CHM_671: Εργαστήριο Πολυμερών

Καμπύλες Εφελκυσμού Πολυμερών

Κωνσταντίνος Δάσιος
Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Πάτρα, Απρίλιος 2021

Χαρακτηρισμός Μηχανικών Ιδιοτήτων

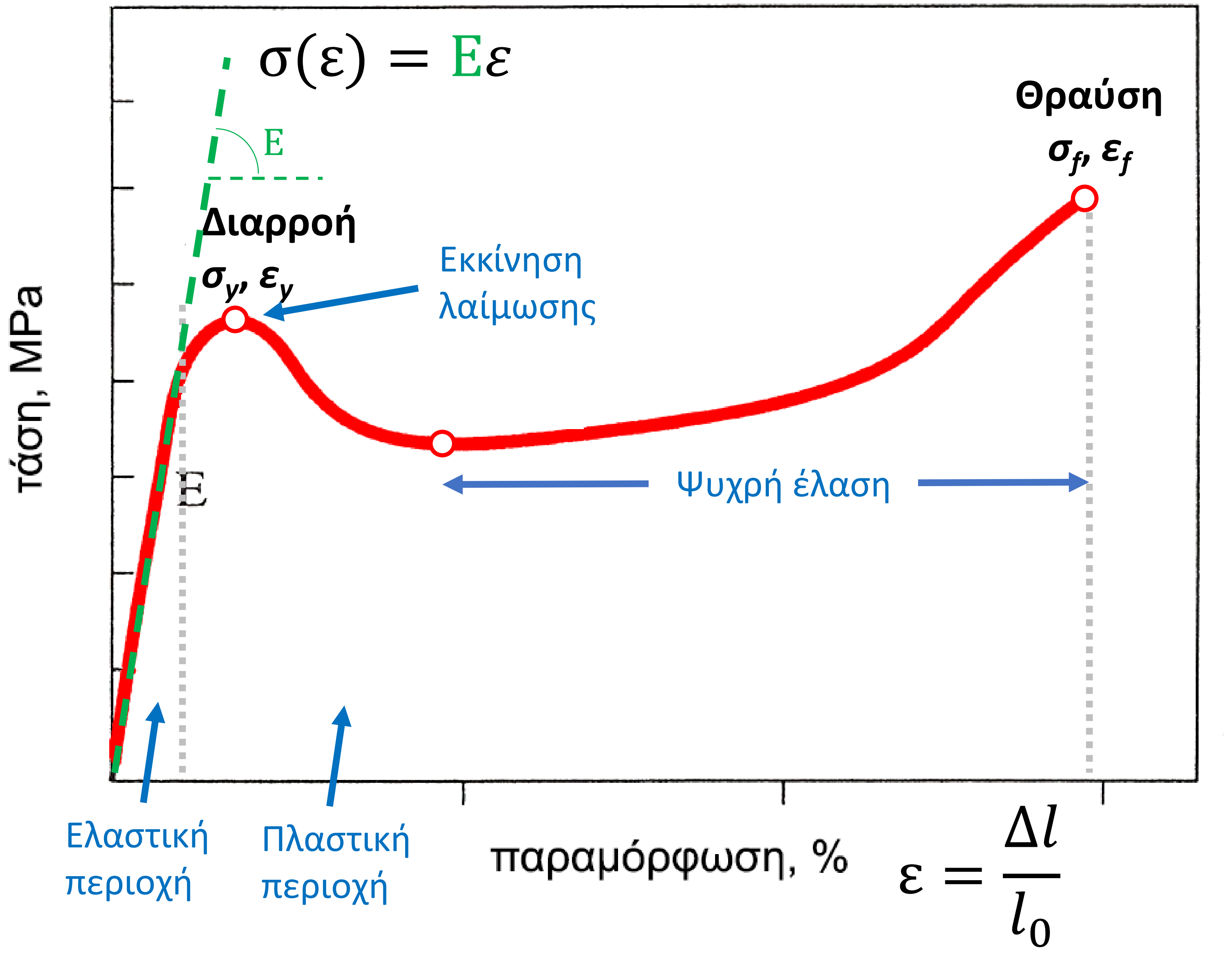
- Δοκιμή Εφελκυσμού:
  - Επιβολή αξονικού φορτίου (φόρτιση σε μια διεύθυνση) υπό σταθερό ρυθμό επιμήκυνσης
  - Καταγραφή φορτίου *F*, σαν συνάρτηση επιμήκυνσης *Δl*, καταγραφή καμπύλης δύναμης-μετατόπισης, *F-Δl*
  - Μετατροπή σε καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης *σ-ε*
  - Υπολογισμός μηχανικών ιδιοτήτων

- Υπολογιζόμενες Ιδιότητες:
  - Μέτρο ελαστικότητας Young (Young's modulus, *E*, GPa)
  - Αντοχή διαρροής (ή όριο διαρροής, yield strength, MPa)
  - Τάση και παραμόρφωση θραύσης (failure strength and strain)
  - Ενέργεια θραύσης («δυσθραυστότητα»)
  - Περιοχές: ελαστική (elastic), λαίμωσης (necking), ψυχρής έλασης (cold drawing)
  - Τύπος θραύσης: ψαθυρή ή όλκιμη

Τύποι Πολυμερών

- Ελαστομερή ή καουτσούκ: άμορφα, ελαστικά
  - Χρησιμοποιούνται σε $T>T_{G.}$
  - Δεν σχηματίζουν διαλύματα
- Θερμοπλαστικά: κρυσταλλικά ή υαλώδη
  - Αποτελούνται από γραμμικές ή διακλαδωμένες αλυσίδες
  - Επιτρέπουν τήξη και συνεπακόλουθη εξέλαση και χύτευση για μορφοποίηση
  - Σχηματίζουν διαλύματα
  - *πχ. Πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, πολυμεθακρυλικός μεθυλεστέρας, πολυαμίδια, πολυεστέρες*
- Θερμοσκληραινόμενα: άμορφα, ισχυρά δικτυωμένα κατά την παρασκευής τους
  - Δεν τήκονται, δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν με άλλη μορφή, δεν σχηματίζουν διαλύματα.
  - Ελάχιστα παραμορφώσιμα
  - *π.χ. Φαινολικές ρητίνες, εποξειδικές ρητίνες, αφροί πολυουρεθάνης*

Τυπικό Διάγραμμα Εφελκυσμού

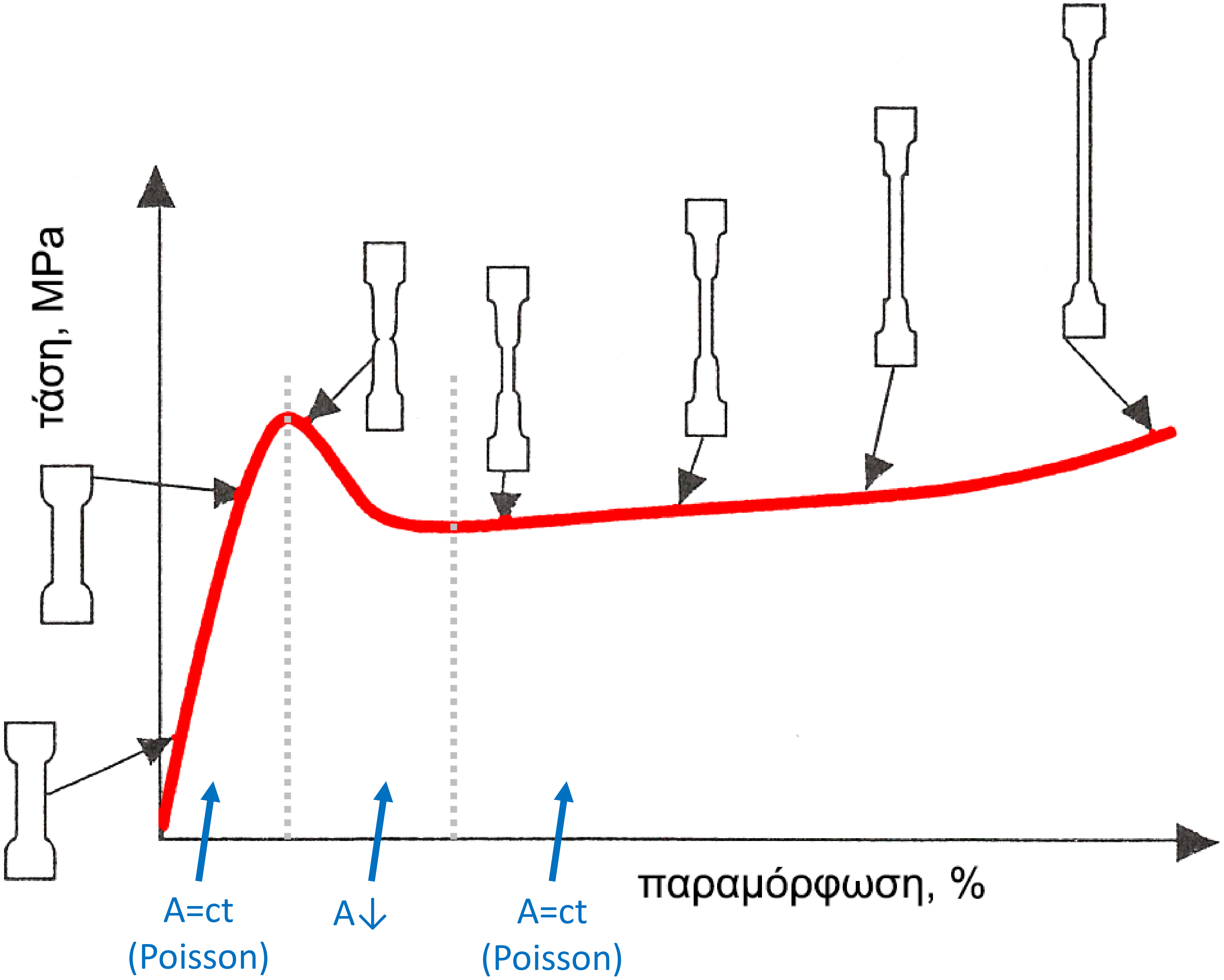


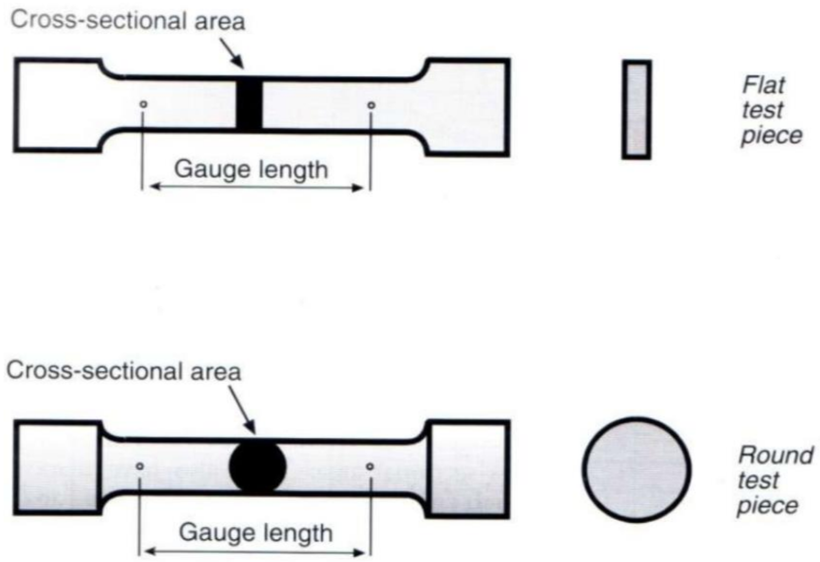
$$\sigma = E\varepsilon \rightarrow$$

$$\frac{F}{A} = E\frac{\Delta l}{l_0} \rightarrow$$

$$F = \frac{AE}{l_0}\Delta l$$

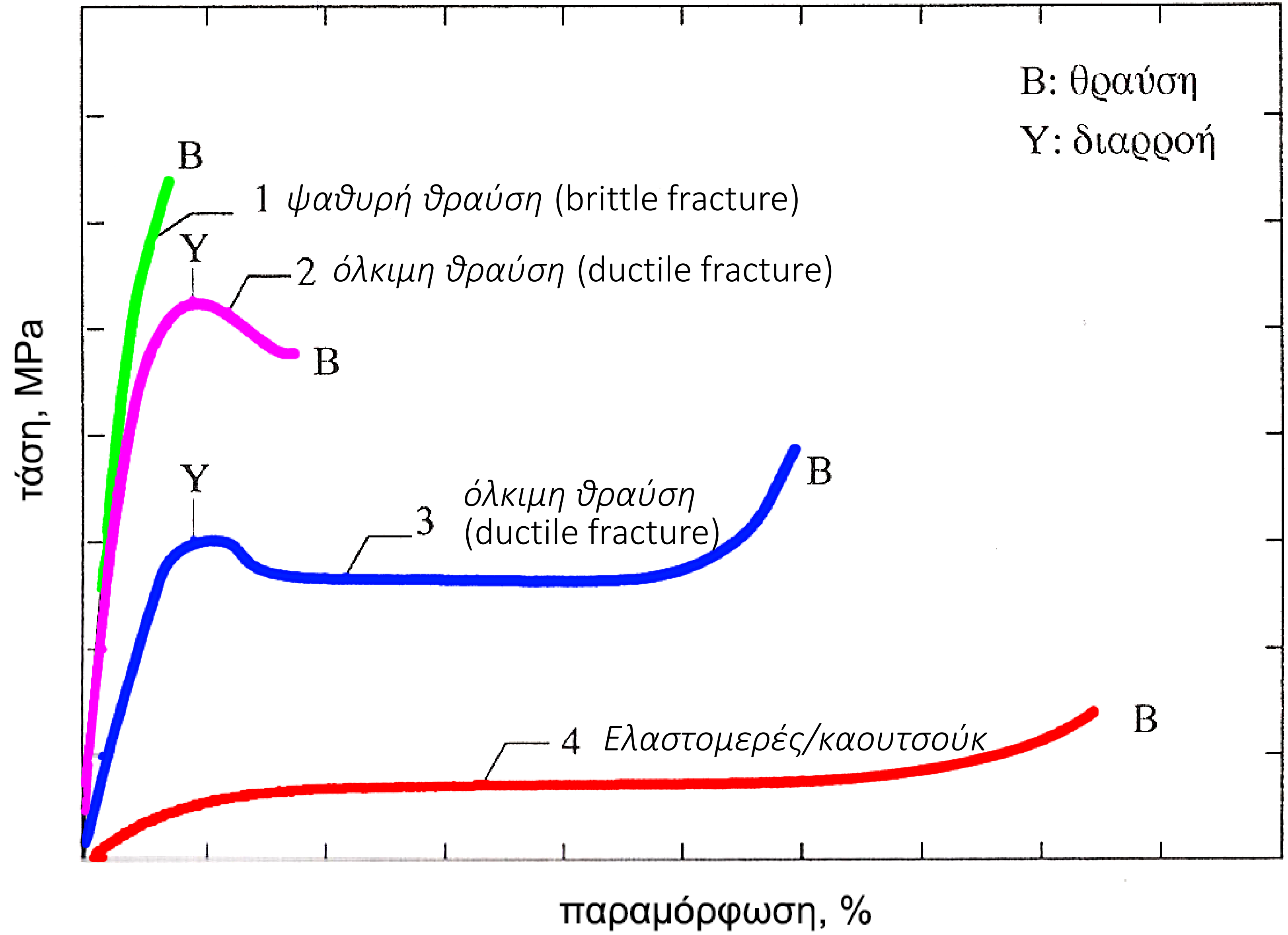
Φαινόμενη Μείωση Τάσης & Επιφάνεια Διατομής





- Η διατομή Α μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής
- Υπολογισμός ονομαστικής τάσης διότι χρησιμοποιούμε την ονομαστική (αρχική) επιφάνεια διατομής, $A=A_0$

Τρόποι θραύσης των πολυμερών

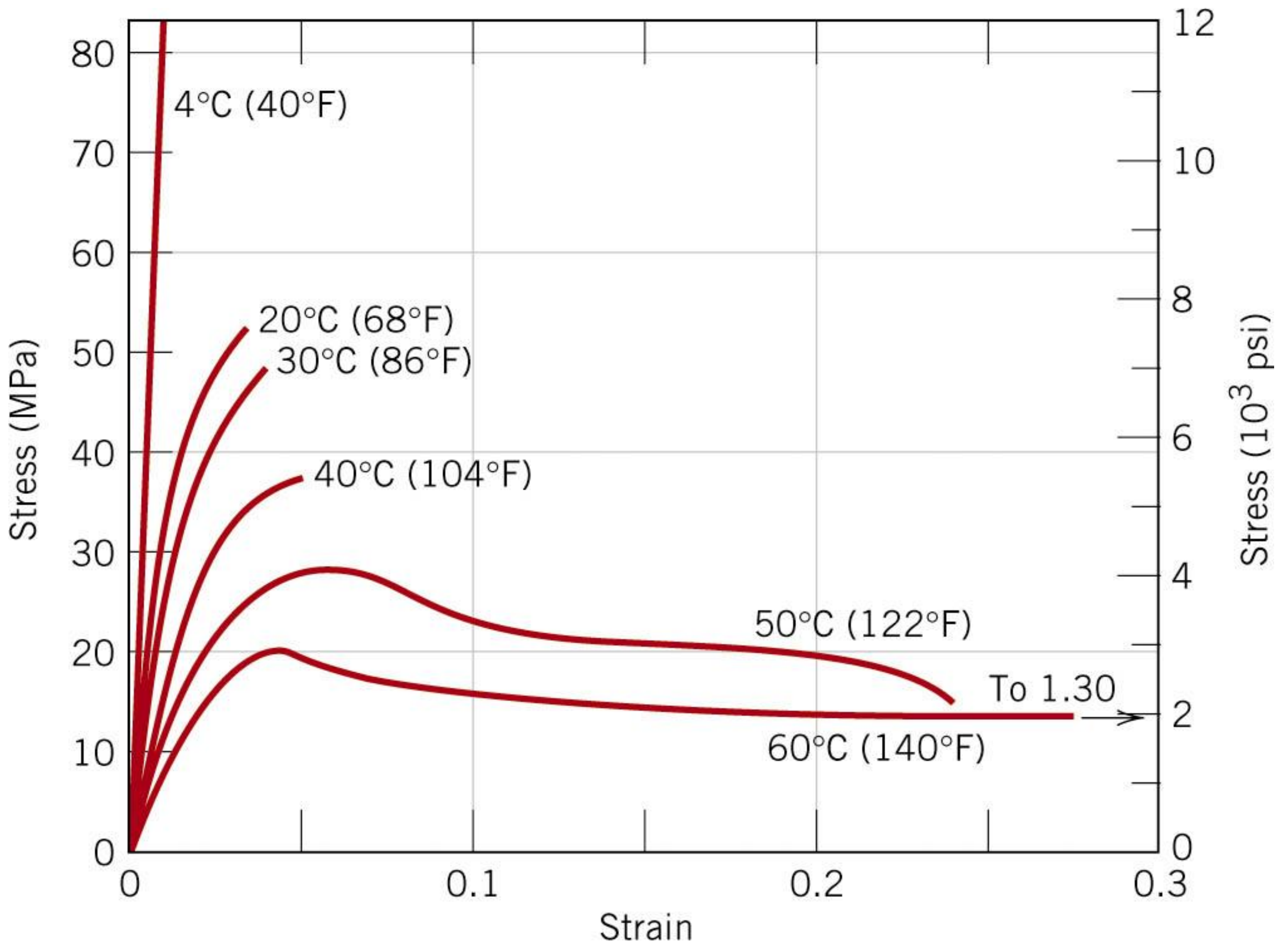


1: Θραύση πριν τη διαρροή: ψαθυρή. Υαλώδη (πχ. Πολυστυρένιο), πολύ κρυσταλλικά ή θερμοσκληραινόμενα πολυμερή

2 & 3: Θραύση μετά τη διαρροή: όλκιμη, πχ πολυαιθυλένιο, τεφλόν, νάυλονς

4: Ελαστομερές. Πολύ ελαστικό διασυνδεδεμένο μακρομοριακό υλικό, πχ καουτσούκ

Θερμοκρασιακή εξάρτηση της καμπύλης σ-ε



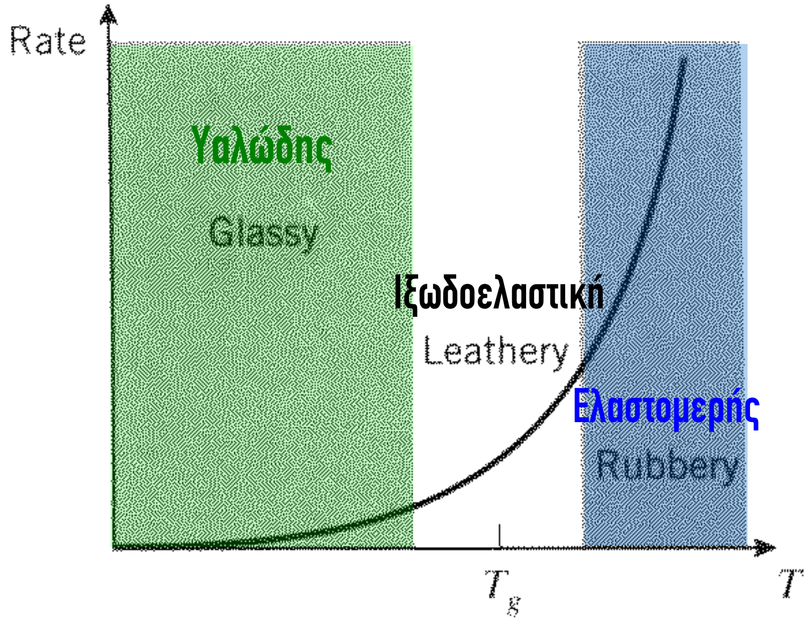
Poly(methyl acrylate), PMA

T_G~283 K

Χρονική εξάρτηση της καμπύλης σ-ε

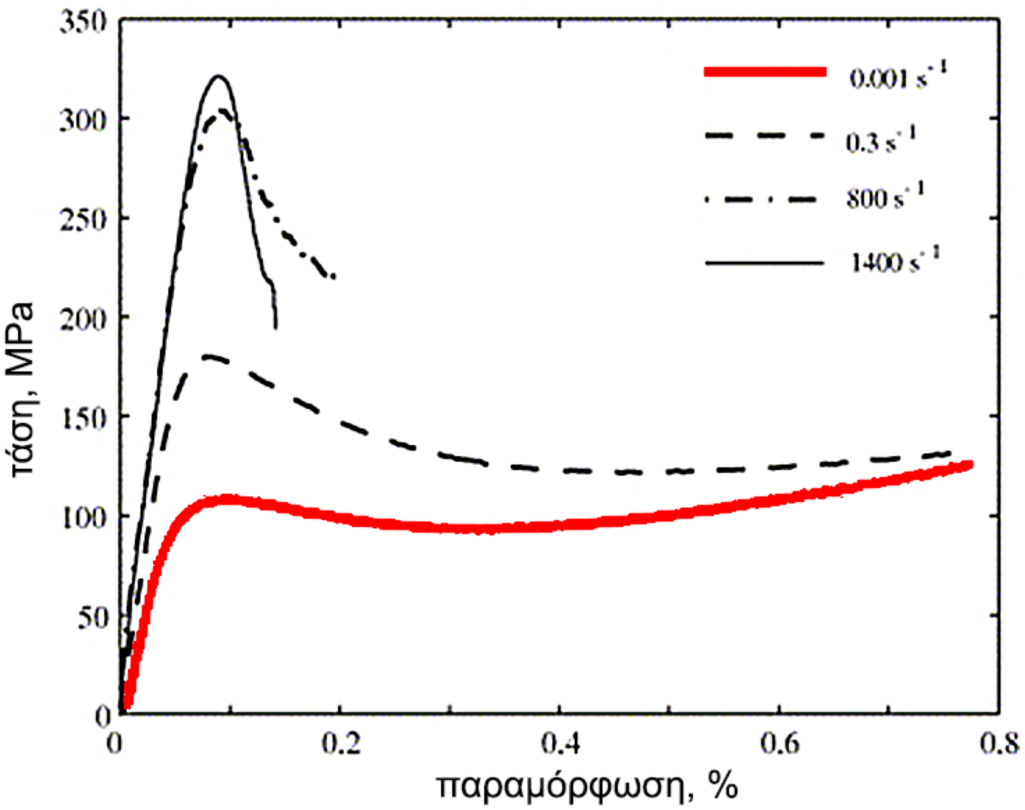
Ρυθμός μεταβολής εντροπίας/διαμόρφωσης συστήματος με T

$$\text{rate} \propto \exp\frac{-E}{RT}$$



Engineering Viscoelasticity, David Roylance, MIT, 2001

Ιξωδοελαστικότητα (viscoelasticity)



Poly(methyl methacrylate) PMMA

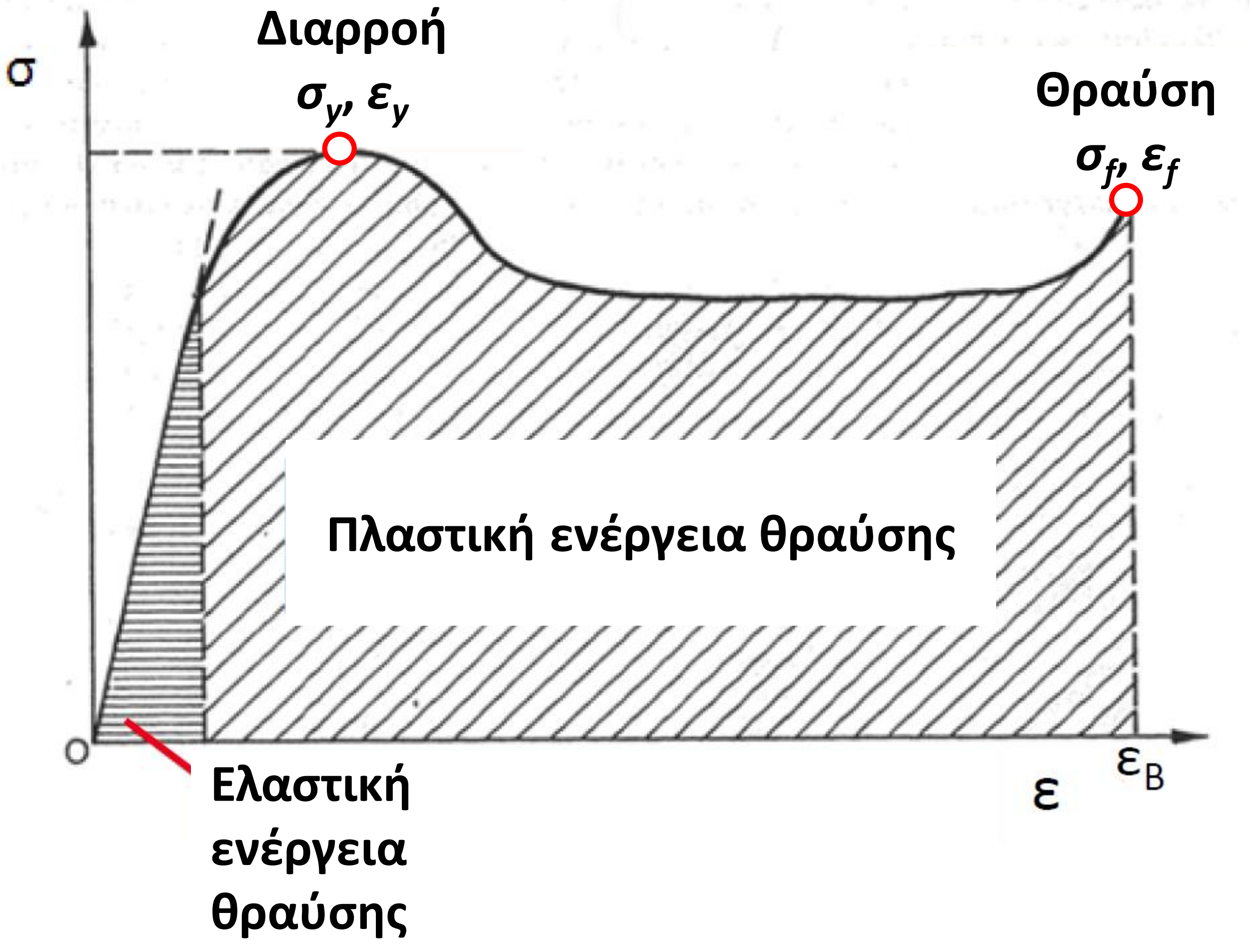
Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το διάγραμμα σ-ε: το είδος του υλικού, η προϊστορία του, η γεωμετρία δοκιμίου, η εξωτερική πίεση, το περιβάλλον

Ενέργεια Θραύσης

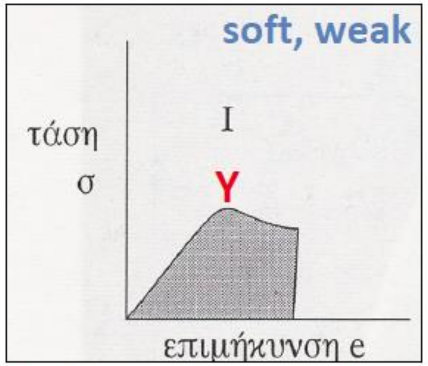
$$W_B = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$$

εμβαδόν κάτω από την καμπύλη εφελκυσμού

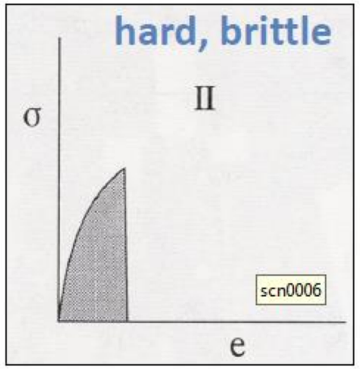
ε_f η παραμόρφωση θραύσης



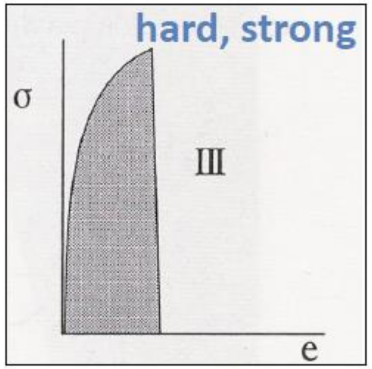
Ενέργεια θραύσης και μορφή καμπύλης σ-ε



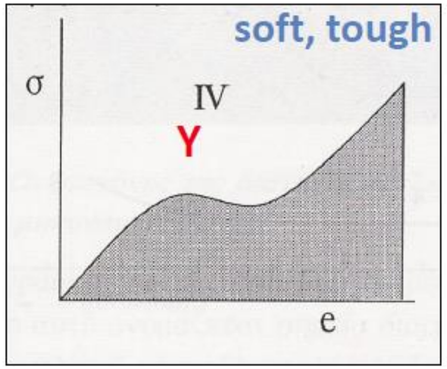
I: Μαλακά, εύκαμπτα πολυμερή
Χαμηλό μέτρο Ε
Παρουσία διαρροής



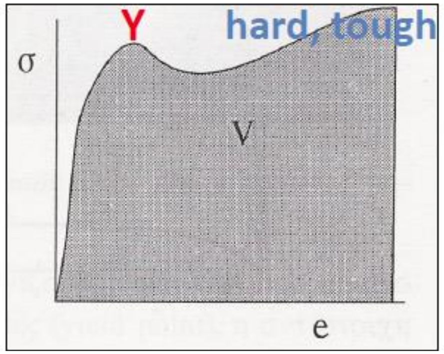
II: Σκληρά, ψαθυρά πολυμερή
Υψηλό μέτρο Ε
Απουσία διαρροής



III: Σκληρά, δύσκαμπτα πολυμερή
Πολύ υψηλό μέτρο Ε
Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό
Απουσία διαρροής



IV: Μαλακά, δύσκαμπτα πολυμερή
Χαμηλό μέτρο Ε
Υψηλή παραμόρφωση θραύσης
Παρουσία διαρροής



V: Σκληρά, δύσκαμπτα πολυμερή
Πολύ υψηλό μέτρο Ε
Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό
Υψηλή παραμόρφωση θραύσης
Παρουσία διαρροής

Πειραματική διαδικασία

INSTRON 3345 Tensile Testing Machine

- Δοκιμή υπό σταθερό ρυθμό επιμήκυνσης
- Δοκίμιο προσδένεται σε δύο αυτοσυσφιγγούμενες σιαγόνες (κάτω σταθερή, άνω κινητή)
- Η άνω σιαγόνα μετακινείται με τη βοήθεια ατέρμονων κοχλίων με ρυθμιζόμενη ταχύτητα

1. Εισαγωγή στον εφελκυσμό: VIDEO Link
2. Ελαστομερή - καουτσούκ: VIDEO Link
3. Δοκιμή καουτσούκ: VIDEO Link
4. Δοκιμή HDPE: VIDEO Link
5. Δοκιμή PET: VIDEO Link

- Δυναμοκυψέλη: μετατρέπει τις τιμές τις δύναμης που φέρει το δοκίμιο σε ηλεκτρικό δυναμικό (ηλεκτρονικό «κανταράκι»)
- Καταγραφή ζευγών τιμών (*F*, *Δl*) κατά την διάρκεια της δοκιμής

Πειραματική διαδικασία (2)

<u>Δείγματα που υποβάλλονται σε δοκιμή:</u>

1. Βουλκανισμένο φυσικό καουτσούκ
2. Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)
3. Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)
4. Πολυπροπυλένιο (PP)
5. Πολυστυρένιο (PS)

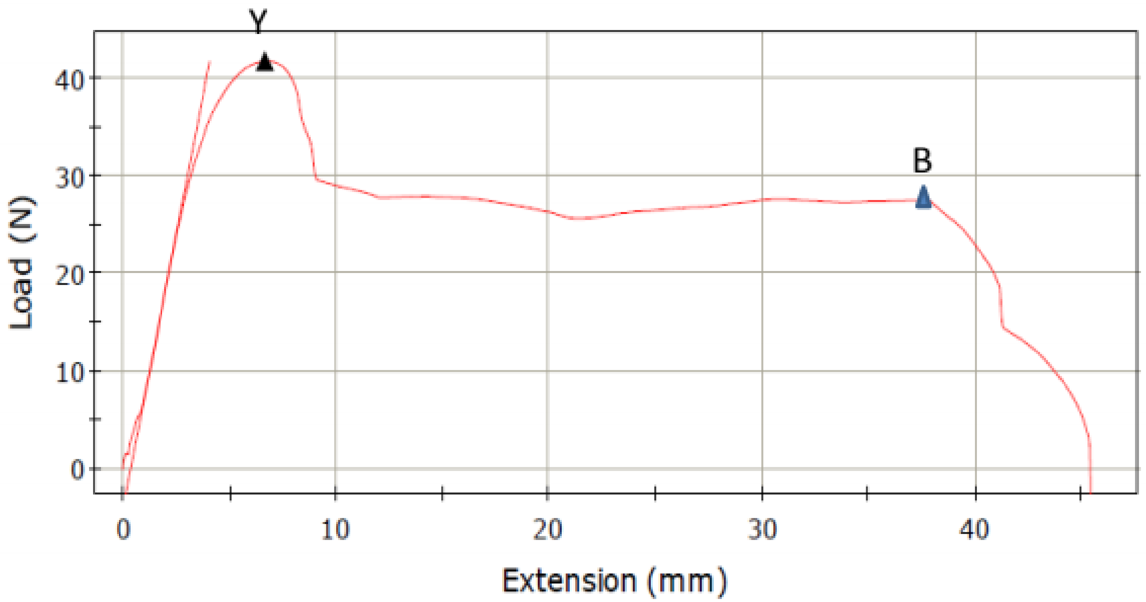
<u>Βήματα και υπολογισμοί:</u>

1. Μέτρηση διαστάσεων δοκιμίων με παχύμετρο & μικρόμετρο
2. Χρήση λογισμικού Bluehill για καθορισμό παραμέτρων δοκιμής (γεωμετρία δοκιμίων, ρυθμός επιμήκυνσης κ.λ.π.)
3. Δείγμα προσδένεται με προσοχή στιςσιαγόνες
4. Διεξαγωγή εφελκυστικής δοκιμής, καταγραφή δεδομένων
5. Συλλογή δεδομένων (*F*, *Δl*) και ανάλυση για προσδιορισμό:
   i. Καμπύλης σ-ε
   ii. Μέτρου Young, E, υλικού
   iii. Τάσης & παραμόρφωσης διαρροής
   iv. Τάσης & παραμόρφωσης θραύσης
   v. Ενέργεια θραύσης

Πειραματική διαδικασία (3)

Τυπική μορφή δεδομένων:

Δείγμα 3 : High density polyethylene, HDPE



	Rate 1 (mm/min)	Thickness (mm)	Width (mm)	Length (mm)
1	40.00000	0.36000	6.50000	120.50000

	Modulus (Automatic) (MPa)	Tensile extension at Yield (Zero Slope) (mm)	Load at Yield (Zero Slope) (N)	Tensile extension at Break (Standard) (mm)
1	577.90175	6.66686	41.69500	48.57492

Energy at Break (Standard) (J)
1.16871

Ανακοινώσεις

Βιβλιογραφία & Περισσότερη μελέτη:

- «Συνθετικά Μακρομόρια, Βασική Θεώρηση», Α.Ντόντος, Εκδ. Κωσταράκης, Αθήνα, 2012
- «Επιστήμη και Τεχνολογία Πολυμερών», Κ. Παναγιώτου, Εκδ. ΠΗΓΑΣΟΣ, Θεσσαλονίκη, 2000.
- «Επιστήμη Πολυμερών», Κωνσταντίνος Τσιτσιλιάνης, Εκδ. Παν. Πατρών, Πάτρα, 2015
- Κεφάλαιο 16, «Υλικά: Δομή, Ιδιότητες & Τεχνολογικές Εφαργογές», D.R. Askeland, W.J. Wright, 7η Έκδοση, Εκδ. Τζιόλα 2020
- Υλικό μαθήματος «Εργαστήριο Πολυμερών» https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2158/
- Υλικό μαθήματος «Επιστήμη Πολυμερών» https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2154/

Ώρες συνεργασίας με φοιτητές, Τετάρτη 12.00-15.00:
https://upatras-gr.zoom.us/j/97691547663?pwd=M3kwMk5WcnIza3djWUZGb2dON3I2QT09

Meeting ID: 976 9154 7663
Passcode: 772307