



ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Θεωρία και Εφαρμογές για Πολιτικούς Μηχανικούς

Εξάμηνο: 4^ο

Κωδικός: **TMB111**

Μάθημα: **Κορμού**

Διάλεξη **Δ.2. Εισαγωγή στη Ρευστομηχανική - Ιδιότητες Ρευστών**

Διδάσκων υπεύθυνος μαθήματος:

Χρήστος Β. Μακρής

Επίκουρος Καθηγητής (επί θητεία)

ΔΠΘ

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ

ΜΔΕ Τεχνολογία Υδατικών Πόρων ΕΜΠ

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ

Ειδίκευση: Υδραυλική & Περιβαλλοντική Τεχνική

Ειδίκευση: Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης

Ειδίκευση: Υπολογιστική Ρευστοδυναμική - Κυματομηχανική

Δ.2. Διάρθρωση Παρουσίασης

1. Εισαγωγή στη μηχανική ρευστών
2. Χαρακτηριστικά ρευστών
3. Ρευστό ως συνεχές μέσο
4. Διαστάσεις και Μονάδες
5. Μετρήσεις μάζας και βάρους
 - Πυκνότητα
 - Ειδικό βάρος
 - Ειδική βαρύτητα
6. Νόμος ιδανικών αερίων
7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα
8. Συμπιεστότητα
 - Μέτρο ελαστικότητας
 - Συμπύεση και διαστολή αερίων
 - Ταχύτητα ήχου
9. Πίεση ατμού
10. Επιφανειακή τάση

Δ.2.1. Εισαγωγή στη μηχανική ρευστών

Θεματολογία

Εισαγωγή στα ρευστά (συνεχές μέσο, ιδιότητες ρευστών, διαστάσεις και μονάδες, μάζα, βάρος, πυκνότητα, ειδικό βάρος, ιξώδες, συμπιεστότητα, τανυστής τάσεων, πίεση, ατμού, υγρά/αέρια φάση, θερμικές ιδιότητες νερού, επιφανειακή τάση)



Επιστήμη που ανήκει στο ευρύτερο πεδίο της Μηχανικής

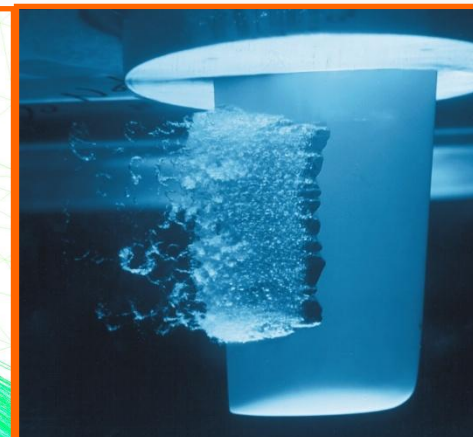
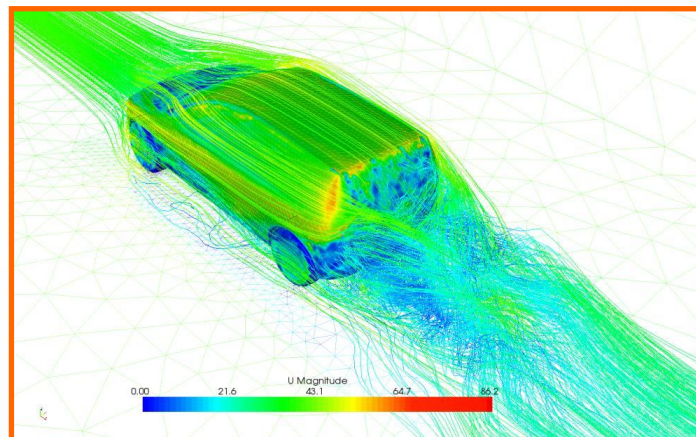
Αντικείμενο:

Μελέτη ρευστών είτε σε κίνηση (δυναμική των ρευστών) ή σε κατάσταση ηρεμίας (στατική των ρευστών)

Αλληλεπιδράσεις ρευστού-διαφόρων ορίων (στερεές επιφάνειες ή διεπιφάνειες με άλλα ρευστά),

Μελέτη των νόμων που διέπουν την ισορροπία και την κίνηση των ρευστών

Ρευστά: Υγρά και αέρια

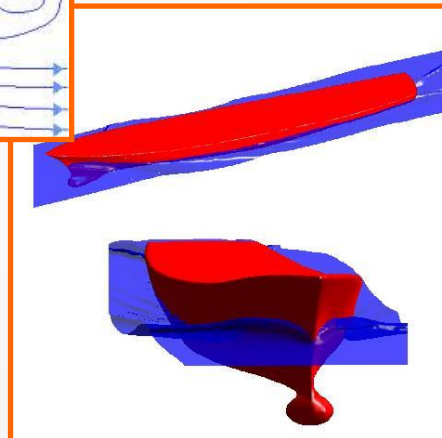
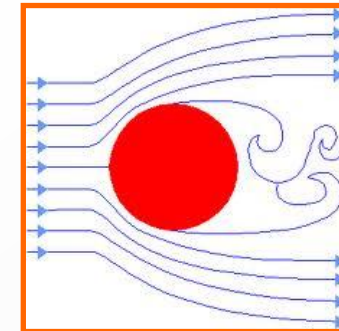
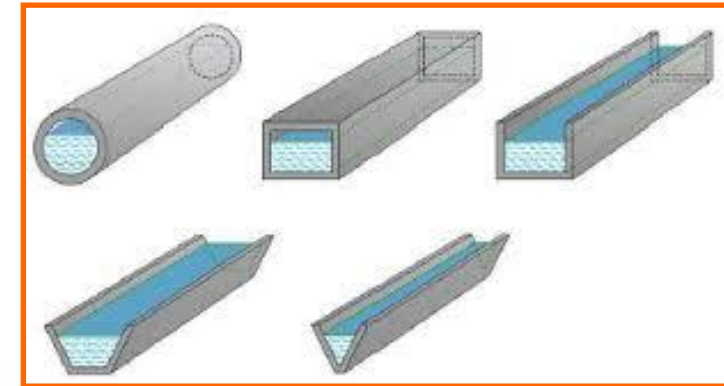
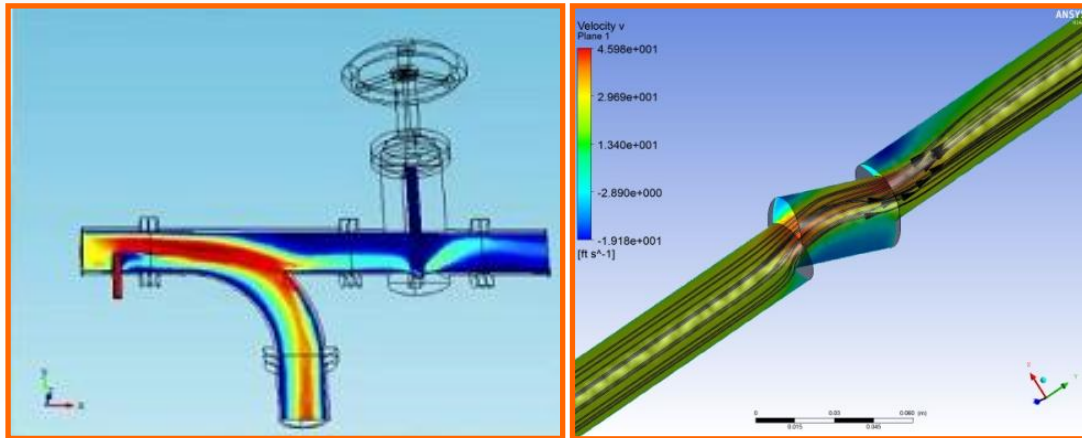


Δ.2.1. Εισαγωγή στη μηχανική ρευστών

Κατηγοριοποίηση Προβλημάτων Μηχανικής των Ρευστών

«Εσωτερικό» πρόβλημα: Το πεδίο ροής περιορίζεται μέσα σε στερεά όρια (π.χ. ροή σε κλειστούς αγωγούς ή σε ανοικτούς αγωγούς)

εφαρμογή σε προβλήματα Κλασσικής Υδραυλικής



«Εξωτερικό» πρόβλημα:

Το πεδίο ροής αφορά στην περιοχή γύρω από στερεά σώματα (π.χ. ροή γύρω από σφαίρες ή κυλίνδρους)

εφαρμογή π.χ. σε προβλήματα ναυπηγικής ή αεροναυπηγικής

Δ.2.1. Εισαγωγή στη μηχανική ρευστών

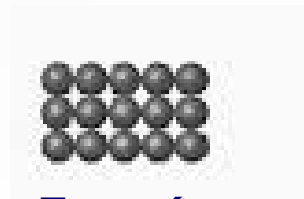
Παραδείγματα εφαρμογών

- Ροές σε κλειστούς και ανοικτούς αγωγούς (υδρεύσεις, αποχετεύσεις, αρδεύσεις – δίκτυα)
- Ροές επιφανειακές (π.χ. πλημμύρες, διαβρώσεις, κυματισμοί, παλίρροιες, ποτάμιες ροές, λίμνες, αλληλεπιδράσεις ωκεανών – ατμόσφαιρας)
- Ροές σε πορώδη μέσα (υπόγειοι υδροφορείς)
- Προβλήματα περιβάλλοντος (ρύπανση, μεταφορά και διασπορά ρύπων, νέφος)
- Προβλήματα ναυπηγικής και αεροναυπηγικής (ροές γύρω από έλικες, ροές γύρω από επιπλέοντα ή/και βυθισμένα σώματα)
- Διφασικές ροές (εκμετάλλευση πετρελαίου ή φυσικού αερίου)
- Υδροδυναμικές μηχανές (π.χ. αντλίες)
- Μετεωρολογικά φαινόμενα (π.χ. κινήσεις ανέμων)

Δ.2.2. Χαρακτηριστικά ρευστών



1. Μοριακή Δομή



Στερεό

Πυκνή μοριακή δομή

Μεγάλες δυνάμεις έλξης

(Παραμορφώνονται
δύσκολα)

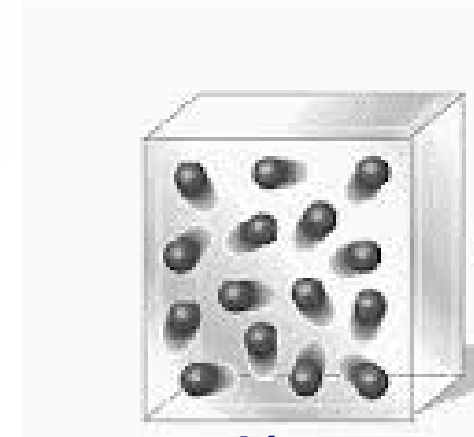


Υγρό

Πιο αραιή μοριακή δομή

Μέτριες δυνάμεις έλξης

(Παραμορφώνονται αλλά ΔΕΝ
συμπιέζονται)



Αέριο

Πάρα πολύ αραιή μοριακή δομή

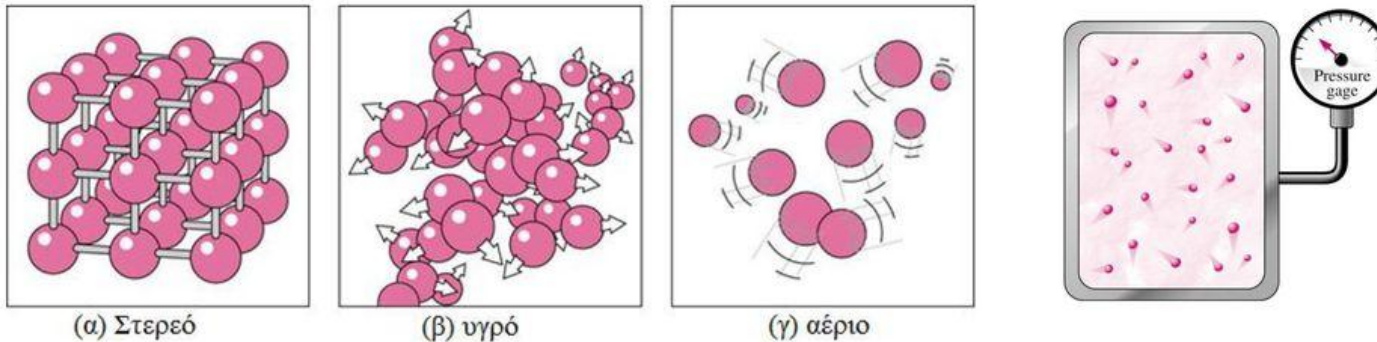
Πολύ μικρές δυνάμεις έλξης

(Παραμορφώνονται και
συμπιέζονται εύκολα)

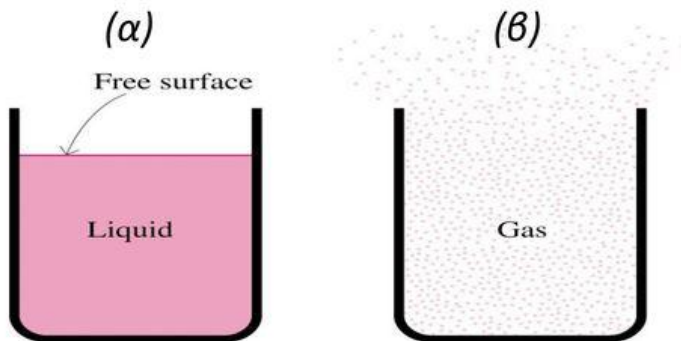
Δ.2.2. Χαρακτηριστικά ρευστών

Χαρακτηριστικά των Ρευστών

Μοριακή Δομή της Ύλης



Σχήμα 1: Οι τρεις βασικές καταστάσεις της ύλης



Σχήμα 2: Δοχείο που περιέχει: (α) υγρό και (β) αέριο

- Τα στερεά έχουν την πιο συγκροτημένη δομή έχοντας συνήθως την μορφή κρυσταλλικού πλέγματος
- Τα υγρά παίρνουν το σχήμα του δοχείου που τα περιβάλλει και δημιουργούν διεπιφάνειες με γειτονικά υγρά ή αέρια
- Τα αέρια καταλαμβάνουν όλον τον διαθέσιμο χώρο ενώ δεν δημιουργούν διεπιφάνειες μεταξύ τους

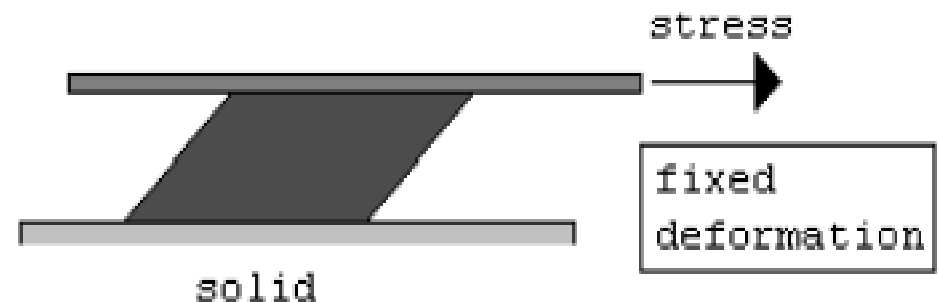
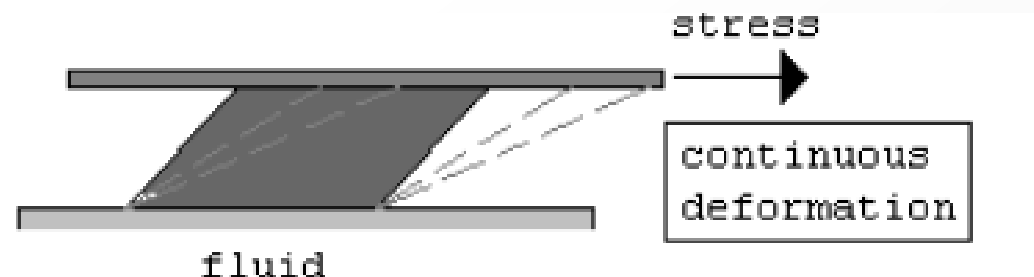
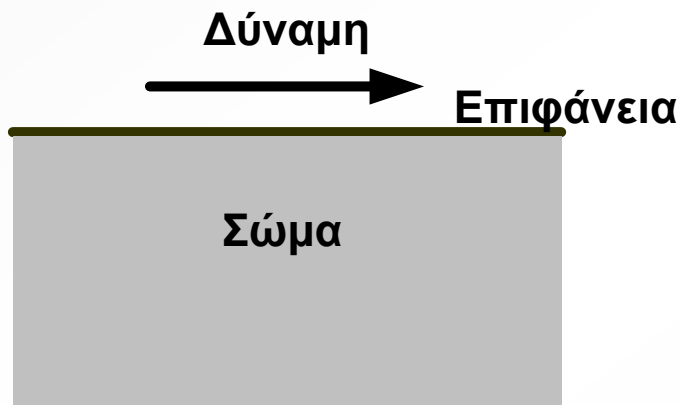


Δ.2.2. Χαρακτηριστικά ρευστών

Συμπεριφορά υπό την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων

Ρευστό: Συνεχής παραμόρφωση υπό την επίδραση μίας διατμητικής τάσης (ύπαρξη ροής)

Στερεό (παραμορφώσιμο): Παραμορφώνεται αρχικά υπό την επίδραση μίας διατμητικής τάσης (όχι συνεχής παραμόρφωση, όχι ροή)



Δ.2.3. Ρευστό ως συνεχές μέσο

Η έννοια της συνέχειας (συνεχές μέσο)

Περιγραφή ισορροπίας ή κίνησης ρευστού με χρήση μοριακής δομής:

Μη πρακτική (δεν μας ενδιαφέρει η κίνηση των μορίων)

Τι μας ενδιαφέρει???

Η συμπεριφορά του ρευστού υπό τη θεώρησή του ως συνεχές μέσο

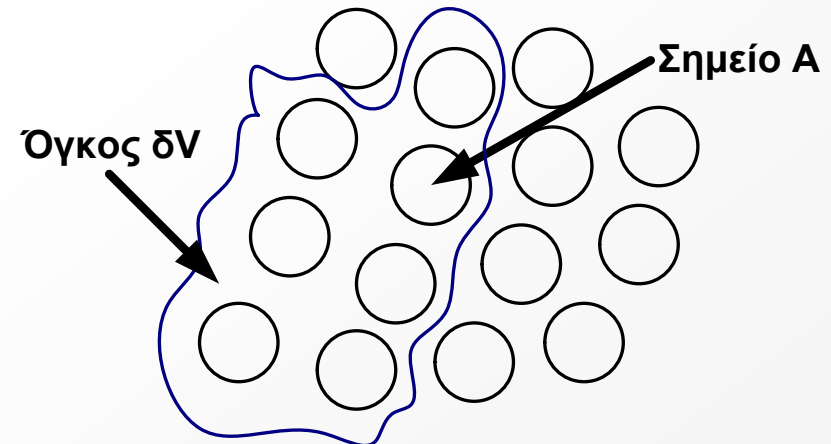
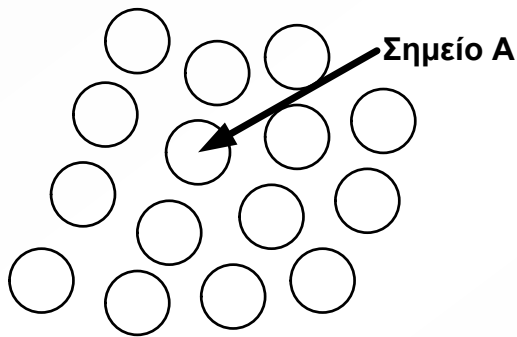
Η συμπεριφορά του ρευστού θεωρώντας μέσες (ή μακροσκοπικές) τιμές των διαφόρων φυσικών μεγεθών (π.χ. ταχύτητα), όπου οι μέσες τιμές υπολογίζονται σε ένα μικρό όγκο δV , που περιέχει ένα μεγάλο όγκο μορίων

Δ.2.3. Ρευστό ως συνεχές μέσο

Η έννοια της συνέχειας (συνεχές μέσο)

Αντικατάσταση του συνόλου των μορίων του ρευστού από ένα υποθετικό συνεχές μέσο

Σε κάθε σημείο του μέσου οι τιμές των διαφόρων φυσικών μεγεθών (π.χ. ταχύτητα) ίσες με τις μέσες τιμές τους, λαμβάνοντας όλα τα μόρια που περικλείονται σε **έναν στοιχειώδη όγκο δV** που περικλείει επίσης και το εν λόγω σημείο



Δ.2.3. Ρευστό ως συνεχές μέσο

Η έννοια της συνέχειας (συνεχές μέσο)

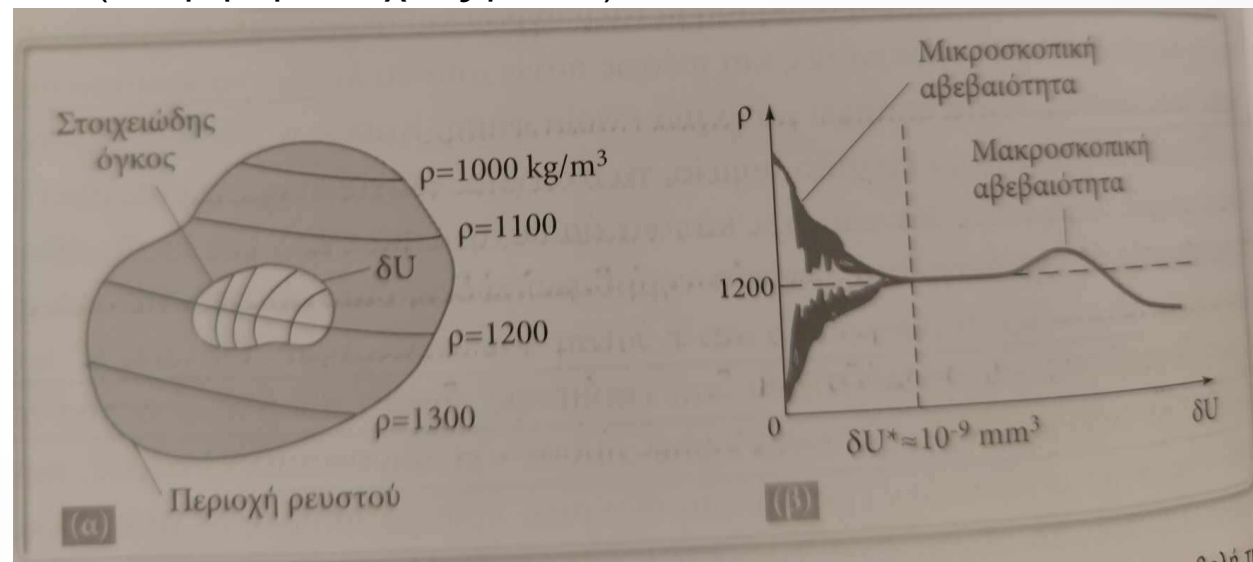
Στοιχειώδης όγκος δV : Ισοδυναμεί με την έννοια του «ρευστού σωματιδίου» ή «ρευστού σημείου» ή του «υλικού σημείου»

Βασικό στοιχείο Μηχανικής των Ρευστών

Αφορά μία στοιχειώδη μάζα του ρευστού (ΟΧΙ υλικό σημείο), όλα τα μόρια της οποίας έχουν τις ίδιες τιμές των διαφόρων μεταβλητών πεδίου (πυκνότητα, ταχύτητα, πίεση), οι οποίες θεωρούνται συνεχείς με την μακροσκοπική έννοια (θεώρηση συνεχούς μέσου)

$$\rho = \lim (\delta m / \delta V)$$

$$\delta V \rightarrow \delta V^*$$



Δ.2.4. Διαστάσεις και Μονάδες

Θεμελιώδεις Διαστάσεις

Κύριες Ποσότητες-Βασικές Διαστάσεις:

L (μήκος), t (χρόνος), M (μάζα)

Συστήματα μονάδων:

-BG (British Gravitational)

-SI (International System) □

Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μονάδες από το BG. π.χ.

Μονάδα Ισχύος: $hp = 7.4569987 \cdot 10^2 \text{ Watt}$

Μονάδα Πίεσης: $psi (lbf/inch^2) = 6.894 \cdot 10^3 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$

Δ.2.4. Διαστάσεις και Μονάδες

Θεμελιώδεις Διαστάσεις

Πίνακας 1.1. Φυσικές ποσότητες και Διαστάσεις.

Ποσότητα	Σύστημα FLT	Σύστημα MLT	Ποσότητα	Σύστημα FLT	Σύστημα MLT	Ποσότητα	Σύστημα FLT	Σύστημα MLT
Γωνιακή επιτάχυνση	T^{-2}	T^{-2}	Θερμότητα	FL	ML^2T^{-2}	Παραμόρφωση	$F^0L^0T^0$	$M^0L^0T^0$
Γωνιακή ταχύτητα	T^{-1}	T^{-1}	Θερμοκρασία	Θ	Θ	Πίεση	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
Δύναμη	F	MLT^{-2}	Ιξώδες (δυναμικό)	$FL^{-2}T$	$ML^{-1}T^{-1}$	Πυκνότητα	$FL^{-4}T^2$	ML^{-3}
Επιτάχυνση	LT^{-2}	LT^{-2}	Ιξώδες (κινηματικό)	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}	Ροπή δύναμης	FL	ML^2T^{-2}
Εμβαδό	L^2	L^2	Ισχύς	FLT^{-1}	ML^2T^{-3}	Ροπή αδράνειας	L^4	L^4
Ενέργεια	FL	ML^2T^{-2}	Μάζα	$FL^{-1}T^2$	M	Ροπή στρέψης	FL	ML^2T^{-2}
Ειδικό βάρος	FL^{-3}	$ML^{-2}T^{-2}$	Μέτρο ελαστικότητας	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$	Συχνότητα	T^{-1}	T^{-1}
Έργο	FL	ML^2T^{-2}	Μήκος	L	L	Τάση	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
Ειδική θερμότητα	$L^2T^{-2}\Theta^{-2}$	$L^2T^{-2}\Theta^{-2}$	Όγκος	L^3	L^3	Χρόνος	T	T
Επιφανειακή τάση	FL^{-1}	MT^{-2}	Ορμή	FT	MLT^{-1}			

2 συστήματα:

FLT (Force, Length, Time – Δύναμη, Μήκος (Χώρος), Χρόνος)

MLT (Mass, Length, Time – Μάζα, Μήκος (Χώρος), Χρόνος)

Δ.2.5. Μετρήσεις μάζας και βάρους

Μάζα - Βάρος

Πυκνότητα: $\rho = \frac{\text{μάζα}}{\text{όγκος}} = \frac{m}{V} \text{ (kg / m}^3\text{)}$

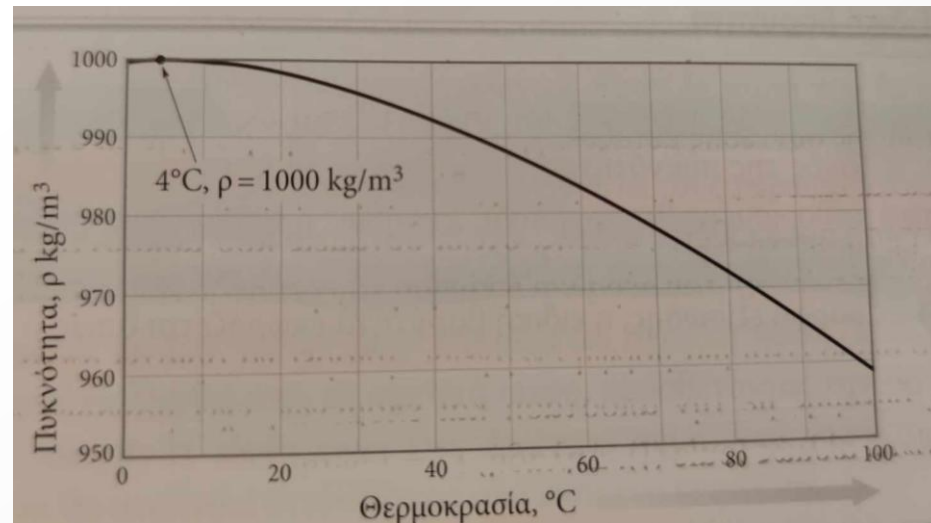
Υγρά: **Μικρή** επίδραση της πίεσης και της θερμοκρασίας στο ρ

Αέρια: **Μεγάλη** επίδραση της πίεσης και της θερμοκρασίας στο ρ

Ειδικός όγκος: $u = \frac{1}{\rho} \text{ (m}^3 \text{ / kg)}$

Ειδικό βάρος: $\gamma = \rho g \text{ (N / m}^3\text{)}$

Ειδική βαρύτητα: $SG = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O στους } 4^\circ\text{C}}}$



Σχήμα 1.4. Μεταβολή της πυκνότητας του νερού με τη θερμοκρασία.

Δ.2.6. Νόμος ιδανικών αερίων

Νόμος του Ιδανικού Αερίου

Αέρια: Υψηλή συμπιεστότητα

μεταβολές στην πυκνότητα ενός αερίου σχετίζονται άμεσα με μεταβολές στην πίεση και στη θερμοκρασία

$$p = \rho R T$$

p : απόλυτη πίεση (N/m^2)

T : απόλυτη θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

R : σταθερά αερίου ($= \lambda / M^{\text{αερίου}}$, όπου λ η παγκόσμια σταθερά και $M^{\text{αερίου}}$ η μοριακή μάζα ενός μορίου (molar mass) του αερίου) ($\text{Joule}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$)

ρ : η πυκνότητα του αερίου (kg/m^3)

Πίεση: $p = F/A$ ($\text{N/m}^2 = \text{Pa}$) (F/L^2 ή FL^{-2})

Απόλυτη πίεση: μετριέται σε σχέση με την απόλυτη μηδενική πίεση (πίεση σε ένα τέλειο κενό)

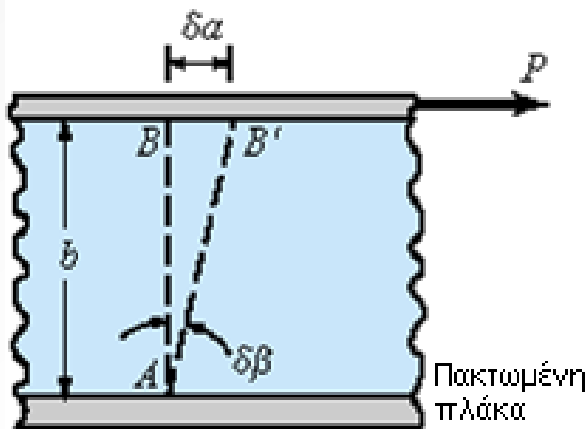
Σχετική πίεση: μετριέται σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση (απόλυτη ατμοσφαιρική πίεση στην

επιφάνεια της θάλασσας: $101.33\text{kPa} \approx 101\text{kPa}$)

Δ.2.7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα

Ιδιότητα που περιγράφει τη ρευστότητα (fluidity) του ρευστού

(α) Παραμόρφωση στερεού κάτω από την επίδραση εξωτερικής δύναμης:



Τι θα συμβεί εάν το στερεό αντικατασταθεί από ένα ρευστό (π.χ. νερό)???



$$P = \tau A$$

τ = διατμητική τάση

$$\delta\beta \propto \tau$$

$\delta\beta$: διατμητική (γωνιακή) παραμόρφωση

Δ.2.7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα

(β) Συμπεριφορά ρευστού μεταξύ δύο πλακών υπό την επίδραση εξωτερικής δύναμης:

Το ρευστό σε επαφή με την πάνω πλάκα κινείται με ταχύτητα U (πλήρη συμφωνία με τον ορισμό ενός ρευστού, οριακή συνθήκη μη ολίσθησης)

Το ρευστό σε επαφή με την κάτω πλάκα έχει μηδενική ταχύτητα (οριακή συνθήκη μη ολίσθησης)

Το ρευστό μεταξύ δύο πλακών κινείται με ταχύτητα $u=u(y)=U*y/b$

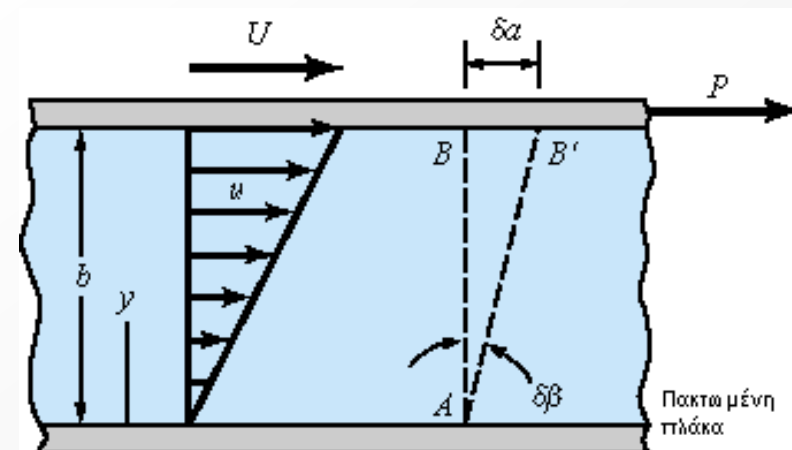
Η κλίση της ταχύτητας du/dy είναι:

$$\frac{du}{dy} = \frac{U}{b}$$

$$\tan \delta\beta \approx \delta\beta = \frac{\delta\alpha}{b}$$

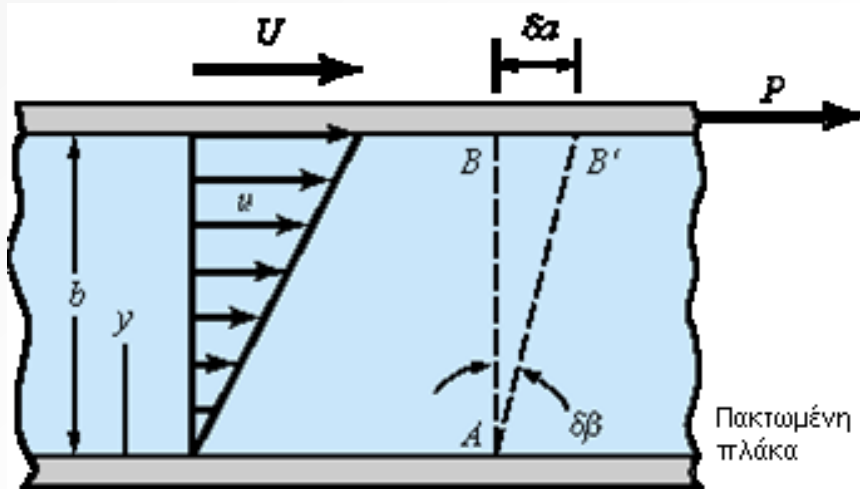
Σε χρόνο δt η κατακόρυφη γραμμή AB περιστρέφεται κατά $\delta\beta$

$$U = \delta\alpha / \delta t \Rightarrow \delta\alpha = U\delta t. \text{ Επομένως: } \delta\beta = U\delta t / b$$



Δ.2.7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα

- Η γωνία $\delta\beta$ είναι συνάρτηση όχι μόνο της δύναμης P (που καθορίζει την U) αλλά και του χρόνου



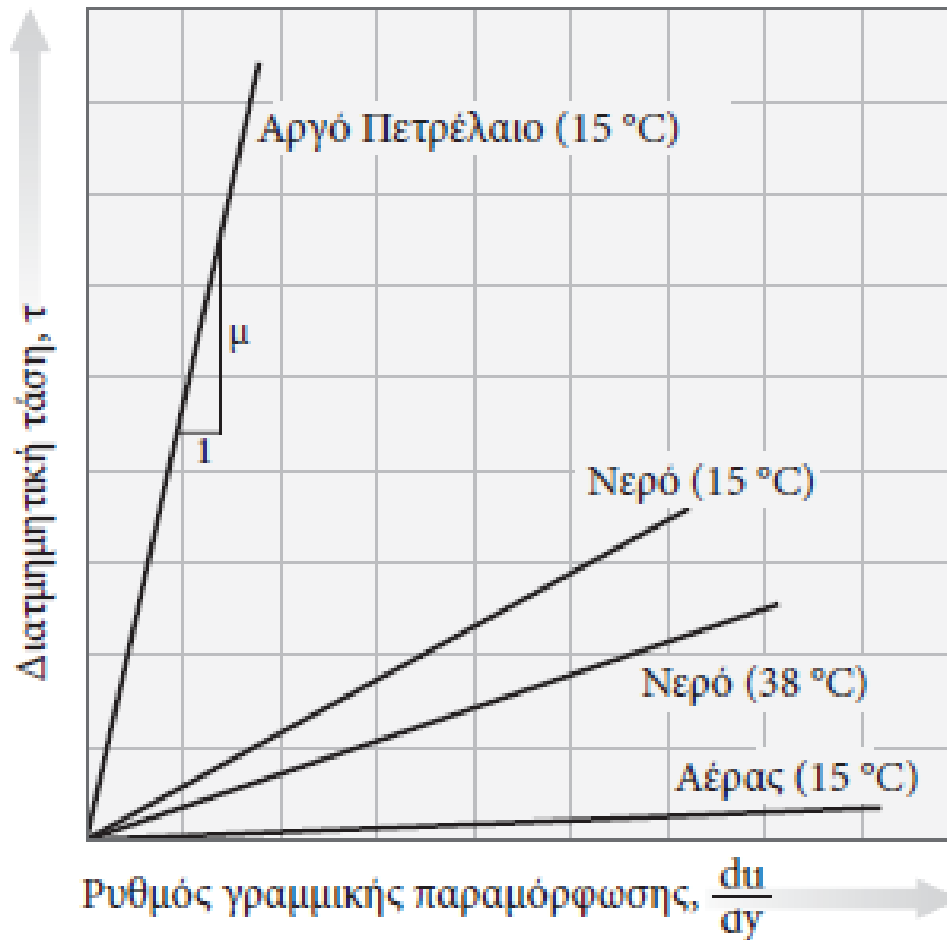
- Εξετάζουμε το ρυθμό μεταβολής της $\delta\beta$ και ορίζουμε το **ρυθμό διατμητικής παραμόρφωσης** $\dot{\gamma}$ όπου

$$\dot{\gamma} = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\delta\beta}{\delta t} = \frac{U}{b} = \frac{du}{dy}$$

που είναι ίσο με $\dot{\gamma} = \frac{U}{b} = \frac{du}{dy}$

- Η διατμητική τάση τ ($=P/A$) είναι ανάλογη του $\dot{\gamma}$ ή ανάλογη του du/dy
- Για ρευστά όπως νερό, λάδι, αέρας: $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ **μ = απόλυτο ή δυναμικό ιξώδες**

Δ.2.7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα



- **Μονάδες** μ (απόλυτο ή δυναμικό ιξώδες του ρευστού): $\text{Pa}\cdot\text{s} = \text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ (FtL^{-2})

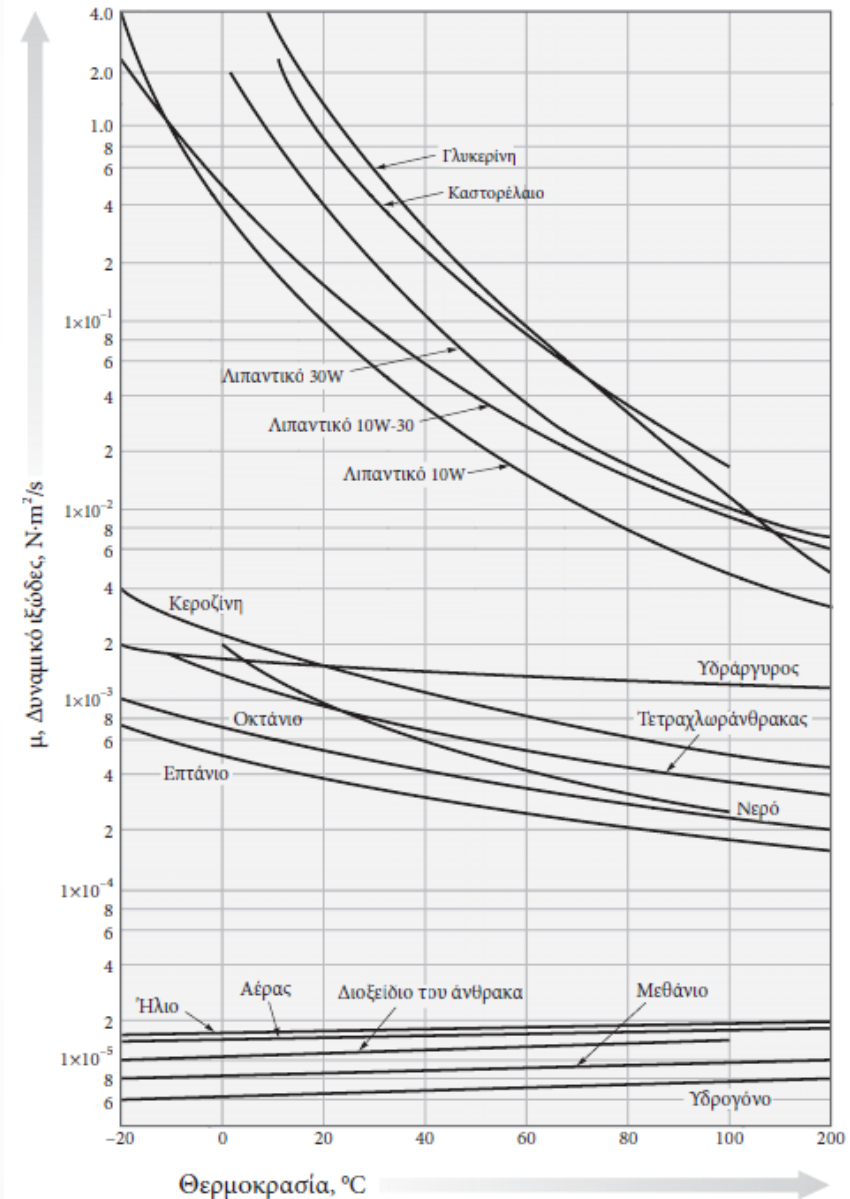
- **Νευτώνεια ρευστά:**
Γραμμική σχέση μεταξύ τ και du/dy

- **Εξάρτηση ιξώδους:**
(α) είδος ρευστού
(β) θερμοκρασία (για το ίδιο ρευστό)

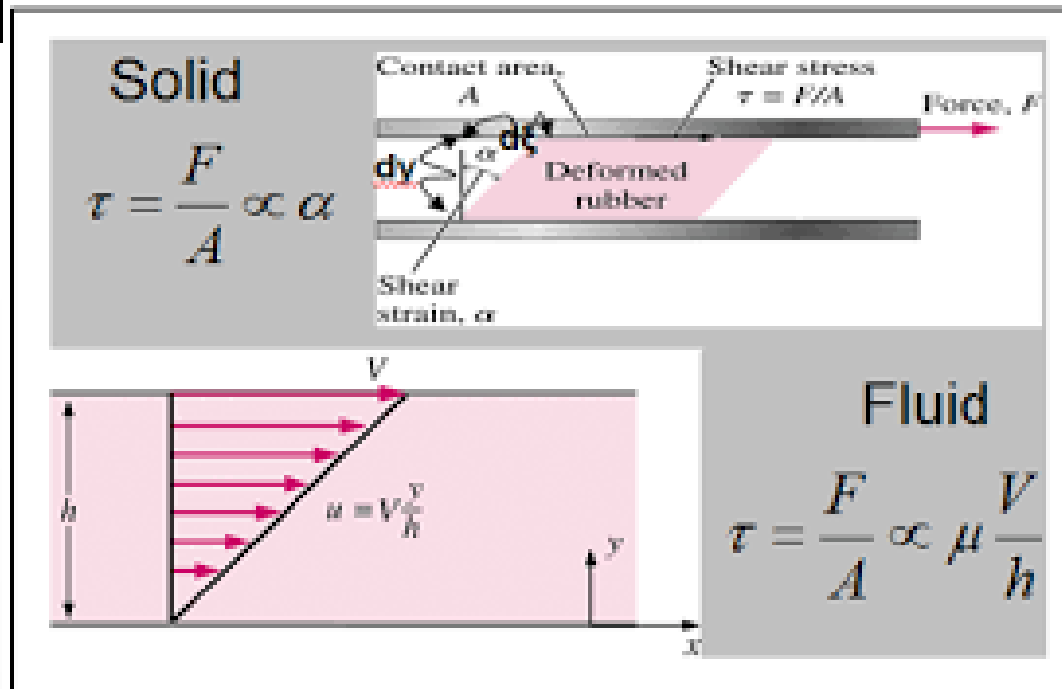
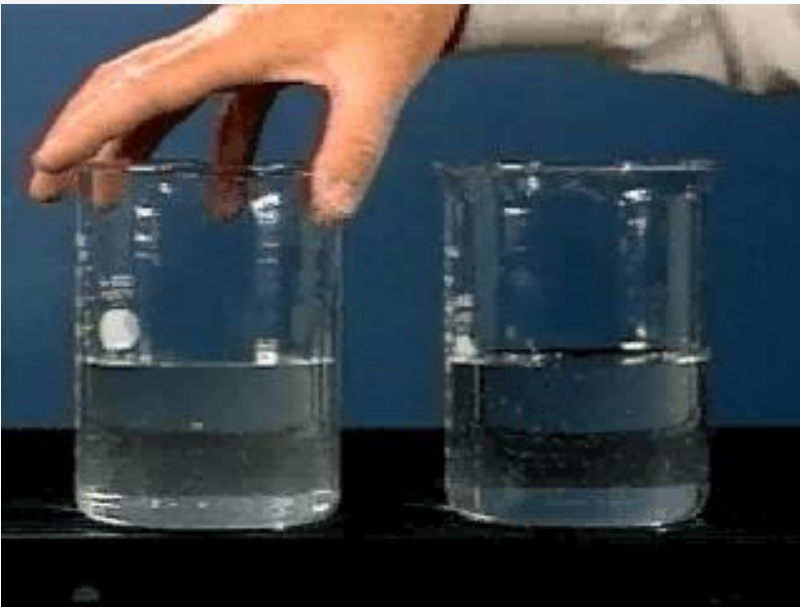
Δ.2.7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα

- **Υγρά:** μείωση του μ με αύξηση του T
- **Αέρια:** αύξηση του μ με αύξηση του T

Η **μοριακή δομή** προκαλεί την παραπάνω διαφορά

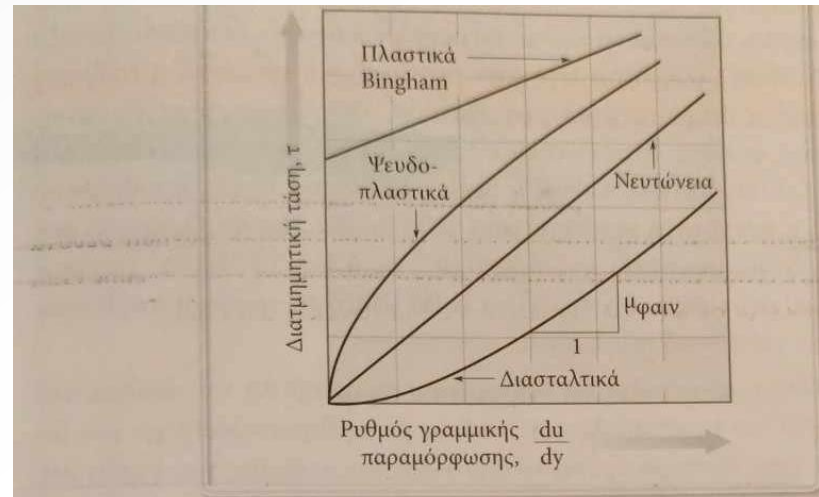


Δ.2.7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα



Δ.2.7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα

Μη Νευτώνεια ρευστά



Σχήμα 1.8. Μεταβολή της διατμητικής τάσης με τη βαθμίδα ταχύτητας du/dy για διάφορα είδη ρευστών

Για ψευδοπλαστικά ρευστά το φαινομενικό ιξώδες μειώνεται με αυξανόμενο ρυθμό διάτμησης, το ρευστό γίνεται λιγότερο συνεκτικό με αύξηση της διάτμησης. Πολλά κολλοειδή αιωρήματα και πολυμερή διαλύματα είναι ψευδοπλαστικά. Για παράδειγμα, το χρώμα λατέξ δεν στάζει από το πινέλο επειδή ο ρυθμός διάτμησης είναι μικρός και το φαινομενικό ιξώδες είναι μεγάλο. Ωστόσο, ρέει ομαλά πάνω στον τοίχο, επειδή το λεπτό στρώμα του χρώματος μεταξύ του τοίχου και του πινέλου προκαλεί ένα μεγάλο ρυθμό γωνιακής παραμόρφωσης (μεγάλο du/dy) και ένα μικρό φαινομενικό ιξώδες.

Για διασταλτικά ρευστά το φαινομενικό ιξώδες αυξάνει με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης, το ρευστό γίνεται περισσότερο συνεκτικό με αύξηση της διάτμησης. Κλασικά παραδείγματα τέτοιων ρευστών είναι οι αμυλούχες κόλλες, το υγρό τσιμεντοσκυρόδεμα και το μίγμα νερού-άμμου (κινούμενη άμμος).

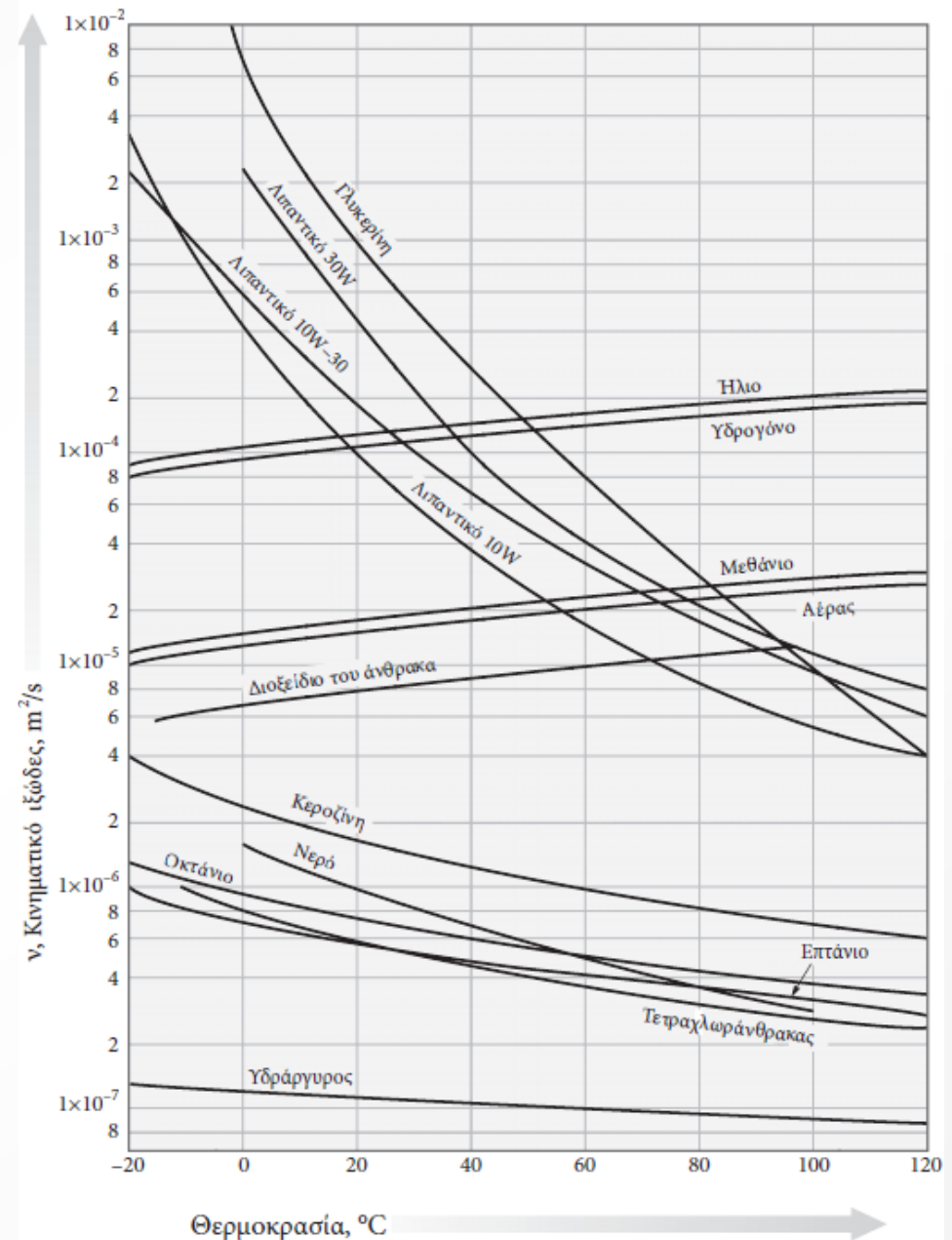
Ο άλλος τύπος συμπεριφοράς, που φαίνεται στο Σχήμα 1.8, είναι το πλαστικό Bingham, το οποίο δεν είναι ούτε ρευστό ούτε στερεό. Ένα τέτοιο υλικό μπορεί να αντέξει μία ορισμένη διατμητική τάση χωρίς να κινηθεί (επομένως δεν είναι υγρό), αλλά μόλις υπερβεί μία κρίσιμη τάση ρέει σαν ένα ρευστό (επομένως, δεν

Δ.2.7. Ιξώδες/Συνεκτικότητα

- Κινηματικό ιξώδες (ν):**

$$\nu = \mu / \rho$$

$$(\text{m}^2/\text{s}, \text{L}^2/\text{t})$$

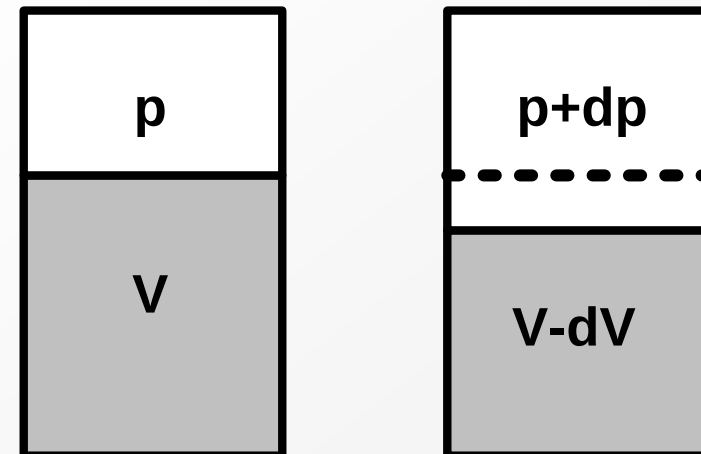


Δ.2.8. Συμπιεστότητα

- Πώς ο **όγκος δεδομένης μάζας** του ρευστού (και άρα και η πυκνότητα) **μεταβάλλεται** με τη **μεταβολή** της **πίεσης??**
- **Μέγεθος** περιγραφής συμπιεστότητας: **Μέτρο Ελαστικότητας**

$$E_v = -\frac{dp}{dV / V} \quad \text{αύξηση της πίεσης προκαλεί μείωση του όγκου}$$

$$E_v = \frac{dp}{dp / \rho} \quad \text{αύξηση της πίεσης προκαλεί αύξηση της πυκνότητας}$$



Δ.2.8. Συμπιεστικότητα

- **Συμπίεση αερίων**: η σχέση p και ρ (και άρα και η τιμή του μέτρου ελαστικότητας) εξαρτάται από τις συνθήκες της διαδικασίας συμπίεσης
 - Υπό **σταθερή θερμοκρασία** (ισοθερμική διαδικασία)
 - **Χωρίς ανταλλαγή θερμότητας** (ισεντροπική διαδικασία)

$$\frac{p}{\rho^k} = \text{σταθερό} \Rightarrow E_v = k \cdot p$$

$$k = \frac{C_p}{C_v},$$

C_p = Ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση

C_v = Ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο

- **Ταχύτητα ήχου**: αποτέλεσμα της συμπιεστότητας ενός ρευστού είναι ότι μία **μικρή διαταραχή** που δημιουργείται σε κάποιο σημείο διαδίδεται στο ρευστό με συγκεκριμένη ταχύτητα (ταχύτητα ήχου)

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} = \sqrt{\frac{kp}{\rho}} \quad (\text{ισεντροπική διαδικασία})$$

$$c = \sqrt{kRT}$$

~300m/sec στον αέρα και ~1400m/sec στο νερό

Δ.2.9. Πίεση Ατμού

Για να βράσει νερό στους 0°C , απαιτείται μια απόλυτη πίεση 0.6 kN/m^2 , δηλαδή απαιτείται μια υποπίεση (κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση) περίπου 100 kN/m^2 .

Υπάρχουν πολλά προβλήματα στην υδραυλική και στα υδραυλικά έργα όπου λόγω της ροής δημιουργούνται σε ορισμένες περιοχές της ροής πιέσεις πολύ χαμηλές, με αποτέλεσμα να έχουμε τοπικά φαινόμενα «βρασμού» του νερού, με σοβαρές καταστροφικές συνέπειες (φαινόμενο **σπηλαίωσης, cavitation**).

<https://www.youtube.com/watch?v=WRTp3JDG9Fs>

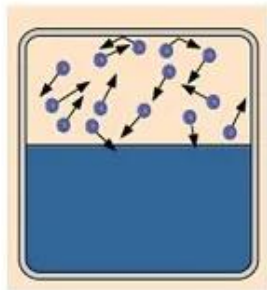
<https://www.youtube.com/watch?v=zwQXM04PLT4>

<https://www.youtube.com/watch?v=zLA6fGsHEC4>

Δ.2.9. Πίεση Ατμού

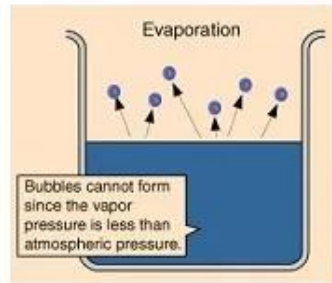
https://en.wikipedia.org/wiki/Vapor_pressure

Boiling Point



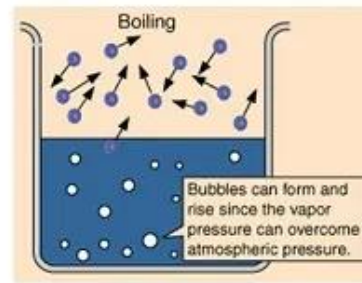
25 °C

↓ Atm Pressure
↑ Vapor Pressure



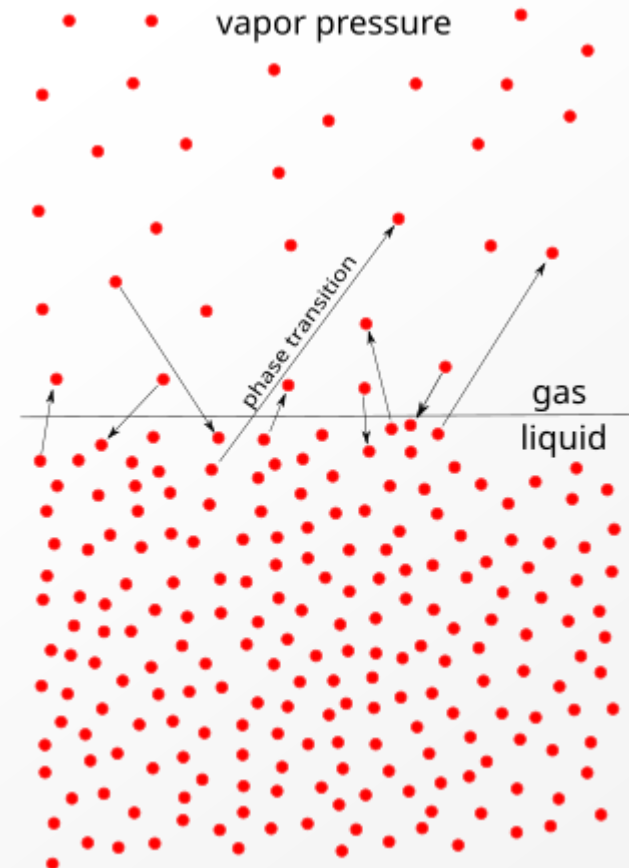
70 °C

↓ Atm Pressure
↑ Vapor Pressure



100 °C

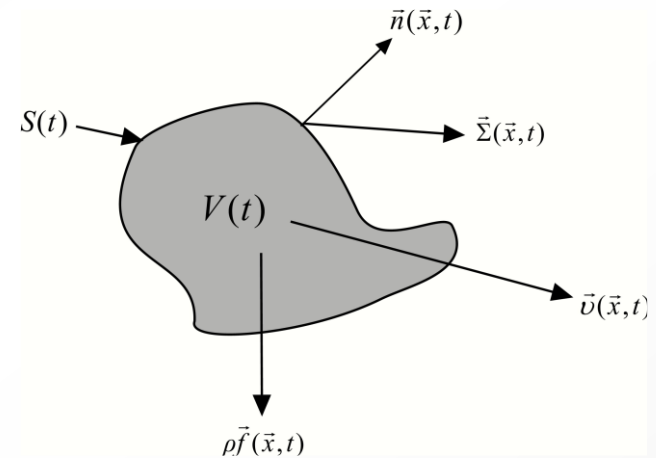
↓ Atm Pressure
↑ Vapor Pressure



Δ.2.10. Επιφανειακή τάση

Μια από τις βασικότερες έννοιες της μηχανικής των ρευστών είναι η τάση σε μια στοιχειώδη μικρή επιφάνεια δs στο σημείο x τη χρονική στιγμή t , η οποία ορίζεται ως:

$$\vec{\Sigma}(\vec{n}, \vec{x}, t) = d\vec{F} / \delta s$$



Κατά συνέπεια η τάση είναι μια δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας, που εξασκείται από το ρευστό που περιβάλλει τον στοιχειώδη όγκο $V(t)$.

Δεχόμαστε, συμβατικά ότι η «θετική» διεύθυνση του μοναδιαίου διανύσματος, που εξασκείται στην επιφάνεια δs του στοιχειώδους όγκου $V(t)$, είναι από τον όγκο $V(t)$ προς το περιβάλλον ρευστό. Συνεπώς, θετική τάση σημαίνει εφελκυσμό, ενώ αρνητική σημαίνει συμπίεση.

Δ.2.10. Επιφανειακή τάση

Μέσα στο σώμα ενός υγρού ένα μόριο έλκεται με τον ίδιο τρόπο προς όλες τις κατευθύνσεις από τα άλλα μόρια που το περιβάλλουν, αλλά στην επιφάνεια ανάμεσα στο υγρό και τον αέρα δεν είναι σε ισορροπία. Η επιφάνεια του υγρού συμπεριφέρεται σα να είναι μια ελαστική μεμβράνη που βρίσκεται υπό πίεση.

Ως επιφανειακή τάση σ ορίζουμε τη δύναμη που δρα ανά μονάδα μήκους σε μια υποτιθέμενη γραμμή σε μια επιφάνεια υγρού.

Η επιφανειακή τάση είναι υπεύθυνη για την ιδιότητα των τριχοειδών που προκαλεί την άνοδο ενός υγρού σε ένα λεπτό σωλήνα όταν το χαμηλότερο άκρο του είναι ανεστραμμένο σε ένα υγρό που βρέχει το σωλήνα.

Η επιφανειακή τάση ανυψώνει το νερό (εδαφική υγρασία) από την στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα προς τα πάνω μέσα στους πόρους του εδάφους.

<https://www.youtube.com/watch?v=PP9mn-X9i2Q>

Δ.2.10. Επιφανειακή τάση

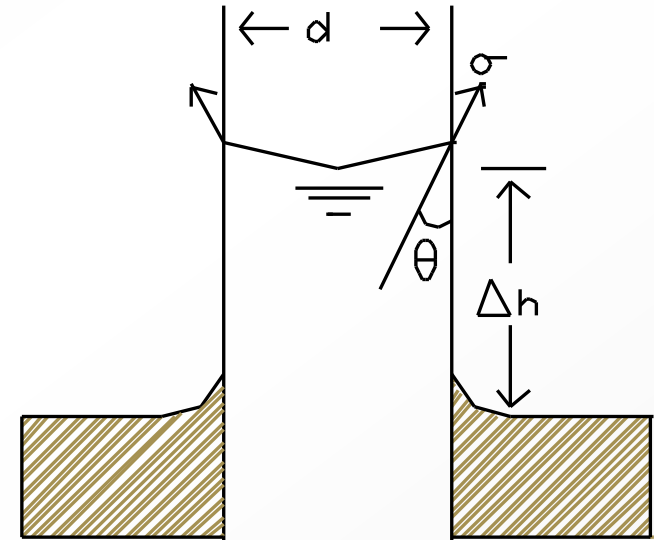
Εάν θ είναι η γωνία επαφής ανάμεσα στο υγρό και το στερεό σε ένα σωλήνα, η έλξη προς τα πάνω λόγω της επιφανειακής τάσης σ , είναι ίση με $\sigma \pi d \cos\theta$, όπου d είναι η διάμετρος του σωλήνα

$$\rho g \frac{\pi}{4} d^2 \Delta h$$

$$\sigma \pi d \cos\theta = \rho g \frac{\pi}{4} d^2 \Delta h$$

βάρος του υγρού που ανέβηκε =

$$\Delta h = \frac{4 \sigma \cos\theta}{\rho g d}$$

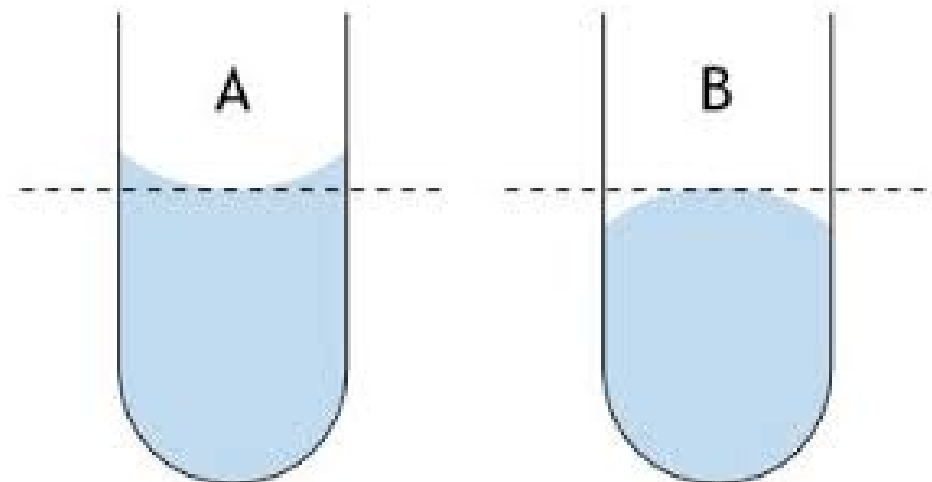


Η γωνία θ θεωρείται συνήθως μηδέν για το νερό

Η ιδιότητα των τριχοειδών είναι μια πηγή λαθών στους σωλήνες μετρήσεων.

Για το νερό σε ένα σωλήνα με διάμετρο 6 mm το ύψος h είναι 4.5 mm, ενώ για τον υδράργυρο η ανάλογη ποσότητα είναι -1.5 mm.

Δ.2.10. Επιφανειακή τάση



Δ.2.11. Φυσικές Ιδιότητες Ρευστών

Φυσικές Ιδιότητες Αέρα

Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m ³)	Specific Weight ^b , γ (N/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N·s/m ²)	Kinematic Viscosity, ν (m ² /s)	Specific Heat Ratio, k (—)	Speed of Sound, c (m/s)
−40	1.514	14.85	1.57 E − 5	1.04 E − 5	1.401	306.2
−20	1.395	13.68	1.63 E − 5	1.17 E − 5	1.401	319.1
0	1.292	12.67	1.71 E − 5	1.32 E − 5	1.401	331.4
5	1.269	12.45	1.73 E − 5	1.36 E − 5	1.401	334.4
10	1.247	12.23	1.76 E − 5	1.41 E − 5	1.401	337.4
15	1.225	12.01	1.80 E − 5	1.47 E − 5	1.401	340.4
20	1.204	11.81	1.82 E − 5	1.51 E − 5	1.401	343.3
25	1.184	11.61	1.85 E − 5	1.56 E − 5	1.401	346.3
30	1.165	11.43	1.86 E − 5	1.60 E − 5	1.400	349.1
40	1.127	11.05	1.87 E − 5	1.66 E − 5	1.400	354.7
50	1.109	10.88	1.95 E − 5	1.76 E − 5	1.400	360.3
60	1.060	10.40	1.97 E − 5	1.86 E − 5	1.399	365.7
70	1.029	10.09	2.03 E − 5	1.97 E − 5	1.399	371.2
80	0.9996	9.803	2.07 E − 5	2.07 E − 5	1.399	376.6
90	0.9721	9.533	2.14 E − 5	2.20 E − 5	1.398	381.7
100	0.9461	9.278	2.17 E − 5	2.29 E − 5	1.397	386.9
200	0.7461	7.317	2.53 E − 5	3.39 E − 5	1.390	434.5
300	0.6159	6.040	2.98 E − 5	4.84 E − 5	1.379	476.3
400	0.5243	5.142	3.32 E − 5	6.34 E − 5	1.368	514.1
500	0.4565	4.477	3.64 E − 5	7.97 E − 5	1.357	548.8
1000	0.2772	2.719	5.04 E − 5	1.82 E − 4	1.321	694.8

^aBased on data from R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.

^bDensity and specific weight are related through the equation $\gamma = \rho g$. For this table $g = 9.807 \text{ m/s}^2$.

Δ.2.11. Φυσικές Ιδιότητες Ρευστών

Φυσικές Ιδιότητες Νερού

Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m ³)	Specific Weight ^b , γ (kN/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N·s/m ²)	Kinematic Viscosity, ν (m ² /s)	Surface Tension ^c , σ (N/m)	Vapor Pressure, p_v [N/m ² (abs)]	Speed of Sound ^d , c (m/s)
0	999.9	9.806	1.787 E - 3	1.787 E - 6	7.56 E - 2	6.105 E + 2	1403
5	1000.0	9.807	1.519 E - 3	1.519 E - 6	7.49 E - 2	8.722 E + 2	1427
10	999.7	9.804	1.307 E - 3	1.307 E - 6	7.42 E - 2	1.228 E + 3	1447
20	998.2	9.789	1.002 E - 3	1.004 E - 6	7.28 E - 2	2.338 E + 3	1481
30	995.7	9.765	7.975 E - 4	8.009 E - 7	7.12 E - 2	4.243 E + 3	1507
40	992.2	9.731	6.529 E - 4	6.580 E - 7	6.96 E - 2	7.376 E + 3	1526
50	988.1	9.690	5.468 E - 4	5.534 E - 7	6.79 E - 2	1.233 E + 4	1541
60	983.2	9.642	4.665 E - 4	4.745 E - 7	6.62 E - 2	1.992 E + 4	1552
70	977.8	9.589	4.042 E - 4	4.134 E - 7	6.44 E - 2	3.116 E + 4	1555
80	971.8	9.530	3.547 E - 4	3.650 E - 7	6.26 E - 2	4.734 E + 4	1555
90	965.3	9.467	3.147 E - 4	3.260 E - 7	6.08 E - 2	7.010 E + 4	1550
100	958.4	9.399	2.818 E - 4	2.940 E - 7	5.89 E - 2	1.013 E + 5	1543

^aBased on data from *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988.

^bDensity and specific weight are related through the equation $\gamma = \rho g$. For this table, $g = 9.807 \text{ m/s}^2$.

^cIn contact with air.

^dFrom R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.

Δ.2.12. Ασκήσεις

Πρίνος Π. «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ», 2014, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, ISBN 978-960-456-419-4.

Βιβλίο [41963463]

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

- | | |
|-----|------------|
| 1.1 | σελ. 24 |
| 1.2 | σελ. 24-25 |
| 1.3 | σελ. 26-27 |
| 1.4 | σελ. 33 |

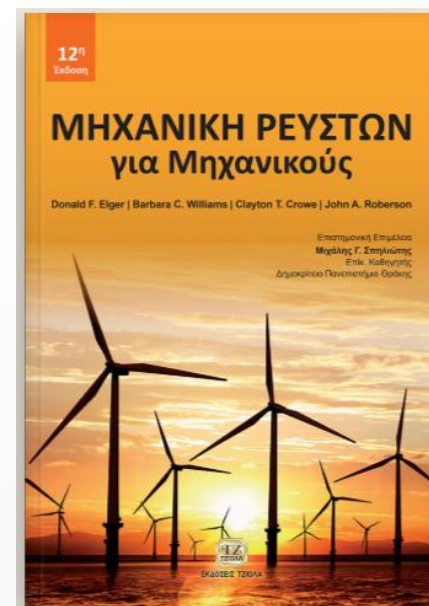
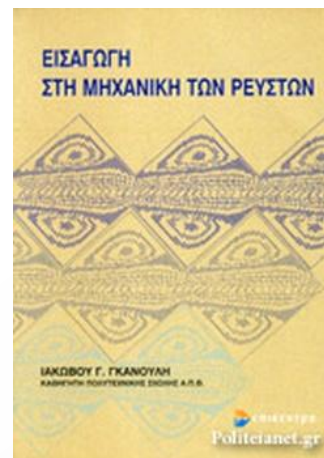
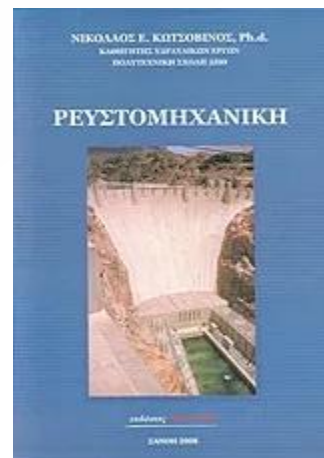
Δ.2. Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1

1. Πρίνος Π. «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ», 2014, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, ISBN 978-960-456-419-4. Βιβλίο [41963463]
2. Κωτσοβίνος Ν. «ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ», 2008, Εκδόσεις ΣΠΑΝΙΔΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ, ISBN 978-960-6653-34-6. Βιβλίο [833]
3. Γκανούλης Ι. «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ», 2007, ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ, ISBN 978-960-8731-8-6. Βιβλίο [14945]

Μεταφρασμένη στα ελληνικά Βιβλιογραφία διαθέσιμη από ΕΥΔΟΞΟ

4. Elger F. Donald - Williams C. Barbara - Crowe T. Clayton - Roberson A. John. Μηχανική Ρευστών. Επιμέλεια στα Ελληνικά: Μιχάλης Σπηλιώτης Βιβλίο [77106811]



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ πολύ για την προσοχή σας !!!

