



Πολυτεχνείο Κρήτης
Εργαστήριο Δομής της Ύλης & Φυσικής Λείζερ



Φυσική II (Εργαστηριακές Ασκήσεις)

Εαρινό Εξάμηνο Ακαδ. Έτους 2019 - 20

Άσκηση 8 “Μελέτη φακών”



ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

- Δείκτης διάθλασης (Refractive Index) ενός υλικού ορίζεται ως:

$$n = c_0 / c$$

c_0 : Ταχύτητα της ακτινοβολίας στο κενό (αέρα)

c : Ταχύτητα της ακτινοβολίας στο υλικό

Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα μέτρο της οπτικής πυκνότητας των διηλεκτρικών.

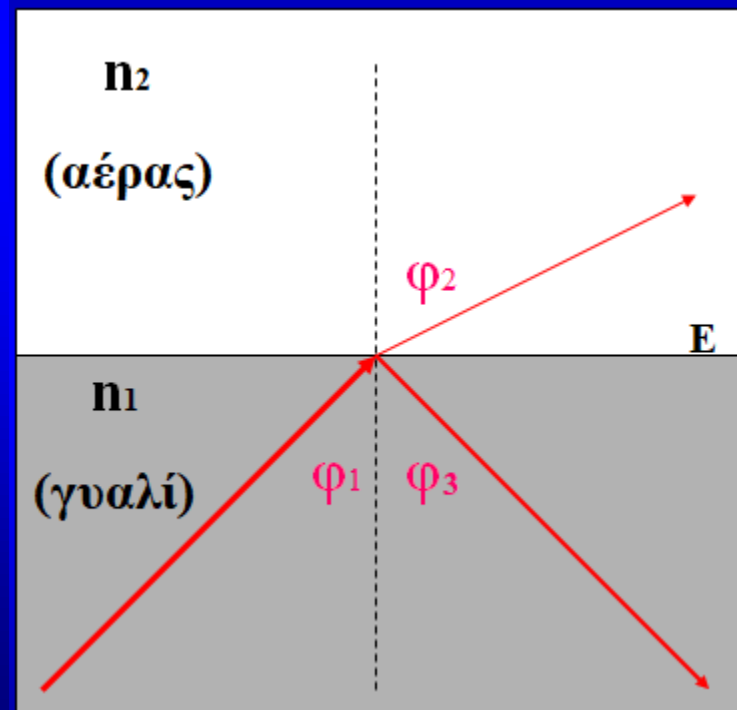
- **Ανάκλαση - Διάθλαση**

Έστω δύο διηλεκτρικά με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 , με $n_1 > n_2$, τα οποία βρίσκονται σε επαφή. Όταν μία ακτινοβολία διαδίδεται στο πρώτο μέσο (n_1) και προσπίπτει στη διαχωριστική τους επιφάνεια E με γωνία φ_1 ως προς τη κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης, θα παρατηρήσουμε ότι ένα μέρος της ακτίνας αυτής θα ανακλαστεί, όπου $\varphi_1 = \varphi_3$, και θα επιστρέψει στο ίδιο μέσο (**ανάκλαση**), ενώ το υπόλοιπο μέρος θα διέλθει στο άλλο μέσο (n_2) με διαφορετική διεύθυνση που σχηματίζει γωνία φ_2 με τη κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης (**διάθλαση**).

Για την διάθλαση ισχύει:

Νόμος του Snell

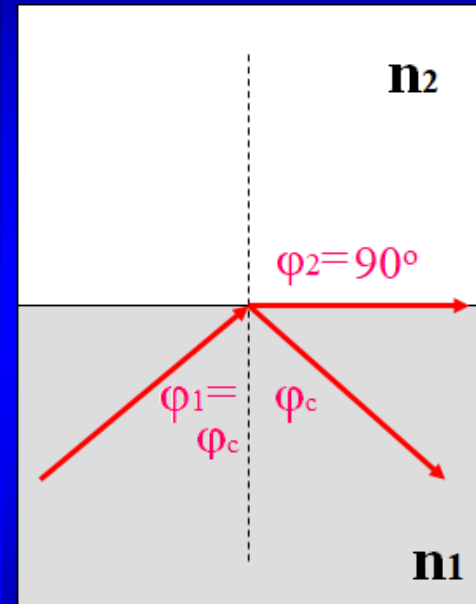
$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$$



$$n_1 > n_2$$

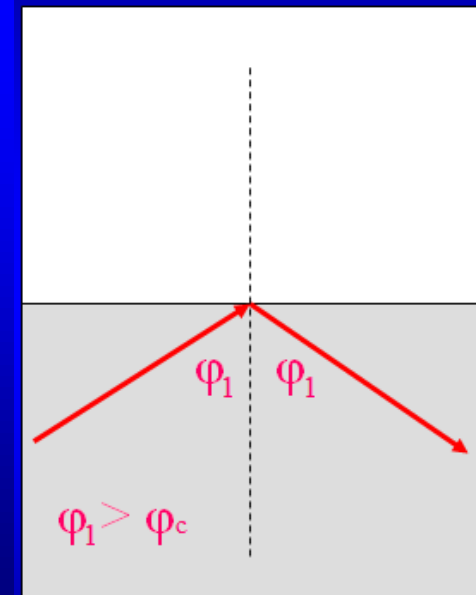
Ολική εσωτερική ανάκλαση

Υπάρχει μία κρίσιμη γωνία πρόσπτωσης φ_c , για την οποία η γωνία διάθλασης φ_2 γίνεται 90° και η οπτική ακτίνα διαδίδεται πλέον παράλληλα με τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο διηλεκτρικών μέσων.



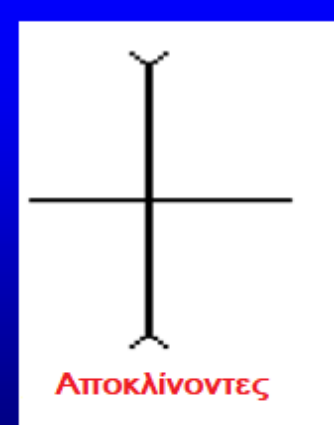
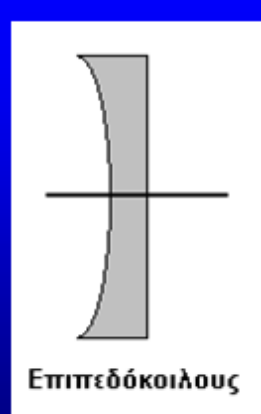
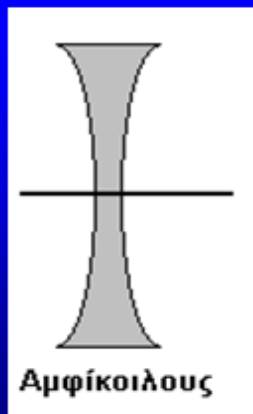
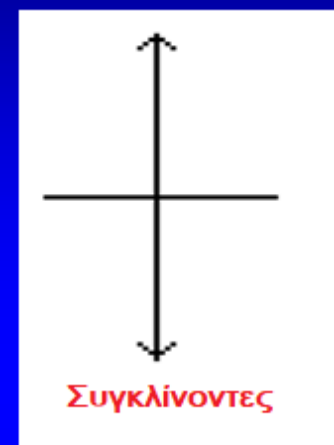
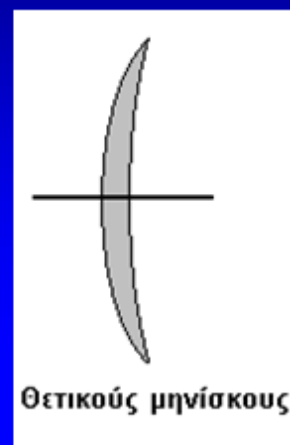
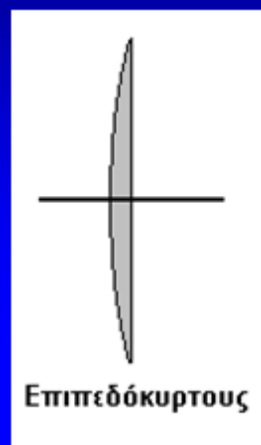
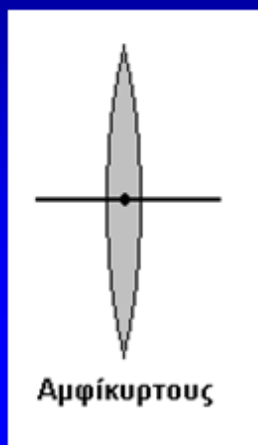
$$(n_1 > n_2)$$

Για γωνίες πρόσπτωσης φ_1 μεγαλύτερες από την οριακή γωνία φ_c η οπτική ακτινοβολία ανακλάται πίσω στο αρχικό διηλεκτρικό μέσο, (**ολική εσωτερική ανάκλαση**)



Φακοί

Ο φακός είναι ένα διαφανές αντικείμενο το οποίο περικλείεται μεταξύ δύο επιφανειών και του οποίου ο δείκτης διάθλασης είναι συνήθως μεγαλύτερος από τον δείκτη διάθλασης του μέσου εντός του οποίου τοποθετείται. Ανάλογα με τη μορφή που έχουν οι επιφάνειες αυτές, διακρίνουμε τους φακούς σε:



Οι συγκλίνοντες φακοί (converging lenses) έχουν την ιδιότητα να συγκεντρώνουν και να εστιάζουν σε σημείο κάθε δέσμη παραλλήλων ακτίνων που περνά μέσα από αυτούς.

Οι αποκλίνοντες φακοί (diverging lenses) έχουν την ιδιότητα να αποκλίνουν κάθε δέσμη παραλλήλων ακτίνων.

Μεγέθη που αφορούν στους φακούς

Ακτίνες καμπυλότητας. Οι ακτίνες αυτές αντιστοιχούν στις ακτίνες των σφαιρικών επιφανειών του φακού και συμβολίζονται συνήθως με R_1 και R_2 .

Κύριος άξονας του φακού. Είναι ο άξονας συμμετρίας του φακού και αντιστοιχεί στην ευθεία που συνδέει τα κέντρα καμπυλότητας.

Οπτικό κέντρο του φακού. Είναι το σημείο εκείνο του φακού από το οποίο, αν περάσει μια φωτεινή ακτίνα, αυτή δεν παθαίνει καμία εκτροπή.

Δευτερεύον άξονας του φακού. Κάθε ευθεία που διέρχεται από το οπτικό κέντρο του φακού ονομάζεται δευτερεύων άξονας του φακού.

Κυρία εστία φακού. Είναι το σημείο, πάνω στον κύριο άξονα, στο οποίο συγκλίνει μια δέσμη φωτεινών ακτίνων, παράλληλων προς τον κύριο άξονα, αφού περάσει μέσα από το φακό. Κάθε φακός έχει δύο κύριες εστίες.

Δευτερεύουσα εστία φακού. Κάθε φωτεινή ακτίνα που είναι παράλληλη με κάποιο δευτερεύοντα άξονα του φακού και διέρχεται μέσα απ' αυτόν συγκλίνει σε συγκεκριμένο σημείο πάνω στο δευτερεύοντα αυτό άξονα. Το σημείο αυτό ονομάζεται δευτερεύουσα εστία φακού.

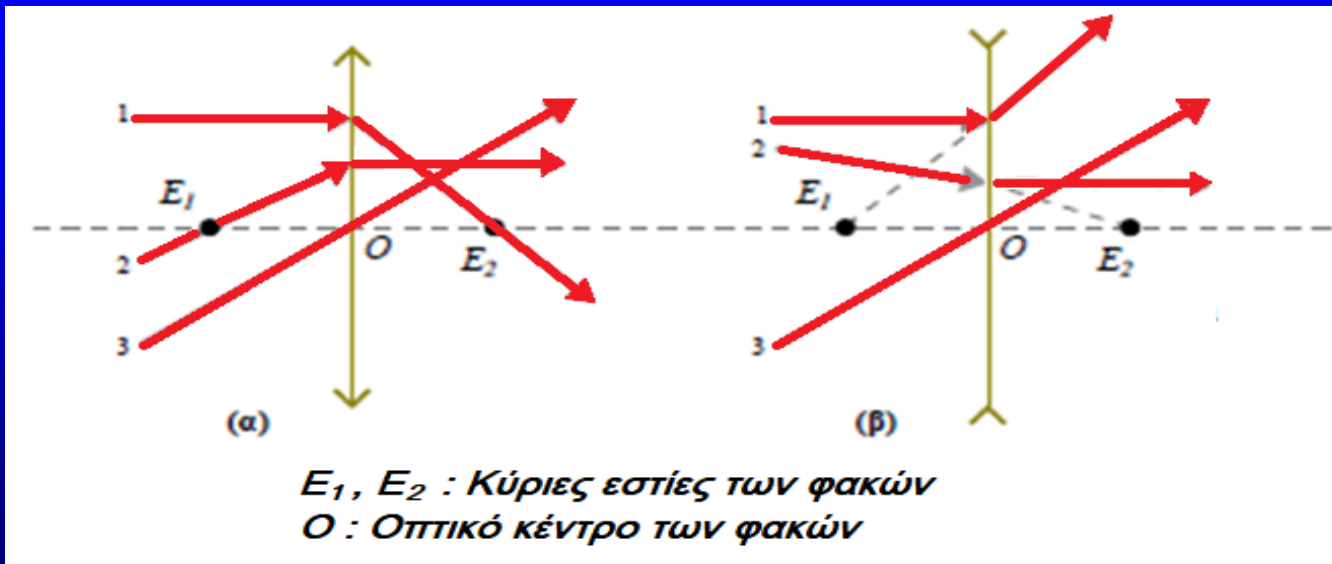
Εστιακό επίπεδο. Σε κάθε δευτερεύοντα άξονα του φακού, ο οποίος σχηματίζει μικρή γωνία με τον κύριο άξονα, αντιστοιχεί και μία δευτερεύουσα κυρία εστία. Ο γεωμετρικός τόπος όλων των δευτερευουσών εστιών ορίζει το εστιακό επίπεδο του φακού. Κάθε φακός έχει δύο εστιακά επίπεδα.

Εστιακή απόσταση. Είναι η απόσταση της κυρίας εστίας από το οπτικό κέντρο του φακού. Συμβολίζεται συνήθως με το γράμμα f .

Λεπτός φακός. Έτσι χαρακτηρίζεται ένας φακός που η απόσταση ανάμεσα στις επιφάνειές του είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις ακτίνες καμπυλότητάς του

Πορεία φωτεινών ακτίνων που διέρχονται από φακό

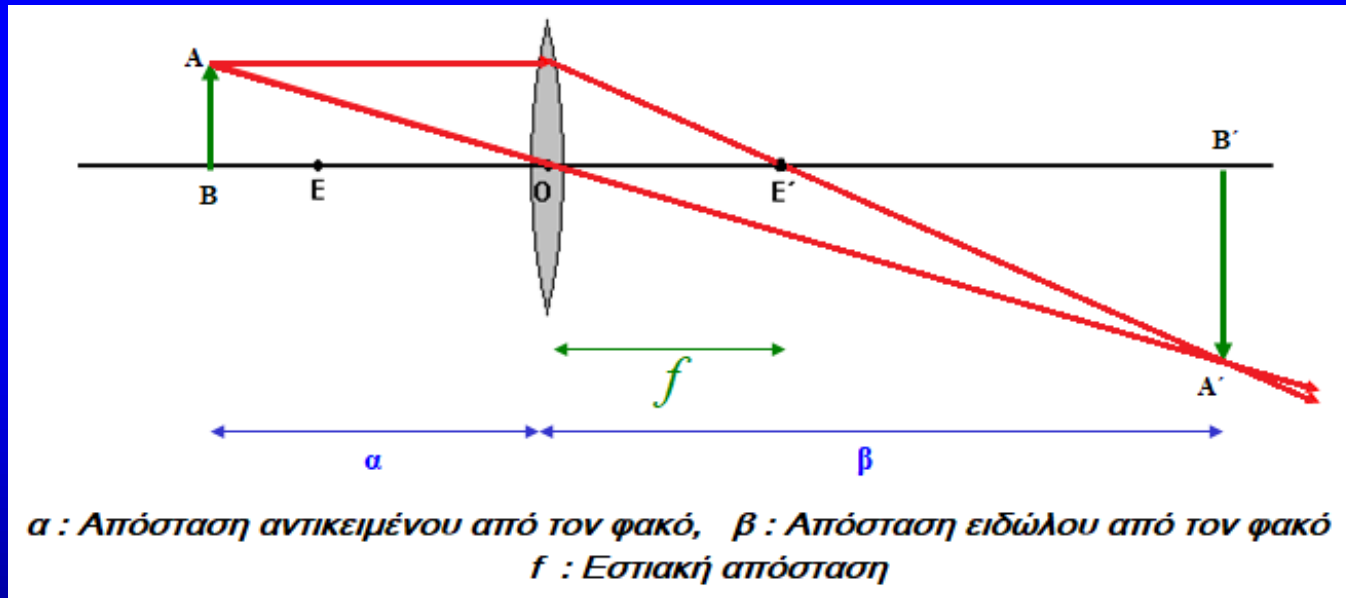
- Κάθε φωτεινή ακτίνα που προσπίπτει σε συγκλίνοντα φακό και είναι παράλληλη με τον κύριο άξονα αυτού, εκτρέπεται κατά την έξοδο της από το φακό και περνά από την κυρία εστία του (ακτίνα 1 στο σχήμα α).
- Αν ο φακός είναι αποκλίνων, από την κυρία εστία περνά η προέκταση της εξερχόμενης ακτίνας (ακτίνα 1 στο σχήμα β).
- Κάθε φωτεινή ακτίνα που διέρχεται η ίδια, ή η προέκτασή της, από μια κυρία εστία του φακού, κατά την έξοδο της από το φακό είναι παράλληλη με τον κύριο άξονα (ακτίνα 2 στα σχήματα α και β).
- Κάθε φωτεινή ακτίνα που διέρχεται από το οπτικό κέντρο του φακού δεν υφίσταται καμία εκτροπή (ακτίνα 3 στα σχήματα α και β)



Προσδιορισμός ειδώλου σε συγκλίνοντα φακό

Περίπτωση της Εργαστηριακής άσκησης όπου η απόσταση α του αντικειμένου AB από τον φακό είναι μεγαλύτερη από τη εστιακή απόσταση f .

Για να βρούμε τη θέση του ειδώλου A' του σημείου A, χρησιμοποιούμε δύο χαρακτηριστικές ακτίνες που προέρχονται από την πηγή A. Η μία είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα και, επομένως, μετά την έξοδο της από το φακό εκτρέπεται και περνά από την κυρία εστία του και η άλλη περνά από το οπτικό κέντρο του φακού και, επομένως, δεν υφίσταται καμία εκτροπή. Το είδωλο ταυτίζεται με το σημείο τομής των δύο αυτών φωτεινών ακτίνων.



Ισχύει ότι:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta}$$

Μεγέθυνση ειδώλου:

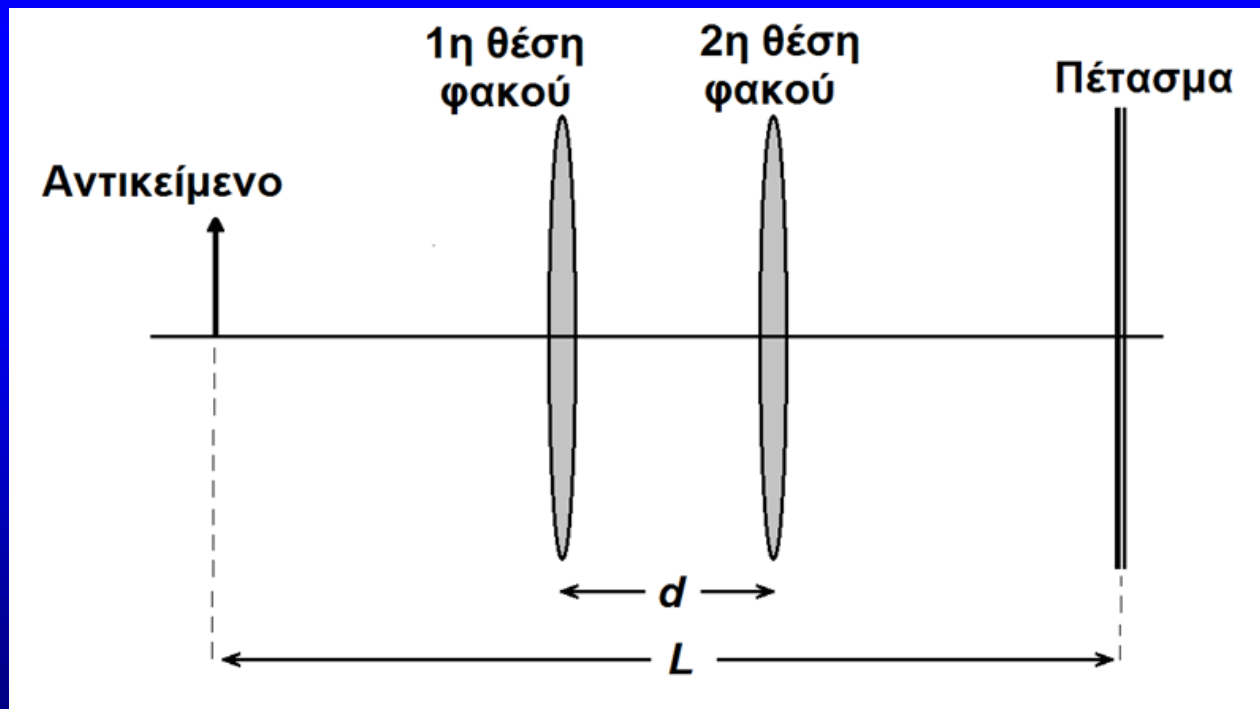
$$M = \frac{A'B'}{AB} = - \frac{\beta}{\alpha}$$

Μέθοδος Bessel

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την εστιακή απόστασης f . Στη μέθοδο Bessel το αντικείμενο και πέτασμα πάνω στο οπτικό σχηματίζεται το είδωλο απέχουν μία σταθερή απόσταση L . Το πείραμα διεξάγεται για μια απόσταση

$5f > L > 4f$. Υπάρχουν δύο θέσεις του φακού για τις οποίες το είδωλο σχηματίζεται καθαρά πάνω στο πέτασμα.

Έστω d η απόσταση των δύο διαφορετικών θέσεων του φακού.



Ισχύει ότι:

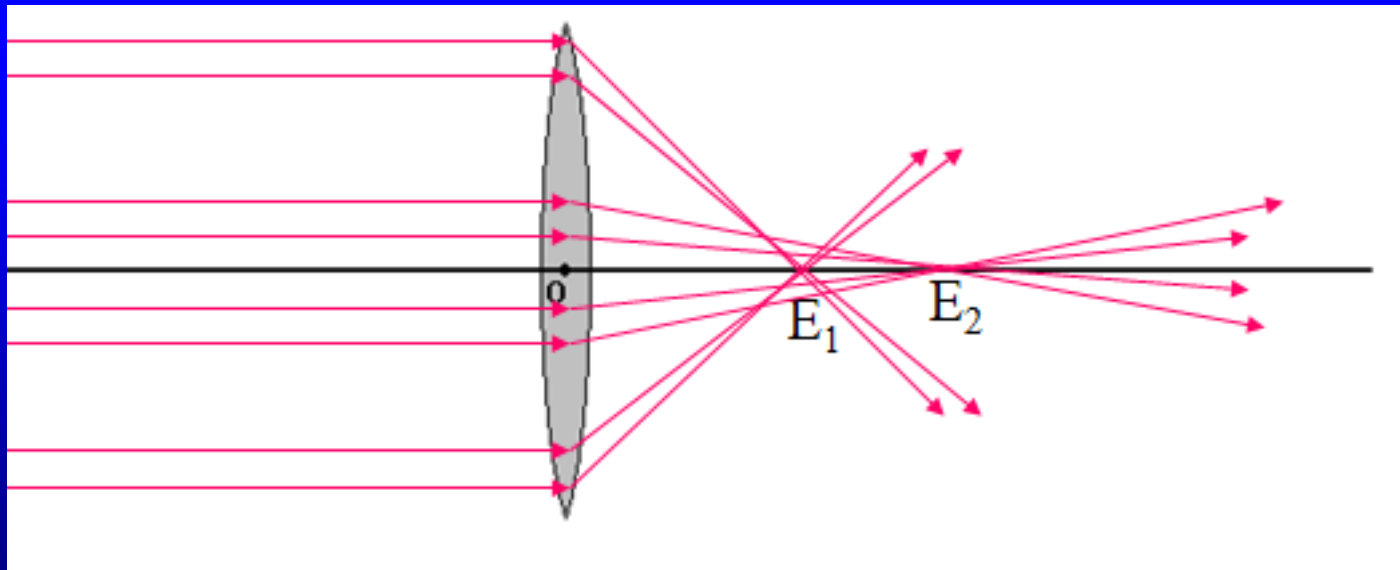
$$\frac{1}{f} = \frac{4L}{(L^2 - d^2)}$$

$$\Rightarrow f = \frac{(L^2 - d^2)}{4L}$$

Σφάλματα φακών

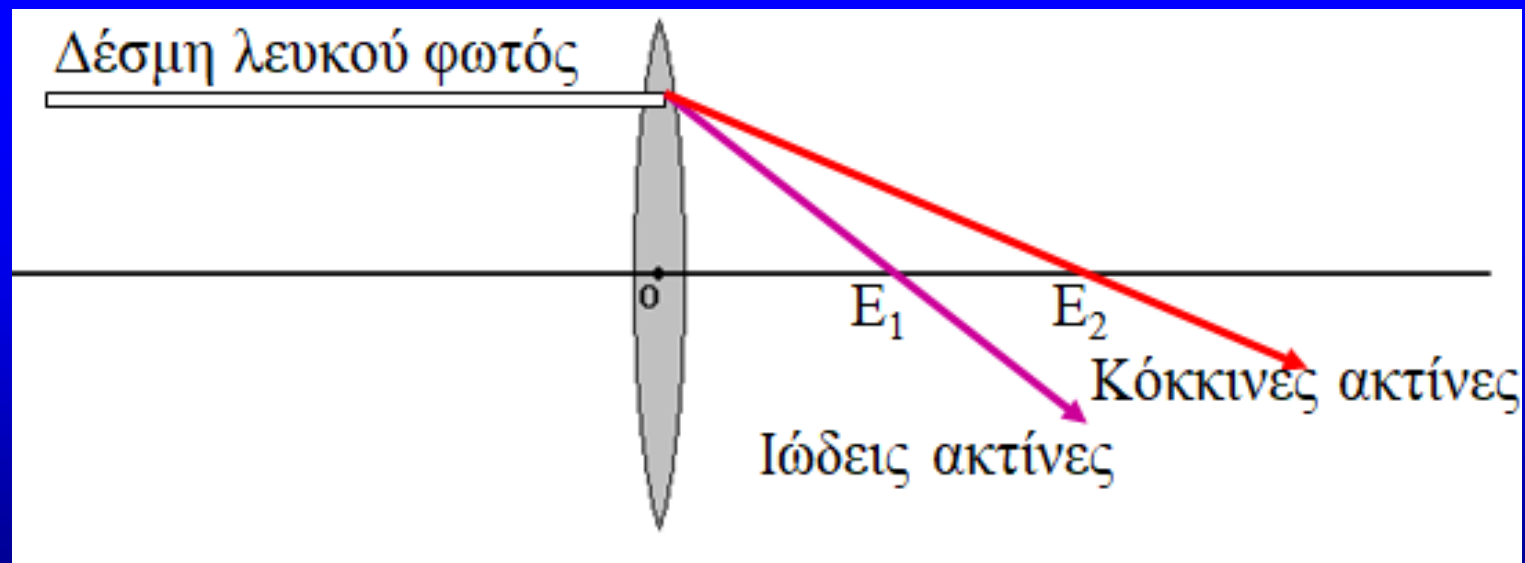
1. Σφάλμα σφαιρικής εκτροπής

Λόγω του ότι το πάχος του φακού είναι μικρότερο στην περιφέρεια του από ότι στην περιοχή γύρω από το οπτικό κέντρο, προκύπτει ότι οι παράλληλες φωτεινές ακτίνες που διέρχονται από περιοχή που βρίσκεται πλησίον του οπτικού κέντρου θα εστιάζουν σε σημείο διαφορετικό από το σημείο στο οποίο εστιάζουν οι φωτεινές ακτίνες που διέρχονται από περιοχή που βρίσκεται πλησίον της περιφέρειας του φακού.



2. Σφάλμα χρωματικής εκτροπής

Το σφάλμα αυτό εμφανίζεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου η φωτεινή δέσμη αποτελείται από φωτεινές ακτίνες με διαφορετικά μήκη κύματος. Στην περίπτωση αυτή το υλικό του φακού θα έχει διαφορετικό δείκτη διάθλασης για κάθε μήκος κύματος, με τελικό αποτέλεσμα οι ακτίνες με διαφορετικό μήκος κύματος να εστιάζουν σε διαφορετικά σημεία, π.χ. οι ιώδεις ακτίνες θα έχουν σα κύρια εστία την E_1 ενώ οι κόκκινες την E_2 ,



Απαραίτητα όργανα

1. Οπτική τράπεζα.
2. Πέτασμα.
3. Συγκεντρωτικός φακός.
4. Φωτεινή πηγή (Λαμπτήρας πυράκτωσης).
5. Διάφραγμα με δακτύλιο και οπή.
6. Φίλτρο κόκκινο και φίλτρο μπλε με βάση στήριξης.

Πειραματική διάταξη



Εκτέλεση της άσκησης

8.3 Πείραμα 1.

Σκοπός του πειράματος:

Υπολογισμός της εστιακής απόστασης ενός συγκεντρωτικού (συγκλίνοντα) φακού.

Μετρήσεις

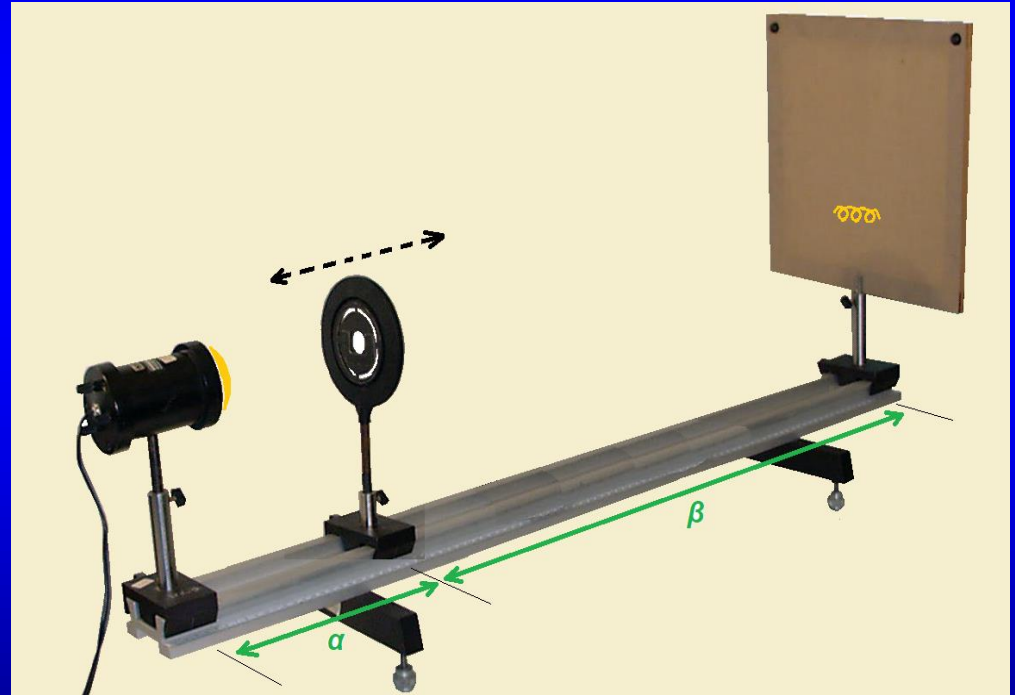
8.3.3.1 Υπολογισμός της εστιακής απόστασης f ενός συγκεντρωτικού φακού

1. Θεωρούμε σαν αντικείμενο τις σπείρες του λαμπτήρα της φωτεινής πηγής.

Τοποθετούμε το πέτασμα στην άκρη της οπτικής τράπεζας, πλησιάζουμε το φακό στη φωτεινή πηγή και αρχίζουμε να τον απομακρύνουμε από αυτήν έως ότου λάβουμε πάνω στο πέτασμα όσο το δυνατόν πιο καθαρά το είδωλο των σπειρών του νήματος της λυχνίας.

2. Μετράμε τις αποστάσεις α και β σε cm (ακρίβεια μέτρησης $\pm 0,1\text{cm}$), όπου α η απόσταση φακού αντικειμένου, δηλαδή σπειρών, και β η απόσταση φακού ειδώλου, δηλαδή του πετάσματος.

3. Χωρίς να αλλάξουμε τη θέση της φωτεινής πηγής, μετακινούμε το πέτασμα σε οκτώ διαφορετικές θέσεις, επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία.



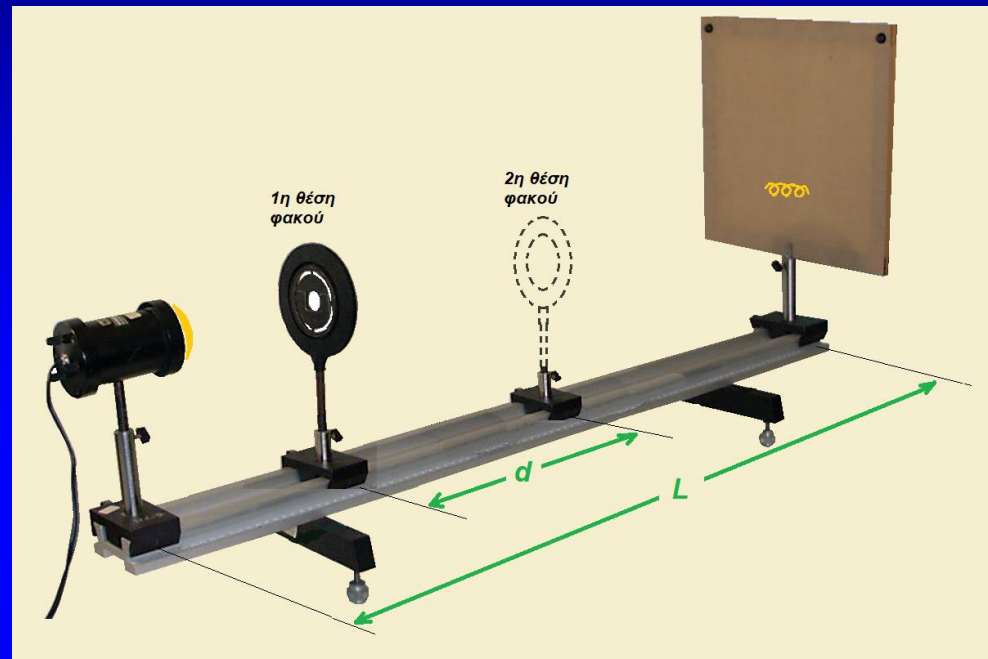
Πέρνουμε τον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

Πίνακας μετρήσεων 8.1

α (cm)	β (cm)
21,2	74,8
21,8	69,3
22,3	63,7
22,9	58,1
23,9	52,1
24,9	46,1
27,0	39,0
31,7	29,3

8.3.3.2 Υπολογισμός με τη μέθοδο Bessel

1. Τοποθετούμε το πέτασμα σε απόσταση L από το αντικείμενο(σπείρες λαμπτήρα) .
2. Βρίσκουμε τις δύο θέσεις του φακού για τις οποίες το είδωλο του αντικειμένου σχηματίζεται καθαρά πάνω στο πέτασμα και οι οποίες απέχουν απόσταση d .
3. Μετράμε τις αποστάσεις L και d .
4. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για δύο ακόμη διαφορετικές τιμές του L .



Πέρνουμε τον πίνακα μετρήσεων:

L (cm)	d (cm)
74,0	30,3
70,0	25,4
68,0	21,5

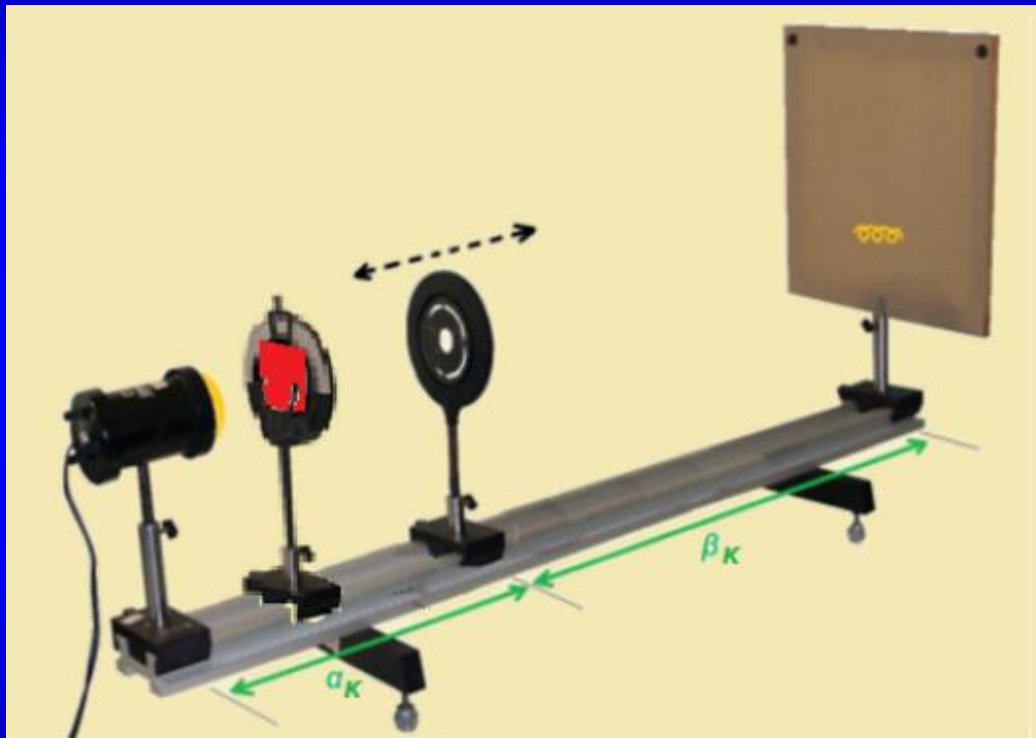
8.4 Πείραμα 2.

Σκοπός του πειράματος:

Μέτρηση της χρωματικής εκτροπής, μέτρηση του σφάλματος της σφαιρικής εκτροπής.

8.4.3.1 Χρωματικό σφάλμα φακών

1. Τοποθετούμε, μπροστά από τη λυχνία, σε μικρή απόσταση, το κόκκινο φίλτρο.
2. Πλησιάζουμε το φακό προς το πέτασμα και εστιάζουμε προσεκτικά, έως ότου λάβουμε πάνω στο πέτασμα όσο το δυνατόν πιο καθαρά το είδωλο των σπειρών του νήματος της λυχνίας.
3. Μετράμε την απόσταση φακού – αντικειμένου, δηλαδή φακού – σπειρών, α_K και την απόσταση φακού – ειδώλου, δηλαδή φακού – πετάσματος, β_K .
4. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία, αντικαθιστώντας το κόκκινο με το μπλε φίλτρο, και μετράμε τις αντίστοιχες αποστάσεις α_μ και β_μ .



Πέρνουμε τις μετρήσεις:

$$\alpha_K = 23,2 \text{ cm} \quad \text{και} \quad \beta_K = 58,0 \text{ cm}$$

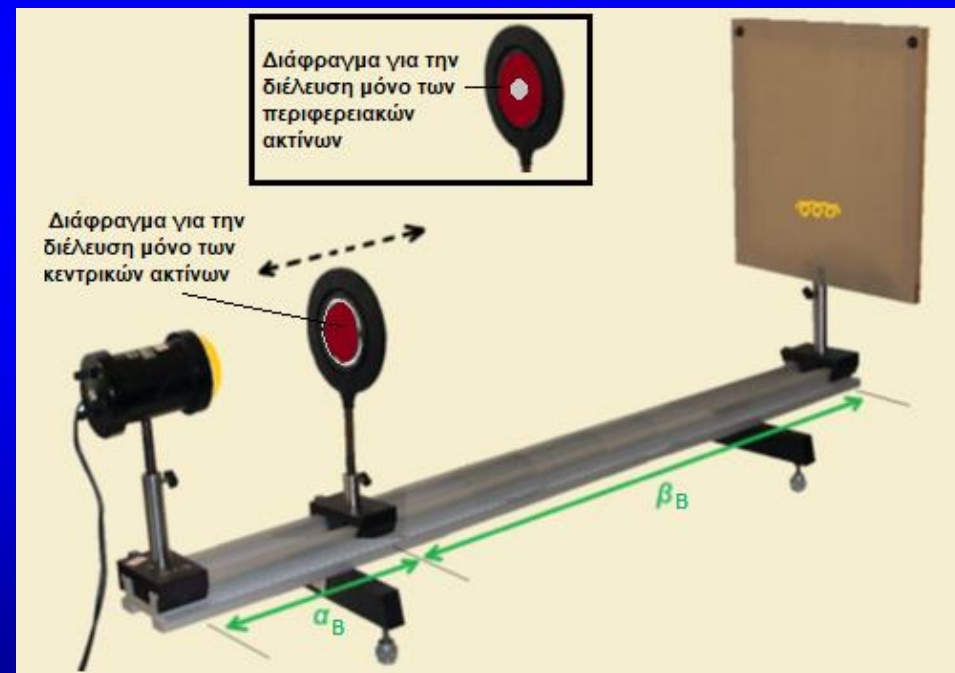
$$\alpha_\mu = 22,7 \text{ cm} \quad \text{και} \quad \beta_\mu = 58,4 \text{ cm}$$

8.4.3.2 Σφάλμα σφαιρικής εκτροπής

1. Πάνω στο φακό τοποθετούνται κατάλληλα διαφράγματα, έτσι ώστε να επιτρέπεται η διέλευση μόνο των περιφερειακών ή μόνο των κεντρικών ακτίνων. Έχοντας μόνο τη λυχνία, το φακό και το πέτασμα πάνω στην οπτική τράπεζα, κλείνουμε την κεντρική περιοχή του φακού, τοποθετώντας στο κέντρο του το κατάλληλο διάφραγμα, έτσι ώστε από το φακό να διέρχονται μόνο οι μόνο οι περιφερειακές ακτίνες.

3. Αρχίζουμε να πλησιάζουμε (ή να απομακρύνουμε) σιγά–σιγά το φακό προς το πέτασμα και εστιάζουμε προσεκτικά έως ότου λάβουμε πάνω στο πέτασμα όσο το δυνατόν πιο καθαρά το είδωλο των σπειρών του νήματος της λυχνίας.

4. Μετάμε την απόσταση φακού – αντικειμένου, δηλαδή φακού – σπειρών, α_B , και την απόσταση φακού – ειδώλου, δηλαδή φακού – πετάσματος, β_B .



5. Ελευθερώνουμε την κεντρική περιοχή του φακού, αφαιρώντας το διάφραγμα και στην συνέχεια κλείνουμε την περιφερειακή περιοχή του φακού, τοποθετώντας το αντίστοιχο κατάλληλο διάφραγμα, έτσι ώστε από το φακό να διέρχονται μόνο οι κεντρικές ακτίνες. 6. Εστιάζουμε και πάλι προσεκτικά έως ότου λάβουμε πάνω στο πέτασμα όσο το δυνατόν πιο καθαρά το είδωλο των σπειρών του νήματος της λυχνίας. 7. Μετράμε και στην περίπτωση αυτή την απόσταση φακού – αντικειμένου, δηλαδή φακού – σπειρών, α_A , και την απόσταση φακού – ειδώλου, δηλαδή φακού – πετάσματος, β_A .

Πέρνουμε τις παρακάτω μετρήσεις:

$$\alpha_B = 18,2 \text{ cm} \quad \text{και} \quad \beta_B = 67,8 \text{ cm}$$

$$\alpha_A = 24,3 \text{ cm} \quad \text{και} \quad \beta_A = 68,6 \text{ cm}$$

Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ) ΣΕ ΚΑΘΕ
ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ ΘΑ
ΓΙΝΕΙ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΟΥ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΒΙΒΛΙΟ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ
ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΙ ΚΑΙ ΑΚΟΛΟΥΘΩΝΤΑΣ ΤΙΣ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΥ
ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΟΝ ΦΑΚΕΛΟ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΙ,
ΣΤΟ ECLASS ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ