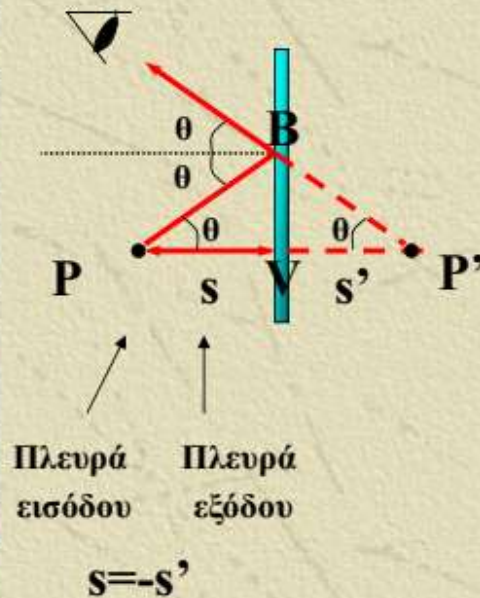


# Γεωμετρική οπτική

## Η έννοια του ειδώλου



$s'$  : απόσταση ειδώλου

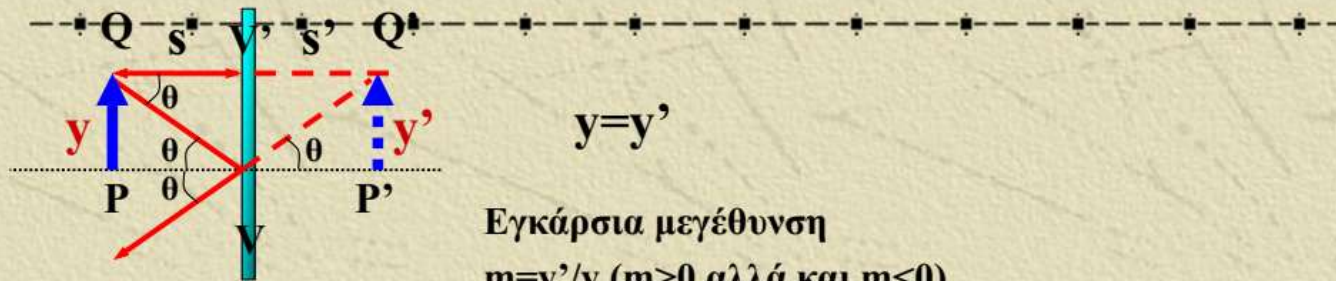
**Φανταστικό είδωλο** : οι εξερχόμενες ακτίνες από αυτό δεν είναι πραγματικές

**Πραγματικό είδωλο** : οι εξερχόμενες ακτίνες από αυτό είναι πραγματικές

### Κανόνες προσήμων

1. Όταν το αντικείμενο βρίσκεται στην ίδια πλευρά της ανακλαστικής (ή διαθλαστικής) επιφάνειας με το προσπίπτον φως (πλευρά εισόδου), η απόσταση αντικειμένου  $s$  είναι θετική, διαφορετικά είναι αρνητική
2. Όταν το είδωλο βρίσκεται στην ίδια πλευρά της ανακλαστικής (ή διαθλαστικής) επιφάνειας με το εξερχόμενο φως (πλευρά εξόδου), η απόσταση ειδώλου  $s'$  είναι θετική, διαφορετικά είναι αρνητική

# Γεωμετρική οπτική



Εγκάρσια μεγέθυνση

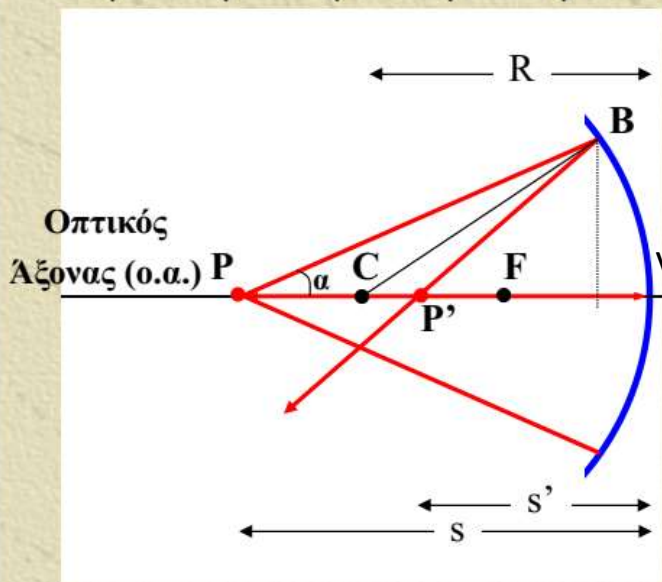
$m=y'/y$  ( $m>0$  αλλά και  $m<0$ )

Ορθό είδωλο / αντεστραμμένο είδωλο : όταν τα  
“βέλη” είναι ομόρροπα / αντίρροπα

Κατοπτρικά αντεστραμμένο είδωλο

# Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια

Με παραδοχή της παραξονικής προσέγγισης



$$1/s + 1/s' = 2/R$$

Κανόνες προσήμων

3. Όταν το κέντρο καμπυλότητας C βρίσκεται από την ίδια πλευρά με το εξερχόμενο φως η ακτίνα καμπυλότητας είναι θετική, διαφορετικά είναι αρνητική.

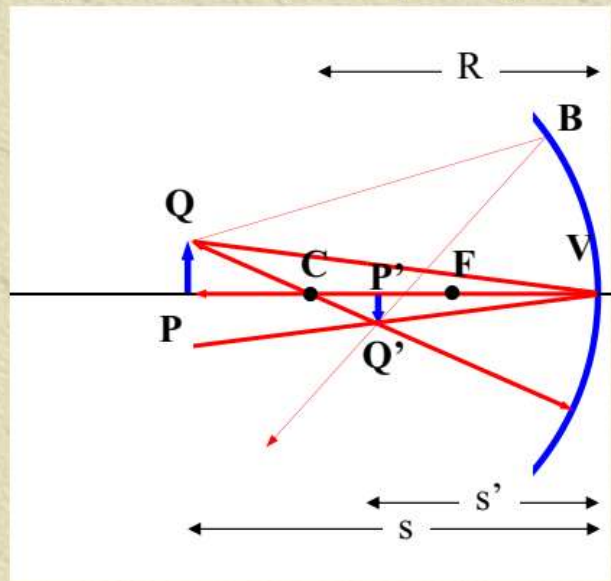
$$R \rightarrow \infty$$

$$\{s > 0, s' > 0, R > 0\} \text{ Μόνον όταν } s < f, s' < 0$$

Εστιακό σημείο F, εστιακή απόσταση:  $f = R/2$

$$1/s + 1/s' = 1/f$$

# Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια



Είδωλο πραγματικό  
κατοπτρικά αντεστραμμένο  
Μεγεθυσμένο:  
από τρίγωνα PVQ και P'VQ'

$$m = -s'/s$$

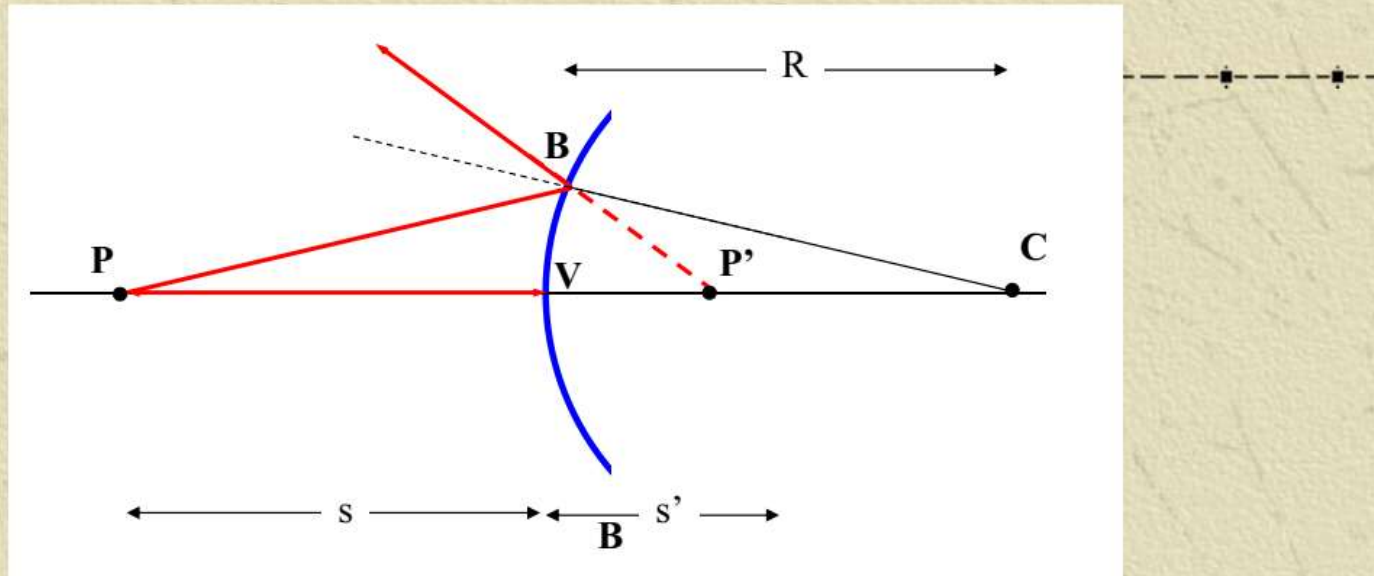
(Αντεστραμμένο)

Για τριδιάστατα αντικείμενα η  
μεγέθυνση είναι διαφορετική κατά μήκος  
του ο.α. με την αντίστοιχη σε εγκάρσια  
διεύθυνση

$$\{s > 0, \text{ σχεδόν πάντα } s' > 0, R > 0\}$$

*Μόνον όταν  $s < f, s' < 0$*

## Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια – κυρτά κάτοπτρα

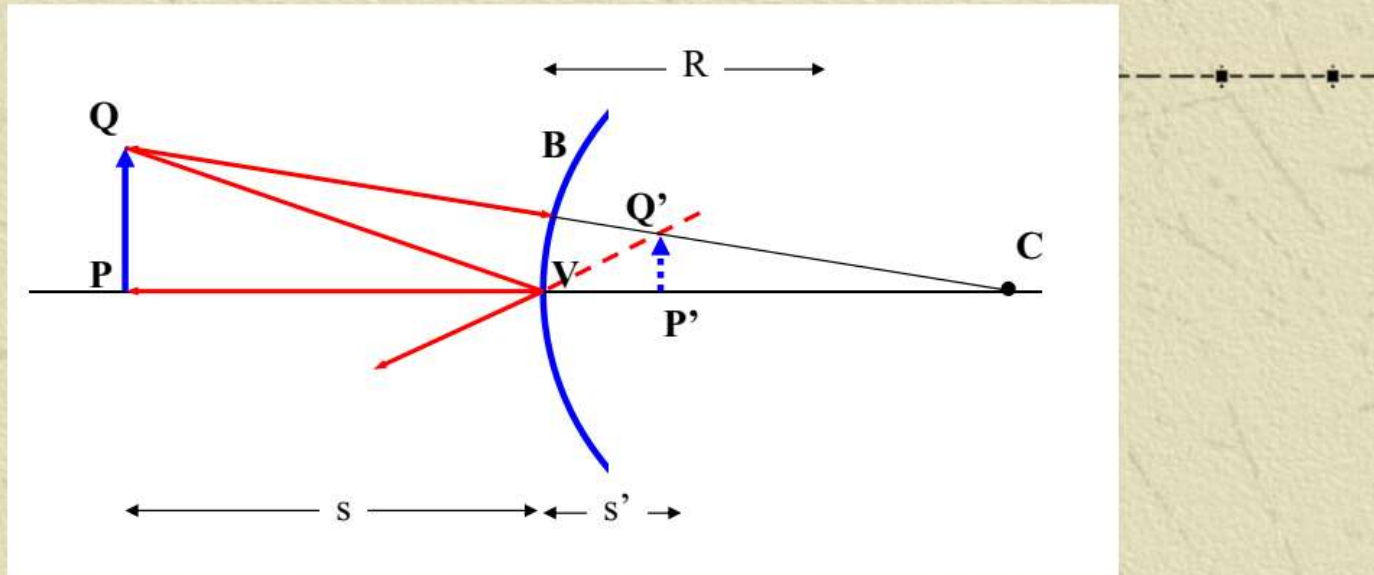


$$1/s + 1/s' = 2/R$$

$$f = R/2$$

$$\{s > 0, s' < 0, R < 0\}$$

# Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια – κυρτά κάτοπτρα



$$\{s > 0, s' < 0, R < 0\}$$

Είδωλο φανταστικό, κατοπτρικά αντεστραμμένο

Μεγεθυσμένο  $m = -s'/s$

(ορθό)

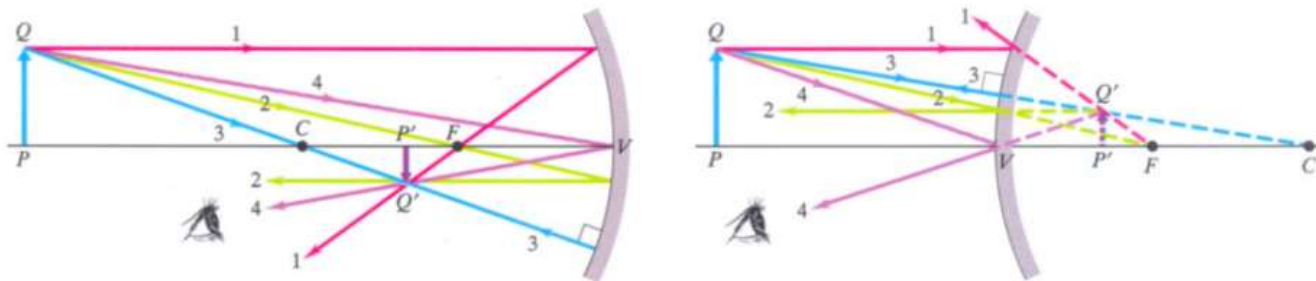
# Κύριες ακτίνες

Μια ακτίνα παράλληλη προς τον άξονα διέρχεται μετά την ανάκλασή της από το εστιακό σημείο  $F$  ενός κοίλου κατόπτρου ή φαίνεται ότι προέρχεται από το (φανταστικό) εστιακό σημείο ενός κυρτού κατόπτρου

Μια ακτίνα διερχόμενη από το εστιακό σημείο  $F$  ανακλάται παράλληλα προς τον άξονα

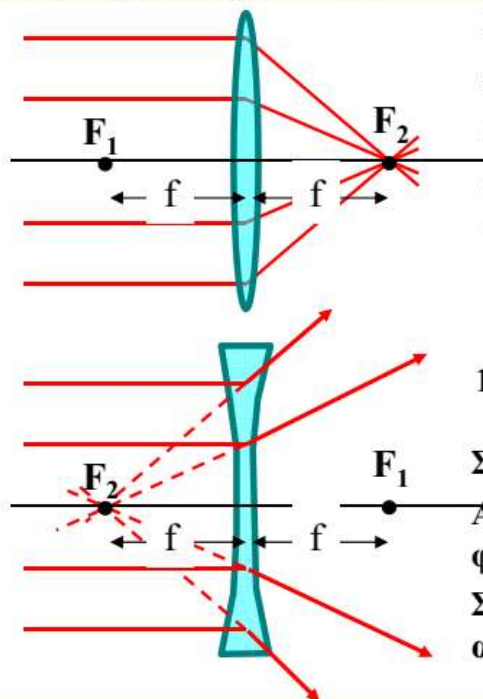
Μια ακτίνα διερχόμενη από το κέντρο καμπυλότητας  $C$  προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια και ανακλώμενη ακολουθεί την ίδια τροχιά

Μια ακτίνα που συναντά το κάτοπτρο στο σημείο  $V$  ανακλάται υπό γωνία (ως προς τον οπτικό άξονα) ίση με τη γωνία πρόσπτωσης



# ΛΕΠΤΟΙ ΦΑΚΟΙ

Φακός: οπτικό σύστημα που περιλαμβάνει δύο διαθλαστικές επιφάνειες. Οι απλούστεροι φακοί περιλαμβάνουν δύο σφαιρικές επιφάνειες αρκετά κοντά η μια στην άλλη ώστε να μπορεί να αγνοηθεί η μεταξύ τους απόσταση → Λεπτός φακός



$F_1, F_2$ : εστιακά σημεία

$f$ : εστιακή απόσταση

Οι δύο εστιακές αποστάσεις είναι πάντα ίσες ακόμα κι αν οι δύο επιφάνειες έχουν διαφορετικές καμπυλότητες

$$1/s + 1/s' = 1/f \quad m = -s'/s = y'/y$$

$$1/s + 1/s' = (n-1)(1/R_1 - 1/R_2) \leftarrow \text{εξίσωση του κατασκευαστή}$$

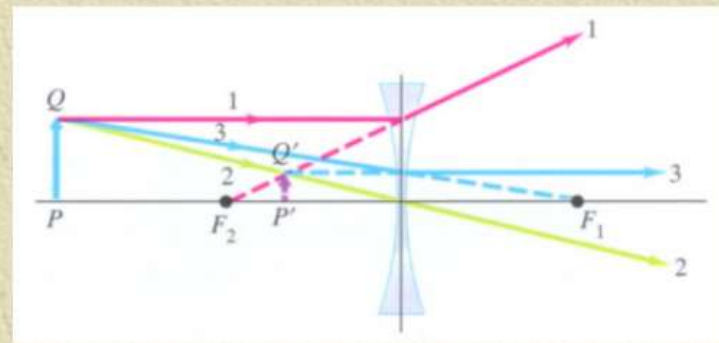
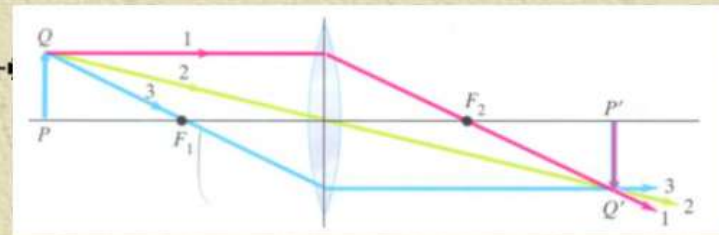
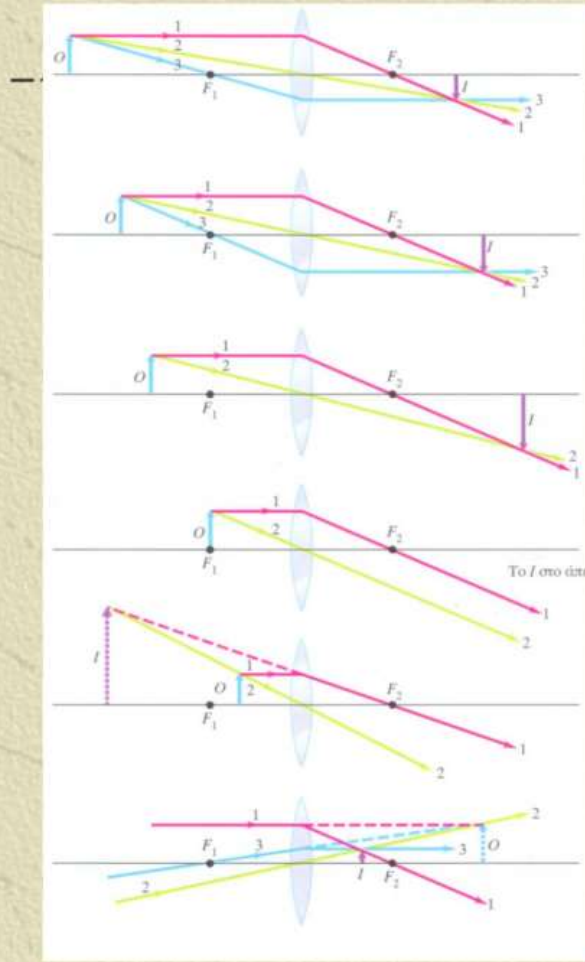
Συγκλίνων φακός  $f > 0$  (θετικός φακός), είδωλο πραγματικό

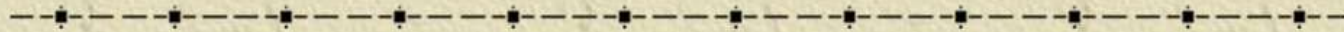
Αποκλίνων φακός  $f < 0$  (αρνητικός φακός), είδωλο φανταστικό

Στους αποκλίνοντες φακούς τα εστιακά σημεία έχουν αντίστροφη διάταξη από εκείνα ενός συγκλίνοντα φακού



# Κύριες ακτίνες





Αντικείμενο το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 4 m από φακό έχει είδωλο στα 8 cm πίσω από αυτόν. Η διάσταση του ειδώλου είναι 3 cm. Ποια η εστιακή απόσταση του φακού και ποιο το μέγεθος του αντικειμένου;

## Δύο λεπτοί φακοί σε σειρά & Σφάλματα φακών

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

### Σφάλματα Φακών

#### Χρωματικό σφάλμα

επειδή η εστιακή απόσταση ενός φακού εξαρτάται από το δείκτη διάθλασης του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένος ο οποίος εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός, τα διαφορετικά χρώματα του λευκού φωτός εστιάζονται σε διαφορετικά σημεία

#### Σφαιρική εκτροπή

Ακτίνες που προσπίπτουν στα άκρα του φακού εστιάζονται σε διαφορετικά σημεία από ότι αυτές που προσπίπτουν στα κεντρικά σημεία του φακού

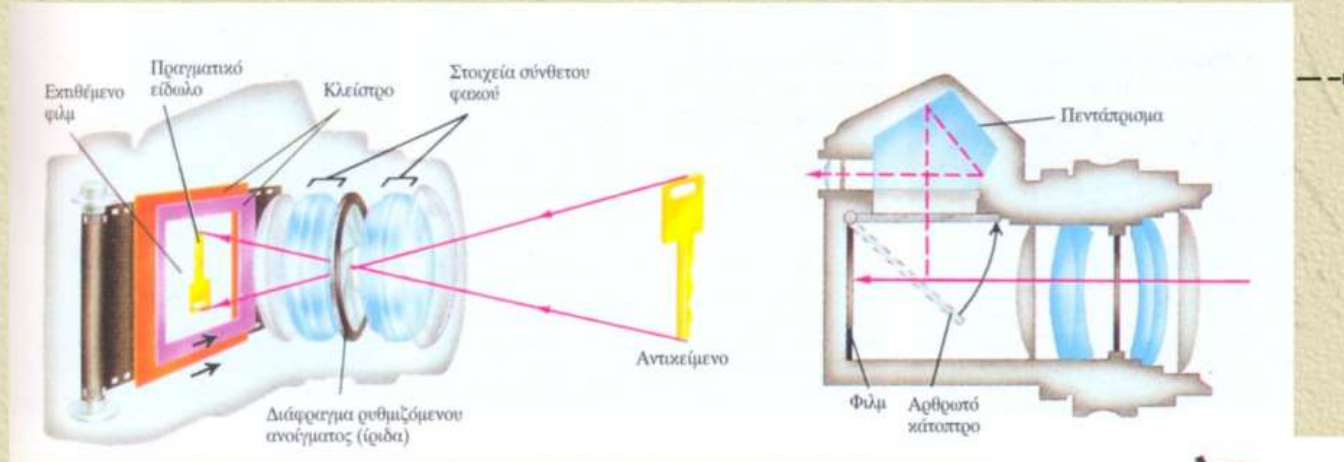
#### Αστιγματική εκτροπή

Προέρχεται από ακτίνες οι οποίες ξεκινούν από σημεία του αντικειμένου που βρίσκονται μακριά από τον κύριο άξονα

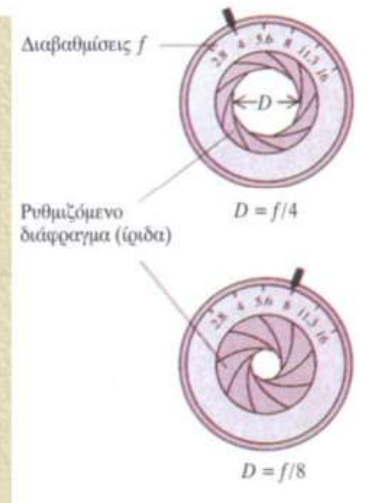
#### Σφάλμα καμπύλωσης

Το είδωλο επίπεδου αντικειμένου κάθετου στον κύριο άξονα δεν είναι επίπεδο. Παρουσιάζει καμπύλωση και επομένως προβολή του ειδώλου σε επίπεδη επιφάνεια είναι ασαφής

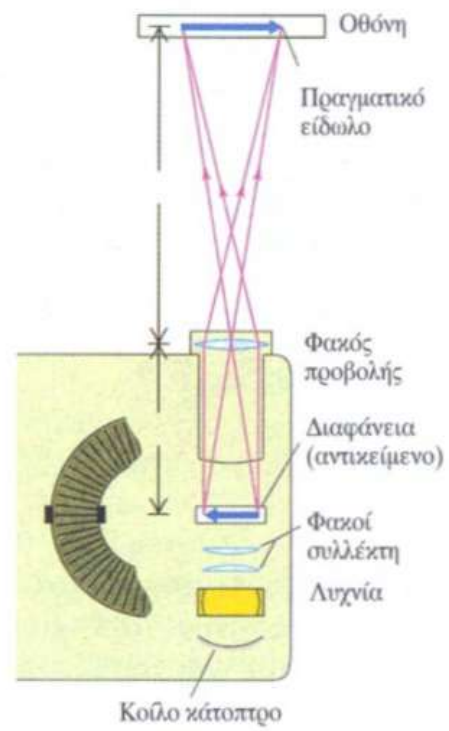
# ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ



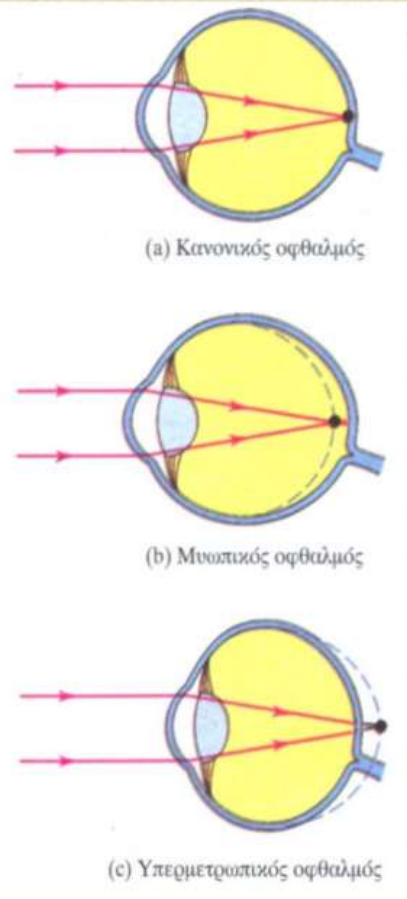
$$\text{αριθμός-}f = \frac{\text{Εστιακή απόσταση}}{\text{Διάμετρος ανοίγματος}} = \frac{f}{D}$$



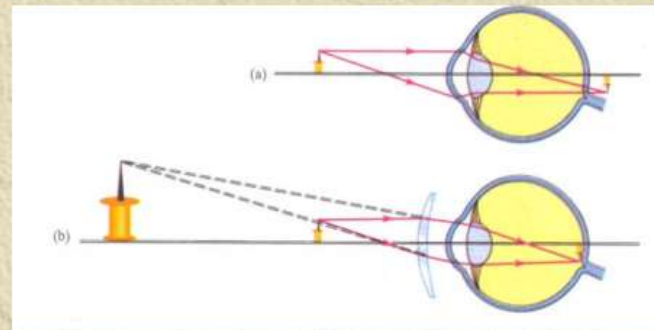
# ΠΡΟΒΟΛΕΑΣ ΔΙΑΦΑΝΕΙΩΝ



# ΟΦΘΑΛΜΟΣ

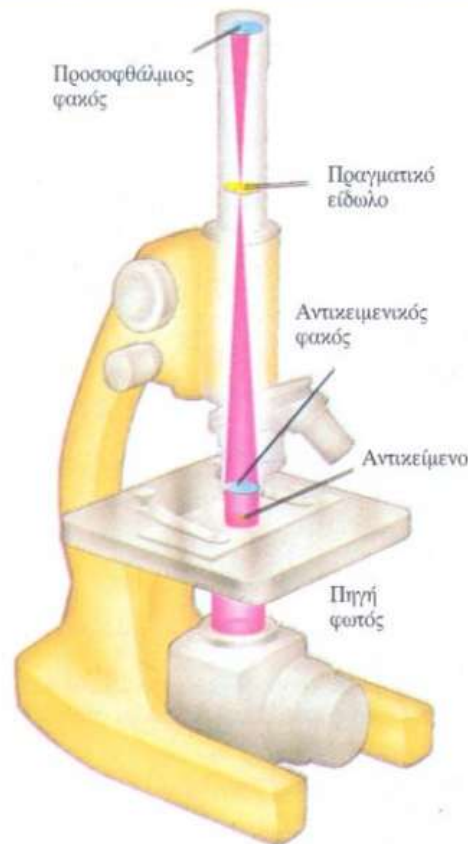


## Διόρθωση μυωπίας / υπερμετροπίας



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Ολική Μεγέθυνση = Μεγέθυνση αντικειμενικού x μεγέθυνση προσοφθάλμιου



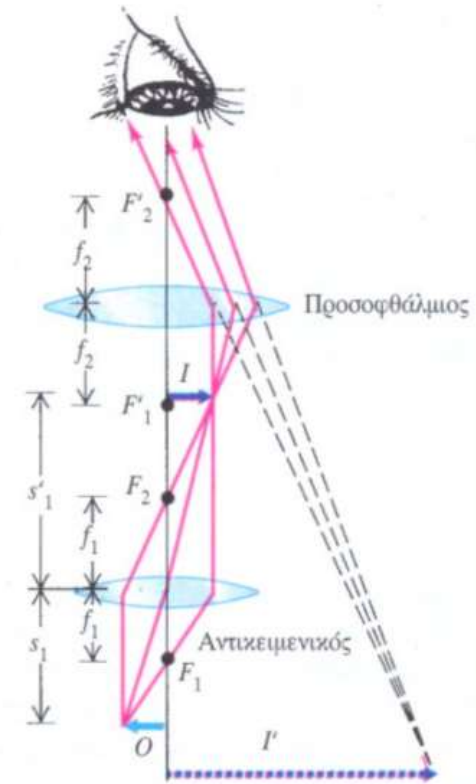
$$M = m_1 M_2$$

Σε απόλυτη τιμή

$$m_1 = -s_1' / s_1$$

$$M_2 = 25\text{cm} / f_2$$

$$M \approx 25s_1' / f_1 f_2$$



# ΦΩΣ – ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ →

## Κύμα

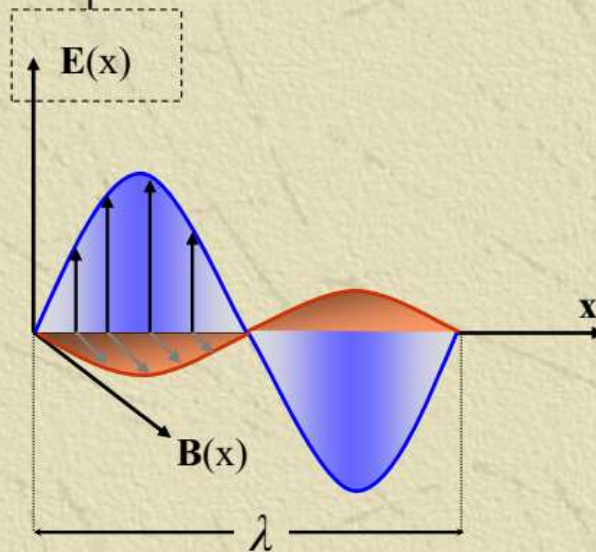
Ηλεκτρικό πεδίο

Μαγνητικό πεδίο

[ταξιδεύουν στο κενό και όλα με την ίδια ταχύτητα, είναι εγκάρσια]

$$E(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t) = E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - 2\pi ft\right)$$

[μέτρο]



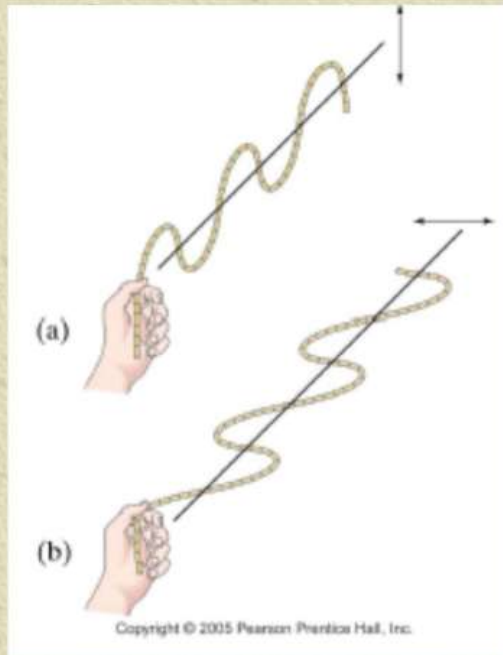
Βασικά χαρακτηριστικά της  
Η/Μ ακτινοβολίας

- \* Μήκος κύματος  $\lambda$  (nm)
- \* Συχνότητα  $f$  (THz)
- $c = \lambda f = 300000\text{Km/s}$
- \* Ένταση  $I \sim E^2$  ( $\text{W/m}^2$ )
- \* Πόλωση



# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Το φως λέμε πως είναι γραμμικά πολωμένο ή απλά πολωμένο όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ταλαντώνεται σε ένα μόνο επίπεδο και όχι σε οποιαδήποτε διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης

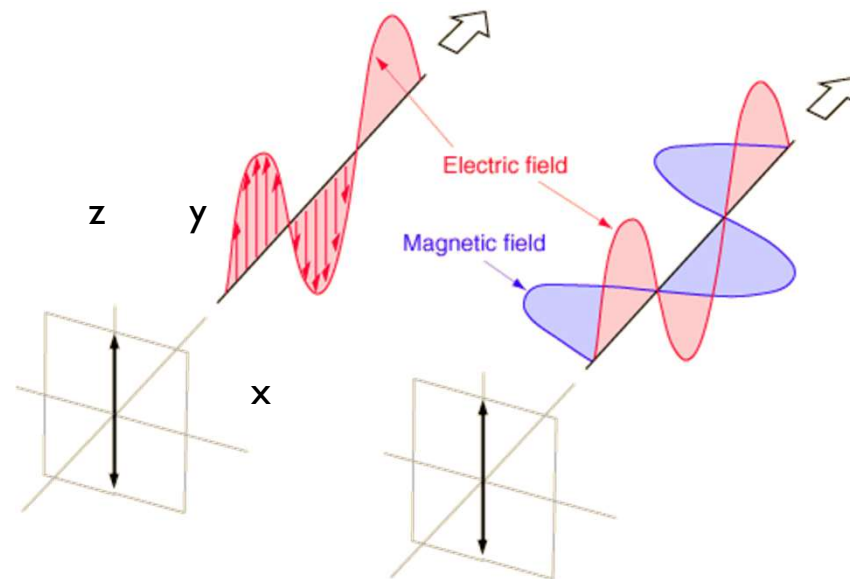


Το ΦΥΣΙΚΟ φως δεν είναι πολωμένο  
Για ένα γραμμικά πολωμένο φως  
πρέπει πάντα να δηλώνουμε το  
επίπεδο πόλωσής του

Εκτός από μη πολωμένο και γραμμικά  
πολωμένο φως υπάρχει και φως  
κυκλικά ή ελλειπτικά πολωμένο. Στην  
περίπτωση αυτή η πλήρης περιγραφή  
της πόλωσης περιλαμβάνει εκτός των  
άλλων και τον προσδιορισμό  
δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη

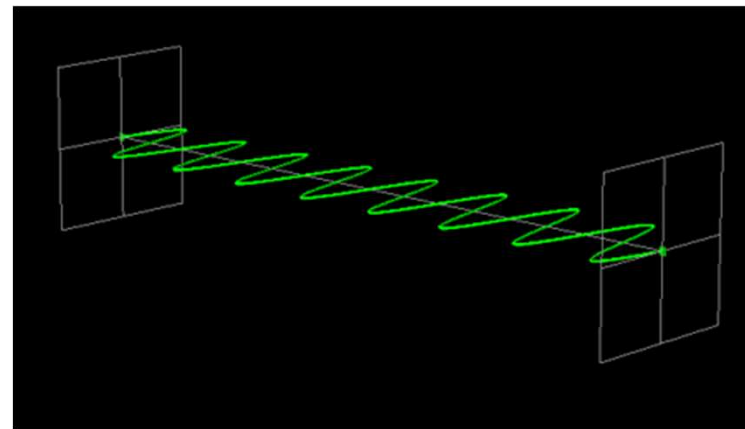
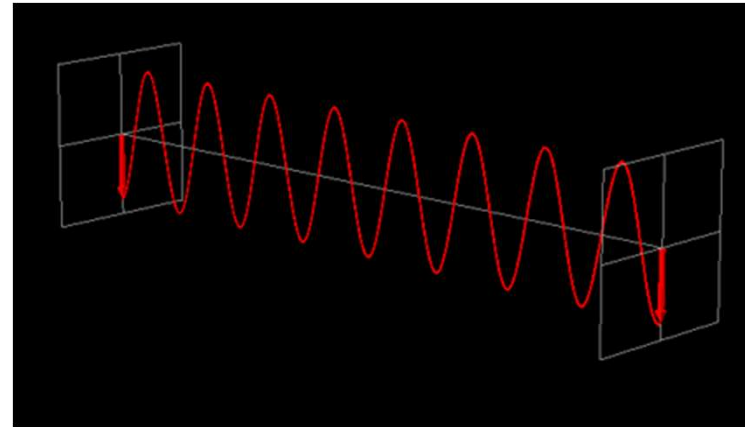
# Φως γραμμικά πολωμένο

Η ταλάντωση του ηλεκτρικού πεδίου  $\mathbf{E}$  πραγματοποιείται σε ένα ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ επίπεδο (π.χ.  $yz$ ). Το φως χαρακτηρίζεται ως γραμμικά πολωμένο με επίπεδο πόλωσης το επίπεδο  $yz$



# Polarized Light

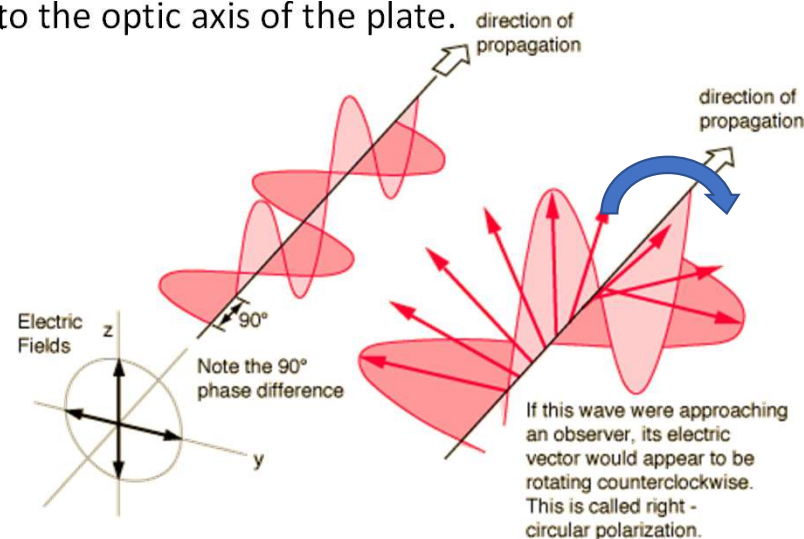
- Light with oscillations confined to a single plane.
- Top: vertically polarized light
- Bottom: horizontally polarized light



Videos throughout notes from <http://www.photophysics.com/polarization.php>

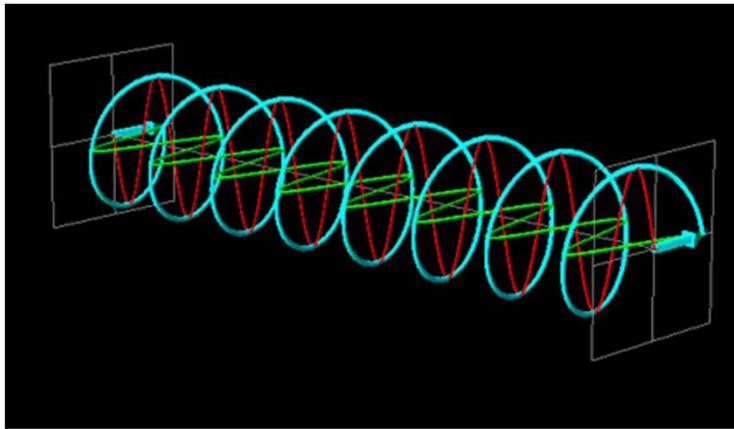
# Φως κυκλικά πολωμένο

- Circularly polarized light consists of two perpendicular electromagnetic plane waves of equal amplitude and  $90^\circ$  difference in phase. The light illustrated is right- circularly polarized.
- Circularly polarized light may be produced by passing [linearly polarized](#) light through a [quarter-wave plate](#) at an angle of  $45^\circ$  to the optic axis of the plate.



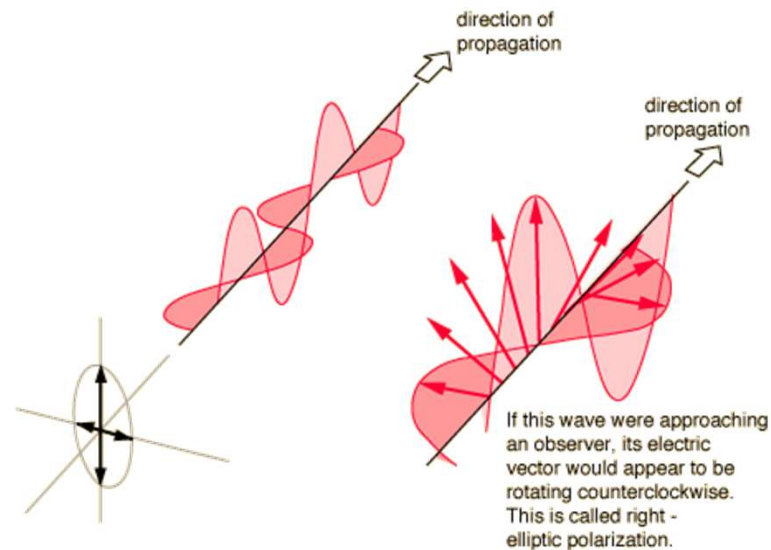
# Circularly Polarized Light

- Sum of vertically and horizontally plane-polarized light in which the phases differ by a quarter wave



# Φως ελλειπτικά πολωμένο

- Elliptically polarized light consists of two perpendicular waves of **unequal** amplitude which differ in phase by  $90^\circ$ . The illustration shows right-elliptically polarized light.



# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Υπάρχουν οπτικά μέσα τα οποία μας επιτρέπουν να "παίζουμε" με την πόλωση του φωτός

Πολωτικά φίλτρα ή πολωτές

Πλακίδια καθυστέρησης φάσης  $\lambda/2$

Πλακίδια καθυστέρησης φάσης  $\lambda/4$

Soleil Babinet

κλπ

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

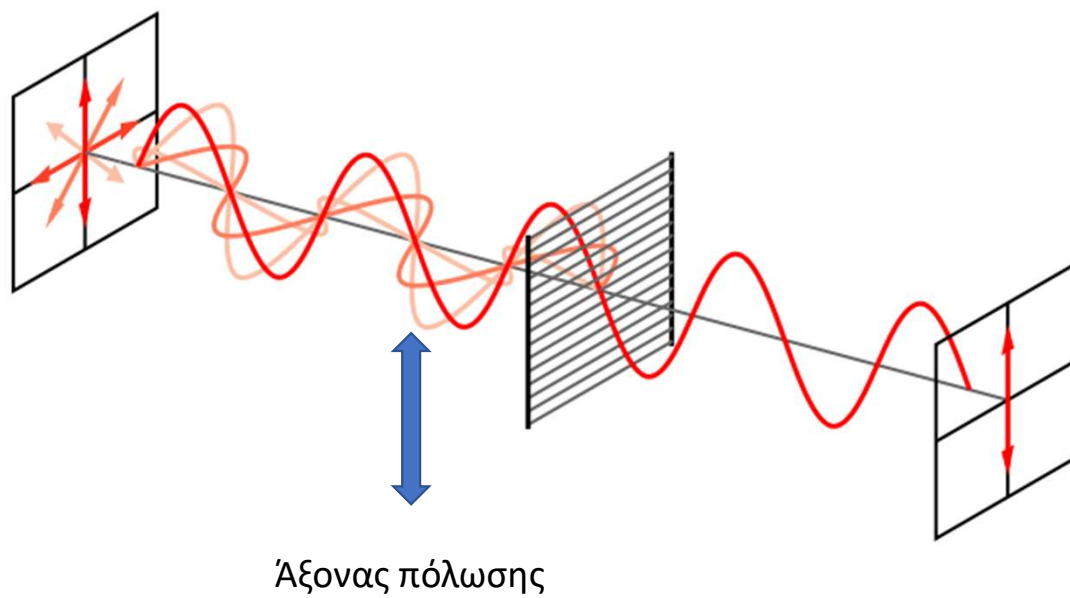
Πολωτικά φίλτρα

Διαθέτουν άξονα πόλωσης. Φως πολωμένο σε επίπεδο κάθετο στον άξονα πόλωσης του φίλτρου δε διαπερνά το φίλτρο





# Πολωτές



# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΟΣ,  $I$

Ονομάζουμε την ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που διαπερνά τη μονάδα της επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου

$$I = \epsilon_0 c E^2$$

Μονάδες:  $\frac{J}{s m^2}$

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωτικά φίλτρα

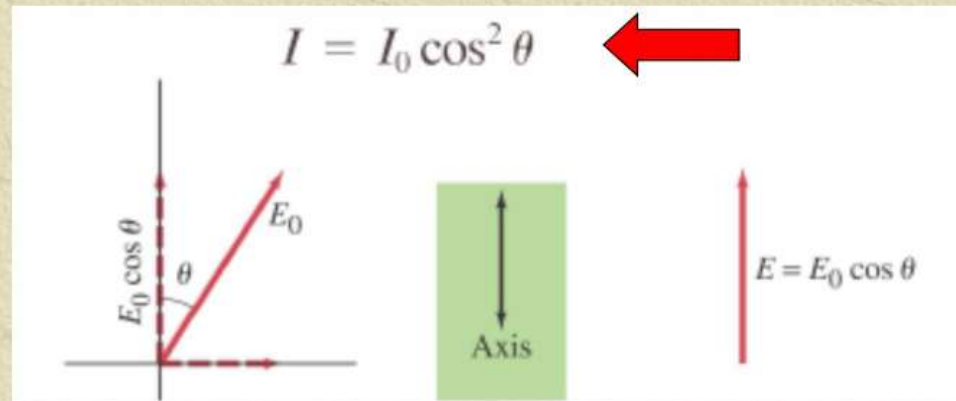
Όταν φυσικό φως με ένταση  $I_0$  προσπέσει σε πολωτικό φίλτρο τότε πίσω από το φίλτρο το φως θα είναι γραμμικά πολωμένο με επίπεδο πόλωσης παράλληλα στον άξονα πόλωσης του φίλτρου και ένταση

$$I = I_0 / 2$$

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωτικά φίλτρα

Το φίλτρο διαπερνά μόνο η συνιστώσα της πόλωσης του προσπίπτοντος φωτός στη διεύθυνση του άξονα πόλωσης του φίλτρου



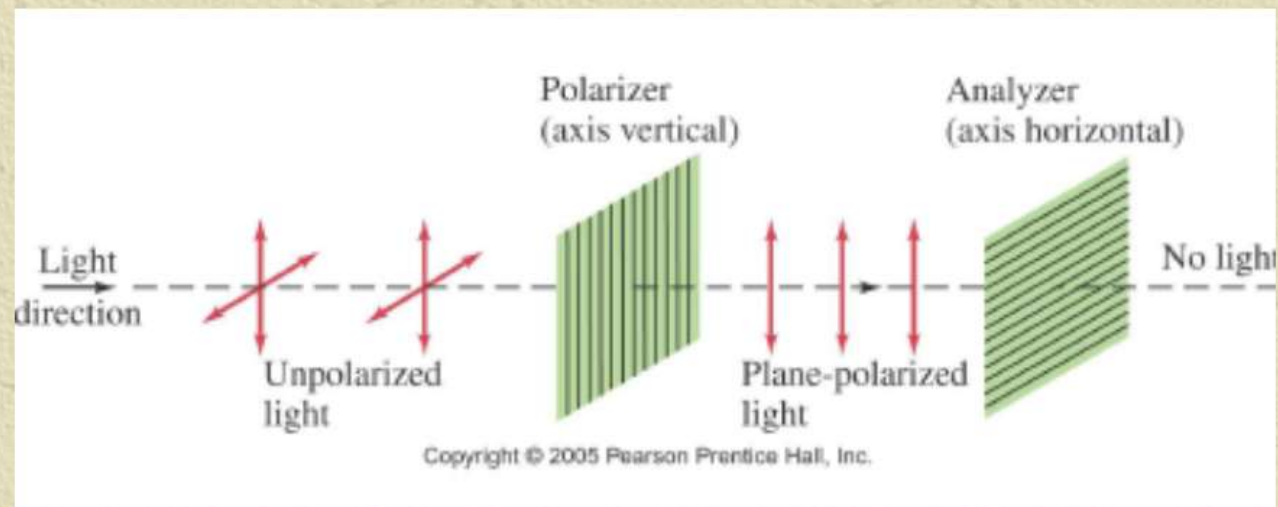
Γραμμικά πολωμένο Άξονας φίλτρου  
φως με επίπεδο σε κάθετη  
πόλωσης σε γωνία διεύθυνση  
 $\theta$  (κατακ.)

Πεδίο το οποίο  
διαπερνά το  
φίλτρο

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

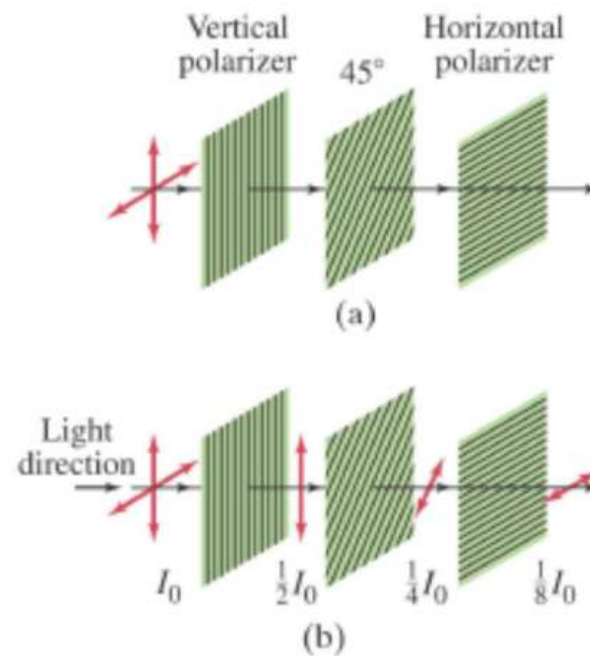
Αν διαθέτουμε ζευγάρι δύο πολωτών τότε συμβατικά τον πρώτο ονομάζουμε πολωτή και τον δεύτερο αναλυτή.

Αν οι άξονες πόλωσης των δύο πολωτών τοποθετηθούν κάθετα τότε πίσω από τον αναλυτή δε θα διέρχεται φως (cross polarization)



# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Τι θα γίνει αν ανάμεσα από δύο πολωτές σε θέση cross τοποθετήσουμε έναν τρίτο πολωτή με τον άξονα πόλωσης του να σχηματίζει γωνία  $45^\circ$  με τους άξονες των άλλων δύο;

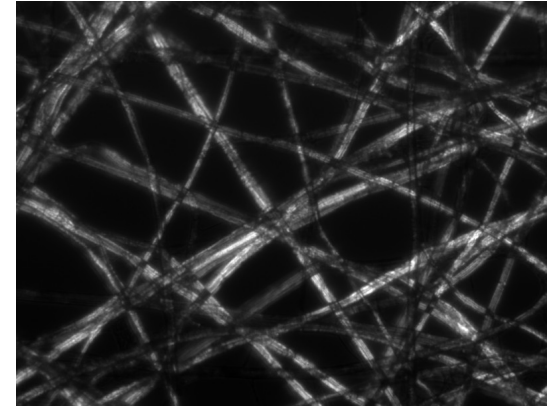


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

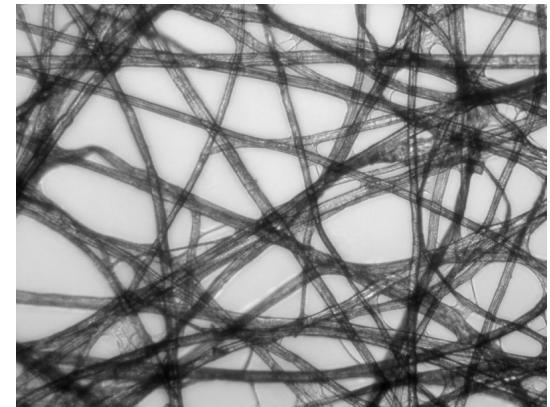
Εφαρμογή για  
γωνία  $30^\circ$

# Polarizing microscope

Cross-polarized light illumination, sample contrast comes from rotation of polarized light through the sample



Bright field illumination, sample contrast comes from absorbance of light in the sample



<https://www.microscopyu.com/techniques/polarized-light/polarized-light-microscopy>

“Polarizer Rotation and Specimen Birefringence” Analyzer IN/OUT

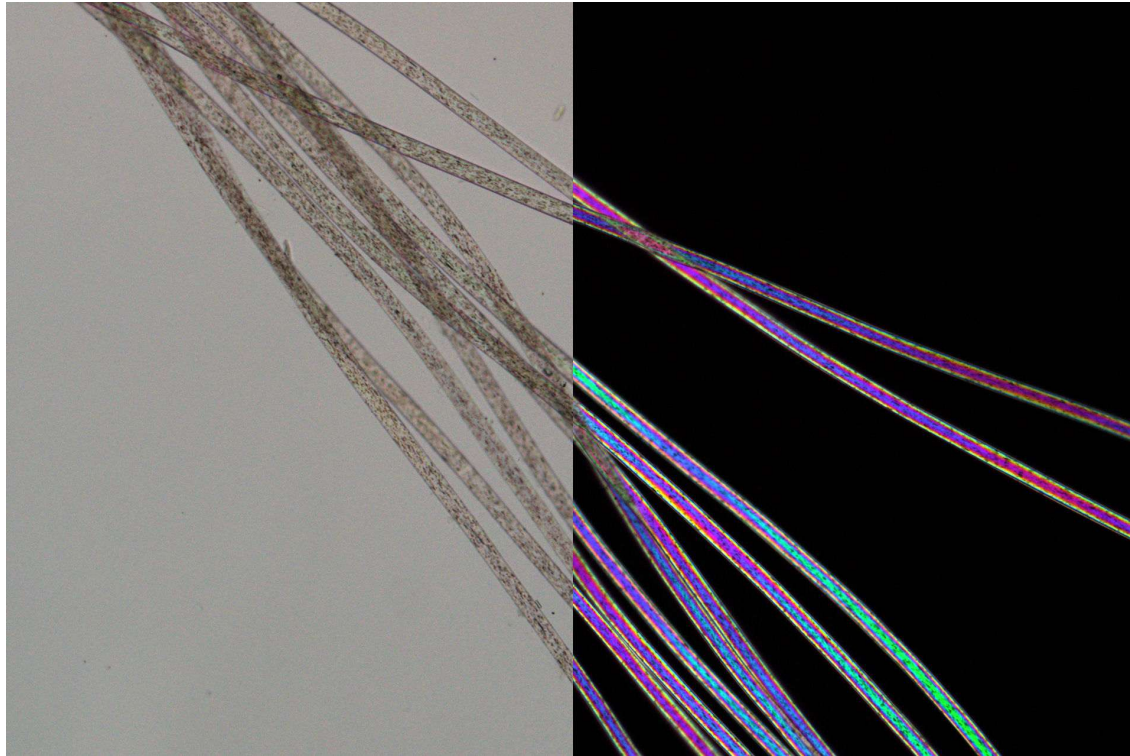


## Microscope images

Cross polarizers

vs

Parallel (or no) polarizers



## BIREFRINGENCE

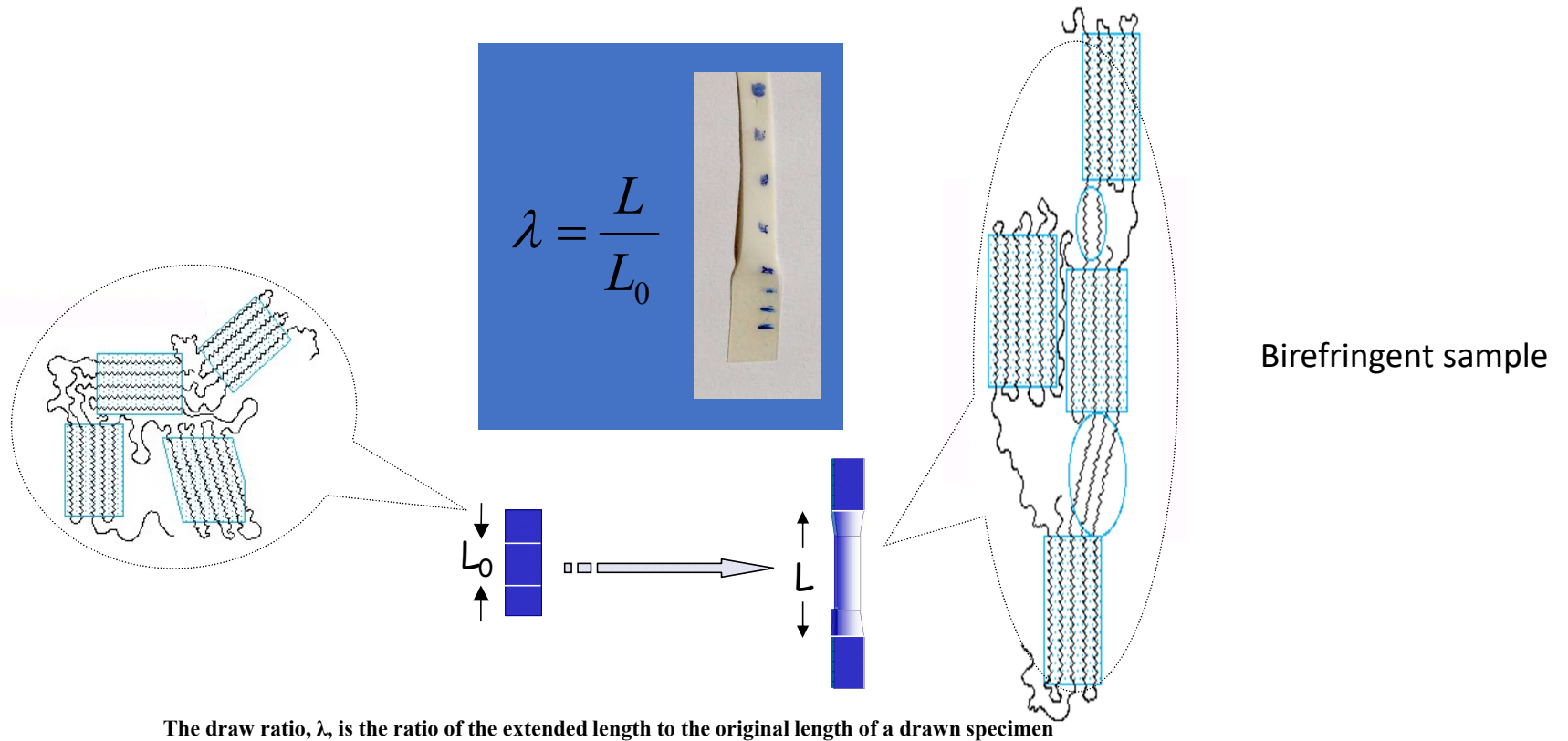
Material exhibits two refractive indexes

Left: Nylon fibers imaged with parallel polarizers. Right: Same nylon fibers imaged with crossed polarizers show typical higher order birefringence colors. Images recorded with a DM4 P microscope using transmitted light, 20x Plan Fluotar objective, and polarizers.

<https://www.leica-microsystems.com/science-lab/galleries/polarizing-microscope-image-gallery/>

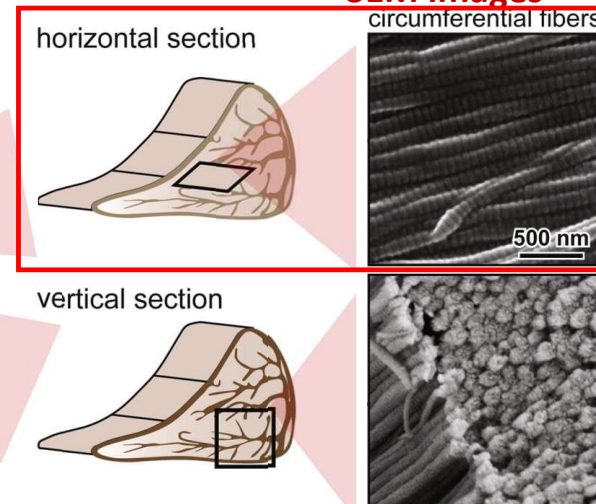
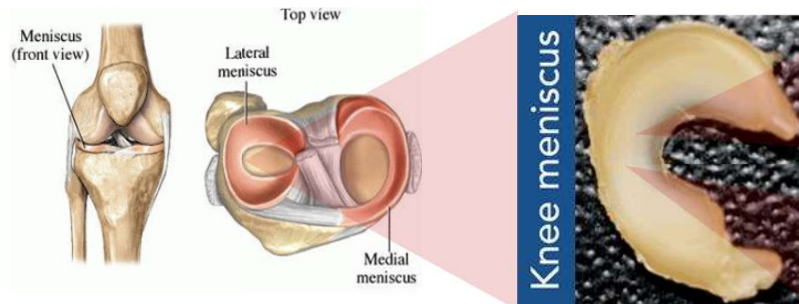
# Uniaxial drawing of samples

Does the macroscopic draw ratio correlate to a certain degree of molecular orientation?



Collagen orientation analysis of normal & degenerated human menisci by polarized confocal Raman spectroscopy

# Meniscus

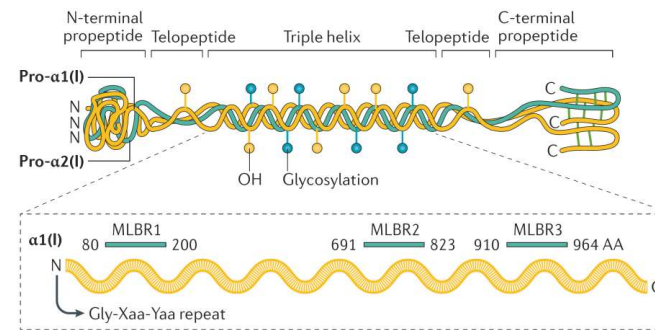


Healthy menisci SEM images

Menisci consists of 70% **Type I** collagen. Type I collagen is a heterotrimer composed of two  $\alpha 1$  and one  $\alpha 2$  left-handed polyproline II-like chains assembled into a **right-handed triple helix**.

**In healthy menisci the collagen fibers are highly oriented; local structure is highly anisotropic. The opposite is valid for the highly degenerated / osteoarthritic ones.**

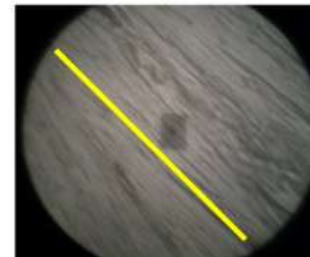
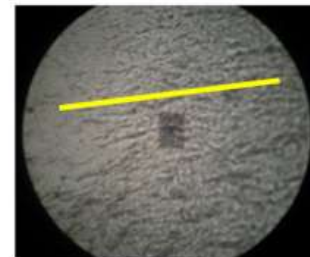
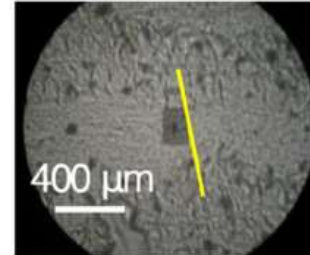
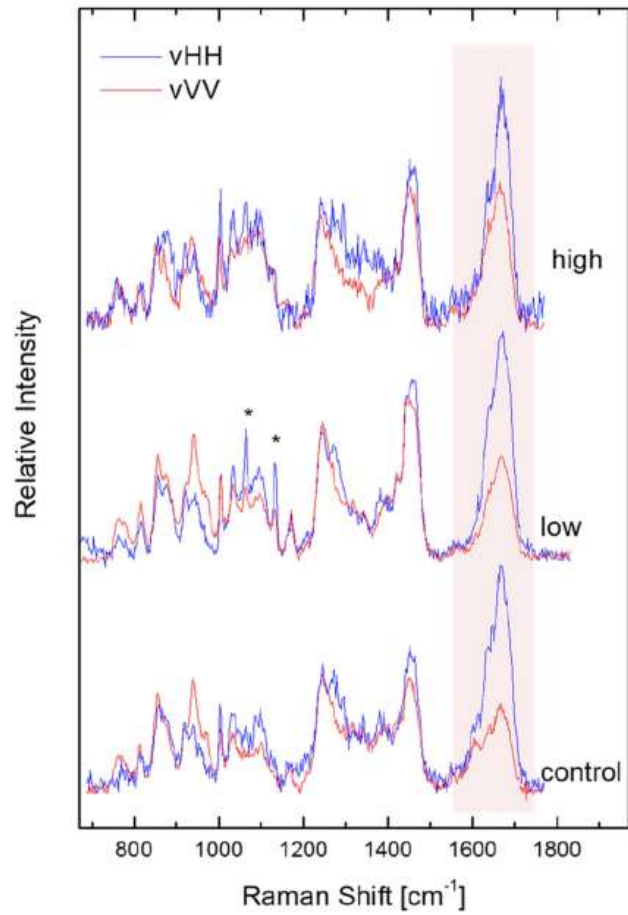
Q. Li et al. *Acta Biomaterialia*, **54** (2017) 356–366



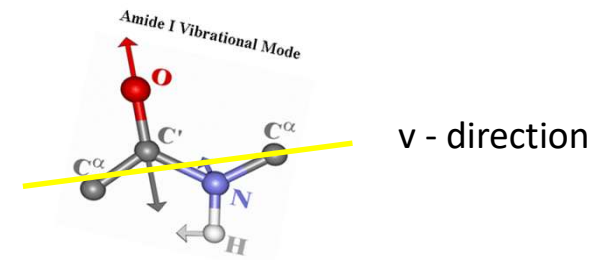
J.C. Marini et al, *Nature Reviews Disease Primers*, **3**, 17052 (2017)

Cooperation with Prof. Dionysios Papachristou, Unit of Bone and Soft Tissue Studies, Dept. of Histology, Univ. of Patras, School of Medicine, Patras, Greece & Dept. of Pathology, Univ. of Pittsburgh, School of Medicine, Pittsburgh, PA, USA

# Polarized Spectroscopy (Raman – inelastic light scattering)



*Evaluation of meniscus degradation level*

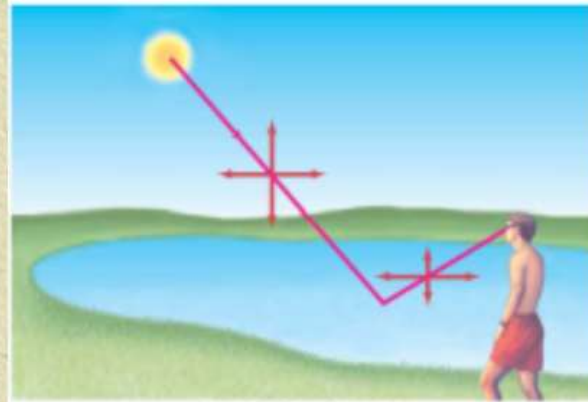


Γυαλιά polaroid



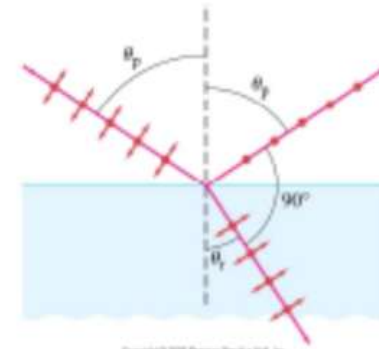
## ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωμένο φως μπορούμε να πάρουμε έπειτα από ανάκλαση σε μη μεταλλική επιφάνεια σε μια συγκεκριμένη γωνία που ονομάζεται γωνία Brewster.



Copyright © 2007 Pearson Prentice Hall, Inc.

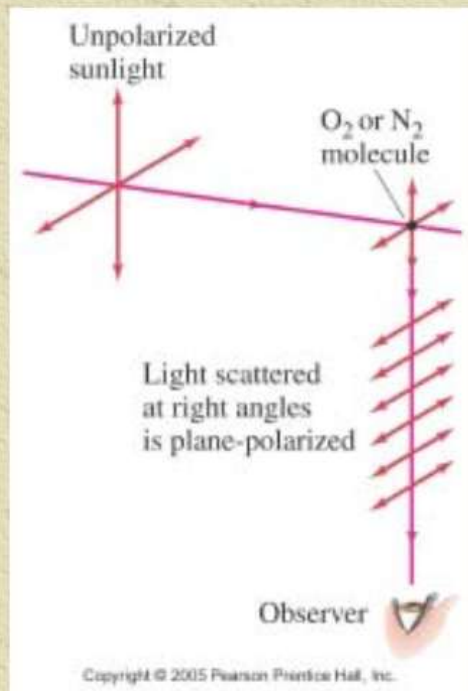
$$\tan \theta_p = \frac{n_2}{n_1}$$



Copyright © 2007 Pearson Prentice Hall, Inc.

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωμένο φως μπορούμε να πάρουμε έπειτα από σκέδαση του φωτός.



Το φως του ουρανού είναι μερικώς πολωμένο εξαιτίας της σκέδασης του φωτός από μόρια του αέρα.

Το ποσοστό πόλωσης εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου με τη διεύθυνση παρατήρησης

## ΣΚΕΔΑΣΗ

Νόμος Rayleigh:  $I_s$  ανάλογη του  $1/\lambda^4$

Κόκκινο 700nm

Ιώδες 400nm

$$I_{s[\text{violet}]} / I_{s[\text{red}]} = 9.4$$

- (α) Βρείτε τη γωνία από το μάτι κάθε παρατηρητή που βρίσκεται στα σχηματιζόμενα στον καθρέπτη είδωλα των αντικειμένων που κινούνται.
- (β) Βρείτε ότι ο λόγος της γωνίας που βγαίνει στα είδωλα του ψηλότερου αντικειμένου από τον πλησιέστερο στον καθρέπτη παρατηρητή, προς τη γωνία που βγαίνει στα είδωλα του πιο κοντού αντικειμένου από τον πιο απομακρυσμένο στον καθρέπτη παρατηρητή, είναι ο ίδιος με τον λόγο των υψών των αντικειμένων.
- (γ) Δείξτε επίσης ότι, αν η απόσταση των παρατηρητών από τον καθρέπτη είναι αρκετά μεγαλύτερη από τα ύψη των αντικειμένων, ο λόγος που ζητείται στο (β) είναι ανεξάρτητος από τη θέση των παρατηρητών.

6. Μια ακτίνα φωτός προσπίπτει από το εστιακό μέρος στην πλευρική επιφάνεια ενός ορθογώνιου επιπέδου με γωνία τοξομάτα, σχηματίζοντας γωνία  $30^\circ$  με την κάθετη σε αυτήν, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.
- (α) Τι γωνία σχηματίζει η διαθλωμένη ακτίνα μέσα στο γυάλινο με την κάθετη στην επιφάνεια, δεδομένου ότι ο δείκτης διάθλασης για το γυάλινο είναι 1,55.
- (β) Τι γωνία με την κάθετη στην επιφάνεια σχηματίζει η ακτίνα μέσα στο νερό.
- (γ) Εάν τα σώμα, του γυαλιού τοξομάτου είναι 5 mm, πόσο μετατοπισμένη είναι η ελαγχρωμένη από το γυάλινο ακτίνα που υπέρκειται τελικά στο νερό, σε σχέση με το σημείο που θα ελαγχρωταν αν ελακλωθείσαν οι διαθλώσει στη διαθλώσει στη πρόσκωσει ζωής για διαθλώσει μέσα στο γυάλινο.



7. Φωτίζεται μια πλάκα από υαλο με πάχος διαθλώσει 1,5 και σταθερή διαθλώσει πώχος  $t = 2$  cm σε ύψη την εστιακή της. Ακτίνα φωτός προσπίπτει στην πλάκα με γωνία  $\theta$  ως προς την κάθετη στις παράλληλες επιφάνειες της. Δείξτε ότι η ακτίνα φωτός ελαγχρωται από την πλάκα σε διαθλώσει παράλληλη με αυτή της προσπίπτουσας σχηματίζοντας την ίδια γωνία  $\theta$  με την κάθετη. Αν  $\theta = 30^\circ$ , υπολογίστε τη μετατόπισση (κάθετη απόσταση) της ελαγχρωμένης ακτίνας από τη διαθλώσει πρόσκωσει της.

8. Εάν στο προηγούμενο πρόβλημα η προσπίπτουσα ακτινωτότητα έχει συχνότητα 88,3 MHz, υπολογίστε την ταχύτητα του φωτός μέσα στην πλάκα, το

μήκος κύματος της ακτινωτότητας στην πλάκα και στην πλάκα και τον χρόνο που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει την πλάκα.

9. Το ανθρώπινο μάτι φαίνεται ότι είναι κυκλικό καθρέπτης για να βλέπει μεγεθωμένα τα όντα που ελαγχρωσει. Εάν η ακτίνα κυμαλώσει στην ακτίνα καθρέπτη είναι 2 cm, πόσο κοντά πρέπει να βρίσκεται σε ένα όντα ώστε το είδωλο του όντα να είναι τρανώσει σε μέγεθος; Το σχηματιζόμενο είδωλο θα είναι ορθό ή αντεστρωμένο, πραγματικό ή φανταστικό.

10. Ένα αντικείμενο ύψους 3,5 cm τοποθετείται 20 cm μακριά από ένα κυκλικό κάτοπτρο έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα πραγματικό του είδωλο ύψους 7 cm. Σε ποιά απόσταση από το κάτοπτρο σχηματίζεται αυτό το είδωλο; Είναι ορθό ή αντεστρωμένο; Ποιά είναι η ακτίνα κυμαλώσει του καθρέπτη;

11. Ένα κορτό κάτοπτρο ημικύκλιου 0,25 m και ακτίνας κυμαλώσει 2 m, τοποθετείται ψηλά από τοξο ενός καταστήματος ως καθρέπτης ασφαλείας. Πόσο θα είναι το ύψος του είδωλου που σχηματίζεται σε αυτό του καθρέπτη ενός παιδιού που στέκεται σε απόσταση 5 m από αυτόν και έχει ύψος 1,5 m; Θα φαίνεται σε αυτόν το παιδί να είναι το ύψος του ή η ακτίνα του πασιωτότου του σχηματίζεται στο κατώτερο μέρος του καθρέπτη;

12. Ένα αλάνο καθρέπτης ορθογώνιου ημικύκλιου κυμαλώσει 25 cm. Πόσο κοντά στο καθρέπτη πρέπει να φέρει μια γωνία σε τη θέση της ώστε να φαίνεται 3 φορές μεγεθωμένη. Σκοπάζει τη σπηλιτή σας και με ένα διαγνώσει τρανώσει ακτινωτό.

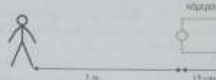
13. Ένα νόμισμα τοποθετείται σε απόσταση 3 cm από ένα κυκλικό κάτοπτρο ακτίνας κυμαλώσει 15 cm. Περιγράψτε το είδωλο που σχηματίζεται βρώσεινη τη θέση του, τη μεγέθυνση του και εάν είναι ορθό ή αντεστρωμένο, πραγματικό ή φανταστικό.

14. Στο αλάνο καθρέπτης ενός αυτοκινήτου, το οποίο είναι ένα κυκλικό κάτοπτρο με ακτίνα κυμαλώσει 150 cm, σχηματίζεται το είδωλο ενός άλλου αυτοκινήτου που ακολουθεί σε απόσταση 10 m. Πρότε πως σχηματίζεται το είδωλο, τη μεγέθυνση του και εάν είναι ορθό ή αντεστρωμένο, πραγματικό ή φανταστικό.

15. Στο πρόβλημα μιας μεγάλης πώσης βώσης 2,5 m έχει τοποθετηθεί, για να φωτίζει την επιφάνεια της, ένας μικρός αλλά αρκετά φωτεινός προβολέας. Δείξτε ότι ένας παρατηρητής έλα από την πώση θα βλέπει φωτισμένη μια περιοχή της επιφάνειας της που αντιστοιχεί σε ένα κυκλικό όμοιο και βρείτε την ακτίνα του.

τοποθετείται στο οπισθοτικό του κοίτη, στο φως που ελαγχρωτεί από την πολύ μικρή ήρεια είναι σφαιρικός αλλά διατερόελατα η λεπτή και η απόσταση της εικόνας μπορεί να είναι υπέρχει.

4. Μια μεταλλοειδής φωτογραφική μηχανή, σαν αυτή που περιγράφεται στο Πρόβλημα 3, έχει προσαρμοσμένο έναν φακό στη μικρή ήρεια και η απόσταση είναι πιο κοντά, όπου τοποθετείται το φίλμ, βρίσκεται σε απόσταση (βώσης κύματος) 15 cm. Θεωρήστε ότι ο φακός της κύματος είναι σχεδισωμένος έτσι ώστε η καλύτερη φωτογράφιση πραγματοποιείται να γίνεται όταν αυτό βρίσκεται σε απόσταση 3 m από την κύματα. Ποιά είναι η εστιακή απόσταση του φακού;



5. Ημε φωτογραφική μηχανή έχει έναν φακό σε ρυθμιζόμενη θέση. Το βώσης της φωτογραφικής μηχανής (βλ. Πρόβλημα 4) είναι  $d = 4$  cm. Υπολογίστε την εστιακή απόσταση του φακού και πόσο θα πρέπει να μπορεί να προεκκινείται από την κύματα, 3, ώστε η φωτογραφική μηχανή να μπορεί να βρώσει καθαρές φωτογραφίες αντικειμένων που βρίσκονται σε αποστάσεις από 50 cm έως το άπειρο (βλ. σχήμα).



6. Σε μια φωτογραφική μηχανή παρόμοια με αυτή του Προβλήματος 5, ο φακός έχει εστιακή απόσταση 35 mm και η αρχική του θέση είναι τέτοια ώστε να εστιακή αντικείμενα που βρίσκονται σε άπειρη απόσταση. Πόσο θα πρέπει να μετακινωθεί ο φακός από αυτή τη θέση ώστε η φωτογραφική μηχανή να βρώσει καθαρές φωτογραφίες αντικειμένων σε απόσταση 3 m από αυτήν.

7. Υποθέστε ότι η πώση ενός όντος που κύματα σε ένα πρόβλημα Ρεϊνι (μυο γυάλινο ή πλαστικό κυμαλώσει) είναι μικρός αλλά αρκετά φωτεινός προβολέας. Η απόσταση από το πρόβλημα στον φακό είναι 36 cm και ο φακός βρίσκεται σε απόσταση 4,5 m από το κάτοπτρο και τον φακό. (Το κάτοπτρο αλλά ανακαταβλώσει τα φως από την φακό στην οθόνη.

Θεωρήστε πάλι την απόσταση μεταξύ φακού και κάτοπτρου. Έτσι, η απόσταση του αντικειμένου  $s_1$  από το σύστημα φακού-κάτοπτρου είναι 36 cm και το είδωλο σχηματίζεται σε απόσταση  $s_2 = 4,5$  m από αυτό.)



- (α) Ποιά είναι η εστιακή απόσταση του φακού προβολέας;
- (β) Αν το ο κύματα με ταχύτητα 1 cm το διατερόελατο στο πρόβλημα, πόσο γρήγορα θα κινείται το είδωλο του στην οθόνη.

8. Μια μηχανή προβολής διαφανειών έχει φακό προβολής εστιακή απόσταση 135 mm.

- (α) Πόσο θα πρέπει να τοποθετούνται οι διαφάνειες αν η οθόνη προβολής είναι σε απόσταση 3 m από τον φακό προβολής;
- (β) Ποιά θα είναι η μεγέθυνση;
- (γ) Αν θέλετε να έχετε στην οθόνη προβολής ένα πραγματικό (ορθό, χωρίς κίωμα στυπώσει) είδωλο της εικόνας της διαφάνειας πώς θα πρέπει να τοποθετήσετε τη διαφάνεια στο μηχανή με προβολής; Αναποδογυρίστε πάνω-κάτω, δώσει-αριστερά;

9. Ένας γρήγορος και εύκολος τρόπος για να προσδιορίσει προσεγγιστικά την εστιακή απόσταση ενός κορτού φακού είναι να μετρήσει την απόσταση από τον φακό του είδωλο μιας φωτεινής πηγής που βρίσκεται σε μακρινή απόσταση. Ας υποθέσουμε ότι ένας φακός έχει εστιακή απόσταση 10 cm και μια λάμπα φώτισμο, σταματημένη με ένα μεταλλικό πλέγμα στην οροφή του διαμετώ, βρίσκεται σε απόσταση 1,5 m από τον φακό, ώστε ένας πιστωτής να μπορεί να δει το είδωλο του μεταλλικού πλέγματος στο πίσω μέρος του γυαλιού του. Ο πιστωτής παρατηρεί ότι η εστιακή απόσταση του φακού είναι ίση με την απόσταση μεταξύ του φακού και του γυαλιού του όπου σχηματίζεται το είδωλο. Υπολογίστε την απόσταση φακού-γυαλιού όταν σχηματίζεται ένα ακριβές είδωλο σε αυτό και δείξτε ότι το γυάλινο στην τη θέση της εστιακής απόστασης που προσδιορίζεται με αυτόν τον τρόπο είναι μακρύτερο από 10% Σωλάμι = [(μετρούμενη απόσταση) - εστιακή απόσταση]/εστιακή απόσταση = 100%.

MC Πρόβλημα που σχετίζεται με το βιβλίο ή ένα πρόγραμμα DATA Πρόβλημα διαδίκτυου ENV Γραφικό/ακούσιο πρόβλημα EN Αναπαραγωγή/πρόβλημα CSMP Γραφικό/ακούσιο πρόβλημα

**Προς σκέψη και συζήτηση**

1. Πώς μπορείτε και παρατηρείτε ένα φανταστικό είδωλο, ενώ «στην πραγματικότητα δεν υπάρχει»;
2. Υπό ποιες συνθήκες το είδωλο σε ένα κοίλο κάτοπτρο έχει το ίδιο μέγεθος με το αντικείμενο;
3. Αν σας δοθεί ένας συγκλίνων φακός, τι μπορείτε να κάνετε για να υπολογίσετε γρήγορα την εστιακή του απόσταση;
4. Ένας αποκλίνων φακός σχηματίζει πάντα ένα μικρότερο είδωλο. Θα μπορούσατε να χρησιμοποιήσετε έναν τέτοιο φακό για να ανιχνεύσετε φωτιά εστιάζοντας το φως του ήλιου; Εξηγήστε.
5. Υπάρχει κάποιο όριο στη θερμοκρασία που μπορείτε να επιτύχετε εστιάζοντας το φως του ήλιου; (Υπόδειξη: Αναλογιστείτε τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής.)
6. Μπορεί ένα κοίλο κάτοπτρο να σχηματίζει ένα μικρότερο πραγματικό είδωλο; Ένα μικρότερο φανταστικό είδωλο; Ένα μεγαλύτερο πραγματικό είδωλο; Ένα μεγαλύτερο φανταστικό είδωλο; Προσδιορίστε τις συνθήκες για κάθε πιθανό είδωλο.
7. Αν τοποθετήσετε μια οθόνη στη θέση ενός φανταστικού ειδώλου, θα εμφανιστεί το είδωλο στην οθόνη; Γιατί ναι ή γιατί όχι;
8. Αν κοιτάξετε στο κοίλωμα ενός μεταλλικού κουταλιού, θα δείτε τον εαυτό σας ανάποδα. Περιτρέψτε το κουτάλι έτσι ώστε να κοιτάξετε το πίσω μέρος και τώρα το είδωλό σας είναι ορθό. Εξηγήστε.
9. Το είδωλο στην οθόνη ενός κινηματογράφου είναι πραγματικό ή φανταστικό; Πώς το γνωρίζετε;
10. Ένα ψάρι σε μια σφαιρική υαλίδα φαίνεται μεγαλύτερο ή μικρότερο από ό,τι είναι στην πραγματικότητα;
11. Ένα κομμάτι πάγου περιέχει έναν κοφίνο, γεμάτο με αέρα χώρο σε σχήμα κυρτού φακού. Περιγράψτε την οπτική συμπεριφορά αυτού του χώρου.
12. Ο δείκτης διάθλασης του ανθρώπινου κερατοειδούς είναι ίσος περίπου με 1,4. Αν μπορείτε να δείτε καθαρά στον αέρα, γιατί δεν μπορείτε να δείτε καθαρά μέσα στο νερό; Γιατί βοηθούν τα γυαλιά κολύμβησης;
13. Χρειάζεστε μια μεγάλη ή μια μικρή εστιακή απόσταση για τον αντικειμενικό φακό του τηλεσκοπίου; Για την περίπτωση ενός μικροσκοπίου;
14. Παραθέστε τουλάχιστον τρεις λόγους για τους οποίους τα ανακλαστικά τηλεσκόπια είναι ανώτερα των διαθλαστικών.

**Ασκήσεις και προβλήματα**

**Ασκήσεις**  
Ενότητα 31.1 Είδηλα με κάτοπτρα

15. Ένα κατάστημα υποδημάτων χρησιμοποιεί μικρά επίπεδα κάτοπτρα για να μπορούν οι πελάτες να βλέπουν τα παπούτσια που αγοράζουν. Πόση θα πρέπει να είναι η γωνία κλίσης ενός τέτοιου κατόπτρου, ώστε ένα άτομο

16. Ένα κέρι βρίσκεται πάνω στον άξονα ενός κοίλου κατόπτρου εστιακής απόστασης 15 cm, σε απόσταση 36 cm από το κάτοπτρο. (α) Πού βρίσκεται το είδωλό του; (β) Πώς συγκρίνεται το μέγεθος του ειδώλου με αυτό του αντικείμενου; (γ) Το είδωλο είναι πραγματικό ή φανταστικό;
17. Ένα αντικείμενο βρίσκεται πέντε εστιακές αποστάσεις μακριά από ένα κοίλο κάτοπτρο. (α) Πώς συγκρίνεται το ύψος του αντικείμενου με αυτό του ειδώλου; (β) Το είδωλο είναι ορθό ή ανεστραμμένο;
18. Ένα φανταστικό είδωλο βρίσκεται 40 cm πίσω από ένα κοίλο κάτοπτρο με εστιακή απόσταση 18 cm. (α) Πού βρίσκεται το αντικείμενο; (β) Κατά πόσο μεγεθύνεται το είδωλο;
19. (α) Σε ποιο σημείο στον άξονα ενός κοίλου κατόπτρου θα τοποθετούσατε ένα αντικείμενο ώστε το είδωλο να έχει το μισό μέγεθος; (β) Πού θα βρισκόταν το είδωλο; (γ) Το είδωλο θα ήταν πραγματικό ή φανταστικό;

**Ενότητα 31.2 Είδηλα με φακούς**

20. Ένας λαμπτήρας απέχει 56 cm από έναν κυρτό φακό. Το είδωλό του σχηματίζεται σε μια οθόνη στην άλλη πλευρά του φακού, η οποία απέχει 31 cm από τον φακό. Βρείτε (α) την εστιακή απόσταση του φακού και (β) πόσο μεγάλωνει ή μικραίνει το είδωλο.
21. Κατά ποιον παράγοντα μεγεθύνεται το είδωλο ενός αντικείμενου που βρίσκεται 1,5 εστιακές αποστάσεις από έναν συγκλίνοντα φακό; Το είδωλο είναι ορθό ή ανεστραμμένο;
22. Ένας φακός με εστιακή απόσταση 50 cm σχηματίζει ένα πραγματικό είδωλο ίδιου μεγέθους με το αντικείμενο. Πόσο μακριά από τον φακό βρίσκεται το είδωλο και το αντικείμενο;
23. Κρατώντας έναν μεγεθυντικό φακό σε απόσταση 25 cm από το φωτιστικό του γραφείου σας, μπορείτε να εστιάζετε ένα είδωλο του λαμπτήρα του φωτιστικού σε έναν τοίχο που απέχει 1,6 m από τον λαμπτήρα. Πόση είναι η εστιακή απόσταση του μεγεθυντικού φακού σας;
24. Ένα πραγματικό είδωλο απέχει από έναν φακό τέσσερις φορές περισσότερο από όσο απέχει το αντικείμενο από τον φακό. Πόση είναι η απόσταση του αντικείμενου με πολλαπλάσιο της εστιακής απόστασης;
25. Ένας μεγεθυντικός φακός μεγεθύνει τα γράμματα κατά 50% όταν βρίσκεται σε απόσταση 9,0 cm από μια αελίδα. Πόση είναι η εστιακή του απόσταση;

**Ενότητα 31.3 Διάθλαση στους φακούς: Οι λεπτομέρειες**

26. Γράψτε τις προδιαγραφές για μια νέα σειρά μεγεθυντικών φακών που έχουν κυρτούς φακούς με ίσες ακτίνες καμπυλότητας 32 cm, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από γυαλί με  $n = 1,52$ . Τι καταγράφεται για την εστιακή τους απόσταση;
27. Στέκεστε σε μια ρηχή πισίνα και τα πόδια σας φαίνονται

- να βρίσκονται 30 cm κάτω από την επιφάνεια. Πόσο βαθιά είναι η πισίνα;
28. Ο πυθμένος μιας πισίνας φαίνεται να βρίσκεται 1,5 m κάτω από την επιφάνεια. Βρείτε το πραγματικό βάθος της πισίνας.
29. Ένα μικροσκοπικό έντομο παγιδεύεται σε απόσταση 1,0 mm από το κέντρο μιας σφαιρικής δροσσταλιάδας διαμέτρου 4,0 mm. Καθώς κοιτάτε απευθείας στο εσωτερικό της σταγόνας, ποια είναι η φαινόμενη απόσταση του εντόμου από την επιφάνεια της σταγόνας;
30. Βρίσκεστε κάτω από το νερό, κοιτάζοντας μέσα από μια σφαιρική φουσαλίδα αέρα (Σχήμα 31.35). Πόση είναι η πραγματική διάμετρος του αέρα που φαίνεται ότι έχει διάμετρο 1,5 cm κατά μήκος του οπτικού σας πεδίου;



ΣΧΗΜΑ 31.35 Άσκηση 30

**Ενότητα 31.4 Οπτικά όργανα**

31. Είστε αναγκασμένοι να κρατάτε ένα βιβλίο σε απόσταση 55 cm από τα μάτια σας ώστε τα γράμματα να διακρίνονται καθαρά. Ποιος ισχύος φακός θα μπορούσε να διορθώσει την προεσβωπία σας;
32. Ποια εστιακή απόσταση πρέπει να ορίσετε, αν θέλετε έναν μεγεθυντικό φακό με γωνιακή μεγέθυνση 3,2;
33. Είστε αποτομήτρης και βοηθάτε έναν μυωπικό ασθενή ο οποίος ισχυρίζεται ότι δεν μπορεί να δει καθαρά πέρα από τα 80 cm. Συνταγογραφήστε έναν φακό που θα σχηματίζει τα είδηλα των απομακρυσμένων αντικείμενων σε απόσταση 80 cm, δίνοντας στον ασθενή καθαρή όραση σε όλες τις αποστάσεις μακριά από το κανονικό εγγύτατο σημείο ευκρινούς όρασης.
34. Ένα συγκεκριμένο μάτι έχει εστιακή απόσταση 2,0 cm αντί της απόστασης των 2,2 cm στην οποία θα σχηματιζόταν ένα καλά εστιασμένο είδωλο στον αμφιβληστροειδή. (α) Αυτό το μάτι είναι μυωπικό ή πρεσβυωπικό; (β) Ποιος διορθωτικός φακός απαιτείται;
35. Σε ένα σύνθετο μικροσκόπιο, η εστιακή απόσταση του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου φακού είναι ίση με 6,1 mm και 1,7 cm, αντίστοιχα. Αν οι φακοί απέχουν 8,3 cm, πόση είναι η μεγέθυνση του οργάνου;

**Πρόβλήματα**

36. (α) Βρείτε την εστιακή απόσταση ενός κοίλου κατόπτρου, αν ένα αντικείμενο τοποθετημένο 38,4 cm μπροστά από το κάτοπτρο έχει ένα πραγματικό είδωλο σε απόσταση 55,7 cm από το κάτοπτρο. (β) Πού θα βρισκόταν το είδωλο και τι είδους θα είναι, αν το αντικείμενο μετακινηθεί σε ένα σημείο που απέχει 16,0 cm από το κάτοπτρο;
37. Ένα αντικείμενο ύψους 12 mm απέχει 10 cm από ένα κοίλο κάτοπτρο εστιακής απόστασης 17 cm. (α) Πού βρίσκεται το είδωλο, (β) πόσο ψηλά βρίσκεται και (γ) τι είδους είναι;

38. Επαναλάβετε το Πρόβλημα 37 για ένα κυρτό κάτοπτρο, υποθέτοντας ότι όλοι οι αριθμοί παραμένουν ίδιοι.
39. Το είδωλο ενός αντικείμενου σε ένα κοίλο κάτοπτρο εστιακής απόστασης 27 cm είναι ορθό και μεγεθύνεται κατά έναν παράγοντα ίσο με 3. Πού βρίσκεται το αντικείμενο;
40. Σας ζητούν να σχεδιάσετε ένα κοίλο κάτοπτρο που θα σχηματίζει το φανταστικό είδωλο ενός αντικείμενου μεγεθυμένο κατά 1,8 φορές και σε απόσταση 22 cm από το κάτοπτρο. Τι προδιαγραφές δίνετε για την ακτίνα καμπυλότητας του κατόπτρου;
41. Από τη Γη, η Σελήνη στον ουρανό φαίνεται υπό γωνία 0,52°. Ποιο θα είναι το πραγματικό μέγεθος του ειδώλου της Σελήνης που σχηματίζεται από οποιαδήποτε από τα δύο είδημα τηλεσκόπια Keck, με κάτοπτρα διαμέτρου 10 m και εστιακής απόστασης 17,5 m;
42. Σε ποιες δύο αποστάσεις από ένα κοίλο κάτοπτρο εστιακής απόστασης 45 cm θα μπορούσατε να τοποθετήσετε ένα αντικείμενο ώστε να σχηματιστεί ένα είδωλο 1,5 φορές μεγαλύτερο από το μέγεθος του αντικείμενου;
43. Οι προβολείς LCD που χρησιμοποιούνται συνήθως για την προβολή της οθόνης των υπολογιστών και για προβολή βίντεο δημιουργούν ένα είδωλο σε μια μικρή οθόνη LCD (βλ. Εφαρμογή «Μαγείρεμα σε φούρνο μικροκυμάτων και υγροί κρύσταλλοι», σελ. 470). Η οθόνη τοποθετείται πριν από έναν φακό και φωτίζεται από την πίσω πλευρά. Σε έναν προβολέα που χρησιμοποιεί έναν κυρτό φακό εστιακής απόστασης 7,50 cm, σε ποια θέση πρέπει να τοποθετηθεί η LCD, ώστε το προβαλλόμενο είδωλο να εστιάζεται σε μια οθόνη που απέχει 6,30 m από τον φακό;

44. Ένα αντικείμενο που απέχει 15 cm από ένα κοίλο κάτοπτρο έχει ένα φανταστικό είδωλο μεγεθυμένο κατά 2,5 φορές. Πόση είναι η εστιακή απόσταση του κατόπτρου;
45. Πόσο μακριά από μια αελίδα πρέπει να κρατάτε έναν φακό με εστιακή απόσταση 32 cm, για να βλέπετε τα γράμματα μεγεθυμένα κατά 1,6 φορές;
46. Ένας συγκλίνων φακός έχει εστιακή απόσταση 4,0 cm. Ένα βέλος ύψους 1,0 cm βρίσκεται σε απόσταση 7,0 cm από τον φακό, με το χαμηλότερο σημείο του να βρίσκεται σε απόσταση 5,0 mm πάνω από τον άξονα του φακού. Φτιάξτε ένα διάγραμμα σχεδίασης ακτίνων σε πλήρη κλίμακα για να καθορίσετε και τα δύο άκρα του ειδώλου. Επιβεβαιώστε χρησιμοποιώντας την εξίσωση των φακών.

47. Ένας φακός έχει εστιακή απόσταση  $f = 35$  cm. Βρείτε το μέγεθος και το ύψος του ειδώλου που σχηματίζεται όταν ένα αντικείμενο ύψους 2,2 cm τοποθετείται σε απόσταση (α)  $f = 10$  cm και (β)  $f = 10$  cm.
48. Πόσο απέχουν το αντικείμενο και το είδωλο που δημιουργούνται από έναν συγκλίνοντα φακό με εστιακή απόσταση 35 cm όταν το αντικείμενο απέχει (α) 40 cm και (β) 30 cm από τον φακό;
49. Ένα κέρι και μια οθόνη απέχουν 70 cm. Βρείτε δύο σημεία ανάμεσα στο κέρι και την οθόνη όπου μπορείτε να τοποθετήσετε έναν κυρτό φακό εστιακής απόστασης 17 cm, ώστε να σχηματιστεί στην οθόνη ένα ευκρινές είδωλο του κεριού.

40.9 cm  
3 29.1 cm

(α)  $\approx 20$  cm

(β)  $m = -0,55$

$m = -2$

$S = S' = 100$  cm

2,1 cm

$S = 5/4 f$

2f cm

(α)  $y = -7,7$  cm, (β)  $+7$  cm

(α) 28 cm, (β) 210 cm



50. Ο κερατοειδής του ανθρώπινου ματιού έχει δείκτη διάθλασης 1,38, ενώ ο φακός του ματιού έχει μεταβλλόμενο δείκτη που κυμαίνεται από 1,38 έως 1,40 – χρησιμοποιήστε το 1,39 για αυτό το πρόβλημα. Για το υδατοειδές υγρό μεταξύ του κερατοειδούς και του φακού,  $n = 1,34$ . Βρείτε τη γωνία εκτροπής του φωτός στην πρώτη επιφάνεια (α) του κερατοειδούς και (β) του φακού, αν προσπίπτει σε κάθε επιφάνεια υπό γωνία  $20^\circ$  ως προς την κάθετο. Το αποτέλεσμα σας δείχνει ότι ο κερατοειδής αποτελεί κυρίως διαθλατικό τσιταχείο του ματιού.
51. Πόσο μακριά από έναν φακό εστιακής απόστασης 25 cm θα πρέπει να τοποθετήσετε ένα αντικείμενο, για να σχηματιστεί ένα ορθό είδωλο μεγεθυμένο κατά 1,8 φορές;
52. Ένα αντικείμενο και το πραγματικό του είδωλο, που σχηματίζει ένας φακός, απέχουν 2,4 m. Αν ο φακός έχει εστιακή απόσταση 55 cm, ποιες είναι οι πιθανές τιμές για την απόσταση και τη μεγέθυνση του αντικειμένου;
53. Ένα αντικείμενο απέχει 68 cm από έναν επιπεδοκυρτό φακό του οποίου η καμπύλη πλευρά έχει ακτίνα καμπυλότητας 26 cm. Ο δείκτης διάθλασης του φακού είναι ίσος με 1,62. Πού βρίσκεται το είδωλο και τι είδους είναι;
54. Χρησιμοποιήστε την Εξίσωση 31.6 για να δείξετε ότι ένα αντικείμενο στο κέντρο μιας γυάλινης σφαίρας θα φαίνεται ότι βρίσκεται σε απόσταση από την άκρη ίση με την πραγματική του απόσταση – μία ακτίνα. Σχεδιάστε ένα διάγραμμα ακτίνων που θα δείχνει γιατί αυτό είναι λογικό.
55. Επαναλάβετε το Παράδειγμα 31.4 για ένα φάρι που απέχει 15,0 cm από το πιο μακρινό τοίχωμα της δεξαμενής.
56. Εξετάστε το αντίστροφο του Παράδειγματος 31.4: Βρίσκεστε στο εσωτερικό ενός κούλου σωλήνα διαμέτρου 70,0 cm που περιέχει αέρα και η άκρη της μύτες σας απέχει 15,0 cm από το τοίχωμα του σωλήνα. Ο σωλήνας βυθίζεται στο νερό και ένα φάρι παρατηρεί μέσα από αυτόν. Για το φάρι, πόση είναι η φαινόμενη απόσταση της μύτες σας από το τοίχωμα του σωλήνα;
57. Δύο κόκκοι χυμώτος παγιδεύονται σε μια κρυστάλλινη σφαίρα, η ένας στο κέντρο και ο άλλος στο μέσο της απόστασης από την επιφάνεια. Αν κοιτάξετε προσεκτικά τη σφαίρα κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τους δύο κόκκους, ο εξωτερικός φαίνεται να βρίσκεται μόνο στο ένα τρίτο της απόστασης από τον άλλον. Βρείτε τον δείκτη διάθλασης της σφαίρας.
58. Ένας φακός επαφής έχει σχήμα κυρτού μηνύκου (βλ. Σχήμα 31.25). Η εσωτερική του επιφάνεια είναι καμπύλη ώστε να εφαρμόζει στο μάτι, με ακτίνα καμπυλότητας 7,80 mm. Ο φακός είναι κατασκευασμένος από πλαστικό με δείκτη διάθλασης  $n = 1,56$ . Αν η κυκλική υψόγειση του είναι ίση με 44,4 cm, πόση είναι η ακτίνα καμπυλότητας της εξωτερικής του επιφάνειας;
59. Για ποιον δείκτη διάθλασης η εστιακή απόσταση ενός επιπεδοκυρτού φακού θα ήταν ίση με την ακτίνα καμπυλότητας της μιας και μοναδικής καμπύλης επιφάνειάς του;
60. Ένα αντικείμενο απέχει 28 cm από έναν κυρτό φακό με  $n = 1,5$  και ακτίνες καμπυλότητας 35 cm και 55 cm. Πού βρίσκεται το είδωλο και τι είδους είναι;
61. Είστε οπτικός και σας ζητήθηκε να σχεδιάσετε έναν νέο φακό αποκατάστασης για τους ασθενείς με καταράκτη. Ο φακός πρέπει να έχει διάμετρο 5,5 mm, εστιακή απόσταση 17 mm και δεν μπορεί να είναι παχύτερος από 0,8 mm. Για το υλικό του φακού, μπορείτε να επιλέξετε ανάμεσα σε πλαστικό με δείκτη διάθλασης 1,49 ή την ακριβή σιλκόνη με  $n = 1,58$ . Ποιο υλικό επιλέγετε και γιατί;
62. Ένας κυρτός φακός με ίσες ακτίνες καμπυλότητας 28,5 cm κατασκευάζεται από γυαλί με δείκτης διάθλασης  $n_{\text{γυαλί}} = 1,512$  και  $n_{\text{αέρα}} = 1,547$ . Αν μια σημειακή πηγή λευκού φωτός βρίσκεται στον άξονα του φακού σε απόσταση 75,0 cm από τον φακό, σε ποια απόσταση το ορατό είδωλό της θα είναι θαλό;
63. Ένα αντικείμενο τοποθετημένο σε υψόγειση 17,5 cm από έναν κυρτό γυάλινο φακό με  $n = 1,524$  σχηματίζει ένα φανταστικό είδωλο με μέγεθος διπλάσιο του αντικειμένου. Αν ο φακός αντικατασταθεί από έναν φακό ίδιου σχήματος, κατασκευασμένο από διαμάντι, (α) τι είδους είδωλο θα σχηματιστεί και (β) πόση θα είναι η μεγέθυνση του;
64. Παρακολουθείτε ένα μήθημα φωτογραφίας και δουλεύετε με μια φωτογραφική μηχανή της οποίας ο φακός μεταβλητής εστιακής απόστασης (zoom) καλύπτει ένα εύρος εστιακών αποστάσεων από 38 mm έως 110 mm. Ο εκπαιδευτής σας ζητά να συγκρίνετε τα μεγέθη των ειδώλων ενός μακρινού αντικειμένου όταν φωτογραφίζετε με τις δύο ακραίες τιμές του zoom. Ποια είναι η απόκρισή σας;
65. Μια φωτογραφική μηχανή μπορεί κανονικά να εστιάσει μέχρι τα 60 cm, είναι όμως δυνατόν να τοποθετηθούν πρόσθετοι φακοί ακριβώς μπροστά από τον κύριο φακό, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα κοντινών λήψεων. Ποιος τύπος και ποια ισχύς βοηθητικού φακού θα επιτρέψουν στη μηχανή να εστιάσει μέχρι και τα 20 cm;
66. Ένα πλινθότο μικροσκόπιο με ισχύ 300 διπλάζει έναν αντικειμενικό φακό εστιακής απόστασης 4,5 mm. Αν η απόσταση του αντικειμενικού φακού από τον προσοφθάλμιο φακό είναι ίση με 10 cm, πόση πρέπει να είναι η εστιακή απόσταση του προσοφθάλμιου φακού;
67. Για το γυμνό μάτι, ο Δίας έχει γωνιακή διάμετρο 50 arcsec. Πόσο θα είναι το γωνιακό του μέγεθος όταν παρατηρείται μέσω ενός διαθλαστικού τηλεσκοπίου εστιακής απόστασης 1 m με προσοφθάλμιο φακό εστιακής απόστασης 40 mm;
68. Ένα τηλεσκόπιο Cassegrain όπως αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 31.34β έχει εστιακή απόσταση 1,0 m και το κυρτό δευτερεύον κάτοπτρο απέχει 0,85 m από το πρωτεύον. Πόση θα πρέπει να είναι η εστιακή απόσταση του δευτερεύοντος κατόπτρου, προκειμένου το τελικό είδωλο να βρίσκεται 0,12 m πίσω από την εμπρόσθια επιφάνεια του πρωτεύοντος;
69. Στέκεστε με τη μύτη σας σε απόχει 6,0 cm από την επιφάνεια μιας ανακλαστικής σφαίρας και το είδωλό της μύτης σας φαίνεται ότι έχει μέγεθος ίσο με τα τρία τέταρτα του πλήρους μεγέθους. Πόση είναι η διάμετρος της σφαίρας;
70. Μια συνταγή φακών επαφής απαιτεί φακούς με +2,25 διοπτρίες με εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας 8,6 mm για να εφαρμόζουν στον κερατοειδή του ασθενή. (α) Αν

11.1cm