الفصل الثاني عشر
Chapter Twelve

البصريات الهندسية
Geometrical Optics

obeikandl.com

obeikandl.com

مسألة (12.1) *Problem*

سقطت حزمة ضوئية على مستو صقيل لوجه المايكا حيث كانت تصنع زاوية مقدارها (31.25^o) مع العمود المقام على سطح المستوى ، تتكون هذه الحزمة من طولين موجيين الأول ($404.7\ nm$) ومعامل انكسار المايكا له (1.4697) والثاني ($508.6\ nm$) ومعامل الانكسار له (1.4619).

أوجد قيمة الزاوية بين الشعاعين المنكسرين ، إذا علمت أن معامل الانكسار للهواء هو (1.0003).

الحل *Solution*

باستخدام قانون الانكسار : $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$

حيث إن : n_1 : معامل الانكسار للهواء.

n_2 : معامل الانكسار للمايكا.

من الواضح أن لكل من الموجتين معامل انكسار مختلف، إذن لابد من إيجاد زاوية الانكسار لكل منهما ، ومن ثم إيجاد الفرق بينهما :

الطول الأول : $1.0003 \sin(31.25)^o = 1.4697 \sin(\theta_{21})$

$$\theta_{21} = \sin^{-1}\left[\left(\frac{1.0003}{1.4697}\right)\sin 31.25\right]$$

$$= 20.676^o$$

الطول الثاني : $1.0003 \sin(31.25)^o = 1.4697 \sin(\theta_{22})$

$$\theta_{22} = \sin^{-1}\left[\left(\frac{1.0003}{1.4697}\right)\sin 31.25\right]$$

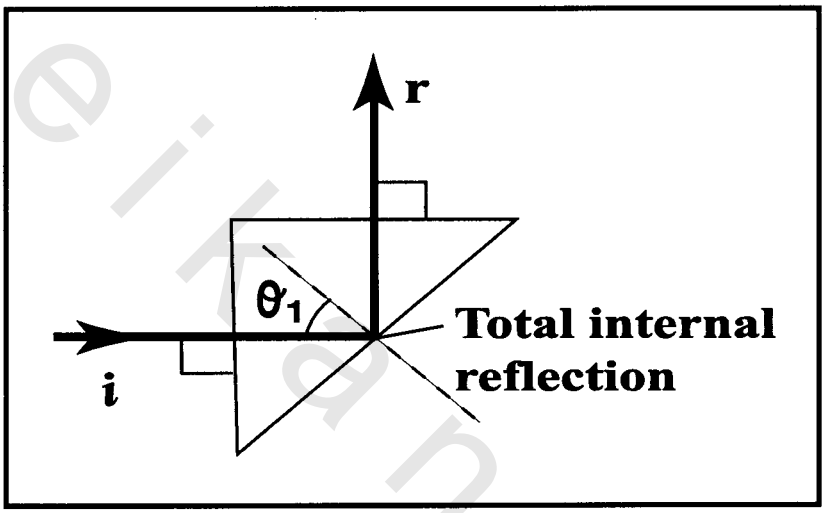
$$= 20.791^o$$

$$\Delta\theta = \theta_{22} - \theta_{21} = 20.791^o - 20.676^o = 0.115^o$$

obeikandl.com

مسألة (12.2) *Problem*

في الشكل (12.1) موشور على شكل مثلث في الهواء ، حيث يسقط الشعاع (i) عمودياً على الوجه الموضح في الشكل، بحيث ينعكس كلياً عند الوسط الفاصل (زجاج – هواء) (*glass - air interface*)، إذا كانت قيمة الزاوية ($\theta_1 = 45^o$)، أوجد قيمة معامل الانعكاس للزجاج.



شكل (12.1)، المسألة (12.2)

الحل *Solution*

لسهولة الحل افرض أن معامل انكسار الهواء يساوي واحداً.

$$\therefore \quad \theta_c = \sin^{-1}\frac{n_1}{n_2} = \sin^{-1}\frac{1}{n}$$

وبما أن الانعكاس الداخلي الكامل هو الظاهرة الضوئية هنا؛ لذا فإن الزاوية الحرجة سوف تكون أقل من زاوية السقوط (θ_1).

$$\therefore \quad \sin^{-1}\frac{1}{n} < \sin 45^o$$

$$\frac{1}{n} < \sin 45^o$$

$$n > \frac{1}{\sin 45^o} = \frac{1}{0.707} = 1.4$$

$$n > 1.4$$

وهكذا فإن معامل الانكسار للزجاج المستعمل يجب أن يكون أكبر من 1.4 حتى نحصل على الانعكاس الكلي الداخلي.

مسألة (12.3) *Problem*

استخدمت قطعة من الزجاج معامل انكسارها ($n = 1.57$) لغرض استقطاب الضوء في الهواء.

1- أوجد قيمة زاوية الاستقطاب الكامل للضوء المنكسر.

2- ما هي قيمة زاوية الانعكاس المقابلة لذلك ؟ أوجد مقدارها.

الحل *Solution*

$$\theta_B = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

1- ولكن الزجاج موجود في الهواء ، إذن : $n_2 = n \quad , \quad n_1 = 1$

$$\theta_B = \tan^{-1} n = \tan^{-1}(1.57)$$

$$= 57.5^o$$

2- $\theta_B + \theta_r = 90^o$

$$\theta_r = 90^o - \theta_B = 90^o - 57.5^o$$

$$= 32.5^o$$

مسألة (12.4) *Problem*

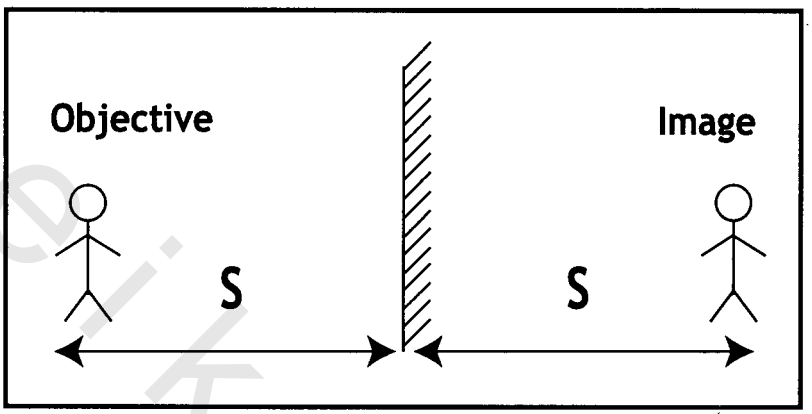
إذا كنت تتحرك بشكل مباشر باتجاه مرآة مستوية بسرعة (v) فبأي سرعة سوف تتحرك صورتك في الحالات الآتية :

obeikandl.com

1- سرعة الصورة بالنسبة لك.

2- سرعة الصورة بالنسبة للمرآة ، انظر الشكل (12.2).

الحل *Solution*



شكل (12.2)، المسألة (12.4)

المسافة الفاصلة بين الجسم والمرآة هي (S) ، والمسافة الفاصلة بين الجسم والصورة سوف تكون ($2S$) وعليه :

1- سرعة الصورة بالنسبة للجسم $= v_i = \frac{d}{dt}(2S) = 2v$

2- سرعة الصورة بالنسبة للمرآة $= v = \frac{d}{dt}(S) = v$

إذن تتحرك الصورة بالنسبة للجسم بسرعة تساوي ضعف سرعة الصورة بالنسبة للمرآة.

مسألة (12.5) *Problem*

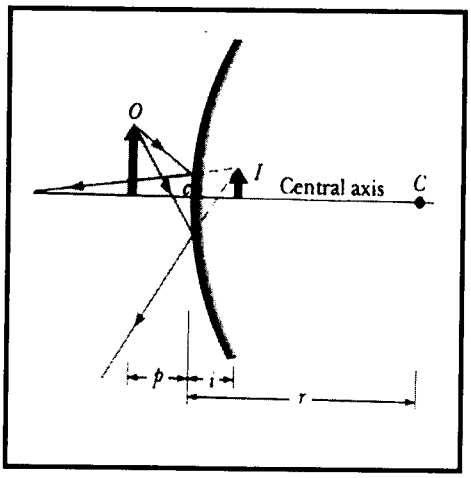
مرآة مقعرة *Convex mirror* يبلغ نصف قطر تقعرها $(22.0\ cm)$.

1- أين تقع الصورة لجسم موجود على مسافة $(140\ cm)$ أمام المرآة ؟

2- أوجد التكبير الجانبي (m).

obeikandl.com

الحل *Solution*



شكل (12.3)، المسألة (12.5)

1- انظر الشكل (12.3) يقع مركز التقعر لهذه المرآة في الجانب الخيالي (*V-side*) وعليه فإن قيمة (r) تكون سالبة.

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{i}=-\frac{1}{r}$$

$$\frac{1}{+14}+\frac{1}{i}=\frac{2}{-22\ cm}$$

$$i=-6.2\ cm$$

أي أن الصورة تقع خلف المرآة.

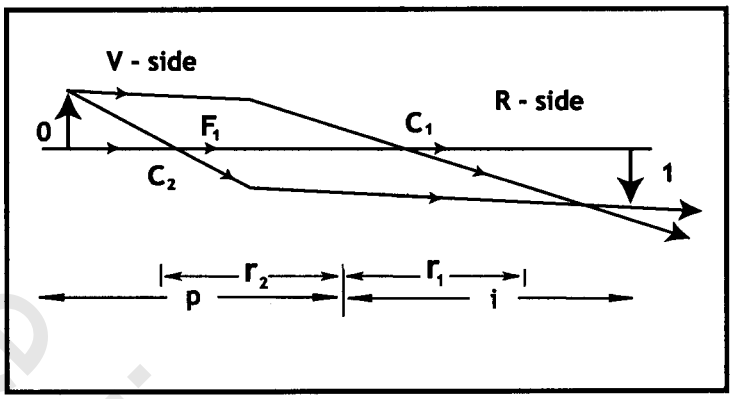
2- $$m=-\frac{i}{p}=-\frac{-6.2\ cm}{+14\ cm}=0.44$$

$$|m|<1$$

هذا يعني أن الصورة أصغر من الجسم.

obeikandl.com

مسألة (12.6) *Problem*



شكل (12.4)، المسألة (12.6)

في الشكل (12.4) تبلغ أنصاف أقطار التحدب للعدسة ($42.0\ cm$) وهي مصنوعة من الزجاج ، حيث يساوي معامل الانكسار ($n = 1.65$) ، أوجد البعد البؤري (f).

الحل *Solution*

تمعن في الشكل المذكور جيداً تجد أن C_1 تقع في الجزء الحقيقي (*R-side*) والذي يؤدي إلى أن :

$$r_1 = +42.0\ cm$$

أما C_2 فتقع في الجزء الخيالي (*V-side*) والذي يؤدي إلى أن :

$$r_2 = -42.0\ cm$$

$$\therefore \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= (1.65-1)\left(\frac{1}{+42\ cm} - \frac{1}{-42\ cm}\right)$$

$$\Rightarrow f = +32\ cm$$

obeikandl.com

مسألة (12.7) *Problem*

في الشكل (12.4) أوجد البعد البؤري للعدسة المفرقة ، مستخدماً نفس المعلومات الواردة في المسألة (12.6).

الحل *Solution*

$$r_1 = -42.5\ cm$$

$$r_2 = +42.5\ cm$$

$$\frac{1}{f} = (1.65 - 1)\left(\frac{1}{-42.5\ cm} - \frac{1}{+42.5\ cm}\right)$$

$$f = -32\ cm$$

ملاحظة : لاحظ كيف تغيرت الإشارات لكلٍ من (r_1 و r_2). وبالتالي تغيرت إشارة (f).

مسألة (12.8) *Problem*

أوجد قوة عدسة مفرقة *diverging lens* ، إذا علمت أن بعدها البؤري (f=20 cm).

الحل *Solution*

$$P = -\frac{1}{f(meter)} = \frac{1}{-20 \times 10^{-2}} = -5D$$

مسألة (12.9) *Problem*

عدسة لامة بعدها البؤري (f = 15 cm) ، تم وضع جسم على بعد (25 cm) منها ، أوجد موقع الصورة ، وكذلك قوة تكبير العدسة.

الحل *Solution*

$$P = 25.0\ cm$$

وذلك لأن العدسة لامة $f = +15.0\ cm$

obeikandl.com

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{P}+\frac{1}{i}$$

$$\frac{1}{i}=\frac{1}{f}-\frac{1}{P}=\frac{1}{15}-\frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{i}=\frac{25-15}{375}=\frac{10}{375}$$

موقع الصورة $$i=\frac{375}{10}=37.5\ cm$$

تكبير العدسة $$m=\frac{i}{P}=\frac{37.5}{25}=1.5$$

مسألة (12.10) *Problem*

أعد حل المسألة (12.9) باستخدام عدسة مفرقة.

الحل *Solution*

$$P=25.0\ cm$$

وذلك لأن العدسة مفرقة $$f=-15.0\ cm$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{P}+\frac{1}{i}$$

$$\frac{1}{i}=\frac{1}{f}-\frac{1}{P}=\frac{1}{-15}-\frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{i}=\frac{25-(-15)}{-375}=\frac{40}{-375}$$

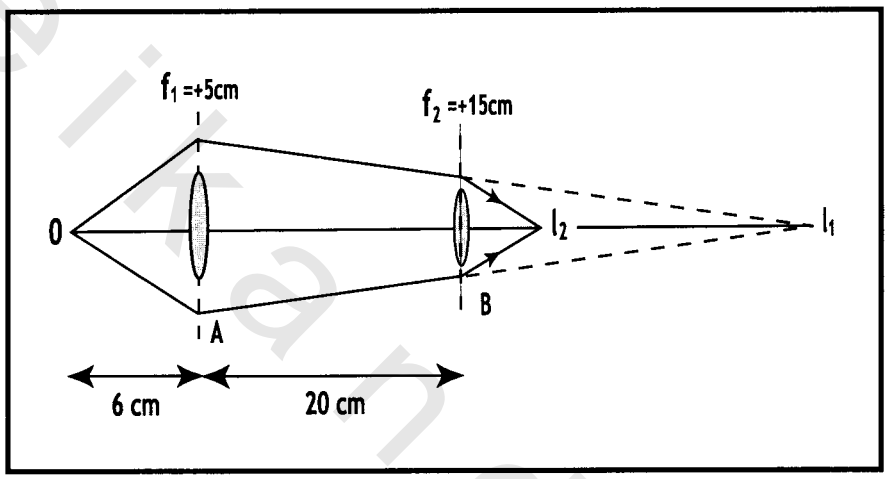
موقع الصورة $$i=\frac{-375}{40}=-9.375\ cm$$

تكبير العدسة $$m=\frac{9.375}{25}=0.375$$

obeikandl.com

مسألة (12.11) *Problem*

عدستان لامتان، البعد البؤري للأولى ($f_1 = 5.0\ cm$)، والبعد البؤري للثانية ($f_2 = 15.0\ cm$) تفصلهما عن بعضهما البعض مسافة مقدارها ($20\ cm$). تقعان على المحور البصري المركزي، وُضع جسم على بعد ($P = 6.0\ cm$) عن العدسة الأولى بحيث يكون الجسم أمامها مباشرة. انظر الشكل (12.5)، أوجد موقع الصورة النهائية، وكذلك صفاتها وقوة تكبير المجموعة.



شكل (12.5)، المسألة (12.11)

الحل *Solution*

$$P_1 = +6.0\ cm \quad , \quad f_1 = +5.0\ cm$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{i_1}$$

$$\frac{1}{i_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{P_1} = \frac{1}{5} - \frac{1}{6}$$

$$= \frac{6-5}{30} = \frac{1}{30}$$

$$\therefore \ i_1 = 30\ cm$$

صورة حقيقية

وبما أن (i_1) هي صورة حقيقية ، فإن الأشعة المتجمعة فيها تسقط على العدسة الثانية (B) وهي (أي الصورة) جسم العدسة الثانية.

$$P_2 = -(30 - 20) = -10\ cm$$

$$f_2 = 15.0\ cm$$

ومن جديد

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{P_2} + \frac{1}{i_2}$$

$$\frac{1}{i_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{P_2} = \frac{1}{15} - \frac{1}{-10}$$

$$= \frac{10 + 15}{150} = \frac{25}{150} = \frac{5}{30}$$

$$i_2 = \frac{30}{5} = +6.0\ cm$$

قوة تكبير العدسة الأولى :

$$m_1 = \frac{i_1}{P_1} = \frac{30}{6} = 5$$

قوة تكبير العدسة الثانية :

$$m_2 = \frac{i_2}{P_2} = \frac{6}{10} = 0.6$$

أما القوة التكبيرية للمجموعة :

$$M = m_1 * m_2$$

$$= 5 \times 0.6 = 3$$

أي أن الصورة ثلاثة أضعاف كبر الجسم.

ومن خلال ما تقدم نجد أن القوة التكبيرية الجانبية *Lateral magnification* لعدستين هي حاصل ضرب القوة التكبيرية المفردة لكل منهما ، أي أن :

obeikandl.com

$$M = m_1 * m_2$$

حيث M هي القوة التكبيرية للمجموعة.

مسألة (12.12) *Problem*

سقط شعاع ضوئي من الفراغ على لوحة من الزجاج بزاوية ($\theta_1 = 32.0^o$) مع العمود المقام على سطح اللوح الزجاجي عند نقطة التقاء الشعاع مع اللوح، ثم انكسر إلى داخل الزجاج وبزاوية مع العمود مقدارها ($\theta_2 = 21.0^o$).

أوجد معامل انكسار الزجاج، اعتبر معامل انكسار الفراغ يساوي الواحد.

الحل *Solution*

من الواضح أن هذه المسألة من النوع التطبيقي المباشر على قانون الانكسار الذي أصبح مألوفاً لدى الطالب، وهو :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

n_1 : **هو معامل انكسار الوسط الأول (الفراغ)** $= 1.0$

n_2 : **هو** معامل انكسار الوسط الثاني (الزجاج) = ؟

θ_1 : زاوية السـقوط $= 32.0^o$

θ_2 : زاوية الانكسار $= 21.0^o$

إذاً وبتطبيق القانون نجد أن :

$$n_2 = \frac{n_1 \sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)}$$

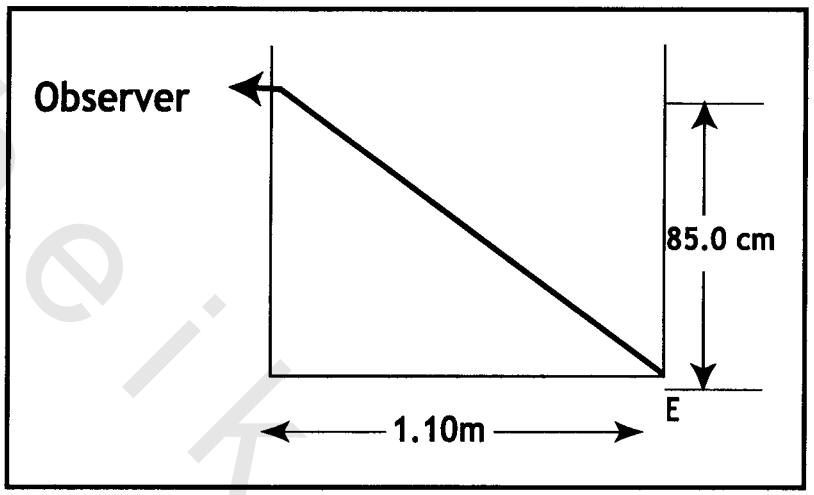
$$= \frac{1.0(\sin(32.0^o))}{(\sin(21.0^o))}$$

$$= \frac{0.5299}{0.3583} = 1.478$$

obeikandi.com

مسألة (12.13) *Problem*

انظر الشكل (12.6)



شكل (12.6)، المسألة (12.13)

تأمل هذا الشكل حيث إن أبعاده هي أبعاد مستطيل يوضحها الشكل بالطول والعرض، وهو عبارة عن خزان تم ملؤه بسائل غير معروف، وكما تلاحظ فقد قام شخص ما بإلقاء نظرة من على الزاوية العليا اليسرى بحيث يتقاطع الخط البصري له مع نقطة الزاوية السفلى اليمنى عند النقطة (E) أوجد معامل انكسار هذا السائل. هل تستطيع معرفة اسم السائل ؟

الحل *Solution*

بالعودة إلى الشكل (12.6) نجد أن :

من الواضح أنَّ عرض الخزان : $w = 1.10\ m$

وأن ارتفاعه هو : $h = 0.85\ m$

كما أنهما ضلعي زاوية السقوط ، أي أنَّ :

$$\tan(\theta_2) = \frac{w}{h}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{w}{h}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.1m}{0.85m}\right)$$

$$= 52.31^o$$

وبتطبيق القانون نجد أنّ :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n \sin(\theta_2)$$

$$n_2 = \frac{n_1 \sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

$$= \frac{1.0 \sin(90^o)}{\sin(52.31^o)} = 1.263$$

ملاحظة :

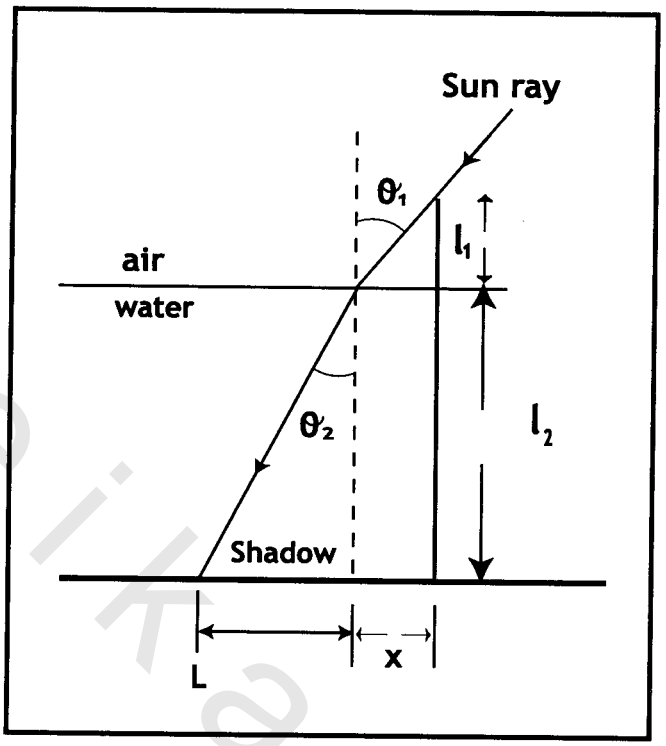
من الواضح أن زاوية الشعاع الساقط على الماء تساوي (90^o) ، ذلك أنها زاوية النظر في الهواء. أما (θ_2) فهي زاوية الانكسار خلال السائل. أما نوع السائل فهو الماء عند درجة حرارة تقترب من درجة حرارة الغرفة.

مسألة (12.14) *Problem*

تأمل الشكل (12.7) عمود دائري المقطع يبلغ طوله المغمور في الماء ($l_2 = 2.0\ c$) وطوله الممتد في الهواء ($l_1 = 50\ cm$) ويقف عمودياً تماماً على قاع المسبح. بينما تسقط أشعة الشمس بزاوية قدرها (55^o) مع الأفق (سطح الماء).

أوجد طول ظل العمود على سطح المسبح السفلي.

ملاحظة : اعتبر معامل انكسار الهواء (1.0) ومعامل انكسار الماء (1.33).



شكل (12.7)، المسألة (12.14)

الحل *Solution*

من الواضح من الشكل (12.7) أن زاوية السقوط :

$\theta_1 = 35.0^o$

ذلك أن الزاوية بين سطح الماء والشعاع الساقط تساوي (55.0^o) كما أن الشكل يوضح لنا أن طول الظل هو عبارة عن :

$L + x$

ويمكننا إيجاد المقدار (x) على النحو الآتي :

$$x = \ell_1 \tan(\theta_1) = (0.5m)\tan 35.0^o$$

$$= 0.35m$$

أما المقدار (L) فيمكننا إيجاده على النحو الآتي:

$$L = \ell_2 \tan(\theta_2)$$

obeikandl.com

أما الزاوية (θ_2) فنحدد مقدارها من قانون الانعكاس العام :

$$\sin(\theta_2) = \frac{n_1 \sin(\theta_1)}{n_2}$$

$$= \frac{1.0 \sin(35.0^o)}{1.33} = 0.4312$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.4312) = 25.55^o$$

$$L = (1.50m)\tan(25.55^o) = 0.72\ m$$

إذاً طول الظل يساوي :

$$L_2 + x = 0.72\ m + 0.35\ m$$

$$= 1.07\ m$$

مسألة (12.15) *Problem*

سقط شعاع ضوئي على السطح الفاصل بين الماء والزجاج بزاوية ($\theta_1 = 30^o$)، ما هي الزاوية التي ينفذ بها الضوء إلى الزجاج ؟ أوجد مقدارها.

ملاحظة : (n_1) للماء تساوي (1.33) ، (n_2) للزجاج تساوي (1.5).

الحل *Solution*

هذا السؤال حول زاوية خروج الشعاع الصادر من الماء إلى الزجاج، وهو من الأسئلة العامة حول قانون الانعكاس، أي أن :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta 2)$$

n_1 : هو معامل انكسار الماء $= 1.33$

θ_1 : زاوية السقوط $= 30.0^o$

n_2 : هو معامل انكسار الزجاج $= 1.5$

θ_2 : زاوية نفوذ الضوء إلى الزجاج $=$ ؟

obeikandl.com

$$\sin(\theta_2) = \frac{n_1 \sin(\theta_1)}{n_2}$$

$$= \frac{1.33 \sin(30.0^o)}{1.55}$$

$$= 0.429$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.429) = 25.406^o$$

مسألة (12.16) *Problem*

إذا علمت أن معامل انكسار الماء للون الأحمر يساوي (1.33) وللون البنفسجي يساوي (1.342)، أوجد زاوية الانكسار لكل من اللونين إذا سقطت أشعة كلا اللونين على سطح الماء بزاوية قدرها $(\theta_1 = 70.0^o)$.

الحل *Solution*

تعتبر هذه أيضاً من المسائل المباشرة على استخدام القانون العام للانكسار.

1- اللون الأحمر :

زاوية السقوط $\theta_1 = 70.0^o$

معامل انكسار الماء للون الأحمر $n_r = 1.33$

أما معامل انكسار الهواء $n_{air} = 1.0$

$$n_{air} \sin(\theta_1) = n_r \sin(\theta_2)$$

$$\sin(\theta_2) = \frac{n_{air} \sin(\theta_1)}{n_r}$$

$$= \frac{1.0 \sin(70.0^o)}{1.33} = 0.706$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.706) = 45.0^o$$

obeikandl.com

2- اللون البنفسجي :

معامل انكسار الماء للون البنفسجي $nv = 1.342$

$$\sin(\theta_2) = \frac{n_{air}\sin(\theta_1)}{n_v}$$

$$= \frac{1.0\sin(70.0^o)}{1.342} = 0.7002$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.7002) = 44.4^o$$

ونلاحظ هنا اختلاف زاوية الانكسار باختلاف اللون.

مسألة (12.17) *Problem*

مرآة مقعرة *Convex mirror* يبلغ نصف قطر تكورها $(r = 40\ cm)$ استخدمت لعكس شعاع ضوئي صادر من شمعة موجودة على المحور المركزي البصري وعلى مسافة $(25.0\ cm)$ أمام المرآة. حدد موقع الصورة وحجمها.

الحل *Solution*

نصف قطر التكور للمرآة المقعرة $(r=40.0\ cm)$

أي أنَّ البعد البؤري لها : $(f = \frac{1}{2}r)$

ذلك أنّه يكون موجباً للمرآة المقعرة، وسالباً للمرآة المحدبة.

أما بعد الجسم عن المرآة : $P = (25.0\ cm)$

ويكون بعد الصورة عن المرآة : $i = ?$

وبتطبيق القانون العام الذي يربط بين بعد الصورة والجسم والبعد البؤري ، والذي ينص على :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{2}r = \frac{1}{2}(40.0cm) = 20.0cm$$

obeikandi.com

$$\frac{1}{i}=\frac{1}{f}-\frac{1}{P}$$

$$f = 20.0\ cm$$

$$P = 25.0\ cm$$

$$\frac{1}{i}=\frac{1}{20.0}-\frac{1}{25.0}$$

$$=\frac{25.0-20.0}{500}$$

$$i=\frac{500}{5.0}=100.0cm$$

أما حجمها فيمكن تحديده بمعرفة معامل التكبير :

$$m=-\frac{i}{P}=-\frac{100.0cm}{25.0cm}=4.0$$

من ناحية أخرى :

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

$$h'=mh=4h$$

أي أن حجم الصورة أربع أضعاف حجم الجسم.

مسألة (12.18) *Problem*

مرآة محدبة *Concave mirror* يبلغ نصف قطر تكورها ($r = 50\ cm$) استخدمت لعكس شعاع ضوئي صادر من جسم موجود على المحور المركزي البصري وعلى مسافة ($35.0\ cm$) أمام المرآة. حدد موقع الصورة وحجمها.

الحل *Solution*

نصف قطر التحدب للمرآة المحدبة : $(r = 50.0\ cm)$

obeikandl.com

أي أن البعد البؤري لها : $f = -\frac{1}{2}r$

أما بعد الجسم عن المرآة : $P = 35.0\ cm$

ويكون بعد الصورة عن المرآة : $i = ?$

$$f = -\frac{1}{2}r = -\frac{1}{2}(50.0cm)$$
$$= -25.0cm$$

وباستخدام القانون الذي يربط بين بعد الصورة والجسم والبعد البؤري للمرآة المحدبة والذي ينص على :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$

$$= \frac{1}{(-25)} - \frac{1}{35} = \frac{35 + 25}{(-25) \times 35} = \frac{60}{-875}$$

$$i = \frac{-875.0}{60.0} = -14.5cm$$

مسألة (12.19) *Problem*

أ- جسم موضوع على مسافة $(30.0\ cm)$ من مرآة مقعرة، نصف قطر تكورها $(r = 40\ cm)$، حدد موقع الصورة، ثم أوجد مقدار التكبير الجانبي *Lateral magnification*.

ب- أعد حل هذه المسألة وذلك إذا استبدلنا المرآة المقعرة بمرآة محدبة لها نفس نصف قطر التكور.

obeikandl.com

الحل *Solution*

1- بعد الجسم عن المرآة المقعرة : $(P = 30.0\ cm)$

نصف قطر تكور المرآة المقعرة : $(r = 40.0\ cm)$

أي أن بعدها البعد البؤري : $(f = +\frac{1}{2}r = +20.0cm)$

بعد الصورة عن المرآة : $i = ?$

التكبير الجانبي : $m = ?$

من القانون العام للمرايا نعلم أن :

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{i}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{i}=\frac{1}{f}-\frac{1}{p}$$

$$\frac{1}{i}=\frac{1}{20.0}-\frac{1}{30.0}$$

$$=\frac{30.0-20.0}{600}=\frac{10.0}{600}$$

$$i=\frac{600}{10.0}=60.0cm$$

معامل التكبير :

$$m=\frac{-i}{P}$$

$$=-\frac{60.0}{30.0}=-2.0$$

كما أننا نعلم من جهة ثانية أن :

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

$$h'=mh=(2.0)(h)$$

أي أنَّ صورة الجسم ستبدو ضعف الجسم ذاته.

obeikandl.com

2- الفرق هنا هو أنّ البعد البؤري للعدسة المحدبة $(f = -\frac{1}{2}r)$.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{P}$$

$$f = -20.0\ cm$$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{P}$$

$$= \frac{1}{-20.0} - \frac{1}{30.0}$$

$$= \frac{30.0 + 20.0}{-600} = \frac{50.0}{-600}$$

$$i = \frac{-600}{50} = -12.0\ cm$$

هذا موقع الصورة.

أما التكبير الجانبي :

$$m = \frac{-i}{P} = \frac{+12.0}{30} = 0.4$$

أي أنّ الصورة ستبدو صغيرة مقارنة بالجسم.

مسألة (12.20) *Problem*

استخدمتَ مرآة يدوية أمام وجهك وعلى بعد$(25.0\ cm)$ ، فرأيت صورتك في المرآة مكبرة بمقدار(2.0) مرة.

أوجد نصف قطر تكور المرآة، ثم حدد فيما إذا كانت المرآة محدبة أم مقعرة.

الحل *Solution*

بعد الجسم عن المرآة : $P = 25.0\ cm$

obeikandl.com

معامل التكبير للمرآة : $m = 2.0$

نصف قطر تكور المرآة : $r = ? = 2f$

هل المرآة محدبة أم مقعرة : ؟

من العلاقة التي تربط بعد الصورة وبعد الجسم ومعامل التكبير نجد أن :

$$m = \frac{-i}{p}$$

$$i = -mp = 2.0(25.0cm) = -50.0cm$$

ولإيجاد نصف قطر التكور (r) نحتاج إلى معرفة البعد البؤري (f)، ويمكننا ذلك من استخدام القانون العام للمرايا :

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

$$i = -50.0\ cm$$

$$P = 25.0\ cm$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P} + \frac{1}{i} = \frac{1}{25.0} + \frac{1}{(-50.0)}$$

$$= \frac{(-50.0) + (25.0)}{-1250} = \frac{-25.0}{-1250}$$

$$f = \frac{1250}{25.0} 50.0cm$$

وهو مقدار موجب. ومن الواضح أنها مرآة مقعرة، أما نصف قطر تكورها فيمكننا إيجاده من المعادلة :

$$f = \frac{r}{2}$$

$$r = 2f = 2(50.0cm) = 100.0cm$$

obeikandl.com

مسألة (12.21) *Problem*

مرآتان مقعرتان نصف قطر تكور الأولى($r_1 = 15.0\ cm$)، ونصف قطر تكور الثانية ($r_2 = 12.0\ cm$)، تفصلهما عن بعضهما مسافة ($40\ cm$)، وضع مصدر ضوئي بين المرآتين وعلى مسافة ($10\ cm$) من المرآة الأولى بحيث تقع المجموعة كلها على المحور المركزي البصري.

1- أوجد موقع الصورة المتكونة في المرآة الأولى.

2- أوجد موقع الصورة المتكونة في المرآة الثانية.

الحل *Solution*

1- نصف قطر تكور المرآة : $(r_1=15.0\ cm)$

نصف قطر تكور المرآة الثانية : $(r_2=12.0\ cm)$

المسافة بين المرآتين : $(d=40.0\ cm)$

بعد المرآة الأولى عن المصدر الضوئي : $(x=10.0\ cm)$

بعد المرآة الثانية عن المصدر الضوئي :

$$(d-x)=40.0\ cm-10.0\ cm=30.0\ cm$$

نلاحظ أن بعد الجسم عن المرآة الأولى يكون سالباً، ذلك أنه يقع على يمين المرآة، أي أن :

$$P_1=-10.0\ cm$$

أما البعد البؤري :

$$f_1=\frac{r_1}{2}=\frac{15.0cm}{2}=7.5cm$$

وعلى ذلك يكون موقع الصورة بالنسبة للعدسة الأولى :

$$\frac{1}{f_1}=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{i_1}$$

obeikandl.com

$$\frac{1}{i_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{(P_1)}$$

$$= \frac{1}{7.5} - \frac{1}{(-10)} = \frac{(-10.0) - 7.5}{-75} = \frac{-17.5}{-75}$$

$$= \frac{17.5}{75}$$

$$i_1 = \frac{75}{17.5} = 4.28\ cm$$

-2

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{P_2} + \frac{1}{i_2}$$

$$\frac{1}{i_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{P_2}$$

$$= \frac{1}{6.0} - \frac{1}{30.0}$$

$$= \frac{30.0 - 6}{180}$$

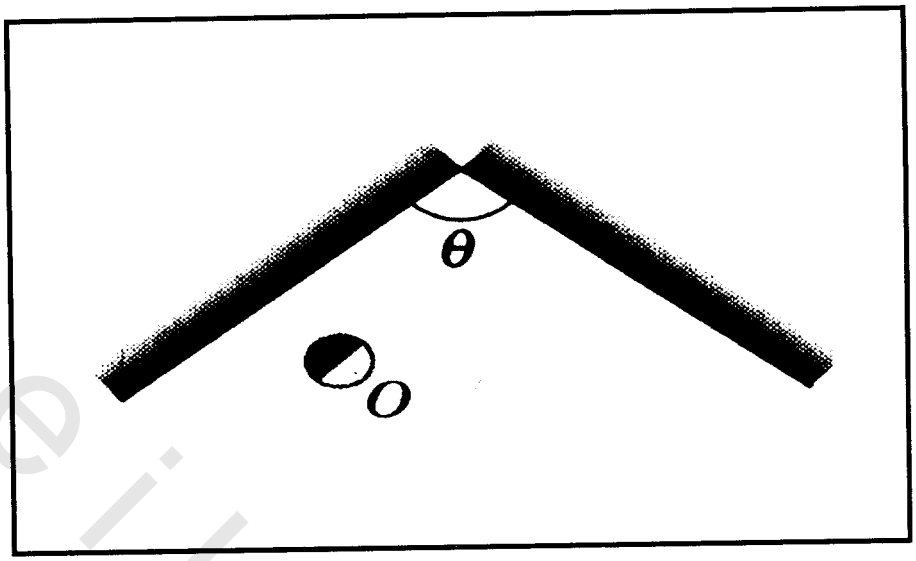
$$i_2 = \frac{180}{24.0} = 7.5\ cm$$

مسألة (12.22) *Problem*

انظر الشكل (12.8)، الشكل عبارة عن مسقط علوي لمرآتين مستويتين عموديتين على بعضهما البعض ، وضع الجسم عند النقطة (O) بينهما، الزاوية ($\theta = 90^o$). إذا قمت بالنظر في المرآتين، كم صورة سوف ترى للجسم (O) ؟ أين تكون هذه الصور.

ملاحظة : حاول أن تجري هذه التجربة البسيطة بنفسك.

obeikandl.com



شكل (12.8)، المسألة (12.22)

الحل *Solution*

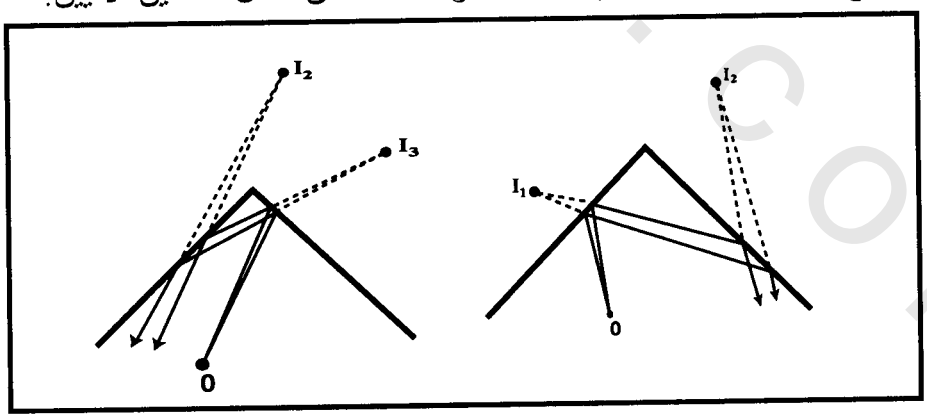
من الواضح أن عدد الصور هو ثلاثة :

1- الصورة الأولى نتيجة لانعكاس الشكل في المرآة الأولى .

2- الصورة الثانية نتيجة لانعكاس الشكل في المرآة الثانية .

3- الصورة الثالثة نتيجة للانعكاس المتعاقب من كلا المرآتين لصورتي الجسم في كل منهما .

أما مواقع هذه الصور الثلاثة فيمكننا تأمله وملاحظته من خلال الشكلين الآتيين.



شكل (12.9)، المسألة (12.22)

obeikandl.com

مسألة (12.23) *Problem*

مرآة مقعرة يبلغ نصف قطر تكورها $(r = 35.0\ cm)$، ثبتت بحيث تبدو صورة الوجه صحيحة ومكبرة بمقدار (2.5) مرة، كم تبعد المرآة عن الوجه ؟ أوجد ذلك.

الحل *Solution*

نصف قطر المرآة المقعرة : $(r = 35.0\ cm)$

معامل التكبير للمرآة المقعرة : $(m = 2.5)$

بعد المرآة عن الوجه، هذا يعني بعد الجسم عن المرآة وهو ما تعودنا أن نرمز له بالرمز $(P) = ?$

بداية يمكننا إيجاد البعد البؤري للمرآة المقعرة من العلاقة المعروفة.

$$f = \frac{1}{2}r = \frac{1}{2}(35.0cm)$$

كما يمكننا استخدام العلاقة الأخرى :

$$m = \frac{-i}{p} = 2.5$$

$$\Rightarrow \quad i = -2.5\,P$$

وأخيراً وباستخدام القانون العام للمرايا نجد أن :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{i}$$

$$= \frac{1}{p} - \frac{1}{-2.5\,P} = \frac{1}{P}\left(1 - \frac{1}{-2.5}\right)$$

$$P = \frac{35.0cm}{2}\left(1 - \frac{1}{-2.5}\right)^{-1}$$

$$= 17.5cm(1.4)^{-1} = 17.5cm(0.714) = 12.5cm$$

obeikandl.com

مسألة (12.24) *Problem*

استخدمت عدسة لامة *Converging lens* لتكبير صورة بمقدار ثلاث مرات ، حدد موقع العدسة إذا كان بعدها البؤري يساوي (*30 cm*) *Focal length*.

الحل *Solution*

معامل التكبير لهذه العدسة هو : $(m = 3)$

موقع العدسة على المحور البصري : ؟

البعد البؤري للعدسة : $(f = 30.0\ cm)$

تحديد موقع العدسة يعني معرفة كل من موقع الصورة وموقع الجسم، وباستخدام المعادلة التي تعبر عن معامل التكبير نجد أن :

$$m = \frac{i}{P} = 3$$

أي أن :

$$i = 3P$$

وباستخدام المعادلة الرياضية (قانون) العدسات نجد أن :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P} + \frac{1}{i}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P} + \frac{1}{3P}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{30.0} = \frac{3P + P}{3P^2} = \frac{4P}{3P^2}$$

$$120.0P = 3P^2$$

$$P = \frac{120.0}{3} = 40.0\ cm$$

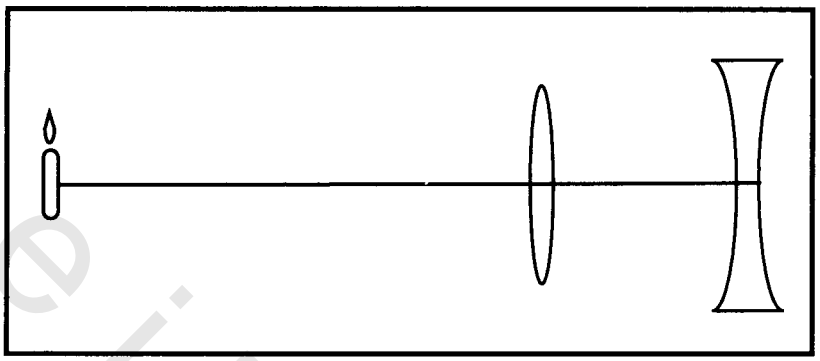
وهذا يمثل بعد الجسم، أما بعد الصورة فيمكننا إيجاده من المعادلة السابقة :

$$i = 3p = 3 \times 40.0 = 120.0cm$$

obeikandl.com

مسألة (12.25) *Problem*

انظر الشكل (12.10)



شكل (12.10)، المسألة (12.25)

ترى في الشكل عدستين أحدهما لامة *Converging lens* والأخرى مفرقة *Diverging lens*، البعد البؤري للأولى ($f_1 = 40\ cm$) وللثانية ($40\ cm$)، تفصلهما مسافة ($20\ cm$)، وضع مصدر ضوئي على بعد ($30\ cm$) من العدسة الأولى، المجموعة كلها واقعة على المحور المركزي البصري.

1- أوجد موقع صورة المصدر الضوئي المتكونة بواسطة العدسة الأولى.

2- أوجد موقع الصورة بالنسبة للعدسة الثانية، علماً بأن صورة العدسة الأولى ستكون جسماً للعدسة الثانية.

الحل *Solution*

البعد البؤري للعدسة المحدبة $(f_1 = 40.0\ cm)$

البعد البؤري للعدسة المقعرة $(f_2 = 40.0\ cm)$

المسافة الفاصلة بين العدستين $(d = 20.0\ cm)$

بعد الجسم عن العدسة المحدبة $(x = 30.0\ cm)$

1- بما أن العدسة محدبة فهي إذاً عدسة لامة ويكون بعدها البؤري موجباً. إذاً بتطبيق القانون العام للعدسات نجد أن :

obeikandl.com

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{i_1}$$

$$\frac{1}{i_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{P_1}$$

$$= \frac{1}{40.0} - \frac{1}{30.0}$$

$$= \frac{30 - 40}{1200} = \frac{-10.0}{1200}$$

$$i_1 = \frac{1200}{-10} = -120cm$$

صورة حقيقية مقلوبة واقعة بشكل متعامد مع المحور البصري، وبما أن المسافة الفاصلة بين العدستين تساوي $(d = 20.0\ cm)$، إذاً الصورة هذه ستكون جسماً بالنسبة للعدسة الثانية وتبعد مسافة : $P_2 = 120 - 20 = 100 cm$.

2- ولتحديد موقع الصورة بالنسبة للعدسة الثانية، نجد أولاً أن الجسم واقع إلى يمين العدسة وعلى مسافة $(100\ cm)$، وهي سالبة لأنه واقع في الجهة المقابلة للجهة التي صدر منها الشعاع الضوئي (الشمعة)، ويمكننا تحديد موقع الصورة باستخدام المعادلة العامة للعدسات :

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{P_2} + \frac{1}{i_2}$$

ونلاحظ كذلك أن البعد البؤري للعدسة يكون سالباً $(-f_2)$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{P_2} + \frac{1}{i_2}$$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{P_2} = \frac{P_2 - f_2}{P_2 f_2}$$

obeikandl.com

$$\therefore \quad i_2 = \frac{P_2 f_2}{P_2 - f_2}$$

$$P_2 = 100.0\ cm$$

$$f_2 = -40\ cm$$

$$i_2 = \frac{(1000cm)(-40.0cm)}{100.0 - (-40.0cm)} = \frac{-400cm^2}{140.0cm}$$

$$= -28.6cm$$

وهي صورة خيالية مصغرة .

مسألة (12.26) *Problem*

عدسة مفرقة *Diverging lens* يبلغ بعدها البؤري *Focal length* ($f = 30\ cm$)، وضع جسم على يسارها وعلى مسافة تساوي ($20\ cm$).

أوجد بعد الصورة، ثم حدد موقع الصورة ومواصفاتها مستخدماً طريقة الرسم.

الحل *Solution*

البعد البؤري للعدسة المفرقة (مقعرة) يساوي: ($f = -30.0\ cm$) بعد الجسم عن العدسة يساوي : ($P = 20.0\ cm$).

من المعادلة العامة للعدسات :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P} + \frac{1}{i}$$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{P}$$

$$= \frac{P - f}{P f}$$

obeikandl.com

$$\therefore\ i = \frac{pf}{p - f}$$

$$= \frac{(20.0cm)(-30.0cm)}{(20.0cm) - (-30.0cm)}$$

$$= \frac{-600cm^{\not 2}}{50\not cm} = -12.5cm$$

ملاحظة : يمكننا الآن رسم العدسة على المحور البصري وتحديد موقع كلٍ من الصورة والجسم بيسر وسهولة.

مسألة (12.27) *Problem*

كاميرا سينمائية بعدسة واحدة، يبلغ بعدها البؤري ($f = 75\ cm$)، استخدمت لتصوير رجل يبلغ طوله ($180\ cm$) ويقف على مسافة ($27\ m$) بعيداً عن الكاميرا، أوجد طول هذا الرجل على فيلم الكاميرا.

الحل *Solution*

البعد البؤري للعدسة : $(f = 75.0\ mm)$

طول الرجل يساوي : $(h_p = 180.0\ cm)$

بعد الرجل عن العدسة : $(P = 27.0 \times 10^2\ m)$

طول هذا الرجل : ؟

من المعلوم لدينا أن معامل التكبير الطولي للعدسة :

$$m = \frac{h_i}{h_P} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{الطول الحقيقي}}$$

ولكن معامل التكبير من جهة أخرى يساوي :

$$m = \frac{i}{P}$$

ومن المعادلة العامة للعدسات :

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{P}+\frac{1}{i}$$

$$i=\frac{P\,f}{P-f}$$

$$h'=mh$$

$$=\left(\frac{i}{P}\right)h$$

$$=\frac{(7.5cm)(180cm)}{(27\times10^{2}\,cm-7.5cm)}$$

أي أن طول الرجل على فيلم الكاميرا سوف يكون $(0.5\ cm)$.

مسألة (12.28) *Problem*

إن الصيغة الرياضية لمعادلة العدسات الرقيقة والتي يطلق عليها *Gaussian Form* هي :

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{P}+\frac{1}{i}$$

إلا أن هناك صيغة أخرى لنفس العدسة تسمى *Newtonian form* والتي تعتبر المسافة بين الجسم والبعد البؤري الأول للعدسة (x)، والمسافة بين الصورة والبعد البؤري الثاني للعدسة (x'). أثبت أن :

$$xx'=f^{2}$$

ملاحظة : خذ $\quad i=f+x' \quad , \quad p=f+x$

الحل *Solution*

من المعادلة العامة للعدسات الرقيقة، والتي ألفنا استخدامها، نستطيع وكما لاحظنا في المسائل السابقة أن نحدد موقع الصورة على النحو الآتي :

openkandle.com

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{P}+\frac{1}{i}$$

$$i=\frac{P\,f}{P-f}$$

وكما هو واضح من نص المسألة فإن :

$$P=f+x$$

حيث إنَ (x) : هي المسافة بين الجسم والبعد البؤري للعدسة، وهي موجبة إذا كان الجسم يقع بعد البعد البؤري (f) وسالبة إذا كان يقع قبل البعد البؤري على المحور البصري للعدسة .

$$i=\frac{f(f+x)}{f+x-f}=\frac{f(f+x)}{x}$$

كما هو واضح أيضاً من نص المسألة فإن :

$$i=f+x'$$

وهو أيضاً سالب أو موجب حسب موقعه من البعد البؤري للعدسة.

$$x'=i-f$$

$$=\frac{f(f+x)}{x}-f=\frac{f^2}{x}$$

أو بشكل آخر :

$$\boxed{x'x=f^2}$$

مسألة (12.29) *Problem*

جسم ارتفاعه $(4\ cm)$، استخدمت عدسة مفرقة يبلغ بعدها البؤري $(f = 25\ cm)$ لتكوين صورة لهذا الجسم الموجود على مسافة $(50\ cm)$ عنها ، حدد موقع وحجم الصورة.

obeikandl.com

الحل *Solution*

ارتفاع الجسم يساوي : $(h_P = 4.0\ cm)$

نوع العدسة هو عدسة مقعرة بعدها البؤري : $(f = -25.0\ cm)$

بعد الجسم عن العدسة يساوي : $(P = 50.0\ cm)$

أيضاً نعمد بداية إلى تحديد موقع الصورة، وكما تعودنا من المعادلة العامة للعدسات :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P} + \frac{1}{i}$$

$$\therefore \quad i = \frac{P\,f}{P - f}$$

وكما نؤكد دائماً بأن البعد البؤري للعدسة المفرقة يكون سالباً، إذاً :

$$i = \frac{(50.0cm)(-25.0cm)}{(50.0cm) - (-25.0cm)} = \frac{-1250cm^{\not 2}}{75.0\not cm}$$

$$= -16.66cm$$

هذا هو موقع الجسم، أما حجم الصورة، فنحن نعلم أن معامل التكبير :

$$m = \frac{-i}{p} = \frac{+16.66cm}{50.0cm} = +0.333 = 0.333$$

كما نعلم أن معامل التكبير يساوي من ناحية أخرى :

$$m = \frac{h'}{h} \Rightarrow 0.0333 = \frac{h'}{4.0cm}$$

$$h' = 1.3cm$$ هذا هو حجم الصورة.

obeikandl.com

مسألة (12.30) *Problem*

عدسة مفرقة يبلغ بعدها البؤري ($f = 30\ cm$) ، استخدمت لرصد صورة لجسم يبعد عنها مسافة ($15\ cm$).

أوجد : 1- بعد الصورة المتكونة.

2- ارتفاع الصورة ، ثم قارنها مع ارتفاع الجسم.

الحل *Solution*

البعد البؤري للعدسة المفرقة : $(f = -30.0\ cm)$

بعد الجسم عن العدسة يساوي : $(p = 15.0cm)$

بعد الصورة المتكونة يساوي : $(i = ?)$

-1

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P} + \frac{1}{i}$$

$$i = \frac{P\,f}{P - f}$$

ولكن البعد البؤري هو مقدار سالب وذلك لأن العدسة مفرقة.

$$i = \frac{(30.0cm)(-15.0cm)}{(15.0cm) - (-30.0cm)}$$

$$= \frac{-450cm^2}{45.0cm} = -10.0cm$$

2- أما معامل التكبير فهو كما تعودنا على حسابه :

$$m = \frac{-i}{P} = \frac{+10.0cm}{30.0cm} = 0.333$$

وهي ذات النسبة التي يكبر بها أو يصغر طول الجسم ذلك أننا نعلو بأنّ :

$$m = \frac{-i}{P} = \frac{h'}{h}$$

obeikanal.com

مسألة (12.31) *Problem*

ثلاث عدسات لها الأبعاد البؤرية التالية :

$f_1 = 25\ cm$

$f_2 = 30\ cm$

$f_3 = 50\ cm$

وضعت بجانب بعضها البعض دون أي فراغ فيما بينها، أوجد القوة المؤثرة لمجموعة العدسات الثلاث.

الحل *Solution*

البعد البؤري للعدسة الأولى يساوي : $(f_1 = 25.0\ cm)$

البعد البؤري للعدسة الثانية يساوي : $(f_2 = 30.0\ cm)$

البعد البؤري للعدسة الثالثة يساوي : $(f_3 = 50.0\ cm)$

القوة المؤثرة لمجموع العدسات الثلاثة تساوي : ؟

إن القوة الكلية المؤثرة لهذه المجموعة هي عبارة عن مجموع القوى المؤثرة للعدسات الثلاثة ، أي أن :

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

مقاسة بوحدة (m^{-1}) أو ما نسميه دايوبتر.

ومن الواضح أن العدسات الثلاثة هي من النوع المحدب ، ذلك أن أبعادها البؤرية موجبة. ونحن نعلم أن القوة المؤثرة للعدسة تعرَّف رياضياً بالشكل :

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

obeikandi.com

$$P = -\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3}\right)$$

ولكن :

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} = \frac{1}{25.0 \times 10^{-2}} + \frac{1}{30 \times 10^{-2}} + \frac{1}{50 \times 10^{-2}}$$

دايوبتر

$$P = -(4 + 3.33 + 2)m^{-1} = -9.33m^{-1}$$

obeikandl.com