

## ΑΣΚΗΣΗ 7

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΣΤΙΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΦΑΚΩΝ

#### ΘΕΩΡΙΑ

Όταν φωτεινή παράλληλη δέσμη διαδιδόμενη από οπτικό μέσο  $\alpha$  με δείκτη διάθλασης  $n_1$  προσπίπτει σε άλλο οπτικό μέσο  $\beta$  με δείκτη διάθλασης  $n_2$  και υπάρχει ανάμεσά τους σφαιρική διαχωριστική επιφάνεια τότε παρατηρείται:

α) **Σύγκλιση** της δέσμης αν α)  $n_1 < n_2$  και η επιφάνεια είναι κυρτή από την πλευρά του οπτικού μέσου  $\alpha$  και β) αν  $n_1 < n_2$  και η επιφάνεια είναι κοίλη από την πλευρά του οπτικού μέσου  $\alpha$ .

β) **Απόκλιση** της δέσμης αν α)  $n_1 > n_2$  και η επιφάνεια είναι κυρτή από την πλευρά του οπτικού μέσου  $\alpha$  και β) αν  $n_1 > n_2$  και η επιφάνεια είναι κοίλη από την πλευρά του οπτικού μέσου  $\alpha$ .

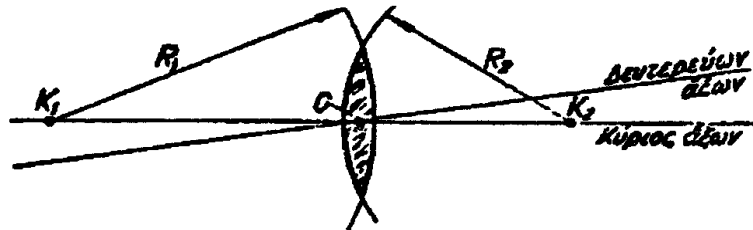
Ένας **φακός** είναι κατασκευασμένος από οπτικώς διαφανές υλικό και έχει την ιδιότητα να προκαλεί σύγκλιση ή απόκλιση προσπίπτουσας σε αυτόν παράλληλης φωτεινής δέσμης. Οι συγκλίνοντες φακοί είναι παχύτεροι στο κέντρο τους και λεπτότεροι στα άκρα τους (σχ.1α), σε αντίθεση με τους αποκλίνοντες (σχ.1β). Οι επιφάνειες των φακών μπορεί να είναι και οι δυο σφαιρικές ή η μια σφαιρική και η άλλη επίπεδη.



Σχήμα 1. Είδη φακών (α) συγκλίνοντες και β) αποκλίνοντες.

Η ευθεία που διέρχεται από τα κέντρα καμπυλότητας  $K_1$  και  $K_2$  (σχ.2) των σφαιρικών επιφανειών του φακού ονομάζεται **κύριος άξονας** του φακού.

Επάνω στο κύριο άξονα βρίσκεται το σημείο  $O$  που ονομάζεται **οπτικό κέντρο** του φακού. Κάθε άλλος άξονας που σχηματίζει γωνία με τον κύριο άξονα και διέρχεται από το οπτικό κέντρο του φακού ονομάζεται δευτερεύων άξονας. Δέσμη που περνάει από το οπτικό κέντρο του φακού δεν παρουσιάζει καμία απόκλιση.

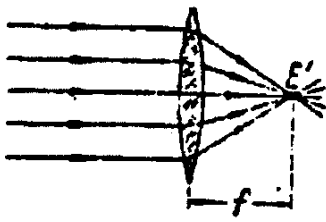


Σχήμα 2. Απεικόνιση χαρακτηριστικών ενός φακού όπως είναι οι ακτίνες καμπυλότητας ( $R_1$  και  $R_2$ ), τα κέντρα καμπυλότητας ( $K_1$  και  $K_2$ ) και το οπτικό κέντρο ( $O$ ).

Η μελέτη των φακών γίνεται πιο απλή αν:

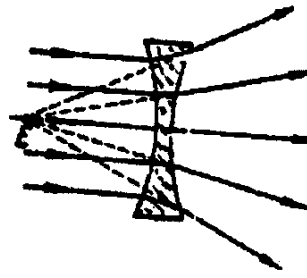
- α) περιορισθούμε σε **λεπτούς φακούς** δηλ. φακούς που το πάχος τους είναι μικρό σε σχέση με τις ακτίνες της καμπυλότητας και
- β) θεωρήσουμε ότι η προσπίπτουσα δέσμη σχηματίζει μικρή γωνία με τον κύριο άξονα και περνάει κοντά στο οπτικό κέντρο.

Οι φακοί χαρακτηρίζονται από την εστιακή τους απόσταση  $f$  που ορίζεται σαν η απόσταση του οπτικού κέντρου από την κυρία εστία του φακού. Κύρια εστία είναι το σημείο του οπτικού άξονα στο οποίο συγκεντρώνεται μια παράλληλη φωτεινή δέσμη όταν διέλθει μέσα από τον φακό. Αν ο φακός είναι συγκλίνων, τότε η κυρία εστία είναι σημείο σύγκλισης πραγματικών ακτίνων (σχ.3α), ενώ αν είναι αποκλίνων, η κυρία εστία σχηματίζεται από την προέκταση των ακτίνων, είναι δηλαδή φανταστική και η εστιακή απόσταση θεωρείται αρνητική (σχ.3β)



(α)

Σχήμα 3. Απεικόνιση της κύριας εστίας E στην περίπτωση συγκλίνοντων και αποκλίνοντων φακών.



(β)

Η εστιακή απόσταση δίνεται με βάση τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του φακού από τη σχέση (1) που είναι γνωστή σαν τύπος των κατασκευαστών των φακών

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{φακού}}}{n_{\text{περιβάλλοντος}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

όπου  $n_{\text{φακού}}$  και  $n_{\text{περιβάλλοντος}}$  οι δείκτες διάθλασης του υλικού του φακού και του περιβάλλοντος του φακού αντίστοιχα.  $R_1$  και  $R_2$  όπως φαίνεται και στο σχήμα 2 είναι οι ακτίνες καμπυλότητας των επιφανειών του φακού και είναι θετικές για κυρτές επιφάνειες και αρνητικές για κοίλες.

Πειραματικά η εστιακή απόσταση βρίσκεται από τη σχέση (2)

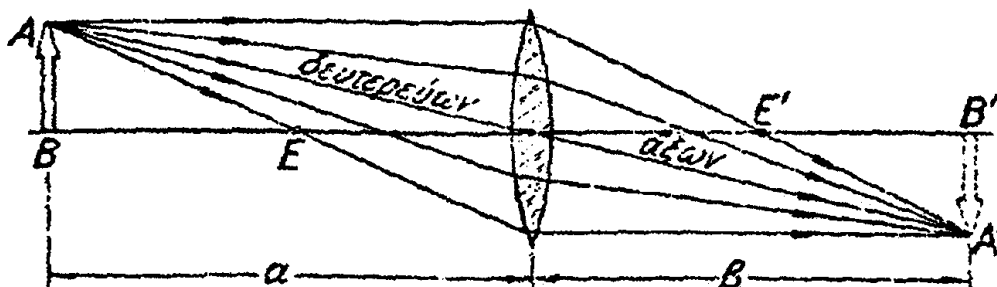
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \quad (2)$$

η οποία συνδέει την εστιακή απόσταση  $f$  με τις αποστάσεις αντικειμένου-οπτικού κέντρου φακού,  $\alpha$ , και ειδώλου – οπτικού κέντρου φακού,  $\beta$  (σχήμα 4). Οι αποστάσεις  $\alpha$  και  $\beta$  θεωρούνται θετικές αν το είδωλο και το αντικείμενο είναι πραγματικά και αρνητικές αν είναι φανταστικά (σημεία σύγκλισης νοητής προέκτασης ακτίνων).

Όλα τα παραπάνω αναφέρονται σε σημειακή πηγή (αντικείμενο). Αν το αντικείμενο έχει διαστάσεις και στην απλούστερη περίπτωση είναι γραμμικό και κάθετο στον κύριο άξονα του φακού, τότε το είδωλο του βρίσκεται εύκολα αν θεωρήσουμε ακτίνες των οποίων η πορεία είναι γνωστή.

Θεωρούμε συγκλίνοντα φακό, σχήμα 4, και δέσμη εκπεμπόμενη από το άκρο A του αντικειμένου. Η ακτίνα που διέρχεται από το O δεν θα εκτραπεί,

η ακτίνα όμως που διέρχεται από την κυρία εστία E μετά τη δίοδο μέσω του φακού θα γίνει παράλληλη προς τον κύριο άξονα. Το σημείο τομής αυτών των ακτίνων καθορίζει τη θέση του ειδώλου του σημείου A, το A'. Προφανώς το είδωλο θα είναι κάθετο στον κύριο άξονα και το σημείο B' θα βρίσκεται πάνω σε αυτόν.



Σχήμα 4. Κύριες ακτίνες και εύρεση ειδώλου στην περίπτωση συγκίνοντος φακού.

Ο λόγος μήκος του ειδώλου προς του αντικειμένου,  $A'B' / AB$ , ονομάζεται **μεγέθυνση** M και ισχύει

$$M = (A'B' / AB) = (\alpha / \beta)$$

Ισχύς P φακού ονομάζεται το αντίστροφο της εστιακής απόστασής του

$$P = 1/f$$

και μετρείται σε δίοπτρες (Dpt) όταν η εστιακή απόσταση f εκφράζεται σε μέτρα (δηλ.  $1\text{Dpt} = \text{m}^{-1}$ ).

### Σφάλματα φακών.

Τα σφάλματα που συναντώνται στους φακούς έχουν σαν αποτέλεσμα να μη σχηματίζεται καθαρό ή ακριβές είδωλο.

- Σφάλμα σφαιρικής εκτροπής. Το ιδανικό σχήμα των επιφανειών των φακών είναι το παραβολοειδές αλλά οι περισσότεροι φακοί φτιάχνονται για πρακτικούς λόγους σφαιρικοί. Το σφάλμα από την σφαιρικότητα του φακού παρουσιάζεται καθώς δεν είναι δυνατό να εστιάσουν στο ίδιο σημείο οι ακτίνες που προσπίπτουν κοντά στο κέντρο του και αυτές που προσπίπτουν κοντά στα άκρα του.
- Χρωματική εκτροπή. Παρουσιάζεται όταν η φωτεινή δέσμη που προσπίπτει στο φακό δεν είναι μονοχρωματική, και οφείλεται στο γεγονός ότι ο δείκτης διάθλασης του φακού εξαρτάται από το μήκος κύματος

(διασκεδασμός). Έτσι, για κάθε μήκος κύματος παρουσιάζεται διαφορετική εστιακή απόσταση (βλ. τύπο των κατασκευαστών των φακών) που οδηγεί σε μη ακριβές είδωλο.

- Κόμη. Αν το αντικείμενο βρίσκεται σε δευτερεύοντα άξονα του φακού (σχ.2), τότε το είδωλο παρουσιάζεται υπό μορφή κηλίδας ιδιόμορφου σχήματος και άνισης κατανομής του φωτισμού της (κόμη).
- Αστιγματισμός. Οφείλεται στο ότι ένας φακός μπορεί να έχει διαφορετική ακτίνα καμπυλότητας στον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα. Εκφράζει την αδυναμία ενός φακού να εστιάσει στο ίδιο σημείο ακτίνες οι οποίες ξεκινούν από το ίδιο σημείο αλλά συναντούν διαφορετικές ακτίνες καμπυλότητας.

Άλλα σφάλματα που παρουσιάζονται στους φακούς είναι η καμπύλωση πεδίου, η οποία οφείλεται στην αδυναμία καλής απεικόνισης εκτεταμένων αντικειμένων σε ένα επίπεδο και η παραμόρφωση ειδώλου η οποία εμφανίζεται σαν μεταβολή του γεωμετρικού σχήματος του αντικειμένου λόγω διαφορετικής μεγέθυνσης των διαφόρων τμημάτων του.

Για την αποφυγή των διαφόρων σφαλμάτων των φακών, ειδικά σε οπτικές συσκευές ακριβείας, γίνεται χρήση ειδικών συστημάτων φακών. Για πλήρη ανάλυση των σφαλμάτων δείτε το σχετικό κεφάλαιο στην Οπτική-Αλεξόπουλου.

### **Μέτρηση της εστιακής απόστασης φακών.**

Η εστιακή απόσταση  $f$  υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης (2). Το είδωλο φωτεινής πηγής, η οποία βρίσκεται σε απόσταση  $a > f$  από το φακό είναι πραγματικό και μπορούμε να το δούμε σε οθόνη.

Μετρώντας τα  $a$  και  $\beta$  υπολογίζουμε το  $f$ .

Η συσκευή, που θα χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της εστιακής απόστασης φακών, περιλαμβάνει μια βαθμολογημένη οριζόντια ράβδο στήριξης της φωτεινής πηγής, των φακών και της οθόνης (λευκό πέτασμα). Ως φωτεινή πηγή χρησιμοποιείται λαμπτήρας πυράκτωσης με τροφοδοτικό.

## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1) Τροφοδοτήστε με ρεύμα και ανάψτε το λαμπτήρα. Τοποθετείστε το φακό σε απόσταση περίπου 12cm από τον λαμπτήρα και μετακινήστε την οθόνη. Όταν σχηματισθεί καθαρό είδωλο στην οθόνη μετρήστε τα  $\alpha$  και  $\beta$ .

2.Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με τον φακό σε διαφορετική απόσταση από το λαμπτήρα (διαφορετικό  $\alpha$ ) άλλες 7 φορές. Τοποθετήστε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα 1.

$\alpha$ (cm)	$\beta$ (cm)	f (cm)	$\langle f \rangle$ (cm)	$\langle P \rangle$ (Dpt)

3.Από της μετρήσεις αυτές υπολογίστε την εστιακή απόσταση του φακού και σχολιάστε τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια υπολογίστε τη μέση τιμή της εστιακής απόστασης και την ισχύ σε διοπτρίες.

4. Να γίνει η γραφική παράσταση του  $(1/\alpha)$  ως συνάρτηση του  $(1/\beta)$  δηλ.  $(1/\alpha)=f(1/\beta)$ .Να υπολογισθεί η εστιακή απόσταση με τη βοήθεια της γραφικής παράστασης).

## ΠΡΟΣΟΧΗ

Στο πρόχειρό σας να σημειώνετε ακριβώς τις ενδείξεις που διαβάζετε στη ράβδο στήριξης. Θα σας βοηθήσει σε περίπτωση λάθους υπολογισμών.

**Τις μετρήσεις αυτές πρέπει να τις γράψετε και στο τετράδιό σας.**

## ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Αρχή Fermat. Αρχή Huygens. Διάθλαση. Φακοί. Συστήματα φακών. Σφάλματα φακών.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

*Alonso-Finn*, Πεδία και κύματα

*Halliday-Resnick*. Τόμος Β'

*Αλεξόπουλου*, Οπτική

*Θεοδοσίου*, Εισαγωγή στην Σύγχρονη Φυσική (Οπτική).