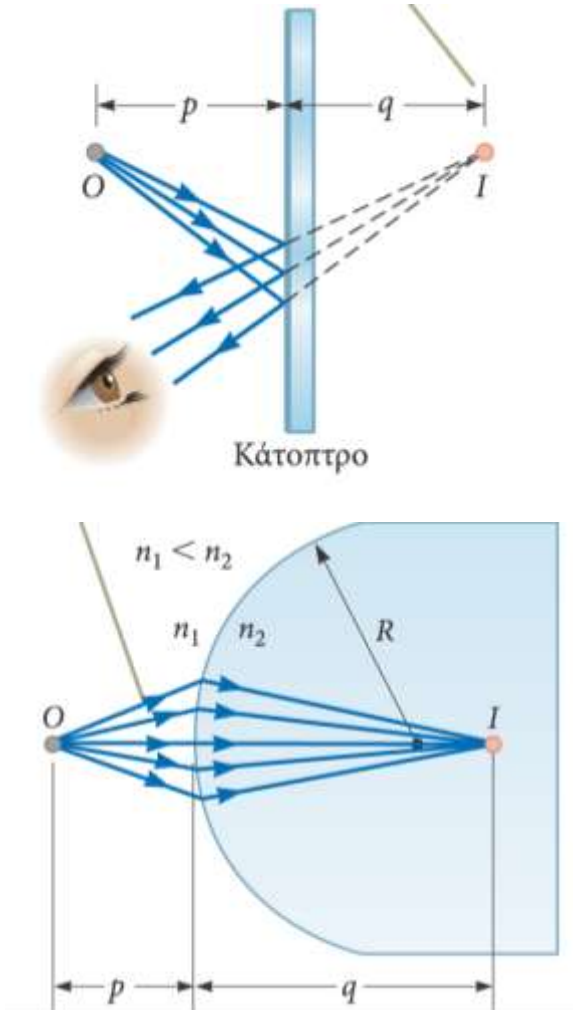


# Σχηματισμός ειδώλων από κάτοπτρα και φακούς

- Είδωλα σχηματίζονται όταν οι ακτίνες φωτός συναντούν επίπεδες ή καμπύλες επιφάνειες που βρίσκονται μεταξύ δύο μέσων.
- Τα είδωλα μπορούν να δημιουργηθούν είτε λόγω της ανάκλασης είτε λόγω της διάθλασης που προκαλούν οι επιφάνειες αυτές.
- Μπορούμε να σχεδιάσουμε κάτοπτρα και φακούς ώστε να δημιουργούμε είδωλα με τα χαρακτηριστικά που θέλουμε.

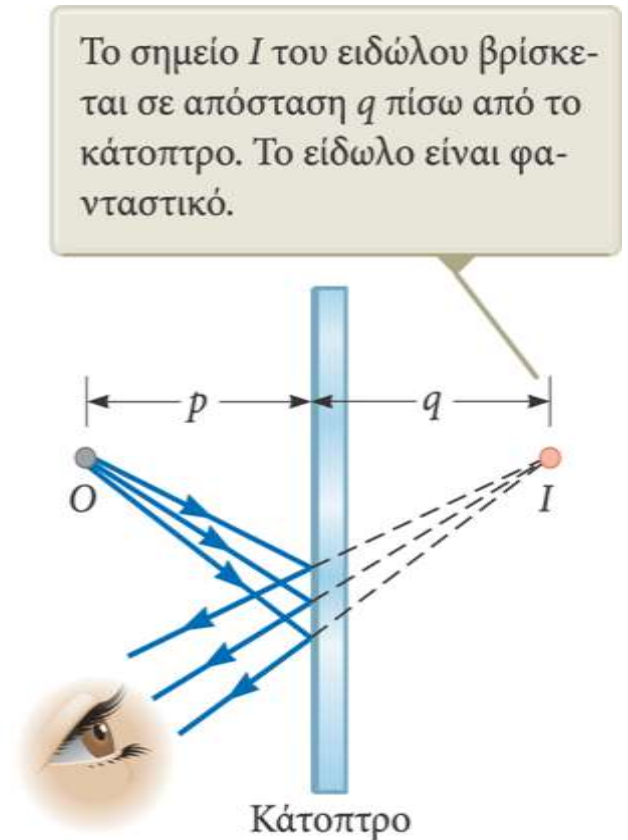


# Συμβολισμοί στα κάτοπτρα και στους φακούς

- Η απόσταση του σώματος από το κάτοπτρο ή τον φακό ονομάζεται απόσταση του αντικειμένου.
  - Συμβολίζεται με  $p$ .
- Η απόσταση του ειδώλου από το κάτοπτρο ή τον φακό ονομάζεται απόσταση του ειδώλου.
  - Συμβολίζεται με  $q$ .
- Η εγκάρσια μεγέθυνση του κατόπτρου ή του φακού είναι ο λόγος του ύψους του ειδώλου προς το ύψος του αντικειμένου.
  - Ορίζεται ως: 
$$M \equiv \frac{\text{Ύψος ειδώλου}}{\text{Ύψος αντικειμένου}} = \frac{h'}{h}$$

# Επίπεδα κάτοπτρα

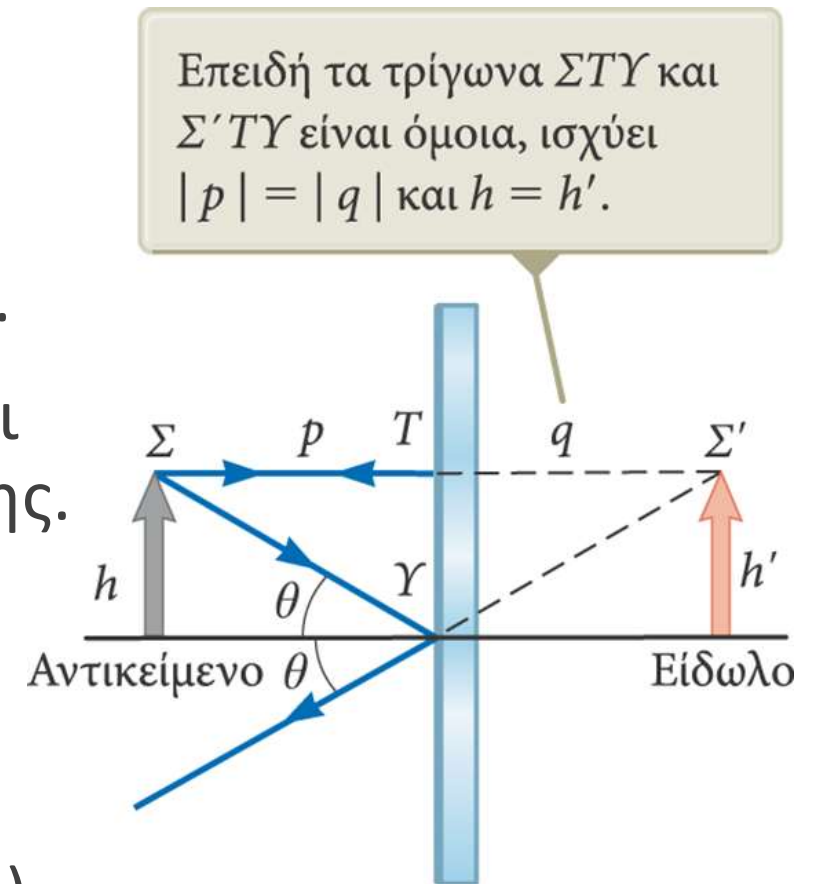
- Πρόκειται για το απλούστερο δυνατό κάτοπτρο.
- Οι ακτίνες φωτός διαδίδονται από την πηγή και ανακλώνται στο κάτοπτρο.
- Το σημείο  $I$  είναι το είδωλο του αντικειμένου που βρίσκεται στο σημείο  $O$ .
- Το είδωλο είναι φανταστικό.
- Πίσω από το κάτοπτρο δεν είναι δυνατό να υπάρχουν ακτίνες φωτός από το αντικείμενο, οπότε οι ακτίνες φωτός μπροστά από το κάτοπτρο φαινομενικά μόνο αποκλίνουν από το σημείο.





# Επίπεδα κάτοπτρα

- Για να προσδιορίσουμε τη θέση του ειδώλου χρειάζεται να επιλέξουμε μόνο δύο ακτίνες.
- Μία ακτίνα ξεκινά από το σημείο  $\Sigma$ , διαδίδεται μέχρι το σημείο  $T$ , και ανακλάται προς τα πίσω.
- Μία άλλη ακτίνα ακολουθεί τη διαδρομή  $\Sigma\Upsilon$  και ανακλάται σύμφωνα με τον νόμο της ανάκλασης.
- Τα τρίγωνα  $\Sigma T\Upsilon$  και  $\Sigma' T\Upsilon$  είναι όμοια.
- Η απόσταση ενός αντικειμένου, που βρίσκεται μπροστά από ένα επίπεδο κάτοπτρο και η απόσταση του ειδώλου του είναι ίσες ( $|p| = |q|$ ).



# Αναστροφές στα επίπεδα κάτοπτρα

- Τα επίπεδα κάτοπτρα δημιουργούν είδωλα προκαλώντας τη φαινόμενη αναστροφή αριστερού-δεξιού.
- Για παράδειγμα, αν σηκώσετε το δεξιό σας χέρι, το είδωλο που βλέπετε σηκώνει το αριστερό χέρι.
- Αυτή η αναστροφή δεν είναι πραγματική αναστροφή αριστερού-δεξιού.
- Η αναστροφή είναι στην πραγματικότητα μια αναστροφή μπρος-πίσω, καθώς προκαλείται από τις ακτίνες φωτός που κατευθύνονται προς τον καθρέφτη, ανακλώνται σε αυτόν, και επιστρέφουν προς τα πίσω.

Ο αντίχειρας βρίσκεται στην αριστερή πλευρά των δύο πραγματικών χεριών και στην αριστερή πλευρά του ειδώλου. Το γεγονός ότι ο αντίχειρας δεν βρίσκεται στη δεξιά πλευρά του ειδώλου δείχνει ότι δεν υπάρχει αναστροφή αριστερού-δεξιού.



# Σύνοψη – επίπεδα κάτοπτρα

---

- Η απόσταση του ειδώλου πίσω από το κάτοπτρο είναι ίση με την απόσταση του αντικειμένου μπροστά από το κάτοπτρο.
  - $|p| = |q|$
- Το είδωλο δεν είναι μεγεθυμένο.
  - Το ύψος του ειδώλου είναι ίσο με το ύψος του αντικειμένου.
  - $h' = h$  και  $M = +1$
- Το είδωλο είναι φανταστικό.
- Το είδωλο είναι όρθιο.
- Έχει τον ίδιο προσανατολισμό με το αντικείμενο.
- Το είδωλο παρουσιάζει αναστροφή μπρος-πίσω.

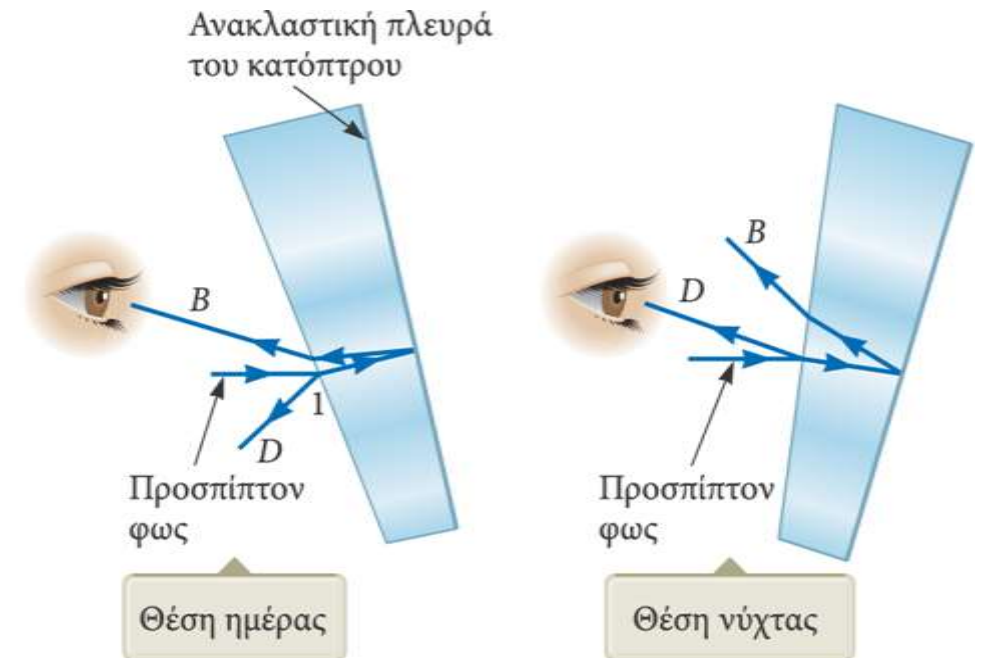
# Εγκάρσια μεγέθυνση

---

- Η εγκάρσια μεγέθυνση  $M$  ορίζεται ως  $M \equiv \frac{\text{Ύψος ειδώλου}}{\text{Ύψος αντικειμένου}} = \frac{h'}{h}$
- Ο ορισμός της εγκάρσιας μεγέθυνσης ισχύει για οποιοδήποτε είδος κατόπτρου όπως ισχύει και για είδωλα που σχηματίζονται από φακούς.
- Το μέγεθος του ειδώλου μπορεί να είναι είτε μεγαλύτερο είτε μικρότερο. Έτσι το  $M$  μπορεί να έχει τιμή μικρότερη ή μεγαλύτερη από 1.
- Για τα **επίπεδα κάτοπτρα**:
  - Η εγκάρσια μεγέθυνση είναι +1.
  - Αυτό σημαίνει ότι  $h' = h$  για όλα τα είδωλα επίπεδων κατόπτρων.
  - Το θετικό πρόσημο υποδεικνύει ότι το είδωλο είναι όρθιο, δηλαδή έχει τον ίδιο προσανατολισμό με το αντικείμενο.

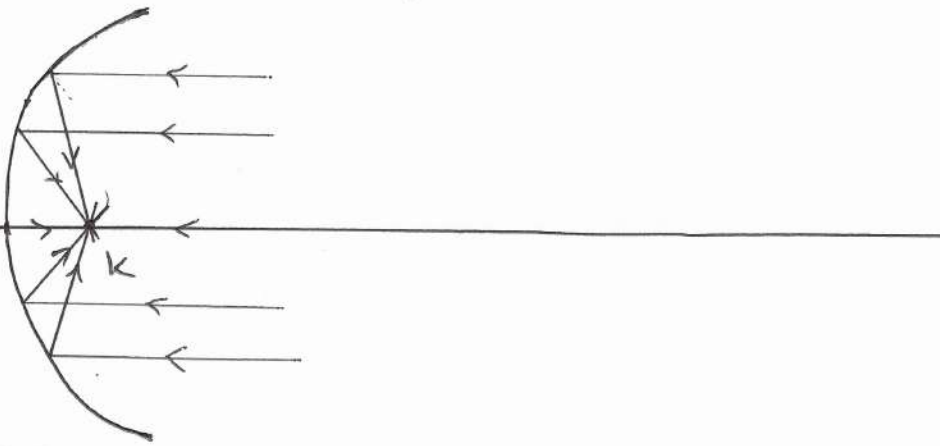
# Θέση ημέρας και νύχτας στους καθρέφτες αυτοκινήτων

- Στη θέση ημέρας, η έντονη δέσμη (bright,  $B$ ) του ανακλώμενου φωτός κατευθύνεται στα μάτια του οδηγού.
- Στη θέση νύχτας, η αμυδρή δέσμη (dim,  $D$ ) του ανακλώμενου φωτός κατευθύνεται στα μάτια του οδηγού, ενώ η έντονη δέσμη κατευθύνεται αλλού.



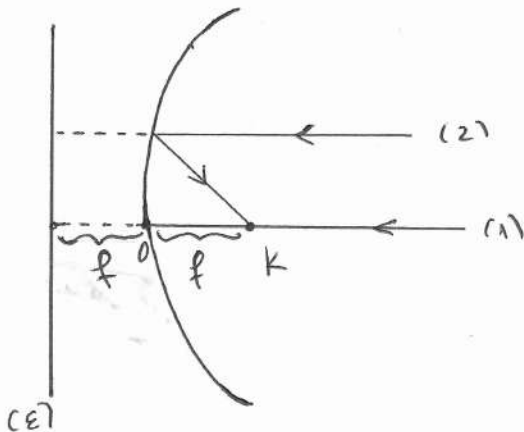
## Παραβολικό κάτοπτρο

► Θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα κάτοπτρο το οποίο να εστιάζει τη δέση φωτός σε ένα σημείο. Πως πρέπει να είναι σχεδιασμένο;



Θεωρούμε ότι οι ακτίνες έρχονται από ένα αντικείμενο πολύ μακριά, επομένως έρχονται ως παράλληλες εθλίες και θέλουμε να δούμε εάν μπορούμε να σχεδιάσουμε καθρέφτη όπου όλες να εστιάζονται μετά των ανάκλαση σε ένα σημείο  $K$ .

Σκεφτώμαστε ως εξής:

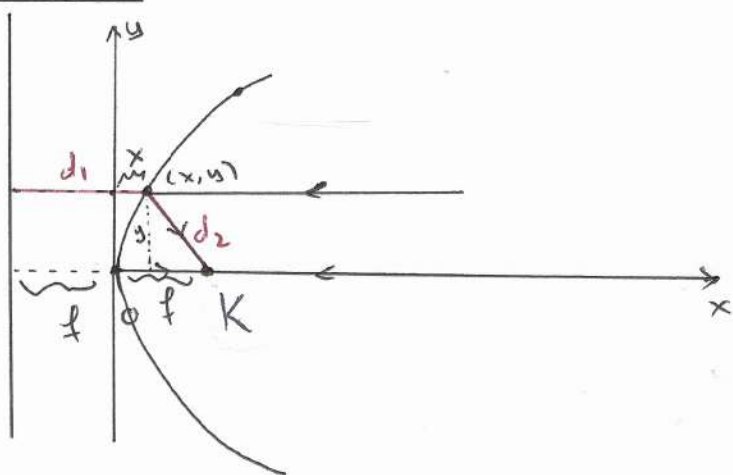


► Φανταζόμαστε ότι αν δεν υπήρχε ο καθρέφτης οι ακτίνες θα έφεταν και θα χτυπούσαν το ραβδό. Πιθανώς η ακτίνα (1) αν μετά των ανάκλαση γύριζε πίσω στο  $K$  αυτό ανίχνει απόσταση  $f$ , τότε και ο ραβδός θα ανίχνει  $f$  από το  $O$ .

► Όμοιος η ακτίνα (2), εάν δεν υπήρχε το κάτοπτρο θα ανίχνιζε εθεία και θα χτυπούσε τον ραβδό. Επομένως η απόσταση από το κέντρο ανάκλασης και το ραβδό είναι ίδια με των απόστασι από το κέντρο ανάκλασης με το  $K$ .

► Το καθρέφτης έχει τέτοιο σχήμα ώστε η απόσταση όλων των κέντρων των από το  $K$  να είναι με των κείνη των απόστασι κείνη κέντρων των από των εθεία (ε).  
 $\Rightarrow$  Ορισμός των παραβολών.

Σχέσις:



Αναζήτηση:  $d_1 = d_2$

$$\Rightarrow (x+f) = \sqrt{y^2 + (f-x)^2}$$

$$\Rightarrow (x+f)^2 = y^2 + (f-x)^2$$

$$\Rightarrow x^2 + f^2 + 2xf = y^2 + f^2 + x^2 - 2fx$$

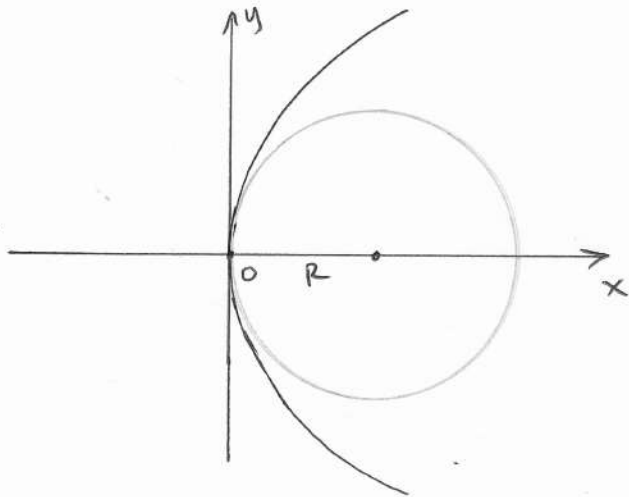
$$\Rightarrow y^2 = 4xf$$

$$\text{ή } \boxed{x, y) = \frac{1}{4f} y^2} \leftarrow \text{παραβολή}$$

Συνεπώς ένα παραβολικό κάτοπτρο εστιάζει όλα τις ακτίνες που πέφτουν παράλληλα σε ένα σημείο κ.

### Σφαιρικό κάτοπτρο

Για εικόσια στο σχεδιαστή (επιπλέον το παραβολικό κάτοπτρο είναι δύσκολο στο σχεδιαστή) για κάθε πρόβλημα είναι το σφαιρικό κάτοπτρο.



Εξίσωση κύκλου:  $(x-R)^2 + y^2 = R^2$

$$\Rightarrow x^2 + R^2 - 2xR + y^2 = R^2$$

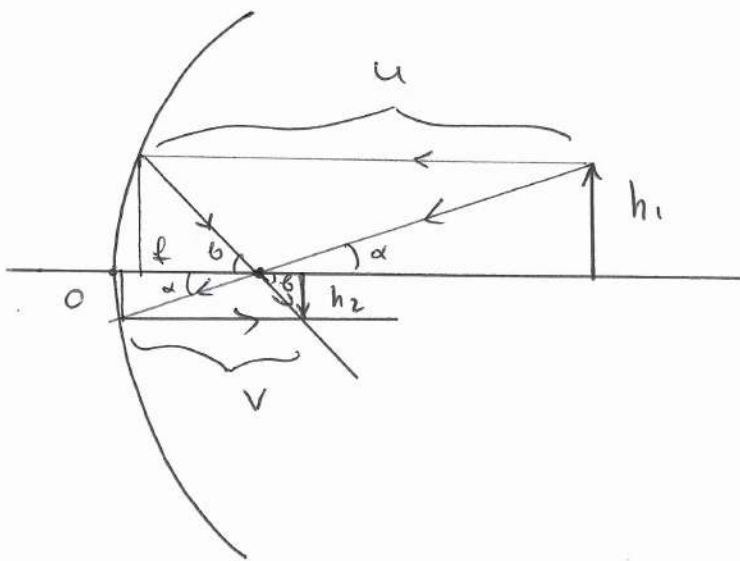
$$\Rightarrow y^2 = -x^2 + 2xR$$

Για κάθε  $x, y$ :  $y^2 = 2xR$ , ή στο τετ παραβολή είναι:  
 $R = 2f$

Άρα οι ακτίνες πρέπει να είναι κοντά στο 0 να να έχω υπερεισφορά παραβολικού κατόπτρου.

## Εικόνα Ειδώτου

Έχουμε τώρα κάποιο αντικείμενο ύψους  $h$  σε απόσταση  $u$  από τον καθέτη και θέλουμε να δούμε ποιά είναι η απόσταση  $v$  που θα σχηματιστεί το είδωλο έναντι από ανάκλαση σε παραβολικό (ή κυκλικό) κάτοπτρο.



Θέλουμε να βρούμε την απόσταση  $v$  του ειδώτου ύψους  $h_2$ .

$$\text{Έχουμε: } \tan \alpha = \frac{h_1}{u-f} = \frac{h_2}{f} \Rightarrow \frac{h_1}{h_2} = \frac{u-f}{f} \quad (1)$$

$$\tan \beta = \frac{h_1}{f} = \frac{h_2}{v-f} \Rightarrow \frac{h_1}{h_2} = \frac{f}{v-f} \quad (2)$$

$$\text{Από (1) και (2)} \Rightarrow \frac{u-f}{f} = \frac{f}{v-f}$$

$$\Rightarrow (u-f)(v-f) = f^2$$

$$\Rightarrow uv - uf - vf + \cancel{f^2} = f^2$$

$$\Rightarrow uv - uf - vf = 0$$

$$\Rightarrow uv = uf + vf$$

$$\frac{1}{uvf} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}}$$

Ολοίως ανό:  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{u-f}{f} = \frac{u}{f} - 1 = u \left( \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \right) - 1$

$$= 1 + \frac{u}{v} - 1$$
$$= \frac{u}{v}$$

$$\Rightarrow \boxed{M = \frac{h_2}{h_1} = \frac{v}{u}} \quad (\text{μεγέθυνση})$$

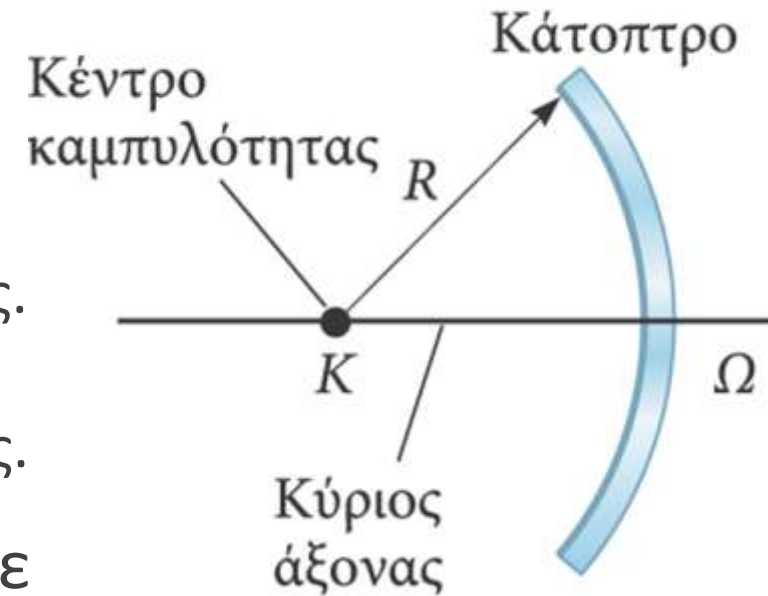
► Προφανώς μια κοίλη φαράκι ως παραβολικό ανι σχετικό κέντρο

$$f = R/2 \Rightarrow \boxed{\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{R}}$$

# Σφαιρικά κάτοπτρα

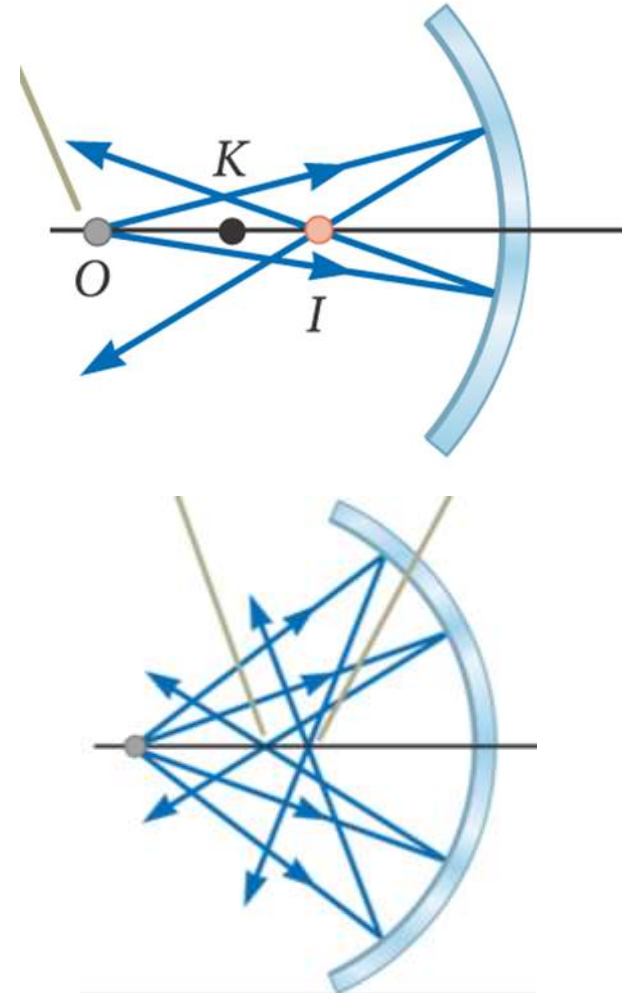
- Το σχήμα ενός σφαιρικού κατόπτρου είναι τμήμα σφαίρας. Το κάτοπτρο εστιάζει τις εισερχόμενες παράλληλες ακτίνες σε ένα σημείο.
  - Στα κοίλα σφαιρικά κάτοπτρα, η επάργυρη επιφάνεια βρίσκεται στην εσωτερική, ή κοίλη, πλευρά της καμπύλης.
  - Στα κυρτά σφαιρικά κάτοπτρα, η επάργυρη επιφάνεια βρίσκεται στην εξωτερική, ή κυρτή, πλευρά της καμπύλης.
- Έστω κοίλο κάτοπτρο με ακτίνα καμπυλότητας  $R$  και με κέντρο καμπυλότητάς το σημείο  $K$  (βλ. εικόνα).
- Το  $\Omega$  είναι το κέντρο του σφαιρικού τμήματος (ή κορυφή του κατόπτρου). Η ευθεία που διέρχεται από τα  $K$  και  $\Omega$  ονομάζεται κύριος άξονας του κατόπτρου.

## Κοίλο κάτοπτρο



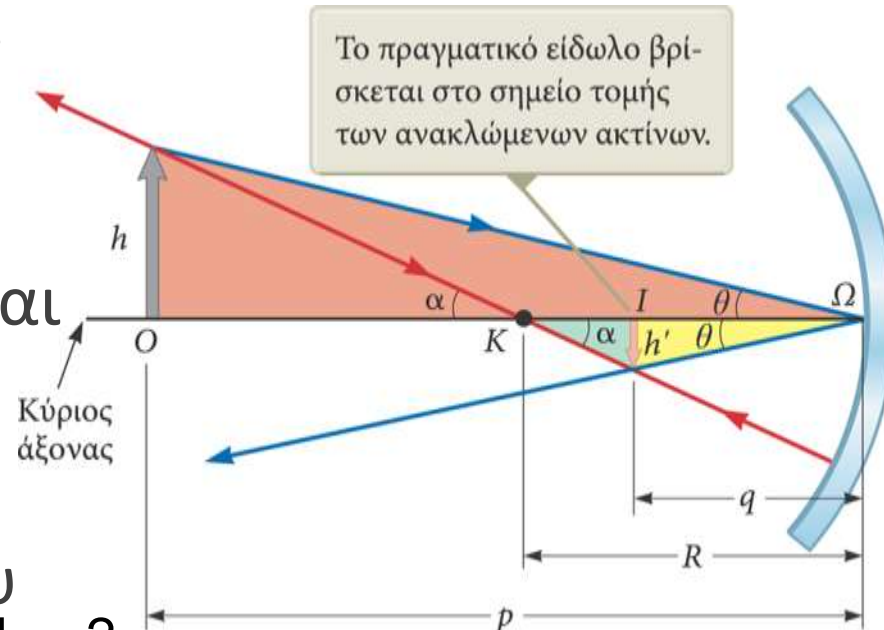
# Παραξονικές ακτίνες και εκτροπή

- Χρησιμοποιούμε μόνο τις ακτίνες που αποκλίνουν από το αντικείμενο και σχηματίζουν μικρή γωνία με τον κύριο άξονα. Αυτές ονομάζονται **παραξονικές**.
- Όλες οι παραξονικές ακτίνες, αφού ανακλαστούν, διέρχονται από το ίδιο σημείο (είδωλο  $I$ ).
- Οι ακτίνες που βρίσκονται μακριά από τον κύριο άξονα σχηματίζουν μεγάλη γωνία με αυτόν και συγκλίνουν σε διαφορετικά σημεία του κύριου άξονα.
- Το είδωλο που δημιουργείται είναι θολό ενώ το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σφαιρική **εκτροπή**.



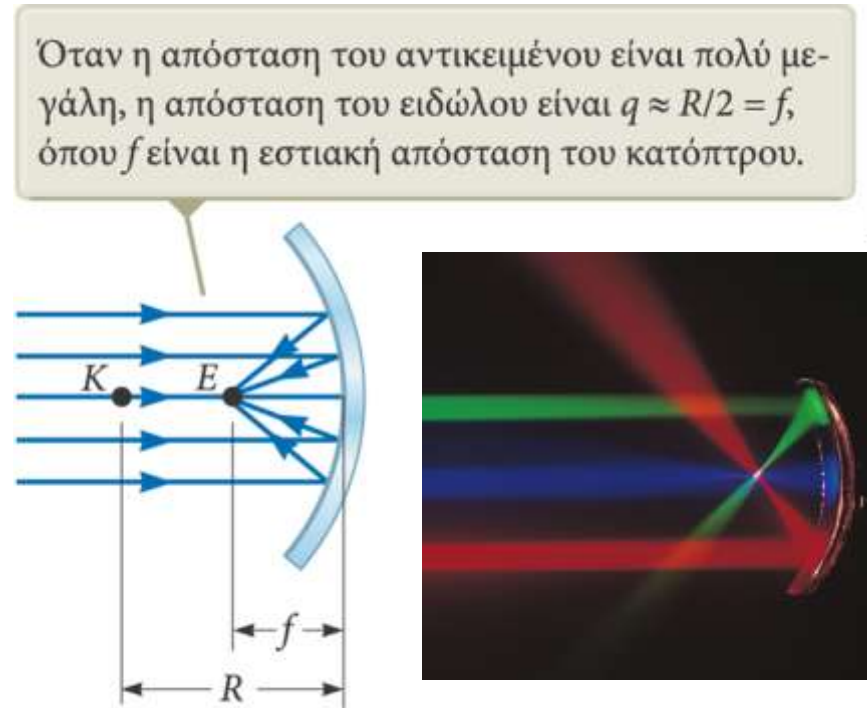
# Είδωλα από κοίλα κάτοπτρα ( $p > R$ )

- Μπορούμε να προσδιορίσουμε την εγκάρσια μεγέθυνση του ειδώλου χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία του σχήματος:  $M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$
- Το ύψος  $h'$  είναι αρνητικό όταν το είδωλο είναι ανεστραμμένο σε σχέση με το αντικείμενο.
- Από τη γεωμετρία προκύπτει επίσης η σχέση μεταξύ των αποστάσεων του ειδώλου και του αντικειμένου (εξίσωση των κατόπτρων):  $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}$
- Αν  $p \gg R$ , τότε το σημείο του ειδώλου βρίσκεται στο μέσο της απόστασης μεταξύ του κέντρου καμπυλότητας και του κέντρου του κατόπτρου.



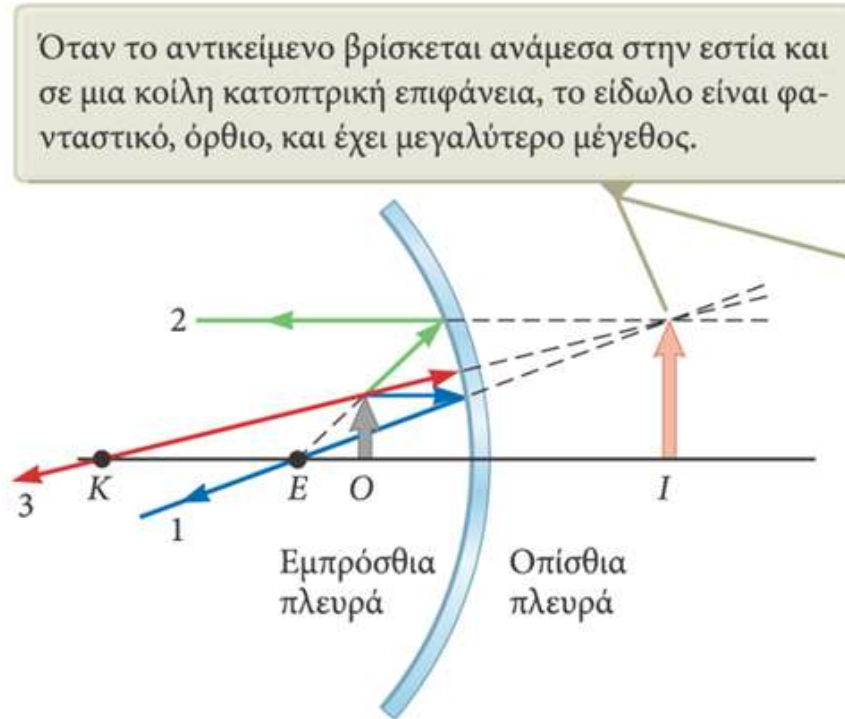
# Εστιακή απόσταση

- Όταν το αντικείμενο βρίσκεται πολύ μακριά, τότε  $p \rightarrow \infty$  και οι εισερχόμενες ακτίνες είναι ουσιαστικά παράλληλες.
- Σε αυτή την ειδική περίπτωση, το σημείο του ειδώλου ονομάζεται εστία.
- Η απόσταση του κατόπτρου από την εστία ονομάζεται εστιακή απόσταση.
- Η εστιακή απόσταση εξαρτάται μόνο από την ακτίνα καμπυλότητας και ισούται με το  $\frac{1}{2}$  αυτής. ( $f = R/2$ ).



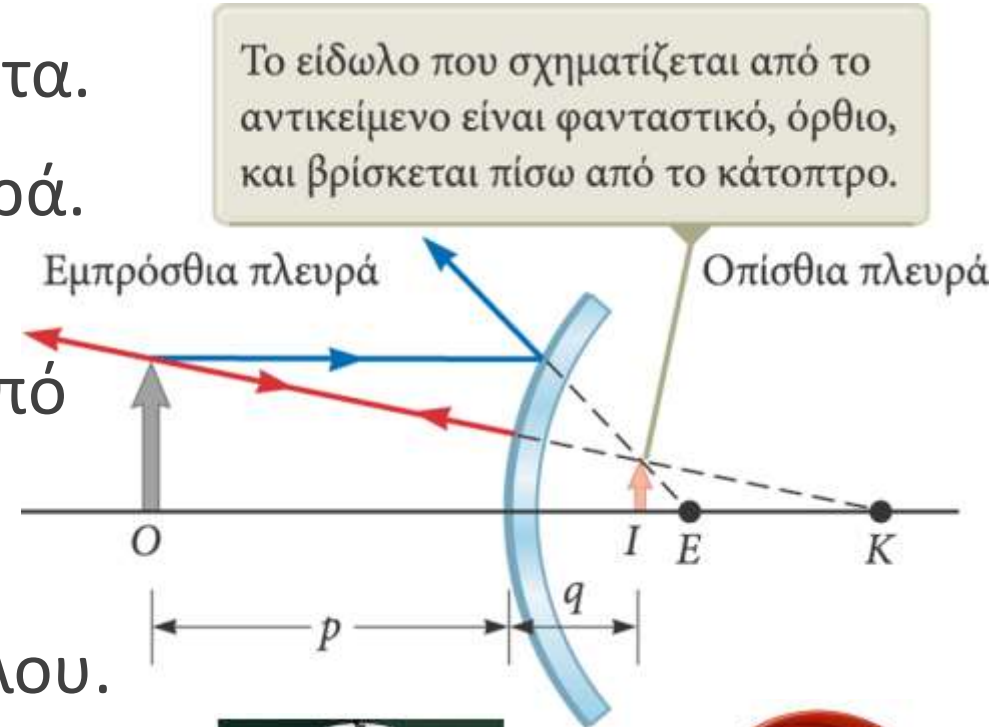
# Κοίλο κάτοπτρο, $p < f$

- Το αντικείμενο βρίσκεται ανάμεσα στην επιφάνεια του κατόπτρου και την εστία.
- Το είδωλο είναι φανταστικό.
- Το είδωλο είναι όρθιο.
- Το είδωλο είναι μεγαλύτερο από το αντικείμενο (μεγέθυνση).



# Κυρτά κάτοπτρα

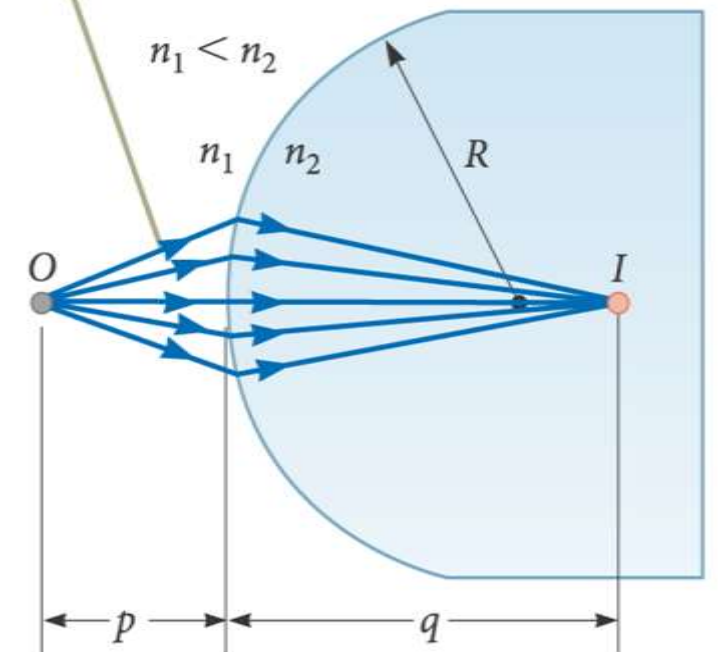
- Τα κυρτά κάτοπτρα ονομάζονται και αποκλίνοντα.
- Το φως ανακλάται στην εξωτερική, κυρτή πλευρά.
- Οι ακτίνες από οποιοδήποτε σημείο του αντικειμένου αποκλίνουν σαν να ξεκινούσαν από κάποιο σημείο πίσω από το κάτοπτρο.
- Το είδωλο είναι φανταστικό, επειδή οι ακτίνες φαινομενικά εκκινούν από το σημείο του ειδώλου.
- Γενικά, το είδωλο που σχηματίζεται από ένα κυρτό κάτοπτρο είναι όρθιο, φανταστικό, και μικρότερο από το αντικείμενο.



# Είδωλα που σχηματίζονται λόγω διάθλασης

- Θεωρούμε δύο διαφανή μέσα με δείκτες διάθλασης  $n_1$  και  $n_2$  (έστω  $n_1 < n_2$ ).
- Το όριο μεταξύ των δύο μέσων είναι μια σφαιρική επιφάνεια ακτίνας  $R$ .
- Οι ακτίνες ξεκινούν από το αντικείμενο στο σημείο  $O$ , το οποίο βρίσκεται στο μέσο με δείκτη διάθλασης  $n=n_1$ .

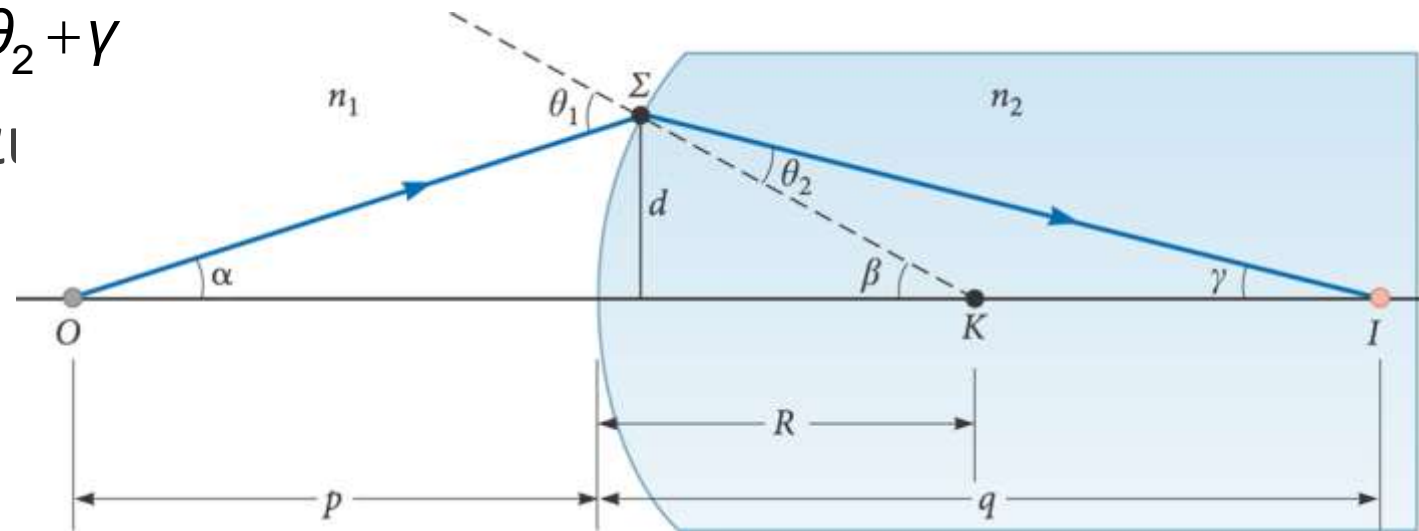
Οι ακτίνες που σχηματίζουν μικρές γωνίες με τον κύριο άξονα αποκλίνουν από ένα σημειακό αντικείμενο, το οποίο βρίσκεται στο σημείο  $O$ , και διαθλώνται έτσι ώστε να διέρχονται από το ίδιο σημείο  $I$ .



# Είδωλα που σχηματίζονται λόγω διάθλασης

- Εξετάζουμε τις παραξονικές ακτίνες (αυτές με γωνία  $\alpha$  μικρή) που διαδίδονται από το σημείο  $O$ . Όλες αυτές οι ακτίνες διαθλώνται στη σφαιρική επιφάνεια και εστιάζονται στο σημείο  $I$  του ειδώλου.
- Για μικρές γωνίες  $\vartheta_1, \vartheta_2$  ισχύει (v. του Snell):  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$
- Ισχύει επίσης:  $\theta_1 = \alpha + \beta, \quad \beta = \theta_2 + \gamma$
- Αντικαθιστώντας τις  $\vartheta_1, \vartheta_2$  και χρησ/ώντας τις εφαπτομένες των τριγώνων προκύπτει η σχέση:

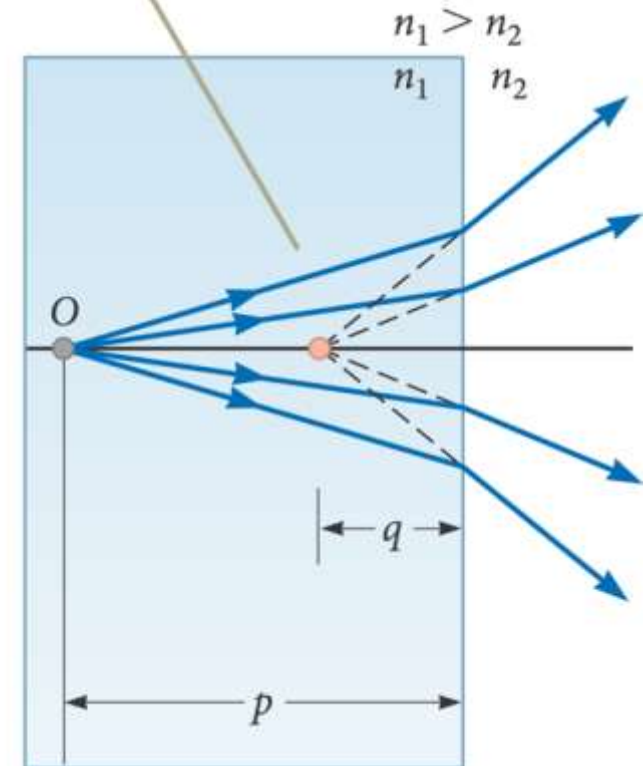
$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$



# Επίπεδες διαθλαστικές επιφάνειες

- Αν η διαθλαστική επιφάνεια είναι επίπεδη, τότε η ακτίνα καμπυλότητας  $R$  είναι άπειρη.
- Τότε,  $q = -(n_2 / n_1)p$ .
- Το είδωλο που σχηματίζεται από μια επίπεδη διαθλαστική επιφάνεια βρίσκεται στην ίδια πλευρά της επιφάνειας με το αντικείμενο.
- Το είδωλο που σχηματίζεται είναι φανταστικό.

Το είδωλο είναι φανταστικό και βρίσκεται στην ίδια πλευρά της επιφάνειας με το αντικείμενο.



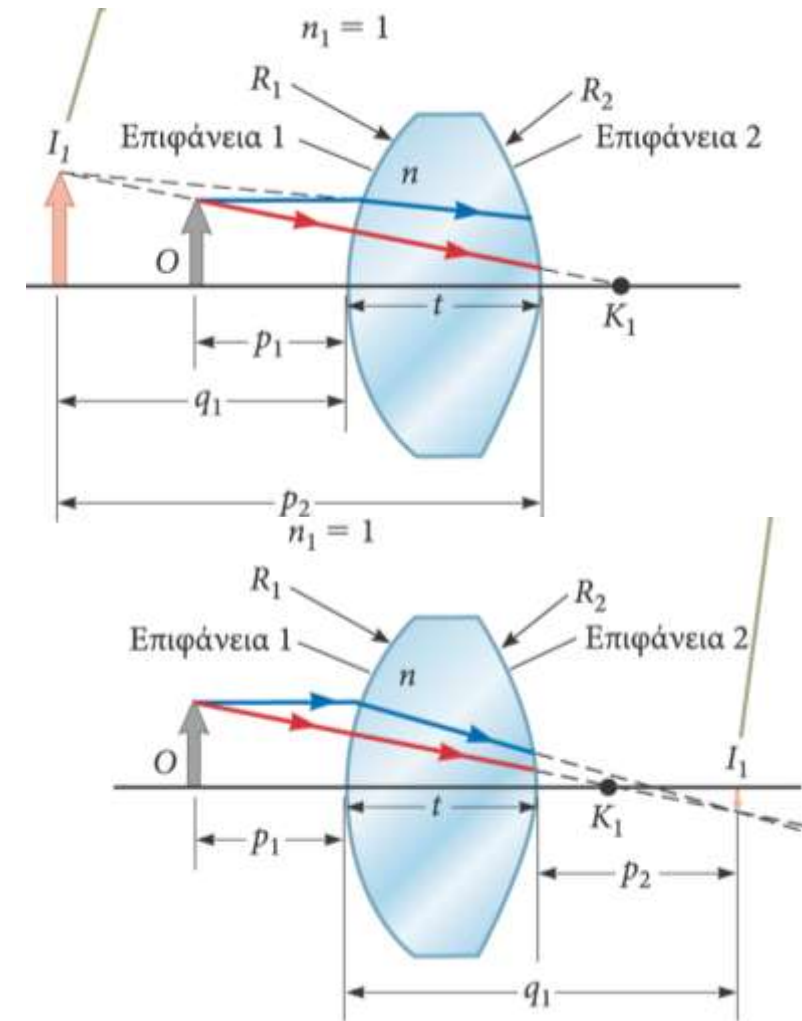
# Είδωλα που σχηματίζονται από φακούς

---

- Οι φακοί χρησιμοποιούνται για τον σχηματισμό ειδώλων λόγω διάθλασης.
- Οι φακοί χρησιμοποιούνται σε οπτικά όργανα όπως:
  - φωτογραφικές μηχανές,
  - τηλεσκόπια,
  - μικροσκόπια.
- Το φως που διέρχεται από έναν φακό υφίσταται διάθλαση σε δύο επιφάνειες.
- Το είδωλο που σχηματίζεται από τη μία διαθλαστική επιφάνεια αποτελεί το αντικείμενο για τη δεύτερη επιφάνεια.

# Εντοπισμός ειδώλου που σχηματίζεται από φακό

- Ο φακός έχει δείκτη διάθλασης  $n$  και δύο σφαιρικές επιφάνειες με ακτίνες  $R_1$  και  $R_2$ .
- Το αντικείμενο βρίσκεται στο σ.  $O$ , σε απόσταση  $p_1$  μπροστά από την πρώτη επιφάνεια.
- Η επιφάνεια 1 σχηματίζει ένα είδωλο.
- Επειδή ο φακός περιβάλλεται από αέρα,  $n_1 = 1$ :
$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R} \rightarrow \frac{1}{p_1} + \frac{n}{q_1} = \frac{n-1}{R_1}$$
- Αν το είδωλο από την επιφάνεια 1 είναι φανταστικό, τότε η απόσταση  $q_1$  είναι αρνητική. Αν είναι πραγματικό, τότε η  $q_1$  είναι θετική.



# Εντοπισμός ειδώλου που σχηματίζεται από φακό

---

- Για την επιφάνεια 2, έχουμε  $n_1 = n$  και  $n_2 = 1$ .
- Οι ακτίνες φωτός που πλησιάζουν στην επιφάνεια 2 βρίσκονται μέσα στον φακό και διαθλώνται στον αέρα.
- Θεωρούμε ότι  $p_2$  είναι η απόσταση του αντικειμένου για την επιφάνεια 2 και  $q_2$  είναι η απόσταση του ειδώλου.
- Το είδωλο που σχηματίζεται από την επιφάνεια 1 λειτουργεί ως αντικείμενο για την επιφάνεια 2.

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R} \rightarrow \frac{n}{p_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1 - n}{R_2}$$

# Εξίσωση των κατασκευαστών φακών

---

- Είτε το είδωλο που δημιουργείται από την επιφάνεια 1 είναι φανταστικό, είτε πραγματικό, ισχύει ότι  $p_2 = -q_1 + t$ , όπου  $t$  είναι το πάχος του φακού.
- Τότε θεωρώντας ότι το πάχος  $t$  είναι πολύ μικρό σε σχέση με την καμπυλότητα (λεπτός φακός,  $p_2 = -q_1$ ) και συνδυάζοντας τις σχέσεις για τις δύο επιφάνειες έχουμε την εξίσωση των κατασκευαστών φακών:

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_2} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f}$$

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των τιμών των  $R_1$  και  $R_2$  για έναν δεδομένο δείκτη διάθλασης και τη ζητούμενη εστιακή απόσταση  $f$ .

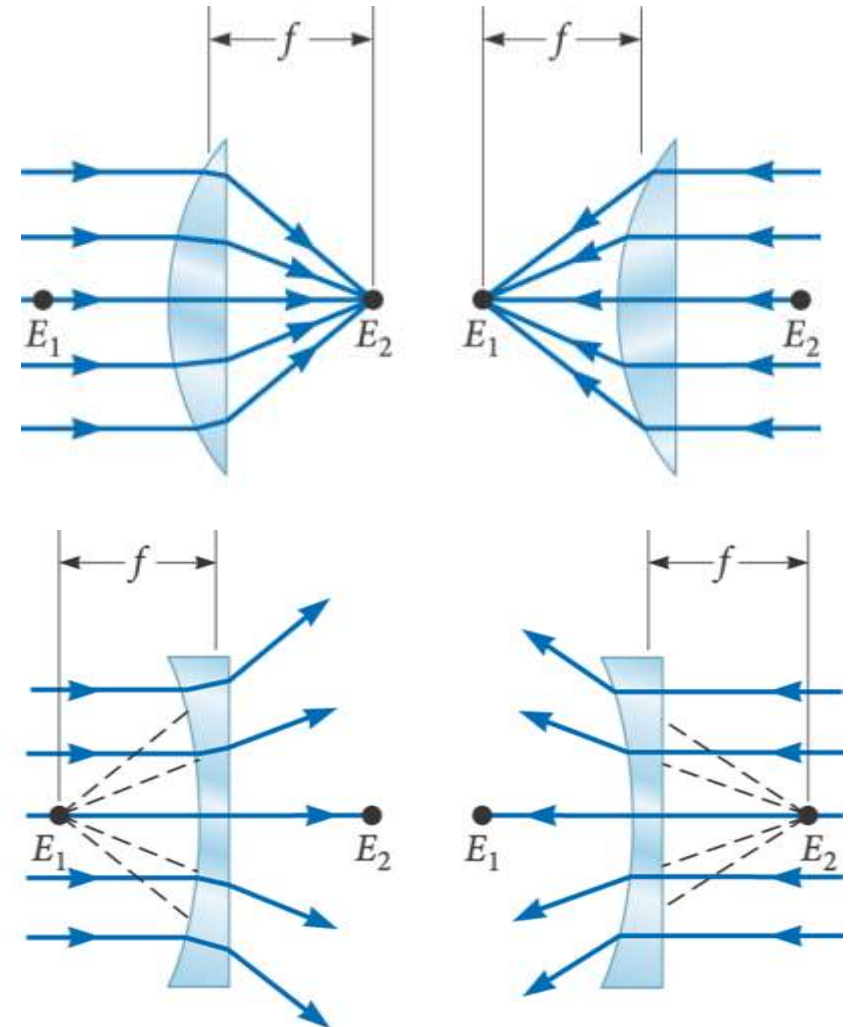
# Σημειώσεις για την εστιακή απόσταση και την εστία ενός λεπτού φακού

---

- Η εστιακή απόσταση ενός λεπτού φακού είναι η απόσταση του ειδώλου που αντιστοιχεί σε άπειρη απόσταση του αντικειμένου όπως και στα κάτοπτρα ( $p \rightarrow \infty, q \rightarrow f$ ).
- Επειδή το φως μπορεί να διαδοθεί σε έναν φακό προς οποιαδήποτε από τις δύο πιθανές κατευθύνσεις, κάθε φακός έχει δύο εστίες. Μία για κάθε κατεύθυνση από την οποία μπορεί να περάσουν οι ακτίνες φωτός μέσα από αυτόν.
- Ωστόσο, η εστιακή απόσταση είναι μόνο μία.
- Καθεμιά από τις δύο εστίες βρίσκεται στην ίδια απόσταση από τον φακό.

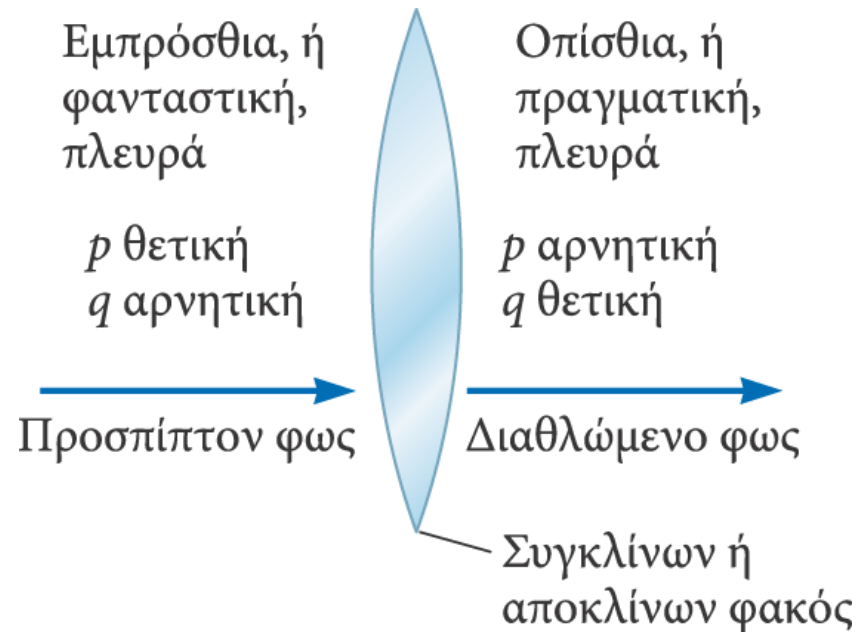
# Εστιακή απόσταση συγκλίνοντος και αποκλίνοντος φακού

- Συγκλίνων φακός:
  - Οι παράλληλες ακτίνες διέρχονται μέσα από τον φακό και συγκλίνουν στην εστία.
  - Οι παράλληλες ακτίνες μπορούν να ξεκινούν είτε αριστερά είτε δεξιά του φακού.
- Αποκλίνων φακός:
  - Οι παράλληλες ακτίνες αποκλίνουν μόλις περάσουν μέσα από τον φακό.
  - Η εστία είναι το σημείο απ' όπου φαίνεται να έχουν ξεκινήσει οι ακτίνες.



# Συμβάσεις προσήμων για λεπτούς φακούς

- Η εμπρόσθια πλευρά του λεπτού φακού είναι η πλευρά όπου προσπίπτει το φως.
- Το φως διαθλάται στην οπίσθια πλευρά του φακού.



**ΠΙΝΑΚΑΣ Ο2.3**

Συμβάσεις προσήμων για λεπτούς φακούς

Μέγεθος	Θετικό όταν ...	Αρνητικό όταν ...
Θέση του αντικειμένου ( $p$ )	το αντικείμενο είναι μπροστά από τον φακό (πραγματικό αντικείμενο)	το αντικείμενο είναι πίσω από τον φακό (φανταστικό αντικείμενο)
Θέση του ειδώλου ( $q$ )	το είδωλο είναι πίσω από τον φακό (πραγματικό είδωλο)	το είδωλο είναι μπροστά από τον φακό (φανταστικό είδωλο)
Ύψος του ειδώλου ( $h'$ )	το είδωλο είναι όρθιο	το είδωλο είναι ανεστραμμένο
$R_1$ και $R_2$	το κέντρο καμπυλότητας είναι πίσω από τον φακό	το κέντρο καμπυλότητας είναι μπροστά από τον φακό
Εστιακή απόσταση ( $f$ )	ο φακός είναι συγκλίνων	ο φακός είναι αποκλίνων

# Σχήματα λεπτών φακών

Συγκλίνοντες

Αμφίκυρτος



Κυρτός-  
κοίλος



Επιπεδό-  
κυρτος



Αποκλίνοντες

Αμφίκοιλος



Κυρτός-  
κοίλος



Επιπεδό-  
κοίλος



# Διαγράμματα ακτινών

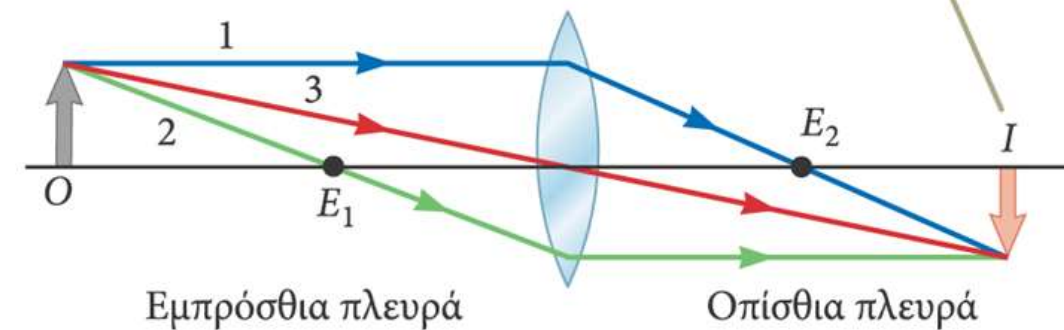
---

- Τα διαγράμματα ακτίνων μάς επιτρέπουν να βρίσκουμε τη θέση των ειδώλων που σχηματίζουν οι λεπτοί φακοί ή τα συστήματα φακών.
- Για έναν συγκλίνοντα φακό, σχεδιάζουμε τις τρεις παρακάτω ακτίνες:
  - Η ακτίνα 1 είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα. Αφού διαθλαστεί στον φακό, διέρχεται από την εστία που βρίσκεται στην οπίσθια πλευρά του φακού.
  - Η ακτίνα 2 διέρχεται από την εστία που βρίσκεται στην εμπρόσθια πλευρά του φακού (ή, αν  $p < f$ , φαίνεται να ξεκινά από την εστία) και εξέρχεται από τον φακό παράλληλα προς τον κύριο άξονα.
  - Η ακτίνα 3 διέρχεται από το κέντρο του φακού και συνεχίζει να διαδίδεται ευθύγραμμα.

# Διάγραμμα ακτινών συγκλίνοντος φακού

- 1<sup>η</sup> περίπτωση: Το αντικείμενο βρίσκεται έξω από την εστία ( $p > f$ )

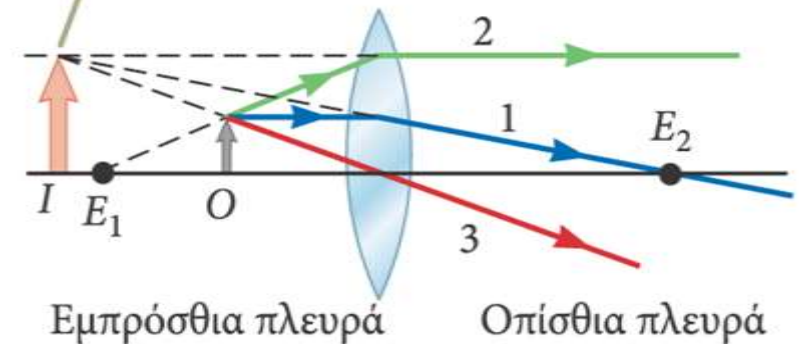
- Το είδωλο είναι πραγματικό.
- Το είδωλο είναι ανεστραμμένο.
- Το είδωλο σχηματίζεται πίσω από τον φακό.



# Διάγραμμα ακτινών συγκλίνοντος φακού

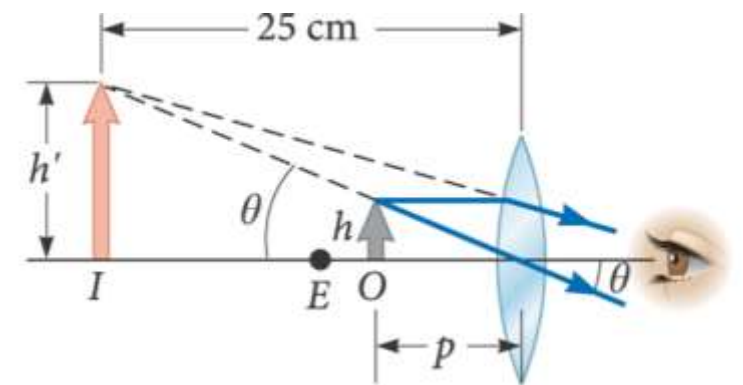
- 2<sup>η</sup> περίπτωση: Το αντικείμενο βρίσκεται ανάμεσα στην εστία και τον συγκλίνοντα φακό ( $p < f$ ).
  - Το είδωλο είναι φανταστικό.
  - Το είδωλο είναι όρθιο.
  - Το είδωλο είναι μεγαλύτερο από το αντικείμενο.
  - Το είδωλο σχηματίζεται μπροστά από τον φακό.

Όταν το αντικείμενο βρίσκεται ανάμεσα στην εστία και σε έναν συγκλίνοντα φακό, το είδωλο είναι φανταστικό, όρθιο, μεγαλύτερο από το αντικείμενο, και σχηματίζεται μπροστά από τον φακό.



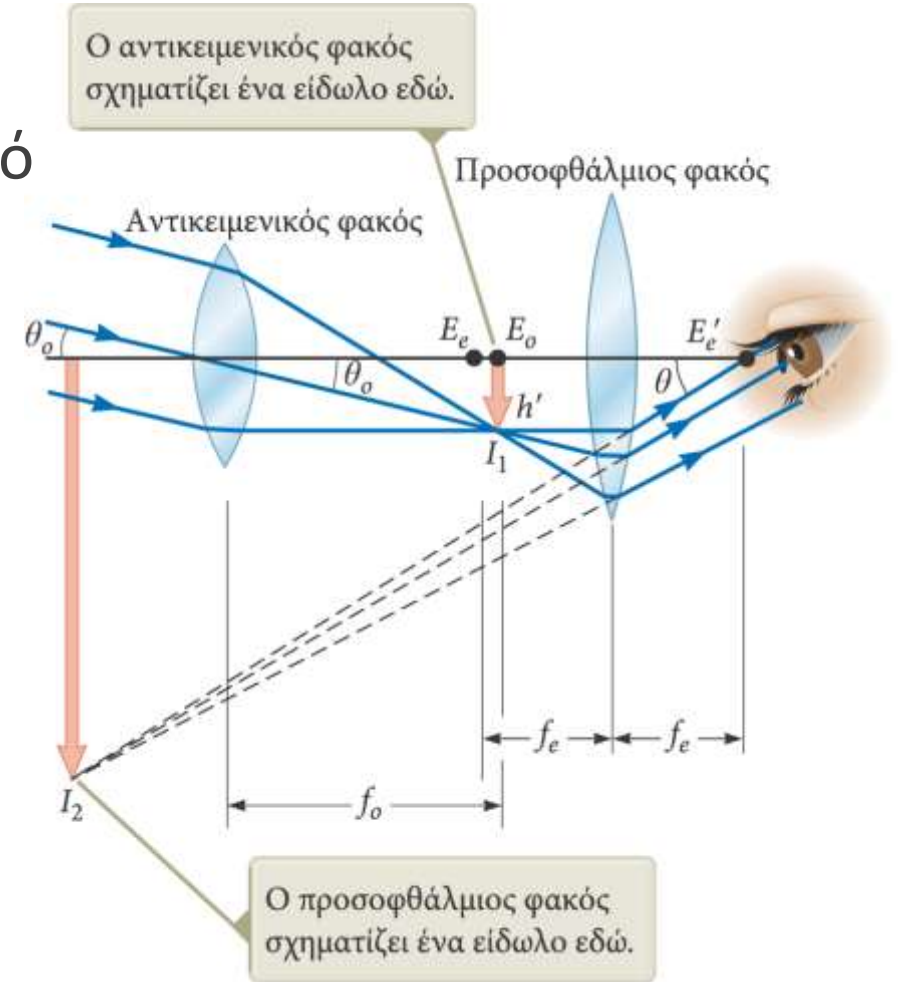
# Ο μεγεθυντικός φακός

- Όταν ένα αντικείμενο βρίσκεται στο εγγύτατο σημείο του ματιού (25 cm περίπου), η γωνία υπό την οποία το βλέπουμε είναι μέγιστη.
- Όταν το αντικείμενο βρίσκεται κοντά στην εστία ενός συγκλίνοντος φακού, ο φακός σχηματίζει ένα φανταστικό, όρθιο, και μεγεθυμένο είδωλο.
- Γωνιακή μεγέθυνση:  $m \equiv \frac{\theta}{\theta_0} = \frac{\text{γωνία με φακό}}{\text{γωνία χωρίς φακό}}$
- Η γωνιακή μεγέθυνση είναι μέγιστη όταν το είδωλο που σχηματίζει ο φακός βρίσκεται στο εγγύτατο σημείο του ματιού ( $q = -25 \text{ cm}$ )
- Υπολογίζεται από την εξίσωση:  $m_{\text{max}} = 1 + \frac{25 \text{ cm}}{f}$



# Διαθλαστικό τηλεσκόπιο

- Η διάταξη των δύο φακών είναι τέτοια ώστε ο αντικειμενικός φακός να σχηματίζει ένα πραγματικό ανεστραμμένο είδωλο του μακρινού αντικειμένου.
- Το είδωλο σχηματίζεται στην εστία του προσοφθάλμιου φακού.
- Η απόσταση  $p$  είναι ουσιαστικά ίση με το άπειρο.
- Οι δύο φακοί έχουν απόσταση  $f_o + f_e$ , η οποία αντιστοιχεί στο μήκος του οπτικού σωλήνα.
- Ο προσοφθάλμιος φακός σχηματίζει ένα μεγεθυμένο, ανεστραμμένο είδωλο του πρώτου ειδώλου.



# Διαθλαστικό τηλεσκόπιο

- Μειονεκτήματα διαθλαστικού τηλεσκοπίου:
  - Πρέπει να έχει μεγάλη διάμετρο για τη μελέτη μακρινών αντικειμένων.
  - Η κατασκευή μεγάλων φακών είναι δύσκολη και κοστίζει.
  - Οι μεγάλοι φακοί κάμπτονται υπό την επίδραση του ίδιου τους του βάρους, κάτι που προκαλεί εκτροπές.



# Ανακλαστικό (ή Νευτώνειο) τηλεσκόπιο

- Οι επερχόμενες ακτίνες φωτός ανακλώνται στο κάτοπτρο και συγκλίνουν προς το σημείο  $A$ .
- Κανονικά, το είδωλο θα σχηματιζόταν στο σημείο, αλλά ένα μικρό, επίπεδο κάτοπτρο  $M$  ανακλά το φως προς μια οπή στα πλάγια του σωλήνα και το μεταφέρει στον προσοφθάλμιο.
- Αυτό συμβαίνει πριν σχηματιστεί το είδωλο στο σημείο  $A$ .
- Το κάτοπτρο φέρει άκαμπτα στηρίγματα, τα οποία εξαλείφουν το πρόβλημα της κάμψης.

