

## 1. Σκοπός

Στην άσκηση αυτή θα προσδιορίσουμε την εστιακή απόσταση που διαμορφώνει ένα σύστημα λεπτών φακών που βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους και θα υπολογίσουμε τη συνολική ισχύ αυτού του συστήματος.

## 2. Θεωρία

Εκτός της βασικής θεωρίας που έχει αναπτυχθεί στην ενότητα Ο3, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα παρακάτω:

Όπως έχει προαναφερθεί, η ισχύς  $D$  ενός φακού είναι γνωστή όταν γνωρίζουμε την εστιακή του απόσταση  $f$ , δεδομένου ότι αποτελεί το αντίστροφό της. Αν το  $f$  δίνεται σε  $m$ , η ισχύς  $D$  υπολογίζεται σε διοπτρίες ( $dpt$ ) και εκφράζει το μέτρο της θλαστικής ικανότητας του φακού.

Αν φέρουμε σε επαφή δυο ή περισσότερους λεπτούς φακούς εστιακών αποστάσεων  $f_1, f_2, f_3$  κ.λπ. ευθυγραμμισμένους ώστε να έχουν τον ίδιο κύριο άξονα, τότε δημιουργούμε ένα σύστημα λεπτών φακών σε επαφή το οποίο διαμορφώνει ολική ισχύ  $D_{ολ}$  ίση με το αλγεβρικό άθροισμα των επί μέρους ισχύων των φακών του συστήματος ως:

$$D_{ολ} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots \quad (9)$$

και επομένως

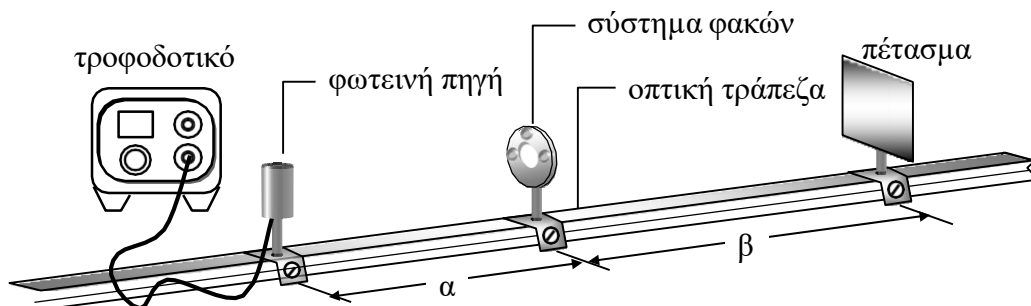
$$D_{ολ} = \frac{1}{f_{ολ}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots \quad (10)$$

## 3. Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διάταξη για την εκτέλεση της άσκησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 9 και αποτελείται από:

- οπτική τράπεζα
- σύστημα δυο φακών σε κοινή βάση
- λαμπτήρα πυράκτωσης 24V με το τροφοδοτικό του
- πέτασμα

Για να υπολογίσουμε την ολική ισχύ  $D_{ολ}$  του συστήματος θα κάνουμε χρήση της Σχέσης 10, στην οποία θα πρέπει να γνωρίζουμε είτε την ολική εστιακή απόσταση  $f_{ολ}$ , είτε τις επί μέρους εστιακές αποστάσεις  $f_1, f_2$  των φακών του συστήματος.



Σχήμα 9. Η πειραματική διάταξη για τον υπολογισμό της συνολικής ισχύος συστήματος φακών.

Εδώ θα ακολουθήσουμε μια συγκριτική μέθοδο, όπου στη μια περίπτωση θα προσδιορίσουμε πειραματικά την  $f_{ολ}$  (θεωρώντας το σύστημα ως ένα ενιαίο φακό) με τη μέθοδο που αναπτύξαμε στην Άσκηση 9B και κατόπιν την  $D_{ολ}$  από τη Σχέση 10 και στην άλλη περίπτωση θα υπολογίσουμε την  $D_{ολ}$  θεωρητικά από τα στοιχεία που αναγράφει ο κατασκευαστής (κάνοντας χρήση της Σχέσης 10). Επίσης και στις δυο περιπτώσεις θα υπολογίσουμε τα σφάλματα και θα συγκρίνουμε τελικά τις τιμές. Παρακάτω παραθέτουμε, συνοπτικά, στοιχεία από τη θεωρία σφαλμάτων που θα μας οδηγήσουν στον υπολογισμό του μέσου τυπικού και σχετικού σφάλματος.

### Υπολογισμός τυπικού σφάλματος στην πειραματική τιμή του $D_{ολ}$

Εδώ έχουμε περίπτωση σύνθετου σφάλματος, γιατί η τιμή της  $\bar{D}_{ολ}$  υπολογίζεται έμμεσα από τη σχέση  $\bar{D}_{ολ} = \frac{1}{\bar{f}_{ολ}}$  και όχι από διαδικασία απευθείας μέτρησής της.

Στην περίπτωση αυτή θα προσδιορίσουμε πρώτα το μέσο τυπικό σφάλμα  $\delta\bar{f}_{ολ}$  της  $\bar{f}_{ολ}$  κατά τα γνωστά (βλ. Άσκηση 9B) και στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το μέσο τυπικό σφάλμα της  $\bar{D}_{ολ}$  από τη σχέση:

$$\delta\bar{D}_{ολ} = \frac{\delta\bar{f}_{ολ}}{\bar{f}_{ολ}^2} \quad (11)$$

### Υπολογισμός τυπικού σφάλματος στη θεωρητική τιμή του $D_{ολ}$

Και εδώ έχουμε περίπτωση σύνθετου σφάλματος, δεδομένου ότι θεωρητική τιμή της  $D_{ολ}$  (θεωρ) θα προσδιοριστεί από τη Σχέση 10, δηλαδή  $D_{ολ}(\text{θεωρ}) = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = D_1 + D_2$ .

Αν επομένως υπολογίσουμε τα μερικά σφάλματα  $\delta D_1$  και  $\delta D_2$ , το άθροισμά τους θα μας δώσει το μέσο τυπικό σφάλμα  $\delta D_{ολ(θεωρ)}$  της  $D_{ολ(θεωρ)}$ , δηλαδή

$$\delta D_{ολ(θεωρ)} = \sqrt{(\delta D_1)^2 + (\delta D_2)^2} \quad (12)$$

Τα  $\delta D_1$  και  $\delta D_2$  υπολογίζονται από τη Σχέση 11:

$$\delta D_1 = \frac{\delta f_1}{f_1^2} \quad \text{και} \quad \delta D_2 = \frac{\delta f_2}{f_2^2} \quad (13)$$

#### 4. Εργασίες

1. Αναγνωρίζουμε τα μέρη της διάταξης και τα τοποθετούμε στην οπτική τράπεζα όπως φαίνεται στο Σχήμα 9. Εξασφαλίζουμε ότι όλα τα στοιχεία (λαμπτήρας – φακός - πέτασμα) βρίσκονται στο ίδιο ύψος και ότι το επίπεδο του φακού είναι κάθετο προς το λαμπτήρα (χρησιμοποιούμε το νήμα του λαμπτήρα ως αντικείμενο).
2. Σημειώνουμε τις θεωρητικές τιμές  $f_1$ ,  $f_2$  του κατασκευαστή:  
 $f_1 = \dots\dots\dots$  ,  $f_2 = \dots\dots\dots$
3. Θέτουμε σε λειτουργία το λαμπτήρα (ελέγχουμε ώστε η τάση στα άκρα του να μην υπερβαίνει τα 24V).
4. Μετακινούμε εμπρός – πίσω το φακό μέχρι να εμφανιστεί στο πέτασμα καθαρό είδωλο του νήματος του λαμπτήρα και προσδιορίζουμε τις τιμές  $\alpha$  και  $\beta$  από την κλίμακα που είναι δομημένη επάνω στην οπτική τράπεζα. Καταχωρούμε τις τιμές στον Πίνακα 1.
5. Επαναλαμβάνουμε την εργασία 3 για άλλα 8 – 10 ζεύγη τιμών  $\alpha$  και  $\beta$ .
6. Υπολογίζουμε τα  $1/\alpha$ ,  $1/\beta$ ,  $1/f_{ολ}$  και την  $\bar{f}_{ολ}$ .
7. Υπολογίζουμε το μέσο τυπικό σφάλμα  $\delta \bar{f}_{ολ}$  της  $\bar{f}_{ολ}$  και γράφουμε τα αποτελέσματα στη μορφή:  

$$\bar{f}_{ολ} \pm \delta \bar{f}_{ολ} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \text{ cm} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \text{ m}$$
8. Υπολογίζουμε τη μέση τιμή  $\bar{D}_{ολ}$  από τη σχέση  $\bar{D}_{ολ} = \frac{1}{\bar{f}_{ολ}}$  και στη συνέχεια το μέσο τυπικό σφάλμα  $\delta \bar{D}_{ολ}$  της  $\bar{D}_{ολ}$  από τη σχέση 11:

$$\delta \bar{D}_{ολ} = \frac{\delta \bar{f}_{ολ}}{\bar{f}_{ολ}^2} = \dots\dots\dots$$

➤ **ΠΡΟΣΟΧΗ !!** Για τον υπολογισμό των τιμών  $\bar{D}_{ολ}$  και  $\delta\bar{D}_{ολ}$  σε διοπτρίες (dpt) πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι τιμές της  $\bar{f}_{ολ}$  και  $\delta\bar{f}_{ολ}$  σε μέτρα (m).

9. Γράφουμε την τιμή της ισχύος με το σφάλμα της ως:  $D_{ολ} = (\bar{D}_{ολ} \pm \delta\bar{D}_{ολ})$  dpt
10. Βρίσκουμε τη θεωρητική τιμή  $D_{ολ(θεωρ)}$  της ολικής ισχύος του συστήματος από τη Σχέση 10.
11. Από τα μερικά σφάλματα  $\delta f_1 = \delta f_2 = 0.001m$  των δυο φακών του συστήματος υπολογίζουμε τα μερικά σφάλματα  $\delta D_1$  και  $\delta D_2$  της ισχύος (Σχέση 13) και στη συνέχεια το ολικό θεωρητικό σφάλμα  $\delta D_{ολ(θεωρ)}$  της  $D_{ολ(θεωρ)}$  από τη Σχέση 12.
12. Γράφουμε την τιμή της ισχύος με το σφάλμα της ως:  
 $D_{ολ(θεωρ)} = (D_{ολ(\theta)} \pm \delta D_{ολ(\theta)})$  dpt
13. Υπολογίζουμε τη σχετική % απόκλιση μεταξύ πειραματικής και θεωρητικής τιμής της  $D_{ολ}$  και σχολιάζουμε.

$$\frac{|\bar{D}_{ολ} - D_{ολ(\theta)}|}{D_{ολ(\theta)}} \cdot 100\% =$$

**Πίνακας 1**

a/a	$\alpha$ (cm)	$\beta$ (cm)	$1/\alpha$ (cm) <sup>-1</sup>	$1/\beta$ (cm) <sup>-1</sup>	$1/f_{i,ολ}$ (cm) <sup>-1</sup>	$f_{i,ολ}$ (cm)	$\bar{f}_{ολ}$ (cm)	$\Delta f_{i,ολ}$ (cm)	$(\Delta f_{i,ολ})^2$ (cm) <sup>2</sup>
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

**Παρατήρηση:** Απαραίτητη θεωρείται η γνώση της θεωρίας που αναπτύσσεται στην ενότητα Ο3.

## Ερωτήσεις θεωρίας.

Δύο λεπτοί συγκλίνοντες φακοί εστιακών αποστάσεων  $f_1 = f_2 = 100\text{mm}$  βρίσκονται σε επαφή.

1. Να βρεθεί η ολική οπτική ισχύς  $D_{ολ}$  του συστήματος των δύο φακών.
2. Ποιά είναι η εστιακή απόσταση  $f_{ολ}$  του συστήματος των δύο φακών;
3. Αντικείμενο τοποθετείται σε απόσταση  $150\text{ mm}$  από το σύστημα των δύο φακών.  
Σε ποιά απόσταση θα σχηματιστεί ευκρινές είδωλο;
4. Το είδωλο που σχηματίζεται είναι πραγματικό ή φανταστικό;
5. Να σχεδιάσετε το σχηματισμό του ειδώλου για αυτή την περίπτωση χρησιμοποιώντας την κατάλληλη κλίμακα.