

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΑ ΕΝΩΣΗ
ΥΠΕΥΘΥΝΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ
ΚΕΝΤΡΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ «ΠΑΝΕΚΦΕ»



14^η Ευρωπαϊκή Ολυμπιάδα επιστημών – EUSO 2016
ΕΚΦΕ Λευκάδας - Τοπικός Διαγωνισμός

Λευκάδα 05-12-2015

ΦΥΣΙΚΗ

ΣΧΟΛΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ:

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

1.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΑ
ΜΑΘΗΤΩΝ: 2.

3.

Μέτρηση του συντελεστή ιξώδους της γλυκερίνης

Θεωρητικές επισημάνσεις.

Κατά την κίνηση ενός στερεού σώματος μέσα σε ένα ρευστό, εκτός των άλλων δυνάμεων που ενδεχομένως ασκούνται σ' αυτό, ασκείται επίσης μια δύναμη τριβής με κατεύθυνση αντίρροπη της ταχύτητας του σώματος. Το μέτρο της δύναμης τριβής εξαρτάται από την ταχύτητα, το μέγεθος και το σχήμα του σώματος, από τη φύση του υγρού και τη θερμοκρασία του. Στην περίπτωση που το σώμα έχει σφαιρικό σχήμα και η ταχύτητα είναι μικρή, η δύναμη δίνεται από το **νόμο του Stokes**,

$$F_T = 6\pi\eta r v \quad (1)$$

όπου:

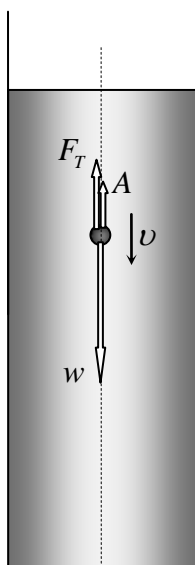
- r , η ακτίνα της σφαίρας
- v , η ταχύτητα της σφαίρας
- η , ο συντελεστής ιξώδους του ρευστού

Η μονάδα μέτρησης του συντελεστή ιξώδους στο S.I. είναι το $1Pa \cdot s = 1 \frac{N}{m^2} \cdot s = 1 \frac{Kg}{m \cdot s}$.

Στην άσκηση αυτή όμως είναι πιο βολικό το σύστημα μονάδων CGS. Οι μονάδες των θεμελιωδών μεγεθών στο CGS είναι: Μήκος (cm), Μάζα (g), Χρόνος (s).

Η μονάδα μέτρησης του συντελεστή ιξώδους στο CGS είναι το $1 \frac{g}{cm \cdot s} \equiv 1poise$

Έστω κυλινδρικό δοχείο με τον άξονά του κατακόρυφο, στον οποίο έχουμε προσθέσει κάποιο υγρό όπως φαίνεται στο σχήμα. Αν αφήσουμε μια μικρή σφαίρα να πέσει μέσα στο υγρό, κάποια τυχαία χρονική στιγμή θα ασκούνται σ' αυτή οι εξής δυνάμεις.



1. Το βάρος της σφαίρας, $w = mg = \rho_\sigma g V$
2. Η δύναμη της άνωσης, $A = \rho_\nu g V$
3. Η δύναμη τριβής, $F_T = 6\pi\eta r v$

όπου,

- V ο όγκος της σφαίρας για τον οποίο ισχύει

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad \text{ή} \quad V = \frac{1}{6} \pi d^3 \quad \text{όπου } d \text{ η διάμετρος της.}$$

- ρ_σ, ρ_ν οι πυκνότητες της σφαίρας και του υγρού αντίστοιχα με $\rho_\sigma > \rho_\nu$ και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Όσο η ταχύτητα της σφαίρας είναι μικρή έτσι ώστε $w > F_T + A$ η συνισταμένη των δυνάμεων έχει φορά προς τα κάτω και η ταχύτητα αυξάνεται. Με την αύξηση όμως της ταχύτητας αυξάνεται και η F_T και επομένως η συνισταμένη δύναμη ελαττώνεται. Αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα της σφαίρας είναι εκθετική συνάρτηση του χρόνου και πλησιάζει ασυμπτωτικά σε μια μέγιστη τιμή, που ονομάζουμε **οριακή ταχύτητα** (v_{op}). Πρακτικά η ταχύτητα της σφαίρας αποκτά την μέγιστη τιμή της πολύ γρήγορα και στη συνέχεια διατηρείται σταθερή. Μπορούμε να την υπολογίσουμε εύκολα από το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, θέτοντας την επιτάχυνση ίση με το μηδέν. Έτσι βρίσκουμε,

$$v_{op} = \frac{g(\rho_\sigma - \rho_\nu)}{18\eta} d^2 \quad (2)$$

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι ο προσδιορισμός του συντελεστή ιξώδους της γλυκερίνης με τη μέθοδο της πτώσης μικρών σφαιρών μέσα σ' αυτήν.

Υλικά και όργανα που θα χρησιμοποιήσετε

- Ογκομετρικός κύλινδρος των 100ml.
- Διαστημόμετρο
- Ζυγός με ακρίβεια 0,01g
- Περίπου 120ml γλυκερίνης
- Μικρές μεταλλικές σφαίρες πέντε διαφορετικών ακτίνων (τρεις σφαίρες για κάθε ακτίνα)
 - Μία σφαίρα μεγάλης ακτίνας από το ίδιο υλικό.
 - Φελλός που ταιριάζει στο ανοικτό άκρο του ογκομετρικού κυλίνδρου των 100ml, με μικρή τρύπα κατά τον άξονά του.
- Χρονόμετρο
- Θερμόμετρο ακίδας

Οδηγίες εκτέλεσης του πειράματος**A ΜΕΡΟΣ**

Μετρήστε με το διαστημόμετρο την διάμετρο των σφαιρών κάθε ομάδας. Καταχωρίστε τις στον πίνακα Α. Τα αποτελέσματα να εκφραστούν σε cm.

Πίνακας Α					
Ομάδα σφαιρών	1η	2η	3η	4η	5η
Διάμετρος (cm)					

Υπολογισμός της πυκνότητας των σφαιρών

Ζυγίστε τη σφαίρα μεγάλης ακτίνας. Γράψτε το αποτέλεσμα σε γραμμάρια με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων.

$$m_{σφ} = \dots\dots\dots g$$

Μετρήστε με το διαστημόμετρο τη διάμετρο της σφαίρας και υπολογίστε τον όγκο της σε cm^3 . Γράψτε το αποτέλεσμα με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων.

$$V_{σφ} = \dots\dots\dots cm^3$$

Υπολογίστε την πυκνότητα του υλικού των σφαιρών σε $\frac{g}{cm^3}$ στρογγυλοποιώντας στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο.

$$\rho_{\sigma} = \dots\dots\dots \frac{g}{cm^3}$$

Υπολογισμός της πυκνότητας της γλυκερίνης

Ζυγίστε τον ογκομετρικό κύλινδρο των 100ml και καταγράψτε τη μάζα του.

.....

Γεμίστε τον με γλυκερίνη μέχρι την χαραγή των 100ml, προσπαθώντας να μην δημιουργηθούν φυσαλίδες αέρα γιατί θα χάσετε χρόνο μέχρι να απομακρυνθούν από το υγρό.

Ζυγίστε τον γεμάτο κύλινδρο και καταγράψτε τη μάζα του.

.....

Υπολογίστε την πυκνότητα της γλυκερίνης σε $\frac{g}{cm^3}$ στρογγυλοποιώντας στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο.

.....

.....

.....

.....

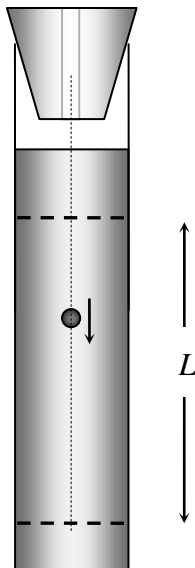
$$\rho_g = \dots\dots\dots \frac{g}{cm^3}$$

Β ΜΕΡΟΣ

Μέτρηση της οριακής ταχύτητας.

Συμπληρώστε ακόμα λίγη ποσότητα γλυκερίνης στον ογκομετρικό κύλινδρο μέχρι περίπου 2cm από το πάνω άκρο του. Τοποθετήστε το φελλό στο πάνω ανοιχτό άκρο του. Τοποθετήστε το θερμόμετρο στην τρύπα του φελλού ώστε η ακίδα του να βυθιστεί στη γλυκερίνη. Καταγράψτε τη θερμοκρασία της.

$$\theta_1 = \dots\dots\dots ^\circ C$$



Στον ογκομετρικό κύλινδρο έχουν χαραχτεί δύο γραμμές που απέχουν απόσταση $L=15cm$. Αφήνοντας μια από τις μεταλλικές σφαίρες στην τρύπα του φελλού, αρχίζει να κινείται κατακόρυφα κατά μήκος του άξονα του κυλίνδρου και αποκτά την οριακή της ταχύτητα αφού διανύσει απόσταση μερικά mm, δηλαδή πριν φτάσει στην πρώτη γραμμή. Επομένως η κίνηση μεταξύ των δύο γραμμών είναι ομαλή και μπορείτε να υπολογίσετε την οριακή ταχύτητα μετρώντας το χρόνο κίνησης με το χρονόμετρο χειρός. Είναι σημαντικό το μέλος της ομάδας που θα αναλάβει τη χρονομέτρηση να παρατηρεί τον κύλινδρο από διεύθυνση κάθετη στον άξονα του κυλίνδρου.

Μετρήστε το χρόνο πτώσης από την πρώτη μέχρι τη δεύτερη γραμμή των τριών σφαιρών κάθε ομάδας (t_1, t_2, t_3) και καταγράψτε τα αποτελέσματα στον πίνακα Β.

Αμέσως μετά τις μετρήσεις μετρήστε ξανά τη θερμοκρασία της γλυκερίνης.

$$\theta_2 = \dots\dots\dots \text{ }^\circ\text{C}$$

Αν $\theta_1 \neq \theta_2$ υπολογίστε τη μέση τιμή της κατά τη διάρκεια του πειράματος.

$$\bar{\theta} = \dots\dots\dots \text{ }^\circ\text{C}$$

Ο νόμος του Stokes που αναφέρθηκε παραπάνω, ισχύει με τις εξής προϋποθέσεις:

→ Η διάμετρος του σωλήνα είναι πολύ μεγαλύτερη από τη διάμετρο της σφαίρας (θεωρητικά άπειρη).

→ Η ταχύτητα των σφαιρών να είναι μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή που εξαρτάται από την ακτίνα της σφαίρας, την πυκνότητα του υγρού και το συντελεστή ιξώδους.

Στην περίπτωσή μας η πρώτη προϋπόθεση δεν ισχύει αφού η διάμετρος του σωλήνα είναι συγκρίσιμη με τη διάμετρο των σφαιρών. Έτσι η τιμή της οριακής ταχύτητας που μετράμε, δεν είναι αυτή που θα προέκυπτε αν η διάμετρος του κυλίνδρου ήταν πολύ μεγαλύτερη από αυτή των σφαιρών. Για να ισχύουν επομένως όσα αναφέρθηκαν παραπάνω θα πρέπει να θεωρήσουμε σαν οριακή ταχύτητα, όχι αυτή που μετρήσαμε αλλά την διορθωμένη τιμή της. Δίνεται ότι η διορθωμένη τιμή δίνεται από τη σχέση,

$$v_{op} = \left(1 + 2,4 \frac{d}{D}\right) v_{πειρ}$$

όπου D η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου η οποία είναι 2,61cm

Συμπληρώστε τα υπόλοιπα κελιά του πίνακα Β μεταφέροντας και τις τιμές των διαμέτρων των σφαιρών από τον πίνακα Α. Τα τετράγωνα των διαμέτρων να στρογγυλοποιηθούν στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο και η v_{op} στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο.

Πίνακας Β								
Ομάδα σφαιρών	d (cm)	d^2 (cm ²)	t_1	t_2	t_3	\bar{t} (s)	$v_{πειρ}$ $\left(\frac{cm}{s}\right)$	v_{op} $\left(\frac{cm}{s}\right)$
1								
2								
3								
4								
5								

Από την εξίσωση (2) φαίνεται ότι η οριακή ταχύτητα είναι ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου της σφαίρας. Επομένως η γραφική παράσταση της οριακής ταχύτητας συναρτήσει του τετραγώνου της διαμέτρου είναι ευθεία με κλίση,

$$k = \frac{g(\rho_{\sigma} - \rho_{\gamma})}{18\eta} \quad (3)$$

Στο χιλιοστομετρικό χαρτί που σας δόθηκε φτιάξτε σύστημα αξόνων, $v_{op} - d^2$, με κατάλληλη κλίμακα παίρνοντας υπόψη τις τιμές του πίνακα Β. Αποτυπώστε τα πειραματικά σημεία και χαράξτε την βέλτιστη ευθεία. Υπολογίστε την κλίση της και από την εξίσωση (3) βρείτε το συντελεστή ιξώδους της γλυκερίνης. Δίνεται η επιτάχυνση της βαρύτητας, $g = 980 \frac{cm}{s^2}$.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

$$\eta = \dots\dots\dots poise$$

Και σε μονάδες S.I.

$$\eta = \dots\dots\dots Pa \cdot s$$

α)

Αποδείξτε την εξίσωση (2)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

β) Η πυκνότητα της γλυκερίνης σε $\frac{g}{cm^3}$ σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας (σε °C)

δίνεται από τον τύπο,

$$\rho_{\gamma} = 1,277 - 0,000654 \cdot \theta$$

Υπολογίστε την πυκνότητα με βάση τον τύπο στη θερμοκρασία του πειράματος που μετρήσατε και βρείτε το % σφάλμα της πειραματικής μέτρησης.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

γ) Στο παρακάτω γράφημα δίνεται ο συντελεστής ιξώδους της γλυκερίνης για μια περιοχή θερμοκρασιών.

Από το γράφημα βρείτε το συντελεστή ιξώδους για τη θερμοκρασία του πειράματος;

$$\eta_0 = \dots\dots\dots \text{poise}$$

Ποιο είναι το σφάλμα του δικού σας υπολογισμού και ποιο το % σφάλμα;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Σε ποιους παράγοντες οφείλεται κατά τη γνώμη σας το παρατηρούμενο σφάλμα;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Καλή επιτυχία

Εξάρτηση του συντελεστή ιξώδους της γλυκερίνης από τη θερμοκρασία

