

**ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ  
(κωδ. μαθ. 222)**

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ 5**

2<sup>ο</sup> εξάμηνο (Εαρινό)

ΑΕΑΑ 2019-2020



## Επιστήμη Υλικών Ι Ψαρράς Γεώργιος

E-CLASS  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

### Περιγραφή

**Επιστήμη Υλικών Ι: Κρυσταλλική δομή, Διάχυση, Μηχανικές ιδιότητες**

1. Εισαγωγή
2. Ατομική και μοριακή δομή
3. Δομή των κρυσταλλικών στερεών
4. Ατέλειες των στερεών
5. Διάχυση
6. Μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων
7. Διαταραχές και μηχανισμοί ισχυροποίησης
8. Αστοχία υλικών

Κωδικός: MSCI558

Κατηγορία: Επιστήμης των Υλικών » Προπτυχιακό

Επιλογές Μαθήματος

Ανακοινώσεις

Εγγραφα

Ομάδες Χρηστών

Πληροφορίες

Σύνδεσμοι



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

## Υλικά Ι

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών

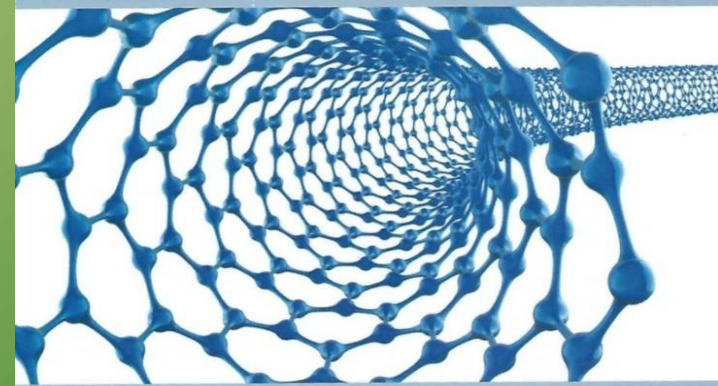


# Βιβλιογραφία

WILLIAM D. CALLISTER, JR | DAVID G. RETHWISCH

## ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

9η Έκδοση



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΟΛΙΑ

# Βιβλιογραφία

## ΕΥ-349 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Χειμερινό εξάμηνο ακαδημαϊκού έτους 2017-2018  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου

email: vaspal@physics.uoc.gr



Επιλογές Μαθήματος

Ανακοινώσεις

Εγγραφα

Ημερολόγιο

Πληροφορίες

Σύνδεσμοι

ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (2016-2017)

ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

E-CLASS  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

Περιγραφή

Εισαγωγή στην επιστήμη υλικών.

Μηχανικές ιδιότητες.

Θερμικές ιδιότητες.

Ηλεκτρικές ιδιότητες.

Οπτικές ιδιότητες.

Μαγνητικές ιδιότητες.

Υλικά της μαλακής συμπυκνωμένης ύλης.

Νανοδομημένα υλικά με ενδιαφέρον στην νανο-βιοτεχνολογία.

Κωδικός: PHY1982

Κατηγορία: Φυσικής » Προπτυχιακό

PhET: Free online physics, chem X

← → ↻ 🏠

🔒 https://phet.colorado.edu

**PhET**  
INTERACTIVE SIMULATIONS

University of Colorado Boulder

**SIMULATIONS**

Εξαιρετικό προγραμματιστικό  
Περιβάλλον Εικονικών  
πειραμάτων

# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

1. Ιστορική και τεχνολογική εξέλιξη υλικών.
2. Ταξινόμηση-κατηγοριοποίηση των υλικών.
3. Καταστάσεις-μορφές της ύλης.
4. Δομή της ύλης, χημικοί δεσμοί, διαμοριακές δυνάμεις,
- 4α. Κρυσταλλικά και άμορφα υλικά.
- 5. Μηχανικές ιδιότητες των υλικών (στοιχεία).**
6. Θερμικές ιδιότητες της ύλης (στοιχεία).
7. Ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών (στοιχεία).
8. Υπεραγωγιμότητα (στοιχεία).
9. Μαγνητικές ιδιότητες των υλικών (στοιχεία).
10. Οπτικές ιδιότητες των υλικών (στοιχεία).
11. Μαλακή συμπυκνωμένη ύλη.
12. Στοιχεία τεκμηρίωσης υλικών.
13. Κεραμικά υλικά.
14. κ.ά.

**Ιδιότητα** είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του υλικού, που εκφράζει το είδος και το μέγεθος της απόκρισής του σε κάποιο συγκεκριμένο ερέθισμα. Γενικά οι ορισμοί των ιδιοτήτων δίνονται ανεξάρτητα από το σχήμα και το μέγεθος του υλικού.

Ουσιαστικά όλες οι σημαντικές ιδιότητες των στερεών υλικών μπορούν να ομαδοποιηθούν σε έξι διαφορετικές κατηγορίες: μηχανικές, θερμικές, ηλεκτρικές, οπτικές, μαγνητικές και ιδιότητες φθοράς. Για κάθε μία υπάρχει ένα διαφορετικό είδος ερεθίσματος ικανό να προκαλέσει διαφορετικές αποκρίσεις.

Ειδικά οι **μηχανικές ιδιότητες**-συσχετίζονται με την παραμόρφωση λόγω της άσκησης μίας ή πολλών δυνάμεων (που ονομάζονται ταυτόχρονα και φορτία).


**ΕΤΥ-349**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**  
**ΥΛΙΚΩΝ**

Χειμερινό εξάμηνο ακαδημαϊκού έτους 2017-2018

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου

email: vaspal@physics.uoc.gr

	<b>Επιστήμη Υλικών Ι</b>	<b>E-CLASS</b>
	<b>Ψαρράς Γεώργιος</b>	<b>ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ</b>
		<b>ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ</b>
	Περιγραφή	
	Επιστήμη Υλικών Ι: Κρυσταλλική δομή, Διάχυση, Μηχανικές ιδιότητες	



## Μηχανικές Ιδιότητες

1. Σκληρότητα
2. Τάση-παραμόρφωση
3. Ελαστική συμπεριφορά
4. Πλαστική συμπεριφορά
5. Αντοχή και ολκιμότητα

Κάποιες χαρακτηριστικές **μηχανικές ιδιότητες**-παρουσιάζονται στο διπλανό σχήμα.

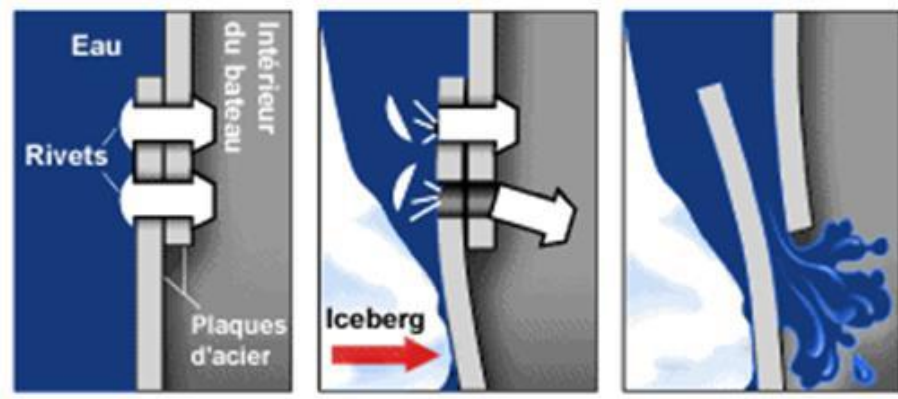
Γιατί μας ενδιαφέρουν οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών;  
Για πολλούς λόγους. Ένας πολύ βασικός είναι ώστε να αποφευχθεί υπερβολική παραμόρφωση ενός υλικού και κατόπιν θραύση του.

### ΕΥΥ-349 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Χειμερινό εξάμηνο ακαδημαϊκού έτους 2017-2018  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου

email: vaspal@physics.uoc.gr



Τι έγινε στον «Τιτανικό»;



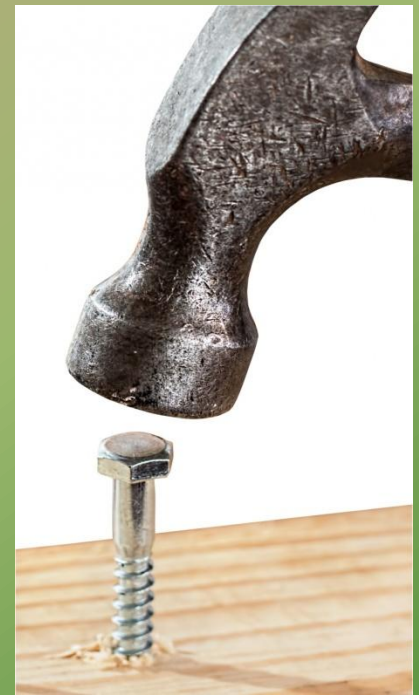
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

## Υλικά Ι

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών

# 1. Σκληρότητα

**Σκληρότητα (hardness):** είναι το μέτρο της αντίστασης σε τοπικά περιορισμένη παραμόρφωση, π.χ. πόσο δύσκολα μπορεί να χαραχτεί ένα υλικό (όχι να σπάσει -που είναι παραμόρφωση ευρείας κλίμακας, αλλά να χαραχτεί-τοπικά).



<https://www.publicdomainpictures.net/en/view-image.php?image=227841&picture=hammer-and-nail>

Μία ενδεικτική κατάταξη των υλικών ως προς τη σκληρότητα.

 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**Υλικά Ι**

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΣΗΓΗΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΚΕΙΡΙΣΗΣ  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

**ΕΤΥ-349**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**  
**ΥΛΙΚΩΝ**

Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου  
email: vaspal@physics.uoc.gr

<https://www.wikihow.com/Remove-Rivets#/Image:Remove-Rivets-Step-1-Version-4.jpg>-τροποποιημένη



## 2. Τάση ( $\sigma$ ) – Παραμόρφωση ( $\epsilon$ )

Ας θυμηθούμε το ελατήριο και το νόμο του Hooke :

Σε ένα ελατήριο, το οποίο λειτουργεί στην **ελαστική περιοχή** ισχύει ο **νόμος του Hooke**

$$F=k \cdot x,$$

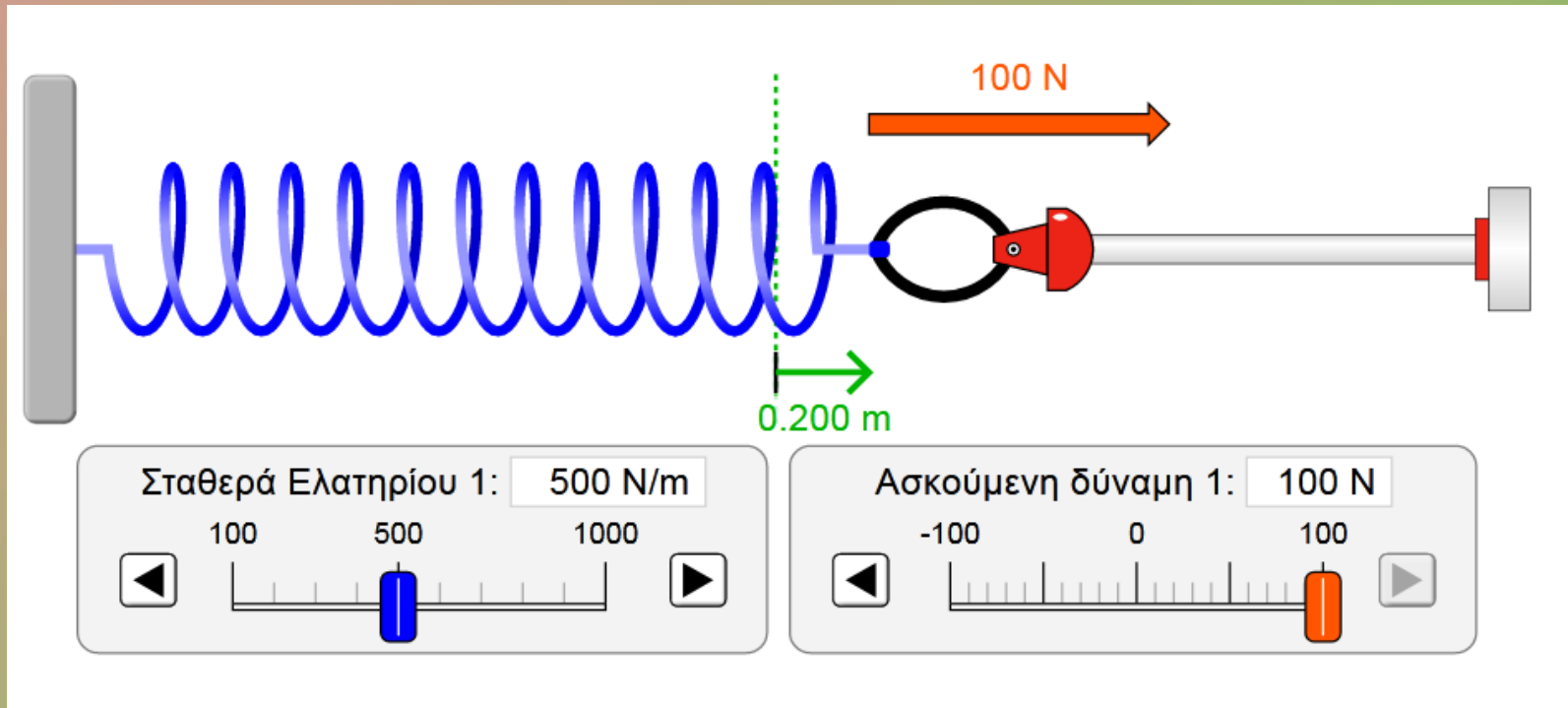
όπου **F**: η ασκούμενη **δύναμη** (σε N, κατά τη διεύθυνση του ελατηρίου)- που είναι η αιτία που προκαλεί την **επιμήκυνση** **x** του ελατηρίου (σε m- x η απόσταση από τη θέση ισορροπίας). Το **k** (σε μονάδες N/m) είναι η σταθερά του ελατηρίου που εξαρτάται από τα μηχανικά-γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ελατηρίου. Εναλλακτικά χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό  $x = \Delta L = l - l_0$  (όπου **l** το τελικό μήκος του ελατηρίου και **l<sub>0</sub>** το αρχικό μήκος αυτού).

Αίτιο είναι η **δύναμη** και η **επιμήκυνση** είναι το αποτέλεσμα αυτής.



## 2. Τάση ( $\sigma$ ) – Παραμόρφωση ( $\epsilon$ )

Νόμος του Hooke  $F=k \cdot x$  για ελατήριο



Γενικά όμως είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιηθούν οι γεωμετρικοί παράγοντες (διατομή, διαστάσεις κ.ά.) στην μαθηματική έκφραση που συνδέει την αιτία παραμόρφωσης ενός υλικού με το αποτέλεσμα αυτής.

Έτσι εισάγονται οι ευρύτεροι όροι **μηχανική τάση-  $\sigma$**  (ή απλώς τάση) για το αίτιο παραμόρφωσης ενός υλικού (αντί της δύναμης  $F$ ) και της **μηχανικής παραμόρφωση ή απλώς παραμόρφωση-  $\epsilon$**  για το αποτέλεσμα (αντί της επιμήκυνσης  $x$ ), οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω:

## 2. Τάση – Παραμόρφωση

**Τάση** ( $\sigma$ -stress-ή πίεση): το πηλίκο της δύναμης (σε Newton στο S.I.) που ασκείται κάθετα σε μία επιφάνεια δια της επιφάνειας αυτής (σε  $m^2$  στο S.I.). Μονάδα μέτρησης είναι το Pa (Pascal)= $N/m^2$  (στο Αγγλοσαξωνικό σύστημα μονάδων psi-round δύναμης/square inch ίντσα ). Η τάση είναι το αίτιο της παραμόρφωσης. Η τάση είναι κανονικοποιημένη δηλαδή δεν εξαρτάται από τις διαστάσεις του υλικού.

**Εφελκυσμός**

$F$  δύναμη

$\sigma > 0$

**Θλίψη**

$F$  δύναμη

$\sigma < 0$

$S$  επιφάνεια

$F$  δύναμη

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

Η τάση  $\sigma$  μετριέται συνήθως σε MPa

1 MPa =  $10^6$  N/m<sup>2</sup>      145 psi = 1 MPa

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

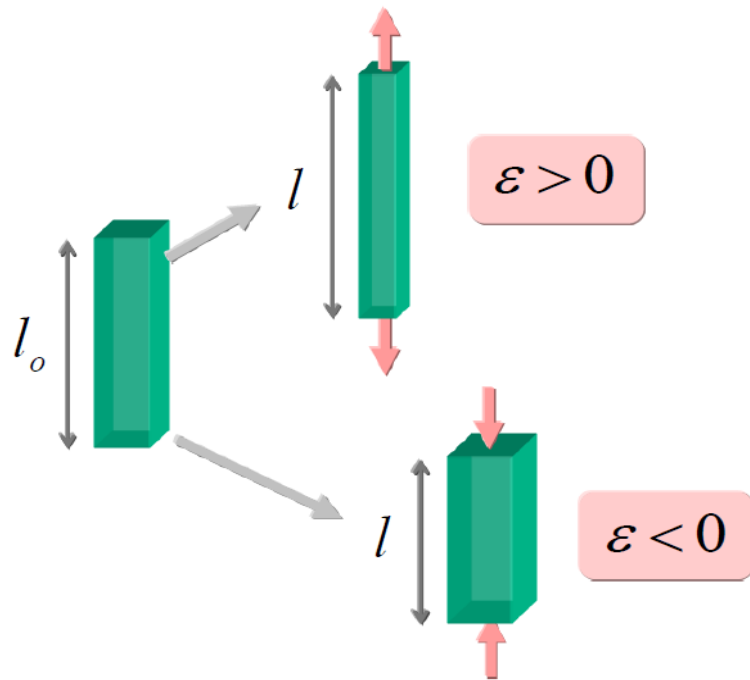
**Υλικά Ι**

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΥΧΑΝΟΝ ΒΑΡΥΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΥΧΑΝΟΝ ΒΑΡΥΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

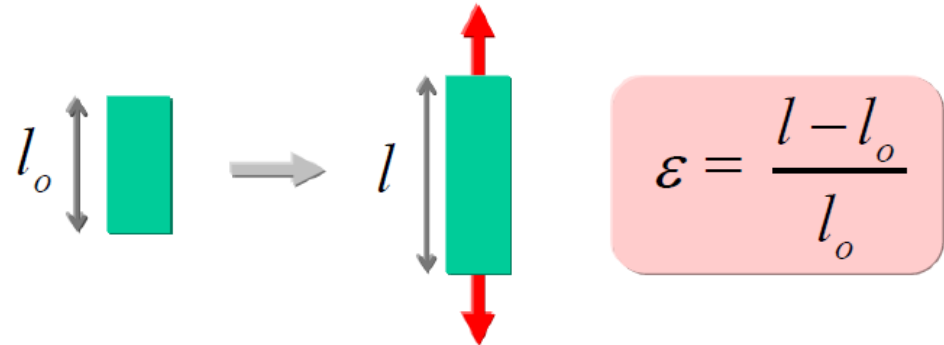
## 2. Τάση – Παραμόρφωση

Η παραμόρφωση  $\varepsilon$  (deformation- strain) είναι το αποτέλεσμα της τάσης.



## Παραμόρφωση

Ως παραμόρφωση (deformation) ονομάζουμε την επιμήκυνση ανά μονάδα μήκους



Η παραμόρφωση  $\varepsilon$  είναι αδιάστατο μέγεθος

Η επιμήκυνση  $\Delta L = l - l_0$  (αριθμητής) εξαρτάται από γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου αλλά και από τη δύναμη  $F$ . Η παραμόρφωση  $\varepsilon$  είναι κανονικοποιημένη και δεν εξαρτάται από τις διαστάσεις του δοκιμίου.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

### Υλικά Ι

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών



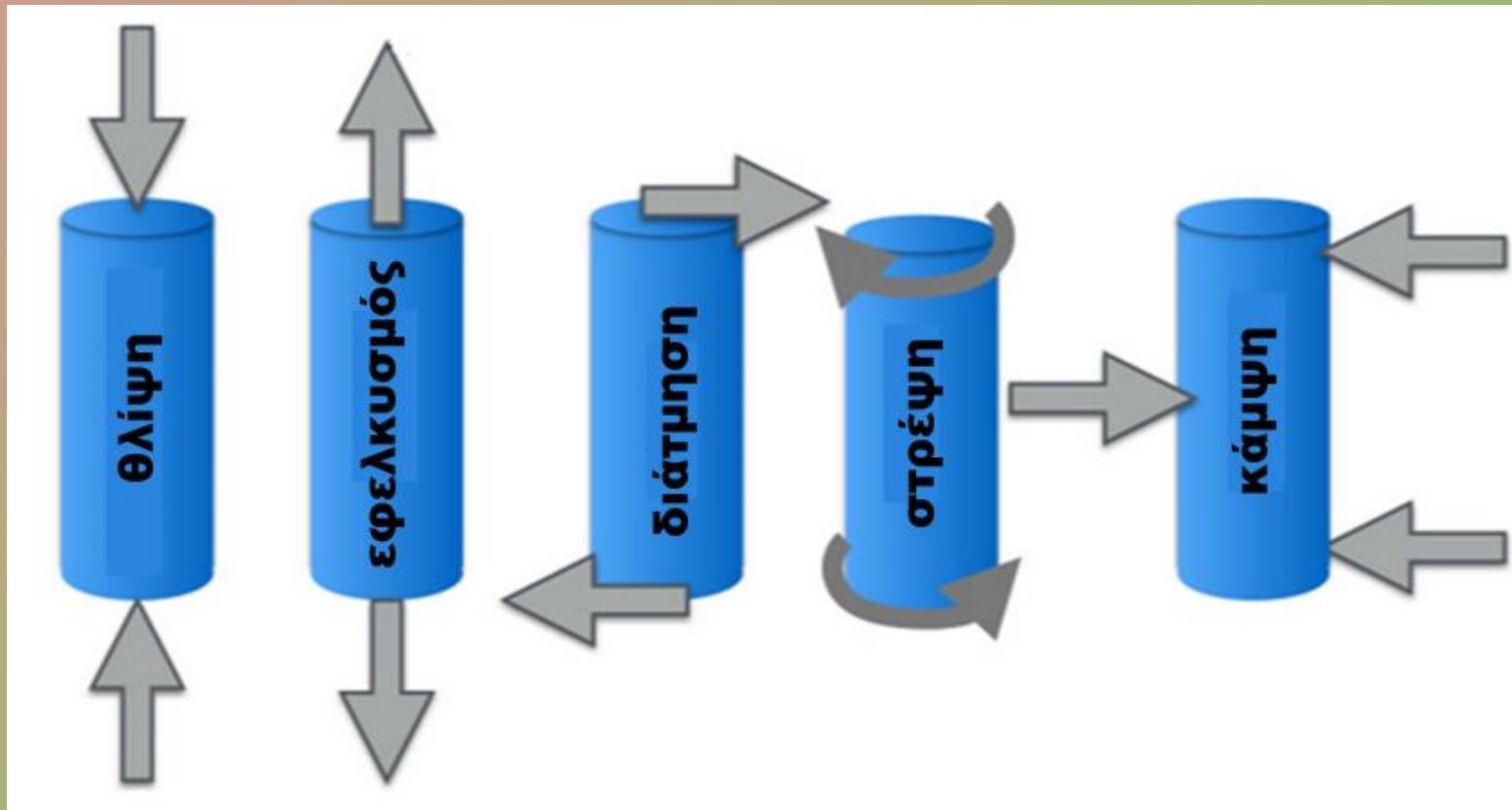
ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (2016-2017)

ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

Περιγραφή

E-CLASS  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

## 2. Τάση – Παραμόρφωση

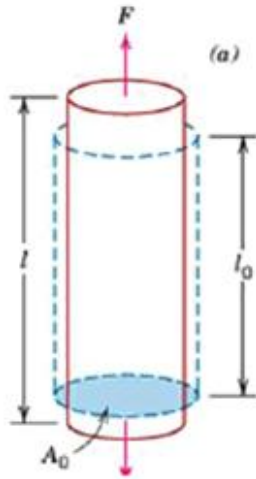


Είδη μηχανικής φόρτισης ενός υλικού

## 2. Τάση – Παραμόρφωση

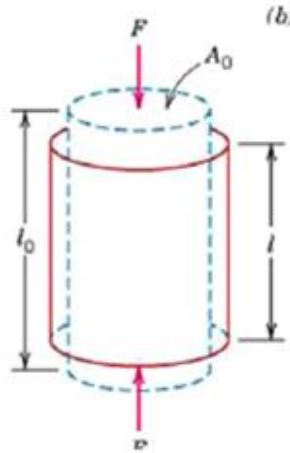
### Εφελκυστικό (tensile)

- Επιμήκυνση
- Θετική παραμόρφωση



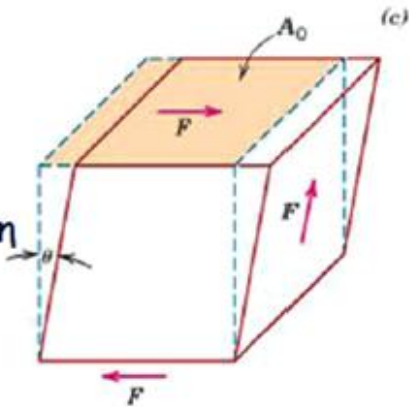
### Θλιπτικό (compressive)

- Συστολή
- αρνητική παραμόρφωση



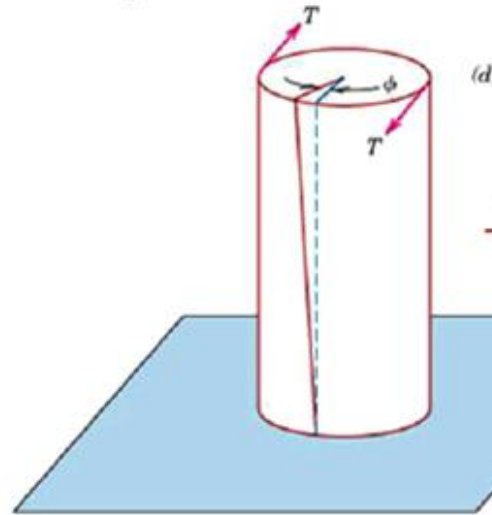
### Διατμητικό (shear)

- Παραμόρφωση
- $\gamma = \tan \Theta$



### Στρεπτικό (torsional)

- $T$  - εφαρμοζόμενη ροπή
- $\Phi$  - γωνία στροφής



Από όλα αυτά τα είδη φόρτισης, στα επόμενα θα επικεντρωθούμε μόνο στον εφελκυσμό.

Είδη μηχανικής φόρτισης ενός υλικού (από άλλη πηγή)

ΕΤΥ-349  
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ  
ΥΛΙΚΩΝ

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου



## 2. Τάση – Παραμόρφωση

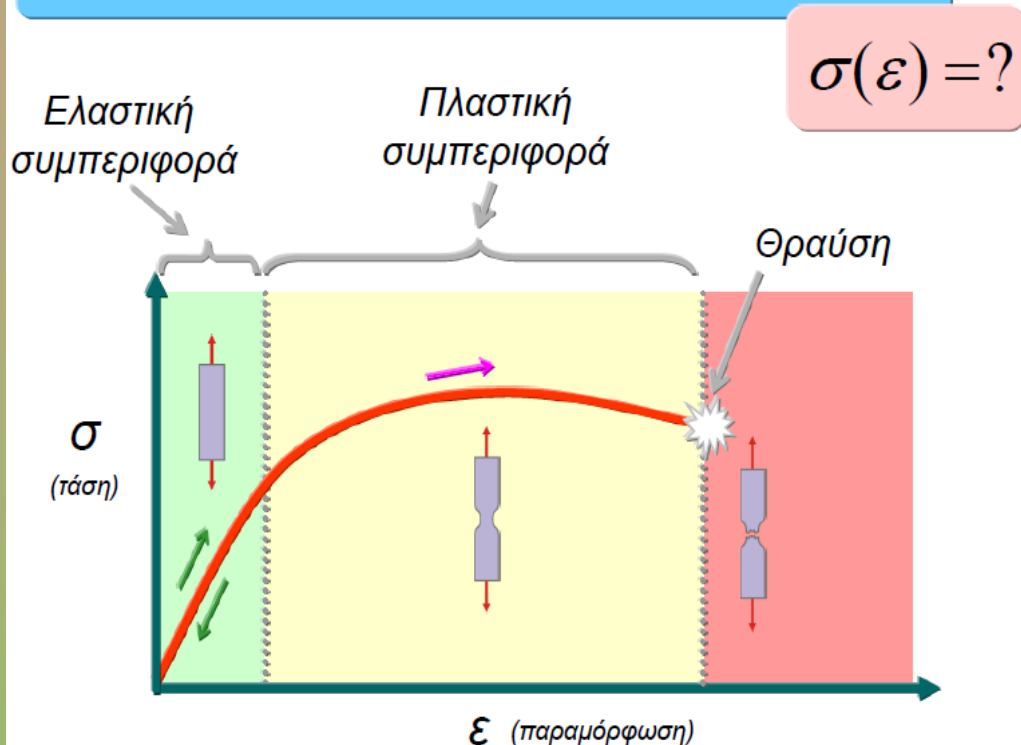
Το αποτέλεσμα της δοκιμής-εφαρμογής δύναμης-φορτίου  $F$  σε υλικό συγκεκριμένων διαστάσεων καταγράφεται σε κατάλληλα **διαγράμματα δύναμης-φορτίου ως συνάρτηση της επιμήκυνσης  $x$** .

Η σχέση **δύναμης- επιμήκυνσης** εξαρτάται από τις διαστάσεις του δοκιμίου.

Η επίδραση των γεωμετρικών παραγόντων, όπως προειπώθηκε, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με μία μαθηματική προσαρμογή (που λέγεται **κανονικοποίηση**) της **δύναμης ( $F$ )** και της **επιμήκυνσης  $x$  ( $\Delta l$ )** στις αντίστοιχες παραμέτρους **μηχανική τάση ( $\sigma$  ή απλώς τάση)** και **μηχανική παραμόρφωση ( $\varepsilon$  ή απλώς παραμόρφωση)**.

Αντίστοιχα το αποτέλεσμα της δοκιμής εφαρμογής εφελκυστικής τάσης-φορτίου  $\sigma$  (με ελαχιστοποιημένη την επίδραση των διαστάσεων), καταγράφεται σε κατάλληλα **διαγράμματα τάσης  $\sigma$ -παραμόρφωσης  $\varepsilon$**  (βλέπε κάτω εικόνα):

Πως συνδέονται η τάση με την παραμόρφωση ;



Επιστήμη Υλικών Ι

Ψαρράς Γεώργιος

E-CLASS  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

Περιγραφή

Επιστήμη Υλικών Ι: Κρυσταλλική δομή, Διάχυση, Μηχανικές ιδιότητες



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Υλικά Ι

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών

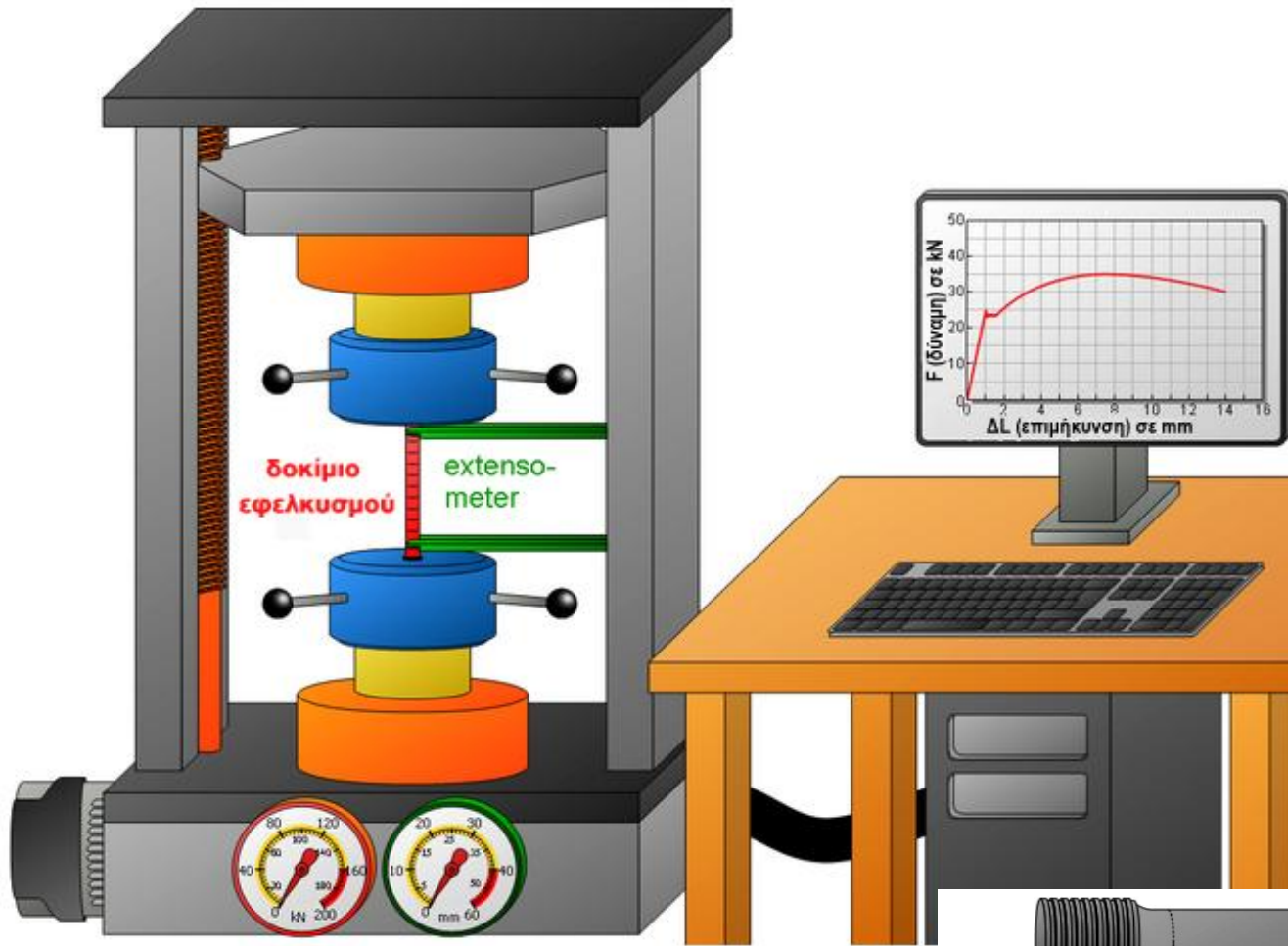


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
ΥΠΟΤΡΟΦΗ ΠΑΘΕΩΣ, ΑΝΑΡΧΙΤΕΧΝΙΚΩΝ ΘΕΩΡΩΝ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ  
2007-2013  
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

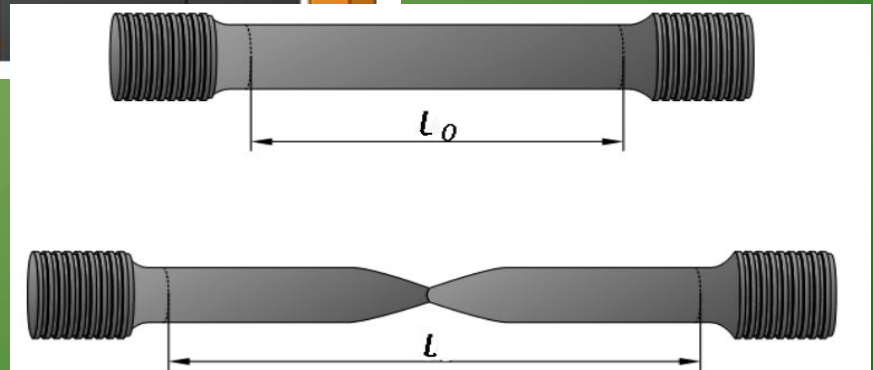
## 2. Τάση – Παραμόρφωση



Συσκευή άσκησης  
και μέτρησης  
εφελκυστικών  
φορτίων σε υλικά  
(δοκιμή  
εφελκυσμού-  
tensile test)

<https://www.tec-science.com/material-science/material-testing/tensile-test/> 24-4-2020

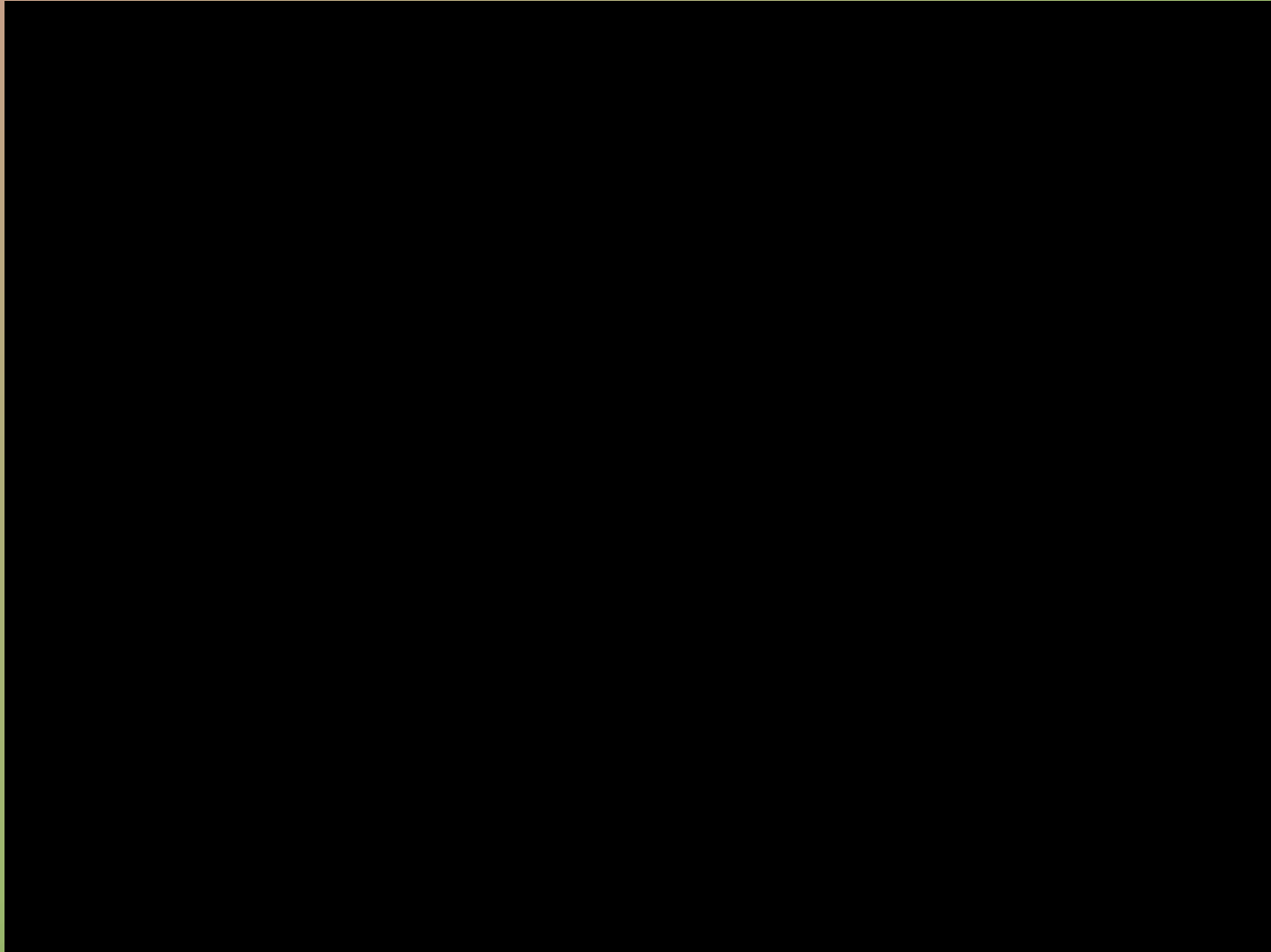
επιμήκυνση  $\Delta L = l - l_0$



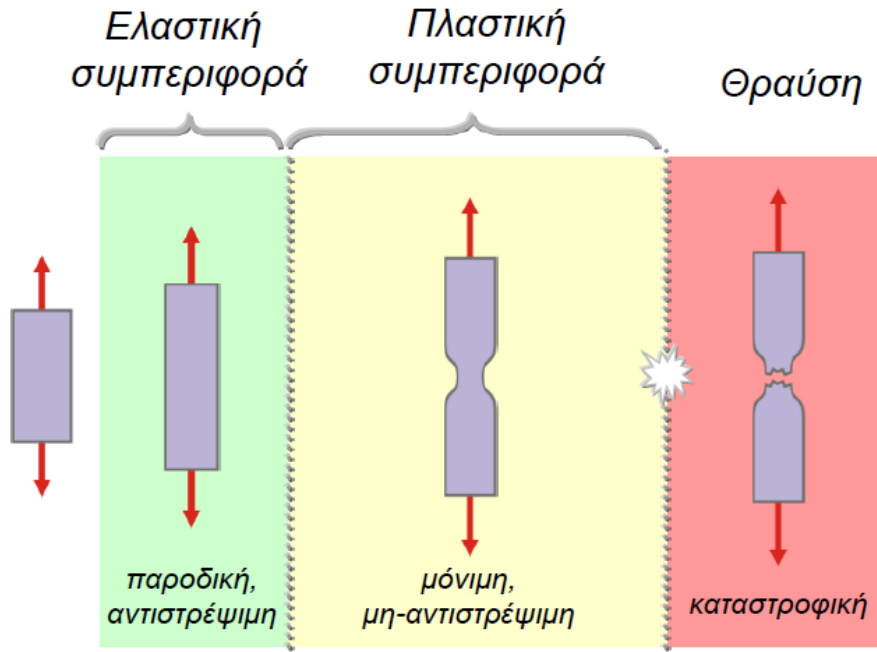
## 2. Τάση – Παραμόρφωση

Δοκιμή εφελκυσμού-tensile test

<https://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kcpcM>



## Πως παραμορφώνεται ένα υλικό υπό συνεχώς αυξανόμενη εφελκυστική τάση;



Στην παρουσίαση αυτή θα περιοριστούμε στην επίδραση δυνάμεων εφελκυσμού (όχι θλίψεως, διάτμησης, στρέψης κ.ά.).

Δύο πολύ χαρακτηριστικά **διαγράμματα μεταβολής τάσης-παραμόρφωσης σε περίπτωση εφελκυσμού**, που περιγράφουν τη συμπεριφορά πολύ μεγάλου πλήθους υλικών παρουσιάζονται στη δεξιά εικόνα. Αρκετά υλικά (π.χ. αλουμίνιο κι άλλα μέταλλα) συμπεριφέρονται υπό την επίδραση εφελκυστικής δύναμης όπως στην κόκκινη καμπύλη) και άλλα (π.χ. ο χάλυβας) όπως στην μπλε καμπύλη.

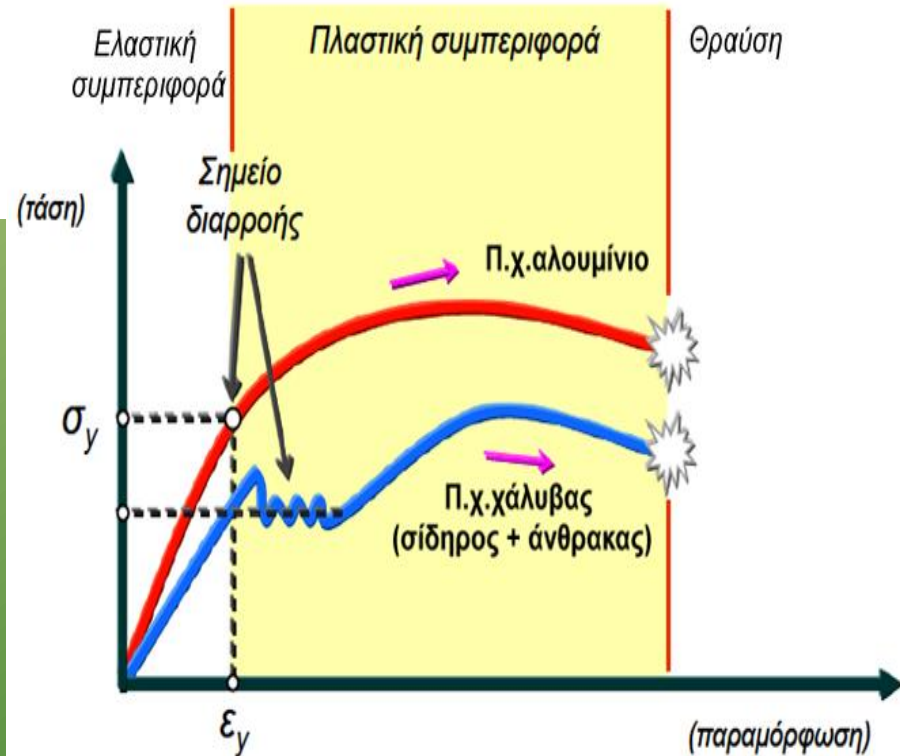
## 2. Τάση – Παραμόρφωση



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

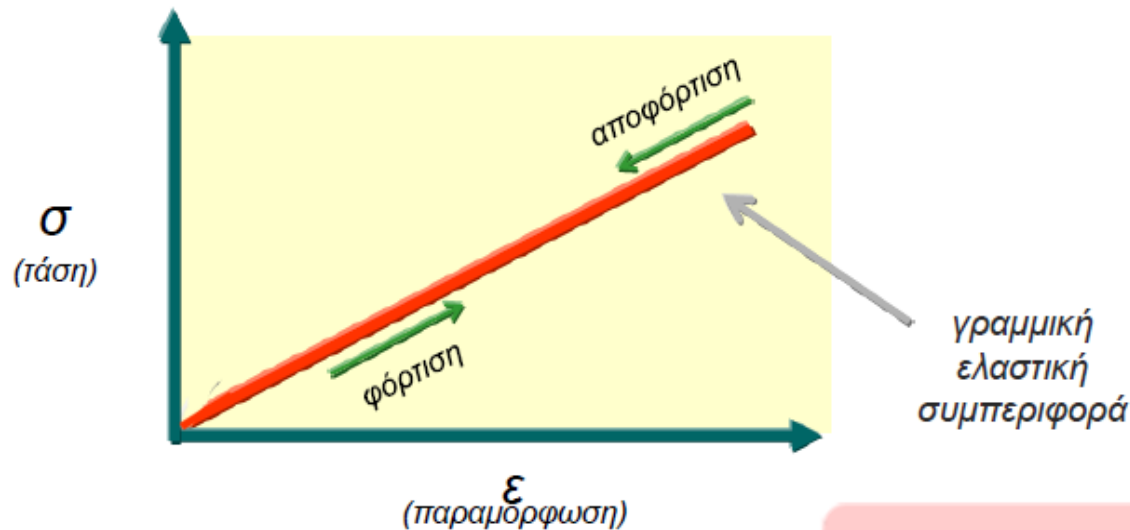
### Υλικά Ι

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών



### 3. Ελαστική συμπεριφορά-προσωρινή παραμόρφωση

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



Στην γραμμική ελαστική συμπεριφορά η τάση είναι ανάλογη της παραμόρφωσης

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

μέτρο ελαστικότητας

Η τάση  $\sigma$  μετριέται σε Pascal στο S.I. και σε psi στο αγγλοσαξωνικό σύστημα, η παραμόρφωση  $\varepsilon$  είναι μέγεθος αδιάστατο και η σταθερά  $E$  που ονομάζεται **μέτρο ελαστικότητας του Young** μετριέται κι αυτή σε Pascal. Όσο μεγαλώνει το  $E$  τόσο πιο **δύσκαμπτο** είναι το υλικό. Ενδεικτικά για τα περισσότερα μέταλλα το  $E$  είναι μεταξύ 45 και 400 GPa.

Στην περιοχή που το υλικό έχει ελαστική συμπεριφορά σε ένα υλικό, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι ισχύει με καλή ακρίβεια ο **Νόμος του Hooke** στην γενική του εκδοχή, που αναφέρει ότι η **τάση  $\sigma$**  και η **παραμόρφωση  $\varepsilon$**  είναι ανάλογα μεγέθη.

Υπάρχει και **μη γραμμική** ελαστική συμπεριφορά αλλά δεν θα γίνει λόγος για αυτή.

ΕΤΥ-349

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ  
ΥΛΙΚΩΝ

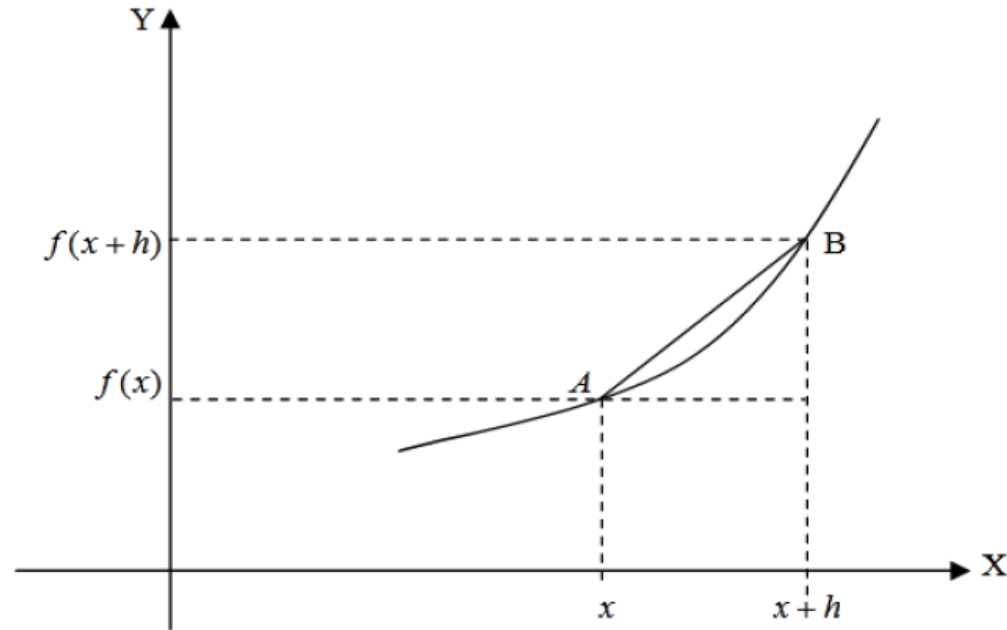
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου



## ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ:

**Κλίση της χορδής AB μεταξύ δύο σημείων A και B της συνάρτησης  $f(x)$**   
Έστω έχουμε τη γραφική παράσταση της συνάρτησης  $f(x)$ . Μεταξύ των σημείων A και B φέρνουμε τη χορδή AB.



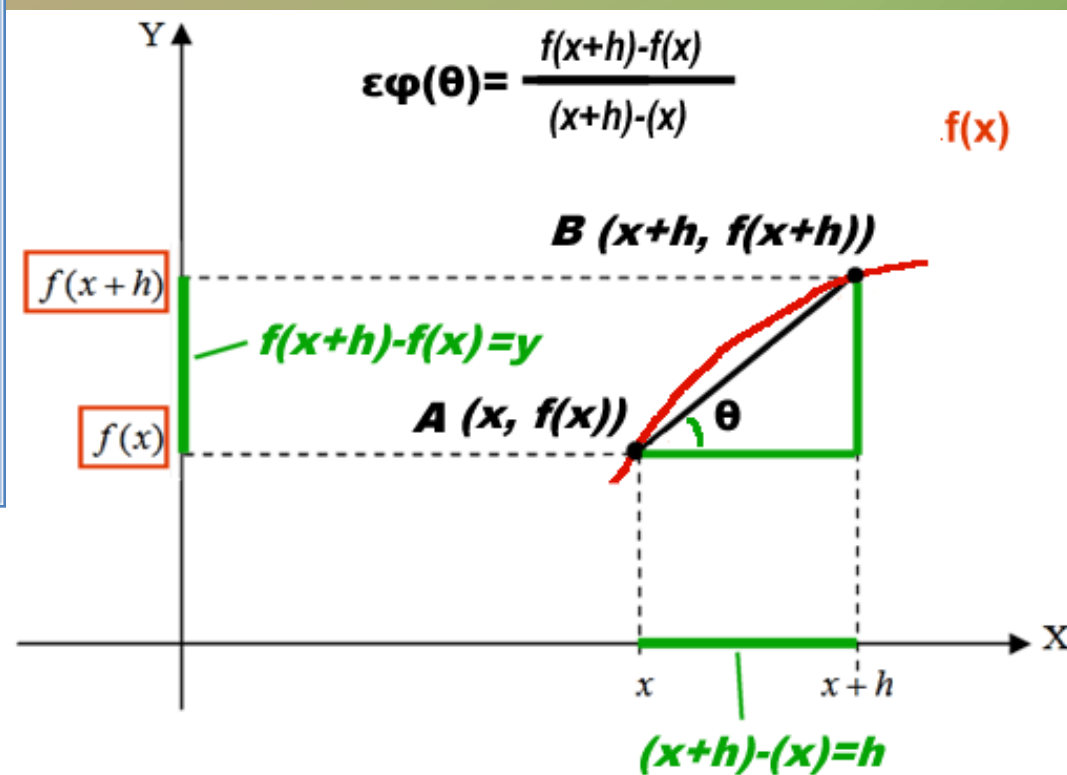
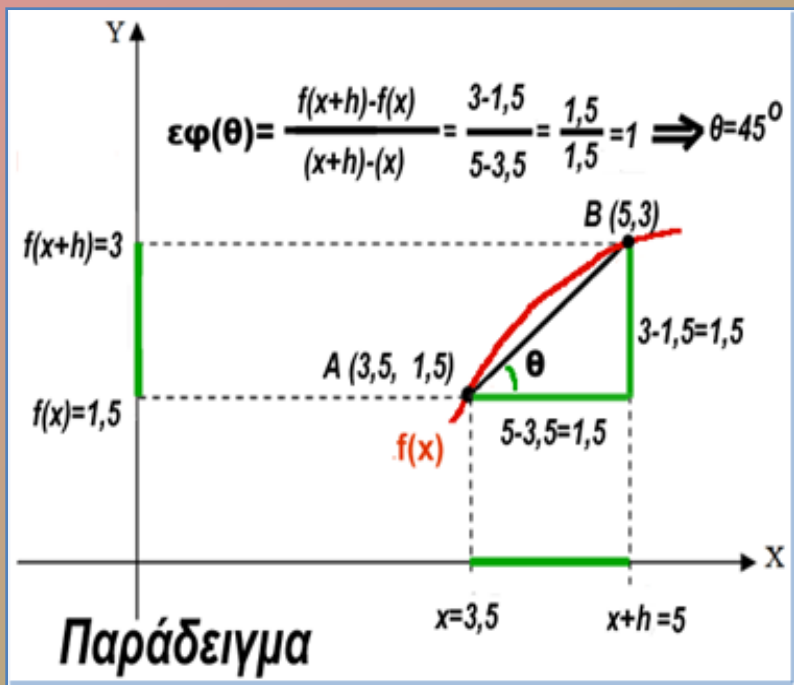
όπου  $h$  είναι ένας αριθμός πολύ κοντά στο μηδέν.

Η κλίση της ευθείας (χορδής)  $AB$  δίνεται από τον τύπο

$$\frac{\text{Μεταβολή του } y}{\text{Μεταβολή του } x} = \frac{f(x+h) - f(x)}{(x+h) - x} \quad \text{ή} \quad \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \frac{\Delta f}{\Delta x}$$

## ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ:

Παράδειγμα κλίσης της χορδής AB μεταξύ δύο σημείων A και B της συνάρτησης  $f(x)$



Στο παραπάνω παράδειγμα το  $h$  δεν είναι πολύ μικρό, ώστε να φανεί πιο εύκολα το φυσικό του νόημα

όπου  $h$  είναι ένας αριθμός πολύ κοντά στο μηδέν.

Η κλίση της ευθείας (χορδής)  $AB$  δίνεται από τον τύπο

$$\frac{\text{Μεταβολή του } y}{\text{Μεταβολή του } x} = \frac{f(x+h) - f(x)}{(x+h) - x} \quad \eta \quad \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \frac{\Delta f}{\Delta x}$$

### 3. Ελαστική συμπεριφορά-Παραμόρφωση

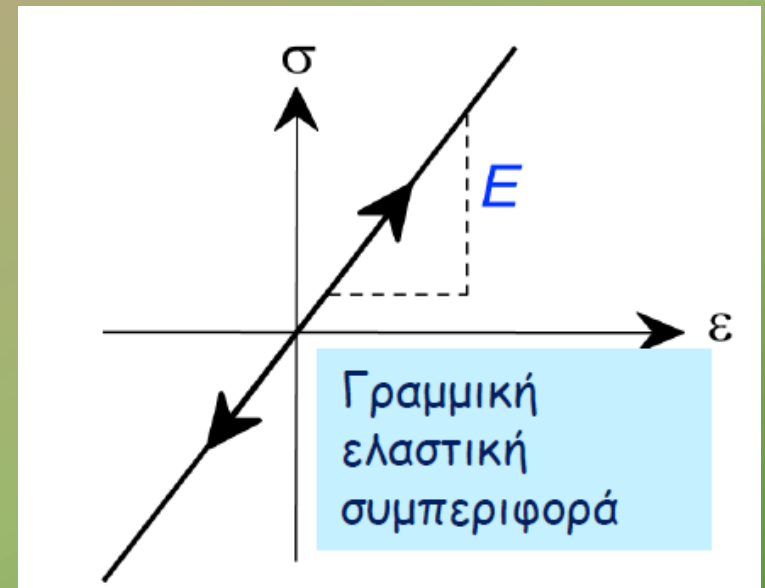
Διερεύνηση σχετικά με το μέτρο του Young στη γραμμική ελαστική συμπεριφορά:

το μέτρο Young είναι η κλίση της ευθείας  $\sigma(\epsilon)$ .

α) Συμπληρώστε τις τιμές που λείπουν για υλικό που έδωσε στο τεστ εφελκυσμού τις ακόλουθες μετρήσεις.

β) Βρείτε το μέτρο του Young (με τις μονάδες του)

$\sigma$ (Pascal)	$\epsilon$ (χωρίς μονάδες)
500	12
.....	122
100	.....
1300	.....



ΕΥ-349  
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ  
ΥΛΙΚΩΝ  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης  
Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου

### 3. Ελαστική συμπεριφορά-Παραμόρφωση

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)

\*  $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$



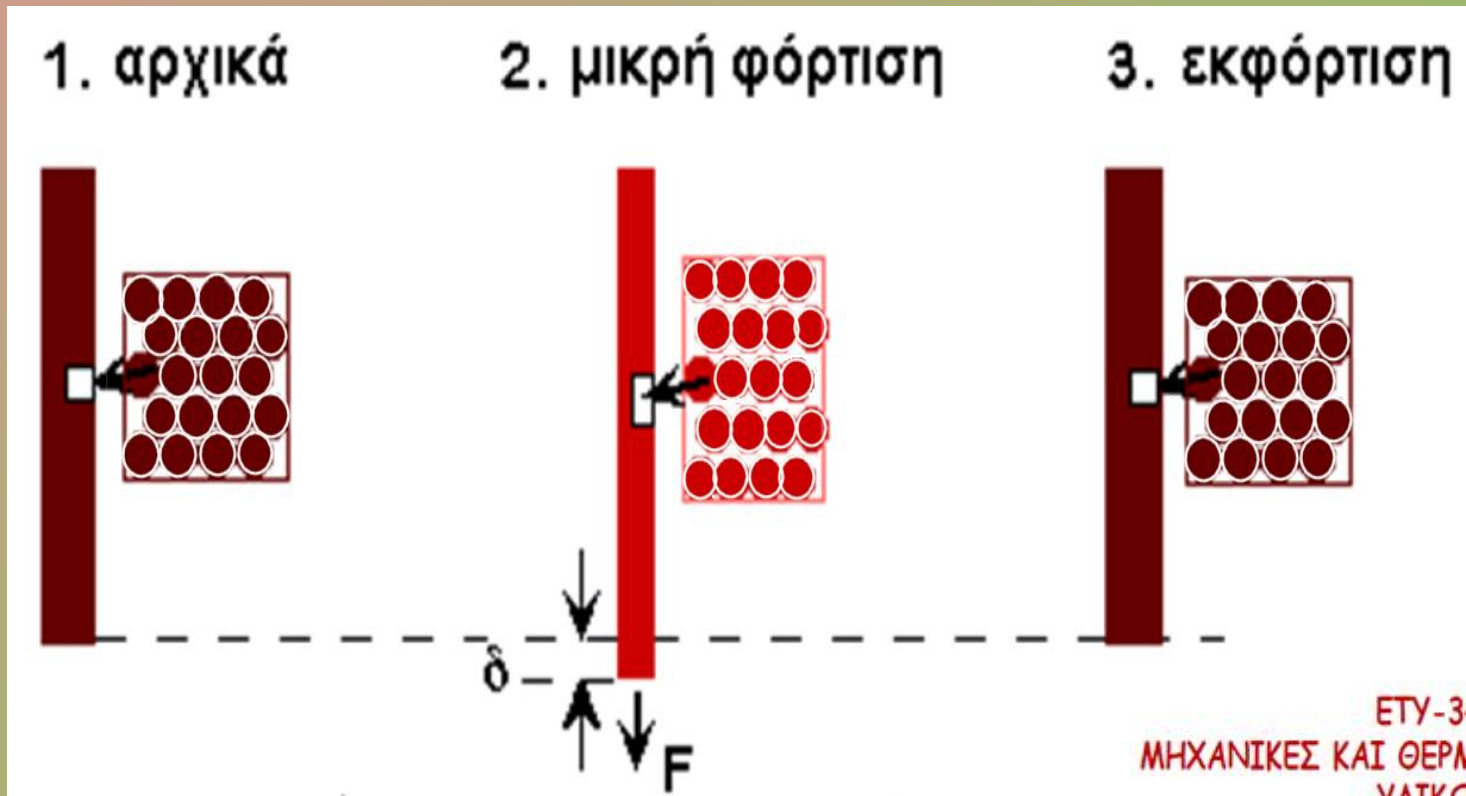
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Υλικά Ι

Δημήτρης Πατάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών



### 3. Ελαστική συμπεριφορά-Παραμόρφωση



ΕΥ-349  
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ  
ΥΛΙΚΩΝ  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης  
Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου

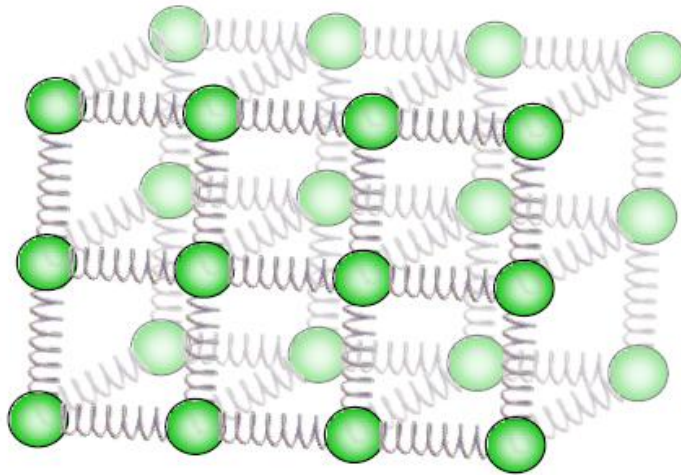
Ελαστική συμπεριφορά σημαίνει αναστρέψιμη συμπεριφορά

Μία προσπάθεια παράστασης των ατόμων-δεσμών κατά την εφελκυστική φόρτιση-εκφόρτιση στην ελαστική περιοχή φαίνεται στην πάνω εικόνα. Μετά την παύση της δύναμης-φόρτισης, το σώμα αποκτά το αρχικό του σχήμα.



### 3. Ελαστική συμπεριφορά-Παραμόρφωση

#### Ελαστική συμπεριφορά – ατομική κλίμακα



Μοντέλο  
ελατηρίων

Μακροσκοπική ελαστική  
παραμόρφωση



Αλλαγή στις διατομικές  
αποστάσεις



Μία προσπάθεια  
παράστασης των  
ατόμων-δεσμών  
κατά την  
εφελκυστική  
φόρτιση-εκφόρτιση  
στην ελαστική  
περιοχή φαίνεται  
στη διπλανή εικόνα  
(από άλλη πηγή)



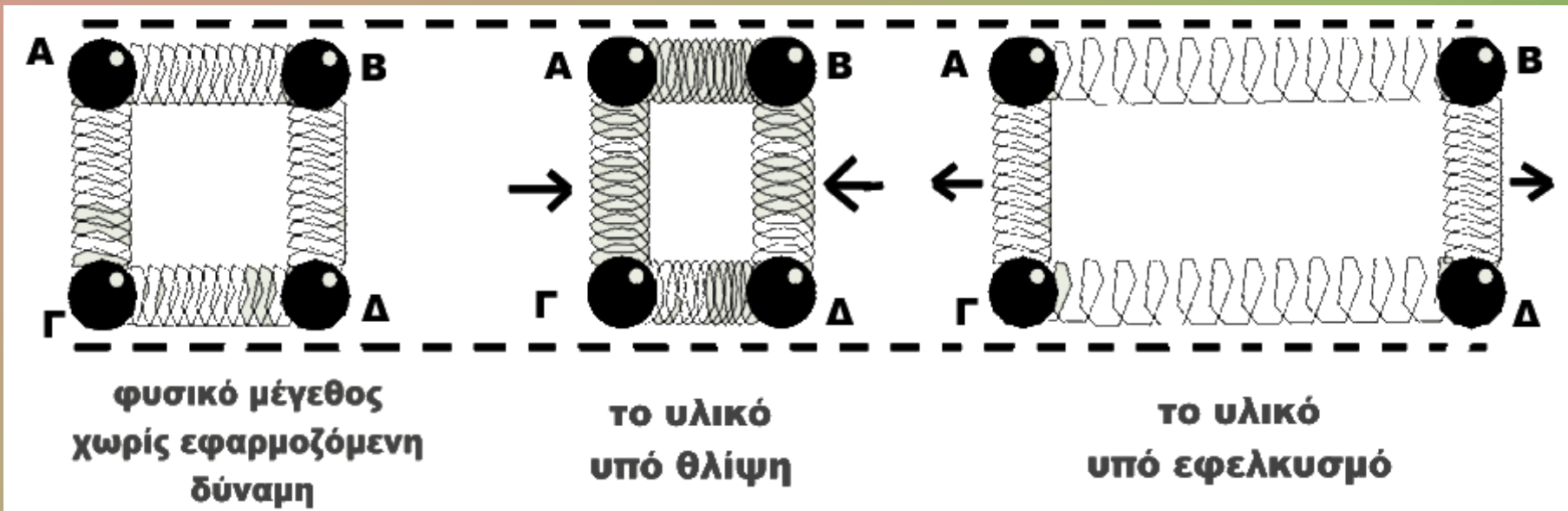
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

## Υλικά Ι

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών



### 3. Ελαστική συμπεριφορά-Παραμόρφωση



**Απλοποιημένο μηχανικό μοντέλο υλικού που αναφέρεται κυρίως στην ελαστική περιοχή**

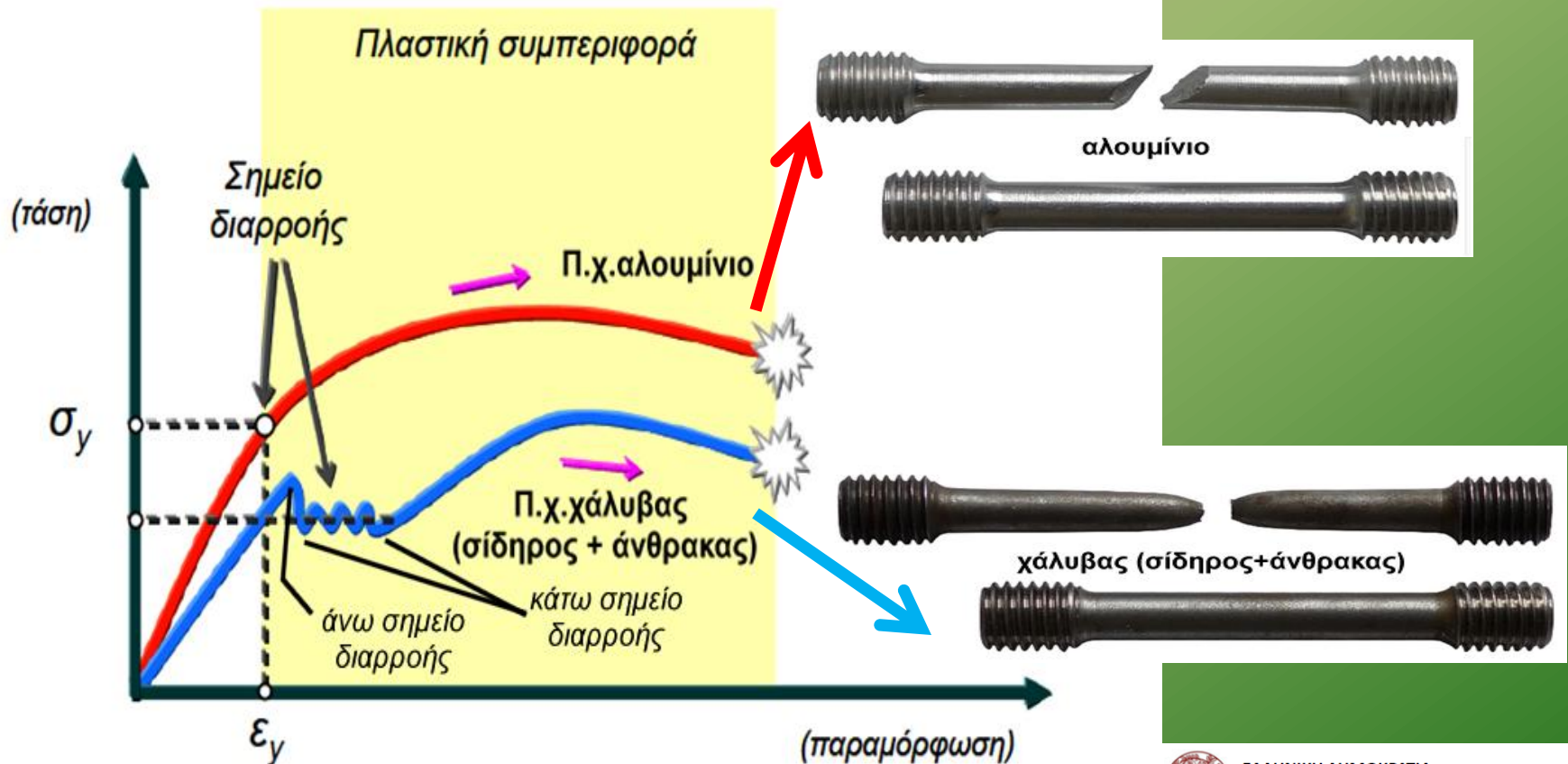
Στην πράξη ακόμα και σε πολύ μικρή ποσότητα κάθε υλικού, υπάρχει τεράστιος αριθμός ατόμων, αλλά εδώ για λόγους απλοποίησης προβάλλονται μόνο 4 άτομα.

Οι ηλεκτρικές δυνάμεις, ανά δύο μεταξύ των ατόμων παριστάνονται καταχρηστικά με ελατήρια ( $A \leftrightarrow B$ ,  $A \leftrightarrow \Gamma$ ,  $B \leftrightarrow \Delta$ ,  $\Gamma \leftrightarrow \Delta$ ). Παρότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις υπάρχουν μεταξύ όλων των ατόμων (δηλαδή ενώ υπάρχουν και δυνάμεις μεταξύ  $A \leftrightarrow \Delta$  και  $B \leftrightarrow \Gamma$ ), δεν ζωγραφίζονται στο σχήμα για λόγους απλοποίησης του σχήματος, αλλά και γιατί είναι λίγο ασθενέστερες.

## 4. Πλαστική συμπεριφορά-Παραμόρφωση

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

<https://www.tec-science.com/material-science/material-testing/tensile-test/>  
24-4-2020



**Διαρροή:** Η εμφάνιση της πλαστικής παραμόρφωσης (yield).

Σε ορισμένα υλικά η μετάβαση στην περιοχή πλαστικότητας γίνεται απότομα (σε ένα σημείο-σημείο διαρροής) -βλέπε κόκκινη καμπύλη. Σε άλλα υλικά εμφανίζεται με μια πιο διευρυμένη πορεία μετάβασης –βλέπε μπλε καμπύλη.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

### Υλικά Ι

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών

## 4. Πλαστική συμπεριφορά-Μόνιμη παραμόρφωση



ΕΥ-349

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ  
ΥΛΙΚΩΝ

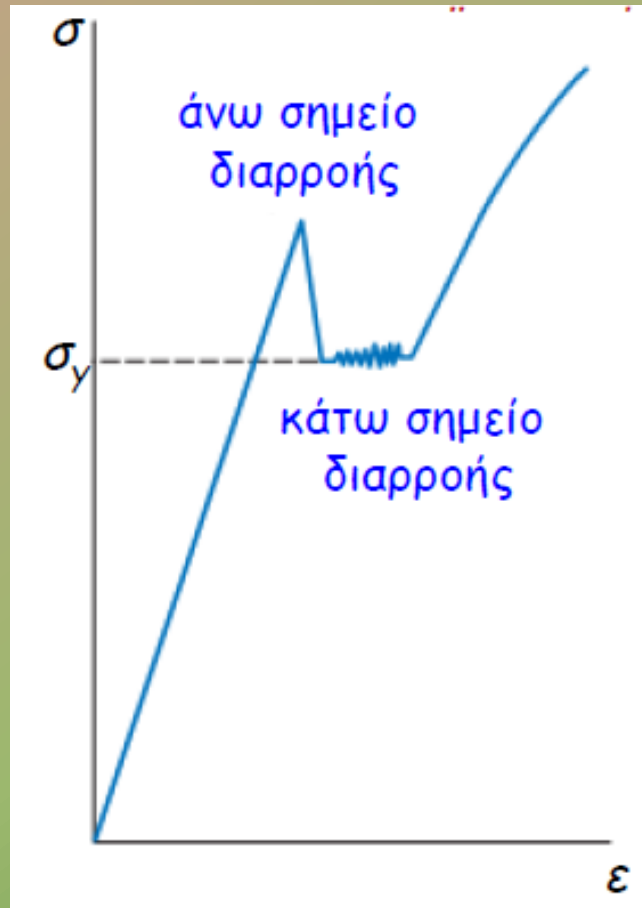
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου

**Διαρροή:** Η εμφάνιση της πλαστικής παραμόρφωσης (yield).



#### 4. Πλαστική συμπεριφορά- Μόνιμη παραμόρφωση



Εστίαση στην περιοχή μετάβασης από την ελαστική στην πλαστική περιοχή

ΕΥ-349  
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ  
ΥΛΙΚΩΝ

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογία Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Διδάσκων: Βασίλης Παλτόγλου



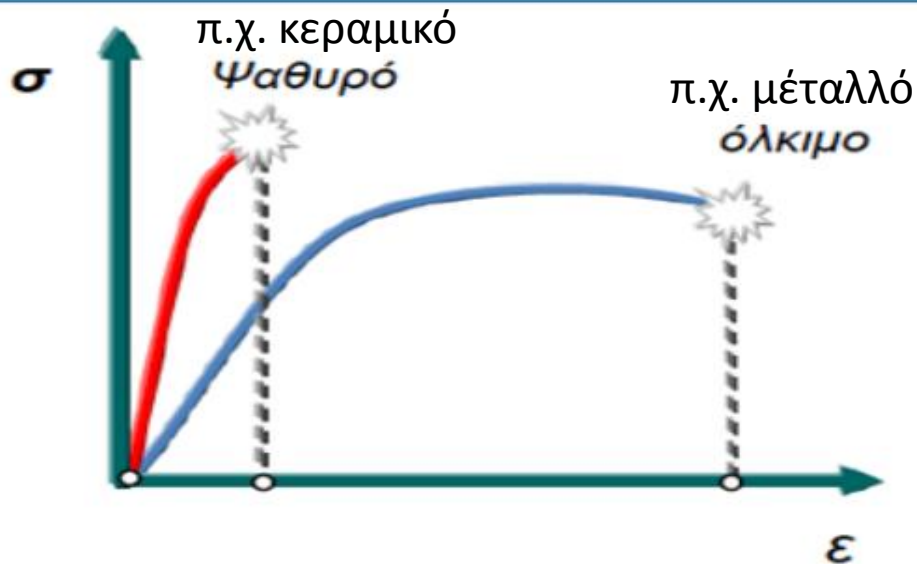
**Διαρροή:** Η εμφάνιση της πλαστικής παραμόρφωσης (yield)



## 5. Αντοχή, ολκιμότητα, ασφάλεια

### Ολκιμότητα (Ductility)

Μέτρο του βαθμού πλαστικής παραμόρφωσης  
έως την θραύση



Ψαθυρά όσα έχουν παραμόρφωση θραύσης  $\epsilon < 5\%$



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**Υλικά Ι**

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών

## 5. Αντοχή, ολκιμότητα, ασφάλεια

### Παράγοντας ασφαλείας

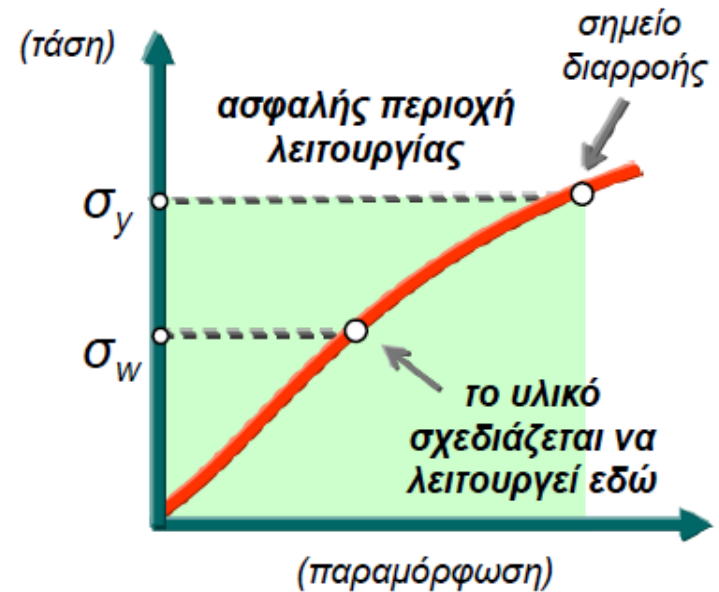
Σε κατασκευή τα υλικά πρέπει να καταπονούνται σε τέτοιο βαθμό που να λειτουργούν πάντα στην **ελαστική περιοχή**

$$\sigma_w \equiv \frac{F}{S} \leq \sigma_y$$

τάση εργασίας  $\sigma_w$       τάση διαρροής  $\sigma_y$

Ως παράγοντα ασφαλείας **N** ορίζουμε τον λόγο:

$$N \equiv \frac{\sigma_y}{\sigma_w} > 1$$



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

### Υλικά Ι

Δημήτρης Παπάζογλου  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών