

والنتيجة الهامة هي أن البعد البؤري الأولي  $f$  لسطح ما (شكل أ) لا يساوي البعد البؤري الثانوي لنفس السطح (شكل ج). ولكن العلاقة بينهما هي كالعلاقة بين معاملات انكسار الوسيطين. أي أن:

$$\frac{f}{f'} = \frac{\mu}{\mu'} \quad (2-15)$$

وكذلك نلاحظ أنه في السطح المحدب يقع مركز التكور  $C$  على يمين السطح، بينما يقع المركز على يسار السطح المقعر.

## ٩-٢: العلاقة بين بعد الجسم وبعد الصورة عن سطح كروي:

يبين شكل (٢-١٤) انكسار شعاع من الضوء عند سطح منحنى واحد ليكون صورة حقيقية لجسم وفي الشكل TA سطح كروي محدب يفصل بين وسطين. الوسط الأول معامل انكساره  $\mu$  ويوجد به الجسم عند النقطة M. والوسط الثاني معامل انكساره  $\mu'$  ومركز تكور السطح عند النقطة C الشعاع الساقط MT يسقط على السطح المحدب عند T بزاوية انكسار  $\phi$  في الوسط ذو معامل انكسار  $\mu$ . ينكسر هذا الشعاع في الوسط الثاني ذي معامل الانكسار  $\mu'$  بزاوية انكسار  $\phi'$  ويكون تقاطع الشعاع المنكسر مع المحور الأصلي عند M' هو موضع الصورة.

بتطبيق قانون سنل عند موضع السقوط نجد:

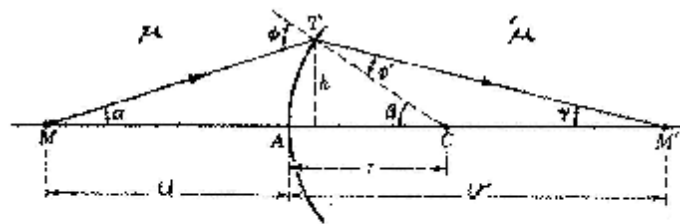
$$\mu \sin \phi = \mu' \sin \phi'$$

ولصغر زوايا السقوط  $\phi$  والانكسار  $\phi'$  فإنه يمكن كتابة

$$\mu \phi = \mu' \phi'$$

ومنها:

$$\frac{\phi}{\phi'} = \frac{\mu'}{\mu} \quad (2-16)$$



شكل (٢-١٤) مسار شعاعى لاستنتاج العلاقة العامة بين موضع جسم وصورته خلال سطح كروي يفصل بين وسطين

من هندسة الشكل نجد

$$\phi = \alpha + \beta \quad (2-17)$$

$$\phi' = \beta - \gamma \quad (2-18)$$

بقسمة هاتين المعادلتين، والتعويض من المعادلة (2-16) نجد أن

$$\mu \alpha + \mu' \gamma = (\mu' - \mu) \beta$$

وبالعودة للشكل نجد:

$$\alpha = \frac{h}{u}, \quad \beta = \frac{h}{r}, \quad \gamma = \frac{h}{v}$$

بالتعويض في المعادلة السابقة نصل إلى معادلة جاوس للسطح الكروي المفرد:

$$\frac{\mu}{u} + \frac{\mu'}{v} = \frac{\mu' - \mu}{r} \quad (2-19)$$

تعرف هذه النتيجة بالعلاقة العامة بين جسم وصورته المتكونة بالانكسار عند سطح منحنى واحد حيث  $u$  هي بعد الجسم عن السطح في الوسط الأول ذو معامل الانكسار  $\mu$ ،  $v$  هي بعد الصورة عن السطح في الوسط الثاني ذي معامل الانكسار  $\mu'$

ويعرف المقدار  $\left( \frac{\mu' - \mu}{r} \right)$  بقوة السطح. تكون موجبة إذا تسبب السطح في تجميع الأشعة الساقطة، وسالبة إذا تسبب السطح في تفريق الأشعة الساقطة. ويمكن تلخيص قاعدة الإشارات على النحو التالي:

- ١ - يتم رسم أو رصد كافة الأشعة من جهة الشمال إلى جهة اليمين.
- ٢ - يعتبر بعد الجسم  $u$  موجباً إذا تم قياسه على شمال القطب، وسالباً إذا تم قياسه على يمين القطب.
- ٣ - يعتبر بعد الصورة  $v$  موجباً إذا تم قياسه يمين القطب وسالباً إذا تم قياسه على شمال القطب.
- ٤ - البعد البؤري يكون موجباً للسطح المجمع للأشعة وسالباً للسطح المفرق لها.
- ٥ - تكون أطوال الجسم والصورة موجبة إذا تم قياسها من أعلى المحور وتكون سالبة إذا تم قياسها من أسفل المحور.
- ٦ - إذا كان السطح المقابل للجسم محدباً كانت قوته موجبة، وإذا كان السطح المقابل للجسم مقعراً كانت قوته سالبة.

مثال: ٢-٧:

سطح مقعر نصف قطره ٤ سم، ويفصل بين وسطين معامل انكسار الوسط الأول  $\mu = 1$  والثاني  $\mu' = 1.5$  وضع جسم في الوسط الأول على بعد ١٠ سم من القطب.

أوجد:

أ - البعد البؤري الأول.

ب - البعد البؤري الثانوي.

ج - بعد الصورة.

الحل:

نطبق العلاقة العامة:

$$\frac{\mu}{u} + \frac{\mu'}{v} = \frac{\mu' - \mu}{r}$$

(أ) بوضع  $v = \infty$  حيث يكون الجسم في البؤرة الأولية:

$$\therefore \frac{\mu}{f} + \frac{\mu'}{\infty} = \frac{\mu' - \mu}{r}$$

$$\therefore \frac{1}{f} = \frac{1.5 - 1}{-4}$$

$$\therefore f = -8 \text{ cm}$$

(ب) بوضع  $u = \infty$  تتكون الصورة عند البؤرة الثانوية.

$$\therefore \frac{\mu}{\infty} + \frac{\mu'}{f'} = \frac{1.5 - 1}{-4}$$

$$\therefore \frac{1.5}{f'} = \frac{0.5}{-4}$$

$$\therefore f' = -12 \text{ cm}$$

(ج) لحساب بعد الصورة عن السطح:

$$\frac{1}{10} + \frac{1.5}{v} = \frac{(1.5-1)}{4}$$

$$\therefore v = -6.6 \text{ cm}$$

### أسئلة الفصل الثاني

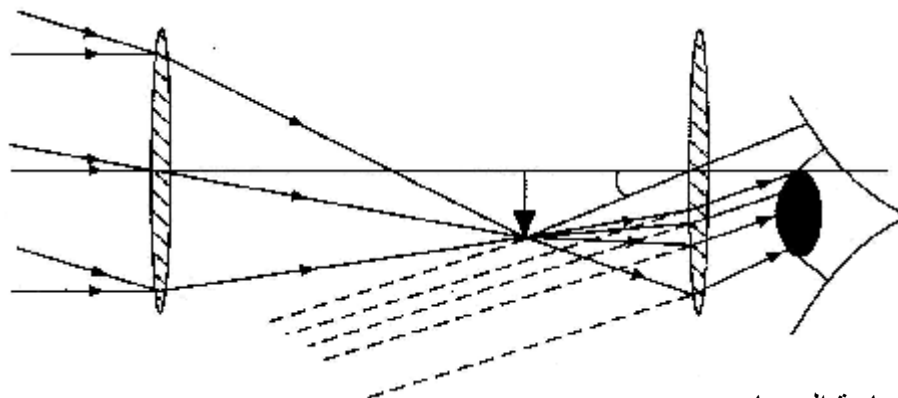
- ١ - عرف معامل الانكسار من (أ) الهواء للزجاج. (ب) الزجاج للماء، مع رسم مسار الأشعة في كل حالة. بين كيف ترتبط هذه المعاملات بسرعة الضوء في الأوساط المختلفة.
- ٢ - أوجد زاوية انكسار الضوء لشعاع ساقط بزاوية  $35^\circ$  من الهواء إلى الزجاج ومن الزجاج إلى الماء. علماً بأن معامل الانكسار للزجاج ١,٥، وللماء ١,٣٣.
- ٣ - إناء يحتوي على شريحة من الزجاج سمكها ١٠ سم. احسب قيمة الإزاحة الظاهرية لجسم أسفل شريحة الزجاج عند النظر إليه مباشرة من أعلى الشريحة. وإذا غمرت الشريحة بطبقة من الماء فوقها بارتفاع ١٠ سم. احسب قيمة الإزاحة لنفس الجسم إذا نظر إليه من أعلى خلال الطبقتين.

- ٤ - بيّن كيف يمكن تعيين معامل انكسار سائل باستخدام مرآة مقعرة.
- ٥ - احسب قيمة الزاوية الحرجة بين الأوساط التالية مع رسم لمسار الأشعة. (أ) هواء - زجاج ، (ب) هواء - ماء ، (ج) زجاج - ماء. علماً بأن معامل الانكسار للماء ١,٣ وللزجاج ١,٥.
- ٦ - مصدر ضوئي موضوع على بعد ١٢ سم من مرآة مقعرة، نصف قطر تكورها ٨ سم. أوجد قيمة زحزحة الصورة المتكونة عندما يوضع متوازي مستطيلات زجاجي سمكه ٣ سم عمودياً على محور المرآة بين المصدر الضوئي والمرآة.
- ٧ - سقط شعاع ضوئي على متوازي مستطيلات من الزجاج بزاوية قدرها ٦٠°. أوجد قيمة إزاحة الشعاع النافذ من الزجاج في الاتجاه العمودي على الشعاع نفسه. علماً بأن سمك متوازي المستطيلات الزجاجي ٥ سم، ومعامل انكسار مادته ١,٥.
- ٨ - استنتج العلاقة بين معامل انكسار مادة منشور ثلاثي وبين زاوية رأسه، والنهاية الصغرى للاحتراف الناتج عن انكسار الضوء في المنشور.
- ٩ - شعاع من ضوء أحادي اللون يسقط على أحد وجهي منشور ثلاثي بزاوية سقوط قدرها ٦٠°. فإذا علم أن الشعاع المنكسر ينعكس عند الوجه الثاني للمنشور، بحيث ينطبق على مسار تماماً. فأوجد معامل انكسار مادة المنشور، إذا علم أن زاوية رأسه ٣٠°.
- ١٠ - منشور زجاجي زاوية رأسه ٣٠°، ومعامل انكسار الضوء الأزرق فيه ١,٦٤٣ ، ومعامل انكسار الضوء الأحمر ١,٦١٨. فإذا علم أن سرعة الضوء في الفراغ هي  $3 \times 10^8$  متر/ث. احسب:
- (أ) الفرق بين زاويتي خروج الشعاع الأزرق والشعاع الأحمر.
- (ب) الفرق بين سرعة الضوء الأزرق والأحمر داخل المنشور.
- ١١ - منشور زواياه ٩٠° ، ٤٥° ، ٤٥° ، إذا سقط شعاع من الضوء موازياً للوجه الأكبر، ثم انكسر نافذاً في المنشور متجهاً نحو هذا الوجه. برهن على أنه يعاني انعكاساً كلياً عند هذا الوجه.
- ١٢ - احسب أكبر قيمة لزاوية رأس منشور من الزجاج لكي ينفذ من شعاع من ضوء ساقط على الوجه المقابل، إذا علم أن معامل الانكسار لمادته ١,٥٢.
- ١٣ - وضع جسم على مسافة ٢٠ سم أمام أقرب نقطة من كرة زجاجية نصف قطرها ١٥ سم. أوجد موضع الصورة المتكونة بالانكسار عند أقرب نقطة من الكرة. أين تتكون الصورة إذا وضع الجسم على بعد ٤٠ سم من الكرة بدلاً من ٢٠ سم، علماً بأن معامل انكسار الزجاج ١,٥.

### الفصل الثالث

#### العدسات

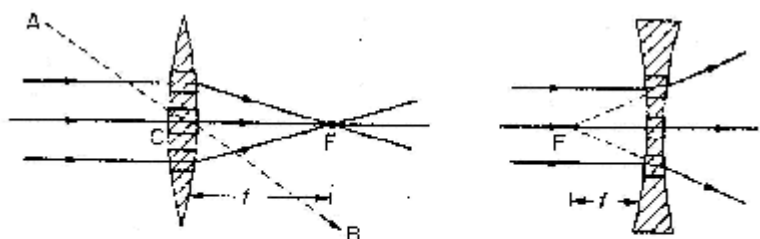
#### Lenses



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

#### ١-٣ صناعة العدسات:

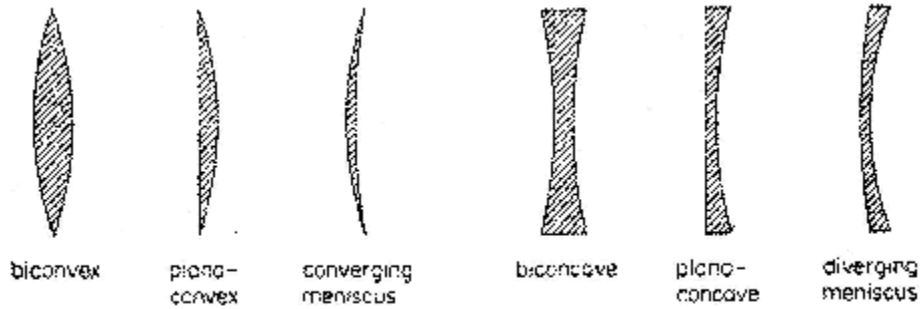
تتكون العدسة من مادة مشقة للضوء يحدها سطحان كريان عادة. وتسمى بالعدسة الكرية، وفي أحوال خاصة قد يكون أحد سطحيها أو كلاهما اسطوانياً أو طوريدياً. والمهمة الابتدائية للعدسة هي تكوين صور لأجسام حقيقية. وبالرغم من أن أغلب العدسات مصنوعة من الزجاج العادي إلا أن هناك عدسات خاصة تصنع من مواد أخرى شفافة كالكوارتز والفلوريت. ولكي نفهم القواعد التي على أساسها تعمل العدسة، نتصور مجموعة من منشورات ومتوازي مستطيلات من زجاج مرتبة حسب الأوضاع المبينة في شكل (١-٣).



شكل (١-٣) 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:

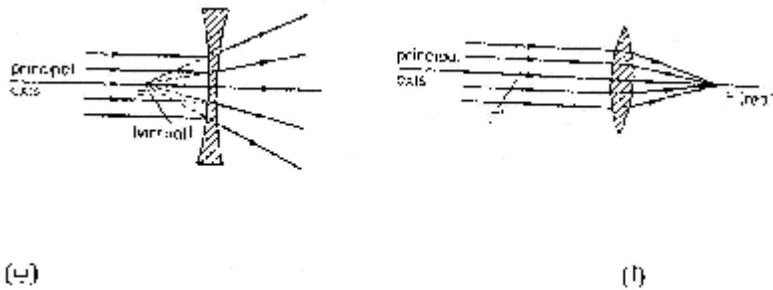
(أ) مجمعة، أو موجبة القوة، وتمتاز بأنها أكبر سمكاً في الوسط عنها في الأطراف، وعادة تكون أشكالها إما محدبة الوجهين أو مستوية محدبة أو هلالية موجبة.

(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:

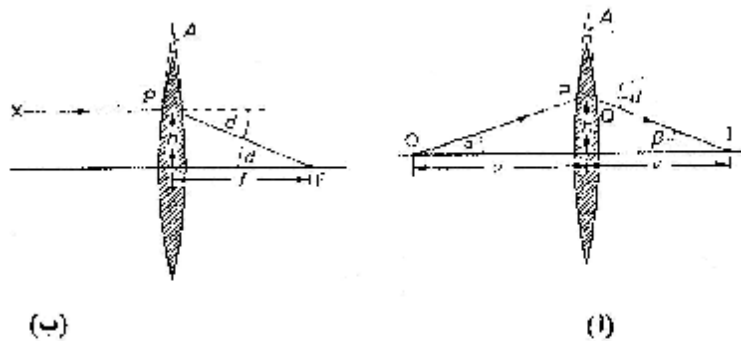
- ١ - المحور الرئيسي للعدسة هو الخط الواصل بين مركزي تكور سطحها خلال مركزها الرئيسي.
  - ٢ - البؤرة الرئيسية تقع على المحور الرئيسي للعدسة، وتكون حقيقية عند نقطة تجمع الأشعة المتوازية الساقطة على العدسة المحدبة، أو تقديرية عند نقطة تلاقي امتداد الأشعة المنكسرة من العدسة المقعرة.
  - ٣ - المستوى البؤري 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.



شكل (٣ - ٣) انكسار الأشعة في العدسة المحدبة (I) والعدسة المقعرة (B)

### ٣-٣: القانون العام للعدسات:

يبين شكل (٣ - ٤) 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.



شكل (٣ - ٤) استنتاج القانون العام للعدسات

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

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

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

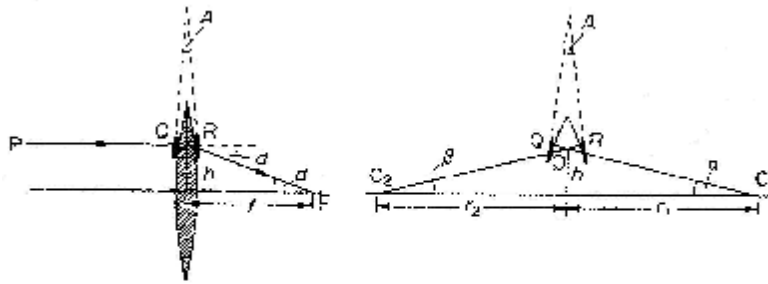
حيث تمثل  $v$  بعد الجسم عن العدسة،  $u$  بعد الصورة عن العدسة. وإذا ما أزيح الشعاع OP إزاحة زاوية بحيث يسقط في الاتجاه XP (شكل ٣ - ٤)، فإن الشعاع الخارج سيزاح بنفس الإزاحة الزاوية. وبمر عندئذ بالبويرة F مع احتفاظ زاوية الانحراف  $d$  بنفس قيمتها. ومن هذا الشكل يمكن حساب  $d$  من العلاقة:

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

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

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

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:

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

ومنها:

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

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

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



ومنها تصبح:

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

مثال: ٣-١:

وضع جسم على بعد ٢ سم من عدسة بعدها البؤري ٨ سم. أوجد موضع الصورة المتكونة.

الحل:

Q العدسة مجمعة \ f = + 18 cm

Q الجسم الحقيقي \ u = + 12 cm

$$\begin{aligned} Q \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} &= \frac{1}{f} \\ \therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{(+12)} &= \frac{1}{(+18)} \\ \therefore \frac{1}{v} &= \frac{1}{18} - \frac{1}{12} = -\frac{1}{36} \\ \therefore v &= -36 \end{aligned}$$

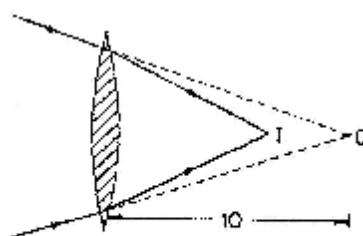
وتعني هذه النتيجة أن الصورة تقديرية وتبعد ٣٦ سم عن العدسة؛ وذلك لوجود الإشارة السالبة في قيمة بعد الصورة v.

مثال: ٣-٢:

حزمة ضوئية متجمعة عند نقطة تبعد ١٠ سم خلف عدسة محدبة (شكل ٣-٦) بعدها البؤري ٤٠ سم. 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 ١٠ سم.



شكل (٣-٦) توضيح للمثال ٣-٢

وعلى ذلك تصبح:

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

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

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

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

ولوجود الإشارة الموجبة في بعد الصورة  $v$  تكون هذه الصورة حقيقية عند I وتبعد عن العدسة مسافة ٨ سم.

مثال: ٣-٣:

وضع جسم على بعد ٦ سم أمام عدسة مفرقة بعدها البؤري ٢ سم. أوجد موضع الصورة.

الحل:

$$\backslash f = -12$$

Q العدسة مقعرة

$$\backslash u = +6$$

Q الجسم حقيقي

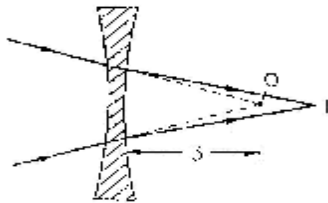
$$Q \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

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

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

وهذه صورة تقديرية على بعد ٤ سم من العدسة وأمامها.

مثال: ٣-٤:



تسقط حزمة متجمعة من الأشعة على عدسة مفرقة بعدها البؤري ٥ سم. فإذا كانت نقطة تجمع هذه الأشعة تقع خلف العدسة وعلى بعد ٣ سم 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 الساقطة، وتقع خلف العدسة. وهي جسم تقديري. ولذلك فإن:

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

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

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

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

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

مثال: ٥-٣:

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

في هذا المثال تدريب على تطبيق العلاقة:

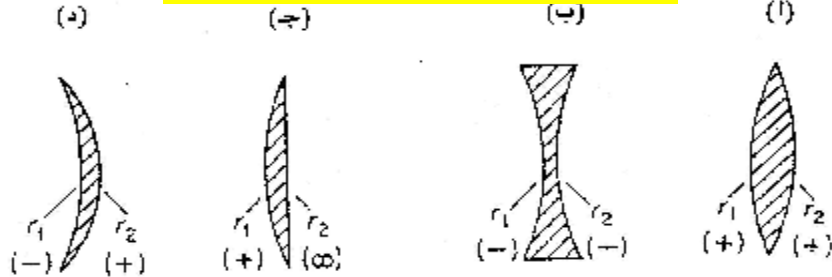
$$\frac{1}{f} = (\mu - 1) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

من الشكل نجد أن:

العدسة (أ) محدبة الوجهين:

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

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



شكل (٣-٨) توضيح للمثال ٥-٣

العدسة (ب) مقعرة الوجهين:

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

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

العدسة (ج) محدبة - مستوية:

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

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

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

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

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

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  $\mu$  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)  $25 + =$  سم

للعدسة (ج)  $50 + =$  سم

للعدسة (ب)  $25 - =$  سم

للعدسة (د)  $24 + =$  سم

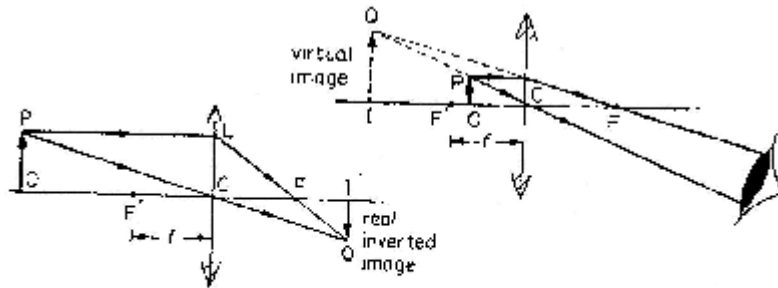
٣-٤: التكبير الخطي أو المستعرض:

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.

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

وهناك صورة أخرى إذا ما استعنا بقانون جاوس للعدسات حيث:

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

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

ومنها

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

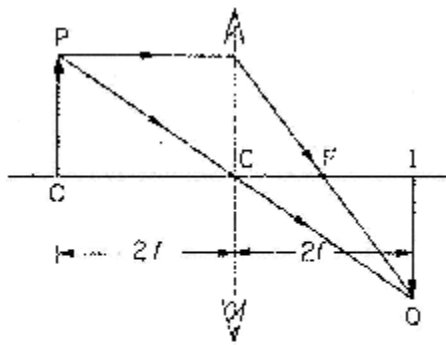
مثال: ٣-٦:

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

الحل:

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

مثال: ٣-٧:



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

الحل:

شكل (٣-١٠) توضيح المثال ٣-٧

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

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

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

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

ومنها:

$$v = 2f = u$$

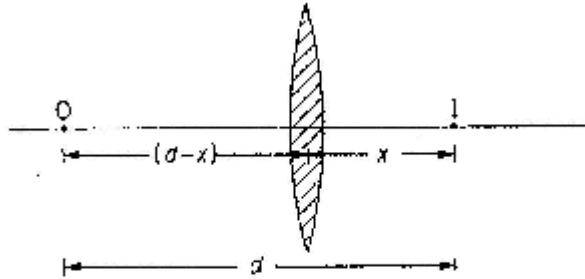
والتكبير

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

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

مثال: ٨-٣:

في شكل (١١-٣) ما هي أقل مسافة ضرورية بين الجسم O وصورته الحقيقية I إذا كان البعد البؤري للعدسة +f.



شكل (١١-٣) توضيح المثال ٨-٣

الحل:

نفرض أن الطول اللازم بين الجسم وصورته الحقيقية  $d$

كذلك نفرض أن  $v = x$  وعليه فإن  $u = d - x$

وبالتعويض في

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

نحصل على

$$\frac{1}{d-x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore x^2 - dx + df = 0$$

ونوجد جذور هذه المعادلة من

$$x = \frac{-d \pm \sqrt{d^2 - 4df}}{2}$$

ولكي نحصل على صورة حقيقية يجب أن تكون جذور هذه المعادلة حقيقية، ولا يتحقق ذلك إلا إذا كان:

$$d^2 - 4df \geq 0$$

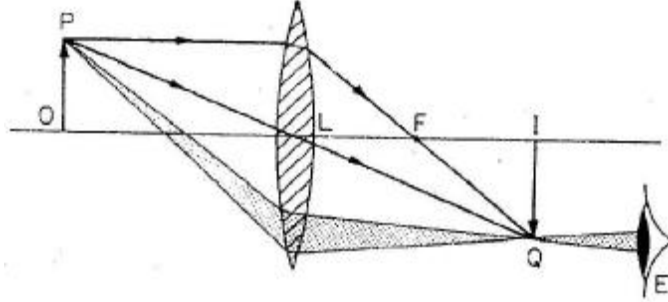
أو

$$d \geq 4f \quad (3-11)$$

وهكذا تكون أقل مسافة ضرورية كشرط لاستقبال صورة حقيقية لجسم باستخدام عدسة محدبة هي أربعة أضعاف البعد البؤري بين الجسم وصورته، وإلا استحال الحصول على صورة حقيقية، ويتأكد ذلك في المثال السابق حيث إنه عند وضع جسم على بعد مساوي لضعف البعد البؤري تكونت الصورة الحقيقية عند بعد مساوي أيضاً لضعف البعد البؤري، وبذلك تصبح المسافة بين الجسم وصورته الحقيقية أربعة أمثال البعد البؤري للعدسة المستخدمة.

### ٣-٥: النقطتان المترافقتان وعلاقة نيوتن:

من الحقائق الثابتة في مسار الأشعة الضوئية من جسم إلى صورته خلال عدسة ما أنها تخضع لقاعدة قبول العكس. فإذا كان هناك جسم في (شكل ٣-١٢) عند O وتكونت له صورة عند I نجد أنه إذا وضع الجسم مكان صورته عند I تكونت صورة له مكان الجسم عند O أي أن الجسم وصورته يمكن استبدال مواضعهما.



شكل (٣-١٢) النقطتان المترافقتان

تسمى النقطتان O, I بالنقطتين المترافقتين، كما يعرف المستويان الماران فيهما عمودياً على المحور بالمستويين المترافقين.

وإذا علم البعد البؤري لعدسة رقيقة f وكذلك بعد الجسم عن مركز العدسة u فإنه يمكن تعيين وضع وحجم صورته المتبادلة إما بيانياً بتتبع مسار الأشعة أو بتطبيق قانون جاوس للعدسات. ولتعيين وضع الصورة المتكونة بيانياً نطبق الحقائق المعروفة بأن الشعاع الساقط من P موازياً لمحور العدسة يمر بعد انكساره بالبؤرة الثانوية F وكذلك الشعاع الرئيسي PC الشعاع المار بالبؤرة الثانوية في نقطة عند Q وستقع بقية الصورة في المستوى المتبادل المار بالنقطة Q عمودياً على محور العدسة؛ نتيجة لأن جميع الأشعة الخارجة من PO تتقابل جميعها بعد الانكسار عند هذا المستوى لتكون الصورة QI.

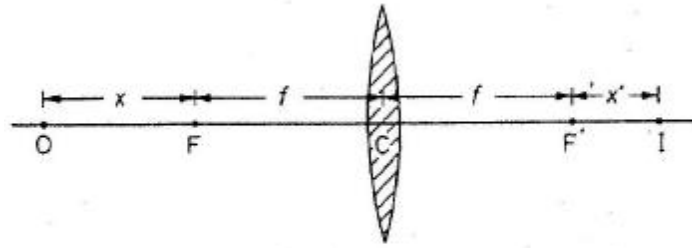
وقد بين نيوتن أن النقاط المترافقة تخضعان لعلاقة خاصة على الصورة:

$$f^2 = x'x \quad (3-12)$$

حيث x تمثل بعد الجسم عن البؤرة الرئيسية F.

و x' تمثل بعد الجسم عن البؤرة الثانوية F'.

على جانبي عدسة بعدها البؤري f وفيها F = 'F كما يوضحها شكل (٣-١٣).



شكل (٣-١٣) استنتاج علاقة نيوتن للعدسات

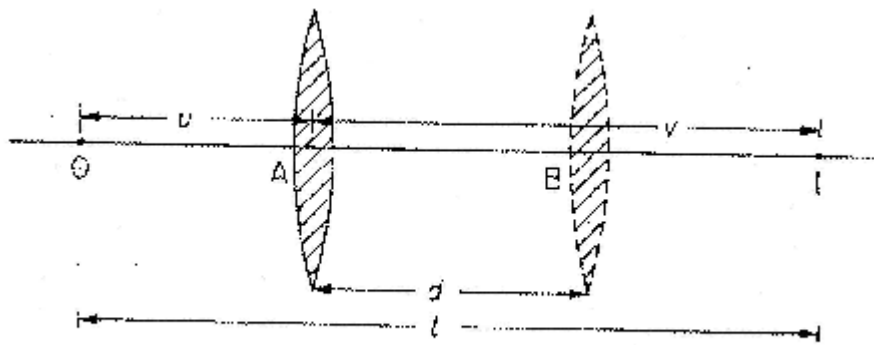
تعرف هذه العلاقة بقانون نيوتن للعدسات ويمكن استنتاجها مباشرة من القانون العام بوضع  $v = f$   
 $u = f + x$  ,  $x' = \frac{f}{x}$ .

كما يمكن منها استنتاج قوة التكبير  $m$  بحيث تكون:

$$m = \frac{x'}{x} = \frac{f}{x} \quad (3-13)$$

وتستخدم علاقة نيوتن في الحالات الخاصة التي يعرف فيها يُعرف فيها بُعد الجسم عن البؤرة المرافقة له (أي في نفس الجهة من السطح)، وكذلك بعد الصورة عن البؤرة المرافقة لها.  
**٣-٦: الوضعان المتبادلات لعدسة محدبة:**

في شكل (٣-١٤) نفرض أن جسم ما موضوع عند النقطة O أمام عدسة مجمعة A تكونت له صورة حقيقية على حائل للصورة عند I. إذا كان بعد الصورة عن العدسة أكبر من بعد الجسم عن العدسات كانت الصورة مبكرة.



شكل (٣-١٤) الوضعان المتبادلان

إذا ثبت مكان الجسم عند O والصورة عند I في موضعهما فإنه يمكن الحصول على صورة ثانية للجسم على الحائل بتحريك العدسة إلى موضع جديد B في هذه الحالة تكون هذه الصورة مصغرة؛ نظراً لأن بعد الصورة عن العدسة أصبح أقل من بعد الجسم عن العدسة، وتصبح النقطتان I, O نقطتين مترافقتين بحيث يكون  $OB = IA$  إذا كانت المسافة الثابتة بين الجسم عند O والصورة عند