



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

---

## Τίτλος Μαθήματος: Εργαστήριο Φυσικής Ι

**Ενότητα:** Εργαστηριακές Ασκήσεις

Όνομα Καθηγητή: Γεωργά Σταυρούλα

Τμήμα Φυσικής

---

**ΑΝΟΙΚΤΑ** ακαδημαϊκά  
μαθήματα **ΠΠ**

## Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο **«Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών»** έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Πίνακας Περιεχομένων

Σκοποί ενότητας .....	4
Περιεχόμενα ενότητας .....	4
ΑΣΚΗΣΗ 1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΕΡΕΩΝ .....	5
Α) Προσδιορισμός της πυκνότητας στερεού σώματος με γεωμετρικό σχήμα .....	5
ΜΕΡΟΣ 1 <sup>ο</sup> : Προσδιορισμός πυκνότητας «κούφιου» κυλίνδρου .....	5
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	5
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	6
ΜΕΡΟΣ 2 <sup>ο</sup> : Προσδιορισμός πυκνότητας μικρού σφαιριδίου .....	7
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	7
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	8
Β) Προσδιορισμός της πυκνότητας στερεού με ακανόνιστο σχήμα. ....	8
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	8
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	8
ΑΣΚΗΣΗ 2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ $g$ .....	9
Προσδιορισμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας $g$ , με το απλό μαθηματικό εκκρεμές .....	9
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	9
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	10
ΑΣΚΗΣΗ 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ .....	11
<u>ΜΕΡΟΣ Α'</u> .....	11
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	11
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	11
<u>ΜΕΡΟΣ Β'</u> .....	12
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	12
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	12
ΑΣΚΗΣΗ 4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ - ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΟΗΜ .....	14
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	14
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	14
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ .....	16
ΑΣΚΗΣΗ 5. ΦΟΡΤΙΣΗ – ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ (ΚΥΚΛΩΜΑ RC) .....	17
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	17
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	18
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	18

## **Σκοποί ενότητας: «Εργαστηριακές Ασκήσεις»\***

Οι εργαστηριακές ασκήσεις έχουν δύο στόχους:

- Απόκτηση δεξιοτήτων σε *πραγματικό εργαστήριο* για τη λήψη απλών πειραματικών μετρήσεων με διάφορα όργανα όπως π.χ. μετροταινία, διαστημόμετρο, μικρόμετρο, χρονόμετρο, ζυγό, αμπερόμετρα, βολτόμετρα κ.ά.
- Εφαρμογή των όσων διδάχθηκαν στην Ενότητα των θεωρητικών ασκήσεων: Εκτίμηση σφαλμάτων, υπολογισμοί τυπικών αποκλίσεων, διατήρηση ορθού πλήθους σημαντικών ψηφίων τόσο στα αποτελέσματα των άμεσων μετρήσεων όσο και σε αυτά που προκύπτουν μετά από πράξεις, ορθός τρόπος γραφής τελικού αποτελέσματος ενός μεγέθους, χάραξη και άντληση πληροφοριών από διαγράμματα κ.α.

*\*Οι περισσότερες από τις προτεινόμενες εργαστηριακές ασκήσεις υλοποιούνται με πολύ απλές και φθηνές διατάξεις, ως εκ τούτου είναι δυνατή η πραγματοποίησή τους από κάθε ενδιαφερόμενο!*

ΟΝ/ΜΟ:

ΗΜ/ΝΙΑ:

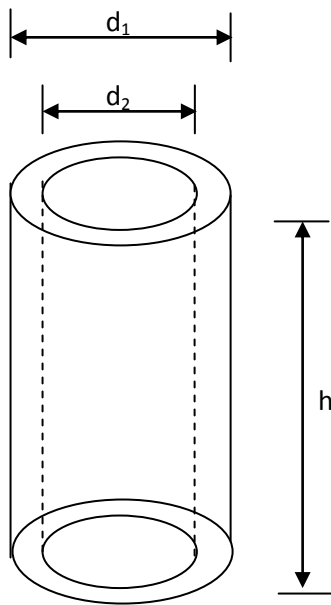
## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ Ι

### ΑΣΚΗΣΗ 1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

**Α) Προσδιορισμός της πυκνότητας στερεού σώματος με γεωμετρικό σχήμα.**

**ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>: Προσδιορισμός πυκνότητας «κούφιου» κυλίνδρου**

#### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ



**Μετρήσεις Διαστάσεων:**

**Διαστημόμετρο**

Σταθερά του βερνιέρου:  $D=$

Μετάθεση του μηδενός:  $\mu=$

Σφάλμα ανάγνωσης:  $\delta D=$

- Με τη βοήθεια του διαστημόμετρου να μετρήσετε τις διαστάσεις του στερεού.
- Να επαναλάβετε την κάθε μέτρηση πέντε φορές, καταγράφοντας τις μετρήσεις σε κατάλληλους πίνακες.

$d_1$ (mm)	$\bar{d}_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$\bar{d}_2$ (mm)	$h$ (mm)	$\bar{h}$ (mm)

**Μετρήσεις μάζας:**

Σφάλμα ανάγνωσης ζυγού:  $\delta m=$

- Να ζυγίσετε το σώμα και να γράψετε την έκφραση:  $m \pm \delta m =$

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

- Να υπολογίσετε τη μέση τιμή για κάθε διάσταση.
- Να υπολογίσετε τον όγκο  $V$  του γεωμετρικού στερεού.
- Από τις τιμές  $V$  και  $m$  να υπολογίσετε την πυκνότητα  $\rho$  του σώματος

### Υπολογισμός σφαλμάτων:

- Να υπολογίσετε τις τυπικές αποκλίσεις  $\delta\bar{d}_1$ ,  $\delta\bar{d}_2$  και  $\delta\bar{h}$  των μέσων τιμών  $\bar{d}_1$ ,  $\bar{d}_2$  και  $\bar{h}$ .
- Να υπολογίσετε το σφάλμα  $\delta V$  στον όγκο, θεωρώντας ότι σε αυτό συνεισφέρει μόνο η τυπική απόκλιση  $\delta\bar{h}$ . Ακολούθως, να γράψετε τη σχέση από την οποία υπολογίζεται το σφάλμα  $\delta V$  στον όγκο, αν σε αυτό συνεισφέρουν τόσο το  $\delta\bar{h}$  όσο και τα  $\delta\bar{d}_1$  και  $\delta\bar{d}_2$ .
- Να υπολογίσετε το σφάλμα  $\delta\rho$  στην πυκνότητα  $\rho$ .

### Παρουσίαση αποτελεσμάτων:

- Να γράψετε τις εκφράσεις:

$$\bar{d}_1 \pm \delta\bar{d}_1 =$$

$$\bar{d}_2 \pm \delta\bar{d}_2 =$$

$$\bar{h} \pm \delta\bar{h} =$$

$$V \pm \delta V =$$

$$\rho \pm \delta\rho =$$

- Να ταυτοποιήσετε το υλικό.



## ΜΕΡΟΣ 2ο: Προσδιορισμός πυκνότητας μικρού σφαιριδίου

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

#### Μετρήσεις Διαστάσεων:

##### Μικρόμετρο

Σταθερά του μικρόμετρου  $D_m =$

Μετάθεση του μηδενός  $\mu =$

Σφάλμα ανάγνωσης  $\delta D_m =$

- Με τη βοήθεια του μικρόμετρου να μετρήσετε τη διάμετρο  $d$  του σφαιριδίου.
- Να επαναλάβετε τη μέτρηση πέντε φορές καταγράφοντας τις μετρήσεις σε κατάλληλο πίνακα,

#### Μετρήσεις μάζας:

Σφάλμα ανάγνωσης ζυγού:  $\delta m =$

- Να ζυγίσετε το σφαιρίδιο και να γράψετε την έκφραση:  $m \pm \delta m =$

$d$ (mm)	$\bar{d}$ (mm)	$d - \bar{d}$ (mm)	$(d - \bar{d})^2$ (mm) <sup>2</sup>



### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

- Να υπολογίσετε τη μέση τιμή  $\bar{d}$  της διαμέτρου του σφαιριδίου.
- Να υπολογίσετε τον όγκο  $V$  του σφαιριδίου.
- Από τις τιμές  $V$  και  $m$  να υπολογίσετε την πυκνότητα  $\rho$  του σφαιριδίου.

#### Υπολογισμός σφαλμάτων:

- Να υπολογίσετε την τυπική απόκλιση της μέσης τιμής  $\bar{d}$  της διαμέτρου του σφαιριδίου.
- Να υπολογίσετε το σφάλμα  $\delta V$  στον όγκο.
- Να υπολογίσετε το σφάλμα  $\delta \rho$  στην πυκνότητα.

#### Παρουσίαση αποτελεσμάτων:

- Να γράψετε τις εκφράσεις:

$$\bar{d} \pm \delta \bar{d} =$$

$$V \pm \delta V =$$

$$\rho \pm \delta \rho =$$

- Να ταυτοποιήσετε το υλικό.

## Β) Προσδιορισμός της πυκνότητας στερεού με ακανόνιστο σχήμα.

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

#### Ογκομετρικός σωλήνας:

Σφάλμα ανάγνωσης  $\delta V =$

#### Ζυγός:

Σφάλμα ανάγνωσης  $\delta m =$

- Ζυγίζουμε το σώμα:  $m \pm \delta m =$
- Τοποθετούμε νερό στον ογκομετρικό σωλήνα και μετράμε τον όγκο του:  $V_1 \pm \delta V_1 =$
- Βυθίζουμε το σώμα μέσα στο νερό του ογκομετρικού σωλήνα και μετράμε τον όγκο νερού και σώματος μαζί:  $V_2 \pm \delta V_2 =$

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

- Υπολογίζουμε τον όγκο του σώματος:  $V_\sigma = V_2 - V_1$
- Από τις τιμές  $V_\sigma$  και  $m$  υπολογίζουμε την πυκνότητα  $\rho$  του σώματος.

#### Υπολογισμός σφαλμάτων:

- Υπολογίζουμε το σφάλμα  $\delta V_\sigma$  του όγκου  $V_\sigma$  και γράφουμε την έκφραση:  $V_\sigma \pm \delta V_\sigma =$
- Υπολογίζουμε το σφάλμα  $\delta \rho$  της πυκνότητας  $\rho$  και γράφουμε την έκφραση:  $\rho \pm \delta \rho =$





ΟΝ/ΜΟ:

ΗΜ/ΝΙΑ:

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ Ι

### ΑΣΚΗΣΗ 2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ $g$

Προσδιορισμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας  $g$ , με το απλό μαθηματικό εκκρεμές



#### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

**Μετροταινία:**

Σφάλμα ανάγνωσης  $\delta x =$

**Χρονόμετρο:**

Σφάλμα ανάγνωσης  $\delta t =$

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

$L$ (cm)	$10T$ (sec)	$T$ (sec)	$T^2$ (sec <sup>2</sup> )

1)

Για ένα μήκος  $L$  του εκκρεμούς μεταξύ 20 και 70cm, ( $L$  είναι απόσταση μεταξύ του σημείου στήριξης και του κέντρου βάρους του συστήματος “νήμα + σφαιρίδιο”) και για γωνία ταλάντωσης μικρότερη των  $5^\circ$  να μετρήσετε το χρόνο 10 περιόδων ταλάντωσης. Να επαναλάβετε τη μέτρηση για άλλα 9 μήκη του

εκκρεμούς και να καταχωρήσετε τις τιμές στον πίνακα 1:

2) Να αποδώσετε γραφικά τα ζεύγη τιμών ( $L$ ,  $T^2$ ) του πίνακα 1. Να υπολογίσετε (γραφικά) την κλίση της ευθείας και από αυτήν, την τιμή του  $g$ .

3) Για τρεις τιμές (π.χ. 30, 50 και 70 cm) του μήκους  $L$  του εκκρεμούς, να μετρήσετε τον χρόνο 10 ταλαντώσεων για μεγάλη γωνία εκτροπής ( $\theta > 30^\circ$ ) και να καταχωρήσετε τις τιμές σας στον πίνακα 2:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2**

$L(cm)$	$10T(sec)$	$T(sec)$	$T^2(sec^2)$

4) Να τοποθετήσετε τα ζεύγη τιμών ( $L, T^2$ ) στο διάγραμμα της ερώτησης (2). Να **δικαιολογήσετε** τη θέση αυτών των σημείων σε σχέση με τα υπόλοιπα.

**Υπόδειξη:** Ο ακριβής τύπος ο οποίος δίνει την περίοδο του απλού μαθηματικού εκκρεμούς δίνεται από τη σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \left[ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\theta_0}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\theta_0}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \sin^6 \frac{\theta_0}{2} + \dots \right]$$

Για πολύ μικρές τιμές της γωνίας  $\vartheta$  ( $\vartheta < 5^\circ$ ) το  $\sin \theta \approx \theta$  και η παραπάνω σχέση προσεγγίζεται

από τη γνωστή μας σχέση:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

**Εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων**

1) Από τα πειραματικά δεδομένα του Πίνακα 1, να υπολογίσετε με τη βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων τους συντελεστές  $A \pm \delta A$  και  $B \pm \delta B$  της σχέσης:

$$T^2 = A + B * L$$

2) Με βάση τις τιμές των  $A$  και  $B$  που υπολογίσατε στην προηγούμενη ερώτηση να χαράξετε –στο ίδιο διάγραμμα με αυτό της ερώτησης (2)– τη βέλτιστη ευθεία.

3) Από την τιμή της κλίσης  $B$  της ευθείας να υπολογίσετε την τιμή του  $g$  καθώς και το σφάλμα  $\delta g$ . Να γράψετε την έκφραση:  $g \pm \delta g =$

4) Να συγκρίνετε (% απόκλιση) την τιμή του  $g$  που υπολογίσατε γραφικά (με αυτήν που υπολογίσατε μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων. Ποια από τις δύο τιμές θεωρείτε ότι είναι ακριβέστερη;

5) Να συγκρίνετε (% απόκλιση) την τιμή του  $g$  που προσδιορίσατε με τη Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων με την θεωρητικά αναμενόμενη τιμή ( $g_{th} = 9.81 \text{ m/s}^2$ ). Να εντοπίσετε την προέλευση των σφαλμάτων.



ΟΝ/ΜΟ:

ΗΜ/ΝΙΑ:

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ Ι

### ΑΣΚΗΣΗ 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ

#### ΜΕΡΟΣ Α'

##### ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ



Η σταθερά  $k$  ενός ελατηρίου ορίζεται μέσω του νόμου του Hooke:

$$F = k * x \quad (1)$$

όπου  $F$  η δύναμη που ασκείται στο ελατήριο και  $x$  η επιμήκυνση του.

Αν στο άκρο κατακόρυφου ελατηρίου, μήκους  $L_0$ , αναρτήσουμε σώμα μάζας  $m$  και το αφήσουμε να ισορροπήσει, το ελατήριο επιμηκώνεται κατά  $\Delta L$ . Η επιμήκυνση που υφίσταται το ελατήριο θα είναι ανάλογη της δύναμης  $F$  που προκάλεσε την επιμήκυνση, δηλ. στην περίπτωση μας ανάλογη του βάρους  $W = m * g$  του αναρτημένου σώματος μάζας  $m$ . Δηλαδή:

$$W = k * \Delta L \text{ ή } \Delta L = \frac{m * g}{k} \quad (2)$$

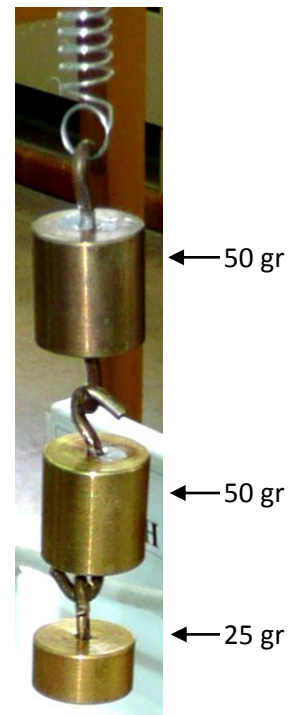
Είναι φανερό ότι, μετρώντας την επιμήκυνση  $\Delta L$  που υφίσταται ένα ελατήριο αν στο άκρο του αναρτήσουμε διάφορες μάζες  $m$ , τότε από το διάγραμμα της επιμήκυνσης  $\Delta L$  συναρτήσει της μάζας  $m$  θα προκύψει ευθεία γραμμή, από την κλίση της οποίας μπορούμε να υπολογίσουμε τη σταθερά  $k$  του ελατηρίου.

#### ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

##### **Μετροταινία:**

Σφάλμα ανάγνωσης  $\delta L =$

- 1) Να μετρήσετε, με τη βοήθεια της μετροταινίας, το αρχικό μήκος του ελατηρίου:  $L_0 =$
- 2) Στο ελεύθερο άκρο του ελατηρίου να κρεμάσετε σώμα μάζας 25g. Αφήνετε το σύστημα να ισορροπήσει και μετράτε το νέο μήκος  $L$  του ελατηρίου.
- 3) Να επαναλάβετε το ίδιο με τα σώματα μαζών 50, 75, 100 και 125 gr, καταγράφοντας τις μετρήσεις σας στον πίνακα 1.



- 4) Να αποδώσετε γραφικά τα ζεύγη τιμών ( $\Delta L$ ,  $W$ ) του πίνακα 1. Να υπολογίσετε (γραφικά) την κλίση της ευθείας και από αυτήν, την τιμή της σταθεράς  $k$  του ελατηρίου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

$m$ (g)	$W$ (N)	$L$ (m)	$\Delta L=L-L_0$ (m)
25			
50			
75			
100			
125			

- 5) Να εντοπίσετε την προέλευση των σφαλμάτων

### **ΜΕΡΟΣ Β'**

#### **ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

- Στο ελεύθερο άκρο κατακόρυφου ελατηρίου αναρτάται σώμα μάζας  $m$ . Το σώμα ισορροπεί. Εκτρέποντας, κατακόρυφα προς τα κάτω, το σώμα από τη θέση ισορροπίας του, το σύστημα σώμα - ελατήριο εκτελεί απλή γραμμική αρμονική ταλάντωση με περίοδο  $T$ :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

όπου  $k$  η σταθερά του ελατηρίου.

- Αναρτώντας σώματα διαφορετικών μαζών  $m$  στο ελατήριο, είναι φανερό ότι από μετρήσεις της περιόδου  $T$  συναρτήσει της μάζας  $m$  είναι δυνατός ο προσδιορισμός της σταθεράς  $k$  του ελατηρίου.

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι η περίοδος ( $T$ ) της ταλάντωσης, η σταθερά ( $k$ ) του ελατηρίου και η μάζα ( $m$ ) του σώματος ικανοποιούν τη σχέση:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m \quad (2)$$

Παρατηρούμε ότι το  $T^2$  είναι ανάλογο της μάζας  $m$  του σώματος που έχουμε αναρτήσει στο άκρο του ελατηρίου. Η γραφική παράσταση του  $T^2$  συναρτήσει της μάζας  $m$ , είναι μια ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων. Από την κλίση της ευθείας αυτής μπορούμε να υπολογίσουμε τη σταθερά  $k$  του ελατηρίου.

#### **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

**Χρονόμετρο:**

Σφάλμα ανάγνωσης  $\delta t =$

- 1) Στο ελεύθερο άκρο του ελατηρίου να κρεμάσετε σώμα μάζας 25g. Εκτρέπετε, κατακόρυφα προς τα κάτω, το σώμα από τη θέση ισορροπίας του και το αφήνετε να ταλαντωθεί κατακόρυφα. Μετρείστε το χρόνο 10 πλήρων ταλαντώσεων. Να καταγράψετε τη μέτρηση σας στον πίνακα 2.
- 2) Να επαναλάβετε το ίδιο με τα σώματα μαζών 50, 75, 100 και 125 g καταγράφοντας τις μετρήσεις σας στον πίνακα 2.
- 3) Σε διάγραμμα ( $m, T^2$ ) να τοποθετήσετε τα πειραματικά σημεία του Πίνακα 2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2**

$m$ (g)	$10T$ (s)	$T$ (s)	$T^2$ (s <sup>2</sup> )
25			
50			
75			
100			
125			

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ**

- (4) Από τα πειραματικά δεδομένα του Πίνακα 2, να υπολογίσετε με τη βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων τους συντελεστές  $A \pm \delta A$  και  $B \pm \delta B$  της σχέσης:

$$T^2 = A + B * m \tag{4}$$

- (5) Με βάση τις τιμές των  $A$  και  $B$  που υπολογίσατε στην προηγούμενη ερώτηση να χαράξετε στο διάγραμμα της ερώτησης (3), τη βέλτιστη ευθεία.
- (6) Από την τιμή  $B$ , της κλίσης της ευθείας, να υπολογίσετε την τιμή του  $k$  καθώς και το σφάλμα του  $\delta k$ . Να γράψετε την έκφραση:

$$k \pm \delta k =$$

- (7) Να εντοπίσετε την προέλευση των σφαλμάτων.
- (8) Διέρχεται η ευθεία από την αρχή των αξόνων; Αν όχι, να εξηγήσετε. Στην περίπτωση αυτή, μεταβάλλεται ή όχι η κλίση της ευθείας (και ως εκ τούτου η σταθερά  $k$ );

**ΥΠΟΔΕΙΞΗ:** Να ζυγίσετε το ελατήριο. Στην περίπτωση που η μάζα του ελατηρίου ( $m_{ελ}$ ) είναι συγκρίσιμη με αυτήν της μάζας  $m$  του σώματος, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η περίοδος του συστήματος «ελατήριο-σώμα» θα δίδεται από τη σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{m_{ελ}}{3}}{k}}$$

Στην περίπτωση αυτή, μεταβάλλεται ή όχι η κλίση της ευθείας (και ως εκ τούτου η σταθερά  $k$ );

ΟΝ/ΜΟ:

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ:

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ Ι

### ΑΣΚΗΣΗ 4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ - ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΟΗΜ

#### ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Αν σε έναν αγωγό εφαρμοσθεί μια διαφορά δυναμικού  $V$ , τότε ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα  $I$ . Ως αντίσταση  $R$  του αγωγού ορίζεται το πηλίκο:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Θεωρούμε ότι ένας αγωγός είναι ωμικός (ή με άλλα λόγια ότι ακολουθεί το νόμο του Ohm) όταν υπάρχει ευθεία αναλογία μεταξύ των  $V$  και  $I$ , δηλαδή όταν η τιμή της αντίστασης  $R$  παραμένει σταθερή, ανεξάρτητη της εφαρμοζόμενης τάσης  $V$ .

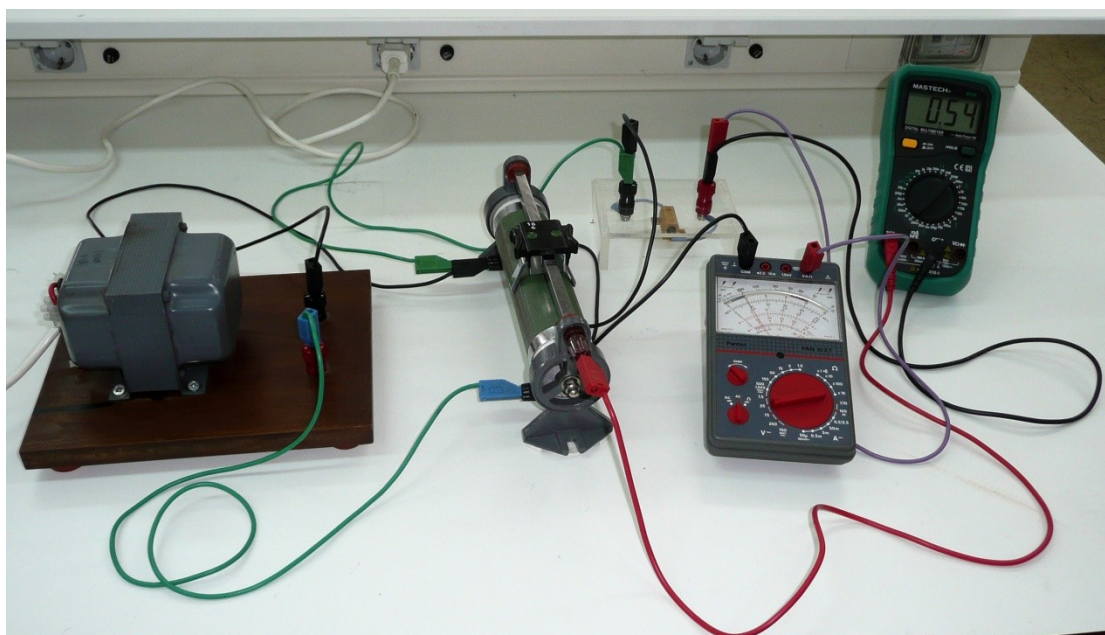
Εδώ θα πρέπει να τονισθεί ότι αν και η εξίσωση (1) καλείται συχνά και νόμος του Ohm, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι η σχέση αυτή αποτελεί τον ορισμό της αντίστασης οποιουδήποτε υλικού, είτε αυτό υπακούει στο νόμο του Ohm, είτε όχι.

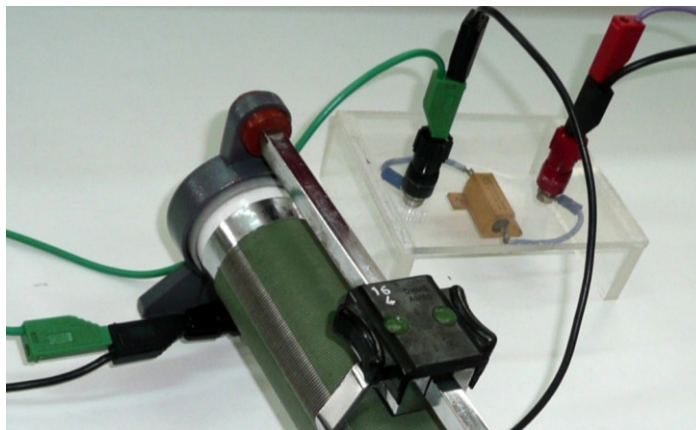
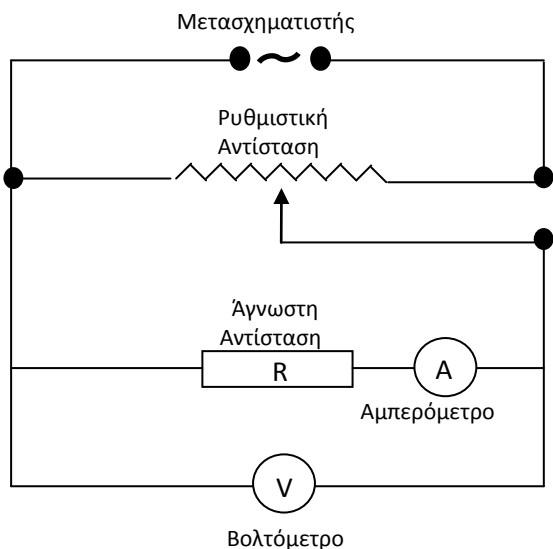
Για να διαπιστωθεί αν ένας αγωγός είναι ωμικός, αρκεί να ληφθούν μετρήσεις του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, για διάφορες τιμές της εφαρμοζόμενης τάσης (σε σταθερή θερμοκρασία) και να κατασκευασθεί το διάγραμμα του ρεύματος  $I$  συναρτήσει της τάσης  $V$ . Αν προκύπτει ευθεία γραμμή, τότε προφανώς ο αγωγός είναι ωμικός και η αντίσταση  $R$  του αγωγού είναι σταθερή, ανεξάρτητη από την εφαρμοζόμενη τάση.

#### ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

- 1) Να πραγματοποιήσετε το κύκλωμα για τη λήψη των μετρήσεων σας. (Να δώσετε ιδιαίτερη προσοχή στην ποτενσιομετρική σύνδεση της ρυθμιστικής αντίστασης).

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Να μη θέσετε το κύκλωμα σε λειτουργία αν δεν γίνει ο απαραίτητος έλεγχος από τον υπεύθυνο της άσκησης σας.





- 2) Αφού εξοικειωθείτε με τις κλίμακες του βολτομέτρου και του αμπερομέτρου που θα χρησιμοποιήσετε, να εκτιμήσετε τα σφάλματα ανάγνωσης  $\delta V$  και  $\delta I$  αντίστοιχα.

$$\delta V =$$

$$\delta I =$$

- 3) Μετατοπίζοντας τον δρομέα της ρυθμιστικής αντίστασης να πάρετε 6 ζεύγη τιμών ( $V, I$ ) για τάσεις  $V$  μεταξύ 5 και 10V, και να τις καταχωρήσετε στον πίνακα 1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

$V$ (Volts)	$I$ (A)	$R$ (Ohms)

- 4) Για κάθε ζεύγος τιμών ( $V, I$ ) να υπολογίσετε την τιμή της αντίστασης  $R$ . Να σχολιάσετε τα αποτελέσματά σας! Να υπολογίσετε τη μέση τιμή  $\bar{R}$  της αντίστασης.
- 5) Να πραγματοποιήσετε τη γραφική παράσταση  $I=f(V)$ . Να σχολιάσετε το διάγραμμα που προκύπτει: Ακολουθεί η αντίσταση που μετρήσατε το Νόμο του Ohm; Πώς μπορεί από το διάγραμμα αυτό να υπολογισθεί η τιμή της αντίστασης; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

Για τα πειραματικά σας ζεύγη τιμών ( $V, I$ ) να συμπληρώσετε τις στήλες του Πίνακα 2, ώστε να εφαρμόσετε τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, για τον υπολογισμό των συντελεστές  $A \pm \delta A$  και  $B \pm \delta B$ , της βέλτιστης ευθείας:

$$y = A + B * x \quad \text{ή} \quad I = A + B * V$$

από τις σχέσεις:

$$A = \frac{(\sum x_i^2)(\sum y_i) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{\Delta} \quad \text{και} \quad \delta A = \sqrt{\frac{\sigma_y^2 \sum x_i^2}{\Delta}}$$

$$B = \frac{N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\Delta} \quad \text{και} \quad \delta B = \sqrt{\frac{N\sigma_y^2}{\Delta}}$$

όπου:

$$\Delta = N \left( \sum x_i^2 \right) - \left( \sum x_i \right)^2 \quad \text{και} \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - Bx_i - A)^2}{N - 2}}$$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2**

$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i y_i$	$y_i - B \cdot x_i - A$	$(y_i - B \cdot x_i - A)^2$
$V$ (Volts)	$I$ (A)	$V^2$ (Volts <sup>2</sup> )	$V \cdot I$ (Volts.A)	$I - B \cdot V - A$ (A)	$(I - B \cdot V - A)^2$ (A <sup>2</sup> )
$\sum x_i =$	$\sum y_i =$	$\sum x_i^2 =$	$\sum x_i y_i =$		$\sum (y_i - A - Bx_i)^2 =$

Με βάση τους συντελεστές  $A$  και  $B$  που προσδιορίσατε, να χαράξετε – στο ίδιο διάγραμμα με αυτό της ερώτησης (5) - τη βέλτιστη ευθεία.

Από τη βέλτιστη ευθεία, να προσδιορίσετε την τιμή της αντίστασης  $R$  και να τη συγκρίνετε (% απόκλιση) με αυτήν που υπολογίσατε.



ΟΝΟΜ/ΜΟ:

ΗΜ/ΝΙΑ:

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ Ι

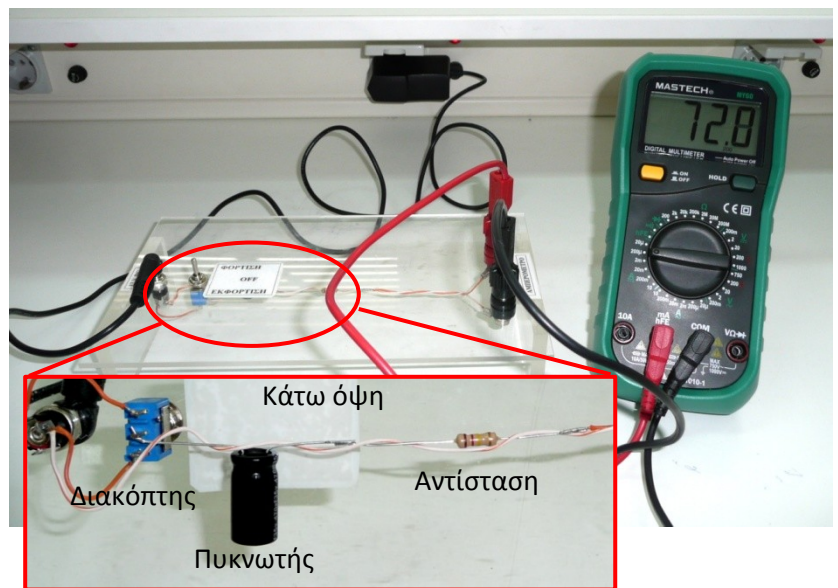
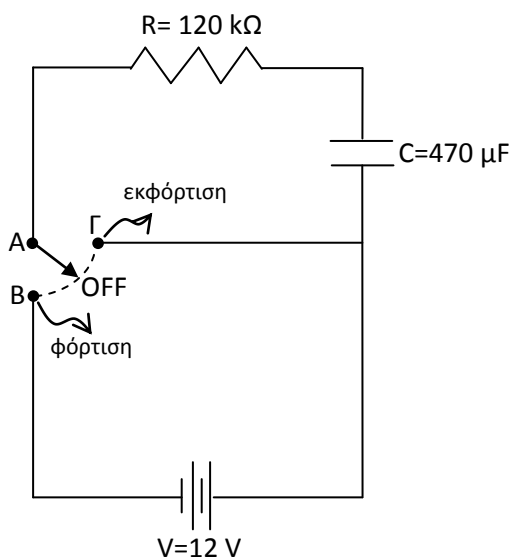
### ΑΣΚΗΣΗ 5. ΦΟΡΤΙΣΗ - ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ (ΚΥΚΛΩΜΑ RC)

#### ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Η φόρτιση και η εκφόρτιση πυκνωτή χωρητικότητας  $C$  μέσω αντίστασης  $R$  αποτελούν μεταβατικά φαινόμενα (transient phenomena). Η θεωρητική μελέτη της φόρτισης και της εκφόρτισης πυκνωτή δίνει τη σχέση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα (ή της τάσης στους οπλισμούς του πυκνωτή) συναρτήσει του χρόνου.

Καθοριστική σημασία για την ταχύτητα φόρτισης και εκφόρτισης έχει η σταθερά χρόνου ( $\tau=RC$ ) του κυκλώματος. Από μετρήσεις του ρεύματος συναρτήσει του χρόνου, και με τη βοήθεια των σχετικών διαγραμμάτων είναι δυνατός ο υπολογισμός της σταθεράς χρόνου  $\tau$  κυκλώματος R-C.

Στο σχήμα 1 φαίνεται ένα απλό κύκλωμα R-C, δηλαδή ένα κύκλωμα που έχει έναν πυκνωτή  $C$  και μία αντίσταση  $R$ . Με το κύκλωμα αυτό είναι δυνατή η μελέτη της φόρτισης και της εκφόρτισης πυκνωτή.



**Σχήμα 1:** Κύκλωμα για τη μελέτη φόρτισης-εκφόρτισης πυκνωτή μέσω αντίστασης

Έστω ότι αρχικά ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος (Θέση Διακόπτη: OFF). Τοποθετώντας τον Διακόπτη στη θέση: ΦΟΡΤΙΣΗ, το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα και ο πυκνωτής φορτίζεται. Μετά από μερικά  $\text{min}$  ο πυκνωτής έχει φορτισθεί πλήρως (το ρεύμα έχει λάβει πολύ χαμηλή τιμή σχεδόν ανεξάρτητη του χρόνου), ακολουθώντας τη σχέση:

$$I(t) = \frac{V}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{V}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Με μετάθεση του διακόπτη στη θέση: ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ αρχίζει η εκφόρτιση του πυκνωτή και το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα σύμφωνα με τον εκθετικό νόμο:

$$I(t) = -\frac{V}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = -\frac{V}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Το (-) στη σχέση αυτή υποδηλώνει ότι το ρεύμα κατά την εκφόρτιση έχει αντίθετη φορά απ'ότι κατά τη φόρτιση του πυκνωτή.

Εκτός από την αρχική τιμή της τάσης που εφαρμόζεται για τη φόρτιση του πυκνωτή, η συμπεριφορά του κυκλώματος χαρακτηρίζεται αποκλειστικά από τη σταθερά χρόνου  $\tau=RC$ . Σε χρόνο  $t=\tau$  το ρεύμα μειώνεται στο  $1/e$ , δηλαδή στο 36.8%, της αρχικής του τιμής.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

$t$ (s)	$I$ ( $\mu A$ )
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	
110	
120	
130	
140	
150	
160	
170	
180	

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Συνδέστε το κύκλωμα που προορίζεται για τη μελέτη της φόρτισης-εκφόρτισης πυκνωτή μέσω αντιστάσεως: Διακόπτης στη θέση OFF. Να χρησιμοποιήσετε το τροφοδοτικό 12V (DC) και το πολύμετρο στην κλίμακα των 200 $\mu A$ . Τα στοιχεία του κυκλώματος σας είναι:  $R=120\text{ k}\Omega$ , και  $C=470\text{ }\mu F$ .

**ΠΡΟΣΟΧΗ: μη θέσετε σε λειτουργία το κύκλωμα πριν ελεγχθεί από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου.**

2. Αφού εξοικειωθείτε με τις κλίμακες των οργάνων που θα χρησιμοποιήσετε (αμπερόμετρο, χρονόμετρο) να θέσετε τον Διακόπτη στη θέση ΦΟΡΤΙΣΗ. Παρατηρούμε ότι το ρεύμα αυξάνεται αρχικά απότομα και ακολούθως αρχίζει να μειώνεται. Να αφήσετε τον διακόπτη στη θέση αυτή (ΦΟΡΤΙΣΗ) μέχρι να φορτισθεί πλήρως ο πυκνωτής, δηλαδή μέχρι να μην παρατηρείται πλέον μείωση του ρεύματος.

3. Κατόπιν να μεταφέρετε το διακόπτη στη θέση ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ, και ταυτόχρονα να πατήσετε το χρονόμετρο. Λαμβάνετε μετρήσεις του ρεύματος εκφόρτισης συναρτήσει του χρόνου ανά 10s, για χρονικό διάστημα 3min.

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1. Να αποδώσετε σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα ( $I$ ,  $t$ ) τα πειραματικά σας σημεία και να υπολογίσετε γραφικά την κλίση. Από την κλίση να υπολογίσετε τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος.

2. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων με πρόγραμμα προσομοίωσης πειραματικών δεδομένων (π.χ. ORIGIN) να χαράξετε τη βέλτιστη ευθεία και από την κλίση της να υπολογίσετε τη σταθερά χρόνου καθώς και το σφάλμα της.

3. Να συγκρίνετε την τιμή της σταθεράς χρόνου που υπολογίσατε, με την θεωρητικά αναμενόμενη (όπως αυτή προκύπτει από τα στοιχεία R και C του κυκλώματος που χρησιμοποιήσατε).

## Σημειώματα

### A) Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το υλικό των Εργαστηριακών Ασκήσεων προέρχεται από τις σημειώσεις Σ. Σακκόπουλου: "Εργαστήριο Φυσικής Ι" Παν/κές Παραδόσεις, Πάτρα 2008.

Οι φωτογραφίες ελήφθησαν στο Εργαστήριο του Τμήματος Φυσικής και επεξεργάστηκαν υπό του κ. Θωμά Αργυρέα, Φυσικού, υπευθύνου Υπολογιστικού Κέντρου και δικτύου του Τμήματος.

### B) Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Σταυρούλα Γεωργά. «Εργαστήριο Φυσικής. Εργαστηριακές Ασκήσεις, Ενότητες 8 - 13». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/PHY1952/>

### Γ) Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> Ως Μη Εμπορική ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

### Δ) Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- ✓ το Σημείωμα Αναφοράς
- ✓ το Σημείωμα Αδειοδότησης
- ✓ τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- ✓ το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφ' όσον υπάρχει).