
ΛΕΠΤΟΙ ΦΑΚΟΙ

ΠΑΤΡΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2025

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

- 1** Σκοπός
- 2** Εισαγωγή
- 3** Θεωρία
 - 3.1** Οπτικοί φακοί
 - 3.2** Σχηματισμός πραγματικού ειδώλου
 - 3.3** Σχηματισμός φανταστικού ειδώλου
- 4** Πειραματική διάταξη
- 5** Πειραματική διαδικασία
 - 5.1** Μέρος 1: Εξίσωση των Λεπτών Φακών
 - 5.2** Μέρος 2: Μεγέθυνση και Σμίκρυνση
- 6** Σύνοψη ατομική έκθεση
- 7** Βιβλιογραφία

1 Σκοπός

Σε αυτήν την άσκηση ο φοιτητής χειρίζεται βασικά οπτικά όργανα όπως είναι οι λεπτοί φακοί. Θα υπολογισθεί η εστιακή απόσταση f δυο συγκλινόντων φακών μέσω της εξίσωσης των λεπτών φακών.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

λεπτοί φακοί, συγκλινόντες ή συγκεντρωτικοί φακοί, αποκλινόντες ή αποκεντρωτικοί φακοί, εστιακό σημείο, πραγματικό είδωλο, φανταστικό είδωλο, μεγέθυνση, διάθλαση, εξίσωση λεπτών φακών

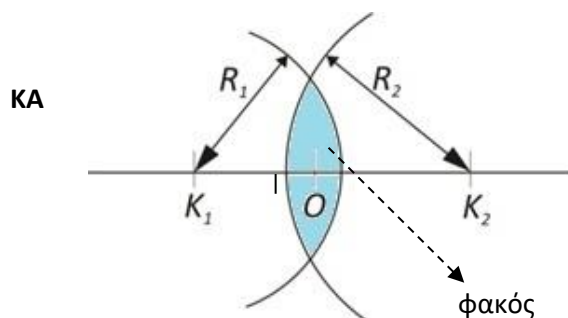
2 Εισαγωγή

Οι λεπτοί φακοί βρίσκουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στην καθημερινότητα όπως π.χ. φωτογράφιση, προβολείς, διορθωτικοί φακοί κ.τ.λ. καθώς σε τεχνικές χαρακτηρισμού υλικών για την εστίαση δεσμών ακτινοβολίας.

3 Θεωρία

3.1 Οπτικοί φακοί

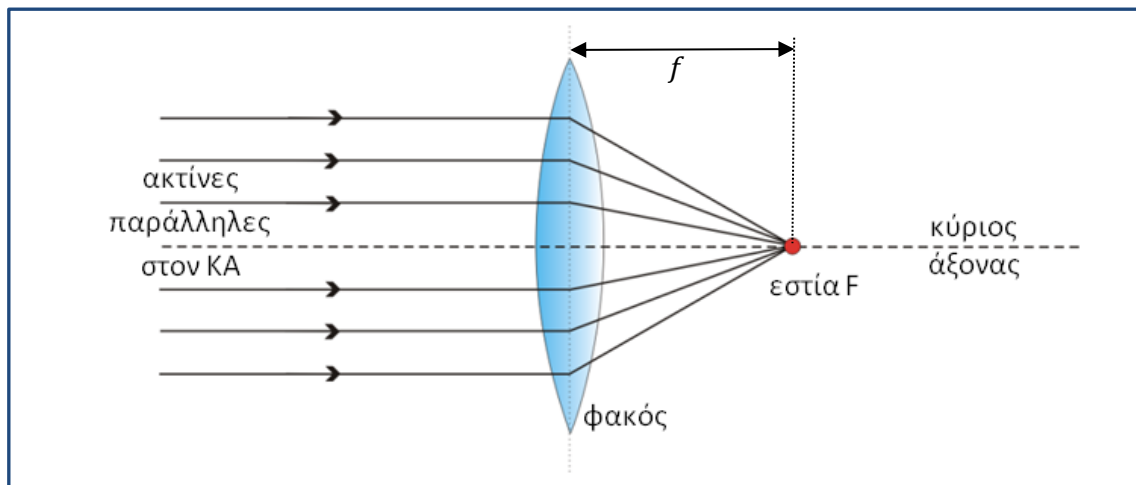
Οι φακοί είναι οπτικά μέσα που αποτελούνται από διαφανές υλικό (γυαλί, Plexiglas ή πολυμερές) το οποίο περιορίζεται μεταξύ δυο διαθλαστικών επιφανειών, είτε δυο σφαιρικών με αντίθετες καμπυλότητες είτε μιας σφαιρικής και μιας επίπεδης. Στο σχήμα 1 φαίνονται οι δυο ακτίνες καμπυλότητας R_1 και R_2 του φακού στην περίπτωση των δυο σφαιρικών επιφανειών. Εάν μια από αυτή είναι επίπεδη, τότε η αντίστοιχη ακτίνα είναι άπειρου μήκους. Η ευθεία γραμμή που ενώνει τα δυο κέντρα καμπυλότητας K_1 και K_2 λέγεται κύριος άξονας ΚΑ (ή οπτικός άξονας) του φακού. Το σημείο Ο είναι το οπτικό κέντρο του φακού, που βρίσκεται επάνω στον κύριο άξονα και σε απόσταση από τις επιφάνειες του φακού τέτοια, που ν' αντιστοιχεί στην αναλογία μεγέθους των R_1 και R_2 .



Σχήμα 1: Οι ακτίνες καμπυλότητας (R_1 , R_2) το οπτικό κέντρο (Ο) και ο κύριος άξονας (ΚΑ) του φακού.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, όταν μια ομάδα φωτεινών ακτινών οι οποίες είναι όλες παράλληλες προς τον κύριο άξονα (Κ.Α.) του φακού διέλθουν διαμέσου του, τότε συγκλίνουν προς ένα εξωτερικό σημείο F που ονομάζεται «εστία» του φακού ή «εστιακό σημείο». Στην

πραγματικότητα, μόνο οι ακτίνες που είναι κοντά στον Κ.Α. συγκλίνουν σε αυτό το σημείο αλλά αυτό διορθώνεται με φακούς με παραβολοειδές σχήμα. Εντούτοις, η θεώρηση μιας σφαιρικής επιφάνειας διευκολύνει πολύ τους υπολογισμούς και καταλήγει σε απλές εξισώσεις. Τέτοιου είδους φακοί όπου οι φωτεινές ακτίνες συγκλίνουν σε ένα σημείο ονομάζονται «**συγκλίνοντες**». Η απόσταση μεταξύ του κέντρου του φακού και του σημείου F ονομάζεται «**εστιακή απόσταση**» και συμβολίζεται με το γράμμα f . Εάν οι ακτίνες στο Σχήμα 2 προσέπιπταν από την δεξιά μεριά του φακού, τότε θα συνέκλιναν σε ένα εξωτερικό σημείο, έστω F' στα αριστερά του φακού το οποίο θεωρείται επίσης «εστία» και ισαπέχει από το κέντρο του φακού σε σχέση με το F, δηλαδή η εστιακή απόσταση του φακού είναι συμμετρικά η ίδια από όποια μεριά και να δούμε το φακό.



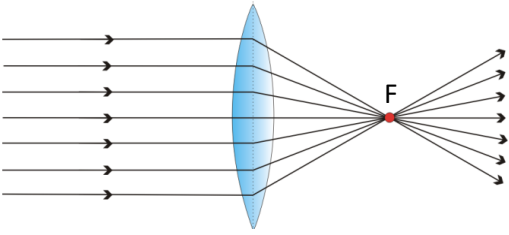
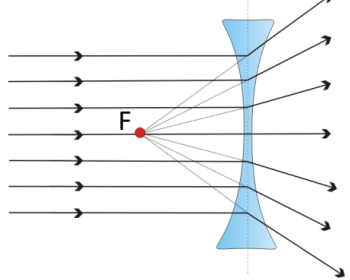
Σχήμα 2: Συγκλίνοντες ή συγκεντρωτικοί φακοί

Μια χρήσιμη εξίσωση που συνδέει τις ακτίνες καμπυλότητας, R_1 και R_2 με τον δείκτη διάθλασης n του φακού και με την εστιακή του απόσταση f είναι η παρακάτω:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

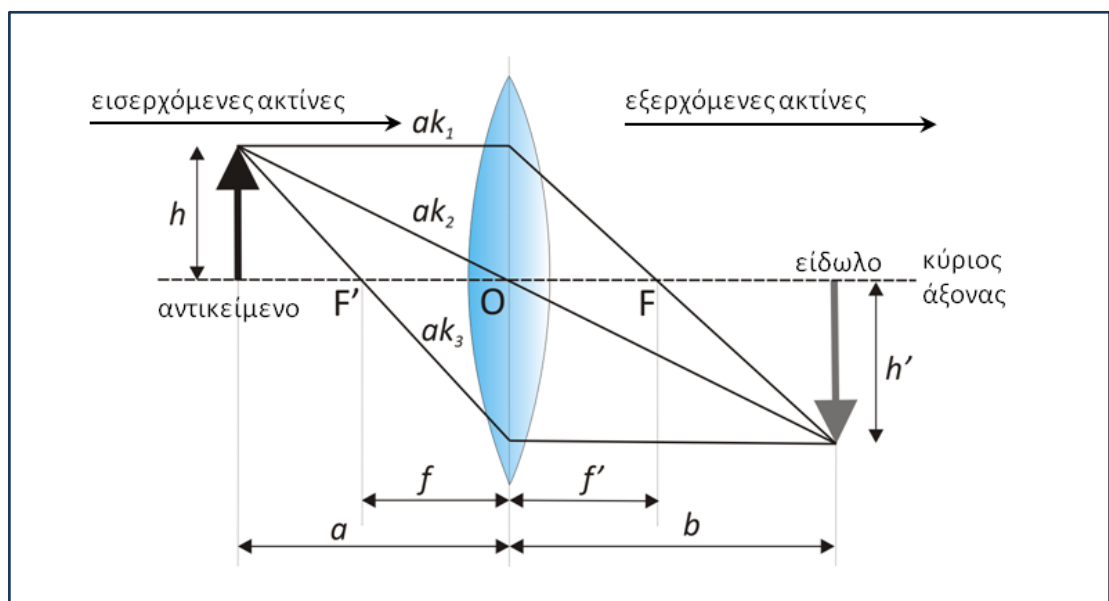
Εκτός από τους συγκλίνοντες υπάρχουν και αποκλίνοντες φακοί όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1 όπου συγκρίνονται τα δυο είδη φακών. Στην πράξη χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι λεπτοί φακοί στους οποίους το πάχος τους είναι πολύ μικρότερο από την ακτίνα καμπυλότητάς τους.

Πίνακας 1: Οι δυο βασικοί τύποι φακών

Συγκλίνοντες ή συγκεντρωτικοί φακοί	Αποκλίνοντες ή αποκεντρωτικοί φακοί
- παχύτεροι στο κέντρο, λεπτότεροι στα άκρα. - Οι ακτίνες εστιάζουν (συγκλίνουν) σε ένα σημείο F - το εστιακό σημείο (ή εστία).	- πιο λεπτοί στο κέντρο, παχύτεροι στα άκρα - Οι ακτίνες δεν εστιάζουν αλλά εμφανίζονται ως να προέρχονται από ένα κοινό σημείο, F – επίσης γνωστό ως εστιακό σημείο ή εστία).
	

3.2 Σχηματισμός πραγματικού ειδώλου

Στο υπόλοιπο της Θεωρίας, θα θεωρήσουμε μόνο συγκλίνοντες φακούς. Έστω στο Σχήμα 3 παρακάτω ένα αντικείμενο όπως το βέλος ύψους h σε απόσταση a από το φακό όπως. Εάν κοιτάξουμε από την άλλη μεριά του φακού προς το αντικείμενο ή τοποθετήσουμε ένα πέτασμα, θα δούμε ότι θα σχηματιστεί ένα είδωλο του αντικειμένου σε απόσταση b από το φακό, είτε με την ίδια κατακόρυφη φορά με το αντικείμενο είτε με ανάστροφη, όπως το είδωλο στο Σχήμα, και γενικά με διαφορετικό ύψος h' από το αντικείμενο.



Σχήμα 3: Γραφικός προσδιορισμός της θέσης και του μεγέθους πραγματικού ειδώλου

Οποιοδήποτε σημείο του αντικειμένου, όπως η κορυφή του βέλους, εκπέμπει οπτικές ακτίνες προς όλες τις κατευθύνσεις, είτε δικό του φως (αυτόφωτο σώμα, π. χ. λαμπάκι) είτε από ανάκλαση του φωτός (ετερόφωτο). Υπάρχουν όμως τρεις κύριες ακτίνες που μας βοηθάνε να σχεδιάσουμε το είδωλο. Αυτές είναι οι εξής:

ak_1 Η ακτίνα που οδεύει παράλληλα προς τον κύριο άξονα, που όπως προαναφέραμε θα περάσει από την εστία F του φακού

ak_2 Η ακτίνα που περνάει από το κέντρο O του φακού, λόγω συμμετρίας δεν θα διαθλαστεί και έτσι θα συνεχίσει ευθύγραμμα σαν να μην υπήρχε ο φακός εκεί.

ak_3 Η ακτίνα που διέρχεται από το εστιακό σημείο F' , θα διαθλαστεί παράλληλα προς τον κύριο άξονα (θυμηθείτε ότι οι φακοί είναι συμμετρικοί ως προς F και F' και επομένως και οι ak_1 και ak_3 είναι συμμετρικές μεταξύ τους).

Στο σημείο όπου συναντιούνται οι τρεις αυτές ακτίνες, σχηματίζεται ευκρινώς το είδωλο της μύτης του βέλους. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε γραφικά να αναπαράγουμε όλο το είδωλο. Για τους λεπτούς φακούς ισχύει ο παρακάτω «τύπος των λεπτών φακών» που συνδέει την εστιακή απόσταση f και τις αποστάσεις a και b του αντικειμένου και του ειδώλου αντίστοιχα

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{a+b}{a \times b} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Προσέξτε ότι η παραπάνω σχέση είναι συμμετρική ως προς την εναλλαγή $b \leftrightarrow a$. Π.χ. έστω ότι για ένα αντικείμενο ισχύει $a = 8/3$ και $b = 8$ (όλα σε cm). Τότε από τον τύπο των λεπτών φακών παίρνουμε

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{3}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \Rightarrow f = 2 \text{ cm}$$

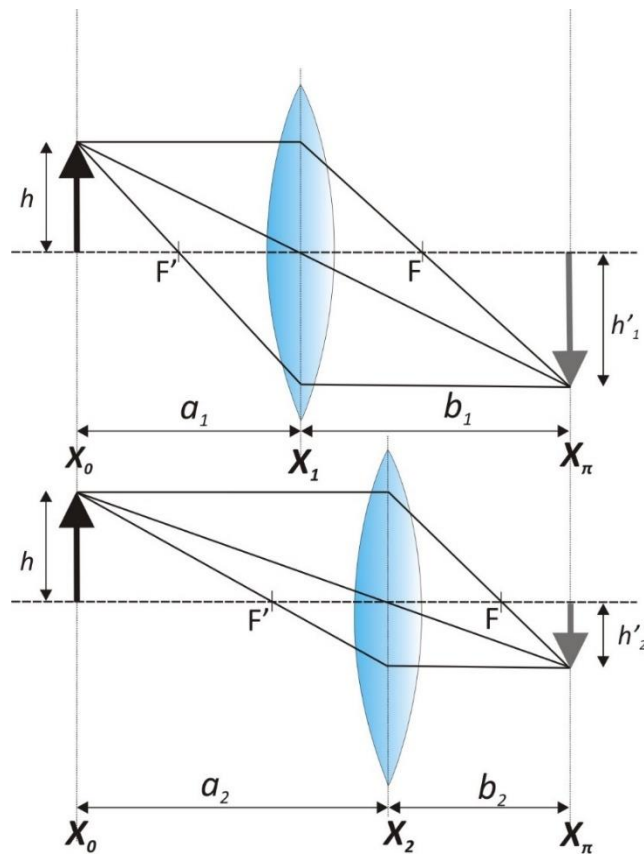
Εάν εναλλάξουμε τις τιμές των a και b , δηλαδή εάν $a = 8$ και $b = 8/3$ τότε και πάλι παίρνουμε

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{8} + \frac{3}{8} = \frac{1}{2} \Rightarrow f = 2 \text{ cm}$$

Επομένως για ένα δεδομένο αντικείμενο, μετακινώντας τον φακό σε διάφορα σημεία κατά μήκος του οπτικού του άξονα, θα σχηματισθεί ένα ευκρινές είδωλο σε δυο διαφορετικές θέσεις (Σχήμα 4).

Στους φακούς χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες συμβάσεις πρόσημων. Η απόσταση του αντικειμένου a εκλαμβάνεται πάντοτε ως θετική ενώ η εστιακή απόσταση ενός συγκλίνοντα φακού είναι πάντοτε θετική ενώ του αποκλίνοντα πάντοτε αρνητική. Η απόσταση του ειδώλου b είναι θετική όταν το είδωλο σχηματίζεται από την αντίθετη μεριά του αντικειμένου (ως προς τον φακό) ενώ είναι αρνητική όταν το είδωλο σχηματίζεται στην ίδια μεριά με το αντικείμενο. Το ύψος του αντικειμένου h εκλαμβάνεται πάντοτε ως θετικό ενώ το ύψος του ειδώλου h' είναι αρνητικό για ανεστραμμένο

είδωλο και θετικό για ορθό είδωλο (για περισσότερες λεπτομέρειες και παραδείγματα, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης παραπέμπεται στο βιβλίο Φυσικής II ή τις σημειώσεις του κ. Κουζούδη στο eclass).



Σχήμα 4: Γραφικός προσδιορισμός της θέσης και του μεγέθους πραγματικού ειδώλου για μεγέθυνση και για σμίκρυνση.

Όπως προαναφέρθηκε, το μέγεθος του ειδώλου είναι γενικά διαφορετικό από το μέγεθος του αντικειμένου. Όταν το είδωλο είναι μεγαλύτερο από το αντικείμενο, τότε μιλάμε για **μεγέθυνση** ενώ στην αντίθετη περίπτωση μιλάμε για **σμίκρυνση** (δείτε σχήμα 4 για τις δυο περιπτώσεις). Ποσοτικώς μπορούμε να ορίσουμε την μεγέθυνση M από την παρακάτω σχέση

$$M = \frac{h'}{h} \quad (3)$$

Για παράδειγμα, εάν το ύψος του αντικειμένου είναι ίσο με $h = 3 \text{ cm}$ και το σχηματιζόμενο είδωλο είναι ανεστραμμένο με ύψος 6 cm , τότε η μεγέθυνση ισούται με $h'/h = (-6)/3 = -2$ δηλαδή το είδωλο έχει διπλάσιο μέγεθος σε σχέση αντικείμενο (το μείον είναι επειδή το είδωλο είναι ανεστραμμένο). Ως δεύτερο παράδειγμα, έστω ένα ορθό είδωλο με ύψος 0.35 mm . Εάν το ύψος του αντικειμένου είναι 0.70 mm , τότε η μεγέθυνση ισούται με $h'/h = 0.35/0.70 = 0.5$ δηλαδή το είδωλο έχει το μισό μέγεθος σε σχέση με το αντικείμενο. Από ότι φαίνεται στα παραπάνω παραδείγματα, όταν $|M| > 1$ έχουμε μεγέθυνση ενώ όταν $|M| < 1$ έχουμε σμίκρυνση. Από απλή

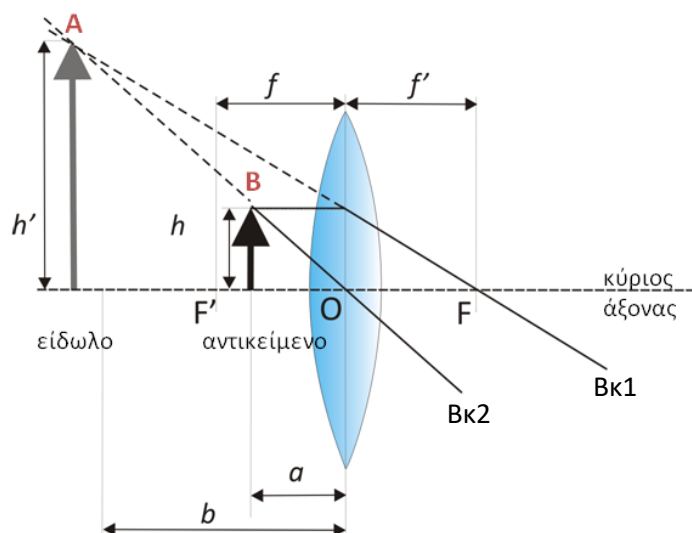
ομοιότητα των ορθογωνίων τριγώνων που σχηματίζει η ακτίνα α2 με τον Κ.Α. στο Σχήμα 3 μπορούμε εύκολα να δούμε ότι ισχύει η σχέση

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{b}{a} \quad (4)$$

Το μείον εμφανίζεται επειδή το h' είναι αρνητικό. Όπως είδαμε παραπάνω, υπάρχουν δυο θέσεις του φακού με δυο συμμετρικά ζεύγη τιμών a και b στα οποία σχηματίζεται ένα ευκρινές είδωλο. Σε αυτές τις δυο θέσεις, στη μια έχουμε μεγέθυνση ενώ στην άλλη σμίκρυνση.

3.3 Σχηματισμός φανταστικού ειδώλου

Όπως είδαμε στα Σχήματα 3 και 4, οι φωτεινές ακτίνες που εκπέμπονται από ένα σημείο του αντικειμένου, μετά από την διάθλασή τους στις δυο επιφάνειες του φακού, καταλήγουν στο ίδιο σημείο του ειδώλου. Έτσι το είδωλο εμφανίζεται σαν να εκπέμπει το δικό του φως. Σε αυτή την περίπτωση το είδωλο ονομάζεται «πραγματικό». Στην περίπτωση όμως όπου το αντικείμενο είναι πολύ κοντά στο φακό, όπως στο Σχήμα 5, τότε οι ακτίνες που εκπέμπονται από ένα σημείο του όπως η κορυφή του Β, αποκλίνουν μεταξύ τους μετά τη διέλευσή τους από το φακό (π.χ. οι ακτίνες Βκ1 και Βκ2 στο σχήμα). Εάν προεκτείνουμε αυτές τις ευθείες προς τη μεριά του αντικειμένου, τότε αυτές οι προεκτάσεις συναντιούνται σε ένα σημείο Α και επομένως κάποιος που κοιτάει προς το φακό θα έχει την ψευδαίσθηση ότι οι φωτεινές ακτίνες εκπέμπονται από το Α και όχι από το Β. Επομένως το είδωλο σε αυτή την περίπτωση σχηματίζεται στην ίδια μεριά με το αντικείμενο και μάλιστα έχει τον ίδιο προσανατολισμό με αυτό (ορθό είδωλο). Το σημείο Α όμως, όπως και κάθε σημείο του ειδώλου, δεν εκπέμπουν φως. Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για «φανταστικό» είδωλο

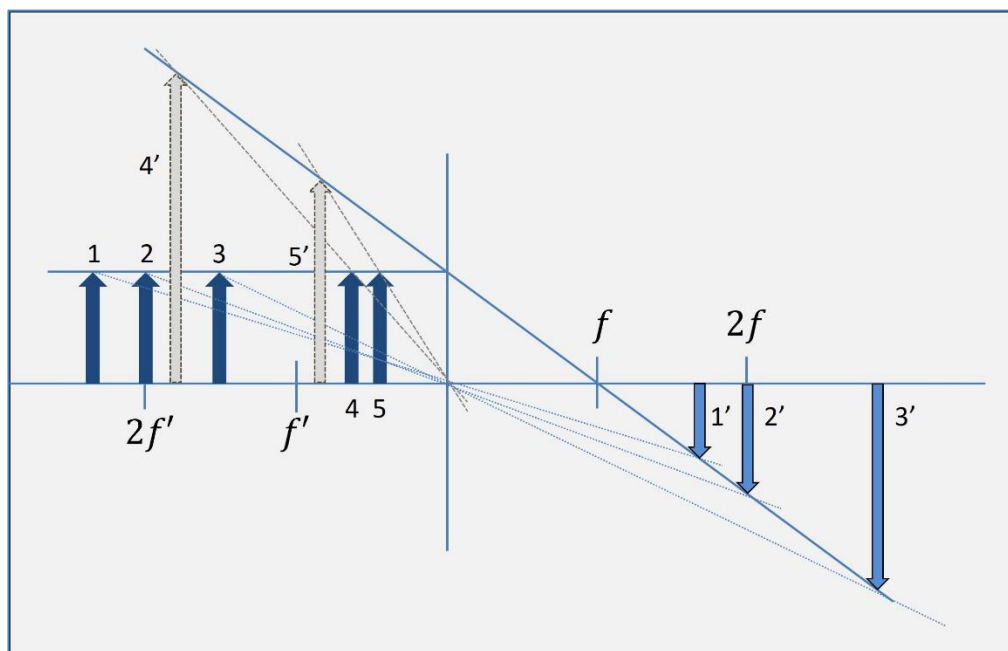


Σχήμα 5: Γραφικός προσδιορισμός της θέσης και του μεγέθους φανταστικού ειδώλου.

Ο Πίνακας 2 δείχνει τα πιθανά είδη ειδώλων και το είδος της μεγέθυνσης για διάφορες περιοχές τοποθέτησης του αντικειμένου σε σχέση με την εστιακή απόσταση του φακού και το Σχήμα 6 είναι μια γραφική απεικόνιση αυτών των περιπτώσεων.

Πίνακας 2: Σύνοψη για τις δυνατές περιπτώσεις δημιουργίας ειδώλων

ΑΑ	φακός	θέση αντικειμένου	θέση ειδώλου	είδωλο	μεγέθυνση
1	συγκλίνων	$a > 2f$	$f < b < 2f$	πραγματικό ανεστραμμένο	$ M < 1$
2	συγκλίνων	$a = 2f$	$b = 2f$	πραγματικό ανεστραμμένο	$ M = 1$
3	συγκλίνων	$2f > a > f$	$b > 2f$	πραγματικό ανεστραμμένο	$ M > 1$
4 και 5	συγκλίνων	$a < f$	$0 < b < \infty$	φανταστικό ορθό	$ M > 1$



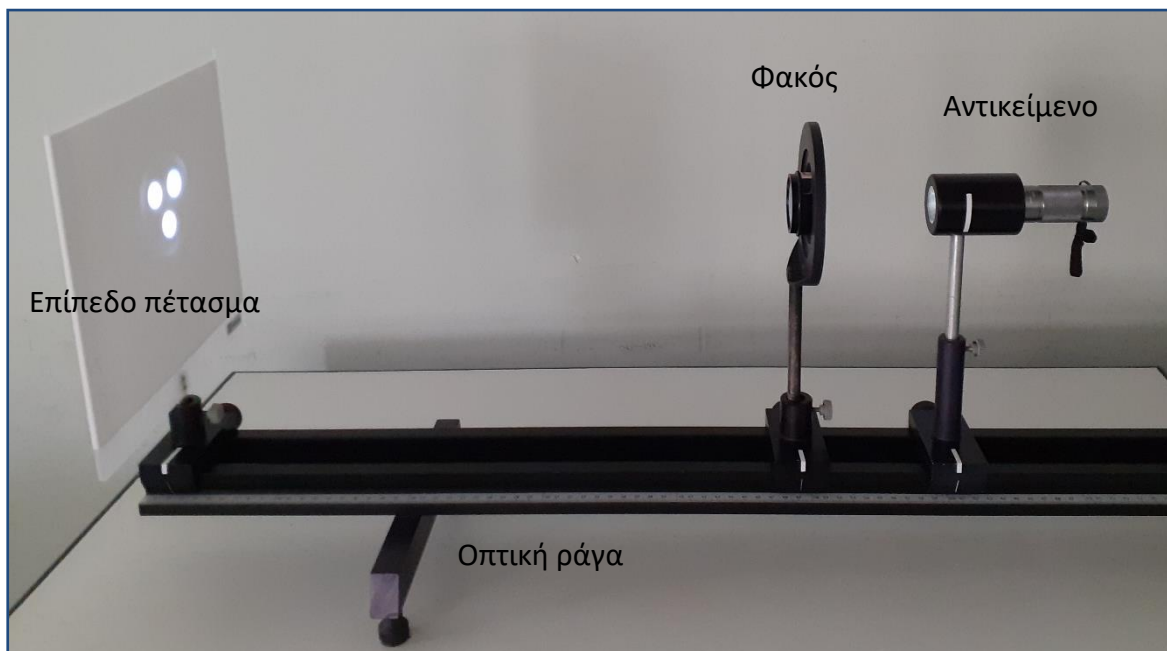
Σχήμα 6: Δημιουργία ειδώλων σε συγκλίνοντα φακό για διάφορες θέσεις αντικειμένου

4 Πειραματική διάταξη

Τα πειραματικά όργανα που θα χρησιμοποιηθούν είναι:

- ✓ μια οπτική ράγα πάνω στην οποία μπορούν και μετακινούνται οριζοντίως όλα τα οπτικά όργανα (σχήμα 7). Η ράγα φέρει χιλιοστομετρική κλίμακα με τη βοήθεια της οποίας διαβάζουμε συντεταγμένες.
- ✓ Έξι συγκλίνοντες φακοί με διαφορετικές, και άγνωστες εστιακές αποστάσεις —.
- ✓ Ένα αντικείμενο (σχήμα 8), το οποίο έχει την μορφή λυχνία φωτισμού με ένα σετ τριών LED
- ✓ Ένα επίπεδο πέτασμα επάνω στο οποίο παρατηρούνται τα είδωλα.
- ✓ Το αντικείμενο, το επίπεδο πέτασμα και οι λεπτοί φακοί (θα χρησιμοποιείται ένας την κάθε φορά) είναι στερεωμένοι επάνω σε ειδικές βάσεις που μπορούν και κινούνται ελεύθερα επάνω στη ράγα. Το κάτω μέρος κάθε βάσης φέρνει στο κέντρο της μια λεπτή λευκή γραμμή η οποία δείχνει ότι τα οπτικά όργανα είναι κατακόρυφα προς την βάση και βοηθά στην μέτρηση των συντεταγμένων.

Σημείωση: Η λέξη «φακός» σε αυτό το σύγγραμμα θα αναφέρεται αποκλειστικά στον οπτικό φακό και όχι στην λυχνία με τα 3 LED, το αντικείμενό μας, που καμιά φορά τον αποκαλούμε επίσης «φακό» επειδή γενικά φωτίζει.



Σχήμα 7: Πειραματική διάταξη - πλάγια όψη

Προσοχή: Όπως και με τα διορθωτικά γυαλιά που κάποιοι από εμάς φοράμε, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να χαραχθεί η επιφάνεια των φακών αλλιώς αλλοιώνεται η ποιότητά τους. Ιδιαίτερη φροντίδα πρέπει να επιδεικνύεται κατά τον χειρισμό τους.



Σχήμα 7: Λυχνία φωτισμού με 3 LED

5 Πειραματική διαδικασία

5.1 Μέρος 1: Εξίσωση των Λεπτών Φακών

Θα υπολογισθεί η εστιακή απόσταση f ενός συγκλίνοντα φακού μέσω της εξίσωσης των λεπτών φακών (2).

1. Τοποθετούμε την οπτική ράγα επάνω στο τραπέζι ώστε να εμφανιστεί η χιλιοστομετρική κλίμακα προς τον παρατηρητή.
2. Τοποθετούμε το επίπεδο πέτασμα στην μια άκρη της οπτικής ράγας. Σημειώνουμε την συντεταγμένη του πετάσματος χ.π. $x_{\pi} = 1.0 \text{ cm}$ (σχήμα 7). Την θέση του πετάσματος την κρατάμε σταθερή κατά τη διάρκεια της άσκησης.
3. Τοποθετούμε το αντικείμενο (τη λυχνία) σε απόσταση μακριά από το πέτασμα (σχεδόν στην άλλη άκρη της ράγας).
4. Προσαρμόζουμε την θέση του αντικειμένου (τη λυχνία) στην βάση του ώστε να συμπίπτει η θέση των LED με το κέντρο στήριξης. Περιστρέφουμε τη λυχνία ώστε το ένα LED να είναι υψηλότερα από τα άλλα δυο όπως στο Σχήμα 8.
5. Επιλέγουμε αρχικά έναν οπτικό φακό με εστιακή απόσταση έστω f_1 . Τοποθετούμε τον φακό μεταξύ πετάσματος και αντικειμένου. Θέτουμε την λυχνία, το αντικείμενό μας, σε λειτουργία. Βεβαιωνόμαστε ότι το φως της περνάει μέσα από τον οπτικό φακό (μπορεί να χρειαστούν κάποιες μικρορυθμίσεις και ευθυγραμμίσεις στην βάση στήριξης του αντικειμένου και του οπτικού φακού).
6. Κρατάμε αρχικά τον οπτικό φακό σε κοντινή απόσταση $\sim 1 - 2 \text{ cm}$ από το αντικείμενο (τη λυχνία) και τον απομακρύνουμε αργά από αυτήν έως ότου σχηματιστεί ένα ευκρινές και μεγεθυμένο είδωλο των 3 LED επάνω στο πέτασμα.

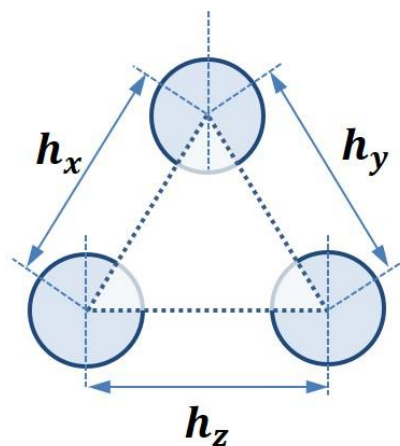
7. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλοι οι φακοί συγκλίνοντες από το σετ των έξι που σας δίνονται. Έτσι τους δοκιμάζουμε διαδοχικά μέχρι να βρούμε έναν κατάλληλο συγκλίνοντα σύμφωνα με το Βήμα 6.
8. Καταγράφουμε για την περίπτωση της μεγέθυνσης τη συντεταγμένη του αντικείμενου και την συντεταγμένη του φακού. Σημειώνουμε εάν το είδωλό είναι ορθό ή ανεστραμμένο.
9. Συνεχίζουμε τη μετακίνηση του οπτικού φακού προς την ίδια κατεύθυνση έως ότου τώρα να σχηματιστεί ένα ευκρινές αλλά συμπιεσμένο είδωλο των 3 LED επάνω στο πέτασμα. Καταγράφουμε τη νέα συντεταγμένη του φακού. Σημειώνουμε εάν το είδωλό είναι ορθό ή ανεστραμμένο.
10. Επαναλάβετε όλα τα παραπάνω βήματα άλλες δύο φορές, αυξάνοντας ή μειώνοντας την συντεταγμένη x_0 του αντικείμενου κατά 1 – 5 cm την κάθε φορά.

Πίνακας 3: Μετρήσεις συντεταγμένων με συντεταγμένη του πετάσματος $x_\pi = 1.0 \text{ cm}$

$x_0(\text{cm})$	$x_1(\text{cm})$	$x_2(\text{cm})$	Ορθό (Ναι/Όχι)

5.2 Μέρος 2: Μεγέθυνση και Σμίκρυνση

Θα μετρηθεί πειραματικά η μεγέθυνση M που ορίζεται στην Εξ. (3) και θα συγκριθεί με την θεωρητική τιμή που προβλέπει η Εξ. (4). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήστε τον ίδιο φακό του Μέρους 1. Ως αντικείμενο θα χρησιμοποιηθεί η ίδια λυχνία φωτισμού με τρία LED (Σχήμα 9).



Σχήμα 9: Γραφικός προσδιορισμός των διαστάσεων h_x , h_y και h_z (μήκη πλευρών του τριγώνου) του αντικείμενου (και του ειδώλου).

Εκτελέστε τα εξής βήματα και καταγράψτε τα δεδομένα σας στον Πίνακα 4 παρακάτω:

1. Μετρήστε τις διαστάσεις h_x , h_y και h_z (μήκη πλευρών του τριγώνου) του αντικειμένου σας (Σχήμα 9) με τη βοήθεια ενός χάρακα ή διαστημόμετρου και καταγράψτε τις στον πίνακα μετρήσεων.
2. Καταγράψτε τη συντεταγμένη x_0 του αντικειμένου.
3. Απομακρύνετε τον φακό αργά από το αντικείμενο έως ότου σχηματιστεί ένα ευκρινές και μεγεθυμένο είδωλο επάνω στο πέτασμα. Καταγράψτε την συντεταγμένη x_1 του φακού σε αυτή τη θέση.
4. Κρατώντας όσο μπορούμε σταθερή την οθόνη, σημειώνουμε με ένα μολύβι στο χιλιοστομετρικό χαρτί της οθόνης τις διαστάσεις του ειδώλου.
5. Συνεχίσετε τη μετακίνηση του φακού προς την ίδια κατεύθυνση έως ότου τώρα σχηματιστεί ένα ευκρινές αλλά συμπιεσμένο είδωλο επάνω στο πέτασμα και καταγράψτε τη νέα συντεταγμένη x_2 του φακού. Σημειώνουμε πάλι με ένα μολύβι στο χιλιοστομετρικό χαρτί της διαστάσεις του ειδώλου.
6. Μετρήστε τις διαστάσεις h'_x , h'_y και h'_z (μεγέθυνση) και h''_x , h''_y και h''_z (σμίκρυνση) του ειδώλου που σχηματίζεται επάνω στο πέτασμα με τη βοήθεια ενός χάρακα ή διαστημομέτρου και καταγράψτε τις στον πίνακα μετρήσεων.

Πίνακας 4: Μέτρηση της μεγέθυνσης και σμίκρυνση

διαστάσεις (μήκη πλευρών του τριγώνου) του αντικειμένου		Μεγέθυνση		Σμίκρυνση	
Θέση αντικειμένου $x_0 =$		Θέση φακού $x_1 =$		Θέση φακού $x_2 =$	
h_x		h'_x		h''_x	
h_y		h'_y		h''_y	
h_z		h'_z		h''_z	

6 Σύνοψη ατομική έκθεση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ/ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΑ (φύλλο μετρήσεων)

Κάθε φοιτητής/φοιτήτρια παραδίδει μια έκθεση. Η τελική μορφή της έκθεσής θα πρέπει να ακολουθεί πιστά τις οδηγίες συγγραφής που δίνονται στα «Έγγραφα» στις [ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓ 2023](#).

Κάθε έκθεση ελέγχεται για λογοκλοπή με το πρόγραμμα [Turnitin](#). Σε περίπτωση [λογοκλοπής](#) άνω του 30%, η έκθεση θα αξιολογηθεί με 0/10.

- ✓ Το όνομα του αρχείου περιέχει μόνο το αντίστοιχο τμήμα και τον αριθμό μητρώου του φοιτητή, για παράδειγμα τμήμα Α1 και ΑΜ = 1020875 -> Α1-1020875.pdf.
- ✓ Η εργασία θα παραδίνεται αυστηρά μέχρι μια εβδομάδα μετά την εκτέλεση της άσκησης ηλεκτρονικά μέσω του eclass «Εργασίες» στο πλαίσιο της σχετικής άσκησης.
- ✓ Κατά προτίμηση, οι εργασίες πρέπει να ετοιμάζονται σε Word και να ανεβαίνουν σε μορφή PDF. Τα σχόλια του βαθμολογητή μπορούν να φανούν μόνο σε υπολογιστή με εφαρμογή που ανοίγει τέτοιου είδους αρχεία, όπως το Adobe Reader και όχι σε φυλλομετρητές του διαδικτύου ή σε κινητά. Εκεί τα σχόλια δεν εμφανίζονται ορθά.

Ζητούνται τα ακόλουθα στο κεφάλαιο «αποτελέσματα»:

Έστω ότι έχετε ένα συγκλίνοντα φακό με εστιακή απόσταση ίση με $\psi + 2 \text{ cm}$ όπου το ψ είναι το τελευταίο ψηφίο του ΑΜ και έστω ότι το αντικείμενο είναι ένα ορθό βέλος μήκους 10 cm .

Δώστε τυχαία

- (α) μια απόσταση αντικειμένου – φακού $a > 2f$
- (β) μια απόσταση αντικειμένου – φακού $f < a < 2f$ και
- (γ) μία απόσταση αντικειμένου – φακού $a < f$.

Σχεδιάστε για κάθε απόσταση αντικειμένου – φακού με το χέρι τις απαραίτητες ακτίνες, οι οποίες εκπέμπονται από την κορυφή του βέλους και βρείτε σε ποιο σημείο συγκλίνουν. Σχολιάστε ποιο είδωλο είναι πραγματικό και ποιο φανταστικό. Θεωρώντας ότι τα νούμερα επάνω στα γραφήματά σας είναι σε cm , γράψτε επάνω σε αυτό τις αποστάσεις a και b και υπολογίστε τη μεγέθυνση M .

6.1 Μέρος 1: Εξίσωση των Λεπτών Φακών

- (1) Να κατασκευαστεί ένας πίνακας αποτελεσμάτων, προεκτείνοντας τον Πίνακα 3 προσθέτοντας τις στήλες $a \text{ (cm)}$ (αντικειμένου – φακού), $b \text{ (cm)}$ (ειδώλου – φακού) και $f \text{ (cm)}$ (και για τις δυο εστιασείς) σύμφωνα με την Εξ. (2). Να βρεθεί η μέση τιμή του f και το σφάλμα του σ_f (τυπική απόκλιση) από τις 6 συνολικά μετρήσεις που πήρατε.
- (2) Να σχολιασθεί εάν οι μετρήσεις στον Πίνακα 3 κρύβουν κάποια συμμετρία και γιατί.
- (3) Για την εστιακή σας απόσταση f στο προηγούμενο ερώτημα, να βρεθεί σε ποιες πειραματικές συνθήκες μπορεί να παρατηρηθεί ένα φανταστικό είδωλο.

6.2 Μέρος 2: Μεγέθυνση και Σμίκρυνση

- (4) Να υπολογιστούν από τον Πίνακα 4 οι αποστάσεις a και b για όλες τις περιπτώσεις και ακολούθως η μεγέθυνση $M = h'/h$. Να εφαρμοστεί η εξίσωση της μετάδοσης σφάλματος για την μεγέθυνση/σμίκρυνση M ώστε να υπολογιστεί για **μία μέτρηση** το σφάλμα της συναρτήσεως των σφαλμάτων των μεταβλητών της.
- (5) Να σχολιασθεί εάν στο προηγούμενο βήμα επαληθεύεται η σχέση $M = -b/a$. Ποιο είναι το νόημα του αρνητικού πρόσημου;

- (6) Να συγκριθούν τα αποτελέσματά του προηγούμενου βήματος με τις περιπτώσεις του Πίνακα 2 και σχολιάστε για την κάθε μέτρησή σας εάν οι μετρήσεις σας συμφωνούν με αυτά που προβλέπει ο πίνακας.
- (7) Αναφέρατε τα απόλυτα σφάλματα και τυχόν συστηματικά σφάλματα (σε αριθμούς και μονάδες) που εμφανίζονται στις μετρήσεις σας.

7 Βιβλιογραφία

- [1] R. A. Serway, "Physics for Scientists and Engineers, Volume 2", Saunders College Publishing, 1990.
- [2] H. D. Young, "Πανεπιστημιακή Φυσική", Τόμος Α, Κεφ. 27, εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 1994.
- [3] YouTube [Φυσική II, Κεφ. 33, Φακοί και Οπτικά Στοιχεία, Μέρος Α](#)
- [4] [ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ 2023](#)