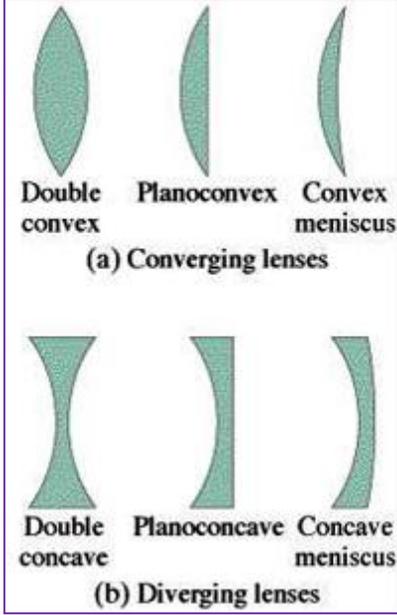


الفصل الثالث / العدسات Lenses

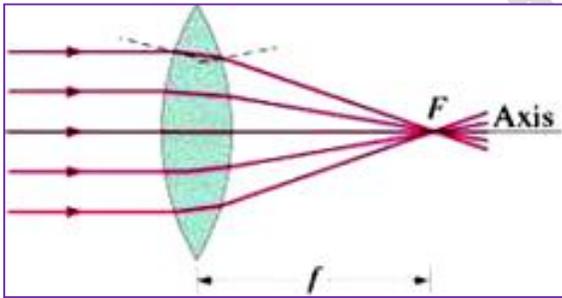
تعتبر العدسات من أهم الأجهزة البصرية فتجد العدسات في النظارات الطبية والكاميرات والتليسكوب والمجهر والبروجيكتور، هناك نوعان من العدسات النوع الأول هو العدسة المحدبة **convex lens** وتسمى أيضا بالعدسة المجمعة **converging lens** والنوع الثاني هو العدسة المقعرة **concave lens** أو العدسة المفرقة **diverging lens**.



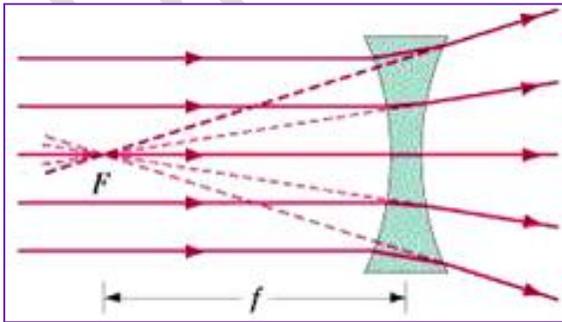
تأتي العدسات بالنوعين السابقين في عدة أشكال حسب تحدب أو تقعر سطحي العدسة والشكل التالي يوضح أنواع العدسات الرقيقة.

وكما كان للمرايا مركز للتقعر وبؤرة كذلك الحال بالنسبة للعدسات حيث ان سطح العدسة هو سطح كروي فله أيضا مركز تقعر وبؤرة، وحيث ان للعدسة سطحين فإن لكل سطح مركز تقعر وبؤرة.

لإيجاد بؤرة العدسة نقوم بتسليط أشعة ضوئية متوازية من مصدر بعيد جداً مثل أشعة الشمس فنجد أن تلك الأشعة تتجمع في الجانب الآخر من العدسة ونقطة التجمع هي بؤرة العدسة **focus point** ويرمز لها بالرمز f وبعدها عن مركز العدسة يسمى البعد البؤري للعدسة. **focal length**.



يبين الشكل المقابل سقوط حزمة من الأشعة المتوازية على عدسة محدبة **convex lens** تتجمع في البؤرة وكل شعاع يسقط على العدسة يحدث له انكسار عند سطح العدسة ويحدث انكسار عندما ينفذ الضوء من العدسة محققاً قانون Snell.

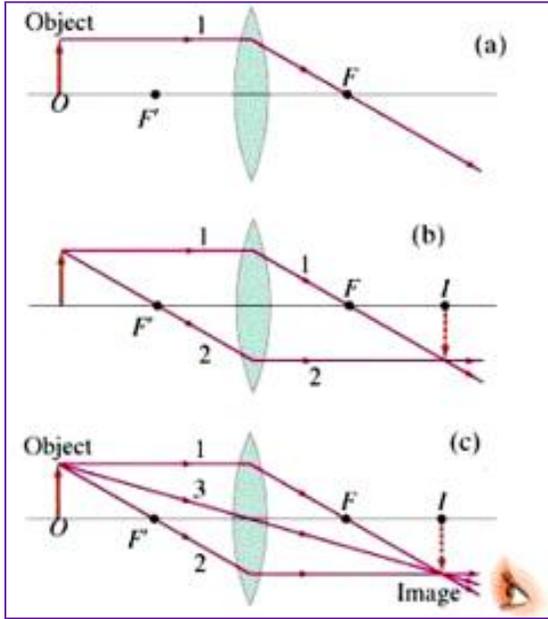


في حالة العدسة المقعرة **concave lens** تسقط الأشعة المتوازية على سطح العدسة ولكن تخرج من السطح المقابل متفرقة ولا تتجمع في نقطة كما سبق، ولكن امتداد الأشعة النافذة في اتجاه السطح الأول للعدسة (الخطوط المنقطعة في الشكل) تتلاقى في نقطة F وهي بؤرة العدسة في هذه الحالة، وتكون المسافة f وهي البعد البؤري. **focal length**.

ملاحظة: تم الاصطلاح على أن يكون البعد البؤري للعدسة المحدبة موجباً والبعد البؤري للعدسة المقعرة سالباً.

الطريقة البيانية لتحديد مواصفات الصورة المتكونة بواسطة العدسات

يمكن تحديد مواصفات الصورة الناتجة عن العدسات المحدبة أو المقعرة عن طريق الرسم وذلك من خلال تقاطع ثلاث أشعة ضوئية رئيسية كما في الشكل الآتي:



افتراض جسم موجود على مسافة أكبر من البعد البؤري لعدسة محدبة كما في الشكل المقابل، ولتحديد مواصفات الصورة نتبع ما يلي:

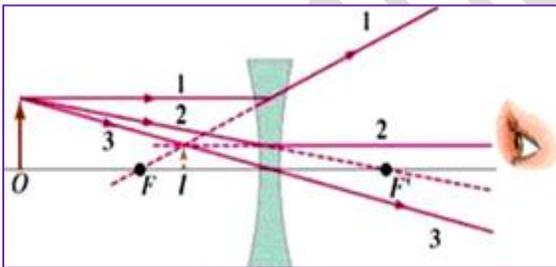
(a) نرسم شعاع من الجسم موازي للمحور الضوئي للعدسة ليسقط على العدسة وينفذ منكسراً ماراً بالبؤرة F ، الشعاع رقم (1).

(b) نرسم شعاع من الجسم يمر في البؤرة ليسقط على العدسة وينفذ موازياً للمحور الضوئي ، الشعاع رقم (2).

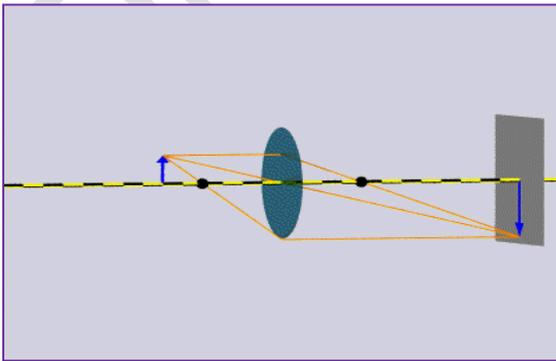
(c) نرسم شعاع من الجسم ماراً في مركز العدسة فينفذ دون انكسار ، الشعاع رقم (3).

لاحظ أن الصورة المتكونة / هي صورة مصغرة مقلوبة وحقيقية.

تقاطع الأشعة الثلاثة يحدد موقع الصورة ويمكن تحديد إذا كانت الصورة مكبرة أم مصغرة مقلوبة أم معتدلة وحقيقية أو تخيلية وفيما يلي بعض الحالات المختلفة للصورة عند تغير بعد الجسم عن المرآة.



نحصل على الصورة المكونة بواسطة العدسة المقعرة بنفس الطريقة التي تكونت بها الصورة في العدسة المحدبة نتبعها. مع العلم إن الصورة تتكون من تقاطع امتداد الأشعة الثلاثة مع بعضها وبالتالي فإن الصورة تكون تخيلية.



يوضح الشكل المجاور علاقة بعد الجسم عن العدسة مع الصورة المكونة على الحائل

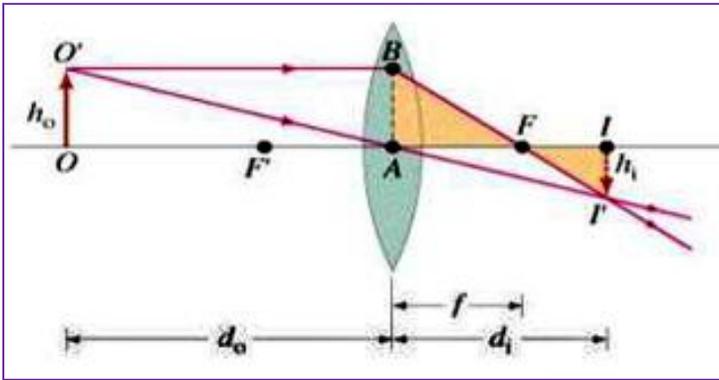
معادلة العدسات Lenses equation

يمكن الحصول على مواصفات الصورة بطريقة رياضية بدلا عن استخدام الطريقة البيانية التي تصبح صعبة عند التعامل مع نظام مكون من أكثر من عدسة. لذلك نستخدم معادلة رياضية تربط بين بعد الجسم عن العدسة d_o وبعد الصورة عن العدسة d_i والبعد البؤري للعدسة f .

اشتقاق معادلة العدسة

افترض جسم على بعد مسافة d_o من عدسة محدبة بحيث تكون d_o بين البعد البؤري ونصف قطر التكور $\text{radius of curvature}$ كما في الشكل الآتي:

تتكون صورة الجسم من خلال استخدام شعاعين احدهما يسقط موازيا للمحور الضوئي فينكسر ماراً بالبؤرة والثاني يسقط في مركز العدسة عند النقطة A فينفذ بدون انكسار. نفترض أن طول الجسم h_o وطول الصورة الناتجة h_i .



من المثلثين FBA و $F'I'A$ الموضحان في الشكل المجاور بالمنطقة المظللة باللون البرتقالي نجد أنهما متشابهين، إذا نستنتج أن

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i - f}{f}$$

ومن المثلثين $O'AO$ و $I'A I'$ المتشابهين أيضا نحصل على

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o}$$

بمساواة المعادلتين وقسمة طرفي المعادلة الناتجة على d_i نحصل على

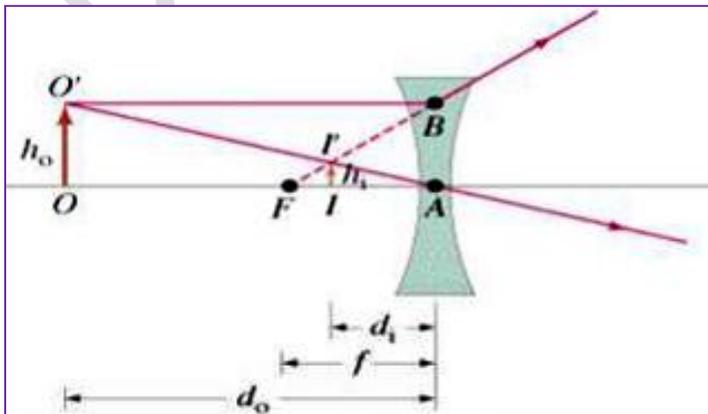
Lens equation

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

حيث ان : $f =$ البعد البؤري (م)

$d_o =$ المسافة من العدسة للجسم (م)

$d_i =$ المسافة من العدسة للصورة (م)



كما يمكن اشتقاق نفس المعادلة بنفس الطريقة باستخدام عدسة مقعرة.

التكبير Magnification

يعرف التكبير M للعدسة بأنه ارتفاع الصورة h_i مقسوماً على ارتفاع الجسم h_o ، فإذا كان التكبير ($|M|$) اكبر من واحد فإن الصورة اكبر من الجسم أما إذا كان التكبير ($|M|$) اقل من واحد تكون الصورة اصغر من الجسم.

$$M = \frac{h_i}{h_o}$$

ولكن مما سبق وجدنا ان النسبة بين h_i/h_o تساوي النسبة بين d_i/d_o وبالتالي فإن التكبير يمكن ان يحسب من

$$M = -\frac{d_i}{d_o}$$

والإشارة السالبة أضيفت لتحقيق مفهوم اصطلاح الإشارة. إذاً التكبير يعطى بالمعادلة: $M = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$

حيث أن : ارتفاع الصورة (م)

ارتفاع الجسم (م)

$M =$ التكبير (كم مرة اكبر او اصغر)

اصطلاح الإشارة للعدسات Sign convention for lenses

إشارة كلا من d_o و d_i تحدد ما إذا كان الجسم أو الصورة حقيقي real أو تخيلي virtual ، بينما تحدد إشارة التكبير إذا ما كانت الصورة معتدلة upright أو مقلوبة inverted وذلك على النحو التالي:

الجسم حقيقي real object	عندما يكون الجسم في الجانب الذي يأتي منه الضوء على العدسة	+	d_o
الجسم تخيلي virtual object	عندما يكون الجسم عكس الجانب الذي يأتي منه الضوء على العدسة	-	d_o
الصورة حقيقية real image	عندما تتكون الصورة عكس الجانب الذي يأتي منه الضوء على العدسة	+	d_i
الصورة تخيلية virtual image	عندما تتكون الصورة في الجانب الذي يأتي منه الضوء على العدسة	-	d_i

أما بالنسبة لإشارة كلا من r و f فتكون على النحو التالي

convex mirror (لآمة)	عندما تكون العدسة محدبة	+	r & f
concave mirror (مفرقة)	عندما تكون العدسة مقعرة	-	r & f

أما بالنسبة لأشارات التكبير M

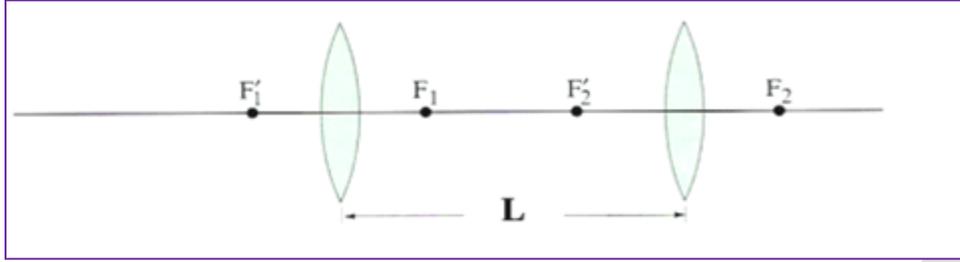
تكون الصورة معتدلة (upright)	على افتراض ان الجسم معتدل	+	M
تكون الصورة مقلوبة (inverted)	على افتراض ان الجسم معتدل	-	M

أما بالنسبة لإشارة الصورة h_i

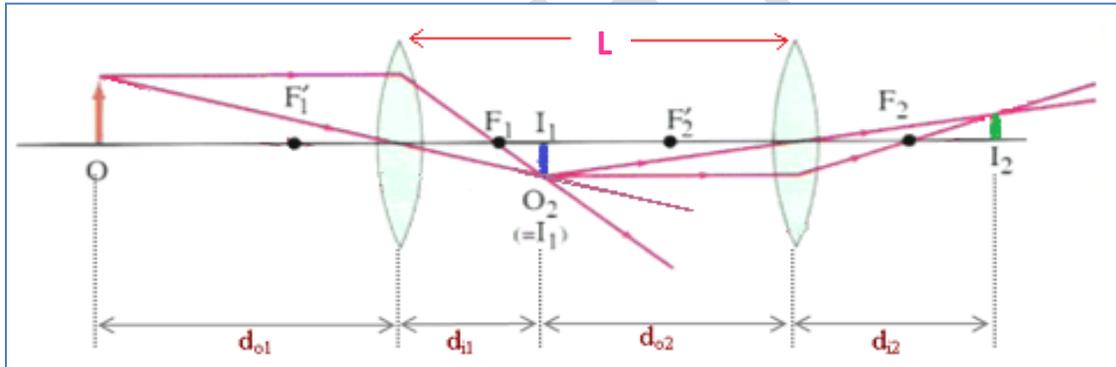
عندما تكون الصورة معتدلة upright	+	h_i
عندما تكون الصورة مقلوبة inverted	-	h_i

منظومة العدسات الرقيقة

إذا استخدمت عدستان لتكوين الصورة فالمنظومة يمكن أن تعامل كما يأتي :



1. يتم حساب بعد الصورة للعدسة الأولى وكان العدسة الثانية غير موجودة .
 2. الصورة المتكونة بواسطة العدسة الأولى تعامل كجسم بالنسبة للعدسة الثانية فإذا كانت الصورة المتكونة بواسطة العدسة الأولى تقع خلف العدسة الثانية فإن هذه الصورة تعامل كجسم خيالي بالنسبة للعدسة الثانية (أي الإشارة تكون سالبة).
 3. الصورة المتكونة بواسطة العدسة الثانية هي الصورة النهائية للمنظومة.
 4. التكبير الكلي للمنظومة = التكبير للعدسة الأولى × التكبير للعدسة الثانية .
- ونفس الأسلوب يستخدم لمنظومة من ثلاث عدسات أو أكثر.



L : المسافة بين العدستين

f_1 : البعد البؤري للعدسة الأولى

f_2 : البعد البؤري للعدسة الثانية

d_{o1} : المسافة من العدسة الأولى للجسم

d_{i1} : المسافة من العدسة الأولى للصورة التي تكونها

d_{o2} : المسافة من العدسة الثانية للجسم (والذي هو الصورة التي كونتها العدسة الأولى)

d_{i2} : المسافة من العدسة الثانية للصورة التي تكونها

h_{i1} : ارتفاع الصورة الأولى (التي كونتها العدسة الأولى)

h_{i2} : ارتفاع الصورة الثانية (التي كونتها العدسة الثانية)

h_{o1} : ارتفاع الجسم أمام العدسة الأولى

$h_{i1} = h_{o2}$: ارتفاع الجسم أمام العدسة الثانية وهو نفسه الصورة التي كونتها العدسة الأولى

M_1 : تكبير العدسة الأولى

M_2 : تكبير العدسة الثانية

M : التكبير الكلي للمنظومة

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad \text{: لحساب بعد الصورة نستخدم معادلة العدسات}$$

الصورة المتكونة من العدسة الأولى ستحسب وتعتبر جسم بالنسبة للعدسة الثانية لذلك يكون :
 $d_{o2} = L - d_{i1}$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{L - d_{i1}} + \frac{1}{d_{i2}}$$

$$m = -\frac{d_i}{d_o} \quad \text{أو} \quad m = \frac{h_i}{h_o} \quad \text{: وتكبير العدسات يمكن أن يحسب من إحدى المعادلتين}$$

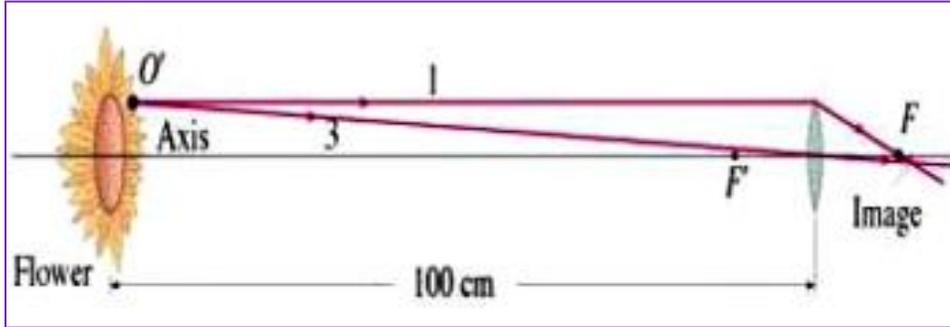
وبما إن الصورة المتكونة من العدسة الأولى ستحسب وتعتبر جسم بالنسبة للعدسة الثانية فيكون :

$$h_{i1} = h_{o2}$$

$$M = M_1 \times M_2 \quad \text{: التكبير الكلي للمنظومة}$$

$$h_{i2} = M_1 \times M_2 \times h_{o1} \quad \text{: وعليه يمكن أن يكون}$$

مثال 1/ زهرة كبيرة ارتفاعها (7.6 cm) وضعت على مسافة (1 m) من كامرة عدستها لها بعد بؤري قدره (50 mm) ، جد :1- موقع الصورة ؟ 2- حجم الصورة ؟ ثم صف الصورة المتكونة ؟



الحل:

بالاستعانة بالشكل أعلاه وباستخدام معادلة العدسات نحصل على الآتي

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_o} - \frac{1}{f} = \frac{1}{5cm} - \frac{1}{100cm} = \frac{20-1}{100cm}$$

وعليه

$$d_i = \frac{100cm}{19} = 5.26cm$$

وللحصول حجم الصورة نحسب التكبير على النحو الآتي:

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

$$h_i = mh_o = -0.0526 \times 7.6cm = -0.4cm$$

أي ان ارتفاع الصورة 4mm ومقلوبة لان إشارة التكبير سالبة.

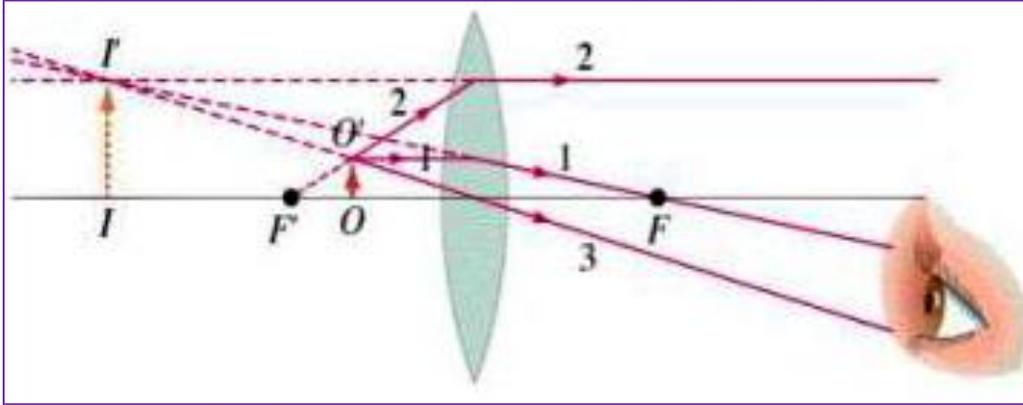
مثال 12 وضع جسم على مسافة (10 cm) من عدسة محدبة بعدها البؤري (15 cm) جد موقع الصورة المتكونة؟ والتكبير؟ ثم صف الصورة المتكونة؟

الحل:

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_o} - \frac{1}{f} = \frac{1}{15\text{cm}} - \frac{1}{10\text{cm}} = -\frac{1}{30\text{cm}}$$

$$d_i = -30\text{cm}$$



أي إن الصورة خيالية وللحصول حجم الصورة نحسب التكبير على النحو الآتي :

$$m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{-30\text{cm}}{10\text{cm}} = 3$$

الصورة مكبرة ومعتدلة وتخيلية.

مثال 3 عدسة لآمة بعدها البؤري (10 cm) فإذا كان بعد الجسم : (a) 30 cm ، (b) 10 cm ، (c) 5 cm

جد بعد الصورة ؟ وصفات الصورة ؟ في كل حالة.

$$(a) : d_o = 30 \text{ cm} \implies \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \implies \frac{1}{30} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{10} \implies$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{3-1}{30} = \frac{2}{30} = \frac{1}{15} \implies d_i = 15 \text{ cm}$$

$$M = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{15}{30} = -0.5$$

الإشارة الموجبة لبعد الصورة ($+ d_i$) يعني أن الصورة **حقيقية** (تقع خلف العدسة)

الإشارة السالبة للتكبير (M) تدل على أن الصورة **مقلوبة**

وبما إن التكبير ($|M|$) أقل من الواحد تعني أن الصورة **مصغرة** (ارتفاع الصورة نصف ارتفاع الجسم)

إذن الصورة **حقيقية مقلوبة ومصغرة**

(b): $d_o = 10 \text{ cm} \implies$ إذا وضع الجسم في البؤرة فان الصورة تكون في الما لانهاية

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \implies \frac{1}{10} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{10} \implies \frac{1}{d_i} = \frac{1}{10} - \frac{1}{10} = 0$$

$$\implies d_i = \frac{1}{0} = \text{مالانهاية}$$

(c): $d_o = 5 \text{ cm} \implies \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \implies \frac{1}{5} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{10}$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{10} - \frac{1}{5} = \frac{1-2}{10} = -\frac{1}{10} \implies d_i = -10 \text{ cm}$$

$$M = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-10)}{5} = 2$$

الإشارة السالبة لبعد الصورة ($- d_i$) يعني ان الصورة **خيالية** (تقع على جانب العدسة الذي يسقط فيه الضوء أي أمام العدسة)

الإشارة الموجبة للتكبير (M) تدل على ان الصورة **معتدلة**

وبما إن التكبير ($|M|$) أكبر من الواحد تعني ان الصورة **مكبيرة** (ارتفاع الصورة ضعف ارتفاع الجسم)

إذن الصورة **خيالية معتدلة ومكبيرة**

مثال 4/ عدسة مفرقة بعدها البؤري (10 cm) فإذا كان بعد الجسم: 30 cm (a)، 10 cm (b)، 5 cm (c)

جد بعد الصورة؟ وصفات الصورة؟ في كل حالة.

$$(a): d_o = 30 \text{ cm} \implies \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \implies \frac{1}{30} + \frac{1}{d_i} = \frac{-1}{10} \implies$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{-1}{10} - \frac{1}{30} = -\frac{(3+1)}{30} = -\frac{4}{30} \implies d_i = -\frac{30}{4} \implies d_i = -7.5 \text{ cm}$$

$$M = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-7.5)}{30} = 0.25$$

الإشارة السالبة لبعـد الصورة ($-d_i$) يعني ان الصورة **خيالية** ، الإشارة الموجبة للتكبير (M) تدل على ان الصورة **معتدلة** ، وبما ان التكبير ($|M|$) اقل من الواحد تعني ان الصورة **مصغرة**

إذن الصورة خيالية معتدلة ومصغرة

$$(b): d_o = 10 \text{ cm} \implies \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \implies \frac{1}{10} + \frac{1}{d_i} = -\frac{1}{10} \implies$$

$$\frac{1}{d_i} = -\frac{1}{10} - \frac{1}{10} = -\frac{2}{10} = -\frac{1}{5} \implies d_i = -5 \text{ cm}$$

$$M = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-5)}{10} = 0.5$$

الإشارة السالبة لبعـد الصورة ($-d_i$) يعني ان الصورة **خيالية** ، الإشارة الموجبة للتكبير (M) تدل على ان الصورة **معتدلة** ، وبما ان التكبير ($|M|$) اقل من الواحد تعني ان الصورة **مصغرة**

إذن الصورة خيالية معتدلة ومصغرة (لاحظ الفرق بين العدستين في هذه الحالة)

$$(c): d_o = 5 \text{ cm} \implies \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \implies \frac{1}{5} + \frac{1}{d_i} = -\frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{d_i} = -\frac{1}{10} - \frac{1}{5} = -\frac{(1+2)}{10} = -\frac{3}{10} \implies d_i = -\frac{10}{3} = -3.3 \text{ cm}$$

$$M = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-3.3)}{5} = 0.66$$

الإشارة السالبة لبعـد الصورة ($-d_i$) يعني ان الصورة **خيالية** ، الإشارة الموجبة للتكبير (M) تدل على ان الصورة **معتدلة** ، وبما ان التكبير ($|M|$) اقل من الواحد تعني ان الصورة **مصغرة** إذن الصورة خيالية معتدلة ومصغرة

مثال 15 وضعت عدستان على مسافة (20 cm) عن بعضهما ، البعد البؤري للأولى (10 cm) والبعد البؤري الثانية (20 cm) ، جد موقع الصورة النهائي المتكونة لجسم موضوع على بعد (30 cm) أمام العدسة الأولى ؟ ثم جد تكبير المنظومة؟

الحل:

بالنسبة للعدسة الاولى

$$\frac{1}{d_{o1}} + \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{f_1} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{30} + \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{10} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{d_{i1}} = \frac{(3-1)}{30} = \frac{2}{30} = \frac{1}{15} \quad \Rightarrow \quad d_{i1} = 15 \text{ cm}$$

$$M_1 = -\frac{d_{i1}}{d_{o1}} = -\frac{15}{30} = -0.5$$

الصورة المتكونة في العدسة الاولى ستكون بمثابة جسم بالنسبة للعدسة الثانية

بالنسبة للعدسة الثانية

$$d_{o2} = L - d_{i1} = 20 - 15 = 5 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{d_{o2}} + \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{f_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{5} + \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{20} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{20} - \frac{1}{5}$$

$$\frac{1}{d_{i2}} = \frac{(1-4)}{20} = -\frac{3}{20} \quad \Rightarrow \quad d_{i2} = -\frac{20}{3} \quad \Rightarrow \quad d_{i2} = -6.66 \text{ cm}$$

$$M_2 = -\frac{d_{i2}}{d_{o2}} = -\frac{-6.66}{5} = 1.3$$

التكبير الكلي

$$M = M_1 \times M_2 = -0.5 \times 1.3 = -0.65$$

نلاحظ ان إشارة التكبير الكلي سالبة وهذا يعني ان الصورة **مقلوبة**

وان القيمة المطلقة للتكبير اقل من الواحد وهذا يعني ان الصورة **مصغرة**

وان إشارة الصورة النهائية سالبة (d_{i2}) وهذا يعني ان الصورة **خيالية**

إذن الصورة النهائية للمنظومة تكون مقلوبة مصغرة وخيالية

أسئلة للفصل الثالث:

- س1/ وضعت عدستان بعدهما البوري (10 cm) و (20 cm) على التوالي بحيث كانت المسافة بينهما (25 cm) ، جد موقع الصورة النهائية المتكونة لجسم موضوع على بعد (30 cm) أمام العدسة الأولى؟ ثم جد التكبير الكلي للمنظومة؟ وصف الصورة المتكونة؟
- س2/ عدسة لآمة بعدها البوري (20 cm) جد بعد الصورة؟ إذا كان بعد الجسم: (a) 40 cm ، (b) 20 cm ، (c) 10 cm ؟ واذكر مواصفات الصورة في كل حالة؟
- س3/ عدسة رقيقة بعدها البوري (25 cm) جد بعد الصورة؟ إذا كان بعد الجسم: (a) 26 cm ، (b) 24 cm واذكر مواصفات الصورة في كل حالة؟
- س4/ وضع جسم على بعد (32 cm) أمام العدسة فتكونت صورة للجسم على شاشة تبعد (8 cm) خلف العدسة (a) جد البعد البؤري للعدسة؟ (b) احسب التكبير؟ (c) حدد نوع العدسة هل هي لآمة أم مفرقة؟
- س5/ جسم يبعد (20 cm) على يسار عدسة مفرقة بعدها البوري (f = - 32 cm) احسب : (a) بعد الصورة ، (b) التكبير ، (c) اذكر صفات الصورة المتكونة ، (d) ارسم مخطط الأشعة؟
- س6/ وضع جسم أمام عدسة فتكونت له صورة معتدلة ، فإذا كانت المسافة بين الجسم والصورة (20 cm) وكان التكبير (0.5) ، ما هو البعد البؤري للعدسة المستخدمة؟