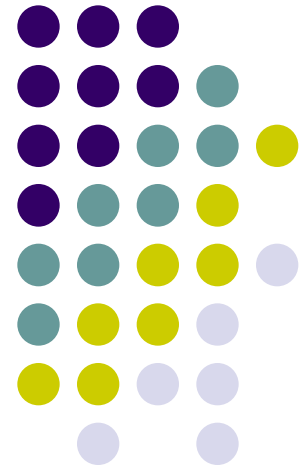


Ρευστομηχανική

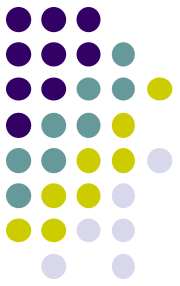
5ο εξάμηνο

Γεώργιος Γκαϊντατζής
Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης
Πολυτεχνική Σχολή
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης



Ποιος είμαι ...



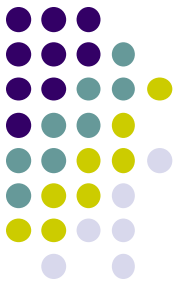
- **Doctor of Philosophy (Ph.D.)**
(Τμήμα Περιβαλλοντικής Χημικής Μηχανικής, Μεταπτυχιακή Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Saitama, Ιαπωνίας)
- **Master of Engineering (M.E.)**
(ομοίως με παραπάνω)
- **Πτυχίο Φυσικής**
(Φυσικό Τμήμα Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης)
- **Μεταπτυχιακός Τίτλος Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA)**
(Ελληνική Ένωση Διοίκησης Επιχειρήσεων-ΕΕΔΕ)

Που θα με ξανασυναντήσετε ...



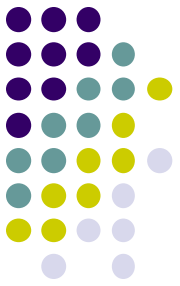
- Συστήματα Βιομηχανικών Διεργασιών (6^ο εξάμηνο)
- Περιβαλλοντική Μηχανική (8^ο εξάμηνο)
- Διπλωματική εργασία

Τι θα κάνετε μαζί μου (περιγραφή μαθήματος)



- εισαγωγικές έννοιες
- στατική των ρευστών (πίεση, μέτρηση πίεσης, ρευστά σε ισορροπία, ρευστά σε επιτάχυνση, περιστροφή ρευστού, άνωση)
- κινηματική και δυναμική των ρευστών (πεδίο ροής, ρυθμοί ροής μάζας και όγκου, είδη ροής, αρχές διατήρησης μάζας, ορμής, μακροσκοπική εξίσωση ενέργειας, εξισώσεις Bernoulli, κτλ.)
- ροή ασυμπίεστων ρευστών σε κλειστούς αγωγούς (στρωτή, τυρβώδης ροή, πρωτεύουσες και δευτερεύουσες απώλειες ενέργειας, γραμμή ενέργειας και υδραυλική γραμμή, σιφωνισμός και συνδυασμοί αγωγών)
- ροή σε ανοιχτούς αγωγούς (γεωμετρία καναλιών, εξίσωση Chezy, Manning, αρίστη υδραυλική διατομή, ενέργεια ροής, υδραυλικό άλμα)
- μετρήσεις στη μηχανική ρευστών (μετρητές ταχύτητας, πίεσης, παροχής, ιξώδους)
- μεταφορά ρευστών (αερίων, υγρών) με αντλίες (χαρακτηριστικά αντλιών, συνδέσεις)
- Μη-Νευτώνεια ρευστά (χαρακτηριστικά και κατηγορίες μη-Νευτώνειων ρευστών, άντληση)

Τι θα κάνετε μαζί μου (σκοπός μαθήματος)



- εισαγωγή των φοιτητών στις έννοιες
 - της ροής ρευστών,
 - του ιξώδους,
 - της πίεσης,
 - της άνωσης,
 - των απωλειών ενέργειας κατά τη ροή και της εφαρμογής της,
 - των μη-Νευτώνειων ρευστών και χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τους (θιξοτροπία, πλαστικότητα, κτλ)
- εξοικείωση με:
 - τις μετρήσεις (άμεσες και έμμεσες) των ιδιοτήτων των ρευστών,
 - τη ροή ασυμπίεστων ρευστών σε κλειστούς αγωγούς με διακλαδώσεις,
 - η/και συνδυασμούς αγωγών και
 - τη ροή σε ανοικτούς αγωγούς για την εξασφάλιση επαρκούς
 - παροχετευτικότητας,
 - οικονομίας κατασκευής,
 - περιβαλλοντικών υπολογισμών.

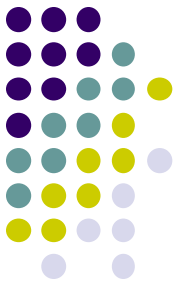
Τι αναμέν(ω)εται να ξέρετε ...



Στο τέλος του μαθήματος οι φοιτητές θα είναι σε θέση να:

- Επιλύουν προβλήματα σχετικά με:
 - την πίεση ρευστών, τις δυνάμεις που ασκούνται σε σώματα μέσα σε ρευστό και σε κατασκευές σε επαφή με ρευστά, τη ροή ρευστών σε κλειστούς αγωγούς, και τη ροή ρευστών σε ανοικτούς αγωγούς,
- Αναγνωρίζουν
 - βασικά χαρακτηριστικά της ροής ρευστών (ιξώδες, πίεση, ταχύτητα, παροχή, κτλ.), το είδος της ροής, κτλ.
- Εφαρμόζουν
 - λύσεις από απλά προβλήματα με αγωγούς (παροχεταιυτικότητα, ταχύτητα, διασκορπισμό ενέργειας)

Αξιολόγηση φοιτητών



Γραπτή εξέταση με ανοικτά βιβλία

Συγγράμματα

Μηχανική των ρευστών

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 94645124

Έκδοση: 5η έκδ./2020

Συγγραφείς: Αυλωνίτης Δ., Αυλωνίτης Σ.

ISBN: 978-618-5309-95-4

Διαθέτης (Εκδότης): Τσότρας Αθανάσιος

]

Μηχανική Ρευστών για Μηχανικούς

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 77106811

Έκδοση: 12/2018

Συγγραφείς: Elger, Williams, Crowe, Roberson

ISBN: 978-960-418-764-5

Διαθέτης (Εκδότης): Τζιόλα

Εφαρμοσμένη Μηχανική Ρευστών

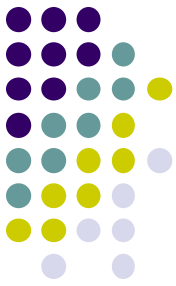
Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 50655953

Έκδοση: 7^η έκδοση

Συγγραφείς: Mott R.L., Untener J.A.

ISBN: 978-960-418-517-7

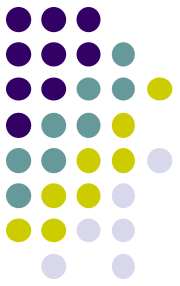
Διαθέτης (Εκδότης): Τζιόλα



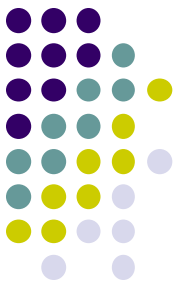
A/A	Θεματική Ενότητα Διάλεξης
1	Εισαγωγικά (μονάδες και διαστάσεις, ρευστά και ιδιότητες, ιξώδες, επιφανειακή τάση, τάση ατμών, συμπιεστότητα, στοιχεία θερμοδυναμικής)
2	Στατική των ρευστών I (ορισμός πίεσης, μεταβολή της πίεσης, μέτρηση στατικής πίεσης, μανόμετρα, ατμοσφαιρική πίεση, βαρόμετρα),
3	Στατική των ρευστών II (υδροστατικές δυνάμεις σε επίπεδη και καμπύλη επιφάνεια σε ρευστό, άνωση, ρευστά σε επιτάχυνση και περιστροφή)
5	Κινηματική ρευστών I (πεδίο ροής, μέθοδοι περιγραφής Lagrange και Euler, ρυθμοί ροής μάζας και όγκου, είδη ροής)
6	Κινηματική ρευστών II (εξισώσεις Bernoulli και Euler, αρχή διατήρησης της μάζας, αρχή διατήρησης της ορμής, εφαρμογές)
7	Κινηματική ρευστών III (θεώρημα μεταφοράς Reynolds, γενική και ειδικές εξισώσεις της ενέργειας, έργο απωλειών, εφαρμογές)
8	Ροή σε κλειστούς αγωγούς I (ροή σε οριζόντιο και κεκλιμένο κυκλικό αγωγό, ροή μεταξύ παράλληλων πλακών, απώλειες ενέργειας κατά τη ροή, διάγραμμα Moody, εφαρμογές με αγωγούς)
9	Ροή σε κλειστούς αγωγούς II (κύριες και δευτερεύουσες απώλειες, υδραυλική γραμμή, σιφωνισμός, δίκτυα αγωγών και επιλογή αντλίας)
10	Ροή σε ανοιχτούς αγωγούς (γεωμετρία καναλιών, Εξισώσεις Chezy, Manning, αρίστη υδραυλική διατομή, ενέργεια ροής, υδραυλικό άλμα, ροή σε στένωση αγωγού)
11	Μετρήσεις στη ρευστομηχανική (μετρήσεις πίεσης, ταχύτητας, παροχής, ιξώδους, υπερχειλιστές)
12	Μεταφορά ρευστών – αντλίες (επιλογή αντλίας, άντληση υγρών, είδη αντλιών, φυγοκεντρικές αντλίες, σύνδεση αντλιών, φαινόμενο σπηλαίωσης)
13	Μη Νευτώνεια ρευστά (κατηγορίες μη νευτώνειων ρευστών, άντληση μη νευτώνειων ρευστών)

Πρόγραμμα διαλέξεων

Ερωτήσεις - Απορίες ??



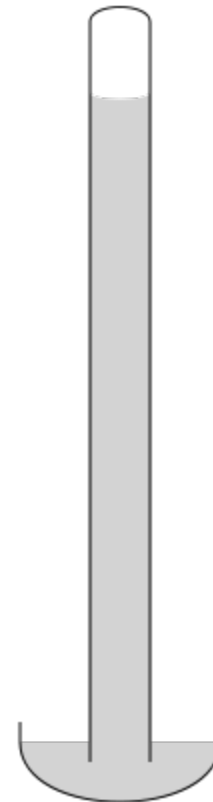
- Έναρξη στις **15.15**
 - Όχι συγκεκριμένα διαλλείματα
 - Όχι συγκεκριμένη λήξη
 - Όχι στη φασαρία
 - Όχι στη αντιγραφή (εξετάσεις)
 - Ναι στις διακοπές (ερωτήσεις)
 - Ναι στη συμμετοχή (στο μάθημα)
-
- Απορίες – Ερωτήσεις ?

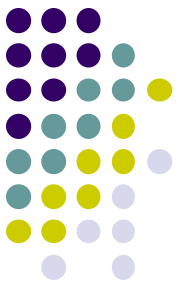


Μια ωραία ιστορία ...

Το παρακάτω κείμενο αφορά μια ερώτηση που τέθηκε σε μια εξέταση Φυσικής στο πανεπιστήμιο της Κοπενχάγης:

"Περιγράψτε πως μπορούμε να μετρήσουμε το ύψος ενός ουρανοξύστη χρησιμοποιώντας ένα βαρόμετρο".

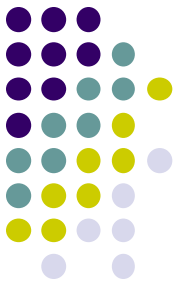




Ενας φοιτητής απάντησε :

- "Δένετε ένα μακρύ σπάγκο στο λαιμό του βαρόμετρου, τότε κατεβάζετε το βαρόμετρο από την ταρατάσα στο έδαφος. Το μήκος του νήματος συν το μήκος του βαρομέτρου θα είναι ίσο με το ύψος του κτιρίου."
- Αυτή η πρωτότυπη απάντηση, έκανε έξω φρενών τον εξεταστή έτσι ώστε ο φοιτητής κόπηκε αμέσως. Ο φοιτητής προσέφυγε στις αρχές του πανεπιστημίου διαμαρτυρόμενος ότι η απάντησή του ήταν αναμφίβολα σωστή, και το πανεπιστήμιο όρισε έναν ανεξάρτητο εξεταστή να διερευνήσει την υπόθεση. Ο διαιτητής αυτός έκρινε ότι η απάντηση ήταν πράγματι σωστή, αλλά δεν έδειχνε καμιά αξιοσημείωτη γνώση της φυσικής. Για να διαλευκανθεί τελείως το θέμα αποφασίστηκε να καλέσουν το σπουδαστή και να του αφήσουν έξι λεπτά μέσα στα οποία αυτός έπρεπε να δώσει μια προφορική απάντηση που να δείχνει μια εξοικείωση με τη φυσική σκέψη.
- Για πέντε λεπτά αυτός παρέμεινε σιωπηλός, βυθισμένος σε σκέψεις. Ο εξεταστής του θύμισε ότι ο χρόνος τελείωνε, και ο σπουδαστής απάντησε ότι ήδη είχε στο μυαλό του αρκετές συναφείς απαντήσεις αλλά δεν μπορούσε να αποφασίσει ποια να χρησιμοποιήσει. Στην προτροπή να βιαστεί, ο σπουδαστής απάντησε ως εξής:

απάντησε ...



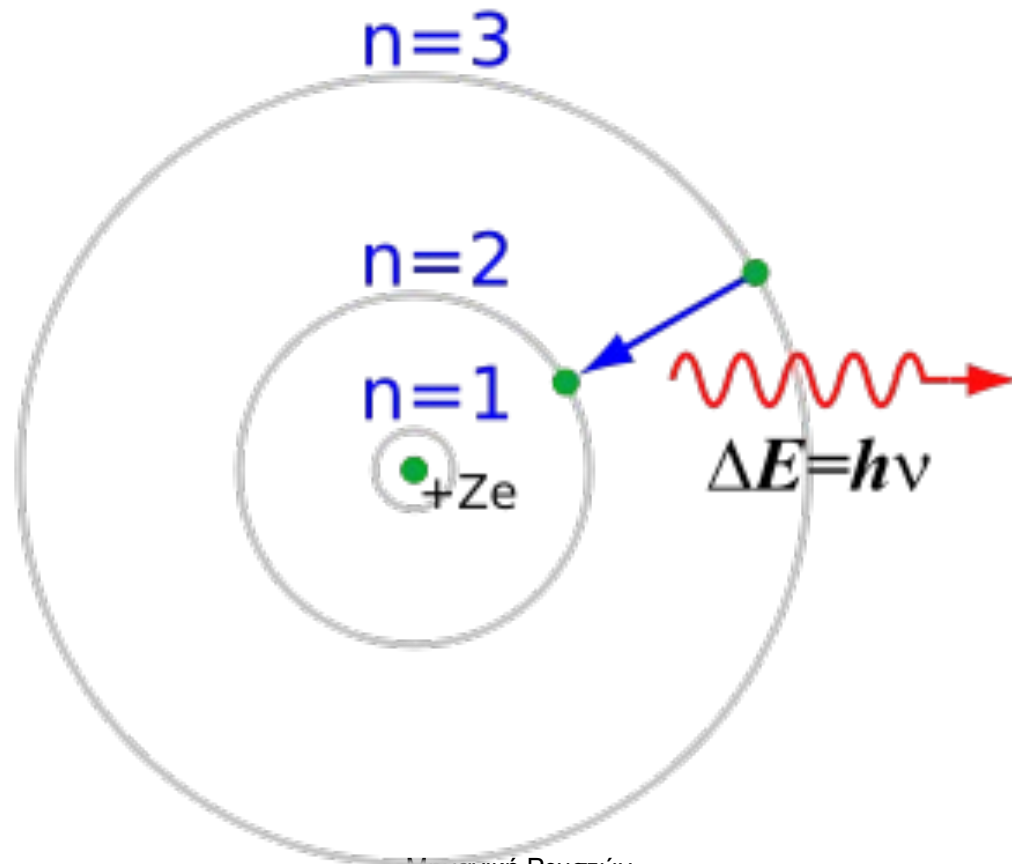
1. " Κατ' αρχήν μπορείς να ανεβάσεις το βαρόμετρο στην κορυφή του ουρανοξύστη, να το αφήσεις να πέσει στο δρόμο και να μετρήσεις το χρόνο που κάνει να φτάσει στο έδαφος. Το ύψος του κτιρίου μπορεί τότε να βρεθεί από τον τύπο $h = gt^2/2$. Αλλά αλίμονο στο βαρόμετρο."
2. "Η αν υπάρχει ηλιοφάνεια μπορείς να μετρήσεις το ύψος του βαρόμετρου, να το στήσεις όρθιο στο έδαφος και να μετρήσεις το μήκος της σκιάς του. Να μετρήσεις ύστερα το μήκος της σκιάς του ουρανοξύστη, και τέλος με απλή αριθμητική αναλογία να βρεις το πραγματικό ύψος του ουρανοξύστη."
3. "Αλλά αν θέλεις να κάνεις μια πραγματικά επιστημονική δουλειά, θα μπορούσες να δέσεις ένα μικρού μήκους νήμα στο βαρόμετρο και να το βάλεις σε ταλάντωση σαν εκκρεμές, πρώτα στο έδαφος και μετά στην ταρατσα του ουρανοξύστη. Το ύψος θα μπορούσε στη συνέχεια να βρεθεί μετρώντας και συγκρίνοντας τις δυο περιόδους οι οποίες είναι αντιστρόφως ανάλογες των τετραγωνικών ριζών των επιταχύνσεων της βαρύτητας, στο έδαφος και στο ύψος του ουρανοξύστη. Η επιτάχυνση της βαρύτητας εξαρτάται με τη σειρά της από το ύψος από την επιφάνεια της γης και συνεπώς γνωρίζοντας την επιτάχυνση της βαρύτητας στην ταρατσα βρίσκουμε το ύψος."

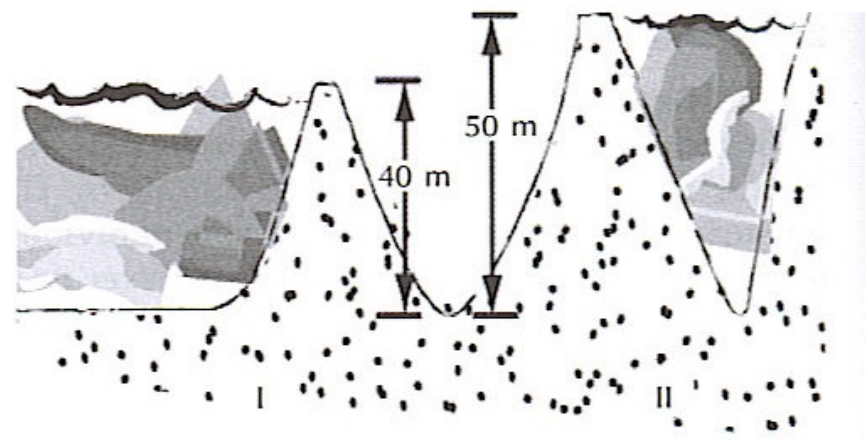
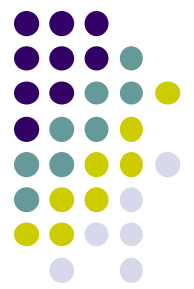
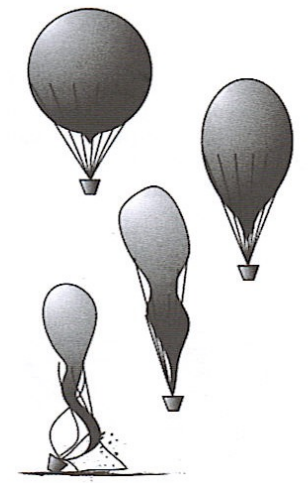
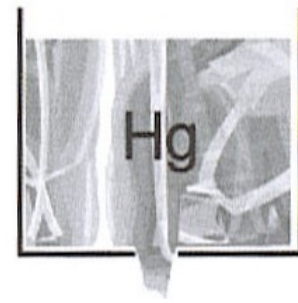
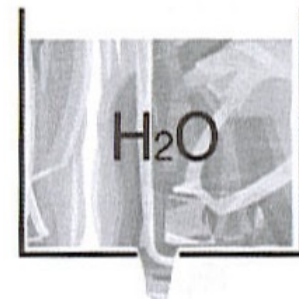
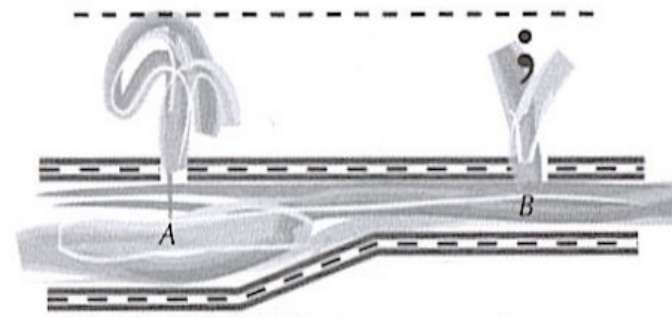
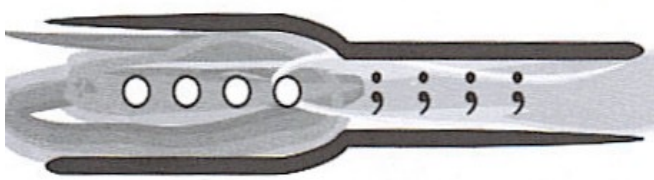
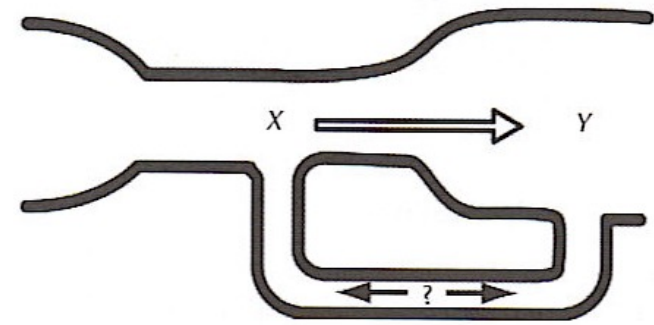
απάντησε ...

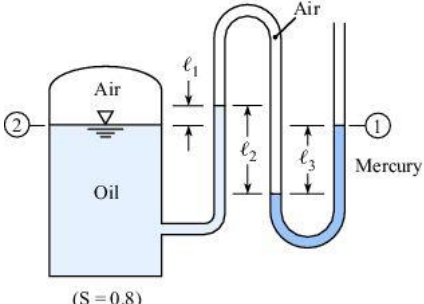
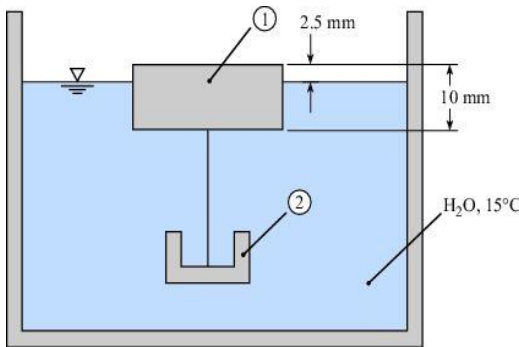


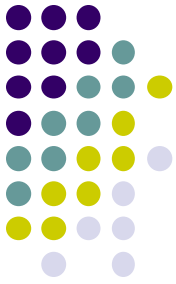
4. "Η αν ο ουρανοξύστης διαθέτει μια εξωτερική σκάλα κινδύνου θα ήταν ευκολότερο να ανεβείς τη σκάλα και να βάλεις διαδοχικά σημάδια επαναλαμβάνοντας το μήκος του βαρόμετρου. Μετά να προσθέσεις όλα αυτά τα μήκη."
5. " Αν απλώς βαριόσουν, και ήθελες να χρησιμοποιήσεις το βαρόμετρο με ορθόδοξο τρόπο, μπορούσες να μετρήσεις την ατμοσφαιρική πίεση στην ταράτσα και στο έδαφος και να μετατρέψεις την διαφορά των milibars σε αντίστοιχη διαφορά σε μέτρα."
6. "Αλλά επειδή ως φοιτητές συνεχώς παροτρυνόμαστε να ασκούμε την ανεξαρτησία του μυαλού και να εφαρμόζουμε επιστημονικές μεθόδους, αναμφίβολα ο καλύτερος τρόπος θα ήταν, να χτυπήσουμε την πόρτα του θυρωρού και να του πούμε: "Αν θα σου άρεσε να έχεις ένα ωραίο καινούριο βαρόμετρο, θα σου χαρίσω αυτό αν μου πεις το ύψος του ουρανοξύστη".

Ο σπουδαστής αυτός ήταν ο **Niels Bohr** ο μόνος Δανός που κέρδισε το βραβείο Nobel της Φυσικής.



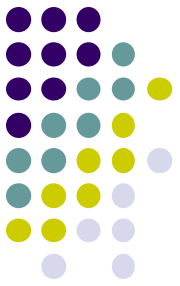


Θέμα	Περιγραφή - Επεξήγηση	Μονάδες	
1	<p>Στην πλήρως ανεπτυγμένη ροή ρευστού μέσα σε κλειστό αγωγό η διαμητική τάση του τοιχώματος:</p> <p>α) αυξάνεται σταθερά κατά μήκος της ροής β) ελαττώνεται σταθερά κατά μήκος της ροής γ) αυξομειώνεται ανάλογα με το είδος της ροής και το υλικό των τοιχωμάτων του αγωγού δ) παραμένει σταθερή</p>	1	
2	<p>Η βέλτιστη υδραυλική διατομή για ομοιόμορφη ροή σε αγωγό τραπεζοειδούς διατομής με πλάτος πυθμένα b και βάθος ροής h, εμφανίζεται όταν :</p> <p>α) $h=0,86b$, β) $h=b$, γ) $h=b/2$, δ) $h=2b$</p>	1	
3	<p>Υπολογίστε τη σχετική πίεση του αέρα στη δεξαμενή</p> <p>$l_1=40\text{cm}$, $l_2=100\text{cm}$, $l_3=80\text{cm}$ $\gamma_{\text{H}_2\text{O}}=9810 \text{ N/m}^3$ $S_{\text{oil}}=0,8$ $\gamma_{\text{Hg}}=133000 \text{ N/m}^3$ $g=9,81 \text{ m/s}^2$</p>	 <p>($S = 0.8$)</p>	2
4	<p>Το μεταλλικό αντικείμενο 2 κρέμεται από ένα κομμάτι ξύλου (σχετικό ειδικό βάρος 0,3) που επιπλέει σε νερό ($\gamma=9800 \text{ N/m}^3$).</p> <p>Το ξύλο έχει διαστάσεις 50x50x10 mm και το μεταλλικό αντικείμενο έχει όγκο 6660 mm³.</p> <p>Προσδιορίστε τη μάζα του μεταλλικού αντικειμένου.</p> <p>($g=9,81 \text{ m/s}^2$)</p>		3
5	<p>Νερό ρέει σε αγωγό ορθογωνικής διατομής με ταχύτητα 20 m/s. Το βάθος ροής είναι 50 cm. Παρεμβάλλεται ένα εμπόδιο στον πυθμένα και προκαλείται υδραυλικό άλμα.</p> <p>α) Ποιο είναι το νέο βάθος ροής, β) πόση είναι η ταχύτητα ροής μετά το άλμα, γ) ποιο είναι το ύψος απωλειών. ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)</p>	3	

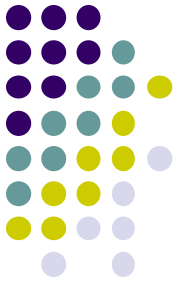


Εφαρμογές ρευστομηχανικής

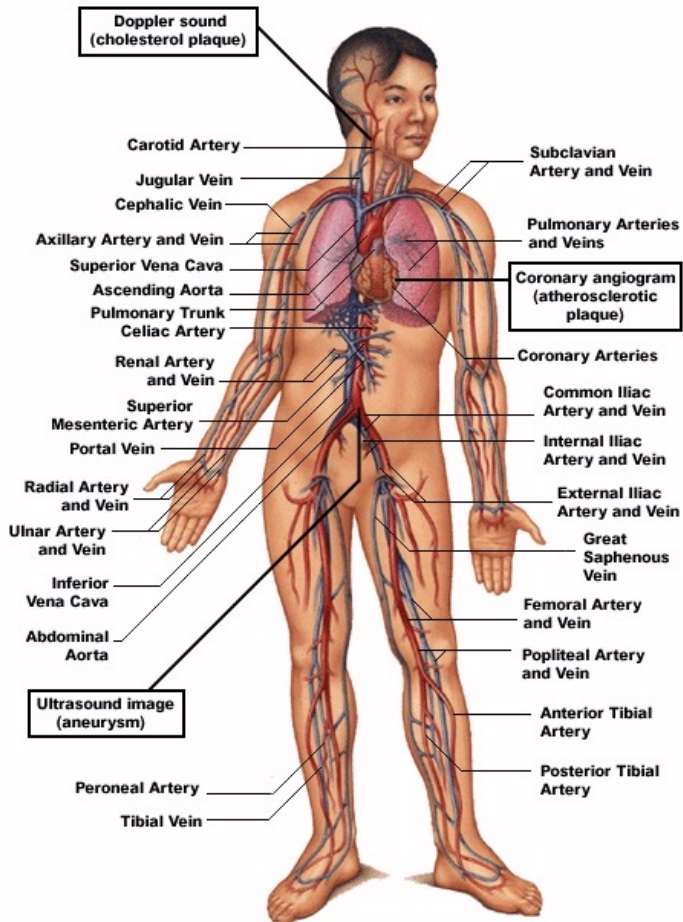
(Αερο)ναυπηγική



Εφαρμογές ρευστομηχανικής

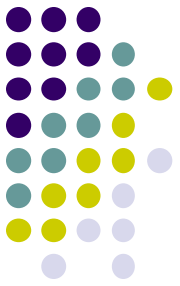


Βιο-μηχανική / Ιατρική



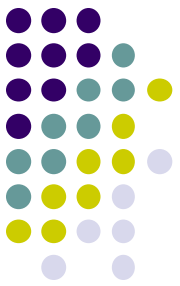
Εφαρμογές ρευστομηχανικής

Παραγωγή ενέργειας



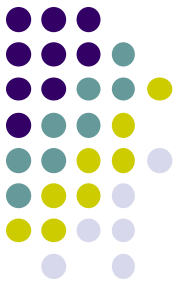
Εφαρμογές ρευστομηχανικής

Γεωλογία



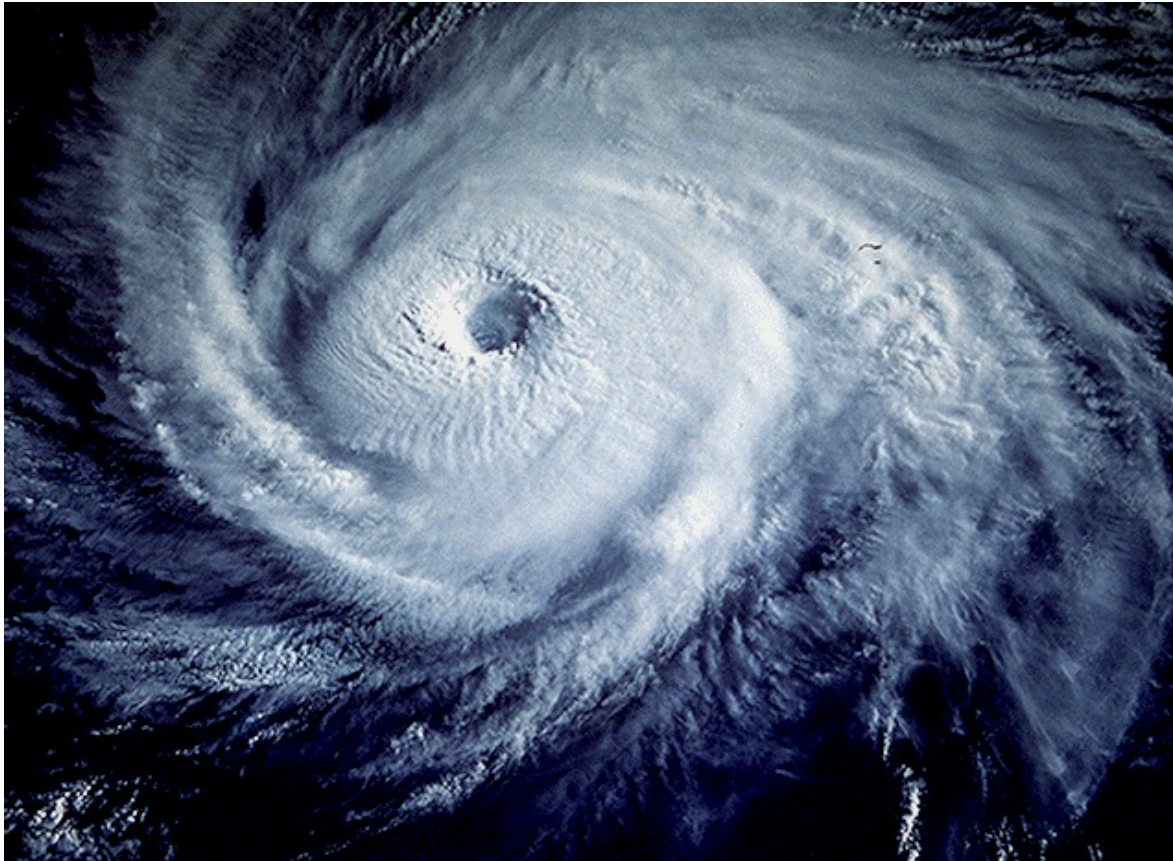
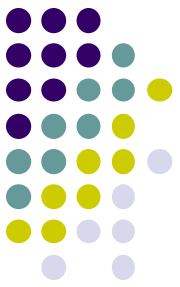
Εφαρμογές ρευστομηχανικής

Υδραυλική ποταμών-Υδραυλικές κατασκευές

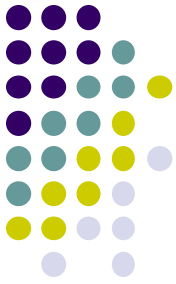


Εφαρμογές ρευστομηχανικής

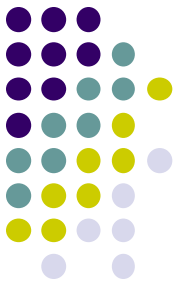
Μετεωρολογία



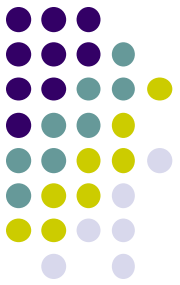
Εφαρμογές ρευστομηχανικής



Εφαρμογές ρευστομηχανικής



Aerodynamics of Golf



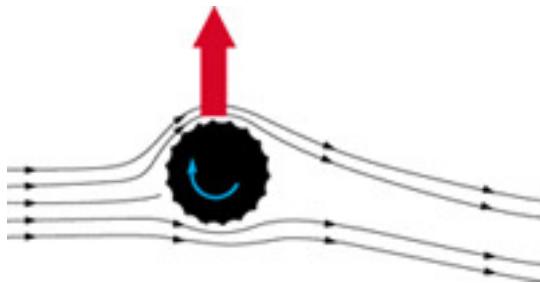
Smooth



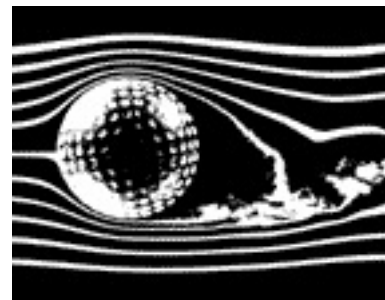
Dimpled

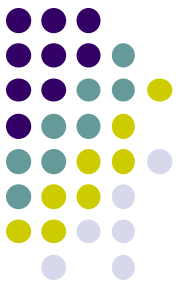


Effect of spin



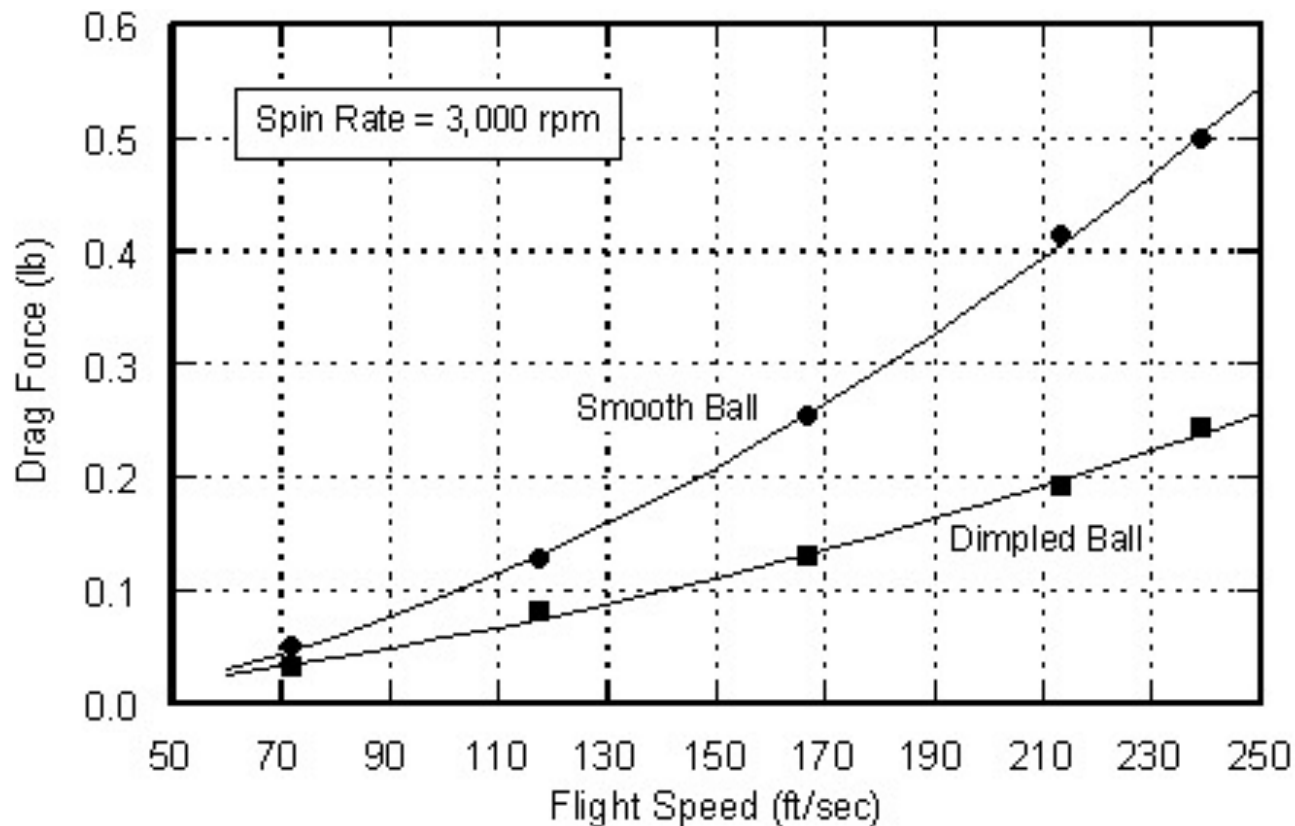
Wind tunnel test



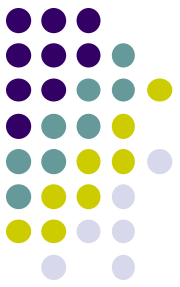


Aerodynamics of Golf

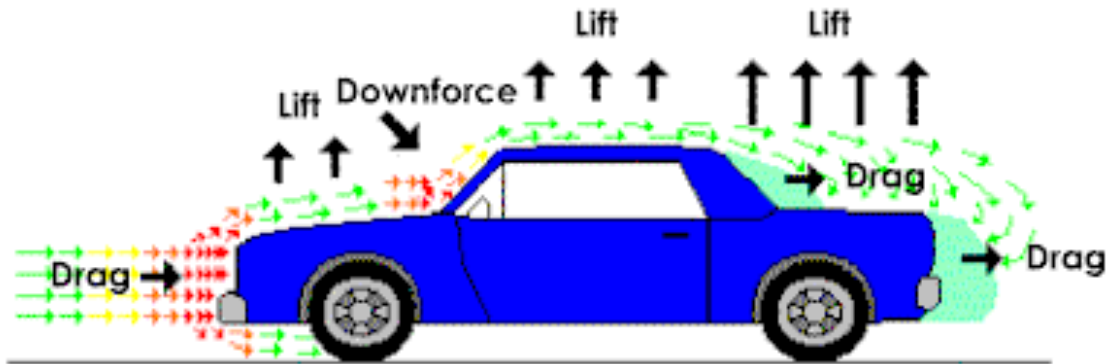
- Dimples reduce drag due to the low pressure wake in front of the golf ball.



Αγωνιστική αυτοκίνηση



Lift and Downforce From Over Body Flow

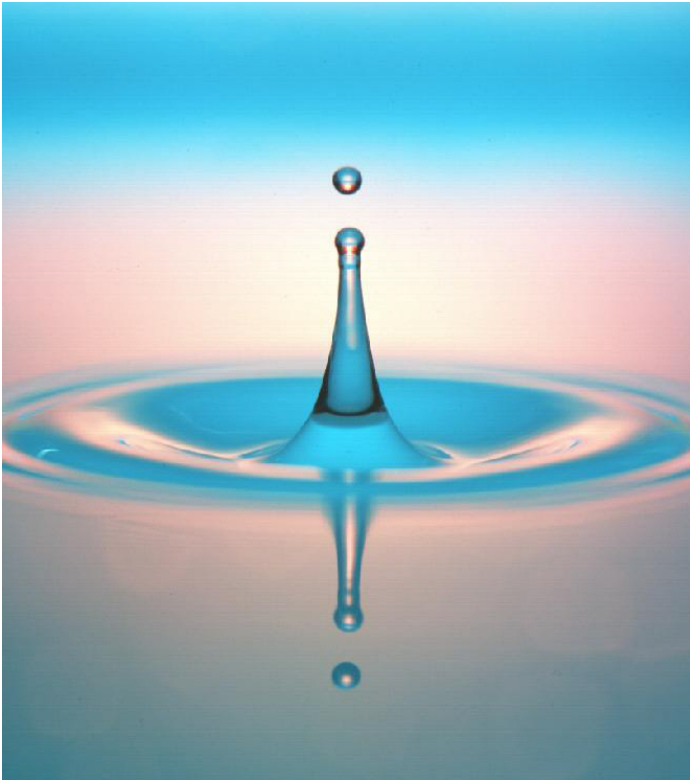
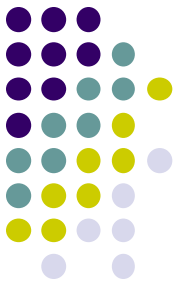


Spoiler

Rear spoiler creates a high pressure area that "pushes" down on rear of car



Η ρευστομηχανική είναι όμορφη



Η ρευστομηχανική είναι (και) τέχνη

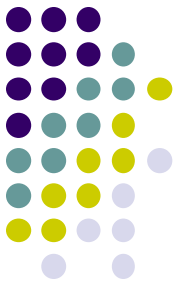


The great wave
Ukiyo-e by Hokusai

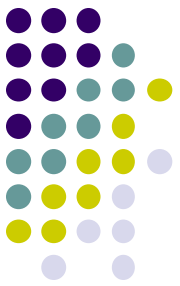


Starry night by van Gogh

Μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων Ρευστομηχανικής



- **Αναλυτική Ρευστομηχανική** - *Analytical Fluid Dynamics (AFD)*
Μαθηματική ανάλυση με ακριβείς η/και κατ' εκτίμηση λύσεις
(το μάθημά μας)
- **Υπολογιστική Ρευστομηχανική** - *Computational Fluid Dynamics (CFD)*
Αριθμητική λύση εξισώσεων που περιγράφουν ένα πρόβλημα
- **Πειραματική Ρευστομηχανική** - *Experimental Fluid Dynamics (EFD)*
Παρατήρηση και απόκτηση δεδομένων



Αναλυτική Ρευστομηχανική

Πόσο γρήγορα ταξιδεύει ένα tsunami σε θάλασσα με μεγάλα βάθη
Εξισώσεις Navier-Stokes για ασυμπίεστη ροή

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} = \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{U}$$

Γραμμικές κυματικές εξισώσεις για άτριβη, μη περιστρεφόμενη ροή

$$\begin{aligned} \nabla^2 \phi &= 0, \mathbf{U} = \nabla \phi \\ \frac{\partial \phi}{\partial z} &= 0 \text{ on } z = -h \\ \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} &= -g \frac{\partial \phi}{\partial z} \text{ on } z = 0 \end{aligned}$$

Προσέγγιση για $l/h \gg 1$

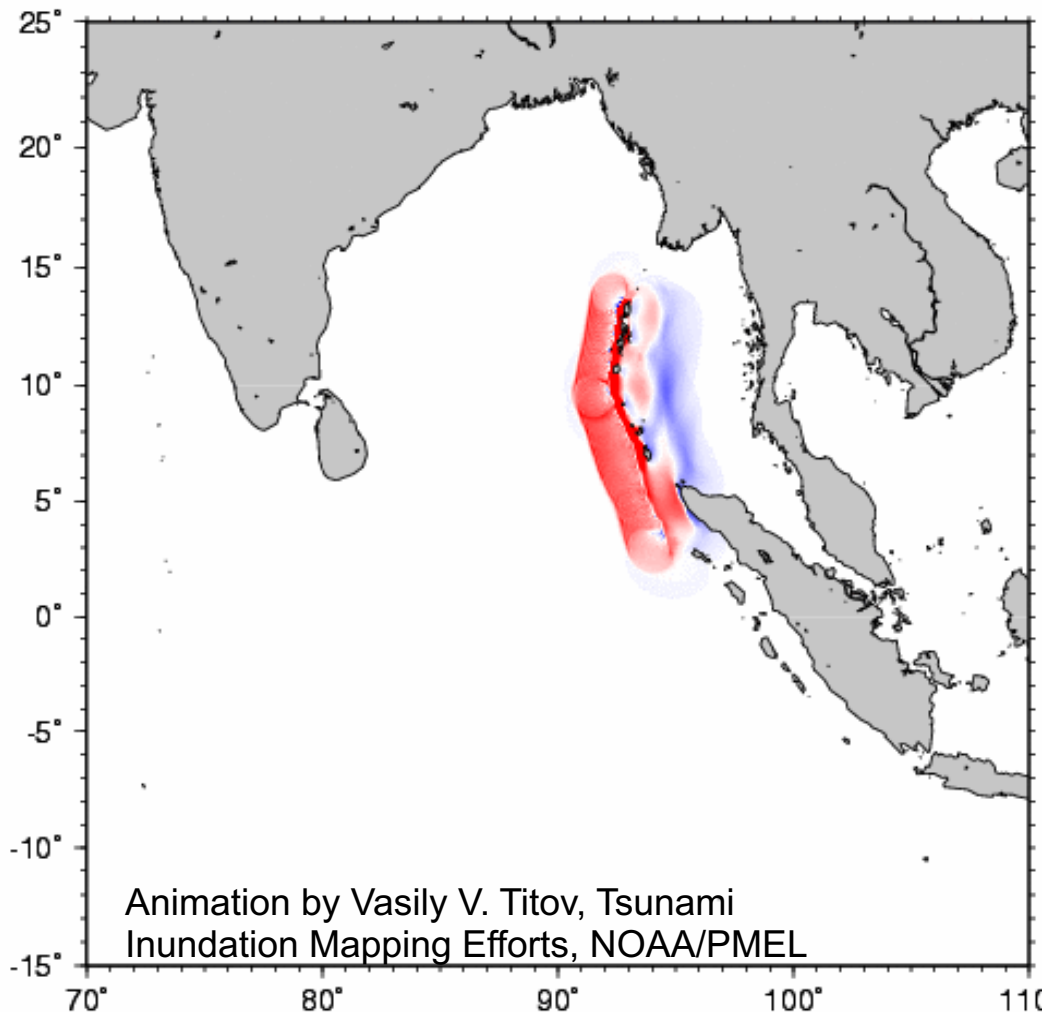
$$c = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh} \implies c = \sqrt{gh}$$

Για $g = 32.2 \text{ ft/s}^2$ και $h = 10000 \text{ ft}$, $c = 567 \text{ ft/s} = \mathbf{387 \text{ miles/hr}}$

Υπολογιστική Ρευστομηχανική

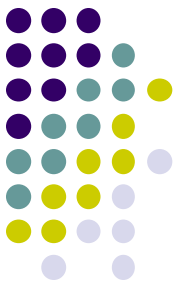


2004 Sumatra Earthquake 010 min



- Σε σχέση με τις αναλυτικές μεθόδους που παράγουν ικανοποιητικές λύσεις για απλές γεωμετρίες και συμπεριφορές (π.χ. κύματα σε ρηχά νερά), η υπολογιστική ρευστομηχανική παρέχει εργαλεία για την επίλυση προβλημάτων μη γραμμικής φυσικής και πολύπλοκη συμπεριφορά

Πειραματική Ρευστομηχανική

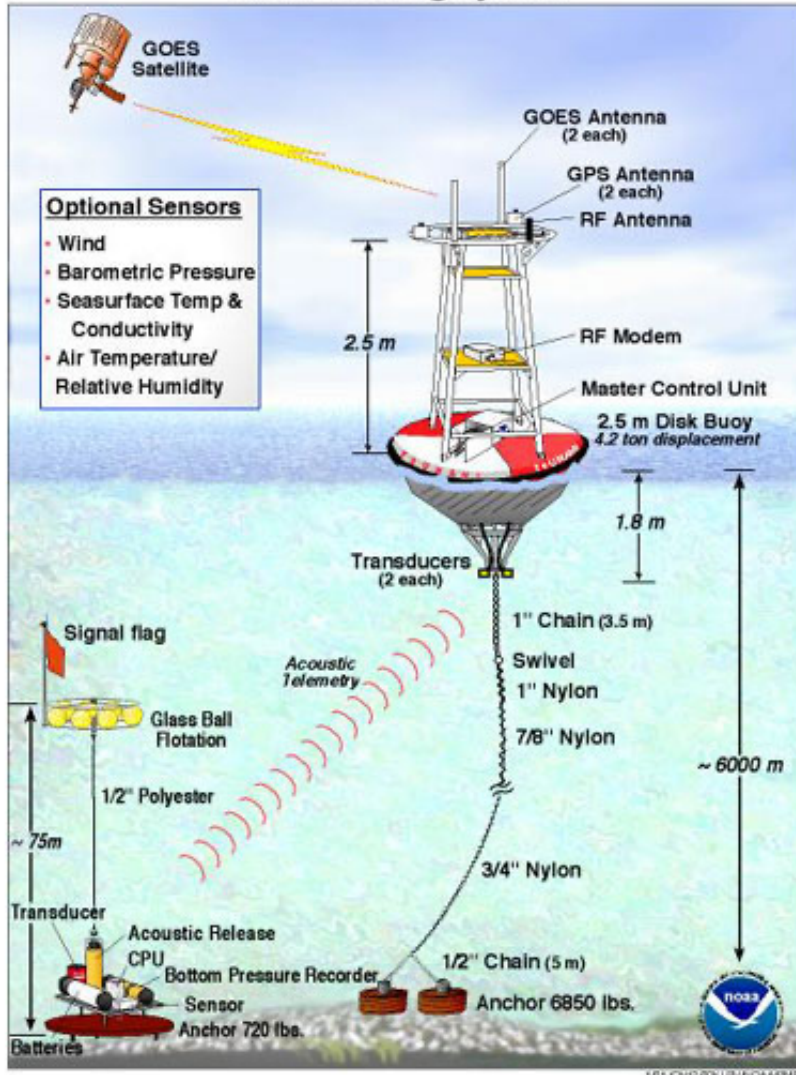


- Oregon State University
Εργαστήριο Κυματικής
- Εγκαταστάσεις για
πειράματα κλίμακας
(Model-scale)
 - Κυματισμοί Tsunami
 - Μεγάλοι κυματισμοί
- Η Διαστατική ανάλυση στο
σχεδιασμό πειραμάτων
κλίμακας που
αναπαριστούν τη φυσική
των πραγματικών
πειραμάτων

Πειραματική Ρευστομηχανική



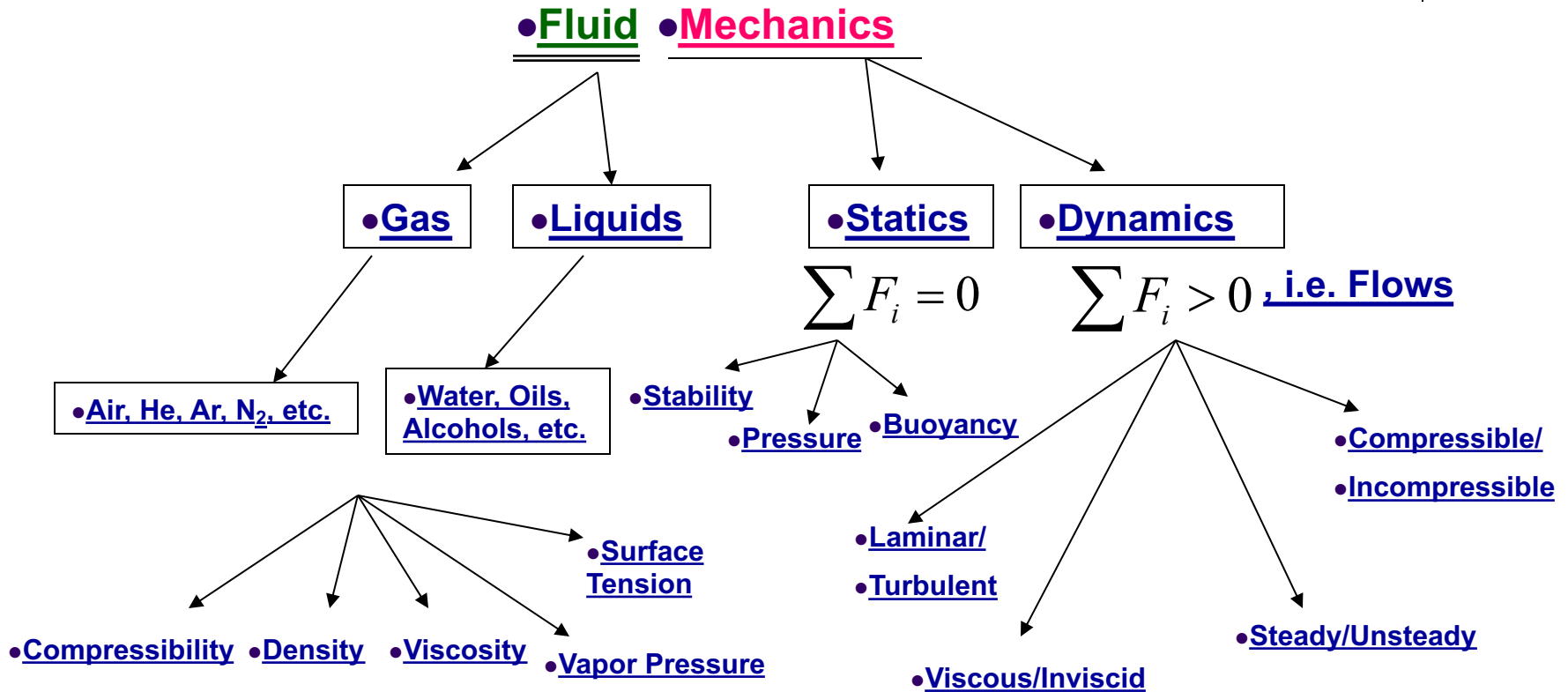
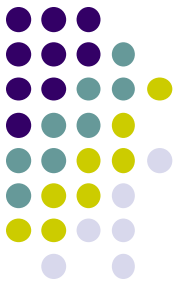
DART Mooring System

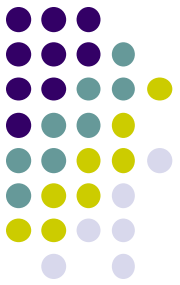


Courtesy of PMEL

- Πειράματα πεδίου ή πειράματα πλήρους κλίμακας
- Απόκτηση δεδομένων για προειδοποίηση φαινόμενων tsunami
- DART: Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis
- Αισθητήρες: Σωλήνας Bourdon για μέτρηση υδροστατικής πίεσης

Fluid Mechanics Overview





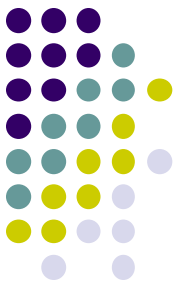
Διαστάσεις και μονάδες

Θεμελιώδη μεγέθη:

- Μήκος, L
- Μάζα, M
- Χρόνος, T

$$\text{π.χ. } U = \frac{S}{t} = \frac{L}{T} = L^1 M^0 T^{-1} (1, 0, -1)$$

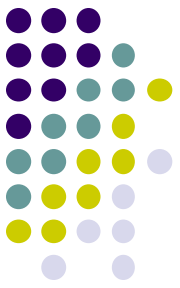
Χρήση SI, πολλαπλάσια / υποπολλαπλάσια
(K, M, G, T / m, μ, n, p)



Συστήματα μονάδων

	CGS	FPS	SI	Βρεττανικό	Αμερικανικό
Μήκος	cm	ft	m	ft	ft
Χρόνος	s	s	s	s	s
Μάζα	g	lb	kg	slug*	lb _m
Δύναμη	Δύνη*	poundal*	Newton(N)*	lb-βάρους	lb _f
Ενέργεια	erg, Joule, cal	ft poundal	Joule(J)	Btu (ft)(lb) (ft)(lb _f)	Btu ή (HP) (h)
Θερμοκρασία	°K, °C	°R, °F	°K, °C	°R, °F	°R, °F

* Μονάδα που προκύπτει από τις βασικές μονάδες. Όλες οι μονάδες ενέργειας προκύπτουν από τις βασικές μονάδες (Himmelblau, 1986)



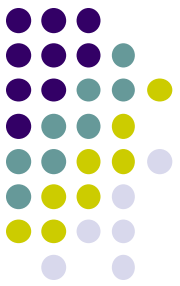
Μονάδες του συστήματος SI που έχουν ειδικές ονομασίες

Διάσταση	Ονομασία	Σύμβολο		Αντιστοιχία
Συχνότητα	hertz	Hz	1 Hz	= 1 s ⁻¹
Δύναμη	newton	N	1 N	= 1 kg·m/s ²
Πίεση	pascal	Pa	1 Pa	= 1 N/m ²
Έργο, Θερμότητα	joule	J	1 J	= 1 N·m
Ισχύς	watt	W	1 W	= 1 J/s
Ηλεκτρικό φορτίο	coulomb	C	1 C	= 1 A·s
Ηλεκτρικό δυναμικό	volt	V	1 V	= 1 J/C
Ηλεκτρική χωρητικότητα	farad	F	1 F	= 1 C/V
Ηλεκτρική αντίσταση	ohm	Ω	1 Ω	= 1 V/A
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	siemens	S	1 S	= 1 Ω ⁻¹

Άλλες μονάδες του συστήματος SI που δεν έχουν ειδικές ονομασίες

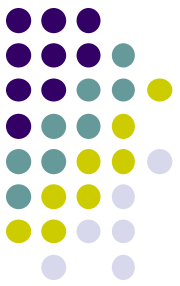


Διάσταση	Μονάδες	Σύμβολα
Επιφάνεια	τετραγωνικά μέτρα	m^2
Όγκος	κυβικά μέτρα	m^3
Ταχύτητα	μέτρα ανά δευτερόλεπτο	m/s
Επιτάχυνση	μέτρα ανά δευτερόλεπτο ²	m/s^2
Ειδικός όγκος	κυβικά μέτρα ανά χιλιόγραμμα	m^3/kg
Πυκνότητα, ειδικό βάρος	χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο	kg/m^3
Θερμική αγωγιμότητα	Watt ανά μέτρο και βαθμό Kelvin	$W/m \cdot K$
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	Watt ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Kelvin	$W/m^2 \cdot K$
Ειδική ενέργεια	Joule ανά χιλιόγραμμα	J/kg
Ειδική θερμότητα	Joule ανά χιλιόγραμμα και βαθμό Kelvin	$J/kg \cdot K$



Αντιστοίχιση της κανονικής ατμόσφαιρας

Μονάδα	Αντιστοίχιση
ατμόσφαιρα (atm)	1.000
πόδια νερού (ft H ₂ O)	33.91
lbf ανά τετραγωνική ίντσα (psia)	14.696
ίντσες υδραργύρου (in Hg)	29.92
Χιλιοστά υδραργύρου (mm Hg)	760.0
Newton ανά τετραγωνικό μέτρο (N/m ²)	1.013 x 10 ⁵



Διαστάσεις και μονάδες

1. Να βρεθούν οι διαστάσεις της ορμής:

$$[J] = [mu] = \left[M \frac{L}{T} \right] = L^1 M^1 T^{-1} = (1, 1, -1)$$

2. Η δύναμη αντίστασης που ασκείται σε σώμα μέσα σε ρευστό που ρέει είναι:

$$F = C_f \frac{1}{2} \rho u^2 A$$

Να υπολογιστούν οι μονάδες και οι διαστάσεις της C_f .

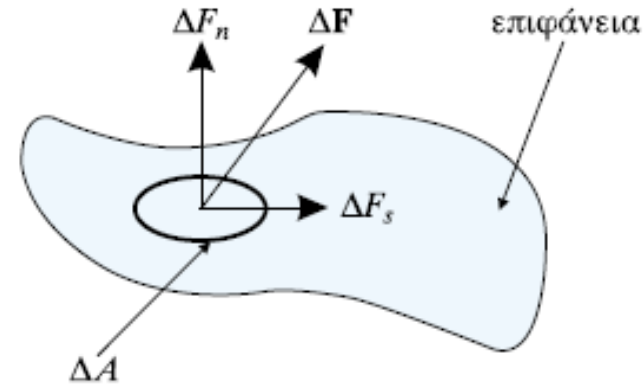
$$[C_f] = \left[\frac{F}{\rho u^2 A} \right] = \left[\frac{m\gamma}{\frac{m}{V} u^2 A} \right] = \left[\frac{\gamma W}{u^2 A} \right] = \left[\frac{\frac{L}{T^2} L^3}{\frac{L^2}{T^2} L^2} \right] = L^0 M^0 V^0 = (0, 0, 0)$$

Τύποι για μετατροπές μονάδων



Name, Symbol, Dimensions			Conversion Formula
Length	L	L	1 m = 3.281 ft = 1.094 yd = 39.37 in = km/1000 = $10^6 \mu\text{m}$ 1 ft = 0.3048 m = 12 in = mile/5280 = km/3281 1 mm = m/1000 = in/25.4 = 39.37 mil = 1000 μm = 10^7\AA
Speed	V	L/T	1 m/s = 3.600 km/hr = 3.281 ft/s = 2.237 mph = 1.944 knots 1 ft/s = 0.3048 m/s = 0.6818 mph = 1.097 km/hr = 0.5925 knots
Mass	m	M	1 kg = 2.205 lbm = 1000 g = slug/14.59 = (metric ton or tonne or Mg)/1000 1 lbm = lbf·s ² /(32.17 ft) = kg/2.205 = slug/32.17 = 453.6 g = 16 oz = 7000 grains = short ton/2000 = metric ton (tonne)/2205
Density	ρ	M/L^3	1000 kg/m³ = 62.43 lbf/ft ³ = 1.940 slug/ft ³ = 8.345 lbf/gal (US)
Force	F	ML/T^2	1 lbf = 4.448 N = 32.17 lbf·ft/s ² 1 N = kg·m/s ² = 0.2248 lbf = 10^5 dyne
Pressure, shear stress	p, τ	M/LT^2	1 Pa = N/m ² = kg/m·s ² = 10^{-5} bar = 1.450×10^{-4} lbf/in ² = inch H ₂ O/249.1 = 0.007501 torr = 10.00 dyne/cm ² 1 atm = 101.3 kPa = 2116 psf = 1.013 bar = 14.70 lbf/in ² = 33.90 ft of water = 29.92 in of mercury = 10.33 m of water = 760 mm of mercury = 760 torr 1 psi = atm/14.70 = 6.895 kPa = 27.68 in H ₂ O = 51.71 torr
Volume	V	L^3	1 m³ = 35.31 ft ³ = 1000 L = 264.2 U.S. gal 1 ft³ = 0.02832 m ³ = 28.32 L = 7.481 U.S. gal = acre-ft/43,560 1 U.S. gal = 231 in ³ = barrel (petroleum)/42 = 4 U.S. quarts = 8 U.S. pints = 3.785 L = 0.003785 m ³
Volume flow rate (discharge)	Q	L^3/T	1 m³/s = 35.31 ft ³ /s = 2119 cfm = 264.2 gal (US)/s = 15850 gal (US)/m 1 cfs = 1 ft ³ /s = 28.32 L/s = 7.481 gal (US)/s = 448.8 gal (US)/m
Mass flow rate	\dot{m}	M/T	1 kg/s = 2.205 lbf/s = 0.06852 slug/s
Energy and work	E, W	ML^2/T^2	1 J = kg·m ² /s ² = N·m = W·s = volt·coulomb = 0.7376 ft·lbf = 9.478×10^{-4} Btu = 0.2388 cal = 0.0002388 Cal = 10^7 erg = kWh/3.600 $\times 10^6$
Power	P, \dot{E}, \dot{W}	ML^2/T^3	1 W = J/s = N·m/s = kg·m ² /s ³ = 1.341×10^{-3} hp = 0.7376 ft·lbf/s = 1.0 volt-ampere = 0.2388 cal/s = 9.478×10^{-4} Btu/s 1 hp = 0.7457 kW = 550 ft·lbf/s = 33,000 ft·lbf/min = 2544 Btu/h
Angular speed	ω	T^{-1}	1.0 rad/s = 9.549 rpm = 0.1591 rev/s
Viscosity	μ	M/LT	1 Pa·s = kg/m·s = N·s/m ² = 10 poise = 0.02089 lbf·s/ft ² = 0.6720 lbf/ft·s
Kinematic viscosity	ν	L^2/T	1 m²/s = 10.76 ft ² /s = 10^6 cSt
Temperature	T	Θ	K = °C + 273.15 = °R/1.8 °C = (°F - 32)/1.8 °R = °F + 459.67 = 1.8 K °F = 1.8°C + 32

Ρευστά και Ιδιότητες



- Τάση (εφελκυστική, συμπιεστική, διατμητική)
- Πίεση

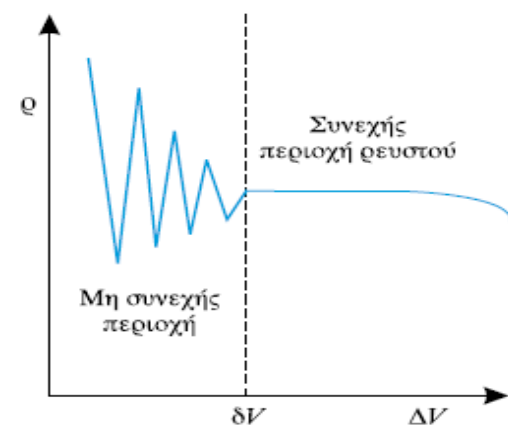
$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow \delta A} \frac{\Delta F_s}{\Delta A}$$

$$P = \lim_{\Delta A \rightarrow \delta A} \frac{\Delta F_n}{\Delta A}$$

Ρευστό: ουσία που παραμορφώνεται συνεχώς υπό την επίδραση διατμητικής τάσης.
π.χ. υγρά (καθορισμένο όγκο, μεταβλητό σχήμα), αέρια (μη καθορισμένο όγκο και σχήμα)

ΠΡΟΣΟΧΗ: κάθε ρευστό σε ισορροπία δεν δέχεται διατμητική τάση.

Ρευστά και Ιδιότητες



Μας ενδιαφέρει η μακροσκοπική συμπεριφορά και όχι η μικροσκοπική ανάλυση. Επομένως, θα τα θεωρούμε συνεχή, δηλαδή ομοιόμορφα κατανομημένα σε όλη την έκταση τους.

• Ιδιότητες

- Πυκνότητα: μάζα ανά μονάδα όγκου

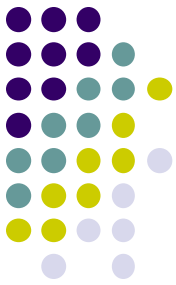
$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow \delta V} \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

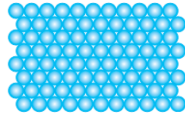
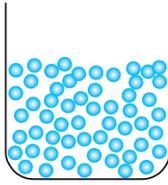
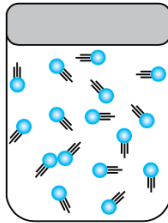
- Ειδικός όγκος (m^3/kg) $v = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m}$

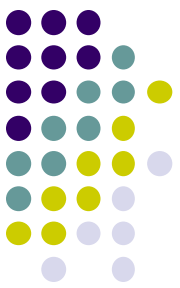
- Ειδικό βάρος (N/m^3) $\gamma = \rho g$

- Σχετική πυκνότητα $s = \frac{m}{m_{H_2O}} \Rightarrow \rho = s\rho_{H_2O}$

Σύγκριση Στερεών, Υγρών, Αερίων



Attribute	Solid	Liquid	Gas
Typical Visualization			
Description	Solids hold their shape; no need for a container	Liquids take the shape of the container and will stay in an open container	Gases expand to fill a closed container
Mobility of Molecules	Molecules have low mobility because they are bound in a structure by strong intermolecular forces	Molecules move around freely even though there are strong intermolecular forces between the molecules	Molecules move around freely with little interaction except during collisions; this is why gases expand to fill their container
Typical Density	Often high; e.g., the density of steel is 7700 kg/m^3	Medium; e.g., the density of water is 1000 kg/m^3	Small; e.g., the density of air at sea level is 1.2 kg/m^3
Molecular Spacing	Small—molecules are close together	Small—molecules are held close together by intermolecular forces	Large—on average, molecules are far apart
Effect of Shear Stress	Produces deformation	Produces flow	Produces flow
Effect of Normal Stress	Produces deformation that may associate with volume change; can cause failure	Produces deformation associated with volume change	Produces deformation associated with volume change
Viscosity	NA	High; decreases as temperature increases	Low; increases as temperature increases
Compressibility	Difficult to compress; bulk modulus of steel is $160 \times 10^9 \text{ Pa}$	Difficult to compress; bulk modulus of liquid water is $2.2 \times 10^9 \text{ Pa}$	Easy to compress; bulk modulus of a gas at room conditions is about $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$



Παράδειγμα 1.3

Η πυκνότητα μιας ουσίας είναι 2800 kg/m^3 . Να βρεθούν: α) Η σχετική της πυκνότητα, β) ο ειδικός όγκος και γ) το ειδικό της βάρος στις ίδιες συνθήκες.

Λύση

α) Από την εξίσωση (1.7) έχουμε:

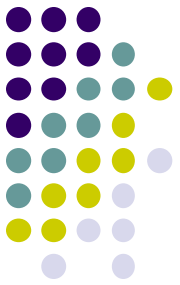
$$s = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{2800}{1000} = 2,8$$

β) Από την εξίσωση (1.5) προκύπτει:

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{2800} = 3,57 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$$

γ) Τέλος από την εξίσωση (1.6) έχουμε:

$$\gamma = \rho g = 2800 \times 9,8 = 27440 \text{ N/m}^3$$



Παράδειγμα 1.4

Στην επιφάνεια $A=0,01 \text{ m}^2$ ρευστού ασκείται ομοιόμορφα δύναμη $F=200 \text{ N}$, που σχηματίζει γωνία 60° με την κάθετη στην επιφάνεια A . Να υπολογισθούν η πίεση και η διατμητική τάση που ασκούνται στο ρευστό.

Λύση

Η δύναμη ασκείται ομοιόμορφα στο ρευστό μέσω της στέρεης επιφάνειας A . Οι συνιστώσες της δύναμης είναι:

$$F_s = F \sin 60^\circ = 200 \times 1/2 = 100 \text{ N}$$

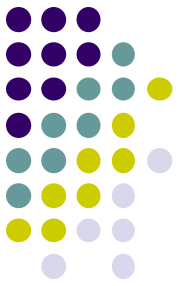
$$F_n = F \cos 60^\circ = 200 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 100 \sqrt{3} \text{ N}$$

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow \delta A} \frac{\Delta F_s}{\Delta A}$$

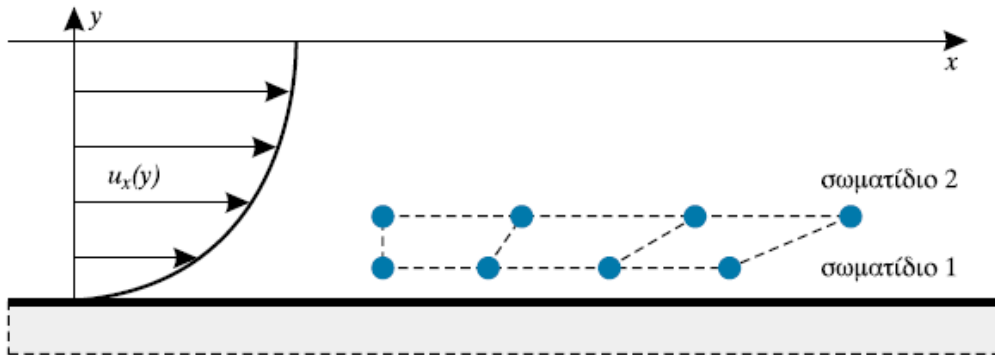
Έτσι η πίεση και η διατμητική τάση δίνονται ως:

$$p = \frac{100 \sqrt{3}}{0,01} = 10.000 \sqrt{3} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}, \quad \tau = \frac{100}{0,01} = 10.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Ιξώδες, μ



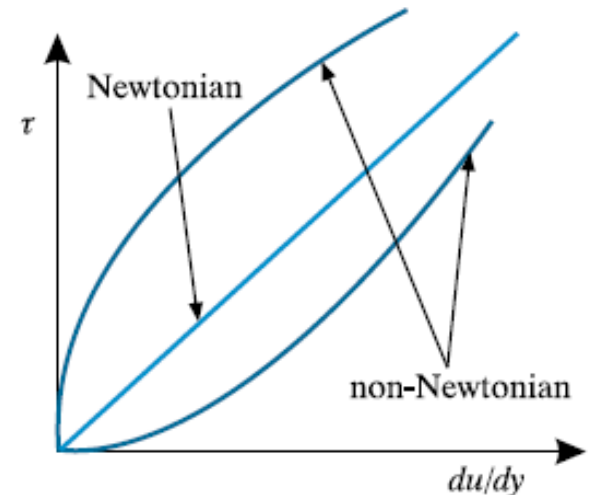
- Μέτρο της εσωτερικής τριβής των ρευστών, μέγεθος αντίστασης του ρευστού κάτω από συνθήκες διάτμησης.
- Πόση ενέργεια χάνεται κατά τη ροή ρευστού σε αγωγούς, στόμια και κανάλια.

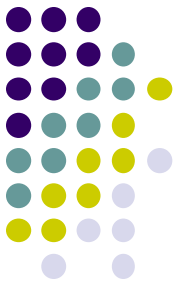


Άνισα διαστήματα σε ίσους χρόνους λόγω εσωτερικής τριβής, δηλ. ιξώδες

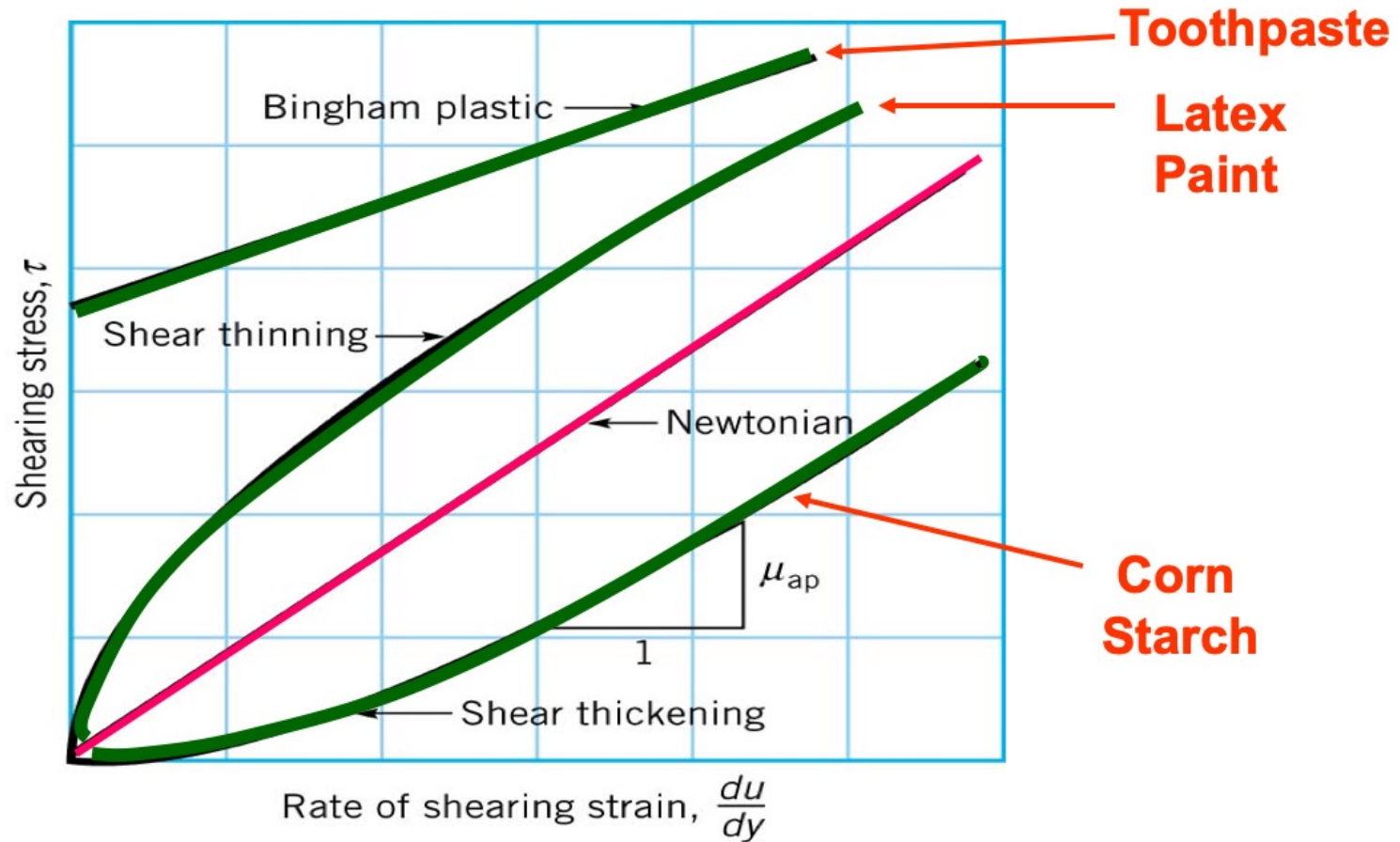
$$\tau = \mu \frac{du(y)}{dy} \quad \text{Νόμος Νεύτωνα για το ιξώδες}$$

(μονάδες $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2 = \text{Pa}\cdot\text{s}$)



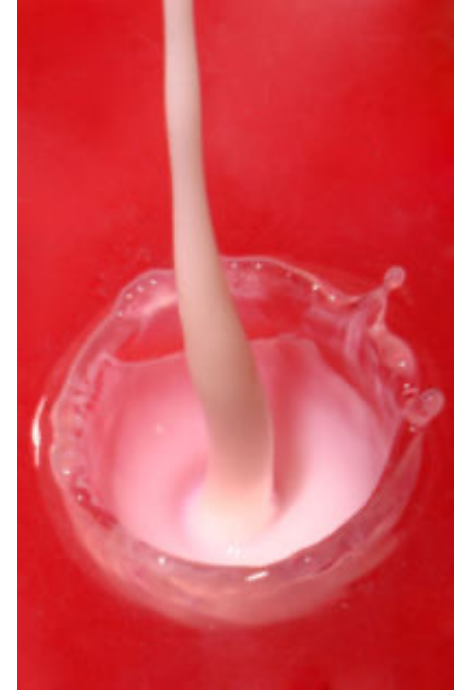


Newtonian - Non-Newtonian

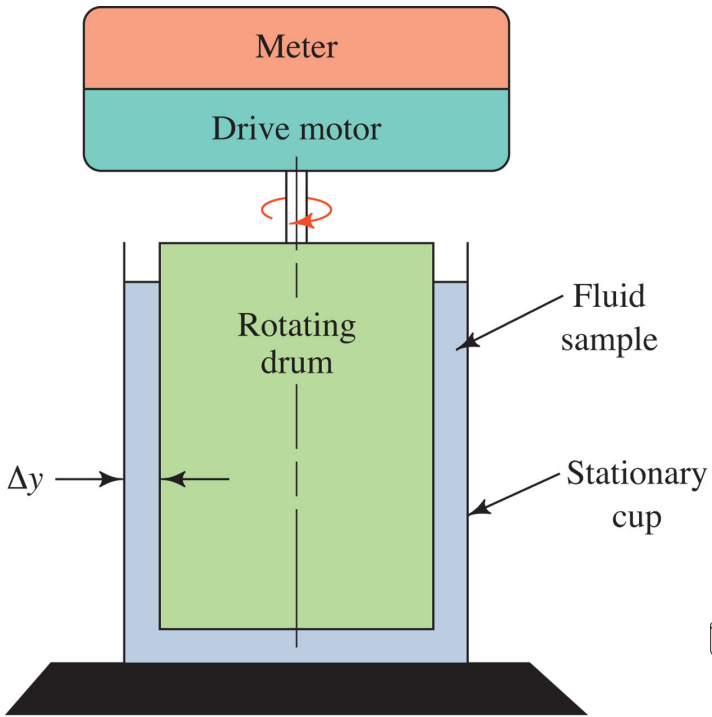


Ιξώδες, μ

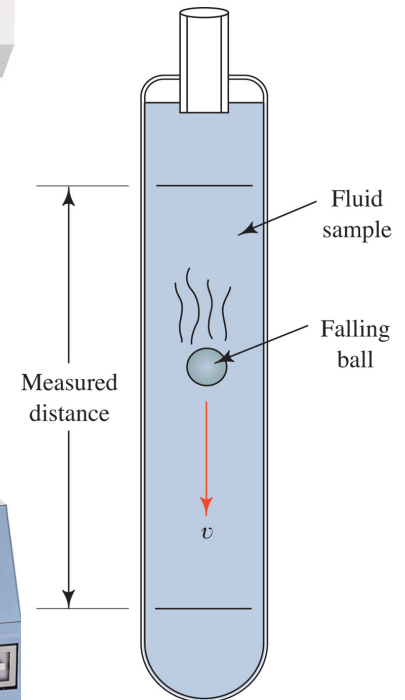
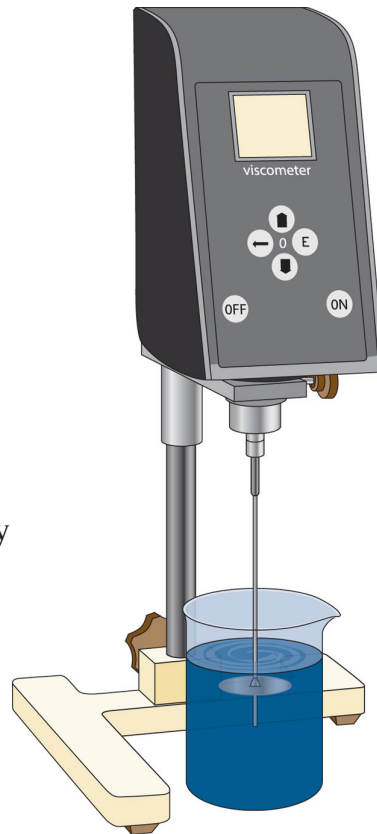
	viscosity [Pa·s]	viscosity [cP]
<u>liquid nitrogen</u> @ 77K	1.58×10^{-4}	0.158
<u>acetone</u> *	3.06×10^{-4}	0.306
<u>methanol</u> *	5.44×10^{-4}	0.544
<u>benzene</u> *	6.04×10^{-4}	0.604
<u>blood</u>	$3 \text{ to } 4 \times 10^{-3}$ ^[23]	1,37 ^[24]
<u>water</u>	8.94×10^{-4}	0.894
<u>ethanol</u> *	1.074×10^{-3}	1.074
<u>mercury</u> *	1.526×10^{-3}	1.526
<u>nitrobenzene</u> *	1.863×10^{-3}	1.863
<u>propanol</u> *	1.945×10^{-3}	1.945
<u>Ethylene glycol</u>	1.61×10^{-2}	16.1
<u>sulfuric acid</u> *	2.42×10^{-2}	24.2
<u>olive oil</u>	.081	81
<u>glycerol</u>	1.5	1500
<u>castor oil</u> *	.985	985
<u>corn syrup</u> *	1.3806	1380.6
<u>HFO-380</u>	2.022	2022
<u>pitch</u>	2.3×10^8	2.3×10^{11}

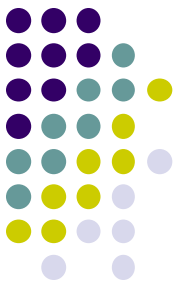


Ιξωδόμετρα



(a) Sketch of system components

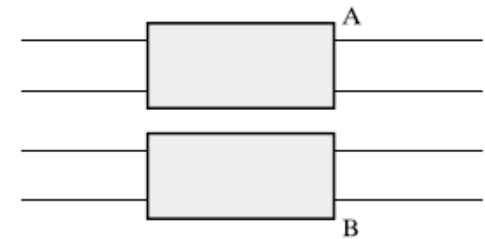




Ιξώδες στα υγρά και στα αέρια

Το ιξώδες οφείλεται:

- στις δυνάμεις συνοχής (ισχυρές στα υγρά, ασθενείς στα αέρια)
- στο ρυθμό μεταφοράς μοριακής ορμής από ένα στρώμα του ρευστού στο άλλο (π.χ.: τα βαγόνια, ακίνητο/ κινούμενο)

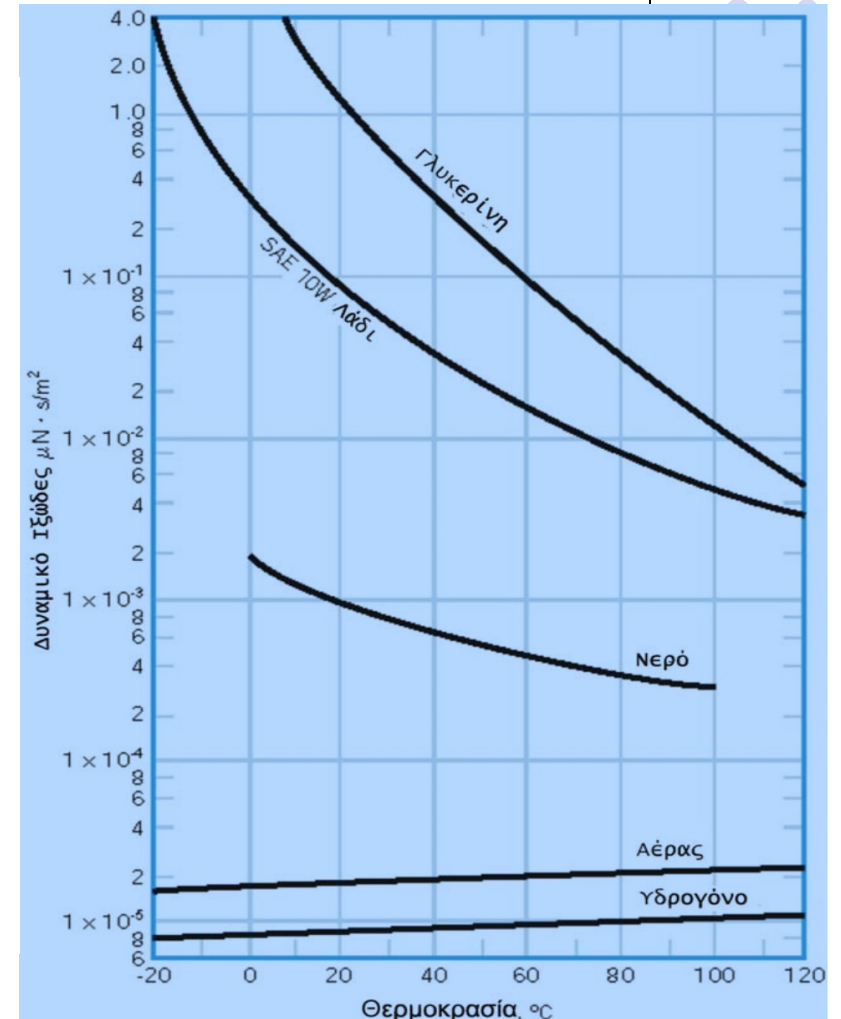
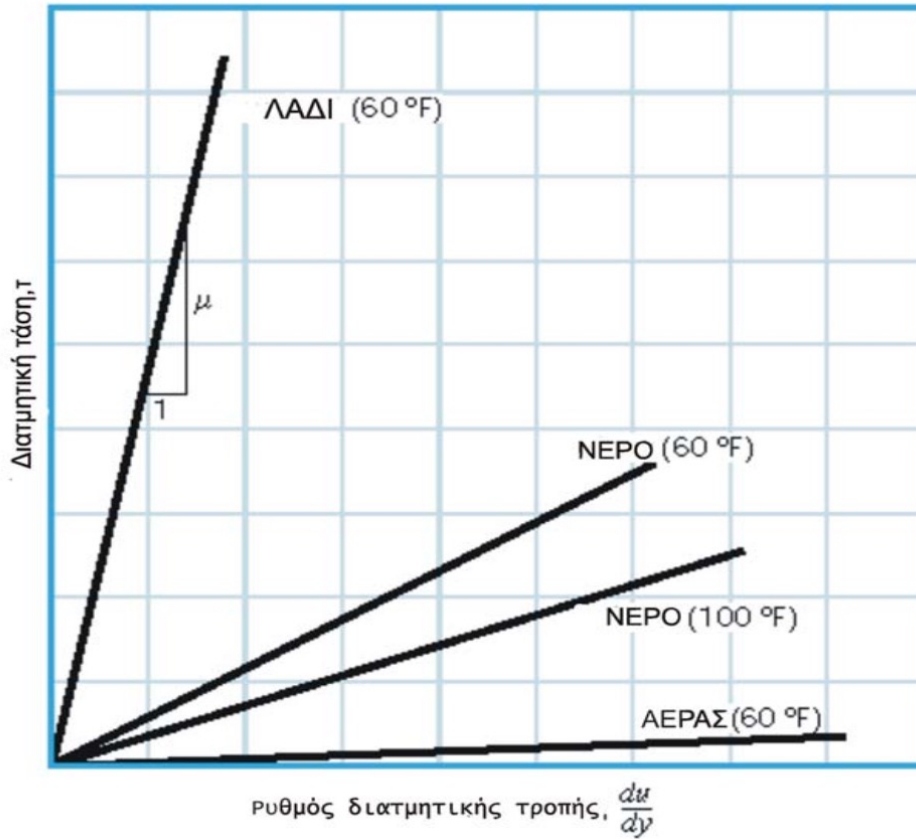


Με την αύξηση της θερμοκρασίας:

- ελάττωση δυνάμεων συνοχής → **ελάττωση ιξώδους (ΥΓΡΑ)**
- αύξηση μεταφοράς μοριακής ορμής → **αύξηση ιξώδους (ΑΕΡΙΑ)**

Κινηματικό ιξώδες $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ (μονάδες: m²/s)

Ιξώδες, μ



Πρόβλημα 2.35

Situation:

Sliding plate viscometer is used to measure fluid viscosity.

$A = 50 \times 100 \text{ mm}$, $\Delta y = 1 \text{ mm}$.

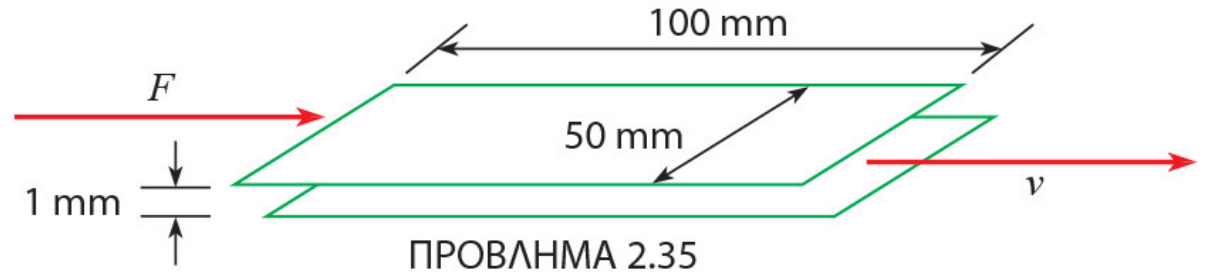
$u = 10 \text{ m/s}$, $F = 3 \text{ N}$.

Find:

Viscosity of the fluid.

Assumptions:

Linear velocity distribution.

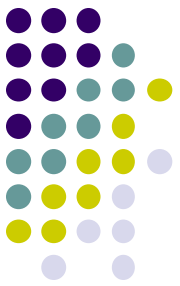


1. Calculate shear force

$$\tau = \frac{\text{Force}}{\text{Area}}$$
$$\tau = \frac{3 \text{ N}}{50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}}$$
$$\tau = 600 \text{ N/m}^2$$

2. Find viscosity

$$\mu = \frac{\tau}{\left(\frac{du}{dy}\right)}$$
$$\mu = \frac{600 \text{ N/m}^2}{[10 \text{ m/s}] / [1 \text{ mm}]} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$



Παράδειγμα 1.7

Η κατανομή ταχυτήτων σε ένα οριζόντιο σωλήνα διαμέτρου 2 cm που διαρρέεται από νερό είναι $u(r) = 1 - 2r^2$ m/s, όπου r η ακτίνα από τον άξονα του σωλήνα και μετρείται σε cm. Να υπολογισθεί η διατμητική τάση α) στον άξονα του σωλήνα, β) σε απόσταση 0,25 cm από τον άξονα του σωλήνα και γ) στα τοιχώματα του σωλήνα.

Λύση

Ως γνωστό, $\tau = \mu \frac{du_x}{dy}$. Στην περίπτωση μας έχουμε:

$$\tau = -\mu \frac{du_x}{dr} = -\mu \frac{d(1-2r^2)}{dr} = 4\mu r.$$

Το αρνητικό πρόσημο τοποθετήθηκε επειδή και το du είναι αρνητικό. Οι αποστάσεις μετρούνται από τον άξονα του σωλήνα προς την στερεά επιφάνεια, και όχι από την επιφάνεια προς τον άξονα όπως έγινε στην εξίσωση ορισμού του ιξώδους. Το ιξώδες του νερού είναι $1,005 \times 10^{-3}$ N s/m². Έτσι έχουμε:

α) $\tau_{(0)} = 1,005 \times 10^{-3} \times 4 \times 0 = 0$ Pa.

β) $\tau_{(0,25)} = 1,005 \times 10^{-3} \times 4 \times 0,25 = 1,005 \times 10^{-3}$ Pa.

γ) $\tau_{(1)} = 1,005 \times 10^{-3} \times 4 \times 1 = 4,02 \times 10^{-3}$ Pa.

Παράδειγμα 1.8

Ο χώρος μεταξύ δύο παράλληλων πλακών μεγάλου μήκους που απέχουν απόσταση h , είναι γεμάτος από Newtonian ρευστό ιξώδους μ . Η μία πλάκα κινείται με σταθερή ταχύτητα V , ενώ η δεύτερη παραμένει ακίνητη. Να υπολογισθεί η κατανομή ταχυτήτων μεταξύ των πλακών.

Λύση

Θεωρούμε ένα στοιχειώδη όγκο του ρευστού, μήκους dx και ύψους y . Η διατμητική τάση που ασκείται από το υπερκείμενο ρευστό του στοιχειώδους όγκου είναι $\tau(y)$, και η διατμητική τάση που αντιστέκεται στην κίνηση του στοιχειώδους όγκου από το ακίνητο τοίχωμα τ_w . Επειδή το ρευστό δεν επιταχύνεται, η συνισταμένη δύναμη είναι μηδέν και συνεπώς οι δύο τάσεις πρέπει να είναι ίσες. Έτσι έχουμε, $\tau_w = \tau(y)$.

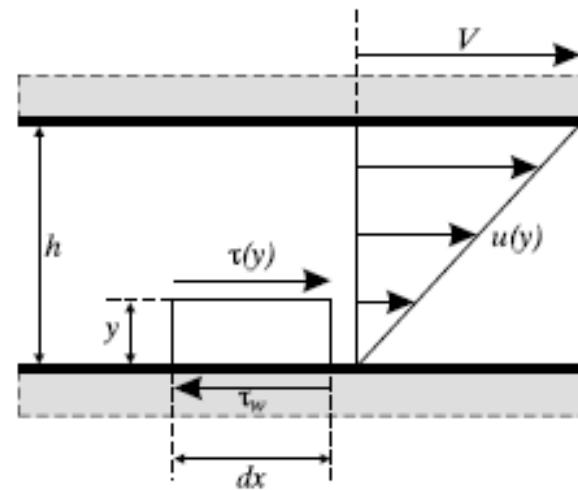
$$\text{Αλλά, } \tau(y) = \mu \frac{du_x(y)}{dy}. \text{ Συνεπώς } \int_0^V du = \int_0^h \frac{\tau}{\mu} dy$$

$$\text{ή} \quad V = \frac{\tau}{\mu} h \quad \text{ή} \quad \tau = \frac{\mu V}{h}.$$

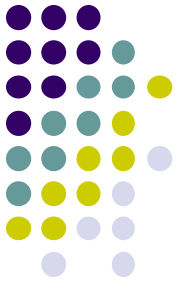
Αν τα όρια της προηγούμενης ολοκλήρωσης γίνουν από 0 έως u , και 0 έως y αντίστοιχα και χρησιμοποιήσουμε την προηγούμενη εξίσωση, θα έχουμε:

$$u = \frac{V}{h} y.$$

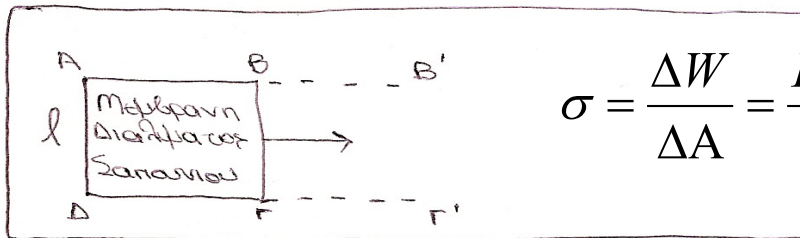
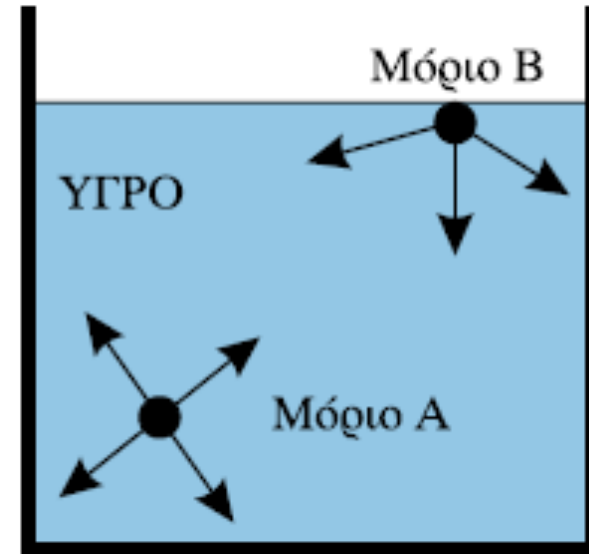
Η εξίσωση αυτή μας δείχνει ότι η ταχύτητα είναι γραμμική συνάρτηση της απόστασης. Το είδος αυτό της ροής μεταξύ των δύο πλακών είναι γνωστό ως **ροή Couette**.



Επιφανειακή τάση



- Δυνάμεις έλξης από τα λοιπά μόρια που το περιβάλλουν
- Μόριο Α (στο εσωτερικό του ρευστού) $\Sigma F_{\text{έλξης}} = 0$
- Μόριο Β (στην επιφάνεια του ρευστού) $\Sigma F_{\text{έλξης}} \neq 0$
- Επιφανειακή τάση = απαιτούμενο έργο για να φέρει νέα μόρια από το εσωτερικό του ρευστού ανά μονάδα δημιουργουμένης νέας επιφάνειας
 = Δύναμη x μετατόπιση / μονάδα επιφάνειας
 = Δύναμη / μονάδα μήκους



$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{F \Delta x}{l \Delta x} = \frac{F}{l}$$

Επιφανειακή τάση



Παραδείγματα

- τοποθέτηση βελόνας πάνω σε ήρεμη επιφάνεια νερού
- περπάτημα εντόμου σε νερό
- σταγόνες νερού / υγρών : σφαιρικές (min. εμβαδόν εξωτερικής επιφάνειας) ή min έργο για να γίνει. έτσι σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας π.χ. οι σταγόνες υγρών είναι σφαιρικές επειδή δεν επιδρούν εξωτερικές δυνάμεις (βαρύτητα) και οι εσωτερικές ελκτικές αλληλοεξουδετερώνονται.

Επιφανειακή τάση υγρών σε επαφή με αέρα 20 °C	
Υγρό	σ (N/m)
Αλκοόλη	$22 \cdot 10^{-3}$
Βενζόλιο	$29 \cdot 10^{-3}$
Νερό	$73 \cdot 10^{-3}$
Υδράργυρος	$514 \cdot 10^{-3}$
Λιπαντικό λάδι	$35 \cdot 10^{-3}$

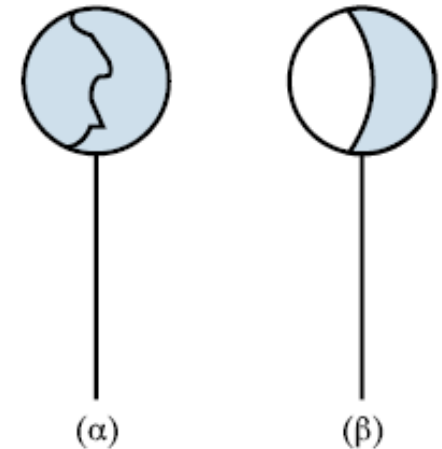
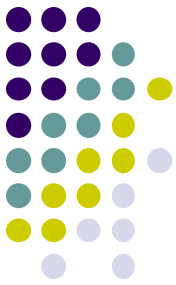


TABLE 1.4 Surface tension of water

Temperature (°F)	Surface Tension (mlb/ft)	Temperature (°C)	Surface Tension (mN/m)
32	5.18	0	75.6
40	5.13	5	74.9
50	5.09	10	74.2
60	5.03	20	72.8
70	4.97	30	71.2
80	4.91	40	69.6
90	4.86	50	67.9
100	4.79	60	66.2
120	4.67	70	64.5
140	4.53	80	62.7
160	4.40	90	60.8
180	4.26	100	58.9
200	4.12		
212	4.04		

Source: Adapted with permission from data from *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press LLC, Boca Raton, FL. (Reference 10)

Notes: Values taken at atmospheric pressure
 1.0 lb = 1000 mlb; 1.0 N = 1000 mN



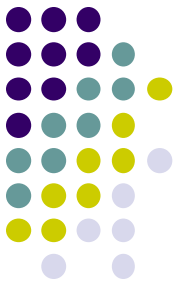


TABLE 1.5 Surface tension of some common liquids

Surface Tension at Stated Temperature

Liquid	10°C (mN/m)	50°F (mlb/ft)	25°C (mN/m)	77°F (mlb/ft)	50°C (mN/m)	122°F (mlb/ft)	75°C (mN/m)	167°F (mlb/ft)	100°C (mN/m)	212°F lb/ft)
Water	74.2	5.08	72.0	4.93	67.9	4.65	63.6	4.36	58.9	4.04
Methanol	23.2	1.59	22.1	1.51	20.1	1.38				
Ethanol	23.2	1.59	22.0	1.51	19.9	1.36				
Ethylene glycol			48.0	3.29	45.8	3.14	43.5	2.98	41.3	2.83
Acetone	24.57	1.68	22.72	1.56	19.65	1.35				
Benzene			28.2	1.93	25.0	1.71	21.8	1.49		
Mercury	488	33.4	485	33.2	480	32.9	475	32.5	470	32.2

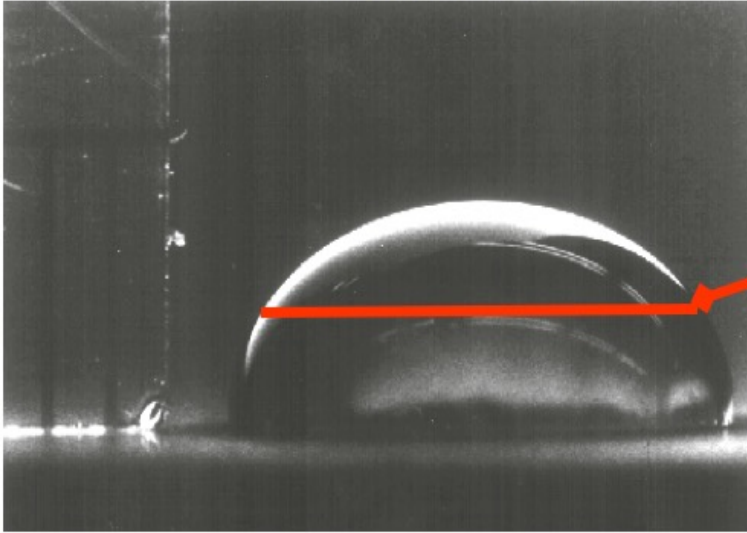
Source: Adapted with permission from data from *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press LLC, Boca Raton, FL. (Reference 10)

Notes: Values taken at atmospheric pressure 1.0 lb = 1000 mlb; 1.0 N = 1000 mN

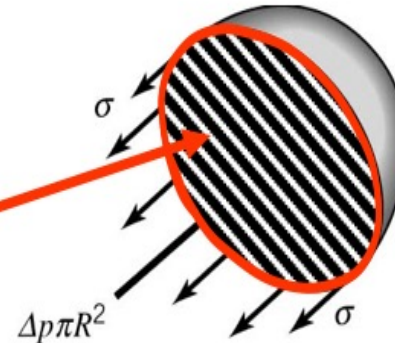
Surface Tension: Liquid Drop

The pressure inside a drop of fluid can be calculated using a free-body diagram:

Real Fluid Drops



Mathematical Model



R is the radius of the droplet, σ is the surface tension, Δp is the pressure difference between the inside and outside pressure.

The force developed around the edge due to surface tension along the line:

$$F_{surface} = 2\pi R\sigma \quad \text{Applied to Circumference}$$

This force is balanced by the pressure difference Δp :

$$F_{pressure} = \Delta p \pi R^2 \quad \text{Applied to Area}$$

Πρόβλημα 2.63



Situation:

A water bug is balanced on the surface of a water pond.
 $n = 6$ legs, $\ell = 5$ mm/leg.

Find:

Maximum mass of bug to avoid sinking.

Properties:

Surface tension of water, from Table A.4, $\sigma = 0.073$ N/m.

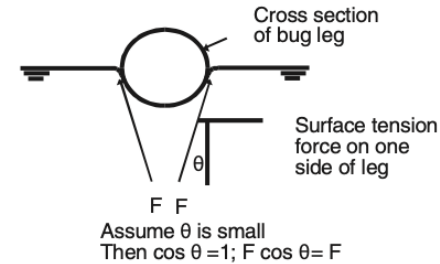
SOLUTION

Force equilibrium

Upward force due to surface tension = Weight of Bug

$$F_T = mg$$

To find the force of surface tension (F_T), consider the cross section of one leg of the bug:



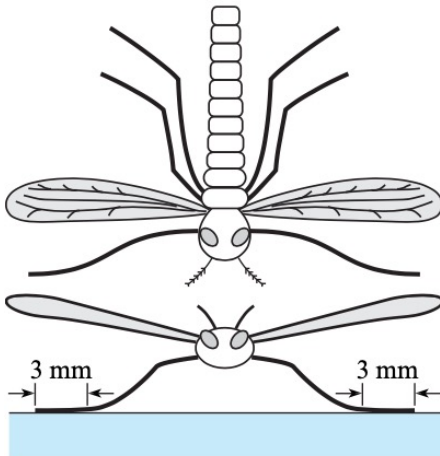
Surface tension force

$$\begin{aligned} F_T &= (2/\text{leg})(6 \text{ legs})\sigma\ell \\ &= 12\sigma\ell \\ &= 12(0.073 \text{ N/m})(0.005 \text{ m}) \\ &= 0.00438 \text{ N} \end{aligned}$$

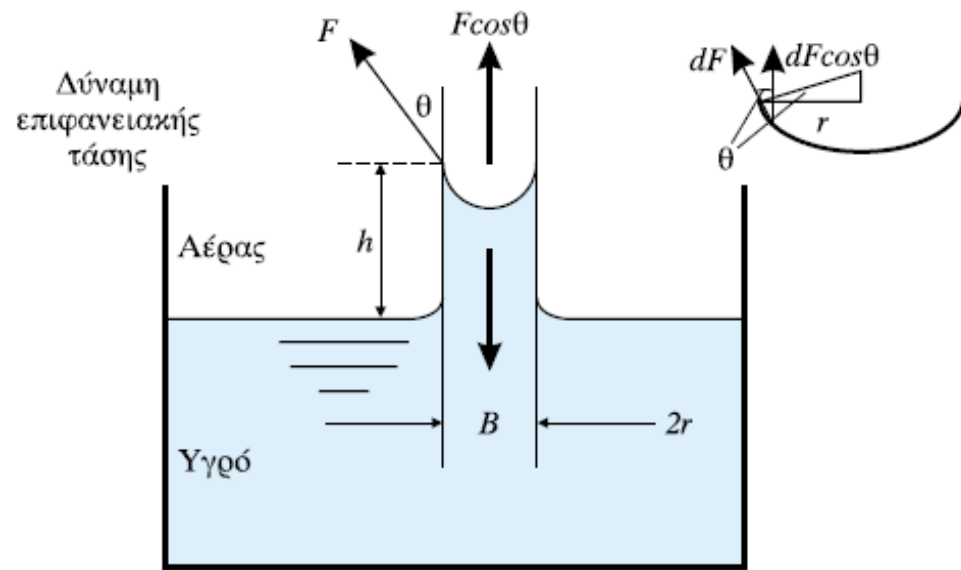
Apply equilibrium

$$\begin{aligned} F_T - mg &= 0 \\ m &= \frac{F_T}{g} = \frac{0.00438 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} \\ &= 0.4465 \times 10^{-3} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$m = 0.447 \text{ g}$$



Συνάφεια (Adhesion) Συνοχή (Cohesion)



Υγρό σε επαφή με στερεό:

- Δυνάμεις συνοχής (μεταξύ μορίων του υγρού, μόρια ίδιας φύσης)
- Δυνάμεις συνάφειας (μεταξύ μορίων στερεού-υγρού, μόρια διαφορετικής φύσης)

Υπολογισμός τριχοειδούς μετακίνησης – Υπολογισμός επιφανειακής τάσης

Το βάρος της στήλης του νερού πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του θα είναι ίσο με την κατακόρυφη συνισταμένη των δυνάμεων της επιφανειακής τάσης στην περιφέρεια του σωλήνα

$$B = F \cos \vartheta \Rightarrow \{[(\pi r^2)h]\rho\}g = F \cos \vartheta(1)$$

$$\sigma = \frac{F}{l} \Rightarrow F = \sigma l \xrightarrow{(1)} \pi r^2 h \rho g = \sigma 2\pi r \cos \vartheta \Rightarrow \sigma = \frac{h \rho g r}{2 \cos \vartheta} \Rightarrow h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \vartheta$$

αν $\vartheta < 90^\circ$ τότε $\cos \vartheta > 0$ και $h > 0$ ή αντίστροφα, αν $\vartheta > 90^\circ$ τότε $\cos \vartheta < 0$ και $h < 0$

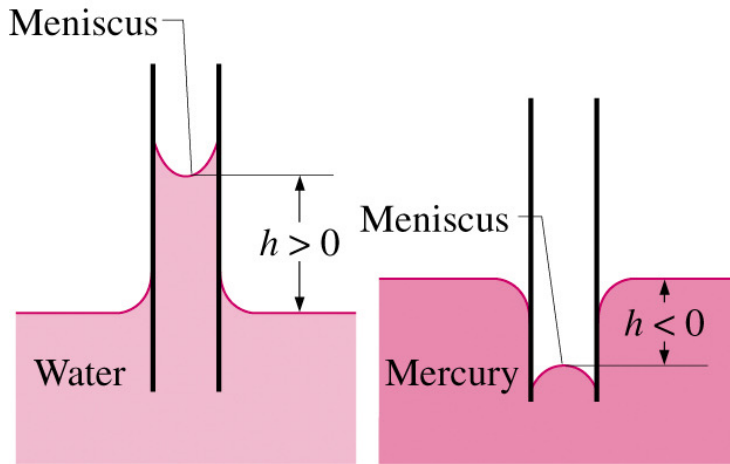
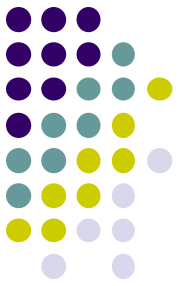
Για τα περισσότερα υγρά είναι $\cos \vartheta = 1$

$$\delta = \frac{h \rho g r}{2} \Rightarrow h = \frac{2\delta}{\rho g r}$$

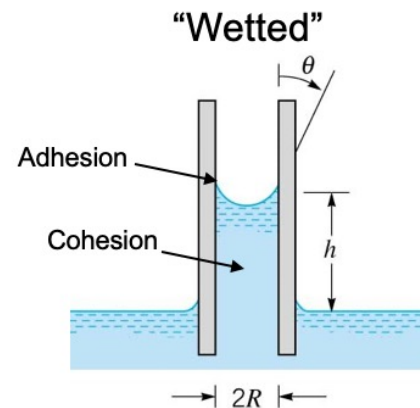
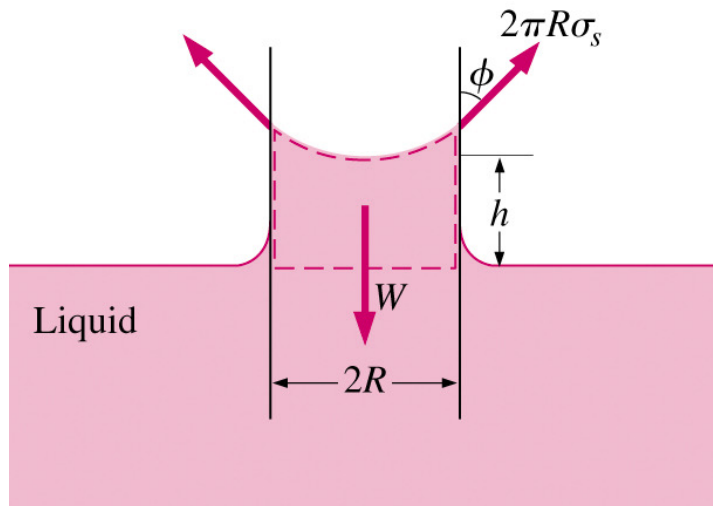
$$\delta = \sigma$$

Τριχοειδή φαινόμενα

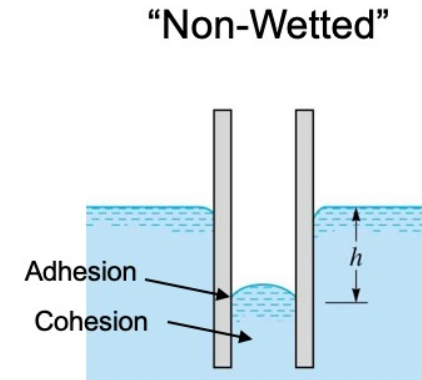
Capillary Effect



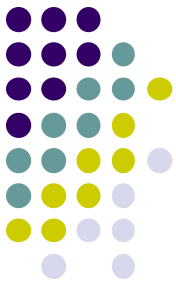
- **Capillary effect** is the rise or fall of a liquid in a small-diameter tube.
- The curved free surface in the tube is call the **meniscus**.
- **Water meniscus curves up because water is a wetting fluid.**
- **Mercury meniscus curves down because mercury is a nonwetting fluid.**
- Force balance can describe magnitude of capillary rise.



Adhesion > Cohesion



Cohesion > Adhesion



Παράδειγμα 1.10

Να βρεθεί η υπερπίεση στο εσωτερικό σταγόνας νερού 20°C , ακτίνας $0,05\text{ mm}$.
Δίνεται $\sigma=0,074\text{ N/m}$.

Το έργο για να μετακινηθεί: α) η ακτίνα της σταγόνας κατά dR είναι:

$$W = F \cdot dR = \Delta P \cdot A \cdot dR \quad (1)$$

β) η επιφάνεια της σφαίρας κατά dA είναι:

$$\delta \cdot dA = \delta \cdot d(4\pi R^2) \quad (2)$$

$$(1), (2) \Rightarrow \Delta P \cdot A \cdot dR = \delta \cdot d(4\pi R^2) \Rightarrow$$

$$\Delta P \cdot A = \delta \frac{d(4\pi R^2)}{dR} \Rightarrow \Delta P \cdot 4\pi R^2 = \delta \cdot 8\pi R \Rightarrow$$

$$\boxed{\Delta P = \frac{2\delta}{R}}$$

$$\delta = \sigma$$

Παράδειγμα 1.11

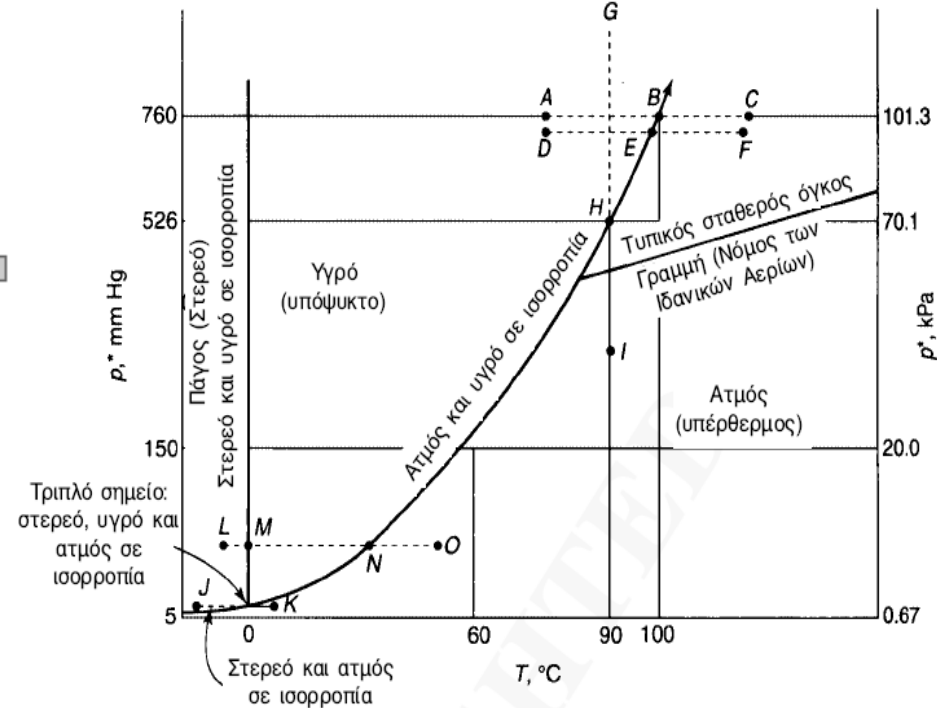
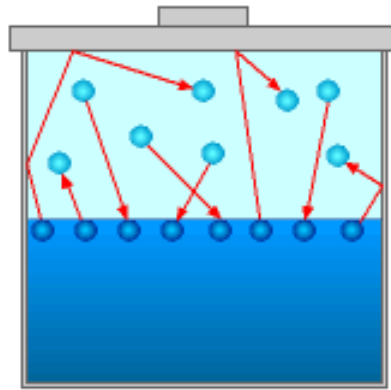
Ποια πρέπει να είναι η ελάχιστη διάμετρος υάλινου σωλήνα, έτσι ώστε η ανύψωση της στάθμης νερού σε αυτόν να μην είναι μεγαλύτερη των $0,8\text{ mm}$. Δίδονται, $\sigma=0,0726\text{ N/m}$, $\rho=1000\text{ kg/m}^3$.

Παράδειγμα 1.11 Ποια είναι η ανύψωση της στάθμης νερού σε τριχοειδή σωλήνα διαμέτρου 1 mm ? $\delta=0,0726\text{ N/m}$, $\rho=1000\text{ kg/m}^3$

$$\delta = \sigma$$

$$h = \frac{2\delta}{\rho g r} = \frac{2 \times 0,0726\text{ N/m}}{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,5 \times 10^{-6}} = 29,6\text{ m}$$

Τάση ατμών

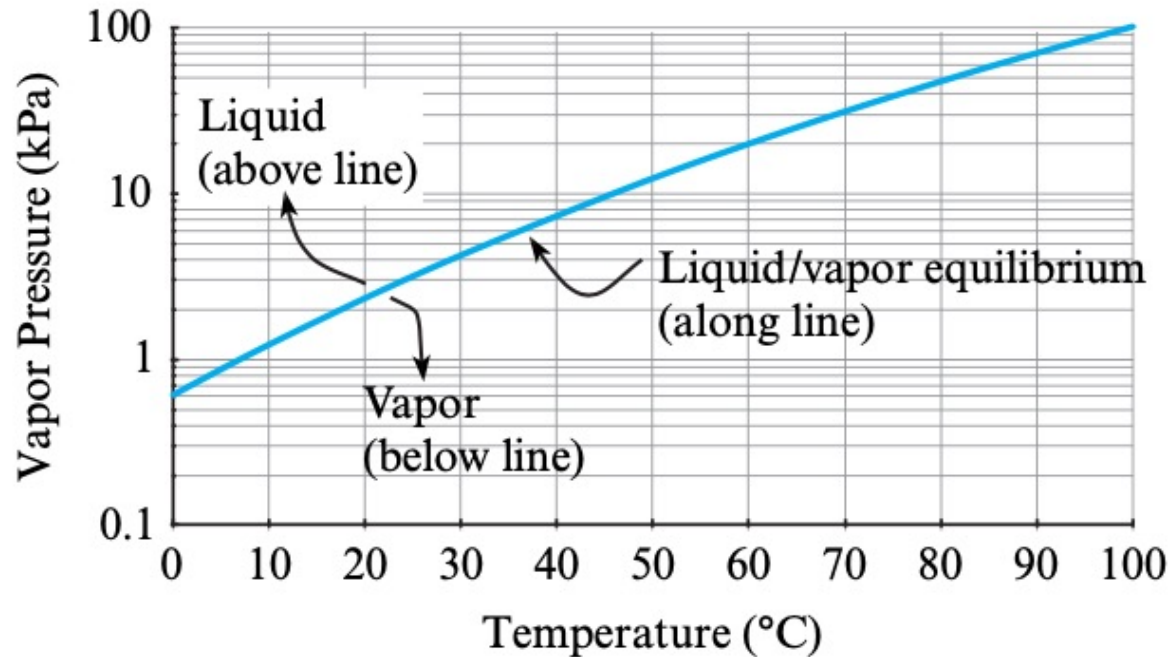
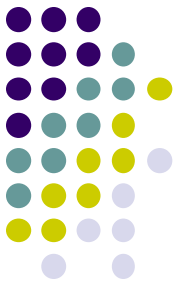


Υγρή ουσία σε κλειστό, κενό δοχείο

- εξαέρωση μέχρι κατάσταση ισορροπίας (δηλ. **εξαέρωση = υγροποίηση**)
- κορεσμένοι ατμοί
- τάση κορεσμένων ατμών (**εξαρτάται από τη θερμοκρασία του υγρού**)

- Όταν τάση ατμών = εξωτερική πίεση → **ΒΡΑΣΜΟΣ**
- **Σπηλαιώση**: Το φαινόμενο δημιουργίας φυσαλίδων κατά τη ροή ρευστού, **όταν η τάση ατμών γίνει τοπικά > εξωτερική πίεση**
- **Αποτέλεσμα**: κραδασμοί και πιθανή θραύση και καταστροφή τμήματος εγκατάστασης

Τάση ατμών για το νερό

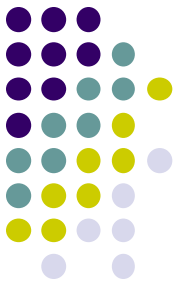


EXAMPLE. Water at 20°C flows through a venturi nozzle and boils. Explain why. Also, give the value of pressure in the nozzle.

Solution. The water is boiling because the pressure has dropped to the vapor pressure. Table 2.1 indicates that p_v can be looked up in Table A.5. Thus, the vapor pressure at 20°C (Table A.5) is $p_v = 2.34$ kPa absolute. This value can be validated by using Fig. 2.23.

Boiling and Cavitation

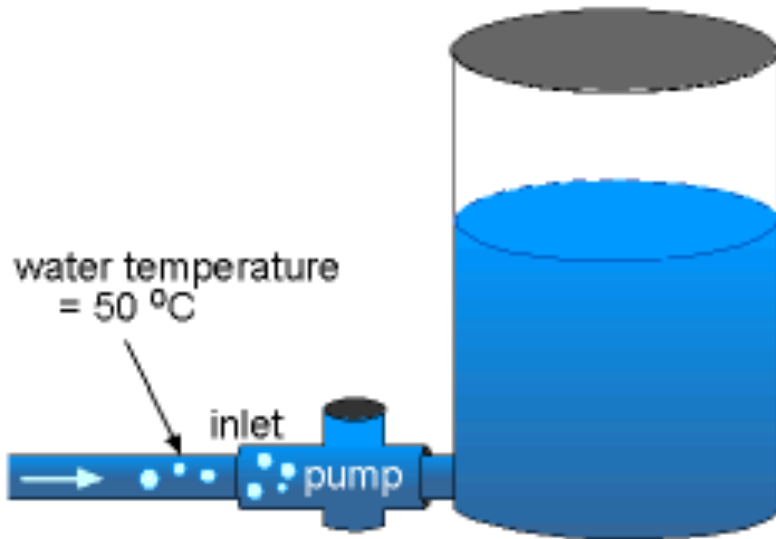
Βρασμός και Σπηλαιώση



Cavitation occurs when :

absolute pressure \leq vapor pressure (pv)
(απόλυτη πίεση-εξωτ.) \leq (τάση ατμών-εσωτ.)

so that the water is allowed to "boil".



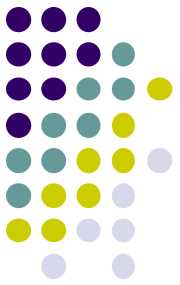
For H₂O of 50°C the Vapor Pressure is 12.3kPa

The operating pressure of the pump is 6 kPa < VP,
boiling and then cavitation will occur.

For H₂O of 20°C the Vapor Pressure is 2.3kPa

The operating pressure of the pump is 6 kPa > VP, thus
cavitation will not occur.

Παράδειγμα 1.12



Να υπολογισθεί η ελαχίστη εξωτερική πίεση, ώστε να σχηματισθεί σπηλαίωση κατά τη μεταφορά νερού 20°C με αντλία.

Λύση

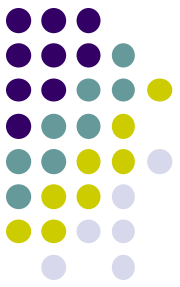
Η τάση ατμών του νερού στους 20°C βρίσκεται από τον πίνακα 3.1 του Παραρτήματος 3 ως $2,25\text{ kPa}$. Έτσι η πίεση θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των $2,25\text{ kPa}$, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία σπηλαίωσης.

Θέμα Σεπτεμβρίου 2007 (2 μονάδες)

Νερό ρέει σε σωλήνα από το σημείο 1 σε υψόμετρο 329 m στο σημείο 2 με υψόμετρο 736 m και μετά στο σημείο 3 σε υψόμετρο 437 m .

Αμελώντας τις τριβές, πόση πίεση απαιτείται στο σημείο 1 έτσι ώστε να μην έχουμε σπηλαίωση στο σημείο 2;

(Δίνεται η πίεση ατμών του νερού στους 20°C $P_{\text{H}_2\text{O}}=2341\text{Pa}$, η θερμοκρασία 20°C και η πυκνότητα του νερού 1000 kg/m^3)



Συμπιεστότητα – Μέτρο διογκώσεως

Υγρά πρακτικά ασυμπίεστα αλλά σε απότομες και μεγάλες μεταβολές πίεσης η συμπιεστότητα είναι σημαντική

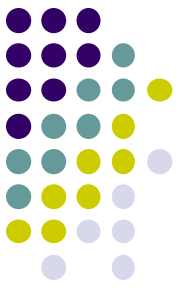
$$\left. \begin{array}{l} \text{Συμπιεστότητα} \\ \text{Ελαστικότητα όγκου} \\ \text{Μέτρο διογκώσεως} \end{array} \right\} k = - \frac{dP}{dV/V}$$

Μεταβολή πίεσης

Μεταβολή όγκου

Μονάδες ? Πίεσης ! ($dV/V = \text{αδιάστατο}$)

$$K_{H_2O} = 2068 \text{ MN/m}^2$$



Συμπιεστότητα – Μέτρο διογκώσεως

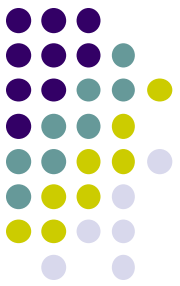
Παράδειγμα 1: Εφαρμογή $7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ σε $1 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ (περίπου 7atm)

$$k = -\frac{dP}{dV/V} \Rightarrow -dV = \frac{VdP}{K} \Rightarrow -dV = \frac{1 \times 7 \times 10^5}{2068 \times 10^6} = \frac{1}{3000} \text{ m}^3$$

Παράδειγμα 2: Ένα υγρό έχει όγκο 1lit σε πίεση 1 MN/m^2 και 995 cm^3 σε 2 MN/m^2 .

Ποιο είναι το μέτρο της διογκώσεως του?

$$k = -\frac{dP}{dV/V} = -\frac{2-1}{\frac{995-1000}{1000}} = 200 \text{ MN/m}^2$$



Παράδειγμα 1.13

Να βρεθεί η ελαστικότητα όγκου υγρού που η πυκνότητά του αυξάνει κατά 0,04%, όταν η πίεση αυξάνει κατά 50.000 Pa.

Λύση

Γνωρίζουμε ότι: $V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow$ με παραγωγή προκύπτει $dV = -\frac{m d\rho}{\rho^2}$.

Από τη σχέση αυτή και την εξίσωση (1.15) $B = -\frac{\partial p}{\partial V} = -V \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T = -v \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right) = \rho \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)$

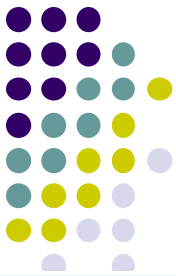
$$B = \frac{\rho}{m} \frac{dp}{\frac{d\rho}{\rho^2}} = \frac{\rho}{m} \frac{dp}{d\rho} = \frac{dp}{\frac{d\rho}{\rho}} = \frac{50.000}{0,04 \times 10^{-2}} = 125 \times 10^6 \text{ Pa.}$$

Σύνοψη των ιδιοτήτων των ρευστών



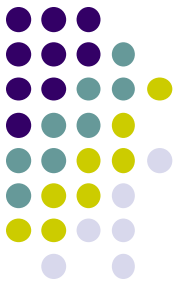
Property	Units (SI)	Temperature Effects	Pressure Effects (common trends)	Notes
Density (ρ): Ratio of mass to volume at a point	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\rho \downarrow$ as $T \uparrow$ if the gas is free to expand	$\rho \uparrow$ as $p \uparrow$ if a gas is compressed	<ul style="list-style-type: none"> <i>Air</i>. Find ρ in Table F.4 or Table A.3. <i>Other Gases</i>. Find ρ in Table A.2. <i>Caution!</i> Tables for gases are for $p = 1$ atm. For other pressures, find ρ using the ideal gas law.
		$\rho \downarrow$ as $T \uparrow$ for liquids	A liquid is usually idealized with ρ independent of pressure	<ul style="list-style-type: none"> <i>Water</i>. Find ρ in Table F.5 or Table A.5. <i>Note</i>. For water, $\rho \uparrow$ as $T \uparrow$ for temperatures from 0 to about 4°C. Maximum density of water is at $T \approx 4^\circ\text{C}$. <i>Other Liquids</i>. Find ρ in Table A.4.
Specific Weight (γ): Ratio of weight to volume at a point	$\frac{\text{N}}{\text{m}^3}$	$\gamma \downarrow$ as $T \uparrow$ if fluid is free to expand	Gas: $\gamma \uparrow$ as $p \uparrow$ if a gas is compressed Liquid: a liquid is usually idealized with γ independent of pressure	<ul style="list-style-type: none"> Use same tables as for density. ρ and γ can be related using $\gamma = \rho g$. <i>Caution!</i> Tables for gases are for $p = 1$ atm. For other pressures, find γ using the ideal gas law and $\gamma = \rho g$. Typically, γ is not used for gases.
Specific Gravity (S or SG): Ratio of (density of a liquid) to (density of water at 4°C)	none	$SG \downarrow$ as $T \uparrow$	A liquid is usually idealized with SG independent of pressure	<ul style="list-style-type: none"> Find SG data in Table A.4. SG is used for liquids, not commonly used for gases. Density of water (at 4°C) is listed in Table F.6. $SG = \gamma/\gamma_{\text{H}_2\text{O}, 4^\circ\text{C}} = \rho/\rho_{\text{H}_2\text{O}, 4^\circ\text{C}}$

Σύνοψη των ιδιοτήτων των ρευστών



Property	Units (SI)	Temperature Effects	Pressure Effects (common trends)	Notes
Viscosity (μ): A property that characterizes resistance to shear stress and fluid friction	$\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	$\mu \uparrow$ as $T \uparrow$ for a gas	A gas is usually idealized with μ independent of pressure	<ul style="list-style-type: none"> <i>Air</i>: Find μ in Table F.4, Table A.3, Fig. A.2. <i>Other gases</i>: Find properties in Table A.2, Fig. A.2. <i>Hint</i>: Viscosity is also known as dynamic viscosity and absolute viscosity. <i>Caution!</i> Avoid confusing viscosity and kinematic viscosity; these are different properties.
		$\mu \downarrow$ as $T \uparrow$ for a liquid	A liquid is usually idealized with μ independent of pressure	<ul style="list-style-type: none"> <i>Water</i>: Find μ in Table F.5, Table A.5, Fig. A.2. <i>Other Liquids</i>: Find μ in Table A.4, Fig. A.2.
Kinematic Viscosity (ν): A property that characterizes the mass and viscous properties of a fluid	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	$\nu \uparrow$ as $T \uparrow$ for a gas	$\nu \uparrow$ as $p \uparrow$ for a gas	<ul style="list-style-type: none"> <i>Air</i>: Find μ in Table F.4, Table A.3, Fig. A.3. <i>Other gases</i>: Find properties in Table A.2, Fig. A.3. <i>Caution!</i> Avoid confusing viscosity and kinematic viscosity; these are different properties. <i>Caution!</i> Gas tables are for $p = 1$ atm. For other pressures, look up $\mu = \mu(T)$, then find ρ using the ideal gas law, and calculate ν using $\nu = \mu/\rho$.
		$\nu \downarrow$ as $T \uparrow$ for a liquid	A liquid is usually idealized with ν independent of pressure	<ul style="list-style-type: none"> <i>Water</i>: Find ν in Table F.5, Table A.5, Fig. A.3. <i>Other liquids</i>: Find ν in Table A.4, Fig. A.3.

Σύνοψη των ιδιοτήτων των ρευστών



Property	Units (SI)	Temperature Effects	Pressure Effects (common trends)	Notes
Surface Tension (σ) : A property that characterizes the tendency of a liquid surface to behave as a stretched membrane	$\frac{\text{N}}{\text{m}}, \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	$\sigma \downarrow$ as $T \uparrow$ for a liquid	A liquid is usually idealized with σ independent of pressure	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Water</i>: Find σ in Fig. 2.18. • <i>Other liquids</i>: Find σ in Table A.4. • Surface tension is a property of liquids (not gases). • Surface tension is greatly reduced by contaminants or impurities.
Vapor Pressure p_v : The pressure at which a liquid will boil	Pa	$p_v \uparrow$ as $T \uparrow$ for a liquid	Not applicable	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Water</i>: Find p_v in Table A-5.
Bulk Modulus of Elasticity E_v : A property that characterizes the compressibility of a fluid	Pa	Not presented here	Not presented here	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Ideal gas (isothermal process)</i>: $E_v = p = \text{pressure}$. • <i>Ideal gas (adiabatic process)</i>: $E_v = kp$; $k = c_p/c_v$. • <i>Water</i>: $E_v \approx 2.2 \times 10^9 \text{ Pa}$.

Οι 7 δυνάμεις στα ρευστά



#	Name	Description and Tips	Associated With
1	Pressure force	The force caused by a pressure distribution. Use gage pressure for most problems.	Pressure stress
2	Shear force (viscous force)	The force caused by a shear stress distribution. This force requires the fluid to be flowing.	Shear stress
3	Buoyant force	The force on a submerged or partially submerged body that is caused by the hydrostatic pressure distribution.	Pressure stress
4	Surface tension force	The force caused by surface tension. The common formula is $F = \sigma L$.	Forces between molecules
5	Drag force	When fluid flows over a body, the drag force is the component of the total force that is parallel to the fluid velocity.	Both the pressure stress and the shear stress
6	Lift force	When fluid flows over a body, the lift force is the component of the total force that is perpendicular to the fluid velocity.	Both the pressure stress and the shear stress (typically, the effect of shear stress is negligible as compared to the pressure stress)
7	Thrust force	The force associated with propulsion; that is, the force caused by a propeller, jet engine, rocket engine, etc.	Both the pressure stress and the shear stress (typically, the effect of shear stress is negligible as compared to the pressure stress)



Νόμοι διατήρησης

Ισχύουν οι γνωστοί νόμοι :

- Αρχή διατήρησης της μάζας (όχι για $E=mc^2$)
- Αρχή διατήρησης της ορμής
- Αρχή διατήρησης της ενέργειας (η ολική ενέργεια ενός κλειστού συστήματος διατηρείται σταθερή)