



Τμήμα Μηχανολόγων
Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Τεχνολογία Υλικών Ι

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Δρ. Σκλήρη Ευαγγελία

Διαγράμματα Επιλογής Υλικών

❑ Τα **διαγράμματα επιλογής υλικών** είναι γραφικές απεικονίσεις που επιτρέπουν τη σύγκριση διαφορετικών υλικών με βάση **δύο ιδιότητες** κάθε φορά (π.χ. αντοχή–πυκνότητα, ακαμψία–βάρος).

❑ **Λογαριθμική κλίμακα**

Οι ιδιότητες διαφέρουν κατά **πολλές τάξεις μεγέθους**.

Επιτρέπει να εμφανίζονται μέταλλα, κεραμικά και πολυμερή στο ίδιο διάγραμμα.

Διαγράμματα Επιλογής Υλικών

➤ Μέτρο ελαστικότητας (E)

Πόσο δύσκολα παραμορφώνεται (λυγίζει/τεντώνεται) ένα υλικό όταν του ασκείται δύναμη.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Όπου:

σ = τάση (stress) (Pa = 1N/m²)

ε = παραμόρφωση (strain) - αδιάστατο μέγεθος

➤ Μεγάλο E → πολύ άκαμπτο υλικό (δεν λυγίζει εύκολα)

➤ Μικρό E → εύκαμπτο υλικό (λυγίζει εύκολα)

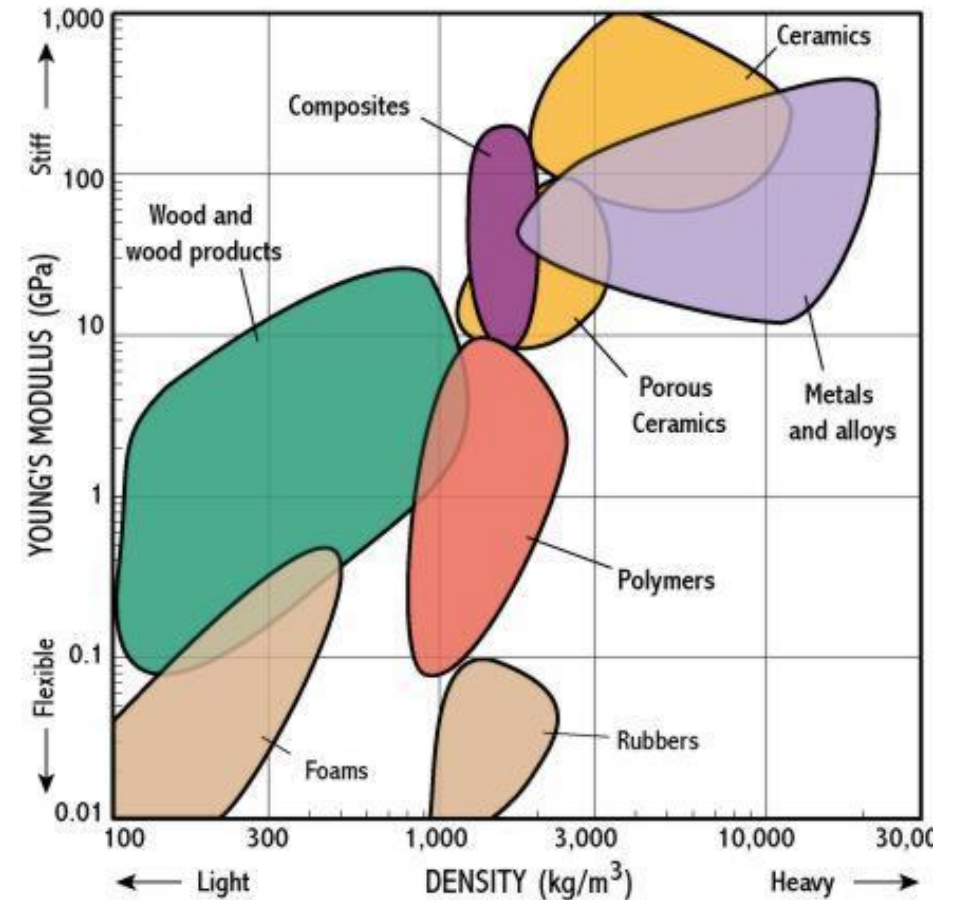
Παραδείγματα:

• Χάλυβας → E = 210 GPa (πολύ άκαμπτος)

• Αλουμίνιο → E = 70 GPa

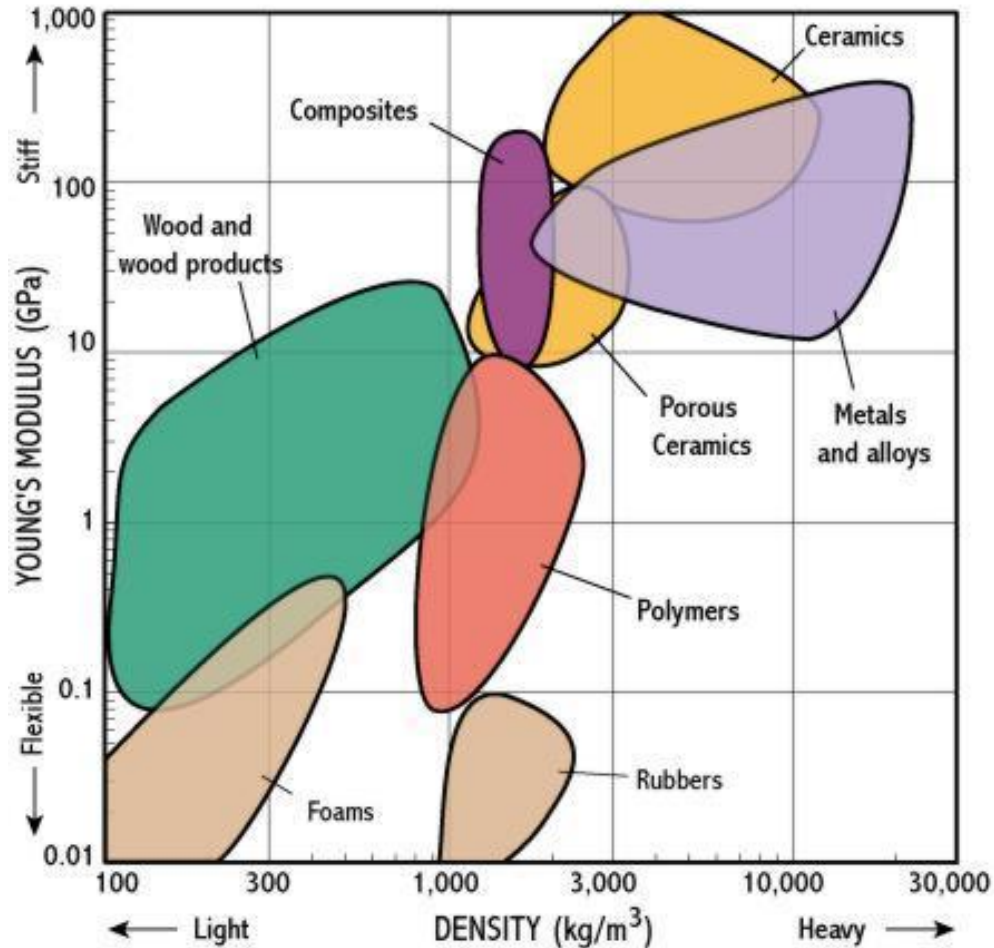
• Πολυμερή → 1–3 GPa

Άκαμψία vs Βάρος



Διαγράμματα Επιλογής Υλικών

Ακαμψία vs Πυκνότητα



- ❑ Σχέση ακαμψίας – πυκνότητας
- ❑ Πόσο λυγίζει ένα υλικό σε σχέση με το βάρος του
- ❑ Κριτήριο για ελαφροβαρή (lightweight) σχεδιασμό

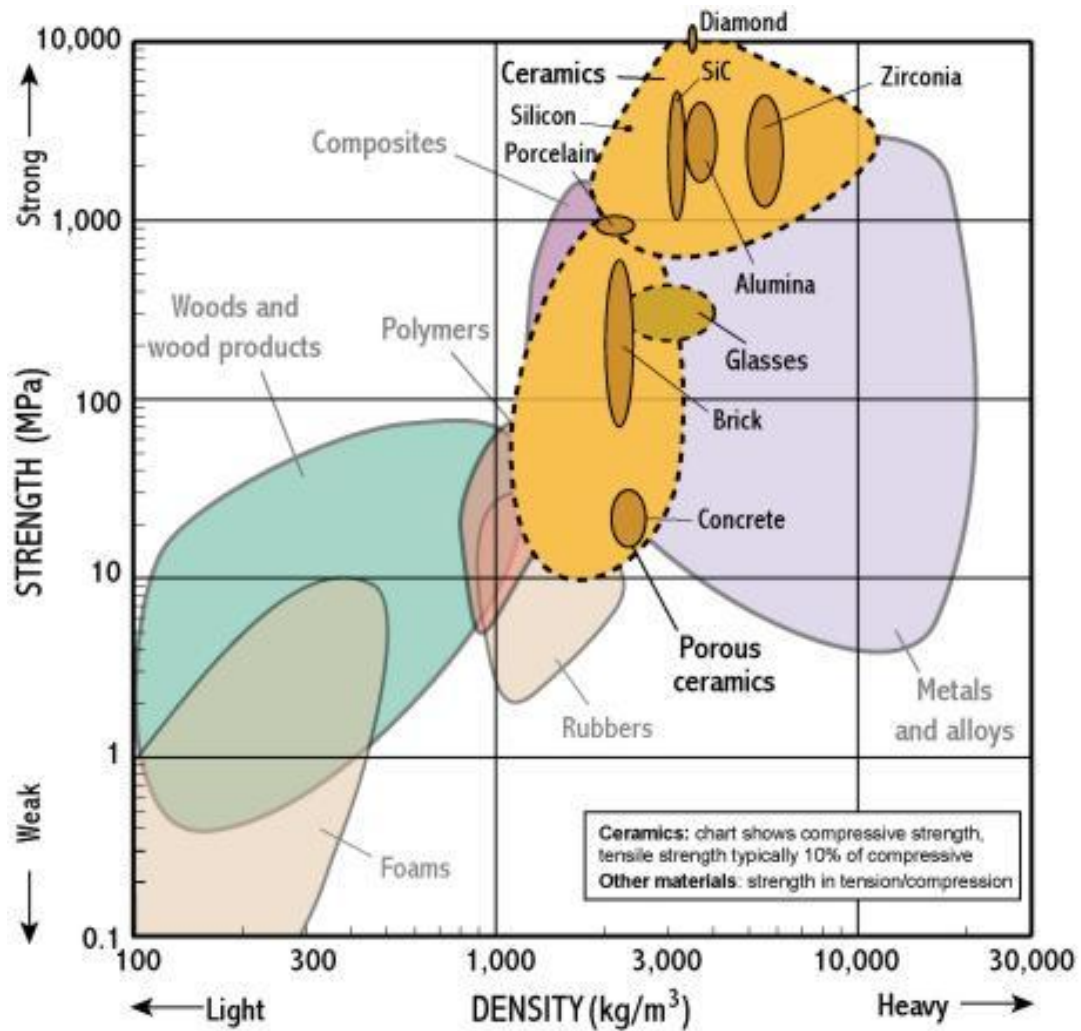
Στόχος του μηχανικού:

- ✓ Υψηλή ακαμψία
- ✓ Χαμηλή πυκνότητα

Δεν επιλέγουμε το πιο άκαμπτο υλικό — επιλέγουμε αυτό με τη μεγαλύτερη ακαμψία ανά μονάδα βάρους.

- Αν θέλω να σχεδιάσω μια δοκό που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφριά αλλά να λυγίζει ελάχιστα, σε ποια περιοχή του διαγράμματος θα αναζητήσω υλικό και γιατί;

Αντοχή vs Πυκνότητα



- ❑ Σχέση **αντοχής – πυκνότητας**
- ❑ Πόσο φορτίο αντέχει ένα υλικό πριν σπάσει σε σχέση με το βάρος του υλικού (Μέγιστη τάση πριν τη θραύση)
- ❑ Σύγκριση βασικών κατηγοριών υλικών
- ❑ Εργαλείο επιλογής για μηχανολογικό σχεδιασμό

Στόχος του μηχανικού:

- ✓ Υψηλή αντοχή
- ✓ Χαμηλό βάρος

Δεν επιλέγουμε το ισχυρότερο υλικό — επιλέγουμε αυτό με την καλύτερη αναλογία αντοχής προς βάρος.

Παραδείγματα Επιλογής Υλικού

Επιλογή Υλικού σε Αεροδιαστημικές Εφαρμογές

Στόχος: Υψηλή αντοχή με χαμηλό βάρος

Πρόβλημα:

Τα συμβατικά μέταλλα παρουσιάζουν υψηλό βάρος για αεροδιαστημικές κατασκευές.

Λύση:

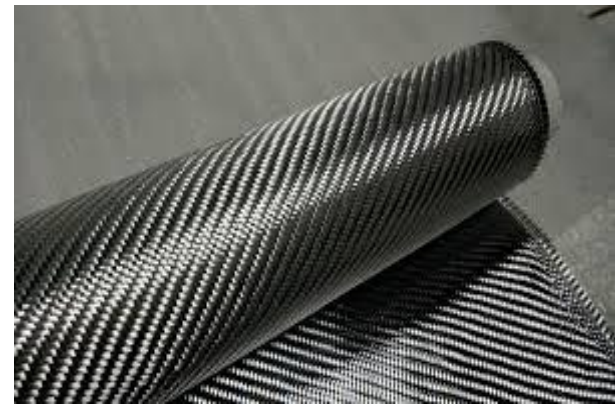
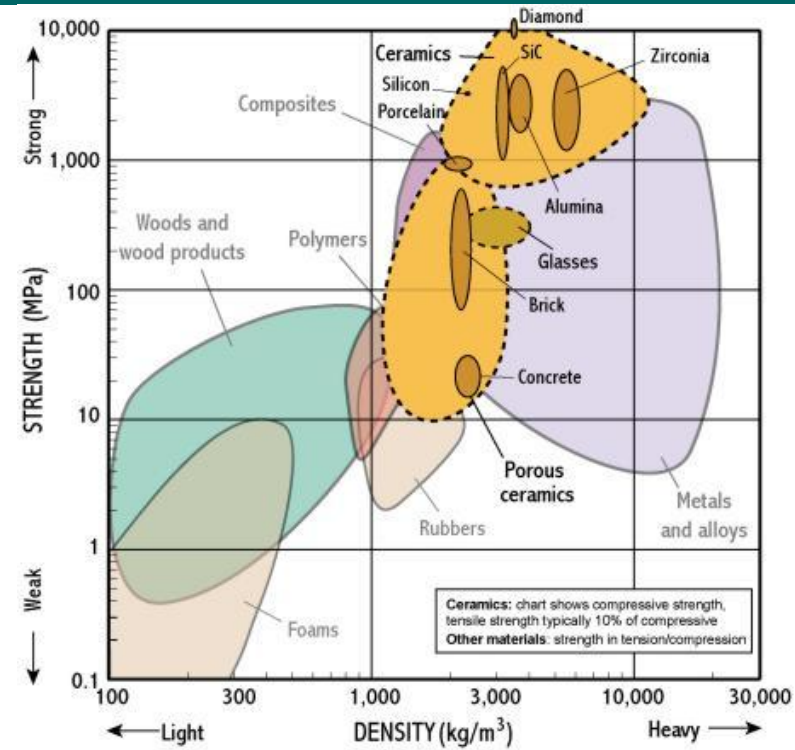
✓ Σύνθετα υλικά (fiber-reinforced composites)

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Πολύ υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος
- ✓ Εξαιρετική αντοχή σε κόπωση
- ✓ Μείωση κατανάλωσης καυσίμου

Παραδείγματα:

- Kevlar (Poly-para-phenylene terephthalamide (PPTA))
- Ανθρακονήματα (Carbon fiber)



Παραδείγματα Επιλογής Υλικού

Επιλογή υλικού για δοχείο υψηλής πίεσης

Στόχος: Αντοχή σε μέση έως υψηλή πίεση (~14 MPa)

Το υλικό πρέπει να έχει:

Υψηλή αντοχή → να αντέχει την εσωτερική πίεση χωρίς θραύση

Μεγάλη ολκιμότητα → να παραμορφώνεται πριν σπάσει

Αντοχή στη διάβρωση (αν υπάρχει υγρασία ή αέρια)

➤ Κεραμικά

Πολύ ψηλά στην αντοχή

Αλλά:

ψαθυρά

μικρή ολκιμότητα

➤ Πολυμερή

Χαμηλή αντοχή → Δεν αντέχουν υψηλή πίεση.

➤ Σύνθετα

Πολύ καλή αναλογία αντοχής/βάρους

αλλά: ακριβά, πολύπλοκη κατασκευή, όχι πάντα

προβλέψιμη αστοχία



Λύση:

Χάλυβες χαμηλής ή μέσης κραματοποίησης

✓ συνδυάζουν αντοχή + ολκιμότητα

✓ δεν σπάνε ψαθυρά όπως τα κεραμικά

✓ είναι σχετικά οικονομικοί

✓ κατασκευάζονται εύκολα (συγκολλήσεις κλπ.)

Για αυτό τα περισσότερα βιομηχανικά pressure vessels είναι από χάλυβα.

Σχεδιασμός δομικού στοιχείου αεροσκάφους.

Το υλικό πρέπει να έχει:

- ✓ Υψηλή αντοχή
- ✓ Πολύ χαμηλό βάρος
- ✓ Αντοχή σε κόπωση
- ✓ Αντοχή σε διάβρωση
- ✓ Λειτουργία σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες

Αν χρησιμοποιήσουμε χάλυβα;

- Πολύ υψηλή αντοχή
- Αλλά υψηλή πυκνότητα ($\sim 7.8 \text{ g/cm}^3$)
- Αυξημένη κατανάλωση καυσίμου
- Μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος

Λύση: **Σύνθετα Υλικά (CFRP – Carbon Fiber Reinforced Polymer)**

- ✓ Τεράστια αναλογία αντοχής προς βάρος
- ✓ Πυκνότητα $\sim 1.6 \text{ g/cm}^3$
- ✓ Εξαιρετική αντοχή σε κόπωση
- ✓ Μικρή διάβρωση

Carbon-Fibre-Reinforced Polymer (CFRP) - no corrosion & fatigue tasks

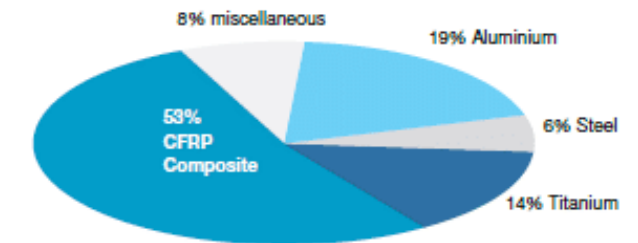
- Wings
- Centre wing box and keel beam
- Tail cone
- Skin panels
- Frames, stringers and doublers
- Doors (passenger & cargo)

Titanium - no corrosion tasks

- High load frames
- Door surroundings
- Landing gear
- Pylons



Light airframe using
53% composites

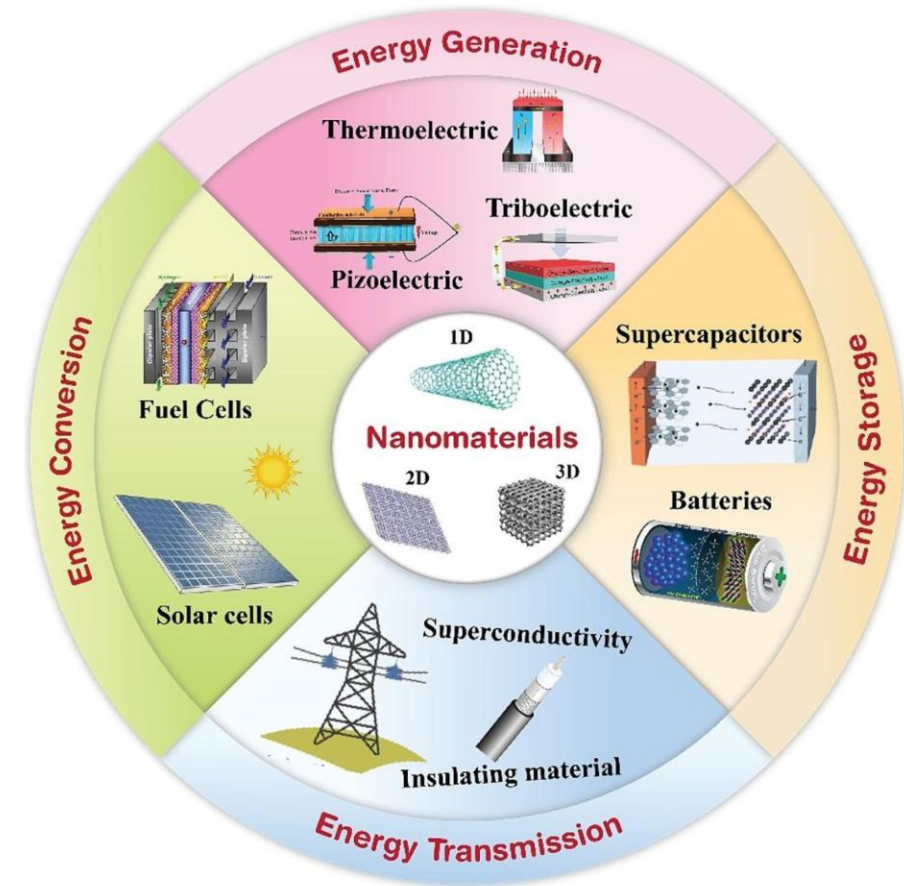


- ❑ Τα υλικά επιλέγονται με βάση ιδιότητες (αντοχή, πυκνότητα, ακαμψία κ.ά.)
- ❑ Κάθε κατηγορία υλικών καταλαμβάνει συγκεκριμένη περιοχή στα διαγράμματα
- ❑ Υπάρχουν όρια ιδιοτήτων για μέταλλα, κεραμικά και πολυμερή

Μπορούμε να δημιουργήσουμε υλικά με ιδιότητες πέρα από αυτά τα όρια;

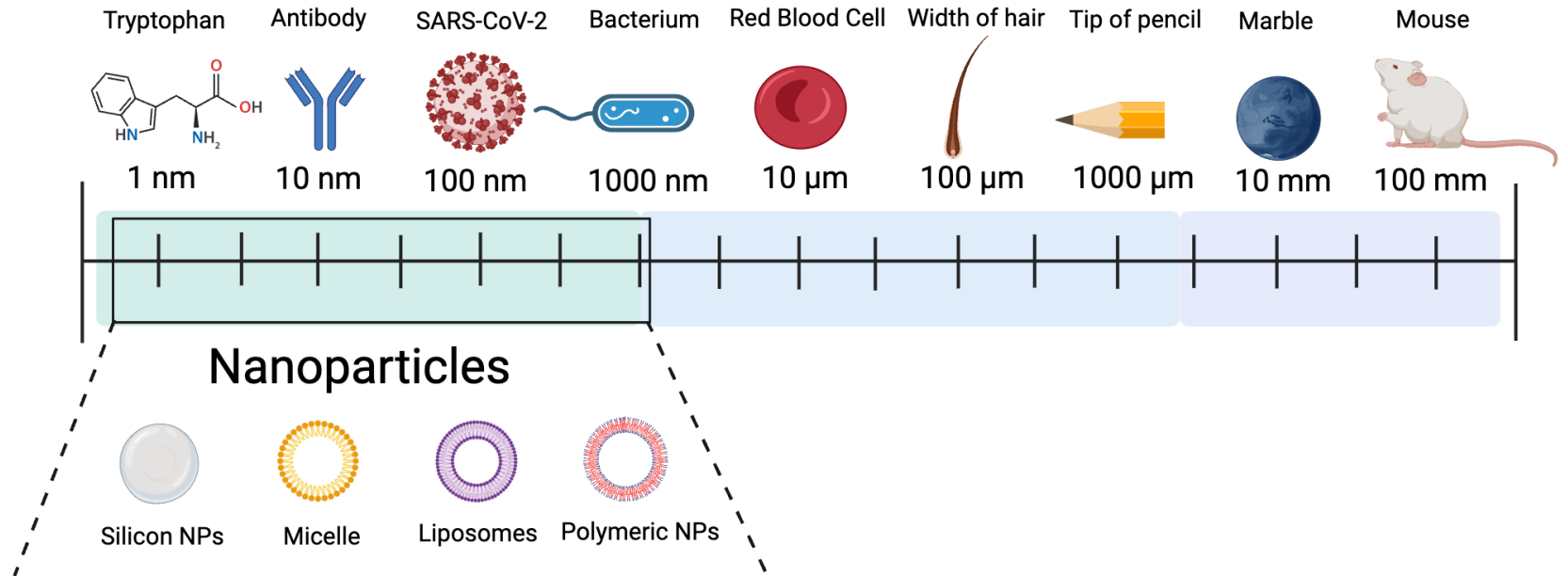
Έλεγχος της δομής σε εξαιρετικά μικρή κλίμακα → **νανοκλίμακα (1–100 nm)**

Αλλαγή μεγέθους και διάταξης ατόμων → **νέες ή βελτιωμένες ιδιότητες**



Νανούλικά

- **Νανοτεχνολογία:** Όταν το μέγεθος αλλάζει τις ιδιότητες
- **Νανοκλίμακα:** 1–100 nm
- Οι **ιδιότητες** των υλικών μεταβάλλονται συγκριτικά με εκείνες των μεγαλύτερων κλιμακών.
- Η νανοτεχνολογία δίνει τη δυνατότητα να αναπτυχθούν υλικά με βελτιωμένες ή ακόμα και νέες ιδιότητες.
- **Νανοςωματίδιο:** Σωματίδιο με τουλάχιστον μία διάσταση 1–100 nm
- Τα νανοςωματίδια έχουν κατασκευαστεί από ημιαγώγιμα υλικά.

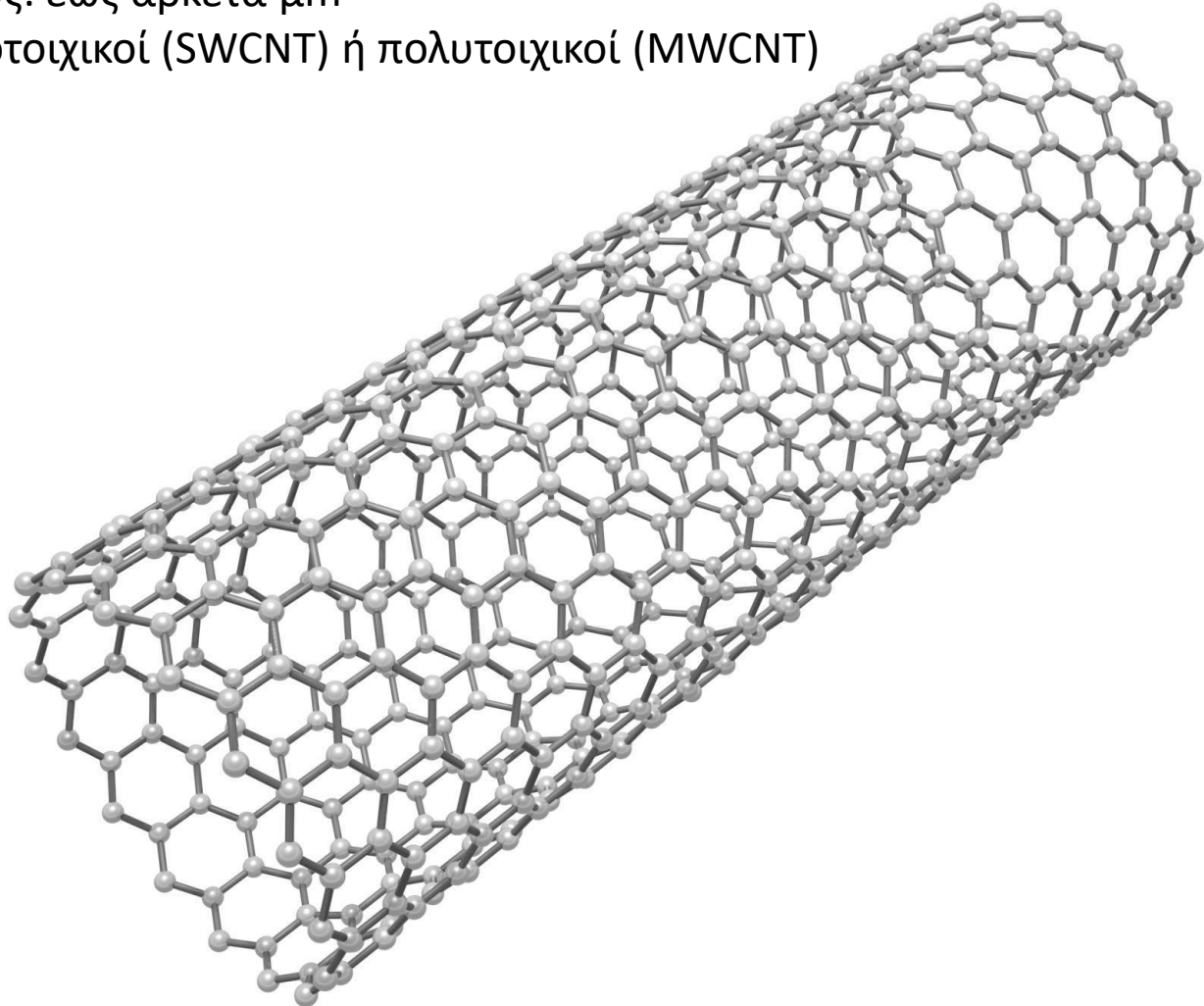


Γιατί μας ενδιαφέρουν;

- ✓ Ισχυρότερα υλικά
- ✓ Ελαφρύτερες κατασκευές
- ✓ Καλύτερη αγωγιμότητα
- ✓ Βιοϊατρικές εφαρμογές
- ✓ Ενεργειακές τεχνολογίες

Νανοςωληνες Ανθρακα (Carbon nanotubes)

- Φύλλο γραφενίου τυλιγμένο σε κυλινδρικό σωλήνα
- Διάμετρος: 1- 50 nm
- Μήκος: έως αρκετά μm
- Μονοτοιχικοί (SWCNT) ή πολυτοιχικοί (MWCNT)



Βασικές Ιδιότητες

- ✓ Εξαιρετικά υψηλή μηχανική αντοχή
- ✓ Πολύ χαμηλό βάρος
- ✓ Υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα
- ✓ Μεγάλη αναλογία αντοχής προς βάρος

Εφαρμογές

- ✓ Ενίσχυση σύνθετων υλικών (αεροδιαστημική, αυτοκίνητα)
- ✓ Ηλεκτρονικά & νανοηλεκτρονικά
- ✓ Αισθητήρες υψηλής ευαισθησίας
- ✓ Ενέργεια (μπαταρίες, υπερπυκνωτές)
- ✓ Βιοϊατρικές εφαρμογές

Γιατί αλλάζουν οι ιδιότητες;

- ❑ **Μεγάλος λόγος επιφάνειας / όγκου**
Αυξημένη χημική δραστικότητα
Βελτιωμένη καταλυτική συμπεριφορά
- ❑ **Κβαντικός περιορισμός (Quantum Confinement)**
Μεταβολή ενεργειακών επιπέδων
Νέες ηλεκτρικές & οπτικές ιδιότητες

Επιπτώσεις

Μηχανικές

- ✓ Αυξημένη αντοχή & σκληρότητα

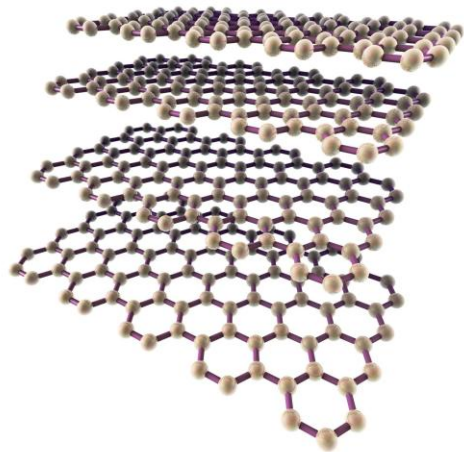
Οπτικές

- ✓ Φθορισμός νανοσωματιδίων
- ✓ Ελεγχόμενη απορρόφηση φωτός

Μαγνητικές

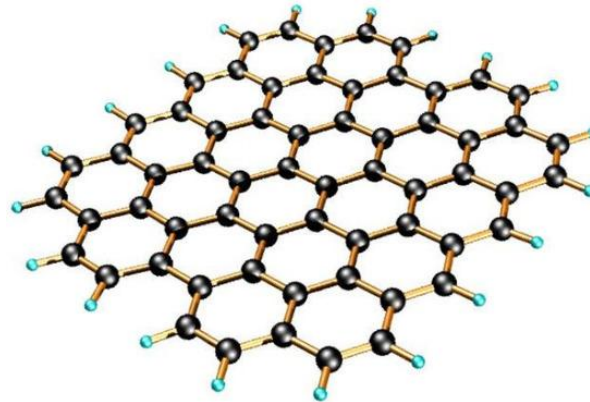
- ✓ Υπερπαραμαγνητισμός

Graphite



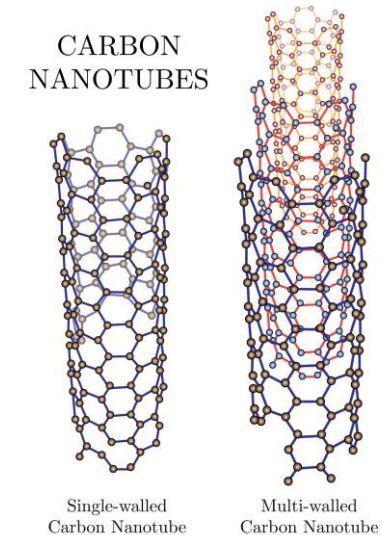
- Στρωματική δομή
- Αδύναμοι δεσμοί μεταξύ στρωμάτων
- Μαλακό υλικό (μολύβια)

Graphene



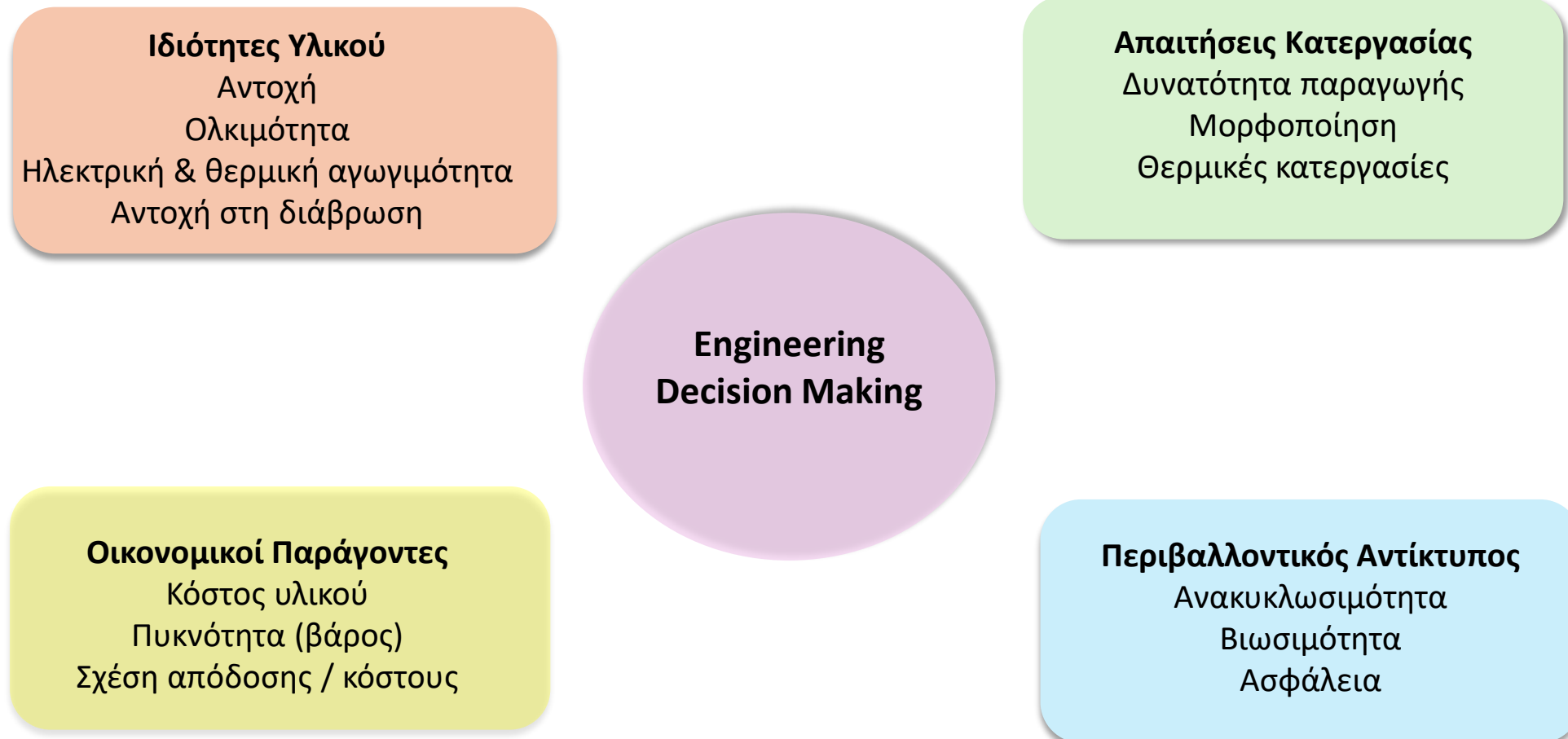
- Ένα μόνο ατομικό στρώμα άνθρακα
- Εξαιρετικά ισχυροί δεσμοί
- Τεράστια αντοχή

Carbon nanotubes



- Φύλλο γραφενίου τυλιγμένο σε σωλήνα
- Τεράστια αναλογία αντοχής / βάρους
- Μεγάλο μέτρο ελαστικότητας

Ίδιο στοιχείο → διαφορετική δομή → τελείως διαφορετικές ιδιότητες



Οι μηχανικοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη πώς η σύσταση, η δομή, η σύνθεση και η κατεργασία επηρεάζουν την τελική απόδοση και το κόστος των υλικών στις συγκεκριμένες εφαρμογές τους.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!