

<b>Ενότητα</b> Ρευστά σε κίνηση	<b>Φύλλο Εργασίας</b> Μέτρηση του συντελεστή ιξώδους υγρού	<b>Τάξη</b> Γ' Λυκείου
------------------------------------	--	---------------------------

Όνοματεπώνυμο.....Τμήμα.....Ημερομηνία.....

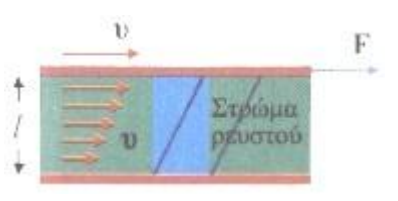
**Σκοποί του φύλλου εργασίας**

- Ø Να ανακαλύψετε τις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται στο εσωτερικό των ρευστών κατά την κίνησή τους
- Ø Να γνωρίσετε τον τρόπο υπολογισμού του συντελεστή ιξώδους

**Θεωρία**

Στα πραγματικά ρευστά, όταν ρέουν, αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής στο εσωτερικό τους, δηλαδή δυνάμεις που να αντιτίθενται στην κίνηση ενός τμήματος του ρευστού ως προς ένα άλλο τμήμα του. Οι δυνάμεις αυτές έχουν πολύ σημαντικές πρακτικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στη λίπανση των τμημάτων μιας μηχανής που θα ήταν αδύνατη αν το λιπαντικό δεν παρουσίαζε κατά τη ροή του τέτοιες δυνάμεις.

**Η εσωτερική τριβή μέσα σ' ένα ρευστό ονομάζεται ιξώδες.**

	<p>Ας θεωρήσουμε δύο γυάλινες οριζόντιες πλάκες εμβαδού Α όπως στο σχήμα. Σταθεροποιούμε την κάτω πλάκα και απλώνουμε πάνω της ένα στρώμα από μέλι πάχους l. Στη συνέχεια τοποθετούμε τη δεύτερη πλάκα πάνω στο μέλι</p>
--	--

και τη μετακινούμε με σταθερή ταχύτητα  $v$  σε σχέση με την κάτω ακίνητη πλάκα. Διαπιστώνουμε ότι για να συνεχιστεί η κίνηση απαιτείται να ασκηθεί κάποια δύναμη  $F$ . Η δύναμη αυτή απαιτείται για να αντισταθμίσει τις τριβές (ιξώδες), που αναπτύσσονται μεταξύ των στρωμάτων του μελιού που κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο.

Βλέπουμε ότι το ανώτερο στρώμα έχει προσκολληθεί στην πάνω πλάκα και κινείται με ταχύτητα  $v$  ενώ το κατώτερο έχει προσκολληθεί στην κάτω πλάκα και παραμένει ακίνητο. Όλα τα ενδιάμεσα στρώματα έχουν ταχύτητες διαφορετικές μεταξύ τους, που αυξάνουν σταδιακά από 0 έως  $v$  καθώς πηγαίνουμε από την κάτω πλάκα προς την πάνω.

Εάν αντικαταστήσουμε το μέλι με ένα άλλο ρευστό που ρέει ευκολότερα, για παράδειγμα το λάδι, διαπιστώνουμε ότι η δύναμη που πρέπει να ασκούμε στην πάνω πλάκα για να διατηρείται η ταχύτητά της σταθερή είναι μικρότερη. Επίσης η δύναμη είναι μικρότερη εάν, για το ίδιο ρευστό, μεταξύ των πλακών αυξήσουμε το πάχος του  $l$ . Αντίθετα η δύναμη γίνεται μεγαλύτερη αν οι επιφάνειες των πλακών είναι μεγαλύτερες ή αν επιχειρήσουμε να μετακινήσουμε την πάνω πλάκα με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Αποδεικνύεται ότι το μέτρο της δύναμης  $F$  δίνεται από τη σχέση  $F = \eta A v / l$

Ο συντελεστής  $\eta$  είναι **χαρακτηριστικός κάθε ρευστού**, ονομάζεται **συντελεστής ιξώδους** και στο S.I., μετριέται σε  $Ns/m^2$ .

Τα ρευστά που υπακούουν στην παραπάνω σχέση τα ονομάζουμε νευτώνεια ρευστά.

**Θέμα : Κίνηση μικρής σφαίρας στο εσωτερικό κατακόρυφου σωλήνα γεμάτου με υγρό**

Μία μικρή πλαστική σφαίρα κινείται κατά μήκος του άξονα συμμετρίας του κατακόρυφου κυλινδρικού σωλήνα που περιέχει υγρό. Σύμφωνα με τον 2<sup>ο</sup> νόμο του Νεύτωνα ισχύει:

$$w - A - F = m \cdot a \quad (1)$$

Όπου  $m$  η μάζα της σφαίρας και  $a$  η επιτάχυνσή της.

Στην σφαίρα ασκούνται οι παρακάτω δυνάμεις:

• Η βαρυτική δύναμη  $w = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g =$

$\rho \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g$ , με διεύθυνση κατακόρυφη και φορά

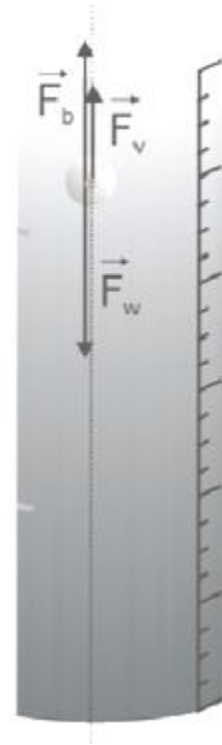
προς τα κάτω ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$  ο όγκος της σφαίρας και  $r$

η ακτίνα της,  $\rho$  η πυκνότητα του υλικού της σφαίρας)

• Η άνωση από το υγρό  $A = \rho_v \cdot V \cdot g =$

$\rho_v \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g$ , η οποία σύμφωνα με την αρχή του

Αρχιμήδη έχει διεύθυνση κατακόρυφη και φορά προς τα πάνω ( $\rho_v$  η πυκνότητα του υγρού)



•  $F$  η δύναμη της τριβής, η οποία προκαλείται από την κίνηση της σφαίρας μέσα στο υγρό και έχει διεύθυνση της ταχύτητας και φορά αντίθετη σ' αυτήν.

Δεδομένου ότι η ταχύτητα της σφαίρας είναι μικρή και η ακτίνα της είναι μικρή σε σχέση με την ακτίνα του κυλίνδρου, (ώστε η κίνηση της σφαίρας να μην επηρεάζεται από την επίδραση των τοιχωμάτων του δοχείου) το μέτρο της δίνεται από τον νόμο του Stokes

$$F = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot u$$

Η σφαίρα αποκτάει οριακή ταχύτητα σχεδόν αμέσως, οπότε μηδενίζοντας την επιτάχυνση στην σχέση (1) έχουμε

$$w - A - F = 0 \Leftrightarrow \rho \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g - \rho_v \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g - 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot u = 0 \Leftrightarrow$$

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{g r^2 (\rho - \rho_v)}{u} \quad (2)$$

**Εξοπλισμός και υλικά**

Για την πραγματοποίηση της άσκησης χρειάζεστε :

1. Πανομοιότυπες πλαστικές σφαίρες
2. Βερνιέρο (διαστημόμετρο)
3. Ηλεκτρονικό ζυγό
4. Ογκομετρικό κύλινδρο 250ml
5. Χρονόμετρο
6. Μαρκαδόρο
7. Χάρακα
8. Υπολογιστή τσέπης
9. Απορρυπαντικό πιάτων

**Πειραματική διαδικασία**

**1. Προσδιορισμός της πυκνότητας της σφαίρας**

Μετρήστε με τον βερνιέρο την ακτίνα  $r = \dots\dots\dots m$  μιας πλαστικής σφαίρας και υπολογίστε τον όγκο της  $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \dots\dots\dots m^3$ . Προσδιορίστε τη μάζα της, με

την βοήθεια του ζυγού  $m = \dots\dots\dots kg$  και υπολογίστε την πυκνότητα

$$\rho = \frac{m}{V} = \dots\dots\dots kg/m^3.$$

**2. Προσδιορισμός της πυκνότητας του υγρού**

Προσδιορίστε την μάζα του ογκομετρικού κυλίνδρου =  $\dots\dots\dots kg$  και προσθέστε αρκετή ποσότητα από το απορρυπαντικό (υγρό). Καταγράψτε τον όγκο του  $V_v = \dots\dots\dots m^3$  και με την βοήθεια του ζυγού προσδιορίστε την μάζα του υγρού  $m_v = \dots\dots\dots kg$ .

Υπολογίστε την πυκνότητα του υγρού  $\rho_v = \frac{m_v}{V_v} = \dots\dots\dots kg/m^3$ .

3. Χρησιμοποιείστε τον μαρκαδόρο και τον χάρακα, για να σημειώσετε πάνω στον ογκομετρικό κύλινδρο γραμμές ανά 1cm, από το πάνω άκρο του ογκομετρικού κυλίνδρου.

4. Αφήστε προσεκτικά μία σφαίρα έτσι ώστε να κινηθεί κατά μήκος του άξονα συμμετρίας του κυλίνδρου. Χρησιμοποιώντας το χρονόμετρο βρείτε τις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες η σφαίρα διέρχεται από τις χαραγές και καταγράψτε τες στον παρακάτω πίνακα. Συμπληρώστε τις υπόλοιπες στήλες του πίνακα.

Χαραγές	Θέση x (cm)	Χρονική στιγμή t(s)	Μετατόπιση Δx (cm)	Χρονική διάρκεια Δt(s)	Ταχύτητα $u = \Delta x / \Delta t$ (cm/s)
1	0	0	-	-	-
2	1		1		
3	2		1		
4	3		1		
5	4		1		

5. Υπολογίστε την μέση τιμή των ταχυτήτων που υπολογίσατε  $u = \dots\dots\dots cm/s = \dots\dots\dots m/s$ .

6. Χρησιμοποιώντας την σχέση (2) υπολογίστε τον συντελεστή ιξώδους του υγρού  $\eta = \dots\dots\dots Ns/m^2$ .

**Ερωτήσεις**

1. Εάν χρησιμοποιήσετε σφαίρες με διαφορετική ακτίνα ή από διαφορετικό υλικό, διατηρώντας το ίδιο υγρό, θα βρείτε την ίδια ή διαφορετική τιμή για τον συντελεστή ιξώδους; Πειραματιστείτε για να ελέγξετε την ορθότητα της άποψής σας.

-----  
 -----  
 -----

2. Σχεδιάστε ένα πείραμα για να υπολογίσετε τον συντελεστή ιξώδους υγρού με την βοήθεια της σχέσης  $F = \eta A u / l$ .

-----  
 -----  
 -----  
 -----  
 -----