

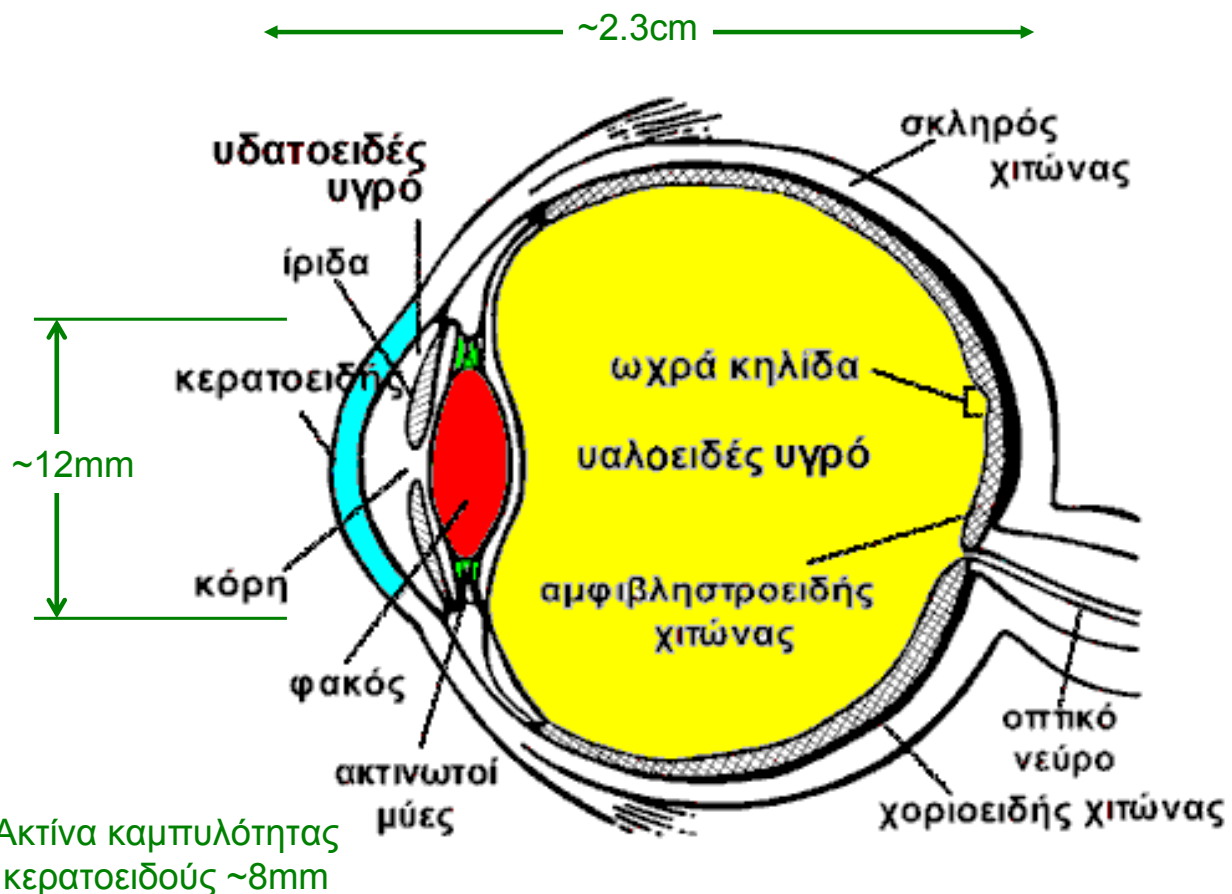
7γ Γεωμετρική οπτική - οπτικά όργανα

- Οφθαλμός
- Διαθλαστικές παθήσεις του οφθαλμού
- Απλό μικροσκόπιο
- Σύνθετο μικροσκόπιο

Μαρία Κασικίνη
katsiki@auth.gr
users.auth.gr/katsiki

Οφθαλμός

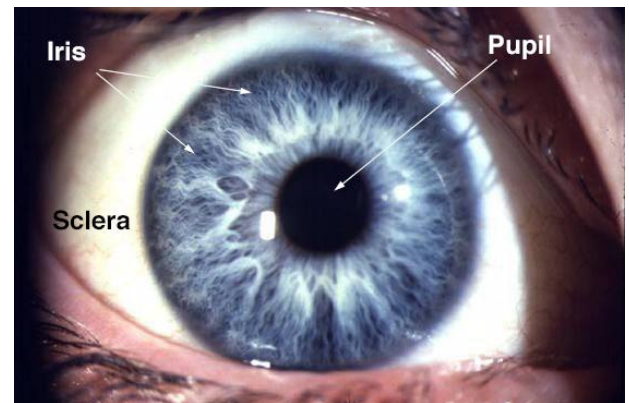
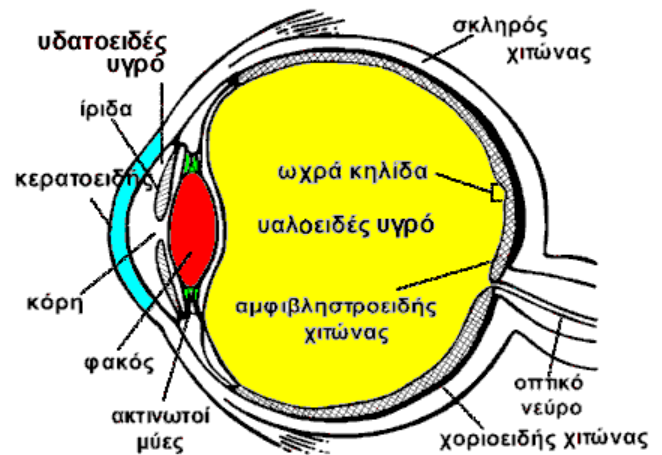
Περιγραφή



Οφθαλμός

Περιγραφή

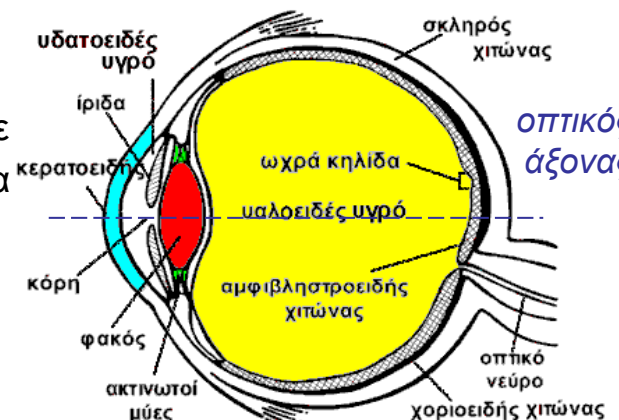
- **Κερατοειδής:** διαφανής κυρτή επιφάνεια που λειτουργεί ως συγκλίνων φακός
- **Σκληρός χιτώνας:** σκληρή μεμβράνη που προστατεύει το μάτι
- **Χοριοειδής χιτώνας:** Σκούρα μεμβράνη που απορροφά το φως που διέρχεται από τον αμφιβληστροειδή
- **Αμφιβληστροειδής χιτώνας:** φωτοευαίσθητη μεμβράνη πλούσια σε κωνία και ραβδία (απολήξεις νεύρων)
- **Κόρη:** λειτουργεί ως οπή απ' την οποία διέρχεται το φως
- **Ίριδα:** χρωματιστή μεμβράνη που λειτουργεί ως διάφραγμα
- **Φακός** (κρυσταλλώδης): η καμπυλότητά του τροποποιείται
- **Ακτινωτοί μύες:** Τροποποιούν την καμπυλότητα του φακού



Οφθαλμός

Περιγραφή

- **Ωχρά κηλίδα:** περιέχει μόνο κωνία και είναι ευαίσθητη στο χρώμα. Όσο απομακρυνόμαστε από αυτή τόσο αυξάνει η πυκνότητα σε ραβδία έναντι των κωνίων
- **Οπτικό νεύρο:** μεταφέρει τα ηλεκτρικά σήματα (που προέρχονται από τη μετατροπή των οπτικών σημάτων στα κωνία και τα ραβδία) στον εγκέφαλο
- **Τυφλό σημείο:** είναι το σημείο στο οποίο το οπτικό νεύρο εισέρχεται στο μάτι



ραβδία →

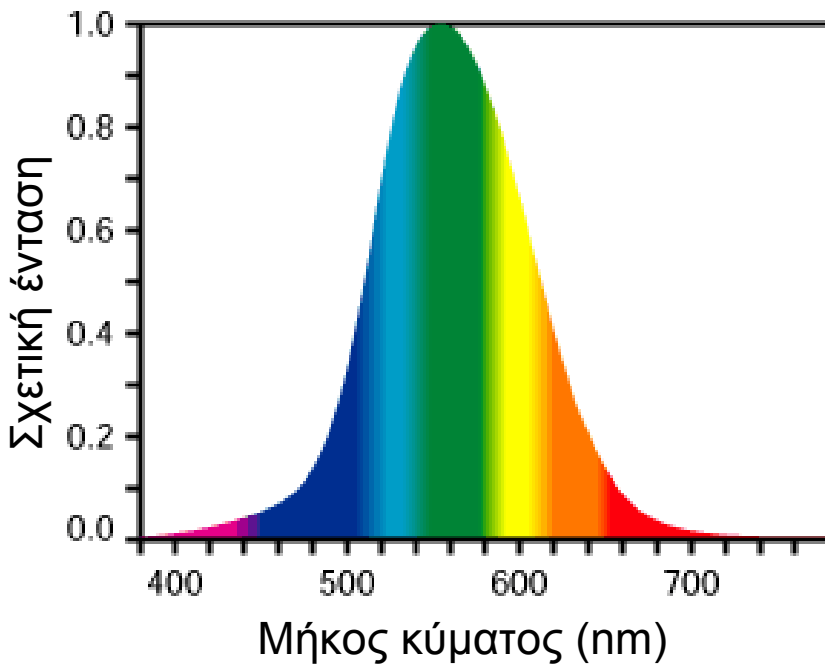
κωνία →



Fig 1b. Scanning electron micrograph of the rods and cones of the primate retina. Image adapted from one by Ralph C. Eagle/Photo Researchers, Inc.

Οφθαλμός

Απόκριση του ματιού



Για $\lambda < 300\text{nm}$ απορροφά ο κερατοειδής

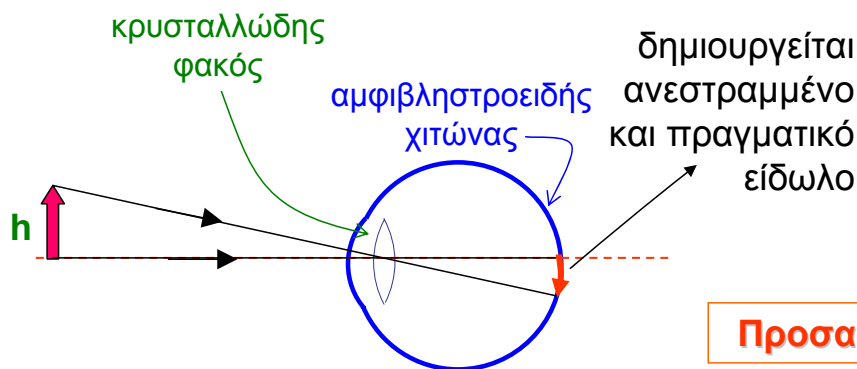
Για $\lambda < 380\text{nm}$ απορροφά ο κρυσταλλώδης φακός

Για $\lambda > 1200\text{nm}$ απορροφά το υδατοειδές και το υαλοειδές υγρό

Για $\lambda > 800\text{nm}$ σχεδόν μηδενίζεται η ευαισθησία του αμφιβληστροειδούς

Οφθαλμός

Για να διακρίνει ένα μάτι καθαρά ένα αντικείμενο θα πρέπει αυτό να εστιάζεται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα.



Ο κρυσταλλώδης φακός έχει την ιδιότητα να αλλάζει την καμπυλότητά του
→ αλλάζει η εστιακή απόσταση
→ μπορεί και σχηματίζει ευκρινή εικόνα για διαφορετικές αποστάσεις του αντικειμένου

$$P = \frac{1}{f} = (\eta - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Οφθαλμός

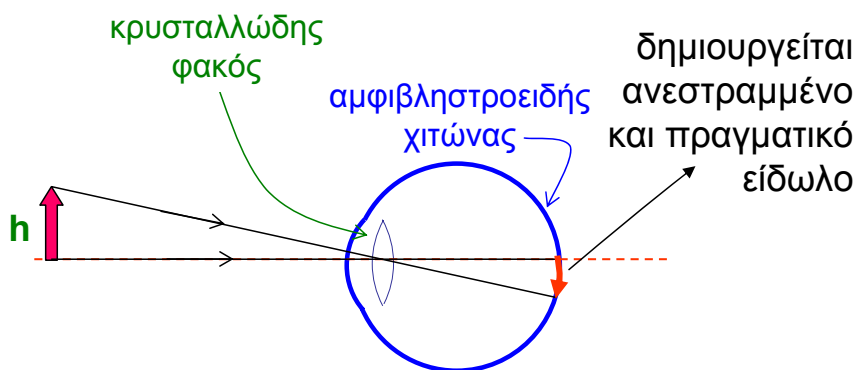
Εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης

είναι το κοντινότερο στο μάτι σημείο στο οποίο ένα αντικείμενο (ή το είδωλο που σχηματίζεται από κάποιο όργανο) φαίνεται καθαρά.

- Βρίσκεται σε απόσταση $D \sim 25\text{cm}$ από το μάτι
- Οποιοδήποτε αντικείμενο σε απόσταση μικρότερη της D φαίνεται θολό ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη της D φαίνεται μικρότερο

Απώτατο σημείο ευκρινούς όρασης

είναι το πιο απομακρυσμένο στο μάτι σημείο στο οποίο ένα αντικείμενο διακρίνεται καθαρά. Για φυσιολογικό μάτι θεωρείται στο άπειρο



Οφθαλμός

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΑΤΙΟΥ

Φυσιολογικό μάτι με τον κρυσταλλώδη φακό πλήρως «χαλαρό»:

$$P_{\infty} = \frac{1}{f_{relaxed}} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \Rightarrow P_{\infty} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{\alpha}$$

— διάμετρος ματιού

Φυσιολογικό μάτι πλήρως «προσαρμοσμένο»:

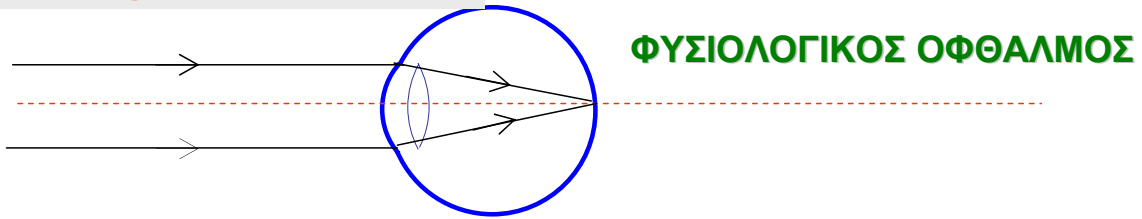
$$P_{near} = \frac{1}{f_{near}} = \frac{1}{D} + \frac{1}{a}$$

Εγγύτατο σημείο ευκρινούς οράσεως

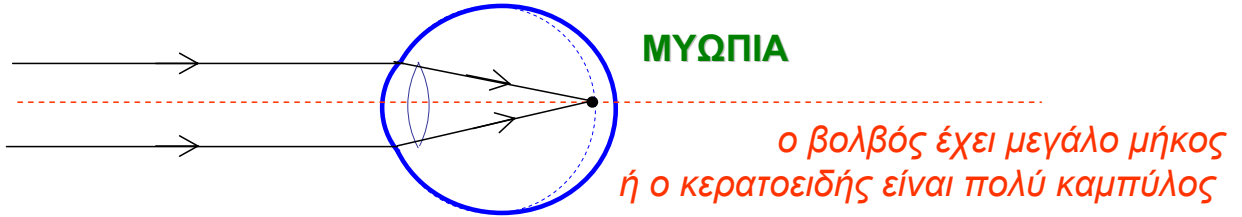
Ικανότητα προσαρμογής του ματιού =

$$P_{near} - P_{\infty} = \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{a} \right) - \left(\frac{1}{a} \right) = \frac{1}{D} = \frac{1}{0.25} = 4 \text{ diopters}$$

Παθήσεις των ματιών

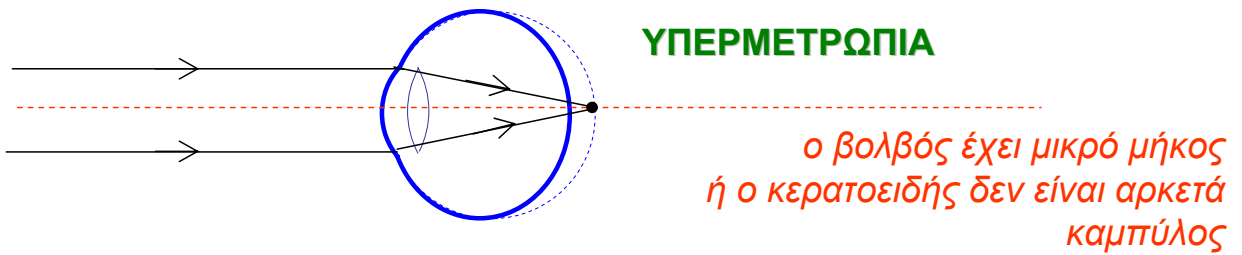


ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ



ΜΥΩΠΙΑ

ο βολβός έχει μεγάλο μήκος
ή ο κερατοειδής είναι πολύ καμπύλος



ΥΠΕΡΜΕΤΡΩΠΙΑ

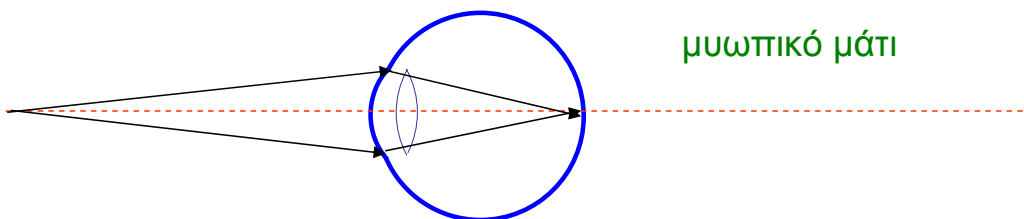
ο βολβός έχει μικρό μήκος
ή ο κερατοειδής δεν είναι αρκετά
καμπύλος

ΠΡΕΣΒΥΩΠΙΑ

ο κρυσταλλώδης φακός χάνει την ελαστικότητά του και δεν μπορεί να καμπυλωθεί πολύ ή/και οι ακτινωτοί μύες αδρανούν.

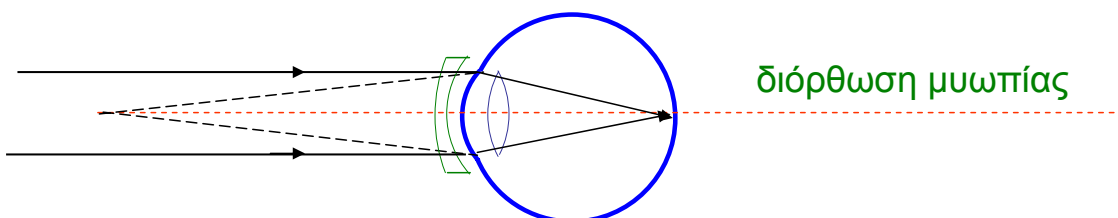
Μυωπία

Ένας μύωπας διακρίνει καλά κοντινά αντικείμενα και όχι μακρινά, δηλαδή **το απώτατο σημείο ευκρινούς όρασης βρίσκεται πιο κοντά από το άπειρο**



μυωπικό μάτι

ΔΙΟΡΘΩΣΗ με έναν αποκλίνοντα φακό με εστία στο απώτατο σημείο ευκρινούς όρασης (εστιάζει τις ακτίνες που προέρχονται από το άπειρο στο απώτατο σημείο ευκρινούς όρασης του μυωπικού οφθαλμού)

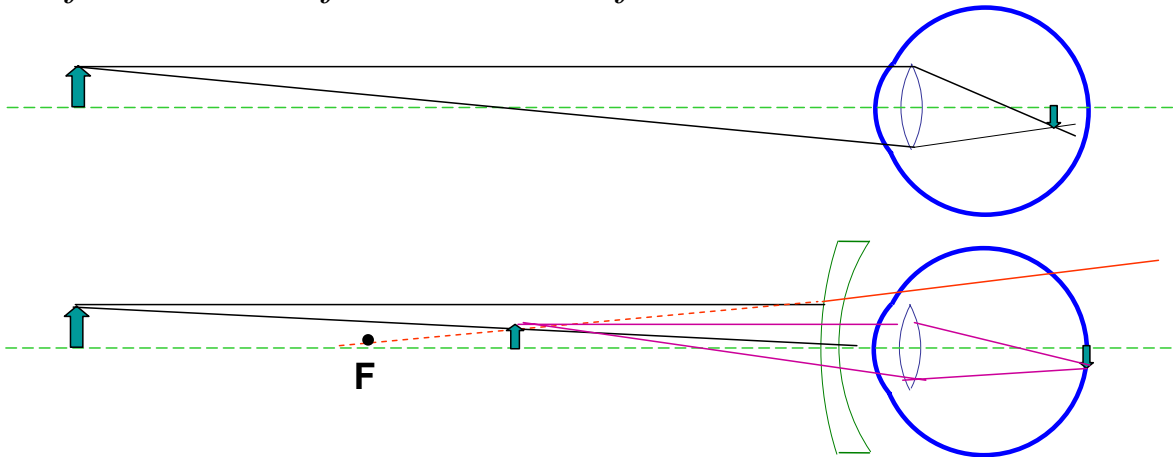


διόρθωση μυωπίας

Άσκηση

Ένας άνδρας δεν μπορεί να δει καθαρά αντικείμενα που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 200cm. Τι είδους γυαλιά θα πρέπει να χρησιμοποιήσει;

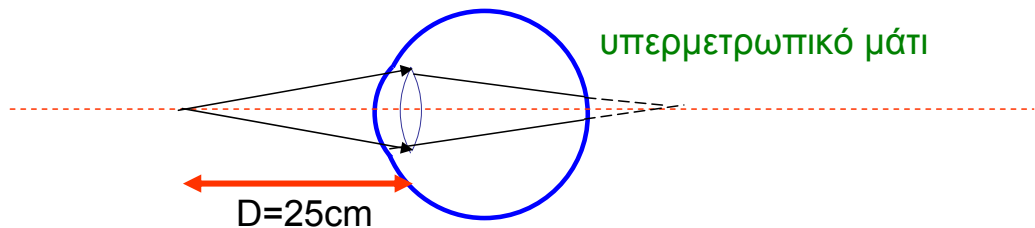
- Δεν βλέπει μακριά → μυωπία
- Απόσταση απώτατου σημείου ευκρινούς όρασης = 2m
- $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-2} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{-2} \Rightarrow f = -2m$



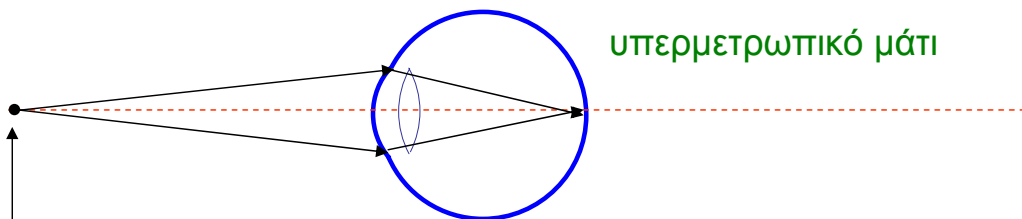
→ Διόρθωση με αποκλίνοντες φακούς εστιακής απόστασης = 2m

Υπερμετρωπία (& πρεσβυωπία)

Κάποιος που πάσχει από υπερμετρωπία μπορεί να δει καλά μακρινά αντικείμενα **αλλά όχι κοντινά**, δηλαδή **το εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης βρίσκεται πιο μακριά από τα 25cm**.



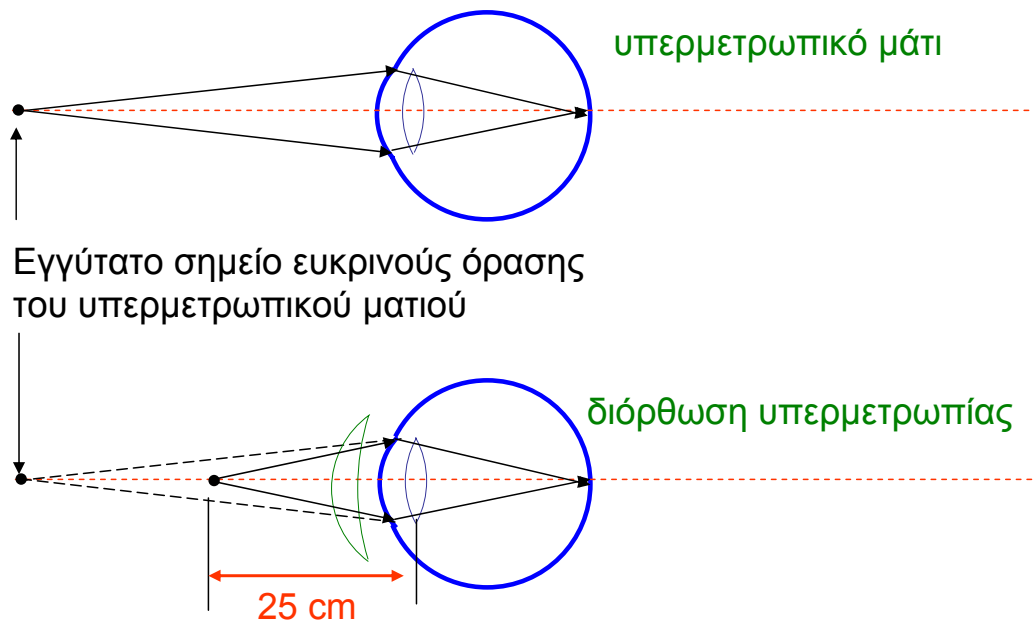
υπερμετρωπικό μάτι



υπερμετρωπικό μάτι

Εγγύτατο σημείο
ευκρινούς όρασης του
πάσχοντος οφθαλμού

Υπερμετρωπία (& πρεσβυωπία)



ΔΙΟΡΘΩΣΗ με έναν συγκλίνοντα φακό που εστιάζει το εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης ενός φυσιολογικού ματιού (25cm) στο εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης του υπερμετρωπικού οφθαλμού.

Άσκηση

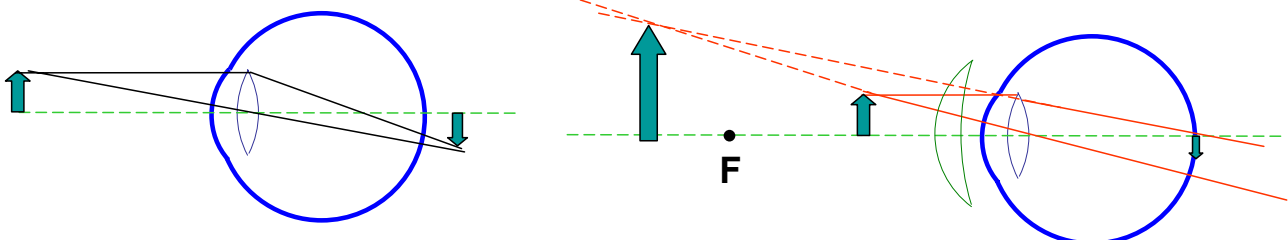
Μια γυναίκα δεν μπορεί να δει καθαρά αντικείμενα που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 50cm. Τι είδους γυαλιά θα πρέπει να χρησιμοποιήσει;

- Δεν βλέπει κοντά → πρεσβυωπία ή υπερμετρωπία
- Απόσταση εγγύτερου σημείου ευκρινούς όρασης = 50cm
- Χρειάζεται φακούς οι οποίοι θα φέρουν το αντικείμενο (το οποίο σε φυσιολογικό οφθαλμό μπορεί να βρίσκεται σε ελάχιστη απόσταση 25cm) στο εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης του πάσχοντος οφθαλμού.

$$\bullet \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-50} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{50} \Rightarrow f = 50cm$$

Αντικείμενο = φυσιολογικό εγγύτατο σημείο

Είδωλο (φανταστικό) = εγγύτατο σημείο πάσχοντος



Άσκηση

Ένας άνδρας με εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης 25cm φοράει γυαλιά με αποκλίνοντες φακούς εστιακής απόστασης 200cm προκειμένου να διορθωθεί το απώτατο σημείο ευκρινούς όρασης στο άπειρο. Πόσο είναι το εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης όταν φοράει τα γυαλιά;

● Αποκλίνοντες φακοί → μυωπία

$$\bullet \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{-200} = \frac{1}{s} + \frac{1}{-25} \Rightarrow \frac{1}{s} = \frac{8}{200} - \frac{1}{200} \Rightarrow s = 28.6cm$$

Είδωλο στο εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης → $s' = -25cm$
προκειμένου να μπορεί να εστιαστεί από το πλήρως προσαρμοσμένο μάτι

Εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης με γυαλιά

Το εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης επηρεάζεται από τους φακούς μυωπίας (μεγαλώνει)

Άσκηση

Ένα κοριτσάκι μπορεί να δει αντικείμενα καθαρά μόνο όταν βρίσκονται μεταξύ 60cm και 600cm μακριά από το μάτι.

α) Τι είδους γυαλιά απαιτούνται για να δει αντικείμενα τα οποία βρίσκονται μόνο 25cm μακριά;

β) Ποία είναι η απόσταση του πιο μακρινού αντικειμένου το οποίο μπορεί να διακρίνει καθαρά όσο φοράει τα γυαλιά;

α) Χρειάζεται γυαλιά με συγκλίνοντες φακούς (προκαλούν επιπλέον σύγκλιση)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-60} \Rightarrow f = \frac{25 \cdot 60}{60 - 25} = 42.9cm$$

φυσιολογικό εγγύτατο σημείο

εγγύτατο σημείο του κοριτσιού χωρίς γυαλιά

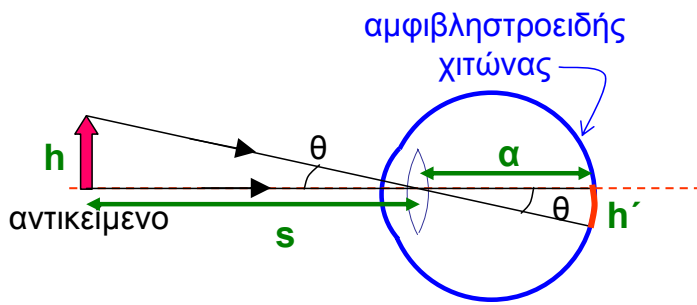
$$\beta) \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{42.9} = \frac{1}{s} + \frac{1}{-600} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{s} = \frac{1}{42.9} + \frac{1}{600} \Rightarrow s = 40cm$$

φανταστικό είδωλο στο απώτατο σημείο

Το απώτατο σημείο ευκρινούς όρασης επηρεάζεται από τους φακούς υπερμετρωπίας (μικραίνει)

Οπτική γωνία και γωνιακή μεγέθυνση



θ : γωνιακό μέγεθος = γωνία που υποτείνεται από το αντικείμενο στον οφθαλμό

α : μήκος του βολβού

h' : φαινόμενο μέγεθος του αντικειμένου (μέγεθος του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή)

$$\theta = \frac{h}{s} = \frac{h'}{\alpha}$$

σταθερή

Ισχύει για μικρές γωνίες για τις οποίες

$$\theta \approx \tan \theta \approx \sin \theta$$

Ένα νόμισμα φαίνεται μεγαλύτερο από το φεγγάρι γιατί βρίσκεται πιο κοντά στο μάτι μας και ορίζει μεγαλύτερη οπτική γωνία

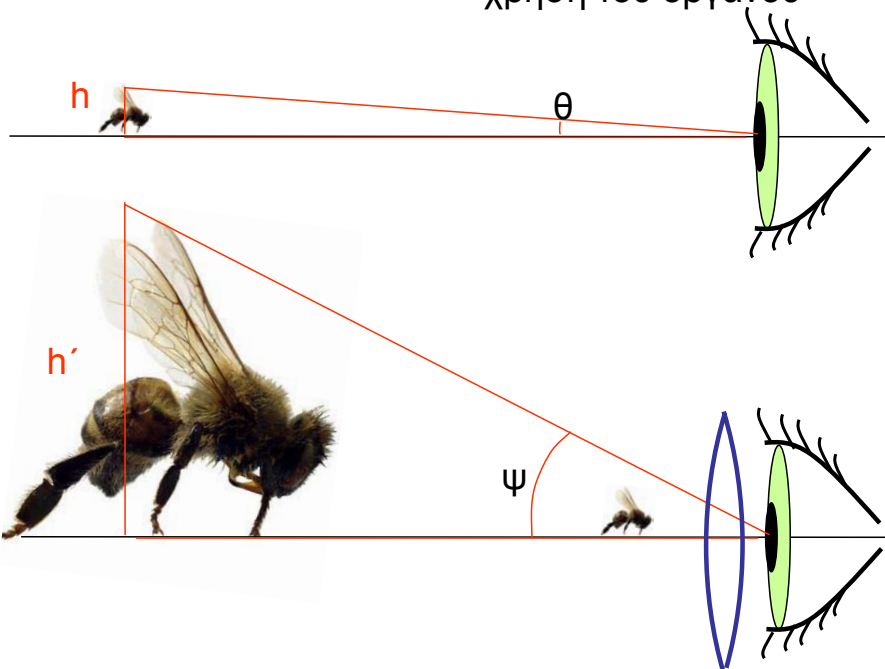
Γωνιακή μεγέθυνση ενός οργάνου

Γωνιακή μεγέθυνση (μεγεθυντική ισχύς) ενός οργάνου

$$M = \frac{\psi}{\theta}$$

Γωνιακό μέγεθος του αντικειμένου διαμέσου του οργάνου

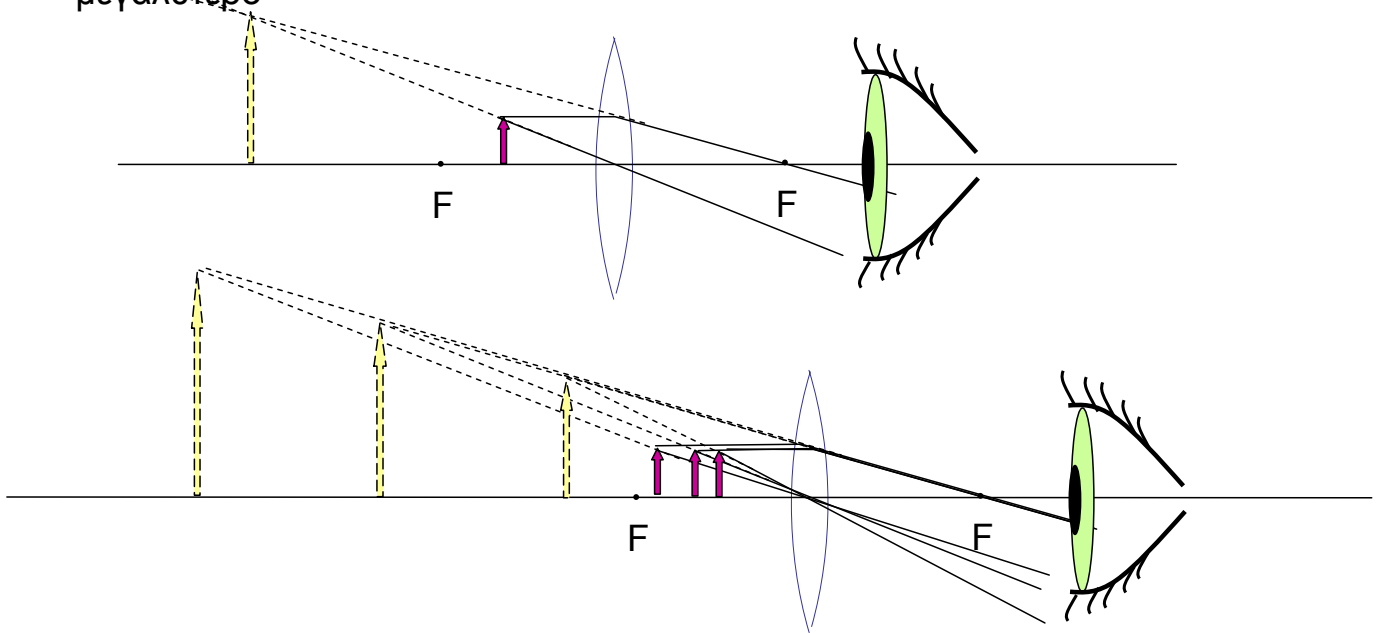
Γωνιακό μέγεθος του αντικειμένου χωρίς τη χρήση του οργάνου



* Η εγκάρσια μεγέθυνση (h'/h) δεν εκφράζει το πόσο μεγαλύτερο είναι το φαινόμενο μέγεθος ενός ειδώλου από το αντικείμενο

Μεγεθυντικός φακός - απλό μικροσκόπιο

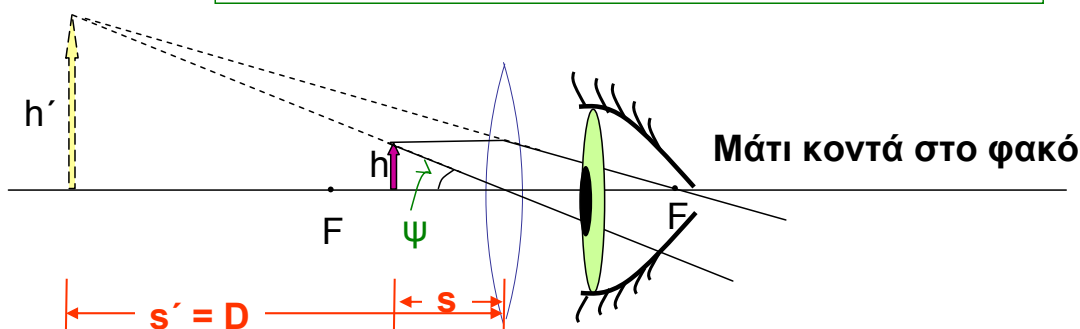
Μεγεθυντικός φακός: συγκλίνων φακός στον οποίο το αντικείμενο τοποθετείται μεταξύ του φακού και της εστίας → δημιουργείται φανταστικό είδωλο, ορθό και μεγαλύτερο



* Το μάτι θεωρείται ότι βρίσκεται σε επαφή με το φακό

Μεγεθυντικός φακός - απλό μικροσκόπιο

Είδωλο στο εγγύτατο σημείο ευκρινούς οράσεως
→ μεγαλύτερη γωνιακή μεγέθυνση



Γωνιακή μεγέθυνση ή μεγεθυντική ισχύς μικροσκοπίου (I)

$$M = \frac{\psi}{\theta}$$

Γωνιακό μέγεθος του ειδώλου του αντικειμένου στο μάτι με τη χρήση του οργάνου.

Γωνιακό μέγεθος του αντικειμένου στο μάτι χωρίς τη χρήση του οργάνου.

$$\psi = \frac{h'}{D}$$

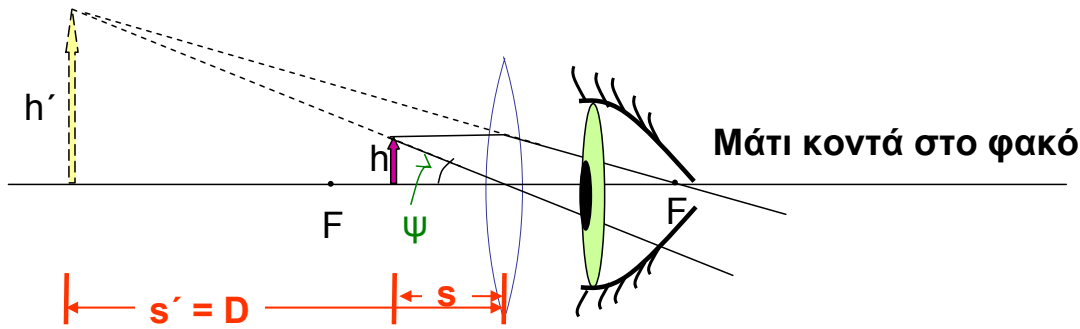
$$\theta = \frac{h}{D}$$

$$M = \frac{\frac{h'}{D}}{\frac{h}{D}} = \frac{h'}{h} = m$$

(εγκάρσια ή γραμμική) μεγέθυνση

Μεγεθυντικός φακός - απλό μικροσκόπιο

Είδωλο στο εγγύτατο σημείο → μεγαλύτερη γωνιακή μεγέθυνση



Γωνιακή μεγέθυνση ή μεγεθυντική ισχύς μικροσκοπίου (II)

ομοιότητα τριγώνων

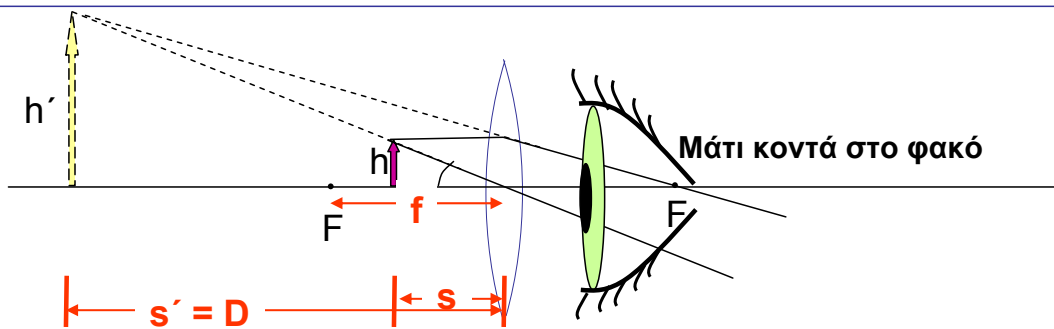
$$M = \frac{\psi}{\theta} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \psi = \frac{h'}{D} \\ \theta = \frac{h}{s} \end{array} \right\} M = \frac{\frac{h'}{D}}{\frac{h}{s}} = \frac{h'}{h} \frac{s}{D} = \frac{D}{s} = \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{-D} \right) D \Rightarrow M = \frac{D}{f} + 1$$

$D \sim +25\text{cm}$
 f : εστιακή απόσταση

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{-D}$$

Άσκηση

Μια εκτυπωμένη σελίδα διαβάζεται μέσω ενός μεγεθυντικού φακού εστιακής απόστασης 5cm με την τελική εικόνα να σχηματίζεται σε απόσταση 25cm. Ποιά είναι η εγκάρσια και η γωνιακή μεγέθυνση;



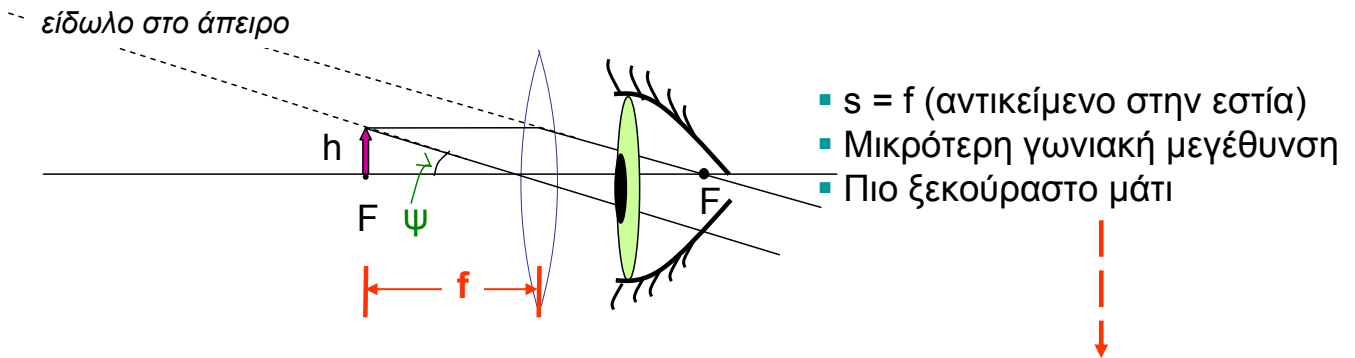
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{s} = \frac{1}{5} - \frac{1}{-25} = \frac{1}{5} + \frac{1}{25} \Rightarrow \frac{1}{s} = \frac{5}{25} + \frac{1}{25} \Rightarrow s = \frac{25}{6} \text{ cm}$$

Εγκάρσια μεγέθυνση: $m = \frac{s'}{s} = \frac{25}{\frac{25}{6}} = 6$

Γωνιακή μεγέθυνση: $M = \frac{D}{f} + 1 = \frac{25}{5} + 1 = 6$

Μεγεθυντικός φακός - απλό μικροσκόπιο

Είδωλο στο άπειρο



- $s = f$ (αντικείμενο στην εστία)
- Μικρότερη γωνιακή μεγέθυνση
- Πιο ξεκούραστο μάτι

Γωνιακή μεγέθυνση ή μεγεθυντική ισχύς

ομοιότητα τριγώνων

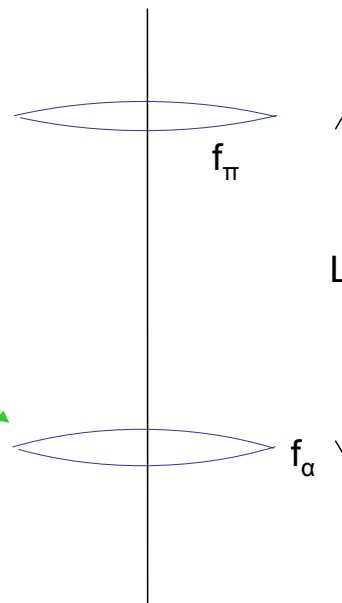
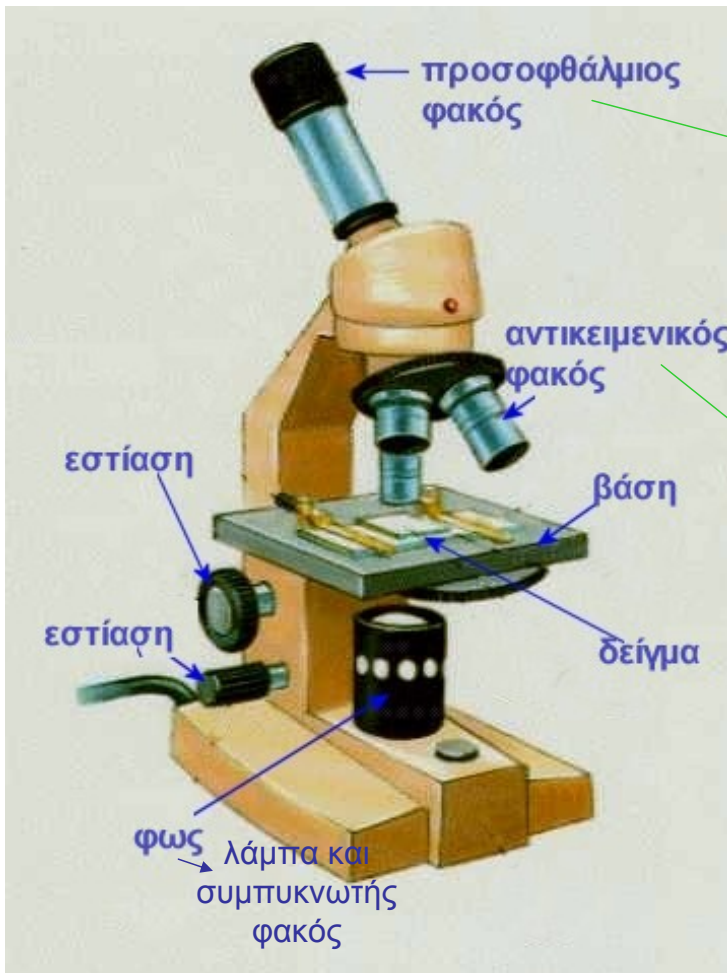
$$M = \frac{\psi}{\theta} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \psi = \frac{h'}{\infty} \\ \theta = \frac{h}{D} \end{array} \right\} M = \frac{h}{\frac{h}{D}} \Rightarrow M = \frac{D}{f}$$

για μεγάλη μεγέθυνση απαιτείται μικρό f δηλαδή μεγάλη καμπυλότητα του φακού \rightarrow παραμόρφωση ειδώλων

$D \sim +25\text{cm}$

f : εστιακή απόσταση

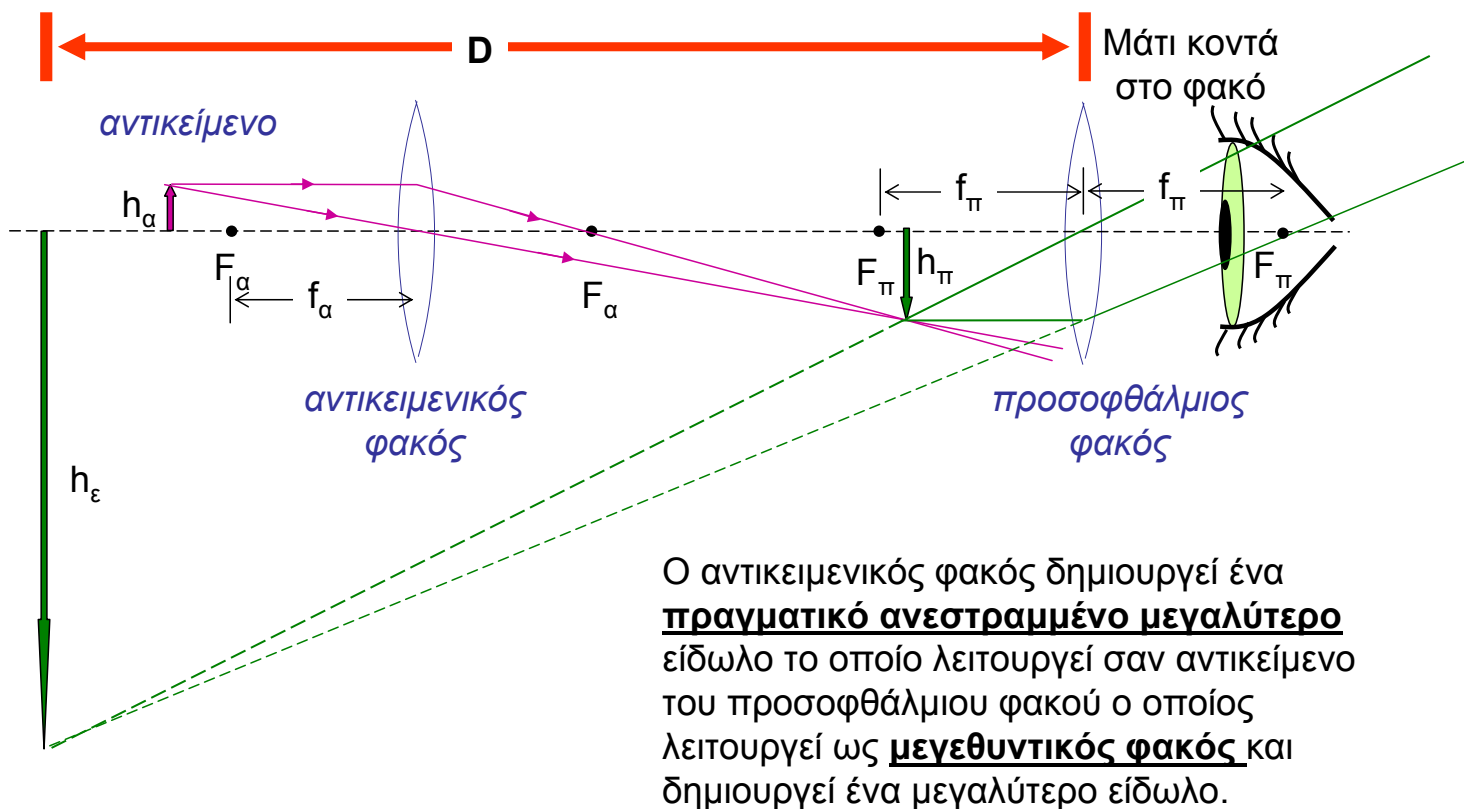
Σύνθετο μικροσκόπιο



- $f_{\alpha} > f_{\pi}$
- $L > f_{\alpha} + f_{\pi}$
- αντικείμενο κοντά στην εστία του αντικειμενικού

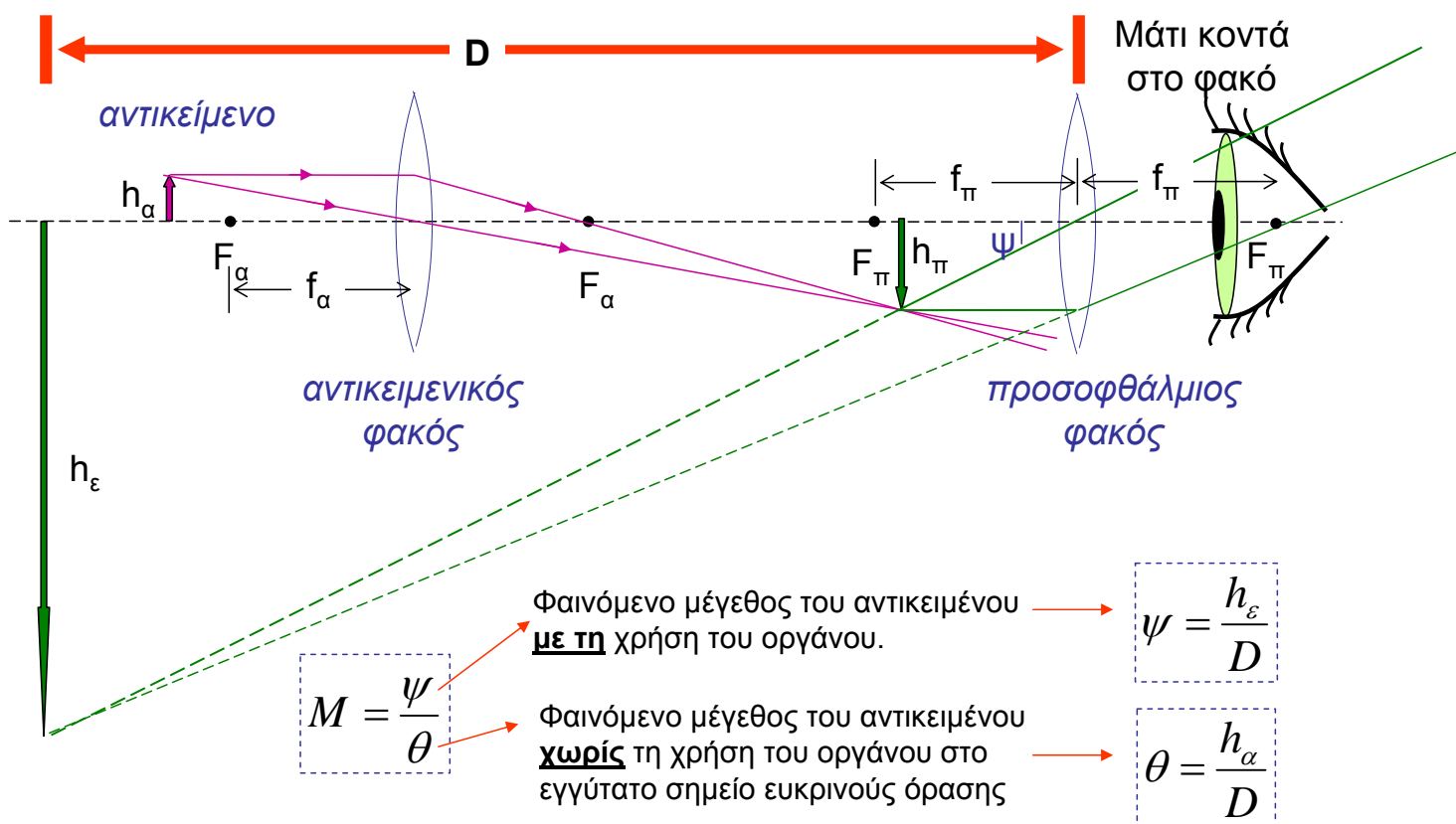
Σύνθετο μικροσκόπιο

Σύστημα δύο φακών → μεγαλύτερη μεγέθυνση



Σύνθετο μικροσκόπιο

Η απόσταση των δύο φακών είναι τέτοια ώστε το είδωλο του αντικειμενικού να σχηματίζεται μεταξύ του προσοφθάλμιου φακού και της εστίας του.



Σύνθετο μικροσκόπιο

$$M = \frac{\psi}{\theta} = \frac{\frac{h_\varepsilon}{D}}{\frac{h_\alpha}{D}} \Rightarrow M = \frac{h_\varepsilon}{h_\alpha}$$

Γωνιακή μεγέθυνση

$$m = \frac{h_\varepsilon}{h_\alpha}$$

(εγκάρσια) μεγέθυνση

$$M = \frac{h_\pi}{h_\alpha} \cdot \frac{h_\varepsilon}{h_\pi}$$

μεγέθυνση αντικειμενικού φακού

μεγέθυνση προσοφθάλμιου φακού

$$M = \frac{s'_\alpha}{s_\alpha} \cdot \left(\frac{D}{f} + 1 \right)$$

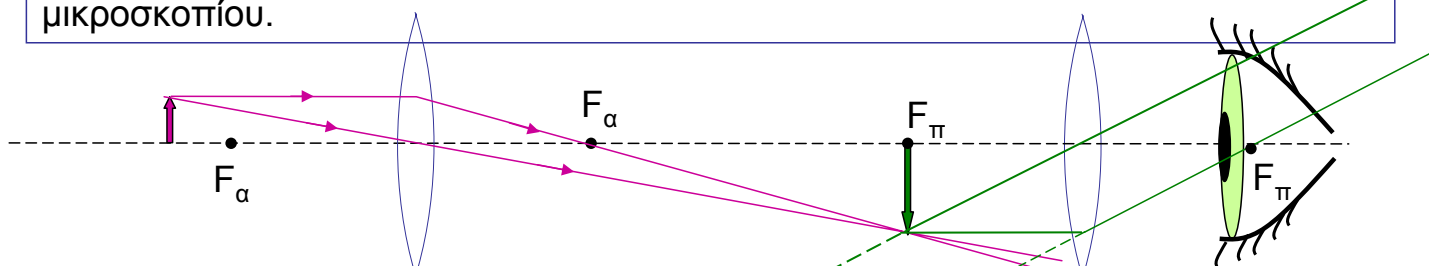
είδωλο στο εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης

$$M = \frac{s'_\alpha}{s_\alpha} \cdot \frac{D}{f}$$

είδωλο στο άπειρο

Άσκηση

Ένα σύνθετο μικροσκόπιο αποτελείται από δύο συγκλίνοντες φακούς. Η εστιακή απόσταση του αντικειμενικού φακού είναι 10mm και του προσοφθάλμιου είναι 20mm. Εάν ένα αντικείμενο τοποθετηθεί σε απόσταση 11mm από τον αντικειμενικό φακό, το μικροσκόπιο δημιουργεί ένα είδωλο στο άπειρο. Να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ των φακών και η μεγεθυντική ισχύς του μικροσκοπίου.



Τελικό είδωλο στο άπειρο → το είδωλο του αντικειμενικού δημιουργείται στην εστία του προσοφθάλμιου

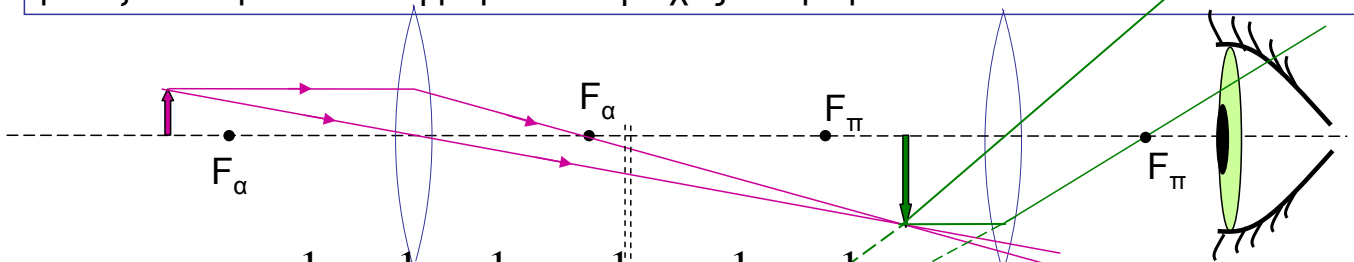
$$\frac{1}{f_\alpha} = \frac{1}{s_\alpha} + \frac{1}{s'_\alpha} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{11} + \frac{1}{s'_\alpha} \Rightarrow \frac{1}{s'_\alpha} = \frac{1}{10} - \frac{1}{11} = \frac{11}{110} - \frac{10}{110} \Rightarrow s'_\alpha = 110 \text{ mm}$$

Απόσταση μεταξύ φακών = 110+20=130 mm

$$\text{Μεγεθυντική ισχύς: } M = m_\alpha M_\pi = \frac{s'_\alpha}{s_\alpha} \frac{D}{f_\pi} = \frac{110}{11} \frac{250}{20} = 125$$

Άσκηση

Ένα σύνθετο μικροσκόπιο αποτελείται απ' τον αντικειμενικό και τον προσοφθάλμιο φακό εστιακών αποστάσεων 0.5cm και 1cm, αντίστοιχα. Ένα αντικείμενο τοποθετείται σε απόσταση 0.52cm από τον αντικειμενικό φακό δημιουργεί ένα είδωλο σε απόσταση 25cm από τον προσοφθάλμιο. Να βρεθεί η απόσταση μεταξύ των φακών και η μεγεθυντική ισχύς του μικροσκοπίου.



Αντικειμενικός $\frac{1}{f_\alpha} = \frac{1}{s_\alpha} + \frac{1}{s'_\alpha} \Rightarrow \frac{1}{0.5} = \frac{1}{0.52} + \frac{1}{s'_\alpha} \Rightarrow s'_\alpha = 13\text{cm}$

Προσοφθάλμιος $\frac{1}{f_\pi} = \frac{1}{s_\pi} + \frac{1}{s'_\pi} \Rightarrow \frac{1}{1} = \frac{1}{s_\pi} - \frac{1}{25} \Rightarrow \frac{1}{s_\pi} = \frac{1}{1} - \frac{1}{25} \Rightarrow s_\pi = \frac{25}{26}\text{cm}$

Απόσταση μεταξύ φακών = $13 + \frac{25}{26} = 13.96\text{ cm}$

Μεγεθυντική ισχύς: $M = m_\alpha M_\pi = \frac{s'_\alpha}{s_\alpha} \left(\frac{D}{f_\pi} + 1 \right) = \frac{13}{0.52} \left(\frac{25}{1} + 1 \right) = 650$