



Γεωμετρική Οπτική Ανάκλαση - Διάθλαση

ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Η ακτίνα (ή η δέσμη) πριν ανακλασθεί ονομάζεται **προσπίπτουσα** ή **αρχική**, ενώ μετά την ανάκλαση ονομάζεται **ανακλώμενη**.

Η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, ονομάζεται **γωνία πρόσπτωσης**.

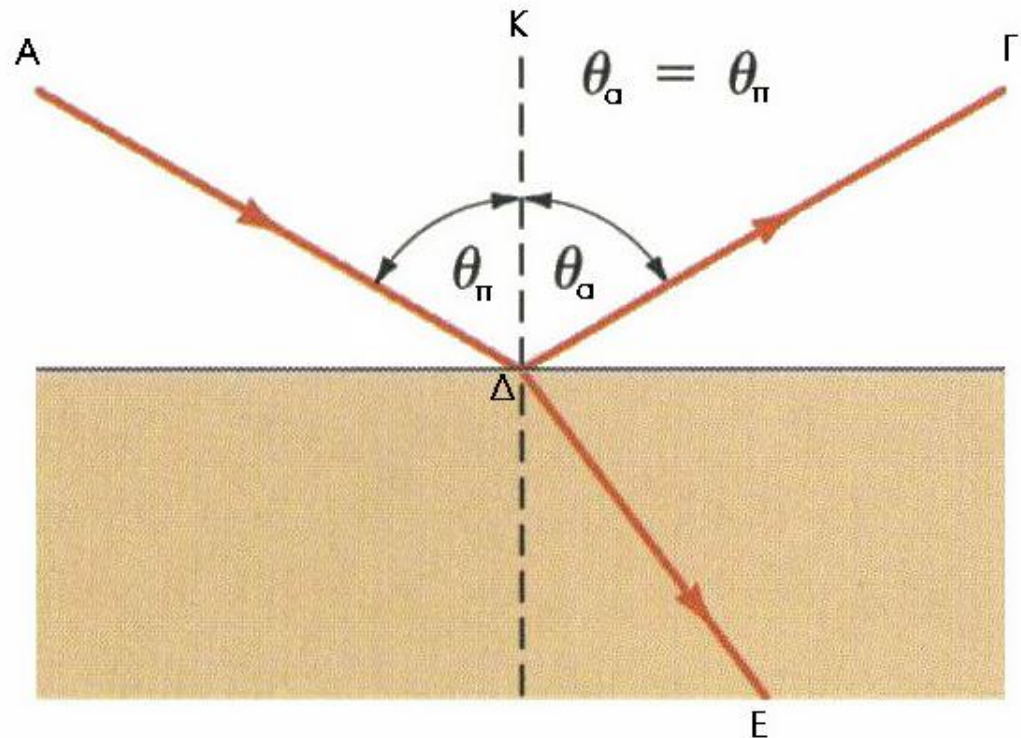
Η γωνία που σχηματίζει η ανακλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, ονομάζεται **γωνία ανάκλασης**.

α' νόμος της ανάκλασης:

Η ανακλώμενη ακτίνα βρίσκεται στο επίπεδο που ορίζουν η προσπίπτουσα ακτίνα και η κάθετος στη διαχωριστική επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης.

β' νόμος της ανάκλασης:

Η γωνία πρόσπτωσης και η γωνία ανάκλασης είναι ίσες.



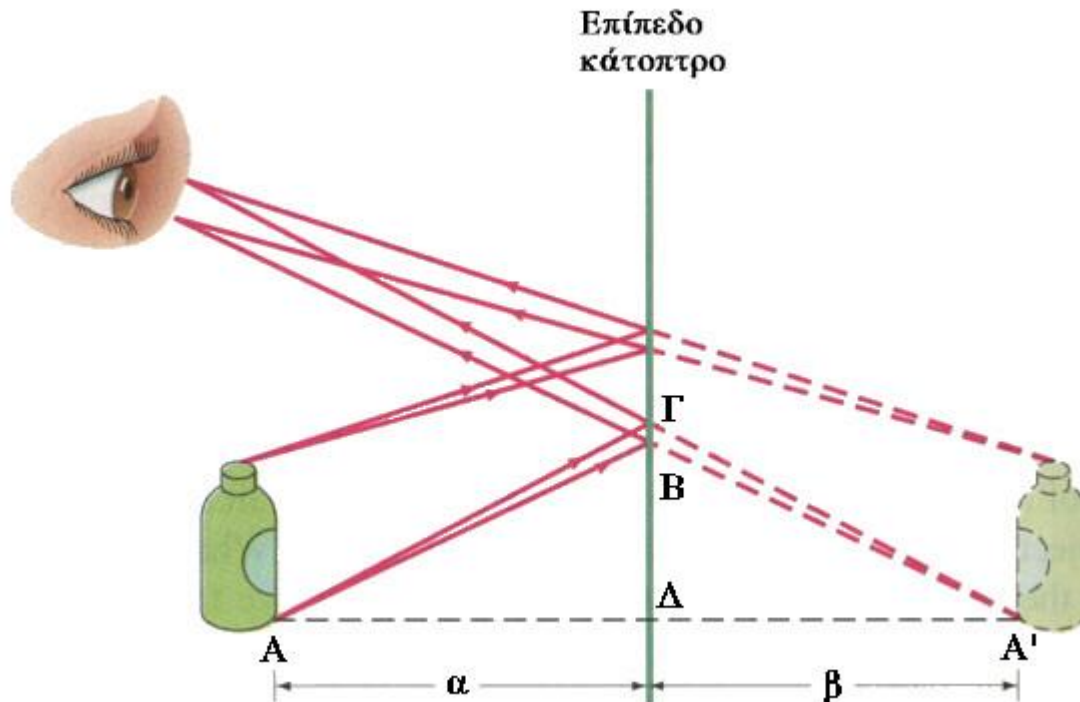
• **Κάτοπτρο** ή καθρέπτης (mirror) είναι μια επίπεδη ή σφαιρική επιφάνεια γυαλιού, που επάνω της έχει εναποτεθεί με εξάχνωση ένα λεπτό στρώμα μετάλλου, με υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας.

• Ό,τι παρατηρεί κανείς μέσα από ένα κάτοπτρο είναι **είδωλα** (image) των αντικειμένων.

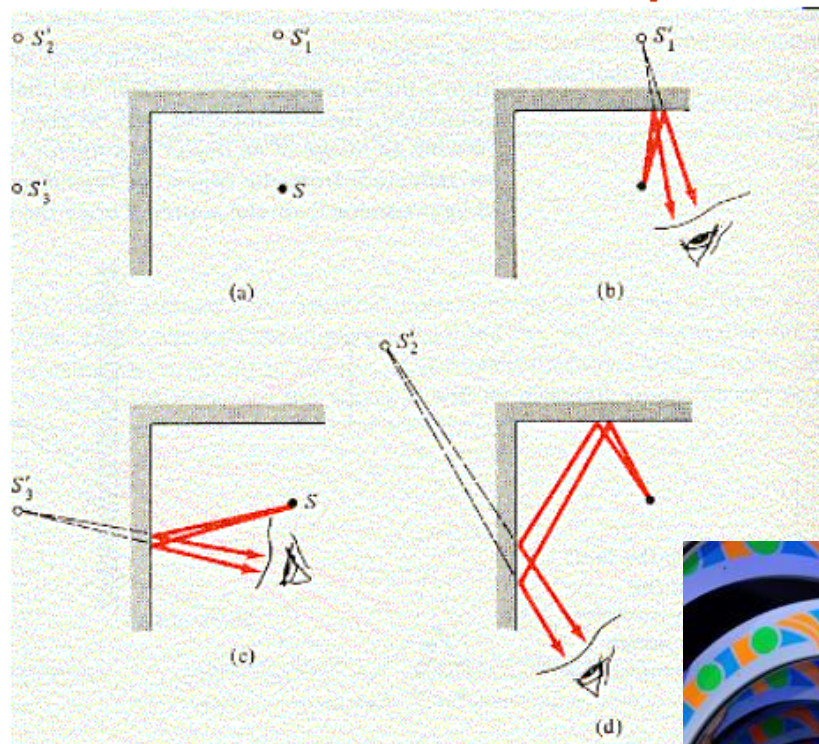
• Ο εγκέφαλος επεξεργάζεται *πραγματικές ακτίνες* που εισέρχονται στο μάτι και έχουν διαδοθεί ευθύγραμμα.

• Ένα **επίπεδο κάτοπτρο** (plane mirror) σχηματίζει το είδωλο ενός αντικειμένου στην αντίθετη όψη από αυτή που βρίσκεται το αντικείμενο.

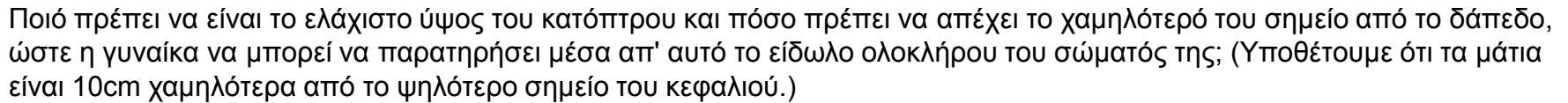
• Η **απόσταση του ειδώλου**, β , (image distance) από το κάτοπτρο, είναι ίση με την **απόσταση του αντικειμένου**, α , (object distance) απ' αυτό ([Σχήμα 7](#)).



Επίπεδα κάτοπτρα



Μία γυναίκα ύψους 1.70m παρατηρεί όρθια το είδωλο της που σχηματίζεται από ένα επίπεδο κάτοπτρο, όπως στο σχήμα:

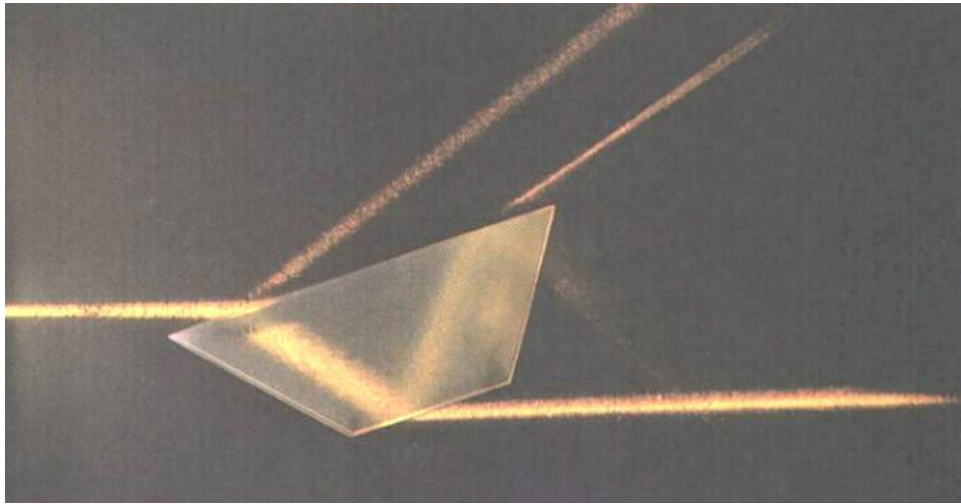


Το είδωλο έχει ύψος, $A'B'$, ίσο με το ύψος του αντικειμένου, AB , ($A'B' = AB$) και σχηματίζεται σε απόσταση, ZA' , από το κάτοπτρο ίση με την απόσταση, ZA , του αντικειμένου ($ZA' = ZA$). Οι δύο ακτίνες που παρατηρεί η γυναίκα, $\Gamma\Delta A'$ από το χαμηλότερο και $\Gamma\epsilon B'$ από το υψηλότερο σημείο του ειδώλου, καθορίζουν τα δύο σημεία-όρια του κατόπτρου, Δ και ϵ . Από τη γεωμετρία του σχήματος και επειδή η γωνία πρόσπτωσης, θ_{π} , είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης, θ_{α} , θα είναι $A\Delta = \Delta\Gamma$, αλλά και $A\Gamma = \epsilon H$. Επιπλέον το Δ είναι το μέσο του ZH . Επειδή λοιπόν $HZ = A\Gamma = 1.70\text{m} - 0.10\text{m} = 1.60\text{m}$, θα είναι και $Z\Delta = ZH/2 = \Delta H = 0.80\text{m}$. Το χαμηλότερο σημείο του κατόπτρου, λοιπόν, απέχει 0.80m από το δάπεδο. Για τον ίδιο λόγο το ϵ είναι το μέσο του τμήματος $H\Theta$ (είναι $\Gamma\epsilon = \epsilon\epsilon$ και γωνία πρόσπτωσης = γωνία ανάκλασης). Επειδή είναι $H\Theta = \Gamma\epsilon = 0.10\text{m}$ θα είναι και $H\epsilon = H\Theta/2 = 0.05\text{m}$. Το ύψος του κατόπτρου, επομένως, θα είναι $\Delta\epsilon = \Delta H + H\epsilon = 0.80\text{m} + 0.05\text{m} = 0.85\text{m}$.

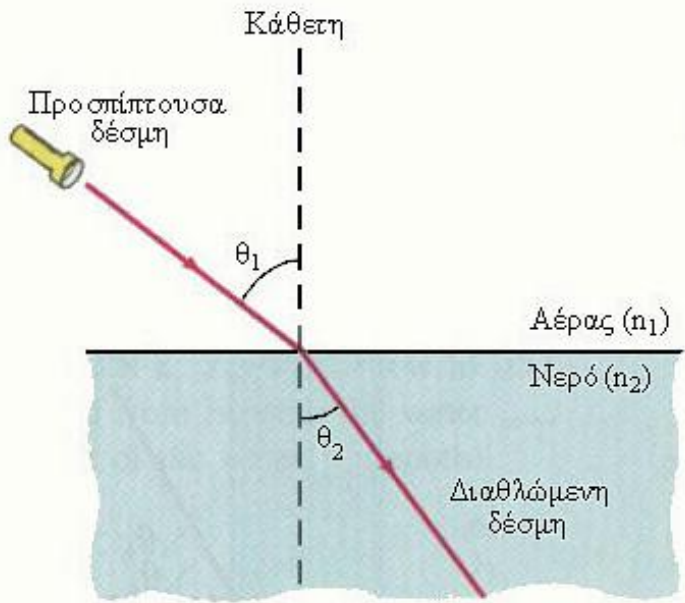
(Μπορούμε να παρατηρήσουμε επιπλέον, ότι η θέση και το ύψος του κατόπτρου δεν εξαρτάται από την απόσταση, AZ , του αντικειμένου από το κάτοπτρο. Η θέση, δηλαδή, των σημείων Δ και E παραμένει αναλλοίωτη.)

ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Όταν μία δέσμη (παραλλήλων) φωτεινών ακτίνων, που διαδίδεται σ' ένα μέσο, συναντάει τη διαχωριστική επιφάνεια με ένα άλλο μέσο, τότε ένα μέρος από αυτή **ανακλάται** και το υπόλοιπο περνάει στο δεύτερο μέσο αλλάζοντας τη διεύθυνση διάδοσής της. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διάθλαση του φωτός** (refraction).



Τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης συμβαίνουν ταυτοχρόνως, όταν το φως περνάει από ένα μέσο σ' ένα άλλο, όπως συμβαίνει στο γυάλινο πρίσμα της φωτογραφίας. Η διαθλώμενη δέσμη ανακλάται και διαθλάται μερικά και από την κάτω διαχωριστική επιφάνεια του πρίσματος.



Το μέρος της δέσμης που διαθλάται, ονομάζεται **διαθλώμενη δέσμη** και η γωνία που σχηματίζει με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, ονομάζεται **γωνία διάθλασης (θ_2)**.

Η διαθλώμενη ακτίνα βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο που είναι κάθετο στη διαχωριστική επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης και περιέχει την προσπίπτουσα και την ανακλώμενη.

NΟΜΟΣ ΤΟΥ SNELL

Η γωνία διάθλασης θ_2 εξαρτάται:

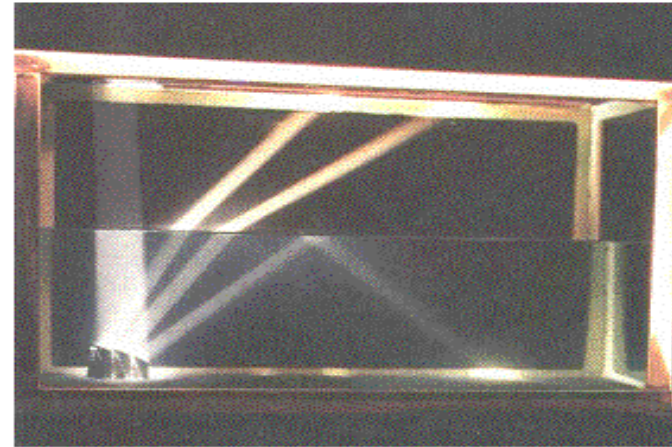
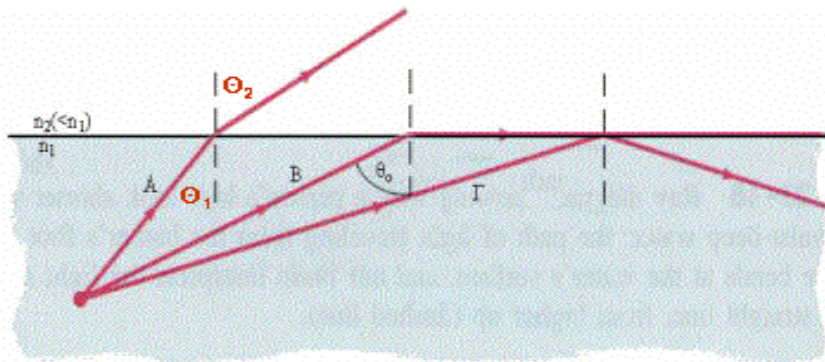
- από την ταχύτητα του φωτός στα δύο μέσα διάδοσης (1) και (2) (π.χ. για το σχήμα μέσο (1): Αέρας με $n_1 = c/u_1$ και μέσο (2): Νερό με $n_2 = c/u_2$) και
- από τη γωνία πρόσπτωσης θ_1

Ο **νόμος της διάθλασης** ή **νόμος του Snell** (Willebrord Snell, 1591-1626, Δανός ερευνητής) συνδέει τα αντίστοιχα μεγέθη, όπου (1) είναι το μέσο προέλευσης και (2) το μέσο διάθλασης :

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

Βλ. Phet Bending light

Ολική ανάκλαση - Οριική γωνία

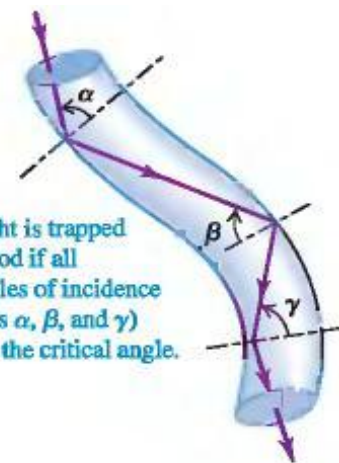


$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_2 / n_1$$

$$\theta_1 = \theta_0 \text{ όταν } \theta_2 = 90^\circ$$

$$\sin \theta_0 = n_2 / n_1$$

Εφαρμογή: οπτικές ίνες



The light is trapped in the rod if all the angles of incidence (such as α , β , and γ) exceed the critical angle.

1. Σημειώστε Σωστό – Λάθος για τις ακόλουθες προτάσεις:

α) Η τιμή του δείκτη διάθλασης n ενός υλικού είναι πάντα $0 < n < 1$. **ΛΑΘΟΣ**

β) Εάν το υλικό (α) έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από το υλικό (β) ($n_\alpha > n_\beta$) τότε και η ταχύτητα διάδοσης του φωτός είναι μεγαλύτερη σε αυτό ($v_\alpha > v_\beta$) **ΛΑΘΟΣ**

γ) Όταν μια ακτίνα διέρχεται από το υλικό (α) στο (β), η γωνία θ_β που σχηματίζει με την κάθετο είναι μικρότερη στο δεύτερο υλικό από τη γωνία θ_α στο πρώτο υλικό και η ακτίνα κάμπτεται και προσεγγίζει την κάθετο. **ΣΩΣΤΟ**

δ) Ο δείκτης διάθλασης του κενού εξ ορισμού ισούται με τη μονάδα **ΣΩΣΤΟ**

ε) Όταν μια ακτίνα διέρχεται από το κενό σε ένα υλικό κάμπτεται πάντα και απομακρύνεται από την κάθετο **ΛΑΘΟΣ**

στ) Όταν η προσπίπτουσα ακτίνα είναι κάθετη προς τη διαχωριστική επιφάνεια $\theta_\alpha = 0$, $\sin\theta_\alpha = 0$ η διερχόμενη ακτίνα ανακλάται πλήρως **ΛΑΘΟΣ** (Σωστό: η διερχόμενη ακτίνα δεν κάμπτεται καθόλου)

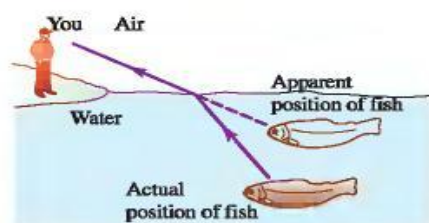
2. (i) Είσαι πάνω σε μια βάρκα και στοχεύεις ένα ψάρι με ένα ψαροντούφεκο. Αν η φαινομενική θέση του ψαριού σχηματίζει γωνία $\theta = 60^\circ$ με τον ορίζοντα, σε ποια γωνία πρέπει να στοχεύσεις για να χτυπήσεις το ψάρι; Δίνεται $n_{\text{νερού}} = 1,33$.

(α) 22°

(β) 68°

(γ) 52°

(δ) 63°



ΛΥΣΗ

(i) ακτίνα από μάτι προς ψάρι γωνία με επιφάνεια θάλασσας 60° άρα με κάθετο $\theta_1 = 30^\circ \rightarrow \sin \theta_1 = \frac{1}{2}$

$n_1 = 1,00$ (για αέρα)

$n_2 = 1,33$ (για νερό)

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow 1/2 = 1,33 \sin \theta_2 \Rightarrow \theta_2 = \sin^{-1} \frac{1}{2 \cdot 1,33} \Rightarrow \theta_2 = 22^\circ$$

ΟΠΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Οι φακοί κατασκευάζονται συνήθως από γυαλί ή διαφανές πλαστικό που λειαίνεται έτσι ώστε να έχουν σφαιρικές επιφάνειες.

Δύο είναι οι βασικές μορφές φακών σε διάφορες παραλλαγές:

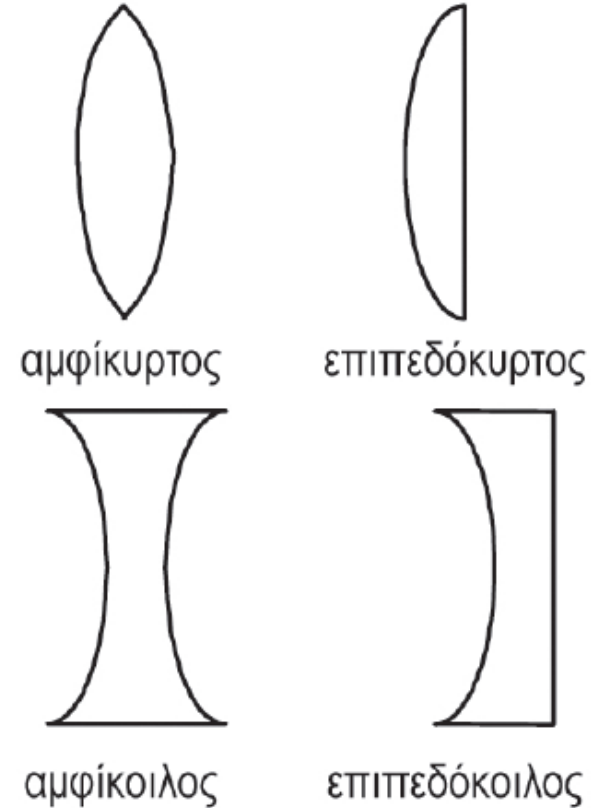
οι **συγκλίνοντες φακοί**, οι οποίοι είναι παχύτεροι στο κέντρο από ότι στα άκρα τους και

οι **αποκλίνοντες φακοί**, που είναι λεπτότεροι στο κέντρο από ότι στα άκρα

Σύνθετοι φακοί: συνδυασμός πολλών απλών φακών σε σειρά και σε επαφή μεταξύ τους.

Απλούς φακούς θεωρούμε αυτούς που έχουν αμελητέο πάχος συγκριτικά με τη διάμετρό τους.

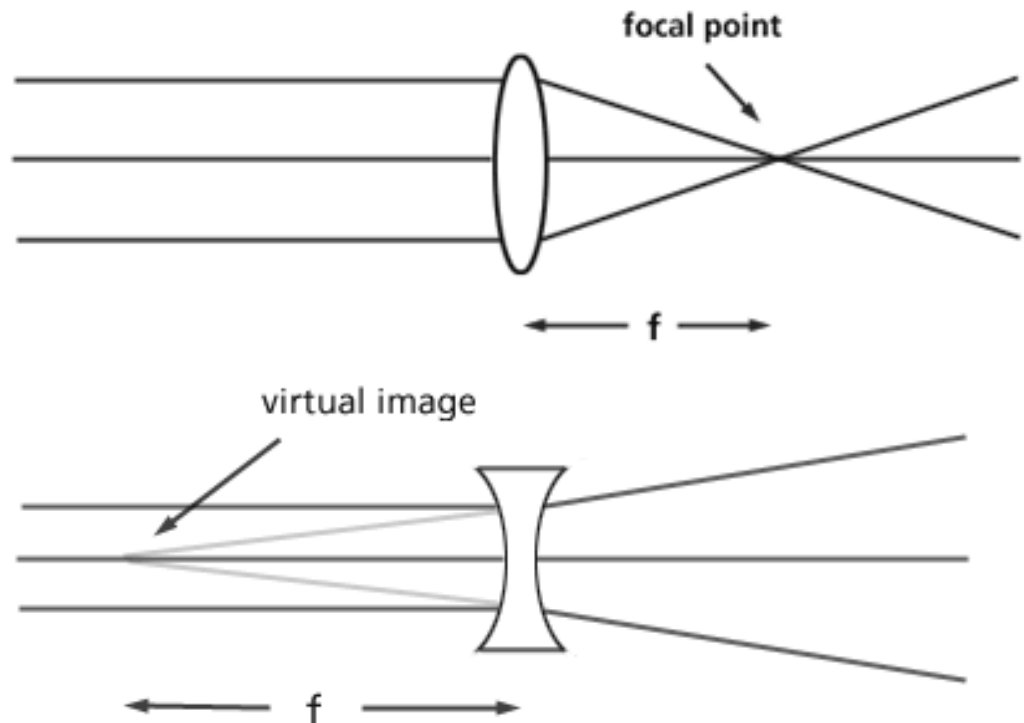
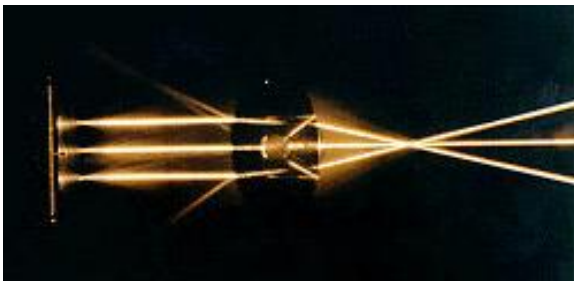
Οι τελευταίοι είναι γνωστοί ως **λεπτοί φακοί** και οι εξισώσεις που θα εισάγουμε περιορίζονται σε αυτούς.



ΟΠΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Οπτικός άξονας φακού: η ευθεία που περνά από το κέντρο του κάθετα προς τις δύο επιφάνειές του.

Για έναν λεπτό φακό υπάρχει ένα σημείο, το **εστιακό σημείο F** , στο οποίο όλες αυτές οι ακτίνες συγκλίνουν και τέμνουν τον οπτικό του άξονα. Η **απόσταση f αυτού του σημείου από το κέντρο του φακού ονομάζεται εστιακή απόσταση του φακού** και είναι η ίδια και από τις δύο πλευρές του φακού (αν ο φακός περιστραφεί 180° γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα θα εστιάζει το φως στο ίδιο σημείο).





ΟΠΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

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

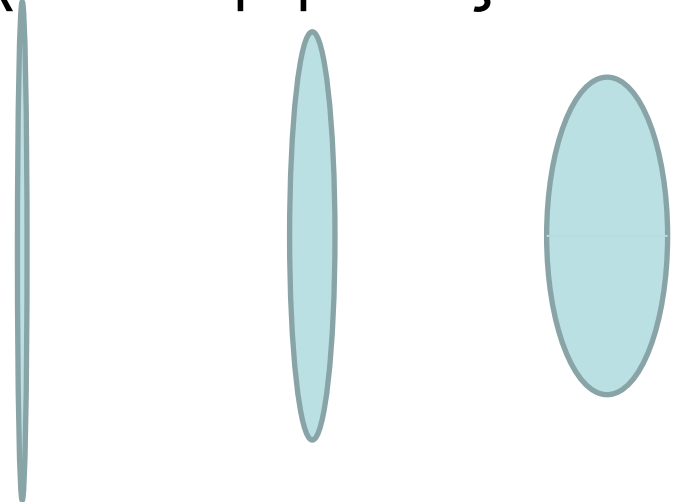
Εξίσωση του κατασκευαστή φακών:

Η εστιακή απόσταση ενός φακού σχετίζεται με τις ακτίνες καμπυλότητας R_1 και R_2 των δύο πλευρών του και τον δείκτη διάθλασης n του υλικού του.

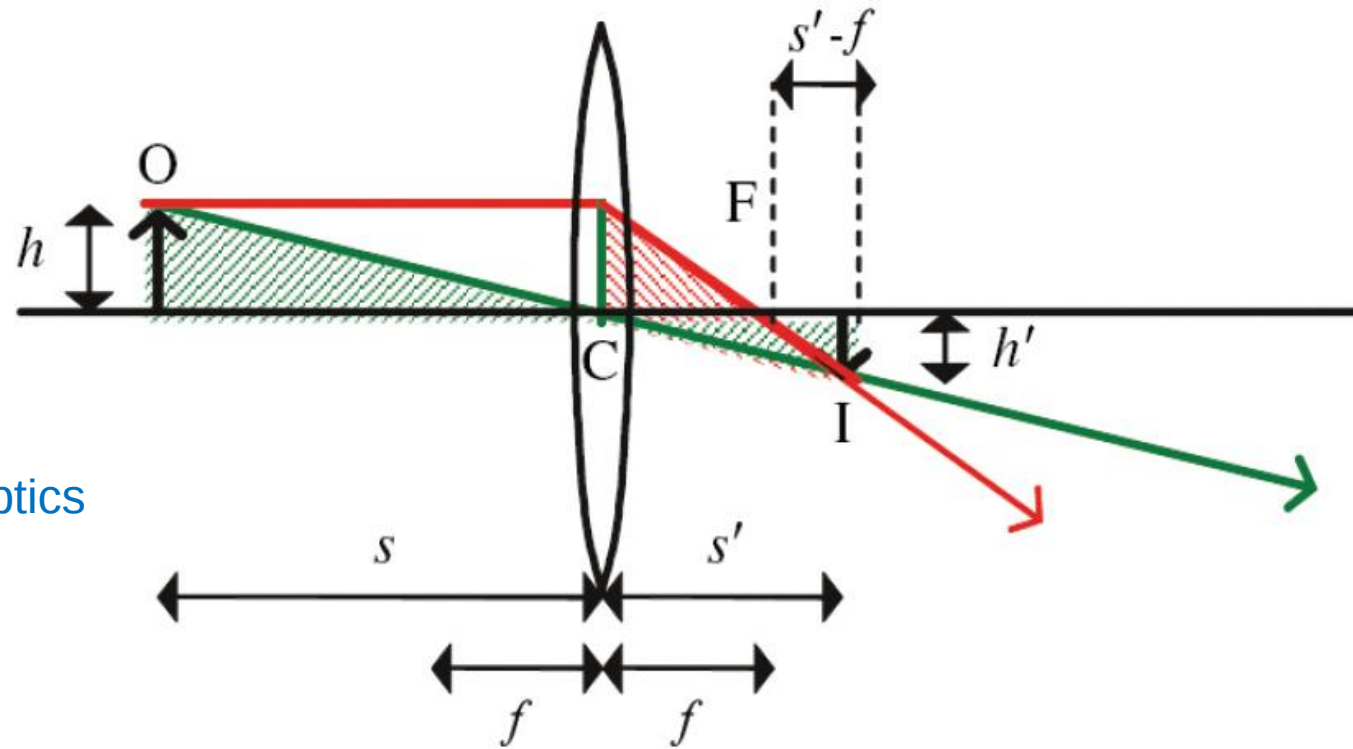
✓ Η εξίσωση αυτή ορίζει **μία και μοναδική εστιακή απόσταση** για έναν φακό, από όποια πλευρά κι αν δέχεται το προσπίπτον φως και ακόμα και αν οι πλευρές του έχουν διαφορετικές ακτίνες καμπυλότητας.

✓ Μια **επίπεδη επιφάνεια** έχει **άπειρη ακτίνα καμπυλότητας**.

Βλ. Phet : Geometric optics



ΣΥΓΚΛΙΝΩΝ ΦΑΚΟΣ – ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ



Βλ. Phet : Geometric optics

Εξίσωση φακού:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

s : απόσταση του αντικειμένου από το κέντρο του φακού

s' : απόσταση του ειδώλου από το κέντρο του φακού

Γραμμική μεγέθυνση

$$m = \frac{n'}{h} = -\frac{s'}{s}$$

(το αρνητικό δηλώνει αρνητική μεγέθυνση στον σχηματισμό αντεστραμμένων ειδώλων και θετική μεγέθυνση στον σχηματισμό ορθών ειδώλων)

Ισχύς του φακού P :

$$P = \frac{1}{f}$$



➤ Όσο μικρότερη είναι η εστιακή απόσταση ενός φακού τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του

Η μονάδα ισχύος φακού είναι η διόπτρα (D) και $1 \text{ D} = 1 \text{ m}^{-1}$

ΟΠΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ – ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ

Κανόνες προσήμου για λεπτούς φακούς.

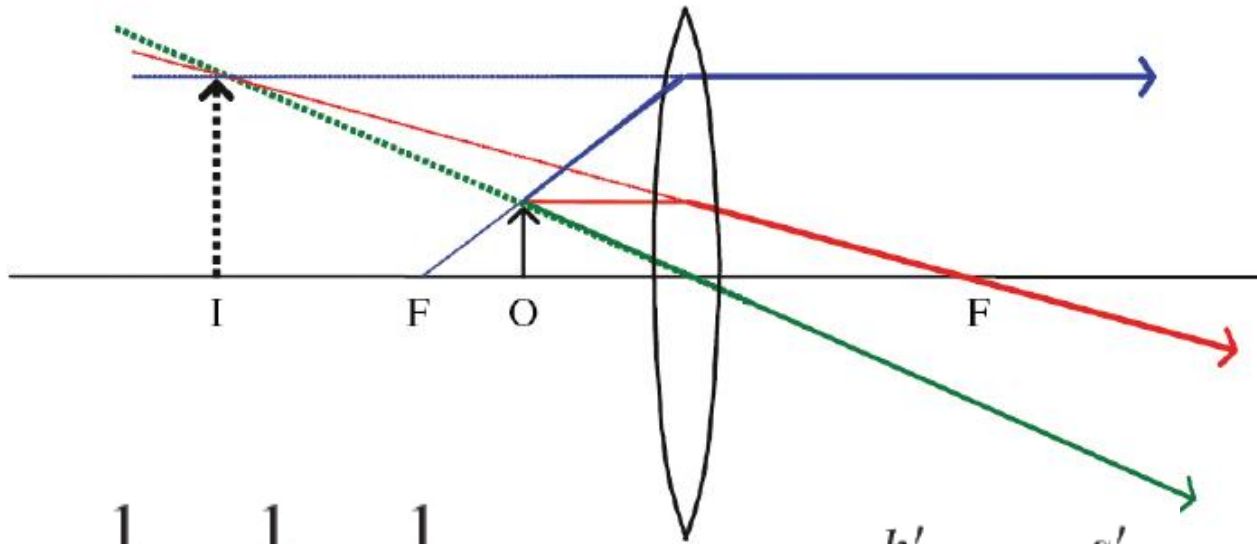
Μέγεθος	Κανόνας
s	+ Αν το αντικείμενο είναι μπροστά* από τον φακό
	– Αν το αντικείμενο είναι πίσω από τον φακό
s'	+ Αν το είδωλο είναι πίσω από τον φακό
	– Αν το είδωλο είναι μπροστά από τον φακό
h, h'	+ Αν το είδωλο είναι ορθό
	– Αν το είδωλο είναι αντεστραμμένο
R_1, R_2	+ Αν η επιφάνεια είναι κυρτή
	– Αν η επιφάνεια είναι κοίλη
f	+ Αν ο φακός είναι συγκλίνων
	+ Αν ο φακός είναι αποκλίνων

* Το μπροστά ή πίσω καθορίζεται σε σχέση με το προσπίπτον φως. Ως μπροστινή θεωρείται η πλευρά του φακού στην οποία προσπίπτει αρχικά το φως.

Όταν $s > f$, $1/s < 1/f$ και σύμφωνα με την Εξίσωση φακού, $s' > 0$ και το είδωλο είναι πραγματικό και αντεστραμμένο (επειδή $m < 0$).

- Αν $s' > s$ το είδωλο είναι μεγαλύτερο ενώ αν $s' < s$ είναι μικρότερο από το αντικείμενο.

ΣΥΓΚΛΙΝΩΝ ΦΑΚΟΣ – ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ



$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

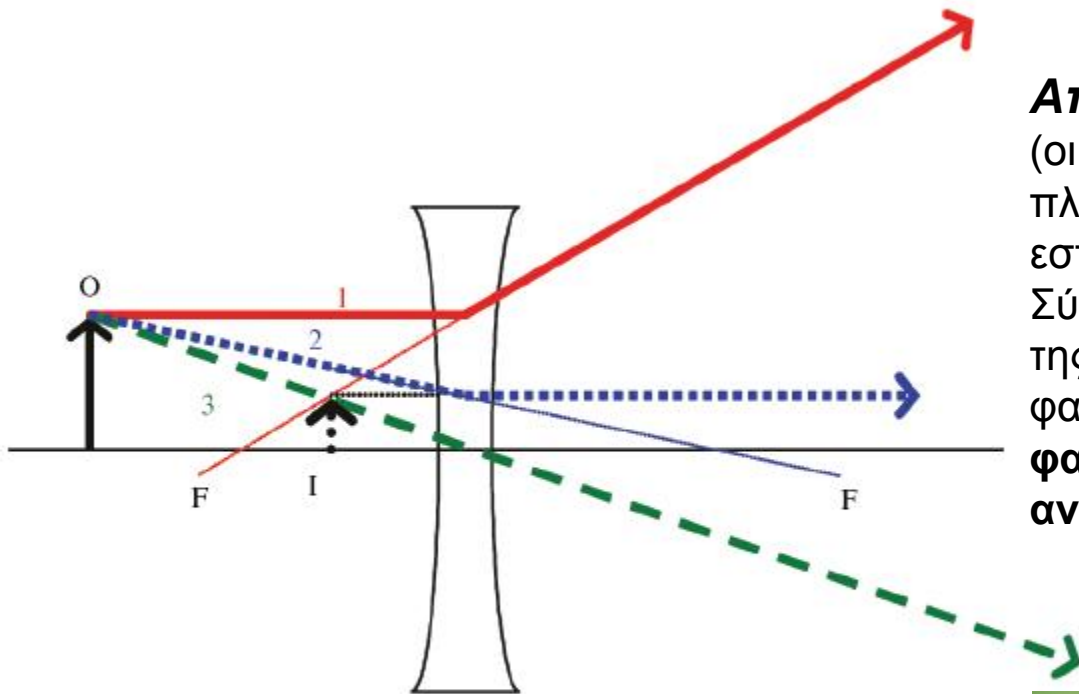
$$m = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}$$

Περίπτωση όπου το αντικείμενο βρίσκεται σε απόσταση από τον φακό **μικρότερη της εστιακής απόστασης** ($1/s > 1/f$) τότε σύμφωνα με την Εξίσωση φακού $s' < 0$.

Τι σημαίνει αυτό για το σχηματιζόμενο είδωλο:

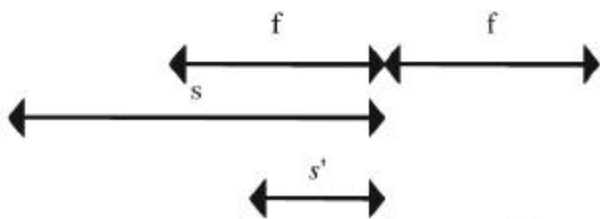
Οι ακτίνες, μετά τη διάθλασή τους από τον φακό, αποκλίνουν και γι' αυτό δεν σχηματίζεται κανένα πραγματικό είδωλο (δηλαδή δεν υπάρχει τοποθεσία πίσω από τον φακό όπου αν τοποθετηθεί ένα πέτασμα θα σχηματιστεί το είδωλο του αντικειμένου). Ένας παρατηρητής που βρίσκεται σε μακρινή απόσταση από τη δεξιά πλευρά του φακού κοιτάζοντας προς τον φακό θα βλέπει τις **ακτίνες σαν να προέρχονται από ένα (φανταστικό) είδωλο ευρισκόμενο πίσω από τον φακό, μεγαλύτερο από το αντικείμενο και σε ορθή θέση** (μεγεθυμένο και ορθό αφού $s' > s$ και $s' < 0$, επομένως $m > +1$). Όσο το αντικείμενο προσεγγίζει το εστιακό σημείο, το φανταστικό είδωλο πηγαίνει σε μεγαλύτερες αποστάσεις και μεγαλώνεται

ΑΠΟΚΛΙΝΩΝ ΦΑΚΟΣ – ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ



Αποκλίνων φακός

(οι ακτίνες καμπυλότητας και των δύο πλευρών είναι αρνητικές). Επομένως και η εστιακή απόσταση θα είναι αρνητική. Σύμφωνα με την εξίσωση φακού, ανεξάρτητα της θέσης του αντικειμένου στα αριστερά του φακού, **το είδωλο θα είναι πάντα φανταστικό, ορθό και μικρότερο από το αντικείμενο.**



$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$m = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}$$

$$\frac{1}{s'} = -\frac{1}{|f|} - \frac{1}{s}$$

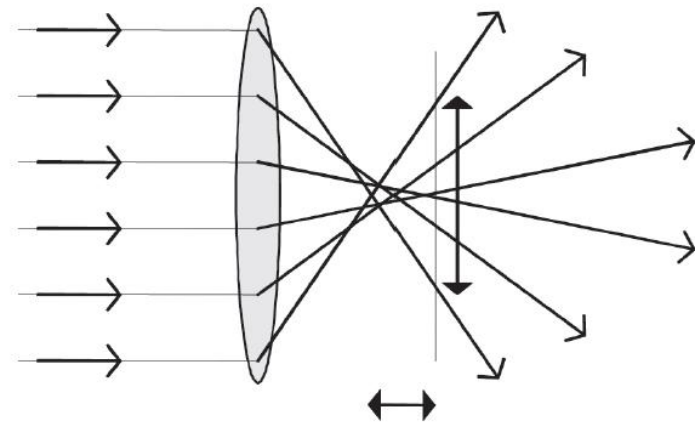


οπότε θα είναι πάντα $s' < 0$ και $|s'| < s$.

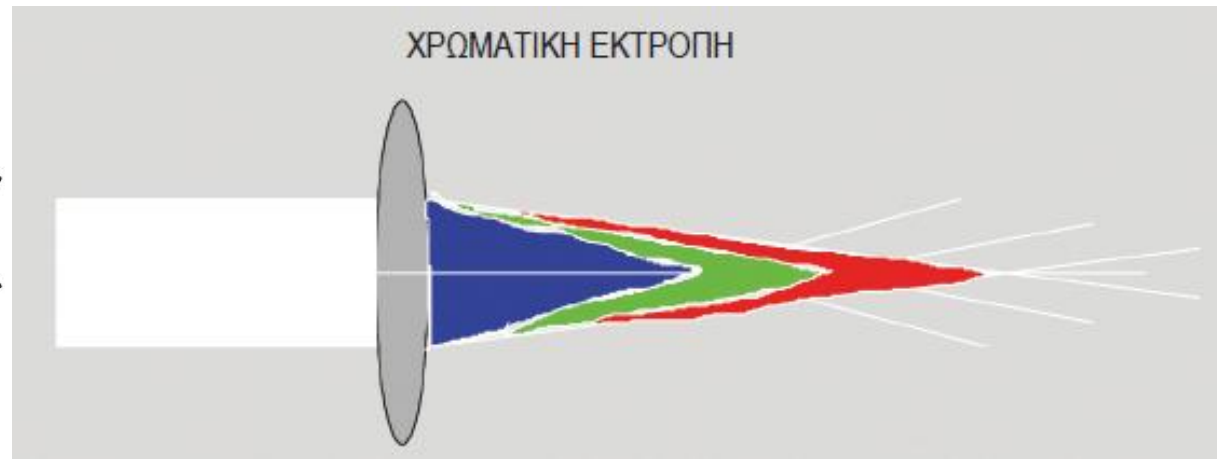
ΕΚΤΡΟΠΕΣ ΦΑΚΟΥ

- *Μονοχρωματικές εκτροπές* (αφορούν ένα μόνο χρώμα)
- *Χρωματικές εκτροπές* (εκφράζουν την αδυναμία ενός φακού να εστιάσει στην ίδια θέση ακτίνες διαφορετικού λ (χρώματος) οι οποίες, εξαιτίας της διασποράς του υλικού του φακού, αντιστοιχούν σε διαφορετικό δείκτη διάθλασης και διαθλώνται διαφορετικά.)

ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΚΤΡΟΠΗ



ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΕΚΤΡΟΠΗ

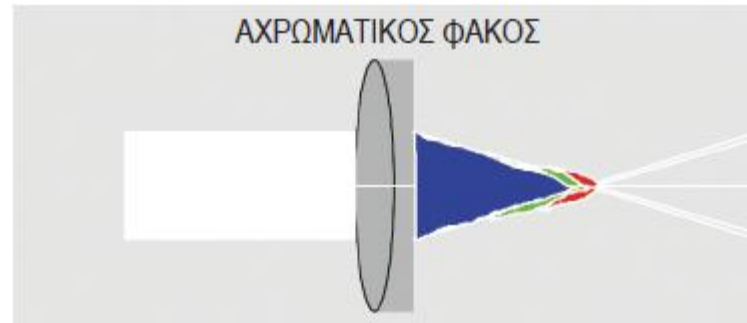


ΔΙΟΡΘΩΣΗ:

- Παραβολοειδής αντί σφαιρικού φακού
- Χρήση διαφράγματος που επιτρέπει την πρόσπτωση στο φακό μόνο των παραξονικών ακτίνων (αυτές που βρίσκονται κοντά στον οπτικό άξονα)

ΔΙΟΡΘΩΣΗ:

ΑΧΡΩΜΑΤΙΚΟΣ ΦΑΚΟΣ



Χρησιμοποιώντας έναν αχρωματικό φακό (σύνθετος φακός), μειώνεται αισθητά η θολή απόδοση των χρωμάτων

ΣΥΝΘΕΤΟΙ ΦΑΚΟΙ

Συνδυασμοί πολλών απλών φακών σε σειρά, που είτε βρίσκονται σε επαφή είτε απέχουν μεταξύ τους. Οι περισσότεροι φακοί των οπτικών συσκευών είναι σύνθετοι φακοί κατασκευασμένοι έτσι ώστε να αντισταθμίζουν τις εκτροπές.

Δύο λεπτοί φακοί που είναι σε επαφή μεταξύ τους:

Το είδωλο του αντικειμένου από τον πρώτο μεμονωμένο φακό (αυτόν που βρίσκεται πλησιέστερα στο αντικείμενο) θεωρείται ως αντικείμενο για τον δεύτερο φακό κ.ο.κ. και χρησιμοποιούμε τους κανόνες προσήμων.

Εξίσωση φακού για τον 1ο φακό και τον 2ο φακό είναι:

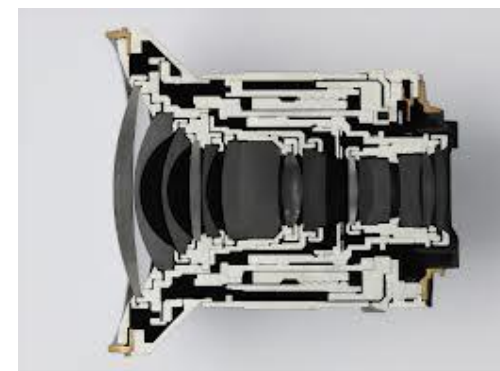
$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} = \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f_2}$$



Αν θεωρήσουμε το είδωλο από τον πρώτον φακό ως αντικείμενο για τον δεύτερο, θα είναι $s_2 = -s'_1$ και προσθέτοντας τις δύο εξισώσεις βρίσκουμε ότι:

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

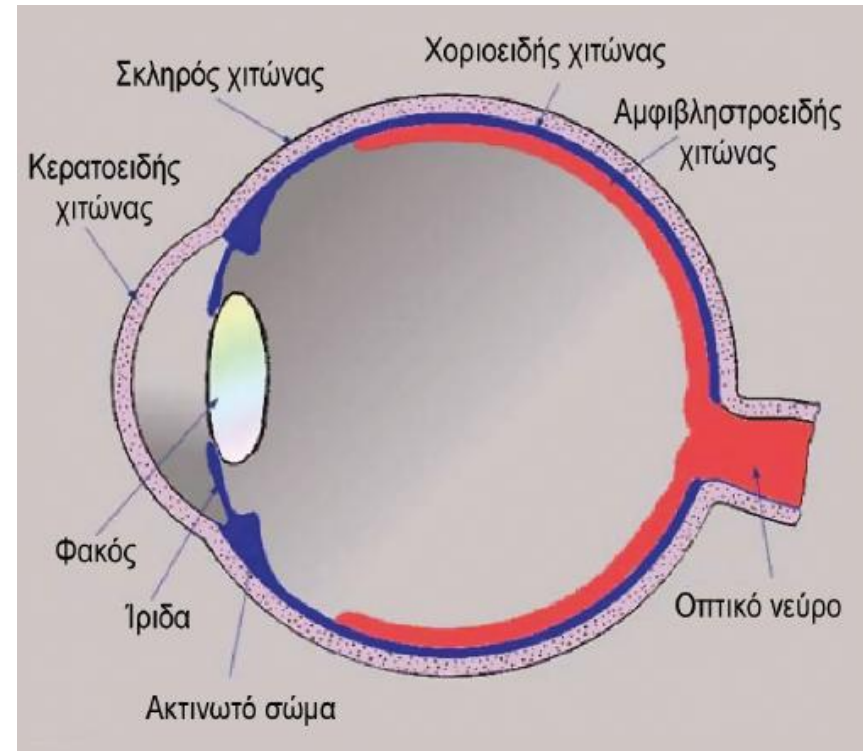


Άρα, μπορούμε να θεωρήσουμε τους δύο λεπτούς φακούς, που είναι σε επαφή μεταξύ τους, ως έναν φακό του οποίου η εστιακή απόσταση προκύπτει από τον συνδυασμό των άλλων δύο, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$$

Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ

- Διάφανος κερατοειδής χιτώνας με $n \approx 1,38$.
 - Θάλαμος με *υδατοειδές υγρό*.
 - Ο *φακός* είναι ένας διπλός κυρτός φακός με $n \approx 1,42$.
- Συνολικά, ως οπτικό ισοδύναμο του οφθαλμού μπορεί να θεωρηθεί ένα σύστημα παχύ φακού που αποτελείται από τον κερατοειδή χιτώνα, το υδατοειδές υγρό και τον φακό.
- Το σχήμα του φακού ελέγχεται από ακτινωτούς μυς που μπορούν να αλλάζουν την ικανότητα εστίασής του με μια διαδικασία γνωστή ως προσαρμογή.



Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ

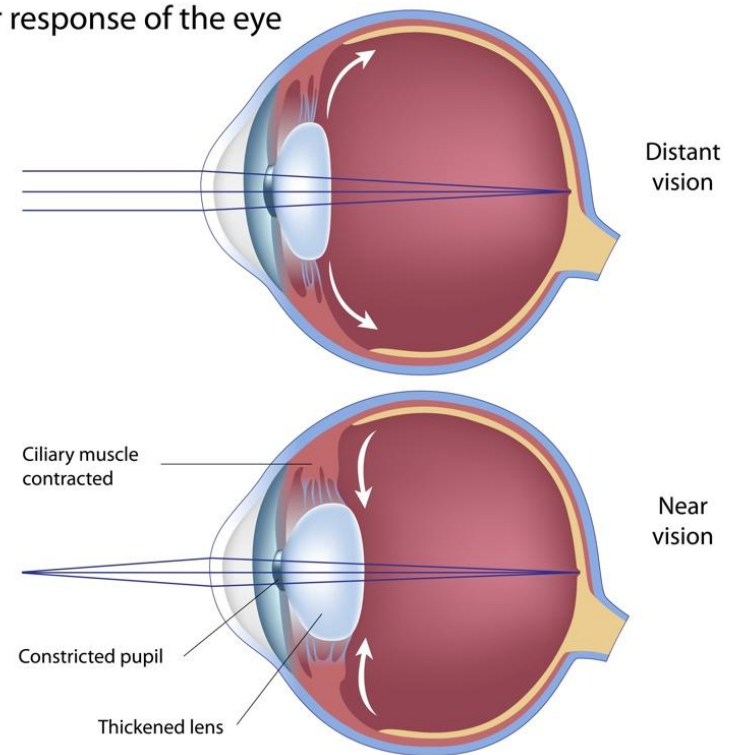
Φυσιολογικά, χωρίς καμία αλλαγή του σχήματος του φακού, μπορούμε να εστιάζουμε σε αντικείμενα που βρίσκονται σε απόσταση από περίπου 6 m έως το άπειρο.

Για να δούμε αντικείμενα που βρίσκονται σε κοντινότερες αποστάσεις, το μάτι δεν παραμένει χαλαρωμένο. Ο φακός του αλλάζει σχήμα, εξογκώνεται και δίνει πιο κοντινή εστίαση.

Από ένα αντικείμενο στο «άπειρο», παράλληλες ακτίνες φωτός εστιάζονται, από τον φακό σε κατάσταση χαλάρωσης, σε ένα σημείο του αμφιβληστροειδούς, περίπου 3 cm πίσω από τον φακό.

Ένα αντικείμενο σε μεγάλη αλλά πεπερασμένη απόσταση **εστιάζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή ως αντεστραμμένο είδωλο**, το οποίο ερμηνεύεται ανορθωμένο από τον εγκέφαλο.

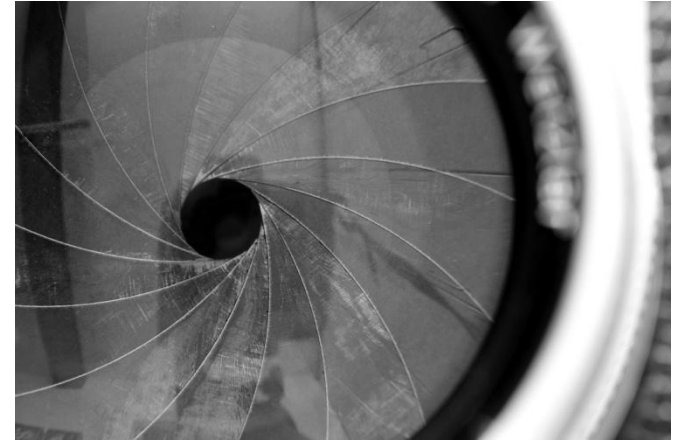
The near response of the eye



Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ



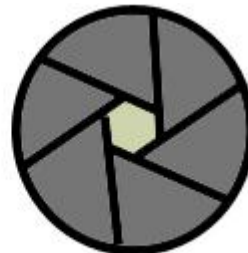
ίριδα



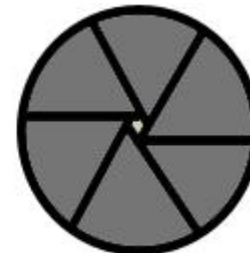
f1.4



f2.8



f5.6



f16

Μια λειτουργία της ίριδας είναι η μείωση της διαμέτρου του ανοίγματος του διαφράγματος, ώστε να ρυθμίζεται η **ποσότητα του φωτός** που εισέρχεται στον οφθαλμό (όπως το **διάφραγμα Φωτ. Μηχανής**)

Εγγύς σημείο όρασης

(η μικρότερη απόσταση από τον οφθαλμό στην οποία όταν βρίσκεται ένα αντικείμενο, ο οφθαλμός έχει την ικανότητα να εστιάζει σε αυτό με ευκρίνεια)

Για ένα **φυσιολογικό οφθαλμό**:

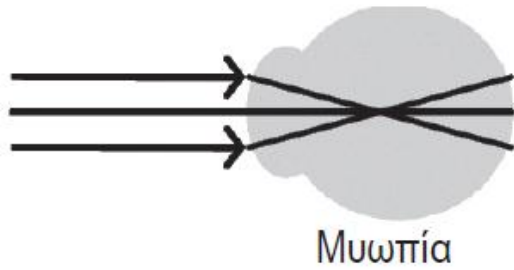
- το εγγύς σημείο όρασης είναι $s_{\min} = 25 \text{ cm}$ και
- η απόσταση από τον αμφιβληστροειδή είναι $s' = 3 \text{ cm}$,
τότε, όπως προκύπτει από την Εξίσωση φακού:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

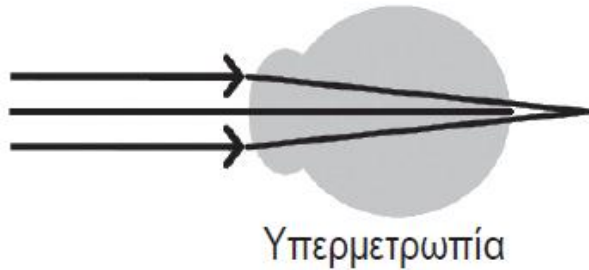
η ελάχιστη εστιακή απόσταση f του φυσιολογικού οφθαλμού είναι **2,7 cm**.

Ο φυσιολογικός οφθαλμός σχηματίζει ένα αντεστραμμένο πραγματικό είδωλο στον αμφιβληστροειδή που είναι σε μέγεθος $m = s'/s = 3\text{cm} / 25 \text{ cm} = 0,12$ του μεγέθους του αντικειμένου.

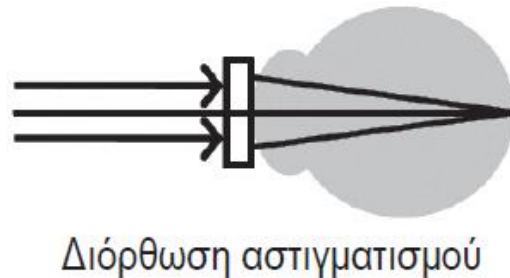
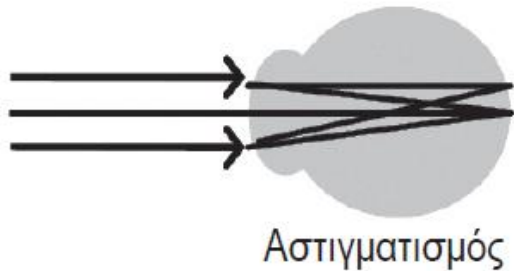
Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ



Μυωπία: Ο βολβός του οφθαλμού είναι, σε σχέση με την ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς, περισσότερο επιμηκυμένος κατά μήκος του οπτικού άξονα.



Υπερμετρωπία: λιγότερο επιμηκυμένος κατά μήκος του οπτικού άξονα.



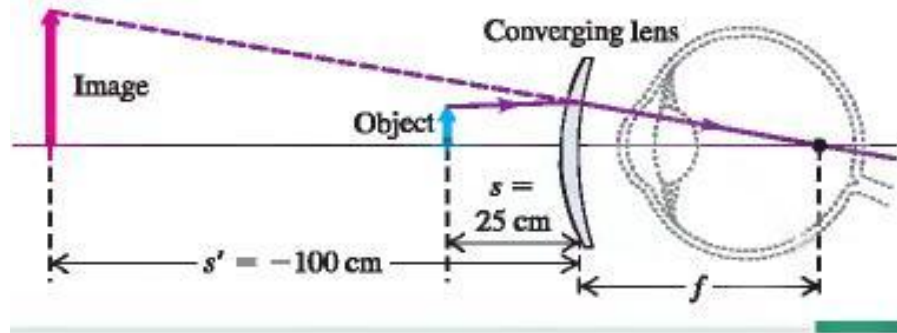
Αστιγματισμός: η επιφάνεια του κερατοειδούς δεν είναι σφαιρική αλλά ωοειδής, με αποτέλεσμα η εστίαση να μην είναι η ίδια για δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις.

Άσκηση

Η μέση ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως ενός ασθενούς με υπερμετρωπία είναι 100 cm. Χρειάζεται φακός επαφής ποιας εστιακής απόστασης, ώστε να μπορεί να εστιάσει στα 25 cm;

Λύση

Πρέπει ο φακός επαφής να δημιουργεί ένα είδωλο στα 100 cm για ένα αντικείμενο που βρίσκεται στα 25 cm.



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{+25 \text{ cm}} + \frac{1}{-100 \text{ cm}}$$
$$f = +33 \text{ cm}$$

ΟΠΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ: ΜΕΓΕΘΥΝΤΙΚΟΣ ΦΑΚΟΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

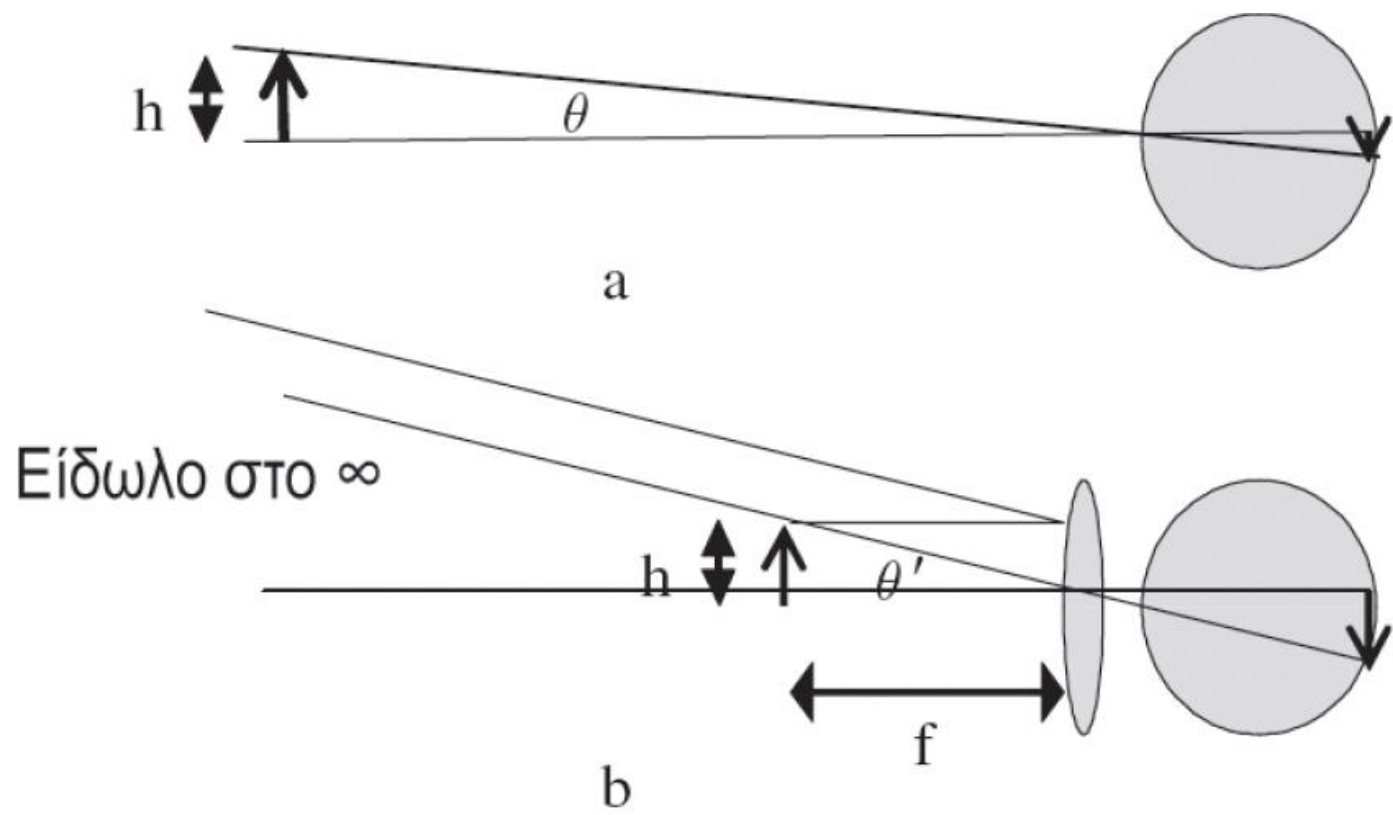


Για να μπορέσουμε να παρατηρήσουμε μικρές λεπτομέρειες ενός αντικειμένου θα πρέπει να το φέρουμε όσο το δυνατόν πλησίον στα μάτια μας. Με αυτό τον τρόπο το είδωλο του αντικειμένου που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή μεγεθύνεται και καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση στις περιοχές αντίχνευσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρικής ανάλυσης στον αμφιβληστροειδή.

Αφού η ύπαρξη του εγγύς σημείου περιορίζει την ικανότητά μας να φέρουμε τα αντικείμενα όσο κοντά θα θέλαμε, ώστε να αυξήσουμε το μέγεθος του εστιασμένου στον αμφιβληστροειδή ειδώλου, η δυνατότητα του γυμνού ανθρώπινου οφθαλμού να διακρίνει λεπτομέρειες είναι περιορισμένη.

ΜΕΓΕΘΥΝΤΙΚΟΣ ΦΑΚΟΣ

Αν θεωρήσουμε ότι το εγγύς σημείο είναι στα 25 cm (συνήθης τιμή)



- (a) γωνία $\theta = h/25$.
- (b) οφθαλμός βοηθούμενος από μεγεθυντικό φακό. Το αντικείμενο μεταφέρεται στο εστιακό σημείο του κυρτού φακού [εγγύτερα στον οφθαλμό από ότι στο (a)] και η γωνία $\theta' = h/f$ είναι μεγαλύτερη της θ .

ΜΕΓΕΘΥΝΤΙΚΟΣ ΦΑΚΟΣ

Ο μεγεθυντικός (κυρτός) φακός είναι συγκλίνων φακός που δίνει τη δυνατότητα εστίασης σε αποστάσεις κοντινότερες από ότι ο φακός του γυμνού οφθαλμού μας. Έτσι, μπορούμε να φέρουμε τα αντικείμενα πιο κοντά στο μάτι μας και τα είδωλό τους να παραμένουν εστιασμένα. Η γωνιακή μεγέθυνση ή ισχύς μεγέθυνσης ορίζεται από το πηλίκο της γωνίας θ' όταν το αντικείμενο βρίσκεται στην κοντινή θέση όπου επιτυγχάνεται εστίαση με τη βοήθεια του φακού, προς τη γωνία θ όταν το αντικείμενο είναι στο εγγύς σημείο του γυμνού οφθαλμού:

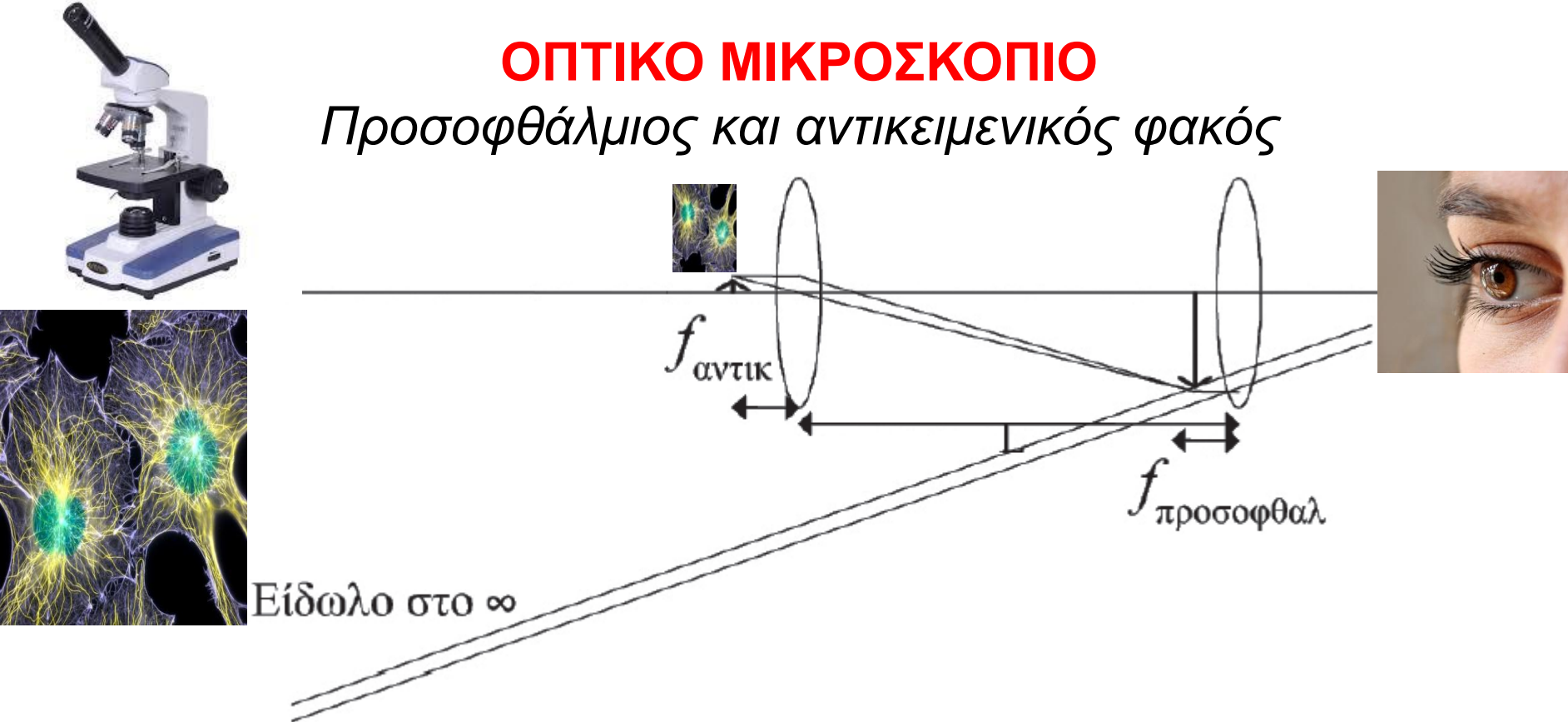
$$m_{\theta} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\left(\frac{h}{f}\right)}{\left(\frac{h}{25\text{ cm}}\right)} = \frac{25\text{ cm}}{f}$$



Όσο μικρότερη είναι η εστιακή απόσταση του φακού, τόσο μεγαλύτερη είναι η μεγέθυνση του ειδώλου που επιτυγχάνεται στο μάτι. Μέγιστη μεγέθυνση θα έχουμε όταν το είδωλο από τον μεγεθυντικό φακό σχηματίζεται στο εγγύς σημείο του οφθαλμού.

ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

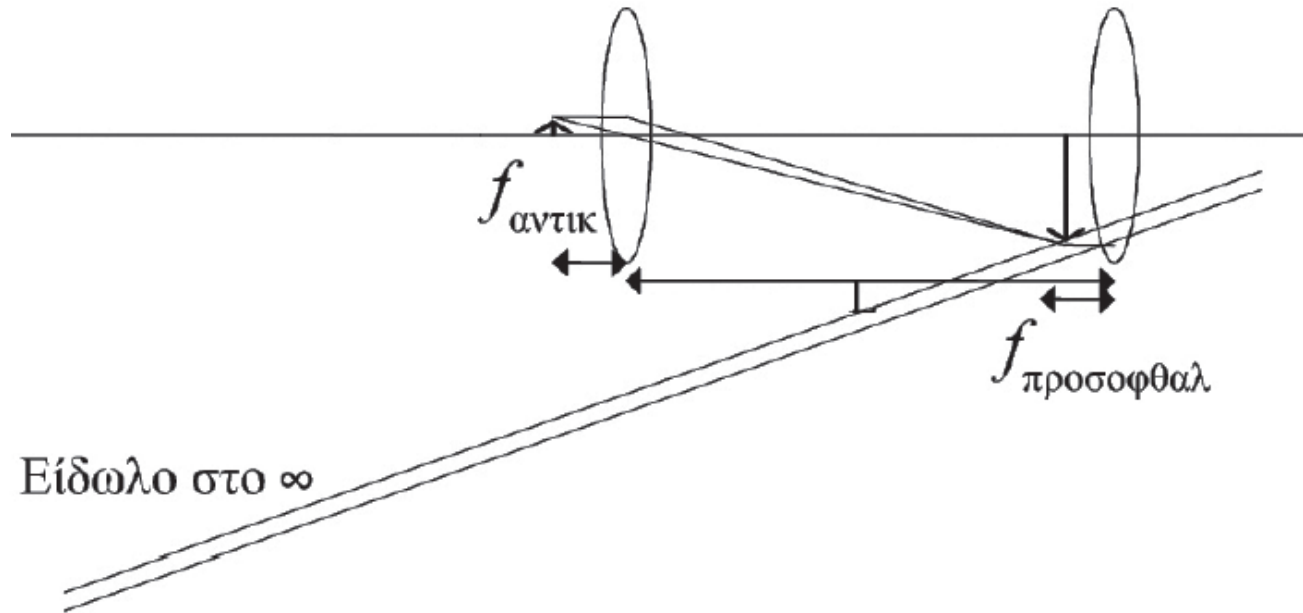
Προσοφθάλμιος και αντικειμενικός φακός



Το αντικείμενο τοποθετείται ακριβώς έξω από το εστιακό σημείο του αντικειμενικού φακού ώστε ένα μεγεθυμένο, αντεστραμμένο, πραγματικό είδωλο να σχηματίζεται ακριβώς πάνω στο εστιακό σημείο του προσοφθάλμιου φακού.

Ο προσοφθάλμιος φακός, με τη σειρά του, σχηματίζει ένα περαιτέρω μεγεθυμένο φανταστικό είδωλο στο άπειρο, ώστε να το βλέπει ο οφθαλμός σε χαλάρωση.

ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

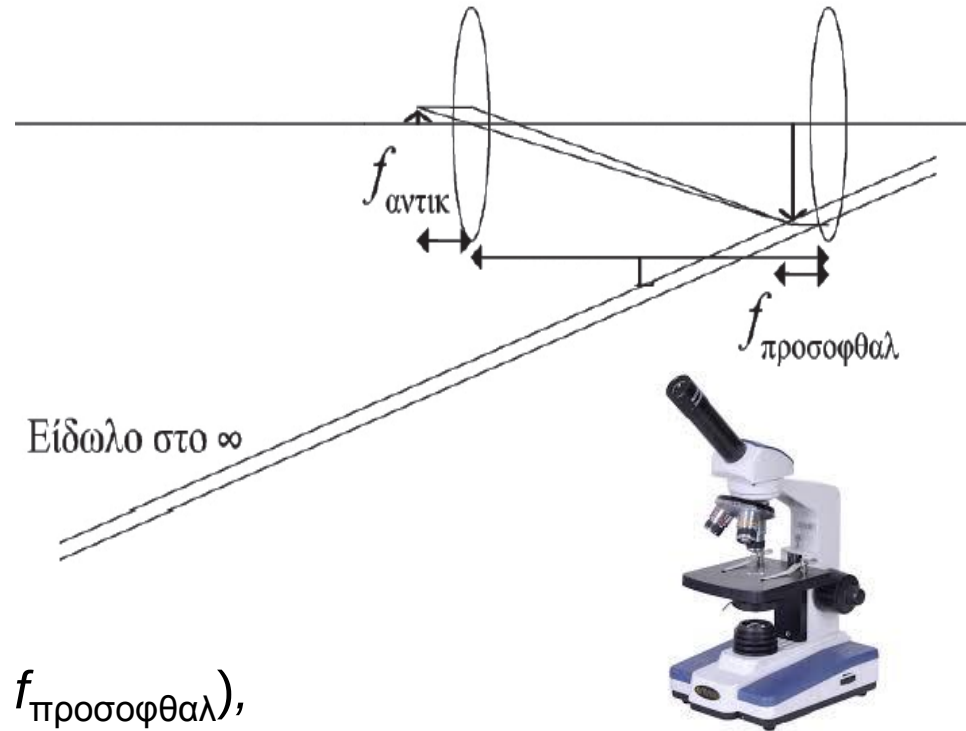


Τοποθετούμε το αντικείμενο που θέλουμε να παρατηρήσουμε ακριβώς έξω από το εστιακό σημείο του αντικειμενικού φακού, $s \sim f_{\text{αντικ}}$, και σχηματίζεται ένα πραγματικό αντεστραμμένο είδωλο με γραμμική μεγέθυνση :

$$m_{\text{αντικ}} = \frac{s'}{s} = \frac{s'}{f_{\text{αντικ}}}$$

ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Το είδωλο αυτό χρησιμοποιείται ως αντικείμενο από τον προσοφθάλμιο φακό, ο οποίος ρυθμίζεται έτσι ώστε να σχηματίζει ένα φανταστικό τελικό είδωλο στο άπειρο και επομένως ο οφθαλμός μπορεί να είναι σε χαλάρωση όταν το βλέπει.



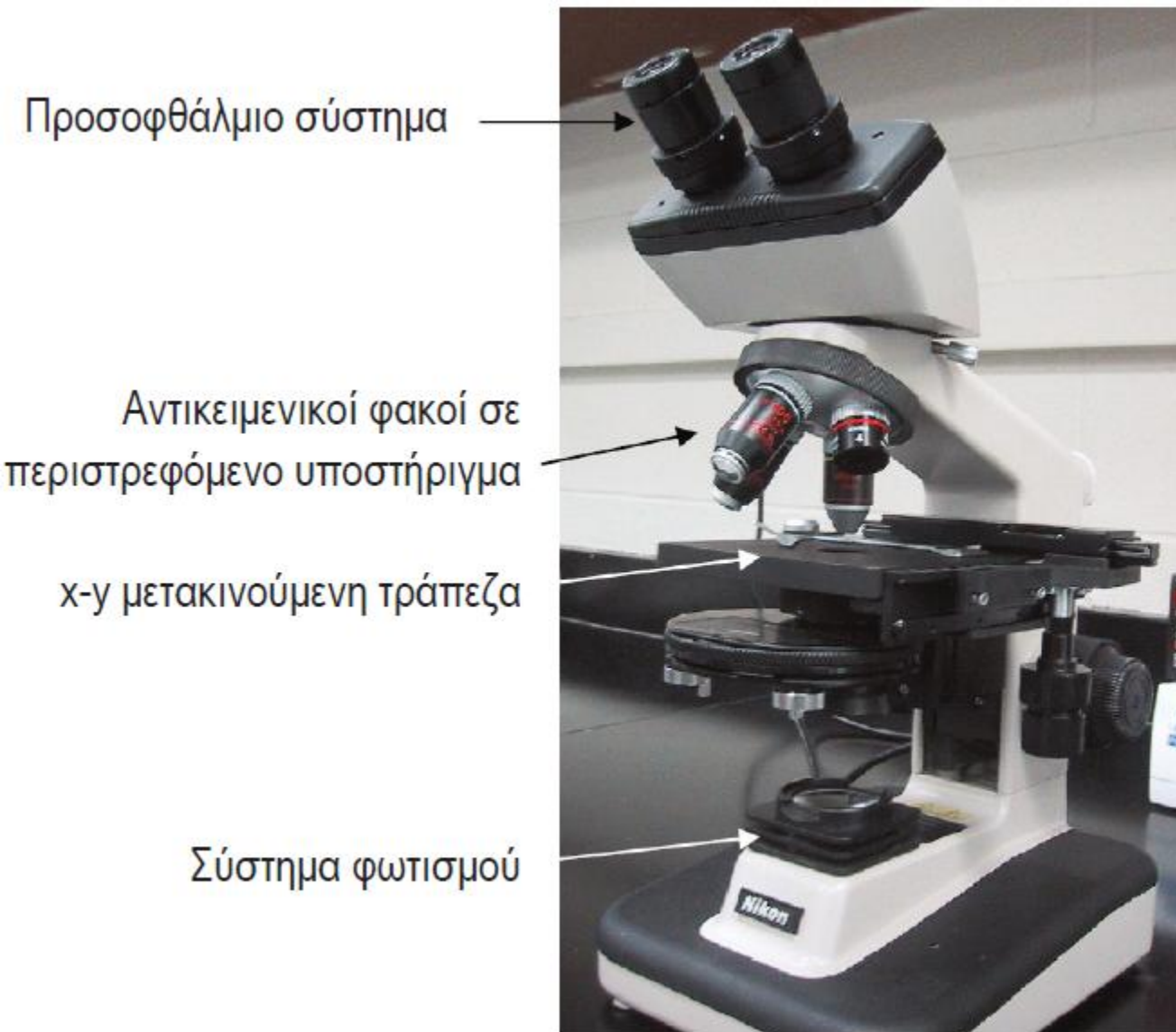
Τότε:

$$s' = (L - f_{\text{προσοφθαλ}}),$$

όπου L η απόσταση μεταξύ των φακών, όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Η συνολική μεγέθυνση που επιτυγχάνεται με αυτό το σύστημα φακών, συγκριτικά με το μέγεθος του ειδώλου όταν το αντικείμενο βρίσκεται στο εγγύς σημείο του γυμνού οφθαλμού, είναι τότε:

$$m = m_{\text{αντικ}} m_{\text{προσοφθαλ}} = \left(\frac{L - f_{\text{προσοφθαλ}}}{f_{\text{αντικ}}} \right) \left(\frac{25 \text{ cm}}{f_{\text{προσοφθαλ}}} \right) \approx \frac{25 \text{ cm} \cdot L}{f_{\text{αντικ}} f_{\text{προσοφθαλ}}}$$

ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



Υπάρχει δυνατότητα εναλλαγής **αντικειμενικών φακών** με διαφορετική εστιακή απόσταση.

Συνήθως οι φακοί μικρής εστιακής απόστασης ενός μικροσκοπίου είναι **σύνθετοι φακοί** σχεδιασμένοι έτσι ώστε να απαλείφουν τις εμφανιζόμενες εκτροπές.

Εύκολα επιτυγχάνονται μεγεθύνσεις πάνω από 1.000×.

Θέμα εξετάσεων

Ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού κυμαίνεται μεταξύ $n=1,7$ για $\lambda=400\text{ nm}$ και $n=1,5$ για $\lambda=700\text{ nm}$. Μια δέσμη λευκού φωτός ($400 - 700\text{ nm}$) στο κενό, πέφτει πλάγια πάνω σε επιφάνεια του υλικού.

α) Εκτρέπεται της πορείας του περισσότερο το

A) κόκκινο φως B) πράσινο φως Γ) ιώδες φως Δ) κανένα από τα παραπάνω ;

Εξηγείστε την απάντησή σας:

β) Βάσει του (α), η εστιακή απόσταση ενός συγκλίνοντος φακού από αυτό το υλικό, είναι μεγαλύτερη για:

A) κόκκινο φως B) πράσινο φως Γ) ιώδες φως Δ) κανένα από τα παραπάνω

γ)) Βάσει του (β), υπολογίστε την μορφή και θέση του ειδώλου σημειακής πηγής **λευκού φωτός** που βρίσκεται στην θέση K στο παρακάτω διάγραμμα. Ο συγκεκριμένος φακός από το υλικό αυτό, έχει ακτίνες καμπυλότητας $R_1=R_2=7\text{ cm}$.

Σχεδιάστε διάγραμμα ακτίνων και το είδωλο της πηγής. Είναι και το είδωλο σημειακό; Πως λέγεται το φαινόμενο που παρατηρούμε αναφορικά με το χρώμα;

