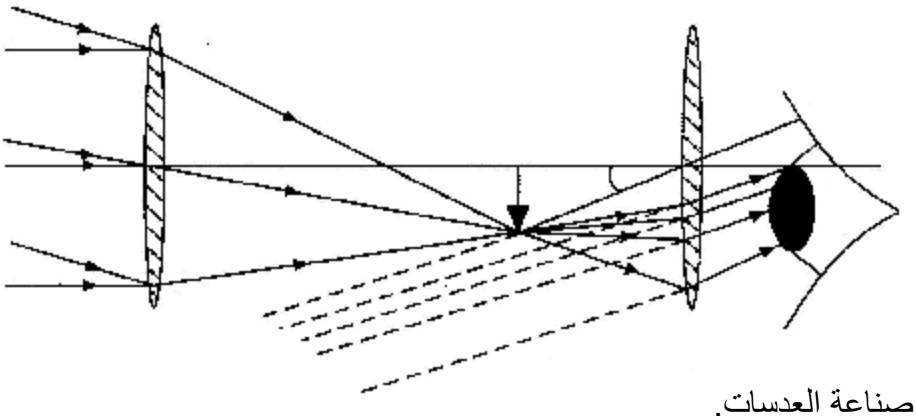
العدسات
Lenses



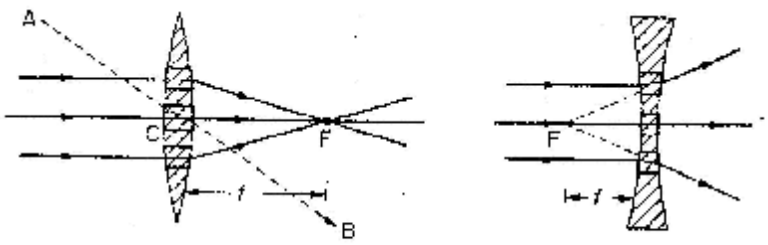
- صناعة العدسات.
- العدسات الرقيقة.
- القانون العام للعدسات.
- التكبير الخطي أو المستعرض.
- النقطتان المترافقتان وعلاقة نيوتن.
- الوضعان المتبادلان لعدسة محدبة.
- تلامس العدسات.

أسئلة الفصل.

٣-١ صناعة العدسات:

تتكون العدسة من مادة مشفة للضوء يحدها سطحان كريان عادة. وتسمى بالعدسة الكريـــة، وفي أحوال خاصة قد يكون أحد سطحيها أو كلاهما اسطوانياً أو طوريدياً.

والمهمة الابتدائية للعدسة هي تكوين صور لأجسام حقيقية. وبالرغم من أن أغلب العدســات مصنوعة من الزجاج العادي إلا أن هناك عدسات خاصة تصنع من مواد أخــرى شــفافة كــالكوارتز والفلوريت. ولكي نفهم القواعد التي على أساسها تعمل العدسة، نتصور مجموعــة مــن منــشورات ومتوازي مستطيلات من زجاج مرتبة حسب الأوضاع المبينة في شكل (٣-١).

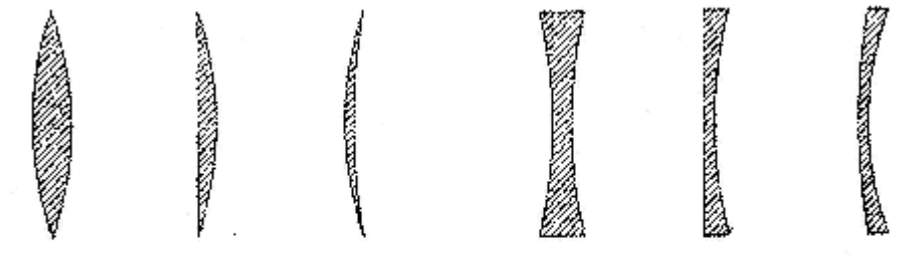


شكل (٣ – ١) توضيح عمل العدسات

ففي الترتيب الأول صنعت المنشورات لكي تكسر أشعة الضوء المتوازية وتجمعها في بؤرة عند F وفي الترتيب الثاني أجبرت الأشعة المتوازية على أن تتفرق وكأنها قد أتت من نقطة F ويحدث أكبر انحراف في كل مجموعة عند منشورات القمة، إذ أن لها أكبر زاوية بين سطحيها الكاسرين. ولا تحدث أية انحرافات للأشعة المركزية، إذ أنه عند هذه النقطة يكون الوجهان الأماميان متوازيين.

ولا تصنع العدسات الحقيقية من منشورات، ولكنها تصنع من كرة مصمتة من الزجاج. وقد تكون العدسات محدبة الوجهين أو محدبة مسطحة أو محدبة مقعرة أو مقعرة الوجهين أو مقعرة مسطحة أو مقعرة محدبة (شكل ٣ - ٢).

وتعتبر العدسة سميكة إذا اقترب سمكها من بعدها البؤري، وتعتبر رقيقة إذا كان سمكها صغيراً نسبياً بحيث يمكن إهمال تأثيره على الضوء المتكون، وفيها يعتبر قطباً السطحين المنحنيين منطبقين على بعضهما في المركز الهندسي للعدسة الرقيقة.



شكل (٣ - ٢) أشكال العدسات

٣-٢: العدسات الرقيقة:

تتكون العدسات الرقيقة من أشكال مختلفة تبعاً لتكور سطحيها. كما يتضح من شكل (٣ - ٢) وهي قد تكون:

أ) مجمّعة، أو موجبة القوة، وتمتاز بأنها أكبر سمكاً في الوسط عنها في الأطراف، وعادة تكون أشكالها إما محدبة الوجهين أو مستوية محدبة أو هلالية موجبة.

ب) مفرقة أو سالبة القوة، وتمتاز بأنها سميكة عند الأطراف ورقيقة عند الوسط وأشكالها مقعرة الوجهين أو مستوية مقعرة أو هلالية سالبة.

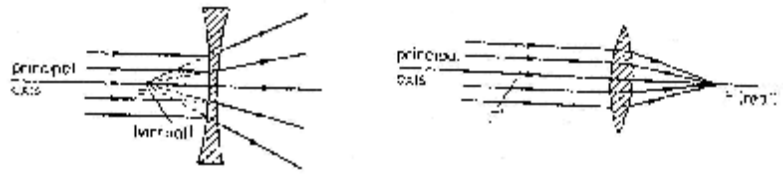
ويبين شكل (٣ - ٣) انكسار أشعة الضوء بواسطة عدسة محدبة الوجهين، وأخرى مقعرة الوجهين، وفيها نلاحظ ما يلي:

١ - المحور الرئيسي للعدسة هو الخط الواصل بين مركزي تكور سطحيها خلال مركزها الرئيسي.

٢ - البؤرة الرئيسية تقع على المحور الرئيسي للعدسة، وتكون حقيقية عند نقطة تجمع الأشعة المتوازية الساقطة على العدسة المحدبة، أو تقديرية عند نقطة تلاقي امتداد الأشعة المنكسرة من العدسة المقعرة.

٣ - المستوى البؤري هو المستوى المار عمودياً على المحور عند البؤرة، وهو يحدد موضع الصور المتكونة بانكسار حزمة متوازية من الأشعة، سواء كانت هذه الحزمة موازية أم غير موازية للمحور الرئيسي.

ويلاحظ أن الأشعة الطرفية في الحزمة الضوئية الساقطة على عدسة ما تعاني أقصى انحراف، بينما الشعاع الرئيسي الذي يقطع محور العدسة عند المركز لا يعاني انكساراً.

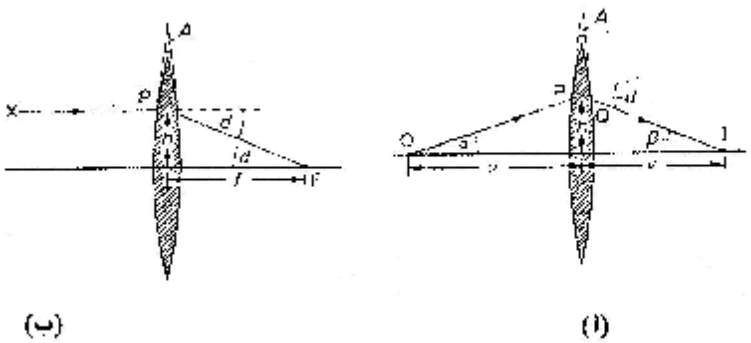


(ب) (أ)

شكل (٣ - ٣) انكسار الأشعة في العدسة المحدبة (أ) والعدسة المقعرة (ب)

٣-٣: القانون العام للعدسات:

يبين شكل (٣ - ٤أ) عدسة مجمعة موجودة في وسط متجانس (هواء) وجسم عند النقطة O، يخرج منه شعاعان ضوئيان، يمر أحدهما بمركز العدسة عمودياً على محورها، فينفذ دون انحراف منطبقاً على المحور الرئيسي، بينما يسقط الشعاع الثاني OP على العدسة ليعاني انكساراً عند P ثم Q في اتجاه QI بزاوية انحراف d ويمكن تشبيه الجزء العلوي من العدسة، حيث يسقط الشعاع OP بمنشور رقيق زاوية رأسه A، وزاوية انحراف الشعاع الخارج منه d.



(ب) (أ)

شكل (٣ - ٤) استنتاج القانون العام للعدسات

فإذا كان ارتفاع نقطة سقوط الشعاع h فمن هندسة الشكل نجد:

$$d = \alpha + \beta \qquad (3-1)$$

$$d = \frac{h}{v} + \frac{h}{u} \qquad (3-2)$$

حيث تمثل v بعد الجسم عن العدسة، u بعد الصورة عن العدسة. وإذا ما أزيح الشعاع OP إزاحة زاوية بحيث يسقط في الاتجاه XP (شكل ٣ - ٤ب)، فإن الشعاع الخارج سيزاح بنفس الإزاحة الزاوية. ويمر عندئذ بالبؤرة F مع احتفاظ زاوية الانحراف d بنفس قيمتها.

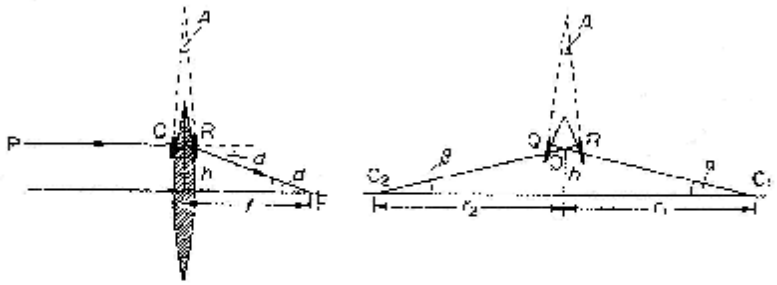
ومن هذا الشكل يمكن حساب d من العلاقة:

$$d = \frac{h}{f} \qquad (3-3)$$

وبهذه النتيجة يمكننا كتابة قانون "جاوس" للعدسات على نفس الصورة السابقة في حالة المرآة الكرية، وهي:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \qquad (3-4)$$

تطبق هذه العلاقة على العدسات الرقيقة المجمعة والمفرقة، مع مراعاة التقيد باستخدام مصطلح الإشارات في كل حالة.



شكل (٣ - ٥) تشابه الأشعة خلال طرفي العدسة مع مسارها في منشور رقيق

وبالاستعانة بقانون انحراف الأشعة في منشور رقيق (شكل ٣ - ٥) يمكننا كتابة زاوية الانحراف d على الصورة:

$$d = \frac{h}{f} = (\mu - 1)A \qquad (3-5)$$

ومنها:

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\frac{A}{h} \qquad (3-6)$$

وإذا كان هناك عمودان مقامان عند P , Q فإنهما سيمران عند مركزي تكور هذين السطحين اللذين يبعدان عن العدسة بمقدار r_2, r_1 على الترتيب، ومن ذلك يمكن إثبات أن:

$$\frac{A}{h} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \qquad (3-7)$$

ومنها تصبح:

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \qquad (3-8)$$

مثال: ٣ - ١:

وضع جسم على بعد ١٢سم من عدسة بعدها البؤري ١٨سم. أوجد موضع الصورة المتكونة.

الحل:

Q العدسة مجمعة $\quad \therefore f = +18\ cm$

Q الجسم الحقيقي $\quad \therefore u = +12\ cm$

$$\mathbf{Q}\ \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{(+12)} = \frac{1}{(+18)}$$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{18} - \frac{1}{12} = -\frac{1}{36}$$

$$\therefore v = -36$$

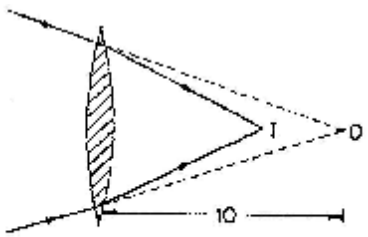
وتعني هذه النتيجة أن الصورة تقديرية وتبعد ٣٦ سم عن العدسة؛ وذلك لوجود الإشارة السالبة في قيمة بعد الصورة v.

مثال: ٣ - ٢:

حزمة ضوئية متجمعة عند نقطة تبعد ١٠سم خلف عدسة محدبة (شكل ٣ - ٦) بعدها البؤري ٤٠سم. أوجد موضع صورة تجمع هذه الأشعة.

الحل:

من الشكل الموضح لهذا المثال نجد أن نقطة تجمع الأشعة الساقطة تمثل جسم تقديري خلف العدسة، ويبعد عنها مسافة ١٠سم.



شكل (٣ - ٦) توضيح للمثال ٣ - ٢

وعلى ذلك تصبح:

$$u = -10 \quad , \quad f = +40$$

$$\text{Q} \ \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{(-10)} = \frac{1}{(+40)}$$

$$\therefore v = \frac{40}{5} = 8 \text{ cm}$$

ولوجود الإشارة الموجبة في بعد الصورة v تكون هذه الصورة حقيقية عنـد I وتبعـد عـن العدسة مسافة ٨سم.

مثال: ٣ - ٣:

وضع جسم على بعد ٦سم أمام عدسة مفرقة بعدها البؤري ١٢سم. أوجد موضع الصورة.

الحل:

Q العدسة مقعرة $\therefore f = -12$

Q الجسم حقيقي $\therefore u = +6$

$$\text{Q} \ \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

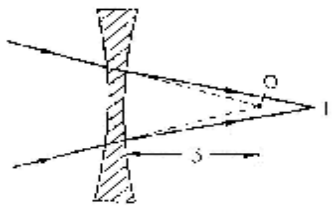
$$\therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{(+6)} = \frac{1}{(-12)}$$

$$\therefore v = -\frac{12}{3} = -4$$

وهذه صورة تقديرية على بعد ٤ سم من العدسة وأمامها.

مثال: ٣ - ٤:

تسقط حزمة متجمعة من الأشعة على عدسة مفرقة بعـدها البؤري ١٥سم. فإذا كانت نقطة تجمع هذه الأشعة تقع خلف العدسة وعلى بعد ٣سم منها. أوجد موضع صورة هذه النقطة (٣ - ٧).



شكل (٣ – ٧) توضيح للمثال ٣ - ٤

الحل:

من الشكل الموضح للمثال نجد النقطة O هي موضع تجمع الأشعة الـساقطة، وتقـع خلـف العدسة. وهي جسم تقديري. ولذلك فإن:

$$u = -3 \text{ cm} \quad , \quad f = -15$$

$$\text{Q} \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{(-3)} = \frac{1}{(-15)}$$

$$\therefore \quad v = \frac{15}{4} = 3.75 \text{ cm}$$

والصورة حقيقية وتبعد ٣,٧٥سم عن العدسة المقعرة وتقع خلفها.

مثال: ٣ - ٥:

احسب الأبعاد البؤرية للعدسات الموضحة في شكل (٣ - ٨) إذا كان معامل انكسار مادة العدسة ١,٥، ونصف قطر كل من أسطحها الكرية = ١٠سم.

في هذا المثال تدريب على تطبيق العلاقة:

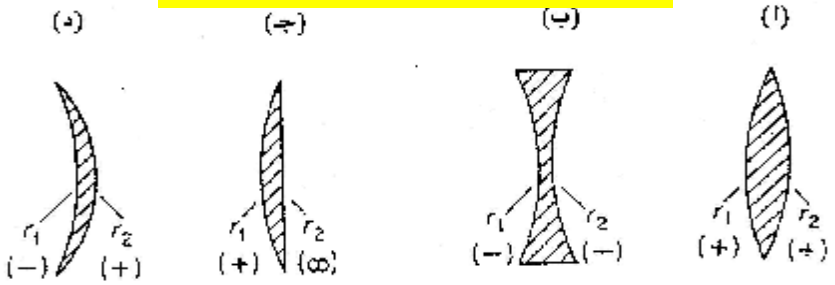
$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

من الشكل نجد أن:

العدسة (أ) محدبة الوجهين:

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{(+10)} + \frac{1}{(+10)}\right)$$

$$\therefore \quad f = +10 \text{ cm}$$



شكل (٣ - ٨) توضيح للمثال ٣ - ٥

العدسة (ب) مقعرة الوجهين:

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{(-10)} + \frac{1}{(-10)}\right)$$

$$\therefore \quad f = -10 \text{ cm}$$

العدسة (جـ) محدبة – مستوية:

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{(+10)} + \frac{1}{\infty}\right)$$

$$\therefore \quad f = +20 \text{ cm}$$

العدسة (د) بفرض $r_1 = -16$, $r_2 = 12$ فإن:

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{(-16)} + \frac{1}{(+12)}\right)$$

$$\therefore \quad f = +96 \text{ cm}$$

ومحصلتها عدسة مجمعة.

في هذا المثال اعتبرت العدسات موضوعة في الهواء حيث معامل الانكسار يساوي الواحد تقريباً. أما إذا كان يحيط بسطحي هذه العدسات معامل انكساره يساوي μ' فإن العلاقة:

$$\frac{1}{f} = (\mu - \mu')\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

فإذا غمرت العدسات في الماء فإن أبعادها البؤرية تصبح:

للعدسة (أ) = + ٢٥سم للعدسة (جـ) = + ٥٠سم.

للعدسة (ب) = - ٢٥سم للعدسة (د) = +٢٤سم

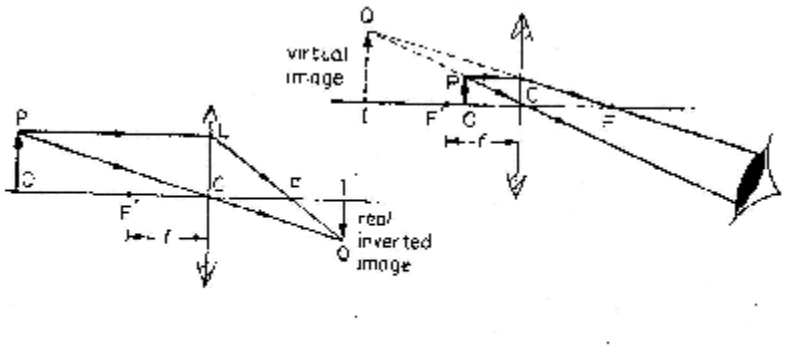
٣-٤: التكبير الخطي أو المستعرض:

يعرف قوة التكبير الخطي أو العرضي m بالعلاقة:

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}}$$

يبين شكل (٣-٩) مسار الأشعة الخارجة من الجسم عند O لتكوين صورة عند I. وباستخدام التعريف يمكن حساب قوة التكبير m بالاستعانة بهندسة الشكل كما يلي:

$$m = \frac{IQ}{OP} = \frac{CI}{CO} = \frac{v}{u}$$



شكل (٣ - ٩) التكبير الخطي

حيث تمثل v بعد الصورة عن العدسة، u بعد الجسم عن العدسة.

$$\therefore \quad m = \frac{v}{u} \qquad (3-9)$$

وهناك صورة أخرى إذا ما استعنا بقانون جاوس للعدسات حيث:

$$\therefore \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{v}{u} + 1 = \frac{v}{f}$$

ومنها

$$m = \frac{v}{f} - 1 \qquad (3-10)$$

مثال: ٣ - ٦:

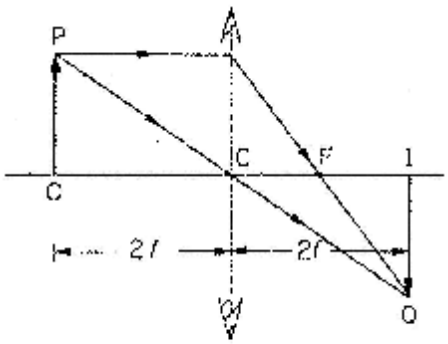
تكونت صورة حقيقية على بعد ٢٥سم من عدسة محدبة بعدها البؤري ١٠سم. احسب قوة تكبير الصورة.

الحل:

$$m = \frac{v}{f} - 1 = \frac{25}{10} - = 1.5$$

مثال: ٣ - ٧:

وضع جسم على بعد مساوي لضعف البعد البؤري لعدسة محدبة. احسب من ذلك موضع الجسم وقوة التكبير (شكل ٣ - ١٠).



شكل (٣ - ١٠) توضيح المثال ٣ - ٧

الحل:

إذا كان البعد البؤري f تكون بعد الصورة $u = 2f$

$$\mathbf{Q} \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{2f} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{2f}$$

ومنها:

$$v = 2f = u$$

والتكبير

$$m = \frac{v}{f} - 1 = \frac{2f}{f} - 1 = 1$$

أي أن الصورة تكون عند مركز تكور العدسة (أي ضعف البعد البؤري) وقوة تكبيرها ١. أي مساوية تماماً للجسم.