

Πολυμερικά υλικά: Δομές, Χαρακτηριστικά, Επεξεργασία και Εφαρμογές

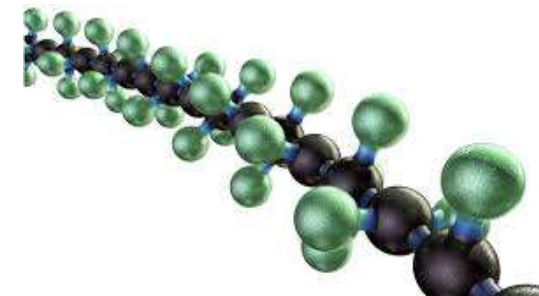
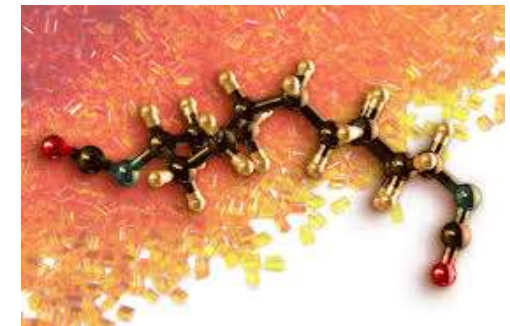


Περιέχει περιεχόμενο και υλικό από τα συγγράμματα:

Callister W. D., Rethwisch D. G. Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών, 10η Έκδοση, Εκδ. Α. Τζιόλα & Υιοί, 2022

Β. Ζασπάλης, Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών, 2η Έκδοση, Εκδ. Α. Τζιόλα & Υιοί, 2020

- Τα γενικά δομικά και χημικά χαρακτηριστικά των μορίων πολυμερών.
- Κοινά πολυμερικά υλικά και οι χημικές διαφορές τους.
- Σε τι διαφέρει η κρυσταλλική κατάσταση των πολυμερών από αυτή των μετάλλων και των κεραμικών;
- Ποιες είναι οι μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών και πώς επηρεάζονται από τα μικροδομικά χαρακτηριστικά τους;
- Σκλήρυνση, ανισοτροπία, και ανόπτηση σε πολυμερή.
- Πώς συγκρίνεται η μηχανική απόκριση των πολυμερών σε αυξημένες θερμοκρασίες, έναντι των κεραμικών και μετάλλων;

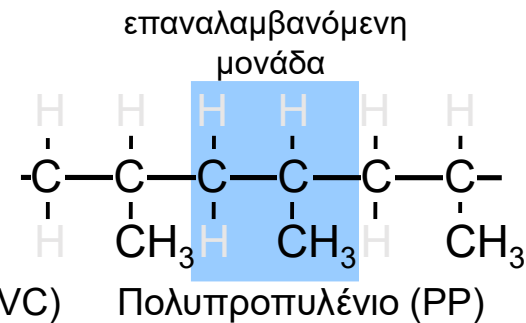
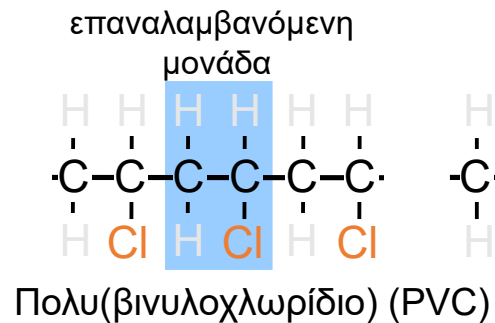
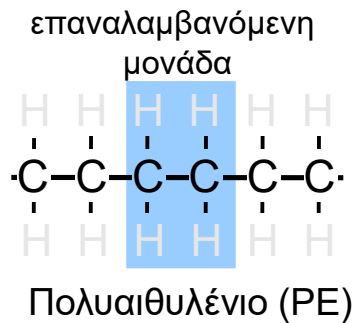


ΔΟΜΕΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Η ανατομία ενός πολυμερούς

Πολύ μερές

πολλές επαναλαμβανόμενες μονάδες



Πολυμερή από την αρχαιότητα

- **Φυσικά πολυμερή**

- Ξύλο – Καουτσούκ
- Βαμβάκι – Μαλλί
- Δέρμα – Μετάξι

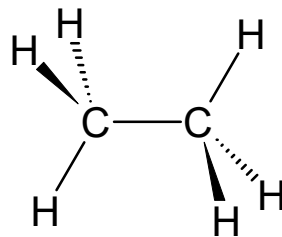
- **Παλαιότερες καταγεγραμμένες χρήσεις**

- Οι Ίνκας χρησιμοποιούσαν μπάλες από καουτσούκ
- Ο Νώε χρησιμοποίησε πίσσα (φυσικό πολυμερές) για την κατασκευή της κιβωτού

Σύσταση πολυμερών

Τα περισσότερα πολυμερή είναι υδρογονάνθρακες
– δηλ., αποτελούνται από H και C

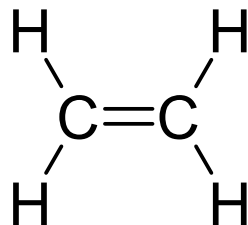
- Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες
 - κάθε άτομο άνθρακα συνδέεται μέσω μονού δεσμού με τέσσερα άλλα άτομα
 - παράδειγμα:
 - Αιθάνιο, C_2H_6



Ονομασία	Σύσταση	Δομή	Σημείο βρασμού (°C)
Μεθάνιο	CH ₄	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} $	-164
Αιθάνιο	C ₂ H ₆	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $	-88,6
Προπάνιο	C ₃ H ₈	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array} $	-42,4
Βουτάνιο	C ₄ H ₁₀	.	-0,5
Πεντάνιο	C ₅ H ₁₂	.	36,1
Εξάνιο	C ₆ H ₁₄	.	69,0

Ακόρεστοι υδρογονάνθρακες

- Διπλοί & τριπλοί δεσμοί σχετικά ασταθείς – μπορούν να σχηματιστούν νέοι δεσμοί
 - διπλός δεσμός: στο αιθυλένιο (αιθένιο, C_2H_4)



- τριπλός δεσμός: στο ακετυλένιο (αιθίνιο, C_2H_2)



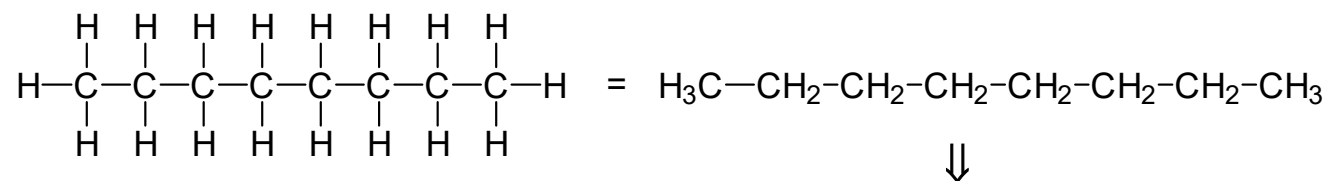
Ισομέρεια

- Ισομέρεια

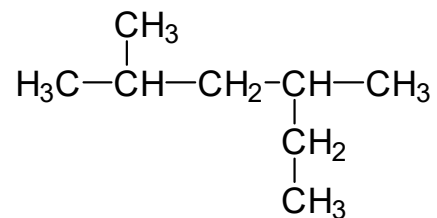
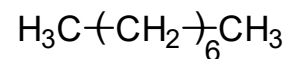
- δύο ενώσεις με τον ίδιο χημικό τύπο μπορεί να έχουν εντελώς διαφορετικές δομές

παράδειγμα: C_8H_{18}

- τυπική-οκτάνιο

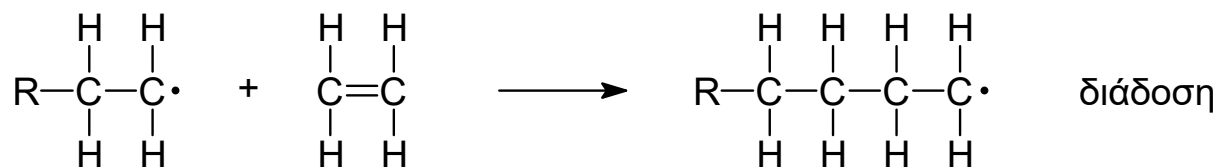
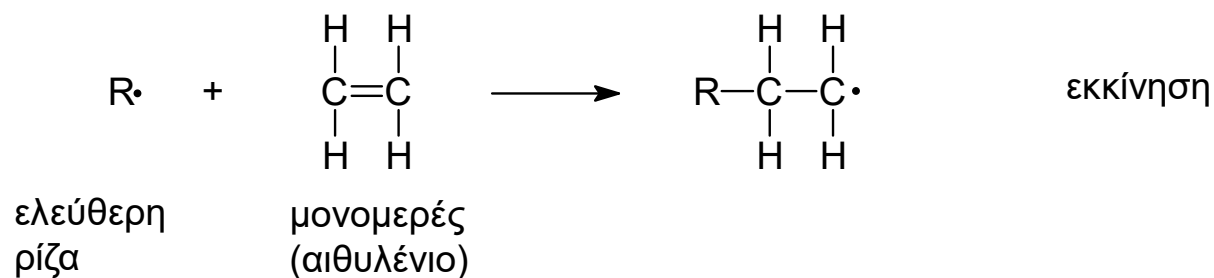


- 2,4-διμεθυλεξάνιο

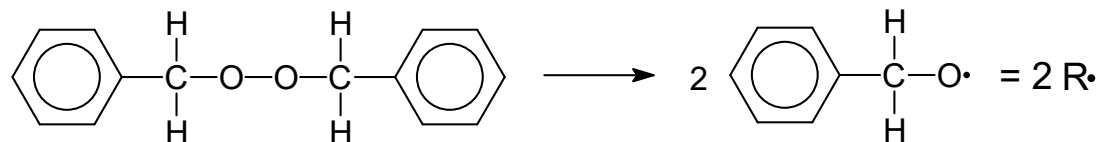


Πολυμερισμός και χημεία πολυμερών

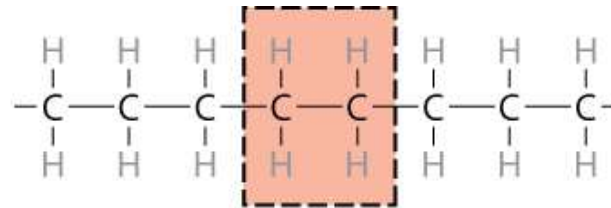
- Πολυμερισμός ελεύθερων ριζών



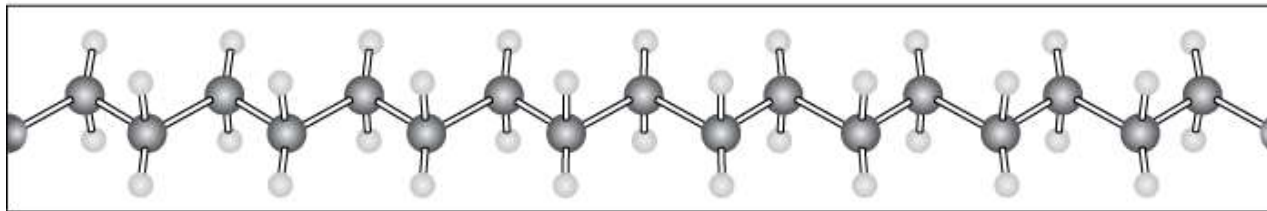
- Εκκινητής (καταλύτης): π.χ. βενζοϊκό υπεροξείδιο



Χημεία και δομή πολυαιθυλενίου



Επαναλαμβανόμενη μονάδα



Σημείωση: Το πολυαιθυλένιο είναι υδρογονάνθρακας με δομή μεγάλης αλυσίδας
- η παραφίνη που χρησιμοποιείται σε κεριά είναι πολυαιθυλένιο με μικρό μήκος αλυσίδας

Πολυμερή ευρείας χρήσης

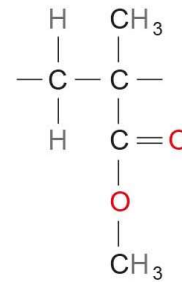
Πολυμερές	Επαναλαμβανόμενη δομή (ομάδα μονομερούς)
Πολυαιθυλένιο (PE)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE)	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$
Πολυπροπυλένιο (PP)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
Πολυστυρόλιο (PS)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$

Πολυμερή ευρείας χρήσης (συνέχεια)

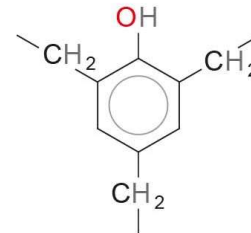
Πολυμερές

Επαναλαμβανόμενη δομή (ομάδα μονομερούς)

Πολυ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)
(PMMA)



Φαινόλη-φορμαλδεΰδη (βακελίτης)

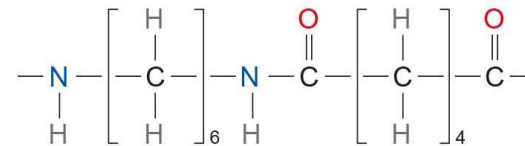


Πολυμερή ευρείας χρήσης (συνέχεια)

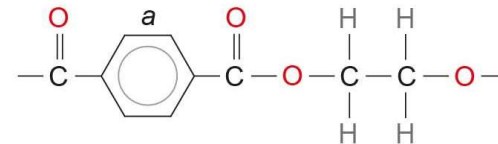
Πολυμερές

Επαναλαμβανόμενη δομή (ομάδα μονομερούς)

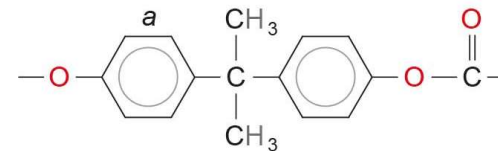
Πολυ(αδιπαμίδιο εξαμεθυλενίου)
(νάιλον 6,6)



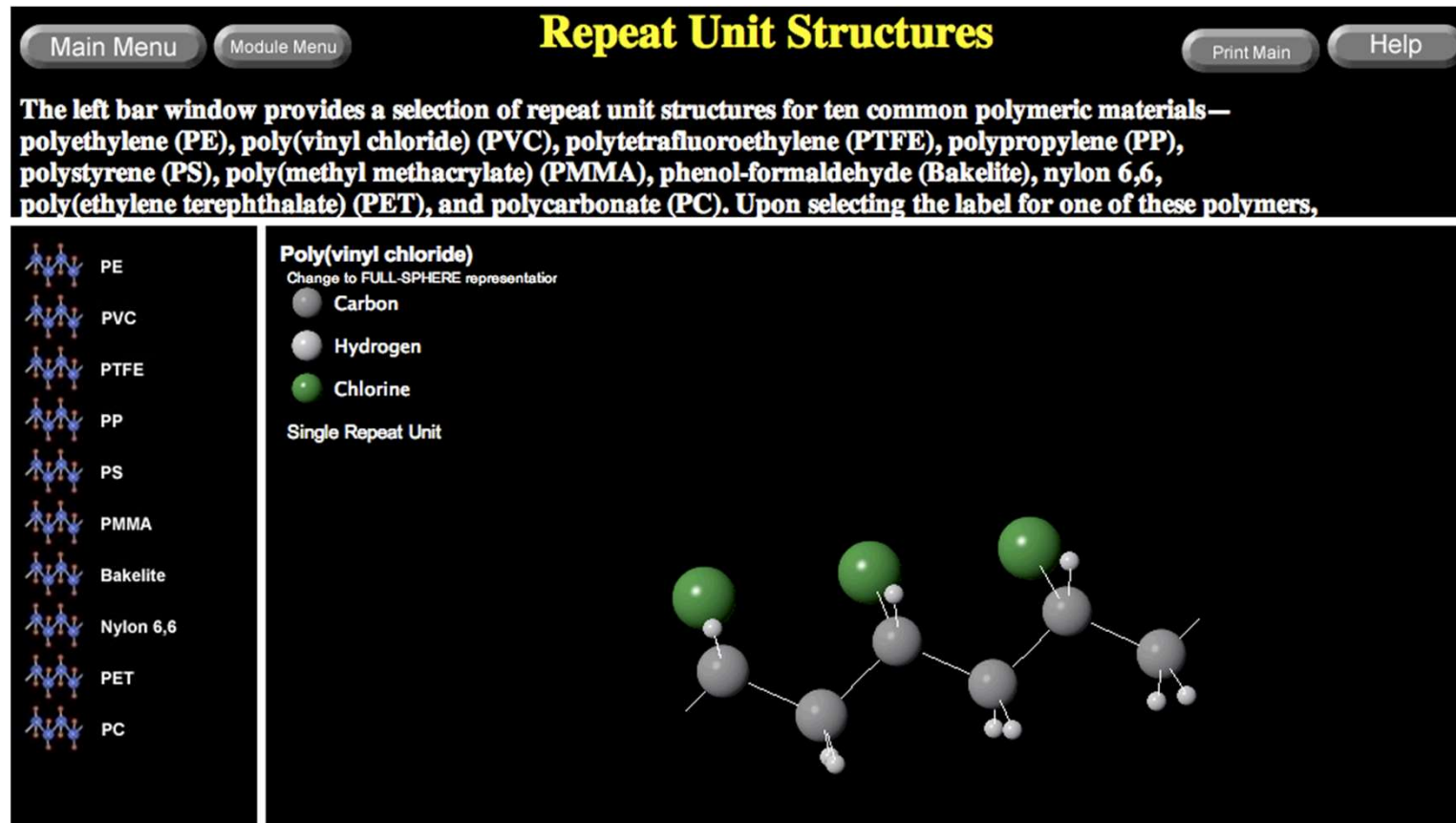
Πολυ(τερεφθαλικός αιθυλεστέρας)
(PET, ένας πολυεστέρας)



Πολυ(καρβονικός εστέρας)



Προσομοίωση δομών πολυμερικών μονάδων



Το λογισμικό VMSE παρέχει δυνατότητες προσαρμογής και περιστροφής πολυμερικών δομών στις 3 διαστάσεις.

ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ

- **Μοριακό βάρος**, M : Μάζα ενός γραμμομορίου αλυσίδας πολυμερούς.



χαμηλή τιμή M



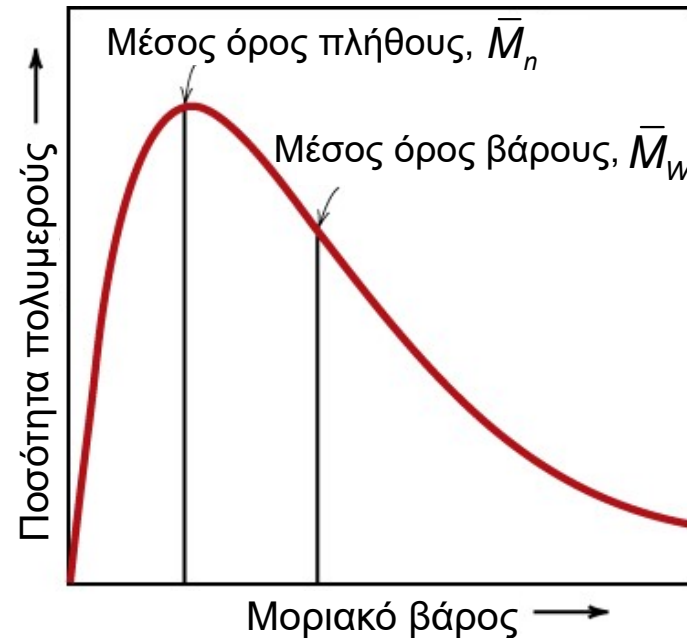
υψηλή τιμή M

Δεν έχουν ίδιο μήκος όλες οι αλυσίδες σε ένα πολυμερές...
— αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μία κατανομή μοριακών βαρών

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΟΡΙΑΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

$$\bar{M}_n = \frac{\text{ολικό βάρος πολυμερούς}}{\text{ολικός αρ. μορίων}}$$

$$\begin{aligned}\bar{M}_n &= \sum x_i M_i \\ \bar{M}_w &= \sum w_i M_i\end{aligned}$$



M_i = μέσο μοριακό βάρος για το εύρος μεγεθών i

x_i = κλάσμα αριθμού αλυσίδων στο εύρος μεγεθών i

w_i = κλάσμα βάρους αλυσίδων στο εύρος μεγεθών i

Υπολογισμός μοριακού βάρους

Παράδειγμα: μέσος όρος μάζας για μία τάξη

Σπουδαστής	Βάρος
	μάζα (lb)
1	104
2	116
3	140
4	143
5	180
6	182
7	191
8	220
9	225
10	380

Να υπολογιστεί ο μέσος όρος βάρους των σπουδαστών σε αυτή την τάξη:

α) Κατ' αριθμό: κλάσμα του αριθμού σπουδαστών σε κάθε κατηγορία (εύρος τιμών) μάζας.

β) Κατά βάρος: κλάσμα βάρους των σπουδαστών σε κάθε κατηγορία (εύρος τιμών) μάζας.

Υπολογισμός μοριακού βάρους (συνέχεια)

Λύση: Το πρώτο βήμα είναι η κατηγοριοποίηση των σπουδαστών, σε εύρη τιμών βάρους. Χρησιμοποιώντας ως “βήμα εύρους” τα 40 lb λαμβάνουμε τον ακόλουθο πίνακα:

Εύρος βάρους	Αριθμός σπουδαστών N_i	Μέσο βάρους W_i
μάζα (lb)		μάζα (lb)
81-120	2	110
121-160	2	142
161-200	3	184
201-240	2	223
241-280	0	-
281-320	0	-
321-360	0	-
361-400	1	380

Υπολογισμός κλάσματος, κατ' αριθμό και βάρους, των σπουδαστών σε κάθε εύρος βάρους, ως εξής:

$$x_i = \frac{N_i}{\sum N_i} \quad w_i = \frac{N_i W_i}{\sum N_i W_i}$$

Παράδειγμα: Για το εύρος βάρους 81-120 lb,

$$x_{81-120} = \frac{2}{10} = 0.2$$

$$w_{81-120} = \frac{2 \times 110}{1881} = 0.117$$

Σύνολο σπουδαστών	→ $\sum N_i$	$\sum N_i W_i$	← Σύνολο βάρους
	10	1881	

Υπολογισμός μοριακού βάρους (συνέχεια)

εύρος βάρους	μέσο βάρος W_i	κλάσμα κατ' αριθμό x_i	κλάσμα βάρους w_i
μάζα (lb)	μάζα (lb)		
81-120	110	0,2	0,117
121-160	142	0,2	0,150
161-200	184	0,3	0,294
201-240	223	0,2	0,237
241-280	-	0	0,000
281-320	-	0	0,000
321-360	-	0	0,000
361-400	380	0,1	0,202

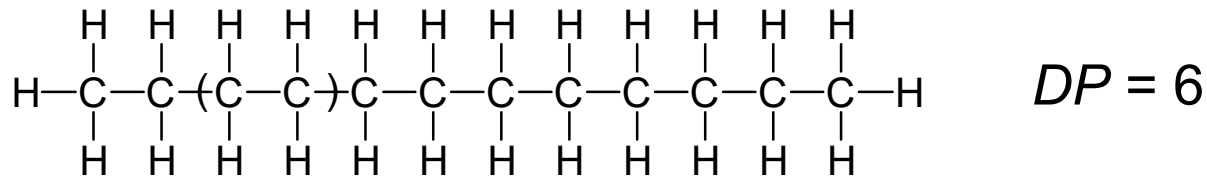
$$\bar{M}_n = \sum x_i M_i = (0.2 \times 110 + 0.2 \times 142 + 0.3 \times 184 + 0.2 \times 223 + 0.1 \times 380) = 188 \text{ lb}$$

$$\bar{M}_w = \sum w_i M_i = (0.117 \times 110 + 0.150 \times 142 + 0.294 \times 184 + 0.237 \times 223 + 0.202 \times 380) = 218 \text{ lb}$$

$$\bar{M}_w = \sum w_i M_i = 218 \text{ lb}$$

Βαθμός πολυμερισμού, DP

DP = μεσοσταθμικό πλήθος επαναλαμβανόμενων μονάδων ανά πολυμερική αλυσίδα



$$DP = \frac{\bar{M}_n}{\bar{m}}$$

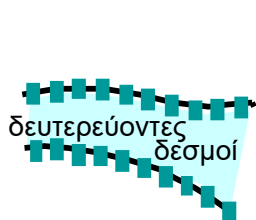
όπου $\bar{m}$ = μεσοσταθμικό μοριακό βάρος επαναλαμβανόμενης μονάδας για συμπολυμερή και υπολογίζεται ως:

$$\bar{m} = \sum f_i m_i$$

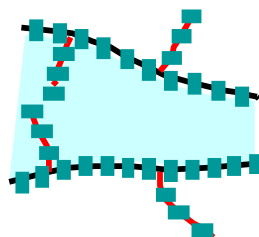
τμήμα αλυσίδας

μορ. βάρος επαναλ. μονάδας i

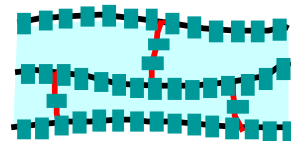
Πολυμερή – μοριακές δομές



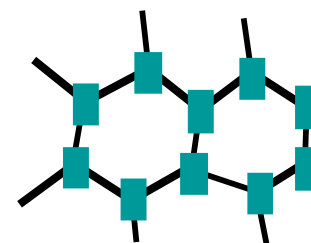
Γραμμική



Διακλαδιζόμενη



Διασταυρωμένη

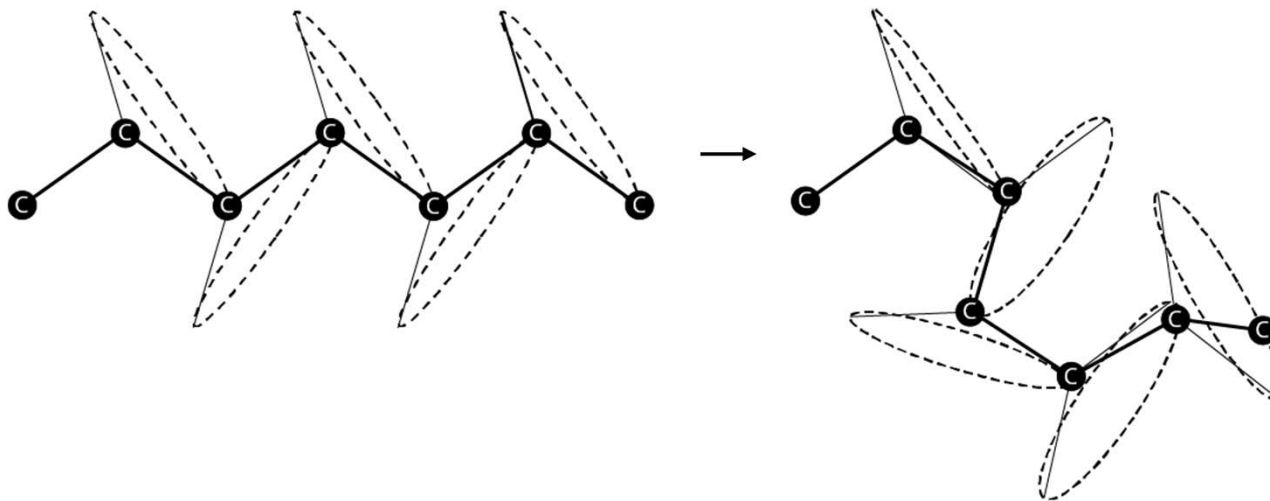


Δικτυωμένη

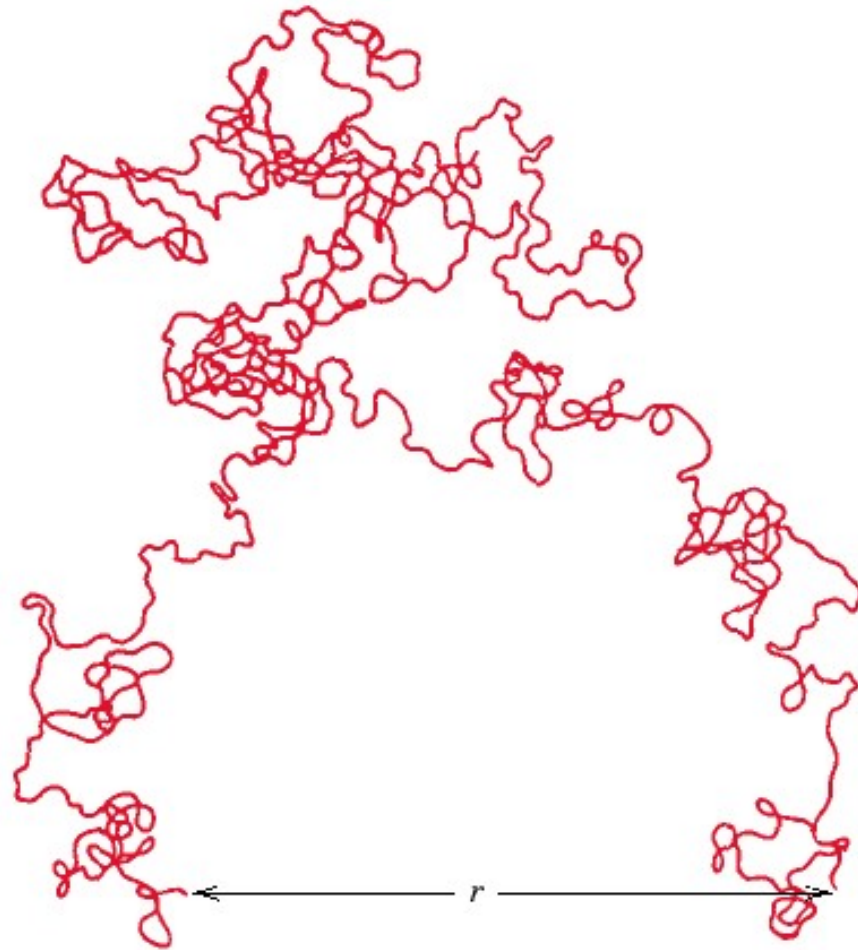
Πολυμερή – μοριακό σχήμα

Μοριακό σχήμα (“ικανότητα συμμόρφωσης”) – είναι δυνατή η κάμψη και συστροφή των αλυσίδων μέσω της περιστροφής των ατόμων άνθρακα γύρω από τους δεσμούς τους στην αλυσίδα

- Σημείωση: η μεταβολή του μοριακού σχήματος δεν προϋποθέτει “σπάσιμο” των δεσμών της πολυμερικής αλυσίδας



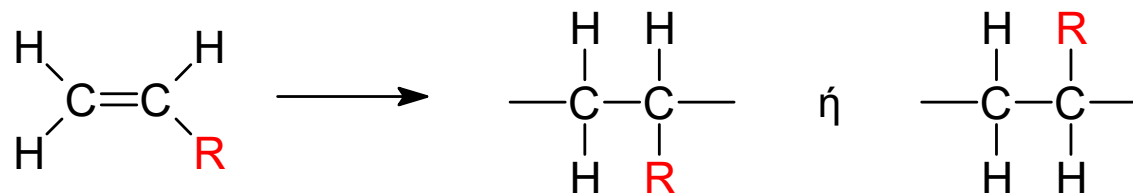
Μήκος πολυμερικής αλυσίδας, r



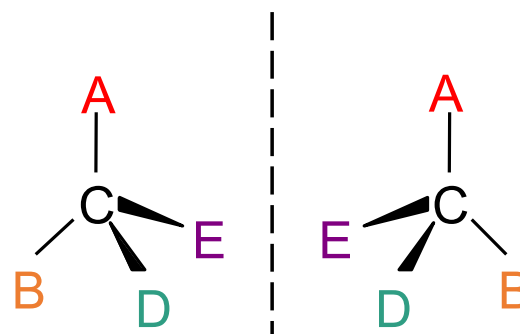
Πολυμερή – μοριακές διαμορφώσεις

Οι **μοριακές διαμορφώσεις** – μπορούν να μεταβάλλονται μόνο με “σπάσιμο” και εκ νέου σχηματισμό των δεσμών.

•Στερεοϊσομέρεια



Στερεοϊσομερή: συμμετρικές (κατοπτρικές) δομές, δεν είναι δυνατή η υπέρθεσή τους χωρίς διάσπαση δεσμών

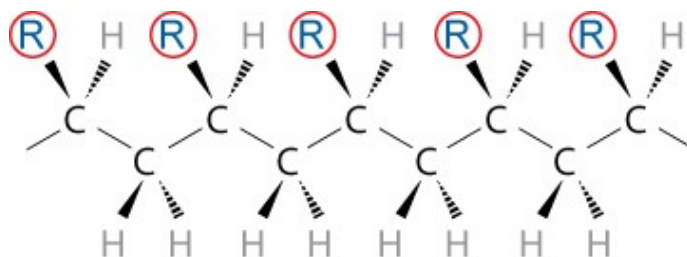
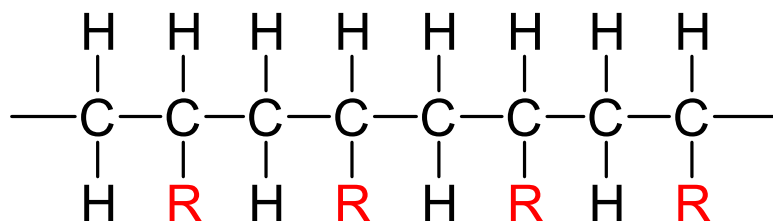


επίπεδο
συμμετρίας

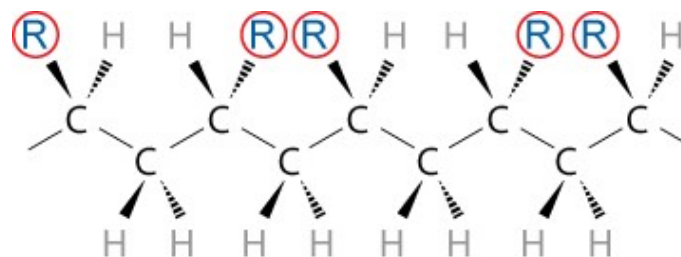
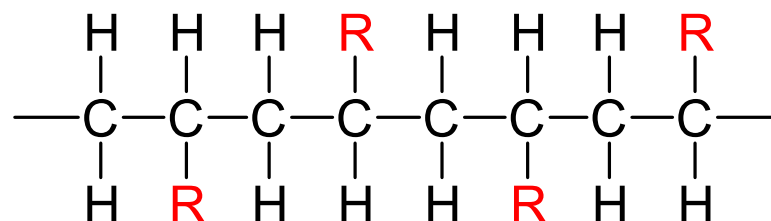
Τακτικότητα

Τακτικότητα – χωρική (3Δ) κανονικότητα των μονάδων **R** κατά μήκος της πολυμερικής αλυσίδας.

ισοτακτική διαμόρφωση –
όλες οι ομάδες **R** στην ίδια
πλευρά της αλυσίδας

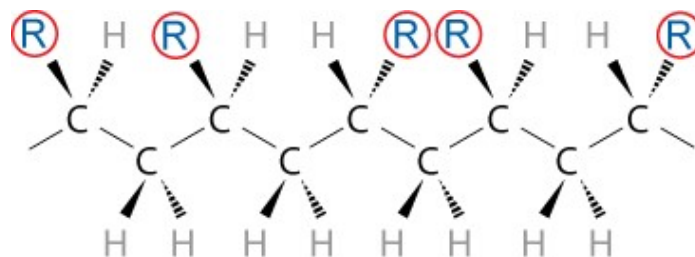
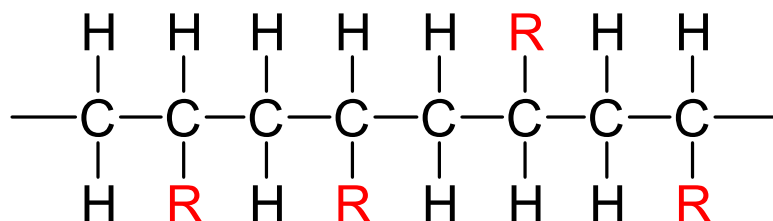


συνδιοτακτική διαμόρφωση
– ομάδες **R** εναλλάξ στις
δύο πλευρές της αλυσίδας

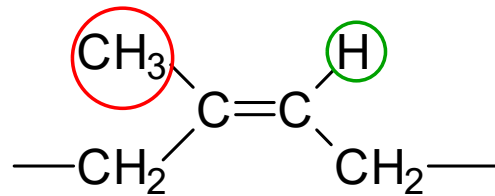


Τακτικότητα (συνέχεια)

ατακτική διαμόρφωση – τυχαία
τοποθέτηση των ομάδων R



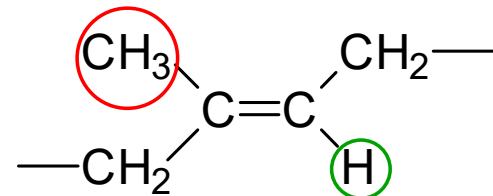
Γεωμετρική ισομέρεια (cis/trans-πολυμερή)



cis

cis-ισοπρένιο
(φυσικό καουτσούκ)

άτομο H και ομάδα CH₃
στην ίδια πλευρά
της πολυμ. αλυσίδας

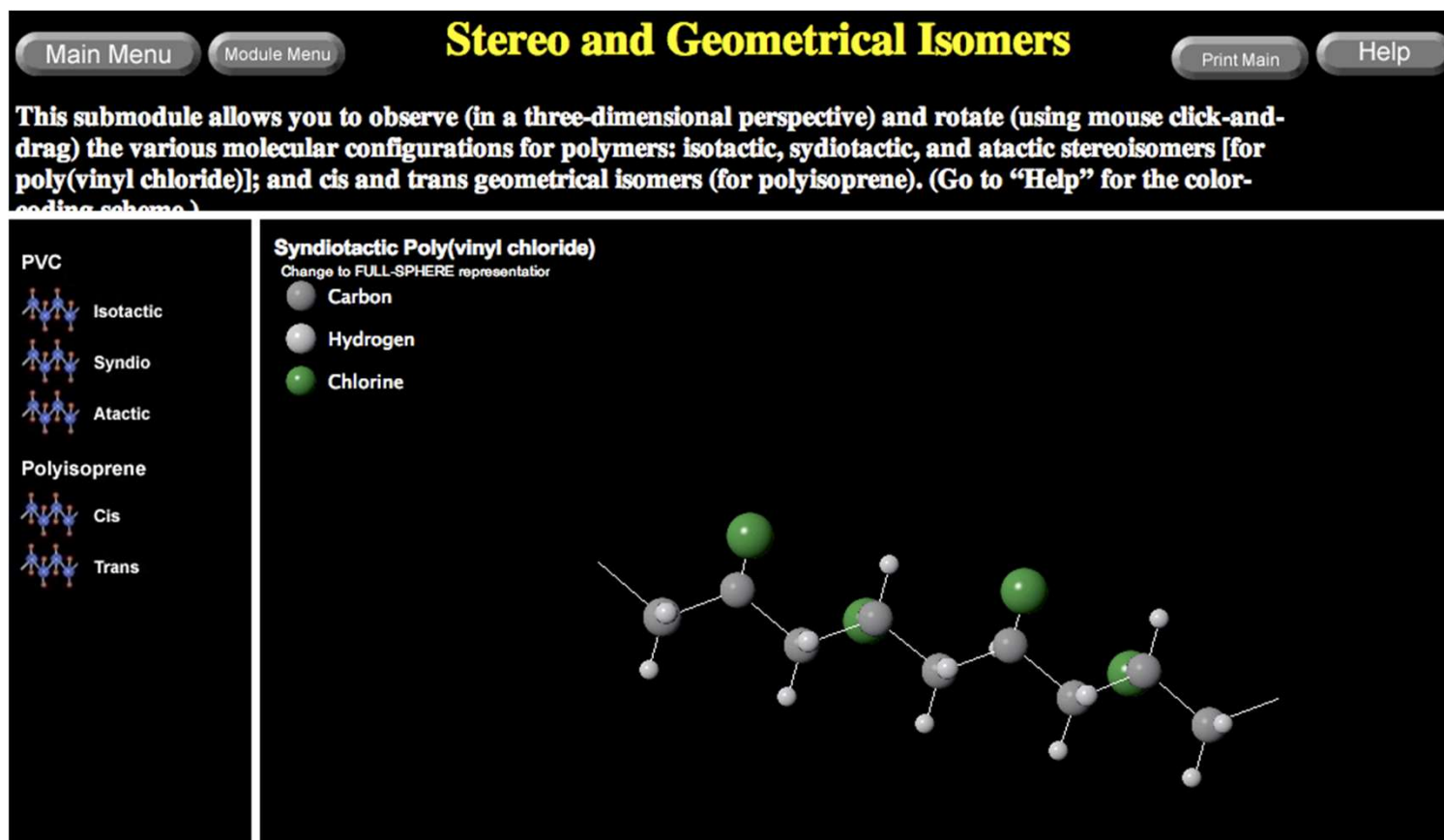


trans

trans-ισοπρένιο
(γουταπέρκα)

άτομο H και ομάδα CH₃
σε αντίθετες πλευρές
της πολυμ. αλυσίδας

Προσομοίωση στερεοϊσομέρειας & γεωμετρικής ισομέρειας



Το λογισμικό VMSE παρέχει δυνατότητες χειρισμού πολυμερικών δομών στις 3 διαστάσεις.

Συμπολυμερή

Δύο ή περισσότερα μονομερή που πολυμερίζονται μαζί.

- **τυχαίας δομής** – τυχαία τοποθέτηση των μονομερών Α και Β κατά μήκος της αλυσίδας
- **εναλλασσόμενης δομής** – εναλλάξ τοποθέτηση των μονομερών Α και Β στην πολυμερική αλυσίδα
- **δομής μπλοκ** – μεγάλες συστάδες μονομερούς Α εναλλάσσονται με μεγάλες συστάδες μονομερούς Β
- **συμπολυμερές εμβολιασμού** – αλυσίδες του Β “εμβολιάζονται” σε μία κύρια αλυσίδα (κορμό) μονομερούς Α

A –

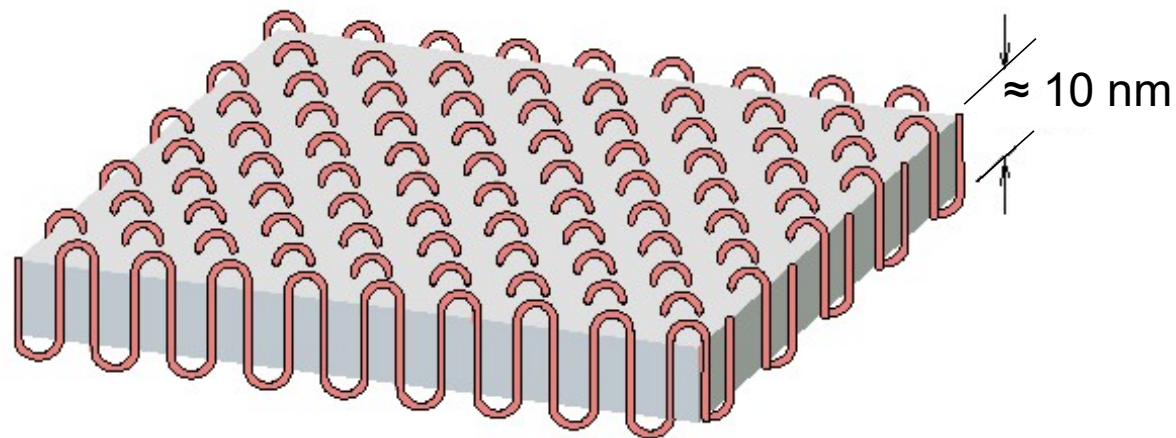


B –



Κρύσταλλοι πολυμερών

- Κρυσταλλικές περιοχές
 - λεπτά “πλακίδια” με αναδιπλώσεις αλυσίδων στις έδρες τους
 - δομή **αναδιπλωμένης αλυσίδας**



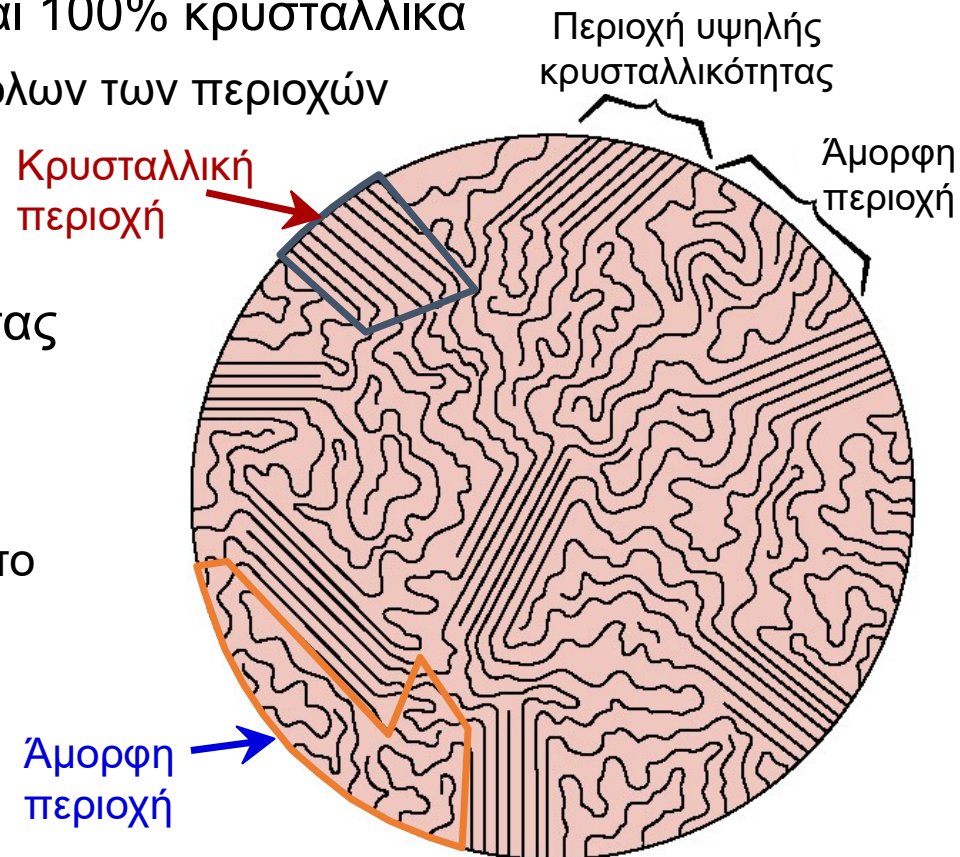
Κρύσταλλοι πολυμερών (συνέχεια)

Τα πολυμερή σπανίως είναι 100% κρυσταλλικά

- Δυσκολία ευθυγράμμισης όλων των περιοχών σε όλες τις αλυσίδες

- Βαθμός κρυσταλλικότητας εκφράζεται ως **%κρυσταλλικότητας**.

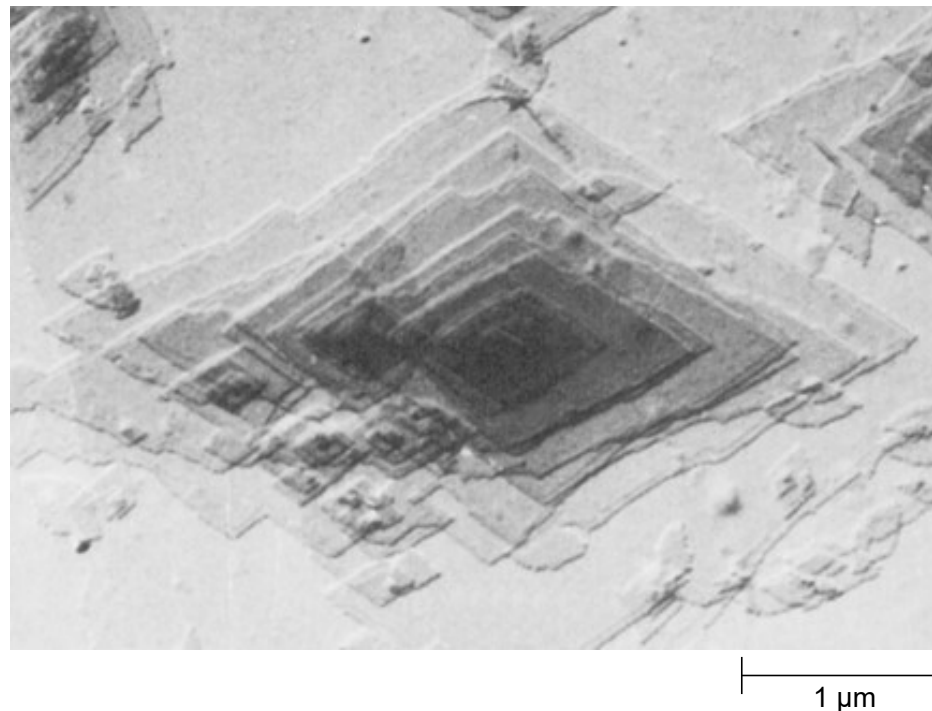
- συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες εξαρτώνται από το %κρυσταλλικότητας.
- η θερμική κατεργασία προκαλεί ανάπτυξη των κρυσταλλικών περιοχών και του %κρυσταλλικότητας.



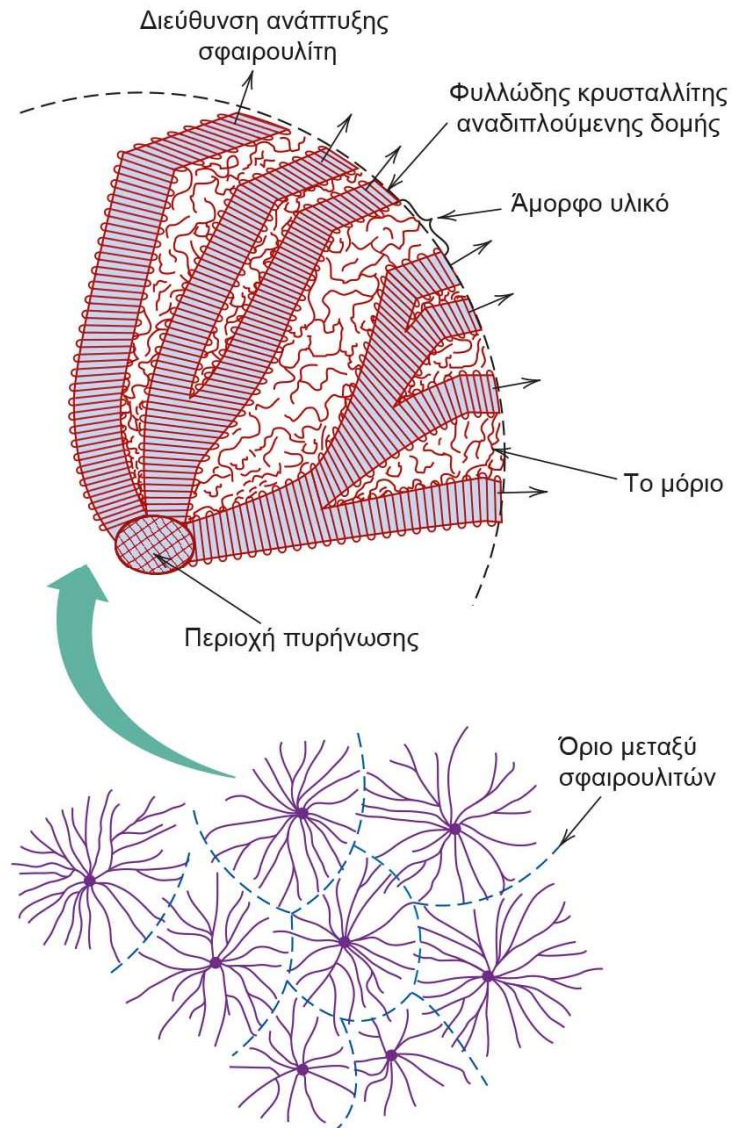
Σχ. 14.11, *Callister 6e*. (Από H.W. Hayden, W.G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*, John Wiley and Sons, Inc., 1965.)

Μονοκρύσταλλοι πολυμερών

- Φωτογραφία από μικροσκόπιο TEM: πολλαπλά στρώματα μονοκρυστάλλων (αναδιπλούμενης-αλυσίδας) πολυαιθυλενίου
- **Μονοκρύσταλλοι** – μόνο με αργούς και προσεκτικά ελεγχόμενους ρυθμούς ανάπτυξης



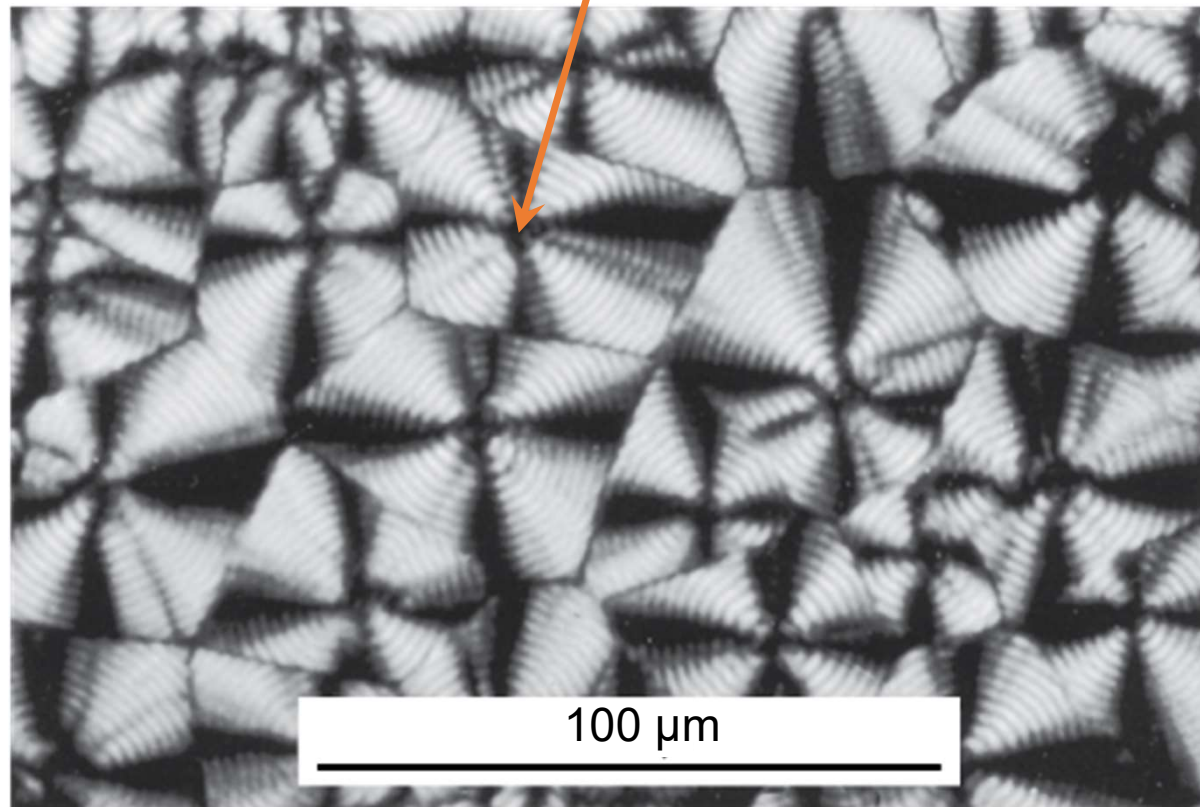
Ημικρυσταλλικά πολυμερή



- Ορισμένα ημι-κρυσταλλικά πολυμερή σχηματίζουν **σφαιρουλιτικές** δομές
- Εναλλάξ μοτίβο από κρυσταλλίτες αναδιπλούμενης-αλυσίδας και άμορφες περιοχές
- Σφαιρουλιτική δομή προκύπτει από σχετικά ταχείς ρυθμούς ανάπτυξης

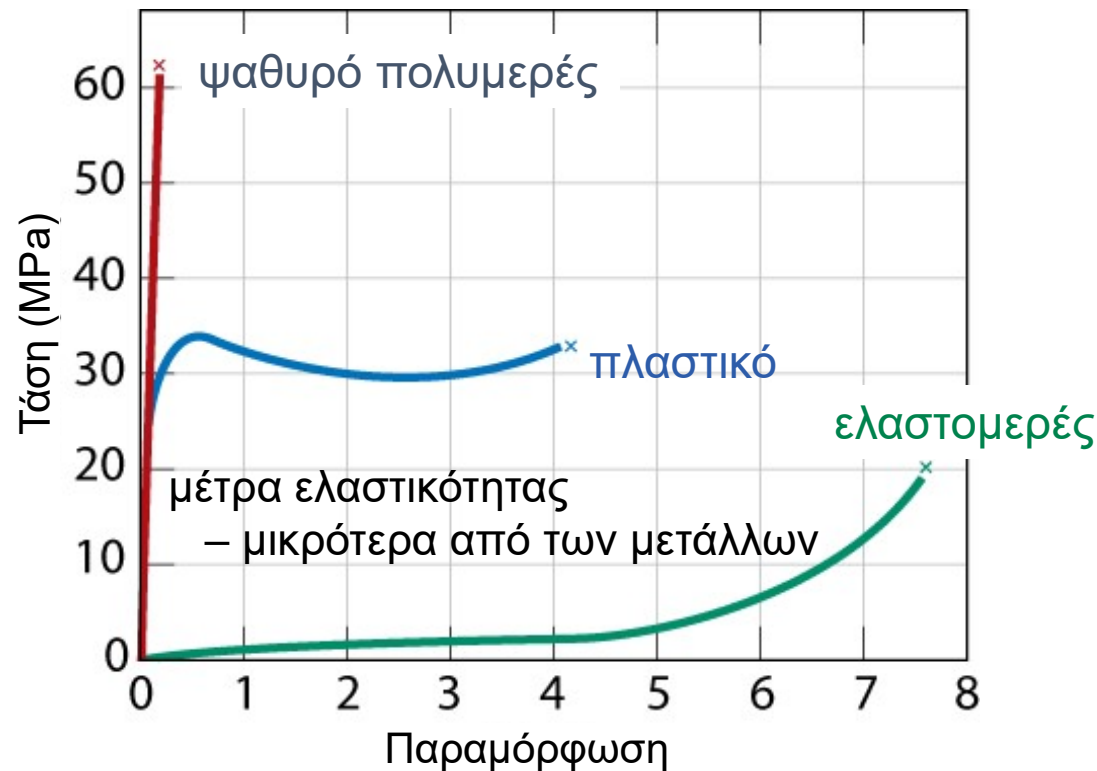
Σφαιρουλίτες σε πολυαιθυλένιο (φωτογραφία από μικροσκόπιο TEM)

Χρησιμοποιείται κάθετα πολωμένο φως
-- στο εσωτερικό κάθε σφαιρουλίτη, μορφολογία
που θυμίζει τον “σταυρό της Μάλτας”



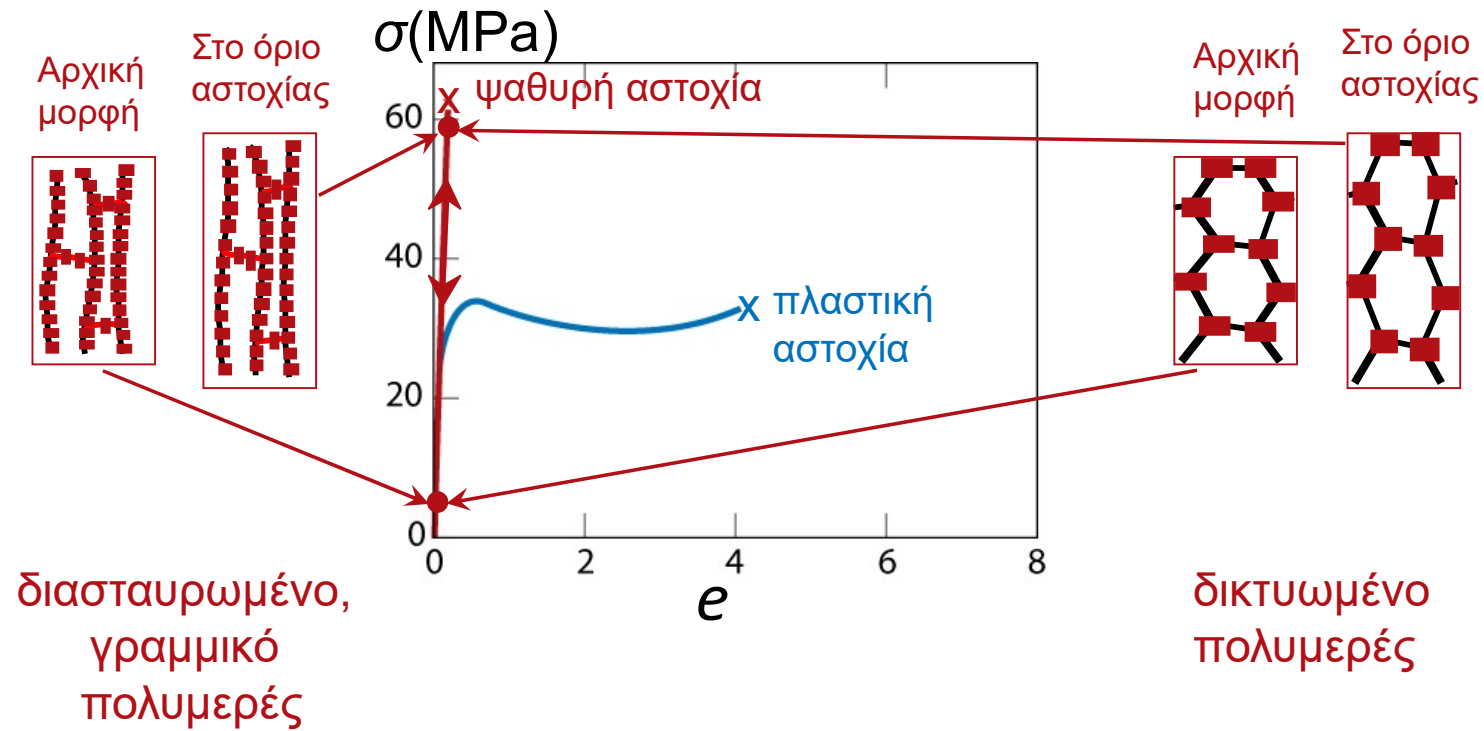
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ, ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Μηχανικές ιδιότητες πολυμερών – Συμπεριφορά τάσης-παραμόρφωσης

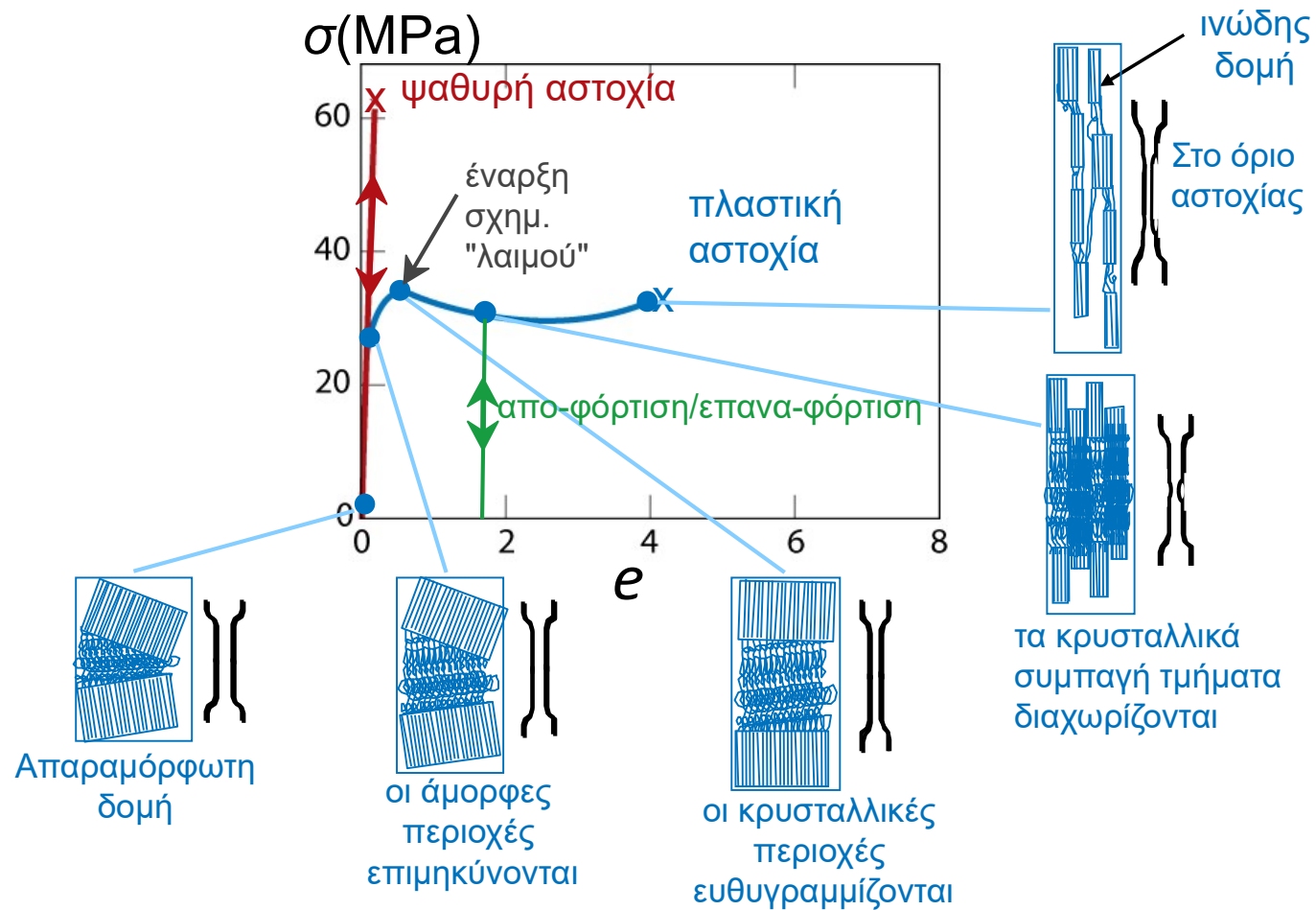


- Αντοχή πολυμερών σε θραύση: ~10% αυτής των μετάλλων
- Μηχανικές παραμορφώσεις πολυμερών > 1000%
 - στα περισσότερα μέταλλα, μηχ. παραμόρφωση < 10%

Μηχανισμοί παραμόρφωσης: Ψαθυρά, διασταυρωμένα και δικτυωμένα πολυμερή

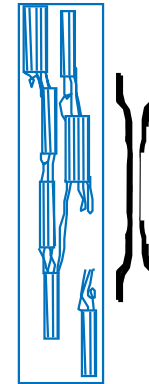


Μηχανισμοί παραμόρφωσης: Ημι-κρυσταλλικά (πλαστικά) πολυμερή

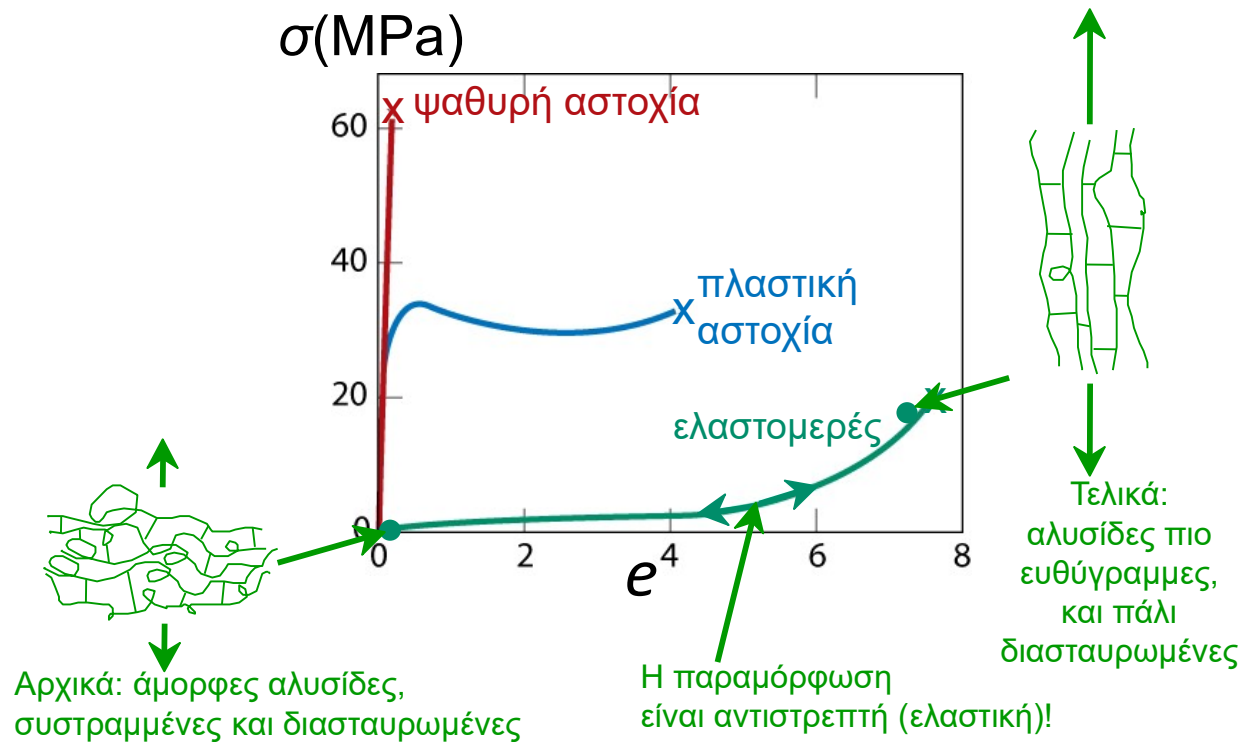


Προ-παραμόρφωση με διέλκυση

- Η **διέλκυση**...
 - εφελκύει το πολυμερές πριν από τη χρήση
 - ευθυγραμμίζει τις πολυμερ. αλυσίδες ως προς τη διεύθυνση διέλκυσης
- Αποτελέσματα της διέλκυσης:
 - αύξηση του μέτρου ελαστικότητας (E) στη διεύθυνση διέλκυσης
 - αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό (TS) στη διεύθυνση διέλκυσης
 - μείωση της ολκιμότητας ($\%EL$)
- Η **ανόπτηση** μετά τη διέλκυση...
 - μειώνει την ευθυγράμμιση των αλυσίδων
 - αντιστρέφει τις επιδράσεις της διέλκυσης (μείωση των E και TS , βελτίωση του $\%EL$)
- Αποτελέσματα ανόπτησης: Αντίστροφα από αυτά που τυπικά παρατηρούνται σε μεταλλικά υλικά!



Μηχανισμοί παραμόρφωσης: Ελαστομερή

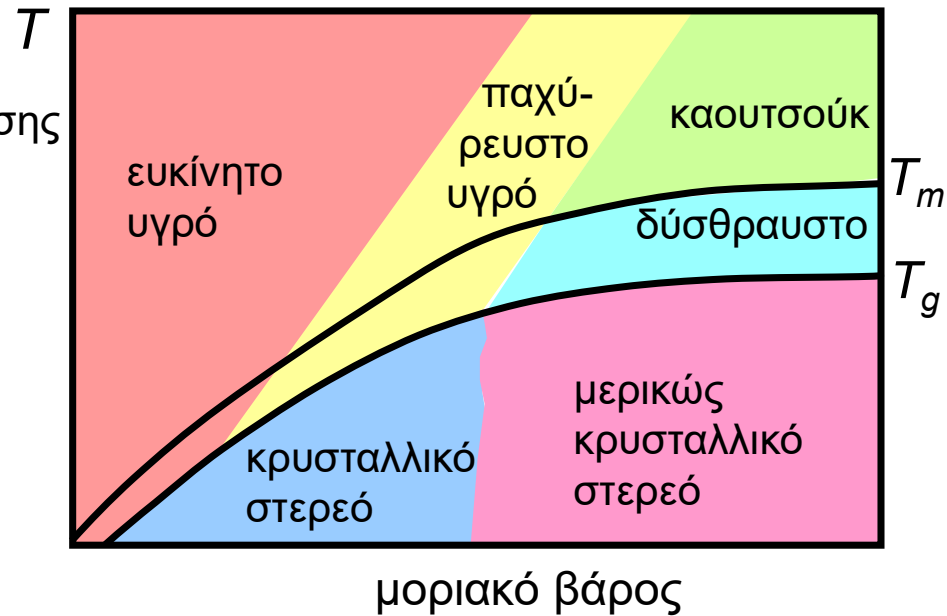


- Σύγκριση της ελαστικής συμπεριφοράς των ελαστομερών με:
 - την ψαθυρή συμπεριφορά των ευθυγραμμισμένων, διασταυρωμένων & δικτυωμένων πολυμερών, και
 - την πλαστική συμπεριφορά των ημι-κρυσταλλικών πολυμερών (όπως αναφέρονται σε προηγούμενες διαφάνειες)

Θερμοπλαστικά έναντι θερμοσκληρυνόμενων

- **Θερμοπλαστικά:**

- μικρός βαθμός διασταύρωσης
- όλκιμα
- μαλακώνουν με θέρμανση
- πολυαιθυλένιο
- πολυπροπυλένιο
- πολυκαρβονικά
- πολυστυρένιο

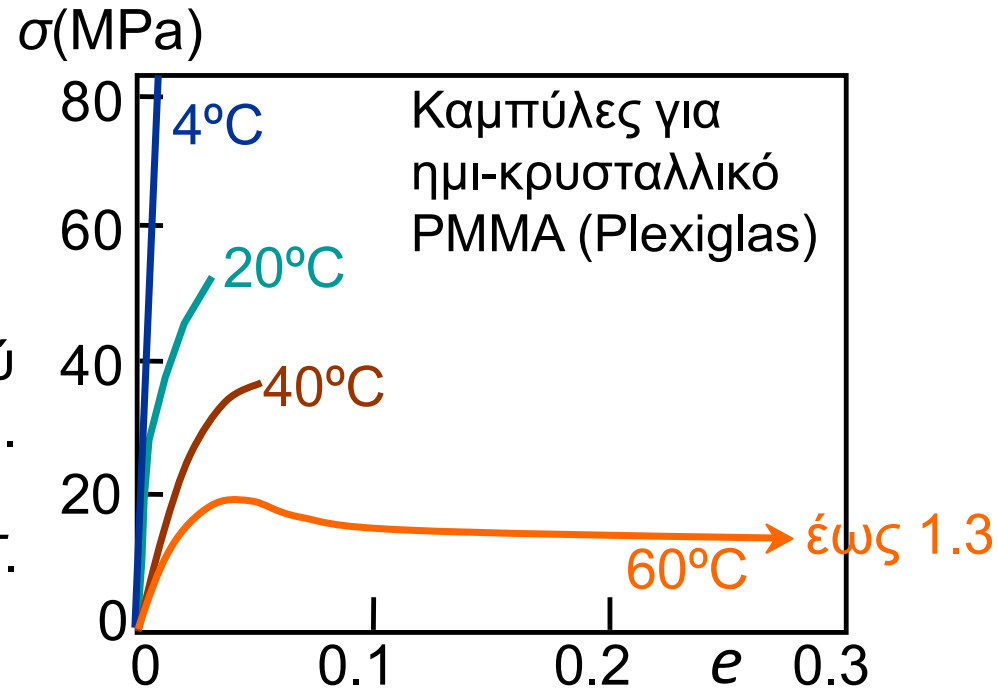


- **Θερμοσκληρυνόμενα:**

- σημαντικός βαθμός διασταύρωσης (10 έως 50% επαναλαμβανόμενων μονάδων)
- σκληρά και ψαθυρά
- **ΔΕΝ** μαλακώνουν με θέρμανση
- βουλκανισμένο καουτσούκ, εποξειδικά, πολυεστερική ρητίνη, φαινολική ρητίνη

Επίδραση θερμοκρασίας (T) & ρυθμού παραμόρφωσης στα θερμοπλαστικά

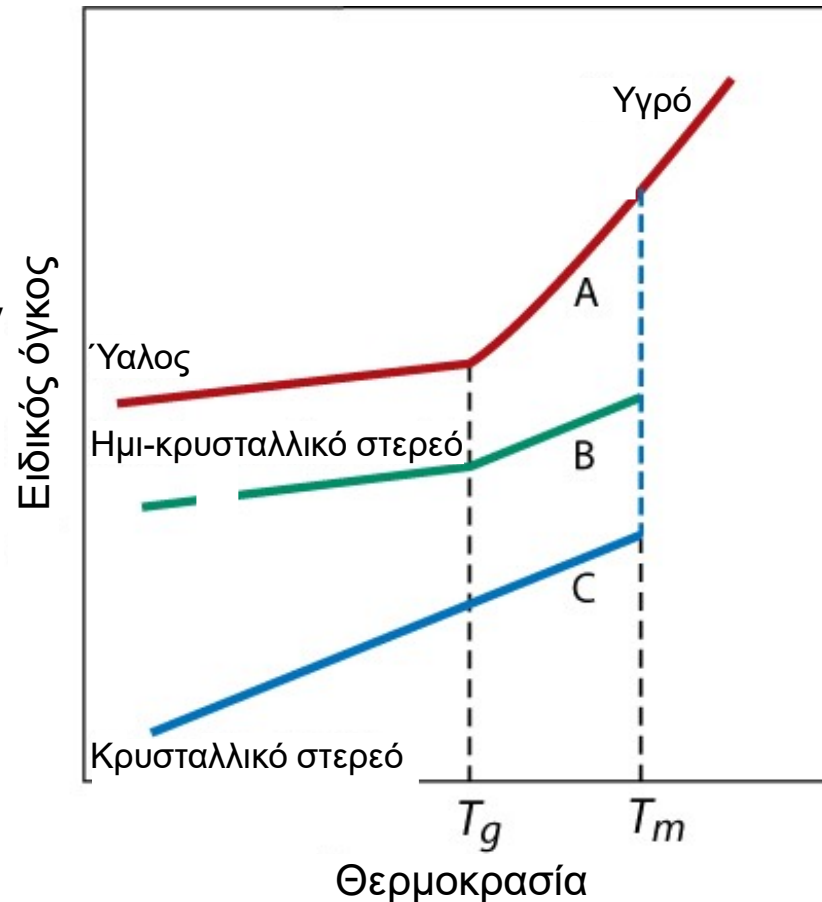
- Μείωση της T ...
 - αυξάνει το E
 - αυξάνει την TS
 - μειώνει το $\%EL$
- Αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης...
 - ίδιες επιδράσεις με τη μείωση της T .



Θερμοκρασίες τήξης & υαλώδους μετάπτωσης (T_m , T_g)

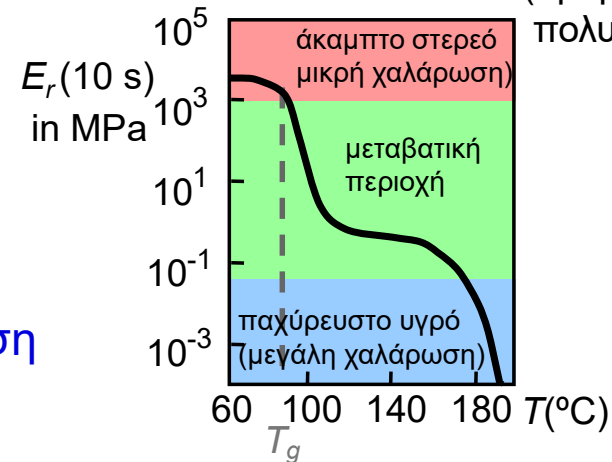
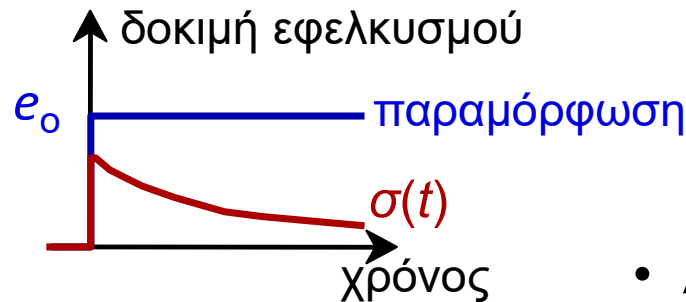
Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τις T_m και T_g ;

- Αμφότερες οι T_m και T_g αυξάνονται με την αύξηση της ακαμψίας των πολυμερ. αλυσίδων
- Η ακαμψία των πολυμερ. αλυσίδων αυξάνεται όταν υπάρχουν
 1. Ογκώδεις πλευρικές ομάδες
 2. Πολικές ομάδες ή πλευρικές ομάδες
 3. Διπλοί δεσμοί και αρωματικές ομάδες στις αλυσίδες
- Κανονικότητα διάταξης επαναλαμβανόμενων μονάδων – επηρεάζει μόνο την T_m



Χρονικά εξαρτώμενη παραμόρφωση

- **Δοκιμή χαλάρωσης τάσεων:**
 - παραμόρφωση, υπό εφελκυσμό, έως ϵ_0 .
 - παρατηρείται μείωση της τάσης με τον χρόνο.
- Για $T > T_g$ παρατηρείται μεγάλη μείωση στην E_r (άμορφο πολυστυρένιο)



- **Μέτρο χαλάρωσης:**

$$E_r(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon_0}$$

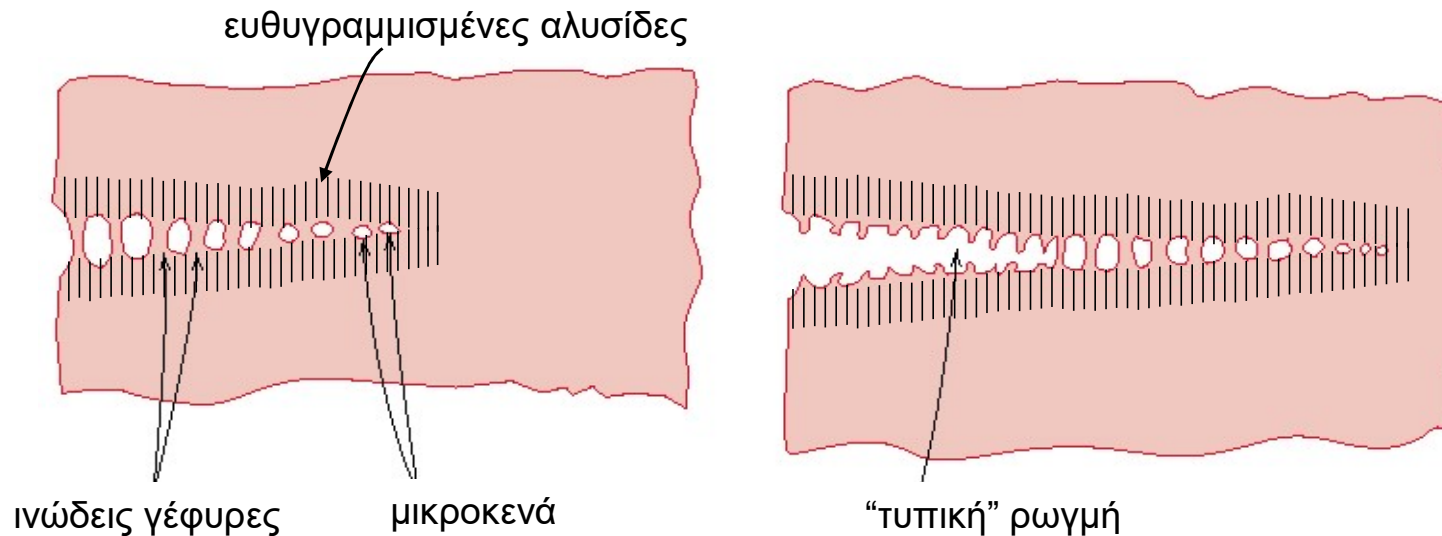
- Αντιπροσωπευτικές τιμές T_g ($^{\circ}\text{C}$):

PE (χαμηλής πυκνότητας)	- 110
PE (υψηλής πυκνότητας)	- 90
PVC	+ 87
PS	+100
PC	+150

Ανάπτυξη πορωδών ρωγμών κατά τη θραύση θερμοπλαστικών

Οι **πορώδεις ρωγμές** συμπεριφέρονται διαφορετικά από τις συνήθεις ρωγμές και σχηματίζονται πριν από αυτές

- σχετίζονται με περιοχές πολύ εντοπισμένης διαρροής, οι οποίες οδηγούν στον σχηματισμό μικρών αλληλένδετων μικροκενών
- μεταξύ των μικροκενών σχηματίζονται ινώδεις γέφυρες εντός των οποίων προσανατολίζονται οι μοριακές αλυσίδες



Τύποι πολυμερών – ίνες

Ίνες - μήκος/διάμετρος > 100

- Κύρια χρήση σε υφάσματα.
- Χαρακτηριστικά ινών:
 - Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό
 - Υψηλός βαθμός κρυσταλλικότητας
 - Δομές που περιέχουν πολικές ομάδες
- Διαμορφώνονται με κατεργασίες **στροβιλισμού**
 - το τηγμένο πολυμερές διέρχεται από ειδική μήτρα με πολλές μικρές οπές
 - οι παραγόμενες ίνες υφίστανται μηχανική επιμήκυνση (διέλκυση)
 - το αποτέλεσμα είναι εξαιρετικά ευθυγραμμισμένες πολυμερικές αλυσίδες – ινώδης δομή

Τύποι πολυμερών και χρήσεις

- **Επιστρώσεις** – λεπτές στρώσεις πολυμερούς που εφαρμόζονται σε επιφάνειες (π.χ. βαφές, βερνίκια) για σκοπούς όπως
 - προστασία από διάβρωση/αλλοίωση
 - αισθητική – βελτίωση εμφάνισης
 - επίτευξη ηλεκτρικής μόνωσης
- **Υλικά συγκόλλησης** – διασύνδεση δύο στερεών υλικών
 - τύποι διασύνδεσης:
 1. χημική – μέσω δυνάμεων van der Waals
 2. μηχανική – διείδυση σε πόρους/εσοχές/σχισμές
- **Μεμβράνες** – παράγονται με εξώθηση/εμφύσηση
- **Αφροί** – παράγονται με ενσωμάτωση φυσαλίδων αέρα σε πλαστικό

Προηγμένα πολυμερή

Πολυαιθυλένιο υπερυψηλού μοριακού βάρους (UHMWPE)

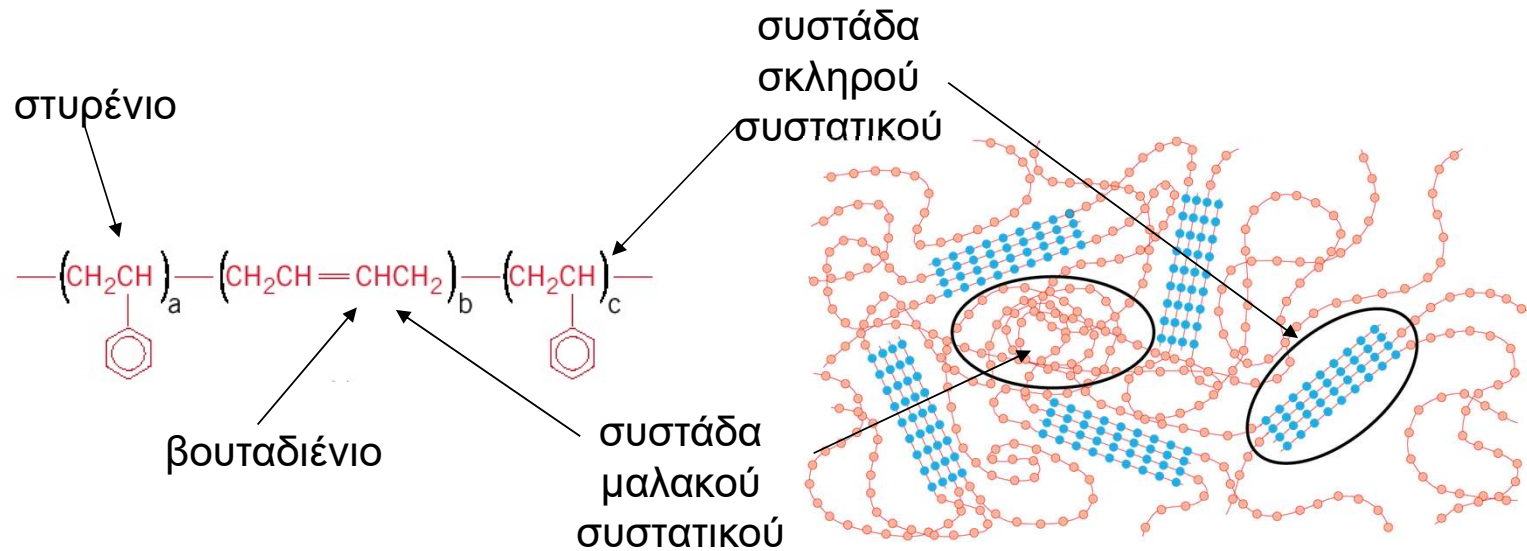
- Μοριακό βάρος περίπου 4×10^6 g/mol
- Εξαιρετικές ιδιότητες
 - υψηλή αντοχή σε κρούση
 - αντίσταση σε φθορά/εκτριβή
 - χαμηλός συντελεστής τριβής
 - αυτο-στιλβούμενη, αντικολλητική επιφάνεια
- Σημαντικές εφαρμογές
 - αλεξίσφαιρα γιλέκα
 - καλύμματα για μπάλες γκολφ
 - εμφυτεύματα αρthroπλαστικής ισχίου



Προηγμένα πολυμερή

Θερμοπλαστικά ελαστομερή

Στυρένιο-Βουταδιένιο: συμπολυμερές κατά συστάδες





ΣΥΝΟΨΗ



- Περιορισμοί των πολυμερών:
 - Γενικά μικρά μεγέθη E , σ_y , K_c , $T_{\text{εφαρμογής}}$.
 - Παραμόρφωση, συχνά εξαρτώμενη από χρόνο και θερμοκρασία.
- **Θερμοπλαστικά** (PE, PS, PP, PC):
 - Σχετικά μικρότερα E , σ_y , $T_{\text{εφαρμογής}}$
 - Σχετικά μεγαλύτερο K_c
 - Ευκολότερη διαμόρφωση και ανακύκλωση
- **Ελαστομερή** (καουτσούκ):
 - Μεγάλες αντιστρεπτές παραμορφώσεις!
- **Θερμοσκληρυνόμενα** (εποξειδικά, πολυεστέρες):
 - Σχετικά μεγαλύτερα E , σ_y , $T_{\text{εφαρμογής}}$
 - Σχετικά μικρότερο K_c

• Εφαρμογές των πολυμερών

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| -- ελαστομερή | -- ίνες |
| -- επιστρώσεις | -- υλικά συγκόλλησης |
| -- μεμβράνες | -- αφροί |
| -- προηγμένα πολυμερικά υλικά | |

