

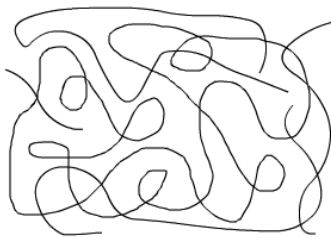
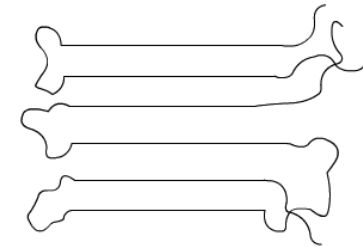
*Γενικές ιδιότητες
πολυμερών στη στερεά
κατάσταση – φυσικές
καταστάσεις*



ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Κρυσταλλική κατάσταση – μορφολογία και δομή

Τάξη



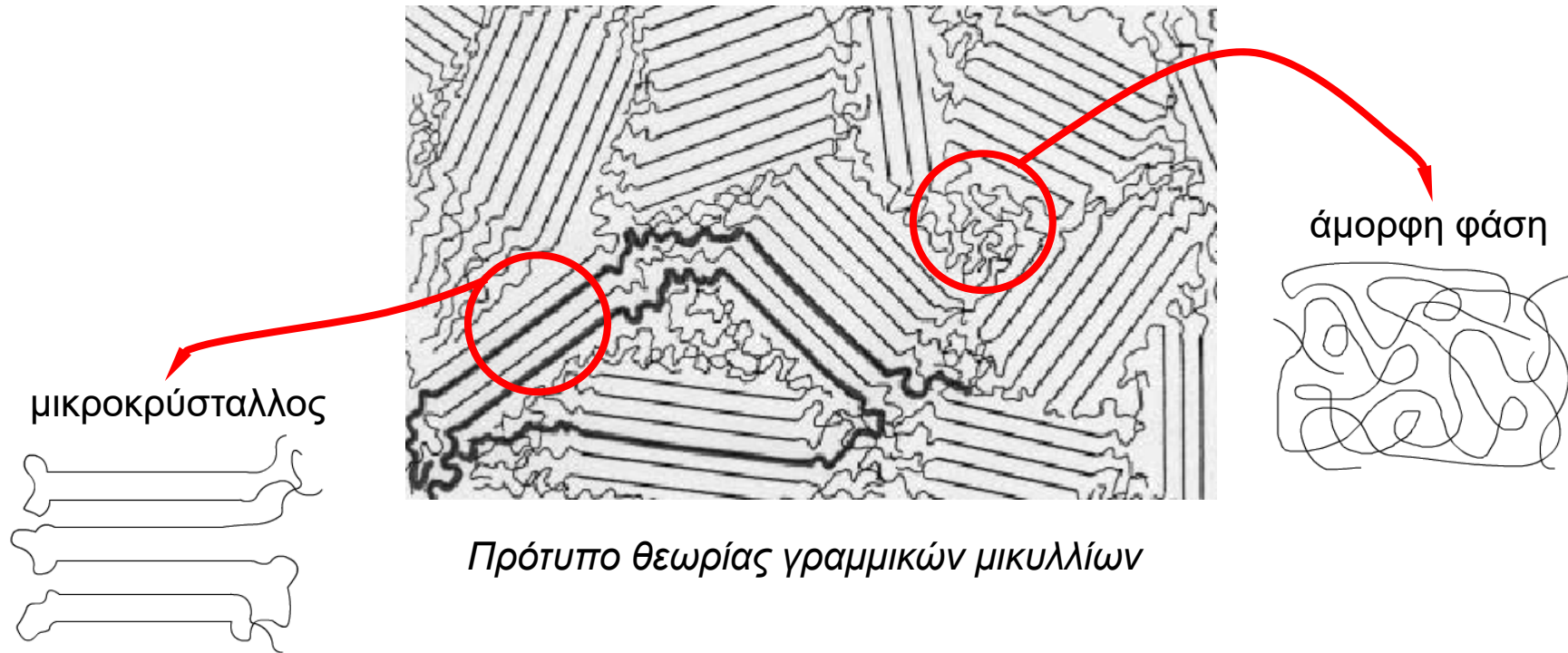
Αταξία

Οι φυσικές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα πολυμερές μπορούν να κατανοηθούν αν δεχθούμε αρχικά μία μακριά κανονική πολυμερική αλυσίδα, που να αποτελείται από μία ακολουθία απλών δεσμών. Η **πολυμερική αλυσίδα** μπορεί να λάβει **άπειρες διαμορφώσεις στο χώρο** αν σκεφτούμε ότι μπορεί να **περιστραφεί ελεύθερα** γύρω από κάθε απλό δεσμό. Κατά τις περιστροφές αυτές οι αποστάσεις και οι γωνίες των δεσμών παραμένουν σταθερές.



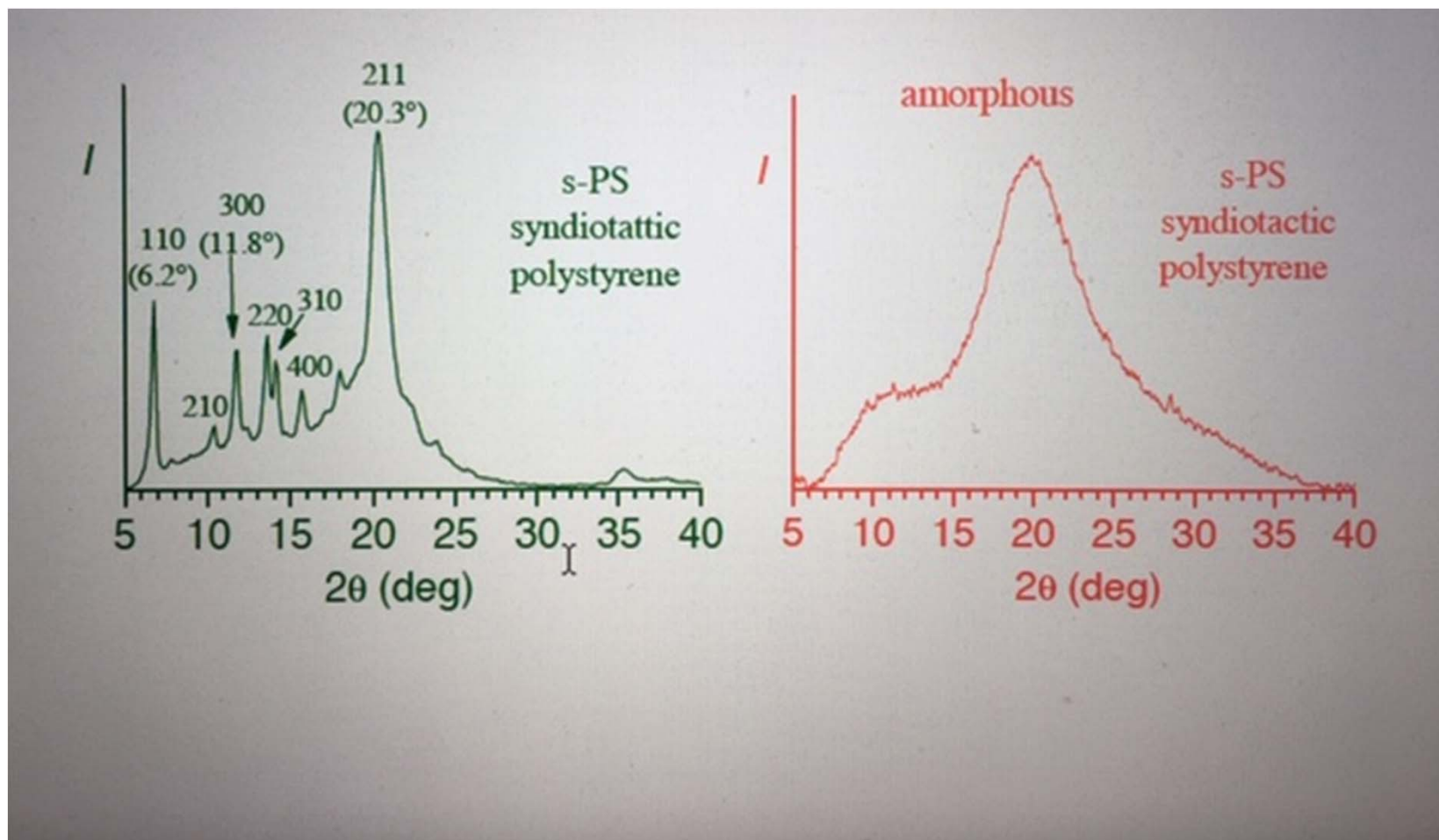
ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Κρυσταλλική κατάσταση – μορφολογία και δομή





ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ ΑΠΟ ΗΜΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΜΟΡΦΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ





Στερεοδομή, στερεομορφή και μοριακή διευθέτηση

Η **στερεοδομή** εξαρτάται:

- * χημική φύση του μονομερούς
- * ύπαρξη δομικής συμμετρίας
- * ύπαρξη ή μη διακλαδώσεως στην κύρια αλυσίδα
- * ύπαρξη ανομοιογένειας λόγω συμπολυμερισμού

Η δυνατότητα κρυστάλλωσης περιορίζεται επίσης σημαντικά από ογκώδεις υποκαταστάτες.

Η «**τοπική**» **στερεομορφή** αναφέρεται στις διάφορες ισομερείς μορφές που προκύπτουν λόγω περιστροφών.

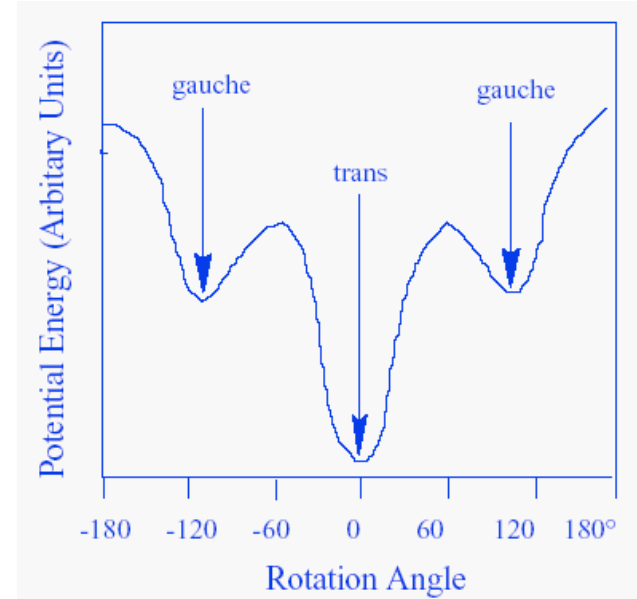
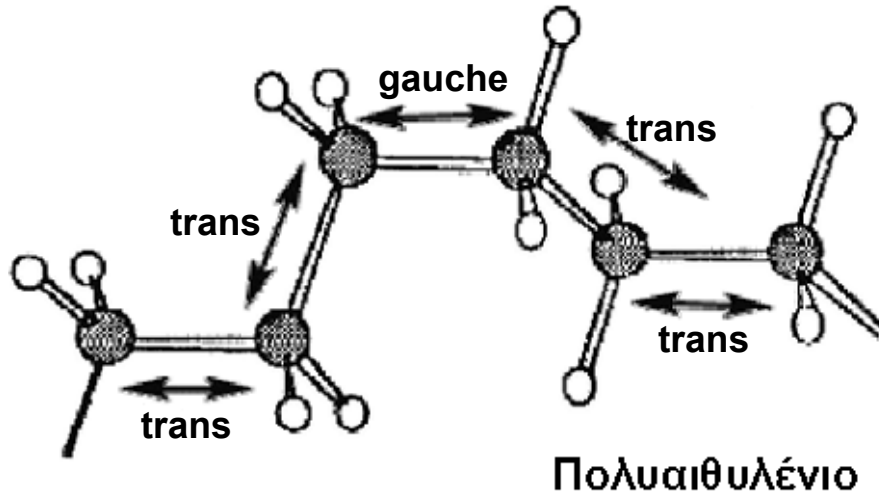
- * trans-στερεομορφή (ζικ-ζακ διάταξη των δεσμών)
- * gauche-στερεομορφή
- * ελιοκοειδή-στερεομορφή

Η **μοριακή διευθέτηση** αναφέρεται στη διάταξη των μορίων στον κρύσταλλο.

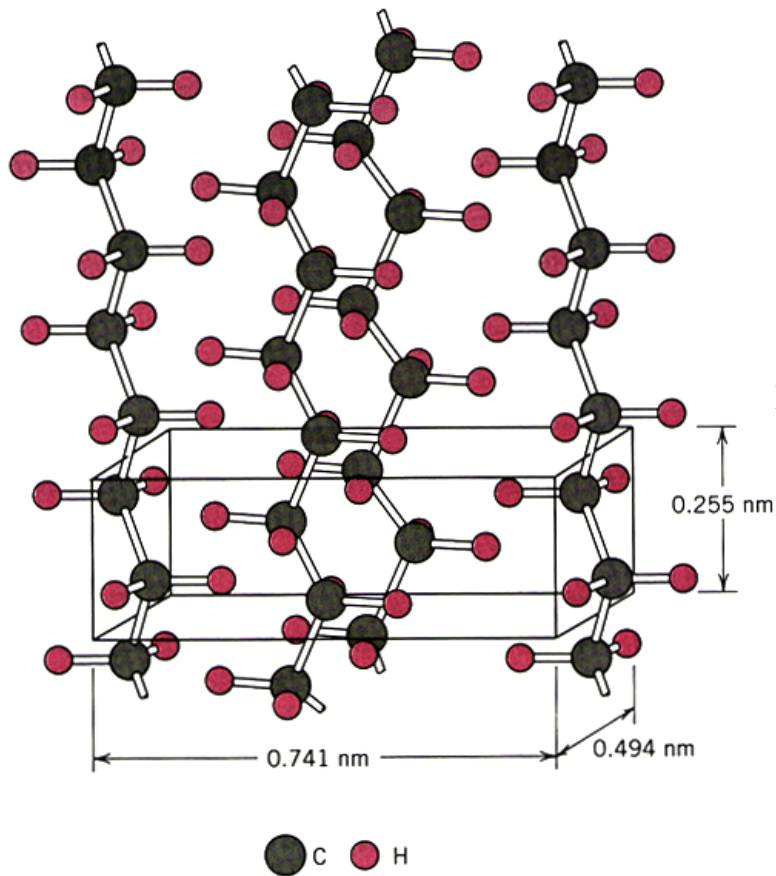


ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

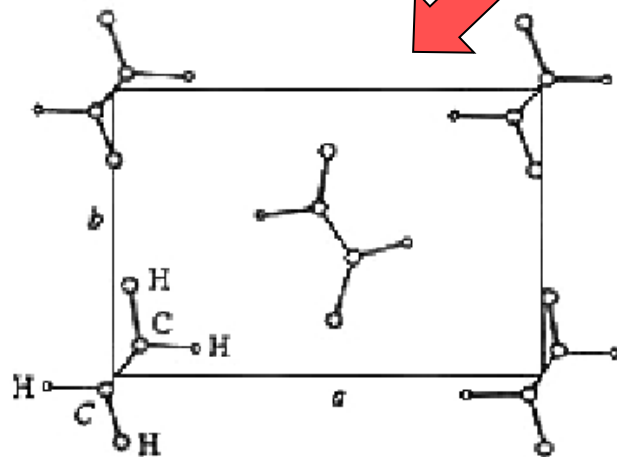
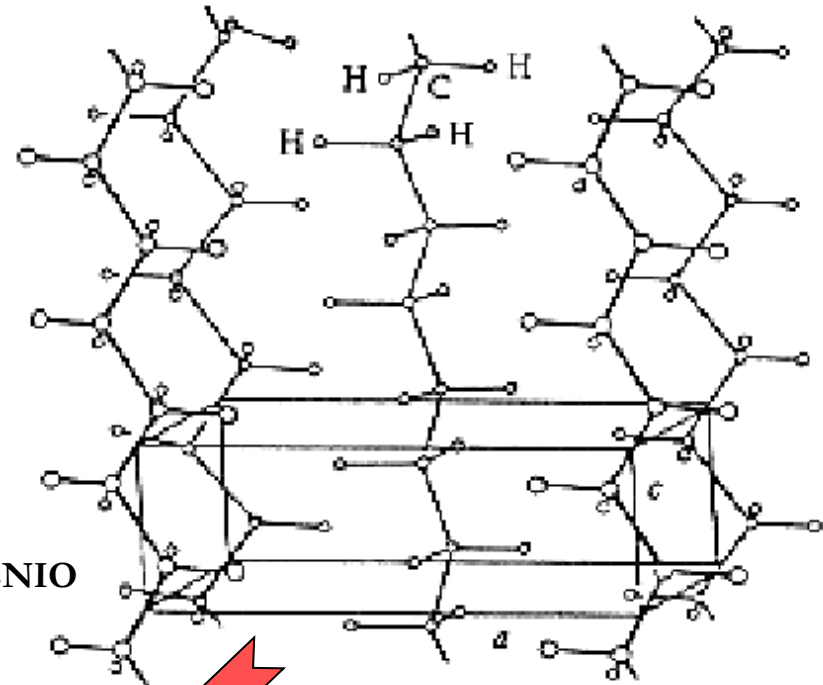
Κρυσταλλική κατάσταση – μορφολογία και δομή



Η δομική μονάδα του κρυστάλλου



ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ



Η δομική μονάδα αποτελείται από μικρά τμήματα διαφορετικών αλυσίδων.

Η πυκνότητα ενός ημικρυσταλλικού πολυμερικού δείγματος εξαρτάται από το βαθμό κρυσταλλικότητας του.

ρ : κρυσταλλικότητα δείγματος

ρ_a : κρυσταλλικότητα άμορφης φάσης

ρ_c : κρυσταλλικότητα κρυσταλλικής φάσης

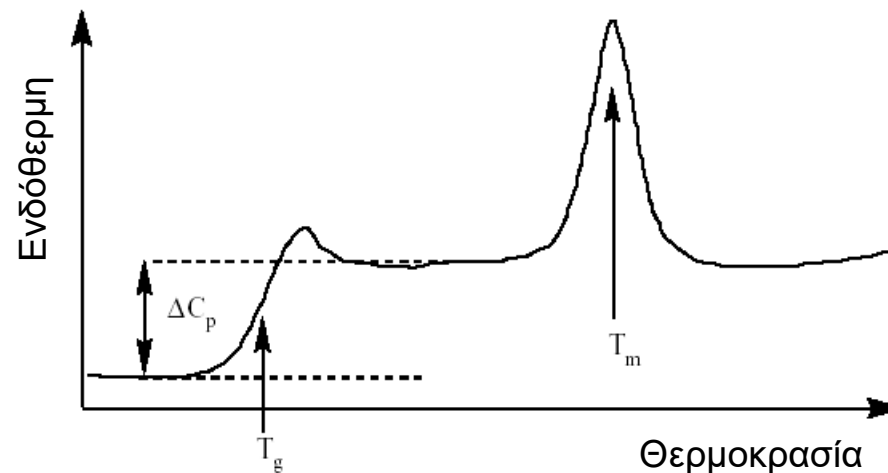
$$x \% = \frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a} \times 100$$

Η ενθαλπία τήξεως ενός ημικρυσταλλικού πολυμερικού δείγματος εξαρτάται από το βαθμό κρυσταλλικότητας του.

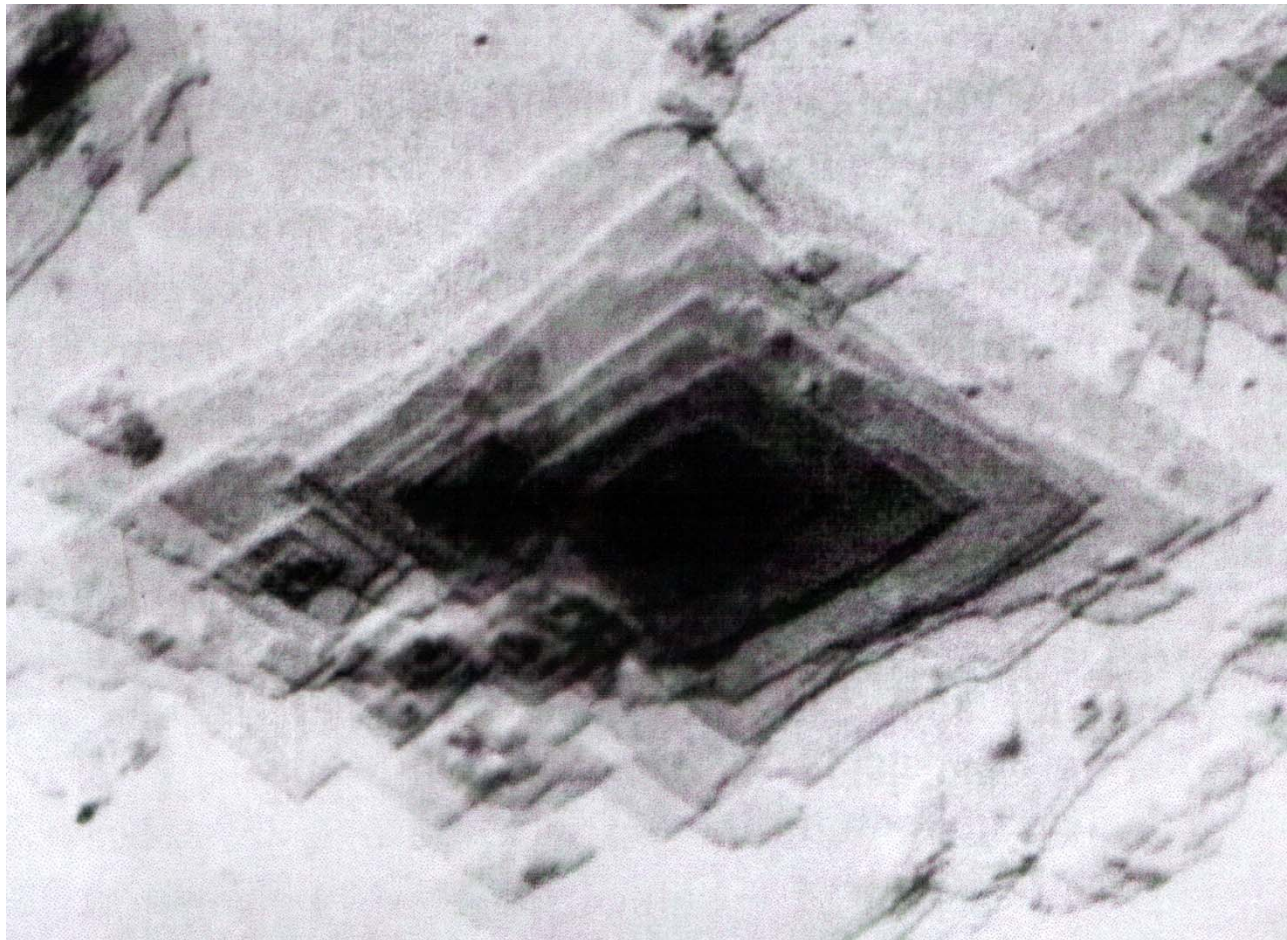
ΔH_f : ενθαλπία τήξεως δείγματος

ΔH_f^0 : ενθαλπία τήξεως πλήρως κρυσταλλικής φάσης

$$x \% = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times 100$$



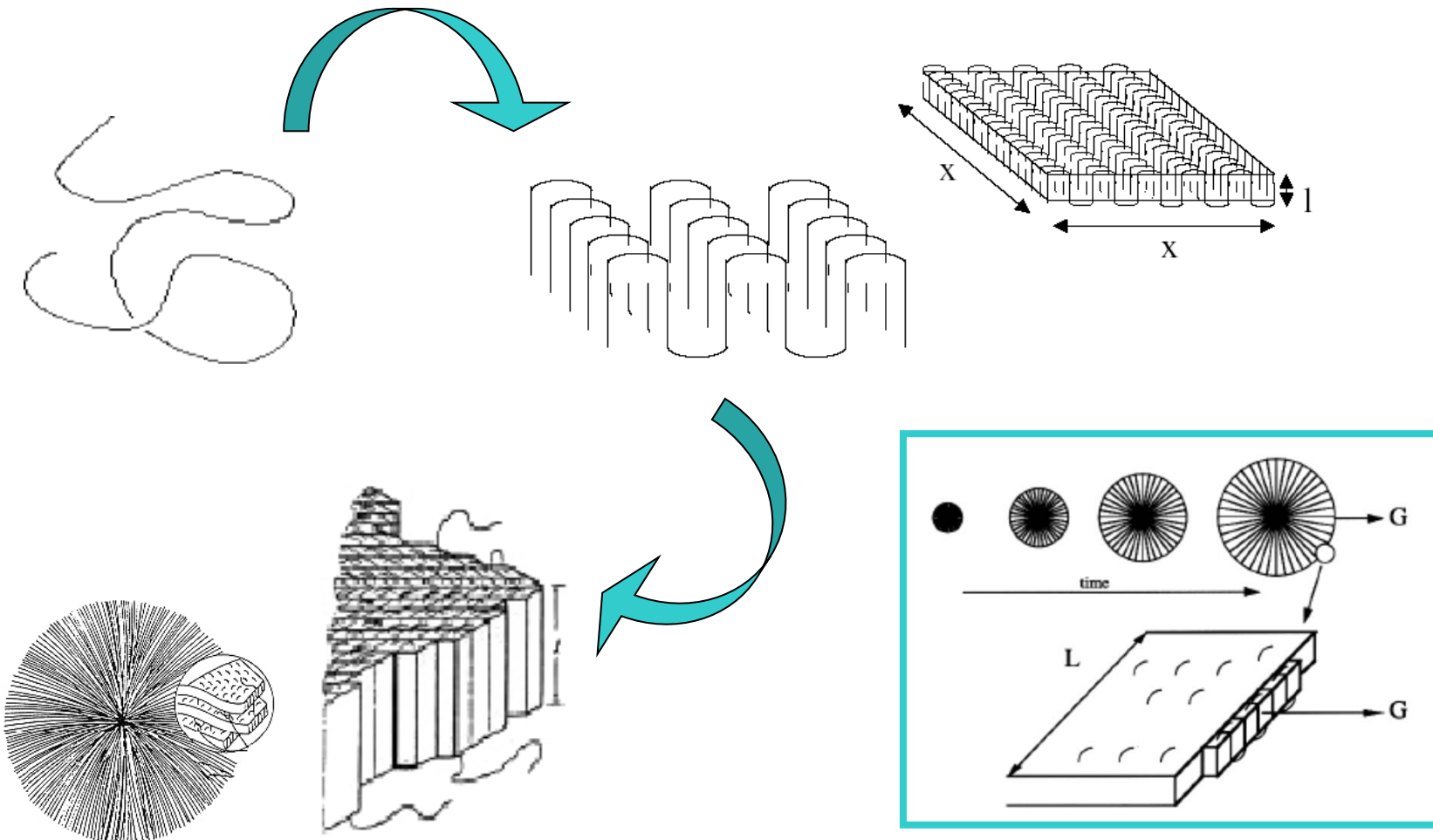
● *Κρύσταλλοι πολυμερών από τήγμα και
μονοκρύσταλλοι πολυμερούς*



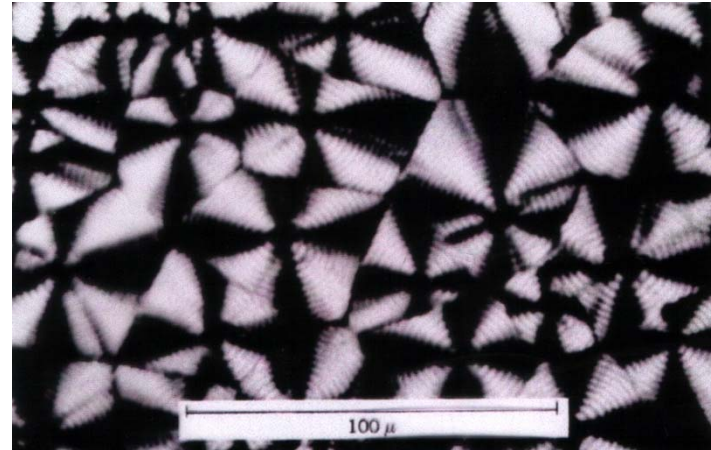


ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Κρυσταλλική κατάσταση – μορφολογία και δομή



Διαστάσεις σφαιρουλίτη

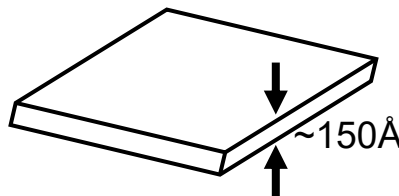


Απόσταση μεταξύ των αλυσίδων στους κρυστάλλους πολυμερών



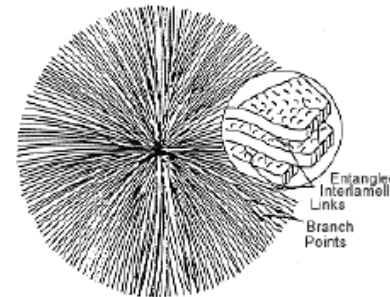
$\sim 5 \text{ \AA}$
 $5 \times 10^{-4} \text{ \mu m}$
 $5 \times 10^{-8} \text{ cm}$

Ανάπτυξη μονοκρυστάλλου σε διάλυμα



$\sim 1,5 \times 10^5 \text{ \AA}$
 15 \mu m
 $1,5 \times 10^{-3} \text{ cm}$

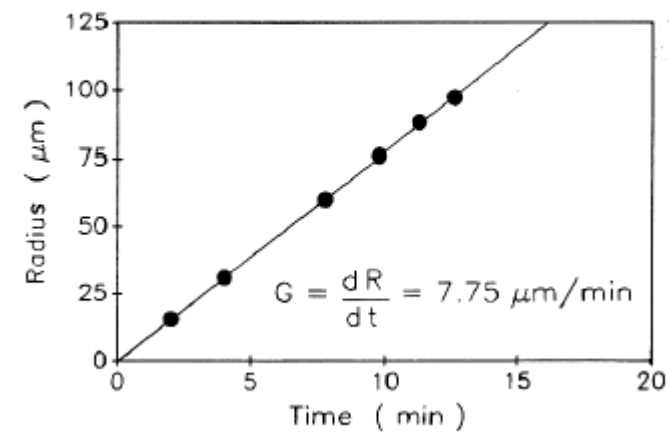
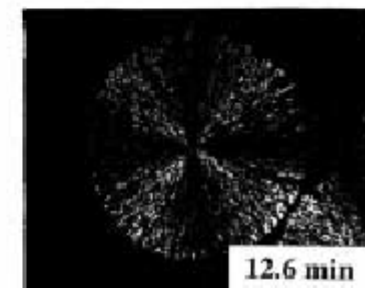
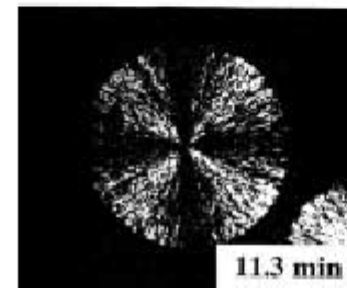
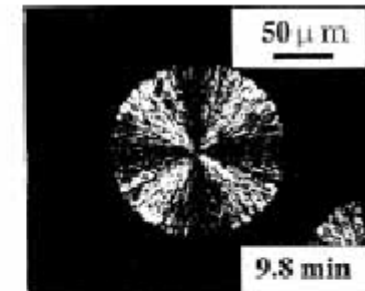
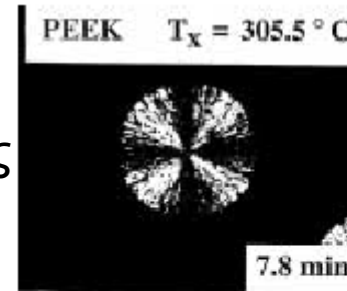
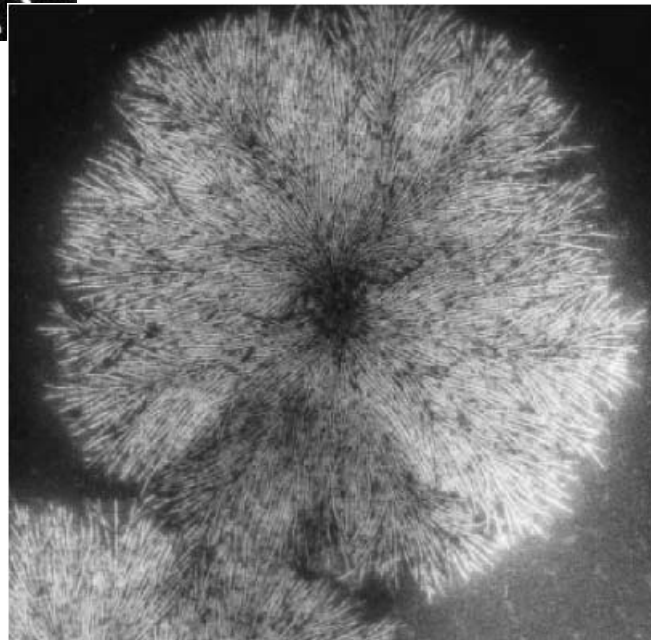
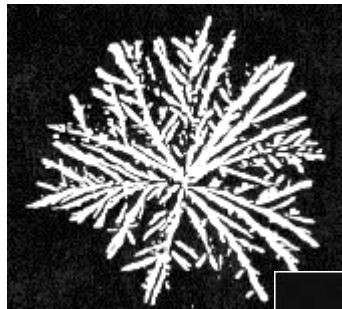
Ανάπτυξη σφαιρουλίτη



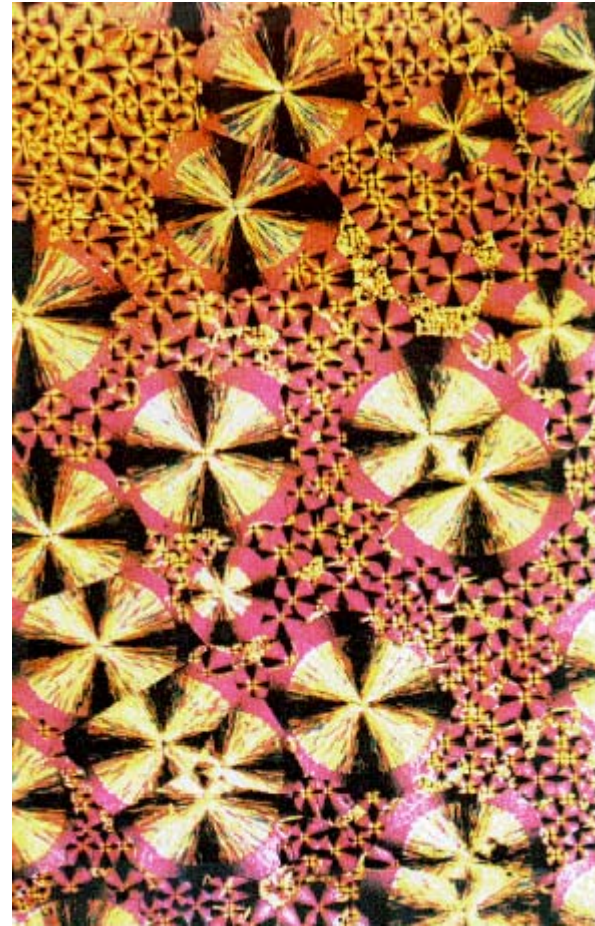
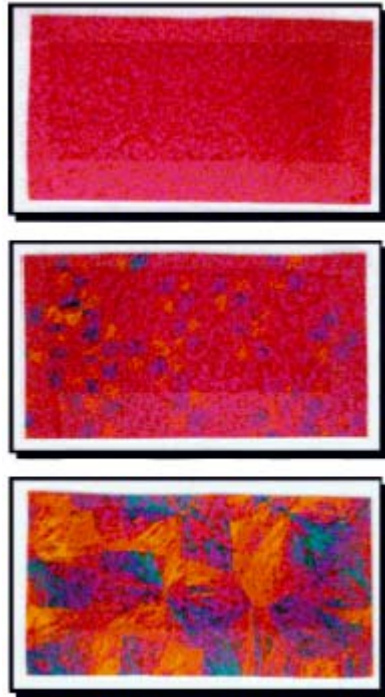
$\sim 1 \times 10^6 \text{ \AA}$
 100 \mu m
 $1 \times 10^{-2} \text{ cm}$

Ανάπτυξη σφαιρουλιτών

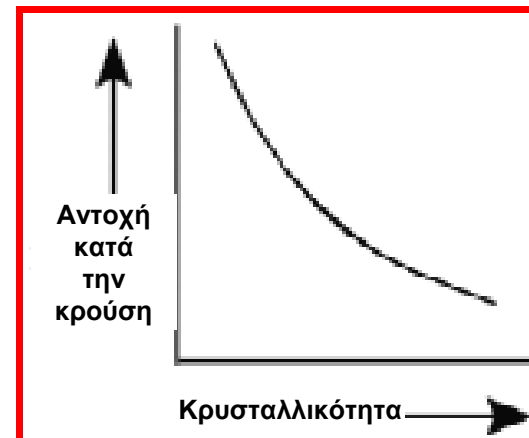
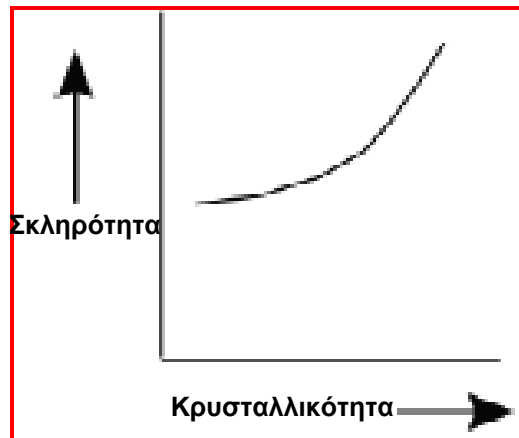
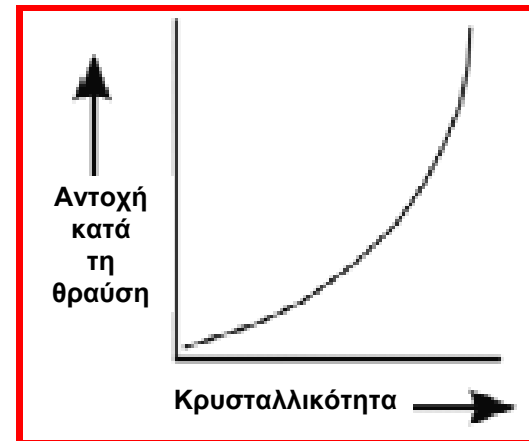
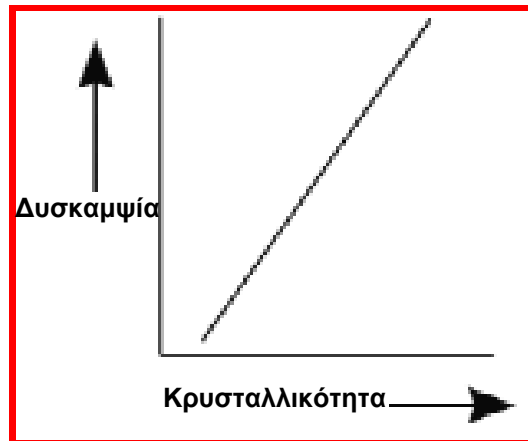
Κάτω από ισόθερμες συνθήκες ο ρυθμός ανάπτυξης του κρυστάλλου είναι σταθερός. Η ακτίνα του σφαιρουλίτη αυξάνει γραμμικά με το χρόνο.



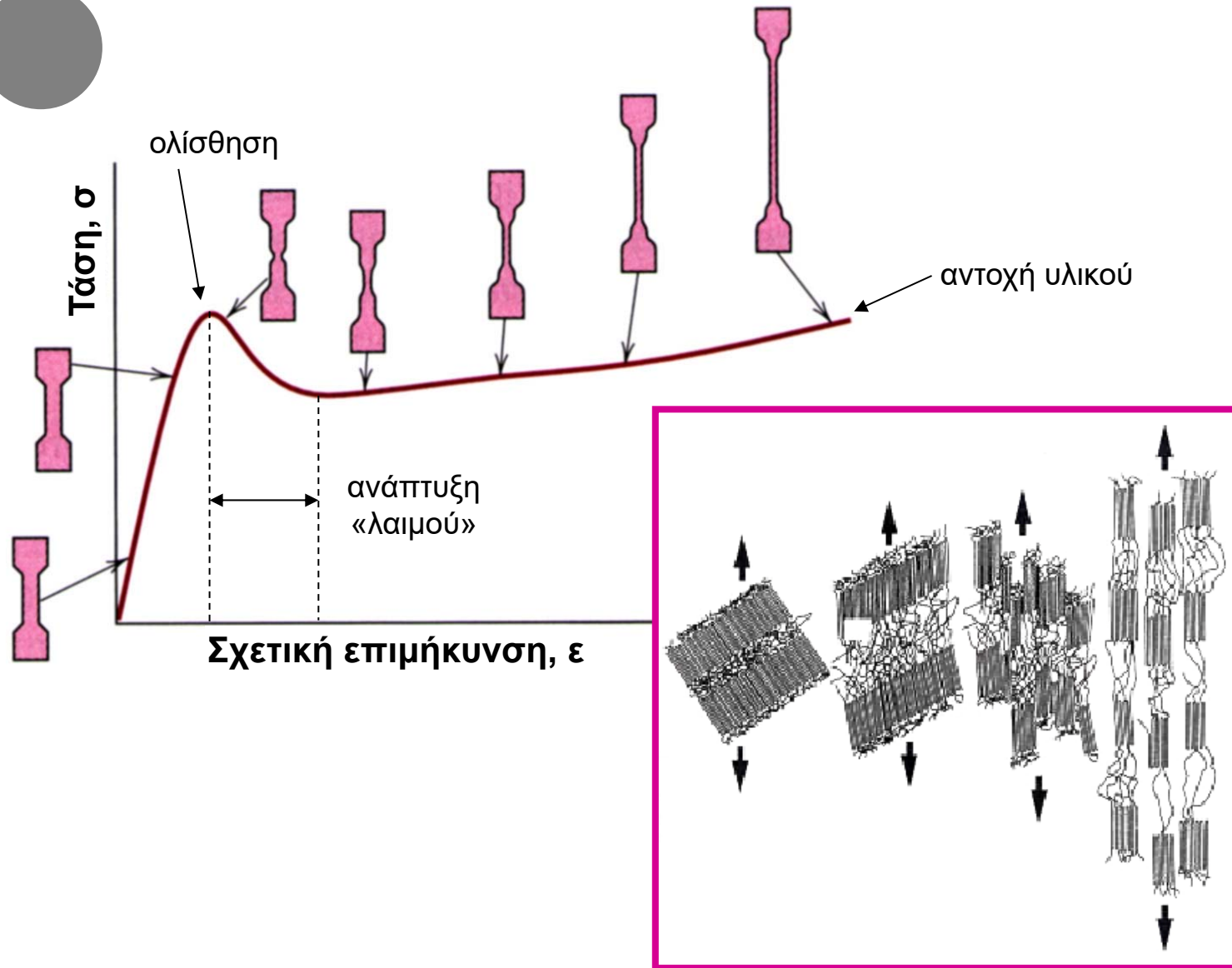
Ανάπτυξη σφαιρουλιτών



Σχέση κρυσταλλικότητας με φυσικές ιδιότητες



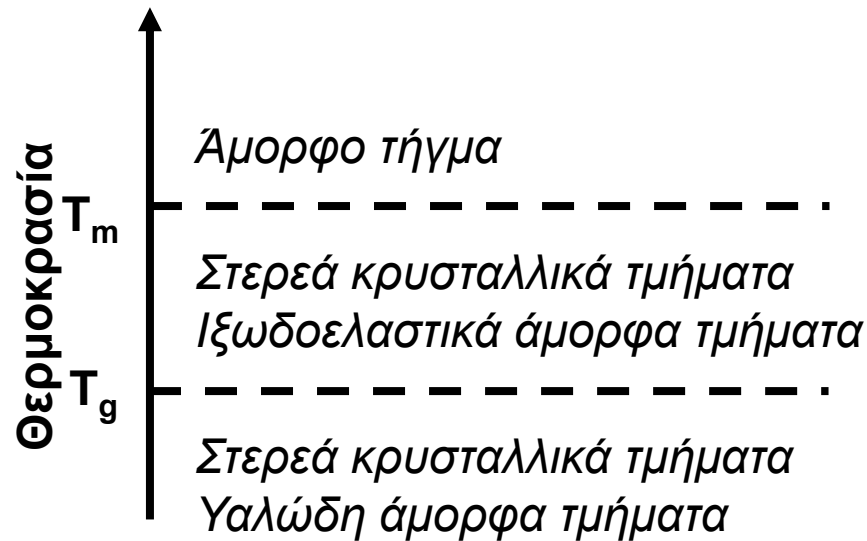
Επίδραση εφελκυσμού - Προσανατολισμός





ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Άμορφη κατάσταση – χαρακτηριστικές μεταβάσεις πολυμερών



Ημικρυσταλλικά πολυμερή

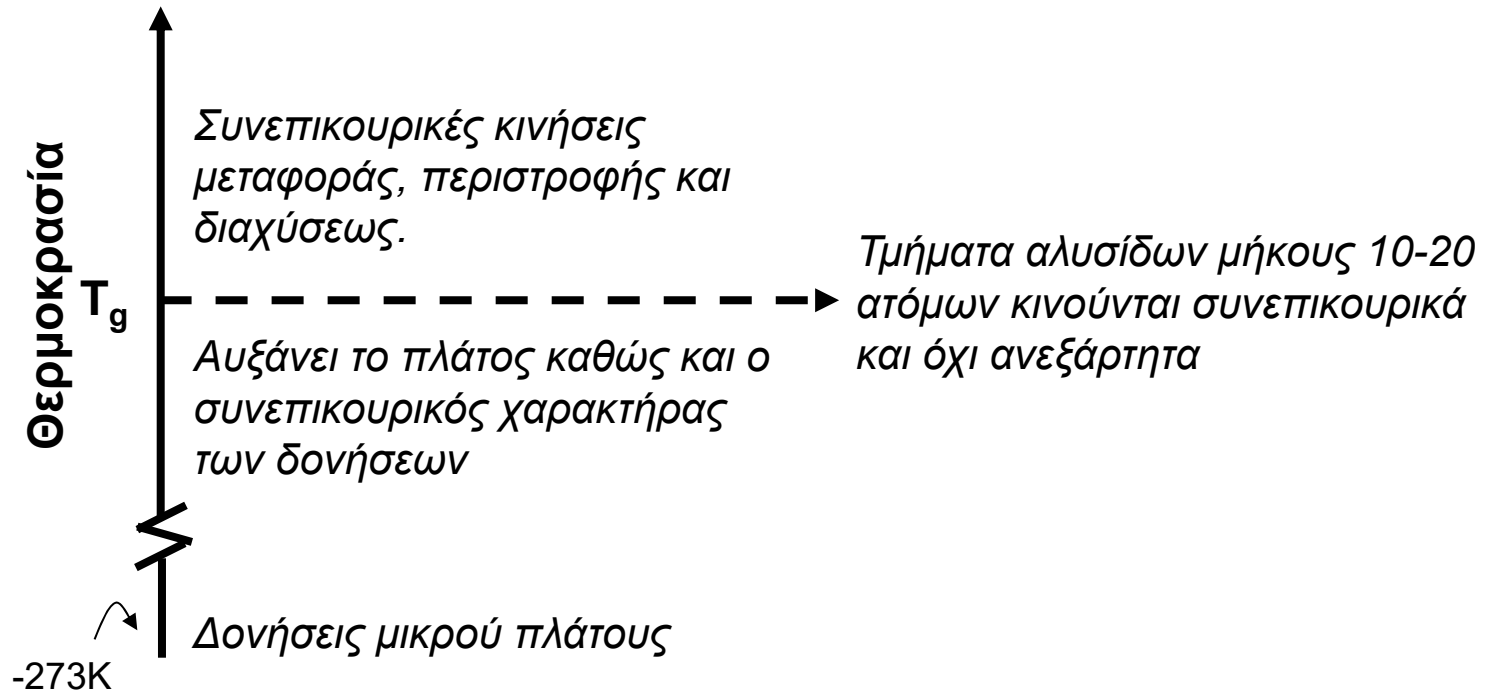


ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Άμορφη κατάσταση – χαρακτηριστικές μεταβάσεις πολυμερών

Η μετάβαση υάλου

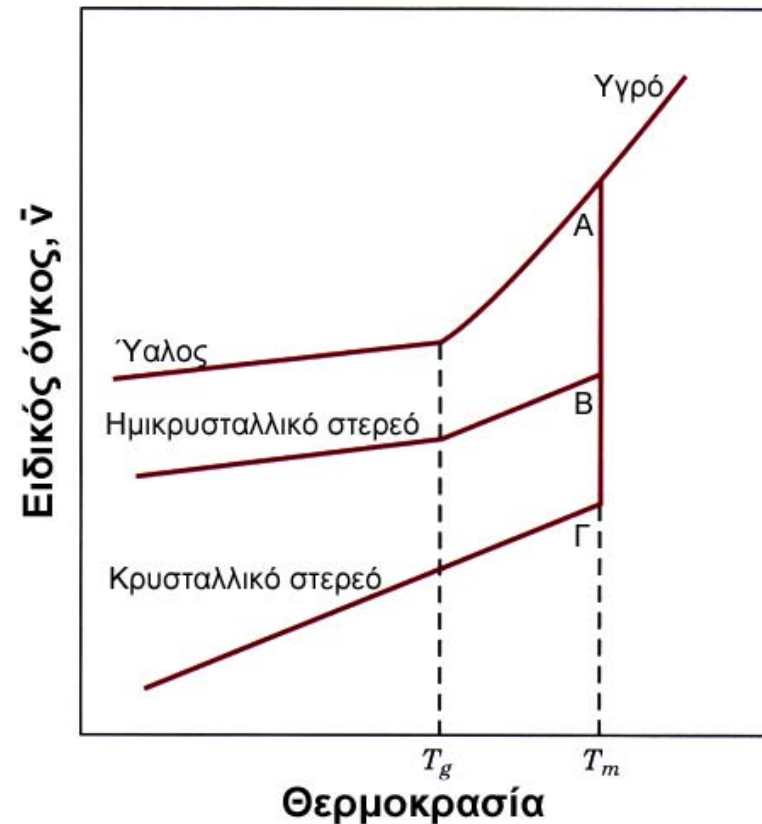
Ορίζουμε σαν T_g τη θερμοκρασία εκείνη κάτω της οποίας το πολυμερές είναι υαλώδες και άνω της οποίας αποκτά ιξωδοελαστικές ιδιότητες.





ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Άμορφη κατάσταση – χαρακτηριστικές μεταβάσεις πολυμερών

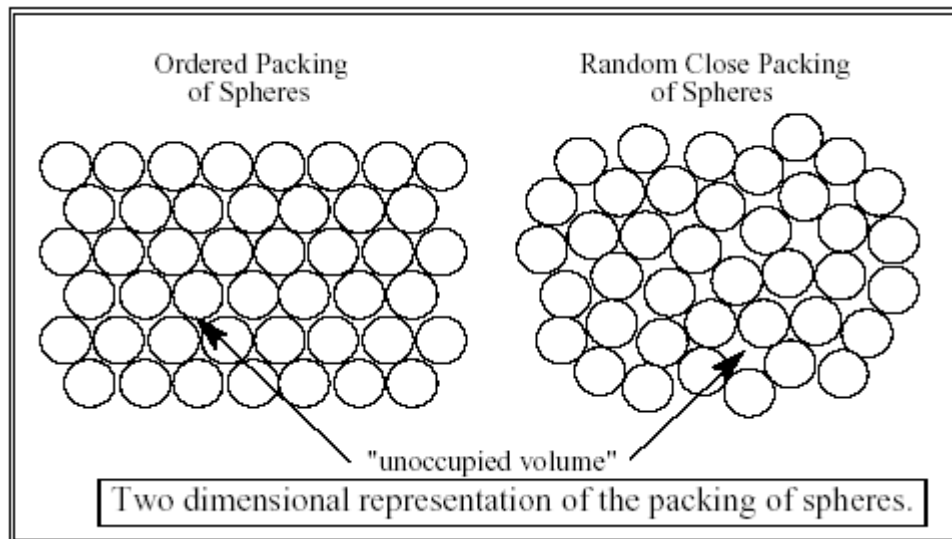


Εξάρτηση του ειδικού όγκου έναντι της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ψύξης τμήματος για ένα πλήρως άμορφο (καμπύλη Α), ένα ημικρυσταλλικό (καμπύλη Β) και ένα κρυσταλλικό (καμπύλη Γ) πολυμερές.



ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

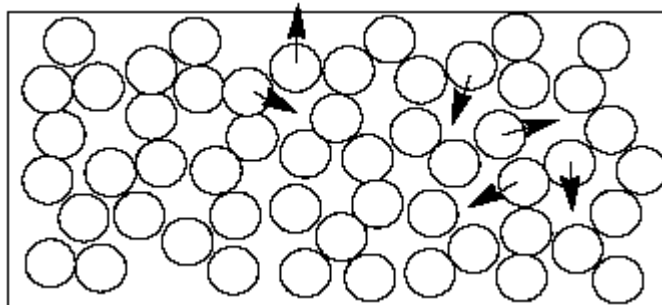
Άμορφη κατάσταση – χαρακτηριστικές μεταβάσεις πολυμερών



Θεωρία ελεύθερου όγκου Fox, Flory

Η διαφορά ειδικού όγκου ή πυκνότητας μεταξύ υγρού και κρυστάλλου οφείλεται στη ύπαρξη μεταξύ των μορίων «οπών» δηλαδή ελεύθερου χώρου ή όγκου μη κατεχόμενου από ύλη.

Κάτω της T_g ο ελεύθερος όγκος "παγοποιείται" δηλαδή μειούμενης της θερμοκρασίας κάτω από την T_g ο ελεύθερος όγκος δε συστέλλεται.



Οποιοσδήποτε δομικός παράγοντας τείνει να αυξήσει τον ελεύθερο όγκο του πολυμερούς θα επιφέρει ταπείνωση του T_g .



ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Άμορφη κατάσταση – χαρακτηριστικές μεταβάσεις πολυμερών

Πολυμερές	T _g , °K (°C)	T _m , °K (°C)	T _g /T _m
$\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$	153 (-120°C)	410 (137°C)	0.37
$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right]_n$	373 (100°C)	513 (240°C)	0.72
$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right]_n$	200 (-73°C)	301 (28°C)	0.67
$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$	360 (87°C)	485 (212°C)	0.75
$\left[\text{Si} \left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right) - \text{O} \right]_n$	150 (-123°C)	193 (-80°C)	0.78
$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{F}}{\overset{\text{F}}{\text{C}}} \right]_n$	234 (-39°C)	483 (210°C)	0.48
$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right]_n$	255 (-18°C)	449 (176°C)	0.57



ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Άμορφη κατάσταση – χαρακτηριστικές μεταβάσεις πολυμερών

Γενικά διακρίνουμε δύο τύπους παραμέτρων που επηρεάζουν την T_g :

- A** Εκείνες που καθορίζονται από τη φύση του δομικού στοιχείου. Τις παραμέτρους αυτές δεν μπορούμε να τις μεταβάλλουμε χωρίς ριζική αλλοίωση της χημικής συστάσεως του πολυμερούς.
- B** Παραμέτρους τις οποίες μπορούμε να ελέγχουμε ή να μεταβάλλουμε κατά βούληση, χωρίς ριζική μεταβολή του αρχικού πολυμερούς.

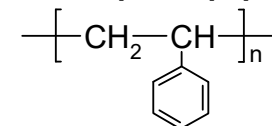
A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

Ευλυγισία αλυσίδας

Όσο χαμηλότερη είναι η απαιτούμενη ενέργεια περιστροφής ΔH_{π} τόσο μεγαλύτερη είναι η ευλυγισία της αλυσίδας και τόσο χαμηλότερη είναι η T_g .

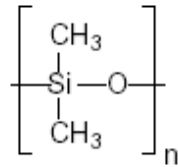
Πολυμερές		ΔH_{π} ($\frac{\text{Kcal}}{\text{mole}}$)	T_g , °C
Πολυ(διμεθυλοσιλοξάνιο)	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{---Si---O---} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	~1	-123
Πολυαιθυλένιο	$\left[\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---} \right]_n$	3,3	-120
Πολυ(τετραφθοροαιθυλένιο)	$\left[\text{---CF}_2\text{---CF}_2\text{---} \right]_n$	4,7	126

Αν ελαττωθεί η ευλυγισία με υποκατάσταση στην κύρια αλυσίδα, η ενέργεια περιστροφής ΔH_{π} και η T_g ανέρχονται: T_g πολυστυρολίου = 100°C



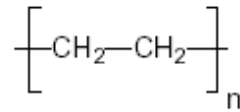
A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

Ευλογισία αλυσίδας



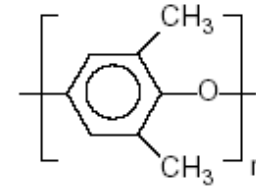
Poly(dimethyl siloxane)

$$T_g \cong -120^\circ\text{C}$$



Polyethylene

$$T_g \cong -80^\circ\text{C}$$



Poly(phenylene oxide)

$$T_g \cong +200^\circ\text{C}$$

Αύξηση δυσκαμψίας αλυσίδας

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

Υποκατάσταση

Διπλή υποκατάσταση, δίνει πολυμερές χαμηλότερης T_g σε σύγκριση με το μονοϋποκατεστημένο παράγωγο:

Πολυμερές		$T_g, ^\circ\text{C}$
Πολυ(βινυλοχλωρίδιο)	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$	87
Πολυ(βινυλιδενοχλωρίδιο)	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\overset{\text{Cl}}{\text{C}}} \right]_n$	-35
Πολυ(προπυλένιο)	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right]_n$	-18
Πολυ(ισοβουτυλένιο)	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}} \right]_n$	-70

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

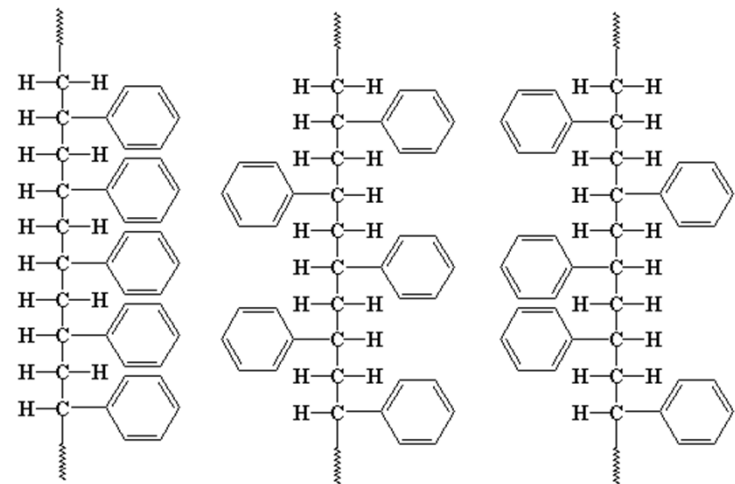
Στερεοκανονικότητα

Επίδραση στερεοκανονικότητας

Γενικά η T_g είναι ανεξάρτητη της στερεοκανονικότητας σε μονοϋποκατεστημένα βινυλοπαράγωγα. Παρουσιάζεται όμως διαφορά της T_g μεταξύ ατακτικού και συνδιοτακτικού πολυμερούς.

συνδιοτακτικό πολυστυρόλιο $T_g=230^\circ\text{C}$
ατακτικό πολυστυρόλιο $T_g=100^\circ\text{C}$

Στα διϋποκατεστημένα βινυλοπαράγωγα, η επίδραση της στερεοκανονικότητας είναι αισθητή.



Isotactic

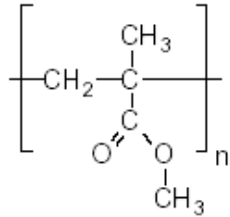
Syndiotactic

Atactic

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

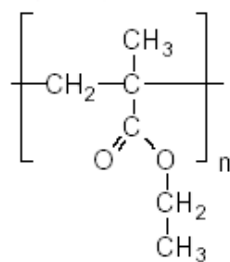
Υποκατάσταση

Poly(methyl methacrylate)



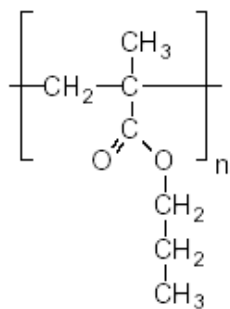
$$T_g \cong 105^\circ\text{C}$$

Poly(ethyl methacrylate)



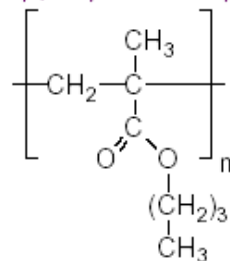
$$T_g \cong 65^\circ\text{C}$$

Poly(propyl methacrylate)



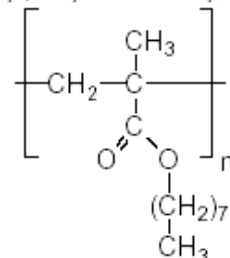
$$T_g \cong 38^\circ\text{C}$$

Poly(butyl methacrylate)



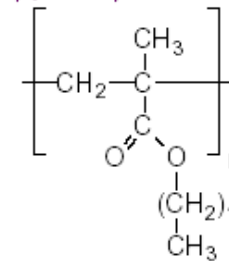
$$T_g \cong -2^\circ\text{C}$$

Poly(octyl methacrylate)



$$T_g \cong -42^\circ\text{C}$$

Poly(dodecyl methacrylate)



$$T_g \cong -62^\circ\text{C}$$

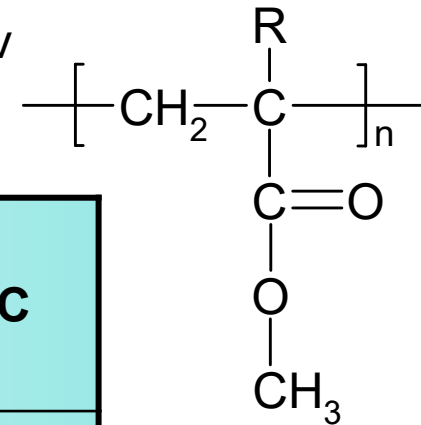
Το T_g μειώνεται με αύξηση του μήκους της εύκαμπτης πλευρικής αλυσίδας.

Αύξηση μήκους της εύκαμπτης πλευρικής αλυσίδας

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

Υποκατάσταση

Επίδραση της αύξησης του μεγέθους του υποκαταστάτη στην θερμοκρασία μετάβασης υάλου διαφόρων πολυ(μεθακρυλικών εστέρων).



Πολυμερές / R		$T_g, ^\circ\text{C}$
Πολυ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)	$-\text{CH}_3$	105
Πολυ(μεθακρυλικός αιθυλεστέρας)	$-\text{CH}_2\text{CH}_3$	65
Πολυ(μεθακρυλικός προπυλεστέρας)	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	35

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

Υποκατάσταση

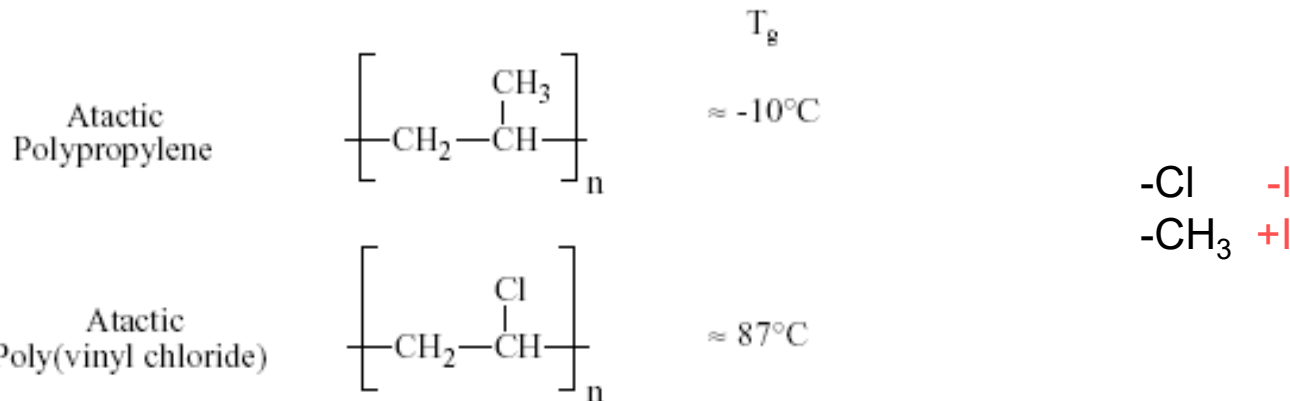
Όσο πιο ογκώδης ο υποκαταστάτης τόσο μεγαλύτερο το T_g .

Polymer	Chemical Structure	T_g
Polyethylene	$\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$	$\approx -80^\circ\text{C}^*$
Atactic Polypropylene	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right]_n$	$\approx -10^\circ\text{C}$
Atactic Polystyrene	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right]_n$	$\approx 100^\circ\text{C}$
Atactic Poly(α -methyl styrene)	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}} \right]_n$	$\approx 175^\circ\text{C}$

Atactic Poly(1-vinyl naphthalene)	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_{10}\text{H}_7}{\text{CH}} \right]_n$	$\approx 135^\circ\text{C}$
Atactic Poly(vinyl biphenyl)	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_4 - \text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right]_n$	$\approx 145^\circ\text{C}$

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

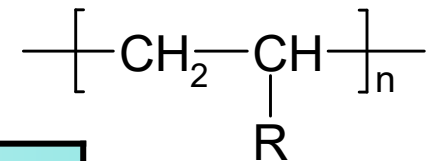
Επαγωγικό φαινόμενο

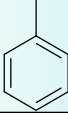
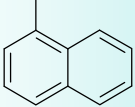


Ενώ τα Cl και CH₃ έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος το Cl προκαλεί πόλωση του δεσμού με αποτέλεσμα να αυξάνεται η T_g .

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

Θερμοκρασίες μεταβάσεως υάλου επιλεγμένων βινυλικών πολυμερών.



Πολυμερές / R		$T_g, ^\circ\text{C}$
Πολυαιθυλένιο	-H	-125
Πολυπροπυλένιο (ατακτικό)	-CH ₃	-20
Πολυβινυλοχλωρίδιο	-Cl	89
Πολυακρυλονιτρίλιο	-C≡N	100
Πολυστυρόλιο		100
Πολυ(α-βίνυλο ναφθαλένιο)		135

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

Επίδραση ογκωδών ομάδων στην κύρια αλυσίδα.

Πολυμερές	T_g , °C
Πολυ(π-ξυλένιο)	>200
Πολυ(φαινυλενοξειδίο)	220
Πολυκαρβονικοί εστέρες	150
Πολυσουλφόνη	290

A. Επίδραση δομικών παραγόντων στην T_g

Διαμοριακές δυνάμεις

$$\delta = (CED)^{1/2} = \left(\frac{\Delta E_v}{V_1} \right)^{1/2}$$

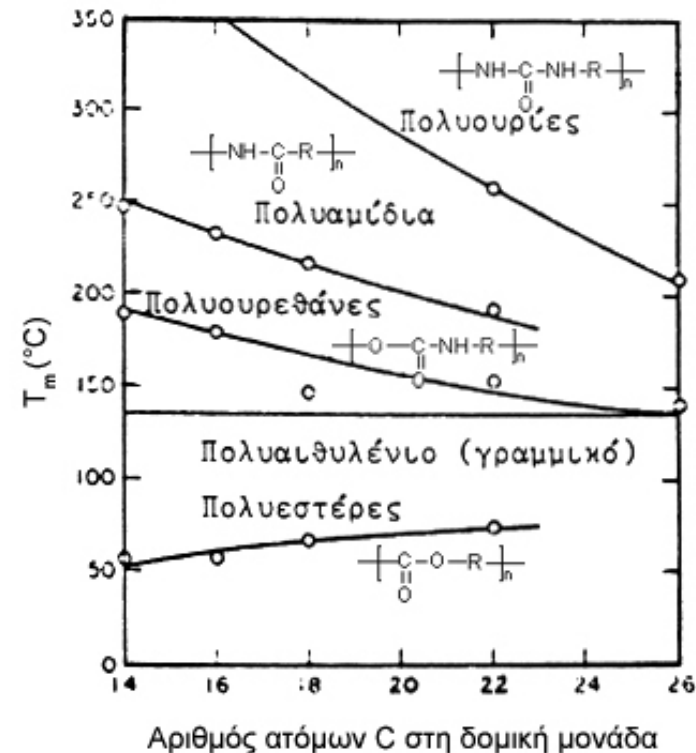
CED: πυκνότητα ενεργείας συνοχής

ΔE_v : ενέργεια εξαερώσεως ανά mole υγρού

V_1 : γραμμομοριακός όγκος

Η T_g αυξάνεται αυξανομένης της παραμέτρου διαλυτότητας.

Στα πολυμερή η δ προσδιορίζεται έμμεσα και δίνει ένα μέτρο των δευτερευουσών δυνάμεων συνοχής π.χ. των γεφυρών υδρογόνου.



Επίδραση της δομής στην T_m ομολόγων σειρών αλειφατικών πολυμερών.

B. Επίδραση μη δομικών παραγόντων στην T_g

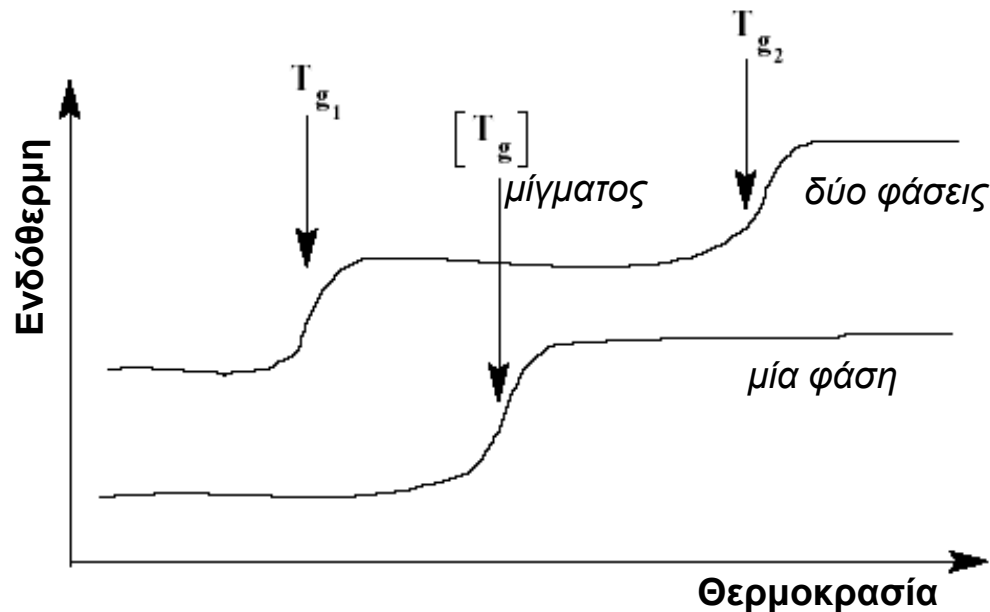
Υπαρξη μέσων αραιώσης

$$A_1 C_1 (T_g - T_{g1}) + A_2 C_2 (T_g - T_{g2}) = 0$$

$$R = T_{g2} A_2 / T_{g1} A_1 = 1$$

$$\frac{1}{T_g} = \frac{C_1}{T_{g1}} + \frac{C_2}{T_{g2}}$$

Εξίσωση FOX



όπου:

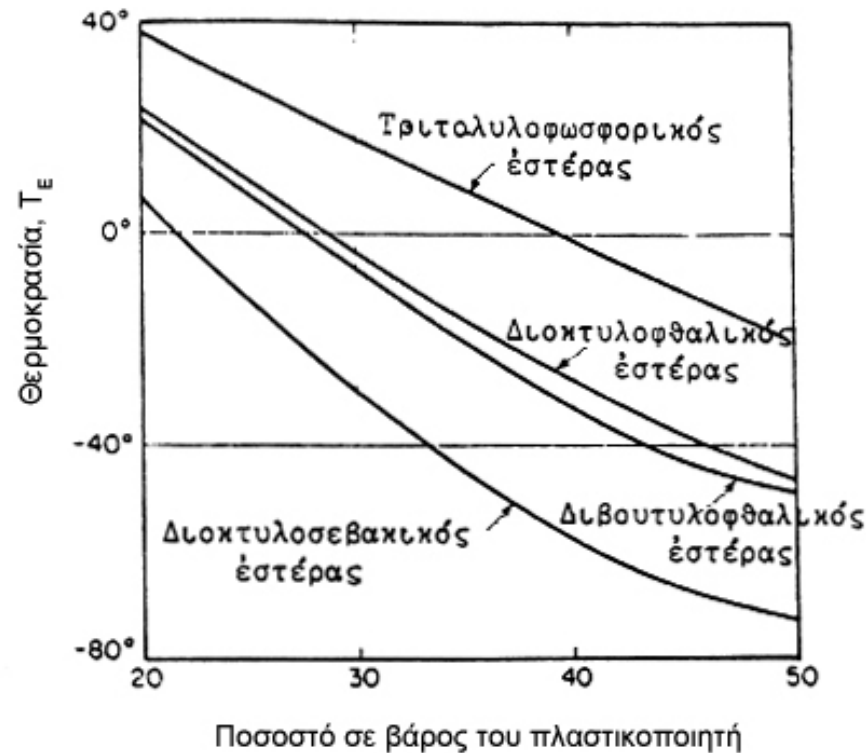
$$C_1 = \frac{W_1}{(W_1 + W_2)}$$

&

$$C_2 = \frac{W_2}{(W_1 + W_2)}$$

B. Επίδραση μη δομικών παραγόντων στην T_g

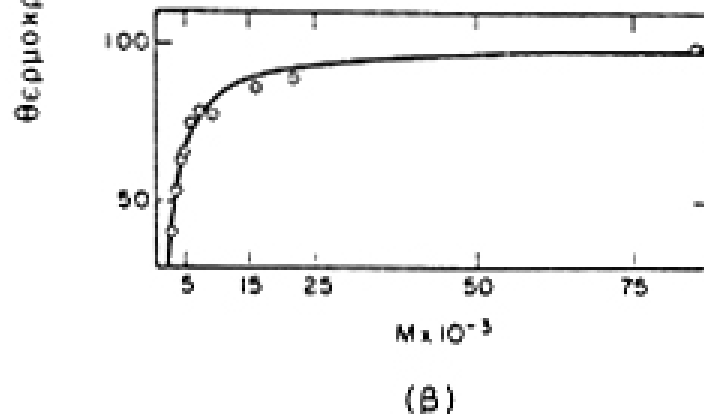
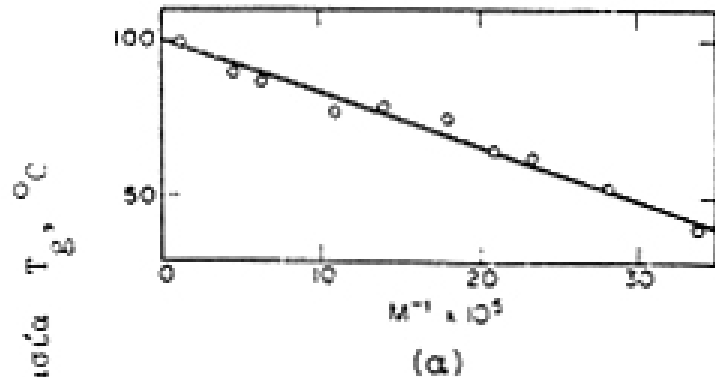
Υπαρξη μέσωσων αραιώσης



Επίδραση πλαστικοποιητών στην ευλυγισία πολυβινυλοχλωριδίου. (σαν μέτρο του βαθμού ευλυγισίας χρησιμοποιείται η θερμοκρασία T_E όπου το μέτρο ελαστικότητας παίρνει μία ορισμένη τιμή).

B. Επίδραση μη δομικών παραγόντων στην T_g

Μοριακό βάρος



Εξάρτηση της T_g κλασμάτων πολυστυρολίου συναρτήσει (α) του \bar{M}_n^{-1} και (β) του μοριακού βάρους.

$$T_g = T_g^\infty - \frac{K}{\bar{M}_n}$$

T_g^∞ : το όριο που τείνει η T_g σε μεγάλα μοριακά βάρη

K : σταθερά

$$\frac{2\rho N_A \Theta}{\bar{M}_n} = \Delta\beta_f (T_g^\infty - T_g)$$

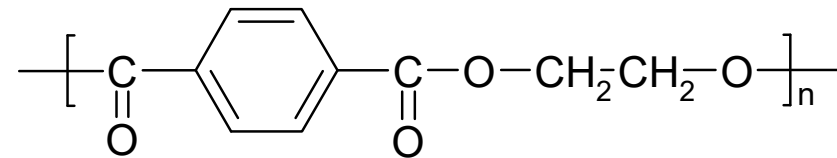
$\Delta\beta_f$: θερμικός συν/στής διαστολής του ελεύθερου όγκου

$$T_g = T_g^\infty - \frac{2\rho N_A \Theta}{\Delta\beta_f \bar{M}_n}$$

B. Επίδραση μη δομικών παραγόντων στην T_g

Κρυσταλλικότητα

Ο βαθμός κρυσταλλικότητας μπορεί να μεταβληθεί είτε με συμπολυμερισμό είτε με την μεταβολή των συνθηκών επεξεργασίας του κρυσταλλικού πολυμερούς (κατάψυξη, ανόπτηση).

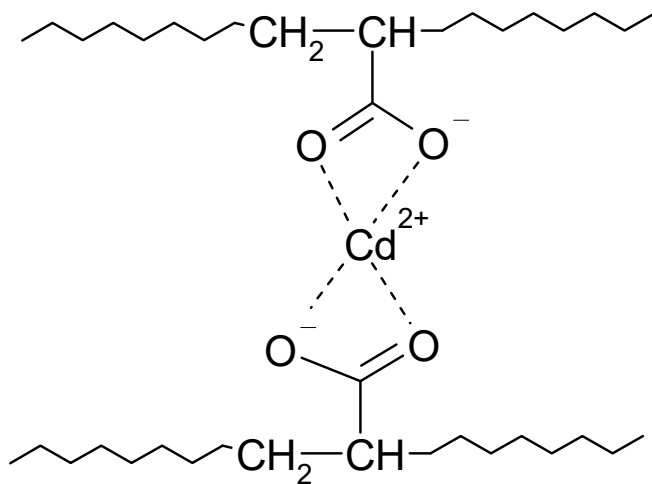


Κρυσταλλικότητα %	T_g , °C
2	81
48	100
65	125

Αύξηση της κρυσταλλικότητας
αυξάνει την T_g .

B. Επίδραση μη δομικών παραγόντων στην T_g

Διαμοριακές δυνάμεις



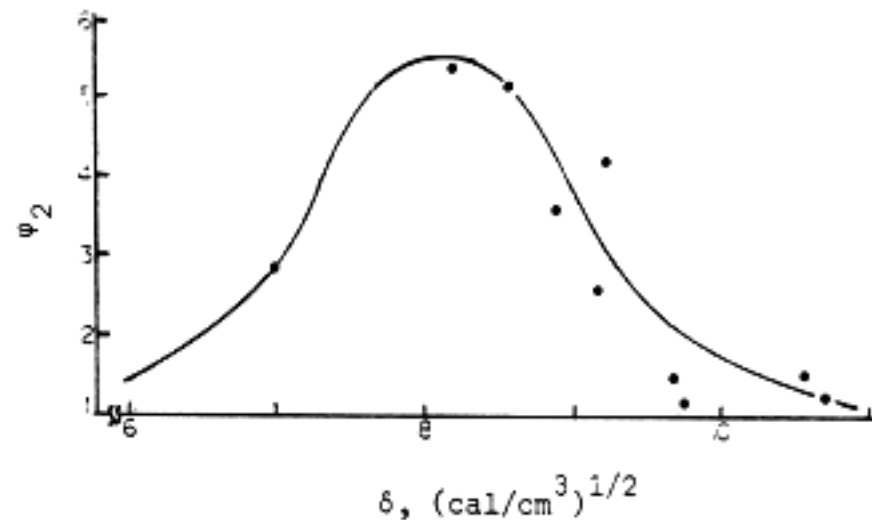
$$\Delta E_v = \Delta H_v - P(V_g - V_1)$$

ΔH_v : ενθαλπία εξαερώσεως ανά mole

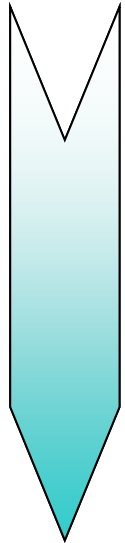
V_g : γραμμομοριακός όγκος αερίου

V_1 : γραμμομοριακός όγκος υγρού

P : εξωτερική πίεση



Διόγκωση πολυϊσοβουτυλενίου σε διαλύτες
διαφόρων τιμών παραμέτρου διαλυτότητας δ .



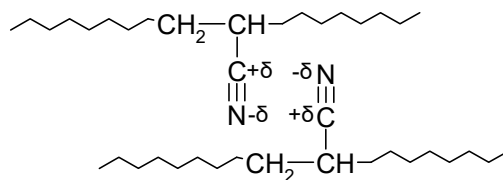
**Ενδυνάμωση
Διαμοριακών
Δυνάμεων**

- * Υδρογονάνθρακες (PE, IPP, PS κά)
Δυνάμεις διασποράς
- * Πολικά πολυμερή-πολυμερή που περιέχουν ετεροάτομα, O, N, Cl, F (PVC, PAN κά)
Αλληλεπιδράσεις διπόλου-διπόλου
- * Πολυμερή με δεσμό υδρογόνου (PA, PU, PET κά)
Ισχυρές πολικές δυνάμεις & δεσμοί υδρογόνου
- * Ιονομερή (Surlyn κά)
Δυνάμεις Coulomb

Χαμηλής εμβέλειας
(ισχύος περίπου ~0,2
έως 2 kcal/mole)

Χαμηλής εμβέλειας
(ισχύος περίπου 1
έως 10 kcal/mole)

Μεγάλης εμβέλειας
(ισχύος περίπου ~10
έως 20 kcal/mole)



Δεσμοί υδρογόνου

