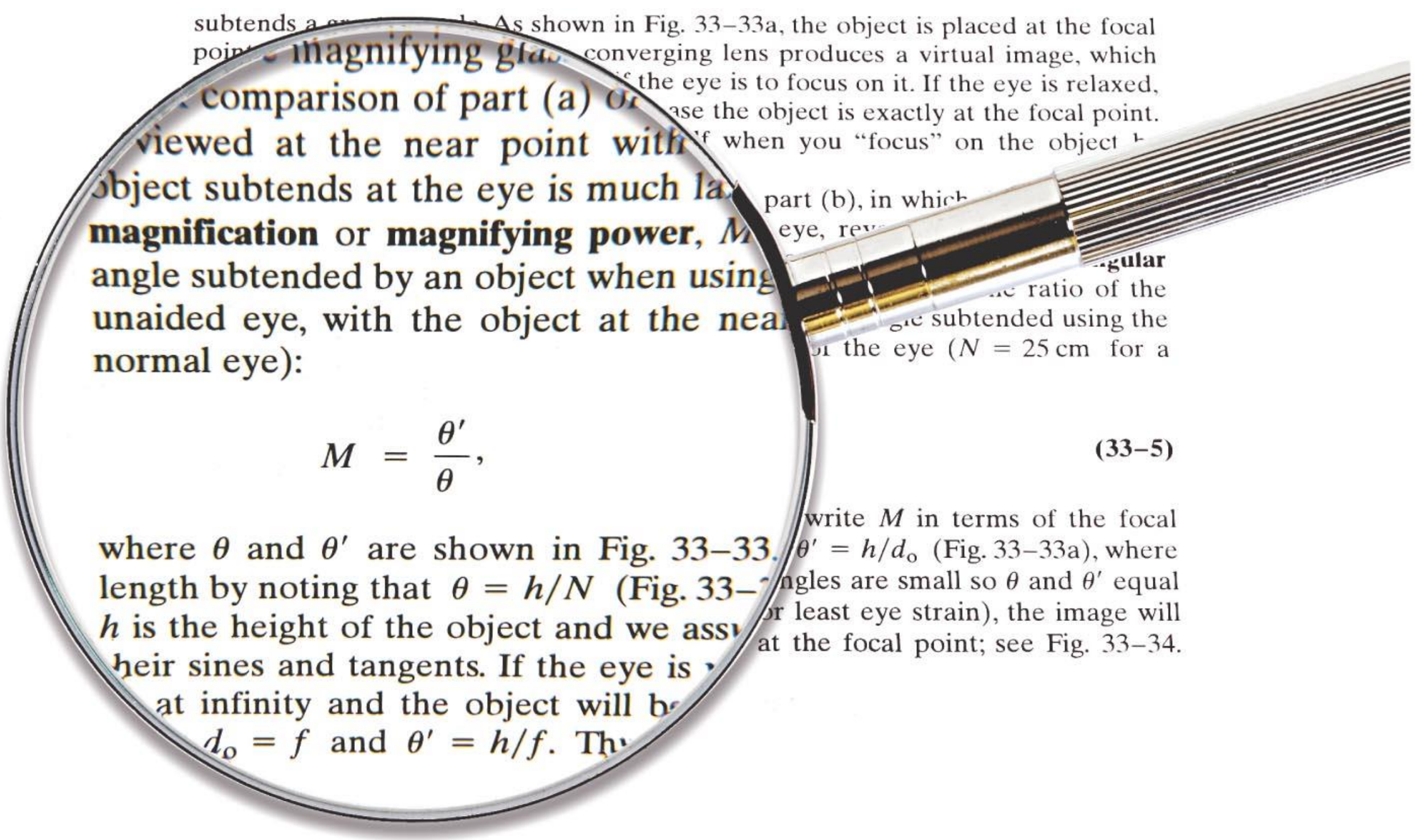
Κεφάλαιο 33
Φακοί και Οπτικά Στοιχεία

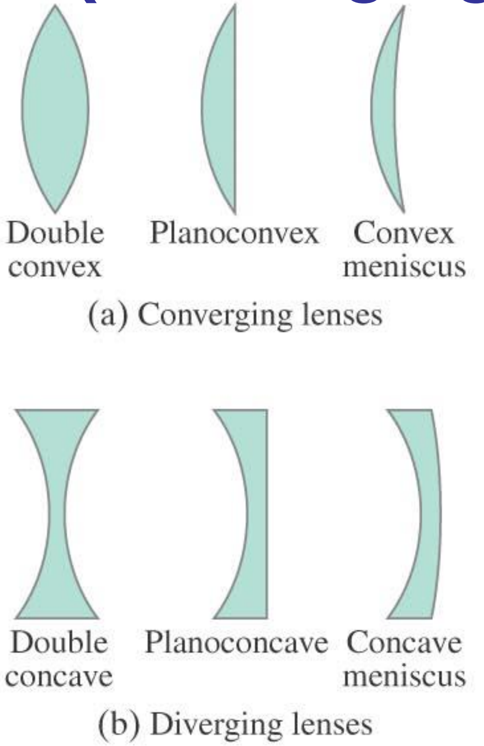


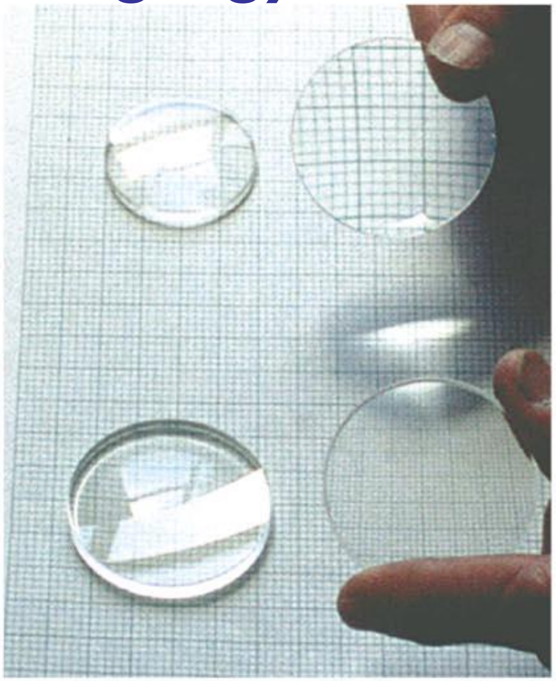
Περιεχόμενα Κεφαλαίου 33

- Λεπτοί Φακοί-Διάδοση Ακτίνας
- Εξίσωση Λεπτού Φακού-Μεγέθυνση
- Συνδυασμός Φακών
- Οι εξίσωση του Οπτικού
- Φωτογραφικές Μηχανές : Ψηφιακές και Φιλμ
- Το Ανθρώπινο Μάτι
- Διορθωτικά Γυαλιά
- Μεγεθυντικά Τηλεσκόπια
- Σύνθετο Μικροσκόπιο
- Σφάλματα Κατόπτρων και Φακών

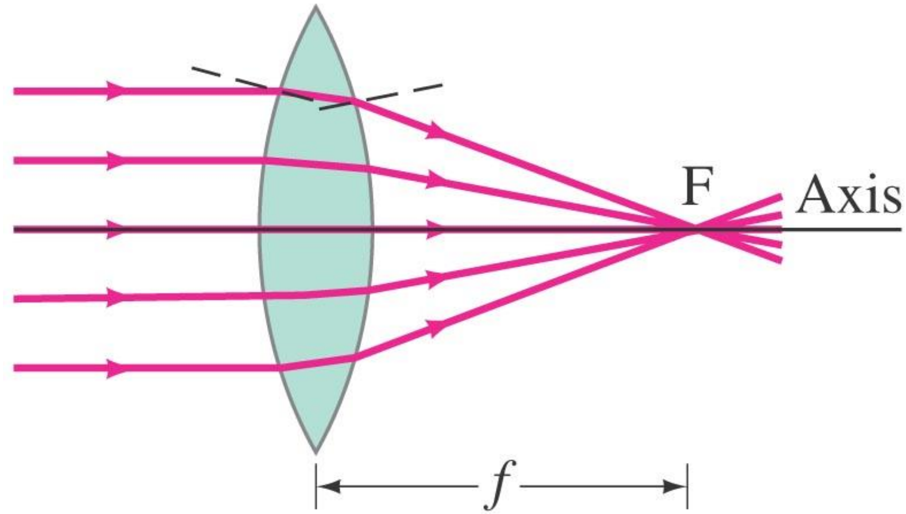
33-1 Λεπτοί Φακοί-Διάδοση Ακτίνας

Λεπτός φακός είναι εκείνος που το πάχος του είναι πολύ μικρότερο από την ακτίνα καμπυλότητάς του. Υπάρχουν συγκλίνοντες (converging) και αποκλίνοντες (diverging).

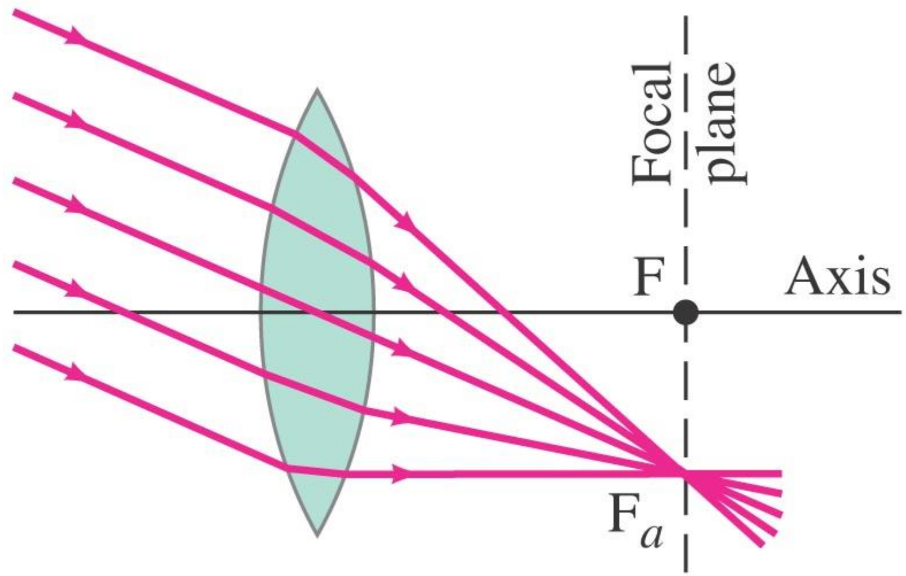




33-1 Λεπτοί Φακοί-Διάδοση Ακτίνας

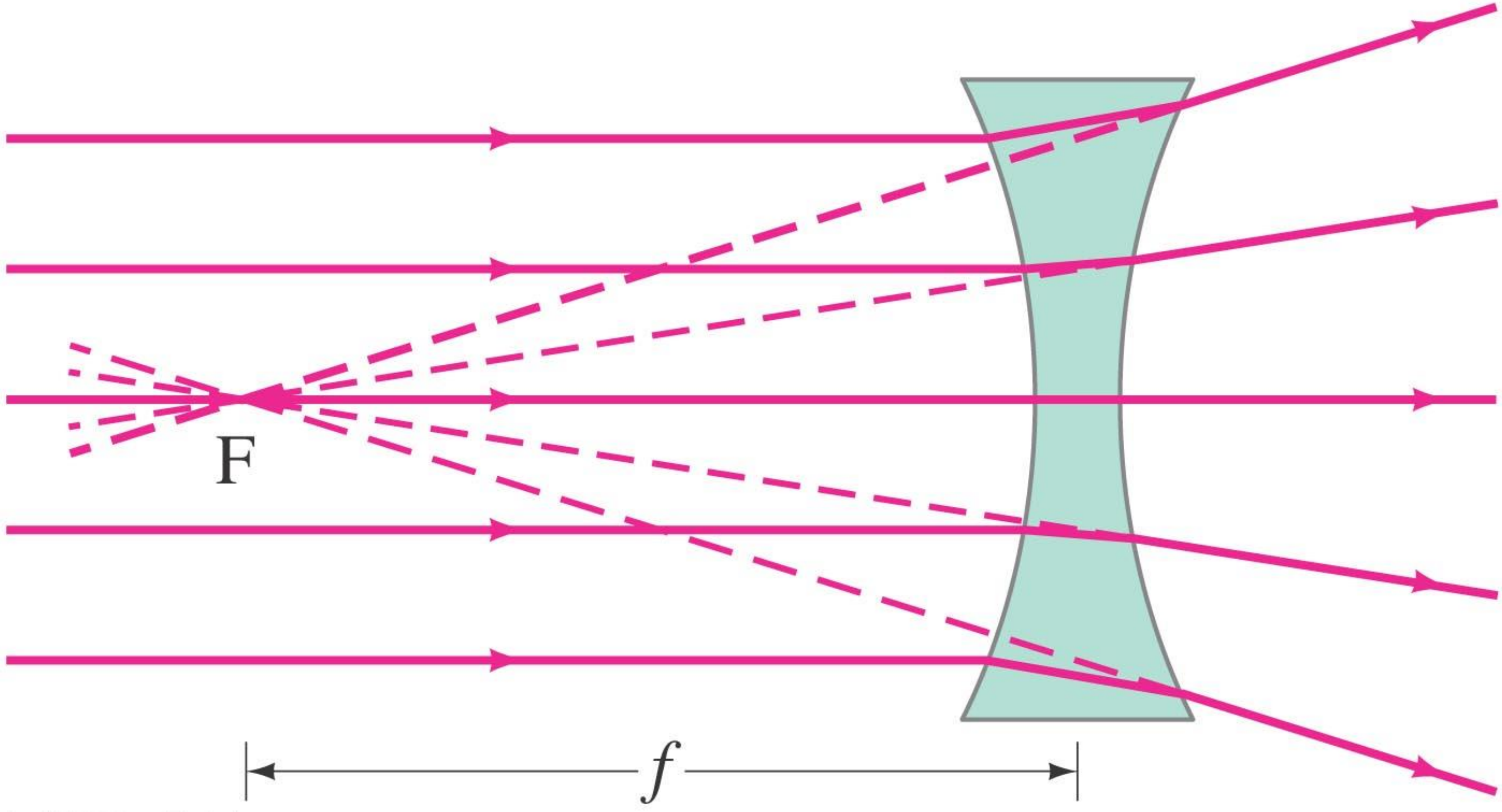


Εστίαση παράλληλων ακτίνων.



33-1 Λεπτοί Φακοί-Διάδοση Ακτίνας

Απόκλιση δέσμης



33-1 Λεπτοί Φακοί-Διάδοση Ακτίνας

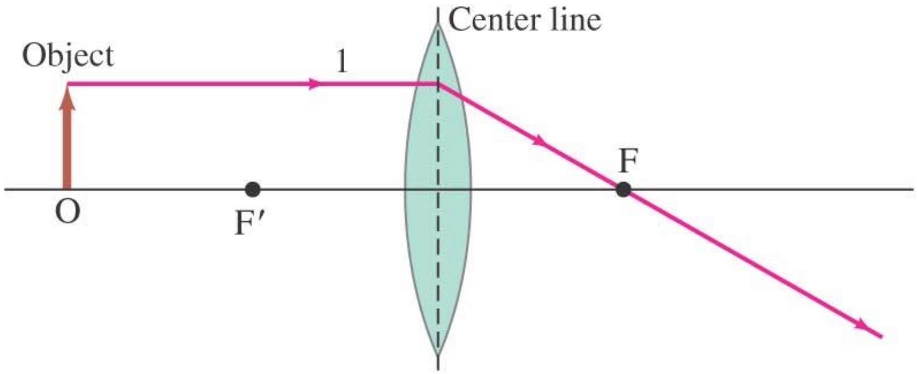
Η ισχύς ενός φακού είναι αντιστρόφως ανάλογη της εστιακής απόστασης

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

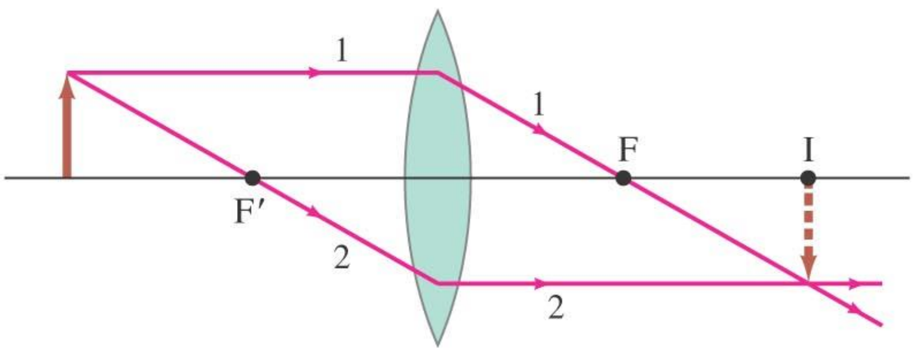
Η μονάδας ισχύος είναι η **διόπτρα**, D:

$$1\ \mathrm{D} = 1\ \mathrm{m}^{-1}.$$

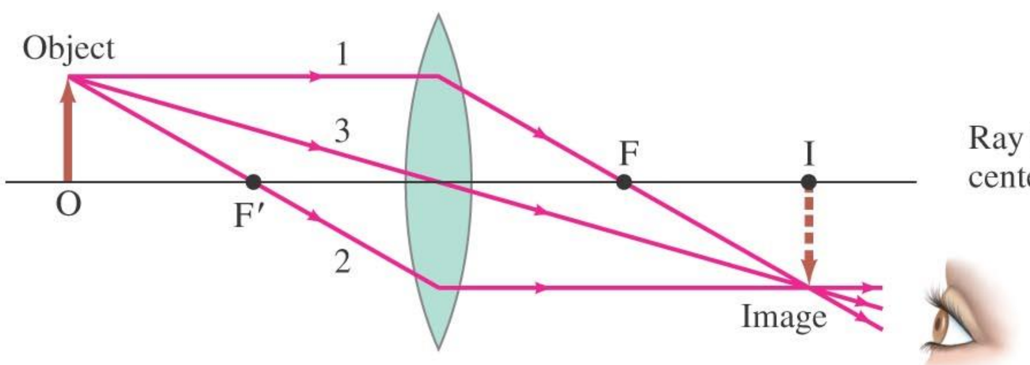
33-1 Λεπτοί Φακοί-Διάδοση Ακτίνας



Ray 1 leaves one point on object going parallel to the axis, then refracts through focal point behind the lens.



Ray 2 passes through F′ in front of the lens; therefore it is parallel to the axis behind the lens.



Ray 3 passes straight through the center of the lens (assumed very thin).

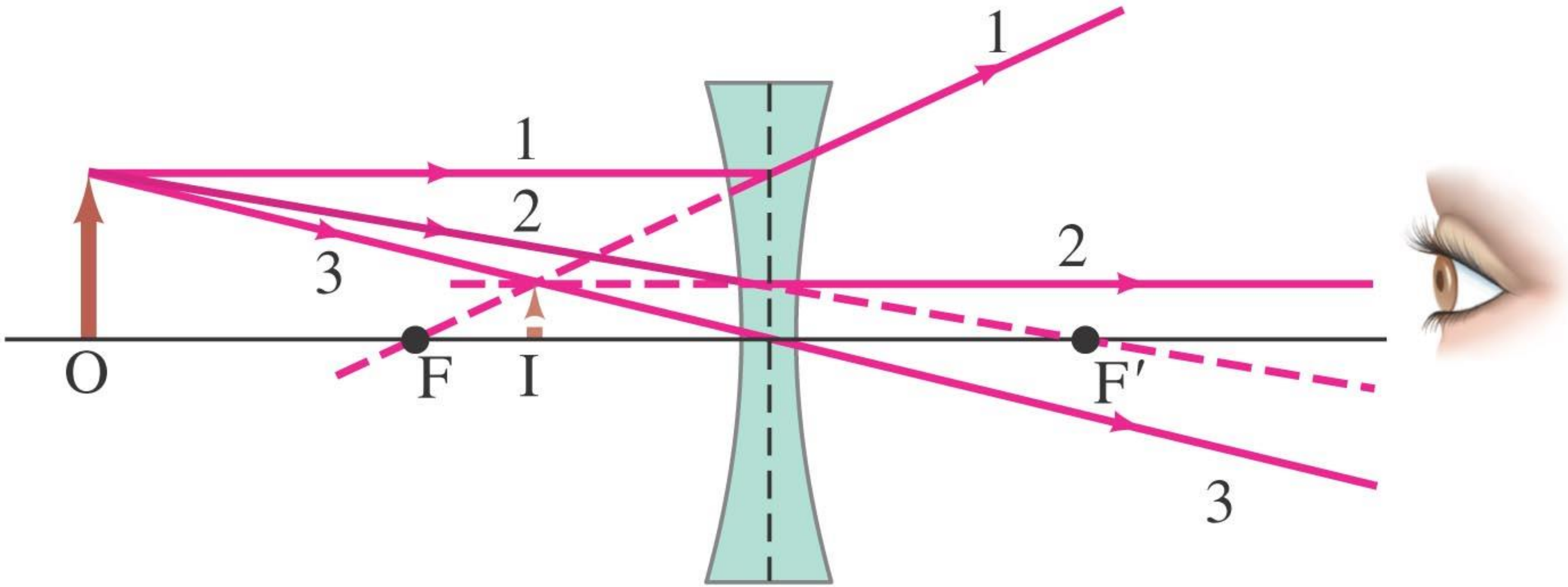
33-1 Λεπτοί Φακοί-Διάδοση Ακτίνας

Τι θα συμβεί εάν καλύψουμε το
πάνω μισό ενός φακού με χαρτόνι;

Μόνο η φωτεινότητα μειώνεται.
Το είδωλο παραμένει αναλλοίωτο

33-1 Λεπτοί Φακοί-Διάδοση Ακτίνας

Για αποκλίνοντα φακό, το είδωλο είναι όρθιο και εικονικό.

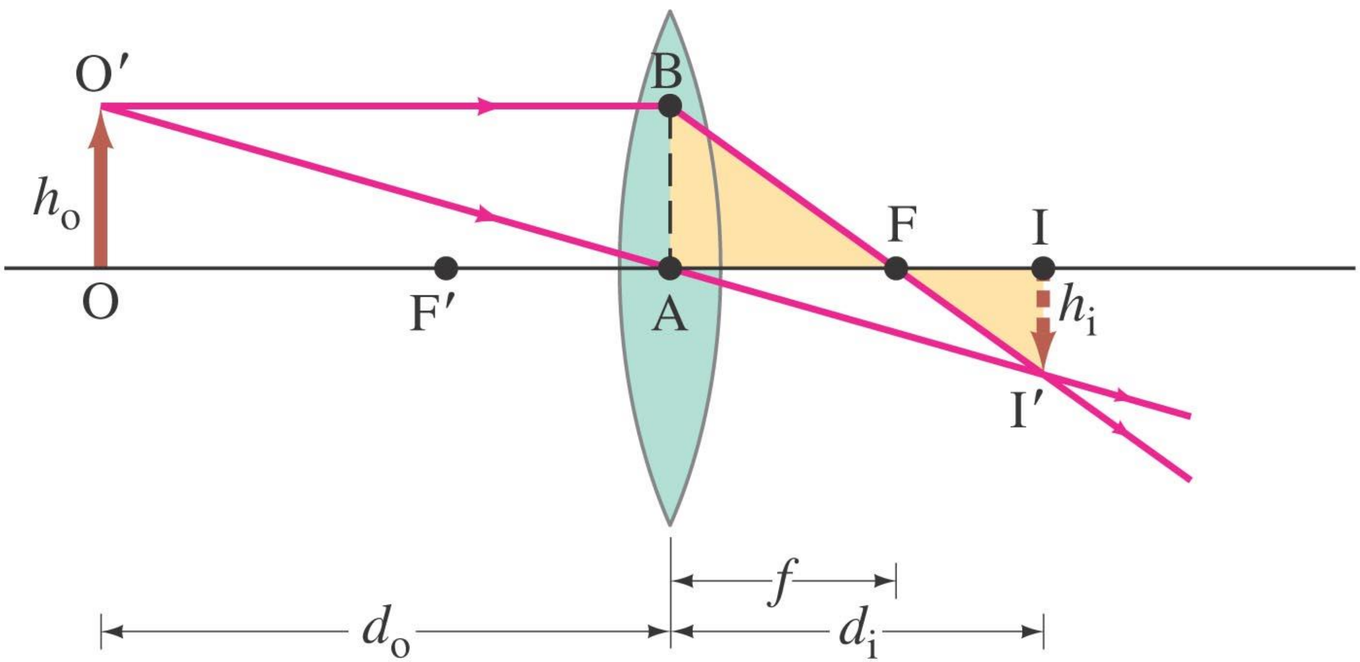


33-2 Η εξίσωση του λεπτού φακού-Μεγέθυνση

Η εξίσωση του λεπτού φακού είναι ανάλογη του κατόπτρου:

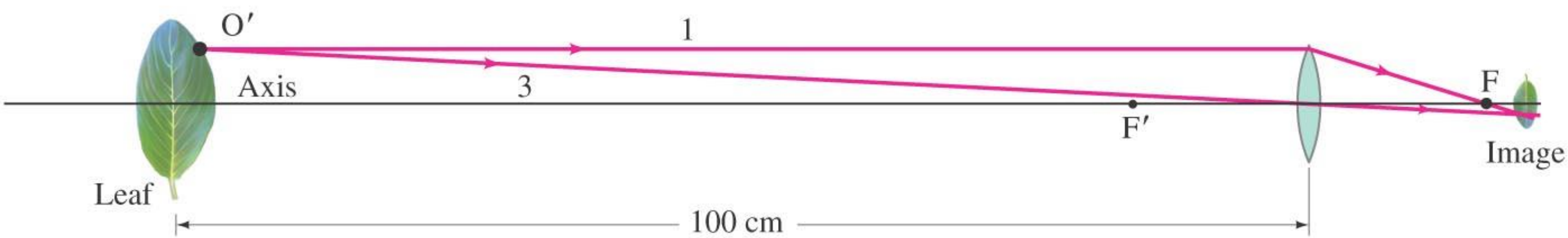
$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}.$$

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



33-2 Η εξίσωση του λεπτού φακού-Μεγέθυνση

Ποια είναι (a) η θέση και (b) το μέγεθος του ειδώλου ενός φύλου, ύψους 7.6-cm που βρίσκεται 1.00 m από φακό με εστιακή απόσταση +50.0-mm.



1. **Ray diagram.** Figure 33–11 is an approximate ray diagram, showing only rays 1 and 3 for a single point on the leaf. We see that the image ought to be a little behind the focal point F, to the right of the lens.

2. **Thin lens and magnification equations.** (*a*) We find the image position analytically using the thin lens equation, Eq. 33–2. The camera lens is converging, with $f = +5.00\,\text{cm}$, and $d_o = 100\,\text{cm}$, and so the thin lens equation gives

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{5.00\,\text{cm}} - \frac{1}{100\,\text{cm}}$$

$$= \frac{20.0 - 1.0}{100\,\text{cm}} = \frac{19.0}{100\,\text{cm}}.$$

Then, taking the reciprocal,

$$d_i = \frac{100\,\text{cm}}{19.0} = 5.26\,\text{cm},$$

or 52.6 mm behind the lens.

(*b*) The magnification is

$$m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{5.26\,\text{cm}}{100\,\text{cm}} = -0.0526,$$

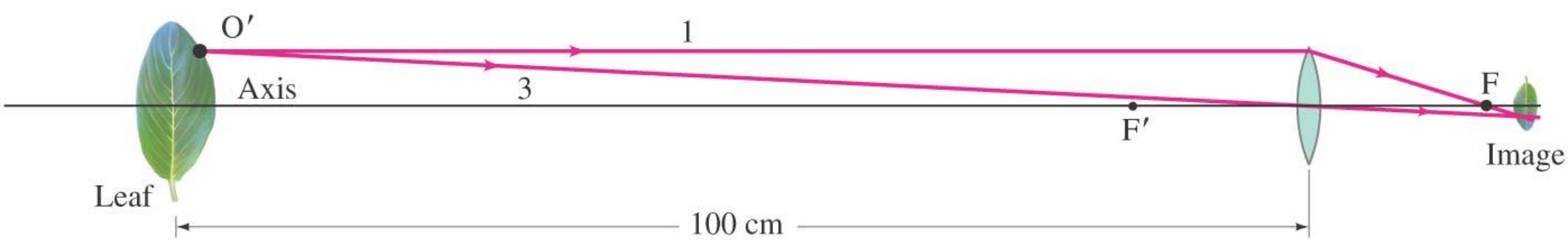
so

$$h_i = mh_o = (-0.0526)(7.6\,\text{cm}) = -0.40\,\text{cm}.$$

3. **Sign conventions.** The image distance d_i came out positive, so the image is behind the lens. The image height is $h_i = -0.40\,\text{cm}$; the minus sign means the image is inverted.

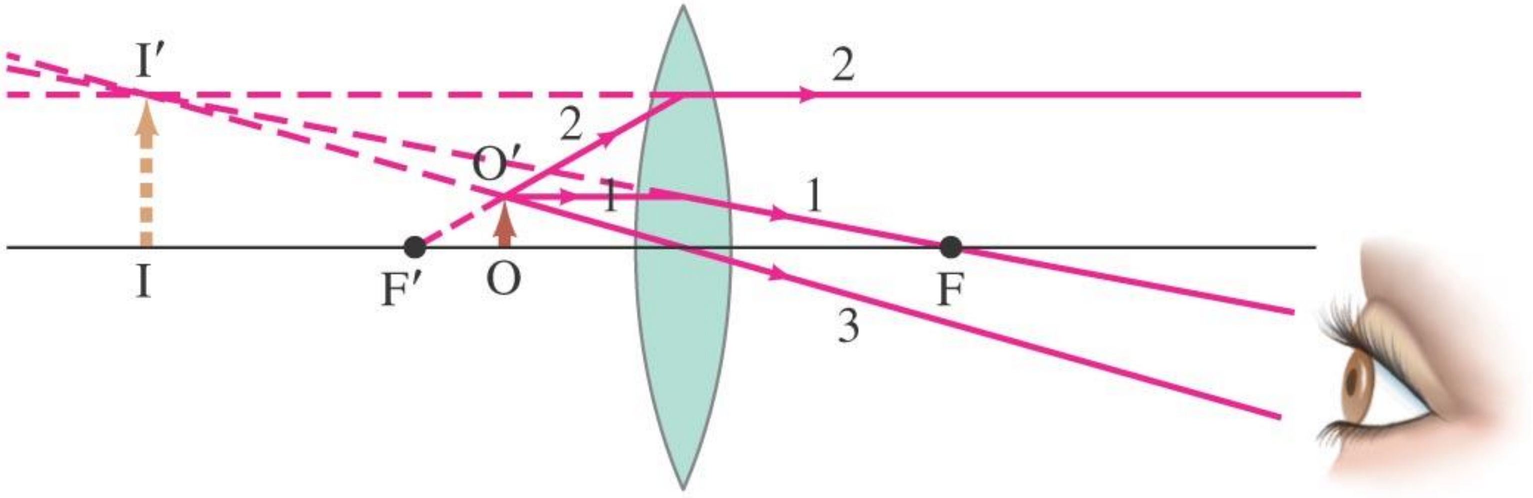
4. **Consistency.** The analytic results of steps (2) and (3) are consistent with the ray diagram, Fig. 33–11: the image is behind the lens and inverted.

NOTE Part (*a*) tells us that the image is 2.6 mm farther from the lens than the image for an object at infinity, which would equal the focal length, 50.0 mm. Indeed, when focusing a camera lens, the closer the object is to the camera, the farther the lens must be from the sensor or film.



33-2 Η εξίσωση του λεπτού φακού-Μεγέθυνση

Ένα αντικείμενο βρίσκεται 10 cm από συγκλίνοντα φακό με εστιακή απόσταση 15-cm. Βρείτε την θέση και το μέγεθος του ειδώλου (a) αναλυτικά και (b) με διάγραμμα ακτινών.



APPROACH We first use Eqs. 33–2 and 33–3 to obtain an analytic solution, and then confirm with a ray diagram using the special rays 1, 2, and 3 for a single object point.

SOLUTION (*a*) Given $f = 15\text{ cm}$ and $d_\text{o} = 10\text{ cm}$, then

$$\frac{1}{d_\text{i}} = \frac{1}{15\text{ cm}} - \frac{1}{10\text{ cm}} = -\frac{1}{30\text{ cm}},$$

and $d_\text{i} = -30\text{ cm}$. (Remember to take the reciprocal!) Because d_i is negative, the image must be virtual and on the same side of the lens as the object. The magnification

$$m = -\frac{d_\text{i}}{d_\text{o}} = -\frac{-30\text{ cm}}{10\text{ cm}} = 3.0.$$

The image is three times as large as the object and is upright. This lens is being used as a simple magnifying glass, which we discuss in more detail in Section 33–7.

(*b*) The ray diagram is shown in Fig. 33–12 and confirms the result in part (*a*). We choose point O′ on the top of the object and draw ray 1, which is easy. But ray 2 may take some thought: if we draw it heading toward F′, it is going the wrong way—so we have to draw it as if coming from F′ (and so dashed), striking the lens, and then going out parallel to the lens axis. We project it back parallel, with a dashed line, as we must do also for ray 1, in order to find where they cross. Ray 3 is drawn through the lens center, and it crosses the other two rays at the image point, I′.

NOTE From Fig. 33–12 we can see that, whenever an object is placed between a converging lens and its focal point, the image is virtual.

33-2 Η εξίσωση του λεπτού φακού-Μεγέθυνση

Που πρέπει να κάτσει ένα μικροσκοπικό έντομο ώστε το είδωλό του από ένα αποκλίνοντα φακό εστιακής απόστασης 25 cm, να σχηματιστεί 20 cm από το φακό στην ίδια πλευρά του αντικειμένου;

APPROACH The ray diagram is basically that of Fig. 33–10 because our lens here is diverging and our image is in front of the lens within the focal distance. (It would be a valuable exercise to draw the ray diagram to scale, precisely, now.) The insect's distance, d_o, can be calculated using the thin lens equation.

SOLUTION The lens is diverging, so f is negative: $f = -25\text{ cm}$. The image distance must be negative too because the image is in front of the lens (sign conventions), so $d_i = -20\text{ cm}$. Equation 33–2 gives

$$\frac{1}{d_o} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_i} = -\frac{1}{25\text{ cm}} + \frac{1}{20\text{ cm}} = \frac{-4 + 5}{100\text{ cm}} = \frac{1}{100\text{ cm}}.$$

So the object must be 100 cm in front of the lens.

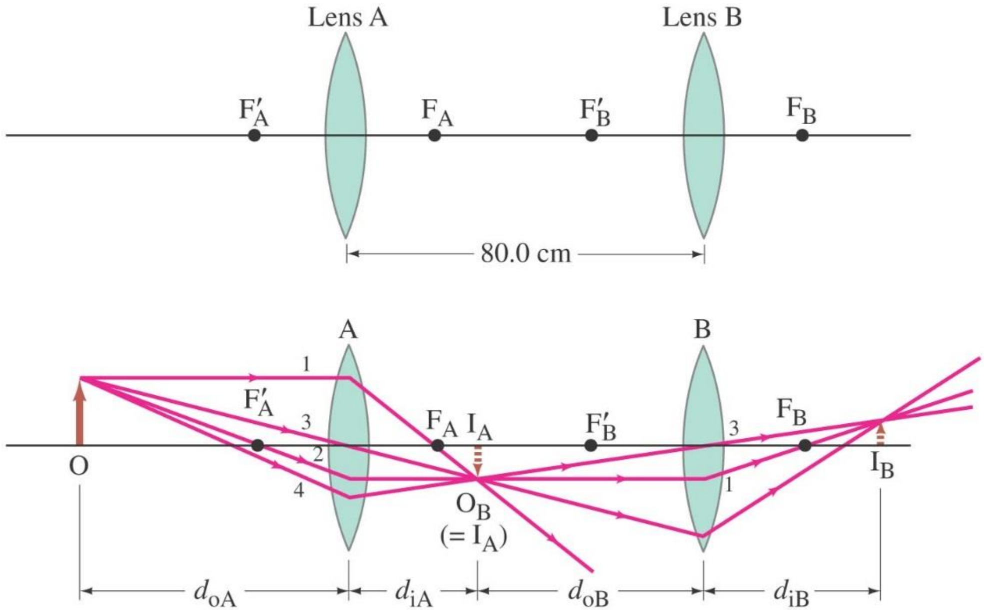
33-3 Συνδυαστικός φακός

Όταν συνδυάσουμε φακούς τότε το είδωλο του ενός αποτελεί αντικείμενου του άλλου.

Η συνολική μεγέθυνση είναι το γινόμενο των μεγεθύνσεων των φακών.

33-3 Συνδυαστικός φακός

Δύο συγκλίνοντες φακοί, A και B, με εστιακές αποστάσεις f_A = 20.0 cm και f_B = 25.0 cm, βρίσκονται σε απόσταση 80.0 cm. Εάν το αντικείμενο βρίσκεται 60.0 cm από το πρώτο φακό βρείτε (a) την θέση και (b) την μεγέθυνση του τελικού ειδώλου εξ αιτίας του συνδυασμού των φακών.



APPROACH Starting at the tip of our object O, we draw rays 1, 2, and 3 for the first lens, A, and also a ray 4 which, after passing through lens A, acts as "ray 3" (through the center) for the second lens, B. Ray 2 for lens A exits parallel, and so is ray 1 for lens B. To determine the position of the image I_A formed by lens A, we use Eq. 33–2 with $f_A = 20.0\text{ cm}$ and $d_{oA} = 60.0\text{ cm}$. The distance of I_A (lens A's image) from lens B is the object distance d_{oB} for lens B. The final image is found using the thin lens equation, this time with all distances relative to lens B. For (*b*) the magnifications are found from Eq. 33–3 for each lens in turn.

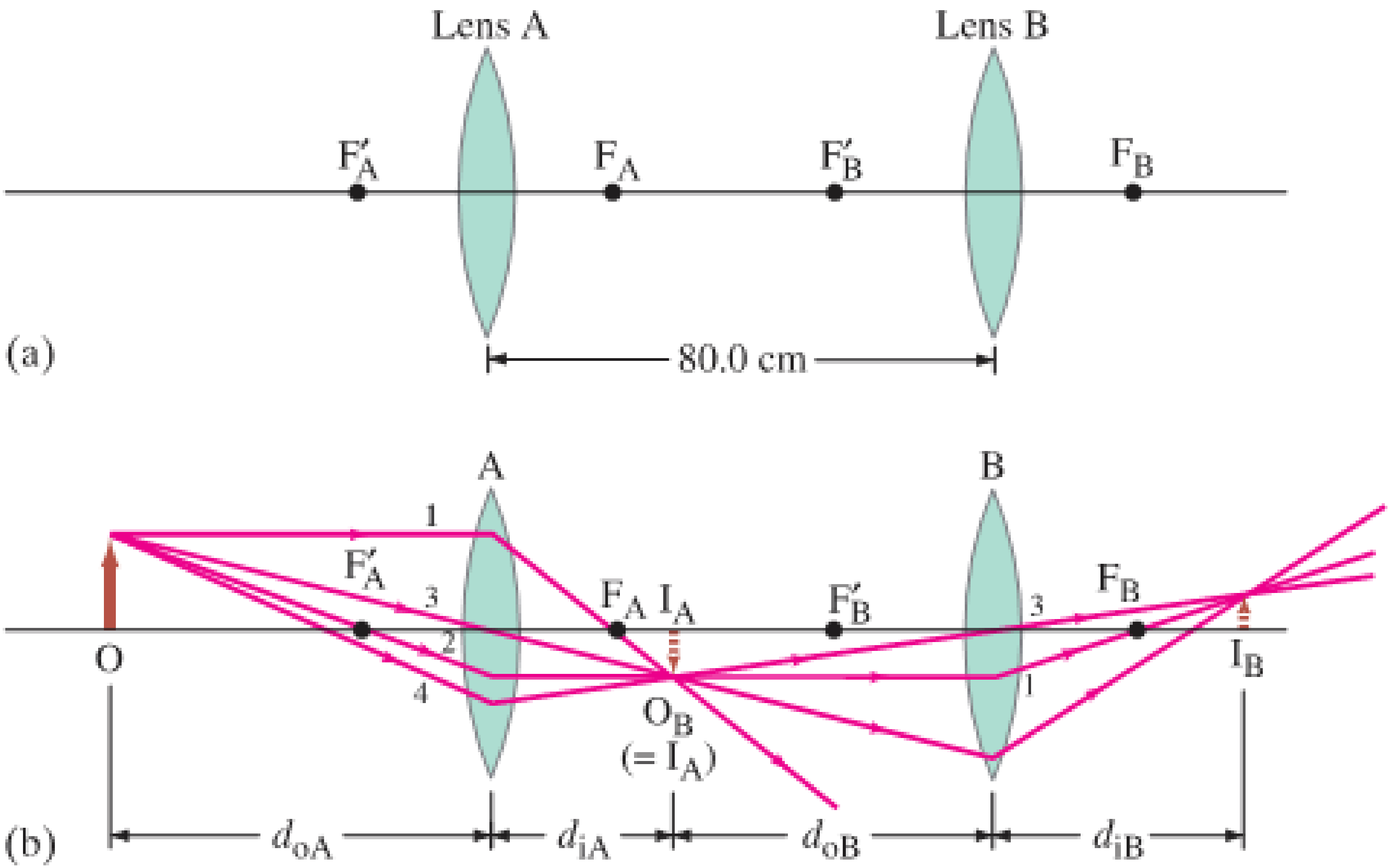
SOLUTION (*a*) The object is a distance $d_{oA} = +60.0\text{ cm}$ from the first lens, A, and this lens forms an image whose position can be calculated using the thin lens equation:

$$\frac{1}{d_{iA}} = \frac{1}{f_A} - \frac{1}{d_{oA}} = \frac{1}{20.0\text{ cm}} - \frac{1}{60.0\text{ cm}} = \frac{3-1}{60.0\text{ cm}} = \frac{1}{30.0\text{ cm}}.$$

So the first image I_A is at $d_{iA} = 30.0\text{ cm}$ behind the first lens. This image becomes the object for the second lens, B. It is a distance $d_{oB} = 80.0\text{ cm} - 30.0\text{ cm} = 50.0\text{ cm}$ in front of lens B, as shown in Fig. 33–14b. The image formed by lens B, again using the thin lens equation, is at a distance d_{iB} from the lens B:

$$\frac{1}{d_{iB}} = \frac{1}{f_B} - \frac{1}{d_{oB}} = \frac{1}{25.0\text{ cm}} - \frac{1}{50.0\text{ cm}} = \frac{2-1}{50.0\text{ cm}} = \frac{1}{50.0\text{ cm}}.$$

Hence $d_{iB} = 50.0\text{ cm}$ behind lens B. This is the final image—see Fig. 33–14b.



, A

mbers
s.

(b) Lens A has a magnification (Eq. 33–3)

$$m_A = -\frac{d_{iA}}{d_{oA}} = -\frac{30.0\text{ cm}}{60.0\text{ cm}} = -0.500.$$

Thus, the first image is inverted and is half as high as the object (again Eq. 33–3):

$$h_{iA} = m_A h_{oA} = -0.500 h_{oA}.$$

Lens B takes this image as object and changes its height by a factor

$$m_B = -\frac{d_{iB}}{d_{oB}} = -\frac{50.0\text{ cm}}{50.0\text{ cm}} = -1.000.$$

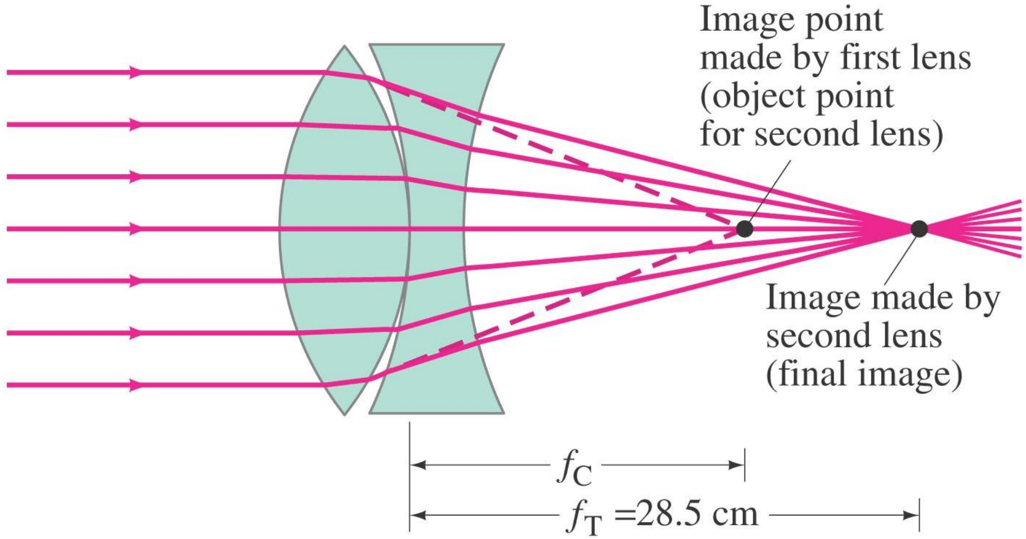
The second lens reinverts the image (the minus sign) but doesn't change its size. The final image height is (remember h_{oB} is the same as h_{iA})

$$h_{iB} = m_B h_{oB} = m_B h_{iA} = m_B m_A h_{oA} = (m_{total}) h_{oA}.$$

The total magnification is the product of m_A and m_B, which here equals $m_{total} = m_A m_B = (-1.000)(-0.500) = +0.500$, or half the original height, and the final image is upright.

33-3 Συνδυαστικός φακός

Για τον προσδιορισμό της εστιακής απόστασης ενός αποκλίνοντος φακού, χρησιμοποιούμε ένα συγκλίνοντα φακό σε «επαφή» με έναν αποκλίνοντα. Εάν η εστιακή απόσταση του συγκλίνοντα είναι f_C of 16.0 cm πόση είναι η εστιακή απόσταση του αποκλίνοντα εάν ο συνδυαστικός φακός εστιάζει στα 28.5 cm. Υποθέτουμε ότι και οι δύο φακοί είναι λεπτοί και αμελούμε την απόσταση μεταξύ τους.



APPROACH The image distance for the first lens equals its focal length (16.0 cm) since the object distance is infinity (∞). The position of this image, even though it is never actually formed, acts as the object for the second (diverging) lens. We apply the thin lens equation to the diverging lens to find its focal length, given that the final image is at $d_i = 28.5\text{ cm}$.

SOLUTION If the diverging lens was absent, the converging lens would form the image at its focal point—that is, at a distance $f_C = 16.0\text{ cm}$ behind it (dashed lines in Fig. 33–15). When the diverging lens is placed next to the converging lens, we treat the image formed by the first lens as the *object* for the second lens. Since this object lies to the right of the diverging lens, this is a situation where d_o is negative (see the sign conventions, page 871). Thus, for the diverging lens, the object is virtual and $d_o = -16.0\text{ cm}$. The diverging lens forms the image of this virtual object at a distance $d_i = 28.5\text{ cm}$ away (given). Thus,

$$\frac{1}{f_D} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{-16.0\text{ cm}} + \frac{1}{28.5\text{ cm}} = -0.0274\text{ cm}^{-1}.$$

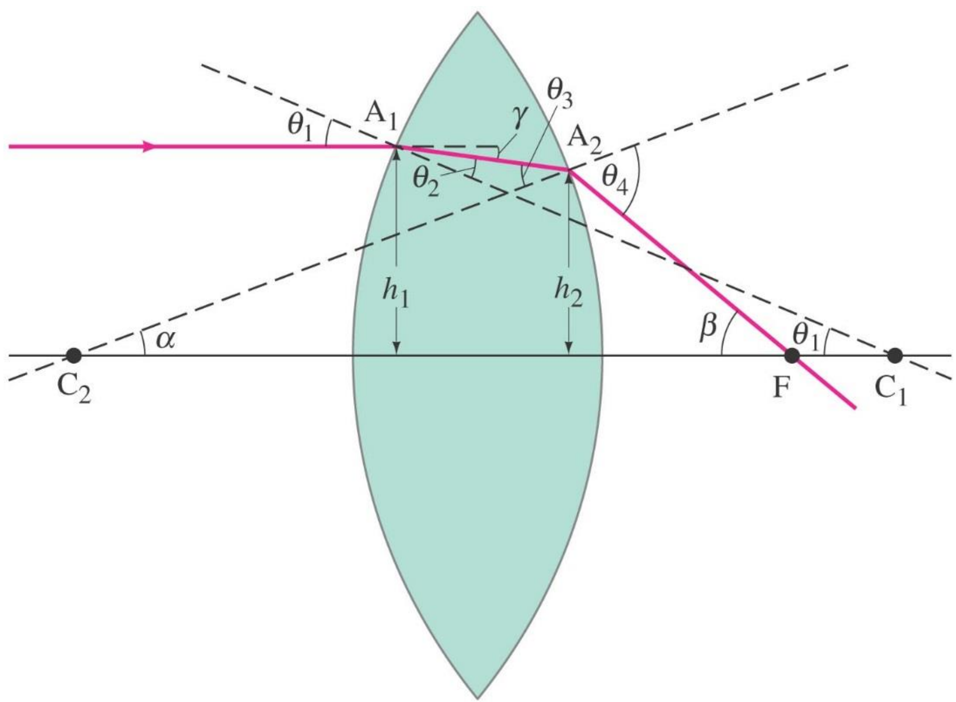
We take the reciprocal to find $f_D = -1/(0.0274\text{ cm}^{-1}) = -36.5\text{ cm}$.

NOTE If this technique is to work, the converging lens must be "stronger" than the diverging lens—that is, it must have a focal length whose magnitude is less than that of the diverging lens. (Rays from the Sun are focused 28.5 cm behind the combination, so the focal length of the total combination is $f_T = 28.5\text{ cm}$.)

33-4 Η εξίσωση του Φακού

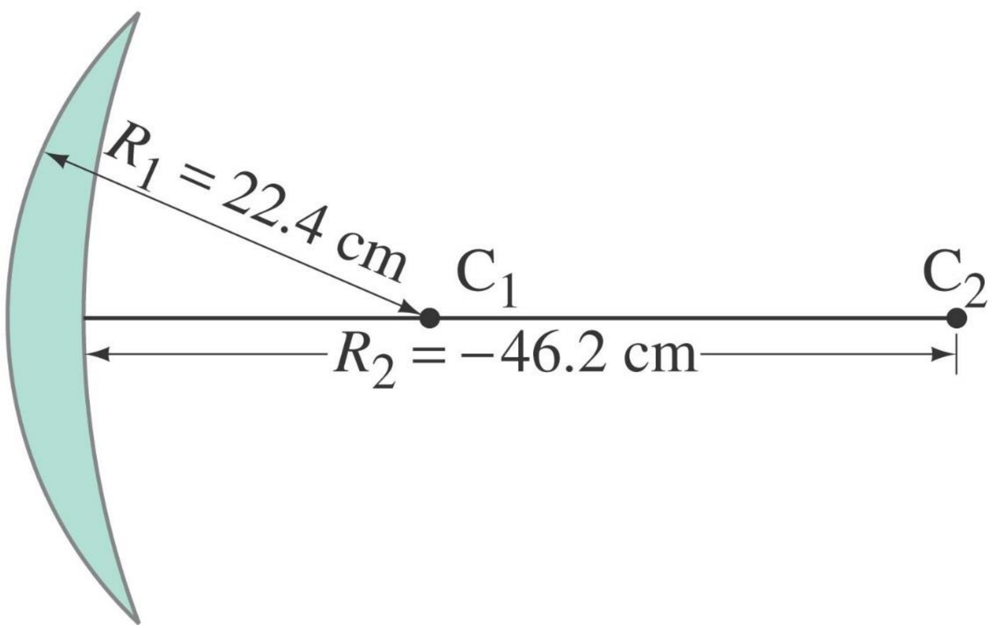
Μια χρήσιμη εξίσωση που συνδέει τις ακτίνες καμπυλότητας ενός φακού με τον δείκτη διάθλασης και την εστιακή απόσταση είναι

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



33-4 Η εξίσωση του Φακού

Ένας γυάλινος φακός «κυρτός μηνίσκος» έχει n = 1.50. Η ακτίνα της κυρτή πλευράς είναι 22.4 cm και της κοίλης 46.2 cm. (a) Ποια είναι η εστιακή απόσταση;(b) Που θα σχηματιστεί το είδωλο ενός αντικειμένου που βρίσκεται στα 2.00 m;



APPROACH We use Eq. 33–4, noting that R_2 is negative because it refers to the concave surface.

SOLUTION (*a*) $R_1 = 22.4\text{ cm}$ and $R_2 = -46.2\text{ cm}$.
Then

$$\frac{1}{f} = (1.50 - 1.00)\left(\frac{1}{22.4\text{ cm}} - \frac{1}{46.2\text{ cm}}\right)$$
$$= 0.0115\text{ cm}^{-1}.$$

So

$$f = \frac{1}{0.0115\text{ cm}^{-1}} = 87.0\text{ cm}$$

and the lens is converging. Notice that if we turn the lens around so that $R_1 = -46.2\text{ cm}$ and $R_2 = +22.4\text{ cm}$, we get the same result.

(*b*) From the lens equation, with $f = 0.870\text{ m}$ and $d_o = 2.00\text{ m}$, we have

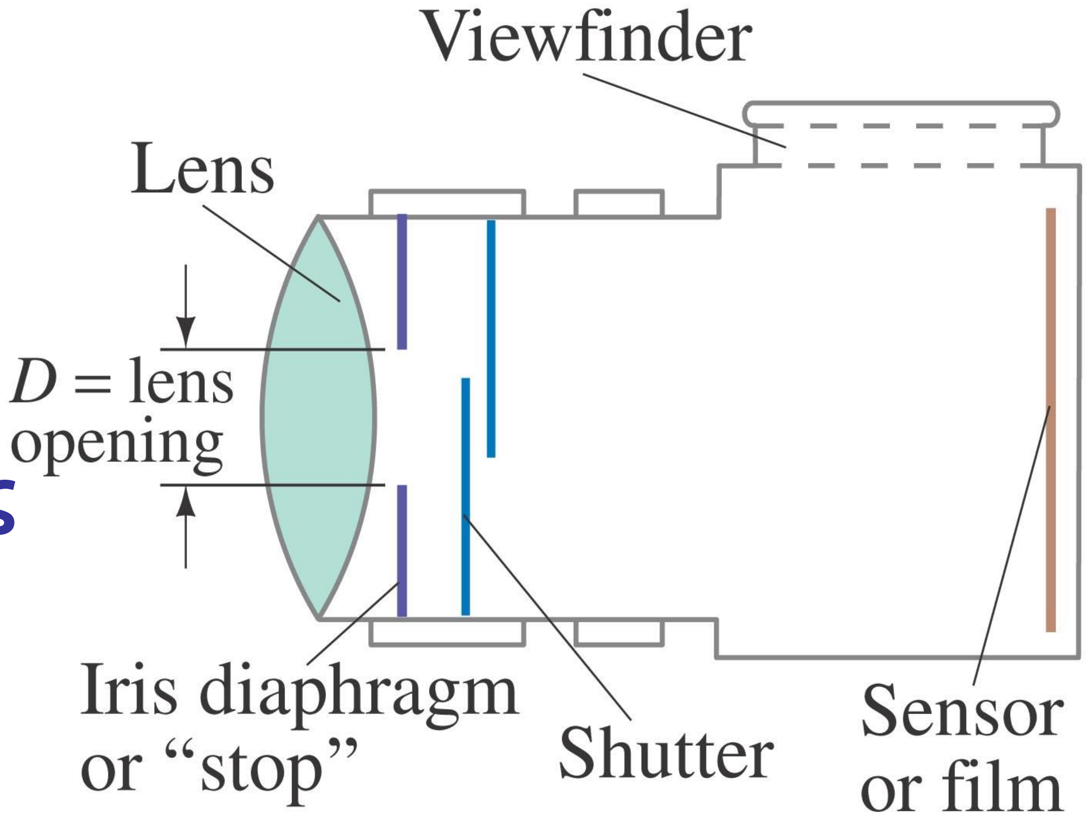
$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{0.870\text{ m}} - \frac{1}{2.00\text{ m}}$$
$$= 0.649\text{ m}^{-1},$$

so $d_i = 1/0.649\text{ m}^{-1} = 1.54\text{ m}$.

33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

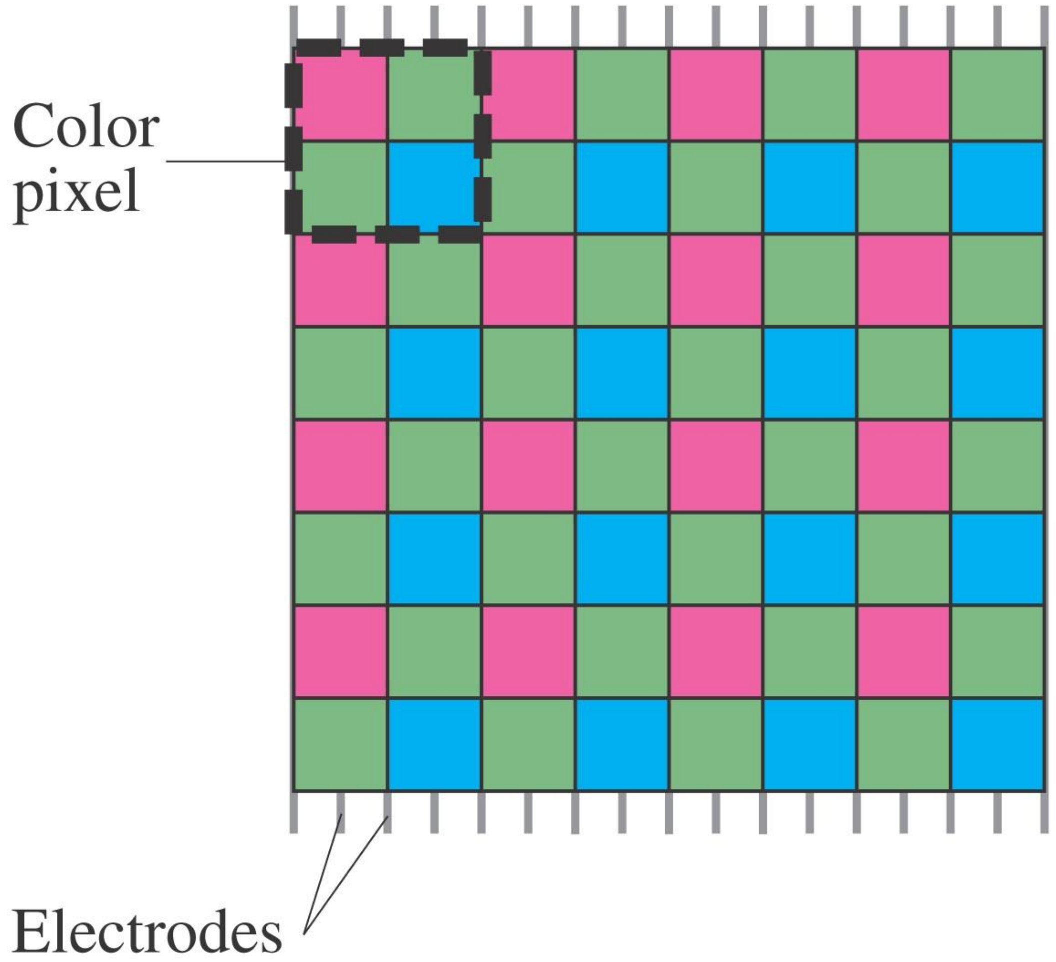
Βασικά στοιχεία:

- Φακός
- Σκοτεινό κουτί
- Ίριδα/διάφραγμα
- Φιλμ ή αισθητήρας



33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

Η ψηφιακές μηχανές χρησιμοποιούν αισθητήρες CCD (charge coupled devises) αντί για φιλμ.



33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

Ρυθμίσεις φωτογραφικών μηχανών:

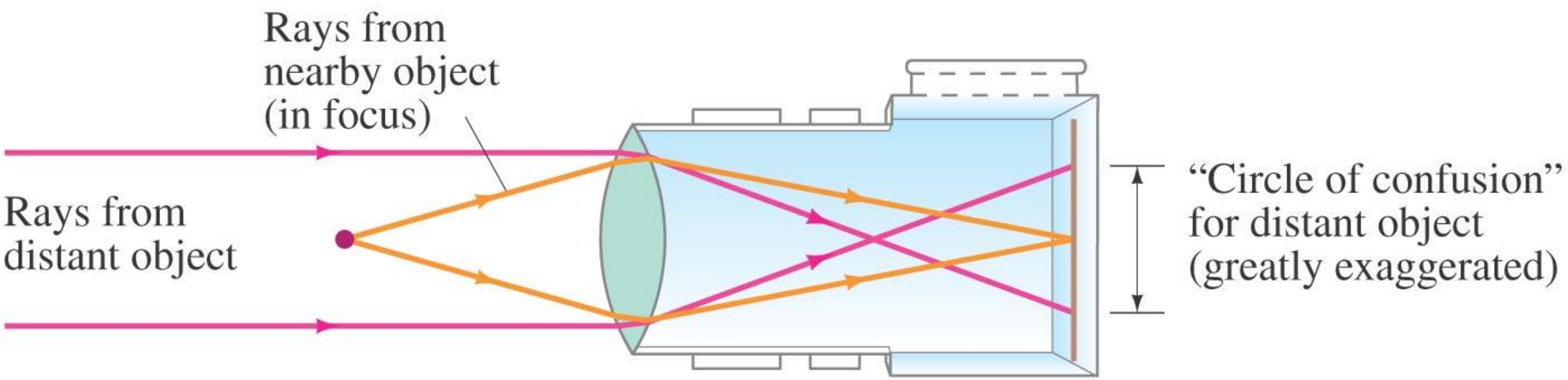
• Ταχύτητα της φωτοφράχτη (shutter): ελέγχει το χρόνο στο οποίο εκτίθεται το εσωτερικό της μηχανής στο φως.

• *f*-stop: ελέγχει το μέγεθος του διαφράγματος.

• Εστίαση: ρυθμίζει την απόσταση του φακού ώστε το είδωλο να σχηματιστεί πάνω στο φιλμ/αισθητήρα.

33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

Υπάρχει περιορισμός στις αποστάσεις όπου μια φωτογραφική μηχανή μπορεί να εστιάσει.



33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

Πόσο πρέπει να μετακινηθεί ο φακός μιας μηχανής με εστιακή απόσταση 50.0-mm, από την θέση ∞, προκειμένου να εστιάσει ένα αντικείμενο που βρίσκεται στα 3.00 m

APPROACH For an object at infinity, the image is at the focal point, by definition. For an object distance of 3.00 m, we use the thin lens equation, Eq. 33–2, to find the image distance (distance of lens to film or sensor).

SOLUTION When focused at infinity, the lens is 50.0 mm from the film. When focused at $d_o = 3.00\text{ m}$, the image distance is given by the lens equation,

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{50.0\text{ mm}} - \frac{1}{3000\text{ mm}} = \frac{3000 - 50}{(3000)(50.0)\text{ mm}} = \frac{2950}{150{,}000\text{ mm}}.$$

We solve for d_i and find $d_i = 50.8\text{ mm}$, so the lens needs to move 0.8 mm away from the film or digital sensor.

33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

Προκειμένου να βελτιώσουμε την ικανότητα εστίασης μιας μηχανής, μειώνουμε το διάφραγμα από *f* σε *f*/4 και *f*/8. Προκειμένου να διατηρήσουμε την ίδια φωτεινότητα πόσο πρέπει να γίνει η ταχύτητα του διαφράγματος;

RESPONSE The amount of light admitted by the lens is proportional to the area of the lens opening. Reducing the lens opening by two *f*-stops reduces the diameter by a factor of 2, and the area by a factor of 4. To maintain the same exposure, the shutter must be open four times as long. If the shutter speed had been $\frac{1}{500}$ s, you would have to increase the exposure time to $\frac{1}{125}$ s.

33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

Μια ψηφιακή μηχανή με 6-MP (6-megapixel) έχει μέγιστη διακριτική ικανότητα 2000 x 3000 pixels με αισθητήρα 16-mm x 24-mm. Πόσο «γρήγορος» πρέπει να είναι φακός για να εκμεταλλευτεί αυτή την διακριτική ικανότητα;

APPROACH We find the number of pixels per millimeter and require the lens to be at least that good.

SOLUTION We can either take the image height (2000 pixels in 16 mm) or the width (3000 pixels in 24 mm):

$$\frac{3000 \text{ pixels}}{24 \text{ mm}} = 125 \text{ pixels/mm.}$$

We would want the lens to be able to resolve at least 125 lines or dots per mm as well, which would be a very good lens. If the lens is not this good, fewer pixels and less memory could be used.

NOTE Increasing lens resolution is a tougher problem today than is squeezing more pixels on a CCD or CMOS. The sensor for high MP cameras must also be physically larger for greater light sensitivity (low light conditions).

33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

Μια μεγεθυμένη φωτογραφία έχει «καλή» ευκρίνεια όταν έχει ανάλυση τουλάχιστον 10 dots/mm. Εάν μια φωτογραφία που τραβήχτηκε με την μηχανή του παραδείγματος 33–10, μεγεθυνθεί σε 8 x 10-inch θα είναι ευκρινής; Ποιο το μέγιστο μέγεθος μιας εικόνας 2000 x 3000-pixel ώστε να είναι ευκρινής;

APPROACH We assume the image is 2000×3000 pixels on a 16×24-mm CCD as in Example 33–10, or 125 pixels/mm. We make an enlarged photo 8×10 in. $= 20\text{ cm} \times 25\text{ cm}$.

SOLUTION The short side of the CCD is $16\text{ mm} = 1.6\text{ cm}$ long, and that side of the photograph is 8 inches or 20 cm. Thus the size is increased by a factor of $20\text{ cm}/1.6\text{ cm} = 12.5\times$ (or $25\text{ cm}/2.4\text{ cm} \approx 10\times$). To fill the 8×10-in. paper, we assume the enlargement is $12.5\times$. The pixels are thus enlarged $12.5\times$; so the pixel count of 125/mm on the CCD becomes 10 per mm on the print. Hence an 8×10-inch print is just about the maximum possible for a sharp photograph with 6 megapixels. If you feel 7 dots per mm is good enough, you can enlarge to maybe 11×14 inches.

33-5 Φωτογραφικές Μηχανές

Υπάρχουν διάφοροι τύποι φακών

Telephoto lens: Φακοί μεγάλης εστιακής απόστασης, μεγάλες εικόνες.

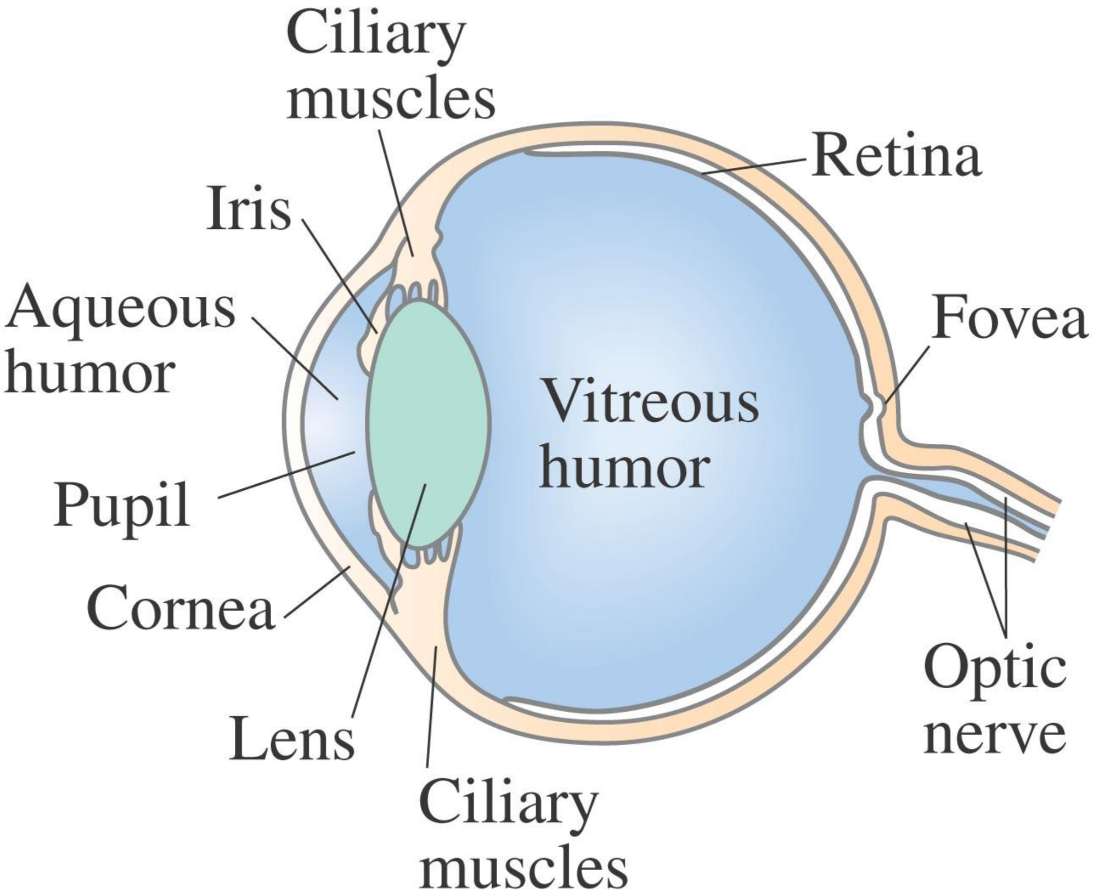
Wide-angle lens (μεγεθυντικός): μικρή εστιακή απόσταση, μεγάλες εικόνες.

Zoom lens: φακός μεταβλητής εστιακής απόστασης

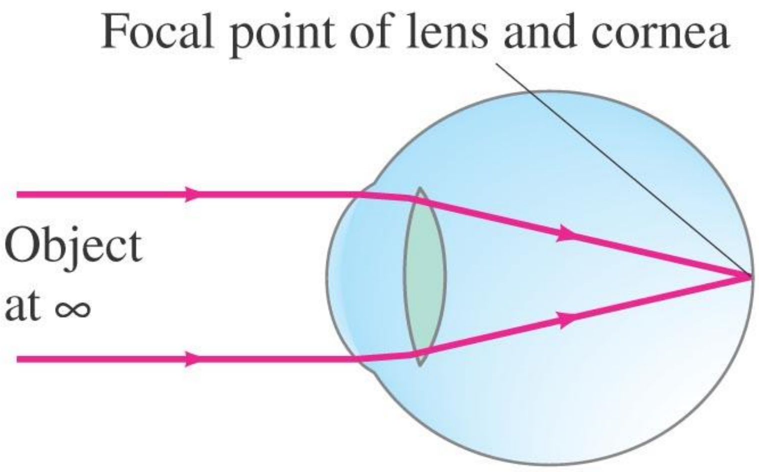
Digital zoom (in digital cameras): Μεγέθυνση pixel μείωση ευκρίνειας.

33-6 Το ανθρώπινο μάτι

Το ανθρώπινο μάτι έχει πολλές ομοιότητες με την φωτογραφική μηχανή.

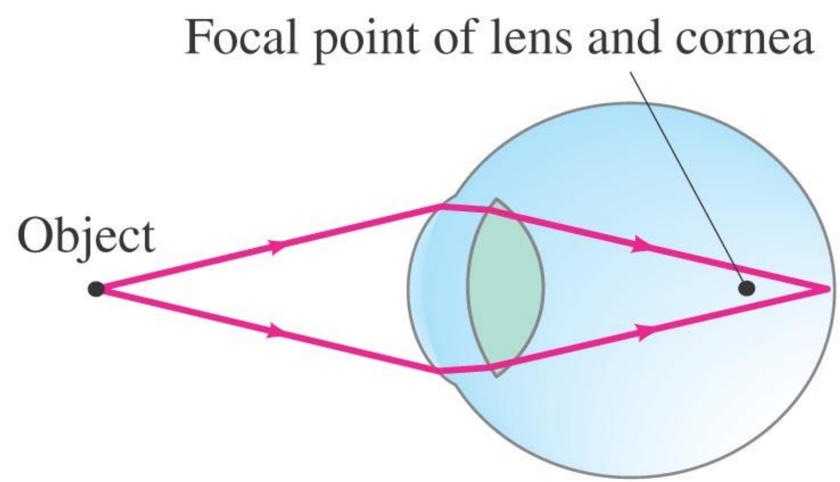


33-6 Το ανθρώπινο μάτι



Η περισσότερη διάθλαση συμβαίνει στον κερατοειδή.

Ο φακός κάνει μικρές διορθώσεις ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ευκρίνεια.



33-6 Το ανθρώπινο μάτι

Near point: η πλησιέστερη απόσταση στην οποία το μάτι μπορεί να εστιάσει. Περίπου 25 cm.

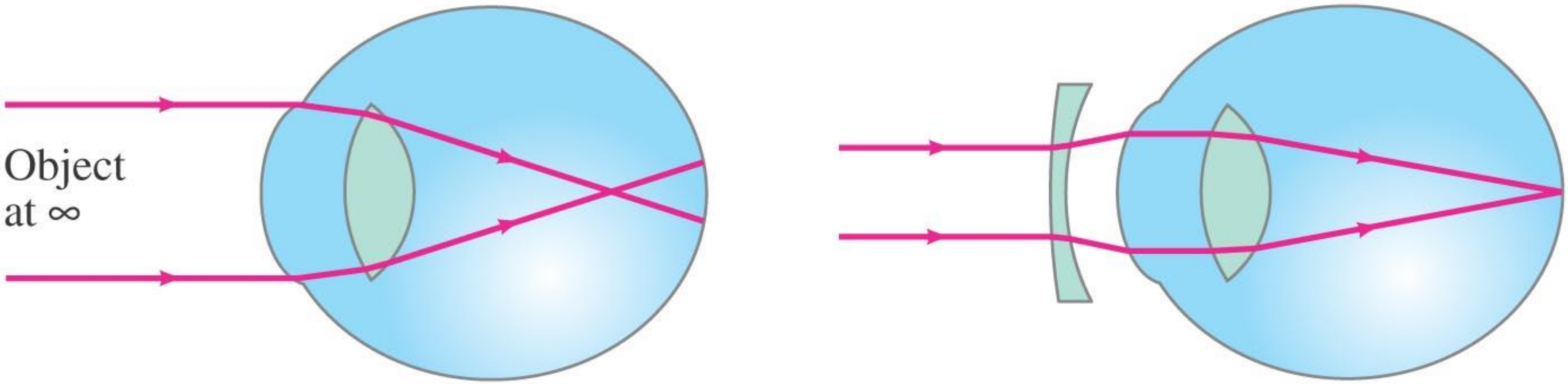
Far point: η μέγιστη απόσταση στην οποία μπορούμε να διακρίνουμε αντικείμενα.

Nearsightedness (μυωπία): far point is too close.

Farsightedness (υπερμετρωπία): near point is too far away.

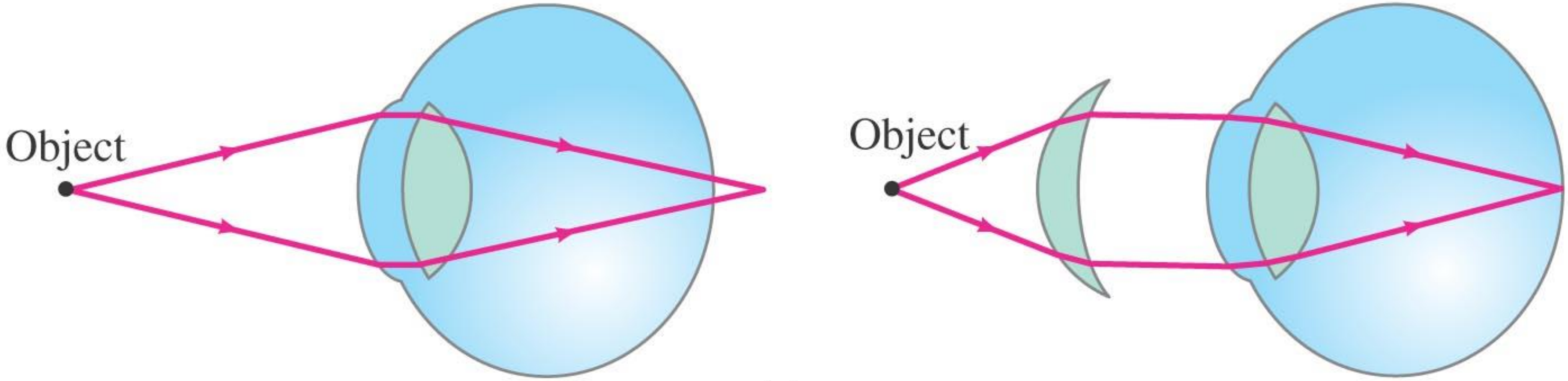
33-6 Το ανθρώπινο μάτι

Η διόρθωση της μυωπία επιτυγχάνεται με αποκλίνοντες φακούς



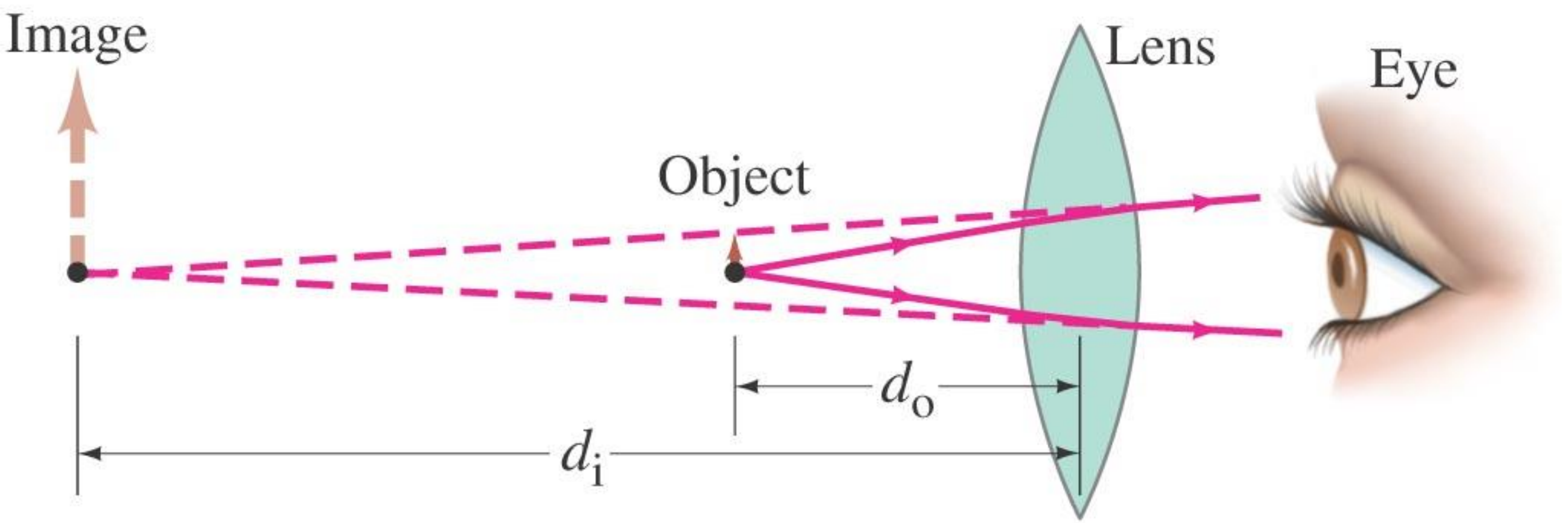
33-6 Το ανθρώπινο μάτι

Η διόρθωση της υπερμετρωπίας επιτυγχάνεται με συγκλίνοντες φακούς



33-6 Το ανθρώπινο μάτι

Η Sue είναι υπερμέτρωπας με το near point στα 100 cm. Τι γυαλιά χρειάζεται για να διαβάζει στα 25 cm; Υποθέτουμε ότι η απόσταση του γυαλιού και του ματιού είναι αμελητέα.



APPROACH When the object is placed 25 cm from the lens, we want the image to be 100 cm away on the *same* side of the lens (so the eye can focus it), and so the image is virtual, as shown in Fig. 33–29, and $d_i = -100\text{ cm}$ will be negative. We use the thin lens equation (Eq. 33–2) to determine the needed focal length. Optometrists' prescriptions specify the power ($P = 1/f$, Eq. 33–1) given in diopters $\left(1\text{ D} = 1\text{ m}^{-1}\right)$.

SOLUTION Given that $d_o = 25\text{ cm}$ and $d_i = -100\text{ cm}$, the thin lens equation gives

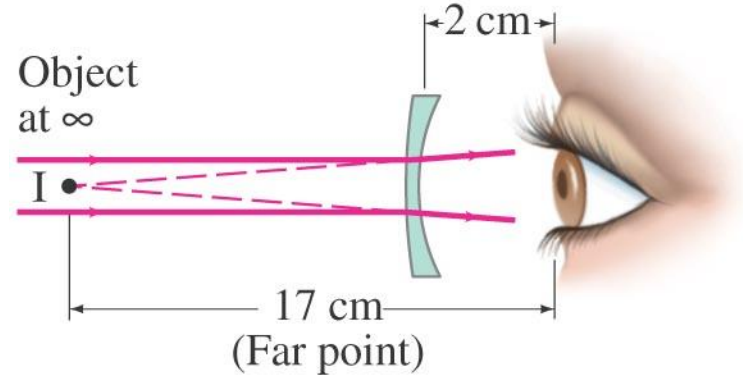
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{25\text{ cm}} + \frac{1}{-100\text{ cm}} = \frac{4-1}{100\text{ cm}} = \frac{1}{33\text{ cm}}.$$

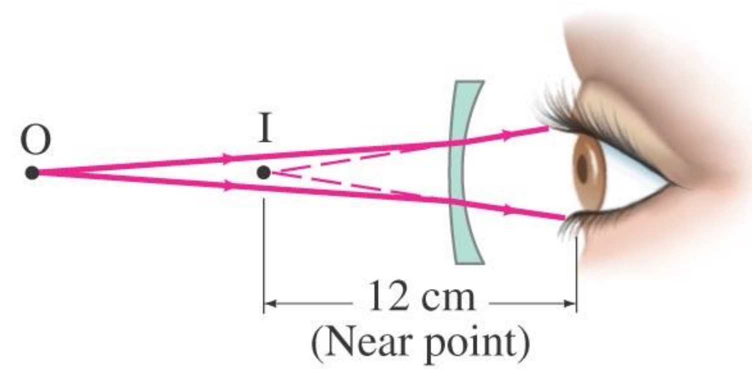
So $f = 33\text{ cm} = 0.33\text{ m}$. The power P of the lens is $P = 1/f = +3.0\text{ D}$. The plus sign indicates that it is a converging lens.

NOTE We chose the image position to be where the eye can actually focus. The lens needs to put the image there, given the desired placement of the object (newspaper).

33-6 Το ανθρώπινο μάτι

Ένα μυωπικό μάτι έχει near και far points στα 12 cm και 17 cm, αντίστοιχα. (a) Τι φακός απαιτείται για να βλέπει καλά μακριά; (b) πόσο γίνεται τώρα το near point; Υποθέστε ότι ο φακός του γυαλιού βρίσκεται 2.0 cm από το μάτι.





APPROACH For a distant object $(d_o = \infty)$, the lens must put the image at the far point of the eye as shown in Fig. 33–30a, 17 cm in front of the eye. We can use the thin lens equation to find the focal length of the lens, and from this its lens power. The new near point (as shown in Fig. 33–30b) can be calculated for the lens by again using the thin lens equation.

SOLUTION (*a*) For an object at infinity $(d_o = \infty)$, the image must be in front of the lens 17 cm from the eye or $(17\text{ cm} - 2\text{ cm}) = 15\text{ cm}$ from the lens; hence $d_i = -15\text{ cm}$. We use the thin lens equation to solve for the focal length of the needed lens:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-15\text{ cm}} = -\frac{1}{15\text{ cm}}.$$

So $f = -15\text{ cm} = -0.15\text{ m}$ or $P = 1/f = -6.7\text{ D}$. The minus sign indicates that it must be a diverging lens for the myopic eye.

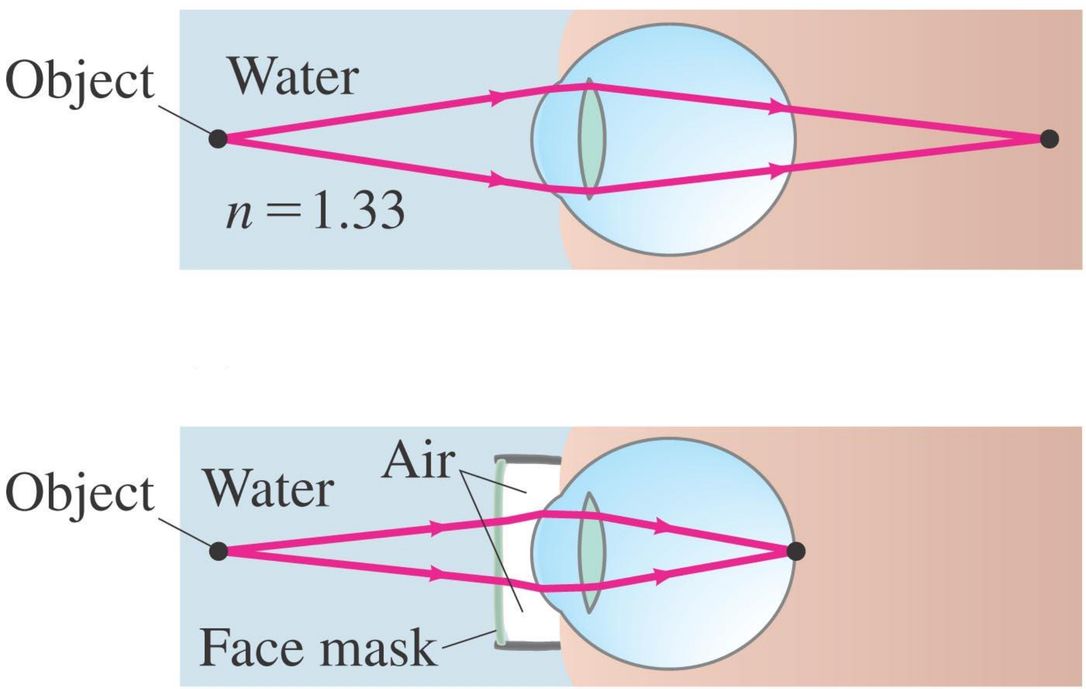
(*b*) The near point when glasses are worn is where an object is placed (d_o) so that the lens forms an image at the "near point of the naked eye," namely 12 cm from the eye. That image point is $(12\text{ cm} - 2\text{ cm}) = 10\text{ cm}$ in front of the lens, so $d_i = -0.10\text{ m}$ and the thin lens equation gives

$$\frac{1}{d_o} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_i} = -\frac{1}{0.15\text{ m}} + \frac{1}{0.10\text{ m}} = \frac{-2 + 3}{0.30\text{ m}} = \frac{1}{0.30\text{ m}}.$$

So $d_o = 30\text{ cm}$, which means the near point when the person is wearing glasses is 30 cm in front of the lens, or 32 cm from the eye.

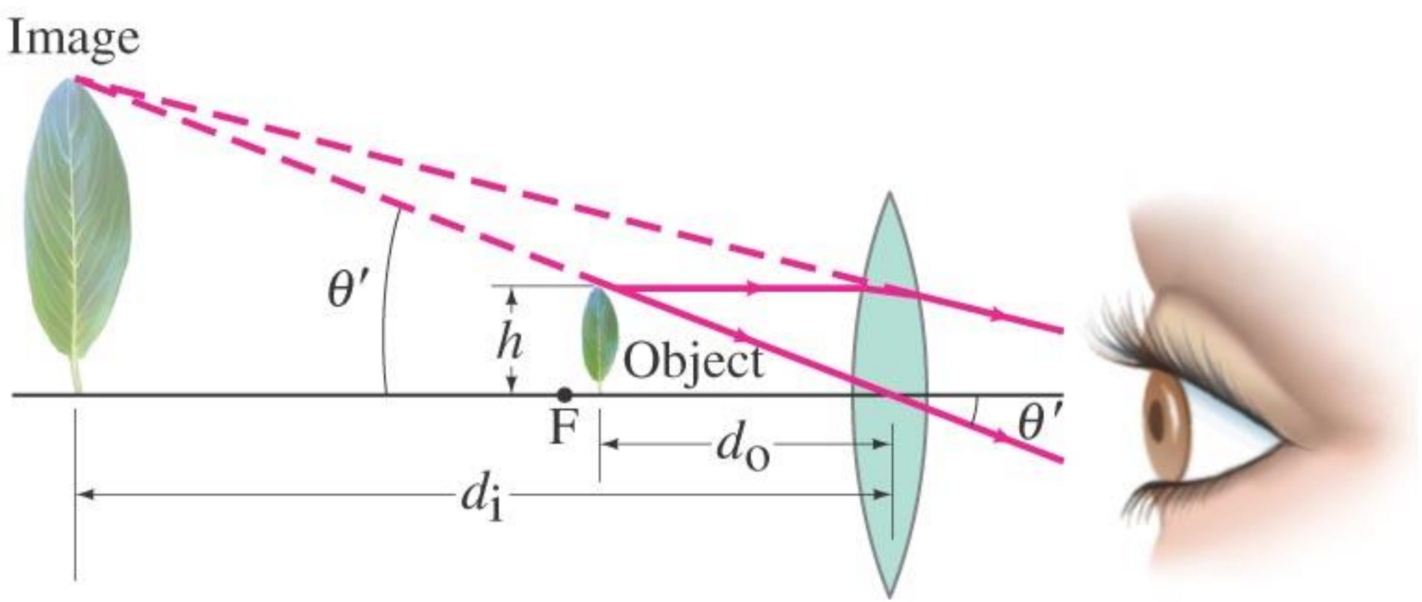
33-6 Το ανθρώπινο μάτι

Ο λόγος που τα αντικείμενα εμφανίζονται θολά κάτω από το νερό είναι διότι η διάθλαση στην διαχωριστική επιφάνεια αέρα-ματιού είναι διαφορετική από αυτήν του νερού-ματιού. Όταν φοράμε μάσκα βλέπουμε ξανά καθαρά.



33-7 Μεγεθυντικός Φακός

Ο **μεγεθυντικός φακός** είναι συγκλίνοντας φακός που επιτρέπει την εστίαση αντικειμένων σε κοντύτερες αποστάσεις από το **near point**. Έτσι τα αντικείμενα φαίνονται μεγαλύτερα και μοιάζουνε ποιο ευκρινή.



33-7 Μεγεθυντικός Φακός

Η ισχύς ενός μεγεθυντικού φακού προσδιορίζεται από την γωνιακή του μεγέθυνση:

$$M = \frac{\theta'}{\theta}.$$

Όταν το μάτι είναι χαλαρό (N είναι το near point και f η εστιακή απόσταση):

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{h/f}{h/N} = \frac{N}{f}. \qquad \left[\begin{array}{c} \text{eye focused at } \infty; \\ N = 25 \text{ cm for normal eye} \end{array}\right]$$

Όταν το μάτι εστιάζει στο near point

$$M = \frac{N}{f} + 1. \qquad \left[\begin{array}{c} \text{eye focused at near point, } N; \\ N = 25 \text{ cm for normal eye} \end{array}\right]$$

33-7 Τηλεσκόπια

Ένας συγκλίνοντας φακός με 8-cm εστιακή απόσταση χρησιμοποιείται από ένα χρυσοχόο ("jeweler's loupe") για μεγεθυντικό φακό. Βρείτε (a) την μεγέθυνση όταν το μάτι είναι χαλαρό (b) όταν το μάτι εστιάζει στο near point N = 25 cm.

APPROACH The magnification when the eye is relaxed is given by Eq. 33–6a. When the eye is focused at its near point, we use Eq. 33–6b and we assume the lens is near the eye.

SOLUTION (*a*) With the relaxed eye focused at infinity,

$$M = \frac{N}{f} = \frac{25\text{ cm}}{8\text{ cm}} \approx 3\times.$$

(*b*) The magnification when the eye is focused at its near point ($N = 25$ cm), and the lens is near the eye, is

$$M = 1 + \frac{N}{f} = 1 + \frac{25}{8} \approx 4\times.$$

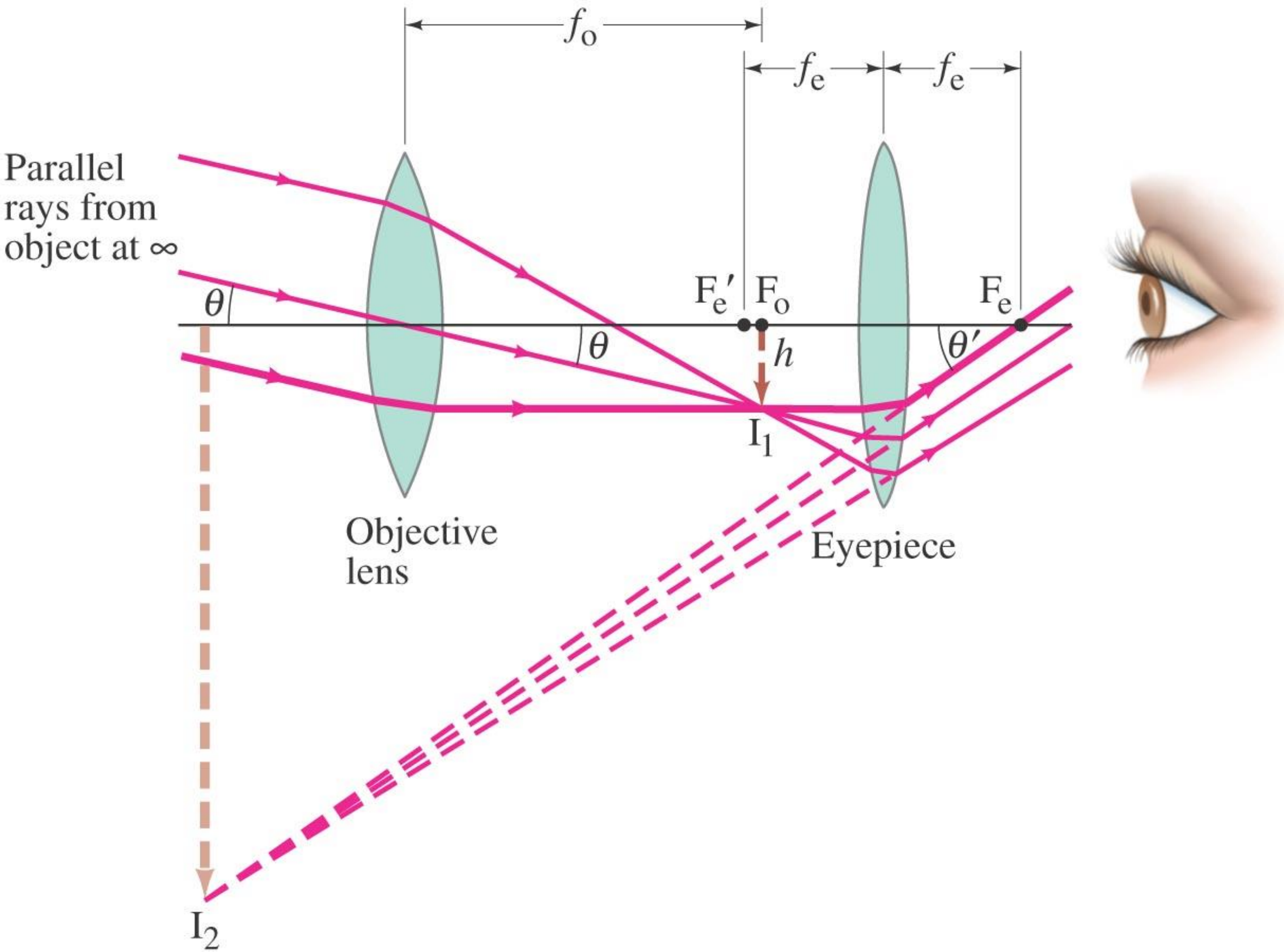
33-8 Τηλεσκόπια

Ένα διαθλαστικό τηλεσκόπιο αποτελείται από δύο φακούς στις άκρες ενός σωλήνα.

Η μεγέθυνση δίδεται από την σχέση

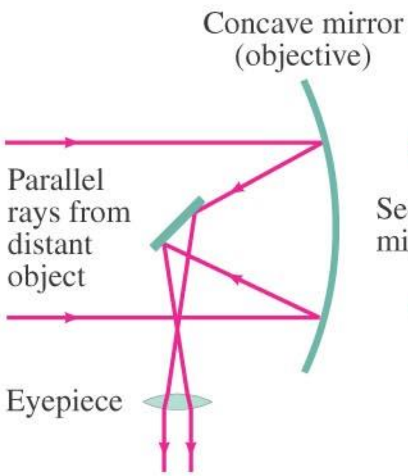
$$M = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{(h/f_e)}{(h/f_o)} = -\frac{f_o}{f_e}. \qquad \text{[telescope]}$$

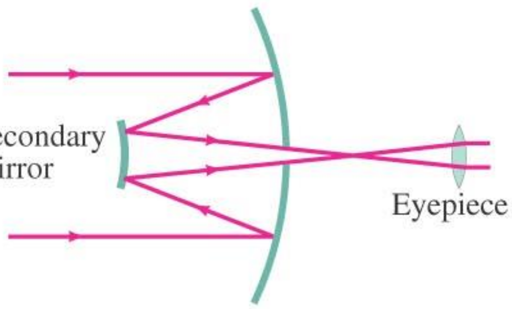
33-8 Τηλεσκόπια



33-8 Τηλεσκόπια

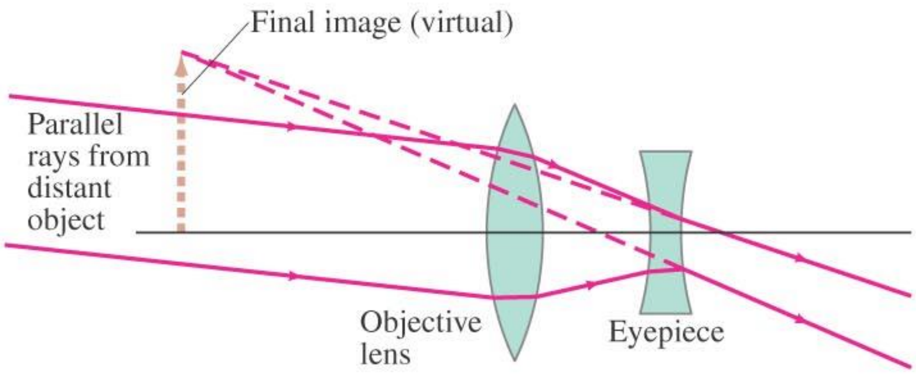
Τα τηλεσκόπια των αστρονόμων πρέπει να συγκεντρώνουν όσο το δυνατόν περισσότερο φως. Έτσι ο **αντικειμενικός φακός** (ο τελευταίος προς το αντικείμενο) σχεδιάζεται με την μεγαλύτερη δυνατόν διάμετρο και ακρίβεια.

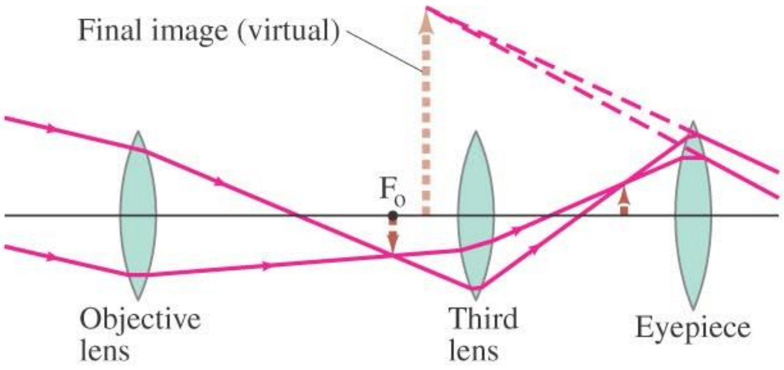




33-8 Τηλεσκόπια

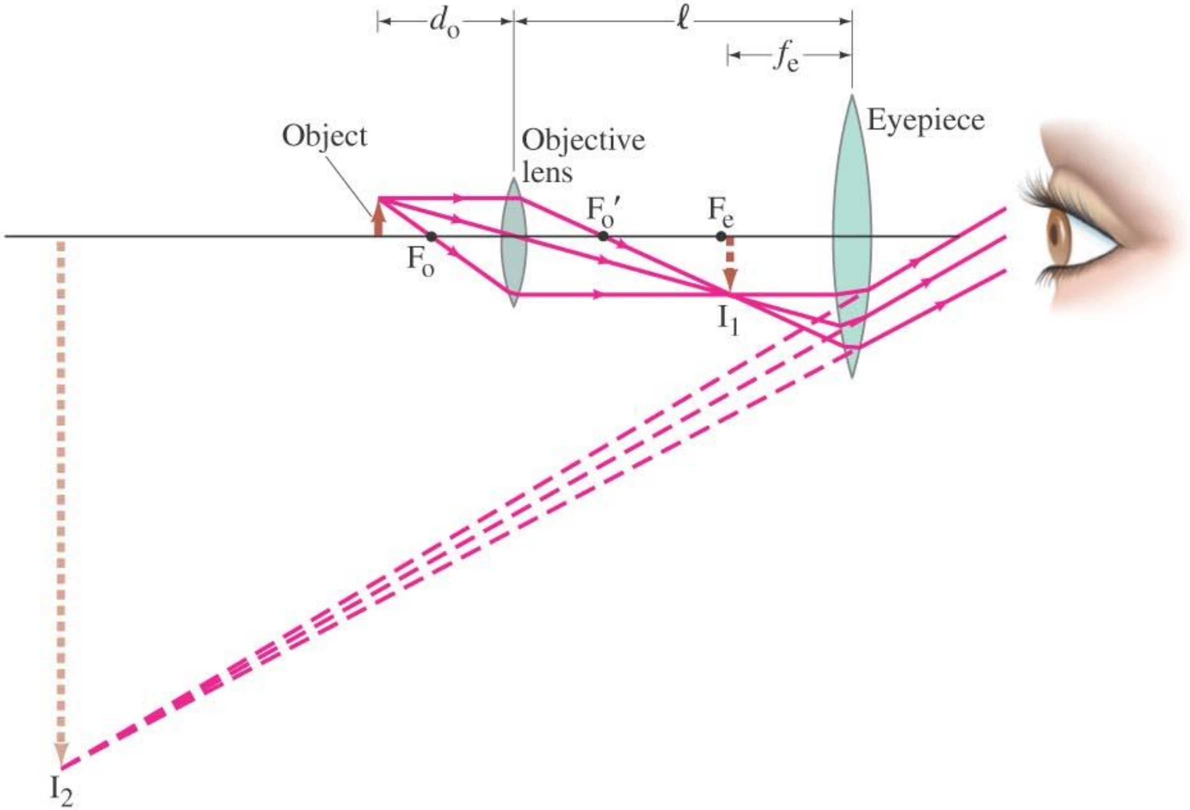
Επίγεια τηλεσκόπια χρησιμοποιούνται για την φωτογράφηση (χαρτογράφηση) της γης. Καλό είναι τα είδωλα να είναι όρθια. Υπάρχουν δύο μοντέλα: Galilean και spyglass:





33-9 Σύνθετο Μικροσκόπιο

Το σύνθετο μικροσκόπιο μοιάζει με το τηλεσκόπιο με τη διαφορά ότι το αντικείμενο βρίσκεται πολύ κοντά στον αντικειμενικό φακό.



33-9 Σύνθετο Μικροσκόπιο

Η μεγέθυνση του μικροσκοπίου δίδεται από την σχέση

$$M = M_e m_o = \left(\frac{N}{f_e}\right)\left(\frac{\ell - f_e}{d_o}\right) \qquad \text{[microscope]}$$

$$\approx \frac{N\ell}{f_e f_o}. \qquad [f_o \text{ and } f_e \ll \ell]$$

33-9 Σύνθετο Μικροσκόπιο

A compound microscope consists of a 10X eyepiece and a 50X objective 17.0 cm apart. Determine (a) the overall magnification, (b) the focal length of each lens, and (c) the position of the object when the final image is in focus with the eye relaxed. Assume a normal eye, so N = 25 cm.

APPROACH The overall magnification is the product of the eyepiece magnification and the objective magnification. The focal length of the eyepiece is found from Eq. 33–6a or 33–9 for the magnification of a simple magnifier. For the objective lens, it is easier to next find d_o (part *c*) using Eq. 33–8 before we find f_o.

SOLUTION (*a*) The overall magnification is $(10\times)(50\times) = 500\times$.
(*b*) The eyepiece focal length is (Eq. 33–9) $f_e = N/M_e = 25\text{ cm}/10 = 2.5\text{ cm}$. Next we solve Eq. 33–8 for d_o, and find

$$d_o = \frac{\ell - f_e}{m_o} = \frac{(17.0\text{ cm} - 2.5\text{ cm})}{50} = 0.29\text{ cm}.$$

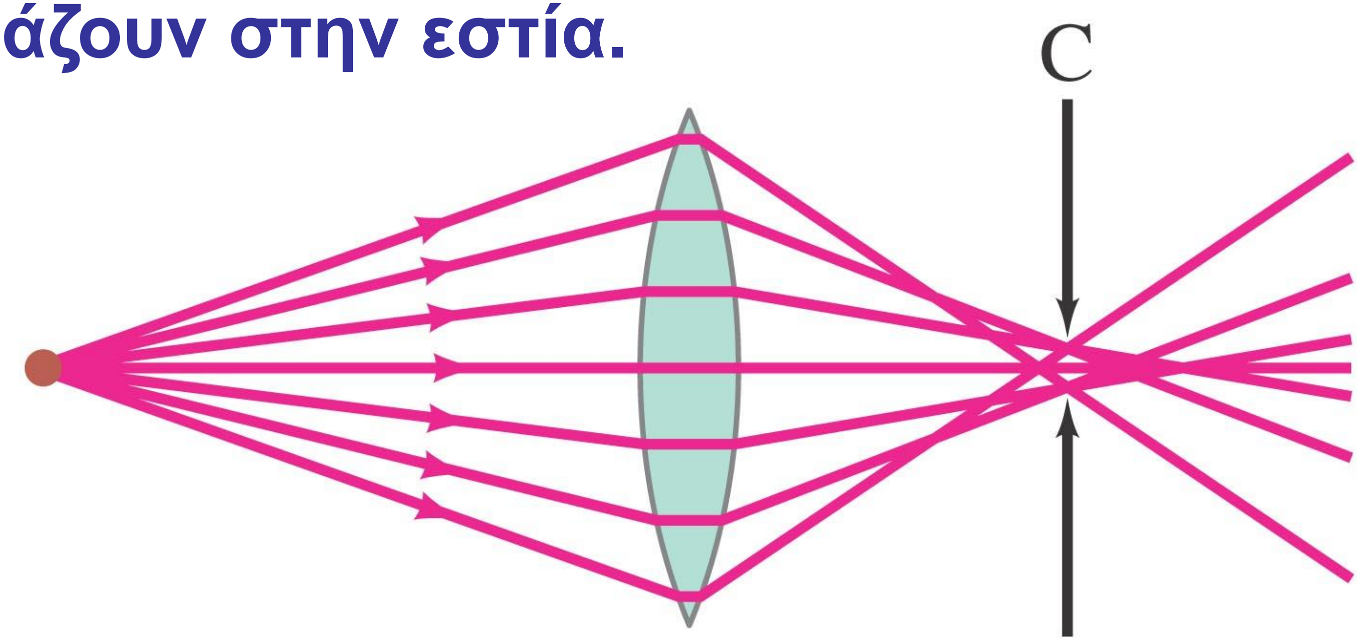
Then, from the thin lens equation for the objective with $d_i = \ell - f_e = 14.5\text{ cm}$ (see Fig. 33–40a),

$$\frac{1}{f_o} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{0.29\text{ cm}} + \frac{1}{14.5\text{ cm}} = 3.52\text{ cm}^{-1};$$

so $f_o = 1/(3.52\text{ cm}^{-1}) = 0.28\text{ cm}$.
(*c*) We just calculated $d_o = 0.29\text{ cm}$, which is very close to f_o.

33-10 Σφάλματα Φακών και Κατόπτρων

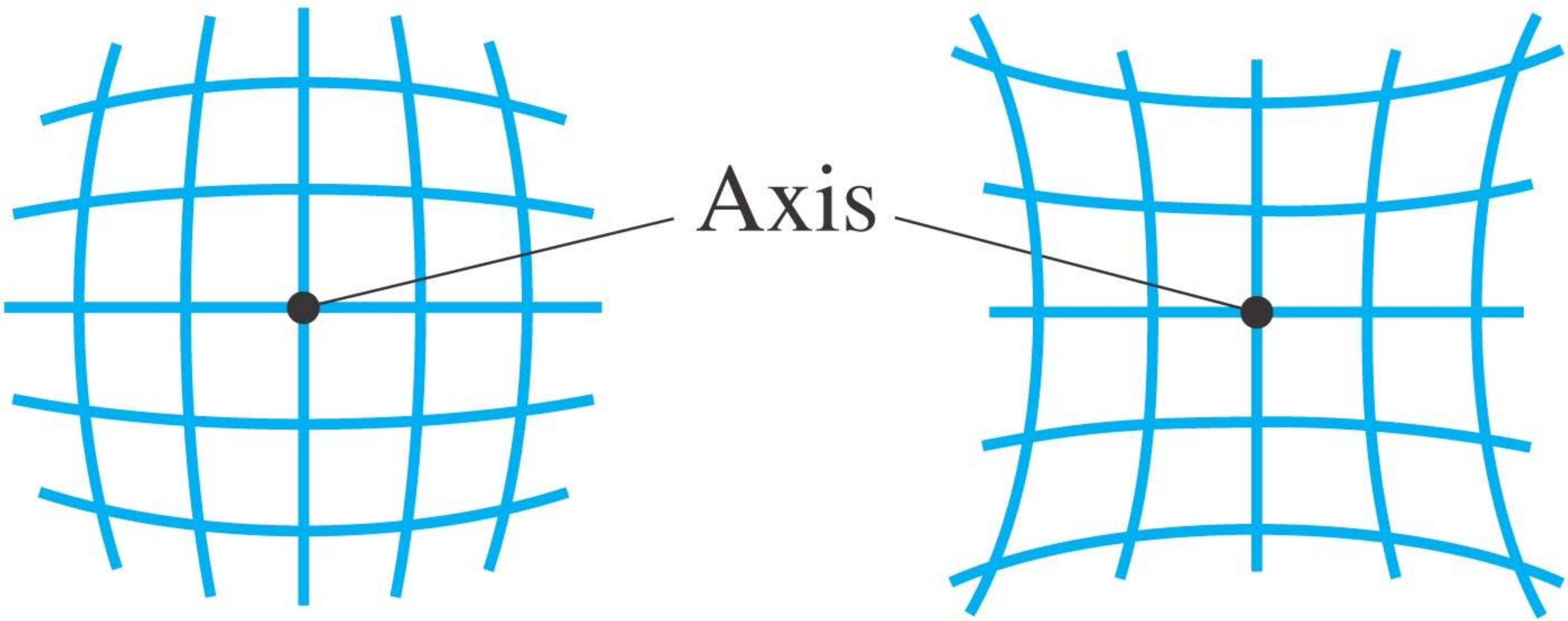
Σφαιρικό σφάλμα: ακτίνες σε μεγάλη διάμετρο (απόσταση από το κέντρο του φακού) δεν εστιάζουν στην εστία.



Λύση: συνδυαστική φακοί και περιορισμός χρήσης μόνο στο κεντρικό κομμάτι του φακού.

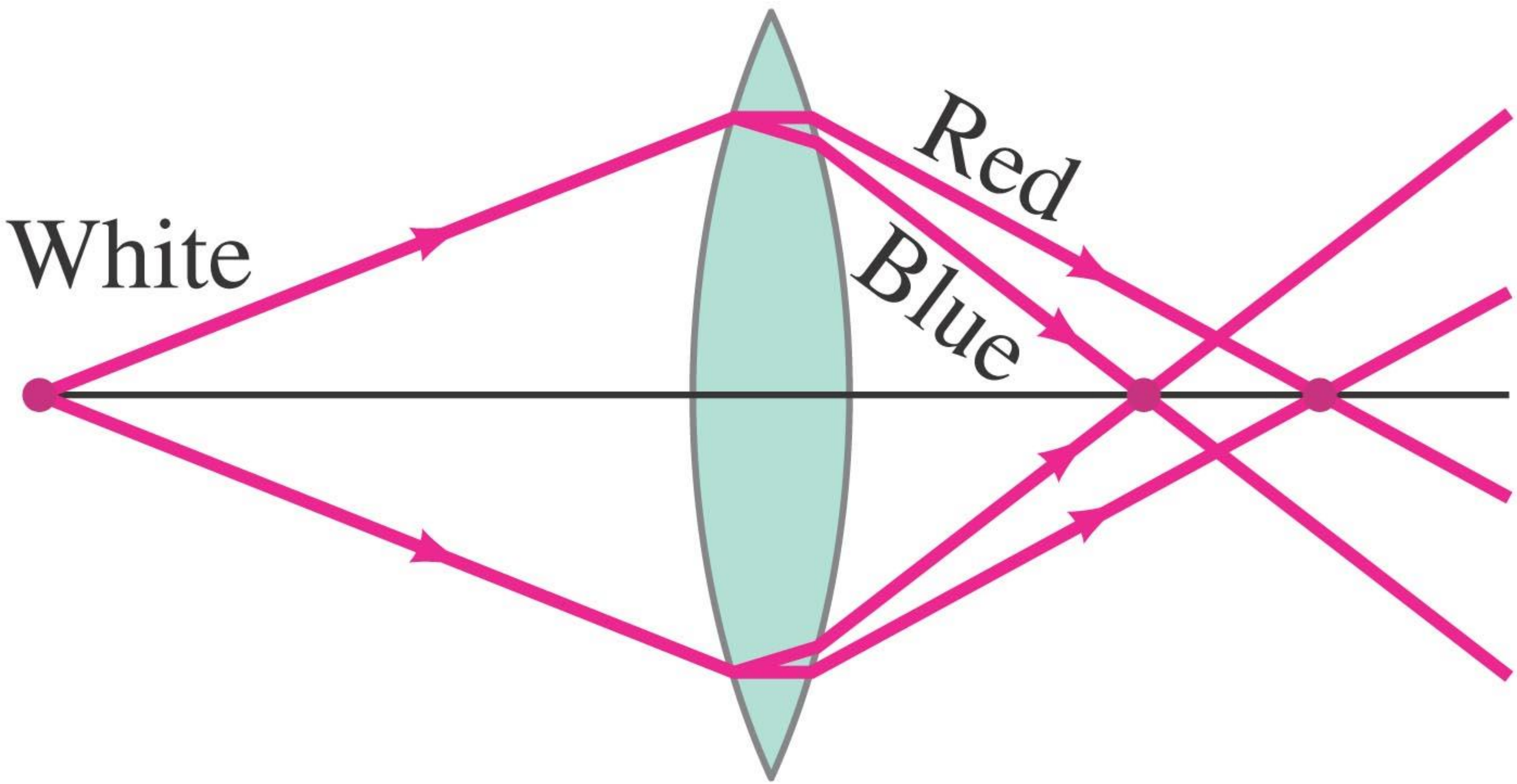
33-10 Σφάλματα Φακών και Κατόπτρων

Παραμόρφωση: μεταβολή της μεγέθυνσης με την απόσταση από το κέντρο του φακού.



33-10 Σφάλματα Φακών και Κατόπτρων

Σφάλμα Χρώμα (χρωματική εκτροπή): τα διάφορα χρώματα έχουν διαφορετική εστιακή απόσταση εξ αιτίας των διαφορετικών δεικτών διάθλασης.



33-10 Σφάλματα Φακών και Κατόπτρων

Λύση: Χρησιμοποιούμε συνδυαστικούς φακούς φτιαγμένους από διαφορετικά υλικά