

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ



Ιστορικά στοιχεία  
Καταστάσεις της ύλης  
Καταπονήσεις και είδη παραμορφώσεων  
Ελαστικές παραμορφώσεις  
Εφελκυσμός και θλίψη. Ο νόμος του Hooke  
Μέτρο ελαστικότητας (μέτρο του Young)  
Διάγραμμα εφελκυσμού  
Εγκάρσια συστολή και διαστολή  
Συμπιεστότητα  
Ασκήσεις

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

1

Ιστορική εισαγωγή



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Εποχές των υλικών



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

ΕΠΟΧΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

## Αρχή των κεραμικών

Πυρόλιθος, η μαγική πέτρα σμιλεύεται εύκολα



Πυρόλιθος,  
V. Moure/ CC-BY-SA-3.0

~300.000 π.Χ.

## Εισαγωγή των μετάλλων

Ακατέργαστος χρυσός και χαλκός χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά



Χρυσός,  
Didier Descouens/ CC-BY-SA-3.0



Χαλκός,  
© User:Jurii / Wikimedia Commons / CC-BY-SA-3.0

~5500 π.Χ.

## Σφυρηλάτηση και φωτιά

Πρώτη επεξεργασία του χαλκού με χρήση φωτιάς και σφυρηλάτησης



Χάλκινα εργαλεία (Γκίζα),  
Einsamer Schütze / CC-BY-SA-3.0

~5000 π.Χ.

## Επεξεργασία υλικών

Λιώσιμο και χύσιμο μετάλλων  
Ξεκίνημα επεξεργασίας και διαμόρφωσης υλικών



Μινωικό κόσμημα,  
© User:Apeto / Wikimedia Commons / CC-BY-SA-3.0

~4000 π.Χ.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

ΕΠΟΧΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

## Αρχή της μεταλλουργίας

Αναγωγή χαλκού από μεταλλεύματα χαλκού



Χάλκινο Ειδώλιο (Λευκωσία),  
Gerhard Haubold / CC-BY-SA-3.0

~3500 π.Χ.

## Παρασκευή κραμάτων

Χρήση του Μπρούτζου.  
Παρασκευή κραμάτων για βελτίωση ιδιοτήτων των μετάλλων



Μπρούτζινο αμαξίδιο (Κύπρος)

© User:Udimu / Wikimedia Commons / CC-BY-SA-3.0

~3000 π.Χ.

## Αρχή χρήσης σιδήρου

Εμφάνιση και επεξεργασία του σιδήρου



Κράνος

© User:Rama / Wikimedia Commons, Cc-by-sa-2.0-fr

~1450 π.Χ.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

ΕΠΟΧΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

## Παραγωγή ατσαλιού

Πατέντα του Sir Henry Bessemer κάνει την παραγωγή ατσαλιού σε μεγάλη κλίμακα πολύ φθηνότερη



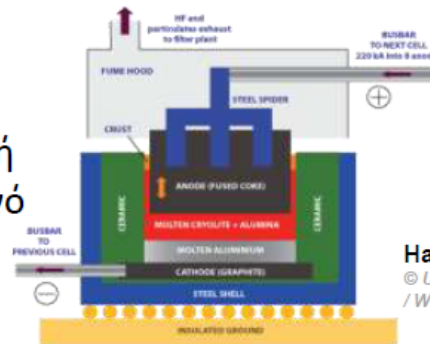
Μετατροπέας Bessemer

1855 μ.Χ.

Sir Henry Bessemer

## Παραγωγή αλουμινίου

Η μέθοδος του Hall για την παραγωγή αλουμινίου έκανε το αλουμίνιο φθινό κατασκευαστικό υλικό



1886 μ.Χ.

Hall-Héroult industrial cell

© User: User:Kashkhan / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

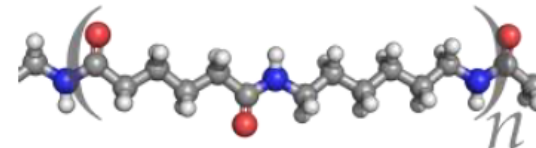
## Παραγωγή Nylon

Παραγωγή του Nylon. Σταθμός στην ιστορία των πλαστικών



Wallace Hume Carothers

1939 μ.Χ.



Nylon 6,6 3D structure

© User:YassineMrabet / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

ΕΠΟΧΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

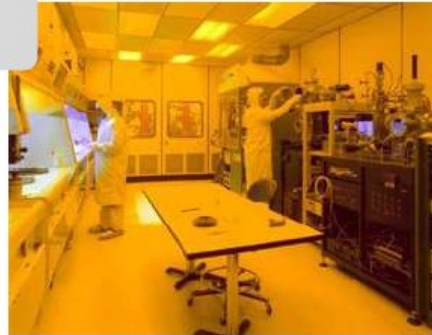
Πυρίτιο

Μικροηλεκτρονική

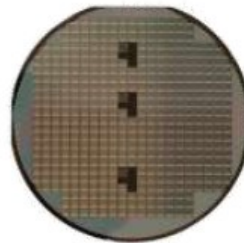


Κομμάτι καθαρού Πυριτίου

© User: Jurii  
/ Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0



Clean room

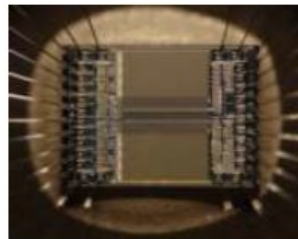


silicon wafer



Μονοκρύσταλλος Πυριτίου

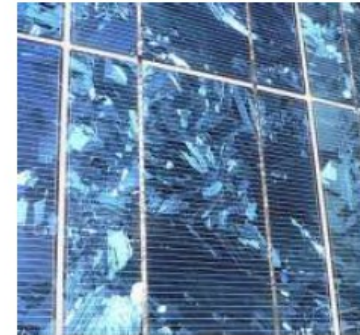
Massimiliano Lincetto / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0



Μνήμη EPROM

© User: Zephyris  
/ Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

1950 μ.Χ.



Φωτοβολταικά με  
πολύκρυσταλλικο πυρίτιο

Georg Slickers / Wikimedia Commons,  
CC-BY-SA-3.0



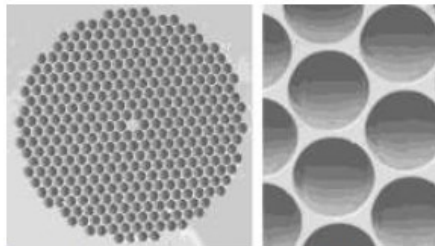
«Μαύρο» Πυρίτιο

Christoph Kubasch / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

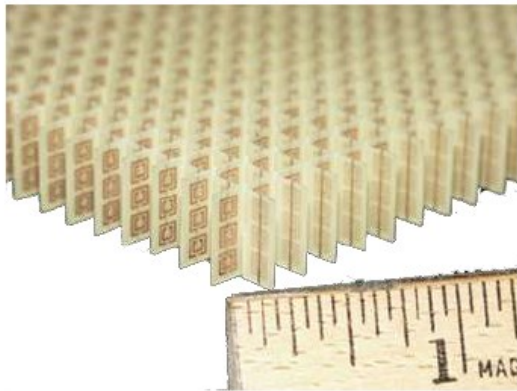
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Νέα υλικά

Νανοτεχνολογία, Φωτονικά υλικά, Μετα-υλικά

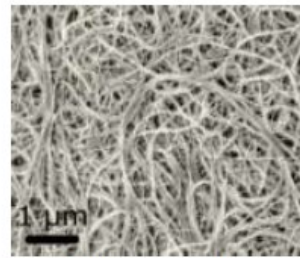


Οπτική ίνα φωτονικών κρυστάλλων  
(left) The diameter of the solid core at the center of the fiber is 5  $\mu\text{m}$ ,  
(right) the diameter of the holes is 4  $\mu\text{m}$   
(US NRL.)

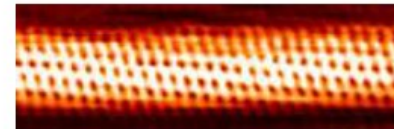


left-handed metamaterial array configuration  
NASA Glenn Research

## Σήμερα

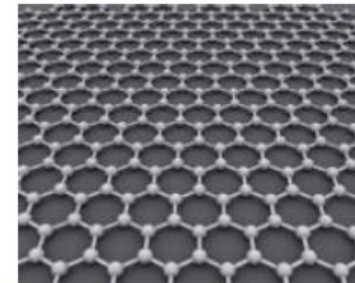


Εικόνα SEM νανოსωλήνων άνθρακα  
User: Materialscientist  
/ Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0



Εικόνα STM ενός νανοςωλήνα άνθρακα  
Taner Yildirim (NIST)

## Γραφένιο (Graphene) (Nobel Price 2010)



Κρυσταλλική δομή του Γραφενίου  
User: AlexanderAIUS / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

Καταστάσεις της ύλης

Στερεά

Υγρά

Αέρια

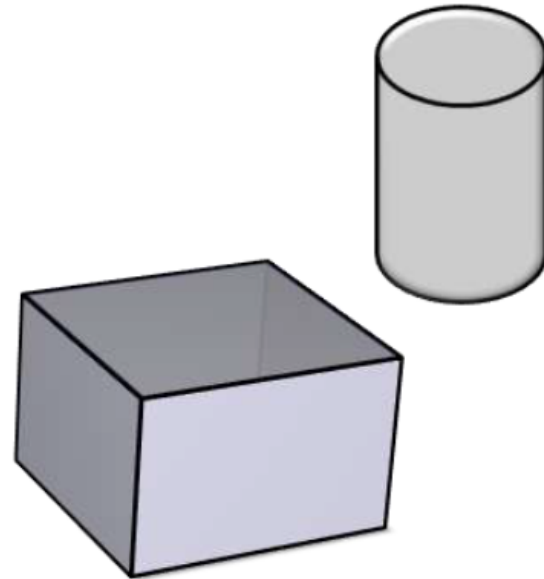
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Στερεά

Έχουν συγκεκριμένο:

Σχήμα

όγκο



Δεν συμπιέζονται εύκολα

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Μοντέλο Στερεών

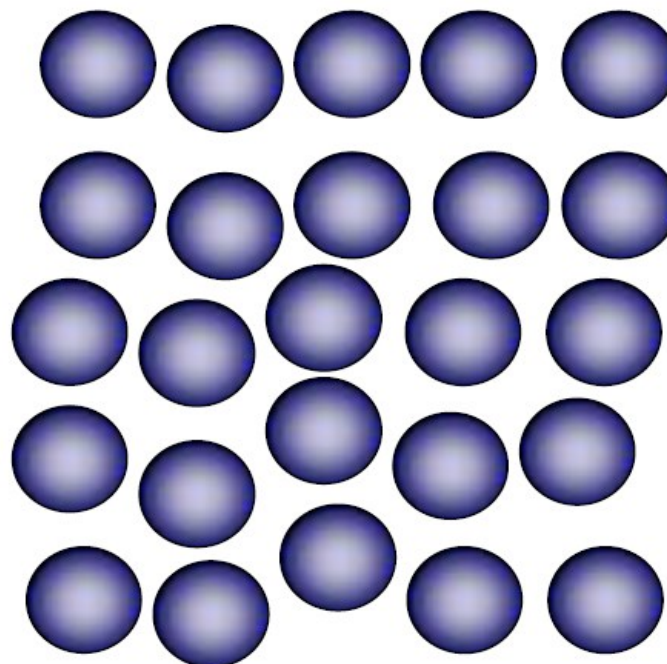
Τα σωματίδια:

Βρίσκονται πολύ κοντά  
μεταξύ τους

Ασκούν ισχυρές  
αμοιβαίες δυνάμεις

Δεν μετακινούνται  
ελεύθερα από το ένα  
σημείο στο άλλο

Δονούνται σε  
καθορισμένες θέσεις



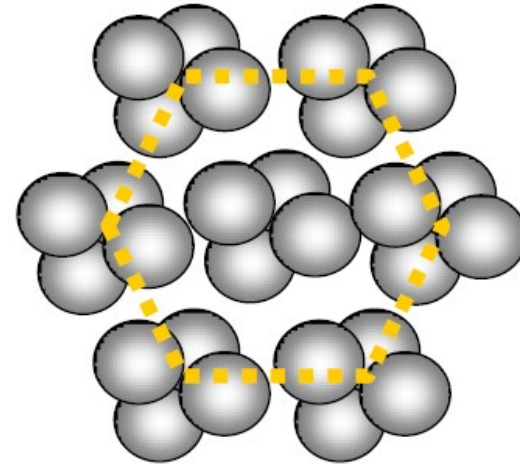
Στερεά

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Κατηγορίες Στερεών

### Κρυσταλλικά

Περιοδικά επαναλαμβανόμενη δομή σε τρεις διαστάσεις από την μία άκρη του στερεού ως την άλλη



Δομή κρυσταλλικού SiO<sub>2</sub>



Χαλαζίας (κρυσταλλικό SiO<sub>2</sub>)

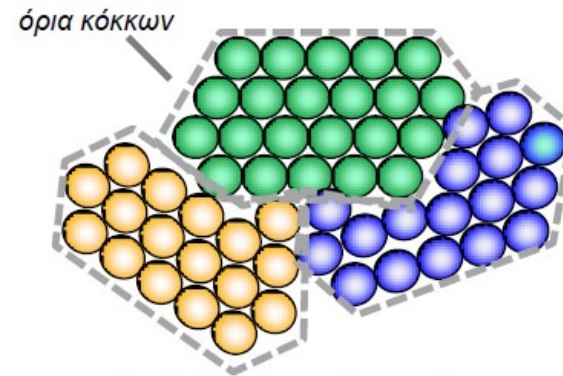
Didier Descouens / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Κατηγορίες Στερεών

Πολυκρυσταλλικά

Πολλές κρυσταλλικές  
περιοχές (κόκκοι)  
τυχαία τοποθετημένες



Δομή πολυκρυσταλλικού υλικού



Πολυκρυσταλλικό κράμα Fe-Si

User:Zureks / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

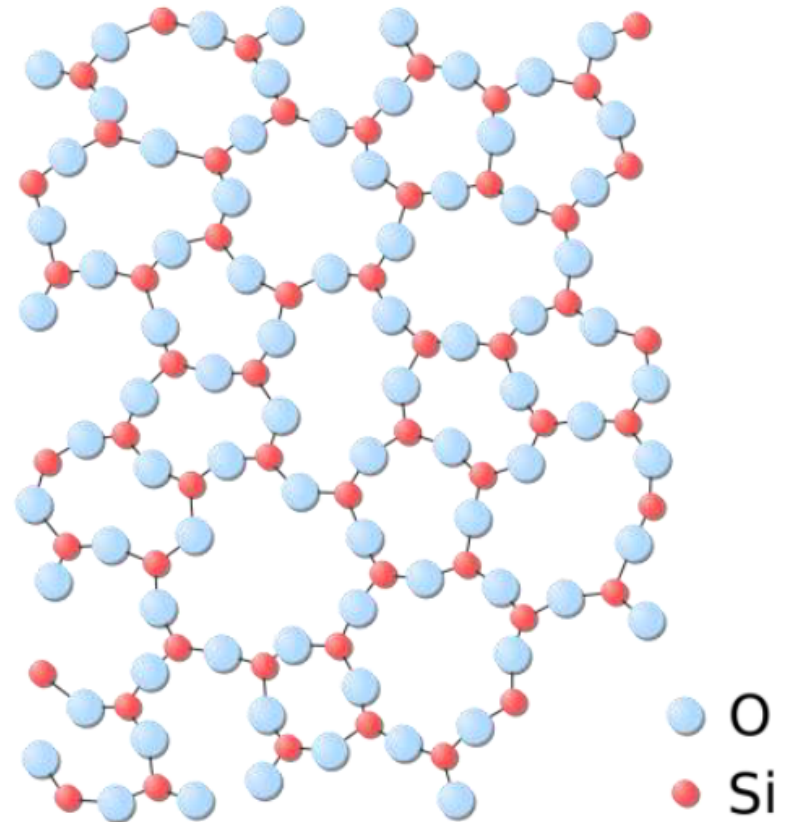
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Κατηγορίες Στερεών

Στερεά

Άμορφα

Τυχαία δομή χωρίς  
καμιάς μορφής «τάξη»  
σε ευρεία κλίμακα



Δομή άμορφου SiO<sub>2</sub> (γυαλι)  
*User:Jdrewitt / Wikipedia:Public domain*

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

Υγρά

Έχουν συγκεκριμένο:

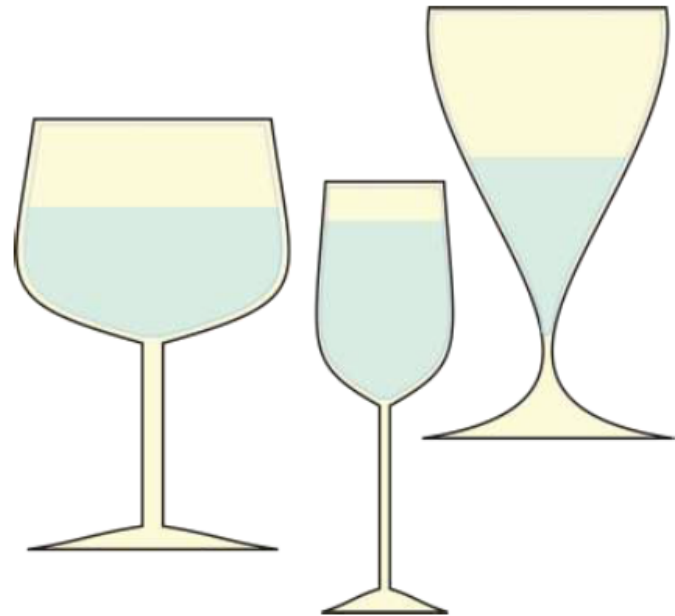
όγκο

Έχουν μεταβλητό:

σχήμα

Ρέουν

Δεν συμπιέζονται εύκολα



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

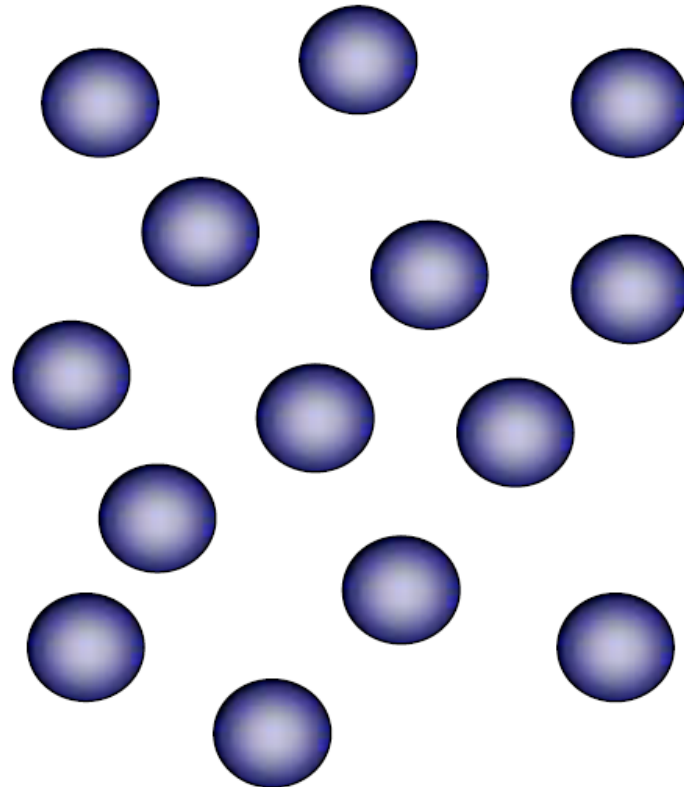
## Μοντέλο Υγρών

Τα σωματίδια:

Βρίσκονται κοντά  
μεταξύ τους  
(όχι όσο στα στερεά)

Μετακινούνται  
ελεύθερα από το ένα  
σημείο στο άλλο

Δονούνται,  
περιστρέφονται  
ελεύθερα



Υγρά

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Αέρια

Έχουν μεταβλητό :

όγκο

σχήμα

Ρέουν

Συμπιέζονται εύκολα



Διαχεόμενος καπνός σε αέρα  
*User:Macluskie / Wikipedia:Public domain*

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

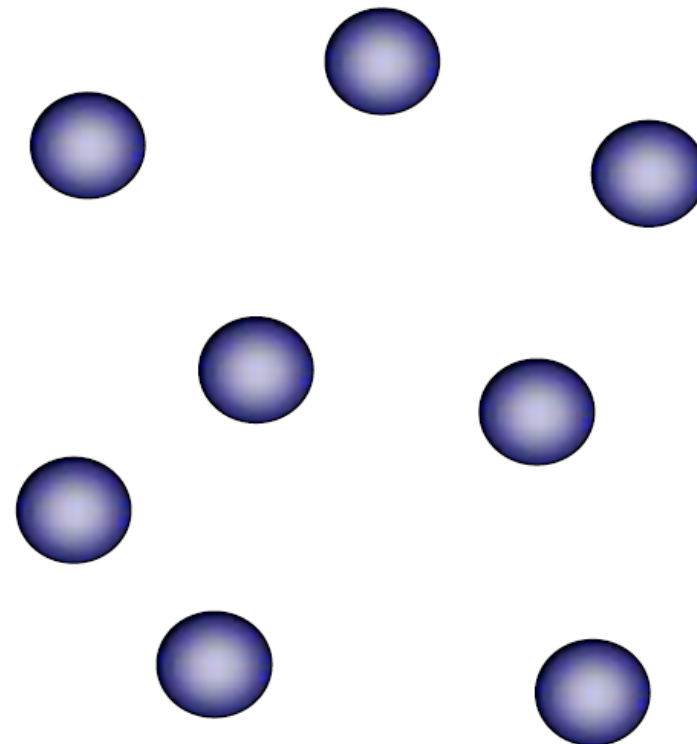
## Μοντέλο Αερίων

Τα σωματίδια:

Βρίσκονται πού μακριά το ένα από το άλλο

Μετακινούνται ελεύθερα από το ένα σημείο στο άλλο

Δονούνται, περιστρέφονται ελεύθερα



Δεν υπάρχει καμιά μορφή οργάνωσης

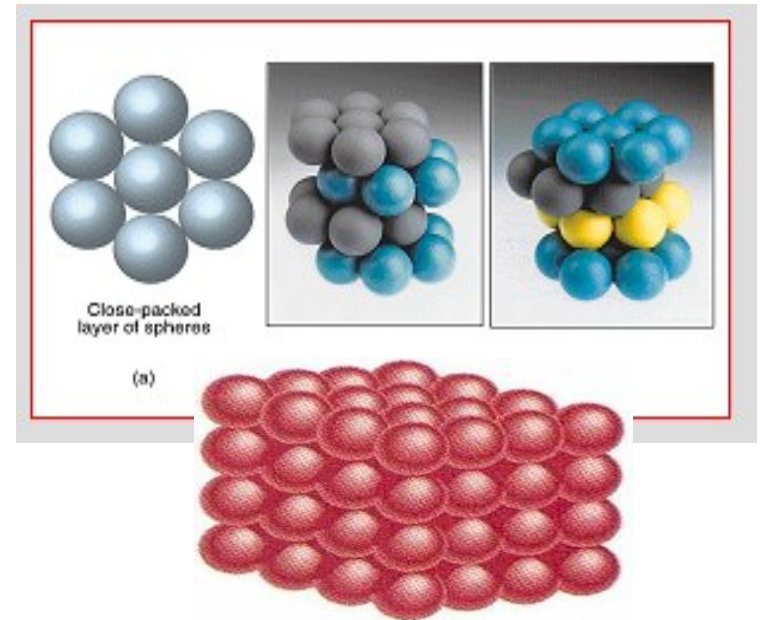
Αέρια

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Καταπονήσεις και είδη παραμορφώσεων

Μεταξύ των ατόμων ή μορίων των στερεών ασκούνται συγχρόνως τόσο **ελκτικές** όσο και **απωστικές** δυνάμεις, οι οποίες τα συγκρατούν σε ορισμένες σχετικές μεταξύ τους αποστάσεις.

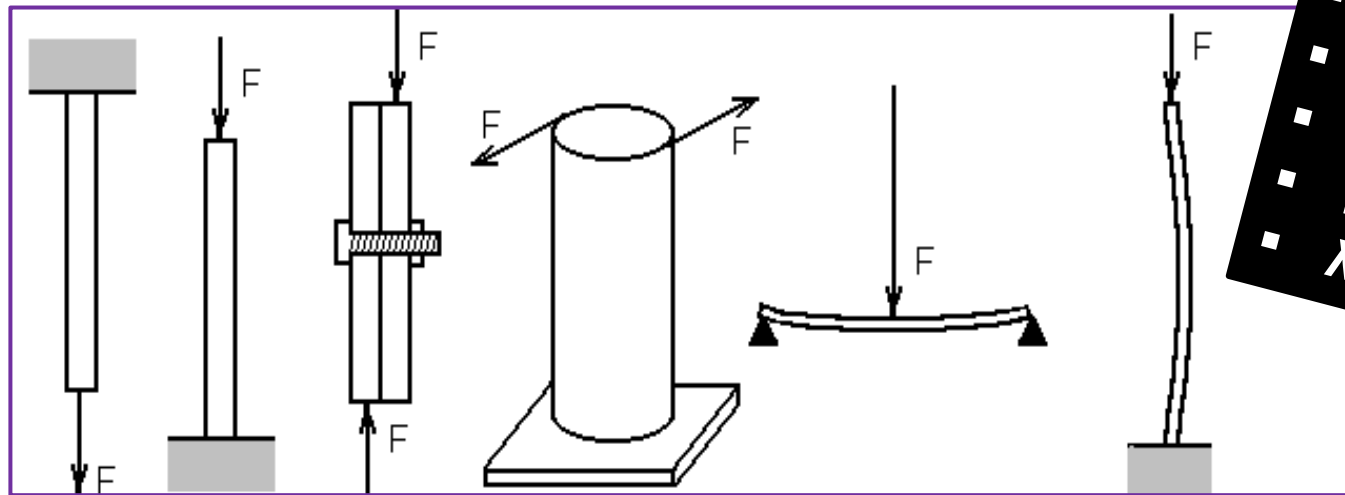
Για να παραμορφώσουμε ένα στερεό σώμα, πρέπει να μεταβάλλουμε αυτές τις σχετικές αποστάσεις, δηλαδή να ασκήσουμε εξωτερική δύναμη.



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Καταπονήσεις και είδη παραμορφώσεων

Όταν ασκούμε σε ένα στερεό σώμα εξωτερική δύναμη, λέμε ότι το σώμα υφίσταται καταπόνηση. Ανάλογα με τον τρόπο, που καταπονείται το σώμα έχουμε τα αντίστοιχα είδη παραμορφώσεων. Οι δυνατές καταπονήσεις είναι:



- εφελκυσμός
- θλίψη
- διάτμηση
- στρέψη
- κάμψη
- λυγισμός

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Μηχανική αντοχή

Αντοχή σε κάμψη



Αντοχή σε εφελκυσμό



Αντοχή σε συμπίεση



Αντοχή σε διάτμηση



Αντοχή σε θραύση



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Μηχανικές Ιδιότητες

Τάση-παραμόρφωση

Ελαστική συμπεριφορά

Πλαστική συμπεριφορά

Αντοχή και ολκιμότητα

Σκληρότητα

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ



Η παραμόρφωση λέγεται ελαστική, αν το σώμα επανέρχεται στην αρχική κατάστασή του μετά την άρση της δύναμης.

Αν η παραμόρφωση παραμένει μετά την άρση της δύναμης, τότε λέγεται πλαστική.



Σε μερικές περιπτώσεις το σώμα επανέρχεται τελείως μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Στις περιπτώσεις αυτές λέμε ότι το σώμα παρουσιάζει ελαστική αδράνεια.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

**Σκληρότητα:** Η ικανότητα του υλικού να αντέχει μια δύναμη χωρίς να σπάει.

**Ακαμψία:** Η αντίσταση ενός υλικού στη μεταβολή του σχήματος και του μεγέθους του.

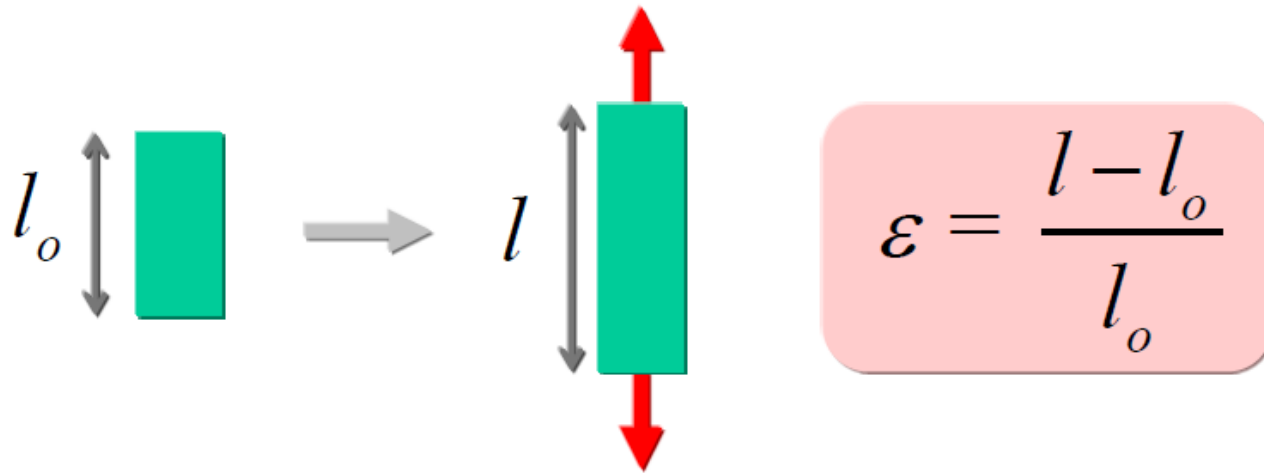
**Πλαστικότητα:** Η τάση του υλικού να μεταβάλει το μέγεθος και το σχήμα του σημαντικά πριν από το σπάσιμο.

**Ευθραυστότητα:** Η τάση του υλικού να σπάσει χωρίς παραμόρφωση.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Παραμόρφωση

Ως παραμόρφωση (deformation) ονομάζουμε την επιμήκυνση ανά μονάδα μήκους



Η παραμόρφωση  $\varepsilon$  είναι αδιάστατο μέγεθος

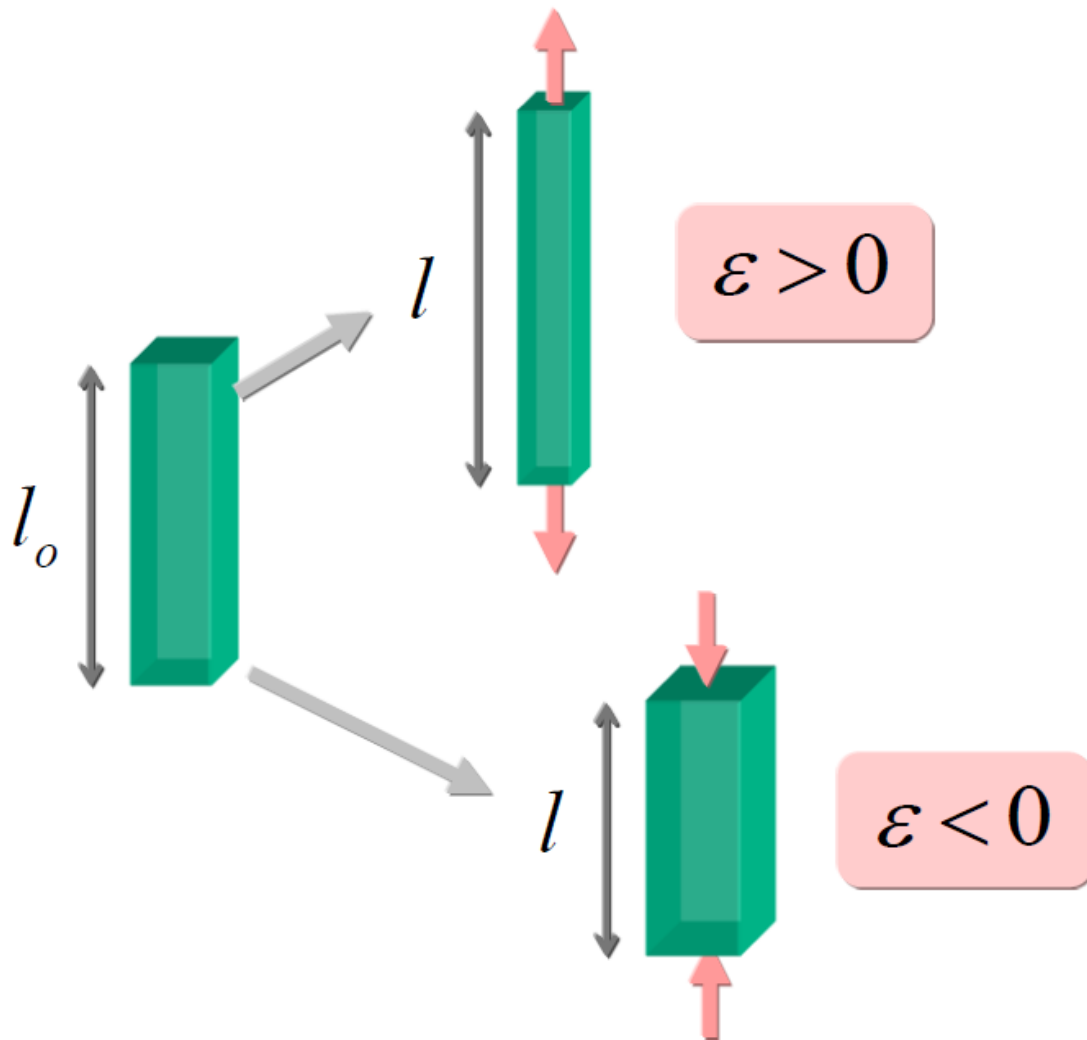
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Παραμόρφωση

Ανηγμένη επιμήκυνση (Strain),  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

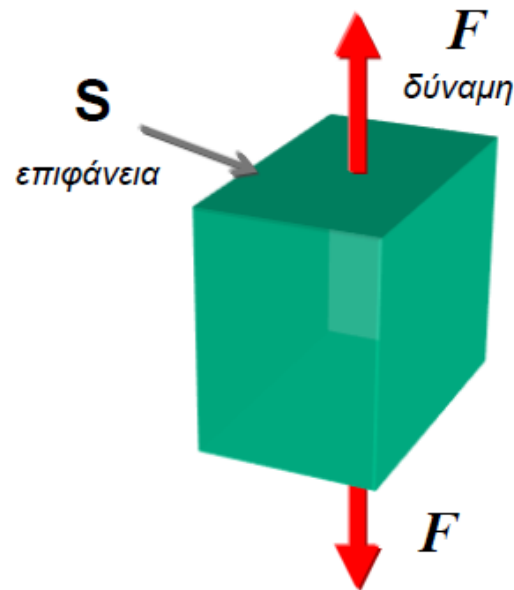
## Παραμόρφωση



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Τάση

Ως τάση (stress) ονομάζουμε την δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας



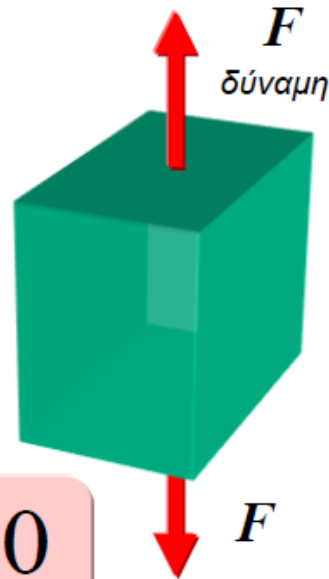
$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Η τάση  $\sigma$  μετριέται σε Newton/m<sup>2</sup> (= 1 Pa)

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

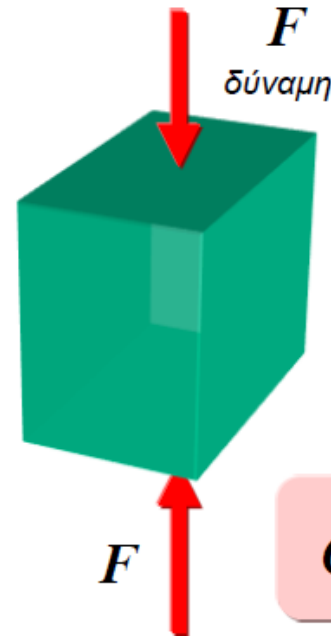
## Τάση

Εφελκυσμός



$$\sigma > 0$$

Θλίψη



$$\sigma < 0$$

Η τάση  $\sigma$  μετριέται συνήθως σε MPa

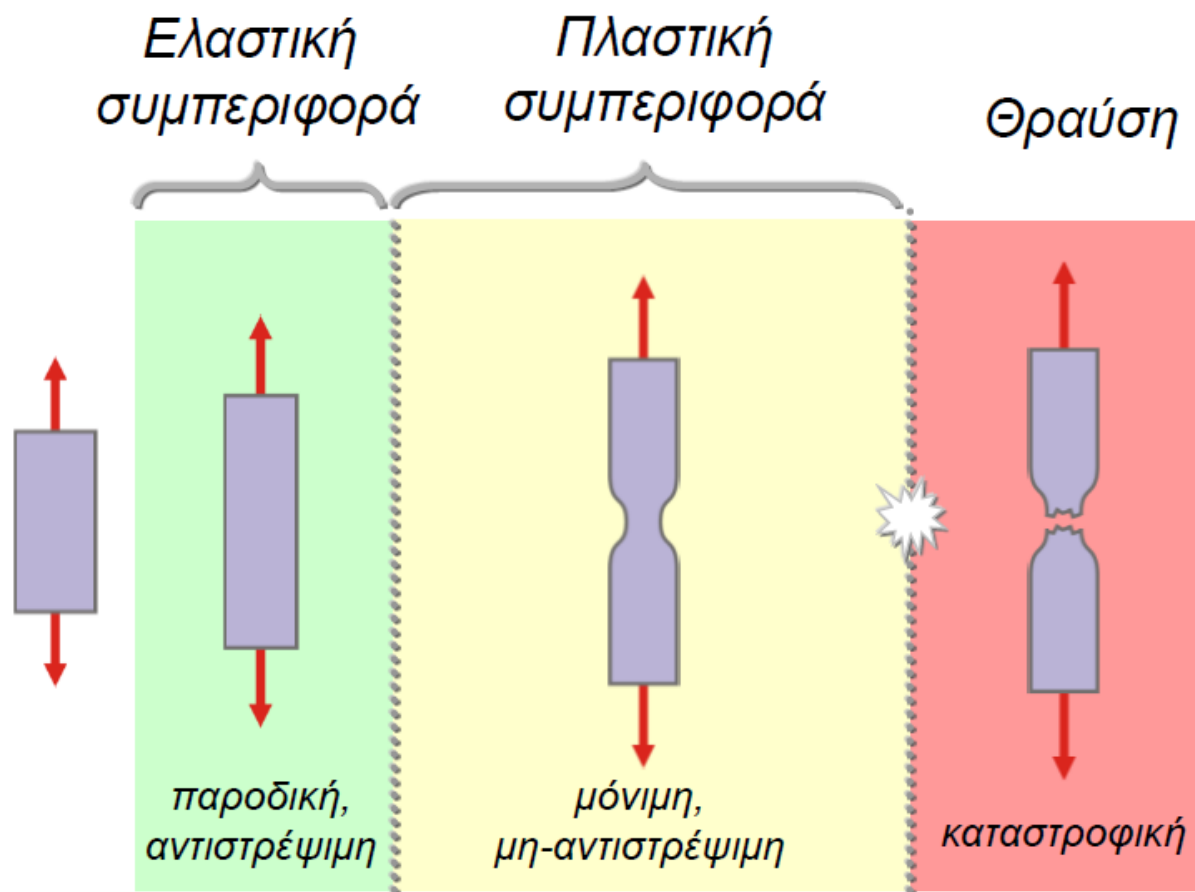
$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$145 \text{ psi} = 1 \text{ MPa}$$

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Τάση

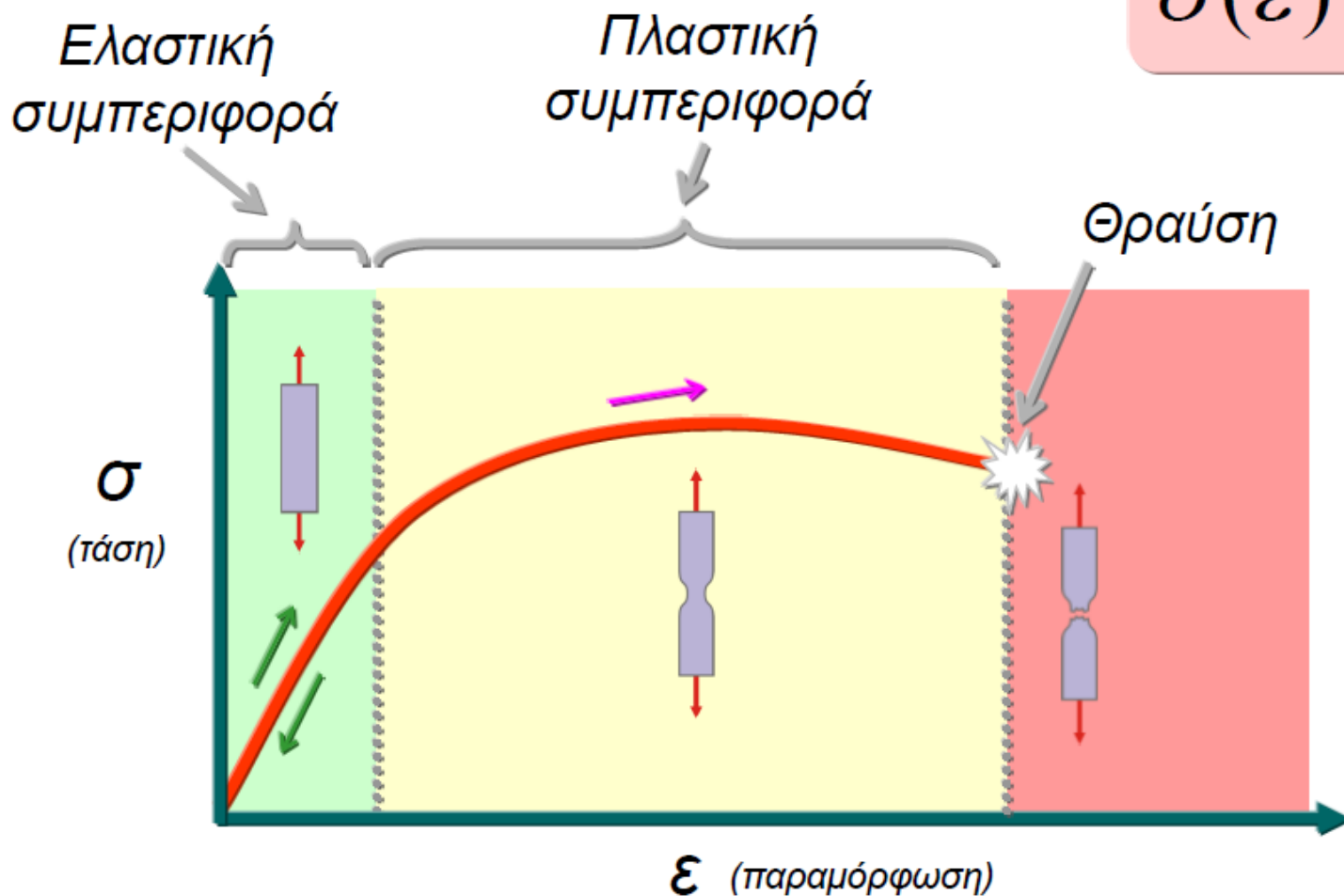
Πως παραμορφώνεται ένα υλικό υπό συνεχώς αυξανόμενη εφελκυστική τάση;



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

Πως συνδέονται η τάση με την παραμόρφωση ;

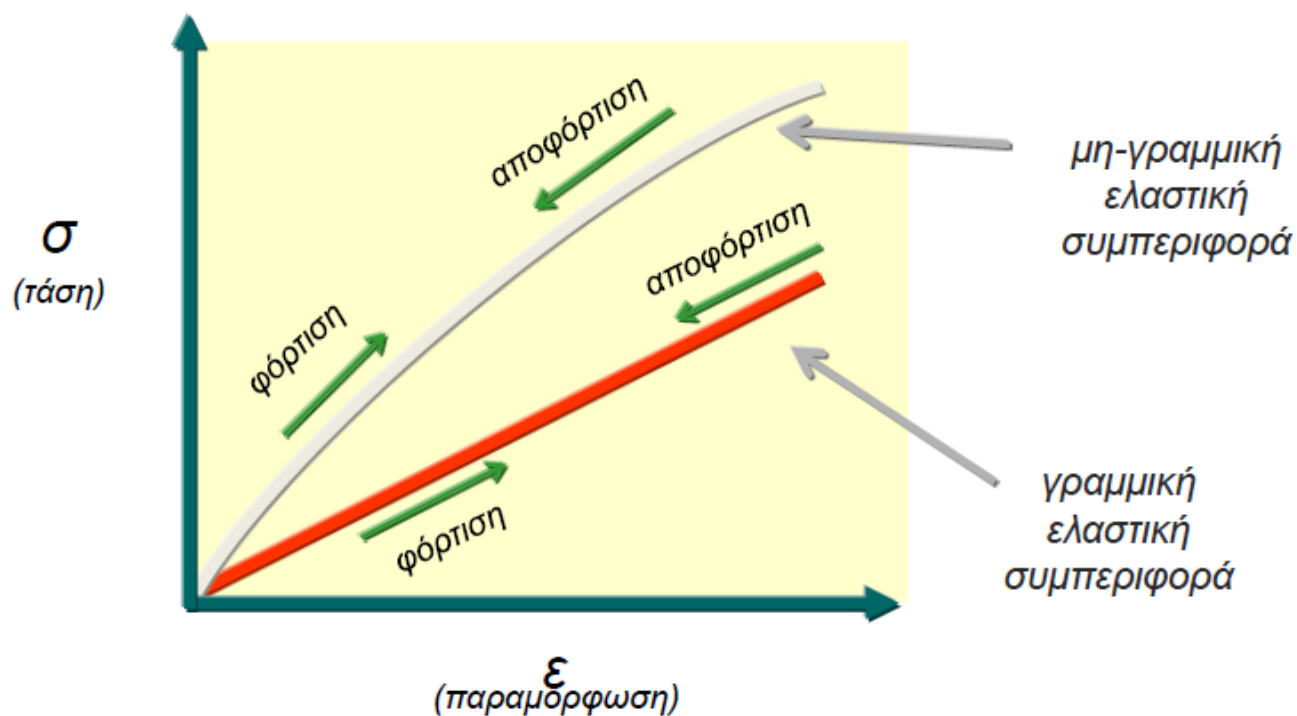
$$\sigma(\varepsilon) = ?$$



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Ελαστική συμπεριφορά

Η ελαστική παραμόρφωση είναι παροδική και αντιστρέψιμη !  
(οφείλεται σε «τέντωμα» δεσμών)



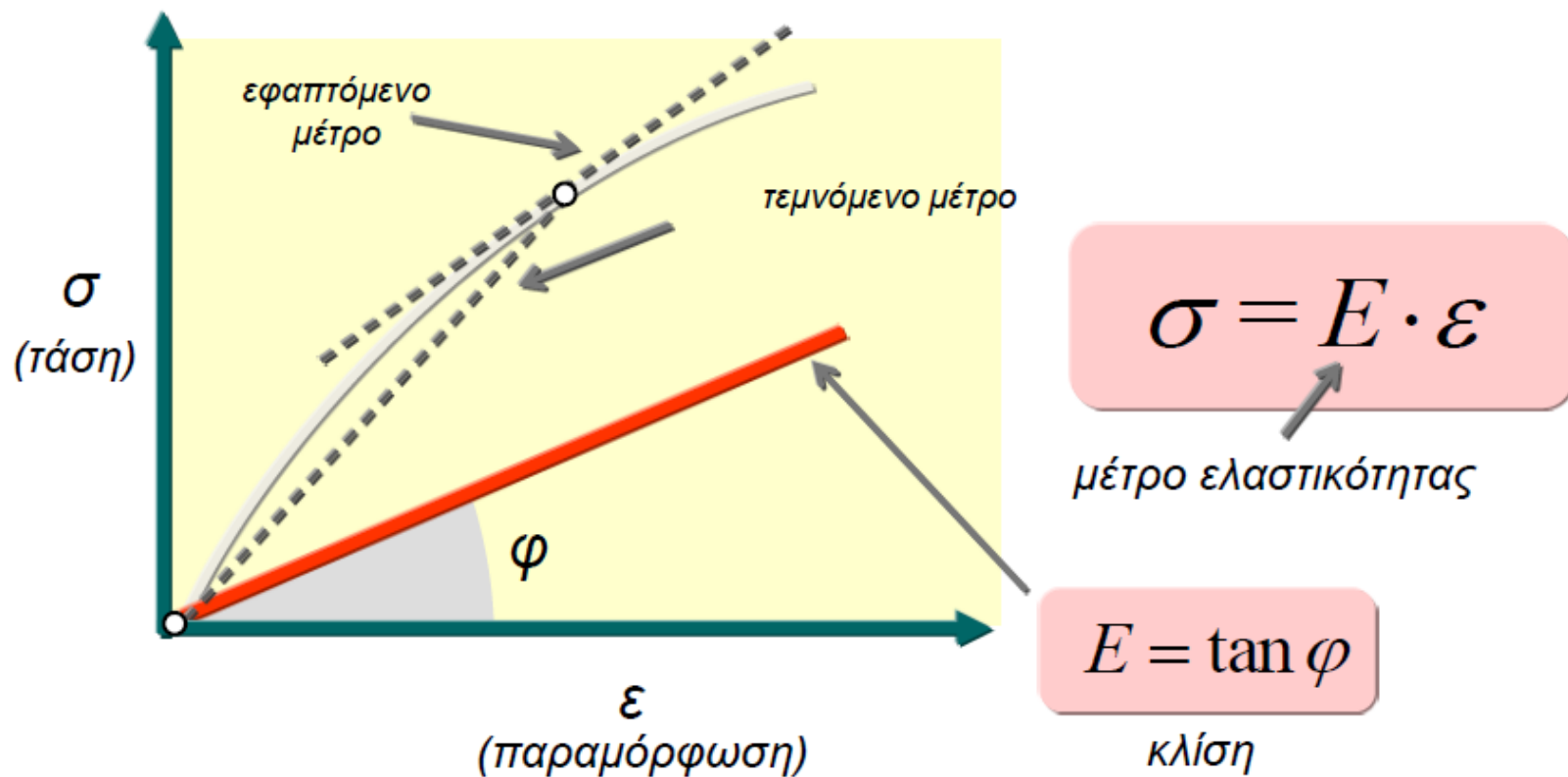
Στην γραμμική ελαστική συμπεριφορά η τάση είναι ανάλογη της παραμόρφωσης

$$\sigma \propto \epsilon$$

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Μέτρο ελαστικότητας

Το μέτρο ελαστικότητας  $E$  ορίζεται από την κλίση της καμπύλης  $\sigma(\varepsilon)$



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Μέτρο ελαστικότητας

Στις μικρές παραμορφώσεις η ανηγμένη επιμήκυνση είναι ανάλογη της ασκούμενης τάσης

$$\text{Νόμος Hook : } \quad \varepsilon = \frac{1}{E} \sigma$$

Η σταθερά αναλογίας  $E$  λέγεται μέτρο ελαστικότητας, ή μέτρο του Young από το όνομα του Άγγλου Φυσικού Thomas Young (1773-1829).

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Μέτρο ελαστικότητας

Το μέτρο ελαστικότητας  $E$  μετριέται συνήθως σε **GPa**\*

### Τυπικές τιμές

Πολυμερή

$\sim 10^{-3}$  έως  $\sim 4$

Μέταλλα

$\sim 45$  έως  $\sim 400$

Κεραμικά

$\sim 70$  έως  $\sim 1200$

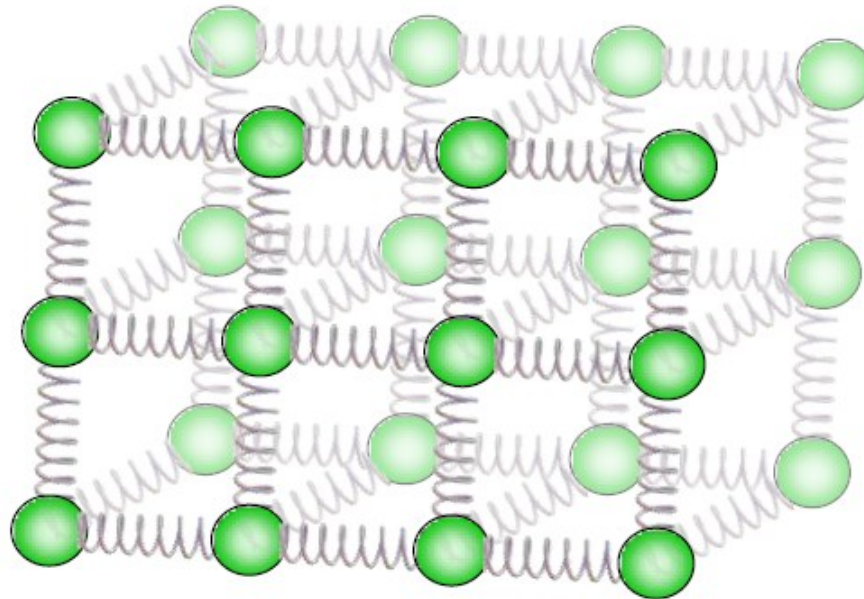
$E$  (GPa)

Το μέτρο ελαστικότητας  $E$  μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία (αυξάνεται στα πολυμερή)

\* 1 GPa =  $10^9$  Pa

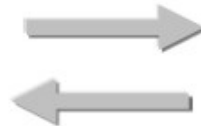
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Ελαστική συμπεριφορά – Ατομική κλίμακα



Μοντέλο  
ελατηρίων

Μακροσκοπική ελαστική  
παραμόρφωση



Αλλαγή στις διατομικές  
αποστάσεις



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Ανελαστικότητα

Η ανελαστικότητα αφορά την χρονική εξάρτηση της παραμόρφωσης. (Καθυστέρηση της επαναφοράς μετά την απομάκρυνση της τάσης)

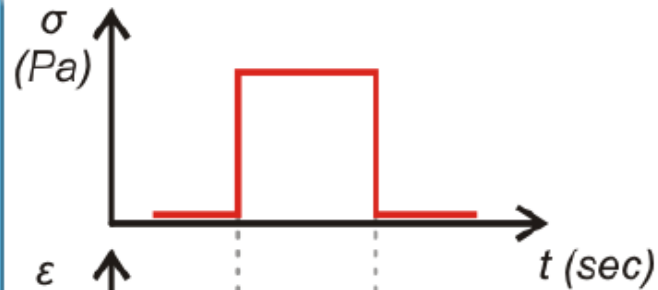
Κεραμικά

Πολύ μικρή

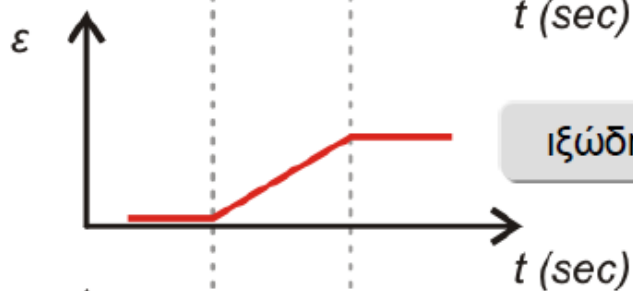
Μέταλλα

Πολυμερή

Σημαντική (ιξωδοελαστικότητα)



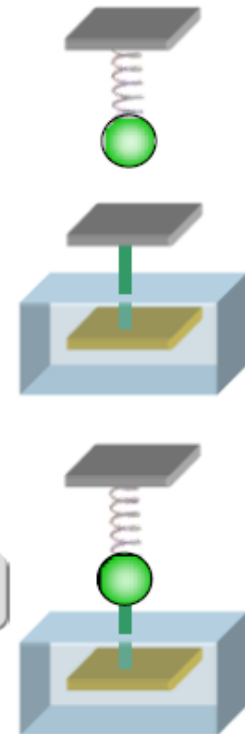
ελαστική



ιξώδης



ιξωδοελαστική



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Πλαστική συμπεριφορά

Η πλαστική παραμόρφωση είναι μόνιμη και μη-αντιστρέψιμη !  
(οφείλεται σε «σπάσιμο» και αναδιοργάνωση των δεσμών)



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Εφελκυσμός και θλίψη – Νόμος του Hooke

### Παράδειγμα 1

Σε νήμα διαμέτρου  $d=1\text{mm}$  και μήκους  $l=2\text{m}$  ασκείται εφελκυστική δύναμη  $F=12\text{N}$ . Το νήμα επιμηκύνεται κατά  $\Delta l=6\text{mm}$ . Να υπολογιστούν: α) η ανηγμένη επιμήκυνση β) η τάση σε  $\text{N/m}^2$

$$\alpha) \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{6\text{mm}}{2\text{m}} = \frac{0,006\text{m}}{2\text{m}} \quad \varepsilon = 0,003$$

$$\beta) \quad \sigma = \frac{F}{S} \quad S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1\text{mm}}{4} = \frac{\pi \cdot (10^{-3}\text{m})^2}{4} = \frac{\pi \cdot 10^{-6}\text{m}^2}{4} = \\ = 0,785 \cdot 10^{-6}\text{m}^2$$

$$\sigma = \frac{12\text{N}}{0,785 \cdot 10^{-6}\text{m}^2}$$

$$\sigma = 1,53 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Εφελκυσμός και θλίψη – Νόμος του Hooke

### Παράδειγμα 2

Να υπολογιστεί το μέτρο ελαστικότητας του νήματος του παραδείγματος 1.

Λύση

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \cdot \sigma \quad \Rightarrow \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1,53 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{0,003}$$

$$\varepsilon = 5,1 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Εφελκυσμός και θλίψη – Νόμος του Hooke

### Παράδειγμα 3

Το μέτρο ελαστικότητας του χαλκού είναι  $1,3 \cdot 10^{11} (\text{N/m}^2)$ . Να υπολογίσετε τη δύναμη, που πρέπει να ασκήσουμε, ώστε να επιμηκύνουμε κατά  $\Delta l = 1 \text{mm}$  σύρμα διαμέτρου  $d = 1,5 \text{mm}$  και αρχικού μήκους  $l = 3 \text{m}$ .

$$\frac{\Delta l}{l} = \varepsilon = \frac{1}{E} \cdot \sigma = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S} \quad \Rightarrow \quad F = E \cdot S \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (1,5 \text{mm})^2}{4} = 1,77 \text{mm}^2 = 1,77 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$$

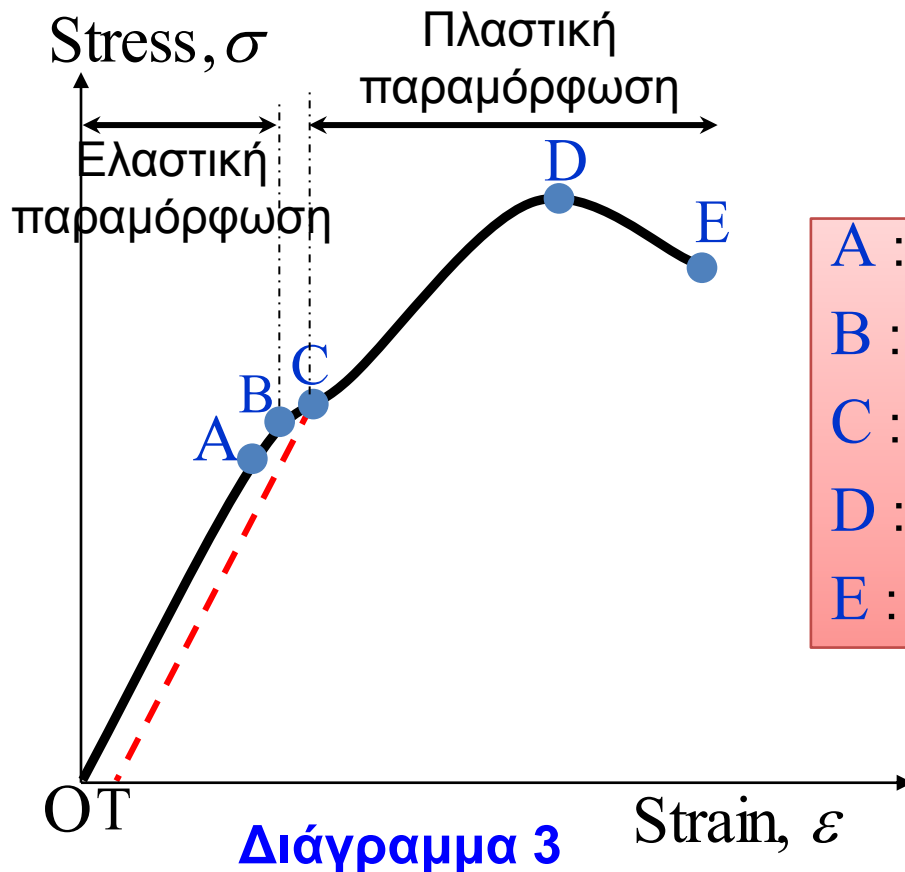
$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1 \text{mm}}{3 \text{m}} = \frac{0,001 \text{m}}{3 \text{m}} = 3,33 \cdot 10^{-4}$$

$$F = 1,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1,77 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 \cdot 3,33 \cdot 10^{-4}$$

$$F = 76,6 \text{N}$$

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Το διάγραμμα εφελκυσμού

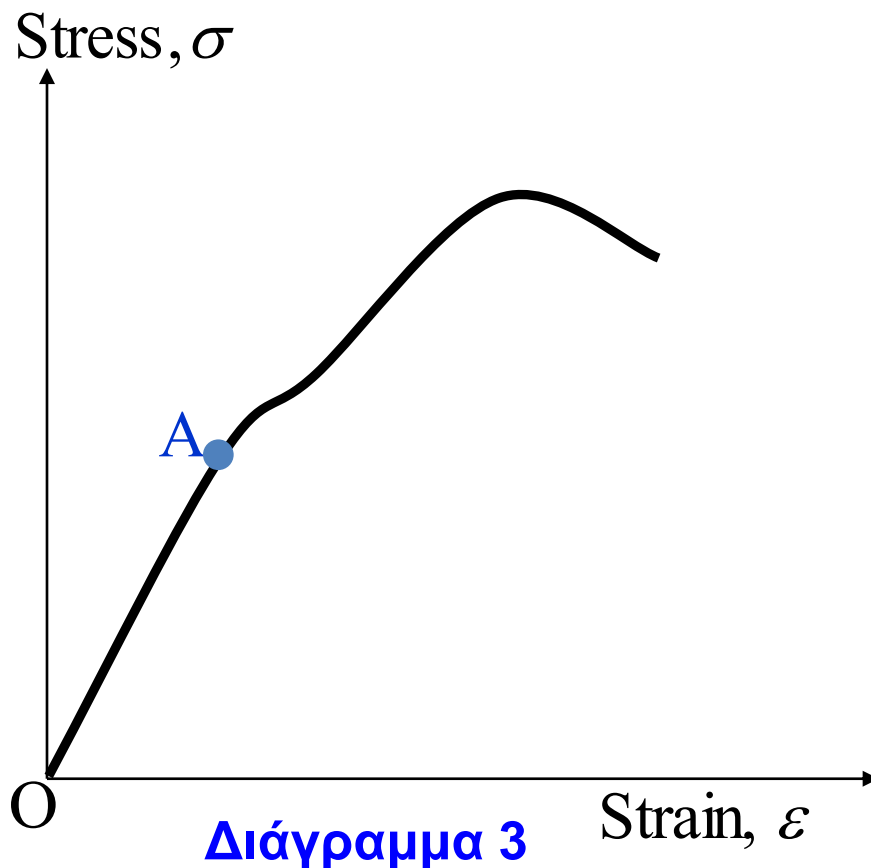


### περιγραφή

- A : όριο γραμμικής περιοχής
- B : όριο ελαστικότητας
- C : Σημείο διαρροής
- D : Σημείο μέγιστης τάσης (stress)
- E : Σημείο θραύσης

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Το διάγραμμα εφελκυσμού

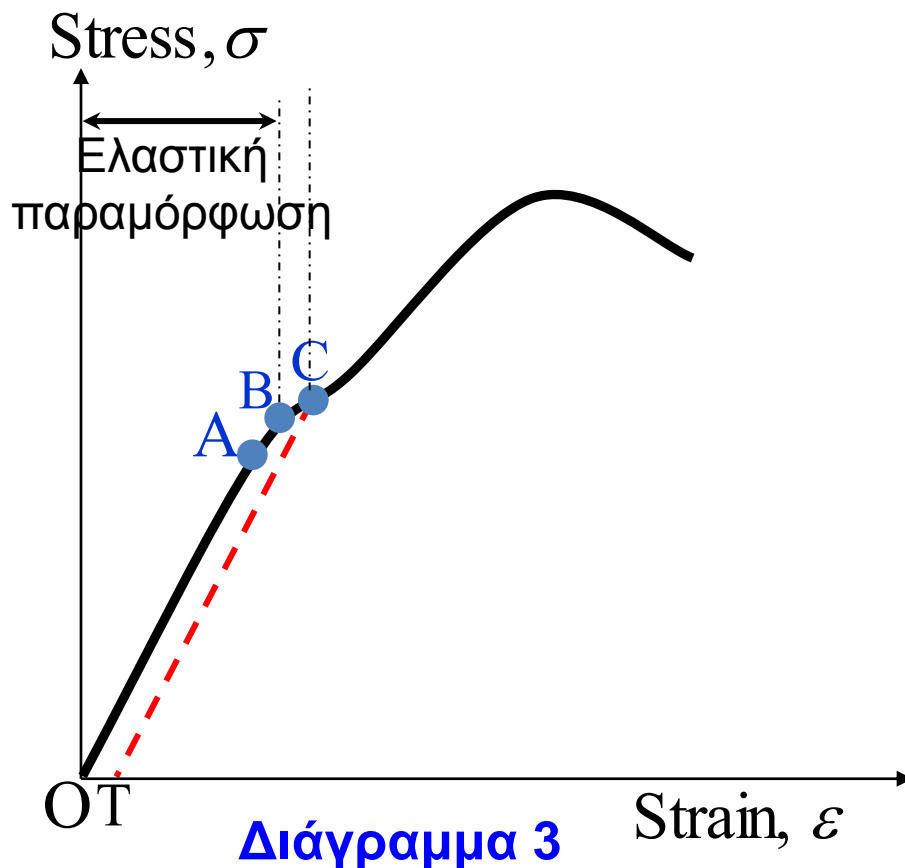


ΟΑ: Η δύναμη (τάση) αυξάνεται γραμμικά με την επιμήκυνση, μέχρι το σημείο Α. Το σημείο Α είναι το όριο της γραμμικής περιοχής ΟΑ στην οποία ισχύει ο νόμος του Hooke:

«Κάτω από αυτό το όριο της γραμμικής περιοχής η ανηγμένη επιμήκυνση είναι ανάλογη της ασκούμενης δύναμης (τάσης)».

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Το διάγραμμα εφελκυσμού

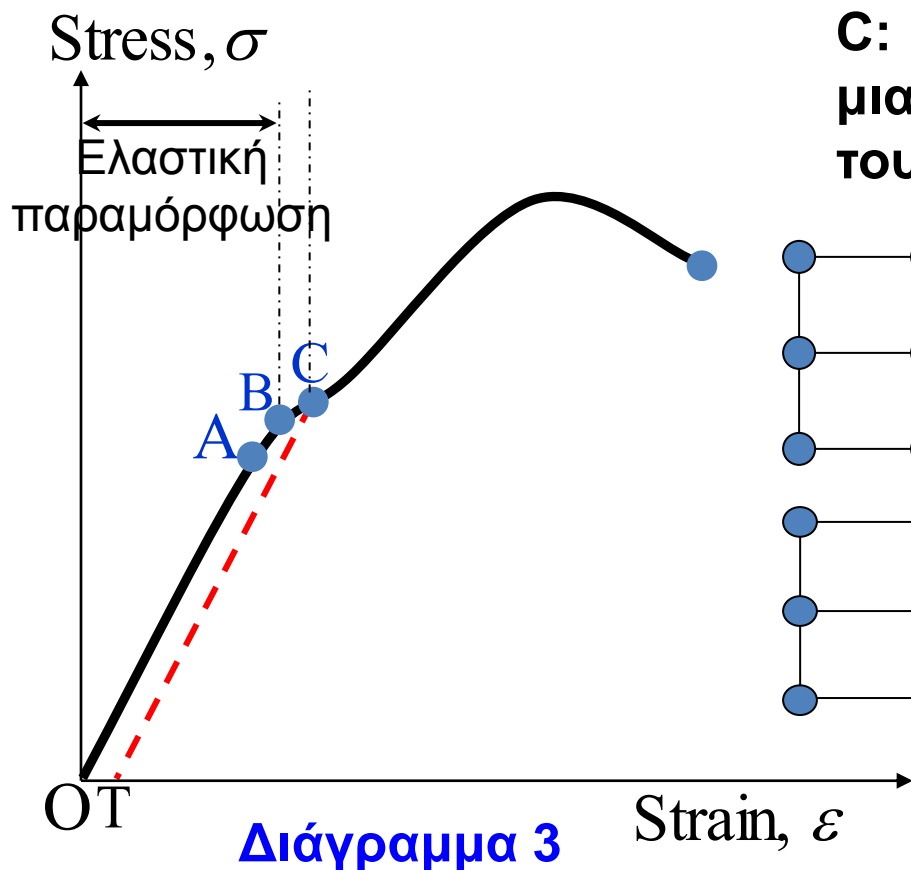


**B:** όριο ελαστικότητας – Πέραν αυτού του σημείου το υλικό παρουσιάζει μόνιμη παραμόρφωση. Αν απομακρύνουμε τη δύναμη (τάση) το υλικό θα έχει μόνιμη επιμήκυνση OΤ.

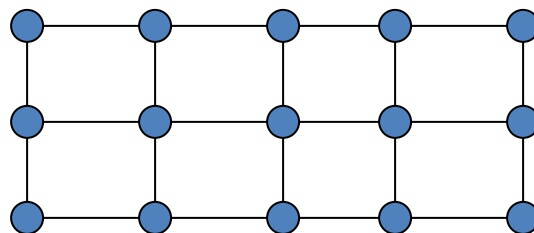
Η περιοχή μεταξύ των // γραμμών AO & CT εκφράζει το Έργο που απαιτείται για την επιμήκυνση (OΤ).

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

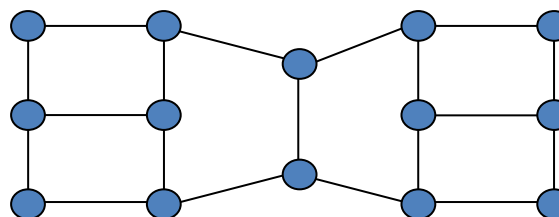
## Το διάγραμμα εφελκυσμού



C: όριο διαρροής – σηματοδοτεί μια αλλαγή στην εσωτερική δομή του υλικού



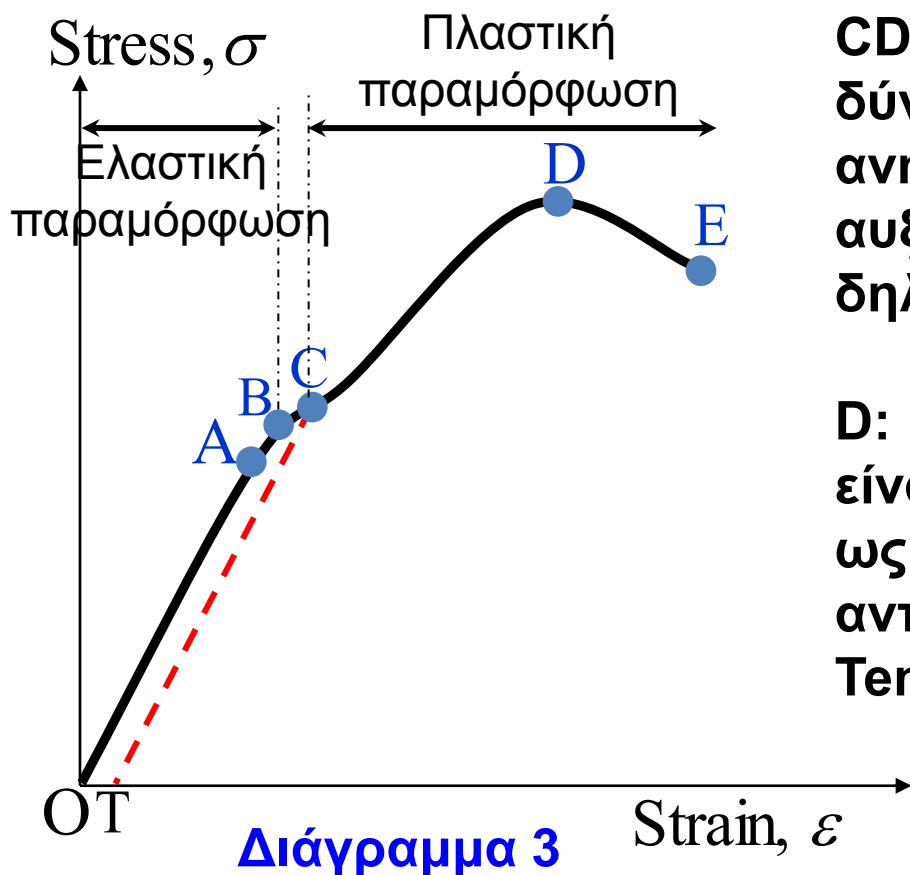
Πριν το όριο διαρροής C



Μετά το όριο διαρροής C

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Το διάγραμμα εφελκυσμού

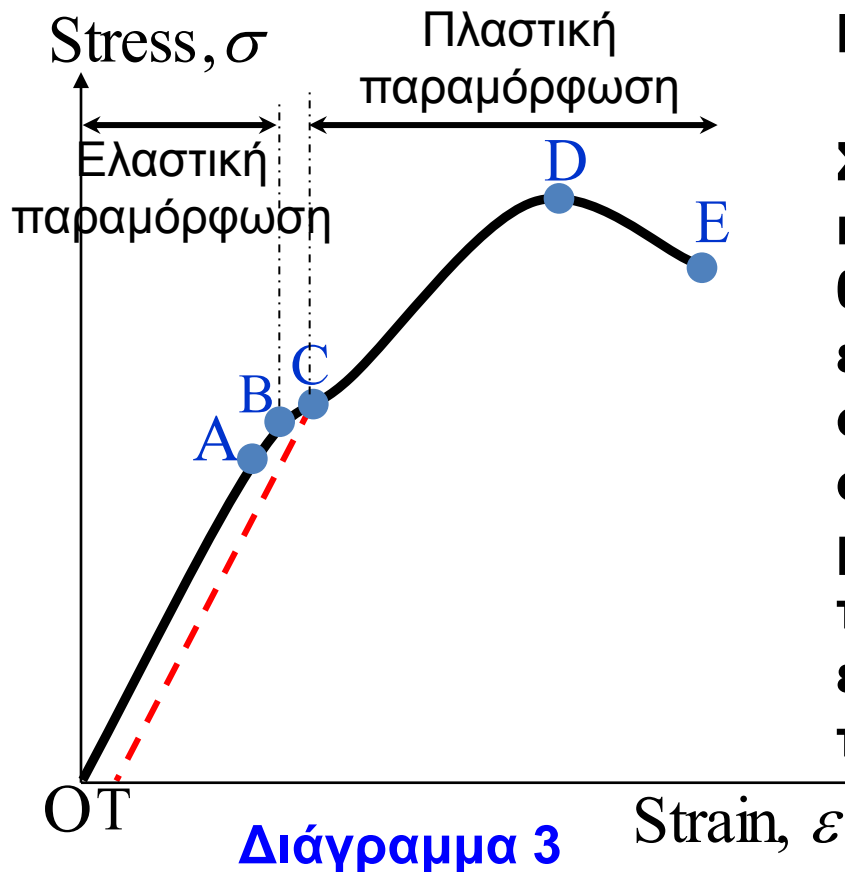


**CDE:** Πλαστική περιοχή. Όταν η δύναμη (τάση) αυξάνει, η ανηγμένη επιμήκυνση (strain) αυξάνει πολύ γρήγορα (το υλικό δηλαδή εφελκείται πολύ εύκολα).

**D:** Η δύναμη (τάση) στο υλικό είναι η μέγιστη δυνατή – γνωστή ως δύναμη θραύσης – Απόλυτη αντοχή σε εφελκυσμό (Ultimate Tensile Strength - UTS )

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Το διάγραμμα εφελκυσμού



E: Όριο θραύσης.

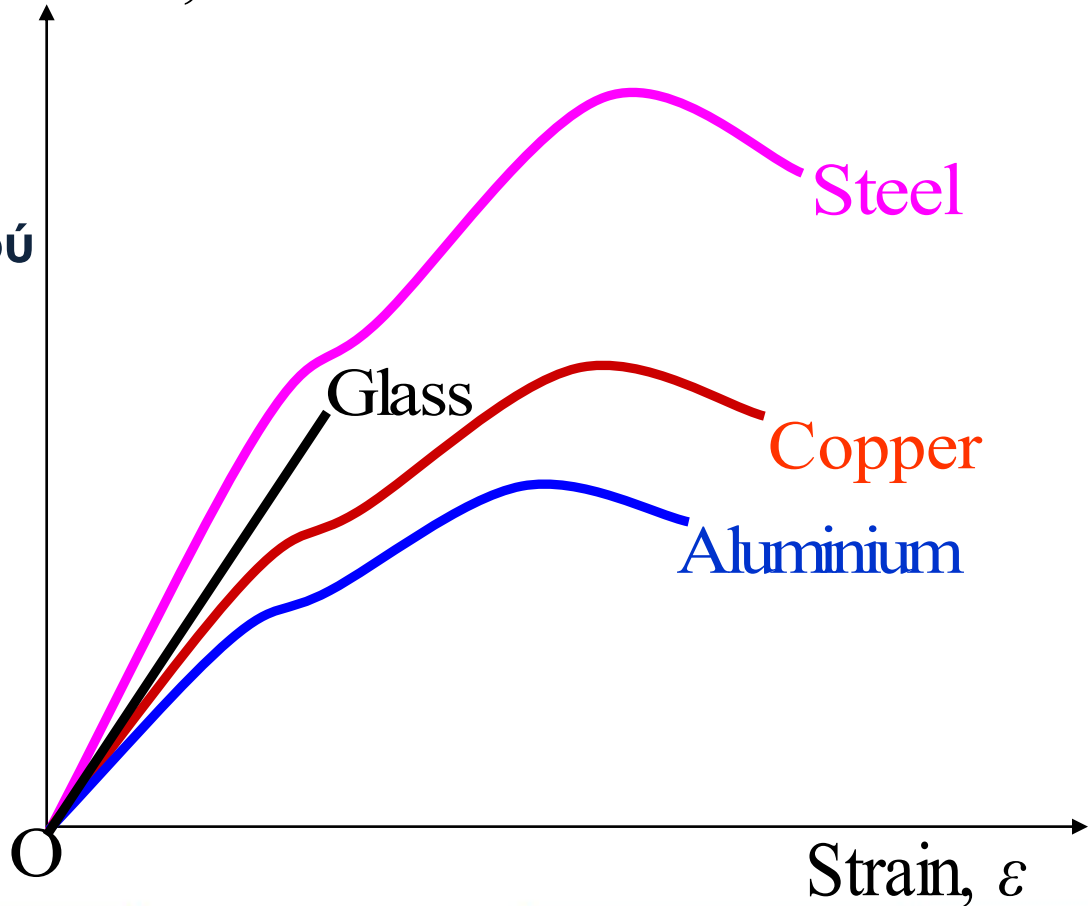
Σε μερικά υλικά, όπως στο γυαλί και τα κεραμικά, η επιμήκυνση θραύσης είναι μικρότερη από την επιμήκυνση, που αντιστοιχεί στο όριο ελαστικότητας. Αυτό σημαίνει ότι τα υλικά αυτά δε μπορούν να παραμορφωθούν πλαστικά, αφού θραύονται πριν εισέλθουν στην πλαστική περιοχή.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

Το διάγραμμα εφελκυσμού

Stress,  $\sigma$

Διάγραμμα εφελκυσμού  
διαφόρων υλικών



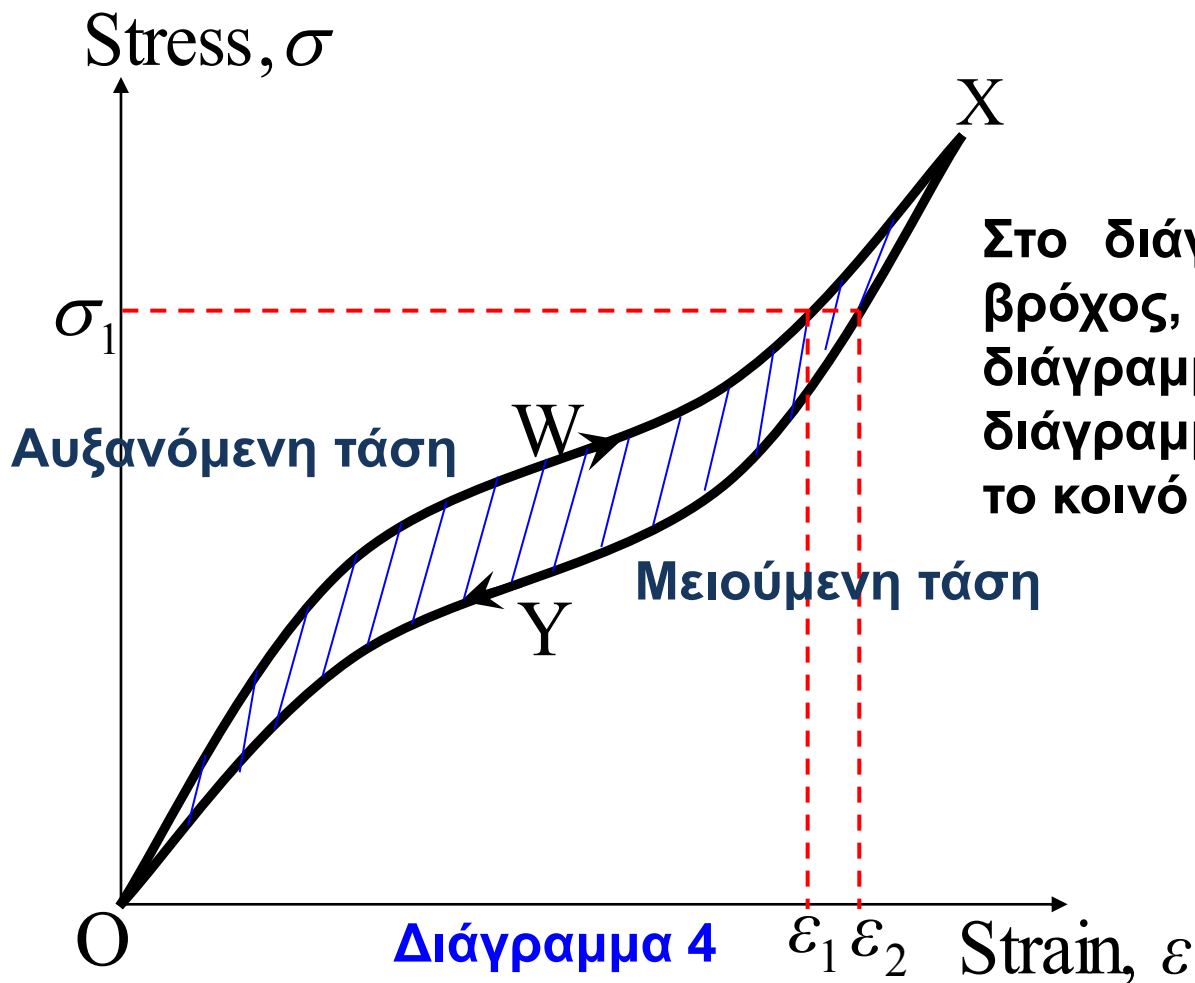
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Το διάγραμμα εφελκυσμού

Όταν η παραμόρφωση περιορίζεται στην ελαστική περιοχή, τότε το διάγραμμα εφελκυσμού για την παραμόρφωση και την επαναφορά συμπίπτουν. Σε ορισμένα υλικά όμως όπως π.χ. στο κοινό λάστιχο αυτά τα δύο διαγράμματα δε συμπίπτουν. Το φαινόμενο αυτό λέγεται ελαστική υστέρηση.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Το διάγραμμα εφελκυσμού



Στο διάγραμμα εικονίζεται ο βρόχος, που σχηματίζουν το διάγραμμα εφελκυσμού και το διάγραμμα επαναφοράς για το κοινό λάστιχο.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

## Το διάγραμμα εφελκυσμού

### Επεξηγήσεις στο διάγραμμα 4

- Το λάστιχο υφίσταται πλαστική παραμόρφωση
- Είναι σε θέση να ανακτήσει το αρχικό του σχήμα και το μήκος του, όταν η τάση απομακρύνεται, αλλά δεν υπακούει στο νόμο του Hooke.
- Η ανηγμένη επιμήκυνση είναι μεγαλύτερη κατά τη μείωση της τάσης ( $X \rightarrow Y$ ) σε σχέση με αυτή που διαμορφώνεται κατά την αύξηση ( $W \rightarrow X$ )
- Η σκιασμένη περιοχή ονομάζεται βρόχος υστέρησης και αντιπροσωπεύει την απώλεια ενέργειας ανά μονάδα όγκου.
- Αυτή η ενέργεια χάνεται υπό μορφή διάχυσης της θερμότητας.