

Τα Ρευστά ... με τα Μάτια του Φυσικού  
Μέρος Α : Το Σωματίδιο του Ρευστού



Περιεχόμενα

1. Ο Μολδάβας : Ένα συμφωνικό ποίημα ύμνος για την ροή
2. Η ανάγκη του Φυσικού να γνωρίσει την ροή των ρευστών
3. Ας θυμηθούμε τις καταστάσεις της ύλης
4. Η έννοια του ρευστού και της ροής
5. Το αίτιο της ροής : Η διατμητική δύναμη
6. Η μικροσκοπική όψη των ρευστών
7. Το δίλλημα του Φυσικού σχετικά με την μελέτη των ρευστών
8. Ένα πολύ σημαντικό νοητικό πείραμα
9. Πως ορίζεται η πυκνότητα του ρευστού
10. Ποια είναι η "ταυτότητα" στοιχειώδους όγκου ( $\Delta V_0$ ) ;
11. Το ... σωματίδιο του ρευστού

## Μέρος Α: Το Σωματίδιο του Ρευστού

### 1. Ο Μολδάβας : Ένα συμφωνικό ποίημα ύμνος για την ροή

**Bedrich Smetana (1824-1884)** : Εθνικός συνθέτης της Τσεχίας.



Το **1874** έχασε την ακοή του. Όμως δεν σταμάτησε να συνθέτει. Τα τέλη **Σεπτεμβρίου του 1874** συνέθεσε ένα κύκλο συμφωνικών ποιημάτων που έμελε να αποτελέσουν τα αριστουργήματά του.

Τίτλος των έργων.

**"Η πατρίδα μου".**

Ένας ύμνος στην ιστορία την φύση και τους θρύλους της Βοημίας.

Ο ποταμός **Μολδάβας ( Vltava )** είναι το δεύτερο έργο.

Γράφηκε σε μικρό χρονικό διάστημα

από τις **20 Νοεμβρίου** έως τις **8 Δεκεμβρίου 1874**.

Παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στις **4 Απριλίου του 1875**.

*Ακούστε εδώ την μουσική της ροής του ποταμού Μολδάβα.*

Η δομή του έργου στηρίζεται στην **"ηχητική απεικόνιση"** της ροής που ακολουθεί ο ποταμός **Μολδάβας**.

Το συμφωνικό ποίημα του **Smetana** ξεκινά από τις δύο πηγές του ποταμού **Μολδάβα**.

Μια ψυχρή και μία θερμή.

**Τα φλάουτα και τα κλαρινέτα αποδίδουν τις ροές των πηγών.**

Όταν οι δύο ροές συγχωνευθούν σε μια κοινή κοίτη  
ο **Smetana** μας δίνει το βασικό θέμα της ροής του ποταμού.



Μια μελαγχολική μελωδία σε **Μι-ελάσσονα** με λαϊκές καταβολές.

Ακολουθούν **τρεις διαδοχικές διαφορετικές "μουσικές εικόνες"**  
που διαδραματίζονται στις όχθες του ποταμού.

- **Η πρώτη** είναι μια σκηνή κυνηγιού στα δάση της Βοημίας.  
Την περιγράφουν οι ήχοι από τα χάλκινα πνευστά.



- **Στην δεύτερη** ακούγονται οι εύθυμοι χορευτικοί σκοποί  
που συνοδεύουν έναν χωριάτικο γάμο.

- **Στην τρίτη** περιγράφεται ένας **χορός νυμφών στο σεληνόφως**.  
Αιθέρια ηχοχρώματα. Αέρινες φιγούρες.

Τα λικνιζόμενα σώματα εκφράζουν την ακατάπαυστη ροή του νερού.



Ο Μολδάβας στην ροή του συναντά κάστρα, παλάτια, ένδοξα ερείπια.  
Η συμφωνική ορχήστρα συνεχώς αναδεικνύει την ροή.  
Το γλυκό μοτίβο παρακολουθεί την πορεία του.

Από την αστρόβιλη ροή μέχρι τους ορμητικούς στροβιλισμούς  
των υδάτων στις δίνες του Αγίου Ιωάννη.



Ο Μολδάβας φτάνει και διασχίζει την Πράγα.

Το θέμα του συμφωνικού ποιήματος παραλλάσσεται τώρα  
με μεγαλύτερη ζωντάνια στην Μι-μείζονα κλίμακα.

Η μουσική φθάνει στο λαμπρό απόγειο με το μοτίβο του Vyšehrad .

Η ροή γίνεται ...στρωτή ομορφαίνοντας το επιβλητικό κάστρο.



Τα νερά του Μολδάβα θα φτάσουν στην **κοίτη του Έλβα**.

Το θέμα του συμφωνικού ποιήματος “σβήνει” γαλήνια στον ορίζοντα.  
Ένα νέο ταξίδι ... της ροής αρχίζει.

2. Η ανάγκη του Φυσικού να γνωρίσει την ροή των ρευστών.

Ο Φυσικός **βλέπει** τη ροή του νερού. **Ακούει** τον ήχο της.



**Χαίρεται** την αρμονία της.  
**Θαυμάζει** τις ικανότητες του ρευστού - νερού.  
Αλήθεια πως **βρίσκει διέξοδο** ; Πως **ελίσσεται** ;  
Πως **προσαρμόζεται στην δομή** του Χώρου;  
Αλλά και με πόση τέχνη **προσαρμόζει**  
το Χώρο στην ροή του Χρόνου.

Τα εργαλεία που **χαράζει το Χώρο με τον Χρόνο**.  
**Η μάζα του. Η ορμή του. Η ενέργεια του.**

" Πως να ιστορήσω τα νερά...Πως να μιλήσω στα άστρα"  
Ένα όμορφο τραγούδι του "Νέου κύματος" με τον Λάκη Παππά  
τριγυρνά στην σκέψη του Φυσικού.

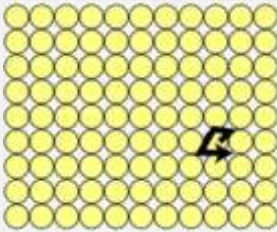
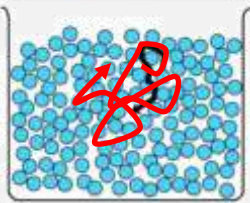
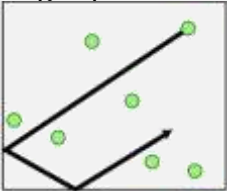
Ο Φυσικός είναι πάντα ανήσυχος.  
Τον πολιορκούν αδιάκοπα πολλά ερωτήματα.

- Ναι, καλά το καταλάβατε.  
Θέλει να γνωρίσει τα ρευστά. Να αποκαλύψει την Αρμονία της Ροής.  
Τι είναι "στρωτή ροή" ; Τι είναι "τυρβώδης";

Θέλει να γνωρίσει την "περιπέτεια" των μορίων. Το ταξίδι τους.  
Θέλει να κυλήσει μαζί τους.  
Να δει τον χορό τους μέσα στον Χρόνο.

Όμως τα συναισθήματα του Φυσικού εναλλάσσονται.  
Θα μπορέσει άραγε;  
Είναι δύσκολο εγχείρημα. Όμως αξίζει να προσπαθήσει.

### 3. Ας θυμηθούμε τις καταστάσεις της ύλης

	ΣΤΕΡΕΑ	ΥΓΡΑ	ΑΕΡΙΑ
ΣΧΗΜΑ	Ορισμένο	Ακαθόριστο	Ακαθόριστο
ΟΓΚΟΣ	Ορισμένος	Ορισμένος	Ακαθόριστος
ΑΛΛΗΛ-ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ	Ισχυρές	Ασθενείς	Σχεδόν ανύπαρκτες
ΚΙΝΗΣΗ ΜΟΡΙΩΝ	Ταλάντωση 	Καμπυλόγραμμη κίνηση - κύλιση 	Σχεδόν ομαλή κίνηση με υψηλή ταχύτητα 

Υπάρχει και ...το πλάσμα. Αλλά όχι τώρα.

#### 4. Η έννοια του ρευστού και της ροής.

Η λέξη **ρευστό - fluid** - προέρχεται από το λατινικό **fluere**.

Σημαίνει "μια ουσία ικανή να ρέει".

Συνηθίζουμε "**εμπειρικά**" να λέμε **ρευστά: τα υγρά και τα αέρια**.

Όμως ρέουν μόνο τα υγρά και τα αέρια;

Από την εμπειρία μας γνωρίζουμε ότι και **τα λεπτόκοκκα στερεά "ρέουν"**.

"Ρέει"... η άμμος ;



"Ρέει"... το σιτάρι ;



Ένας **εμπειρικός** προσδιορισμός της έννοιας "**ρευστό**" δεν αρκεί.

Ο Φυσικός επιδιώκει να δώσει την "**φυσική διάσταση**" της εμπειρίας.

Όμως πρώτα θα βοηθήσει να δούμε την ροή με φυσικές έννοιες.

Γεννιέται το ερώτημα :

- Ροή μπορούμε απλά να χαρακτηρίσουμε την **απώλεια της ισορροπίας και την αλλαγή της κινητικής κατάστασης** ;

Μήπως αυτό δεν συμβαίνει και σε ένα στερεό σώμα ;

Γιατί δεν λέμε ότι **το στερεό σώμα "ρέει"**;

Για να απαντήσουμε στο ερώτημα ας δούμε ένα παράδειγμα.

Στις εικόνες βλέπουμε ένα **στερεό σώμα** και ένα **υγρό** να ισορροπούν.

Στερεό σε  
ισορροπία



Υγρό σε  
ισορροπία



Ας δώσουμε τώρα μια κλίση στο αρχικό οριζόντιο επίπεδο ισορροπίας.



Τι θα παρατηρήσουμε;

- Το στερεό θα κινηθεί **σαν ενιαίο σώμα**.  
Δηλαδή οι σχετικές θέσεις των μορίων του **πρακτικά** δεν αλλάζουν.

- Το υγρό θα κινηθεί **αλλά όχι ενιαία**.  
Κάποιες μικρές ποσότητες **θα παραμείνουν** στην επιφάνεια επαφής.  
Κάποιες άλλες **θα ολισθήσουν πάνω στα ενδιάμεσα στρώματα** του υγρού  
και **θα κινηθούν γρηγορότερα** κατά μήκος της διαδρομής του.

Ο Φυσικός χαμογελά γιατί "**φαίνεται**" η διαφορά.  
Μπορεί τώρα να απαντήσει.

- Το στερεό σώμα ... μετακινείται.  
- Το υγρό ... ρέει.

### 5. Το αίτιο της ροής : Η διατμητική δύναμη.

Αλλά πιο είναι **το αίτιο** που προκαλεί την ροή ;

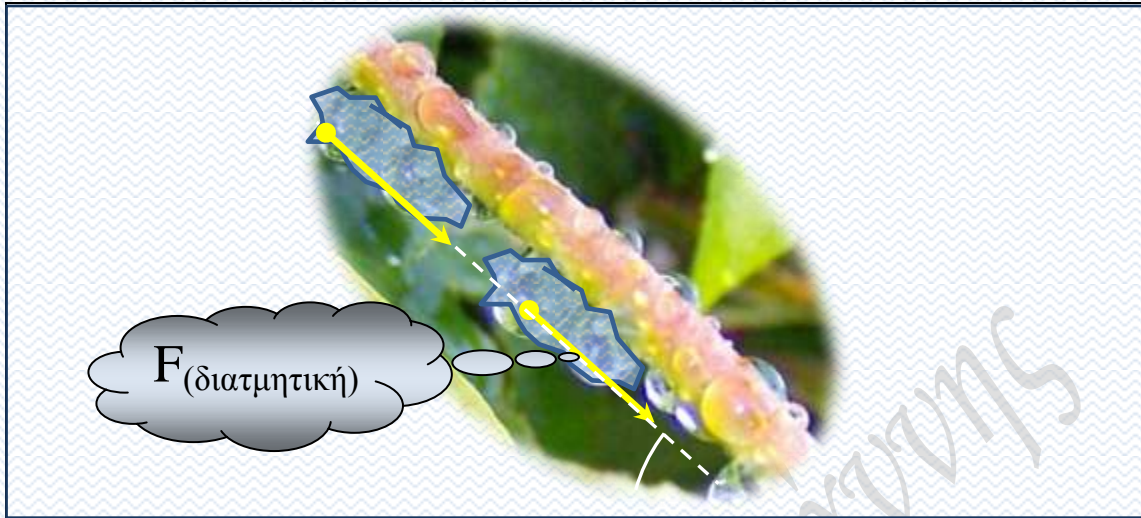
Ας επιστρέψουμε στο παραπάνω παράδειγμα.  
Για να προκαλέσουμε την κίνηση **δώσαμε μια κλίση**  
στο αρχικό οριζόντιο επίπεδο ισορροπίας.  
**Δηλαδή τι κάναμε;**

**"Δημιουργήσαμε"** την προϋπόθεση για την εμφάνιση  
μιας δύναμης **παράλληλη** με το επίπεδο κίνησης.  
Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η "**συνιστώσα**" του **βάρους**.

Άρα **το αίτιο** που προκάλεσε την **έναρξη της ροής**  
είναι η ύπαρξη **μιας δύναμης παράλληλης** στην διεύθυνση της κίνησης.



Η δύναμη αυτή λέγεται **διατμητική δύναμη (  $F$  )**.  
Διαφορετικά **διατμητική τάση (  $\tau = F/A$  )**.

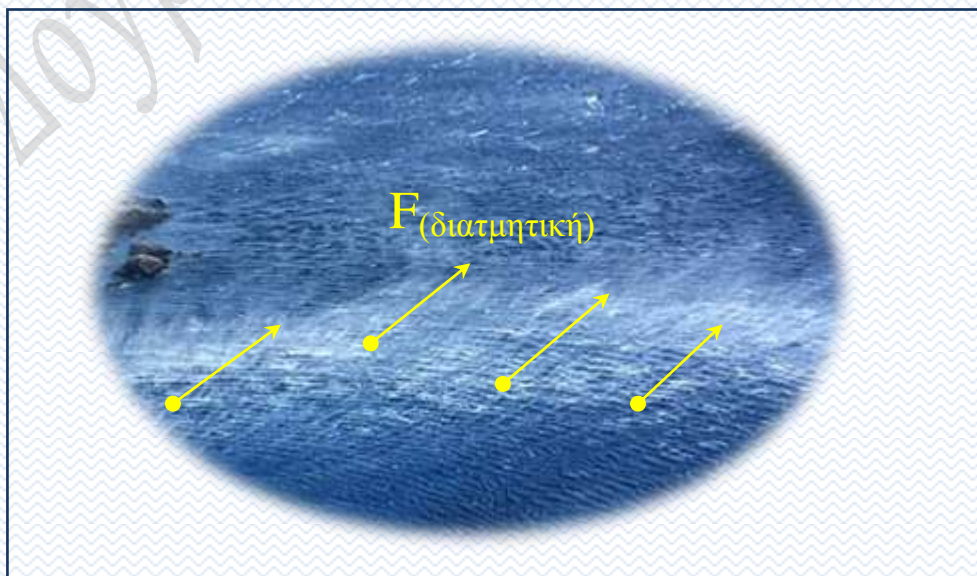


Το συμπέρασμα

Για να παρατηρήσουμε το φαινόμενο της ροής πρέπει να εφαρμοστεί στο υγρό (ή στο αέριο) μια **διατμητική δύναμη** που θα προκαλέσει :  
μια **συνεχή**  
**ανομοιόμορφη**  
**και οριστική μετακίνηση των μορίων**  
κατά την διεύθυνση της.

Δύο παραδείγματα **διατμητικής δύναμης**.

1°. Η ήρεμη επιφάνεια της θάλασσας θα "ρυτιδωθεί" από τον άνεμο που ασκεί **διατμητική δύναμη** στην επιφάνεια του.



2°. Η φυσική ροή ενός ποταμού οφείλεται στην δύναμη βαρύτητας.  
Το **βάρος του υγρού ή "συνιστώσα"** του παίζει τον ρόλο της **διατμητικής δύναμης**.



Τώρα ο Φυσικός μπορεί να δώσει ένα **πλήρη ορισμό** για το ρευστό.

**Ρευστό** χαρακτηρίζεται η φυσική κατάσταση της ύλης που όταν δέχεται - έστω και **μια πολύ μικρή- διατμητική δύναμη** τότε :  
**Δεν παραμένει σε κατάσταση στατικής ισορροπίας.**  
**Δεν κινείται σαν ενιαίο σώμα.**

**Οι υπερκείμενες στοιχειώδεις μάζες ολισθαίνουν πάνω στις υποκείμενες .**

Ο Φυσικός "**βλέπει**" πια καθαρά την **διαφορά ρευστών και στερεών.**

- Στα **μηχανικά στερεά** όταν εφαρμοστούν **διατμητικές δυνάμεις** οι σχετικές αποστάσεις των μορίων τους **δεν αλλάζουν.**
- Στα **στερεά που παραμορφώνονται ελαστικά**, οι σχετικές αποστάσεις των μορίων τους **είναι ανάλογες των δυνάμεων.**

**Τα ρευστά μετασχηματίζονται , παραμορφώνονται και τίθενται σε κίνηση** όταν επιδράσουν ή εφαρμοστούν σ' αυτά **διατμητικές δυνάμεις.**

Στα ρευστά **δεν αναφερόμαστε σε παραμορφώσεις** αλλά **σε ταχύτητες παραμορφώσεων** που είναι **ανάλογες των διατμητικών τάσεων .**



Το Φράγμα Srisaïlam στην Ινδία

## 6. Η μικροσκοπική όψη των ρευστών

Πολλές φορές έχουμε θαυμάσει την απόλυτη ηρεμία της Φύσης.  
Την άπνοια. Την "ακίνητη" επιφάνεια του νερού.  
Τον καπνό να ανεβαίνει κατακόρυφα.



Όμως τα μάτια του Φυσικού "βλέπουν".  
"Βλέπουν" και ένα "άλλο κόσμο".  
Τον αόρατο "κόσμο" των μορίων.  
Τον Μικρόκοσμο.

Ένα κόσμο που ρυθμίζει και καθορίζει ...αυτό που εμείς αισθητοποιούμε.

Ας προσέξουμε και άλλο ... ένα πίνακα

	Αέρια	Υγρά
Τυπική ταχύτητα των μορίων	$\approx 500 \text{ m/s}$	$\approx 1000 \text{ m/s}$
Τυπική απόσταση μεταξύ διαδοχικών κρούσεων	$\approx 10^{-7} \text{ m}$	$\approx 10^{-12} \text{ m}$
Τυπικός χρόνος μεταξύ διαδοχικών κρούσεων	$\sim 10^{-10} \text{ s}$	$\sim 10^{-15} \text{ s}$

Τι διαπιστώνουμε ;

Στα "ήρεμα ρευστά" μακροσκοπικά δεν αντιλαμβανόμαστε καμιά κίνηση.  
Σε μοριακές διαστάσεις όμως συμβαίνουν σημαντικά γεγονότα  
σε πολύ μικρούς χρόνους .

### Ένα παράδειγμα

Το πιο γνωστά μας ρευστά είναι το νερό και ο αέρας.  
Η μέση απόσταση των μορίων του νερού είναι :  $1 \text{ \AA} \approx 10^{-10} \text{ m}$ .  
Στον αέρα είναι:  $10 \text{ \AA} \approx 10^{-9} \text{ m}$ .

Σε ποσότητα  $1 \text{ mol}$  νερού δηλαδή  $m = 18,0152 \text{ gr}$  υπάρχουν  
 $N = 6,023 \times 10^{23}$  μόρια.

Ένας τεράστιος αριθμός των μορίων σε πολύ μικρή μάζα που βρίσκεται σε μια διαρκή κίνηση με πολύ μεγάλες και διαφορετικές ταχύτητες.

Οι "άπειρες" κρούσεις - σκεδάσεις που προκαλούνται οδηγούν σε μεταφορά ορμής από τα πιο ευκίνητα στα πιο αργά μόρια.

Κάθε στιγμή οι ταχύτητες των μορίων αλλάζουν με ασύλληπτο ρυθμό.  
Έτσι οι ταχύτητες δύο μορίων που βρίσκονται πολύ κοντά μπορεί να μεταβάλλονται με τυχαίο - απρόβλεπτο τρόπο με τον χρόνο.

Μα τι άλλο μπορεί να χαρακτηριστεί...εκτός από Χαστική κίνηση;  
Το αποτέλεσμα ;  
Η συνεχής μεταφορά της μάζας της ορμής και ενέργειας με τυχαίο τρόπο.

## 7. Το δίλλημα του Φυσικού

Εδώ ο Φυσικός αισθάνεται την αδυναμία του.  
Ξέρει καλά ότι δεν μπορεί να γίνει "γητευτής των μορίων".

Η κινητική θεωρία. Η στατιστική μηχανική. Η μοριακή δυναμική.  
Η υπολογιστική χημεία.

Μας δίνουν μια πολύ καλή προσέγγιση στην μελέτη των φαινομένων σε μοριακό επίπεδο.

Οι διαστάσεις όμως των ρευστών συστημάτων που μελετάμε περιέχουν ένα τεράστιο αριθμό μορίων.  
Έτσι η προσέγγιση τους σε μοριακό επίπεδο είναι αδύνατη.

Η κίνηση των ωκεανών. Η ροή ενός ποταμού.  
Η ροή του νερού μέσα από ένα αγωγό. Σε ένα φράγμα.  
Η κίνηση των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας.  
Είναι συστήματα με ένα ασύλληπτο αριθμό μορίων.

- Μήπως μια άλλη μελέτη " πιο... μακροσκοπική" θα έδινε λύση;

Μήπως να έβλεπε τα ρευστά σαν ένα "υποθετικό συνεχές μέσο";  
Πως όμως θα το καθορίσει;  
Ο Φυσικός βρίσκεται μπροστά σε ένα πολύ σοβαρό δίλλημα.

Ξέρει ότι ο κόσμος των μορίων είναι υπαρκτός.  
- Έχει το δικαίωμα να τον αγνοήσει;  
- Τις γνώσεις σε μοριακό επίπεδο πως να τις παραμερίσει;

Μήπως αν τις χρησιμοποιεί μόνο επικουρικά;  
Απλά για να αναπληρώνουν τη χαμένη πληροφορία που συνεπάγεται  
η μακροσκοπική θεώρηση.  
Ένα παράδειγμα είναι η ερμηνεία του ιξώδους.

Ο Φυσικός είναι ανήσυχος.

Δεν μένει ικανοποιημένος με τους διαχωρισμούς ή με τα διλλήματα.  
Μικροσκοπική ή μακροσκοπική θεώρηση;

Αναζητά την αρμονία της "μετάβασης".  
Θέτει τα ερωτήματα:  
- Πως μπορώ να συνδέσω τον μικροσκοπικό κόσμο των μορίων  
με τον μακροσκοπικό κόσμο του ρευστού  
χωρίς να φαίνονται "ξένοι" αυτοί " οι δύο κόσμοι";  
- Ποια είναι η φυσική αρμονία της "μετάβασης";  
Σαν την αρμονική συνέχεια της μουσικής του Svetlana.

8. Ένα πολύ σημαντικό ... νοητικό πείραμα.

Ο Φυσικός στην προσπάθεια του να βρει τον δρόμο  
της αρμονικής μετάβασης από τον ασυνεχή κόσμο των μορίων  
στον συνεχή κόσμο του ρευστού προτείνει ένα νοητικό πείραμα.  
Μια "παγίδα" μορίων.  
Τοποθετεί σε ένα σημείο του χώρου ροής ένα φανταστικό όργανο  
μέτρησης του αριθμού των μορίων ανά μονάδα όγκου (  $N/V$  ).  
 $N$  = αριθμός των μορίων του ρευστού  
 $V$  = όγκος που τα περιέχει.

Τον όγκο δειγματοληψίας του φανταστικού οργάνου  
μπορεί να τον μεταβάλλει  
από μοριακό μέχρι μακροσκοπικό επίπεδο.

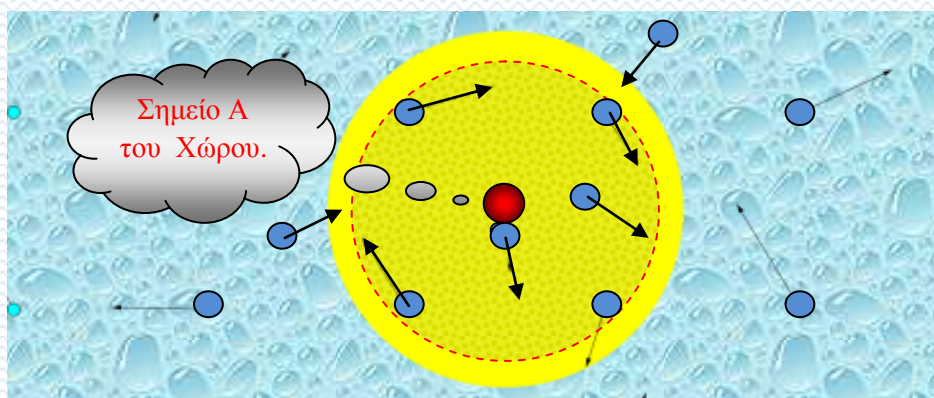
Μεταβάλλοντας τον όγκο κάνει τις παρακάτω διαπιστώσεις.

**Διαπίστωση 1<sup>η</sup>:** Σε πολύ μικρές διαστάσεις θα παρατηρήσουμε πολύ μεγάλες αλλαγές και διακυμάνσεις του λόγου ( $N/V$ ).

Αυτό οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους.

1<sup>ος</sup>: Στην πιθανότητα να "πιάσουμε" ή όχι, ένα ή λίγα μόρια, σε κάποιο σημείο του χώρου λόγω της τυχαίας διάταξης τους.

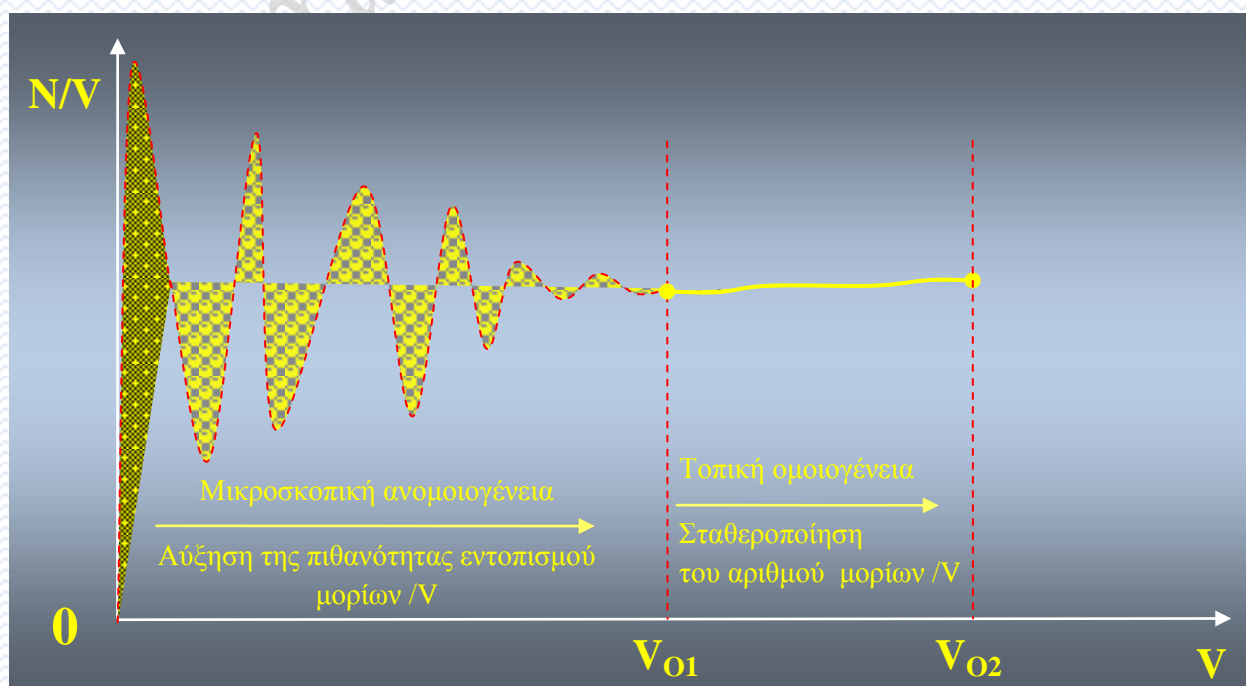
2<sup>ος</sup>: Στην διαρκή και τυχαία κίνηση τους με πολύ μεγάλες ταχύτητες. Το αποτέλεσμα είναι **στιγμαία** ο επιλεγόμενος όγκος να "αδειάζει" ή να "γεμίζει" με μόρια του ρευστού.



Έτσι είναι δύσκολο να υπάρχει μια **σταθερή μέση τιμή** του λόγου ( $N/V$ ). Η **μικροσκοπική ανομοιογένεια** ρευστού μέσου.

**Διαπίστωση 2<sup>η</sup>:** Όσο μεγαλώνει ο μετρητικός όγκος, οι διακυμάνσεις "σβήνουν" γιατί το στατιστικό δείγμα του ρευστού μεγαλώνει.

Έτσι, πλησιάζουμε σε μια οριακή τιμή του όγκου ( $V_{01}$ ) όπου λόγος ( $N/V$ ) τείνει σε μια **σταθερή τιμή**.



**Διαπίστωση 3<sup>η</sup>:** Μετά την οριακή τιμή του όγκου ( $V_{01}$ ) ο λόγος ( $N/V$ ) έχει μια σταθερή τιμή που διατηρείται μέχρι την τιμή του όγκου ( $V_{02}$ ).

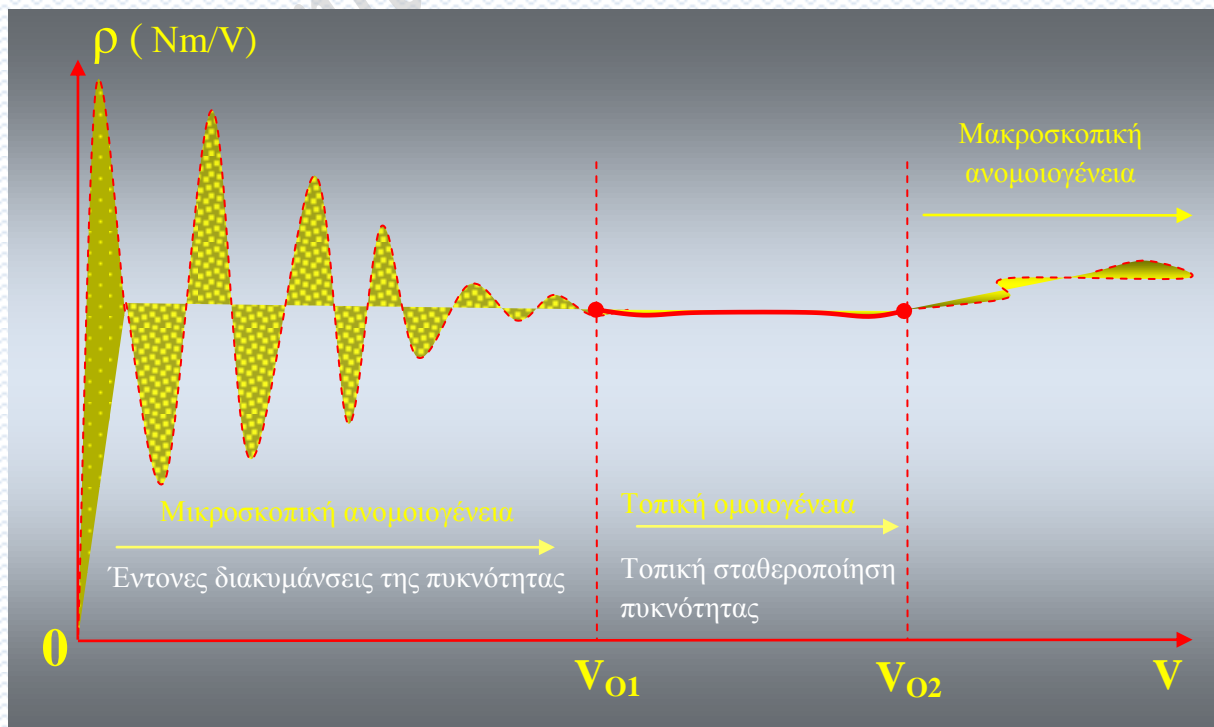
$$V_{0,1} \leq V \leq V_{0,2}$$

Γιατί όμως συμβαίνει αυτό;  
Διότι το **πλήθος μορίων** που περιέχονται στις τιμές του όγκου ( $\Delta V$ ) είναι **ικανό** να μας δώσει την **στατιστική ερμηνεία** της συμπεριφοράς του ρευστού **στο σημείο μέτρησης**.

Είναι ένα πλήθος μορίων **ικανό** να δώσει μια πολύ καλή μέση τιμή για κάθε φυσικό μέγεθος ( $\bar{v}, \bar{p}, \bar{K}_{iv}$ ) και κάθε φυσική ιδιότητα ( $\rho, T, P, \text{ιξώδες, συμπιεστότητα}$ ) που περιγράφει τις ιδιότητες του ρευστού **στο σημείο μέτρησης**.  
**Ανεξάρτητα από την τυχαία κίνηση του κάθε μορίου.**

### 9. Ο ορισμός της πυκνότητας του ρευστού. Μια εφαρμογή του νοητικού πειράματος

Αν τον λόγο ( $N/V$ ) τον πολλαπλασιάσω με την μάζα ( $m$ ) του μορίου η σχέση ( $Nm/V$ ) μας δίνει την **πυκνότητα μάζας του ρευστού**.  
Η μεταβολή της με τον όγκο είναι όμοια με **το παραπάνω διάγραμμα**.



Τι παρατηρούμε;

1. Υπάρχει μια περιοχή τιμών του όγκου

$$V_{o,1} \leq V \leq V_{o,2}$$

που η πυκνότητα μάζας είναι **πρακτικά σταθερή**.

2. Για τιμές του όγκου:

$$V \leq V_{o,1}$$

η πυκνότητα μάζας παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις.  
Αυτό οφείλεται όπως αναφέραμε στην **μικροσκοπική ανομοιογένεια**.

3. Για τιμές του όγκου:

$$V_{o,2} \leq V$$

η πυκνότητα μάζας εμφανίζει νέες διακυμάνσεις  
που οφείλονται **τώρα** στην **μακροσκοπική ανομοιογένεια**.

Έχουμε προσδιορίσει την περιοχή των τιμών του όγκου  
που μας επιτρέπει **να ορίσουμε** την πυκνότητα του ρευστού:

$$\rho = \lim_{(\Delta V \rightarrow \Delta V_0)} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad \text{όπου} \quad \Delta V_0 = V_{o,2} - V_{o,1}$$

$\Delta m =$  μάζα των μορίων που περιέχει ο όγκος ( $\Delta V_0$ ).

10. Ποια είναι η "ταυτότητα" του όγκου ( $\Delta V_0$ ) ;

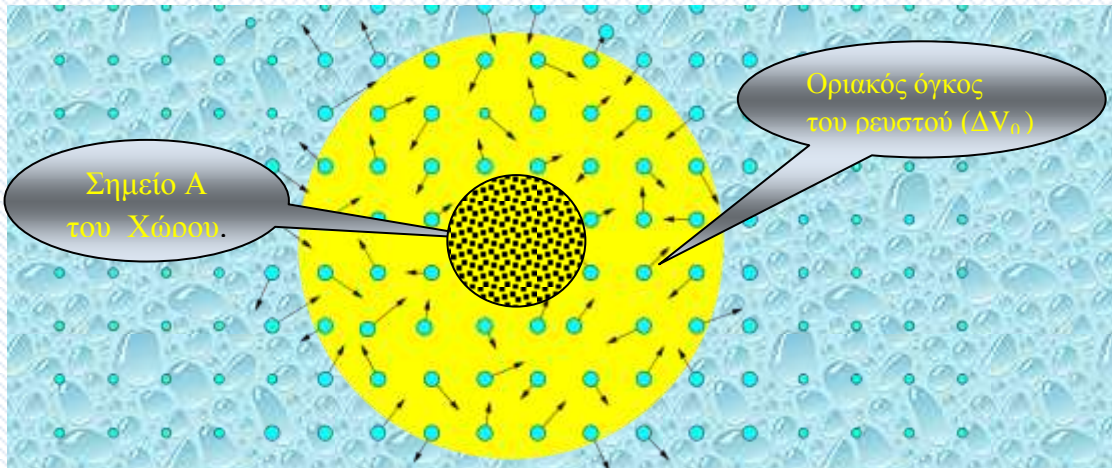
- Είναι ο οριακός όγκος του ρευστού ( $\Delta V_0$ ) που περιέχει  
**ένα πλήθος μορίων** ικανό να μας επιτρέπει την **στατιστική ερμηνεία**  
της συμπεριφοράς τους στο σημείο μέτρησης.

Πως καθορίζεται ο όγκος ( $\Delta V_0$ ) ;

- Ο οριακός όγκος του ρευστού ( $\Delta V_0$ ) πρέπει να είναι αρκετά μικρός  
ώστε να έχει **τοπικό - σημειακό χαρακτήρα**.  
Όμως δεν πρέπει να είναι μικρότερος του οριακού όγκου ( $V_{o,1}$ ) διότι θα  
επηρεάζεται από την **μικροσκοπική ανομοιογένεια**.  
Ούτε μεγαλύτερος του οριακού όγκου ( $V_{o,2}$ ) διότι θα επηρεάζεται από  
την **μακροσκοπική ανομοιογένεια**.



Στατιστικά ο οριακός όγκος του ρευστού ( $\Delta V_0$ ) περιέχει ένα πλήθος μορίων που οι ανταλλαγές με το περιβάλλον δεν θα το επηρεάσουν. Έτσι η πυκνότητα του θα παραμείνει σταθερή.



Πώς μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση η τιμή του;  
Ένας πολύ ενδιαφέρον υπολογισμός.

Ας κάνουμε όμως μια προσπάθεια για να υπολογίσουμε τον όγκο ( $\Delta V_0$ ).

Ξεκινούμε από ένα συμπέρασμα της Στατιστικής μηχανικής :

" Αν σε όγκο  $\Delta V = 1 \text{ cm}^3$  περιέχονται ( $N$ ) μόρια ενός ρευστού τότε η μέση ελεύθερη διαδρομή ( $l$ ) είναι της τάξης μεγέθους:

$$l \approx \frac{1}{\sqrt[3]{N}} \text{ ( cm )} \quad \text{ή} \quad l \approx N^{-\frac{1}{3}} \text{ ( cm )}$$

Έστω ποσότητα ρευστού π.χ. νερού ίση με :  $1 \text{ mol}$

Η ποσότητα αυτή σε μάζα είναι :

$$m = 18.152 \text{ gr} \quad \text{και περιέχει} \quad N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ μόρια.}$$

$$\text{Όμως μάζα } \Delta m = 1 \text{ gr} \quad \text{περιέχει} \quad N = \frac{6,023 \times 10^{23}}{18.0152} \text{ μόρια νερού.}$$

$$N = 3,34 \times 10^{22} \text{ μόρια νερού.}$$

$$\text{Η πυκνότητα του νερού είναι: } \rho = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Άρα όγκος  $\Delta V = 1 \text{ cm}^3$  νερού είναι  $\Delta m = 1 \text{ gr}$

και περιέχει  $N = 3,34 \times 10^{22}$  μόρια.

Συνεπώς η μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων του νερού θα είναι της τάξης μεγέθους:

$$l \approx N^{-\frac{1}{3}} \rightarrow l \approx \frac{1}{\sqrt[3]{33,4 \times 10^{21}}} \rightarrow$$

$$l \approx 0,31 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

Ο αριθμός Knudsen είναι ο λόγος της μέσης ελεύθερης διαδρομής ( $l$ ) των μορίων προς μια χαρακτηριστική κλίμακα της ροής ( $L$ ).

$$\text{Αριθμός Knudsen: } k_n = \frac{l}{L}$$

Οι τιμές του αριθμού Knudsen ( $k_n$ ) αποτελούν μια ικανή συνθήκη για τον χαρακτηρισμό ενός ρευστού μέσου.

Για τιμές του αριθμού Knudsen ( $k_n$ )

$k_n > 10$  : το ρευστό παρουσιάζει ελεύθερη μοριακή δομή.

$k_n < 10^{-2}$  : το ρευστό χαρακτηρίζεται συνεχές μέσο.

$10^{-2} < k_n < 10$  : το ρευστό παρουσιάζει ολίσθηση ροής.

Ως μια χαρακτηριστική κλίμακα της ροής επιλέγουμε την ακτίνα ( $R$ ) μιας σφαίρας του ρευστού οριακού όγκου ( $\Delta V_0$ ).

Παραπάνω υπολογίσαμε την μέση ελεύθερη διαδρομή

$$l \approx 0,31 * 10^{-7} \text{ cm}$$

Το ρευστό επιθυμούμε να χαρακτηρίζεται: συνεχές μέσο.

$$\text{Άρα : } k_n < 10^{-2} \rightarrow$$

$$\frac{l}{R} < 10^{-2} \rightarrow R > 10^2 l \rightarrow R > 10^2 \times 0,31 \times 10^{-7} \text{ cm} \rightarrow$$

$$R > 0,31 * 10^{-5} \text{ cm} \quad \text{ή} \quad R > 0,31 * 10^{-4} \text{ mm}$$

Άρα η ακτίνα ( $R$ ) μιας σφαίρας του ρευστού οριακού όγκου ( $\Delta V_0$ )  
μπορεί να παίρνει τιμές

$$R > 0.31 * 10^{-4} \text{ mm}$$

Επιλέγω την τιμή :  $R \approx 10^{-3} \text{ mm}$   
που είναι συμβατή με τις παραπάνω τιμές της ακτίνας ( $R$ ).

Ο οριακός όγκος  $\Delta V_0 = \frac{4}{3} \pi R^3$  μιας σφαίρας του ρευστού  
θα είναι της τάξης μεγέθους:

$$\Delta V_0 \approx 10^{-9} \text{ mm}^3$$

Η παραπάνω τιμή είναι η πιο συνηθισμένη που αναφέρεται  
στην Ελληνική και ξένη βιβλιογραφία.  
Οι τιμές που μπορεί να συναντήσουμε είναι της τάξης μεγέθους:

$$10^{-9} \text{ mm}^3 \leq \Delta V_0 \leq 10^{-10} \text{ cm}^3$$

Αριθμός των μορίων που περιέχει ο όγκος

$$\Delta V_0 \approx 10^{-9} \text{ mm}^3$$

Παραπάνω βρήκαμε ότι :

Όγκος νερού  $\Delta V = 1 \text{ cm}^3$  περιέχει  $N = 3,34 \times 10^{22}$  μόρια

Διαφορετικά

Όγκος νερού  $\Delta V = 10^3 \text{ mm}^3$  περιέχει  $N = 3,34 \times 10^{22}$  μόρια

Άρα

Όγκος νερού  $\Delta V_0 \cong 10^{-9} \text{ mm}^3$  περιέχει  $N' = 3,34 \times 10^{10}$  μόρια.

Δηλαδή ένα μεγάλο πλήθος μορίων.  
Ένα **πλήθος μορίων** του ρευστού ικανό να επιτρέπει  
την **στατιστική ερμηνεία**  
της συμπεριφοράς του στο σημείο μέτρησης.

## 11. Το σωματίδιο ... του Ρευστού.



**Ο Φυσικός χαμογελά.**

Αρχίζει να ελπίζει ότι ξεφεύγει από το δίλλημα.

Μπορεί πια να συνδέσει  
τον Μικροσκοπικό κόσμο των μορίων  
με τον Μακροσκοπικό κόσμο του ρευστού.  
Χωρίς να φαίνονται **"ξένοι οι δύο κόσμοι"**.

Τώρα είναι ορατή η **φυσική αρμονία της "μετάβασης"**.  
Σαν **την αρμονική γέφυρα - συνέχεια της μουσικής του Svetlana**.

Η Φυσική "γέφυρα" που επινοεί λέγεται

**Σωματίδιο του Ρευστού ...ή Ρευστό Σωματίδιο**

Μπορεί τώρα να του δώσει **Φυσική υπόσταση**.

α. Να το ορίσει.

**Ρευστό "σωματίδιο"**

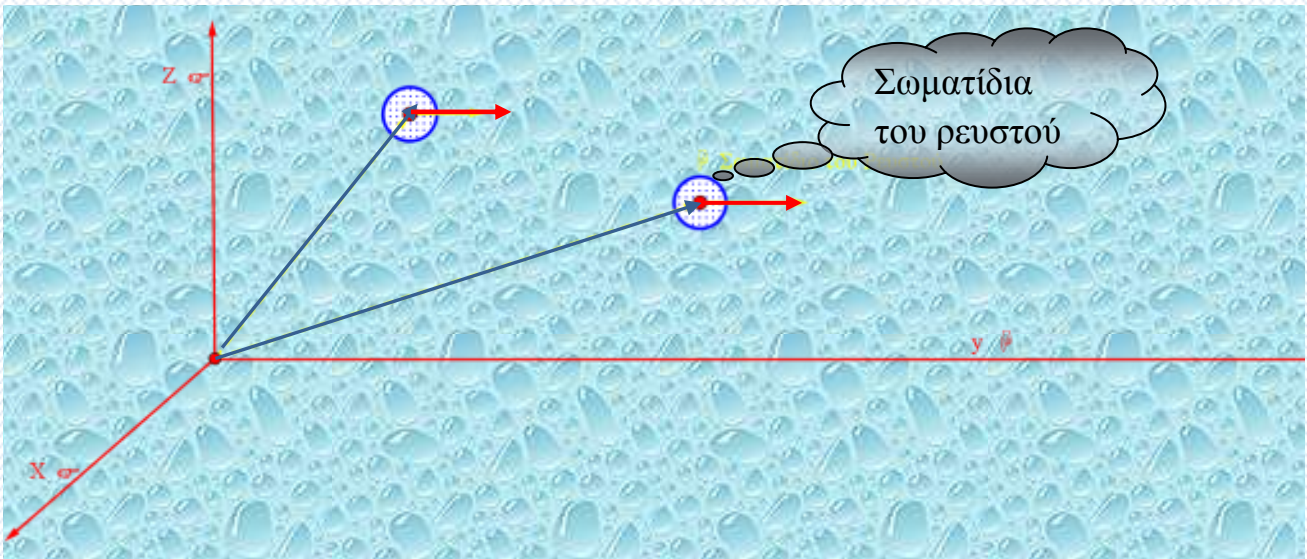
ορίζεται ο μικρότερος όγκος ( $\Delta V_0$ ) του ρευστού  
που περιέχει **ένα πλήθος μορίων** ικανό  
να μας επιτρέψει την **στατιστική ερμηνεία** της συμπεριφοράς τους.

β. Να προσδιορίσει της ιδιότητες του.

**1<sup>η</sup> Ιδιότητα**

Οι διαστάσεις **του ρευστού σωματιδίου**  
μπορούν να θεωρηθούν απειροστές.

Οι μέσες στατιστικές ιδιότητες των μορίων του θεωρούνται ότι είναι ιδιότητες του σημείου του ρευστού.



### Ένα παράδειγμα

Η μέση ταχύτητα των μορίων του ρευστού σωματιδίου είναι η ταχύτητα του ρευστού στο σημείο.

### 2<sup>η</sup> Ιδιότητα

Σε κάθε σημείο του χώρου και σε κάθε χρονική στιγμή βρίσκεται ένα ρευστό σωματίδιο.

Ιδιότητες του ρευστού σωματιδίου όπως η ταχύτητα  $u = u(x, y, z, t)$ , η θερμοκρασία:  $T = T(x, y, z, t)$  η πυκνότητα:  $\rho = \rho(x, y, z, t)$ , η πίεση:  $P = P(x, y, z, t)$  το ιξώδες, η συμπιεστότητα κλπ. θεωρούνται ως ιδιότητες του ρευστού στο αντίστοιχο σημείο.

### 3<sup>η</sup> Ιδιότητα

Θεωρούμε ότι το ρευστό αποτελείται από μια συνεχή ακολουθία ρευστών σωματιδίων.

Οι ιδιότητες του ρευστού είναι συνεχείς συναρτήσεις του χώρου και του χρόνου.

Οι τυχόν μεταβολές τους εξαρτώνται από τις ιδιότητες και την κίνηση του καθενός ρευστού σωματιδίου.

Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την θεωρία των συνεχών συναρτήσεων άρα και τον διαφορικό και ολοκληρωτικό λογισμό

σε όλο τον χώρο. Εξαιρούνται κάποια **ειδικά σημεία ή γραμμές ή επιφάνειες** όπου δεν ισχύει η υπόθεση του συνεχούς μέσου.  
Πιο συγκεκριμένα.

Αν  $\Phi(x)$  η τιμή μιας φυσικής μεταβλητής σε μια θέση  $(x)$  του χώρου ροής του ρευστού.

Η τιμή αυτή μπορεί να συσχετιστεί με την τιμή της  $\Phi(x + \Delta x)$  στην θέση  $(x + \Delta x)$ .

Σ' αυτό μας βοηθά το **ανάπτυγμα της Σειράς Taylor.**

$$\Phi(x + \Delta x) = \Phi(x) + \frac{\partial \Phi(x)}{\partial x} \Delta x$$

Πήραμε μόνο τους δύο πρώτους όρους της σειράς διότι οι **όροι ανώτερης τάξης θεωρούνται αμελητέοι.**

### Το βασικό συμπέρασμα

Σε κάθε θέση  $(x, y, z)$  ή σημείο του χώρου που ρέει το ρευστό **πεδίο ροής** **κάθε στιγμή** περιβάλλεται από ένα όγκο  $(\Delta V_0)$  που τον λέμε **"ρευστό σωματίδιο"**.

Στην θέση αυτή θα υπάρχει μια μοναδική τιμή της φυσικής μεταβλητής που την ονομάζουμε **"μεταβλητή του πεδίου"**.

Οι μεταβλητές του πεδίου χαρακτηρίζονται η ταχύτητα  $v = v(x, y, z, t)$ , η θερμοκρασία:  $T = T(x, y, z, t)$  η πυκνότητα:  $\rho = \rho(x, y, z, t)$ , η πίεση:  $P = P(x, y, z, t)$  το **ιξώδες**, η **συμπιεστότητα** κλπ.

### 12. Τα μόρια και τα σωματίδια του Ρευστού. Μια παρανόηση του Σχολικού βιβλίου.

Παραπάνω καθορίσαμε την έννοια του Σωματιδίου του Ρευστού.  
Με τις φυσικές του ιδιότητες.  
Αλλά και την μαθηματική βάση που μπορεί να τις περιγράψει.

Τα **ρευστά σωματίδια** δεν πρέπει να συγχέονται με τα **μόρια του ρευστού**.

Οι βασικοί λόγοι είναι οι παρακάτω.  
Λόγοι που διαφοροποιούν την έννοια του **Σωματιδίου του Ρευστού** τα **μόρια του ρευστού**

### 1<sup>ος</sup> Λόγος

Τα μόρια εκφράζουν την ασυνέχεια της ύλης .  
Τα ρευστά σωματίδια αποτελούν τα βασικά στοιχεία που δομείται η έννοια του συνεχούς μέσου στην Μηχανική των Ρευστών.

### 2<sup>ος</sup> Λόγος

Τα **μόρια** είναι **φορείς των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων** του ρευστού.  
**Τα ρευστά σωματίδια είναι φορείς των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του.**

### 3<sup>ος</sup> Λόγος

Η ταχύτητα σε ένα σημείο (**M**) του ρευστού θα ήταν ακαθόριστη αν θεωρούσαμε φορέα της κίνησης το μόριο.  
Διότι θα **ήταν μηδέν** σε όλες τις χρονικές στιγμές εκτός από εκείνες που ένα μόριο θα βρισκόταν στο σημείο (**M**) του ρευστού.  
Η ταχύτητα στο σημείο (**M**) του ρευστού θα ήταν τότε η ταχύτητα του συγκεκριμένου μορίου και όχι η μέση ταχύτητα των μορίων γύρω από αυτό το σημείο.  
Η εισαγωγή της έννοιας **Σωματιδίου του Ρευστού** δίνει απάντηση στο παραπάνω αδιέξοδο.

Μια άποψη για την διδασκαλία των Ρευστών.

Ο Φυσικός στο σημείο αυτό αισθάνεται ότι έχει ευθύνη να δώσει απάντηση σε **μια αστοχία - παρανόηση** που γίνεται στο **Σχολικό βιβλίο** αλλά και σε **διάφορα βοηθήματα**.

Αντιγράφω ένα απόσπασμα από **το Σχολικό βιβλίο**:

" Το σύνολο των θέσεων από τις οποίες περνά **κάθε μόριο του ρευστού** στη διάρκεια της κίνησής του, ορίζει μια γραμμή που την ονομάζουμε **ρευματική γραμμή**".

Και συνεχίζει.

" Εφόσον η ρευματική γραμμή είναι στην πραγματικότητα  
η τροχιά του μορίου  
η ταχύτητά του σε κάθε θέση θα είναι εφαπτομένη  
της ρευματικής γραμμής, πράγμα που σημαίνει ότι δύο ρευματικές  
γραμμές δεν είναι δυνατόν να τέμνονται."

Εδώ χρειάζεται κατά την γνώμη μου να τονίζουμε  
το λάθος  
στην "χρήση" της έννοιας ... Μόριο του ρευστού  
αντί του ... Σωματιδίου του Ρευστού  
που γίνεται στην διδασκαλία των ρευστών.

### Ο Επίλογος

Ο Φυσικός έκανε το πρώτο βήμα.

Προσπάθησε να δώσει την αρμονική μετάβαση  
από την Μοριακή ασυνέχεια στην έννοια του Συνεχούς μέσου.

Όμως γνωρίζει πολύ καλά ότι μόνο ο συνδυασμός  
της Μοριακής Φυσικής και της Μηχανικής Συνεχών Μέσων  
μας επιτρέπει να δούμε τον Κόσμο των Ρευστών.

Να κατανοήσουμε το μέγεθος της πολυπλοκότητας τους.

Κάποιες σύντομες παρατηρήσεις.

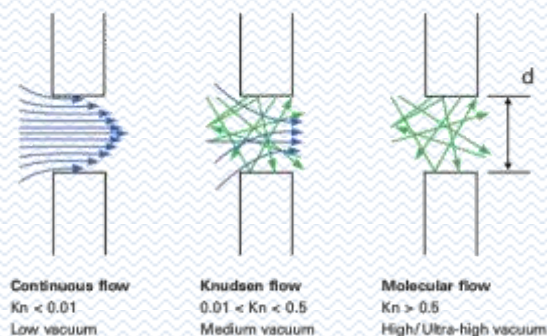
#### Παρατήρηση 1<sup>η</sup>

Παραπάνω έγινε μια προσπάθεια για να υπολογίσουμε τον όγκο ( $\Delta V_0$ ).  
Όλες οι προσεγγίσεις που έγιναν κινήθηκαν μέσα στα όρια που καθορίζει  
η Στατική Μηχανική.

Ωστόσο όμως κάθε προσέγγιση οδηγεί σε κατά προσέγγιση λύσεις.

#### Παρατήρηση 2<sup>η</sup>

Η χρήση του Αριθμού Knudsen για τον χαρακτηρισμό ενός ρευστού  
μέσου δίνει σε ένα βαθμό αξιόπιστα αποτελέσματα.





### Παρατήρηση 3<sup>η</sup>

Ο Φυσικός δεν τρέφει αυταπάτες για το μέγεθος της δυσκολίας που έχει η μελέτη των ρευστών μέσων.

Αποδέχεται αλλά ταυτόχρονα αμφισβητεί τα Μοντέλα.

Τέλος

Όσο πιο πολύ βυθίζεται... στον κόσμο των Ρευστών  
τόσο πιο πολύ κατανοεί  
την απεραντοσύνη της Φυσικής Αδυναμίας του.



Τέλος του Α' Μέρους : Σωματίδιο του Ρευστού.

### Βιβλιογραφία

1. Μηχανική ρευστών : Streeter - Wylor - Bedford
2. Fundamentals of Fluid Mechanics  
John Wiley & Sons, Inc.  
Bruce R. Munson

Δογματίζακης Γιάννης

Φυσικός