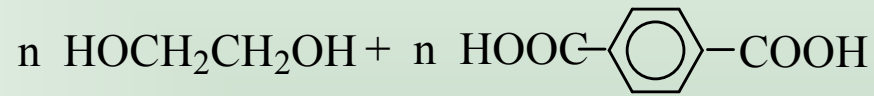


ω-λαυρολακτόνη

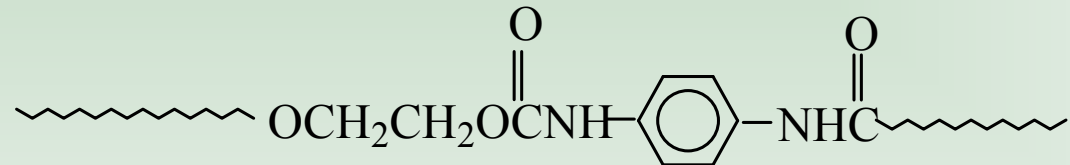
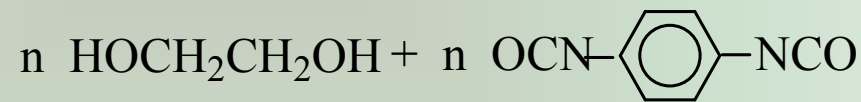
πολυ(ω-λαυρολακτόνη)



# Ονοματολογία πολυμερών



πολυ(τερεφθαλικός αιθυλενεστέρας)



πολυ(αιθυλενο-φαιλυλενο-ουρεθάνη)

# Ονοματολογία πολυμερών

## γ) Κανόνες χημικής ονοματολογίας κατά IUPAC

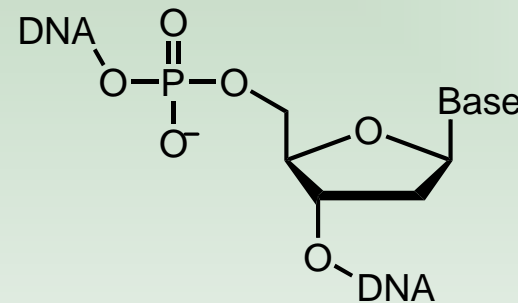
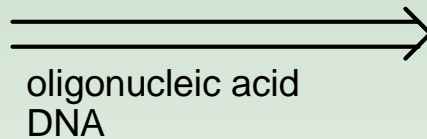
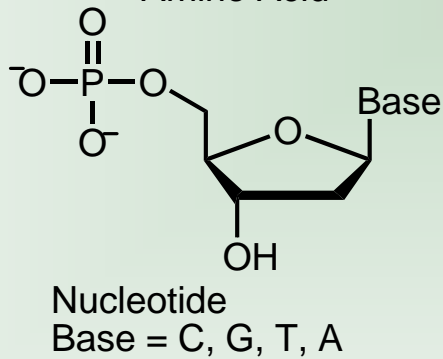
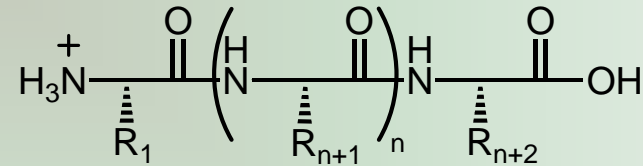
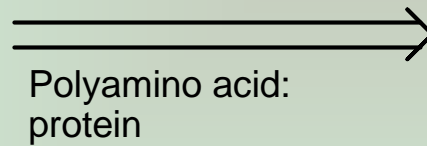
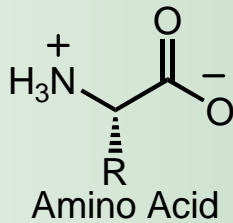
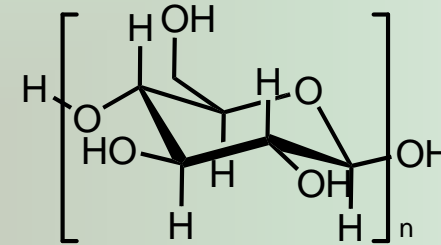
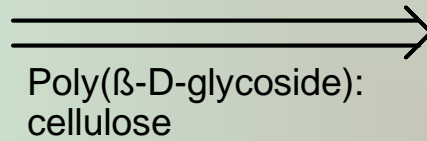
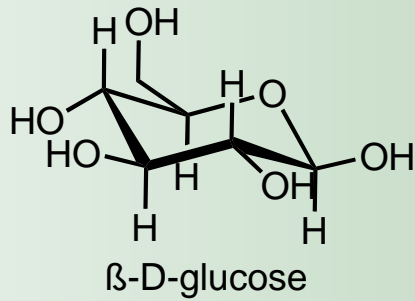
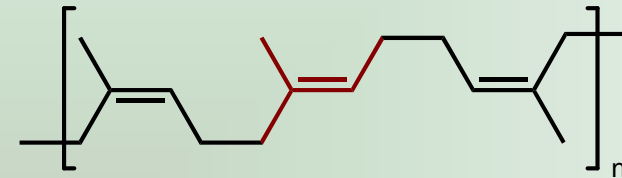
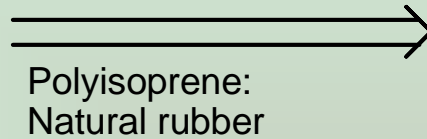
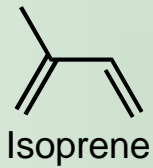
- πολυ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας) = πολυ(1-οξυμεθυλοκαρβονυλο-1-μεθυλοαιθυλένιο)
- πολυστυρένιο = πολυ(1-φαινυλοαιθυλένιο)
- πολυ(βινυλοχλωρίδιο) = πολυ(1-χλωροαιθυλένιο).

# Ταξινόμηση πολυμερών

- **Φυσικά πολυμερή** π.χ. πρωτεΐνες, κυτταρίνη, οξική και νιτρική κυτταρίνη, κλπ και
- **Συνθετικά πολυμερή** π.χ. πολυαιθυλένιο, πολυστυρένιο, πολυαμίδια, πολυεστέρες, κλπ.

# Φυσικά Πολυμερή

## Monomer



# Συνθετικά πολυμερή

Τα συνθετικά πολυμερή μπορούν να διαιρεθούν με τη σειρά τους:

α) Ανάλογα με τη χημική τους δομή

β) Ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στη θέρμανση και

γ) Ανάλογα με την ιδιότητα που κυριαρχεί στη χρησιμοποίησή τους.

# Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών ανάλογα με τη χημική τους δομή

- **Ομοπολυμερή** (homopolymers) και
- **Συμπολυμερή** (copolymers)

Ομοπολυμερή είναι τα πολυμερή που προέρχονται από την επανάληψη μιας και της αυτής δομικής μονάδας (A).

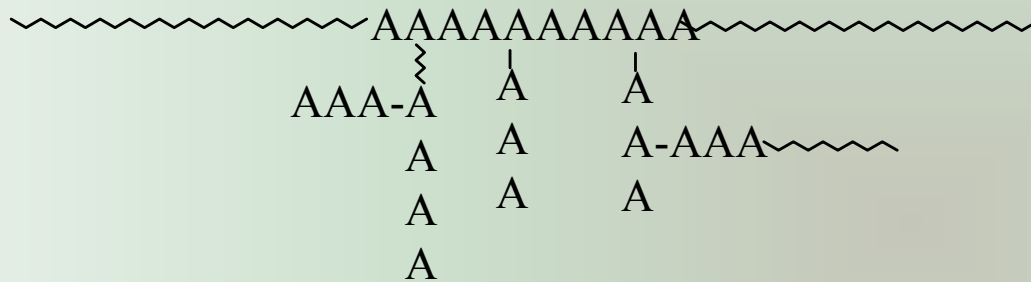
Τα συμπολυμερή προέρχονται από την επανάληψη δύο (A, B) ή περισσότερων δομικών μονάδων.

# Ομοπολυμερή

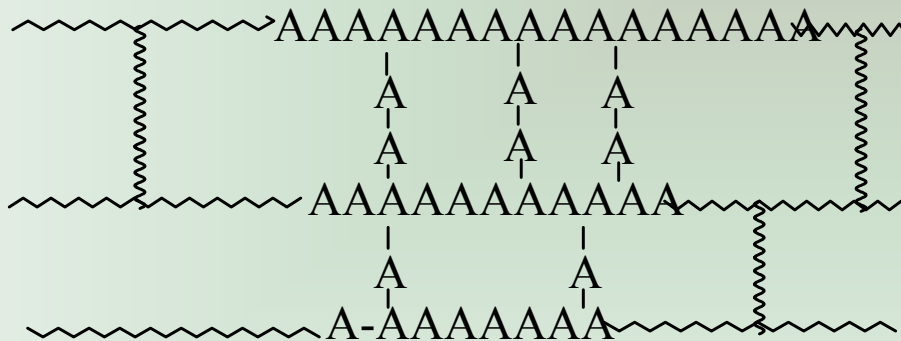
## 1. Γραμμικά ομοπολυμερή (linear homopolymers)



## 2. Διακλαδισμένα ομοπολυμερή (branched homopolymers)

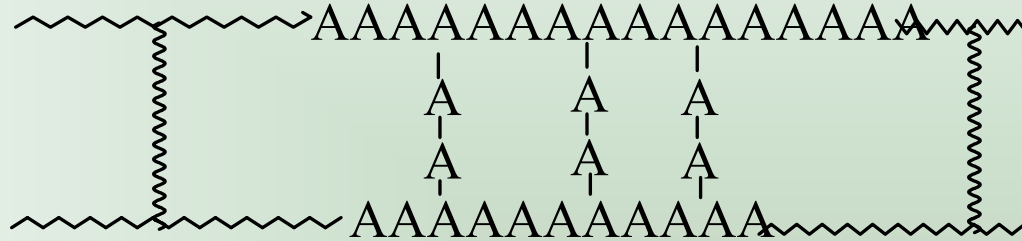


τυχαίο διακλαδισμένο πολυμερές  
(branched polymer)

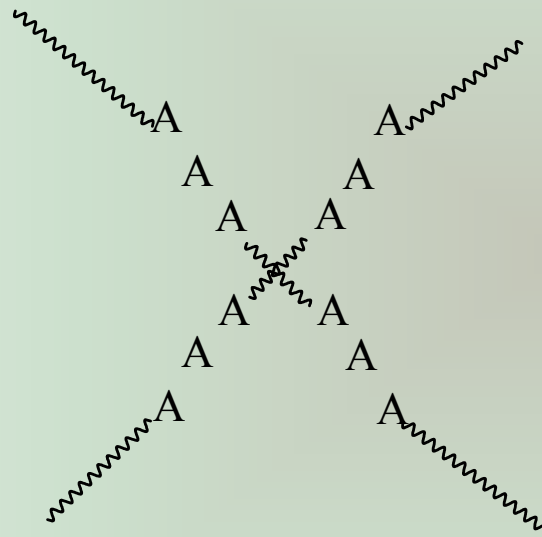


διακλαδισμένο πολυμερές  
σε σχήμα πλέγματος (network)

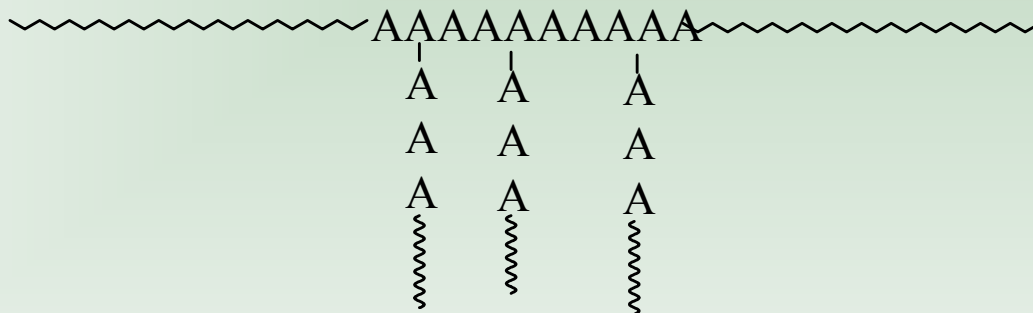
# Ομοπολυμερή



διακλαδισμένο πολυμερές  
σε σχήμα σκάλας  
(ladder polymer)



διακλαδισμένο πολυμερές  
σε σχήμα αστεριού  
(star polymer)

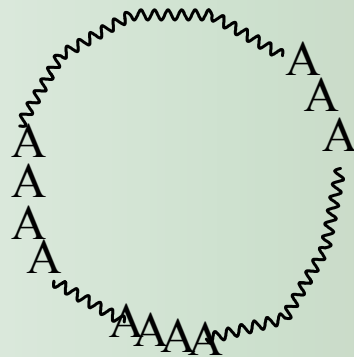


διακλαδισμένο πολυμερές  
σε σχήμα χτένας  
(comb polymer)



# Ομοπολυμερή

Κυκλικά ομοπολυμερή (cyclic ή ring homopolymers)



κυκλικό πολυμερές

# Συμπολυμερή

1. Τυχαία (random) ή στατιστικά (statistical) συμπολυμερή



πολυ(στυρένιο-co-ισοπρένιο)

2. Εναλλασσόμενα (alternating) συμπολυμερή

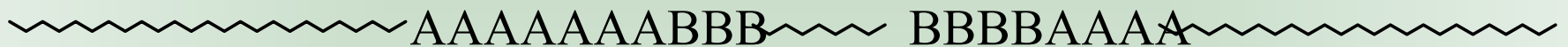


πολυ(στυρένιο-alt-ισοπρένιο)

3. Κατά συστάδες (block) συμπολυμερή



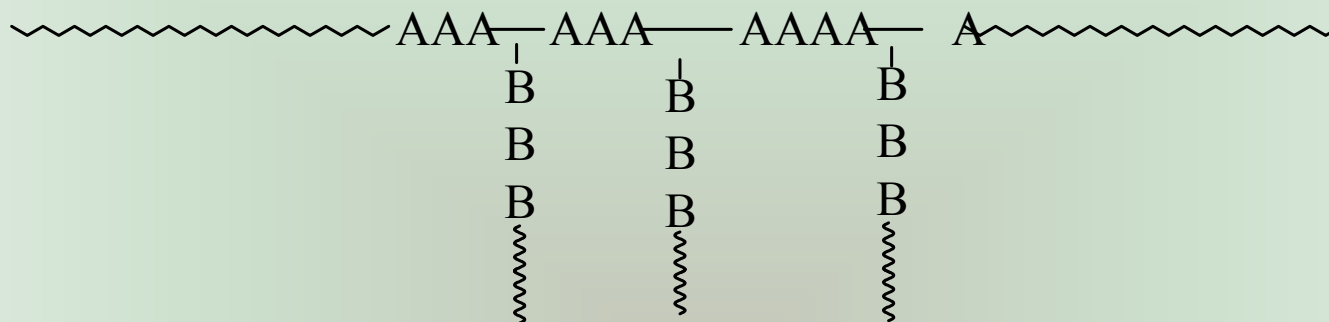
πολυ(στυρένιο-b-ισοπρένιο)



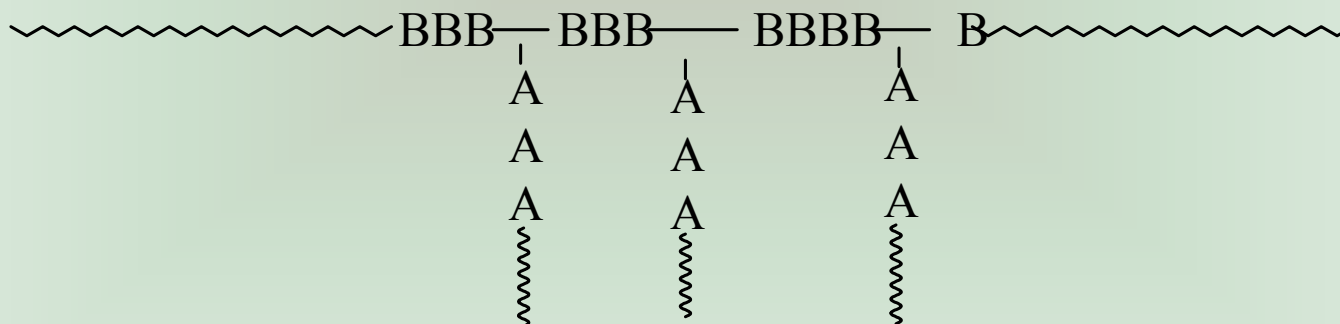
πολυ(στυρένιο-b-ισοπρένιο-b-στυρένιο)

# Συμπολυμερή

## 4. Εμβολιασμένα (graft) συμπολυμερή



πολυ(στυρένιο-g-ισοπρένιο)



πολυ(ισοπρένιο-g-στυρένιο )

# Ομοπολυμερή και Συμπολυμερή



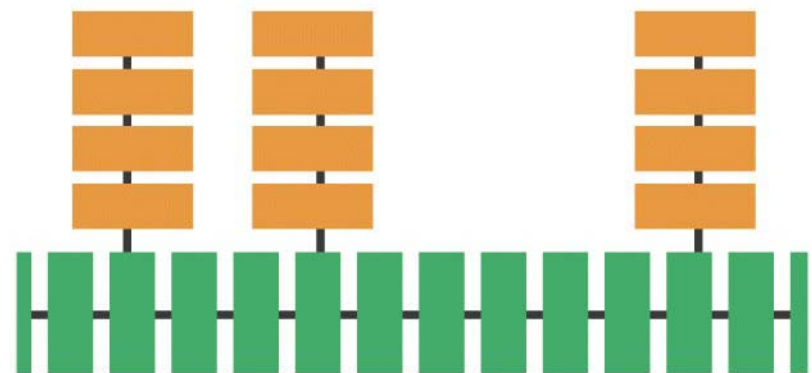
(a) Simple polymer



(b) Alternating copolymer

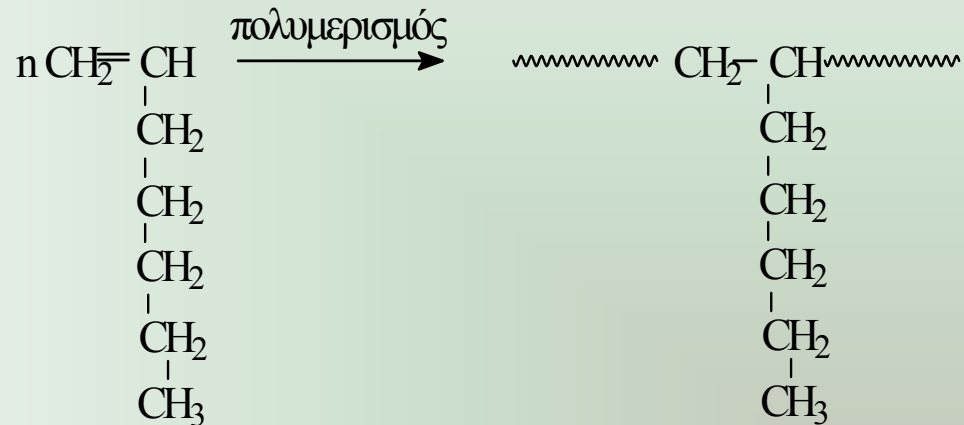


(c) Block copolymer



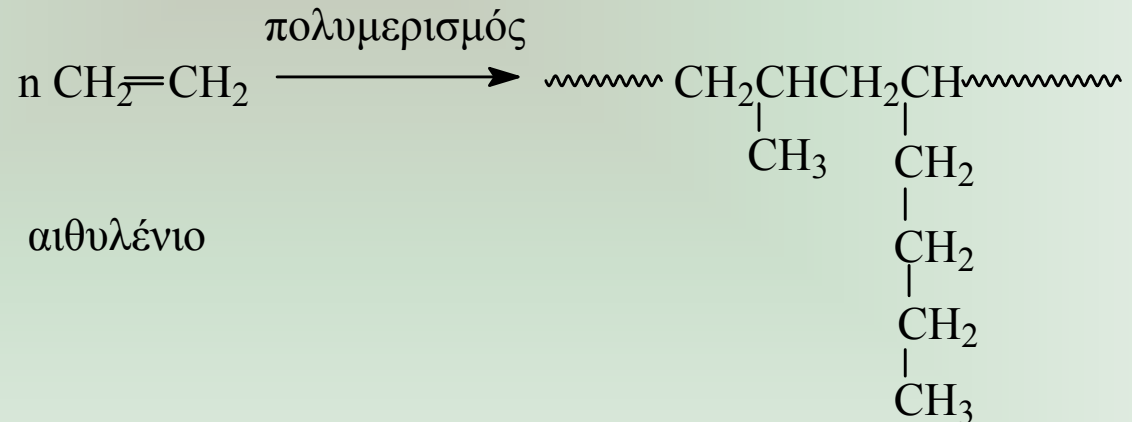
(d) Graft copolymer

# Διακλαδώσεις και πλευρικές ομάδες



1-επτένιο

πολυ(1-επτένιο)

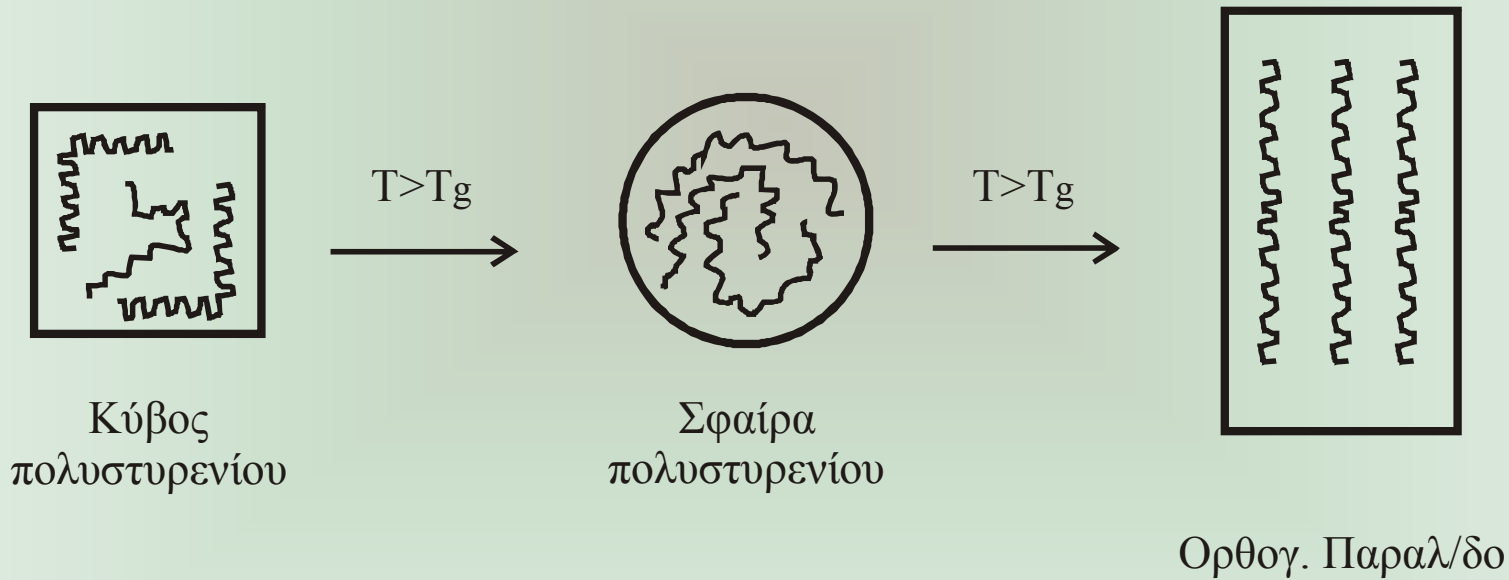


αιθυλένιο

πολυαιθυλένιο χαμ. πυκνότητας

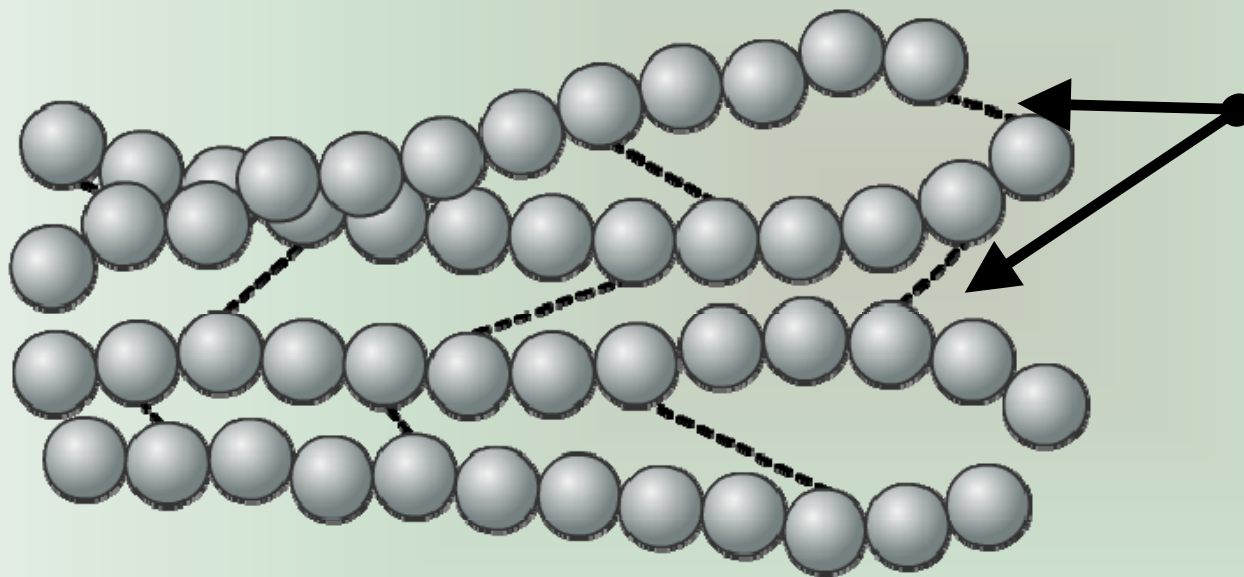
# Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στη θέρμανση

## 1. Θερμοπλαστικά (thermoplastic) πολυμερή



 : μακρομόριο πολυστυρενίου [ $T_g$  (πολυστυρενίου) =  $100^{\circ}\text{C}$ ]

# Θερμοπλαστικά (thermoplastic) πολυμερή



Ασθενείς διαμοριακές  
δυνάμεις–  
Οι αλυσίδες γλιστράνε  
η μία ως προς την άλλη

# Θερμοπλαστικά (thermoplastic) πολυμερή



**Πολυαιθυλένιο**

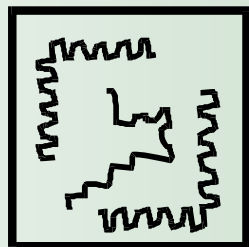


**Φυσικό καουτσούκ**



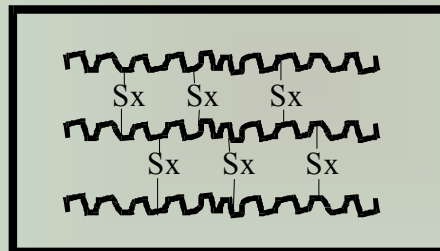
# Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στη θέρμανση

## 2. Θερμοσκληρυνόμενα (thermosetting) πολυμερή



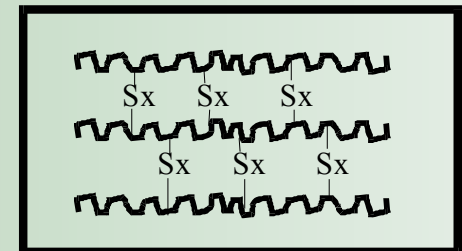
Κύβος  
πολυισοπρενίου

Θέρμανση  
→  
θειάφι



Ορθογ. Παραλ/δο  
δικτυωμένο πολυϊσοπρένιο

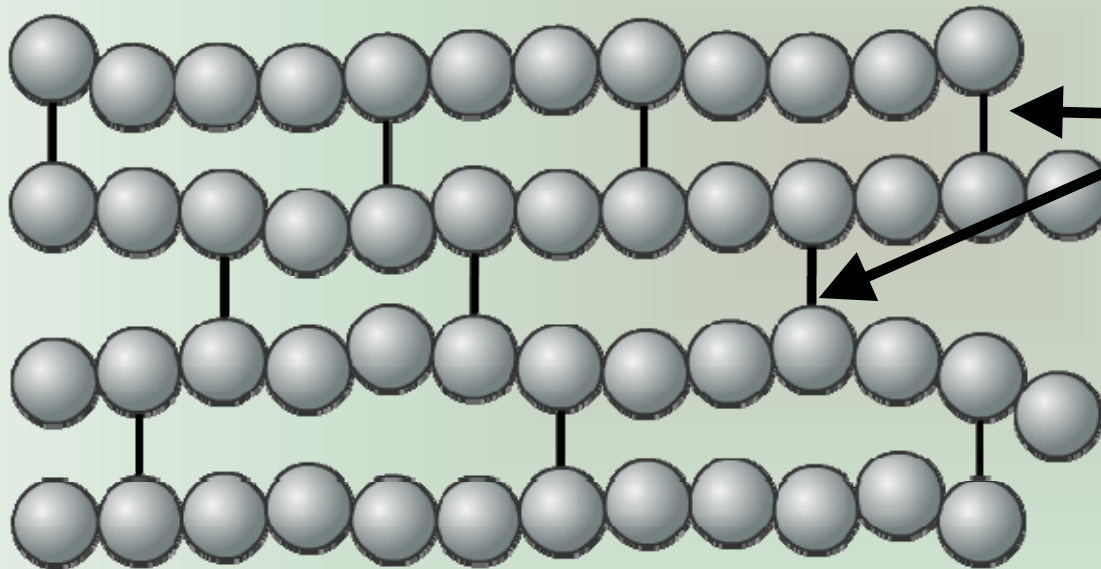
Θέρμανση  
→



Αμετάβλητο  
μακρομ. πλέγμα

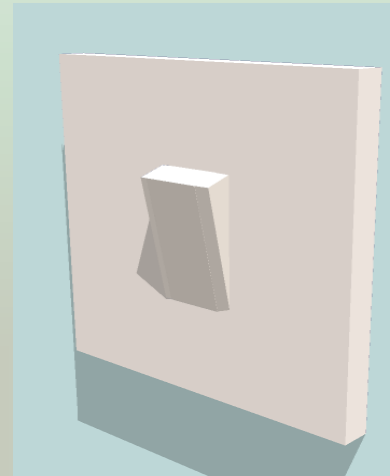
~~~~~ : μακρομόριο πολυισοπρενίου

# Θερμοσκληρυνόμενα (thermosetting) πολυμερή



Ισχυρές διαμοριακές  
δυνάμεις (ομοιοπολικοί  
δεσμοί-σταυροδεσμοί)

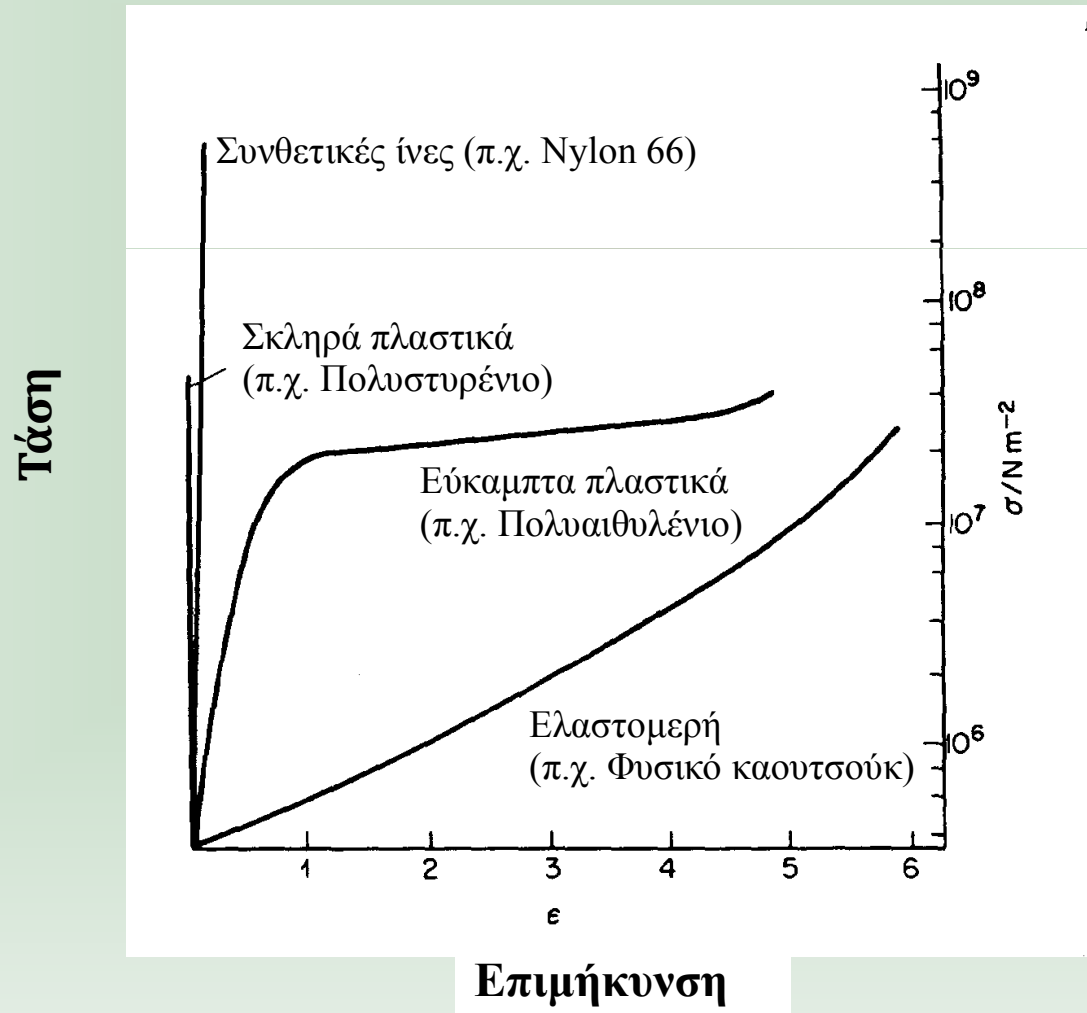
# Θερμοσκληρυνόμενα (thermosetting) πολυμερή



# Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών ανάλογα με την ιδιότητα που κυριαρχεί στη χρήση τους

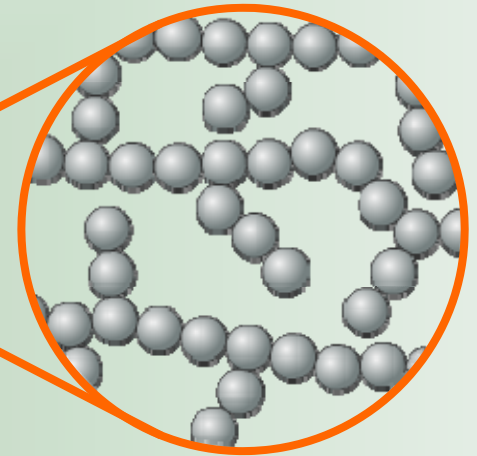
| Ελαστομερή (Elastomers)  | Πλαστικά (Plastics)              | Ίνες (Fibres)      |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------|
| πολυισοπρένιο            | πολυαιθυλένιο                    |                    |
| πολυισοβουτυλένιο        | πολυστυρόλιο                     |                    |
| πολυβουταδιένιο          | πολυ(τετραφθοροαιθυλένιο)        |                    |
|                          | πολυμεθακρυλικός<br>μεθυλεστέρας |                    |
| ← πολυ(βινυλοχλωρίδιο) → |                                  |                    |
| ← πολυουρεθάνες →        |                                  |                    |
| ← πολυσιλικόνες →        |                                  |                    |
|                          |                                  | ← πολυαμίδια →     |
|                          |                                  | ← πολυεστέρες →    |
|                          |                                  | ← πολυπροπυλένιο → |

# Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών ανάλογα με την ιδιότητα που κυριαρχεί στη χρήση τους

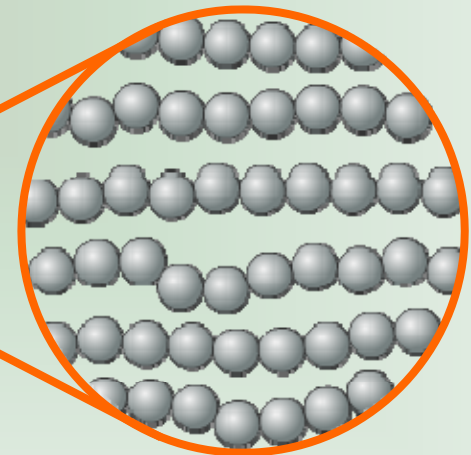


## Οι ιδιότητες και οι χρήσεις των πλαστικών εξαρτώνται από τη δομή των πολυμερικών αλυσίδων:

- **Οι διακλαδισμένες** αλυσίδες κάνουν τα πλαστικά ελαφρά, μαλακά και εύκολα σε κατεργασία με τήξη (π.χ. **low-density polyethene**)



- **Οι γραμμικές** αλυσίδες κάνουν τα πλαστικά σκληρά, άκαμπτα και δύσκολα σε κατεργασία με τήξη (π.χ. **high-density polyethene**).



# Δεσμικές δυνάμεις

- **πρωτογενείς** (ενέργεια διασπάσεως μεγαλύτερη από 50 kcal/mol περίπου)

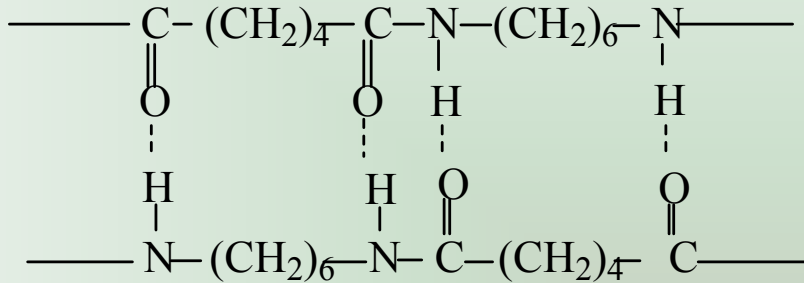
*ιοντικοί, και ομοιοπολικοί δεσμοί, με δεσμικό μήκος που κυμαίνεται μεταξύ 0,9 και 2 Å περίπου.*

- **δευτερογενείς** (ενέργεια διασπάσεως μικρότερη από 10 kcal/mol περίπου)

*έχουν δεσμικό μήκος μεταξύ 2,5 και 5 Å περίπου.*

*δεσμοί υδρογόνου και δεσμικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ: α) διπόλων, β) διπόλων-μη διπόλων εξ επαγωγής και μη διπόλων, λόγω διακυμάνσεως της πυκνότητας του ηλεκτρονικού νέφους (δυνάμεις London)*

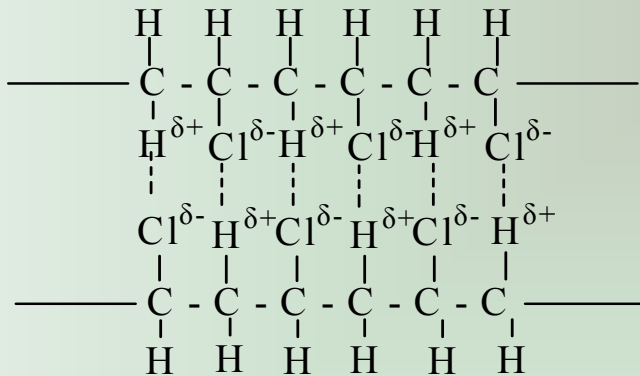
# Δεσμικές δυνάμεις



**Nylon-6,6, T<sub>m</sub>=265°C**

**Δεσμοί Υδρογόνου**

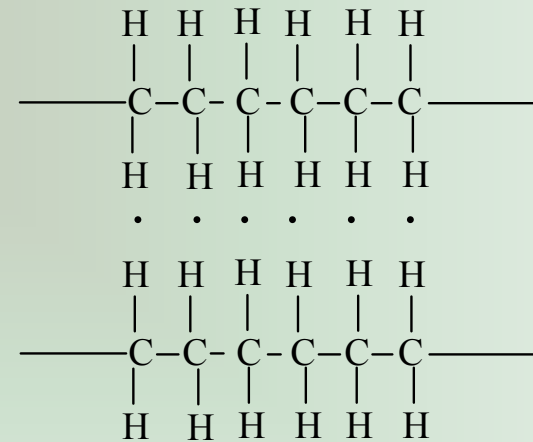
Nylon - 6,6



Πολυ(βινυλοχλωρίδιο)

**PVC, T<sub>m</sub>=273°C**

**Δυνάμεις διπόλων**



Πολυαιθυλένιο

**PE, T<sub>m</sub>=135°C**

**Δυνάμεις London**



# Μικροδομή πολυμερών

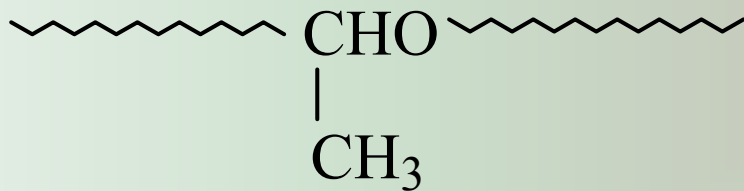
- α) Αρχιτεκτονική
- β) Προσανατολισμός
- γ) Απεικόνιση
- δ) Γεωμετρική ισομέρεια  
των δομικών μονάδων της μακρομοριακής  
αλυσίδας.

# Αρχιτεκτονική δομικών μονάδων



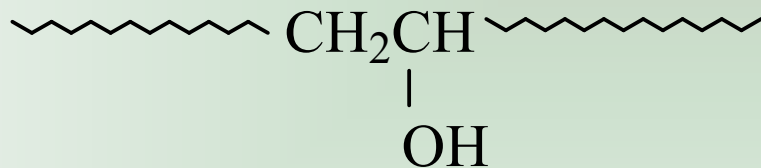
Πολυαιθυλενοξείδιο

$$T_g = -67^{\circ}\text{C}$$



Πολυακεταλδεΐδη

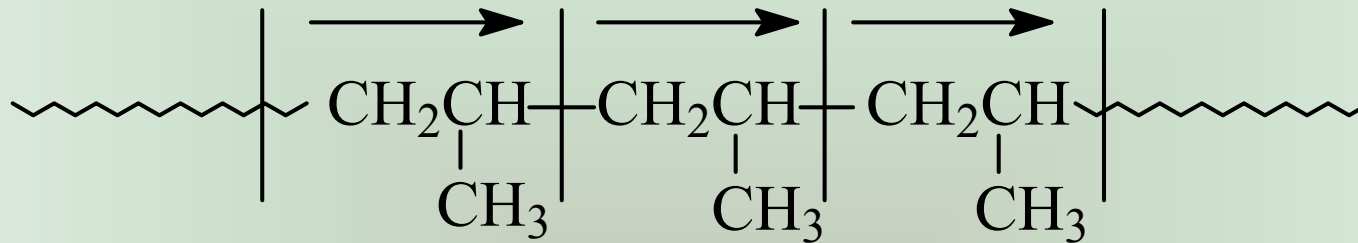
$$T_g = -30^{\circ}\text{C}$$



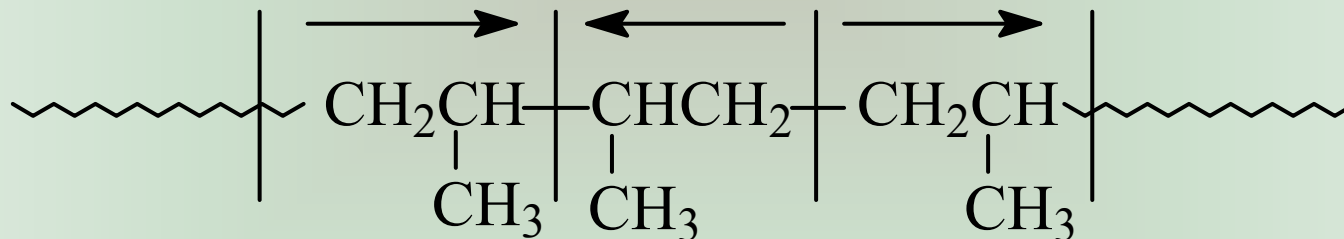
Πολυ(βινυλική αλκοόλη)

$$T_g = 85^{\circ}\text{C}$$

# Προσανατολισμός δομικών μονάδων



κεφαλή – ουρά (head – to – tail)



κεφαλή – κεφαλή, ουρά – ουρά  
(head to – head), (tail – to – tail)

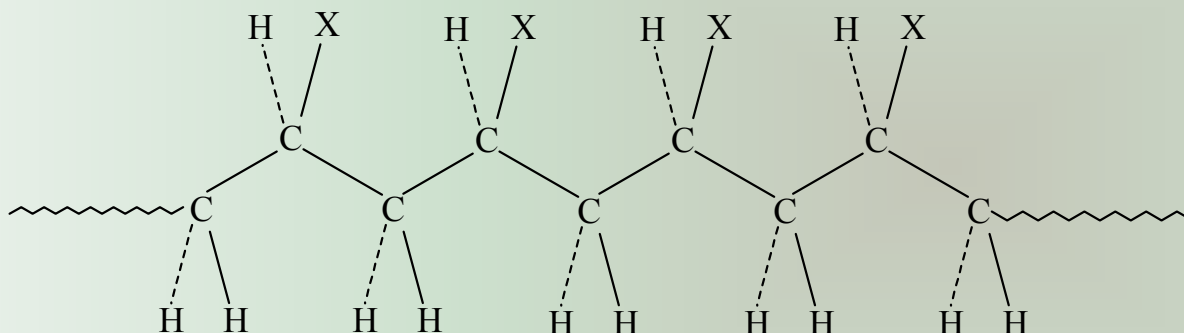
# Απεικόνιση δομικών μονάδων



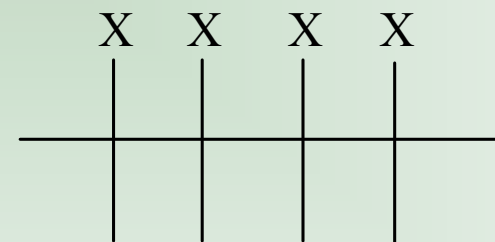
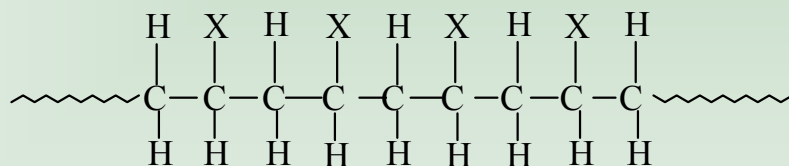
Ισοτακτική απεικόνιση

(I)

(II)



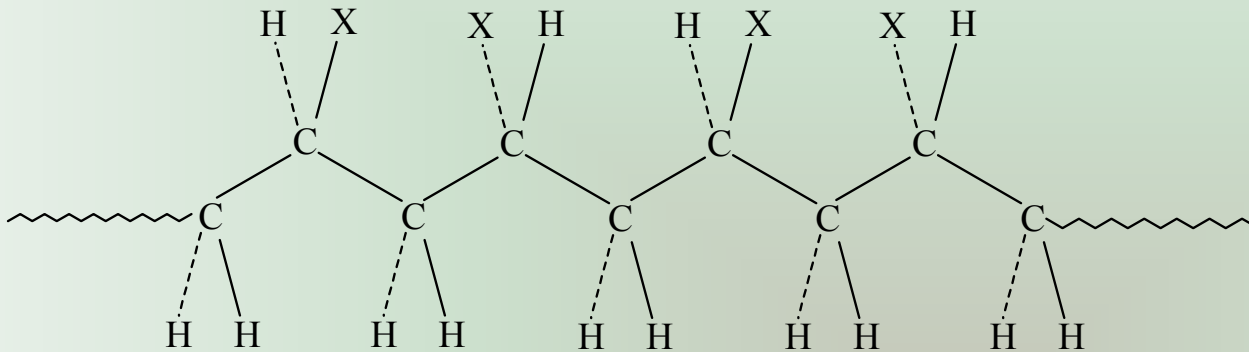
ή



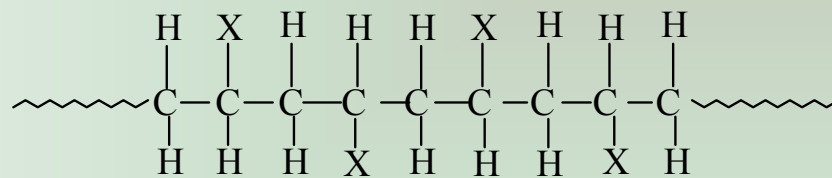
(προβολή)

# Απεικόνιση δομικών μονάδων

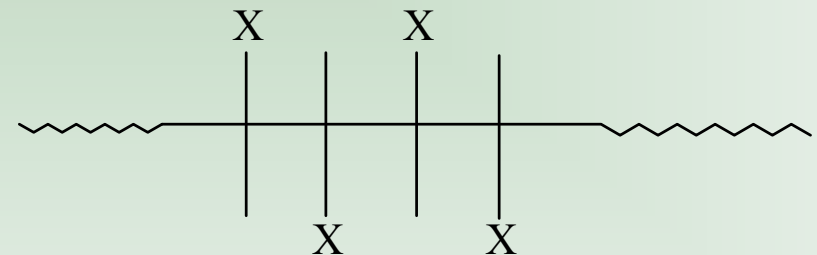
Συνδιοτακτική απεικόνιση



ή

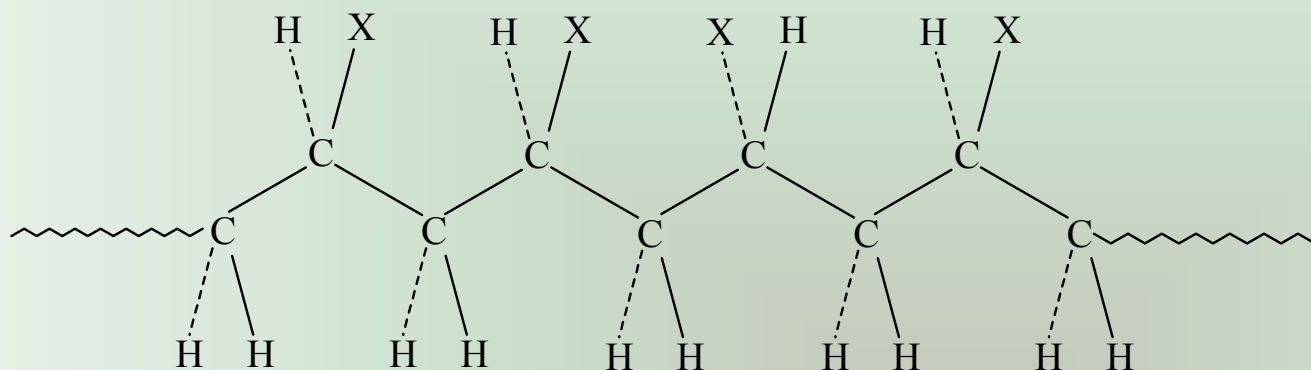


(προβολή)

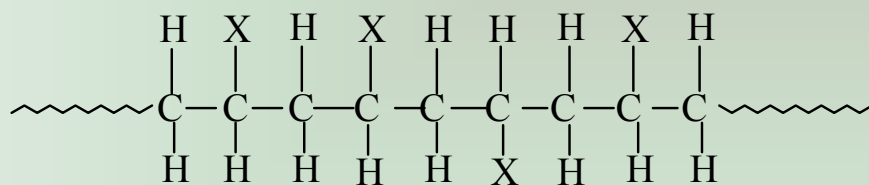


# Απεικόνιση δομικών μονάδων

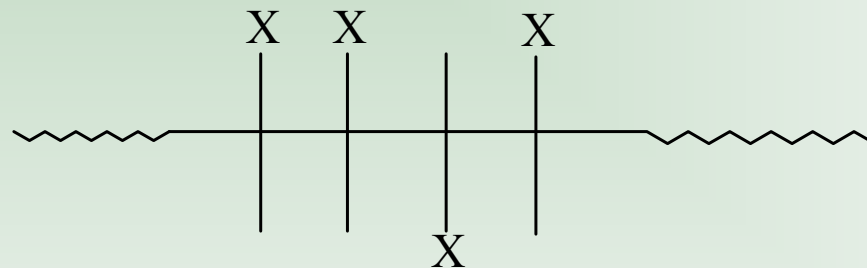
Ατακτική απεικόνιση



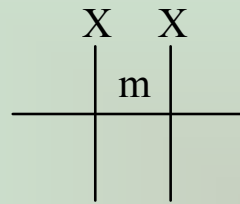
ή



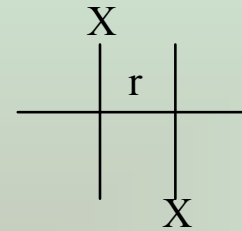
(προβολή)



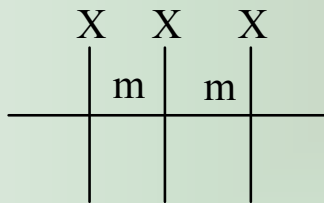
# Απεικόνιση δομικών μονάδων



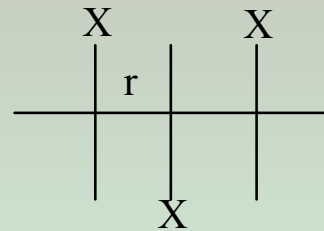
ισοτακτική δυάδα (m)



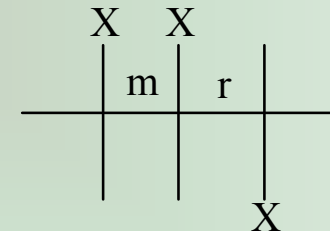
συνδιοτακτική δυάδα (r)



ισοτακτική τριάδα (mm)



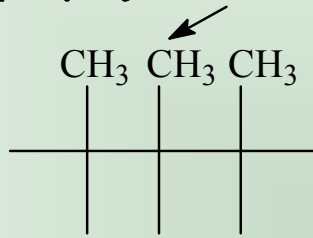
συνδιοτακτική τριάδα (rr)



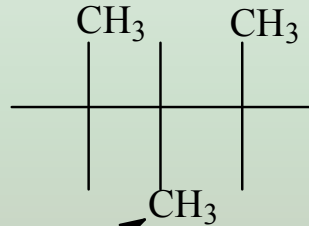
ατακτική τριάδα (mrr)

# Απεικόνιση δομικών μονάδων

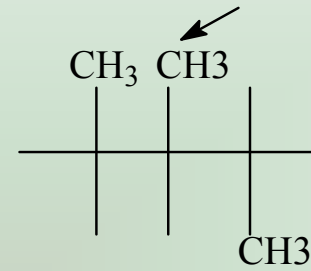
Προσδιορισμός τακτικότητας με NMR



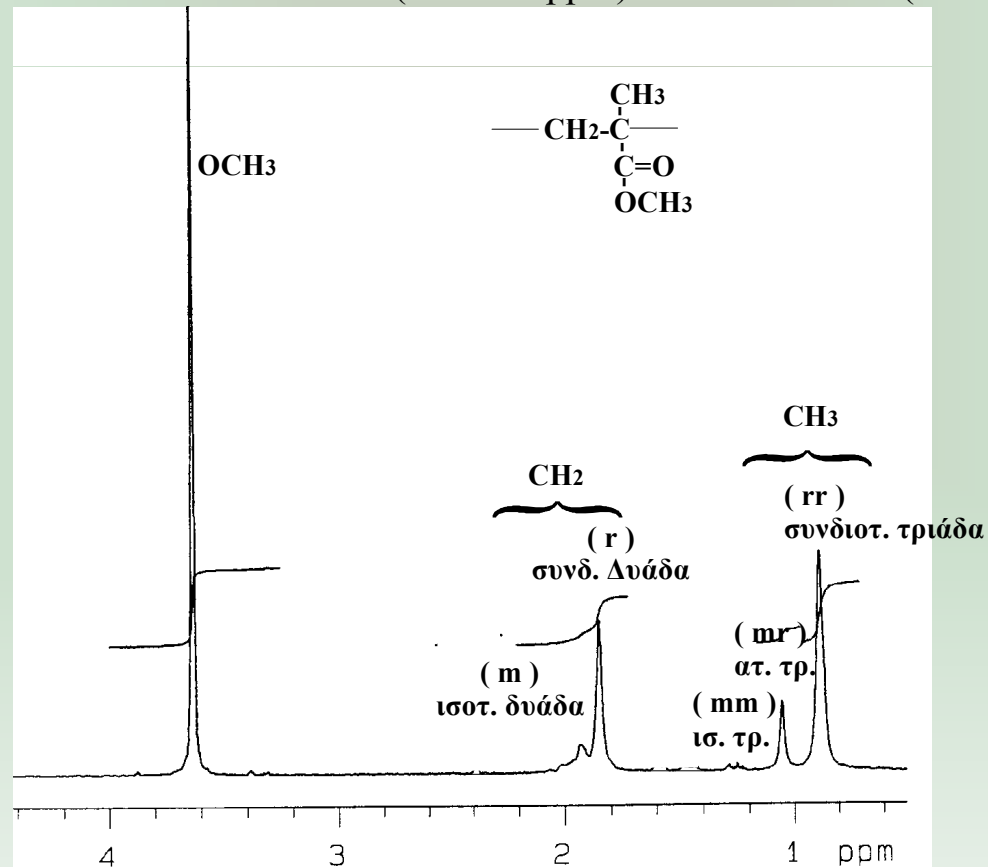
mm ( $\delta = 1.22$  ppm)



rr ( $\delta = 0.91$  ppm)

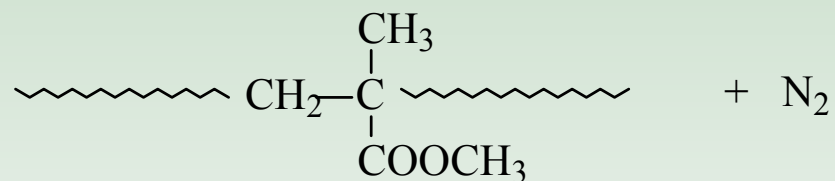
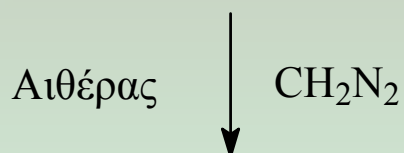
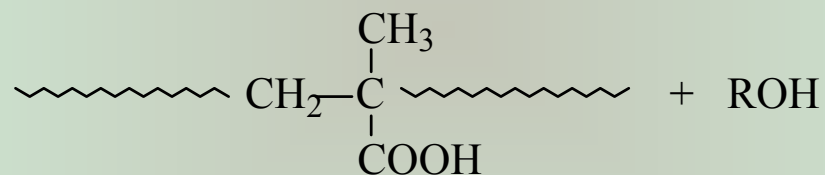
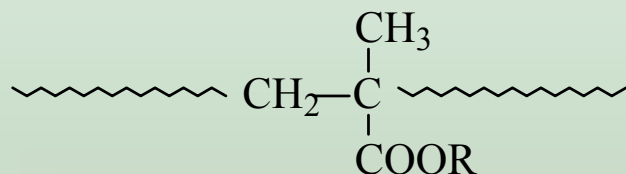


mr ( $\delta = 1.05$  ppm)



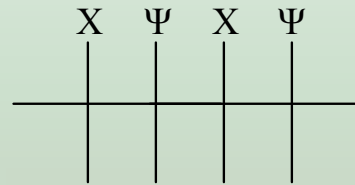


# Προσδιορισμός τακτικότητας πολυ(μεθακρυλικών εστέρων)

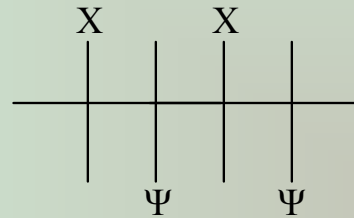


# Απεικόνιση δομικών μονάδων

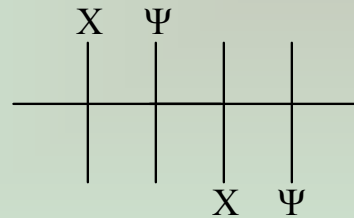
Μονομερή με δύο ασύμμετρα άτομα άνθρακα \*CHX\*CHΨ



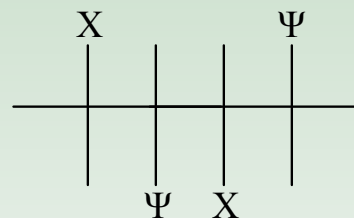
ερυθροδισοτακτικό



θρεοδισοτακτικό

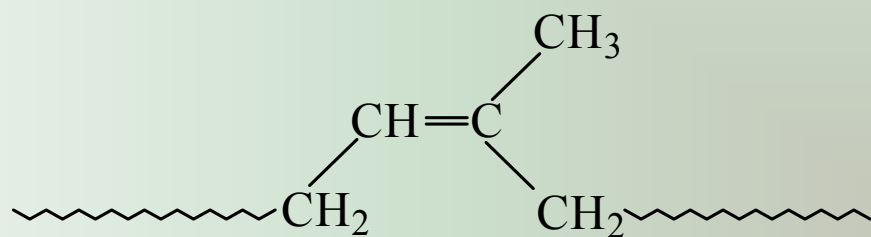


ερυθροδισυνδιοτακτικό

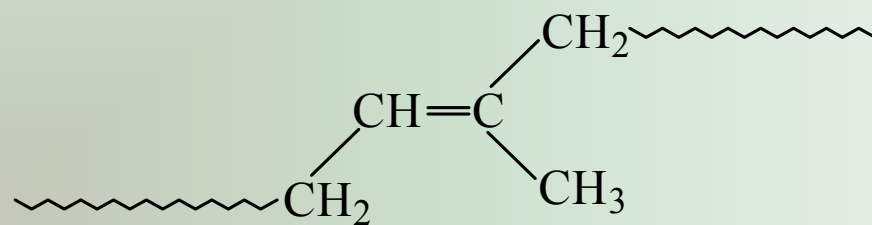


θρεοδισυνδιοτακτικό

# Γεωμετρική ισομέρεια δομικών μονάδων



cis



trans

# Μέσα μοριακά βάρη

1) Μέσο μοριακό βάρος κατ' αριθμό (number-average molecular weight)  $\langle M \rangle_n$

$$\langle M \rangle_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} = \frac{N_1 M_1 + N_2 M_2 + N_3 M_3 + \dots}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots}$$

$N_i$  είναι ο αριθμός των moles των μακρομορίων με μοριακό βάρος  $M_i$ .

2) Μέσο μοριακό βάρος κατά βάρος (weight-average molecular weight),  $\langle M \rangle_w$  ή  $\overline{M}_w$

$$\langle M \rangle_w = \frac{\sum w_i M_i}{\sum w_i} = \frac{w_1 M_1 + w_2 M_2 + w_3 M_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$$

$w_i$  το βάρος των μακρομορίων με μοριακό βάρος  $M_i$ .

# Μέσα μοριακά βάρη

Επειδή  $w_i = N_i M_i$  το  $\langle M \rangle_w$  ορίζεται και ως εξής

$$\langle M \rangle_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i} = \frac{N_1 M_1^2 + N_2 M_2^2 + N_3 M_3^2 + \dots}{N_1 M_1 + N_2 M_2 + N_3 M_3 + \dots}$$

**3) Μέσο μοριακό βάρος κατά z (z-average molecular weight)**

$$\langle M \rangle_z = \frac{\sum w_i M_i^2}{\sum w_i M_i} = \frac{\sum N_i M_i^3}{\sum N_i M_i^2}$$

**Συντελεστής πολυμοριακότητας ή κατανομής μοριακών βαρών (polydispersity factor), I**

$$I = \frac{\langle M \rangle_w}{\langle M \rangle_n}$$

# Μέσα μοριακά βάρη

βαθμός πολυμερισμού  $X$

$$X = \frac{M}{M_0}$$

$$\langle X \rangle_n = \frac{\langle M \rangle_n}{M_0}$$

$$\langle X \rangle_w = \frac{\langle M \rangle_w}{M_0}$$

$$\langle X \rangle_z = \frac{\langle M \rangle_z}{M_0}$$

