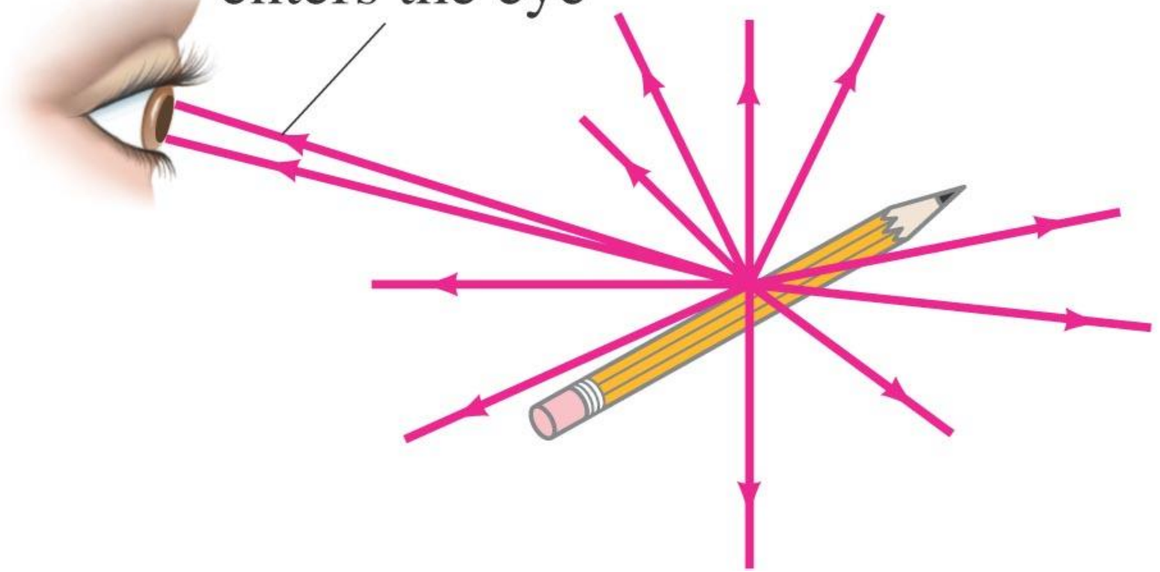
Κεφάλαιο 32
Φως: Ανάκλαση και Διάθλαση

Περιεχόμενα Κεφαλαίου 32

- Γεωμετρική θεώρηση του Φωτός
- Ανάκλαση
- Δημιουργία ειδώλου από κάτοπτρα.
- Δείκτης Διάθλασης
- Νόμος του Snell
- Ορατό Φάσμα και Διασπορά
- Εσωτερική ανάκλαση
- Οπτικές ίνες
- Διάθλαση σε σφαιρικές επιφάνειες

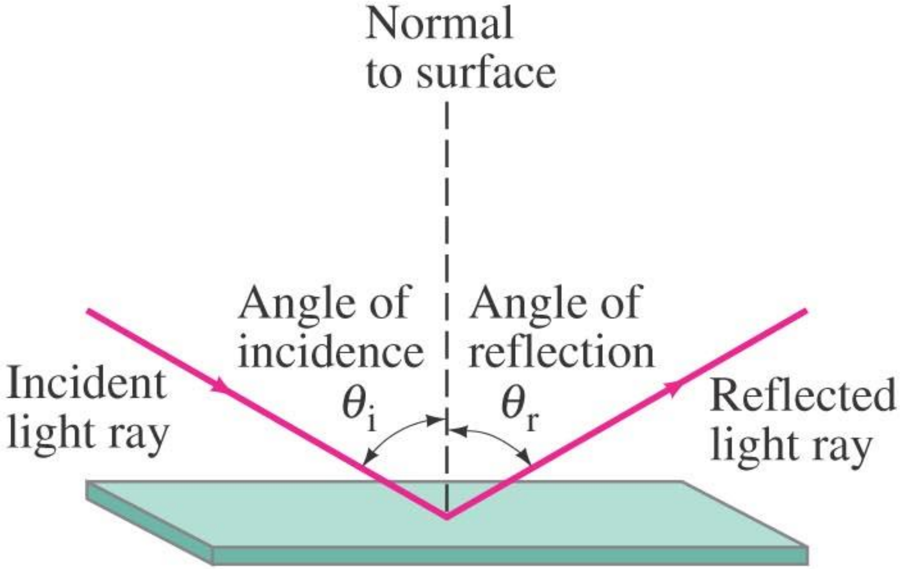
32-1 Γεωμετρική Οπτική

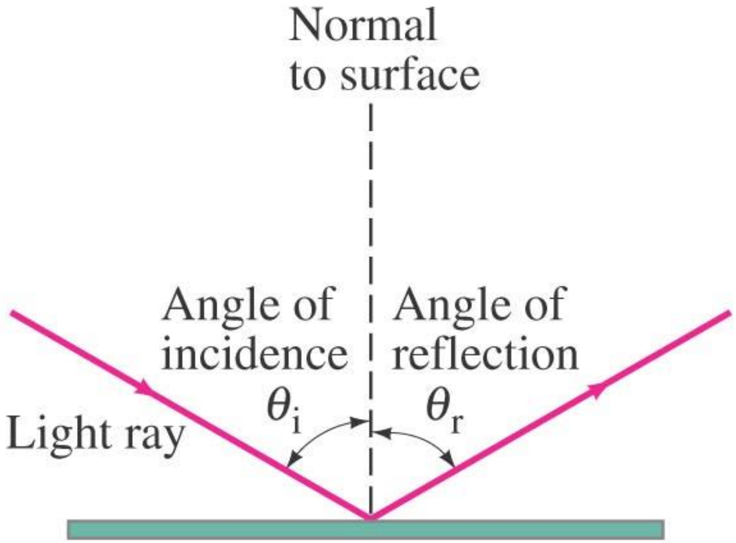
Το φως κινείτε ευθύγραμμα (συνήθως). Αναπαριστούμε το φως με ευθείες γραμμές που πηγάζουν από κάποια πηγή.



32-2 Ανάκλαση από Επίπεδη Επιφάνεια

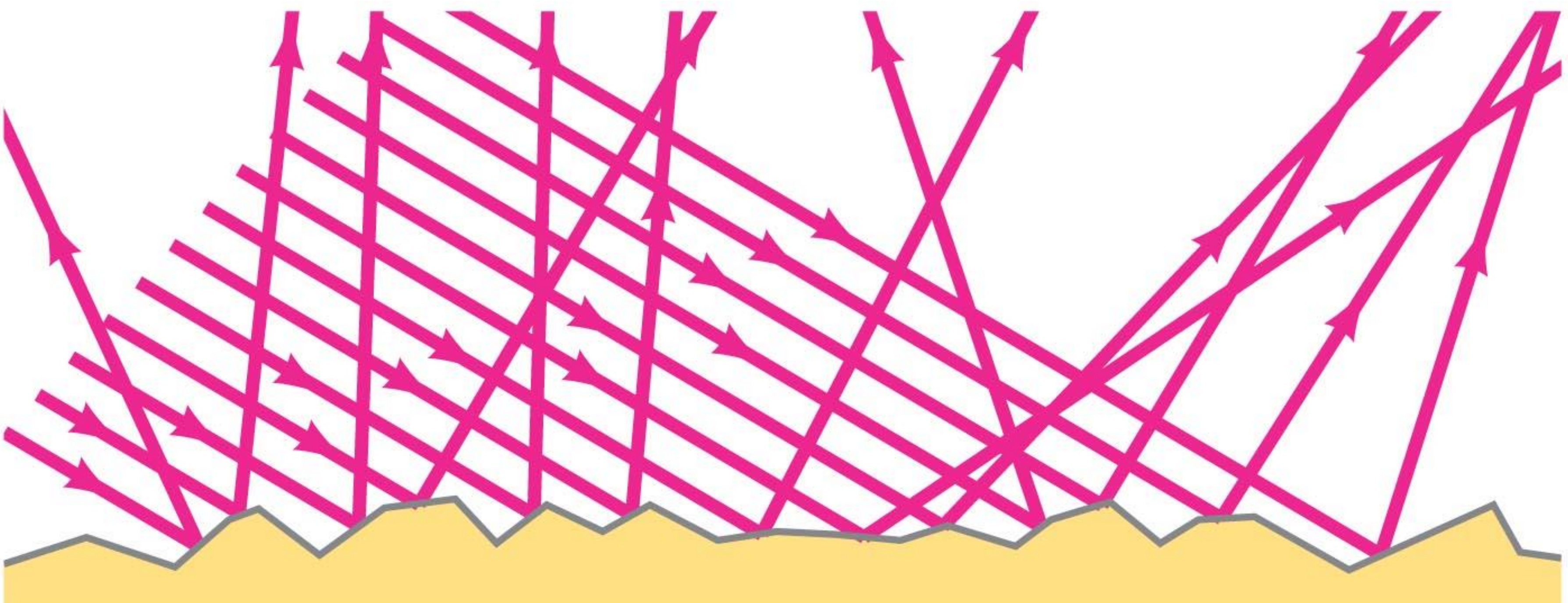
Νόμος της ανάκλασης: η γωνία προσπτώσεως είναι ίση με την γωνία ανακλάσεως.





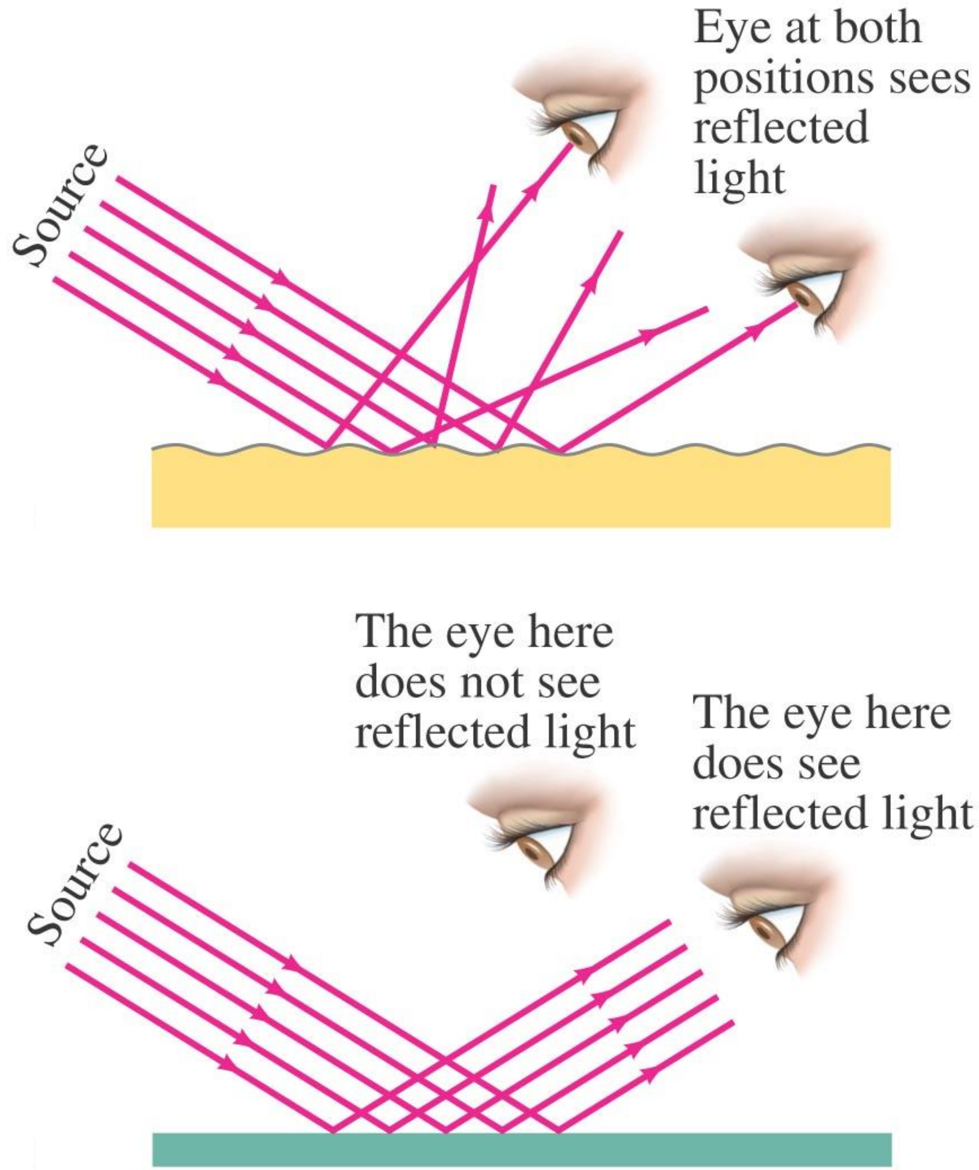
32-2 Ανάκλαση από Επίπεδη Επιφάνεια

Όταν η επιφάνεια ανάκλασης είναι αδρή, τότε ο νόμος ανάκλασης συνεχίζει να ισχύει αλλά έχουμε μια «κατανομή» γωνιών προσπτώσεων. Μιλούμε για διάχυτη ανάκλαση.



32-2 Ανάκλαση από Επίπεδη Επιφάνεια

Με την διάχυτη ανάκλαση «βλέπουμε» το ανακλώμενο φως σχεδόν σε όλες τις γωνίες. Για «κανονική» ανάκλαση, το μάτι μας πρέπει να βρίσκεται στην «σωστή» για να δει φως.



32-2 Ανάκλαση από Επίπεδη Επιφάνεια

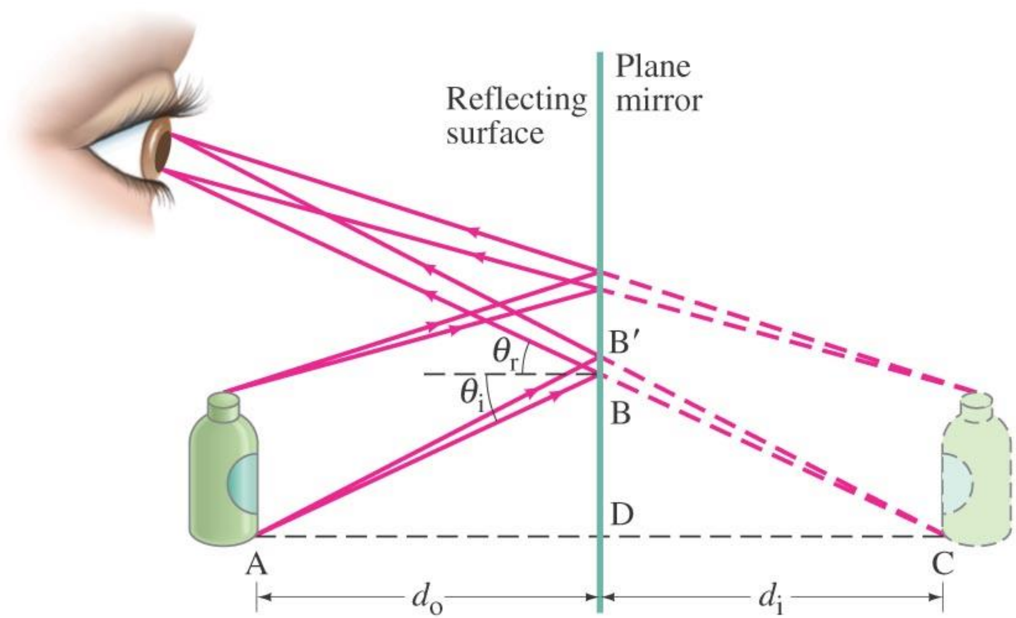
Δύο επίπεδα κάτοπτρα είναι κάθετα μεταξύ τους. Μια εισερχόμενη ακτίνα φωτός προσκρούει στο πρώτο κάτοπτρο με γωνία 15°. Βρείτε τη γωνία ανάκλασης του δεύτερου κατόπτρου.

SOLUTION In Fig. 32–5b, $\theta_1 + 15° = 90°$, so $\theta_1 = 75°$; by the law of reflection $\theta_2 = \theta_1 = 75°$ too. The two normals to the two mirrors are perpendicular to each other, so $\theta_2 + \theta_3 + 90° = 180°$ as for any triangle. Thus $\theta_3 = 180° - 90° - 75° = 15°$. By the law of reflection, $\theta_4 = \theta_3 = 15°$, so $\theta_5 = 75°$ is the angle the reflected ray makes with the second mirror surface.

NOTE The outgoing ray is parallel to the incoming ray. Red reflectors on bicycles and cars use this principle.

32-2 Ανάκλαση από Επίπεδη Επιφάνεια

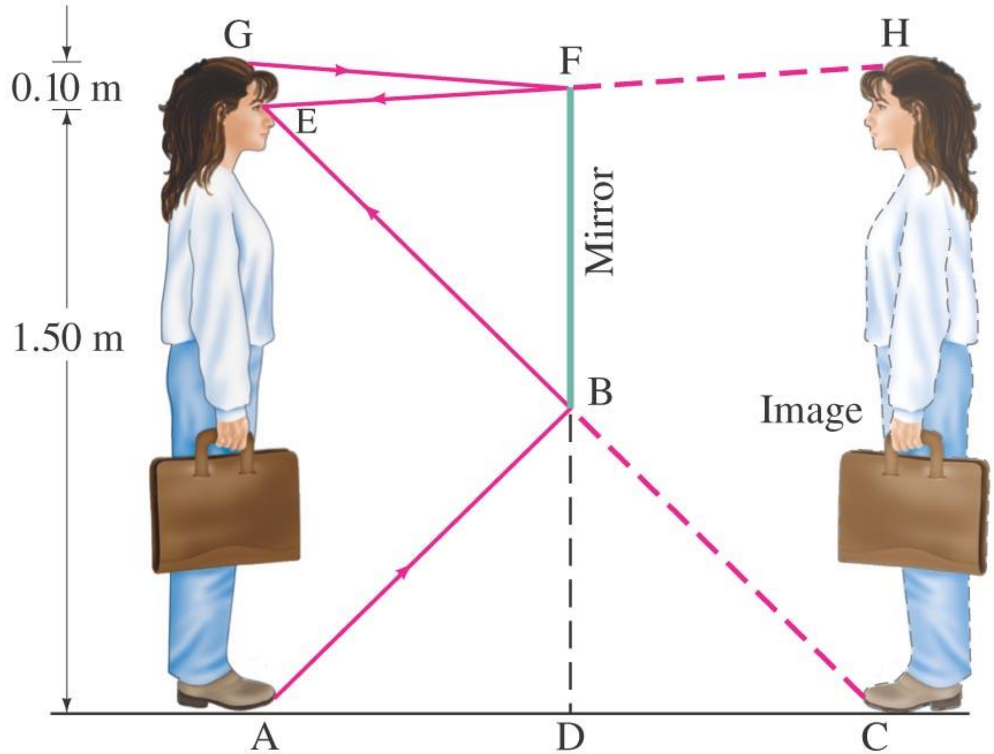
Το είδωλο ενός αντικειμένου σε ένα επίπεδο καθρέπτη (κάτοπτρο) μοιάζει σαν να βρίσκεται πίσω από τον καθρέπτη.



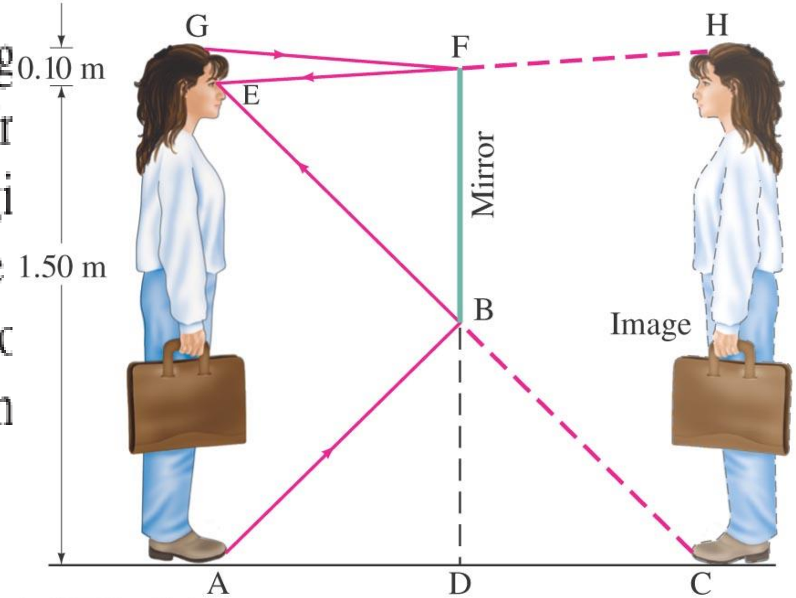
Το είδωλο ονομάζεται «εικονικό αντικείμενο» και βρίσκεται σε απόσταση ίση με την απόσταση του πραγματικού αντικειμένου από τον καθρέπτη.

32-2 Ανάκλαση από Επίπεδη Επιφάνεια

Μια φοιτήτρια ύψους 1.60 m καθρεπτίζεται. Ποιο το ελάχιστο ύψος του καθρέπτη και πόσο ψηλά πρέπει να βρίσκεται από το δάπεδο ώστε να μπορεί να «βλέπει» όλο της το σώμα; Υποθέστε ότι τα μάτια της βρίσκονται 10 cm κάτω από το πάνω μέρος του κεφαλιού της.



APPROACH For her to see her whole body, lig
and from the bottom of her foot must reflect fr
see Fig. 32–8. We don't show two rays divergi
Fig. 32–7, where we wanted to find where the
image is the same distance behind a plane mirro
need to show one ray leaving point G (top of h
(her toe), and then use simple geometry.

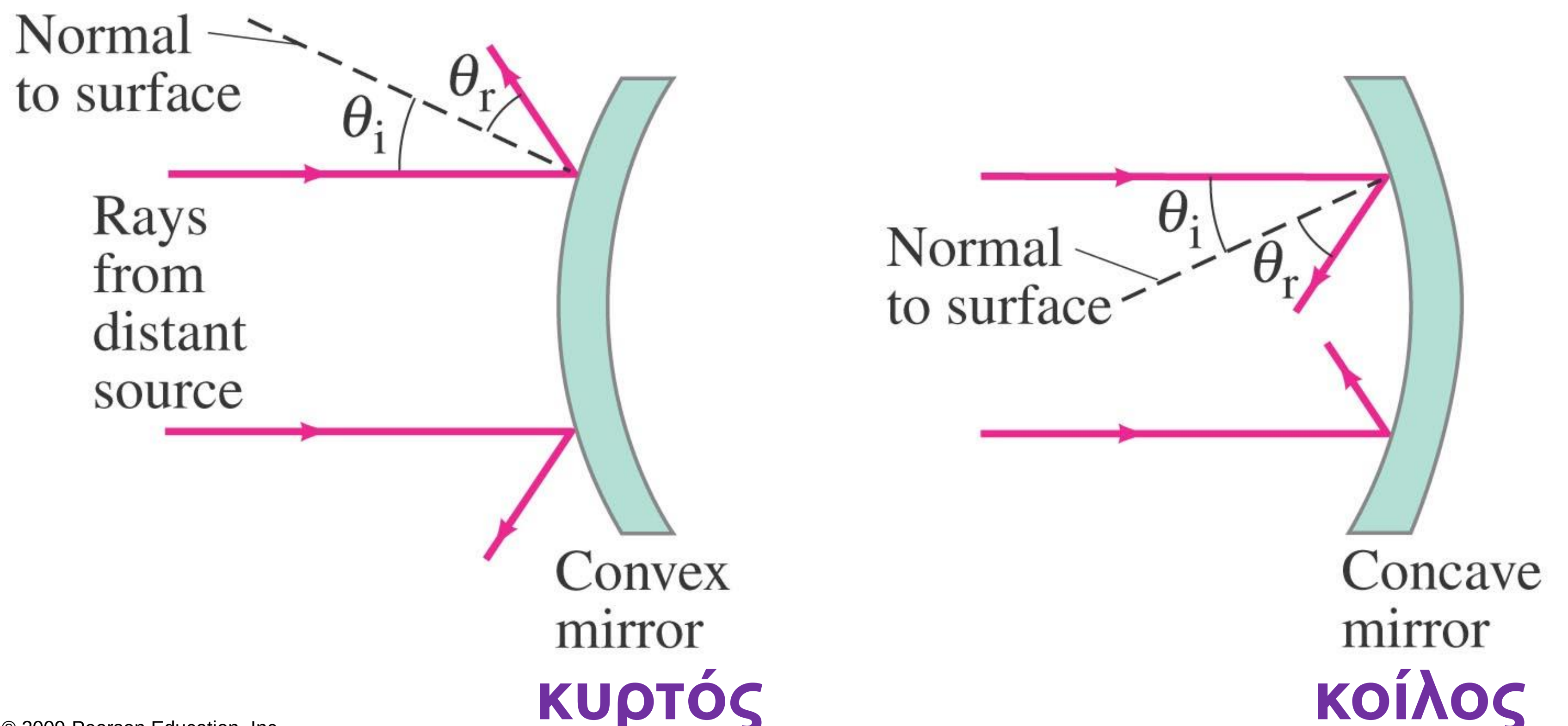


SOLUTION First consider the ray that leaves her foot at A, reflects at B, and enters the eye at E. The mirror needs to extend no lower than B. The angle of reflection equals the angle of incidence, so the height BD is half of the height AE. Because $AE = 1.60\,\text{m} - 0.10\,\text{m} = 1.50\,\text{m}$, then $BD = 0.75\,\text{m}$. Similarly, if the woman is to see the top of her head, the top edge of the mirror only needs to reach point F, which is 5 cm below the top of her head (half of $GE = 10\,\text{cm}$). Thus, $DF = 1.55\,\text{m}$, and the mirror needs to have a vertical height of only $(1.55\,\text{m} - 0.75\,\text{m}) = 0.80\,\text{m}$. The mirror's bottom edge must be 0.75 m above the floor.

NOTE We see that a mirror, if positioned well, need be only half as tall as a person for that person to see all of himself or herself.

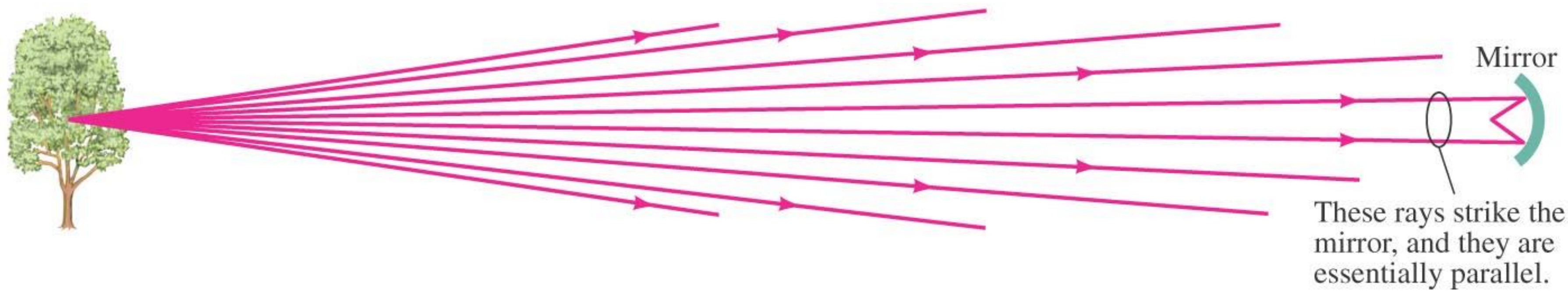
32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Οι σφαιρικοί καθρέπτες μπορούν να ανακλούν είτε από την εσωτερική τους επιφάνεια (κοίλη-concave) είτε από την εξωτερική (κυρτή-convex).



32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

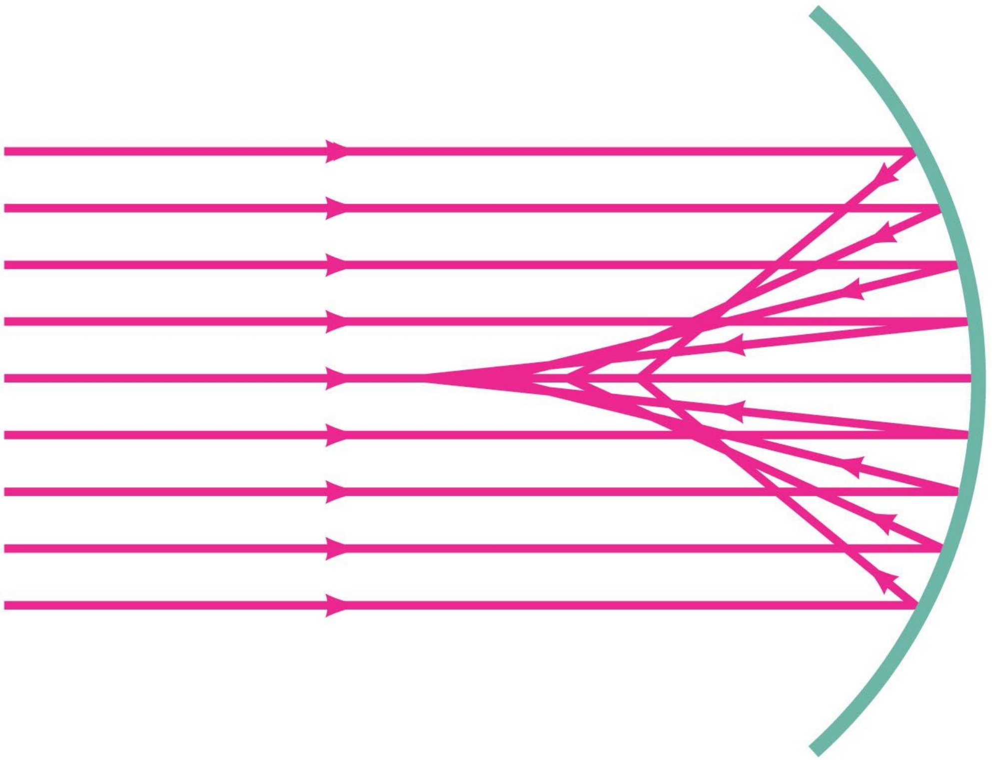
Δέσμες (ακτίνες) που πηγάζουν από μεγάλη απόσταση είναι στην ουσία παράλληλες.



32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

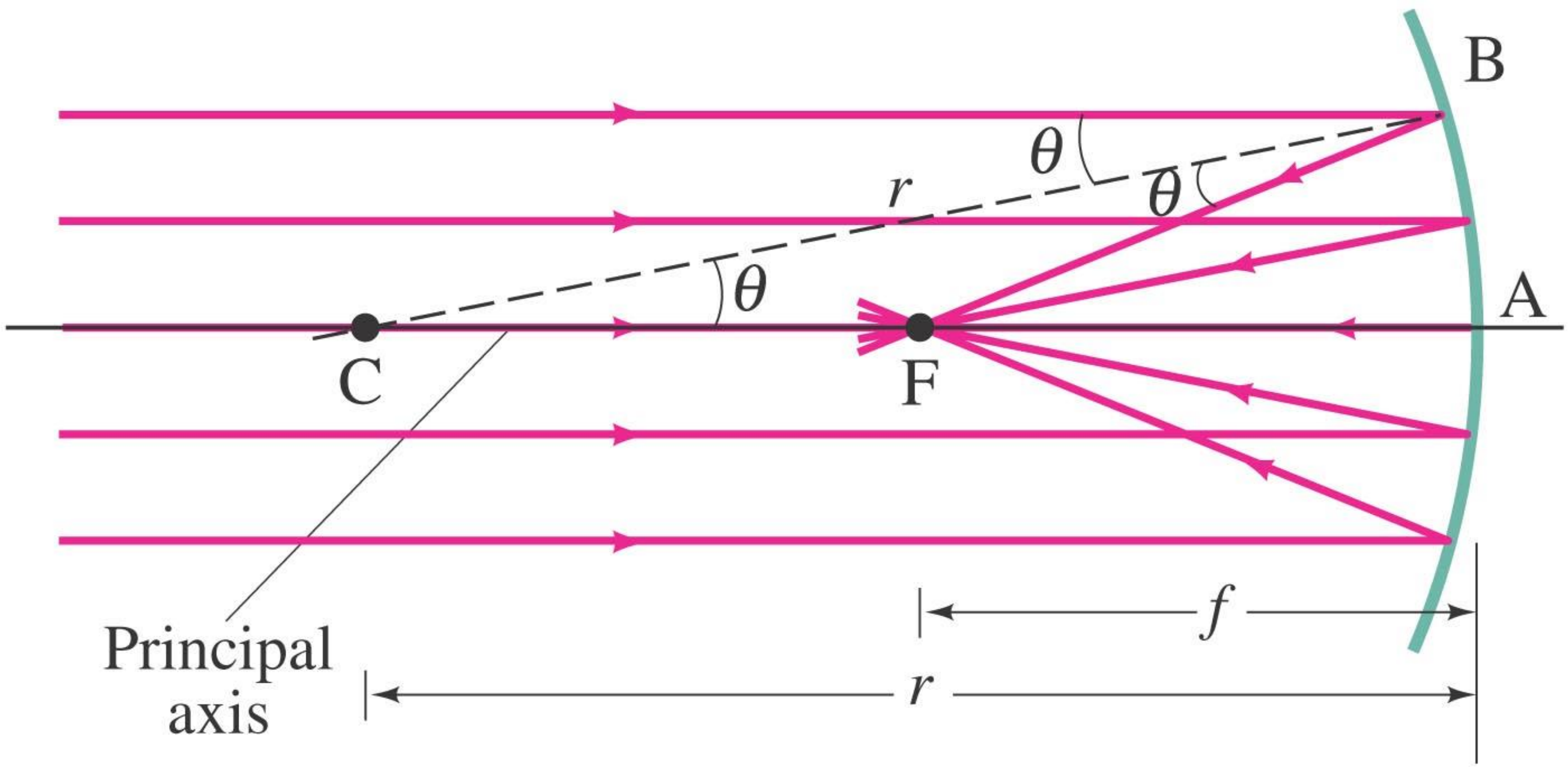
Σφαιρικό Σφάλμα:

οι ανακλάσεις παράλληλων ακτίνων φωτός από κοίλο κάτοπτρο, ΔΕΝ διέρχονται από το ίδιο σημείο.



32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Για κάτοπτρα με μικρή καμπυλότητα το «σφάλμα» (εκτροπή) είναι μικρό και το σημείο τομείς των ανακλάσεων **ονομάζεται εστία**.



32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Από την γεωμετρία του συστήματος βρίσκουμε ότι, η εστιακή απόσταση είναι το ήμισυ της ακτίνας καμπυλότητας:

$$f = \frac{r}{2}. \qquad \text{[spherical mirror]}$$

Τα σφαιρικά σφάλματα μπορεί να βελτιωθούν με την χρήση παραβολικών κατόπτρων. Το κόστος κατασκευής είναι όμως πολύ μεγαλύτερο και επομένως μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται (π.χ. σε τηλεσκόπια)

32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Για τον σχηματισμό του ειδώλου χρησιμοποιούμε τρεις ακτίνες φωτός που πηγάζουν από το αντικείμενο.

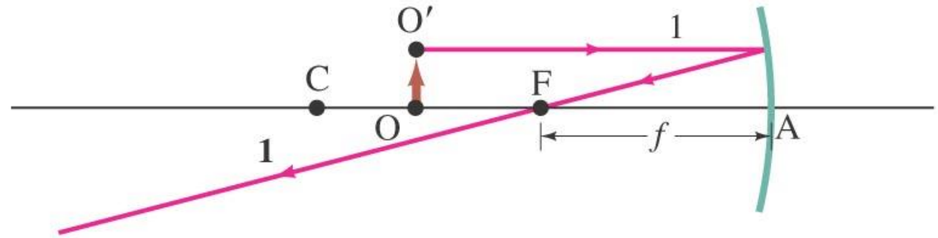
1. Μια παράλληλη δέσμη μετά την ανάκλαση διέρχεται από την εστία.

2. Μια ακτίνα που διέρχεται από την εστία ανακλάται παράλληλα στον άξονα του κατόπτρου.

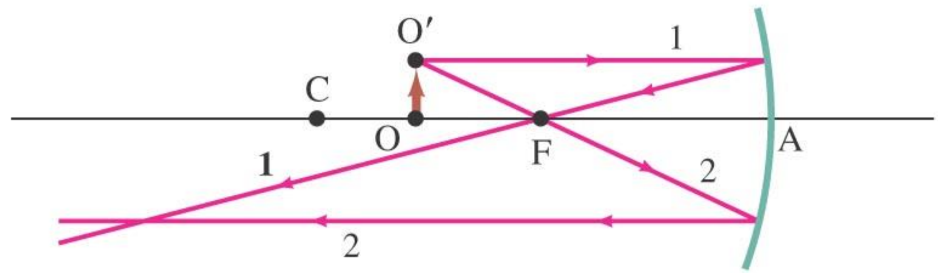
3. Δέσμη κάθετη στο κάτοπτρο επιστρέφει στο εαυτό της.

32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

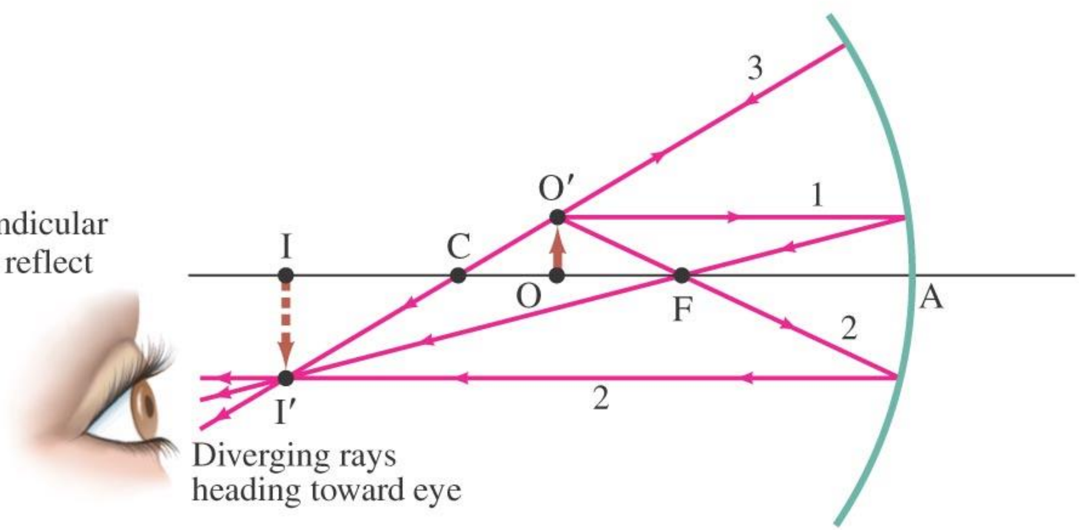
Ray 1 goes out from O′ parallel to the axis and reflects through F.



Ray 2 goes through F and then reflects back parallel to the axis.



Ray 3 is chosen perpendicular to mirror, and so must reflect back on itself and go through C (center of curvature).



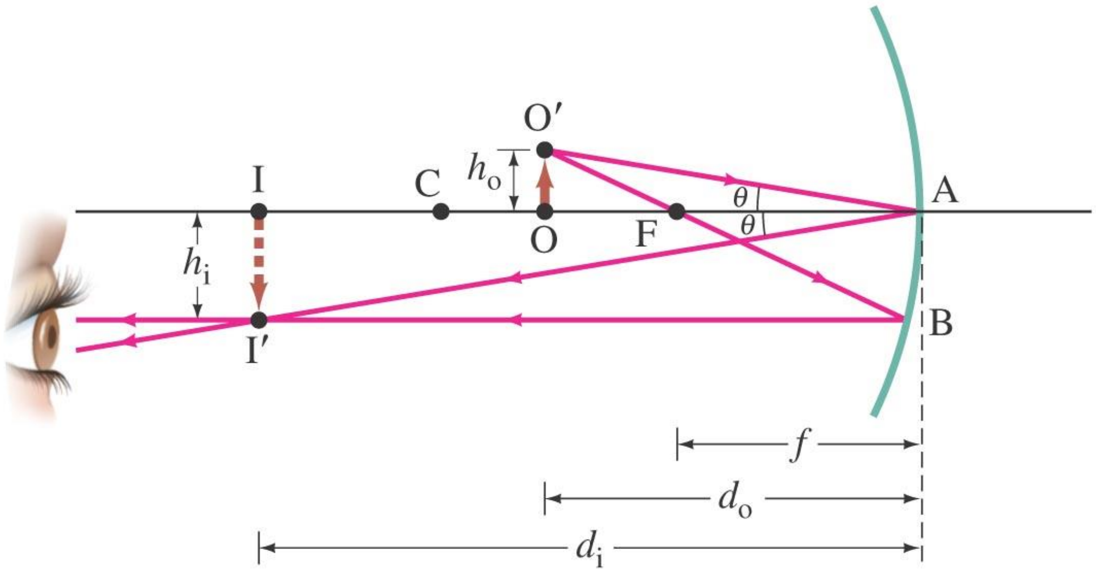
32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Η τομή των τριών ακτίνων προσδιορίζει την θέση του ειδώλου του συγκεκριμένου σημείου του αντικειμένου. Για το σχηματισμό του πλήρους ειδώλου του αντικειμένου επαναλαμβάνουμε για όλα τα σημεία.

32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Γεωμετρικά μπορούμε να προσδιορίσουμε την σχέση αντικειμένου ειδώλου και εστιακής απόστασης ενός κατόπτρου:

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}.$$



32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

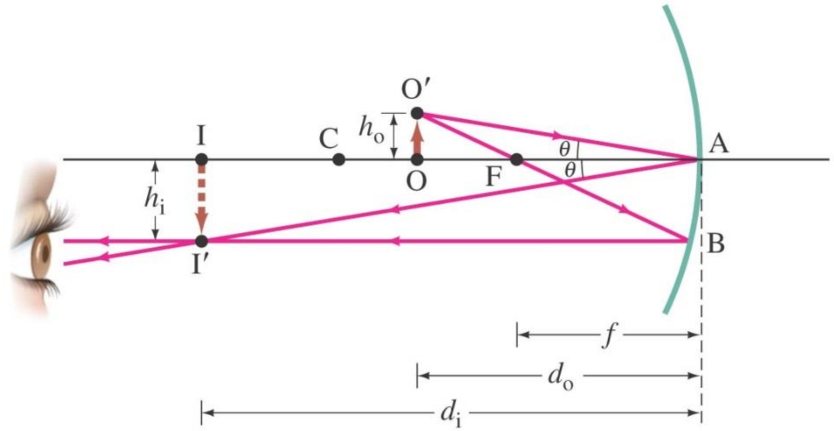
Η μεγέθυνση (λόγος διαστάσεων ειδώλου και αντικειμένου) δίδεται από την σχέση:

$$m = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o}.$$

Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι το είδωλο είναι ανεστραμμένο.

32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Ένα διαμαντένιο δακτυλίδι ύψους 1.5 cm τοποθετείται 20.0 cm από ένα κοίλο κάτοπτρο με ακτίνα 30.0 cm. Βρείτε (a) την θέση του ειδώλου και (b) το μέγεθος.



APPROACH We determine the focal length from the radius of curvature (Eq. 32–1), $f = r/2 = 15.0\text{ cm}$. The ray diagram is basically like that shown in Fig. 32–16 (repeated here on this page), since the object is between F and C. The position and size of the image are found from Eqs. 32–2 and 32–3.

SOLUTION Referring to Fig. 32–16, we have $\text{CA} = r = 30.0\text{ cm}$, $\text{FA} = f = 15.0\text{ cm}$, and $\text{OA} = d_o = 20.0\text{ cm}$.

(*a*) From Eq. 32–2,

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

$$= \frac{1}{15.0\text{ cm}} - \frac{1}{20.0\text{ cm}} = 0.0167\text{ cm}^{-1}.$$

So $d_i = 1/(0.0167\text{ cm}^{-1}) = 60.0\text{ cm}$. Because d_i is positive, the image is 60.0 cm in front of the mirror, on the same side as the object.

(b) From Eq. 32–3, the magnification is

$$m = -\frac{d_\mathrm{i}}{d_\mathrm{o}}$$

$$= -\frac{60.0\ \mathrm{cm}}{20.0\ \mathrm{cm}} = -3.00.$$

The image is 3.0 times larger than the object, and its height is

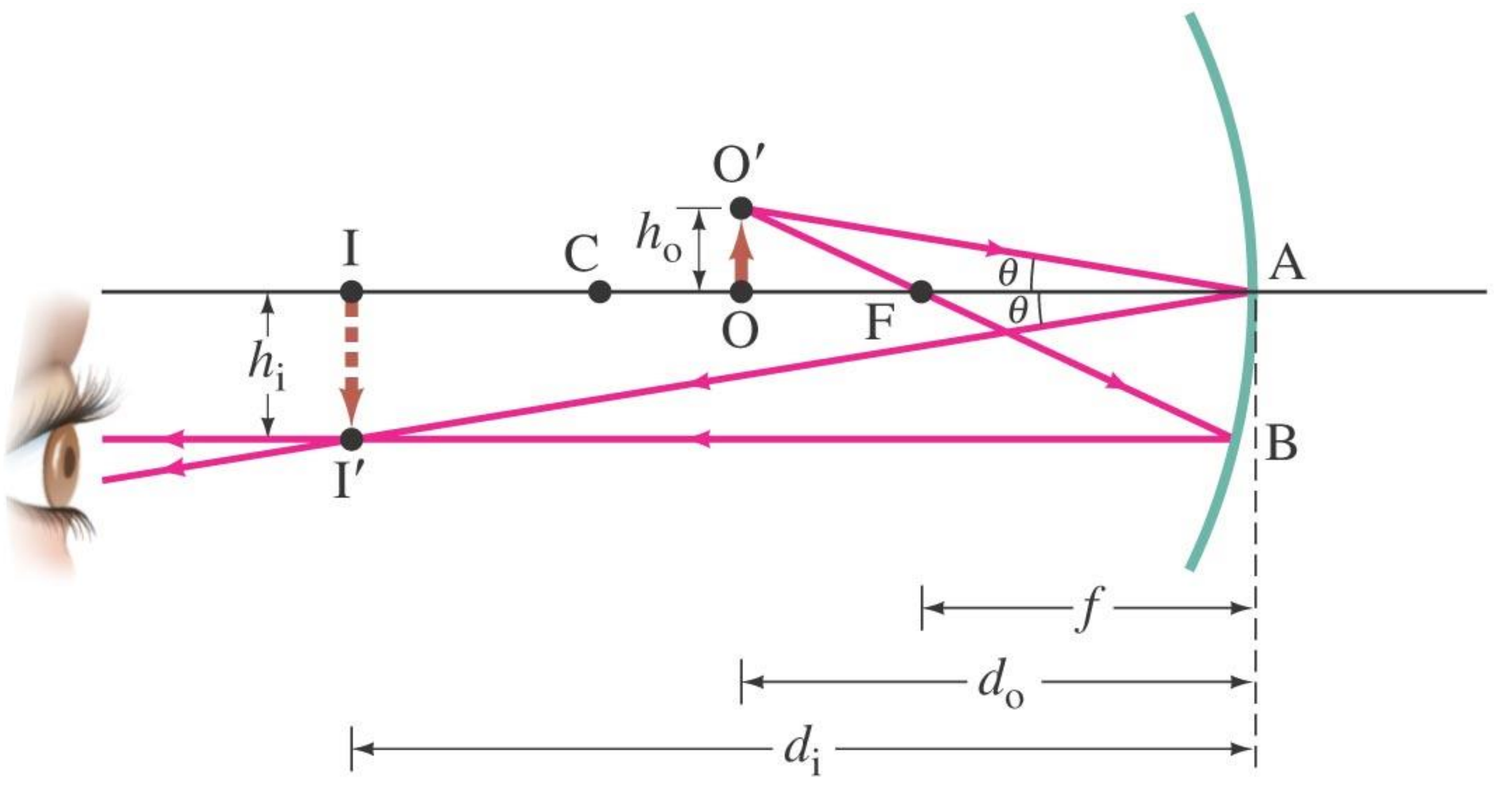
$$h_\mathrm{i} = mh_\mathrm{o} = (-3.00)(1.5\ \mathrm{cm}) = -4.5\ \mathrm{cm}.$$

The minus sign reminds us that the image is inverted, as in Fig. 32–16.

NOTE When an object is further from a concave mirror than the focal point, we can see from Fig. 32–15 or 32–16 that the image is always inverted and real.

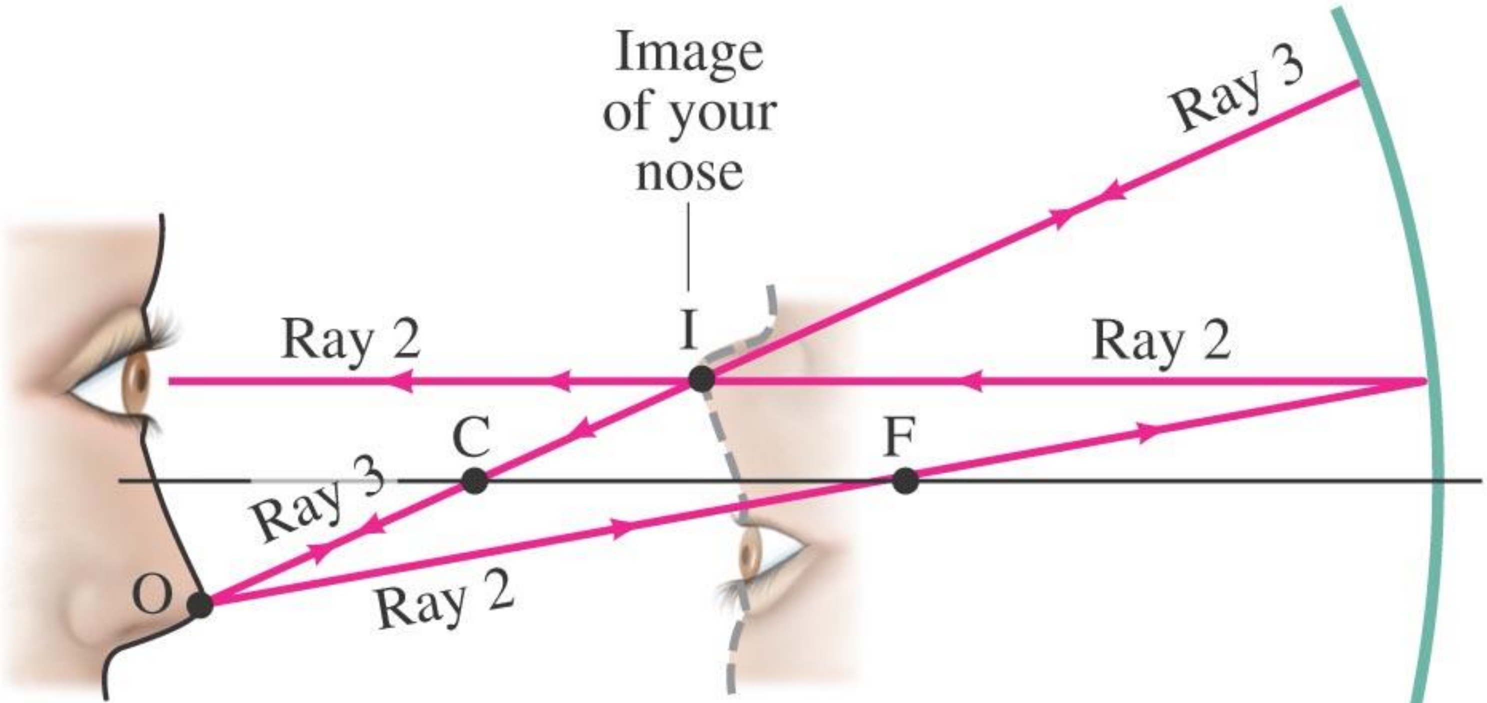
32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Εάν το αντικείμενο τοποθετηθεί στην θέση του ειδώλου, το νέο είδωλο σε ποια θέση θα σχηματιστεί;



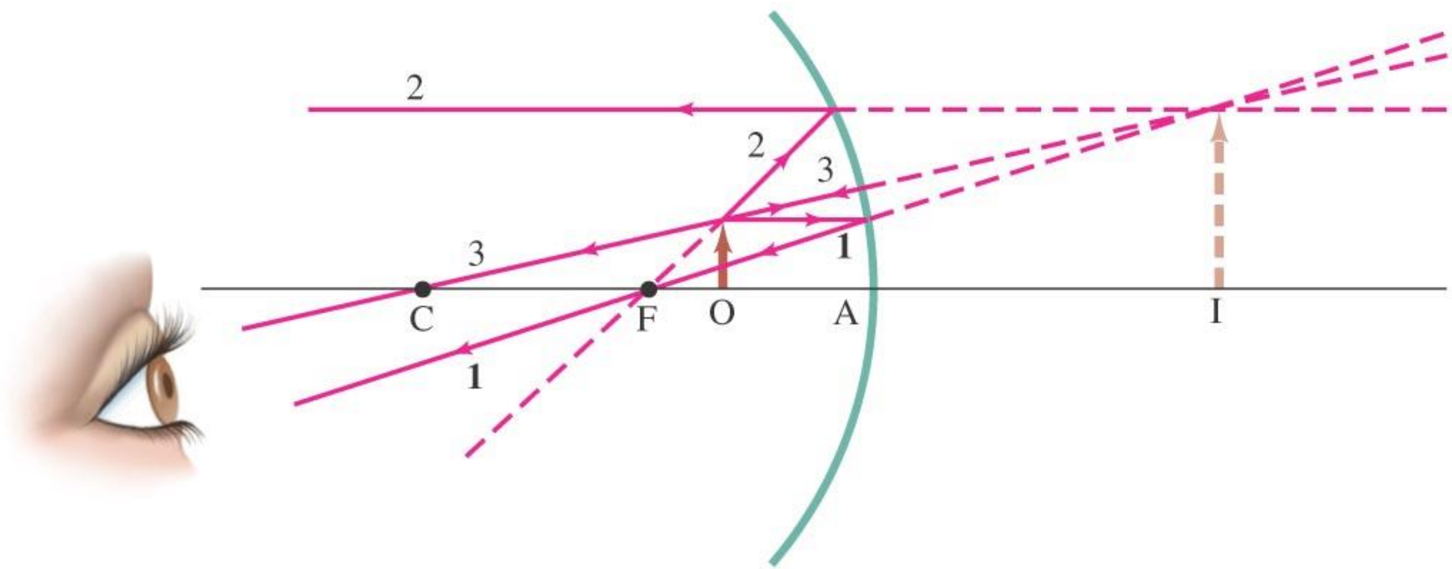
32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Εάν το αντικείμενο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από την ακτίνα καμπυλότητας, ενός κοίλου κατόπτρου, το είδωλο θα είναι ανεστραμμένο, μικρότερο και πραγματικό.



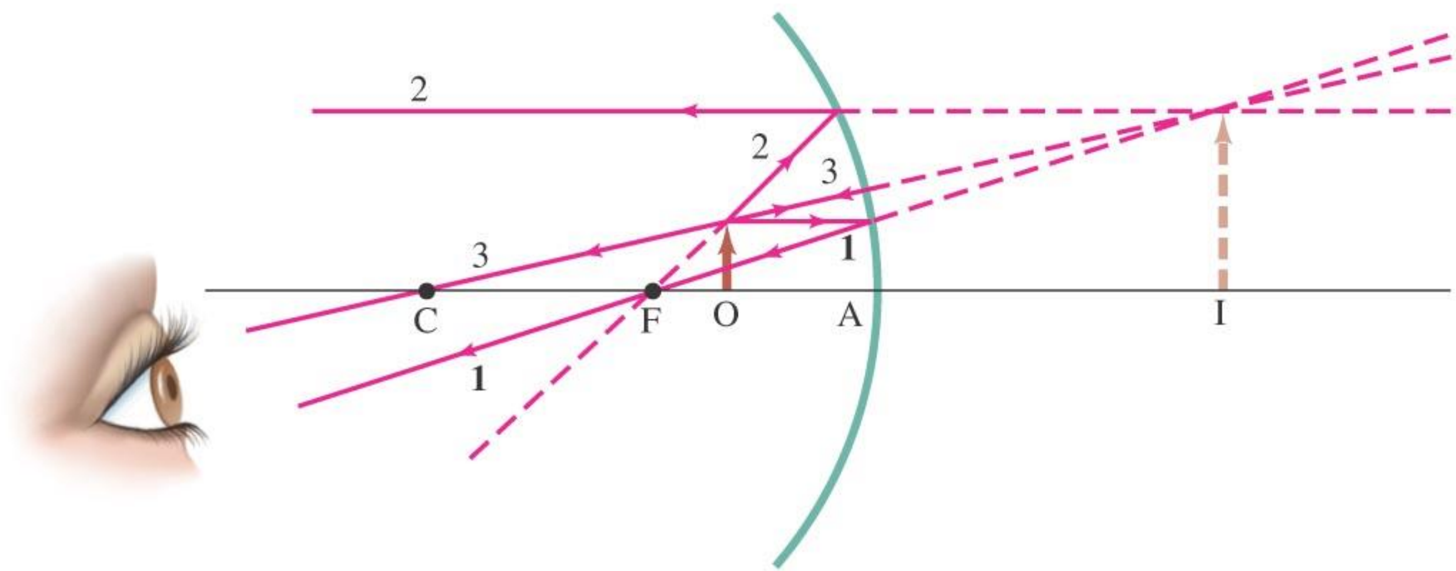
32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Αντικείμενο ύψους 1.00-cm βρίσκεται σε απόσταση 10.0 cm από κοίλο καθρέπτη με ακτίνα 30.0 cm. (a) Ζωγραφίστε το είδωλο και την μεγέθυνση



APPROACH We draw the ray diagram using the rays as in Fig. 32–15, page 844. An analytic solution uses Eqs. 32–1, 32–2, and 32–3.

SOLUTION (*a*) Since $f = r/2 = 15.0\,\text{cm}$, the object is between the mirror and the focal point. We draw the three rays as described earlier (Fig. 32–15); they are shown leaving the tip of the object in Fig. 32–17. Ray 1 leaves the tip of our object heading toward the mirror parallel to the axis, and reflects through F. Ray 2 cannot head toward F because it would not strike the mirror; so ray 2 must point as if it started at F (dashed line) and heads to the mirror, and then is reflected parallel to the principal axis. Ray 3 is perpendicular to the mirror, as before. The rays reflected from the mirror diverge and so never meet at a point. They appear, however, to be coming from a point behind the mirror. This point locates the image of the tip of the arrow. The image is thus behind the mirror and is *virtual*. (Why?)



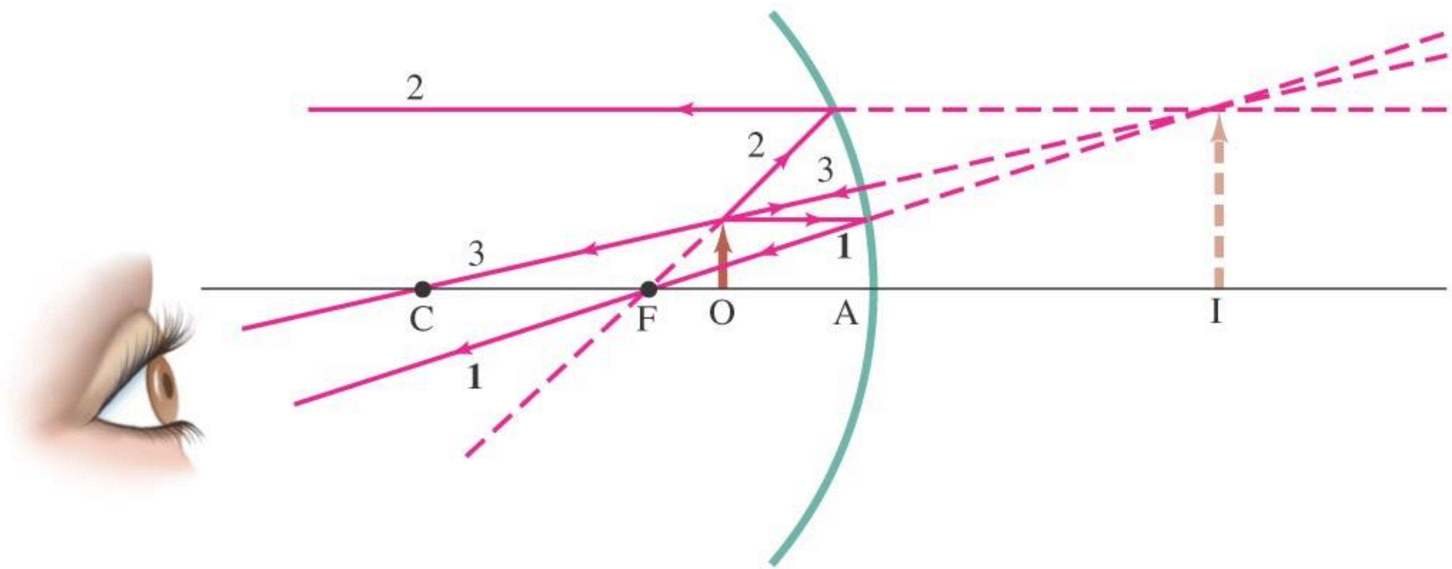
(*b*) We use Eq. 32–2 to find d_i when $d_o = 10.0\text{ cm}$:

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{15.0\text{ cm}} - \frac{1}{10.0\text{ cm}} = \frac{2-3}{30.0\text{ cm}} = -\frac{1}{30.0\text{ cm}}.$$

Therefore, $d_i = -30.0\text{ cm}$. The minus sign means the image is behind the mirror, which our diagram also told us. The magnification is $m = -d_i/d_o = -(-30.0\text{ cm})/(10.0\text{ cm}) = +3.00$. So the image is 3.00 times larger than the object. The plus sign indicates that the image is upright (same as object), which is consistent with the ray diagram, Fig. 32–17.

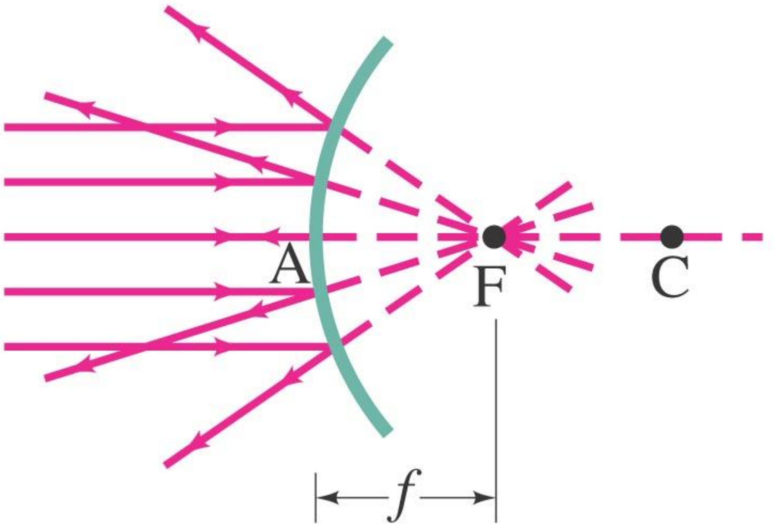
NOTE The image distance cannot be obtained accurately by measuring on Fig. 32–17, because our diagram violates the paraxial ray assumption (we draw rays at steeper angles to make them clearly visible).

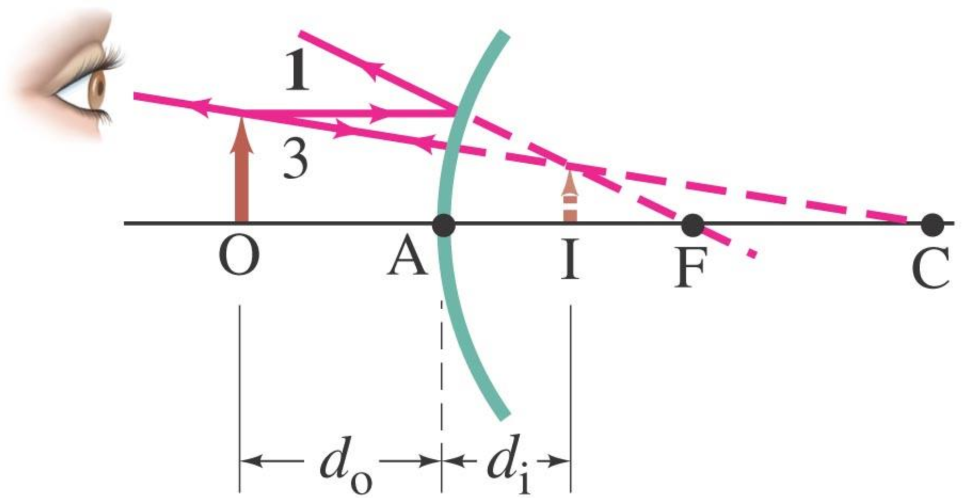
NOTE When the object is located inside the focal point of a concave mirror $(d_o < f)$, the image is always upright and vertical. And if the object O in Fig. 32–17 is you, you see yourself clearly, because the reflected rays at point O are diverging. Your image is upright and enlarged.



32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Για κυρτά κάτοπτρα το είδωλο είναι πάντα εικονικό, μικρότερο και όρθιο.





32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Πως λύνουμε προβλήματα με σφαιρικά κάτοπτρα

1. Σχεδιάζουμε της δέσμες φωτός και βρίσκουμε το σημείο τομείς.
2. Εφαρμόζουμε τις εξισώσεις του κατόπτρου και της μεγέθυνσης.
3. Συμβάσεις ποσίμων: εάν το αντικείμενο ή το είδωλο βρίσκεται στην πλευρά της ανάκλασης το κατόπτρου η αποστάσεις είναι θετικές. Διαφορετικά οι αποστάσεις είναι αρνητικές. Η μεγέθυνση είναι θετική όταν το είδωλο είναι όρθιο και αρνητικό όταν είναι αντεστραμμένο.
4. Ελέγχουμε ότι το αποτέλεσμα συμφωνεί με το διάγραμμα των δεσμών.

32-3 Είδωλα Σφαιρικών Κατόπτρων

Ο καθρέπτης ενός αυτοκινήτου είναι κυρτός με ακτίνα 16.0 m. Βρείτε την θέση του ειδώλου και την μεγέθυνση για ένα αντικείμενο σε απόσταση10.0 m.

SOLUTION

1. **Draw a ray diagram.** The ray diagram will be like Fig. 32–19b, but the large object distance $(d_o = 10.0\,\mathrm{m})$ makes a precise drawing difficult. We have a convex mirror, so r is negative by convention.
2. **Mirror and magnification equations.** The center of curvature of a convex mirror is behind the mirror, as is its focal point, so we set $r = -16.0\,\mathrm{m}$ so that the focal length is $f = r/2 = -8.0\,\mathrm{m}$. The object is in front of the mirror, $d_o = 10.0\,\mathrm{m}$. Solving the mirror equation, Eq. 32–2, for $1/d_i$ gives

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{-8.0\,\mathrm{m}} - \frac{1}{10.0\,\mathrm{m}} = \frac{-10.0 - 8.0}{80.0\,\mathrm{m}} = -\frac{18}{80.0\,\mathrm{m}}.$$

Thus $d_i = -80.0\mathrm{m}/18 = -4.4\,\mathrm{m}$. Equation 32–3 gives the magnification

$$m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-4.4\,\mathrm{m})}{(10.0\,\mathrm{m})} = +0.44.$$

3. **Sign conventions.** The image distance is negative, $-4.4\,\mathrm{m}$, so the image is *behind* the mirror. The magnification is $m = +0.44$, so the image is *upright* (same orientation as object) and less than half as tall as the object.
4. **Check.** Our results are consistent with Fig. 32–19b.

32-4 Δείκτης Διάθλασης

Γενικά το φως επιβραδύνεται όταν περνάει μέσα από υλικά. Ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού είναι ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό ως προς την ταχύτητα του φωτός μέσα από το υλικό.

$$n = \frac{c}{v}.$$

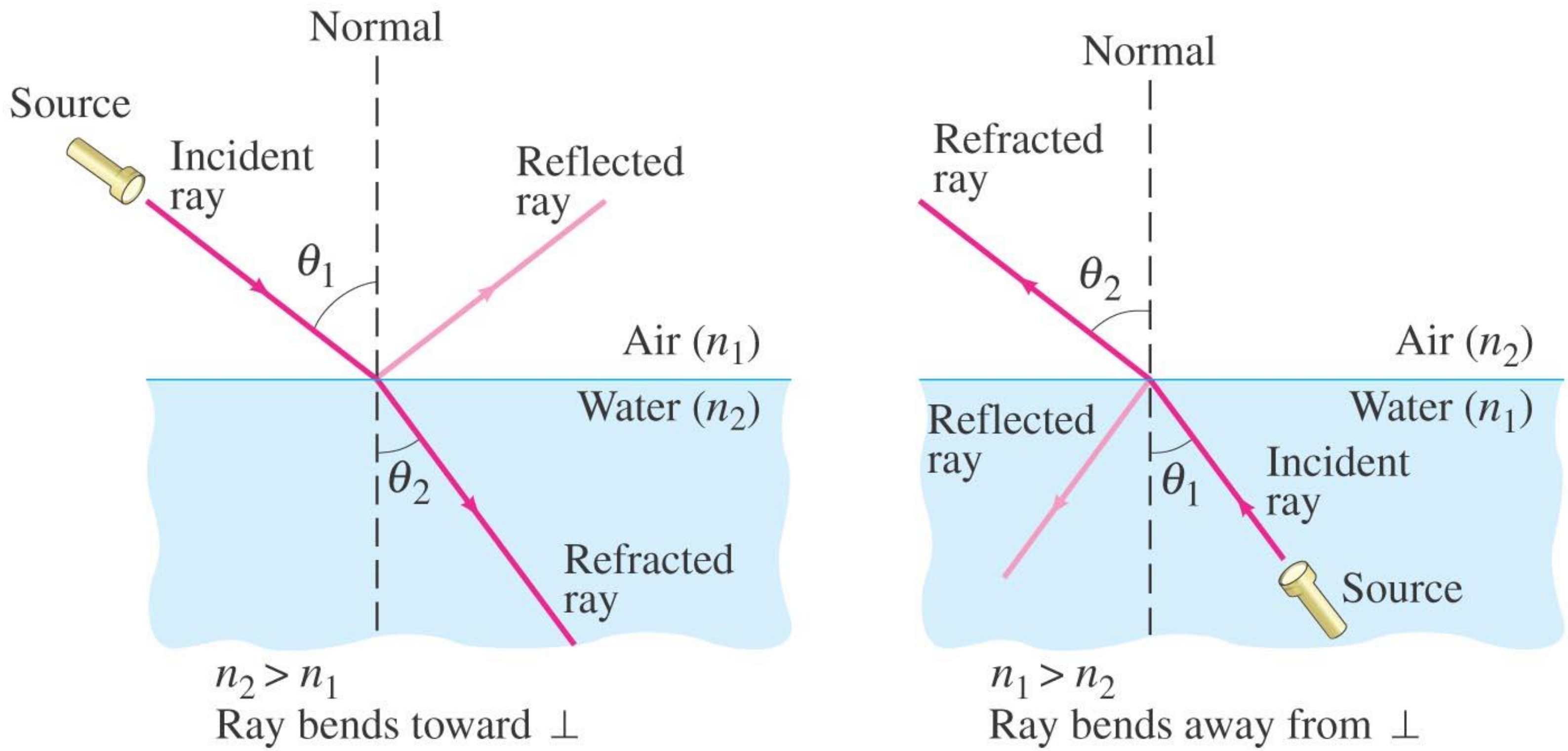
TABLE 32–1 Indices of Refraction[†]

Material	$n = \dfrac{c}{v}$
Vacuum	1.0000
Air (at STP)	1.0003
Water	1.33
Ethyl alcohol	1.36
Glass	
Fused quartz	1.46
Crown glass	1.52
Light flin	.58
Lucite or Plexiglas	1.51
Sodium chloride	1.53
Diamond	2.42

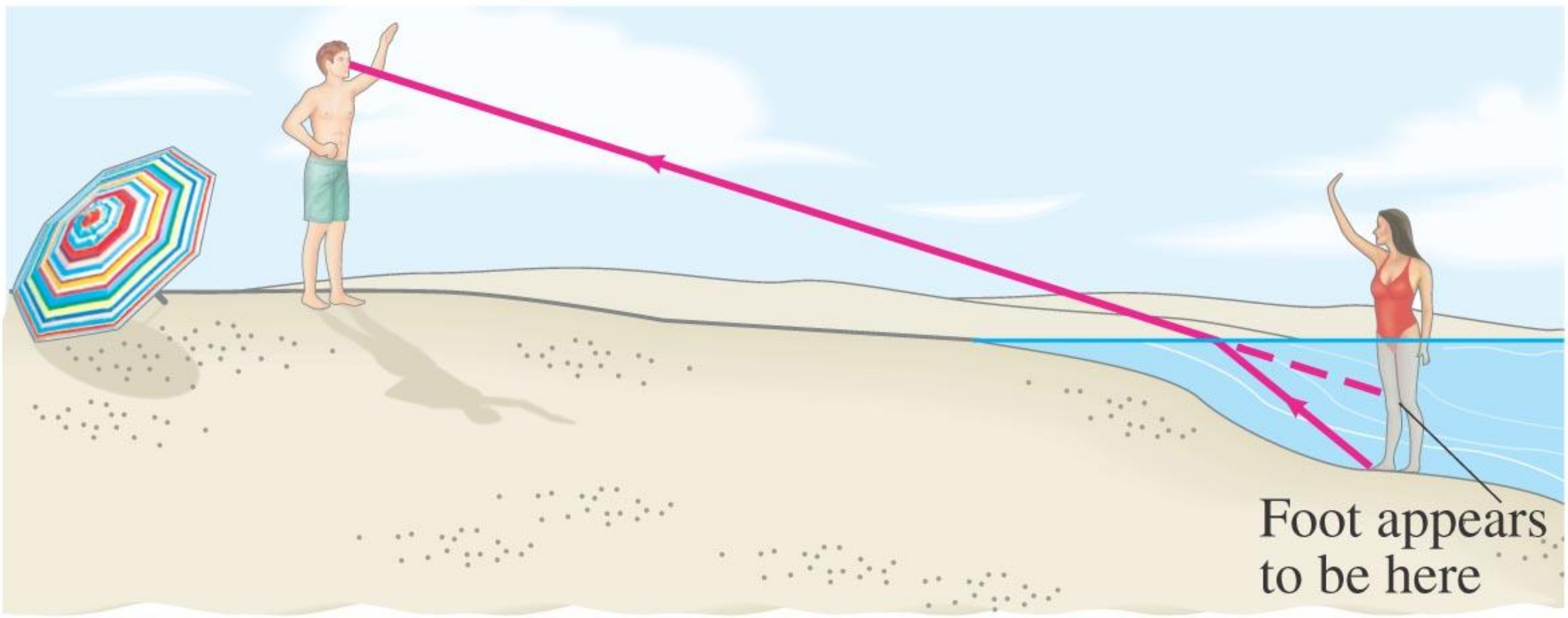
[†] $\lambda = 589$ nm.

32-5 Διάθλαση Νόμος του Snell

Σε μια διαχωριστική επιφάνεια η πορεία του φωτός αλλάζει. Το φαινόμενο ονομάζεται διάθλαση. Η γωνία διάθλασης είναι η γωνία της νέας διεύθυνσης μέσα από το υλικό ως προς την κάθετο στο σημείο προσπτώσεως στην διαχωριστική επιφάνεια.



32-5 Διάθλαση Νόμος του Snell



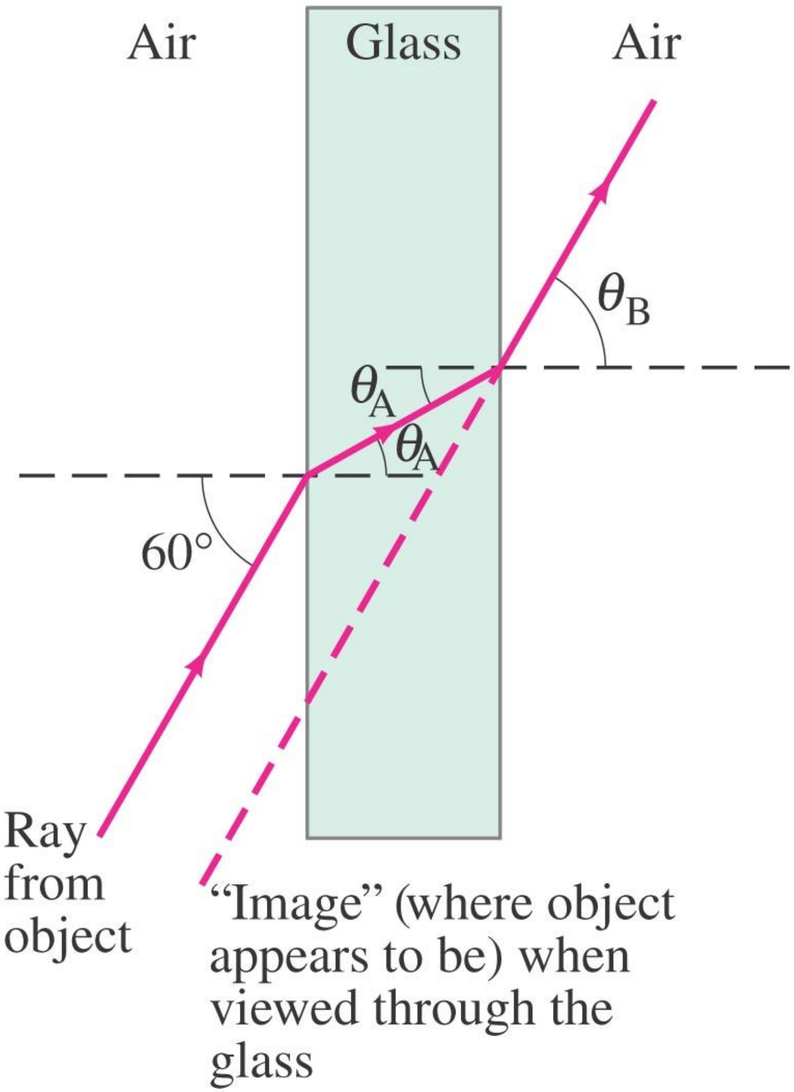
32-5 Διάθλαση Νόμος του Snell

Η γωνία διάθλασης προσδιορίζεται από τον νόμο του Snell:

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

32-5 Διάθλαση Νόμος του Snell

Μια ακτίνα φωτός πέφτει πάνω σε ένα κομμάτι (παραλληλεπίπεδο) γυαλιού με γωνία 60°. Εάν ο δείκτης διάθλασης είναι 1.50, (a) βρείτε την γωνία διάθλασης θ_A (b) την γωνία θ_B , εξόδου της δέσμης από το γυαλί.



APPROACH We apply Snell's law at the first surface, where the light enters the glass, and again at the second surface where it leaves the glass and enters the air.

SOLUTION (*a*) The incident ray is in air, so $n_1 = 1.00$ and $n_2 = 1.50$. Applying Snell's law where the light enters the glass $(\theta_1 = 60°)$ gives

$$\sin\theta_A = \frac{1.00}{1.50}\sin 60° = 0.5774,$$

so $\theta_A = 35.3°$.

(*b*) Since the faces of the glass are parallel, the incident angle at the second surface is just θ_A (simple geometry), so $\sin\theta_A = 0.5774$. At this second interface, $n_1 = 1.50$ and $n_2 = 1.00$. Thus the ray re-enters the air at an angle $\theta_B \,(=\theta_2)$ given by

$$\sin\theta_B = \frac{1.50}{1.00}\sin\theta_A = 0.866,$$

and $\theta_B = 60°$. The direction of a light ray is thus unchanged by passing through a flat piece of glass of uniform thickness.

NOTE This result is valid for any angle of incidence. The ray is displaced slightly to one side, however. You can observe this by looking through a piece of glass (near its edge) at some object and then moving your head to the side slightly so that you see the object directly. It "jumps."

32-5 Διάθλαση Νόμος του Snell

Τα γυαλιά ενός κολυμβητή έπεσαν στον πάτο μιας πισίνας με ένδειξη βάθους 1.0 m. Στον κολυμβητή όμως το βάθος μοιάζει πολύ μικρότερο. Γιατί; Τι βάθος μοιάζει να έχει η πισίνα όταν κοιτάμε κάθετα στην επιφάνεια του νερού;

APPROACH We draw a ray diagram showing two rays going upward from a point on the goggles at a small angle, and being refracted at the water's (flat) surface, Fig. 32–25. The two rays traveling upward from the goggles are refracted *away* from the normal as they exit the water, and so appear to be diverging from a point above the goggles (dashed lines), which is why the water seems less deep than it actually is.

SOLUTION To calculate the apparent depth d' (Fig. 32–25), given a real depth $d = 1.0\text{ m}$, we use Snell's law with $n_1 = 1.33$ for water and $n_2 = 1.0$ for air:

$$\sin\theta_2 = n_1 \sin\theta_1 .$$

We are considering only small angles, so $\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$, with θ in radians. So Snell's law becomes

$$\theta_2 \approx n_1\theta_1 .$$

From Fig. 32–25, we see that

$$\theta_2 \approx \tan\theta_2 = \frac{x}{d'} \qquad \text{and} \qquad \theta_1 \approx \tan\theta_1 = \frac{x}{d}.$$

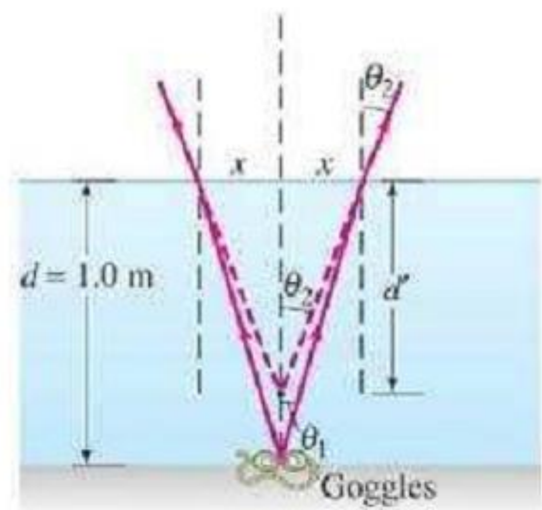
Putting these into Snell's law, $\theta_2 \approx n_1\theta_1$, we get

$$\frac{x}{d'} \approx n_1\frac{x}{d}$$

or

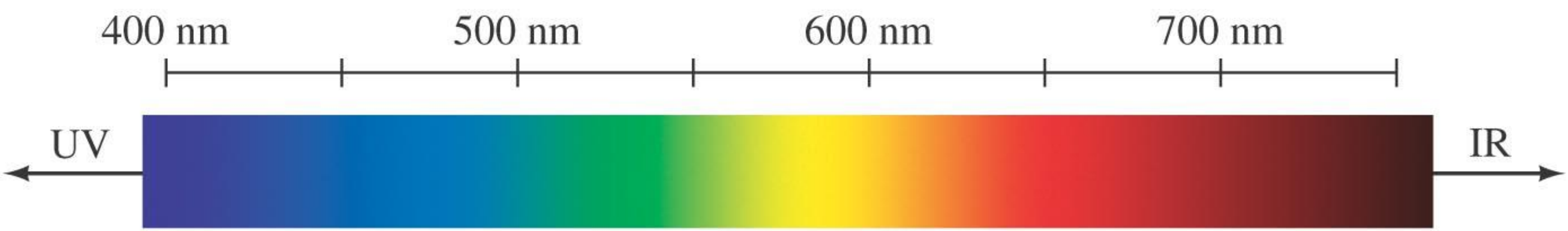
$$d' \approx \frac{d}{n_1} = \frac{1.0\text{ m}}{1.33} = 0.75\text{ m}.$$

The pool seems only three-fourths as deep as it actually is.



32-6 Ορατό Φάσμα Διασπορά

Το ορατό φάσμα περιέχει πολλές συχνότητες που είναι «ορατές» στο ανθρώπινο μάτι.

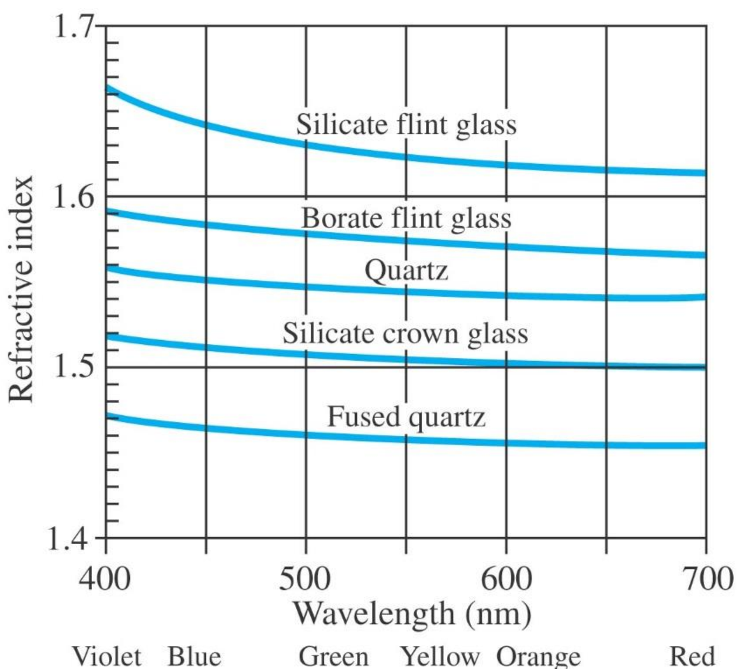


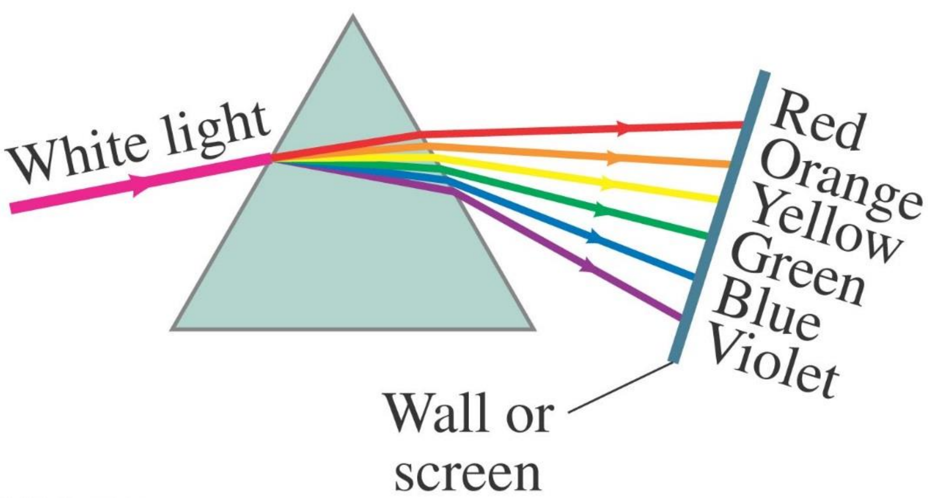
Υπεριώδες
Ultra violet

Υπέρυθρο
Ultra red

32-6 Ορατό Φάσμα Διασπορά

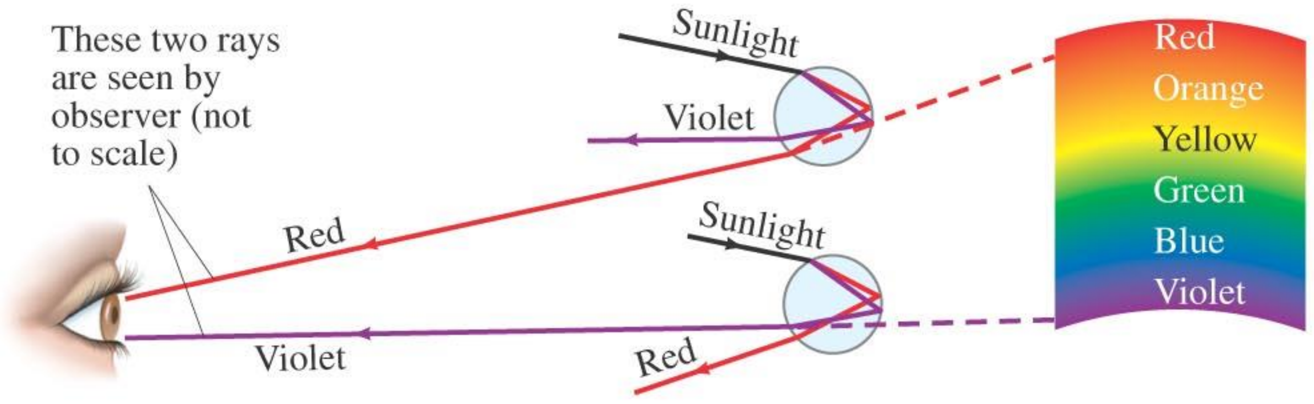
Για πολλά υλικά ο δείκτης διάθλασης αλλάζει σαν συνάρτηση του μήκους κύματος. Αυτός είναι και ο λόγος που ορισμένα υλικά, όπως τα πρίσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουμε το φως στις συνιστώσες του.





32-6 Ορατό Φάσμα Διασπορά

Η ανάλυση του φωτός στα επιμέρους «χρώματα» (συχνότητες) ονομάζεται **διασπορά**



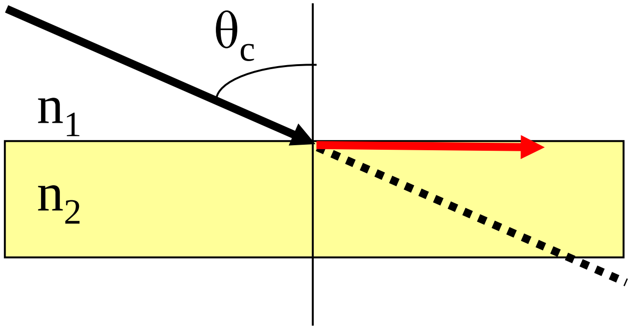
32-6 Ορατό Φάσμα Διασπορά

Το χρώμα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο μήκος κύματος. Εάν κάποιο αντικείμενο εκπέμπει φώς στα 650 nm, που στον αέρα θα ήταν κόκκινο, στο νερό, λόγω του διαφορετικού δείκτη διάθλασης το «νέο-φαινομενολογικό» μήκος κύματος θα είναι 650 nm/1.33 = 489 nm, που στο αέρα θα ήταν μπλε. Γιατί όμως το μάτι μας συνεχίζει να το αντιλαμβάνεται ως κόκκινο;

32-7 Εσωτερική ανάκλαση

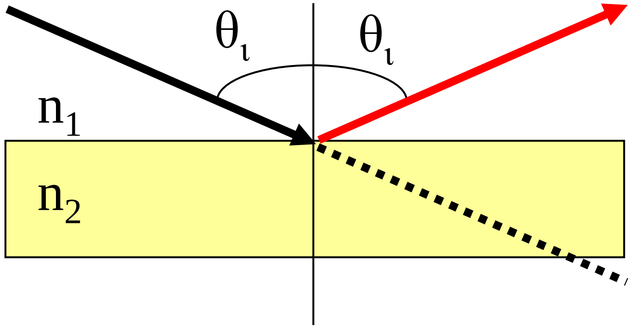
Όταν η διαθλώμενη γωνία είναι 90°, δηλ η εξερχόμενη δέσμη ακολουθεί την διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών, τότε η γωνία προσπτώσεως ονομάζεται κρίσιμη γωνία

$$\sin\theta_C = \frac{n_2}{n_1}\sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1}.$$

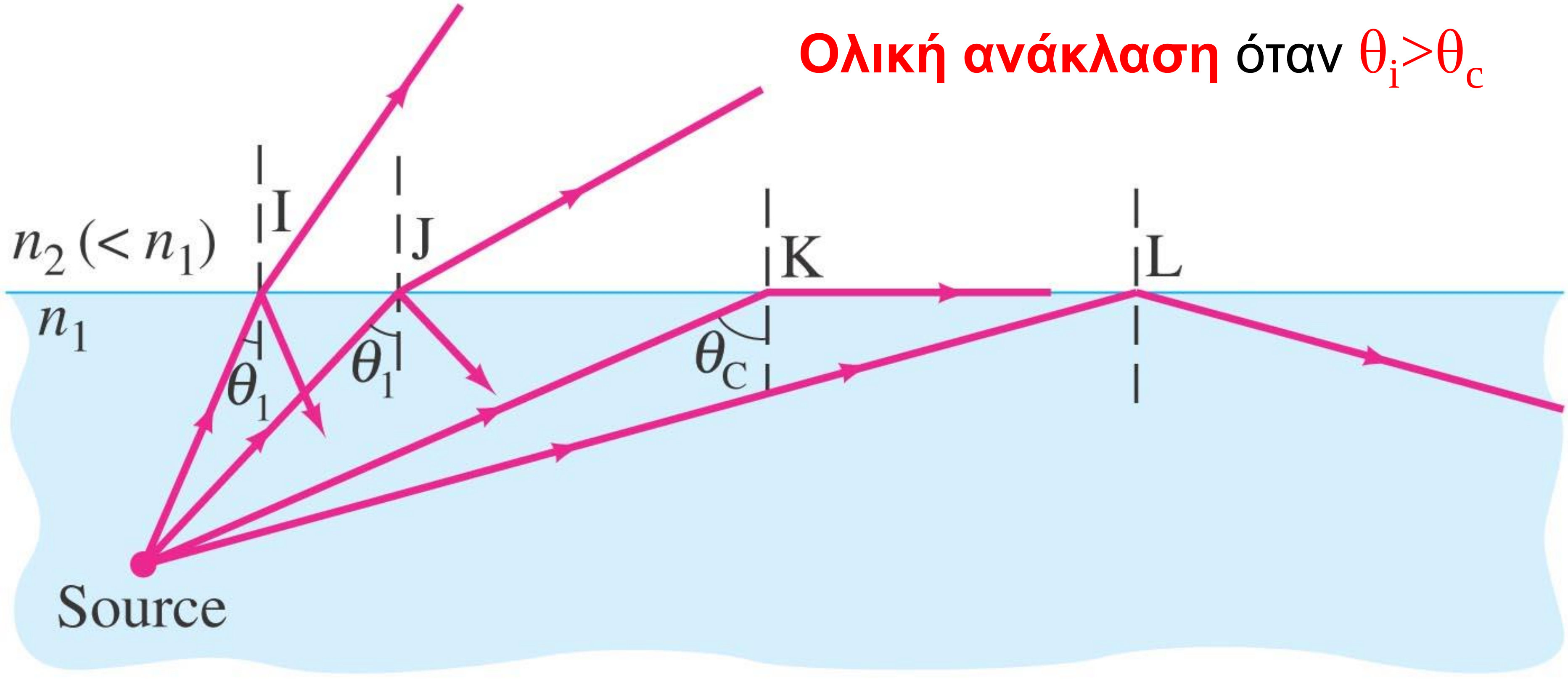


32-7 Εσωτερική ανάκλαση

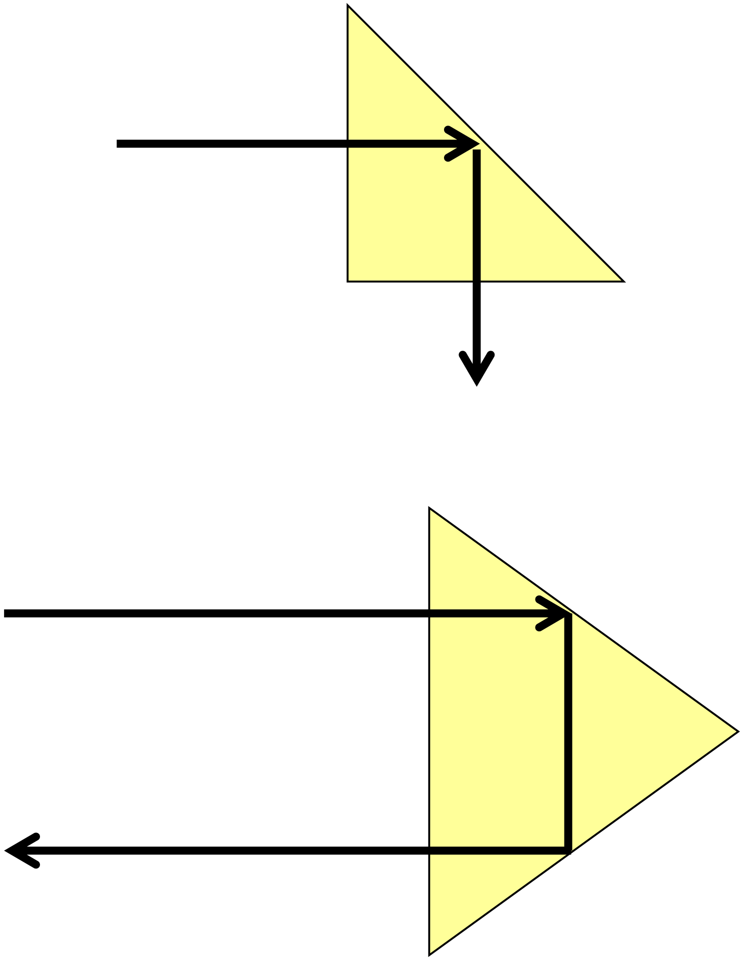
Πέραν της κρίσιμης γωνίας η διαχωριστική επιφάνεια δρα ως κάτοπτρο και έχουμε ολική ανάκλαση.

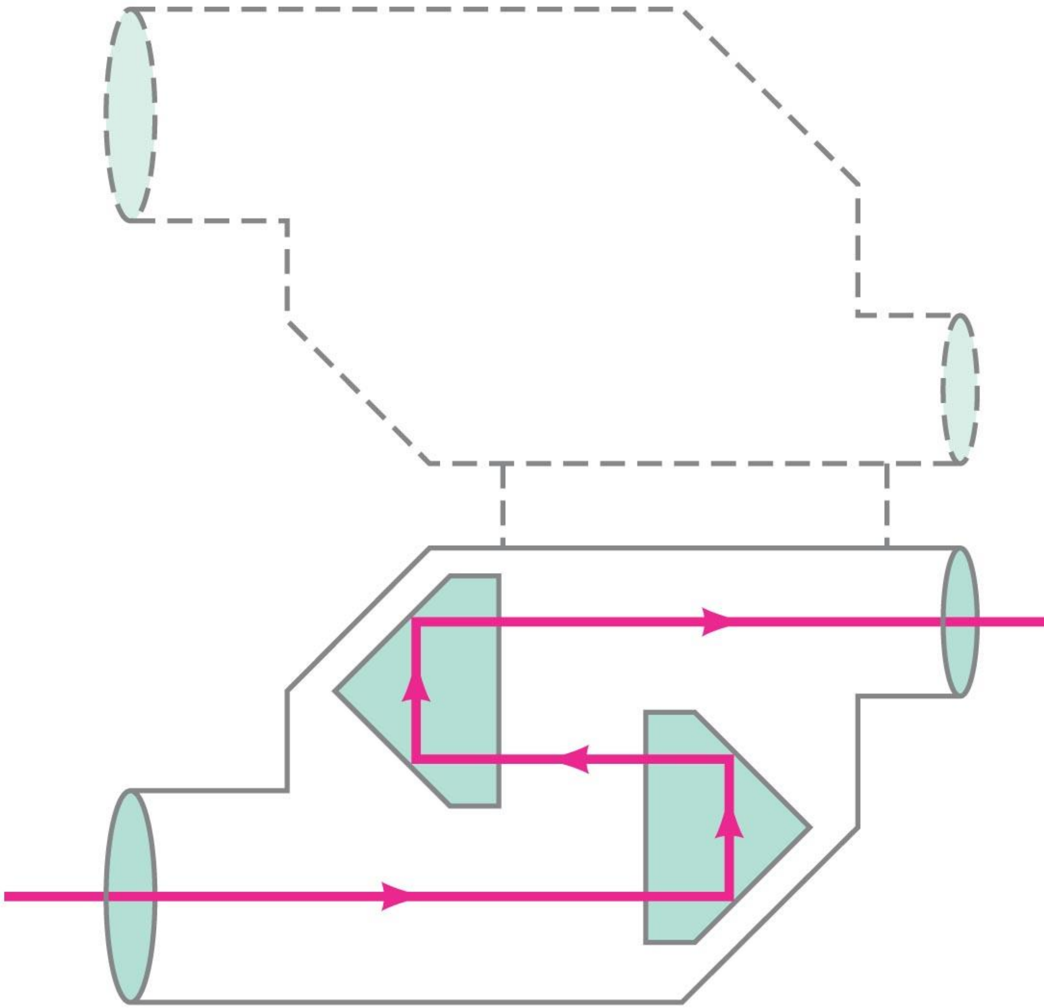


Ολική ανάκλαση όταν $\theta_i > \theta_c$



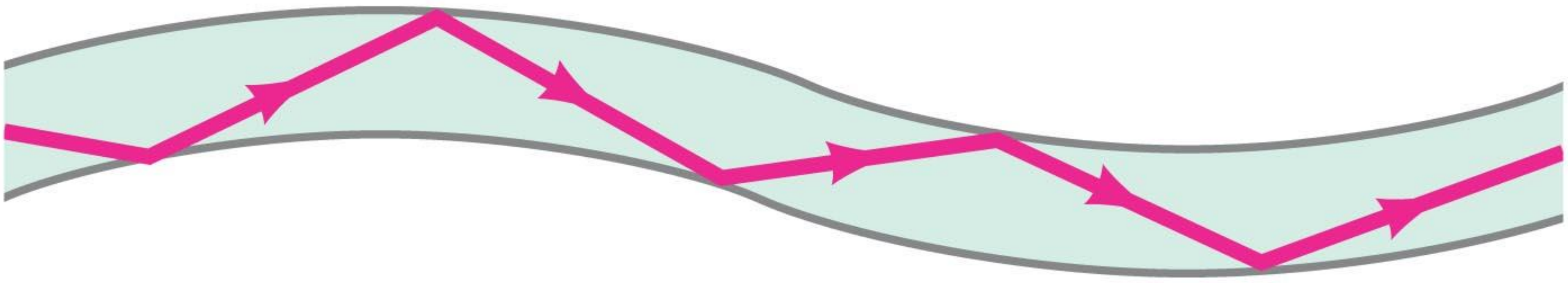
32-7 Εφαρμογές Εσωτερικής ανάκλασης





32-7 Οπτικές Ίνες

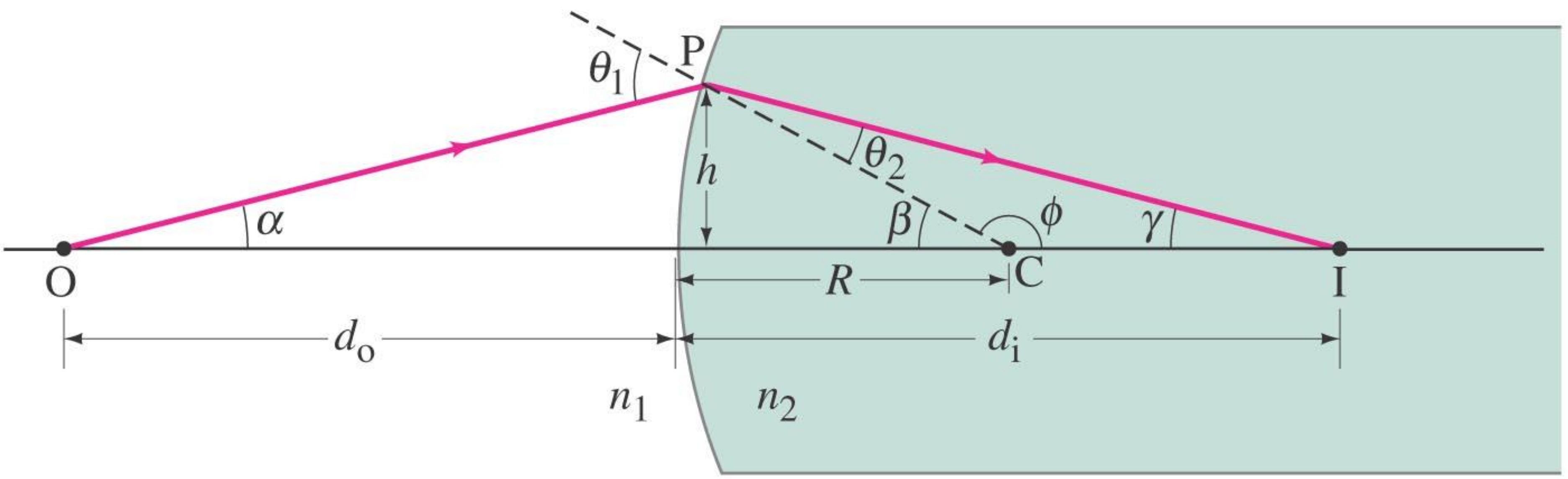
Μια πολύ σημαντική εφαρμογή της εσωτερικής ανάκλασης είναι οι οπτικές ίνες. Επιτυγχάνουμε διάδοση φωτός με ελάχιστες απώλειες για πολύ μεγάλες αποστάσεις.



32-8 Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια

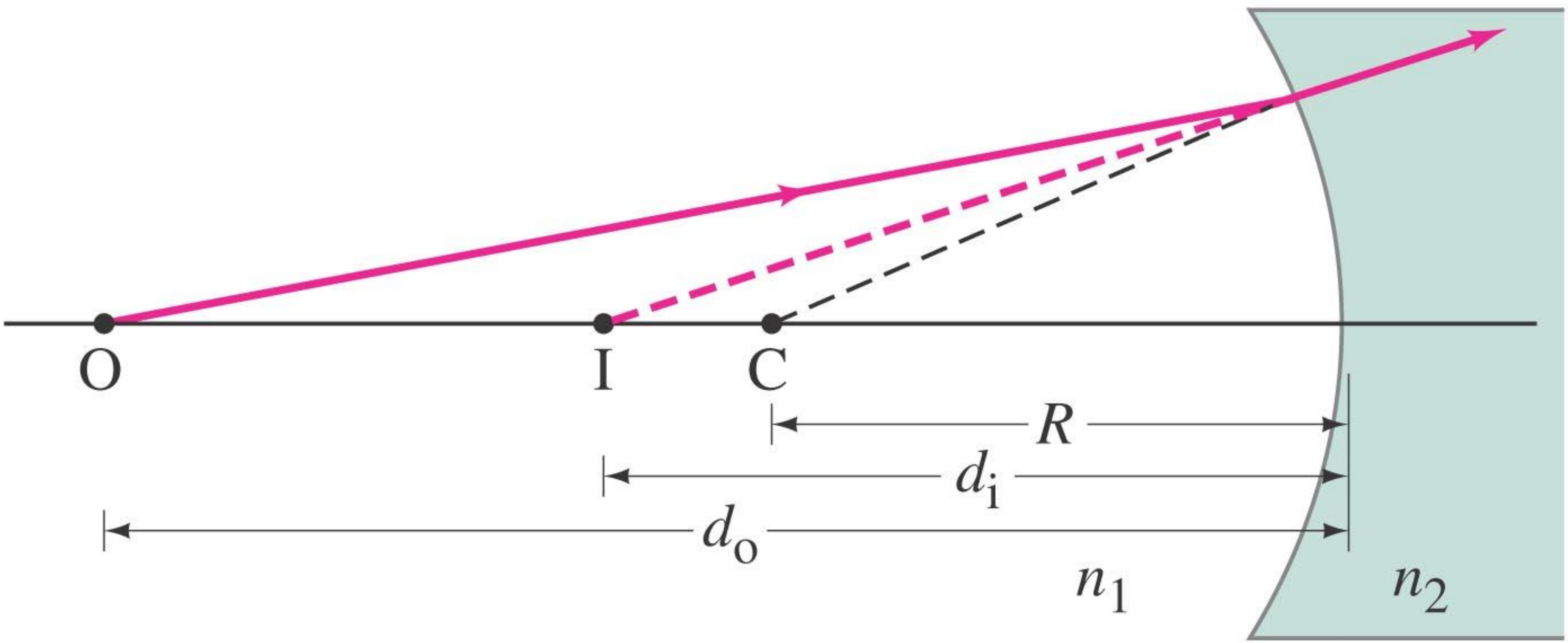
Η κυρτές διαχωριστικές επιφάνειες εστιάζουν την δέσμη του φωτός.

$$\frac{n_1}{d_o} + \frac{n_2}{d_i} = \frac{n_2 - n_1}{R}.$$



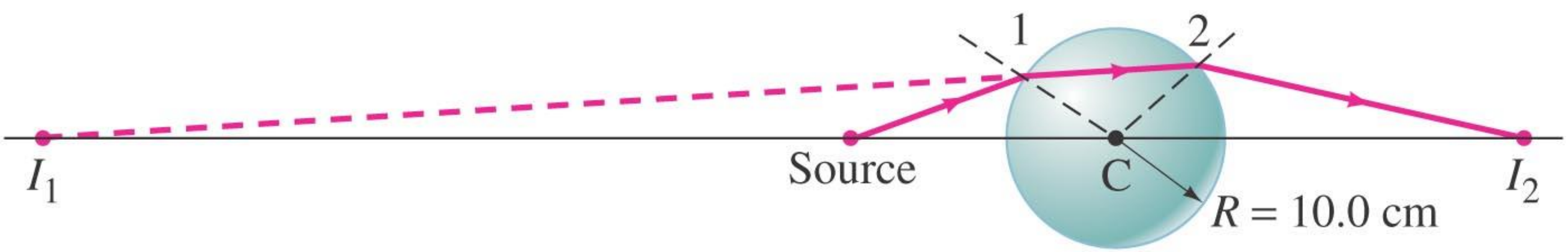
32-8 Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια

Μια κοίλη διαχωριστική επιφάνεια αποκλίνει την δέσμη.



32-8 Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια

Μια πηγή φωτός βρίσκεται 25.0 cm από το κέντρο μιας γυάλινης σφαίρας με ακτίνα 10.0 cm. Βρείτε το είδωλο.



APPROACH As shown in Fig. 32–40, there are two refractions, and we treat them successively, one at a time. The light rays from the source first refract from the convex glass surface facing the source. We analyze this first refraction, treating it as in Fig. 32–36, ignoring the back side of the sphere.

SOLUTION Using Eq. 32–8 (assuming paraxial rays) with $n_1 = 1.0$, $n_2 = 1.5$, $R = 10.0\,\text{cm}$, and $d_o = 25.0\,\text{cm} - 10.0\,\text{cm} = 15.0\,\text{cm}$, we solve for the image distance as formed at surface 1, d_{i1}:

$$\frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{n_2}\left(\frac{(n_2 - n_1)}{R} - \frac{n_1}{d_o}\right) = \frac{1}{1.5}\left(\frac{1.5 - 1.0}{10.0\,\text{cm}} - \frac{1.0}{15.0\,\text{cm}}\right) = -\frac{1}{90.0\,\text{cm}}.$$

Thus, the image of the first refraction is located 90.0 cm *to the left* of the front surface. This image (I_1) now serves as the object for the refraction occurring at the back surface (surface 2) of the sphere. This surface is concave so $R = -10.0\,\text{cm}$, and we consider a ray close to the axis. Then the object distance is $d_{o2} = 90.0\,\text{cm} + 2(10.0\,\text{cm}) = 110.0\,\text{cm}$, and Eq. 32–8 yields, with $n_1 = 1.5$, $n_2 = 1.0$,

$$\frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{1.0}\left(\frac{1.0 - 1.5}{-10.0\,\text{cm}} - \frac{1.5}{110.0\,\text{cm}}\right) = \frac{4.0}{110.0\,\text{cm}}$$

so $d_{i2} = 28\,\text{cm}$. Thus, the final image is located a distance 28 cm from the back side of the sphere.