

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εφαρμοσμένο αντικείμενο της Μηχανικής των Ρευστών

◆ Φυσικές ροές ρευστών

- Ατμοσφαιρικές κινήσεις
- Ροές στην επιφάνεια της Γης (ποτάμια, πλημμύρες, ωκεανοί-θάλασσες κλπ.)
- Υπόγειες ροές
- Μεταφορά στερεών (φερτά) και ρύπανση

Εφαρμοσμένο αντικείμενο της Μηχανικής των Ρευστών

◆ Τεχνολογικά έργα

- Φράγματα, κλειστοί αγωγοί μεταφοράς, ανοικτοί αγωγοί -κανάλια
- Ναυπηγική, αεροναυπηγική, οχήματα
- Συσκευές που λειτουργούν με ρευστά (π.χ. αντλίες, υδροστροβίλοι), λιπάνσεις συσκευών, ψύξη ηλεκτρικών μηχανών κλπ.
- Βιολογικές διεργασίες, βιολογικοί καθαρισμοί, εργοστάσια αφαλάτωσης, φίλτρα κλπ.

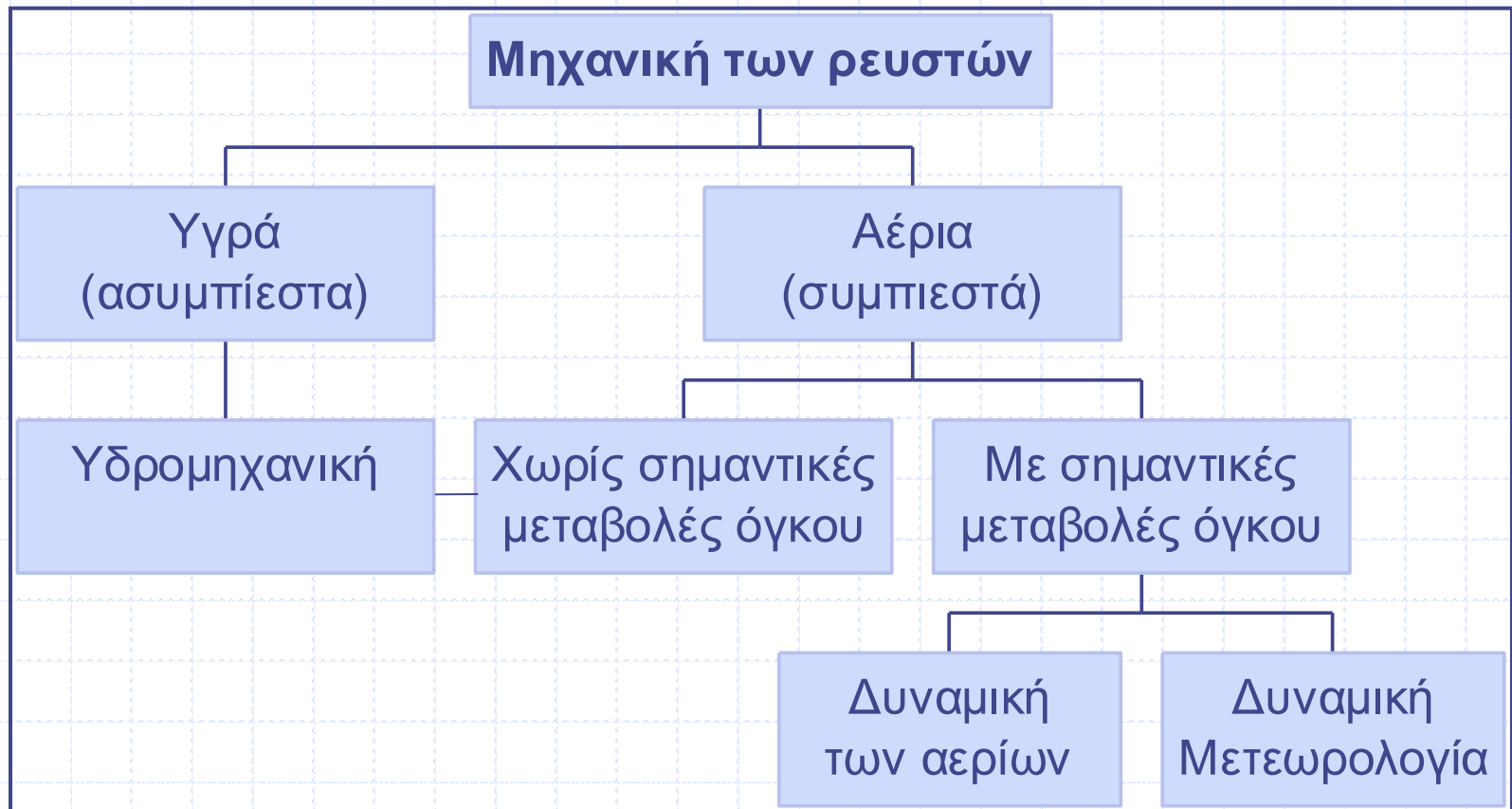
Ιστορία

- ◆ Κλασσική υδροδυναμική: έννοια ιδεατού ρευστού χωρίς τριβές. Θεωρητική ανάπτυξη.
- ◆ Υδραυλική: εφαρμοσμένος επιστημονικός κλάδος με στόχο την αντιμετώπιση άμεσων τεχνικών προβλημάτων. Εμπειρικοί τύποι.
- ◆ Ρευστομηχανική: ενιαίος επιστημονικός κλάδος από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

Ορισμός ρευστού

- ◆ 3 μορφές της ύλης: στερεά, υγρά και αέρια.
- ◆ Τα υγρά και τα αέρια καλούνται ρευστά.
- ◆ Σε αντίθεση με τα στερεά τα ρευστά ρέουν, παραμορφώνονται συνεχώς υπό την επίδραση διατμητικής δύναμης (εφαπτομενικής δύναμης).
 - Στα στερεά, όταν παύσει η φόρτιση, επανέρχεται το αρχικό σχήμα.
 - Στα ρευστά δεν μιλάμε για παραμορφώσεις, αλλά για ταχύτητες μεταβολής των παραμορφώσεων.
- ◆ Νευτώνια και μη Νευτώνια ρευστά.
 - Νευτώνια: ανήκουν το νερό και ο αέρας. Σε αυτά οι ταχύτητες μεταβολής των παραμορφώσεων μεταβάλλονται γραμμικά με τις διατμητικές τάσεις.

Κλάδοι της Ρευστομηχανικής



Χαρακτηριστικά των ρευστών

◆ Ρευστά: υγρά και αέρια

◆ Κοινό χαρακτηριστικό: ρευστότητα

Υγρά	Αέρια
1) Ασυμπίεστα.	1) Συμπιεστά. Υπό προϋποθέσεις ασυμπίεστα.
2) Παρουσιάζουν ελεύθερη επιφάνεια.	2) Καταλαμβάνουν όλο το χώρο που τους διατίθεται. Δεν παρουσιάζουν ελεύθερη επιφάνεια.

Εισαγωγικές έννοιες

◆ Για την μελέτη των ρευστών (πρακτικά προβλήματα) εισάγονται οι εξής έννοιες:

- Έννοια του συνεχούς μέσου
- Έννοια του ρευστού σωματιδίου

Θεώρηση του ρευστού σαν συνεχούς μέσου

- ◆ Σε μικροσκοπική κλίμακα η ύλη δεν είναι συνεχής.
- ◆ Στα πρακτικά προβλήματα οι διαστάσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τις μοριακές.
- ◆ Ενδιαφερόμαστε για μέσες στατιστικές ιδιότητες και μεταβολές αυτών στο χώρο και στο χρόνο και αδιαφορούμε για τη συμπεριφορά του μορίου.
- ◆ Σε μακροσκοπική κλίμακα τα ρευστά θεωρούνται συνεχή, χωρίς κενά και ασυνέχειες στη δομή τους.
- ◆ Επομένως η θεώρηση (=παραδοχή) του συνεχούς μέσου απεικονίζει την πραγματική συμπεριφορά του ρευστού.

Εισαγωγή έννοιας ρευστού σωματιδίου

- ◆ Ρευστό σωματίδιο είναι ο μικρότερος όγκος ρευστού ο οποίος:
 - Περιέχει αρκετό αριθμό μορίων και παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες με το ρευστό.
 - Επιτρέπει την στατιστική ερμηνεία του συνεχούς μέσου.

Ιδιότητες των ρευστών

- ◆ Η ύλη περιγράφεται από ιδιότητες = χαρακτηριστικά της ύλης
- ◆ Λέγοντας ιδιότητες εννοούμε τα χαρακτηριστικά του ρευστού σωματιδίου.
- ◆ Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να μεταβάλλονται από σωματίδιο σε σωματίδιο.

Βασικά χαρακτηριστικά ρευστών

- ◆ Πυκνότητα
- ◆ Ειδικό βάρος
- ◆ Πίεση
- ◆ Συμπιεστότητα
- ◆ Συνεκτικότητα
- ◆ Επιφανειακή τάση

Πυκνότητα

- ◆ Πυκνότητα ρ = μάζα ανά μονάδα όγκου
- ◆ Διαστάσεις: $[ML^{-3}]$
- ◆ Συνήθεις μονάδες: g/cm^3 , kg/m^3
- ◆ Ασυμπίεστα ρευστά: $\rho = \text{σταθ.}$
- ◆ Συμπιεσστά ρευστά: $\rho = f(p)$, (π.χ. $p = \rho * R * T$)

Ειδικό βάρος

- ◆ Ειδικό βάρος $\gamma = \text{βάρος ανά μονάδα όγκου}$
- ◆ Διαστάσεις: $[ML^{-2}T^{-2}]$ ή $[FL^{-3}]$
- ◆ Συνήθεις μονάδες: dyn/cm^3 , N/m^3 , kp/m^3 , t/m^3
- ◆ $\gamma = \rho * g$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Πίεση

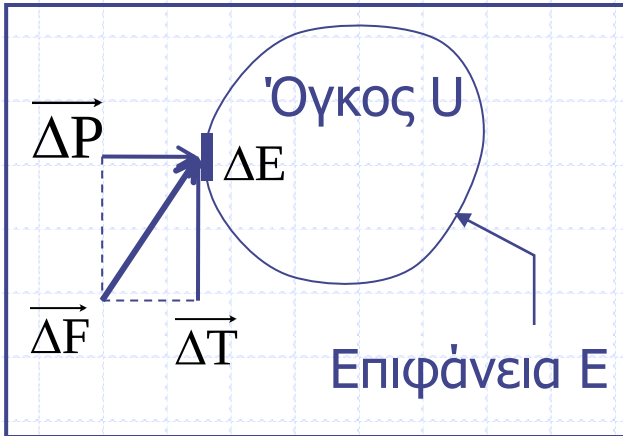
$$\sigma = \lim_{\Delta P/\Delta E \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta E}, \quad \tau = \lim_{\Delta T/\Delta E \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta E}$$

σ =ορθή τάση, τ =διατμητική τάση

Όταν $\tau=0 \Rightarrow \sigma=p$ =πίεση

p =θετική προς το εσωτερικό του όγκου U (θλιπτική)

$\vec{\Delta P} = p \cdot \vec{\Delta E}$, p =βαθμωτό μέγεθος



◆ Απόλυτη – σχετική πίεση,

$$P_{\text{σχετ}} = P_{\text{απολ}} - P_{\text{atm}}$$

◆ Διαστάσεις: $[ML^{-1}T^{-2}]$, $[FL^{-2}]$

◆ Μονάδες: $Pa = N/m^2$ (Pascal), dyn/cm^2 ,
 kp/cm^2 (τεχνητή ατμόσφαιρα), t/m^2

◆ $1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2$, $1 \text{ Atm} = 1.033 \text{ kp/cm}^2$ (φυσική ατμόσφαιρα)

Συμπιεστότητα – Μέτρο ελαστικότητας

Συμπιεστότητα: $K = -\frac{\Delta U / U}{\Delta p}$

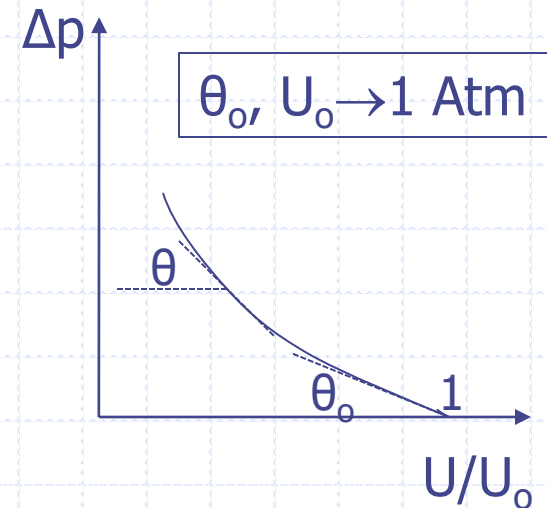
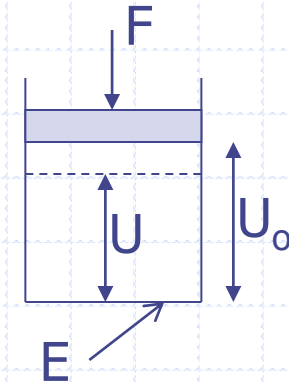
Μέτρο ελαστικότητας: $E = \frac{1}{K} = -\frac{\Delta p}{\Delta U / U}$

Ισχύει: $M = U \cdot \rho = \text{σταθ.} \Rightarrow \Delta M = \Delta U \cdot \rho + U \cdot \Delta \rho = 0$
 $\Rightarrow -\Delta U / U = \Delta \rho / \rho$

Επομένως $\Rightarrow K = \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta p}, E = \frac{\Delta p}{\Delta \rho / \rho}$

$E \rightarrow$ μονάδες πίεσης

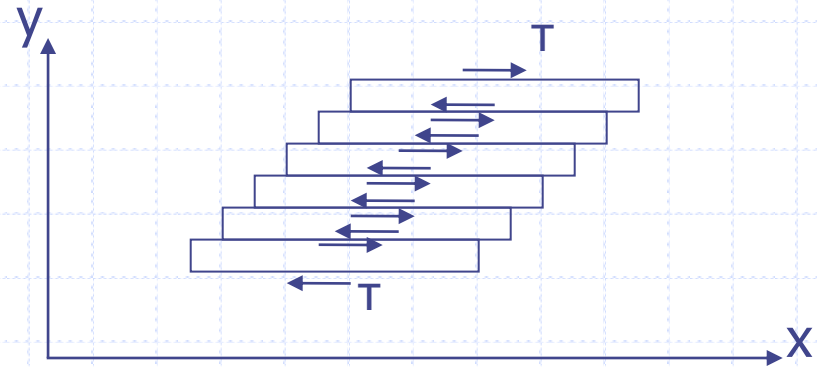
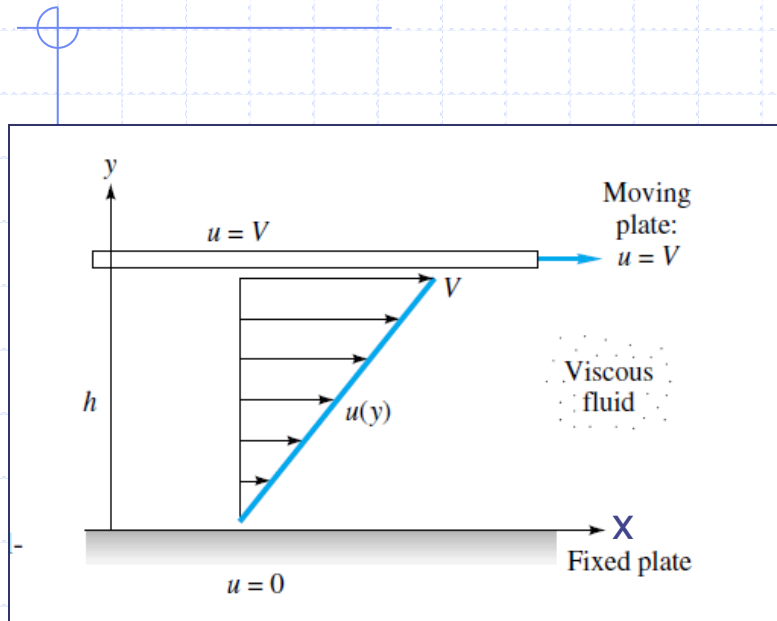
νερό $\rightarrow E_v = 20000 \text{ kp/cm}^2 \begin{pmatrix} 100 \text{ φ.} > \text{σίδηρο} \\ 20000 \text{ φ.} < \text{αέρα} \end{pmatrix}$



ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (1)

- ◆ Συνιστά χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ στερεών και ρευστών, με αποτέλεσμα διαφορετική συμπεριφορά όταν υπόκεινται σε διατμητική τάση.
- ◆ Οφείλεται στην κινητικότητα των μορίων και έχει αποτέλεσμα την προβολή αντίστασης στην παραμόρφωση.
- ◆ Όταν ένα ρευστό κινείται, δηλ. ρέει, υφίσταται σχετική κίνηση μεταξύ γειτονικών στρώσεων, δηλ. σχετική παραμόρφωση. Το ρευστό προβάλλει αντίσταση με αποτέλεσμα την εμφάνιση διατμητικών τάσεων.

ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (2)

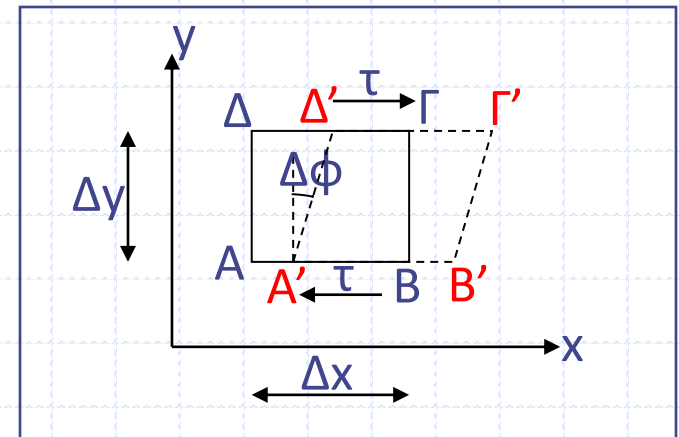


Παράδειγμα διδάστατης ροής συνεκτικού ρευστού

ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (3)

Ταχύτητα του AB: u

Ταχύτητα του $\Delta\Gamma$: $u + \Delta u = u + \frac{du}{dy} \Delta y$



Το ABΓΔ στοιχείο σε χρόνο Δt παραμορφώνεται στο A'B'Γ'Δ'.

Η γωνία $\Delta\phi$ = μέτρο της παραμόρφωσης.

$$\left. \begin{aligned} AA' &= u \cdot \Delta t \\ \Delta\Delta' &= \left(u + \frac{du}{dy} \Delta y \right) \cdot \Delta t \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta\phi = \frac{\Delta\Delta' - AA'}{\Delta y} = \frac{du}{dy} \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{du}{dy} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Η σχέση μεταξύ διατμητικής τάσης τ και ταχύτητας μεταβολής της γωνιακής παραμόρφωσης εκφράζεται αξιωματικά ως εξής :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad \begin{array}{l} \mu = \text{συντελεστής δυναμικής μοριακής συνεκτικότητας} \\ \text{ή δυναμική συνεκτικότητα} \end{array}$$

Νευτώνια υγρά $\rightarrow \mu = \text{σταθ.} = \text{ανεξάρτητο } du/dy \rightarrow \underline{\text{Νόμος του Νεύτωνα}}$

ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (4)

◆ Διαστάσεις:

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \rightarrow \frac{[MLT^{-2}]/[L^2]}{1/[T]} = [ML^{-1}T^{-1}] \text{ ή } [FL^{-2}T]$$

CGS: $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1} = dyn \cdot s \cdot cm^{-2} = poise \text{ (ή centipoise)}$

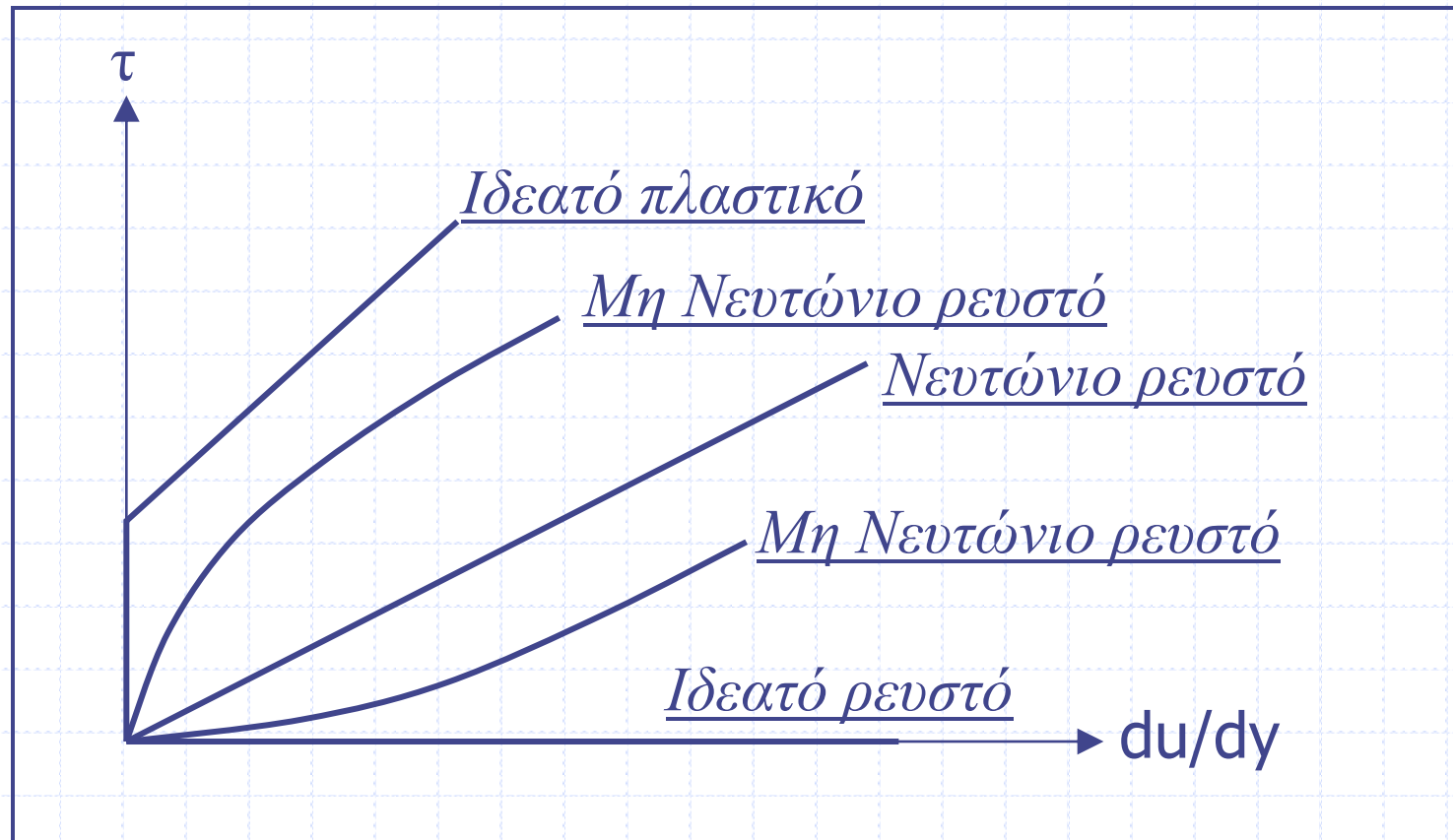
◆ μ =συνάρτηση(πίεσης, θερμοκρασίας)

Μεταβολή πίεσης $\left\{ \begin{array}{l} \text{υγρά: πρακτικά αμελητέα} \\ \text{αέρια: πολύ μικρή (εκτός από ιδιαίτερα μεγάλες τιμές)} \end{array} \right.$

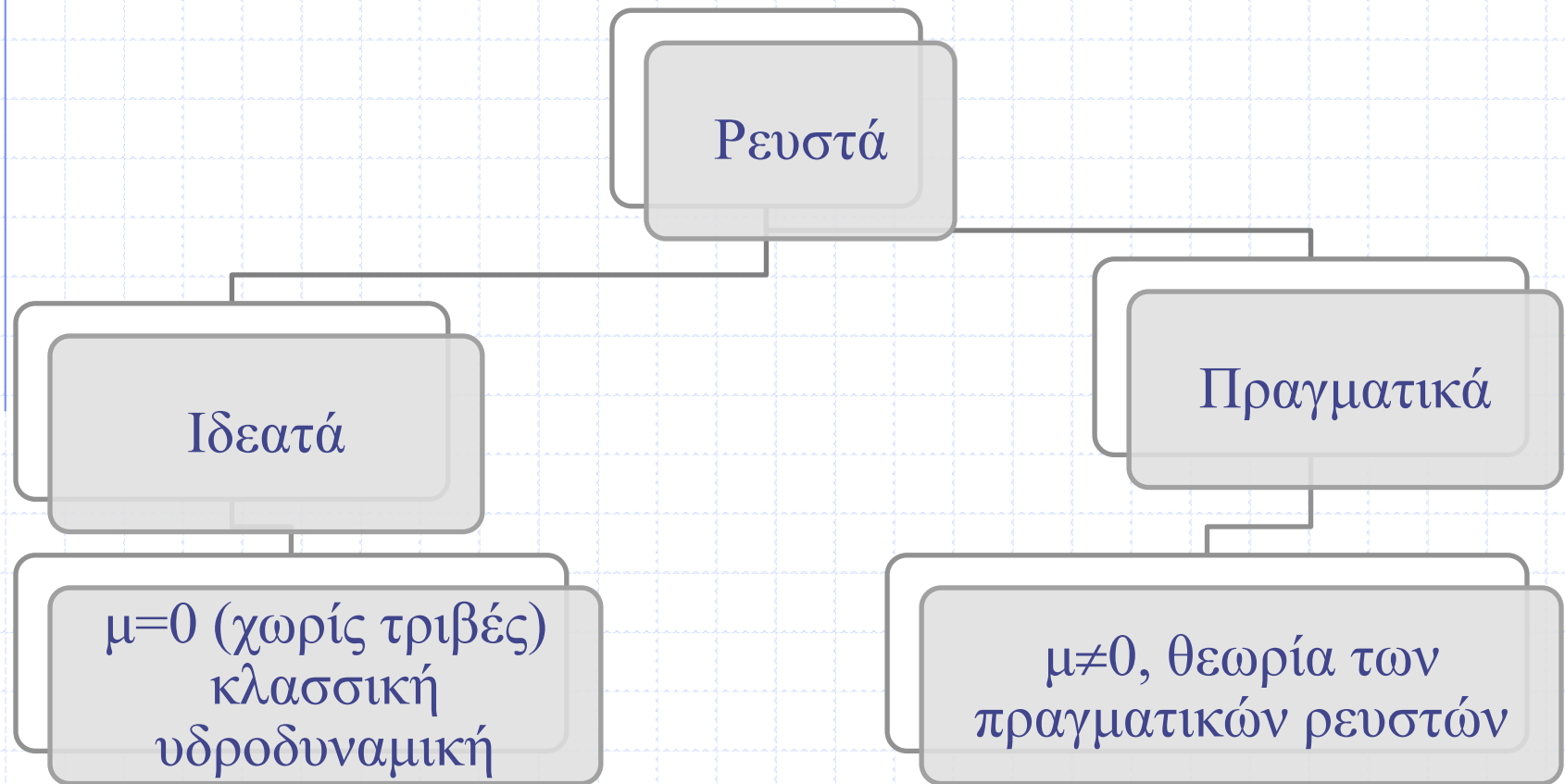
Μεταβολή θερμοκρασίας: $\left\{ \begin{array}{l} \text{υγρά: } \mu \text{ ελαττώνεται με αύξηση } \theta \\ \text{αέρια: } \mu \text{ αυξάνει με αύξηση } \theta \end{array} \right.$

◆ Κινηματική συνεκτικότητα $\nu = \mu/\rho$ με διαστάσεις $[L^2T^{-1}]$, $cm^2/s = stokes$

Κατηγορίες ρευστών ανάλογα με τη σχέση διατμητικής τάσης και ταχύτητας παραμόρφωσης



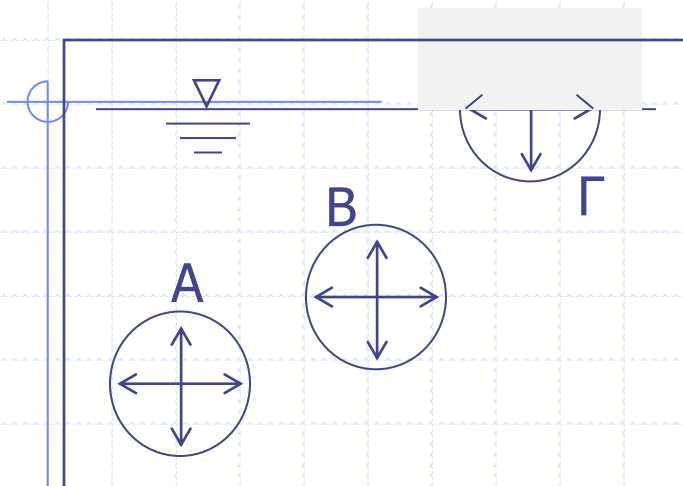
Επομένως:



Χαρακτηριστικά 8 ρευστών σε θερμοκρασία 20°C και πίεση 1 atm

Fluid	μ , kg/(m · s) [†]	ρ , kg/m ³	ν , m ² /s [†]
Hydrogen	8.8 E-6	0.084	1.05 E-4
Air	1.8 E-5	1.20	1.51 E-5
Gasoline	2.9 E-4	680	4.22 E-7
Water	1.0 E-3	998	1.01 E-6
Ethyl alcohol	1.2 E-3	789	1.52 E-6
Mercury	1.5 E-3	13,580	1.16 E-7
SAE 30 oil	0.29	891	3.25 E-4
Glycerin	1.5	1,264	1.18 E-3

Επιφανειακή τάση



◆ Οι διαχωριστικές επιφάνειες συπεριφέρονται σαν τεντωμένες μεμβράνες και τείνουν να πάρουν την ελάχιστη δυνατή έκταση (π.χ. σταγόνα νερού).

- ◆ Για να διασταλεί μια τέτοια επιφάνεια απαιτείται έργο →
- ◆ → Ελεύθερη ενέργεια επιφάνειας → είδος δυναμικής ενέργειας, ενέργειας που έχουν τα μόρια του υγρού που είναι πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια.
- ◆ Το μέτρο της: ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας → δύναμη ανά μονάδα μήκους → επιφανειακή τάση.

$$\sigma = \frac{\text{ενέργεια}}{\text{επιφάνεια}} = \frac{\text{δύναμη}}{\text{μήκος}}$$

Διαστάσεις

Κύριες διαστάσεις	Σύστημα SI
Μήκος [L]	m (μέτρο-meter)
Μάζα [M]	Kg (χιλιόγραμμα-kilogram)
Χρόνος [T]	s (δευτερόλεπτο-second)
Θερμοκρασία [Θ]	K (βαθμός Kelvin)

Διαστάσεις

Δευτερεύουσες διαστάσεις	Σύστημα SI
Επιφάνεια [L^2]	m^2
Όγκος [L^3]	m^3
Ταχύτητα [LT^{-1}]	m/s
Επιτάχυνση [LT^{-2}]	m/s^2
Δύναμη [MLT^{-2}]	$N=kg*m/s^2$
Πίεση ή τάση [$ML^{-1}T^{-2}$]	$Pa=N/m^2$
Γωνιακή ταχύτητα [T^{-1}]	s^{-1}
Ενέργεια, έργο [ML^2T^{-2}]	$J=N*m$
Ισχύς [ML^2T^{-3}]	$W=J/s$
Πυκνότητα [ML^{-3}]	Kg/m^3
Συνεκτικότητα [$ML^{-1}T^{-1}$]	$Kg/(m*s)$