

Ρευστομηχανική

1^η Διάλεξη Εισαγωγή – Ορισμοί

Γεώργιος Αραμπατζής

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Πολυτεχνείο Κρήτης
Ακαδημαϊκό Έτος 2019-2020

Αντικείμενο της Μηχανικής Ρευστών

- **Μηχανική**: Η επιστήμη που ασχολείται με τη συμπεριφορά των υλικών σωμάτων όταν αυτά αλληλεπιδρούν με **δυνάμεις**
- **Μηχανική Ρευστών**: Ο κλάδος της μηχανικής που ασχολείται με τη συμπεριφορά **ρευστών** υλικών σωμάτων

Κλασική Μηχανική

Δυνάμεις σε στερεά σώματα



Κίνηση σωμάτων

Μηχανική Ρευστών

Δυνάμεις σε ρευστά σώματα



Ροή ρευστών

Κλάδοι την Μηχανικής Ρευστών

Στατική Ρευστών

- Μελέτη της υδροστατικής **πίεσης** και των δυνάμεων που ασκούν **ακίνητα** ρευστά πάνω σε επιφάνειες

Κινηματική Ρευστών

- Περιγραφή της **κίνησης** των ρευστών και μεγεθών που σχετίζονται με αυτήν (ταχύτητα, επιτάχυνση, παροχή, ...)

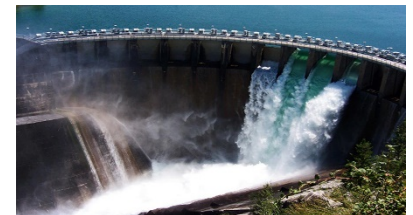
Δυναμική Ρευστών

- Μελέτη των **δυνάμεων** που αναπτύσσονται και των μεταβολών μάζας, ορμής και ενέργειας κατά τη ροή ρευστών

Εφαρμογές της Μηχανικής Ρευστών 1/2

- **Διακίνηση ρευστών**

- Δίκτυα σωληνώσεων μεταφοράς ρευστών σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις
- Αγωγοί μεταφοράς αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Συστήματα υδροδότησης, άρδευσης, αποχέτευσης



- **Μηχανολογία**

- Συσκευές διακίνησης ρευστών (αντλίες, ανεμιστήρες, ...)
- Εξαρτήματα που παρεμβάλλονται στη ροή (βάνες, διαφράγματα, γωνίες, ...)

- **Συστήματα μετατροπής ενέργειας**

- Υδροδυναμικές και θερμικές μηχανές
- Ανεμογεννήτριες
- Αντλίες θερμότητας

Εφαρμογές της Μηχανικής Ρευστών 2/2

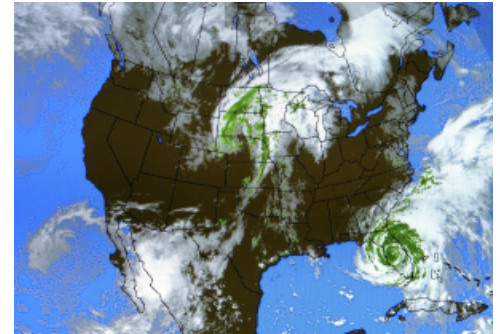
- **Αεροναυπηγική**

- Σχεδίαση αυτοκινήτων, πλοίων, υποβρυχίων, αεροπλάνων, διαστημοπλοίων



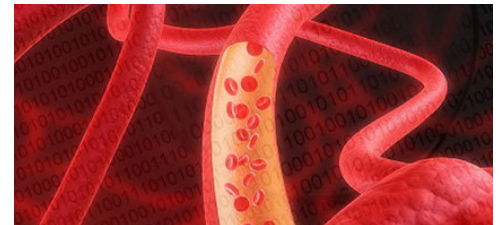
- **Μετεωρολογία και Ωκεανογραφία**

- Κινήσεις ανέμων
- Θαλάσσια ρεύματα
- Πρόβλεψη καιρού



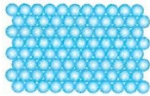
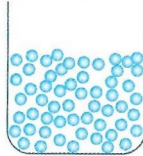
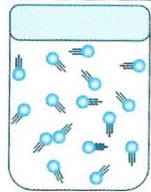
- **Ιατρική**

- Ροή αέρα στο αναπνευστικό σύστημα
- Ροή αίματος στο κυκλοφορικό σύστημα



A Day in the Life of a Fluid Dynamicist

Καταστάσεις της ύλης

	Στερεό	Υγρό	Αέριο
			
Στατική συμπεριφορά	Διατηρούν το σχήμα τους χωρίς να μπουν σε δοχείο	Παίρνουν το σχήμα του δοχείου και διατηρούνται σε ανοιχτό δοχείο	Καταλαμβάνουν όλο το χώρο κλειστού δοχείου
Κινητικότητα μορίων	Μικρή κινητικότητα μορίων – Πολύ ισχυρές διαμοριακές δυνάμεις	Ελεύθερη κίνηση μορίων – Ισχυρές διαμοριακές δυνάμεις	Ελεύθερη κίνηση μορίων – Μικρές διαμοριακές δυνάμεις
Συμπιεστότητα	Πολύ δύσκολο να συμπιεστούν	Δύσκολο να συμπιεστούν	Εύκολο να συμπιεστούν

Η έννοια του ρευστού

Χαρακτηρισμός ενός σώματος ως Στερεό ή Ρευστό

Κριτήριο (τεχνικό)

*Συμπεριφορά υπό την επίδραση διατμητικής τάσης**

Στερεά



Αντιδρούν με **στατική**
παραμόρφωση (κατάσταση
στατικής ισορροπίας)

Ρευστά



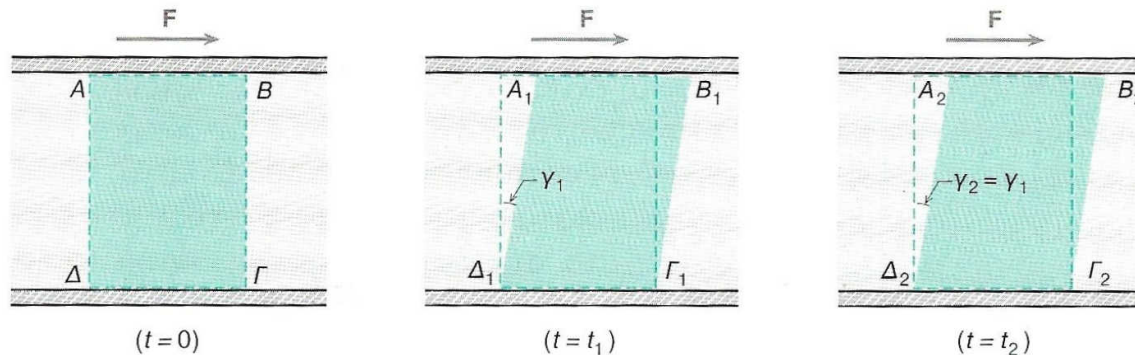
Υφίστανται **συνεχή**
παραμόρφωση (ρέουν)

***Διατμητική τάση:** Πηλίκο μιας εφαπτομενικής δύναμης που ασκείται σε μια επιφάνεια προς το εμβαδό της επιφάνειας

Κάθετη τάση: Πηλίκο μιας κάθετης δύναμης που ασκείται σε μια επιφάνεια προς το εμβαδό της επιφάνειας.

Συμπεριφορά στερεού σε διάτμηση 1/2

Ποσότητα στερεού μεταξύ δύο πλακών (ορθογώνιο στοιχείο ΑΒΓΔ)



Χρονική στιγμή $t=0$

- Στην πάνω πλάκα ασκείται **διατμητική δύναμη** F

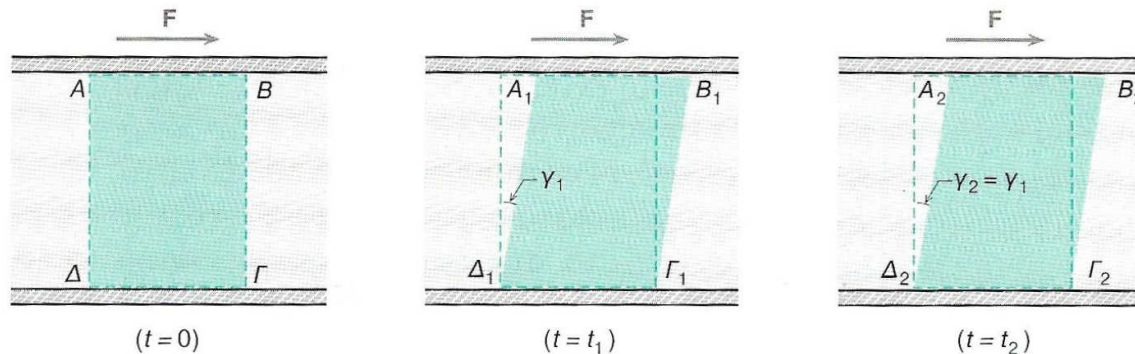
Χρονική στιγμή $t=t_1$

- Το στερεό παραμορφώνεται και γίνεται πλαγιογώνιο
Η γωνία γ_1 παριστάνει την ολική **παραμόρφωση**

Χρονική στιγμή $t=t_2$

- Το στερεό διατηρεί την ίδια παραμόρφωση ($\gamma_2 = \gamma_1$)

Συμπεριφορά στερεού σε διάτμηση 2/2

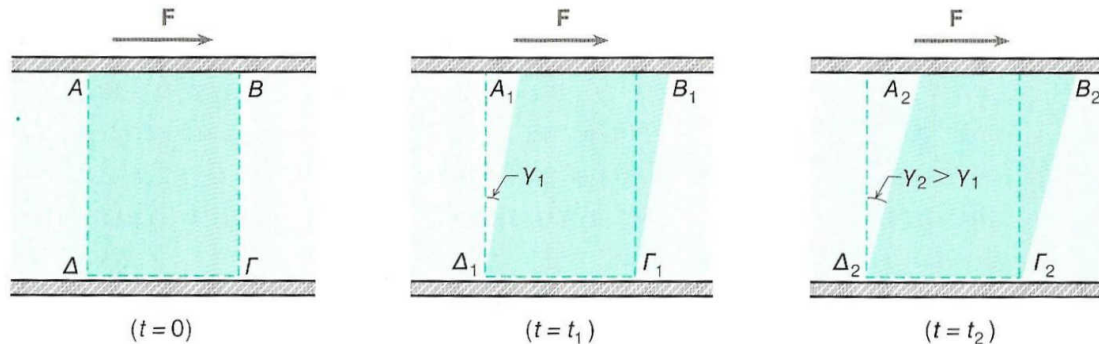


Συμπεράσματα

- Το στερεό υφίσταται μια ορισμένη παραμόρφωση η οποία **παραμένει σταθερή** όσο χρόνο διαρκεί η επίδραση της διατμητικής τάσης (**στατική παραμόρφωση**)
- Το **μέγεθος** της στατικής παραμόρφωσης εξαρτάται από το υλικό του σώματος και το μέγεθος της διατμητικής τάσης
- Όταν η επίδραση της διατμητικής τάσης σταματήσει το στερεό **επανέρχεται στην αρχική του μορφή**

Συμπεριφορά ρευστού σε διάτμηση 1/2

Ποσότητα ακίνητου ρευστού μεταξύ δύο πλακών (ορθογώνιο ΑΒΓΔ)



Χρονική στιγμή $t=0$

- Στην πάνω πλάκα ασκείται **διατμητική δύναμη** F

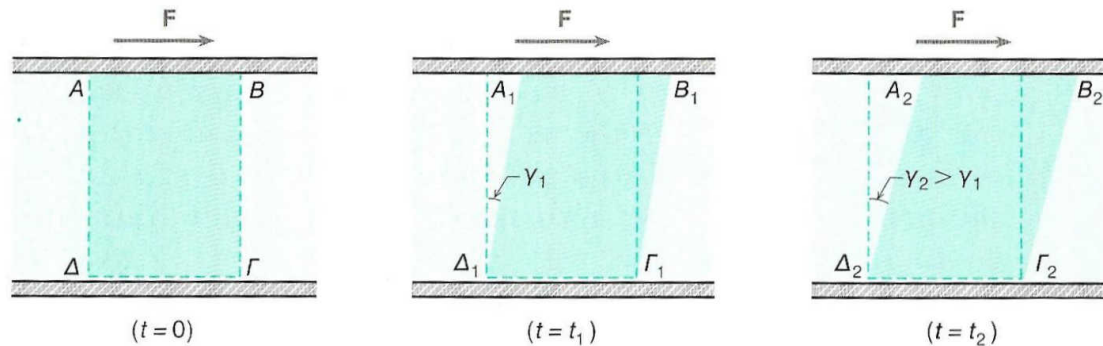
Χρονική στιγμή $t=t_1$

- Το στοιχείο ρευστού παραμορφώνεται και γίνεται πλαγιογώνιο
Η γωνία γ_1 παριστάνει την ολική **παραμόρφωση**

Χρονική στιγμή $t=t_2$

- Η νέα παραμόρφωση είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη ($\gamma_2 > \gamma_1$)

Συμπεριφορά ρευστού σε διάτμηση 2/2



Συμπεράσματα

- Το ρευστό **συνεχίζει να παραμορφώνεται** όσο χρόνο διαρκεί η επίδραση της διατμητικής τάσης
- Ο **ρυθμός** με τον οποίο το ρευστό παραμορφώνεται εξαρτάται από το υλικό του ρευστού και το μέγεθος της διατμητικής τάσης
- Όταν η επίδραση της διατμητικής τάσης σταματήσει το ρευστό παύει να κινείται και **δεν επανέρχεται στην αρχική του μορφή**

Η υπόθεση του συνεχούς μέσου

Η πραγματικότητα (Μοριακή Σύσταση)

- Τα ρευστά αποτελούνται από **μόρια** τα οποία κινούνται συνεχώς σε ακανόνιστες τροχιές προς όλες τις κατευθύνσεις
- Το πλήθος των μορίων που περιέχονται σε κάθε χρονική στιγμή σε έναν ορισμένο όγκο ρευστού μεταβάλλεται συνεχώς

Υπόθεση Συνεχούς Μέσου (Μακροσκοπική Θεώρηση)

- Το ρευστό είναι ένα **συνεχές μέσο**
- Οι ιδιότητες του ρευστού (π.χ. πυκνότητα) και άλλα μεγέθη (π.χ. ταχύτητα, πίεση, θερμοκρασία), σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, **μεταβάλλονται από σημείο σε σημείο κατά τρόπο συνεχή**

$$\psi = \psi(x, y, z)$$

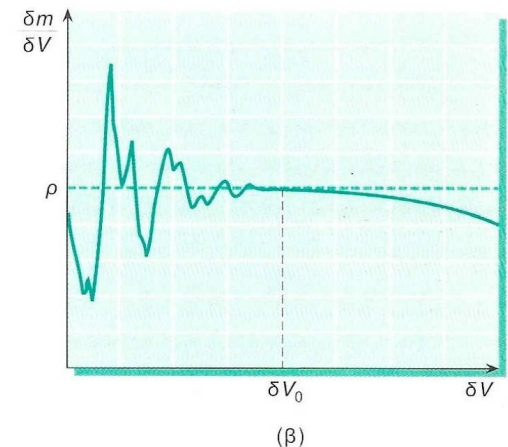
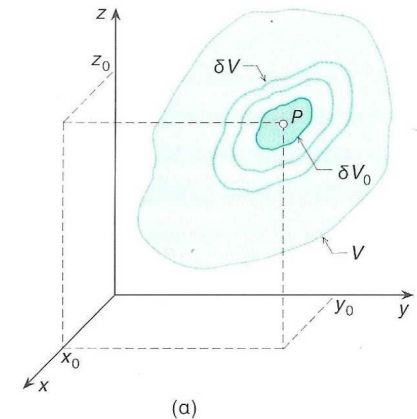
Ορισμός τοπικής πυκνότητας

- Εκτίμησης τοπικής πυκνότητας στο σημείο $P(x_0, y_0, z_0)$

$$\rho = \frac{\delta m}{\delta V} \neq \bar{\rho} = \frac{m}{V}$$

- Εξάρτηση από το μέγεθος του όγκου δV
 - Μεγάλες τιμές του $\delta V \Rightarrow$ Μεταβολές της ρ λόγω μακροσκοπικής ανομοιομορφίας (**μακροσκοπική απροσδιοριστία**)
 - Μικρές τιμές του $\delta V \Rightarrow$ Τυχαία μεταβολή της ρ λόγω διακύμανσης του αριθμού των μορίων που περιέχονται στον δV (**μικροσκοπική απροσδιοριστία**)
 - δV γύρω από την τιμή $\delta V_0 \Rightarrow$ Σταθεροποίηση της ρ
- Ορισμός πυκνότητας (**συνεχής συνάρτηση**)

$$\rho = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V_0} \left(\frac{\delta m}{\delta V} \right)$$



Σωματίδιο ρευστού

- Ως τιμή μιας ιδιότητας σε ένα δεδομένο σημείο του χώρου θεωρείται η **στατιστική μέση τιμή** της ιδιότητας σε μια περιοχή όγκου δV_0
- Η ποσότητα του ρευστού που περιέχεται στον οριακό όγκο δV_0 αποτελεί ένα **σωματίδιο ρευστού**
- Στην υπόθεση του συνεχούς μέσου ένα σωματίδιο ρευστού καταλαμβάνει, κάθε χρονική στιγμή, ένα **σημείο** στο χώρο

Ο οριακός όγκος είναι περίπου 10^{-9} mm^3 και στον όγκο αυτόν περιέχεται ένας μεγάλος αριθμός μορίων (≈ 30 εκατομμύρια σε αέρα υπό κανονικές συνθήκες)

Συνθήκη ισχύος υπόθεσης συνεχούς μέσου

Οι διαστάσεις του εξεταζόμενου συστήματος πρέπει να είναι **μεγαλύτερες από τη μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων** του ρευστού

Στον αέρα υπό κ.σ. η μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων είναι $6.3 \times 10^{-5} \text{ mm}$

Περιπτώσεις αποτυχίας υπόθεσης συνεχούς μέσου

- Κίνηση διαστημοπλοίων στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (η μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων φτάνει τα 30 cm σε ύψος 100 km)
- Ροή μέσα από τους πόρους ενός στερεού καταλύτη (το μέγεθος του πόρου του καταλύτη μπορεί να είναι συγκρίσιμο με τη μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων)