

الفصل الخامس

ظاهرة الانكسار والعدسات (Refraction Phenomena and Lenses)

((5))

1-5 الانكسار (Refraction)

2-5 قانونا الانكسار (Refraction Laws)

3-5 الزاوية الحرجة والانكسار الكلي الداخلي

(Critical Angle and Total Internal Reflection)

4-5 العدسات (Lenses)

1-4-5 العدسة المحدبة (الأمامية) (Convex Lenses)

2-4-5 العدسة المقعرة (المقعرة) (Concave Lenses)

5-5 المصطلحات الأساسية للعدسات General Terms for Lenses

1-5-5 المركز البصري للعدسة (Optical center of Lens) (C)

2-5-5 بؤرة العدسة للعدسة (Focus of Lens) (F)

3-5-5 المحور الرئيسي للعدسة (Principle Axis of Lens)

4-5-5 البعد البؤري للعدسة (Focal Length of Lens) (f)

6-5 معادلة العدسات (Lenses Equation)

7-5 التطبيقات الطبية للعدسات Medical applications of Lenses

1-7-5 قصر النظر (Myopia (Nearsightedness)

2-7-5 بعد النظر (Hyperopia (Farsightedness)

الفصل الخامس

ظاهرة الانكسار والعدسات (Refraction Phenomena and Lenses)

1-5 الانكسار (Refraction)

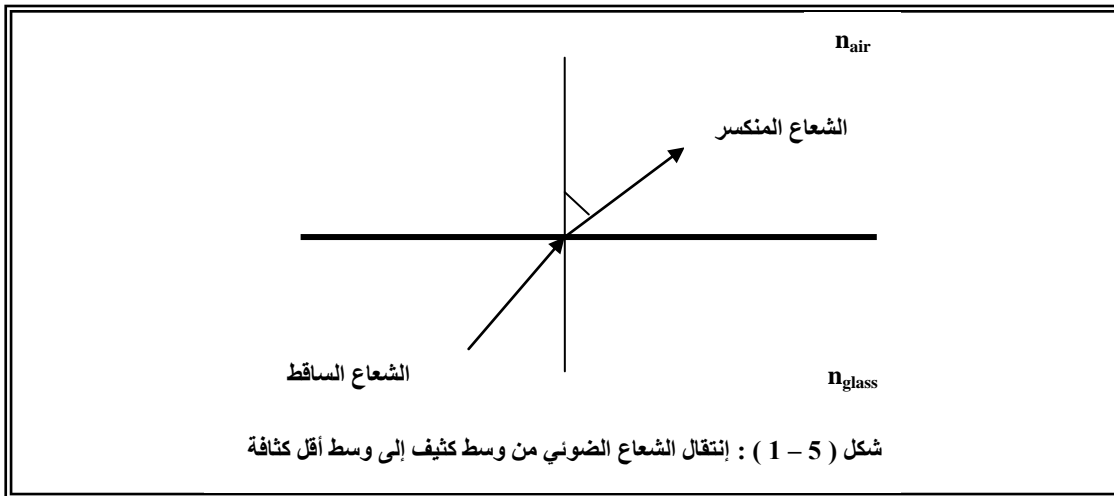
يُعرّف الانكسار على أنه انحراف في مسار الأشعة الضوئية نتيجة لانتقالها ونفاذها بين وسطين شفافين مختلفين

في الكثافة الضوئية (معامل الانكسار (Refraction Index) (n)) .

فإذا انتقل الشعاع الضوئي من وسط كثيف (معامل إنكساره كبير) مثلا (الزجاج)

إلى وسط أقل كثافة (معامل إنكساره صغير) مثلا (الهواء) ، فإن الشعاع ينكسر بعيدا عن العمود المقام

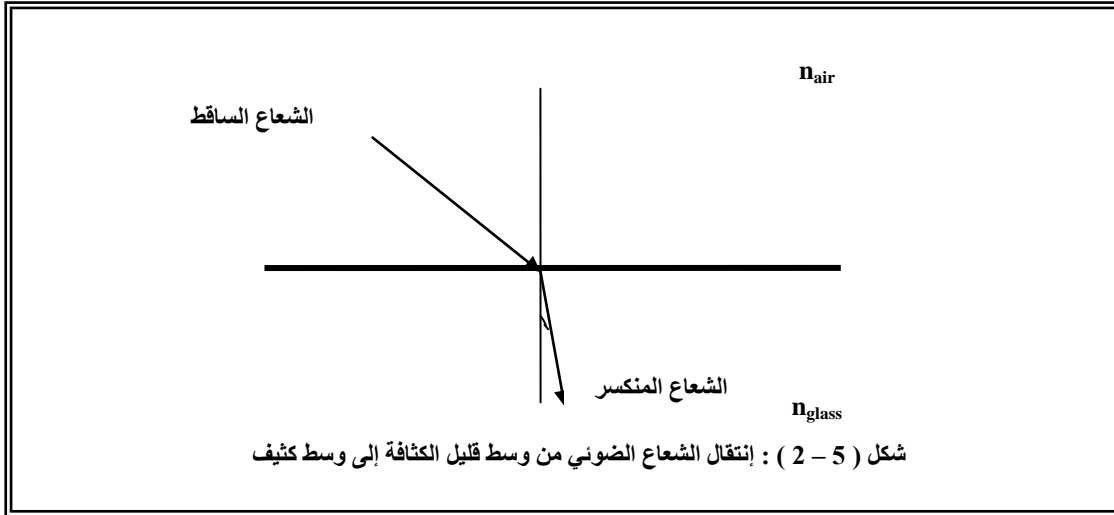
على السطح الفاصل بين الوسطين ، وكما مبين في الشكل (1 - 5) .



أما إذا إنتقل الشعاع الضوئي من وسط قليل الكثافة (معامل إنكساره صغير) مثلا (الهواء) إلى وسط

كثير الكثافة (معامل إنكساره كبير) مثلا (الزجاج) فإن الشعاع ينكسر مقتربا من العمود المقام على السطح

الفاصل بين الوسطين ، و كما مبين في الشكل (5 - 2) .



يُعرّف معامل الانكسار (n) على أنه النسبة بين سرعة الضوء في الهواء (c) (Air) والتي تساوي

($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) إلى سرعته في الوسط (v) (Medium) ، وكالاتي :

$$n = \frac{c}{v} \dots (1-5)$$

مثال 1 - 5 : احسب مقدار معامل الانكسار لقطعة زجاجية سرعة الضوء فيها ($1.8 \times 10^8 \text{ m/s}$) .

إذا علمت أن سرعة الضوء في الهواء تساوي ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) ؟

الحل :

من المعادلة (1 - 5) :

$$n = \frac{c}{v} \dots (1-5)$$

$$n_{\text{glass}} = \frac{c_{\text{air}}}{v_{\text{glass}}}$$

$$n_{\text{glass}} = \frac{(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{(1.8 \times 10^8 \text{ m/s})}$$

$$\therefore n_{\text{glass}} = 1.66$$

2-5 قانون الانكسار (Refraction Laws)

تتلخص قوانين الانكسار بقانونين هما :

القانون الأول : الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل بين الوسيطين

تقع جميعها في مستوى واحد متعامد على السطح الفاصل .

القانون الثاني : ويسمى بقانون سنيل (Snell's Law) الذي ينص على أن ((النسبة بين معامل انكسار الوسيطين

يساوي النسبة بين جيب الزاوية المقابلة لها)) أي أن :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_r}{\sin \theta_i} \dots (2-5)$$

$$\therefore n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \dots (3-5)$$

حيث أن :

n_1 : معامل انكسار الوسط الأول .

n_2 : معامل انكسار الوسط الثاني .

θ_r : زاوية انكسار الشعاع في الوسط الثاني .

θ_i : زاوية سقوط الشعاع في الوسط الأول .

مثال 5 - 2 : سقط شعاع ضوئي بزاوية (25°) على الحد الفاصل بين الوسيطين (هواء) و (ماء) .

احسب زاوية الانكسار لكل من الحالتين الآتيتين ، إذا علمت أن $(n_{air} = 1)$ و $(n_{water} = 1.33)$:

1- إذا إنتقل الشعاع الضوئي من الهواء إلى الماء ؟

2- إذا إنتقل الشعاع الضوئي من الماء إلى الهواء ؟

الحل : نُحدّد معطيات ومجاهيل السؤال كالتالي :

$$[1] \quad (n_{(1)air} = 1) , (n_{(2)water} = 1.33) , (\theta_i = 25^\circ) , (\theta_{r(air-water)} = ?)$$

من المعادلة (3 - 5) :

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \dots (3-5)$$

$$n_{(1)air} \sin \theta_i = n_{(2)water} \sin \theta_{r(air-water)}$$

$$(1) \sin 25^\circ = (1.33) \sin \theta_{r(air-water)}$$

$$\theta_{r(air-water)} = \sin^{-1} \left(\frac{(1) \sin 25^\circ}{(1.33)} \right) = \sin^{-1} (0.317)$$

$$\Rightarrow \theta_{r(air-water)} = 18.5^\circ$$

أي أن الشعاع المنكسر سوف يقترب من العمود المقام .

$$(\theta_{r(water-air)} = ?) \cdot (\theta_i = 25^\circ) \cdot (n_{(2)air} = 1) \cdot (n_{(1)water} = 1.33) \quad \boxed{-2}$$

من المعادلة (3 - 5) :

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \dots (3-5)$$

$$n_{(1)water} \sin \theta_i = n_{(2)air} \sin \theta_{r(water-air)}$$

$$(1.33) \sin 25^\circ = (1) \theta_{r(water-air)}$$

$$\theta_{r(water-air)} = \sin^{-1} \left(\frac{(1.33) \sin 25^\circ}{(1)} \right) = \sin^{-1}(0.562)$$

$$\Rightarrow \theta_{r(water-air)} = 34.2^\circ$$

أي أن الشعاع المنكسر سوف يبتعد عن العمود المقام .

3-5 الزاوية الحرجة والإبغراس الكلي الداخلي

(Critical Angle and Total Internal Reflection)

لقد ذكرنا سابقاً أنه عندما يسقط شعاع ضوئي من وسط كثيف ضوئياً (معامل إنكساره كبير) إلى وسط أقل كثافة ضوئية (معامل إنكساره صغير) فإنه ينكسر مبتعداً عن العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين ، وكلما ازدادت زاوية السقوط زادت زاوية الإنكسار وتظل زاوية الإنكسار تزداد بزيادة زاوية السقوط إلى أن ينطبق الشعاع المنكسر على الحد الفاصل بين الوسطين ، أي أن زاوية الإنكسار تكون مقدارها في هذه الحالة (90°) ، عندها تسمى زاوية السقوط بالزاوية الحرجة (Critical Angle) (θ_c) ، ويمكن تعريفها بكونها (زاوية السقوط التي تقابلها زاوية إنكسار تساوي (90°)) .

من المعادلة (3 - 5) :

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \dots (3-5)$$

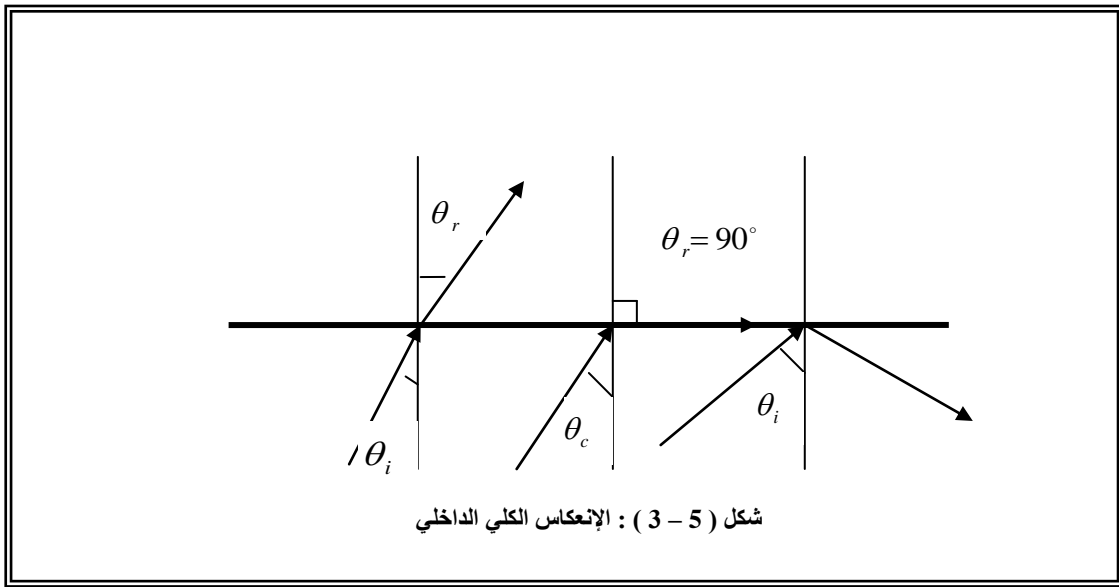
$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \Rightarrow n_1 \sin \theta_c = n_2 (1)$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \dots (4-5)$$

وبما أن جيب الزاوية لا يمكن أن يزيد عن الواحد ، فإن المعادلة (10 - 4) تؤكد أن الانعكاس الكلي الداخلي يحدث فقط عندما يكون معامل انكسار الوسط الأول (n_1) أكبر من معامل انكسار الوسط الثاني (n_2) ، أو بصيغة أخرى يكون كثافة الوسط الاول أكثر من كثافة الوسط الثاني .

إذا سقط الشعاع الضوئي بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإنه سوف ينعكس انعكاسا كلياً داخلياً وكان السطح الفاصل سطح عاكس ، كما موضح في الشكل (5 - 3) .



مثال 5 - 3 : حدّد مقدار الزاوية الحرجة (θ_c) لكل من الحالتين الآتيتين ، إذا علمت أن ($n_{air} = 1$)

و ($n_{water} = 1.33$) و ($n_{glass} = 1.5$) :

1- إذا إنتقل الشعاع الضوئي من الزجاج إلى الهواء ؟

2- إذا إنتقل الشعاع الضوئي من الزجاج إلى الماء ؟

الحل : نحدد معطياته ومجهيل السؤال كالتالي :

$$[1] \quad (\theta_{c(glass-air)} = ?) , (n_{(2)air} = 1) , (n_{(1)glass} = 1.5)$$

من خلال تطبيق المعادلة (4 - 5) :

$$\therefore \theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \dots (4-5)$$

$$\Rightarrow \theta_{c(glass-air)} = \sin^{-1} \frac{1}{1.5}$$

$$\Rightarrow \theta_{c(glass-air)} = \sin^{-1} 0.66$$

$$\therefore \theta_{c(glass-air)} = 41.3^\circ$$

$$(\theta_{c(glass-water)} = ?) \cdot (n_{(2)water} = 1.33) \cdot (n_{(1)glass} = 1.5) \quad \boxed{-2}$$

من خلال تطبيق المعادلة (4 - 5) :

$$\therefore \theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \dots (4-5)$$

$$\Rightarrow \theta_{c(glass-water)} = \sin^{-1} \frac{1.33}{1.5}$$

$$\Rightarrow \theta_{c(glass-water)} = \sin^{-1} 0.88$$

$$\therefore \theta_{c(glass-water)} = 62.7^\circ$$

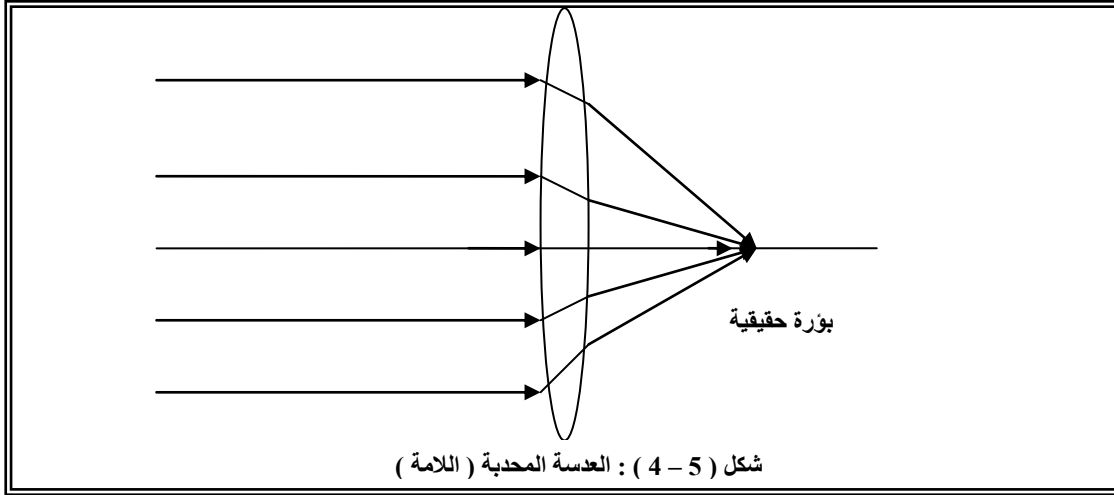
أي أن قيمة الزاوية الحرجة تزداد بزيادة معامل انكسار الوسط الذي ينتقل إليه الشعاع الضوئي .

4-5 العدسات (Lenses)

العدسة عبارة عن جسم شفاف محدود بسطحين كرويين أو بسطح كروي وآخر مستوي ، ويمكن تصنيف العدسات بشكل عام إلى نوعين وهما :

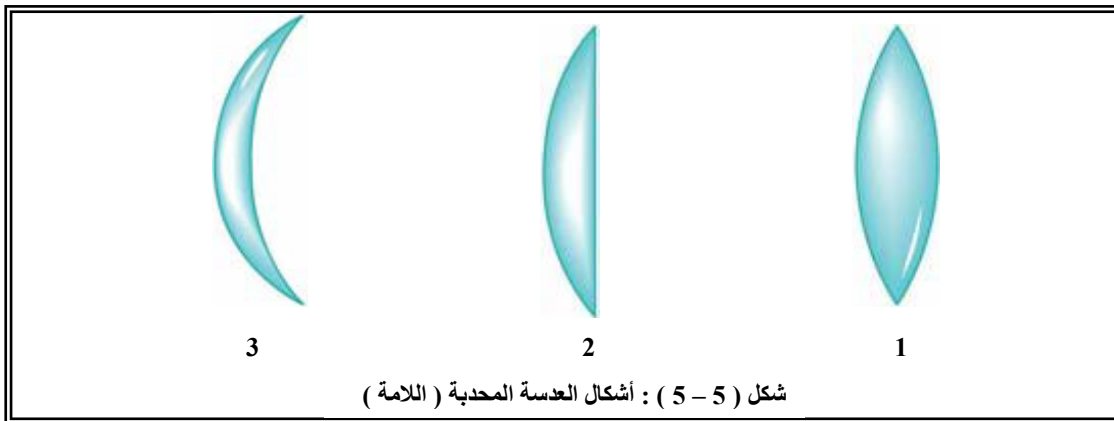
1-4-5 العدسة المحدبة (الامة) (Convex Lenses)

وهي العدسات التي تكون سمیكة من الوسط ومستدقة في الطرفين ، وتؤدي هذه العدسات إلى إنكسار الأشعة الساقطة عليها وتجمعها في نقطة تسمى بؤرة العدسة ، وتكون هذه البؤرة حقيقية وكما في الشكل (4 - 5) .



والعدسة المحدبة ثلاثة أشكال كما مبين في الشكل (5 - 5) وهي :

- 1- عدسة محدبة الوجهين .
- 2- عدسة محدبة وجه واحد .
- 3- عدسة محدبة وجه ومقعرة الوجه الآخر .

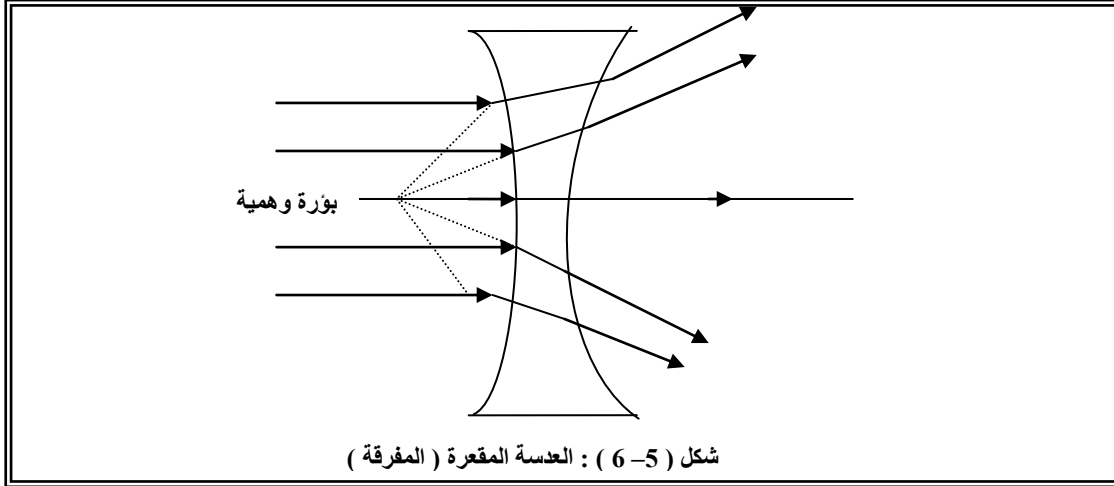


أما صفات الصور المتكوّنة في العدسة المحدبة فهي :

- 1- حقيقية ومقلوبة : وذلك إذا كان الجسم موضوعاً بعيداً عن البؤرة الرئيسية للعدسة .
- 2- وهمية معتدلة ومكبرة : وذلك إذا كان الجسم موضوعاً بين البؤرة الرئيسية والعدسة .

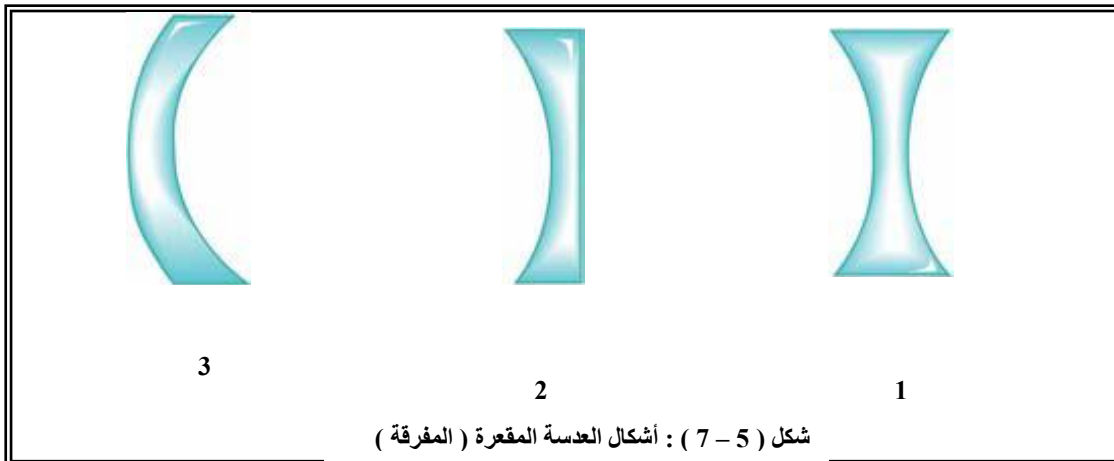
2-4-5 العدسة المقعرة (المفرقة) (Concave Lenses)

وهي العدسات التي تكون سمكية في الطرفين ومسطقة في الوسط ، وتؤدي هذه العدسات إلى إنكسار الأشعة الساقطة عليها باتجاه الحواف الطرفية للعدسة فتتكون البؤرة من امتدادات الأشعة المنكسرة ، وتكون هذه البؤرة وهمية وكما في الشكل (5 - 6) .



والعدسة المقعرة ثلاثة أشكال كما مبين في الشكل (5-7) وهي :

- 1- عدسة مقعرة الوجحين .
- 2- عدسة مقعرة مستوية .
- 3- عدسة مقعرة محدبة .

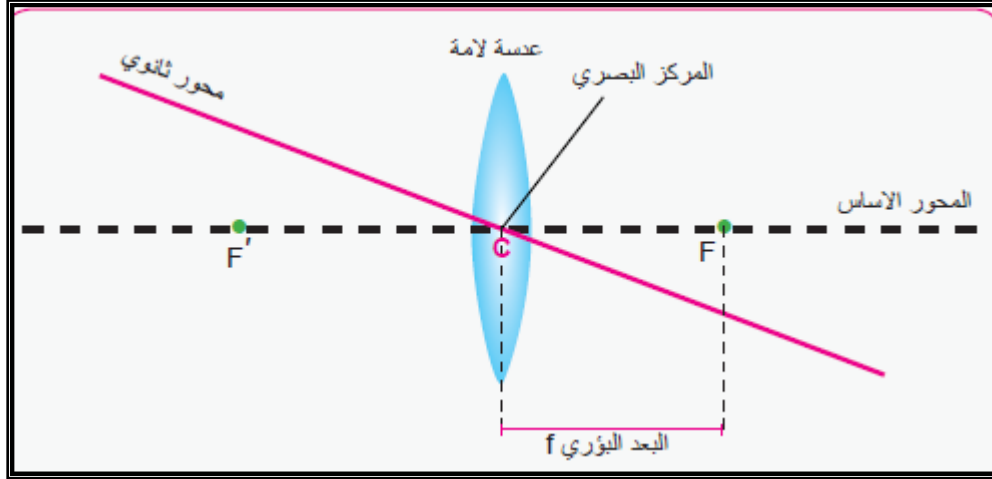


أما صفات الصور المتكونة في العدسة المقعرة فهي :

- 1- وهمية (Virtual) .
- 2- معتدلة (Erected) .
- 3- مصغرة (Demagnified) .

5-5 المصطلحات الأساسية للعدسات (General Terms for Lenses)

والتي نتعرف على كيفية تكون الصور في العدسات علينا التعرف على المفاهيم التالية المتعلقة بها ، وكما مبين في الشكل (5 - 8) الذي يوضح عدسة محدبة :



شكل (5 - 8) : المفاهيم الأساسية للعدسات

1-5-5 المركز البصري للعدسة (Optical center of Lens) (C)

وهو النقطة التي تقع عند مركز العدسة .

2-5-5 بؤرة العدسة للعدسة (Focus of Lens) (F)

وهي النقطة على المحور الرئيسي للعدسة ، وتكون وهمية في حالة العدسة المقعرة لأنها تتشكل من امتدادات الأشعة المنكسرة عن سطح العدسة ، وواقعية في حالة العدسة المحدبة لأنها تتشكل من تلاقي الأشعة المنكسرة نفسها عن سطح العدسة.

توجد بؤرتان للعدسة ، الأولى تسمى (بؤرة ابتدائية F) تقع في جهة الشعاع الساقط على العدسة ، والثانية تسمى (بؤرة ثانوية F') تقع في جهة الشعاع المنكسر والنافذ من العدسة .

3-5-5 المحور الرئيسي للعدسة (Principle Axis of Lens)

وهو الخط الواصل بين المركز البصري للعدسة وبؤرتيها .

4-5-5 البعد البؤري للعدسة (Focal Length of Lens) (f)

وهو المسافة بين المركز البصري للعدسة وبؤرتيها .

6-5 معادلة العدسات (Lenses Equation)

وهي المعادلة التي تربط بين كل من البُعد البؤري للعدسة (F) (Focal Length of Lenses) ،

وَبُعد الجسم (O) (Object Distance) ، وَبُعد الصورة (I) (Image Distance) بالعلاقة الآتية :

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{O} + \frac{1}{I} \dots (5-5)$$

عند تطبيق المعادلة أعلاه يجب الأخذ بالنقاط الآتية وبعين الاعتبار :

1- (F) تكون موجبة للعدسة المحدبة ، وسالبة للعدسة المقعرة .

2- (I) تكون موجبة إذا كانت الصورة (حقيقية) ، وسالبة إذا كانت الصورة (وهمية) .

ملاحظة : لتحديد مقدار التكبير (M) يتم تطبيق القانون الآتي : -

$$M = -\frac{I}{O} = \frac{h_I}{h_O} \dots (6-5)$$

حيث أن :

M : معامل التكبير .

بالنسبة لإشارة التكبير :

❖ فإذا كانت (موجبة) فالصورة تكون معتدلة .

❖ وإذا كانت (سالبة) فالصورة تكون مقلوبة .

❖ أما بالنسبة لمقدار التكبير :

❖ فإذا كانت ($M > 1$) فالصورة تكون مكبرة .

❖ وإذا كانت ($M < 1$) فالصورة تكون مصغرة .

❖ أما إذا كانت ($M = 1$) فالصورة تكون لا مكبرة ولا مصغرة .

h_I, h_O : طول (إرتفاع) الجسم ، طول (إرتفاع) الصورة .

مثال 4 - 5 : حدد صفات الصورة ومقدار التكبير لجسم طوله (1.5cm) وضع على بُعد (5cm)

من عدسة محدبة بُعدها البؤري (3cm) ؟

الحل : نحدد معطيات ومجهيل السؤال كالتالي :

$$h_o = 1.5cm, O = 5cm, F = 3cm, I = ? M = ?$$

من قانون العدسات نجد :

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{O} + \frac{1}{I}$$

$$\frac{1}{3} = \frac{1}{5} + \frac{1}{I} \Rightarrow I = \frac{15}{2} cm$$

$$\therefore I = 7.5cm$$

وهذا يعني أن الصورة حقيقية ، وتقع على بعد (7.5 cm) من مركز العدسة.

ولتحديد مقدار التكبير (M) :

$$M = -\frac{I}{O} = -\frac{7.5}{5}$$

$$\Rightarrow M = -1.5$$

أي أن الصورة حقيقية ، مقلوبة ، مكبرة تقريبا (1.5 مرة) .

مثال 5 - 5 : أين يجب وضع جسم طوله (2cm) من عدسة محدبة بُعدها البؤري (4cm) ليتشكّل

صورة وهمية مكبرة مرتين ؟

الحل : نحدد معطياته ومجاهيل السؤال كالتالي :

$$h_o = 2cm, O = ?, F = 4cm, M = 2$$

بما أن الصورة المتشكّلة هي وهمية مكبرة مرتين ، إذن :

$$\therefore I = -2O$$

من قانون العدسات نجد :

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{O} + \frac{1}{I}$$

$$\frac{1}{(4)} = \frac{1}{O} + \frac{1}{(-2O)} \Rightarrow \frac{1}{(4)} = \frac{1}{O} - \frac{1}{2O}$$

$$\frac{1}{(4)} = \frac{1}{2O}$$

$$\Rightarrow O = 2cm$$

إذن ، يتم وضع الجسم على بعد (2cm) من مركز العدسة وتتشكّل له صورة وهمية معتدلة ومكبرة مرتين وتقع على بعد (- 4cm) من مركز العدسة .

مثال 5 - 6 : حدّد صفات الصورة ومقدار التكبير لجسم طوله (3cm) وضع على بُعد (3cm) من عدسة

مقعرة بُعدها البؤري (3cm) ؟

الحل : نحدد معطيات ومجاهيل السؤال كالآتي :

$$h_o = 3cm, O = 3cm, F = -3cm, I = ?, M = ?$$

من قانون العدسات نجد :

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{O} + \frac{1}{I}$$

$$\frac{1}{-3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{I} \Rightarrow I = -\frac{3}{2}cm$$

$$\therefore I = -1.5cm$$

وهذا يعني أن الصورة وهمية ، وتقع على بُعد (-1.5 cm) من مركز العدسة.

ولتحديد مقدار التكبير (M) :

$$M = -\frac{I}{O} = -\frac{-1.5}{3}$$

$$\Rightarrow M = 0.5$$

أي أن الصورة وهمية ، معتدلة ، مصغرة تقريبا (0.5 مرة)

مثال 5 - 7 : وضع جسم إرتفاعه (6cm) على بُعد (30cm) أمام عدسة مقعرة بعدها البؤري (20cm) .

أوجد موضع وإرتفاع الصورة ؟

الحل : نحدد معطيات ومجهيل السؤال كالتالي :

$$h_o = 6cm, O = 30cm, F = -20cm, I = ?, h_I = ?$$

لمعرفة موضع الصورة :

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{O} + \frac{1}{I}$$

$$\frac{1}{-20} = \frac{1}{30} + \frac{1}{I}$$

$$\Rightarrow I = -12cm$$

ولمعرفة إرتفاع الصورة :

$$M = -\frac{I}{O} = \frac{h_I}{h_o}$$

$$\Rightarrow -\frac{-12}{30} = \frac{h_I}{6}$$

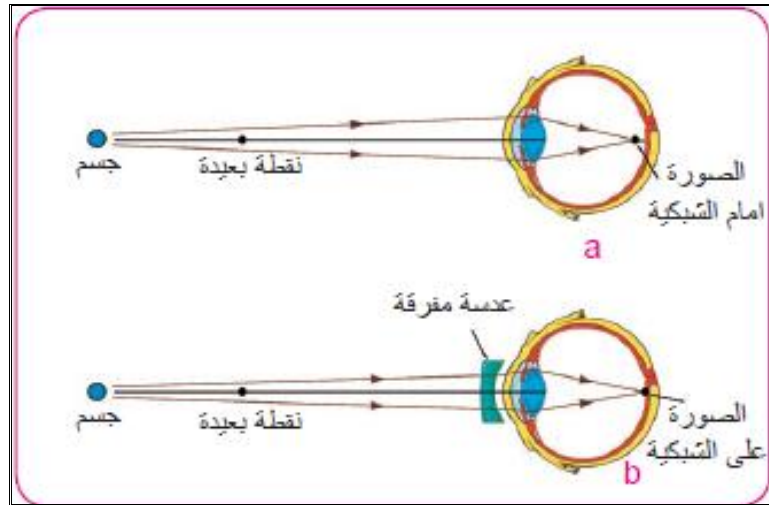
$$\therefore h_I = 2.4cm$$

7-5 التطبيقات الطبية للعدسات (Medical applications of Lenses)

تستخدم العدسات في مجال معالجة عيوب البصر (النظر) (Defects of vision) ، فالعين السليمة ترى الأجسام بصورة واضحة في حالة تكون صورها على شبكية العين ، بينما إذا عجزت العين عن رؤية الأجسام القريبة أو البعيدة بوضوح ففي هذه الحالة تكون مصابة بأحد عيوب البصر (النظر) ، ومن أشهرها قصر النظر (البصر) ، وبعد النظر (البصر) ، وفيما يلي شرح موجز لكل حالة :

1-7-5 Myopia (Nearsightedness) قصر النظر

وهي عدم قابلية العين من رؤية الأجسام البعيدة بوضوح ، بسبب تكون الصورة أمام الشبكية العين ، ويمكن معالجة هذه الحالة من خلال استعمال العدسات المقعرة ، وكما موضح في الشكل (5 - 9) .

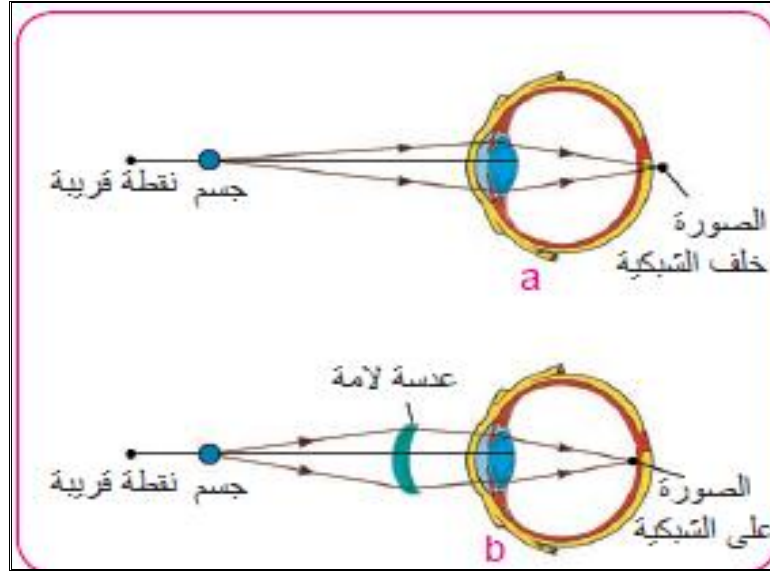


شكل (5 - 9) : حالة قصر النظر وكيفية علاجها

Hyperopia (Farsightedness) بُعد النظر 2-7-5

وهي عدم قابلية العين من رؤية الأجسام القريبة بوضوح ، بسبب تكون الصورة خلف شبكية العين ،

ويمكن معالجة هذه الحالة من خلال إستعمال العدسات الالامة ، وكما موضَّح في الشكل (5 - 10) .



شكل (5 - 10) : حالة بُعد النظر وكيفية علاجها

مسائل الفصل الخامس
ظاهرة الانكسار والعدسات
(Refraction Phenomena and Lenses)
((5))

س1 : احسب مقدار معامل الانكسار لقطعة زجاجية سرعة الضوء فيها $(1.8 \times 10^8 \text{ m/s})$.

إذا علمت أن سرعة الضوء في الهواء تساوي $(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ ؟

الإجابة : $n_{\text{glass}} = 1.57$

س2 : سقط شعاع ضوئي بزاوية (60°) على الحد الفاصل بين الوسيطين (هواء) و (ماء) . احسب زاوية الانكسار ،

إذا إنتقل الشعاع الضوئي من الهواء إلى الماء ، إذا علمت أن $(n_{\text{air}} = 1)$ و $(n_{\text{water}} = 1.33)$ ؟

الإجابة : $\Rightarrow \theta_{r(\text{air-water})} = 18.5^\circ$

س3 : إذا كانت مقدار الزاوية الحرجة للزجاج الذي ينتقل من الملح الصخري إلى الهواء هي (40.5°) ،

احسب معامل انكسار الملح الصخري ؟

الإجابة : $n_{\text{rocksalt}} = 1.54$

س4 : وضع جسم إرتفاعه (4cm) على بُعد (20cm) أمام عدسة محدبة بُعدها البؤري (12cm) .

أوجد ما يأتي :

1- موضع الصورة (I) ؟

2- إرتفاع الصورة (h_I) ؟

الإجابة : $I = 30\text{cm}$ ، $h_I = 6\text{cm}$

س5 : وضع جسم إرتفاعه (9cm) على بُعد (27cm) أمام عدسة مقعرة بُعدها البؤري (18cm) .

أوجد ما يأتي :

1- موضع الصورة (I) ؟

2- إرتفاع الصورة (h_I) ؟

الإجابة : $I = -11\text{cm}$ ، $h_I = 3.6\text{cm}$