



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

Μάθημα:

**“ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
ΥΛΙΚΩΝ - ΡΕΟΛΟΓΙΑ”**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ- ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Πετρούλα Ταραντίλη

Καθηγήτρια ΕΜΠ, taran@chemeng.ntua.gr

Ακαδημαϊκό έτος 2025-2026



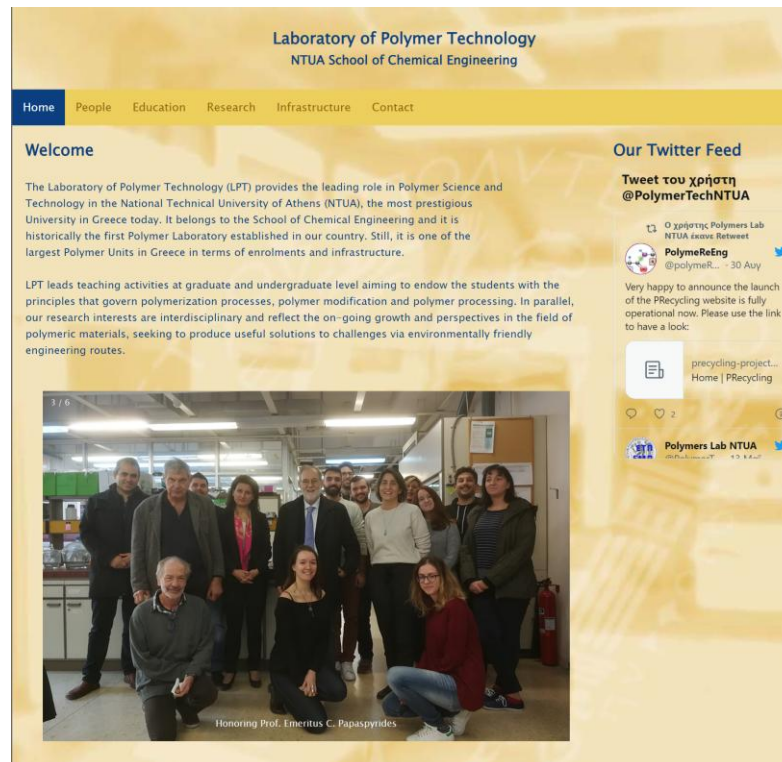
Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών (ΕΤΠ) Laboratory of Polymer Technology (LPT)

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Ποιοι είμαστε?

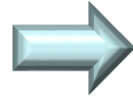
Ένα από τα 16 θεσμοθετημένα εργαστήρια της Σχολής Χημικών Μηχ.
Το ΕΤΠ είναι το πρώτο θεσμοθετημένο εργαστήριο στην Ελλάδα (ΦΕΚ 80B/1-3-1983) στη γνωστική περιοχή των πολυμερών, και αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες μονάδες στον χώρο, από πλευράς υποδομών και ανθρώπινου δυναμικού.

LPT: <http://polymers.chemeng.ntua.gr/>



ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

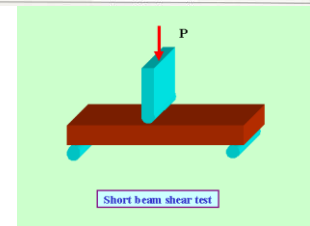
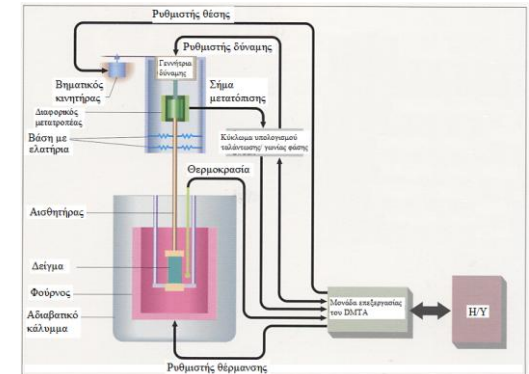
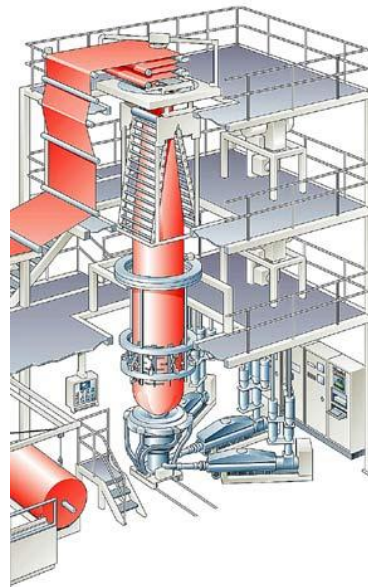
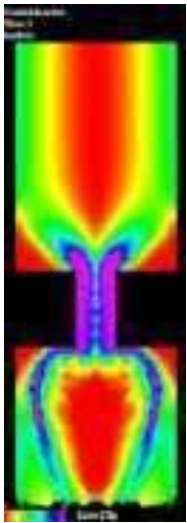
Βασικές έννοιες στη
ρεολογία πολυμερών



Διεργασίες μορφοποίησης
πολυμερών με τεχνολογίες
τήγματος/διαλύματος



Μηχανικές/Δυναμο-
μηχανικές ιδιότητες



Σχεδιασμός Διεργασιών και Προϊόντων με βάση
Την Αειφορία – Την προστασία του περιβάλλοντος -
Τη Βιώσιμη ανάπτυξη

Εκπαιδευτική διαδικασία

A

- Θεωρητική διδασκαλία
- Επίλυση υπολογιστικών ασκήσεων
- Επίδειξη διεργασιών μορφοποίησης στο εργαστήριο “Τεχνολογίας Πολυμερών”

B

- Ανάθεση ομαδικών προαιρετικών βιβλιογραφικών εργασιών

Γ

- Βαθμολόγηση μαθήματος
- Με παράδοση εργασίας: Βαθμός= $0.7 \times (\text{Γραπτό}) + 0.3 \times (\text{Εργασία})$
- Χωρίς παράδοση εργασίας: Βαθμός= $1 \times (\text{Γραπτό})$

Μην ξεχάσετε την εγγραφή σας στο site του μαθήματος στο HELIOS για ενημέρωση μέσω e-mail ...

- Γενικά
 - Ανακοινώσεις
 - Εικονική Αίθουσα Διδασκαλίας...
- ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ / GENERAL
- ΥΛΙΚΟ / COURSE MATERIAL
 - ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
 - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ
 - ΕΚΦΩΝΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΩΝ
 - ΟΜΑΔΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ
 - ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ LINKS
 - Course ID Sheet
- ΥΠΟΒΟΛΗ ΟΜΑΔΙΚΩΝ ΕΡΓΑ...

Δυναμικές, Μηχανικές Ιδιότητες Υλικών - Ρεολογία

Γενικά

Ανακοινώσεις

Εικονική Αίθουσα Διδασκαλίας Μαθήματος

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ / GENERAL

Η Διδασκτέα Ύλη του μαθήματος αποβλέπει στην παρουσίαση βασικών εννοιών που αφορούν τη ρεολογία και τις δυναμικές ιδιότητες των υλικών. Το μάθημα στοχεύει στην εισαγωγή στοίχειν ρεολογίας και στην παρουσίαση των τεχνικών...

Περιεχόμενα

1^η ενότητα Βασικές έννοιες, Δομή & Θερμικές Μεταπτώσεις Πολυμερών

2^η ενότητα Εισαγωγή στη ρεολογία/ρεομετρία πολυμερών
- Ανάλυση απλών ροών – Διόγκωση τήγματος πολυμερών και αστάθειες ροής

3^η ενότητα Μορφοποίηση με Εκβολή: Περιγραφή της διεργασίας, Ανάλυση της ροής

4^η ενότητα Μορφοποίηση με Έγχυση

5^η ενότητα Μορφοποίηση προϊόντων με φύσημα

6^η ενότητα Θερμομόρφωση – Περιστροφική μόρφωση



Περιεχόμενα

7^η ενότητα Ανάμιξη με τεχνολογίες τήγματος –
Μηχανική ανακύκλωση πλαστικών

8^η ενότητα Μηχανικές ιδιότητες (Ελαστικότητα
Ελαστομερούς - Ιξωδοελαστικότητα)

9^η ενότητα Δυναμομηχανικές μετρήσεις

10^η ενότητα Επισκόπηση της ύλης



Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών

<http://polymers.chemeng.ntua.gr/>



Ομαδικές εργασίες

A/A	ΘΕΜΑΤΑ ΟΜΑΔΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ
-----	--------------------------

- | | |
|----|---|
| 1. | Τρισδιάστατη εκτύπωση με πολυμερικά υλικά |
| 2. | Βιοϊατρικές εφαρμογές πολυμερών: βιοαποικοδομήσιμα πολυμερή για κατασκευή ικριωμάτων στη μηχανική ιστών |
| 3. | Τα βιοαποικοδομήσιμα πολυμερή σε εφαρμογές συσκευασίας |
| 4. | Τα πλαστικά στη συσκευασία τροφίμων: Ενεργή, έξυπνη πλαστική συσκευασία |
| 5. | Έξυπνα πολυμερή – Εφαρμογές |
| 6. | Τεχνολογίες διαχείρισης πλαστικών απορριμμάτων: Ανάκτηση ενέργειας |
| 7. | Τεχνολογίες διαχείρισης πλαστικών απορριμμάτων με έμφαση στην πυρόλυση |
| 8. | Τεχνολογίες διαχείρισης πλαστικών απορριμμάτων με έμφαση στην πλαστική συσκευασία |
| 9. | Μικροπλαστικά: Δημιουργία και επιπτώσεις στο περιβάλλον |



Ομαδικές εργασίες

1. Τρισδιάστατη εκτύπωση με πολυμερικά υλικά

- Να αναφερθούν τύποι πολυμερών που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση.
- Να αναφερθούν διάφορες τεχνικές 3D-εκτύπωσης που βρίσκουν εφαρμογή στα πολυμερή.
- Να αναφερθούν εφαρμογές (π.χ. βιοϊατρική) παραγωγής πολυμερικών προϊόντων με χρήση της τεχνικής της 3D-εκτύπωσης και να αναπτυχθεί μια από αυτές.

Λέξεις κλειδιά: 3D-printing, plastics, review.

2. Βιοϊατρικές εφαρμογές πολυμερών: βιοαποικοδομήσιμα πολυμερή για κατασκευή ικριωμάτων στη μηχανική ιστών

- Να αναφερθούν πληροφορίες για τύπους βιοαποικοδομήσιμων πολυμερών (biodegradable polymers) που βρίσκουν εφαρμογή στη μηχανική ιστών (tissue engineering).
- Να αναφερθούν τεχνικές κατασκευής ικριωμάτων (scaffolds) από βιοαποικοδομήσιμα πολυμερή για εφαρμογή στη μηχανική ιστών.
- Να αναφερθούν εφαρμογές της μηχανικής ιστών και να αναπτυχθεί μια απ' αυτές.

Λέξεις κλειδιά: biomedical polymers, biodegradable polymers, polymer scaffolds, tissue engineering, artificial organs, regenerative medicine, review.

3. Τα πολυμερή στην αποδέσμευση φαρμακευτικών ουσιών

- Να αναφερθούν τύποι πολυμερών (τρόποι παραγωγής-ιδιότητες) που βρίσκουν εφαρμογή στην ελεγχόμενη αποδέσμευση φαρμακευτικών ουσιών.
- Ταξινόμηση - βασικές μορφές συστημάτων ελεγχόμενης αποδέσμευσης και μηχανισμοί αποδέσμευσης.
- Να αναπτυχθεί μια φαρμακοτεχνική μορφή αποδέσμευσης φαρμακευτικής ουσίας από πολυμερικό φορέα, που εφαρμόζεται στη θεραπεία κάποιας ασθένειας.

Λέξεις κλειδιά: controlled drug release, drug delivery, polymeric carriers, biodegradable polymers, review.



Σημαντικές ημερομηνίες για τις Ομαδικές εργασίες

👉 3/μελής ομάδες και επιθυμητό θέμα μέχρι **23 Οκτωβρίου**

Δηλώνετε: ➤ ονόματα μελών ομάδας

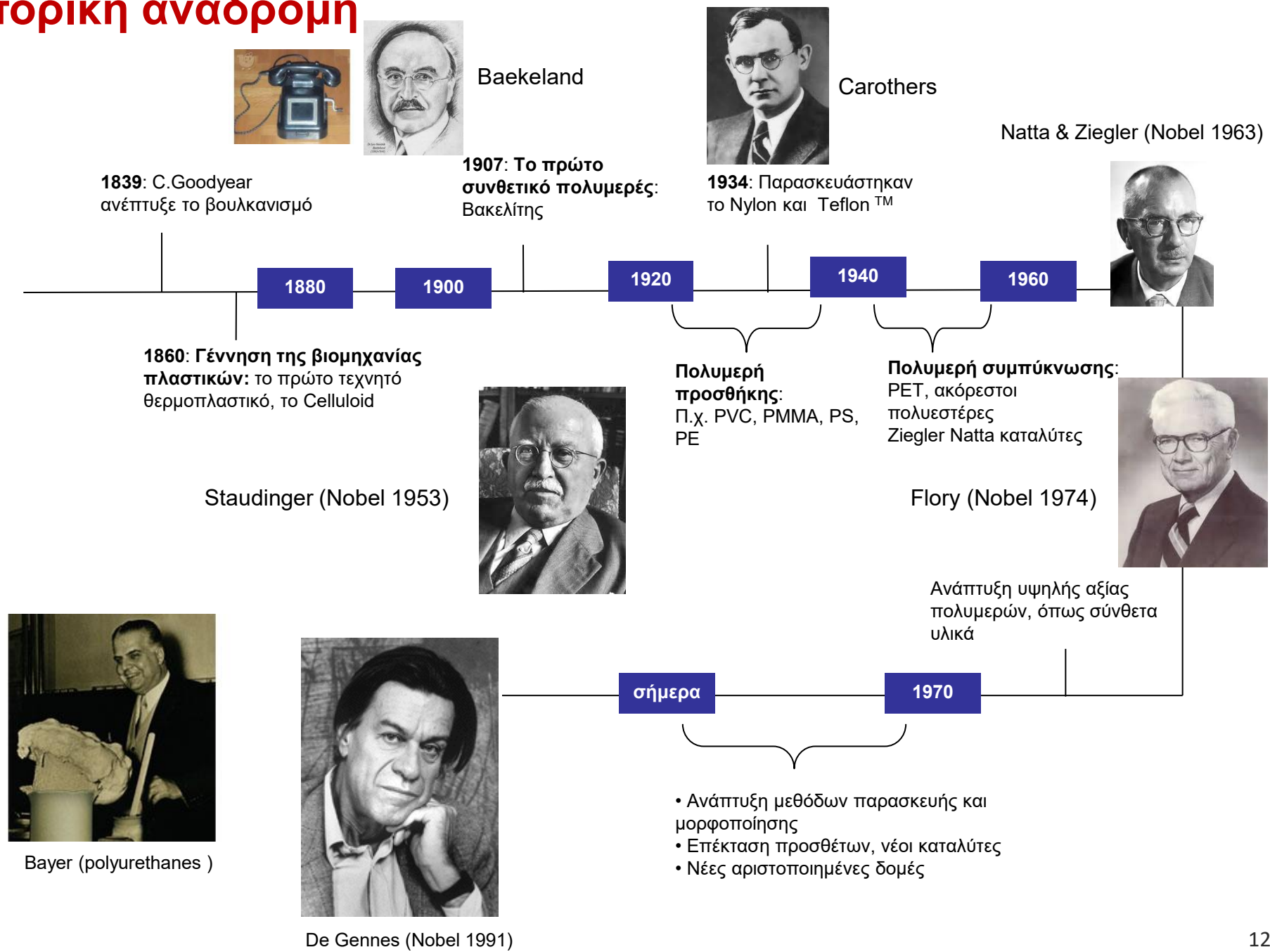
➤ επιθυμητό θέμα

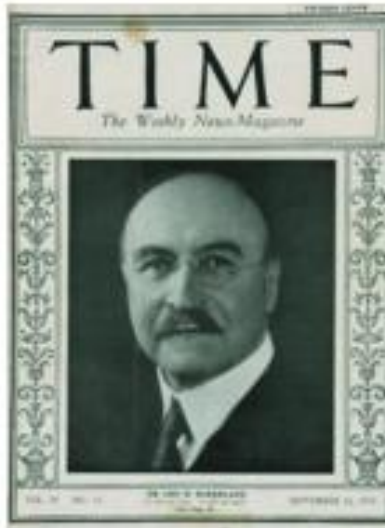
taran@chemeng.ntua.gr

👉 Παράδοση εργασιών με τη λήξη των μαθημάτων

👉 Παρουσίαση/συζήτηση με την κάθε ομάδα πάνω στην εργασία

Ιστορική αναδρομή





Εξώφυλλο του περιοδικού Time (22/9/1924) με τον Βελγοαμερικανό L.H. Baekeland

Η βιομηχανία των πλαστικών

Η βιομηχανία των πλαστικών (polymer business) αυξάνεται σημαντικά κάθε χρόνο

Βιομηχανία πλαστικών

Περιβάλλον



Παραγωγή πολυμερών

Επεξεργασία πολυμερών

Παραγωγή προϊόντων

Διαχείριση απορριμμάτων

Τροποποίηση

Μορφοποίηση

2023 European key figures



>1.5
million
employees



>51,700
companies



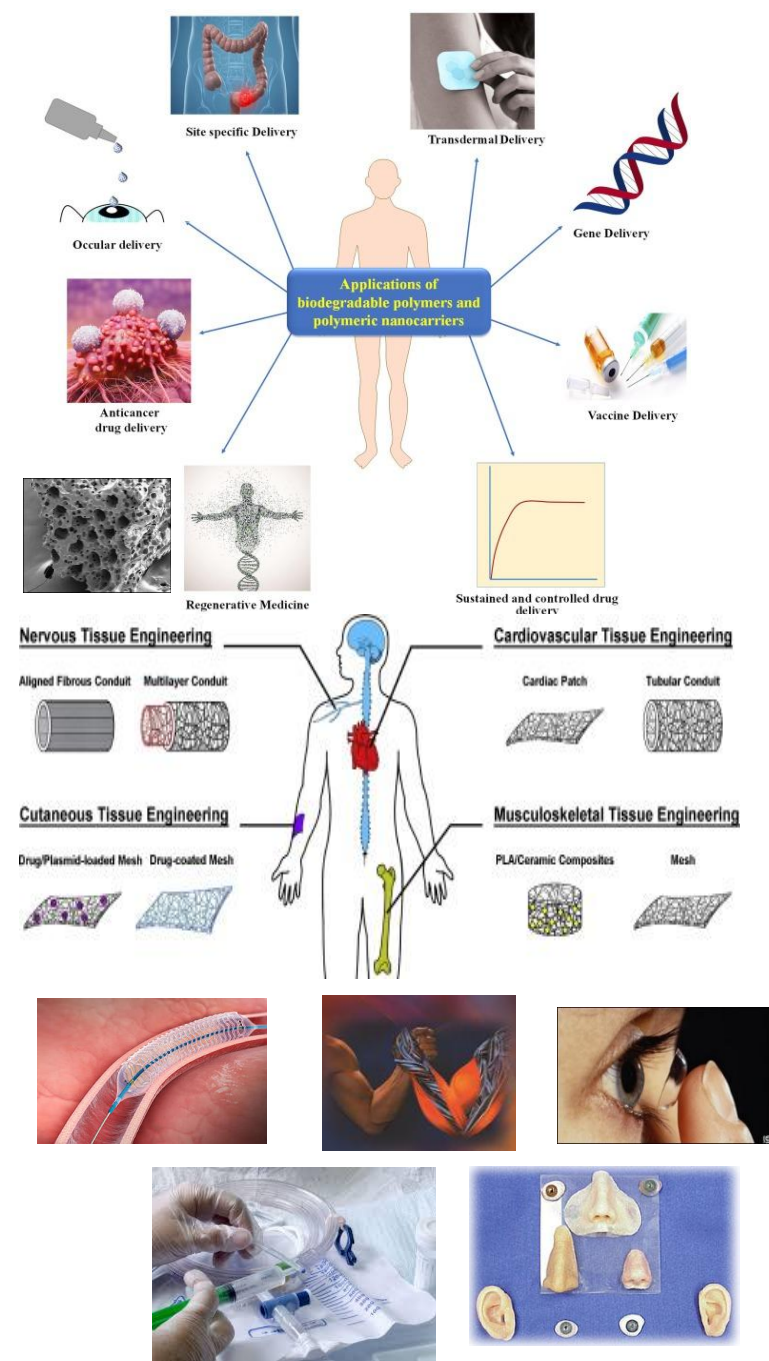
12.7
billion €
trade
balance



~365
billion €
turnover



Εφαρμογές πολυμερικών υλικών



Με ποιο τύπο πολυμερούς + πρόσθετα?
Με ποια διεργασία μορφοποίησης?
Με ποιες τεχνολογίες διαχειριζόμαστε τα απορρίμματά τους?

Εφαρμογές πλαστικών στην Ευρώπη (2022)



4%

HOUSEWARE, LEISURE
& SPORTS



4%

AGRICULTURE, FARMING
& GARDENING



6%

ELECTRICAL &
ELECTRONICS

8%

AUTOMOTIVE



16%
OTHERS

54 Mt
in 2022⁶

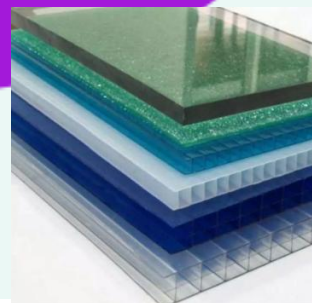


39%

PACKAGING

23%

BUILDING &
CONSTRUCTION



Πολυμερή: ?

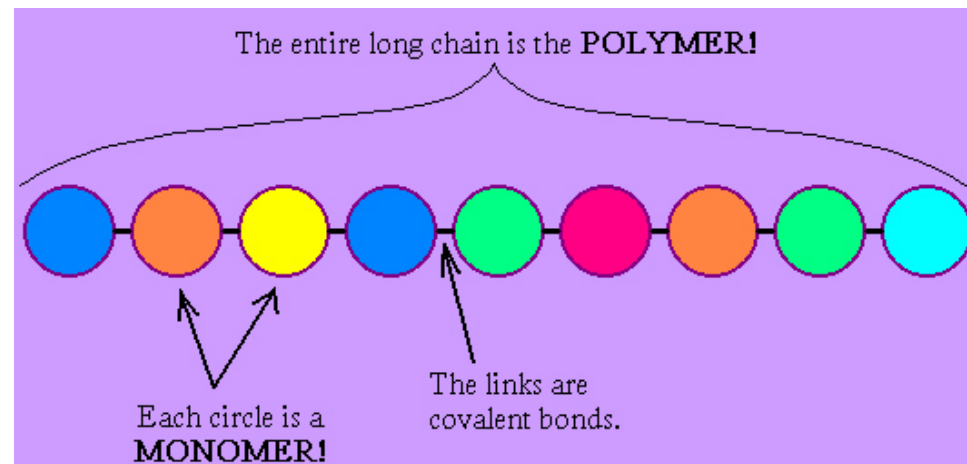
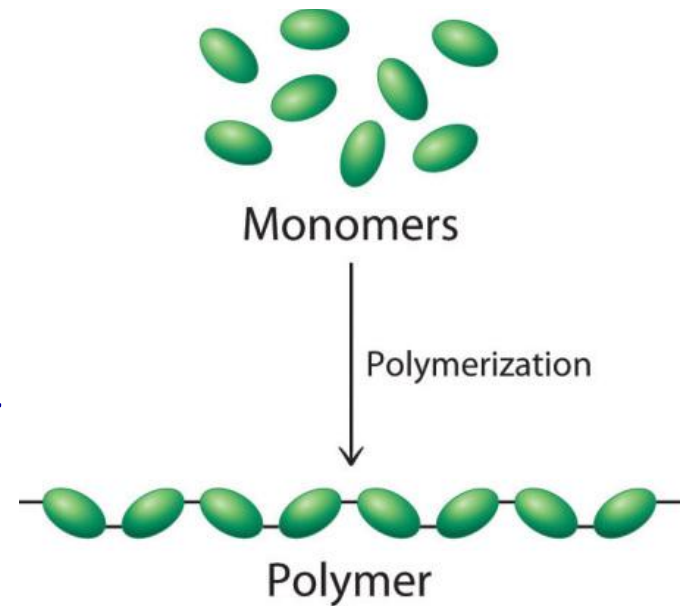
Μακρομοριακές ενώσεις οι οποίες σχηματίζονται με πολλαπλή επανάληψη στοιχειωδών δομικών μονάδων, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με **ομοιοπολικούς δεσμούς**, σε ένα ικανοποιητικό αριθμό ώστε να παρουσιάζουν ένα σύνολο ιδιοτήτων που δεν μεταβάλλεται πρακτικά με την προσθήκη ή αφαίρεση μιας ή περισσότερων δομικών μονάδων (IUPAC).

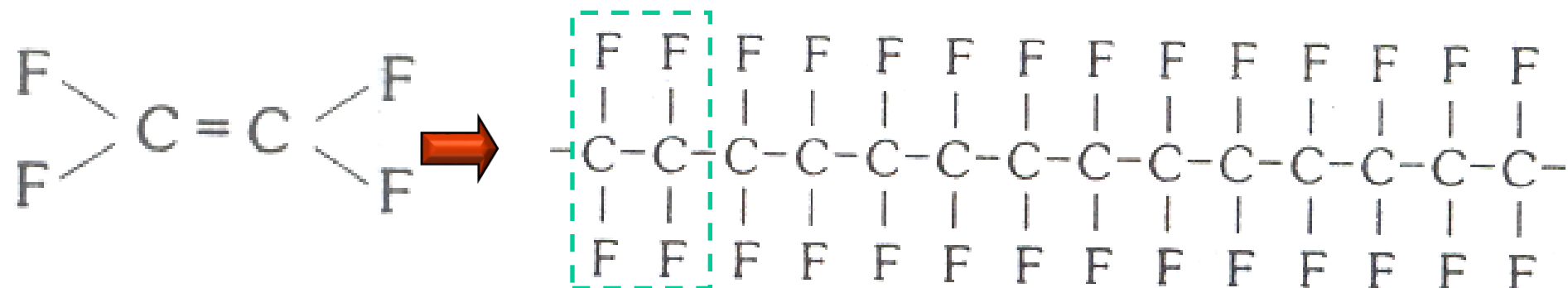
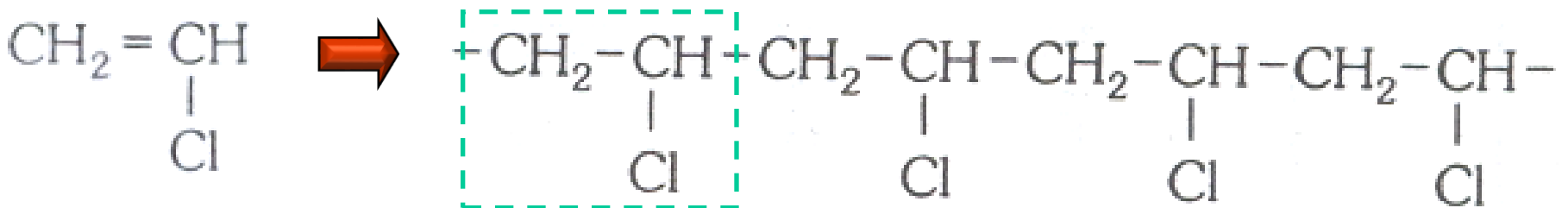
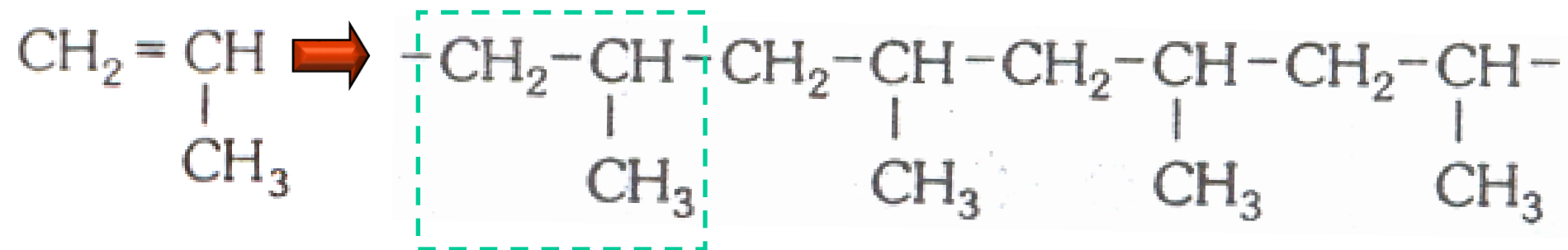
Μονομερή:

είναι τα μόρια τα οποία χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό του πολυμερούς.

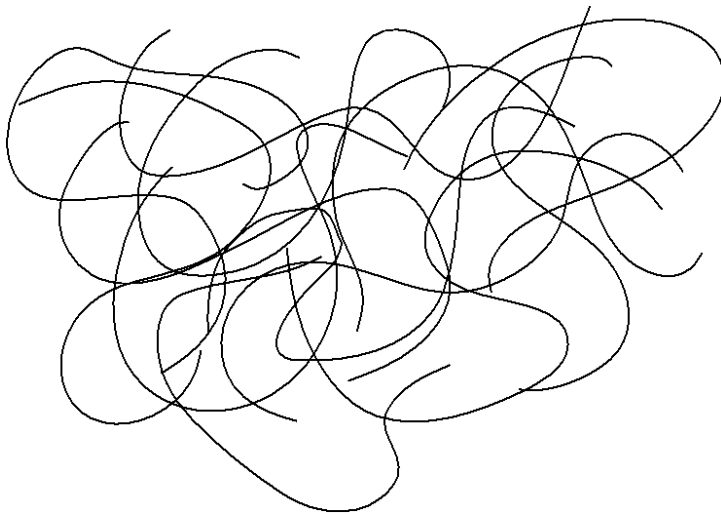
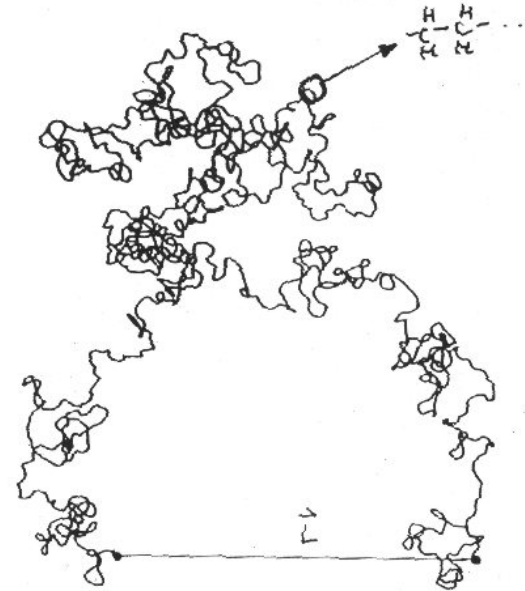
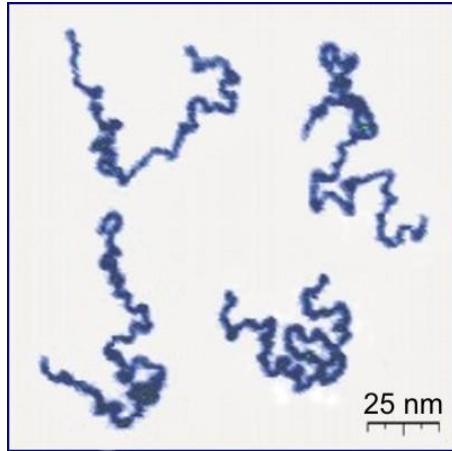
Ολιγομερή:

Μόρια χαμηλού μοριακού βάρους (πενταμερή, δεκαμερή...)

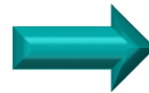




Διαμορφώσεις πολυμερικών αλυσίδων



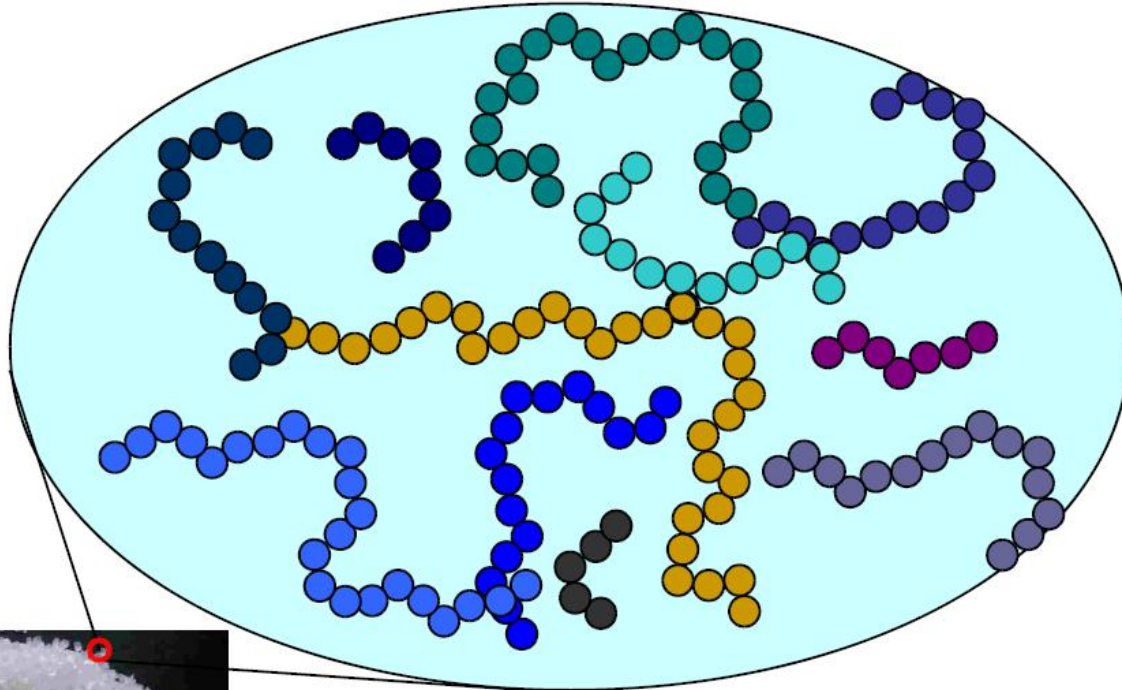
Τυχαία αναδιπλωμένη αλυσίδα



Μοριακές εμπλοκές

Μοριακά βάρη – Κατανομή Μοριακών Βαρών

Σε έναν κόκκο οι αλυσίδες έχουν το ίδιο μέγεθος?

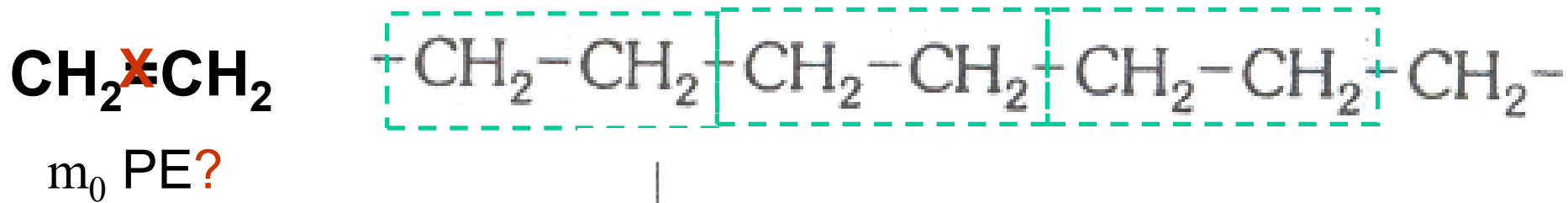


Τα Μακρομόρια δεν έχουν τον ίδιο αριθμό επαναλαμβανόμενων δομικών μονάδων

Προϊόν πολυμερισμού: μίγμα ομόλογων μακροαλυσίδων διαφορετικού μεγέθους

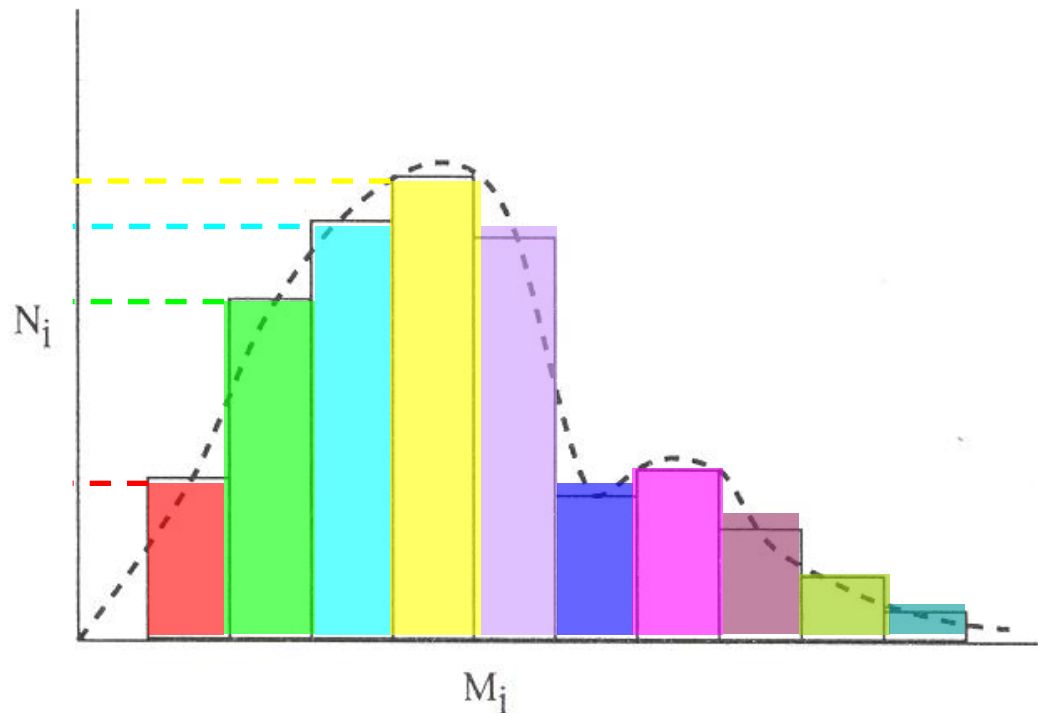
Βαθμός πολυμερισμού: ο αριθμός των μορίων μονομερούς που συμμετέχουν στη δομή του μορίου του πολυμερούς:

$$\boxed{i = \frac{M}{m_0}} \quad M = m_0 \cdot i$$



**Τυπική καμπύλη
κατανομής μοριακών
βαρών ενός
πολυμερούς**

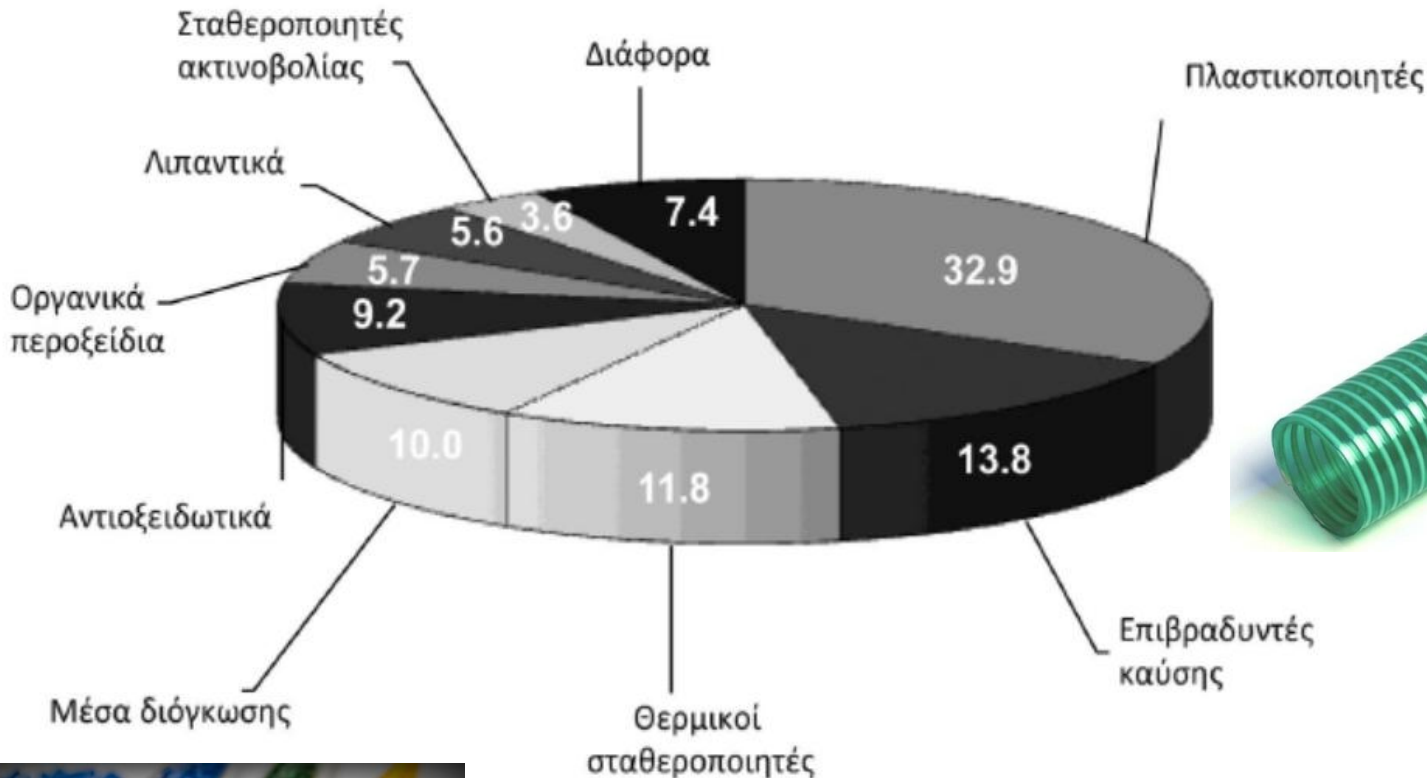
➤ Εξαρτάται από τη μέθοδο παρασκευής του πολυμερούς.



Πολυμερή - Πλαστικά:

Πολυμερές: καθαρή χημική ένωση (μακρομόριο)

Πλαστικό: Πολυμερές + πρόσθετα + μορφοποίηση



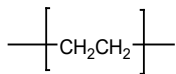


Παραδείγματα πολυμερών και πλαστικών προϊόντων – Ποικιλία επαναλαμβανόμενων δομικών μονάδων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Πολυολεφίνες

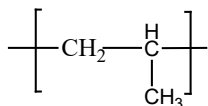
Πολυαιθυλένιο (PE)



Κιβώτια, φιάλες, μονωτικό υλικό σε καλώδια, φιλμ συσκευασίας, σακούλες, εύκαμπτοι σωλήνες



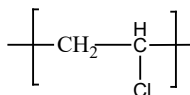
Πολυπροπυλένιο (PP)



Συσκευασία, οικιακά είδη (π.χ. καρέκλες, χαλιά, γλάστρες), σκοινιά, ένδυση (π.χ. ισοθερμικά ρούχα), είδη υγιεινής (π.χ. πάνες, σερβιέτες), τηλεκατευθυνόμενα παιχνίδια, βιομηχανικός εξοπλισμός (π.χ. δεξαμενές, σωλήνες)



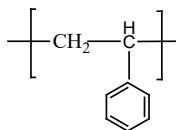
Πολυ(βινυλο χλωρίδιο) (PVC)



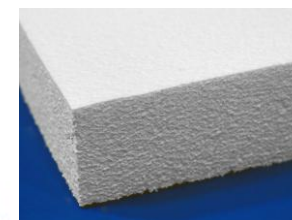
Σωλήνες, ταπετσαρίες



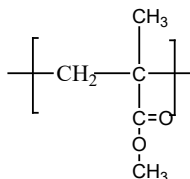
Πολυστυρένιο (PS)



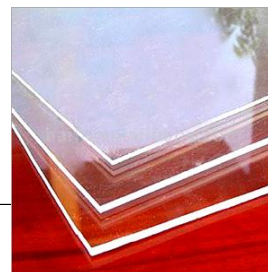
Είδη εστίασης (π.χ. ποτήρια)



Πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (PMMA)



Υαλοπίνακες





Παραδείγματα πολυμερών και πλαστικών προϊόντων

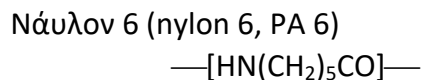
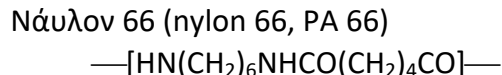
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Τυπικές Εφαρμογές

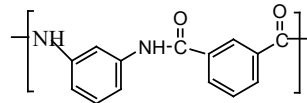
Επαναλαμβανόμενη Δομική Μονάδα

Πολυαμίδια

Ίνες, αντικείμενα στην αυτοκινητοβιομηχανία

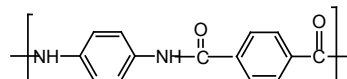


NomexTM



Πυρανθεκτικές ίνες

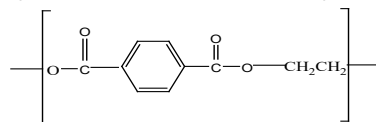
KevlarTM



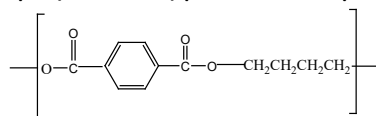
Πολυεστέρες

Φιάλες νερού, αναψυκτικών, φιλμ, ίνες

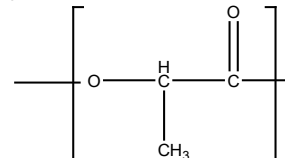
Πολυ(τερεφθαλικός αιθυλεστέρας) (PET)



Πολυ(τερεφθαλικός βουτυλεστέρας) (PBT)



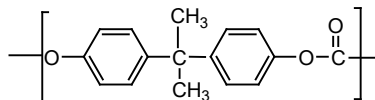
Πολυ(γαλακτικό οξύ) (PLA)



Πολυανθρακικά

Δίσκοι CD, οπτικές ίνες

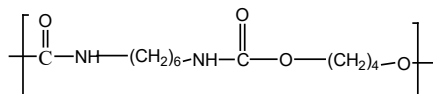
BPA-PC



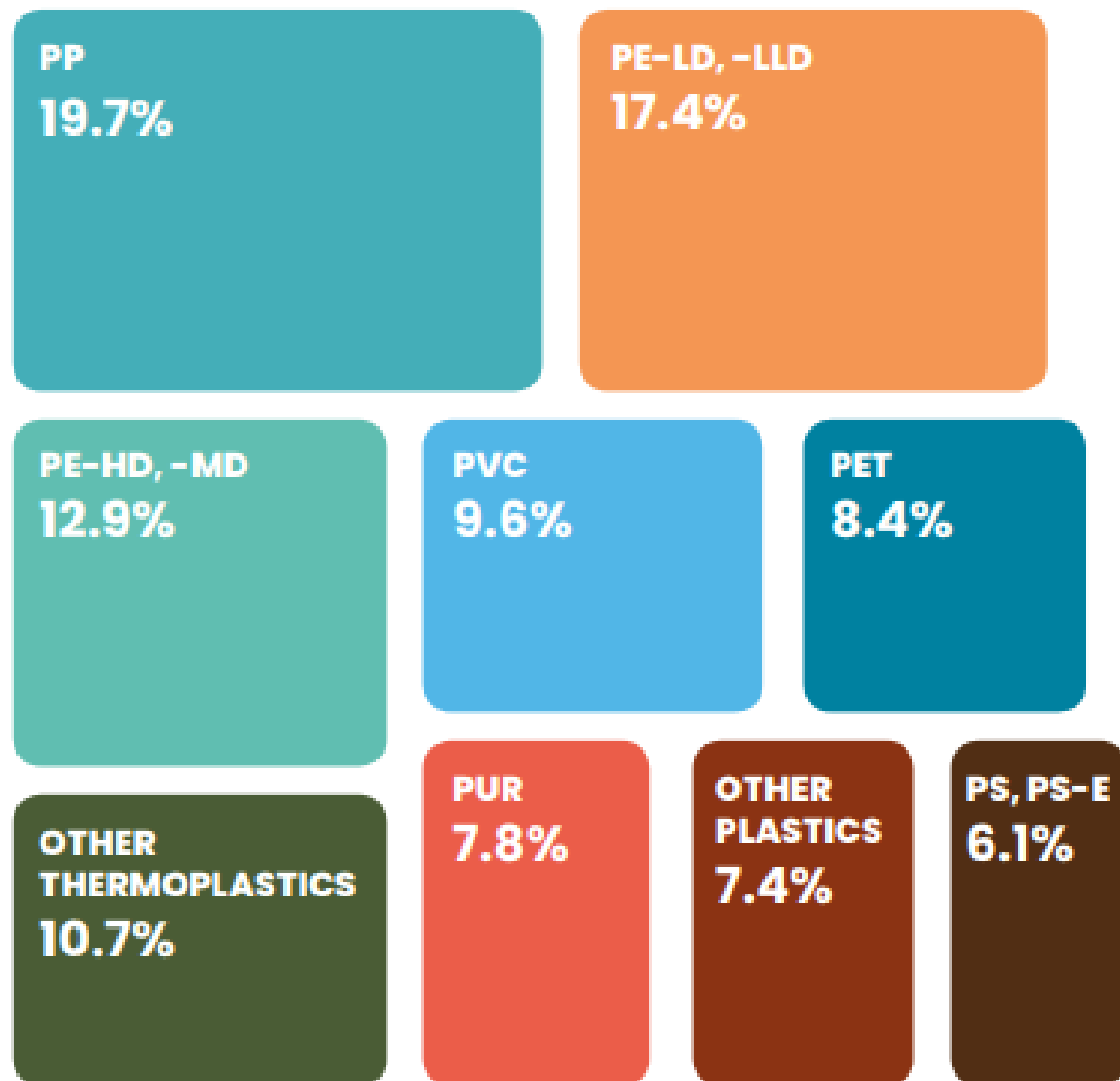
Πολυουρεθάνες

Μονωτικό υλικό, κόλλες

Perlon U or Igamid U



Κατανομή της ζήτησης ανά τύπο πολυμερούς στην ΕU (2020)



Σήμανση πολυμερών στα προϊόντα

Κωδικός	Πολυμερές
	PET Πολυ(τερεφθαλικός αιθυλεστέρας)
	HDPE Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας
	PVC Πολυβινυλοχλωρίδιο
	LDPE Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας
	PP Πολυπροπυλένιο
	PS Πολυστυρένιο
	Other Άλλα πολυμερή



PET



HDPE



PVC



LDPE



PP



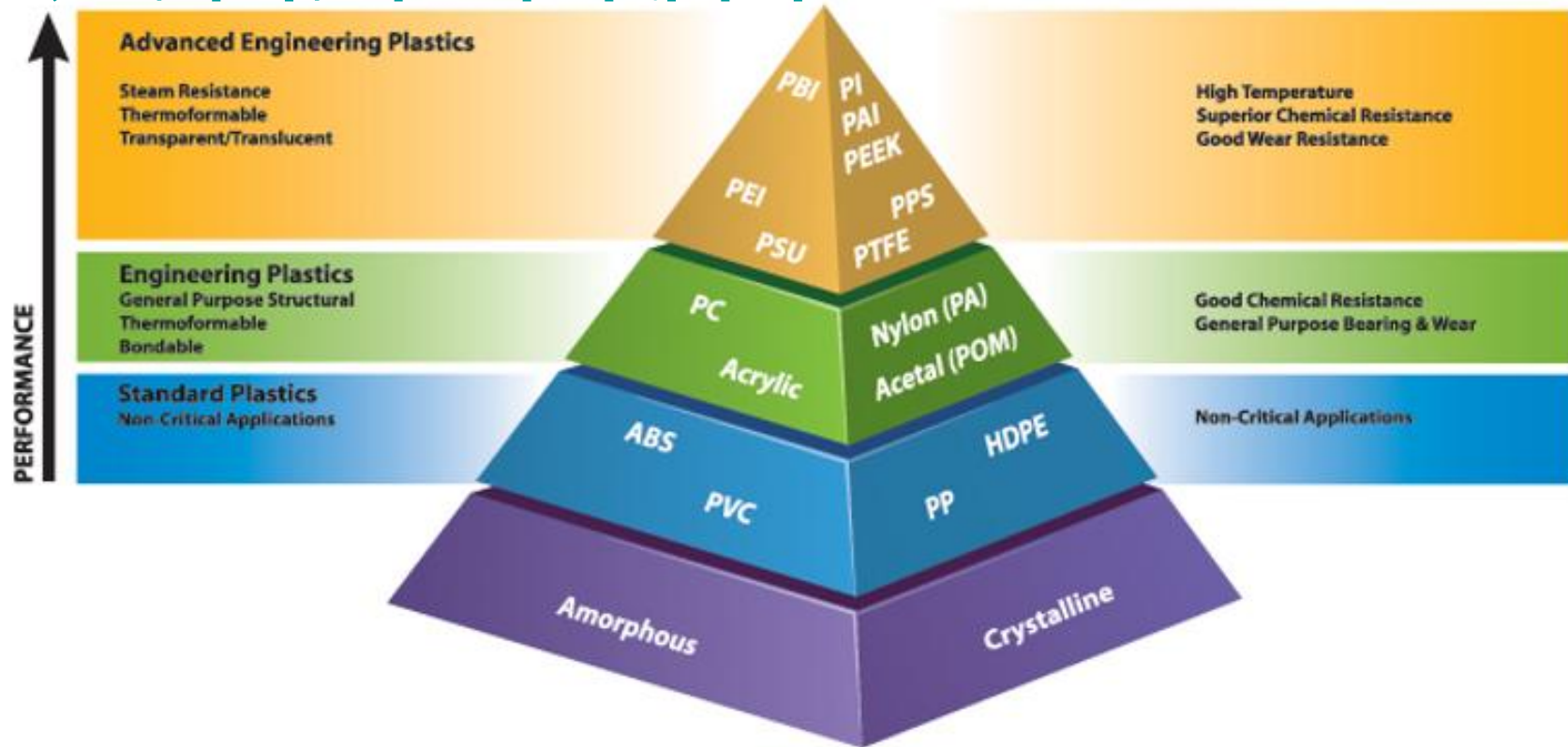
PS/EPS



Other



Ταξινόμηση με βάση τη χρήση



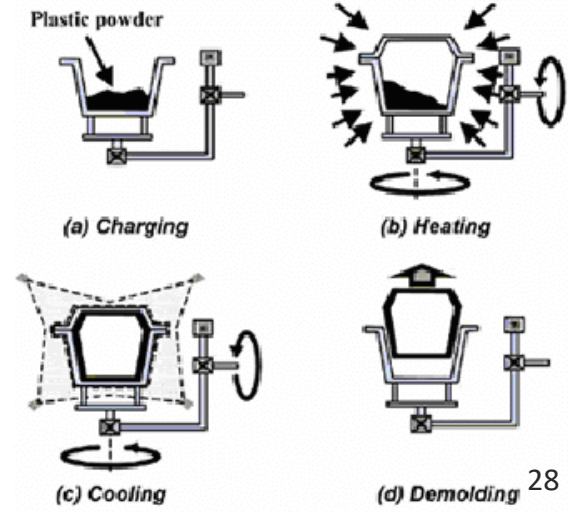
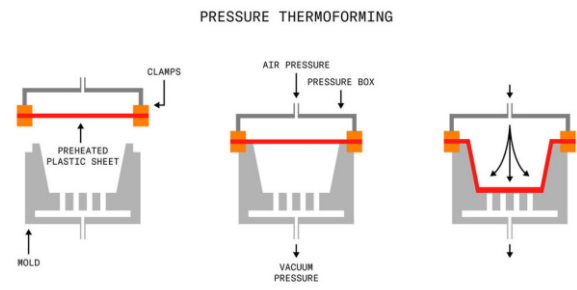
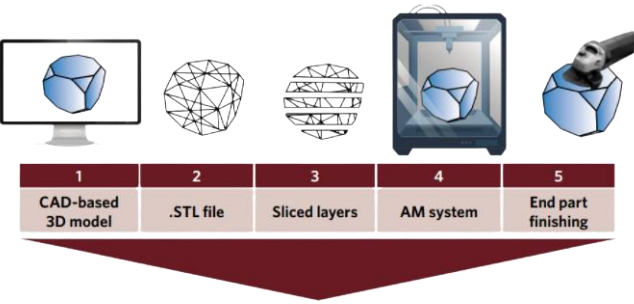
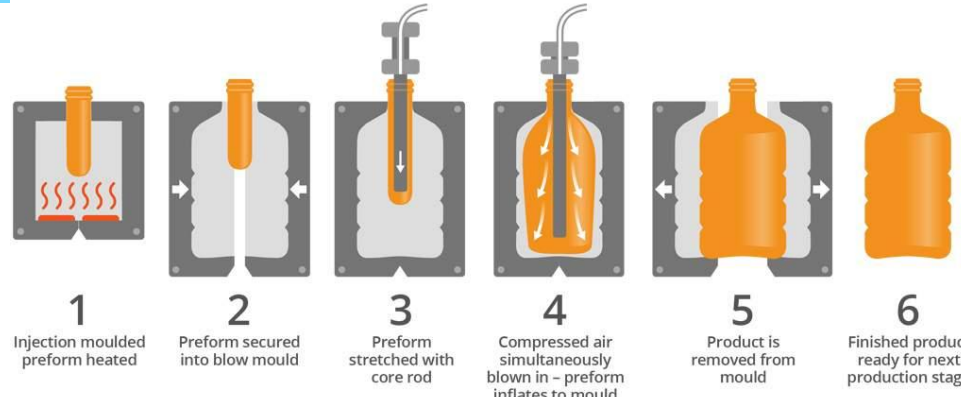
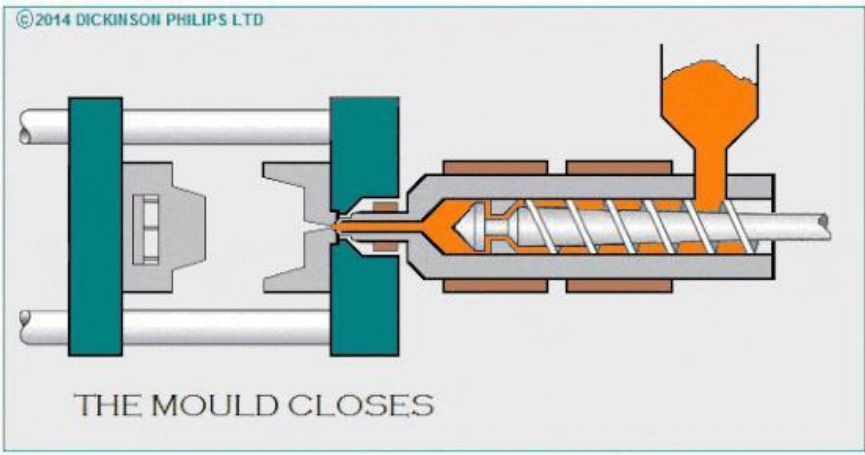
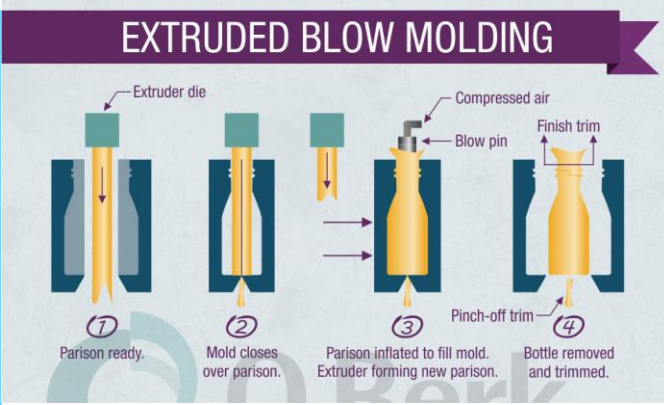
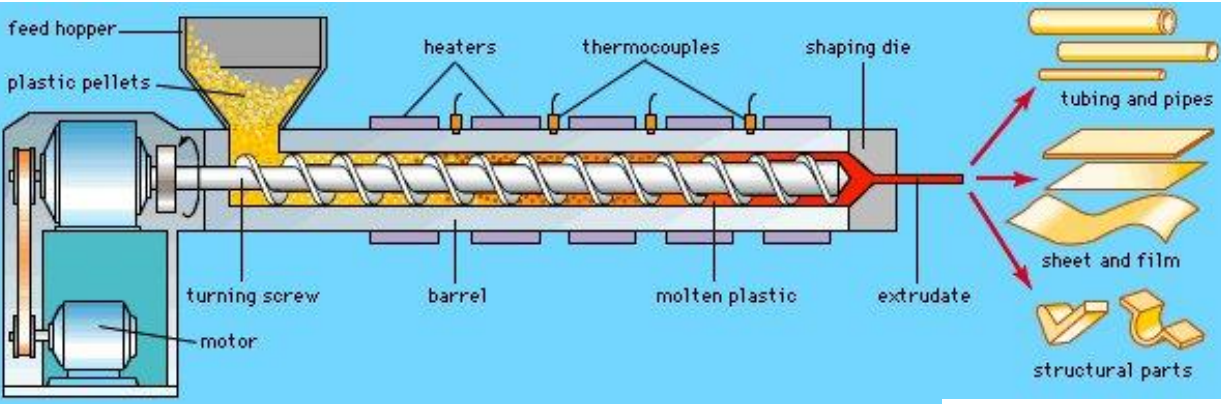
Η χρήση των πλαστικών δεν περιορίζεται στις εφαρμογές που συναντάμε καθημερινά, αλλά επεκτείνεται και σε υψηλότερων απαιτήσεων εφαρμογές

- πλαστικά ευρείας κατανάλωσης (standard plastics)
- τεχνικά/μηχανολογικά πλαστικά (engineering plastics)
- Πλαστικά προηγμένων μηχανολογικών εφαρμογών (Advanced Engineering plastics)

Τα τεχνικά και προηγμένων μηχανολογικών εφαρμογών πλαστικά είναι υλικά υψηλής προστιθέμενης αξίας

Παρουσιάζουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες αλλά και μεγάλη σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, σε σχέση με τα standards

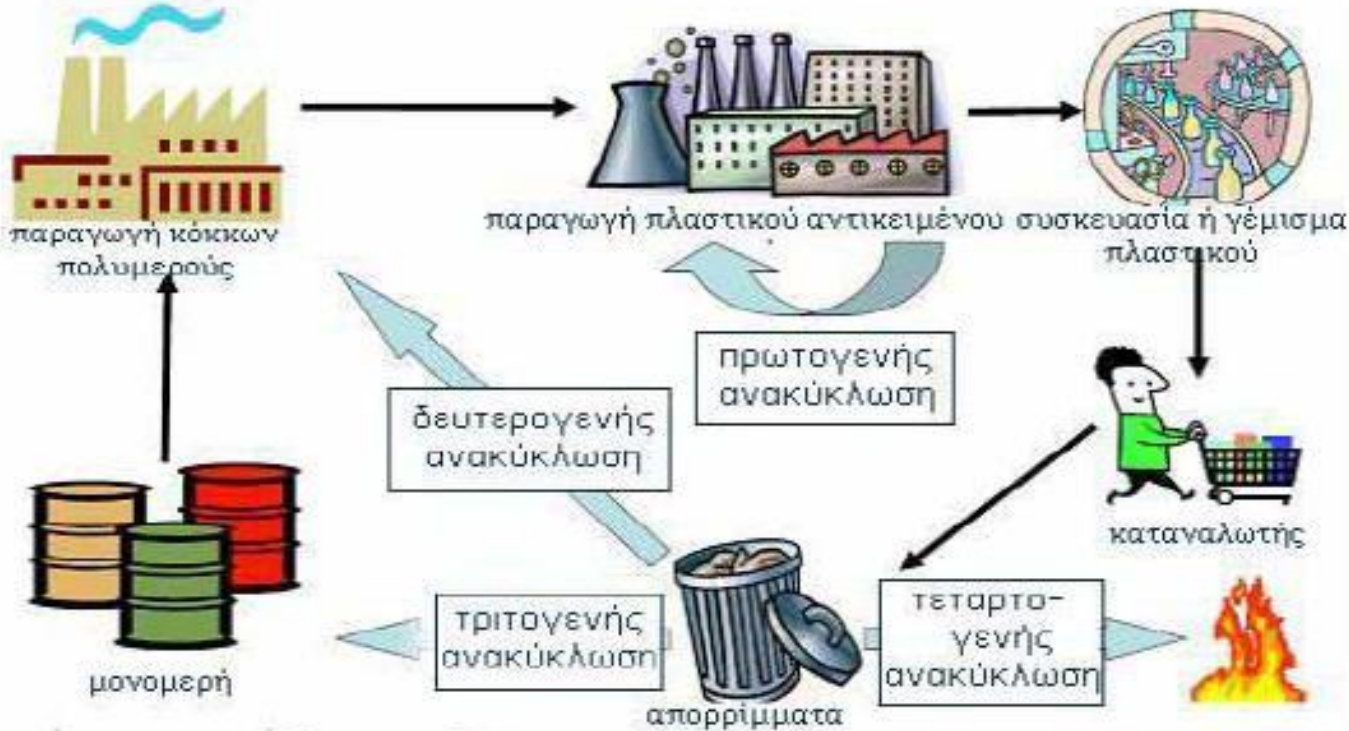
Μορφοποίηση πλαστικών



Μορφοποίηση πλαστικών

Overview:

https://www.youtube.com/watch?v=qn16JtE_vLc



Περιβάλλον



**Διαχείριση
απορριμμάτων**

Μονομερές

Πολυμερές

**Πλαστικό
Προϊόν**

Απορρίμματα

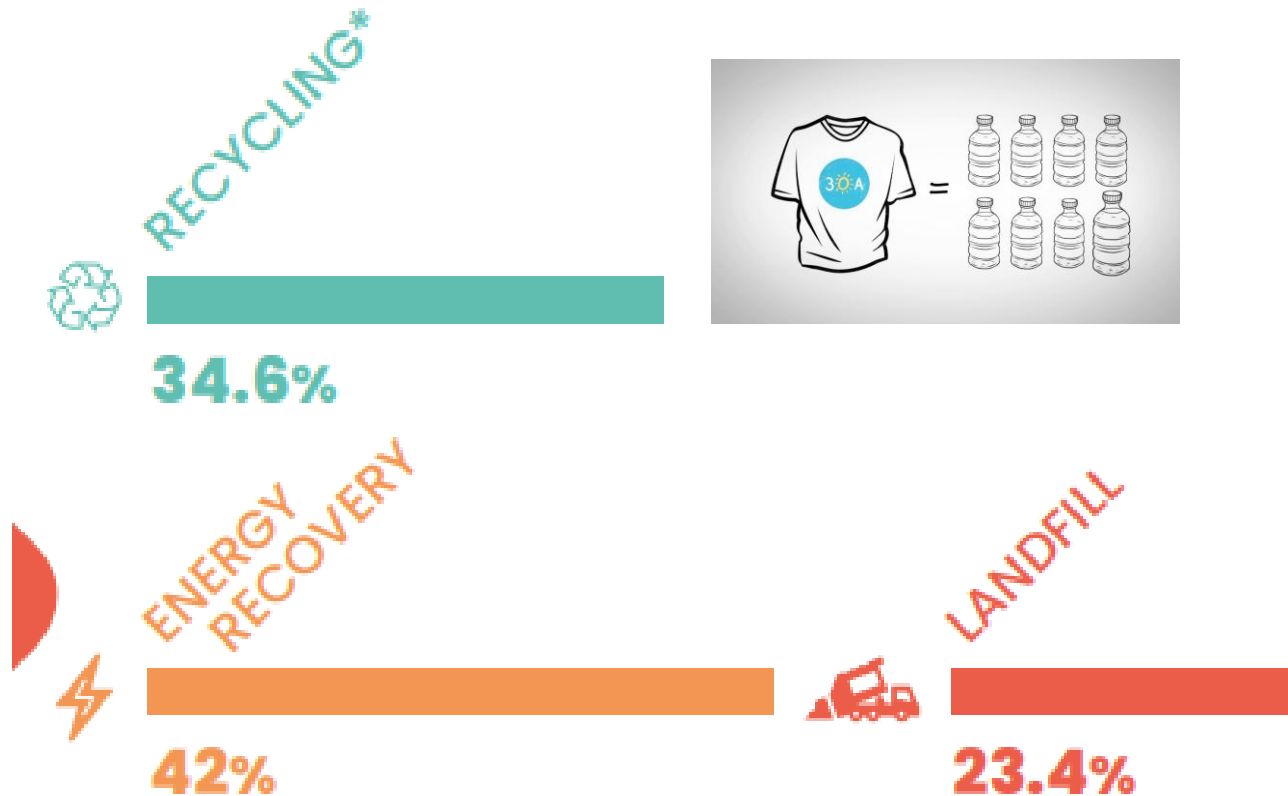
**Πρόσθετες
ύλες**

**Βιοαποικοδομήσιμα
πολυμερή**



Η διαχείριση πλαστικών απορριμμάτων στην ΕU

Στην ΕU έγινε συλλογή 29 εκατ. τόνων πλαστικών απορριμμάτων



Διαχείριση πλαστικών απορριμμάτων- Κυκλική οικονομία



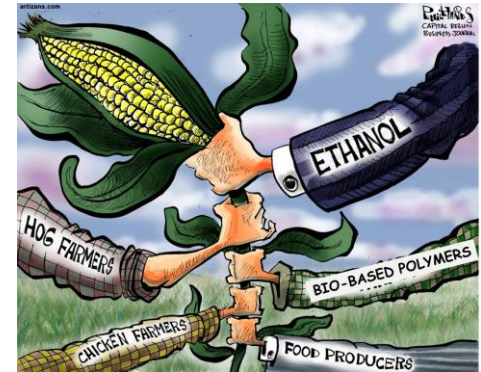
Η νομοθεσία (Νόμος 4736/2020) αφορά τον περιορισμό των πλαστικών μιας χρήσης και θέτει υψηλά ποσοστά χρήσης ανακυκλωμένων πολυμερών (RP) στα υλικά συσκευασίας:

- Πλαστικά μπουκάλια PET, από 1/1/2025 θα πρέπει να περιέχουν 25% RP και από 1/1/2030 35% RP.



Πράσινα πολυμερή: Biobased polymers/ Biodegradable polymers

- **Biobased** polymers: Πολυμερή που προέρχονται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες (βιόμαζα)
π.χ. από βιολογική ζύμωση αμυλούχων υποστρωμάτων → αιθανόλη → αιθυλένιο (αφυδρογόνωση) → πολυαιθυλένιο (κυκλοποίηση) → βενζόλιο → στυρένιο → πολυστυρένιο



- Εξάντληση αποθεμάτων αργού πετρελαίου
- Η αντικατάσταση του αργού πετρελαίου από ανανεώσιμες πρώτες ύλες, οδηγεί σε **μείωση της έκλυση CO₂** κατά την παραγωγή πολυμερών.

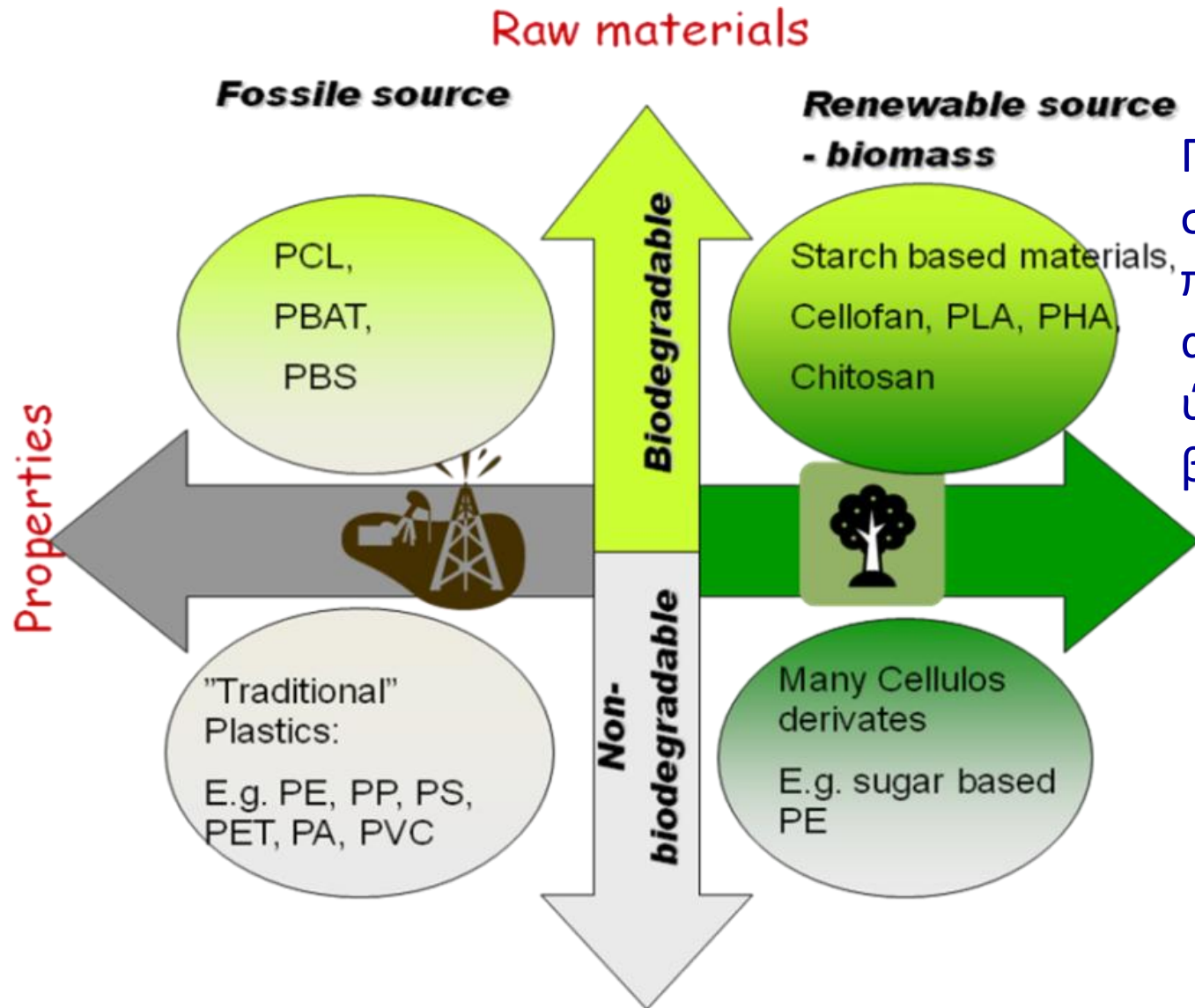
- **Βιο**διασπώμενα πολυμερή (**Biodegradable** polymer): διασπώνται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, μετά από την απόρριψή τους, από μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο περιβάλλον.

Το πολυμερές πρέπει να αποσυντεθεί σε 60-90 % μέσα σε 60-180 μέρες σε τυποποιημένο περιβάλλον (ASTM 5336)

- αντιμετώπιση μόλυνσης περιβάλλοντος
- ιατρικές εφαρμογές



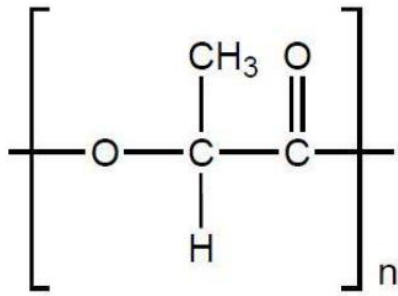
Πράσινα πολυμερή: Biobased polymers/ Biodegradable polymers



Πολυμερή που
συνδυάζουν:
προέλευση από
ανανεώσιμες πρώτες
ύλες και είναι
βιοαποικοδομήσιμα

Βιοαποικοδομήσιμα πολυμερή:

Το παράδειγμα του Πολυ(γαλακτικού οξέος) (PLA)



Disposable
tableware



Biowaste
bags



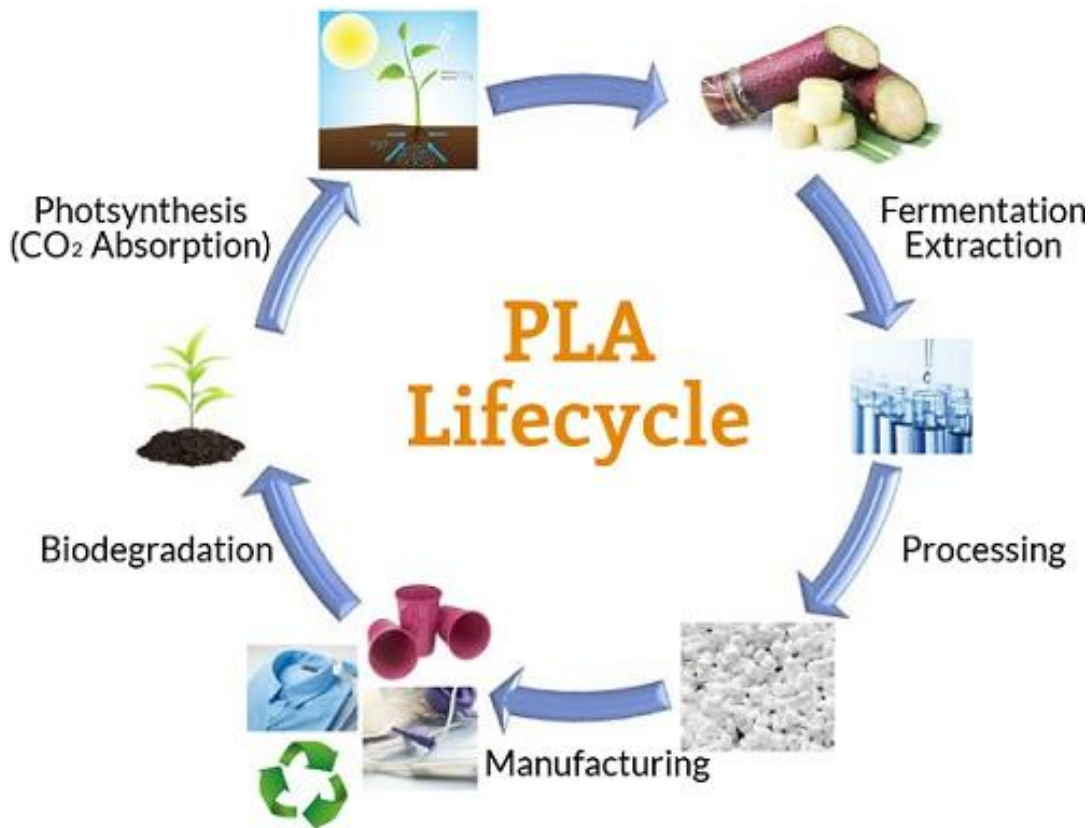
Carrier
bags



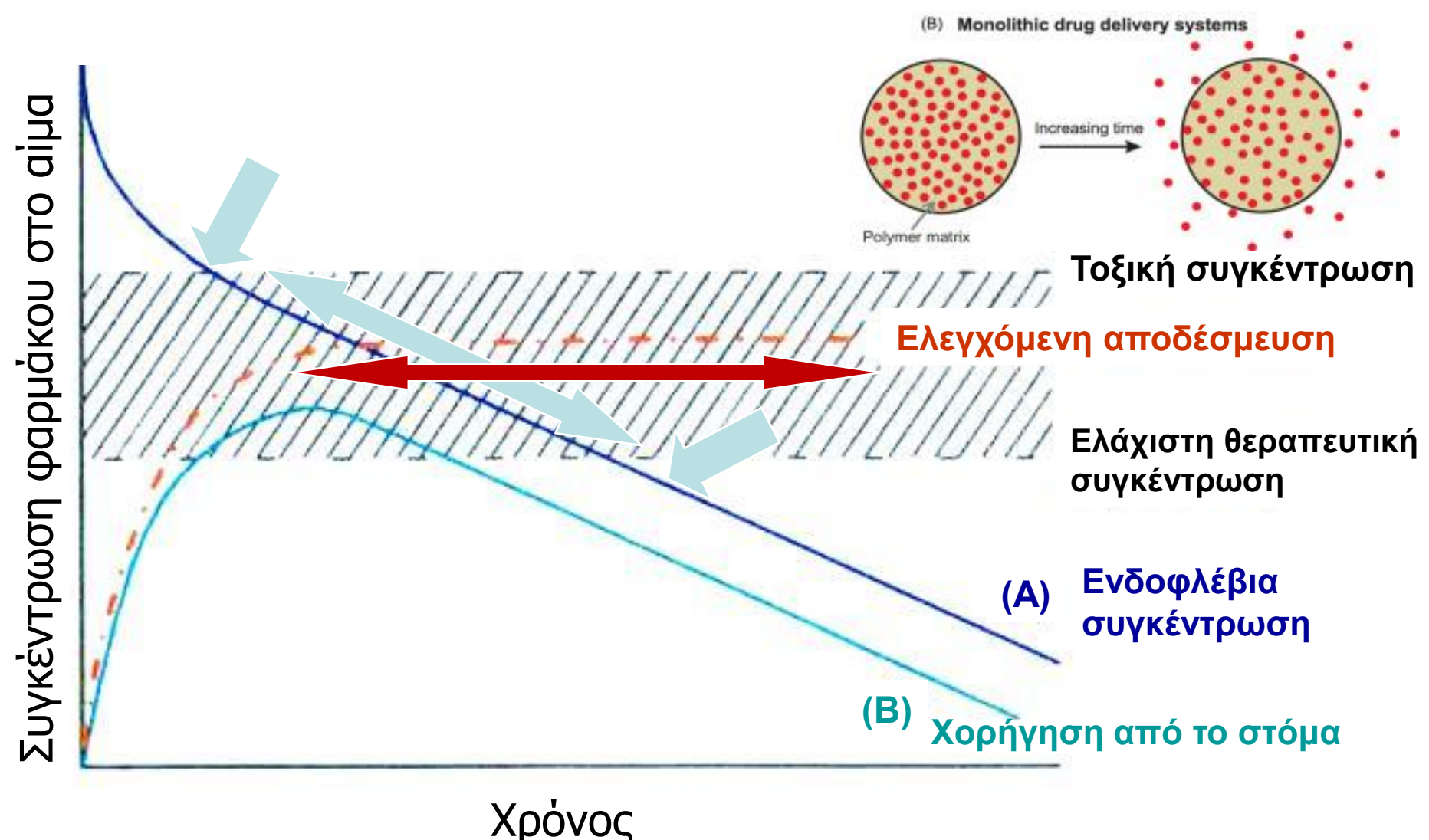
Rigid
packaging



Flexible
packaging

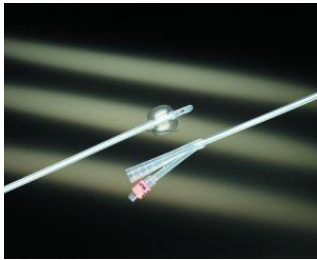


Βιοαποικοδόμησιμα πολυμερή σε Συστήματα ελεγχόμενης αποδέσμευσης φαρμακευτικών ουσιών

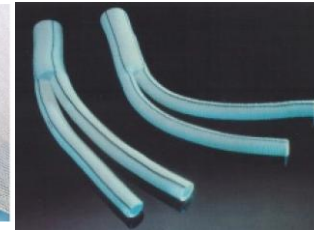


Ταξινόμηση με βάση τη χρήση

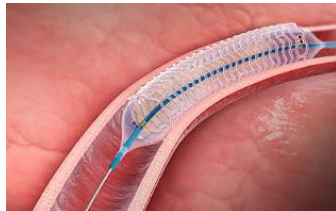
Βιοϊατρικά πολυμερή: υλικά/συσκευές στην ιατρική, οδοντιατρική, φαρμακευτική.



- Χειρουργικά ράμματα,
- Καθετήρες,
- εμφυτεύματα ορθοπαιδική (τεχνητή άρθρωση ισχίου, ολική αρθροπλαστική γόνατος)
- κατασκευή βάσεων οδοντοστοιχιών,
- τεχνητά αγγειακά μοσχεύματα,
- εξαρτήματα τεχνητής καρδιάς



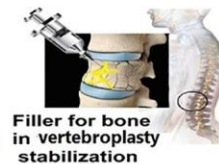
Polyurethane heart valves



Filler for bone cavity



Bone cement



Filler for bone in vertebroplasty stabilization



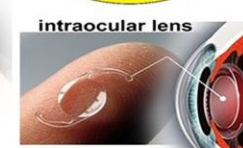
Artificial teeth



Filler for skull bone



Contact lens



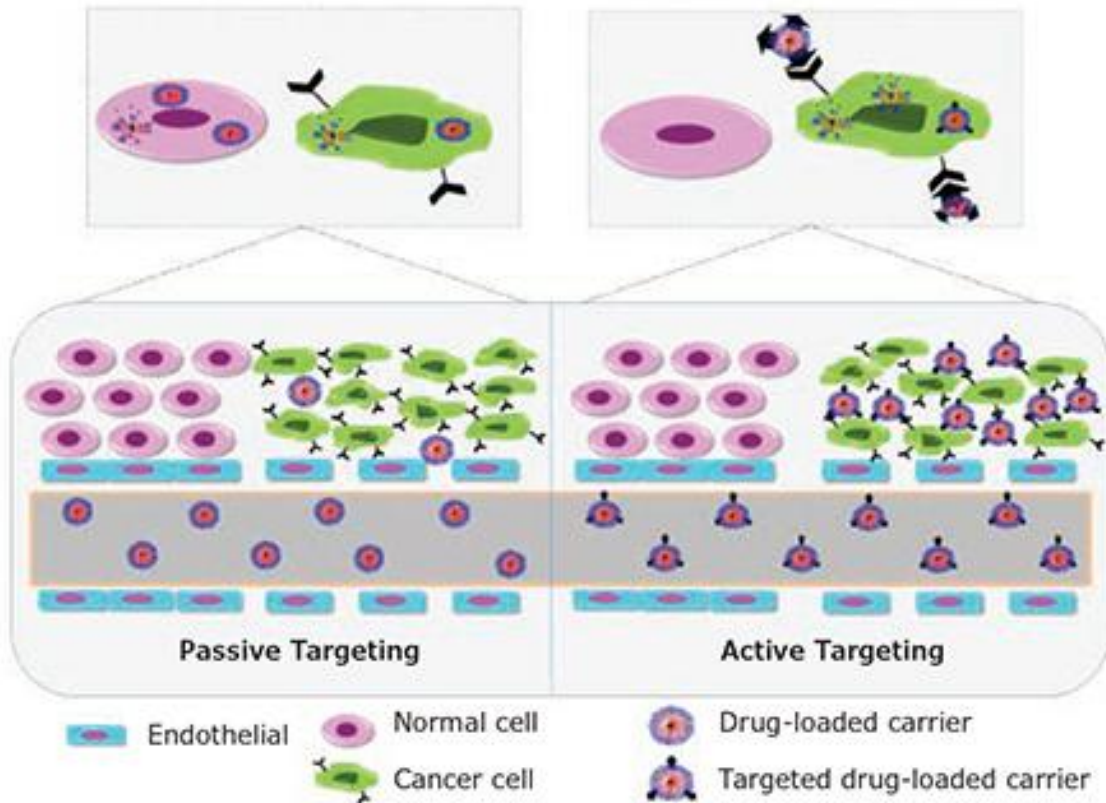
intraocular lens



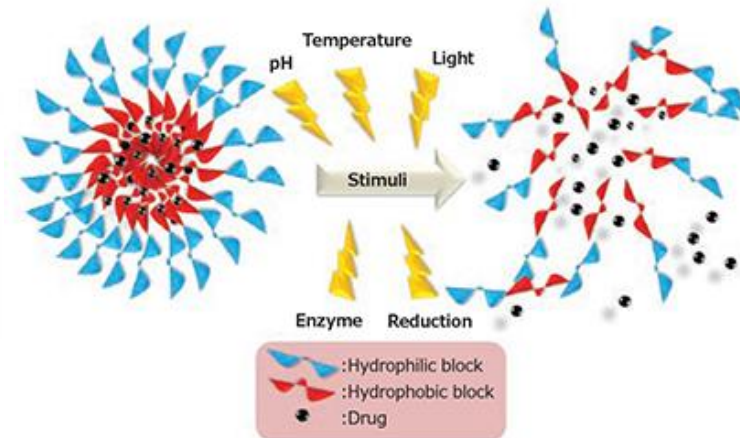
Screw fixation in bone

Ταξινόμηση με βάση τη χρήση

Ειδικές μορφές φορέων ελεγχόμενης αποδέσμευσης



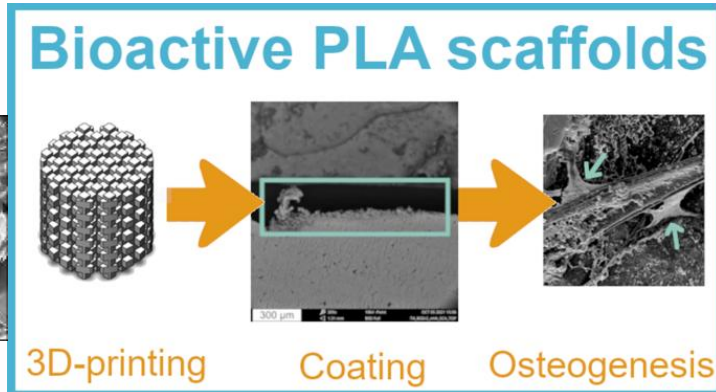
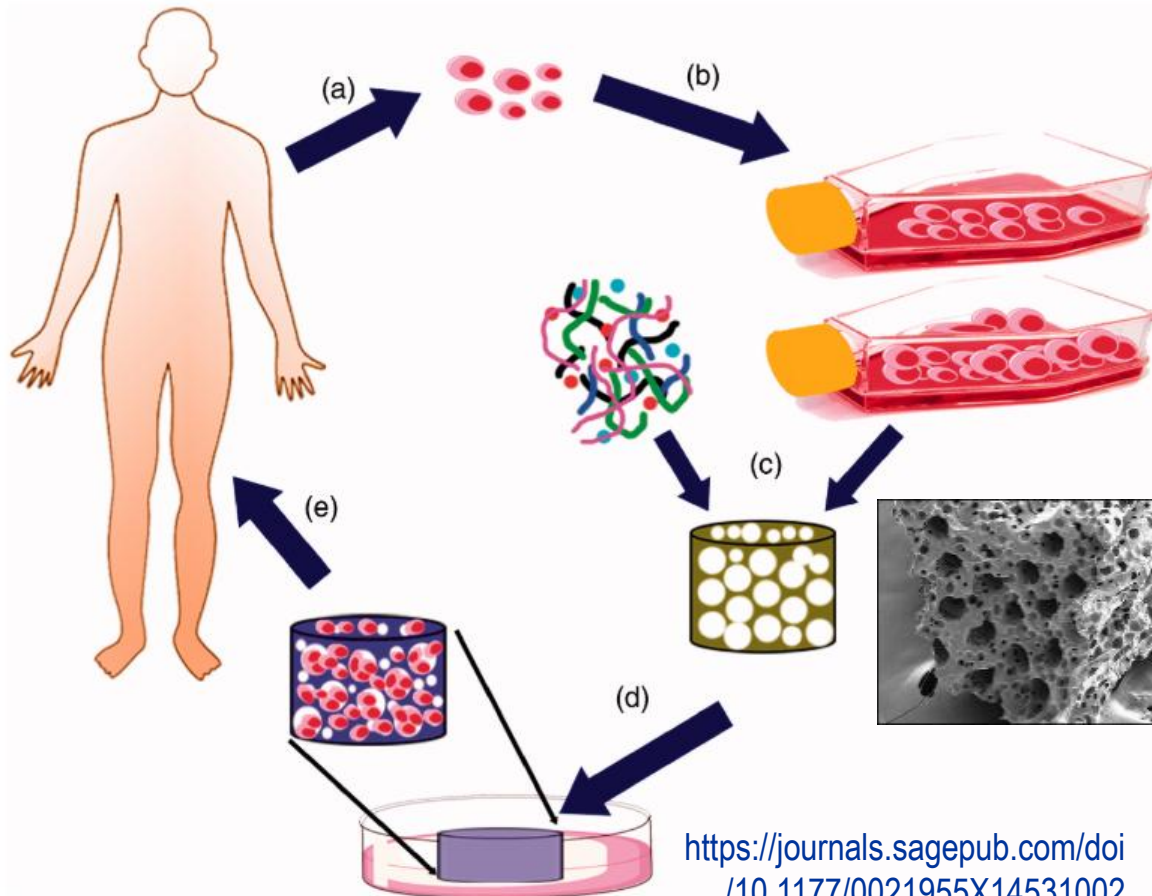
Συστήματα ελεγχόμενης
αποδέσμευσης με **στοχευμένη δράση**



Συστήματα ελεγχόμενης
αποδέσμευσης με ανταπόκριση
σε εξωτερικό ερέθισμα (**έξυπνα
συστήματα**)

Ταξινόμηση με βάση τη χρήση

Βιοϊατρικά πολυμερή: ικρίώματα βιοαποικοδομήσιμων πολυμερών στην αναγεννητική ιατρική (Regenerative Medicine)

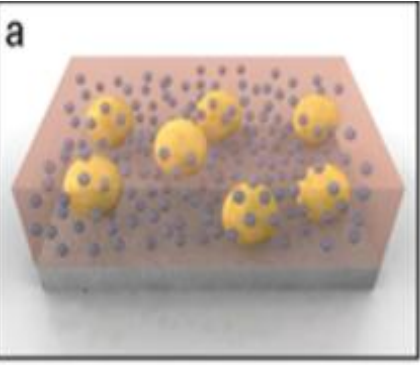


<https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-023-08149-4>

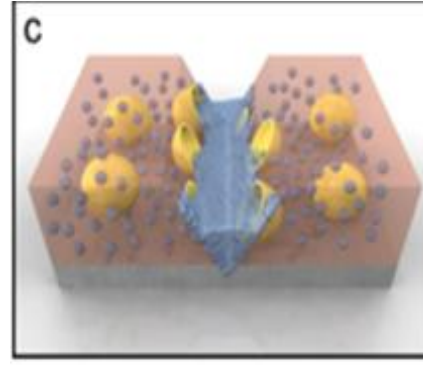
Figure 1. A typical tissue engineering cycle. (a) A small amount of cells are isolated from the human body. (b) The cells are cultured to produce more cells. (c) These cells are seeded onto porous scaffolds together with growth factors. (d) The seeded scaffolds are further cultured to increase the number of cells. (e) Finally, the regenerated tissue is implanted into the site of the defect to integrate with the natural tissue.

Ταξινόμηση με βάση τη χρήση

Αυτοϊάσιμα πολυμερή (self healing polymers)

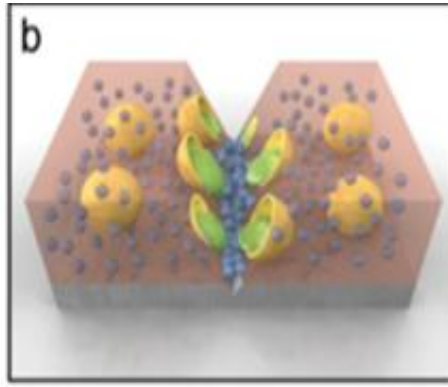


Διασπορά
μικροκαψουλών και
καταλύτη στην
πολυμερική μήτρα

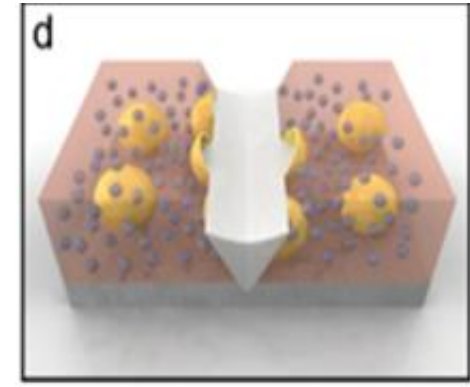


Ο επουλωτικός παράγοντας
έρχεται σε επαφή με τον
καταλύτη και αρχίζει η
διαδικασία σκλήρυνσης.

Ρήξη των
μικροκαψουλών και
αποδέσμευση του
επουλωτικού
παράγοντα.

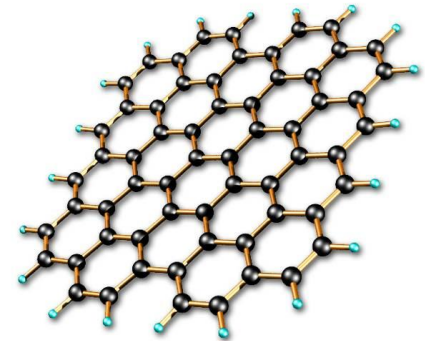
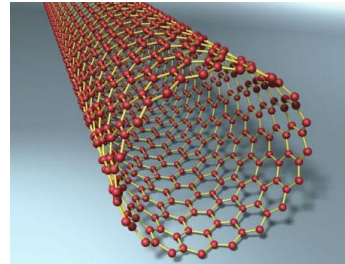


Ο επουλωτικός
παράγοντας έχει
σκληρύνει
προστατεύοντας το
υπόστρωμα.



Ταξινόμηση με βάση τη χρήση

Σύνθετα πολυμερή: Ενισχυμένα πολυμερή/Νανοσύνθετα.



- Carbon laminate
- Carbon sandwich
- Fiberglass
- Aluminium
- Aluminium/steel/titanium pylon

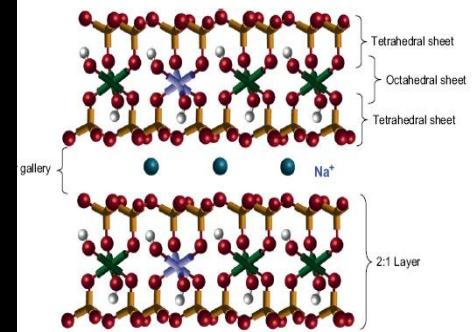
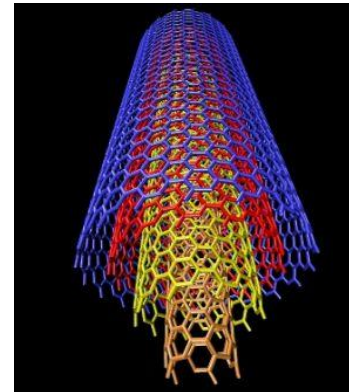
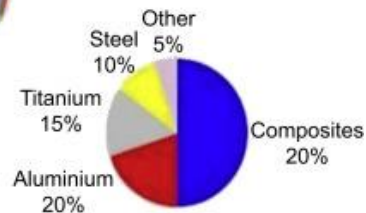


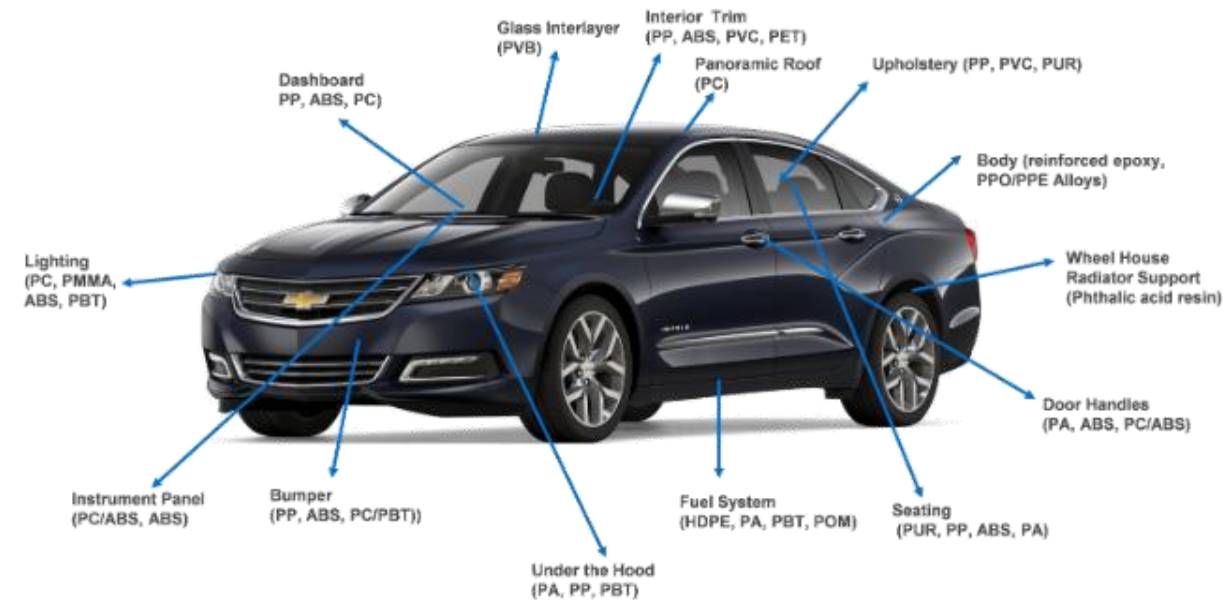
Fig. 1. Structure of sodium montmorillonite. Courtesy of Southern Clay Products, Inc.



Ταξινόμηση με βάση τη χρήση

Αυτοκινητοβιομηχανία, ναυπηγική, κατασκευές, παραγωγή/αποθήκευση ενέργειας

Plastics Applications in Automotive Parts



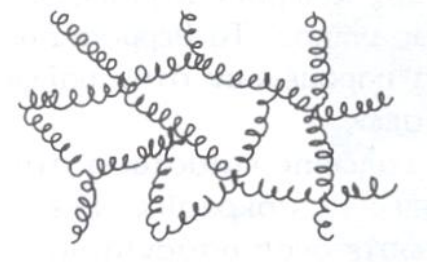
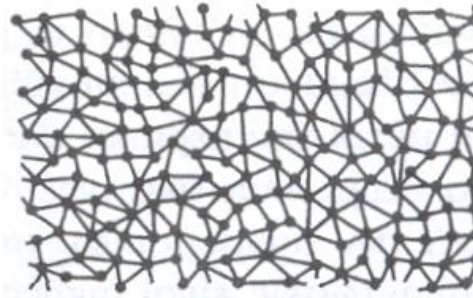
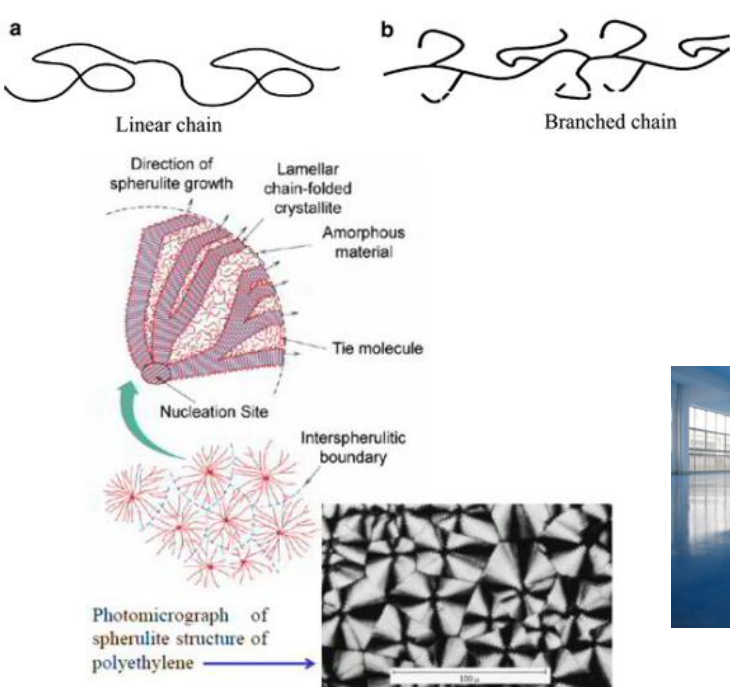
Ταξινόμηση με βάση τον τρόπο μορφοποίησης

Πολυμερή

Θερμοπλαστικά

Θερμοσκληρυνόμενα

Ελαστομερή



**Δομή (άμορφα-κρυσταλικά) &
Θερμικές
Μεταπτώσεις Πολυμερών**

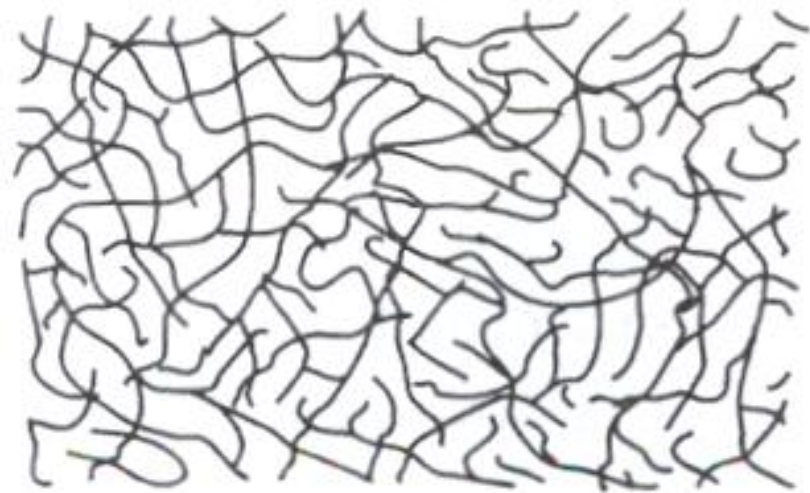
Μορφολογία μακρομορίων:

Μορφοποίηση & Ιδιότητες

Θερμοπλαστικά: με θέρμανση στη θερμοκρασία τήξης τήκονται, διαλύονται σε κατάλληλους διαλύτες. Τα φαινόμενα αυτά είναι αντιστρεπτά. Μορφοποιούνται με συνδυασμό θέρμανσης/ψύξης.

Θερμοσκληρυνόμενα: στα πολυμερή αυτά μέσω της αντίδρασης σκλήρυνσης δημιουργείται πυκνό, τρισδιάστατο πλέγμα, συνήθως με τη βοήθεια θέρμανσης (**σκλήρυνση**). Μη αντιστρεπτή κατάσταση. Δεν τήκονται, δεν διαλύονται. Μορφοποιούνται με την ολοκλήρωση της σκλήρυνσης.

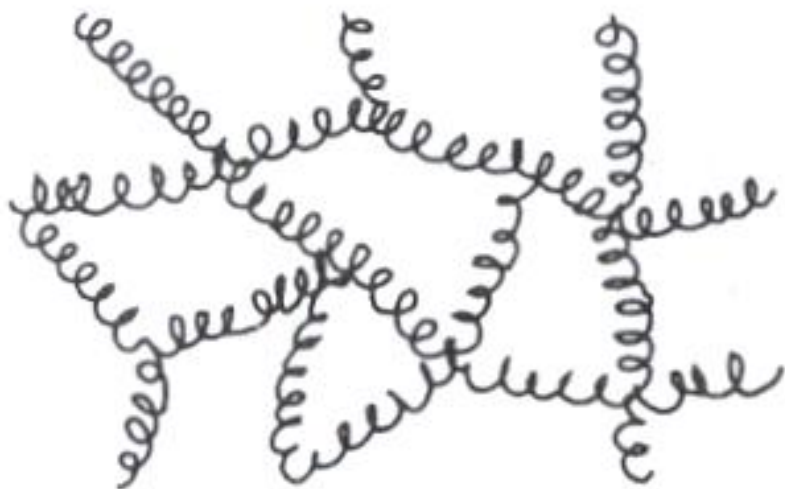
Ελαστομερή: στα πολυμερή αυτά μέσω της αντίδρασης **βουλκανισμού** δημιουργείται αραιό πλέγμα. Δεν τήκονται, δεν διαλύονται αλλά διογκώνονται από διαλύτες. Μορφοποιούνται με την ολοκλήρωση του βουλκανισμού.



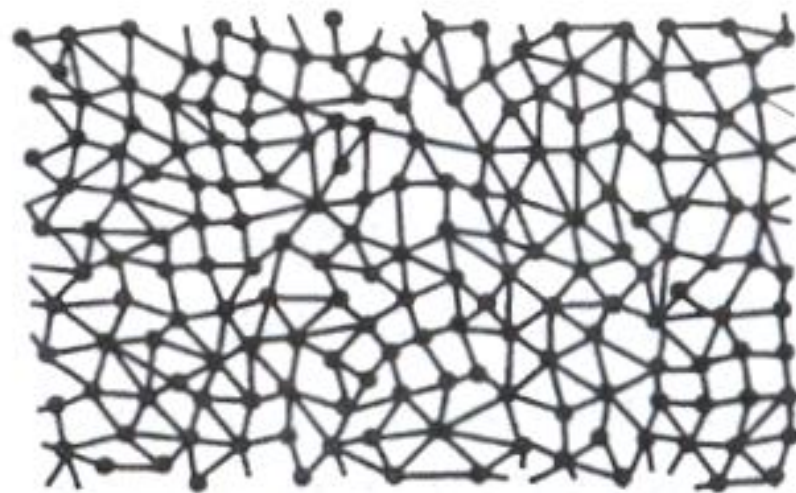
Άμορφα θερμοπλαστικά



**Ημικρυσταλλικά
θερμοπλαστικά**



Ελαστομερή



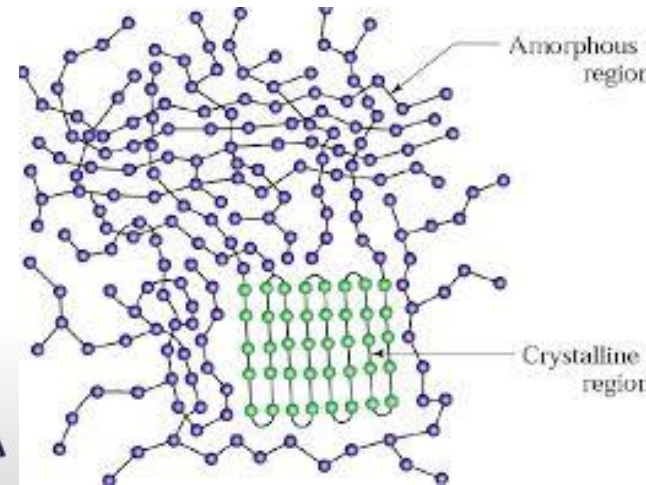
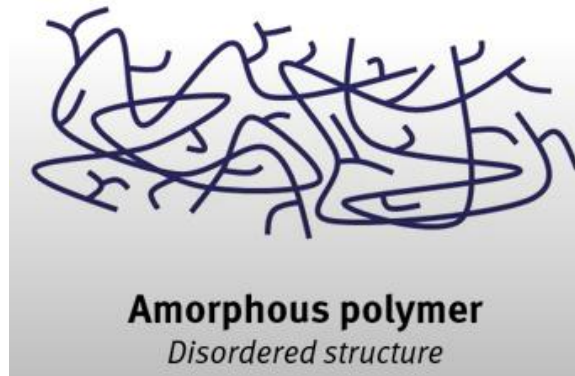
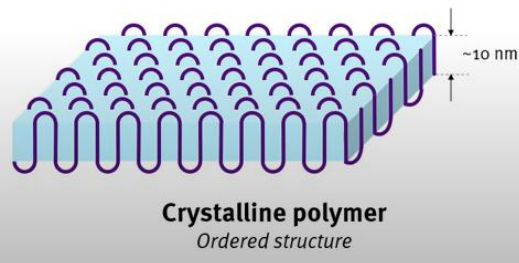
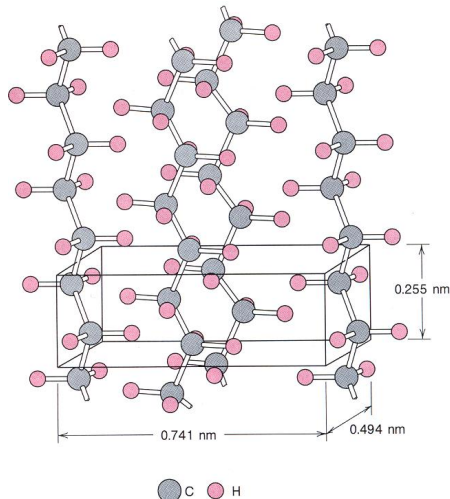
Θερμοσκληρυνόμενα

Ταξινόμηση με βάση την κρυσταλλικότητα

Κρυσταλλικά: έχουν τη δυνατότητα να κρυσταλλωθούν

Άμορφα: δεν εμφανίζουν κρυσταλλικότητα

Ημικρυσταλλικά: Συνυπάρχουν άμορφες και κρυσταλλικές περιοχές



Θερμοκρασία τήξης (T_m):
καταστρέφεται η κρυσταλλική
δομή και τα μακρομόρια αποκτούν
κινητικότητα στο χώρο, ροή

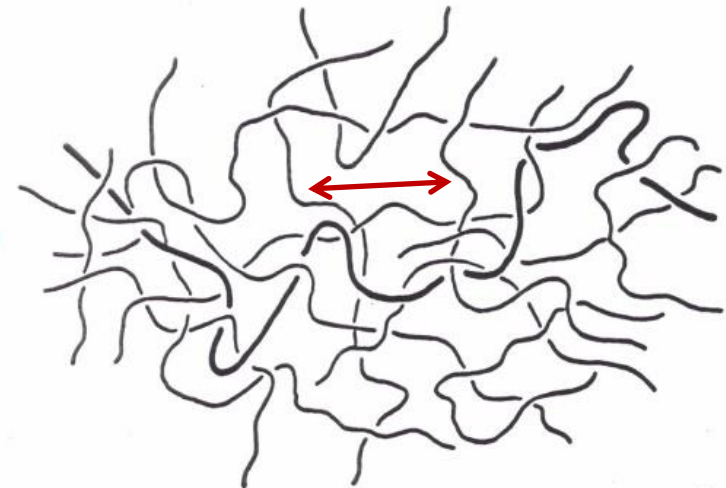
Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g):
οι αλυσίδες από την "υαλώδη" κατάσταση
αποκτούν μερική κινητικότητα. Το πολυμερές
από άκαμπτο/σκληρό γίνεται ιξωδοελαστικό.

Άμορφες περιοχές

- Ο κενός χώρος μεταξύ των αλυσίδων καλείται ελεύθερος χώρος (free volume, V_f).
- Η θερμοκρασία που χαρακτηρίζει τις άμορφες περιοχές είναι η **θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης** (glass transition temperature), T_g : κάτω από τη θερμοκρασία αυτή μειώνεται ο ελεύθερος όγκος μεταξύ των αλυσίδων → περιορίζεται η κινητικότητα τους (μεταφορική ή περιστροφική κίνηση) → οι αλυσίδες είναι “παγωμένες” (glassy state).

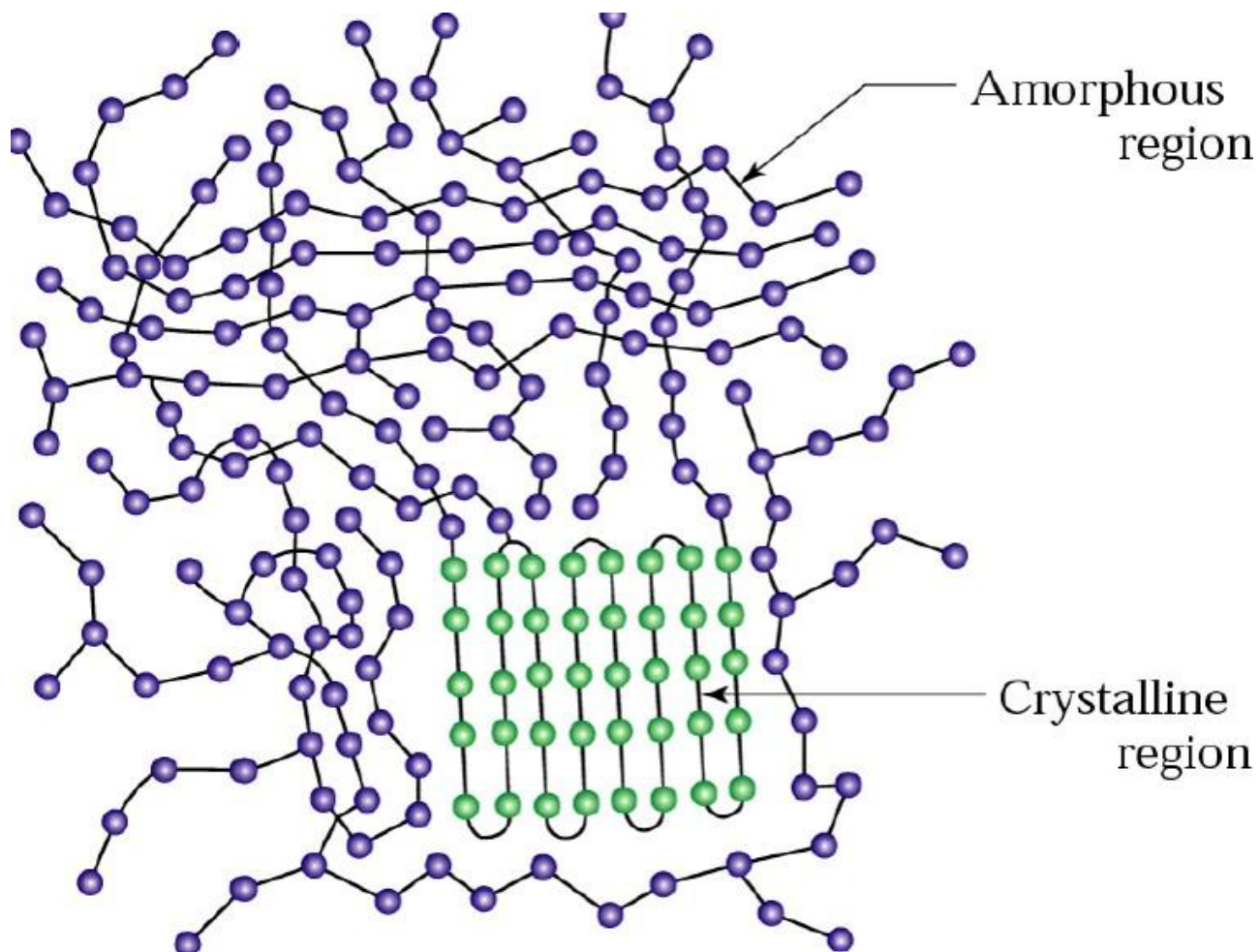


Linear Amorphous

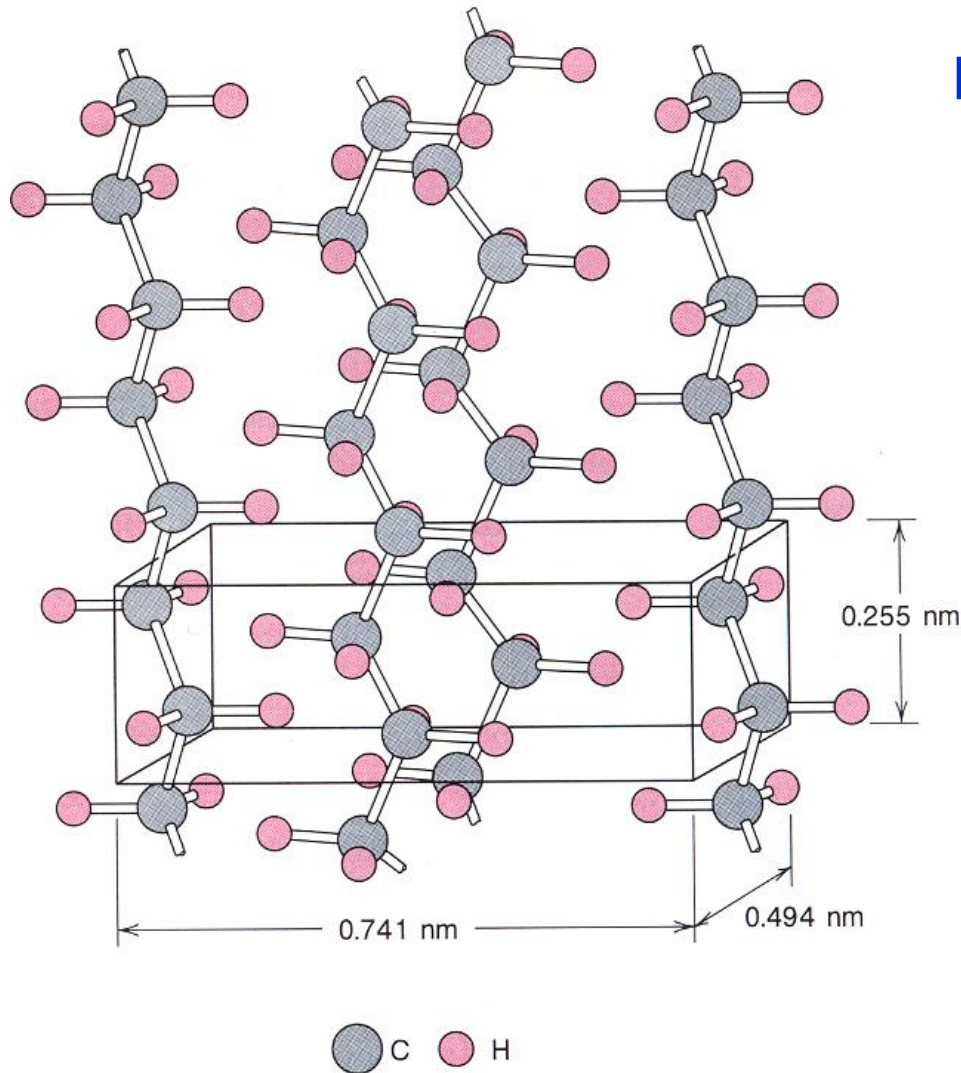


Think of this like a bowl full of spaghetti, but on the atomic scale!

Ημικρυσταλλικά πολυμερή



Κρυσταλλικότητα πολυμερών

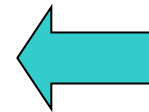


Επιστοίβαση μοριακών αλυσίδων



Οργανωμένη διάταξη ατόμων

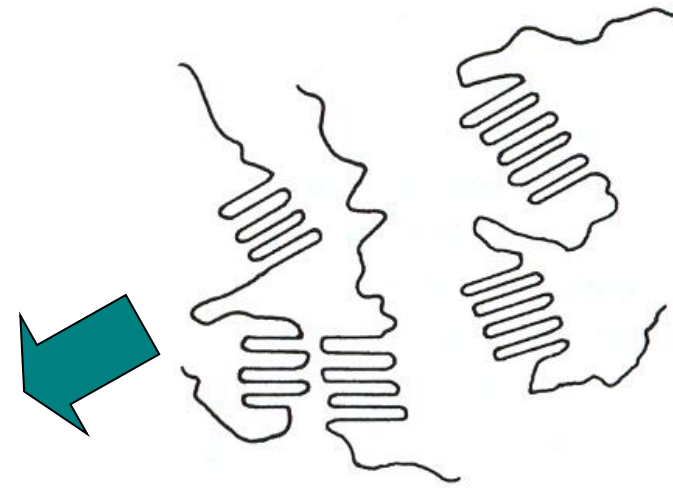
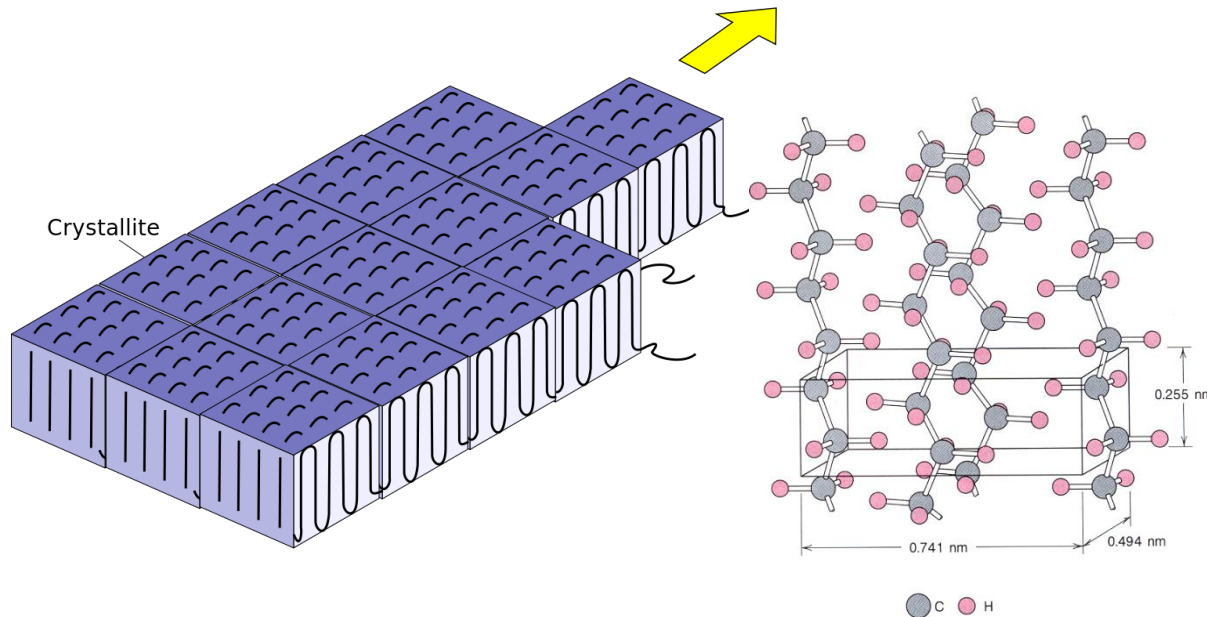
Διάταξη μορίων σε μοναδιαία κυψελίδα πολυαιθυλενίου



<https://www.youtube.com/watch?v=puSiX1mseKU>
<https://www.youtube.com/watch?v=8AKitCUuNCE>
<https://www.youtube.com/watch?v=130sUnjUxmQ>

Μοντέλο αναδιπλωμένης αλύσου:

μόρια τοποθετημένα με τάξη που προκύπτει από συνεχείς αναδιπλώσεις.



Συστάδες Φυλλιδίων

Πλακίδια

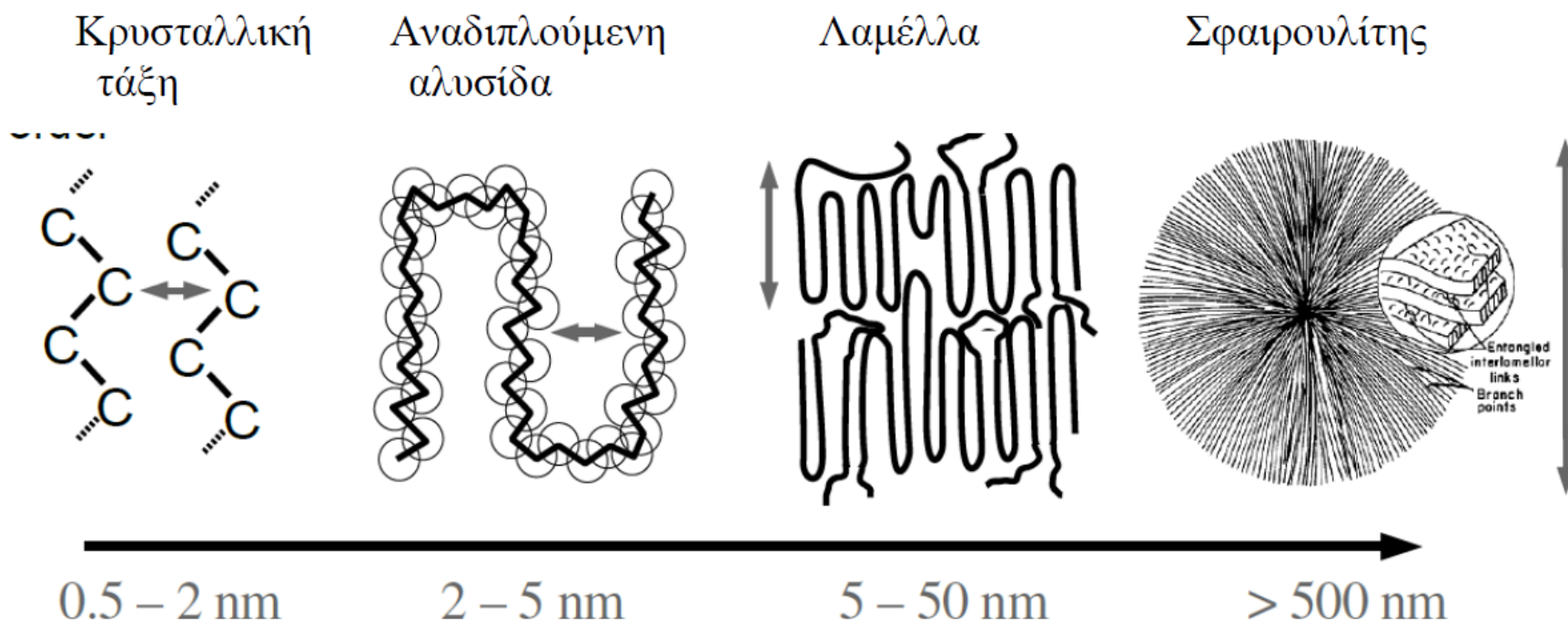
Ο άξονας των ομοιοπολικών δεσμών των μακροαλυσίδων είναι κάθετος προς την πλευρά των μεγαλύτερων διαστάσεων των κρυστάλλων και εξηγείται με την συνεχή αναδίπλωση του μακρομορίου

Κρυστάλλωση πολυμερών από τήγματα

Σφαιρουλίτες: πολυκρυσταλλικές σφαιρόμορφες περιοχές (d: 0.1μ-1cm).

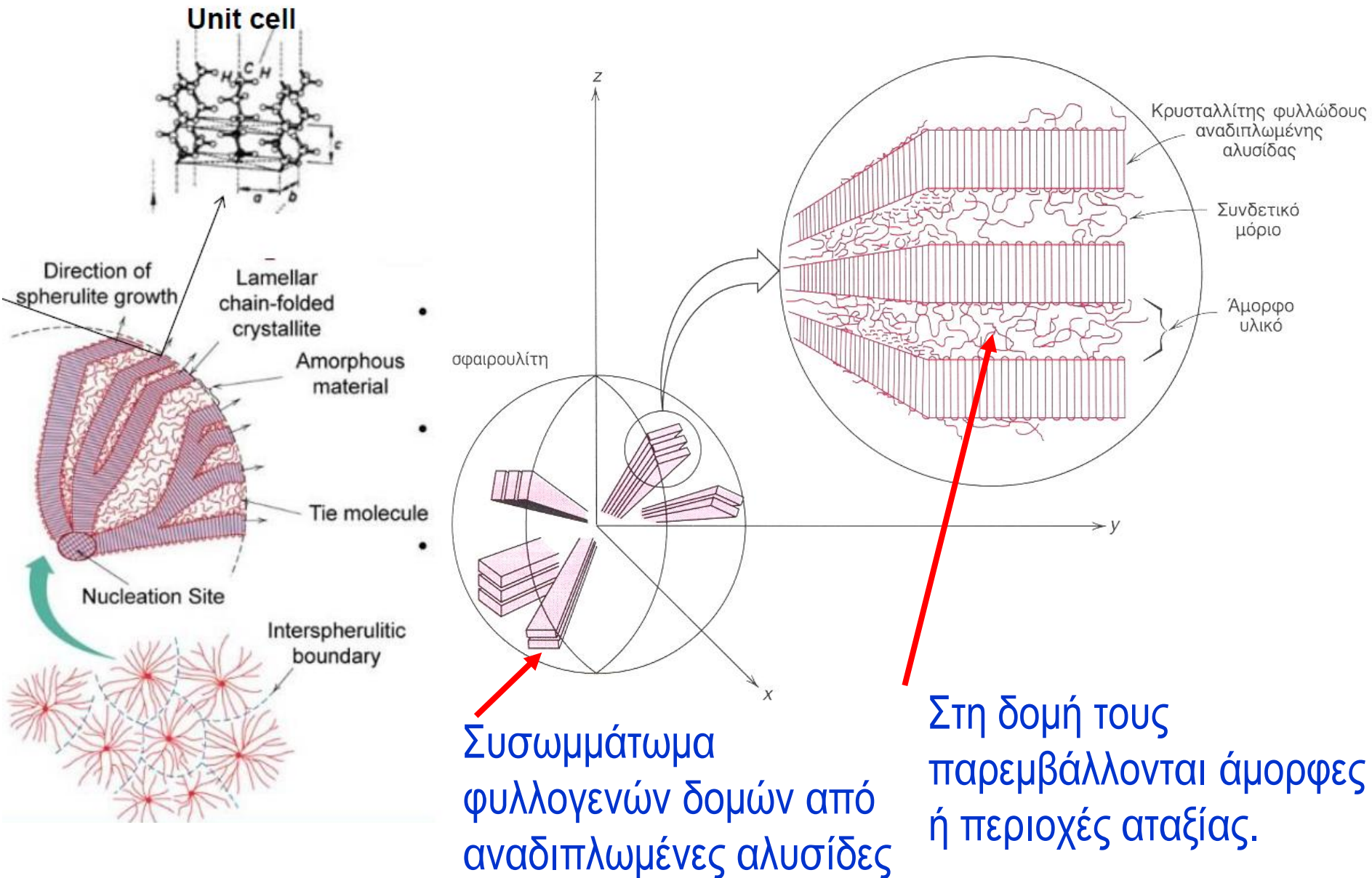
Όταν το πολυμερές κρυσταλλώνεται από το τήγμα του η μορφολογία που ακολουθείται είναι της **σφαιρουλιτικής ανάπτυξης**.

Οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται ακτινωτά από το κέντρο προς τα έξω σε δομές γνωστές ως **σφαιρουλίτες**.



Κρυστάλλωση πολυμερών από τήγματα

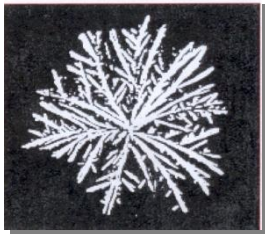
Σφαιρουλίτες: πολυκρυσταλλικές σφαιρόμορφες περιοχές (d : 0.1 μ -1cm).



Κρυστάλλωση πολυμερών από τήγματα

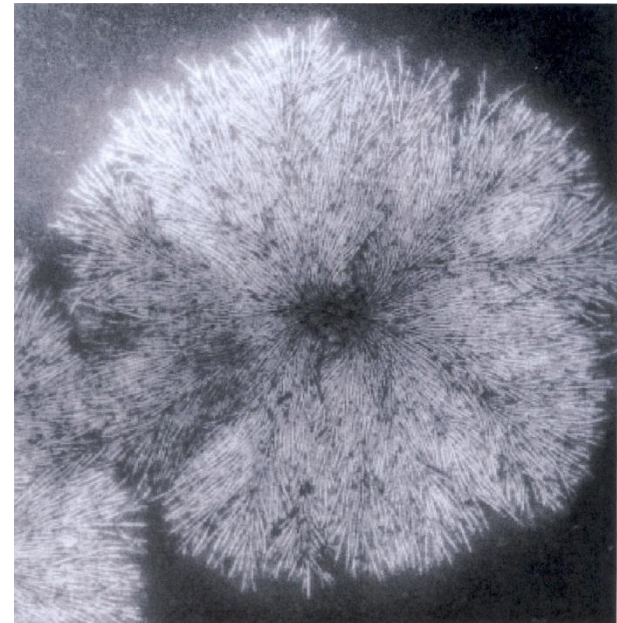
Ρυθμός κρυστάλλωσης $T_g < T_c < T_m$

Ρυθμός Πυρήνωσης
(μειώνεται με $\uparrow T$)
Δημιουργία κέντρων
κρυστάλλωσης



Έναρξη: Πυρήνωση

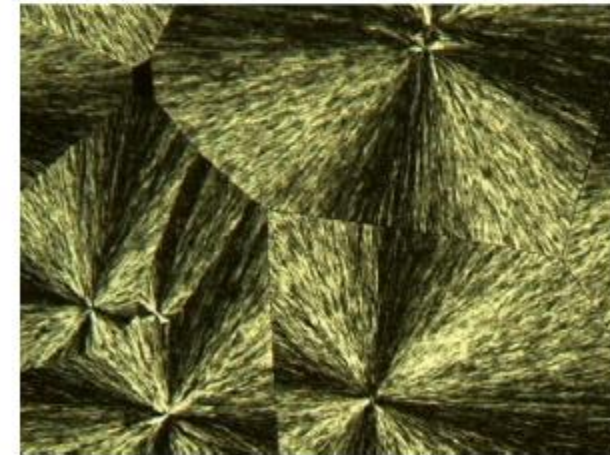
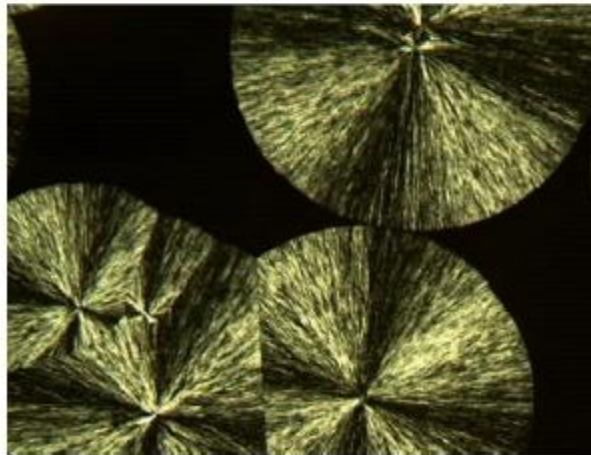
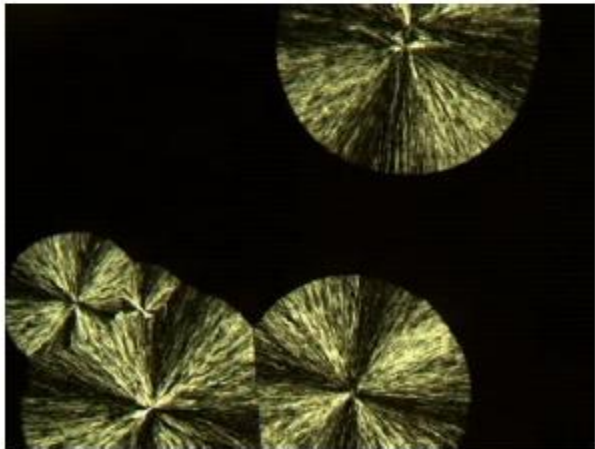
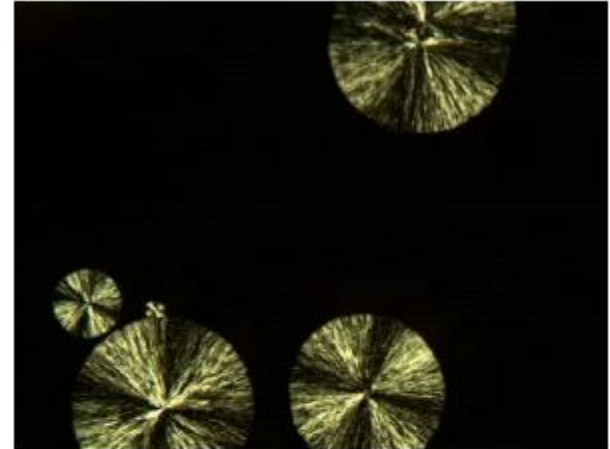
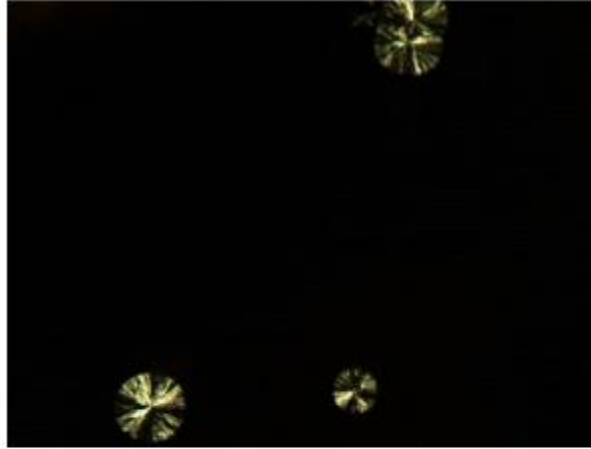
Ρυθμός Αύξησης των κρυσταλλιτών
(T : αρχικά αυξάνει $\rightarrow$ Μέγιστο $\rightarrow$ Μείωση)



Αύξηση των πυρήνων: σφαιρικά

Κρυστάλλωση από τήγματα πολυμερών

Πυρήνωση και ανάπτυξη σφαιρουλιτών



Κινητική κρυστάλλωσης πολυμερών

Μεταβολή της ακτινικής αύξησης G των σφαιρουλιτών με τη θερμοκρασία:

$$G = G_0 \exp\left(-\frac{\Delta F^*}{RT}\right) \exp\left[-\frac{A}{T^2(T_m^0 - T)}\right]$$



Όρος μεταφοράς ↑, T ↑

Σε χαμηλές T το ιξώδες του τήγματος είναι υψηλό και δυσκολεύει την μεταφορά τμημάτων πολυμερών από την άμορφη φάση στον κρύσταλλο.



Όρος πυρήνωσης ↓, T ↑

Σε υψηλές T , λόγω της έντονης θερμικής κίνησης δυσκολεύεται ο σχηματισμός πυρήνων κρυστάλλωσης.

ΔF^* : η ελεύθερη ενέργεια ενεργοποίησης για τη μεταφορά τμήματος αλυσίδας σε μια πλευρά ενός αυξανόμενου κρυστάλλου

Επίδραση της κρυσταλλικότητας στις ιδιότητες

1. Σημείο τήξης (T_m)

Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία που έχει κρυσταλλωθεί το πολυμερές:

- Σε υψηλές T κρυστάλλωσης ➡

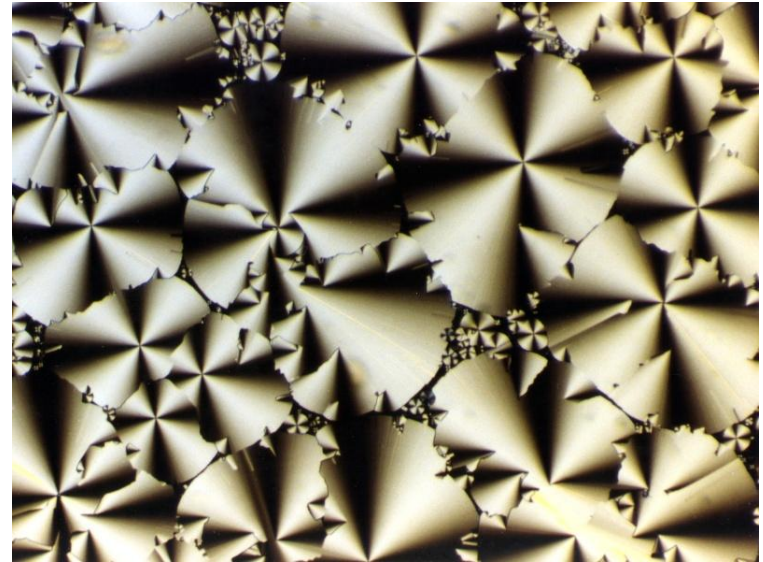
Αναπτύσσονται μεγαλύτεροι κρύσταλλοι ➡

Αύξηση της T_m

- Σε χαμηλές T κρυστάλλωσης ➡

Αναπτύσσονται μικροί κρύσταλλοι ➡

Χαμηλότερη T_m



2. Οπτική διαύγεια

Αδιαφανή υλικά: λόγω ανομοιογένειας

Παρεμπόδιση της διόδου του φωτός, το οποίο σκεδάζεται στη διεπιφάνεια κρυσταλλικής/άμορφου φάσης (→μεταβολή του δείκτη διάθλασης).

3. Διαλυτότητα σε διαλύτες

Τα κρυσταλλικά πολυμερή είναι ανθεκτικότερα στην επίδραση διαλυτών.

4. Διαπερατότητα στα αέρια

Συμπαγείς κρύσταλλοι ➡

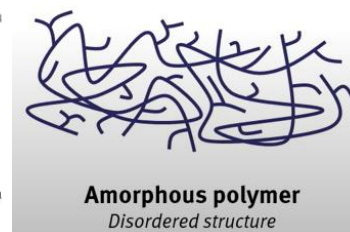
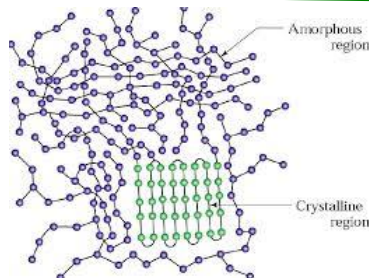
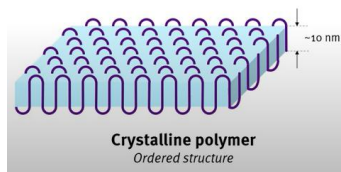
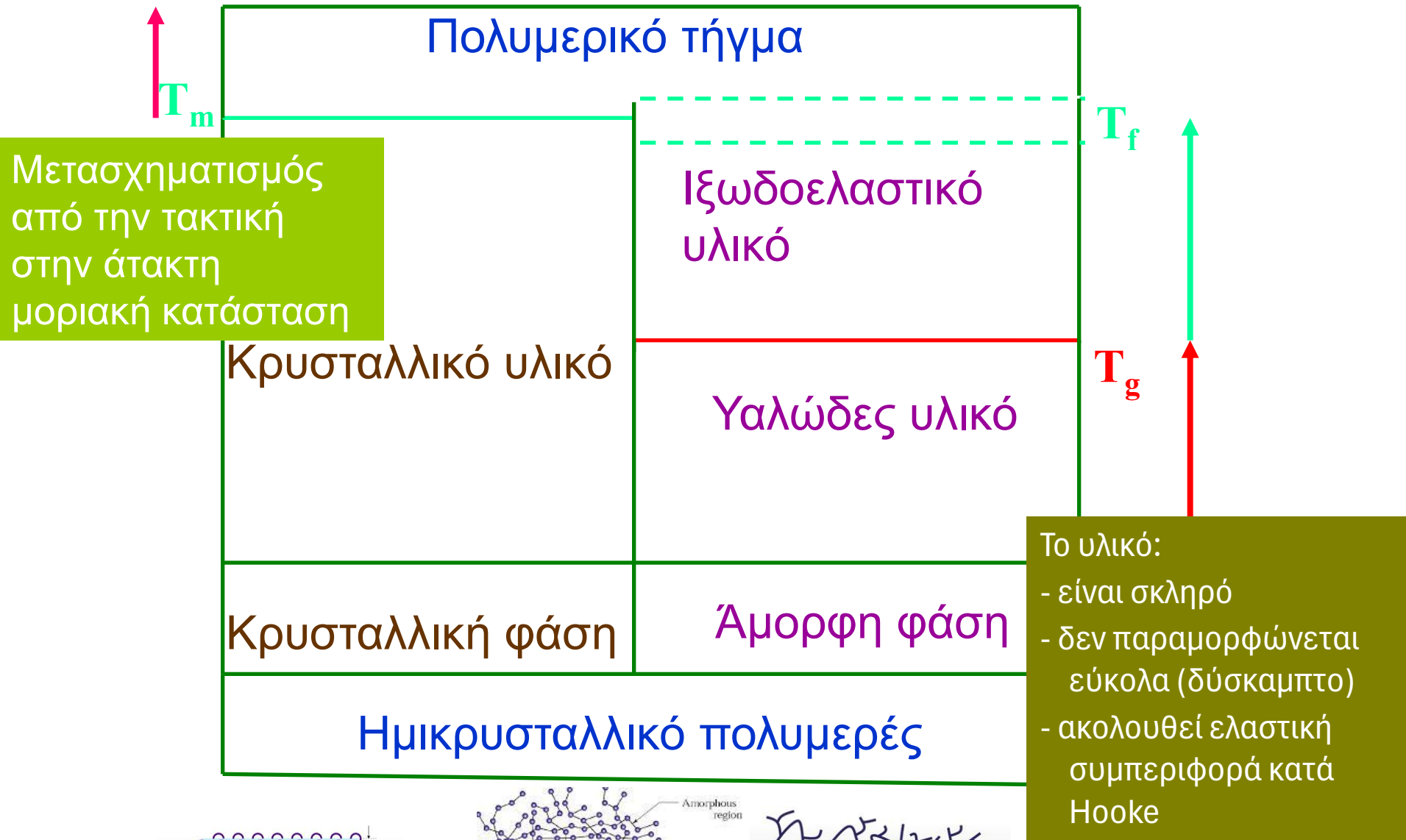
μείωση της διαπερατότητας από αέρια

5. Μηχανικές ιδιότητες

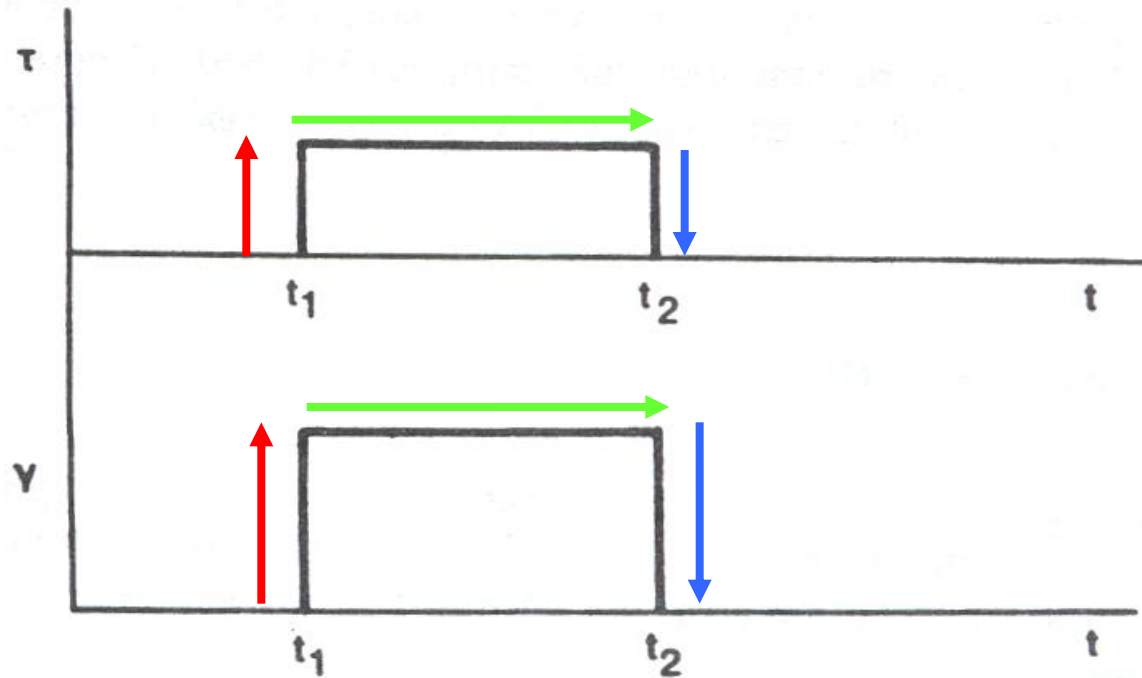
Ανάπτυξη κρυσταλλικότητας ➡ αύξηση δυσκαμψίας ➡
Αύξηση στο μέτρο ελαστικότητας E.

Μηχανικές αντοχές: Αρχικά αύξηση και στη συνέχεια κάμψη.
Συνδέεται με τις συνθήκες κρυστάλλωσης και το μέγεθος των σφαιρουλιτών.

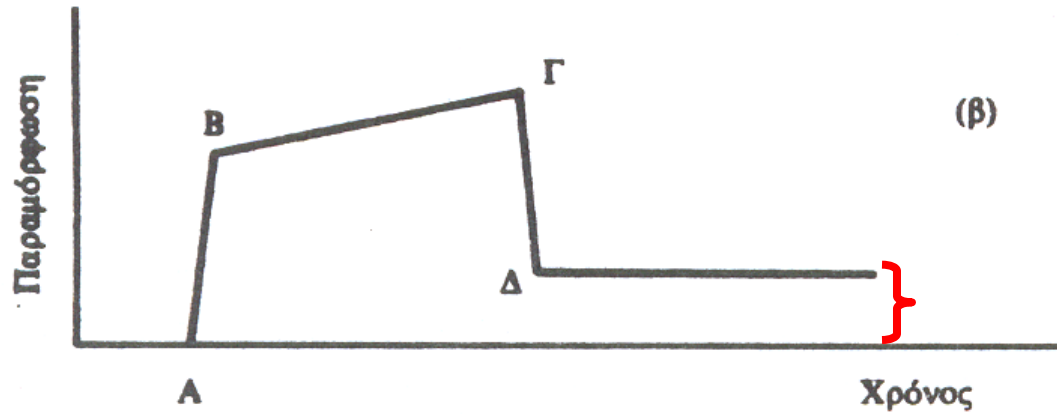
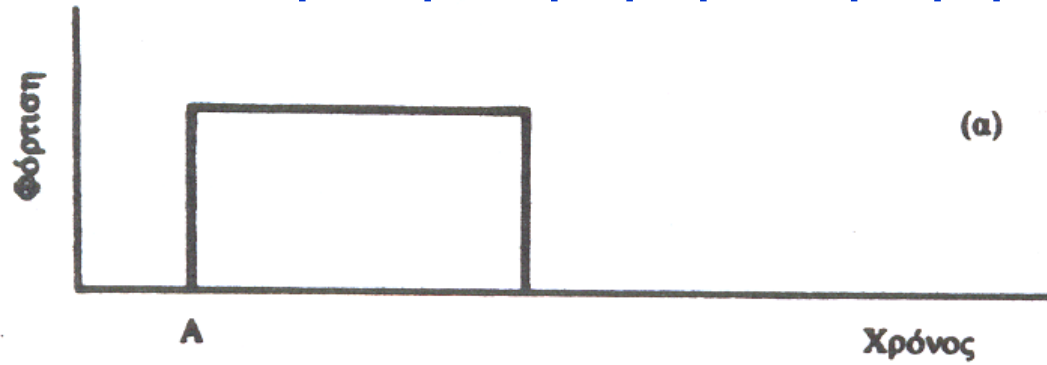
Θερμικές μεταπτώσεις πολυμερών



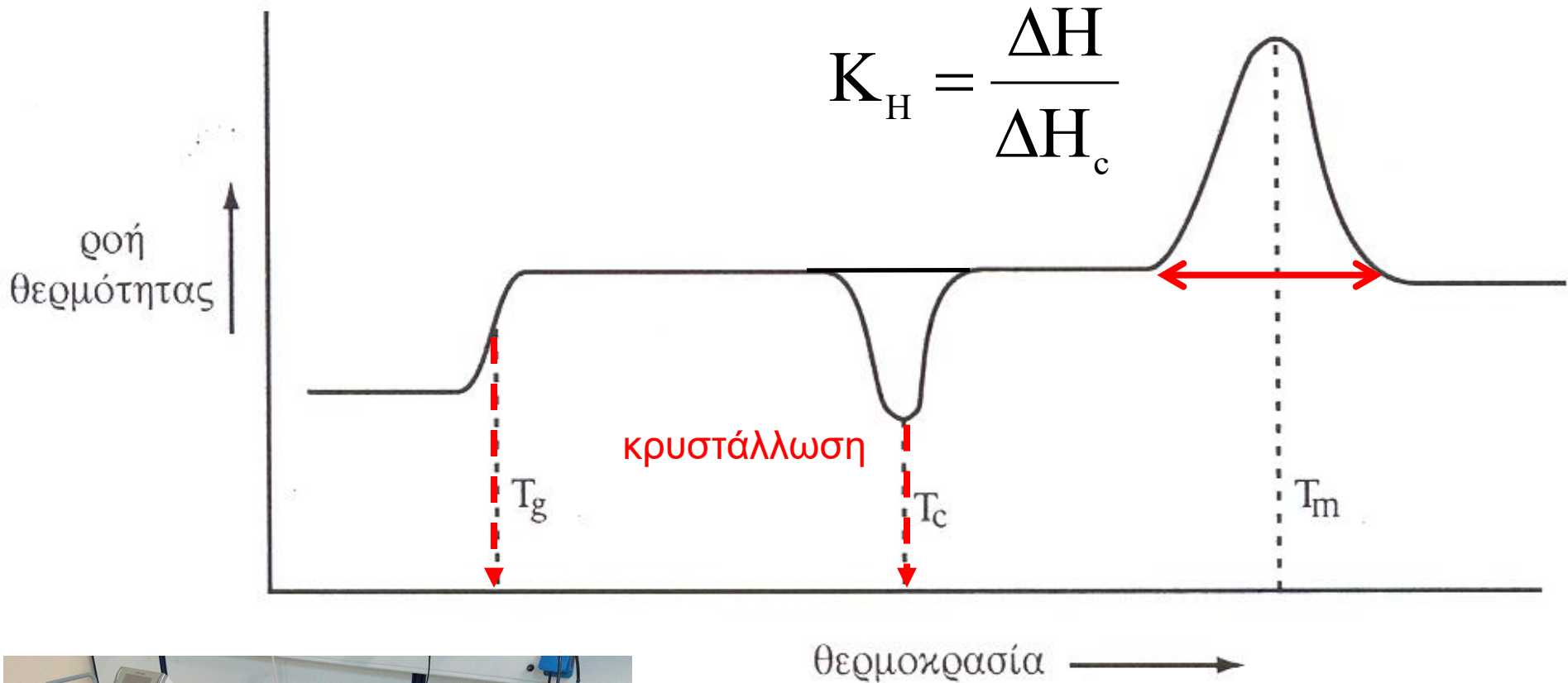
Ελαστική συμπεριφορά κατά Hooke, $T < T_g$



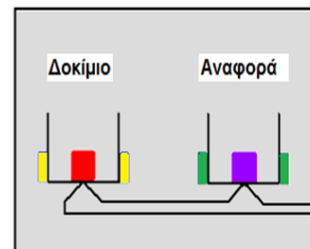
Ιξωδοελαστική συμπεριφορά άμορφης φάσης $T > T_g$



Καμπύλη DSC ημικρυσταλλικού πολυμερούς

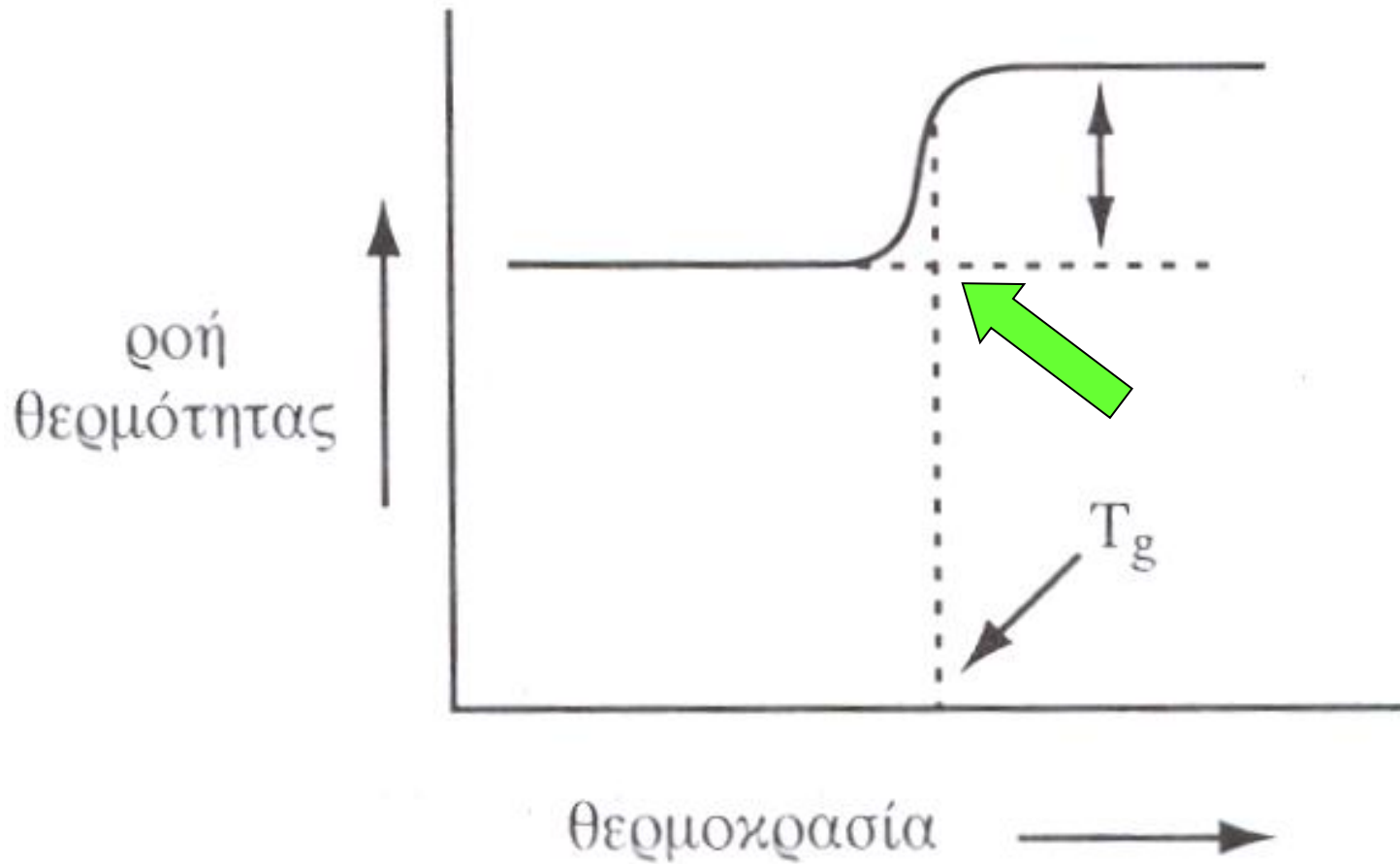


Θέρμανση 1
Θέρμανση 2



$$\frac{q}{t} \rightarrow \frac{\Delta T}{t} \text{ σταθερός}$$

Προσδιορισμός Θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης με τη χρήση διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης



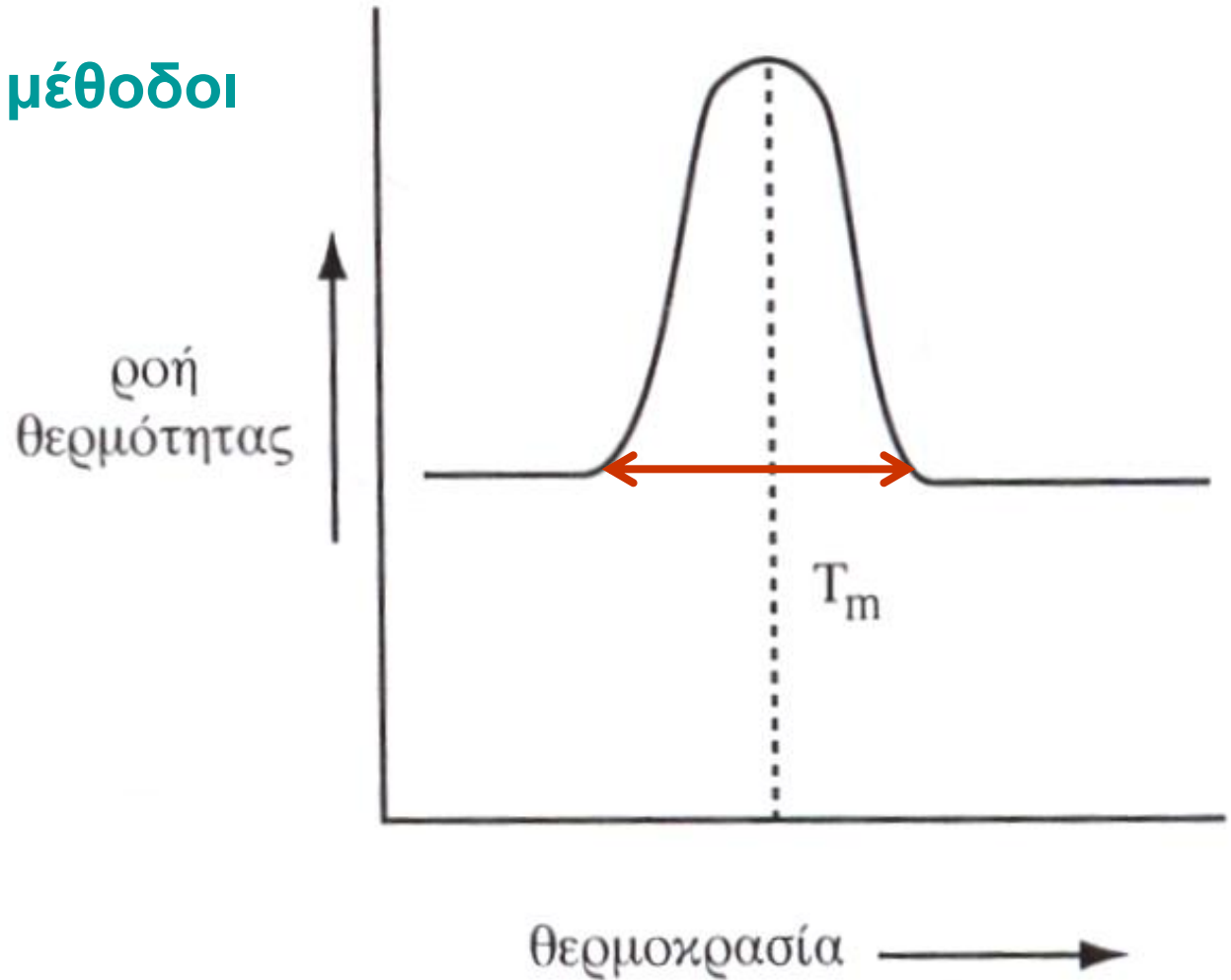
Αύξηση στη ροή θερμότητας →

Αύξηση της ειδικής θερμότητας του πολυμερούς

Προσδιορισμός του βαθμού κρυσταλλικότητας

Θερμιδομετρικές μέθοδοι

$$K_H = \frac{\Delta H}{\Delta H_c}$$



Καμπύλη DSC ημικρυσταλλικού πολυμερούς

Τήξη:
Ενδόθερμη διεργασία

