# مقرر

# الـضـوء الـهـنـدسـي

**الفرقة .....الاولي**

**شعبة... رياضيات**

**أستاذ المقرر**

**د/ سحر النوبي ابراهيم**

**قسم الفيزياء – كلية العلوم بقنا**

العام الجامعي

2022م / 2023

# بيــانــات أساسية

**الكلية**: التربية

**الفرقة**: الاولي

**التخصص**: رياضيات

**عدد الصفحات**: 87

**القسم التابع له المقرر** : قسم الفيزياء

# الفصل الأول

# الضـوء وطبيعتـه

## 1-1ماهية الضوء:-

الضوء نوع من الطاقة كالطاقة الحرارية والكهربية والأجسام المضيئة -كالشمس مثلًا- ترسل إشعاعها لتتأثر به العين عن طريق مباشر أو عن طريق انعكاس تلك الأشعة على الأجسام. ويكون الضوء جزءًا من الطيف الكهرومغناطيسي، ويقع في منطقة بين الأشعة فوق البنفسجية وأشعة تحت الحمراء.

تنشأ الأمواج الكهرومغناطيسية عندما يثار إلكترون ذرة ما إلى مستويات طاقة أعلى، ثم بعودته إلى مستواه الأصلي تنبعث الطاقة الزائدة على شكل كمات من الطاقة أو فوتونات لتكون الطيف الكهرومغناطيسي. ويتوقف طول موجة الفوتون المنبعث من الذرة على كمية الطاقة التي يحتويها الفوتون. وتقع أمواج الضوء المنظور فيما بين أطوال الموجات ٣٠٠٠، ٨٠٠٠ إنجستروم حيث يحد هذه المنطقة من الطيف المنظور الاشعاع البنفسجي من ناحية الموجات القصيرة والإشعاع الأحمر من ناحية الموجات الطويلة.

وللضوء صفات عامة يمكن تلخيصها فيما يلي:

1- ينتقل الضوء بسرعة كبيرة تساوي $^{8}10x\,3$ متر/ث .
2- تتحرك فوتونات الضوء في خطوط مستقيمة وهي التي ستمثل بالأشعة .
3- لا يحتاج الضوء لوسط ناقل له إذ يمكن للفوتونات الانتقال في الفراغ .

4- يمكن للضوء أن ينعكس على السطوح المصقولة، كما يمكن له أن ينكسر عند انتقاله من وسط إلى آخر .

5- للضوء طبيعة موجية، ولذلك يمكن أن يتداخل كما تظهر له ظاهرتا الحيود والاستقطاب.

6- لا يتأثر الضوء بالمجالات الكهربية أو المغناطيسية .

7- طاقة فوتون الضوء hf حيث f تردده، h ثابت بلانك ويرتبط التردد f بطول موجة الفوتون $\lambda$ بسرعة الضوء بالعلاقة

$$C = f.\lambda \qquad (1)$$

## 2-1 مصادر الضوء:-

تنقسم المصادر الضوئية إلى:-

١- المصادر الضوئية الطبيعية للضوء هي الشمس والنجوم وتشع الشمس ضوء لأنها ساخنة نتيجة للتفاعلات الذرية التي تحدث بداخلها، وتبلغ درجة حرارة سطحها حوالي ٦٠٠٠$^{o}$م وتعتبر هي المصدر الطبيعي الرئيسي للحرارة .

٢- (أ) المصادر الضوئية الصناعية فتشع ضوءًا نتيجة لأن درجة حرارتها عالية ولكن هذه الطريقة لحدوث الضوء ليست ذو فائدة كبيرة. إذ أن الجزء الأكبر من الطاقة التي يحصل عليها الجسم الساخن تكون على شكل اشعاع غير مرئي (حرارة). والجزء الأكبر من الطاقة تظهر كإشعاع مرئي (ضوء). وكلما زادت درجة حرارة الجسم كلما زادت نسبة الطاقة المرئية (الضوء) إلى الطاقة الغير مرئية وهي الحرارة مثل اللهب.

(ب) مصادر ينبعث منها الضوء كنتيجة تحول الطاقة الكهربية إلى طاقة ضوئية كما يحدث في المصابيح الكهربائية وهي إحدى المصادر الصناعية التي تشع ضوءًا. ويتكون

المصباح الكهربائي من أنبوبة زجاجية تحتوي على غاز خامل مثل الأرجون ويوجد بداخل الأنبوبة سلك مصنوع من معدن ذات درجة انصهار عالية جدًا مثل مادة التنجستين. ويلحم نهايتي السلك في الأنبوبة الزجاجية بحيث يكون هناك عازلًا بين نهايتي السلك، وفائدة الغاز الخامل هو التقليل من تبخر المعدن. فإذا وصلنا طرفي السلك الموجود في المصباح الكهربائي بمصدر كهربي فإن تيارًا كهربيًا يسري في السلك ويكتسب بذلك طاقة كهربائية تتحول إلى طاقتين وهما طاقة غير مرئية وهي الطاقة الحرارية وطاقه مرئية وهي الطاقة الضوئية. ويوجد مصادر أخرى للضوء مثل القوس الكهربي وغير ذلك.

## 3-1 قياس سرعة الضوء:-

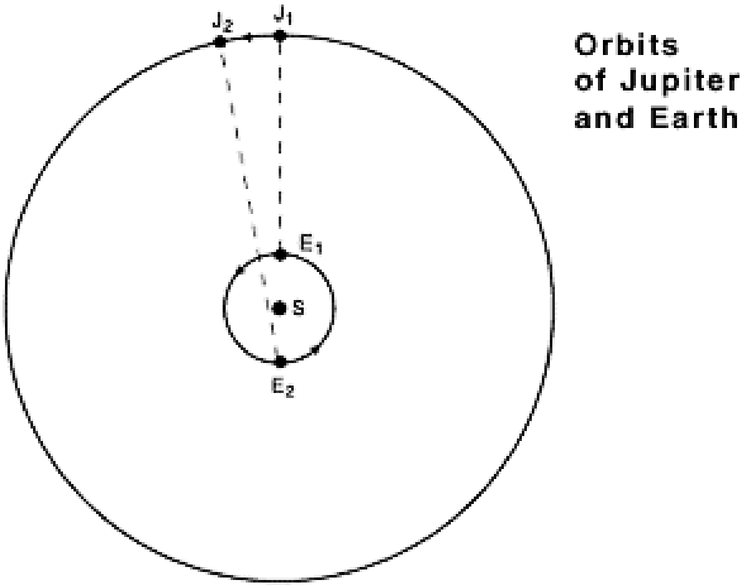
لقد كان الاعتقاد قديمًا أن سرعة الضوء لا نهائية نظرًا لكبرها ولعدم إمكان قياسها إلى أن جاء رومر عام 1676 وأجرى أول محاولة ناجحة لقياس سرعة الضوء بطريقة فلكية إستخدم فيها خسوف أحد أقمار كوكب المشتري. وهي كالأتي:

### 1- طريقة "رومر":

نجح "رومر" في إيجاد سرعة الضوء من بعض أرصاد فلكية أجراها على خسوف أحد أقمار المشتري الذي يستغرق في الدوران حوله فترة زمنية قصيرة. في أثناء دوران هذا القمر أو التابع على المشتري يدخل منطقة ظله مرة كل دورة أي أن الزمن بين خسوفين متتاليين لهذا القمر هو $\tau$ وهو الزمن الدوري له.

ونظرًا لحركة الأرض والمشتري حول الشمس فإن خسوف هذا القمر لا يمكن مشاهدته إلا عندما تكون الأرض والمشتري والقمر على إستقامة واحدة وفي نفس الترتيب المذكور كما بالشكل.

نفترض أن S موضع الشمس وأن $E_1$، $J_1$ , $E_2$، $J_2$ تمثل مواضع الأرض المشتري على الترتيب من وضع خسوفين مرئيين من سطح الأرض.




فإذا فرضنا t الزمن الذي يمضي بين رؤية هذين الخسوفين وأن n هو عدد مرات خسوف القمر في خلال نصف عام أي أثناء دوران الأرض من $E_1$ الى $E_2$ فإن

$$t = n\tau + \frac{2r}{c} \qquad (2)$$

حيث r نصف قطر مدار الأرض، C سرعة الضوء. ولذا افترضنا $t_1$ هو الزمن الذي يمضي بين رؤية خسوفين متتاليين في خلال النصف عام الثاني أي أثناء عودة الأرض من $E_2$ إلى $E_1$ فإن

$$t_1 = n\tau - \frac{2r}{c} \qquad (3)$$

من المعادلتين (3 , 2) ينتج أن:

$$t - t_1 = \frac{4r}{C} \qquad (4)$$

$$\therefore C = \frac{4r}{t - t_1} \qquad (5)$$

وبالتعويض في المعادلة (5) عن قيمة $(t - t_1)$ وتساوي بالمشاهدة ١٩٨٠ ثانية وعن قطر مدار الأرض ويساوي $186 \times 10^6$ ميل نجد أن

$$C = \frac{2 \times 186 \times 10^6}{1980}$$
$$C = 187000$$

## 2- طريقة "فيزو":-

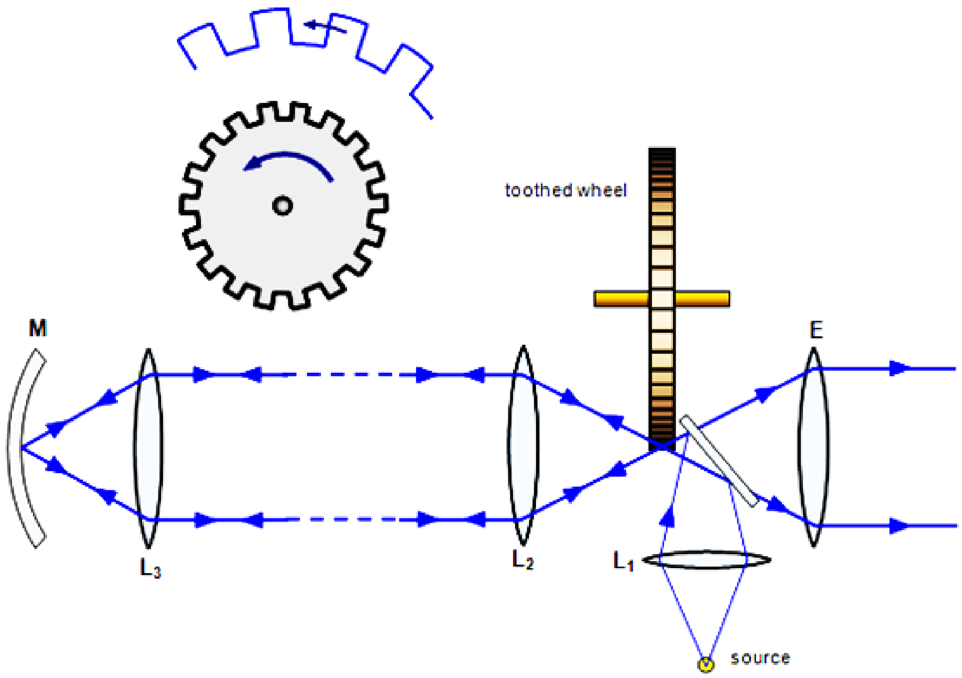
تمكن "فيزو" من قياس سرعة الضوء معمليًا على الأرض، دون الاستعانة بظواهر فلكية

يتركب جهاز العجلة الدوارة "لفيزو" من مصدر قوي للضوء $S$ تتجمع أشعته بواسطة عدسه لامه $L_1$، حيث تسقط الأشعة المجمعة على مرآة نصف مفضضة $M_1$ تعكس الضوء ليتجمع عند نقطه $I$ توجد في بؤرة العدسه $L_2$.

يخرج الضوء بعد ذلك حزمة متساوية لينتقل مسافه $d$ (بضعة كيلومترات) قبل أن يسقط على عدسه لامة أخرى $L_3$ تجمع الأشعة لتسقط عموديًا على مرآة مقعرة $M_2$ فتعكس الأشعة مقتفية نفس المسار وتتجمع مرة ثانية عند النقطة $I$ وبعدها تسقط الأشعة على المرآة نصف المفضضة $M_1$ لتنفذ خلالها وتراها عين الراصد.

توضع عجلة مسننة $W$ في وضع رأسي عند النقطة $I$ بحيث يمكن للأشعة الضوئية المرور بين أسنانها، كما يمكن إدارة العجلة حول محورها الأفقي. عند دوران العجلة تمر أسنانه واحدة تلو الأخرى على شعاع الضوء عند $I$ وتوقف مروره لحظة وجود السن في طريق الأشعة ثم تعود الأشعة للمرور عندما لايعترض سن طريقها وعلى ذلك يرى الراصد صورة المصدر $S$ بشكل متقطع وليس كضوء مستمر. وتستمر رؤية

المصدر طالما مر الضوء من فتحة بين سنين في الذهاب، ليجد أيضًا فتحة بين سنين في الإياب بعد إنعكاسه على المرآة $M_2$ إذا زيدت السرعة الزاوية w للعجلة تدريجيًا، نصل إلى درجة تختفي عندها صورة المصدر تمامًا بالنسبه للراصد وذلك عندما يقطع الضوء مسافة الذهاب بالاضافة إلى مسافة الاياب - أي ضعف المسافة d- في زمن انتقال السن التالي للفتحة التي مر فيها الضوء في الذهاب، ليقطع الضوء ويمنع وصوله للعين في رحلة العودة.




وإذا زيدت السرعة لتصبح ضعف ذلك القدر نجد أن الضوء يعود ثانية للظهور بوضوح، إذا تحل الفتحة التالية محل الفتحة الأولى في زمن قطع الضوء مسافة 2d. ولايجاد زمن قطع الضوء لهذه المسافة نفرض أن عدد الأسنان في العجلة الدوارة m سنًا، وأن السرعة الزاوية للعجلة هي : $W=2\pi n$ حيث n عدد دوراتها في الثانية. أي أن زمن الدورة الكاملة هو

$$t = \frac{1}{n} \text{ ثانية} \qquad (6)$$

يوجد عدد m من الأسنان ومثله من الفتحات، أي أن عدد الأسنان والفتحات 2m.

فإذا كان زمن الدورة t يكون زمن انتقال سن ليحل محل فتحة هو $\frac{1}{2m}t$ ويقابل هذا الزمن الانتقال من حالة الرؤية الكاملة والوضوح للمصدر إلى حالة عدم رؤيته وإختفائه تمامًا، أما إذا اعتبرت حالة تناوب الرؤية الواضحة للمصدر ، يكون الزمن بين رؤيتين واضحتين هو ضعف الزمن السابق.

استخدم "فيزو" عجله ذات ٧٢٠ سنًا ووجد أن أول اختفاء لصورة المصدر تحدث عندما تكون عدد دورات العجلة ١٢,6 دورة في الثانية. وكانت المسافة بين النقطتين $M_2$ , I هي 8633 متراً .وعلى ذلك يكون زمن انتقال سن العجلة محل الفتحة التالية هو $1/(2 \times 720 \times 12.6)$ ويكون ذلك هو نفس زمن انتقال الضوء ضعف المسافة بين $M_2$ , I وعلى ذلك تكون سرعة الضوء C هي المسافه على الزمن أي أن:

$$C = \frac{2d}{\left(\frac{1}{2nm}\right)} = 4dnm \qquad (7)$$

$$= 4 \times 8633 \times 12.6 \times 720$$

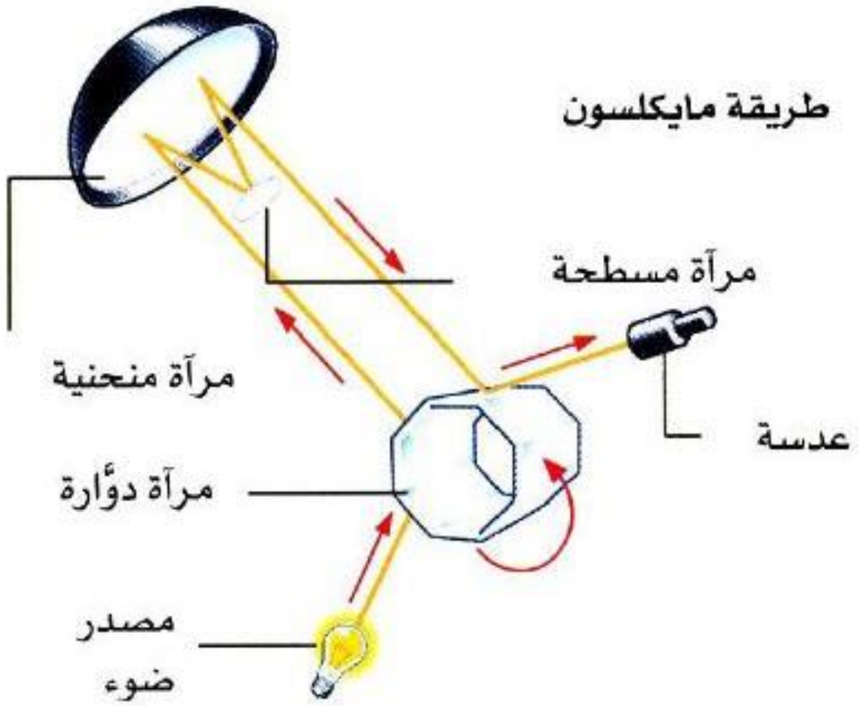
$$= 3.1 \times 10^8 \text{ m/s}$$

وبعد تجربة "فيزو" أُجريت العديد من التجارب الأكثر دقة لتعيين سرعة الضوء أهمها تجربة "ميكلسون".

## 3- طريقة "ميكلسون" لتعيين سرعة الضوء:-

نجح "ميكلسون" سنة 1916 في قياس سرعة الضوء بطريقة دقيقة، وذلك باستخدام المثمن الدائر.

فالضوء المنبعث من المصدر م ينعكس عند أحد أوجه المثمن العاكس إلى مرآة مستوية (م1)، ومنها إلى لوح نصف مفضض (ح) . ينعكس الضوء من اللوح (ح) إلى مرآة مقعرة كبيرة (م2)، حيث يرتد منها على هيئة أشعة متوازية لتسقط على مرآة مقعرة كبيرة (م3) تبعد ٢٢ ميلًا عن المرآة المقعرة الأولى، وبعد انعكاسها من المرآة (م3) تتجمع الأشعة على سطح مرآة مستويه (م4) حيث تنعكس في نفس اتجاه مسار سقوطها إلى (م2)، ثم إلى المرآة المستوية (م5). عبر اللوح (ح). عند (م5) تنعكس الأشعة إلى وجه المثمن ب حيث تنعكس منه لتكون صورة عند النقطة م- للمصدر الأصلي.




فإذا كان المثمن العاكس ساكنًا فإن الصورة م- تظل كذلك ساكنة، أما إذا بدأ المثمن العاكس في الدوران فإن إزاحة تحدث في وضع الصورة م-، وتتوقف هذه الإزاحة على سرعة دوران الوجه ب.

فإذا فرضنا أن الزمن الذي يستغرقه الضوء ليقطع المسافة من الوجه (أ) إلى الوجه (ب) (م1 ، م2 م3 م4 ، م3 ،م4 ، ح ، م5 ب ) هو نفس الزمن الذي يتحرك فيه الوجه جـ ليمثل مكان الوجه ب فإنه لا يكون هناك إز احة في وضع الصورة كما لو كان المثمن العاكس ساكنًا تمامًا. فإذا كانت سرعة المثمن العاكس عندئذ f دورة في الثانية وكان t هو الزمن اللازم ليحل محل أحد أوجه المثمن الذي يليه مباشرة فإن

$$t = \frac{1}{8f} \qquad (8)$$

فإذا كانت X هي المسافة بالكيلومترات بين م2 ، م3 فإن

$$\mathrm{t} = \frac{2X}{C} \qquad (9)$$

حيث C سرعة الضوء.

من المعادلتين (8)، (9) نجد أن

$$\frac{2X}{C} = \frac{1}{8f}$$

ومنها :

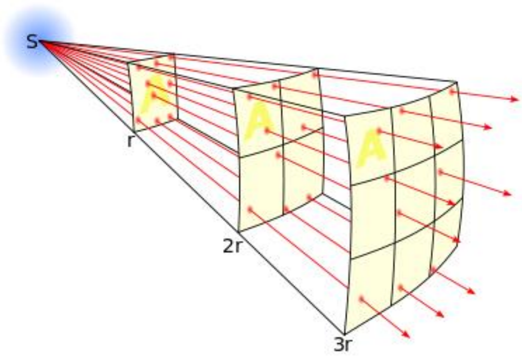
$$C = 16fX \qquad (10)$$

ولقد وجد أن سرعة الضوء المستنتجة من المعادلة (10) تساوي 5٢٩٩٨. كيلو متر/ثانية.

# 4-1 قياس الضوء

## كميات أساسية في قياس الضوء:-

الفيض الضوئي:- يعرف الفيض الضوئي بكمية الضوء التي تنبعث من مصدر الضوء في الثانية، ويقدر الفيض الضوئي بوحدة تسمى "اللومن" وهو الفيض الذي ينبعث في الثانية في زاوية مجسمة من مصدر قوة اضاءته شمعه عيارية. والشمعة العيارية تبعث في جميع الاتجاهات فيضًا قدره 4ط لومن في الثانية.




شدة الاستضاءة:- تعرف شدة استضاءة سطح بالفيض الضوئي الذي يسقط عموديًا على وحدة المساحات في الثانية، فإذا فرضنا مصدرًا قوة اضاءته f شمعة عيارية فإن كمية الضوء F المنبعث منه في الثانية تعطى بالمعادلة

$$F = 4\pi f \qquad (11)$$

وإذا تصورنا كرة جوفاء مركزها المصدر ونصف قطرها R فإن شدة الاستضاءة عند أي نقطة من سطح الكرة تعطى بهذه المعادلة

$$I\ (\text{شدة الأستضاءة}) = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{4\pi f}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{f}{r^2} \qquad (\text{لومن/سم}^2)$$

والوحدة العملية لقياس شدة استضاءة سطح هي "اللاكس" وهو الفيض الضوئي لكل متر مربع أي أن:

اللومن / سم$^{2}$= $10^{-4}$ لاكس .

<u>قوة الإضاءة :-</u> تعرف قوة إضاءة مصدر ضوئي بأنها الفيض الضوئي المنبعث منه في زاوية مجسمة مقدارها الوحدة و "الشمعة" هي وحدة قياس قوة إضاءة مصدر الضوء.

<u>قانون التربيع العكسي:-</u> سبق أن ذكرنا أن الفيض الضوئي المنبعث في جميع الاتجاهات من مصدر قوة اضاءته F يعطى بالعلاقة $F=4\pi f$

واذا تصورنا كرتين مركزهما المصدر الضوئي ونصف قطرهما $R_1$ ، $R_2$ شكل (3) فإن شدة الاستضاءة على سطح الكرة الأولى يعطى بالمعادلة

$$I_1 = \frac{4\pi f}{4\pi R_1^2} = \frac{f}{R_1^2} \qquad (12)$$

وشدة الاستضاءة على سطح الكرة الثانية

$$I_2 = \frac{4\pi f}{4\pi R_2^2} = \frac{f}{R_2^2} \qquad (13)$$

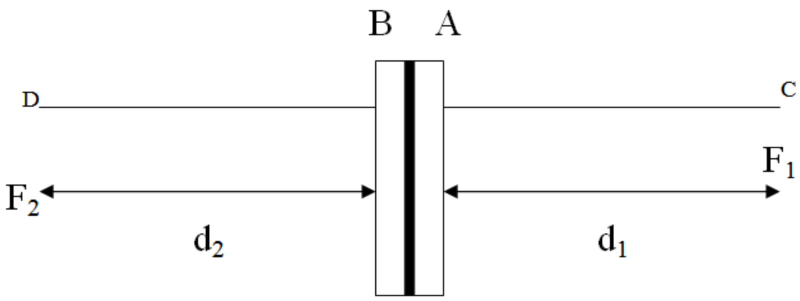
ومن هذا نرى أن شدة الاستضاءة على سطح مضاء عموديًا إضاءة منتظمة تتناسب عكسيًا مع مربع بُعد السطح عن المصدر وطرديًا مع قوة إضاءة.

<u>الفوتومترات:-</u>

الفوتومترات هي أجهزة يمكن استخدام سطحها للمقارنة بين قوتي إضاءة مصدرين وذلك بتغيير بعدهما عنه حتى تصبح شدة الاستضاءة الناتجة عنهما متساوية. يوجد أنواع مختلفة من الفوتومترات وستقتصر دراستنا علي فوتومتر "جولي".

<u>فوتومتر "جولي":-</u>

يتركب فوتومتر "جولي" من لوحين متماثلين A ، B من شمع البرافين يفصلهما صفيحة من القصدير .




فإذا وضع المصدران المراد مقارنة قوة استضاءتهما على جانبي الفوتومتر عند النقطتين C، D مثلا فإن اللوح A يصبح مضاء بالمصدر $F_1$ واللوح B يصبح مضاء بالمصدر $F_2$ وبتغيير بعد المصدرين عن الفوتومتر حتى تصبح شدة استضاءة اللوحين واحدة يكون

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

حيث $d_1$، $d_2$ بعدا المصدرين على الترتيب.

## 5-1 النظرية الموجبة وطبيعة الضوء:-

كان المعتقد قديمًا أن الضوء يتكون من سيل الجسميات الدقيقة تخرج من المصدر وتسير في خطوط مستقيمة كما أن لها قدرة على النفاذ من خلال الأجسام الشفافة والانعكاس على السطوح المصقولة. وقد أمكن بواسطة النظرية الجسيمية التي وضعها نيوتن من تفسير بعض ظواهر الضوء المعروفة مثل انعكاس الضوء وتَساوي زاوية السقوط بزاوية الانعكاس. كما فسرت ظاهرة الانكسار ولكنها عجزت

عن تفسير ظاهرة التداخل, التي يمكن مشاهدتها بسهولة لو أحضرنا قطعة من الورق الأسود, وأحدثنا بها ثقبين متقاربين, البعد بينهما صغير ثم وضعنا خلفهما مصدر ضوئي, وأمامها على بعد يقترب من مترين حائل فإننا نرى هدبًا مضيئة ومعتمة على التعاقب.

وقد فشلت أيضًا النظرية الجسيمية من تفسير حيود الضوء عن المسار في خطوط مستقيمة عندما تمر بأحرف مستقيمة لحاجز معتم. وكذلك فشلت في تفسير استقطاب الضوء عند مروره في بعض المواد المتبلورة الشفافة.

وضع "هيجنز" النظرية الموجية للضوء وفيها فرض أن الضوء ينتشر من المصدر على شكل أمواج، مركزها الجسم المضيء ويختلف لون الضوء تبعًا لإختلاف طول هذه الأمواج. وشبه انتشار الموجات الضوئية من المصدر بانتشار التموجات التي تنشأ في الماء عند سقوط جسم صغير فيه. اذ تنتشر على شكل دوائر متحدة المركز يمثل كل منها صدر الموجة عند لحظة معينة. وفرض "هيجنز" أن كل نقطة على صدر الموجة تعمل هي الأخرى كمصدر ثانوي يرسل موجات كرية في جميع الاتجاهات في الوسط. ويكون السطح المغلف لجميع هذه المويجات هو صدر الموجة, ويسمى الخط العمودي على صدر الموجة بالشعاع ويعين اتجاه انتشار الضوء. ويكون صدر الموجه كرية عندما يكون المصدر نقطيًا, ويكون اسطوانيًا عندما يكون المصدر اسطواني الشكل, كما يكون مستويًا عند انبعاث الضوء من سطوح مستوية.

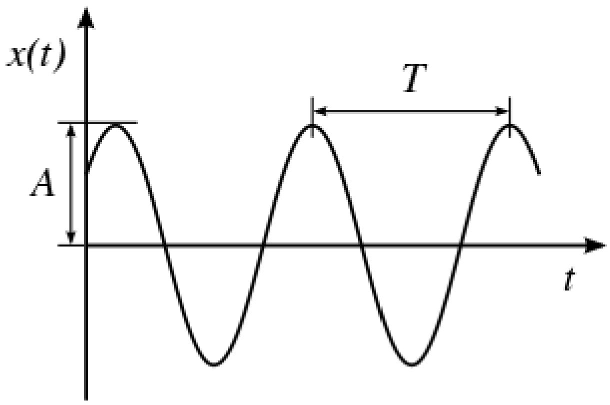
## 1-5-1 نظرية الحركة الموجبة :-

ينتشر الضوء من مصدره على هيئة أمواج نتيجة للتغيرات الدورية في كل من المجال الكهربي والمجال المغناطيسي عند أي نقطة من نقط الوسط المحيط بالمصدر الضوئي، وبذلك فإنه يمكن تمثيل الموجة بالمعادلة:-

$$y = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(\mathrm{v}t - X) \qquad (14)$$

حيث (a) سعة الأهتزاز، ($\lambda$) الطول الموجي، (v) سرعة تحرك الموجة في الإتجاه الموجب x.

وتسمى هذه الموجة "بالموجة التوفيقية البسيطة" كما بالشكل (1) وهذه المعادلة تشمل علي ثلاث متغيرات هم t . X .y




ويمكن كتابة المعادلة ( 14 ) بهذه الصورة :

$$y = a\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (15)$$

or

$$y = a\sin 2\pi\left(t.F - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (16)$$

حيث

$$\mathrm{v} = \frac{\lambda}{T} = \lambda.F$$

حيث T زمن الدورة، F تردد الحركة الدورية

وإذا فرضنا أن

$$\left(\delta = \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

فإنه يمكن تمثيل الموجة الضوئية الموضحة بالمعادلة (15) بهذه المعادلة:

$$y = a\sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \delta\right)$$

وتسمى الزاوية $\left(\frac{2\pi t}{T} - \delta\right)$ بزاوية الطور والزاوية $\delta$ بفرق الطور بين نقطتين تفصلهما مسافة x، أي أنه إذا أمكن تمثيل الحركة الموجبة عند نقطة ما في الوسط نتيجة أنتشار موجة ضوئية بالمعادلة :

$$y = a\sin\frac{2\pi t}{T}$$

فإن معادلة الحركة الموجية عند نقطة أخرى في الوسط تبعد عن الأول مسافة $\lambda$ هي :

$$y_1 = a\sin 2\pi\left(\frac{1}{T} - \frac{\lambda}{\lambda}\right)$$

وبالمثل تكون معادلة الحركة عند النقطة تبعد مسافة $2\lambda$ عن النقطة الأولى هي:

$$y_2 = a\sin 2\pi\left(\frac{1}{T} - \frac{2\lambda}{\lambda}\right)$$

كذلك تكون معادلة الحركة عند النقطة التي تبعد مسافة $m\lambda$ ( حيث m عدد صحيح) عند النقطة الأولى هي:

$$y_m = a \sin 2\pi \left(\frac{1}{T} - \frac{m\lambda}{\lambda}\right) \qquad (17)$$

من ذلك يتضح أن:

$$y = y_1 = y_2 = \cdots \ldots\ldots\ldots. = y_m$$

ويقال عندئذ أن هذه النقط تتحرك في طور واحد.

## 2-5-1 المعادلة التفاضلية للموجة التو افقية البسيطة:-

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \qquad (14)$$

وبإجراء التفاضل علي المعادلة (14) مرة بالنسبة للزمن t مع ثبوت x ومرة أخرى بالنسبة للمسافة x من ثبوت الزمن t فإننا نحصل على ما يلي:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{2\pi v}{\lambda} a \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right] \qquad (18)$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{2\pi}{\lambda} a \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right] \qquad (19)$$

وبمقارنة المعادلتين (18) ، (19) ينتج أن:

$$\frac{dy}{dt} = -v \frac{dy}{dx} \qquad (20)$$

أي أن سرعة جزئ يبعد مسافة x من نقطة الأصل = سرعة انتشار الموجة × ميل الموجة

وبتفاضل كل من المعادلتين (18) ، (19) مرة أخرى نحصل على

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{4\pi^2 v^2}{\lambda^2}. a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right]$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{4\pi^2}{\lambda^2}.a\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$

بمقارنة المعادلتان الأخيرتان ينتج أن

$$\boxed{\frac{d^2y}{di^2} = v^2\frac{d^2y}{dx^2} \qquad (21)}$$

المعادلة (21) تمثل المعادلة التفاضلية للحركة الموجية والجذر التربيعي لمعامل $\frac{d^2y}{dx^2}$ يعطى دائمًا مقدار سرعة الموجة.

## 3-5-1 طاقة الموجة Energy of Wave:-

إذا اعتبرنا أن المعادلة (14) تمثل معادلة الموجة وأن (ρ) تمثل كثافة الوسط (كثافة وحدة الحجوم) فإن مقدار الطاقة الحركية لوحدة الحجوم تعطى بهذه المعادلة

$$\mathrm{K.E} = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$
$$= \frac{1}{2}\rho\cdot\frac{4\pi^2v^2a^2}{\lambda^2}cos^2\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$$

ولإيجاد طاقة الوضع (P.E) نفترض حدوث إزاحة عند الموضع المتوسط بمقدار ( d y) وبالتالي فإن مقدار الشغل الذي يبذله الجسم ليعود إلى وضعه الأصلي يعطى بهذه العلاقة:

$$\rho\frac{d^2y}{dt^2}dy = \rho\frac{4\pi^2v^2}{\lambda^2}\cdot a\ sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\cdot dy$$

∴ الشغل الكلي المبذول عند حدوث الإزاحة (y) أي مقدار طاقة الوضع (P. E) يعطى بالمعادلة

$$P\,.E=\int_{o}^{o}\rho\frac{4\pi^2v^2}{\lambda^2}y\;\;dy=\frac{1}{2}\rho\frac{4\pi^2v^2}{\lambda^2}y^2$$

$$=\frac{1}{2}\rho\frac{4\pi^2v^2a^2}{\lambda^2}sin^2\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$

إذا مقدار الطاقة الكلية لوحدة الحجوم تعطى بالمعادلة

$$\boxed{K.E+P.E=\frac{1}{2}\rho\frac{4\pi^2v^2a^2}{\lambda^2}\qquad(22)}$$

من المعادلة (22) يتضح أن بالرغم من أن كلًا من طاقة الوضع وطاقة الحركة يعتمدا على x,t إلا أن مقدار الطاقة كما هو واضح بالمعادلة (22) يكون دائمًا مقدار ثابت كما أن طاقة الجسم المتكونة منه الموجة يتناسب طردياً مع مربع السعة وعكسياً مع مربع الطول الموجي.

**مثال**: موجة توافقية بسيطة تتحرك في الاتجاه الموجب للمحور (X) سعتها 5 سم وسرعة انتشارها 40 سم/ث وترددها 60 ذبذبة/ثانية. احسب كلا من الإزاحة وسرعة الجسم الذي يبعد مسافة 40 سم عن نقطة الأصل بعد زمن يساوي 2 ثانية.

**الحل:-**

الإزاحة تعطى بهذه العلاقة

$$y = a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right]$$

$$\therefore \lambda = \frac{v}{f} = \frac{40}{60} = \frac{2}{3}$$

$$\therefore y = 5 \sin\left[\frac{2\pi}{\frac{2}{3}}(80 - 40)\right]$$

$$= 5 \sin 120\pi = 0$$

سرعة الجسم تعطى بهذه المعادلة:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{2\pi v}{\lambda} \cdot a \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right]$$

$$= 600\pi \qquad cm/sec$$

## 4-5-1 تراكب الأمواج : Superposition of Waves

مبدأ تراكب الأمواج يعتبر أساساً لتفسير كثير من الظواهر ومثال على ذلك ظاهرة التداخل في الأمواج والموجات الموقوفة وهاتان الظاهرتان يمكنا أن تحدثا في جميع أنواع الموجات سواء كانت هذه الموجات ضوئية أو صوتية أو غير ذلك.

### أولاً : تداخل الأمواج : Interference of Waves

إذا سرت موجتان في وسط ما فإن كلا منهما تؤثر فيه مستقلة عن الأخرى وتكون حركة أي جسم في الوسط هي محصلة الحركة الناشئة عن كلا منهما. نفرض أن لدينا مصدرين للموجات لهما نفس التردد والسعة وينتشران في نفس الاتجاه بينما يختلفان في الطور وهذه الأمواج يمكن تمثيلها كالآتي:-

$$y_1 = a \sin(wt + \alpha) \qquad (23)$$

$$y_2 = a\sin(wt + \beta) \qquad (24)$$

حيث $\alpha$ ، $\beta$ طور الموجتان (ω) هي الزاوية، (a) هي سعة الأهتزازة.

وتبعاً لمبدأ التراكب فإن محصلة إزاحة الجسم تحت تأثير الموجتان معاً يكون:

$$y = y_1 + y_2$$
$$= a\sin(\omega t + \alpha) + a\sin(\omega t + \beta)$$
$$= a[\sin(\omega t + \alpha) + \sin(\omega t + \beta)]$$

ومن حساب المثلثات نعلم أن:

$$\sin a + \sin b = 2sin\left(\frac{a+b}{2}\right)cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

وبتطبيق هذه العلاقة فإن:

$$\mathrm{y} = 2a\cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)sin\left[\omega t\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)\right] \qquad (25)$$

وبمقارنة المعادلة (25) بالمعادلة (23) و (24) فإنه يتضح أن الموجة المحصلة تمثل

موجة توافقية بسيطة ولها نفس تردد الموجات الأصلية وسعتها تعطى بهذه المعادلة:

$$A = 2a\,cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right) \qquad (26)$$

و زاوية طور $\emptyset = \frac{\alpha+\beta}{2}$ حيث أن المعادلة (25) يمكن كتابتها على هذه الصورة

$$y = A\,sin(\omega t + \emptyset) \qquad (27)$$

وهناك بعض الحالات الخاصة التي يجدر بنا ملاحظتها:-

( أ ) إذا كانت:

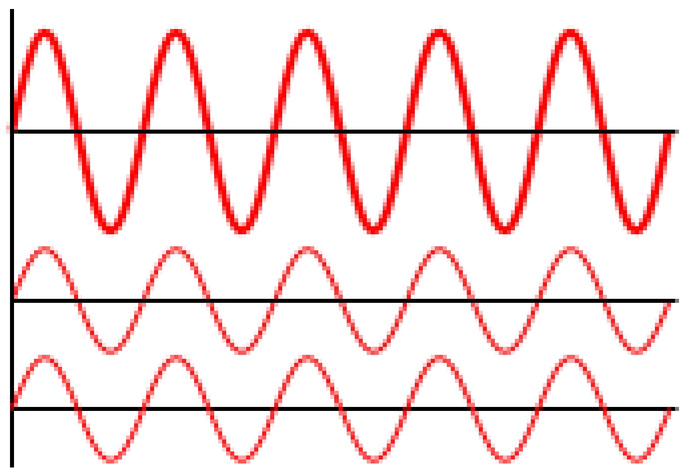
$$\frac{\alpha-\beta}{2} = 0{,}2\pi, \dots\dots, n\pi$$

أو

$$\therefore \alpha - \beta = 2n\pi$$

حيث .. ... ... ... $n = 0,1,2$

في هذه الحالة تكون سعة الموجة المحصلة مساوية لضعف سعة الموجه الأصلية، أي أنه يمكن القول بأن تداخل الأمواج يعتبر تداخلاً بناء ويكون الضوء الناتج أقوى ما يمكن.



( ب ) أما إذا كان فرق الطور $\frac{\alpha-\beta}{2}$ يتخذ القيم الأتية:

$$\frac{\alpha - \beta}{2} = \frac{\pi}{2}\ , \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \ldots .\left(n + \frac{1}{2}\right)\pi$$

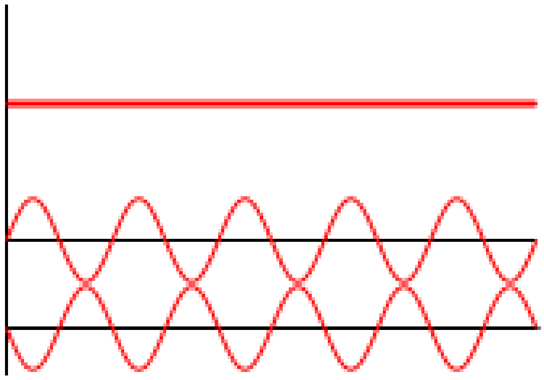
$$\therefore (\alpha - \beta) = \pi, 3\pi, 5\pi, \ldots \ldots (2n + 1)\pi$$

ويمكن كتابتها بصورة مبسطة

$$(\alpha - \beta) = (2n \pm 1)\pi$$

حيث .... ... $\mathrm{n} = 0,1,2,$

فإن مقدار السعة في هذه الحالة يساوي صفرا. أي أن السعة المحصلة تكون نهاية صغرى أو أقل ما يمكن والتداخل يعتبر تداخلاً هداماً ويكون الضوء الناتج أضعف ما يمكن.



## 5-5-1 الموجات الساكنة (الموقوفة) :

إذا انعكست الأمواج المتقدمة من عاكس تام المرونة فإن الموجة المنعكسة تتداخل مع الموجة الساقطة وينتج عن هذا التداخل بعض جزيئات الوسط بدون حركة وأن الجزيئات الأخرى تهتز في وقت واحد بسعات مختلفة، فالحركة الموجبة الناتجة في هذه الحالة تسمى حركة موجبة ساكنة أو موقوفة.

لدراسة الموجات الساكنة رياضيًا نفترض أن الإزاحة عند نقطة تبعد عن مصدر بمقدار x هي $y_1$ وأن الإزاحة (عند نفس النقطة) الناشئة عن الموجة المنعكسة هي $y_2$ فإذا حدث الانعكاس بدون تغير في الطور فإن:

$$y_1 = a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right]$$

$$y_2 = a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt + x)\right]$$

والإزاحة الكلية

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ &= a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right] + a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt + x)\right] \\ &= 2a\, sin\frac{2\pi}{\lambda}\cdot vt \cos\frac{2\pi}{\lambda}\cdot x \qquad (28) \end{aligned}$$

وتبين من المعادلة (28) أنه لجميع قيم t تكون الازاحة مساوية للصفر على بعد:

$$x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$$

حيث ........... $n = 0,1,2,$

وهذه النقط تكون فيها الإزاحة مساوية للصفر تسمى بالعقد

وبوضع $n = 1$ فإن $x = \frac{3}{4}\lambda$

وبوضع $n = 2$ فإن $x^{\backslash} = \frac{5}{4}\lambda$

نصف طول موجي $= \frac{\lambda}{2} = x^{\backslash} - x \therefore$

بالتالي يمكن القول بأن المسافة بين عقدتين متتاليتين هي نصف طول موجي $\frac{\lambda}{2}$ أما عند البطون في الموجة الموقوفة فإن

$$\cos\frac{2\pi}{\lambda}x = 1$$

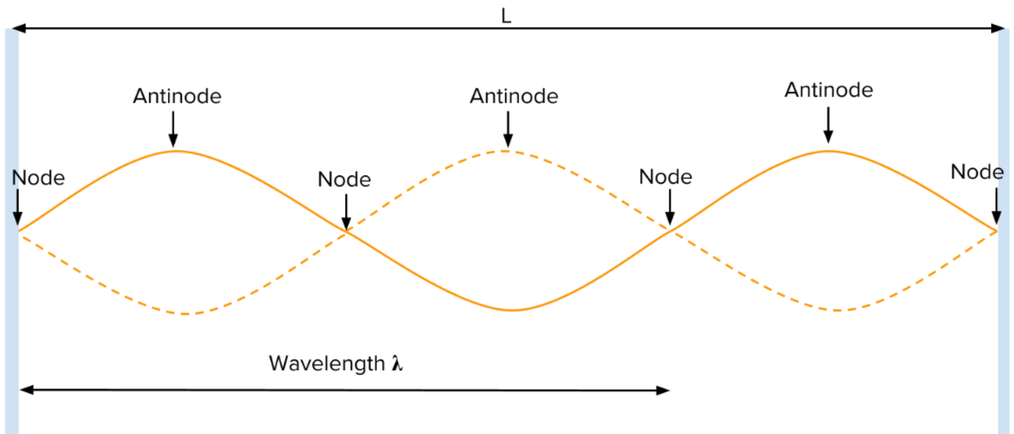
$$\therefore \frac{2\pi}{\pi}x = 0, \pi, 2\pi$$

$$\therefore x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots, \frac{n}{2}\lambda$$

إذ يمكن كتابة المعادلة بصورة عامة وهي $x = \frac{n\lambda}{2}$

حيث ........... $n=0,1,2,$

وكذلك الوضع فإن المسافة بين بطنين متتاليين تكون مساوية نصف طول موجي.



# أسئلــة

1- اشرح طريقة لقياس سرعة الضوء؟

2- عرف "اللومن"، "اللاكس" واذكر العلاقة بينهما؟

3- اذكر قانون التربيع العكسي واشرح كيف يمكن تطبيقه في المقارنة بين قوة اضاءة مصدرين ضوئيين؟

4- اشرح كيف يمكن المقارنة بين قوة إضاءة مصدرين باستخدام فوتومتر جولي؟

5- وضع على أحد جانبي فوتومتر جولي وعلى مسافة 25 سم منه مصدر ضوء قوته 50 شمعة ووضع على الجانب الثاني وعلى مسافة 5 سم من الفوتومتر مصدر قوته 100 شمعة ففي أي جانب وعلى أي بعد من الفوتومتر يوضع مصدر قوته 25 شمعة حتى تتساوى شدة استضاءة سطحي الفوتومتر؟

6- وضع مصدر قوة إضاءته 100 شمعة علي بعد 20 سم من أحد وجهي فوتومتر جولي ووضع علي الجانب الآخر وعلى بعد 10 سم من الفوتومتر مصدر قوة إضاءته 33 شمعة فأوجد أين وكيف توضع مرآة مستوية حتى تتساوى شدة الاستضاءة على جانبي الفوتومتر علمًا بأن المرآة تعكس 72% من الضوء الساقط عليها؟

7- وضع حائل صغير على بعد 60 سم من منبع ضوئي بحيث كانت أشعة المنبع عمودية علي الحائل، ثم أبعد الحائل حتى صار بعده عن المنبع 100 سم وأدير حتى صارت زاوية سقوط الأشعة عليه 60 درجة. قارن بين شدتي استضاءة الحائل في الحالتين؟

8- مصباحان قوة أحدهما 27 شمعة وقوة الآخر 48 شمعة والبعد بينهما 84 سم. عند أي نقطة بين الخط الواصل بينهما يجب أن يوضع فوتومتر جولي لكي يُضاء جانباه بشدة واحدة؟

9- في تجربة "فيزو" إذا كانت العجلة المسننة بها 750 سن وتدور بسرعة 12.6 دورة في الثانية. أوجد سرعة الضوء علمًا بأن المسافة بين العاكس والتلسكوب 8633 متر؟

10- أوجد المسافة بين العاكس و التلسكوب في تجربة "فيزو" إذا علمت أن عدد السنون 600 سن في العجلة وتدور بسرعة 15 دورة في الثانية وأن سرعة الضوء $3\times10^{2}$ سم / ث؟

11- إذا كان في العجلة الدوارة في طريقة "فيزو" 150 سن و المسافة بين سنون متساوية لعرض السن وكانت المسافة بين العجلة المسننة والمرآة ١٢ كم. فكم تكون سرعة دوران العجلة لكي نحصل على الظلام الأول علمًا بأن سرعة الضوء $3\times10^{2}$ سم/ث؟-

12- إذا علم أن العجلة المسننة في تجربة فيزو لقياس سرعة الضوء تدور بسرعة 7 دورات في الثانية، وأنها تحتوي 720 سنا. فأوجد سرعة الضوء. علمًا بأن المسافة التي يقطعها الضوء ذهابًا وإيابًا 15000 مترا.

13- أوجد عدد الدورات في الثانية للعجلة المسننة في تجربة فيزو لكي يختفي الضوء أول مرة. علمًا بأن عدد الأسنان 720 والمسافة بين العجلة والعاكس 8633 مترا.

14- بإستخدام طريقة فيزو لإيجاد سرعة الضوء وجد أن الصورة تبدأ في الاختفاء عندما تكون السرعة الزاوية للعجلة 60 زاوية نصف قطرية في الثانية. فإذا كان عدد أسنان العجلة 800 والمسافة التي يقطعها الضوء 20 كيلو مترًا فاحسب سرعة الضوء.

15- وضع مصدر ضوء قوته 100 قنديلة على بعد 25 سم من أحد وجهي فوتومتر جولى. ووضع على الجانب الآخر وعلى بعد 10 سم من الفوتومتر مصدر قوته 33 قنديلة. أوجد أين وكيف توضع مرآة مستوية حتى تتساوى شدة الاستضاءة على جانبي الفوتومتر؟ علما بان المرآة تعكس فقط 75 % من الضوء الساقط عليها.

16- علق مصباح على ارتفاع 50 سم من مركز منضدة مستديرة قطرها 100 سم. قارن بين شدة استضاءة المنضدة عند مركزها وعند حافتها.

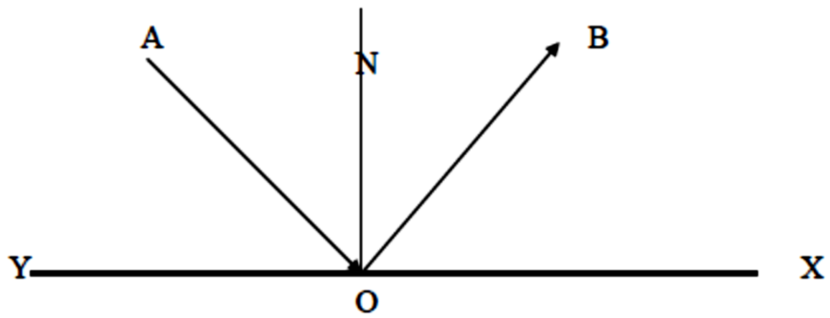
17- وضع مصباح على بعد 80سم من حائل أبيض رأسي، ثم وضع بينهما وعلى بعد 30سم من المصباح لوح رأسي من زجاج مخشن. فإذا كان ذلك الزجاج يحجب 60% مما يسقط عليه من الضوء فقارن بين شدة استضاءة الحائل أولًا وأخيرًا.

18- مصدران للضوء B&A وضع أولهما على بعد 10سم من فوتومتر جولي والثاني على بعد 80 سم فصارت الاستضاءة واحدة على الجانبين. أوجد النسبة بين قوتى المصباحين. وإذا وضع بين المصدر والفوتومتر لوح زجاج يلزم إزاحة هذا المصدر مسافة 10سم على المستقيم الواصل بين المصباحين لكي تتساوى شدة الإستضاءة في الجانبين. احسب النسبة المئوية لما يمتصه لوح زجاج من الضوء الساقط عليه

# الفصل الثاني

## 2- انعكاس الضوء

عندما يسقط الضوء على الحد الفاصل XY بين وسطين مختلفين في كثافتهما الضوئية، فان جزء من الشعاع الساقط ينعكس عائدا إلى الوسط، أما الجزء الآخر فانه يخترق الوسط الثانى حيث يمتص إذا كان الوسط معتما أو ينفذ من خلاله إذا كان الوسط شفافا. أما إذا كان ما ينفذ من الضوء قليلا بحيث تصعب معه الرؤية فان الوسط يسمى نصف شفاف.




### 2-1 الانعكاس عند الأسطح المستوية

ينعكس الضوء من السطح العاكس وفقا للقوانين الآتية:

**القانون الأول:**

الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام من نقطة السقوط تساوى الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع ذلك العمود.

| |
|---|
| زاوية السقوط = زاوية الانعكاس |

**القانون الثانى:-**

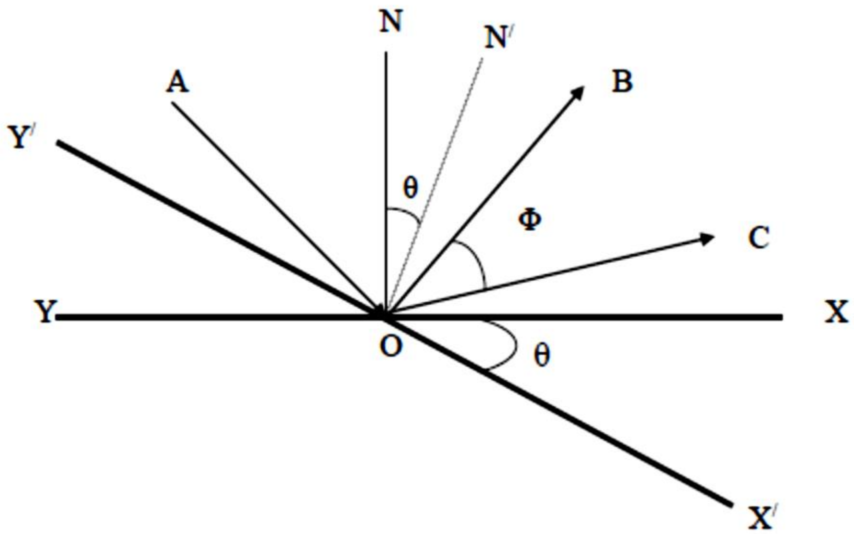
الشعاع الساقط و العمود و الشعاع المنعكس يقعوا جميعا في مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل بين الوسطين.

فإذا كان XY يمثل سطح مرآة مستوية كما بالشكل، و أن AO يمثل الشعاع الساقط على هذا السطح، و أن OB يمثل الشعاع المنعكس، فان

$$\overset{\wedge}{AON} \rightleftarrows= \overset{\wedge}{BON} \qquad (1)$$

## 2-2 تأثير دوران السطح العاكس

إذا افترضنا الشكل السابق مع افتراض دوران السطح العاكس XY بزاوية θ لكى يأخذ الوضع /X/ Y كما موضح بالشكل التالي، و أن اتجاه الشعاع المنعكس عند هذا الوضع هو OC، و ليكن /ON هو العمود على /X/ Y و Φ هي زاوية الانحراف بين الشعاع المنعكس على السطح الأول و الشعاع المنعكس على السطح الثانى.




يتضح من الشكل أن:

$$\overset{\wedge}{AON} = \overset{\wedge}{BON}$$

$$\therefore \overset{\wedge}{AON} = \overset{\wedge}{BON}' + \theta \qquad (2)$$

كذلك

$$A\hat{O}N' = C\hat{O}N'$$

$$\therefore A\hat{O}N + \theta = \Phi + B\hat{O}N' \qquad (3)$$

من المعادلتين 2,3 يمكننا الحصول على:

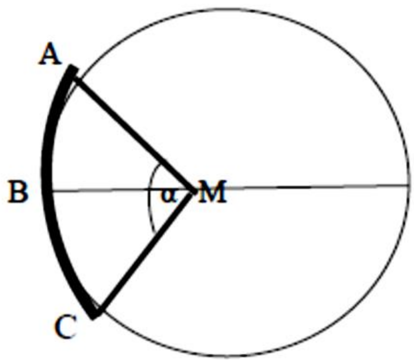
$$B\hat{O}N' + \theta + \theta = \Phi + B\hat{O}N'$$

$$\therefore 2\theta = \Phi \qquad (4)$$

أى أن دوران السطح العاكس بزاوية $\theta$ ينتج عنه انحراف الشعاع المنعكس بضعف زاوية الدوران.

المرايا الكرية:-

يمكن تعريف المرآة الكرية بأنها السطح الناتج من تقاطع كرة بمستوى. و تكون المرآة مقعرة إذا كان سطحها الداخلى عاكسا و تكون محدبة إذا كان سطحها الخارجى عاكسا.

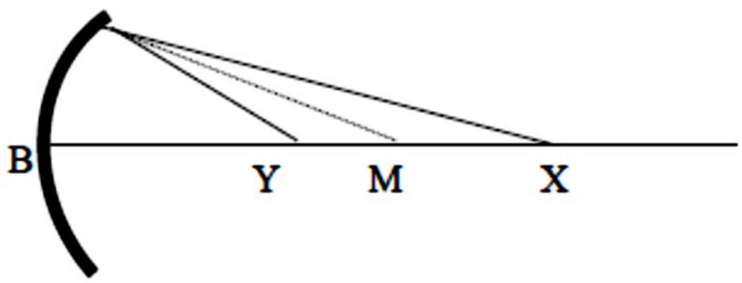



و يسمى قطر دائرة تقاطع الكرة بالمستوى بالاتساع الخطى للمرآة، أما الاتساع الزاوى فتقدر قيمته بمقدار الزاوية $\alpha$ كما بالشكل. و يسمى المستقيم الواصل بين قطب المرآة B و مركز تكورها M بالمحور الرئيسى للمرآة.

**مصطلح الإشارات:-**

1. جميع المسافات – مقاسة من قطب المرآة - تكون سالبة في اتجاه انتشار الضوء و موجبة في الاتجاه المضاد لانتشار الضوء.
2. يكون البعد البؤرى موجبا للمرآة المقعرة و سالبا للمرآة المحدبة.

فإذا فرضنا أن X نقطة مضيئة على المحور الرئيسى لمرآة مقعرة، فان بعد الجسم BX يكون موجبا و بعد الصورة BY يكون موجبا كذلك (انظر الشكل).

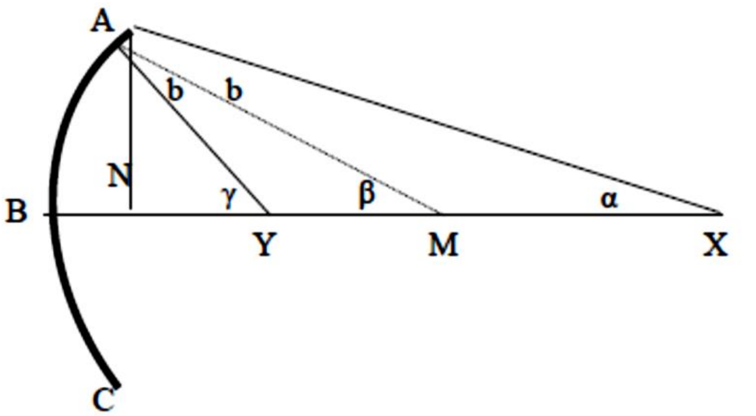



**2-3 الانعكاس عند السطح الكرى المقعر**

يمكن الاستفادة من قوانين الانعكاس للأسطح المستوية باعتبار أن السطح الكرى العاكس يتكون من عدد كبير من المرايا المستوية.

فإذا فرضنا أن ABC يمثل مرآة مقعرة مركزهاM . لنفرض كذلك أن X نقطة مضيئة واقعة على محور المرآة و تبعد عنها مسافةX . فإذا كان AX يمثل شعاع ضوئى ساقط، فانه ينعكس في الاتجاه AY بحيث أن:

$$X\hat{A}M = Y\hat{A}M$$




يتضح من الشكل الآتي أن:

$$\beta = b + \alpha \qquad , \qquad \gamma = b + \beta$$

$$\therefore 2\beta = \alpha + \gamma \qquad (5)$$

فإذا فرضنا أن الاتساع الزاوى للمرآة صغير بحيث يكون BY و AY متساويين تقريبا وكذلك BX و AX فان الزوايا α ، β ، γ تكون صغيرة و بذلك يمكن اعتبار الآتي:

$$\alpha = \frac{N}{X} \qquad \beta = \frac{N}{r} \qquad \gamma = \frac{N}{Y}$$

بالتعويض في المعادلة (5) ينتج أن:

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y} \qquad (6)$$

حيث أن r هو نصف قطر تكور المرآة.

و هذه هي المعادلة العامة التي تدل على العلاقة بين بعد الجسم عن قطب المرآة المقعرة و بعد الصورة التي تتكون له على محور المرآة.

فإذا كان الجسم في ما لانهاية، فان X تكون كبيرة جدا و بذلك يأل المقدار 1/X إلى الصفر و يكون:

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{Y}$$

يتضح من هذه النتيجة أنه إذا سقطت حزمة من الأشعة المتوازية على مرآة مقعرة في اتجاه محورها الرئيسى فإنها تنعكس إلى نقطة على المحور عند منتصف المسافة بين القطب و مركز تكور السطح العاكس و تسمى هذه النقطة البؤرة و يسمى بعدها عن القطب البعد البؤري Z .

أى أن:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y} \qquad (7)$$

**مثال (1)**

إذا وضع جسم على بعد 20 cm من قطب مرآة مقعرة قطرها 10 cm ، أوجد بعد الصورة المتكونة عن قطب المرآة و كذلك البعد البؤرى لهذه المرآة.

**الحل**

$$\frac{2}{5} = \frac{1}{20} + \frac{1}{y}$$

(بعد الصورة) $y = 2.86\ cm$ , (البعد البؤرى) $z = 2.5\ cm$

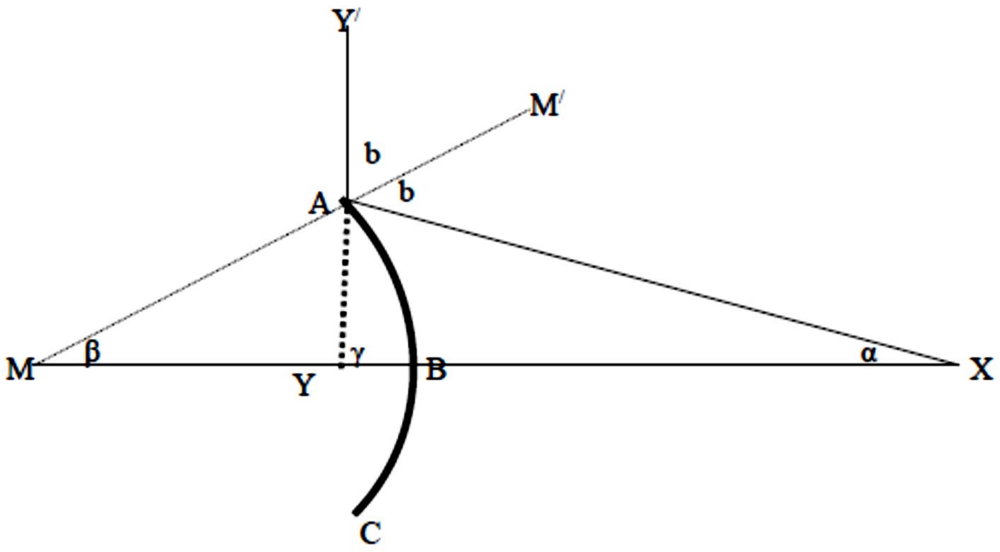
## 4-1-2 الانعكاس عند السطح الكرى المحدب

إذا فرضنا XA شعاع ضوئيا يسقط على سطح مرآة محدبة عند النقطة A فانه ينعكس في الاتجاه AÝ بحيث

$$X\hat{A}M' = Y'\hat{A}M'$$

و من الملاحظ أن الشعاع المنعكس لا يقطع محور المرآة و لكن امتداده هو الذي يقطع محور المرآة عند النقطة Y خلف المرآة ليكون صورة تقديرية للجسم.

و يتضح من الشكل أن:




$$\hat{b} = \alpha + \beta, \qquad 2\hat{b} = \alpha + \gamma$$

$$\therefore\ 2\alpha + 2\beta = \alpha + \gamma$$

أى أن

$$2\beta = -\alpha + \gamma \qquad (8)$$

و إذا تتبعنا قاعدة الإشارات و كان الاتساع الزاوى صغير فان

$$\alpha = \frac{N}{X} \qquad \beta = \frac{N}{-r} \qquad \gamma = \frac{N}{-Y}$$

بالتعويض في المعادلة (8) ينتج أن:

$$-\frac{2}{r} = -\frac{1}{X} - \frac{1}{Y}$$

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y} \qquad (9)$$

و هي المعادلة العامة التي تربط العلاقة بين بعد الجسم عن قطب المرآة المحدبة و بعد الصورة التقديرية التي تتكون له على محور المرآة.

و إذا فرضنا أن النقطة X في ما لانهاية فان $1/X$ يأل إلى الصفر و بذلك يكون.

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{Y} \qquad \text{or} \qquad Y = \frac{r}{2} \qquad (10)$$

و حيث أن مركز تكور المرآة المحدبة يقع خلفها فانه تبعا لقاعدة الإشارات تكونr سالبة.

ويتضح من هذه النتيجة أنه إذا سقطت حزمة من الأشعة المتوازية على مرآة محدبة في اتجاه محورها فإنها تنعكس عند نقطة تقديرية خلف المرآة عند منتصف المسافة بين القطب و مركز تكور المرآة، و تسمى هذه النقطة البؤرة، و يسمى بعدها عن القطب البعد البؤرى.

**الصور المتكونة بالانعكاس على المرايا الكرية**

## المرايا الكرية

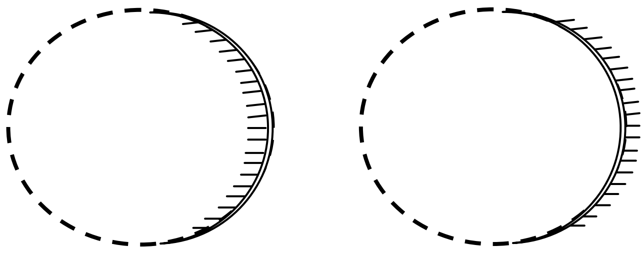
هي مرايا سطحها يتكون من جزء صغير من كرة ، وتتكون الصور في هذه المرايا حسب قانون الانعكاس ، ولكن طبيعة الصورة في هذه الحالة تكون مختلفة ، وتقسم المرايا الكرية إلى نوعين :

### المرايا لمقعرة Concave mirror

وتسمى أيضا بالمرآة اللاَمة وذلك لأنها تجمع الأشعة الساقطة عليها ويكون سطحها العاكس هو السطح المقعر.

### المرايا المحدبة Convex mirrors

وتسمى أيضا بالمرآة المفرقة (Diverging mirror) وذلك لأنها تفرق الأشعة الساقطة عليها ويكون سطحها العاكس هو السطح المحدب.




وقبل أن نناقش كيف تتكون الصور بواسطة المرايا الكرية سنعرف بعض المصطلحات بالاستعانة بالشكل التالي.

- ✓ قطب المرآة، وهي نقطة ارتكاز السطح الكري على مستوى أملس أفقي.
- ✓ مركز المرآة، وهو المركز الهندسي للكرة التي تمثل المرآة جزءاً منها، والمسافة بينه وبين القطب هو نصف قطر تكور المرآة.
- ✓ المحور الرئيسي للمرآة، ،هو المستقيم الواصل بين قطب المرآة ومركزها ويعرف أيضاً بالمحور البصري.
- ✓ بؤرة المرآة، وهي نقطة تتجمع عندها الأشعة المنعكسة إذا ما سقطت أشعة متوازية على سطح المرآة . وهذه قد تكون بؤرة حقيقية تستقبل على حائل أمام المرآة في حالة المرآة المقعرة، أو تكون بؤرة تقديرية لا تستقبل على حائل لوجودها خلف المرآة في حالة المرآة المحدبة.
- ✓ البعد البؤري للمرآة، وهو الجزء من المحور البصري فيما بين قطب المرآة وبؤرتها.

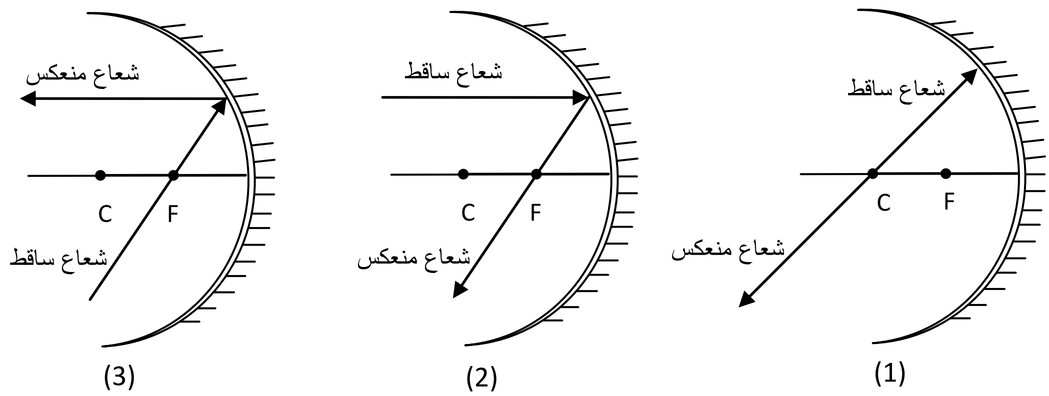
✓ البعد البؤري للمرآة الكرية يساوي نصف قيمة قطر تكورها. بمعنى آخر يكون نصف قطر تكور المرآة مساوياً لضعف البعد البؤري.

يمكن تحديد موقع وطبيعة الصور المتكونة بواسطة المرايا الكرية برسم اثنين من ثلاث أشعة يمكن رسمها بسهولة وهي موضحة على الترتيب بالشكل كما يلي:

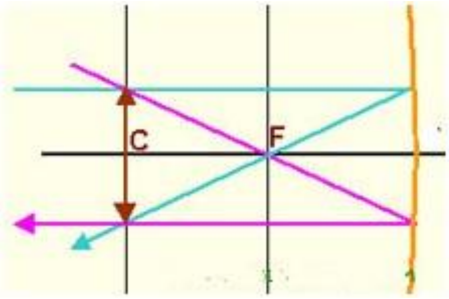
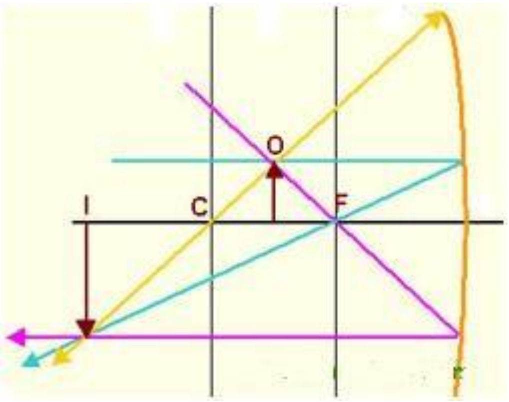
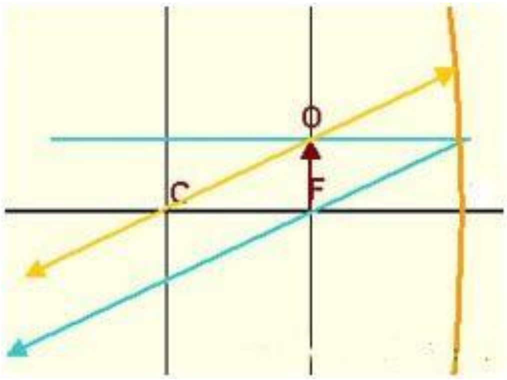
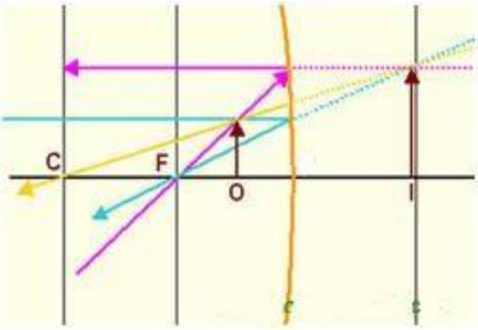
1- شعاع مار بمركز التكور فينعكس على نفسه.

2- شعاع موازي للمحور الأصلي فينعكس في البؤرة.

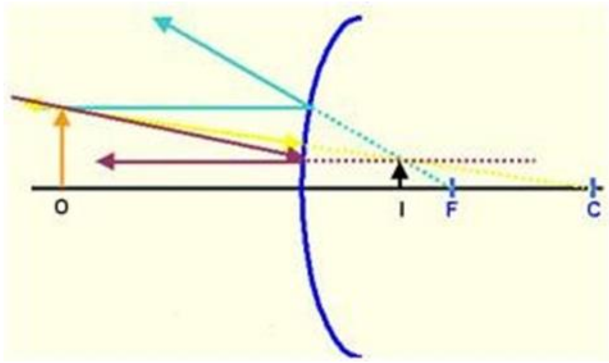
3- شعاع مار بالبؤرة فينعكس موازيا للمحور الأصلي.




فإذا تكونت صورة لجسم أمكن استقبالها على حائل فان الصورة تكون حقيقية (الصورة الحقيقية هي التي تظهر أمام المرآة) أما إذا لم يمكن استقبالها على حائل تكون صورة تقديرية (الصورة التقديرية هي التي تظهر خلف المرآة), والأشكال التالية توضح موقع وطبيعة الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة.

| | |
|---|---|
| حالة (1)<br>عندما يكون الجسم على بعد يساوي نصف قطر التقعر للمرآة فإن الصورة تكون على نفس المسافة ومساوية للجسم ومقلوبة وحقيقية. |  |
| حالة (2)<br>عندما يكون الجسم بين البعد البؤري f ونصف قطر التقعر r تكون الصورة حقيقية مقلوبة مكبرة. |  |
| حالة (3)<br>عندما يكون الجسم على مسافة مساوية للبعد البؤري f فإن الصورة تكون في المالانهاية، لا توجد صورة. |  |
| حالة (4)<br>عندما يكون الجسم عن مسافة أقل من البعد البؤري فإن الصورة تكون خيالية مكبرة معتدلة. |  |

وعندما تكون المرآة محدبة , أي أن بؤرتها تقديرية , فإن جميع الصور المتكونة للجسم تكون صورا تقديرية معتدلة ، والشكل يوضح أحد هذه الحالات:




## التكبير Magnification

يعرف التكبير M لمرآة بأنه ارتفاع الصورة ($y'$) او مقسوماً على ارتفاع الجسم (y) ، أو بعد الصورة (Y) مقسوما علي بعد الجسم (X) فإذا كان التكبير اكبر من واحد فإن الصورة اكبر من الجسم أما اذا كان التكبير اقل من واحد تكون الصورة اصغر من الجسم.

$$M = \frac{\acute{y}}{y} = \frac{Y}{X}$$

**<u>مثال (2)</u>**

ما نوع المرآة اللازمة لتكوين صورة لفتيل مصباح موضوع على بعد ١٠ سم منها على حائط يبعد عن المرآة بمسافة قدرها ثلاثة أمتار وكم يكون ارتفاع الصورة إذا كان ارتفاع الجسم 5 مم.

**<u>الحل</u>**

$$X = 10\ cm\ , Y = 300cm$$

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{Y} + \frac{1}{X}$$
$$\frac{2}{R} = \frac{1}{300} + \frac{1}{10}$$
$$R = 19.4\ cm$$

وحيث أن نصف قطر التكور موجباً فإن المرآة المطلوبة هي مرآة مقعرة.

$$m = -\frac{Y}{X} = -\frac{300}{10} = -30$$

وحيثُ أن التكبير سالب فهذا يعني أن الصورة مقلوبة وتساوي قدر ارتفاع الجسم 30 مرة.

طول الصورة $= 5 \times 30 = 150 = 15cm$

**مثال (3)**

جسم صغير موضوع على بعد 8 سم يسار قطب مرآة مقعرة نصف قطر تكورها 24 سم. أوجد موضع الصورة الناتجة وكذلك التكبير.

**الحل**

$$X = 8\ cm\ .\ R = 24\ cm$$
$$\frac{2}{24} = \frac{1}{Y} + \frac{1}{8}$$
$$Y = -24\ cm$$
$$m = -\frac{Y}{X} = -\frac{-24}{8} = 3$$

حيث أن التكبير موجب معنى ذلك أن الصورة تقديرية مكبرة وقدر ارتفاع الجسم ثلاث مرات.

# الفصل الثالث

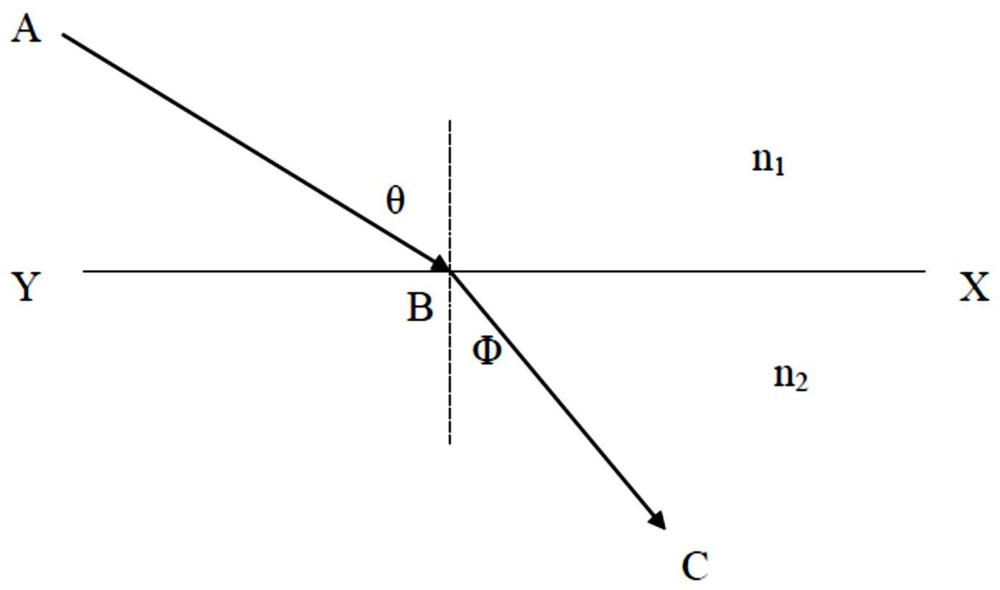
## 3- انكسار الضوء

### 3-1 الانكسار عند الأسطح المستوية

إذا مر شعاع ضوئى من وسط شفاف متجانس إلى آخر فانه ينكسر عند السطح المستوى الفاصل وفقا للقوانين الآتية:

**القانون الأول:**

النسبة بين جيب زاوية السقوط و جيب زاوية الانكسار تساوى مقدار ثابت و ذلك لجميع زوايا السقوط.




فإذا كان XY يمثل سطحا مستويا يفصل بين وسطين معامل انكسارهما $n_2, n_1$ و أن AB يمثل الشعاع الضوئى الساقط و أن BC يمثل الشعاع المنكسر، فان

$$\frac{sin(\theta)}{sin(\Phi)} = const. \qquad (1)$$

هذا القانون يعرف بقانون سنل. وقد بين سنل أن قيمة المقدار الثابت هي النسبة بين معاملى انكسار الوسطين. و من ذلك هذه العلاقة تأخذ الصورة:

$$\frac{\sin(\theta)}{\sin(\Phi)} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (2)$$

التي يمكن كتابتها على الصورة:

$$n_1 \sin(\theta) = n_2 \sin(\Phi) \qquad (3)$$

و إذا كان أحد معاملى الانكسار أو كلاهما مختلف عن الوحدة، فان النسبة بين معاملى الانكسار تسمى معامل الانكسار النسبى و العلاقة (2 ) تأخذ الشكل:

$$\frac{sin(\theta)}{sin(\Phi)} = n' \qquad (4)$$

و إذا كان الوسط الأول هو الفراغ أى $n1= 1$ ، فان قيمة المعامل النسبى ستكون هي نفس قيمة معامل انكسار الوسط الثانى. و يمكن الحصول على نفس النتيجة تقريبا عندما يكون الوسط الأول هو الهواء وليس الفراغ.

و عندما تكون زوايا السقوط و الانكسار صغيرة جدا، فانه يمكننا وضع جيوب الزوايا مساوية للزوايا ذاتها أى أن:

$$sin(\theta) = \theta \qquad \text{and} \qquad sin(\Phi) = \Phi$$

و بذلك نحصل على

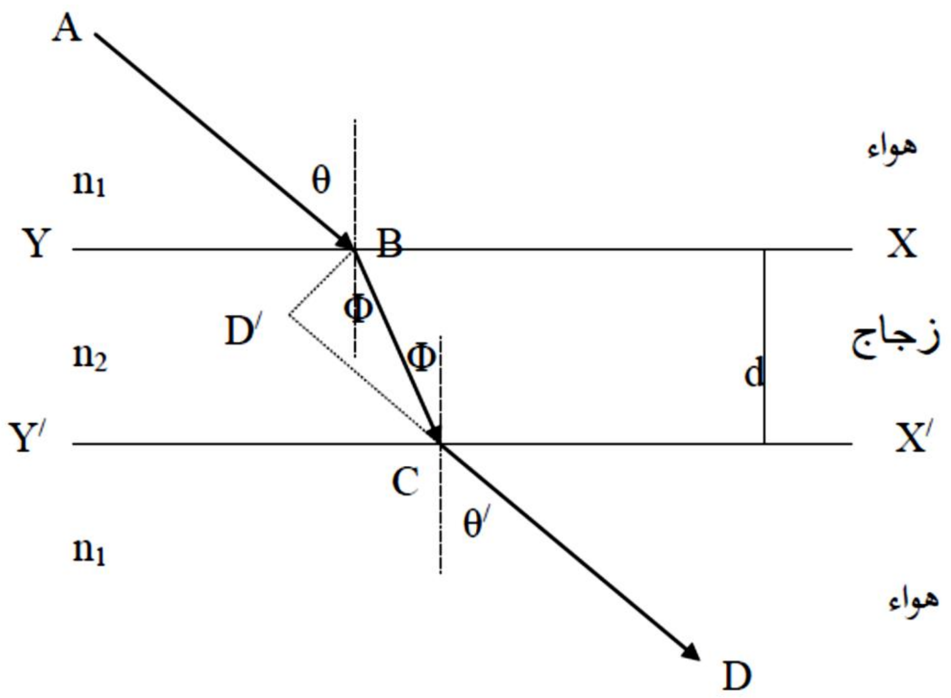
$$\frac{\theta}{\Phi} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (5)$$

**القانون الثانى:**

الشعاع الساقط و العمود و الشعاع المنكسر يقعوا جميعا في مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل بين الوسطين.

## 2-3 الانكسار خلال وسط محدود بسطحين متوازيين

نفرض أن AB شعاع يسقط من الهواء على أحد السطحين المتوازيين لكتلة من الزجاج كما بالشكل.




الشعاع BC ينكسر بزاوية انكسار Φ و من قانون سنل نجد أن:

$$\frac{sin(\theta)}{sin(\varphi)} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (6)$$

و هذا الشعاع يسقط على السطح المستوى الثانى بالزاوية Φ و ينكسر ليخرج إلى الهواء مرة أخرى في الاتجاه CD بزاوية $\theta/$ و بالتالي فان:

$$\frac{sin(\varphi)}{sin(\theta')} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (7)$$

من المعادلتين (6) و (7) نجد أن

$$\frac{sin(\theta)}{sin(\varphi)} \cdot \frac{sin(\varphi)}{sin(\theta')} = 1 \qquad (8)$$

$$\therefore \theta = \theta'$$

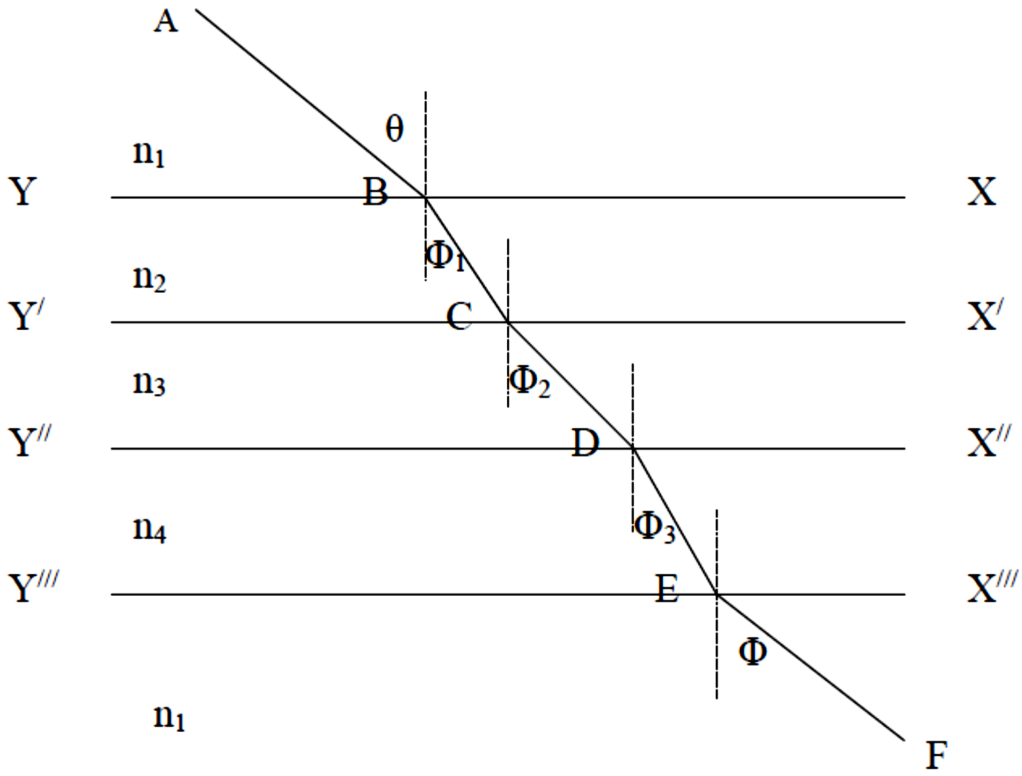
من ذلك نستنتج أن الشعاع CD يخرج موازيا لاتجاهه الأصلي AB و يفصله عن اتجاهه الأصلي المسافة /BD التي تعطى من العلاقة الآتية

$$BD' = \frac{d}{cos(\varphi)} sin(\theta - \varphi) \qquad (9)$$

حيث أن d المسافة بين السطحين المتوازيين (السمك).

## 3-3 الانكسار خلال أوساط متعاقبة محدودة بأسطح متوازية

نفرض أن AB يمثل اتجاه شعاع ساقط من الوسط الأول ذو معامل الانكسار $n_1$ على السطح الفاصل XY بينه و بين الوسط الثانى ذو معامل الانكسار $n_2$ و أن اتجاه الشعاع المنكسر في الوسط الثانى هو BC . و بتكرار عملية السقوط من الوسط الثانى إلى الوسط الثالث ذو معامل الانكسار $n_3$ ، فانه يمكننا الحصول على الشكل الآتي الذي يوضح عملية الانكسار التي تحدث داخل الأوساط المحددة بالأسطح المستوية. و نفرض أن آخر شعاع ضوئى سوف ينكسر في وسط له نفس معامل انكسار الوسط الأول.




من هذا الشكل يتضح أن:

$$\frac{\sin(\theta)}{\sin(\varphi_1)} = \frac{n_2}{n_1} \quad ,$$

$$\frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_2)} = \frac{n_3}{n_2} \quad ,$$

$$\frac{\sin(\varphi_2)}{\sin(\varphi_3)} = \frac{n_4}{n_3} \quad ,$$

$$\frac{\sin(\varphi_3)}{\sin(\varphi)} = \frac{n_1}{n_4}$$

و من هذه المعادلات نجد أن

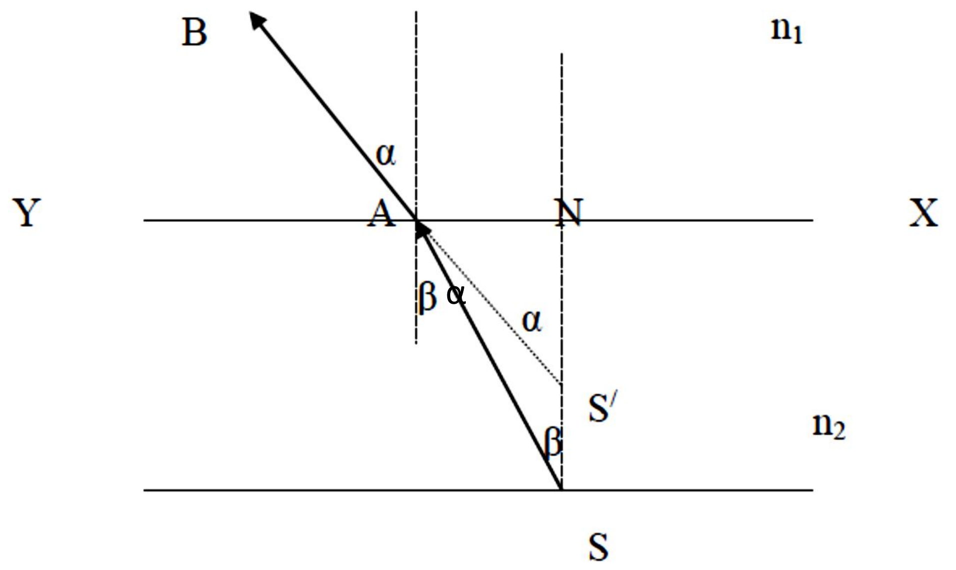
$$\frac{\sin(\theta)}{\sin(\varphi_1)} \cdot \frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_2)} \cdot \frac{\sin(\varphi_2)}{\sin(\varphi_3)} \cdot \frac{\sin(\varphi_3)}{\sin(\varphi)} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{n_3}{n_2} \cdot \frac{n_4}{n_3} \cdot \frac{n_1}{n_4} = 1$$

$$\therefore \sin(\theta) = \sin(\varphi) \qquad \therefore \theta = \varphi$$

أى أن الشعاع EF يخرج موازيا اتجاهه الأصلي AB .

## 4-3 السمك الظاهرى

نفرض أن S نقطة مضيئة موجودة في وسط شفاف معامل انكساره $n_2$، فان SA يمثل شعاع ساقط من هذه النقطة على السطح المستوى XY الذي يفصل بين هذا الوسط و وسط آخر شفاف معامل انكساره $n_1$ و أقل كثافة ضوئية من الوسط السابق، و أن AB يمثل اتجاه الشعاع المنكسر في هذا الوسط كما بالشكل.




نفرض كذلك أن SN هو اتجاه شعاع خارج من النقطة S في الاتجاه العمودى على السطح XY ، هذا الشعاع ينفذ إلى الوسط الثانى دون أن يعانى أي انكسار. فإذا مد الشعاع BA ليقابل SN في Ś فان:

$$\frac{sin(\beta)}{sin(\alpha)} = \frac{n_1}{n_2}$$

أيضا من هذا الشكل نجد أن

$$\frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} = \frac{\frac{AN}{AS}}{\frac{AN}{AS'}} = \frac{AS'}{AS} \qquad (11)$$

$$\therefore AS' = AS\frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} \qquad (12)$$

و تدل هذه النتيجة على أن وضع النقطة Ś ليس ثابتا بل يتوقف على زاوية رأس مخروط الأشعة التي ترى بها العين النقطة المضيئةS .

فإذا كانت العين قريبة من الخط العمودى، فان كل من$\alpha$ و $\beta$ تكون صغيرة و بذلك يمكن اعتبار أن:

$$\frac{AS}{AS'} = \frac{NS}{NS'} \qquad (13)$$

$$\therefore \frac{NS'}{NS} = \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (14)$$

و بذلك يكون البعد الظاهرى NŚ أقل من البعد الحقيقى NS . لماذا؟؟

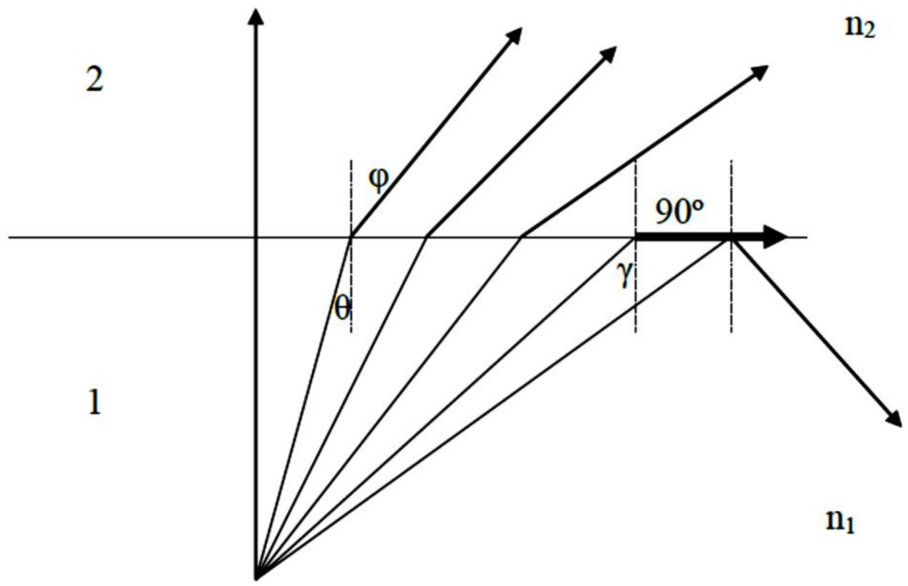
و تقدر إزاحة الصورة في الاتجاه العمودى بالمقدار SŚ الذي يعطى من:

$$SS' = NS - NS' = NS\left[1 - \frac{NS'}{NS}\right] \qquad (15)$$

$$\therefore SS' = NS\left[1 - \frac{n_1}{n_2}\right] \qquad (16)$$

## 5-3 الزاوية الحرجة والانعكاس الكلى

عندما يمر شعاع من وسط كثيف إلى وسط أقل كثافة ضوئية فانه ينكسر مبتعدا عن العمود على سطح الانفصال، أى أن زاوية الانكسار تكون أكبر من زاوية السقوط كما بالشكل الآتي.




من الشكل نجد أن:

$$\frac{sin(\theta)}{sin(\varphi)} = \frac{n_2}{n_1}$$

و من الملاحظ أنه كلما ذادت زاوية السقوط ذادت زاوية الانكسار حتى إذا بلغت زاوية السقوط قيمة معينة $\gamma$ فان الشعاع المنكسر يخرج في الوسط الثانى موازيا للسطح الفاصل و زاوية انكساره قائمة.

$$Sin(\gamma) = \frac{n_2}{n_1} \qquad (17)$$

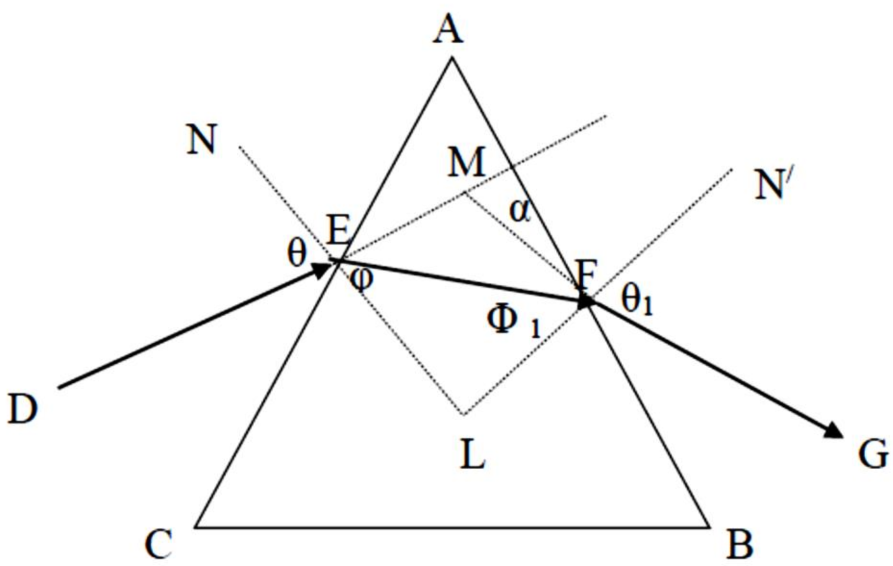
و تسمى زاوية السقوط $\gamma$ في الوسط الكثيف التي تقابلها زاوية انكسار $90^o$ بالزاوية الحرجة للوسطين 1 و 2 .

و إذا ذادت زاوية السقوط في الوسط الكثيف عن الزاوية الحرجة فان الشعاع لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة و إنما ينعكس عند سطح الانفصال انعكاسا كليا في الوسط الكثيف وفقا لقانونى الانعكاس. و يسمى انعكاس الضوء عندئذ بالانعكاس الكلى الداخلى حيث انه لا ينفذ تماما إلى الوسط الخفيف.

## 6-3 انكسار الضوء خلال المنشور الثلاثى

المنشور الثلاثى هو جزء من وسط شفاف متجانس محدود بسطحين غير متوازيين. فإذا فرضنا أن $ABC$ يمثل المقطع الأساسي لمنشور ثلاثى من الزجاج زاوية رأسه $A$ و أن شعاعا ضوئيا $DE$ يسقط على الوجه $AC$ فانه ينكسر داخل المنشور مقتربا من العمود ( في الاتجاه $EF$) ثم يخرج من الوجه $AB$ في الاتجاه $FG$ كمل بالشكل.

من هذا الشكل يتضح أن الشعاع $DE$ يعانى انحراف كل من النقطتين $E$ و $F$ و أن الانحراف الكلى في اتجاه $DE$ يقدر بقيمة الزاوية بين امتداد الشعاعين$DE$ و $GF$ .



فإذا كانت الزوايا $\theta$ و $\varphi$ و $\varphi_1$ و $\theta_1$ تمثل زوايا السقوط و الانكسار عند

النقطتين E و F فان:

$$\theta = M\hat{E}F + \varphi \qquad \therefore M\hat{E}F = \theta - \varphi \qquad (18)$$

$$\theta_1 = M\hat{F}E + \varphi_1 \qquad \therefore M\hat{F}E = \theta_1 - \varphi_1 \qquad (19)$$

و زاوية الانحراف $\alpha$ تعطى من

$$\alpha = M\hat{E}F + M\hat{F}E$$

$$\therefore \alpha = \theta + \theta_1 - (\varphi + \varphi_1) \qquad (20)$$

في الشكل الرباعى AELF نجد أن

$$\because A\hat{E}L + A\hat{F}L = 180^\circ$$

$$\therefore \hat{A} + F\hat{L}E = 180^\circ \qquad (21)$$

من المثلث FEL نجد أن

$$\varphi + \varphi_1 + F\hat{L}E = 180^\circ$$

بالتعويض من المعادلة (21) في المعادلة السابقة نحصل على:

$$\hat{A} = \varphi + \varphi_1 \qquad (22)$$

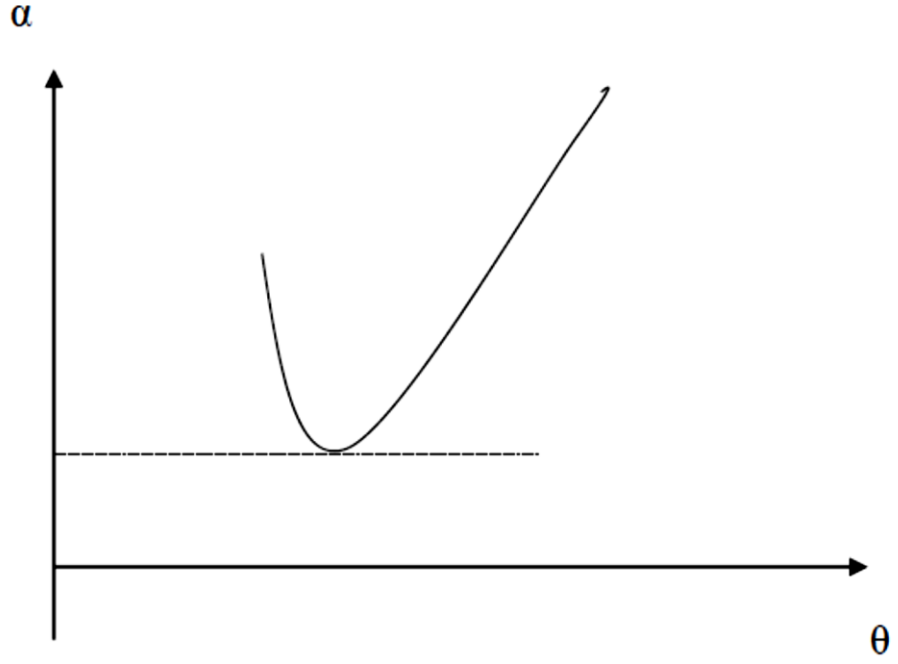
من المعادلتين (20) و (22) نجد أن

$$\alpha = \theta + \theta_1 - \hat{A} \qquad (23)$$

و حيث أن $A$ زاوية رأس المنشور تكون ثابتة لا تتغير إلا بتغير المنشور، فان زاوية الانحراف $\alpha$ تتوقف على زاويتى السقوط و الخروج..

### 2-6-3 النهاية الصغرى لزاوية الانحراف:-

ذكرنا في المعادلة السابقة أن زاوية الانحراف تتغير تبعا لتغير زاويتى السقوط و الخروج، فإذا رسمت العلاقة بين زاوية الانحراف وزاوية السقوط فسوف يكون لها سلوك كالمماثل بالشكل




و نلاحظ أنه كلما ذادت زاوية السقوط قلت زاوية الانحراف حتى تصل إلى أقل قيمة لها ثم تأخذ بعدها في الزيادة مرة أخرى، و معنى هذا أن هناك قيمة لزاوية السقوط تكون عندها زاوية الانحراف اقل ما يمكن و تسمى النهاية الصغرى لزاوية الانحراف ورياضيا يعنى هذا أن:

$$\frac{d\alpha}{d\theta} = zero$$

بتفاضل المعادلة $(23)$ بالنسبة ل $\theta$

$$\frac{d\alpha}{d\theta} = 1 + \frac{d\theta_1}{d\theta} \qquad (24)$$

و عند وضع النهاية الصغرى للانحراف يكون

$$\frac{d\theta_1}{d\theta} + 1 = 0 \qquad (25)$$

و بتفاضل المعادلة $(22)$ نحصل على

$$\frac{d\varphi}{d\theta} + \frac{d\varphi_1}{d\theta} = 0 \qquad (26)$$

فإذا كان $\mu$ معامل انكسار مادة المنشور فان

$$\frac{sin(\theta)}{sin(\varphi)} = \mu, \frac{sin(\theta_1)}{sin(\varphi_1)} = \mu \qquad (*)$$

$$\therefore sin(\theta) = \mu\, sin(\varphi)$$

$$\therefore cos(\theta) = \mu\, cos(\varphi) \frac{d\varphi}{d\theta}$$

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{cos(\theta)}{\mu\, cos(\varphi)} \qquad (27)$$

بالمثل يمكننا الحصول على

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta_1} = \frac{cos(\theta_1)}{\mu\, cos(\varphi_1)} \qquad (28)$$

بالتعويض من $(27)$ في $(26)$

$$\frac{cos(\theta)}{\mu\, cos(\varphi)} + \frac{d\varphi_1}{d\theta} = 0 \qquad (29)$$

و حيث أن

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{d\varphi_1}{d\theta_1} \cdot \frac{d\theta_1}{d\theta} \qquad (30)$$

بالتعويض من (28) و (29) في (30) نحصل على

$$\frac{cos(\theta_1)}{\mu\, cos(\varphi_1)} \cdot \frac{d\theta_1}{d\theta} + \frac{cos(\theta)}{\mu\, cos(\varphi)} = 0 \qquad (31)$$

بالتعويض من (25) في (31)

$$\frac{cos(\theta)}{cos(\varphi)} = \frac{cos(\theta_1)}{cos(\varphi_1)} \qquad (32)$$

و من قوانين حساب المثلثات يمكننا كتابة هذه المعادلة على الصورة الآتية

$$\frac{1-sin^2(\theta)}{1-sin^2(\varphi)} = \frac{1-sin^2(\theta_1)}{1-sin^2(\varphi_1)} \qquad (33)$$

و بالتعويض من المعادلة (*) في المعادلة السابقة نحصل على

$$\frac{1-sin^2(\theta)}{1-\frac{sin^2(\theta)}{\mu^2}} = \frac{1-sin^2(\theta_1)}{1-\frac{sin^2(\theta_1)}{\mu^2}} \qquad (34)$$

و هذه المعادلة تأخذ الشكل الاتى

$$(sin^2(\theta) - sin^2(\theta_1))(\mu^2 - 1) = 0 \qquad (35)$$

و حيث أن $\mu \neq 1$ ،فان

$$\theta = \theta_1 \qquad (36)$$

و بالمثل يمكننا استنتاج أن

$$\varphi = \varphi_1 \qquad (37)$$

أى أنه عند وضع النهاية الصغرى للانحراف زاوية السقوط = زاوية الخروج.

و بالتالى زاوية راس المنشور( المعادلة 22 ) تأخذ الشكل:

$$A = 2\varphi \qquad (38)$$

و المعادلة (23) تأخذ الشكل:

$$\alpha + A = 2\theta$$

و المعادلة (*) يمكن أن تكتب على الصورة:

$$\mu = \frac{sin(\frac{\alpha+A)}{2})}{sin(\frac{A}{2})} \qquad (39)$$

أما إذا كانت زاوية رأس المنشور صغيرة و كانت الأشعة الساقطة على سطح المنشور عمودية تقريبا فان زوايا الانكسار و الانحراف تكون صغيرة كذلك، و من ثم تأخذ المعادلة السابقة الشكل الآتي

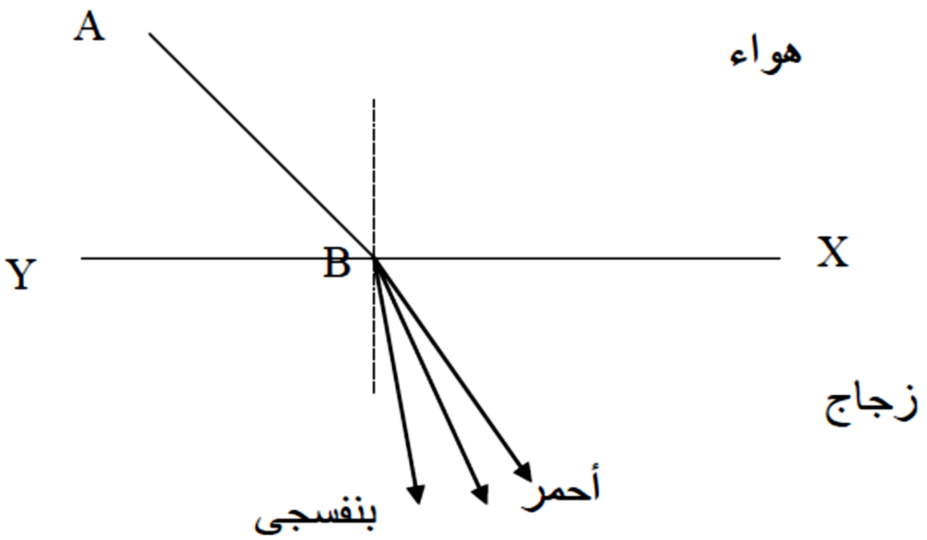
$$\mu = \frac{(\frac{\alpha + A)}{2})}{(\frac{A}{2})}$$

$$\therefore \mu = 1 + \frac{\alpha}{A}$$

$$\therefore \alpha = A(\mu - 1) \qquad (40)$$

## 7-3 تفريق الضوء بالانكسار

تعتبر ظاهرة تفريق الضوء أحدى الظواهر المهمة و التي تفسر من خلال الضوء الهندسى. فإذا فرضنا أن AB يمثل شعاعا ضوئيا يسقط من الهواء على سطح مستوى يقصل بين الهواء و وسط آخر كالزجاج فان الشعاع المنكسر في الزجاج يعانى تفريقا أو تحليلا إلى الأشعة المكونة له. و تسمى هذه الظاهرة التفرق اللونى أو التشتت اللونى، و هي تنتج من اختلاف معامل الانكسار بالنسبة للون الضوء.




و تسمى مجموعة الألوان الناتجة من عملية تشتت الضوء الأبيض – الأحمر، البرتقالى، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلى، البنفسجى – بالطيف كما يسمى الفرق

بين زاويتى انحراف أى لونين بالتفريق الزاوى لهذين اللونين. و تتوقف هذه الزاوية على طبيعة الوسط الذي يحدث فيه الانكسار.

و يزداد التفريق الزاوى في حالة المنشور و ذلك نتيجة انحراف الأشعة عند كلا من سطحى المنشور.

## 1-7-3 قوة التفريق

سبق و أن أشرنا أن زاوية الانحراف للمنشور تعطى من العلاقة الاتية

$$\alpha = A(\mu - 1)$$

فإذا كانت زاوية انحراف اللون البنفسجى $\alpha_V$ ، و زاوية انحراف اللون الاحمر هي $\alpha_R$ فان

$$\alpha_V = A(\mu_V - 1)$$
$$\alpha_R = A(\mu_R - 1)$$

حيث $\mu_V$ و $\mu_R$ هما معاملا انكسار الأشعة البنفسجية و الحمراء في مادة المنشور.

أى أن التفريق الزاوى للونين البنفسجى و الأحمر يعطى من المعادلة الآتية:

$$\alpha_V - \alpha_R = A(\mu_V - \mu_R) \qquad (41)$$

و تعرف قوة تفريق المنشور من المعادلة

$$F = \frac{\alpha_V - \alpha_R}{\alpha} \qquad (42)$$

حيث $\alpha$ زاوية الانحراف بالنسبة للون الأوسط في الفيض.

فإذا كانت $\mu$ متوسط معامل الانكسار للونين البنفسجى و الأحمر، فان قوة تفريق المنشور للضوء تعطى من العلاقة:

$$F = \frac{\mu_V - \mu_R}{\mu - 1} \qquad (43)$$

يتضح من المعادلتين $(41)$ و $(43)$ أنه بينما يتوقف التشتيت الزاوى على زاوية رأس المنشور و على طبيعة المادة المصنوع منها فان قوة التشتيت تتوقف فقط على طبيعة المادة المصنوع منها المنشور.

## 2-7-3 مجموعة لا لونية من منشورين :-

يمكن التغلب على التفريق الذي يُحدثه المنشور باستخدام منشورين رقيقين مختلفي الزاوية ومصنوعين من مادتين مختلفتين كالزجاج التاجي والزجاج الصخري مثلًا. في هذه المجموعة يوضع المنشوران متلاصقان بحيث يبطل أحدهما التفريق الزاوي الحادث بفعل الآخر وتسمى المجموعة في هذه الحالة بالمجموعة اللالونية وذلك لأن الضوء ينفذ منها دون أن يعاني تفريقًا لونيًا.

فإذا فرضنا أن زاوية رأس المنشورين المكونين للمجموعة هما $A_2, A_1$ على الترتيب وأن زاوية التفريق للونين البنفسجي والأحمر في المنشور الأول هي

$$(N_\mathrm{b} - N_R) = A_1(\mu_\mathrm{b} - \mu_R)_1 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \; (1)$$

وزاوية التفريق لنفس اللونين في المنشور الثاني هي

$$(N_\mathrm{b} - N_R)_2 = A_2(\mu_\mathrm{b} - \mu_R)_2$$

وأن شرط تعادل زاويتي التفريق هو أن

$$(N_{\mathrm{b}} - N_R)_1 + (N_{\mathrm{b}} - N_R)_2 = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$(N_{\mathrm{b}} - N_R)_1 = -(N_{\mathrm{b}} - N_R)_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

ومعنى الإشارة السالبة في الطرف الايمن هو أن المنشورين يجب أن يكونا متعاكسين.

من المعادلة 3 والمعادلتين 1,2 نستنتج أن شرط المجموعة اللونية هو

$$A_1(\mu_{\mathrm{b}} - \mu_R)_1 = A_2(\mu_{\mathrm{b}} - \mu_R)_2$$

ومن الجدير بالذكر أن الانحراف الكلي في هذه المجموعة يعطى بالمعادلة

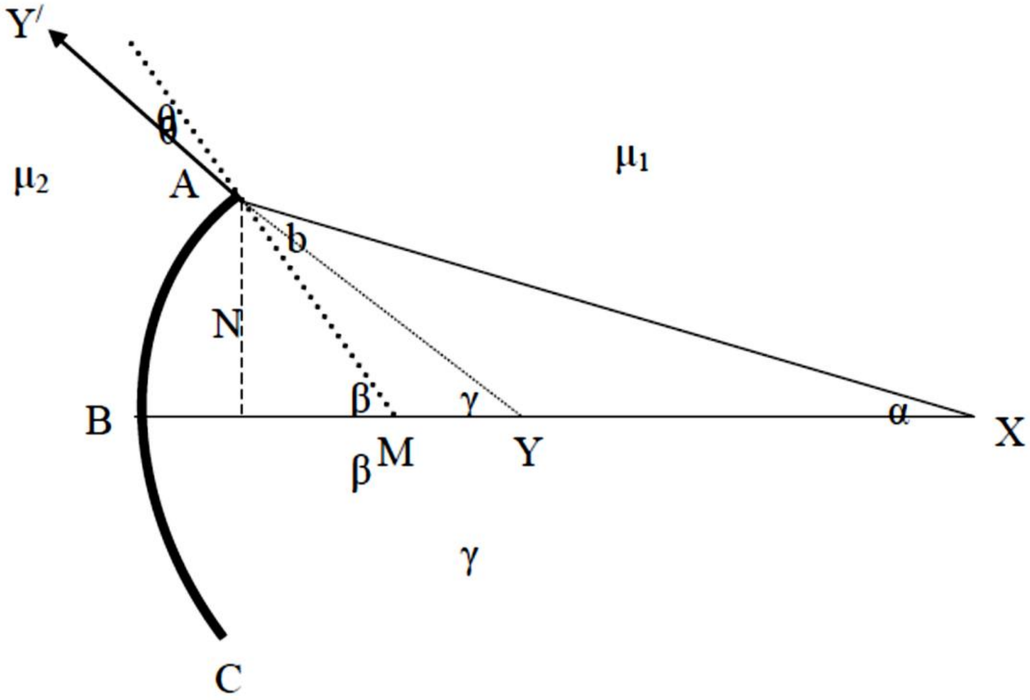
$$N = \mathrm{N}_1 - \mathrm{N}_2$$

$$= A_1(\mu - 1) - A_2(\mu - 1)$$

## 8-3 الانكسار عند الأسطح الكرية

نفرض أن X نقطة مضيئة على المحور الأساسي لمرآة مقعرة ABC تفصل بين وسطين معامل انكسار الضوء فيهما $\mu_1$ و $\mu_2$ و ليكن $\mu$ مركز تكور السطح الكرى.

فإذا فرضنا أن $\mu_2 < \mu_1$ فان الشعاع الساقط XA ينكسر في الاتجاه AÝ ، و إذا مددنا هذا الشعاع المنكسر فانه سوف يتقاطع مع محور المرآة في النقطة Y التي تمثل صورة الجسم، كما هو موضح بالشكل الاتى.




و من هذا الشكل يتضح أن

$$\hat{\beta} = \hat{\gamma} + \hat{\theta}$$

$$\therefore \hat{\theta} = \hat{\beta} - \hat{\gamma} \qquad (44)$$

أيضا

$$\hat{\beta} = \hat{\alpha} + \hat{b}$$

$$\therefore \hat{b} = \hat{\beta} - \hat{\alpha} \qquad (45)$$

و حيث أن

$$\frac{sin(b)}{sin(\theta)} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

فإذا كانت النقطة A قريبة من قطب المرآة فأن كل من زاويتى السقوط و الانكسار

تكونان صغيرتين

$$\therefore \frac{\hat{b}}{\hat{\theta}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

$$\therefore \mu_1 \hat{b} = \mu_2 \hat{\theta} \qquad (46)$$

بالتعويض من (44) و (45) في (46) نحصل على

$$\mu_1(\beta - \alpha) = \mu_2(\beta - \gamma) \qquad (47)$$

فإذا كانت المسافة بين الجسم و الصورة و المركز عن قطب المرآة هي x ,r,y على

الترتيب، فان

$$\alpha = \frac{N}{x}, \gamma = \frac{N}{y}, \beta = \frac{N}{r} \qquad (*)$$

بالتعويض من هذه المعادلة في المعادلة (47)

$$\mu_1\left(\frac{N}{r} - \frac{N}{x}\right) = \mu_2\left(\frac{N}{r} - \frac{N}{y}\right)$$

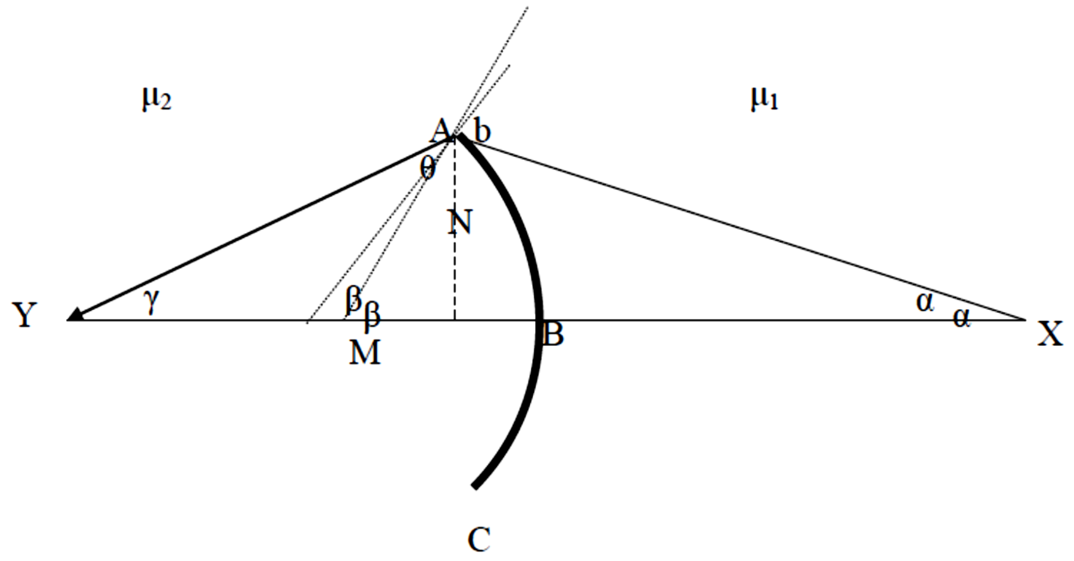
و وفقا لقاعدة الإشارات التي سبق ذكرها فان:

$$\mu_1\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{x}\right) = \mu_2\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{y}\right)$$

$$\therefore \frac{1}{r}(\mu_2 - \mu_1) = \frac{\mu_1}{x} - \frac{\mu_2}{y} \qquad (48)$$

و هي المعادلة العامة في حالة السطح الكرى المقعر.

أما في حالة السطح الكرى المحدب (كما بالشكل الآتي) فان




$$\hat{\beta} = \hat{\theta} + \hat{\gamma}$$

$$\therefore \hat{\theta} = \hat{\beta} - \hat{\gamma} \qquad (49)$$

أيضا

$$\hat{b} = \hat{\beta} + \hat{\alpha} \qquad (50)$$

و من المعادلات (46) و (49) و (50) يمكننا الحصول على

$$\mu_1(\alpha + \beta) = \mu_2(\beta - \gamma) \qquad (51)$$

و بكتابة المعادلة (*) مرة أخر و لكن مع مراعاة قاعدة الإشارات في هذه الحالة

$$\alpha = \frac{N}{x}, \beta = -\frac{N}{r}, \gamma = -\frac{N}{y}$$

فان المعادلة (51) تأخذ الشكل الآتي

$$\mu_1 \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{r}\right) = \mu_2 \left(\frac{1}{y} - \frac{1}{r}\right) \qquad (52)$$

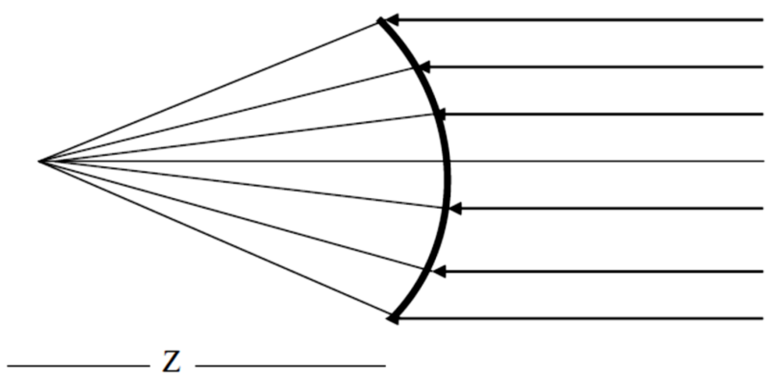
$$\therefore \frac{1}{r}(\mu_1 - \mu_2) = \frac{\mu_1}{x} - \frac{\mu_2}{y} \qquad (53)$$

و هي نفس النتيجة التي حصلنا عليها في حالة السطح الكرى المقعر.

أما إذا كانت الأشعة الساقطة متوازية كما بالشكل الآتي ( أى أن X في ∞ ) فان المعادلة السابقة تصبح على الصورة الآتية

$$y = \frac{r\mu_2}{\mu_2 - \mu_1} \qquad (54)$$

و بذلك تتجمع الأشعة المنكسرة في نقطة واحدة Z تسمى البؤرة و يسمى بعدها عن قطب المرآة البعد البؤرى.

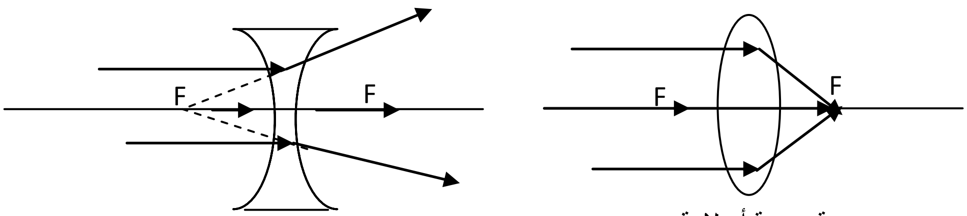


## 9-3 الصورة المكونة بالعدسات:

عند تعيين موضع صورة حادثة من عدسة ينتفع بقاعدتين هامتين هما:

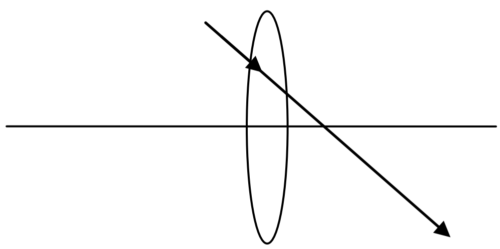
أولًا: الشعاع الساقط على عدسة في اتجاه يوازي محورها الأصلي يمر ببؤرتها الأصلية بعد خروجه من العدسة.

ثانيًا: الشعاع الساقط على العدسة ويمر بمركزها البصري وينفذ منها دون أن يتغير اتجاهه. انظر الشكل (2)

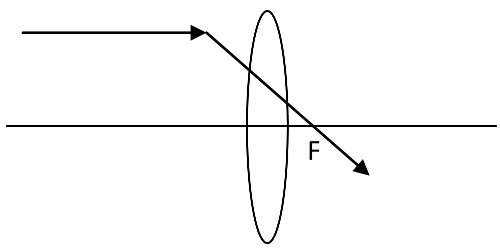



عدسة محدبة أو لامة

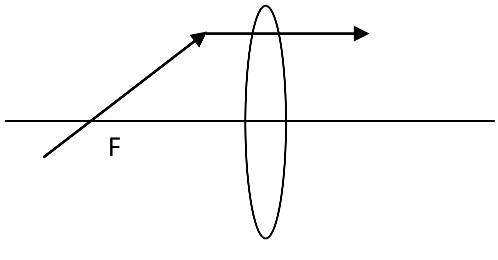
عدسة مقعرة أو مفرقة



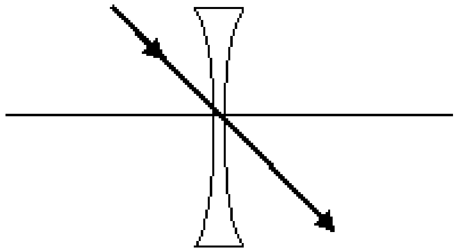
الشعاع الذي يسقط مارا بمركز العدسة لا يعاني أي انكسار



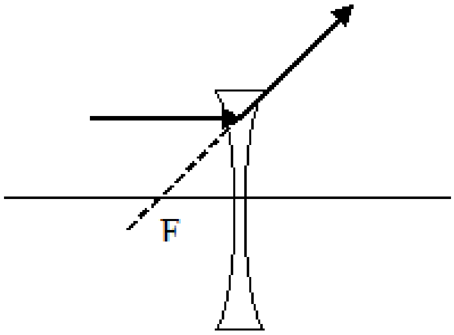

الشعاع الذي يسقط موازيا للمحور الأصلي للعدسة ينكسر مارا بالبؤرة



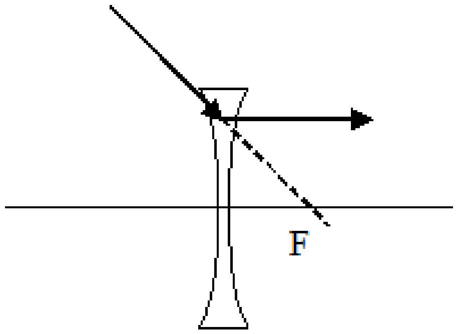

الشعاع الذي يسقط مارا بالبؤرة ينكسر موازيا للمحور الأصلي



الشعاع الذي يسقط مارا بمركز
العدسة لا يعاني أي انكسار



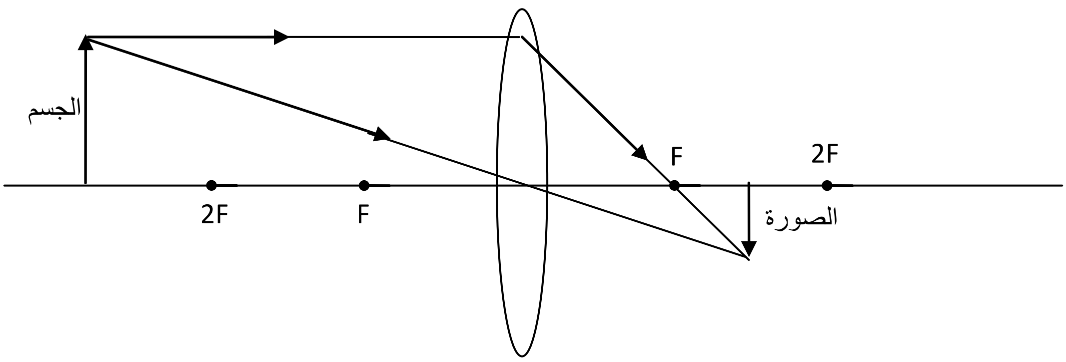

الشعاع الذي يسقط موازيا للمحور
الأصلي للعدسة ينكسر بحيث يمر



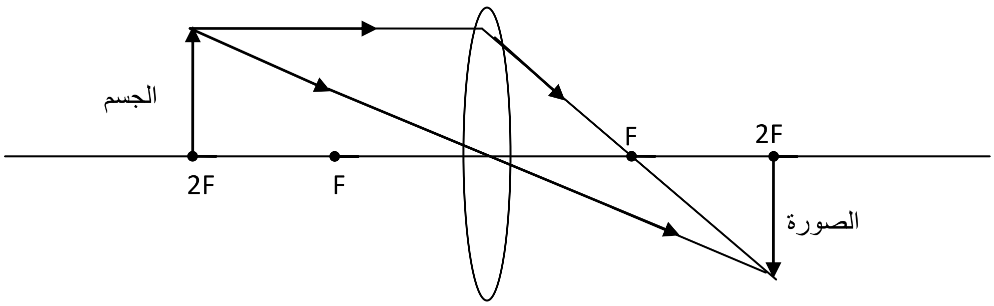

الشعاع الذي يسقط بحيث يمر امتداده
بالبؤرة ينكسر موازيا للمحور

**كيف تتكون الصور في كل من العدسة المحدبة والعدسة المقعرة وما هي صفاتها؟**

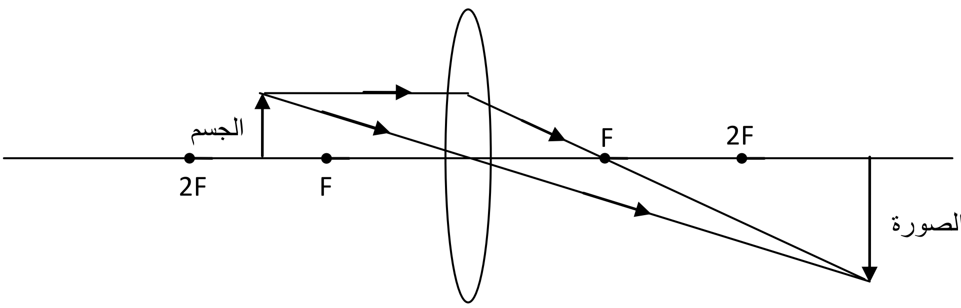
يمكن الإجابة على هذا السؤال من خلال الرسم كما هو موضح بالأشكال التالية :



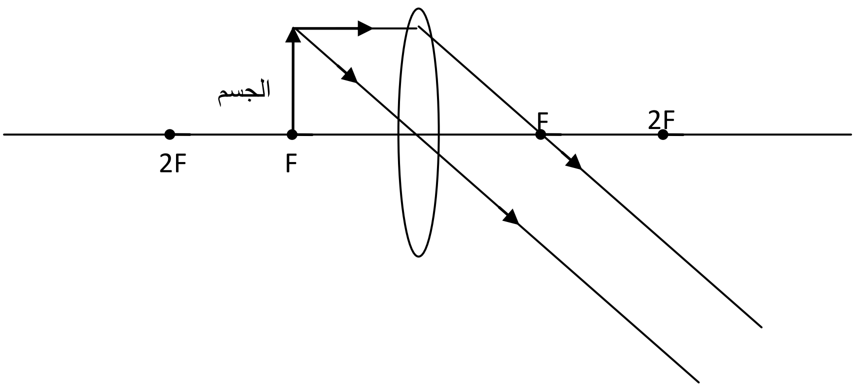

تتكون صورة حقيقية مقلوبة مصغرة عندما يكون الجسم على مسافة أبعد من ضعف البعد البؤري.



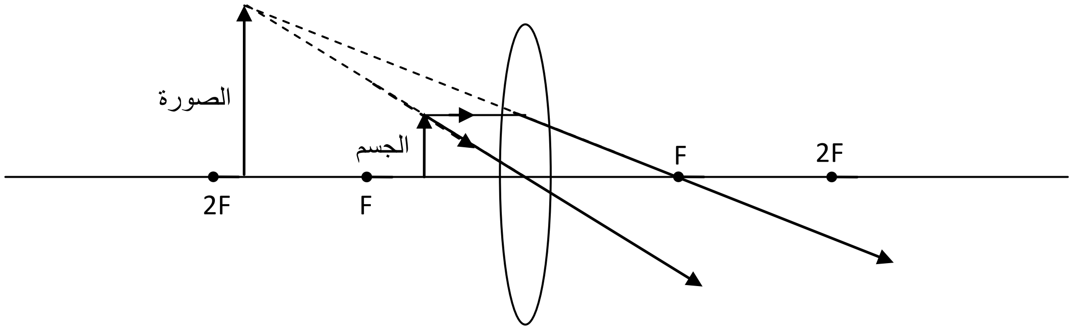

تتكون صورة حقيقية مقلوبة مساوية لحجم الجسم عندما يكون الجسم عند ضعف البعد البؤري.



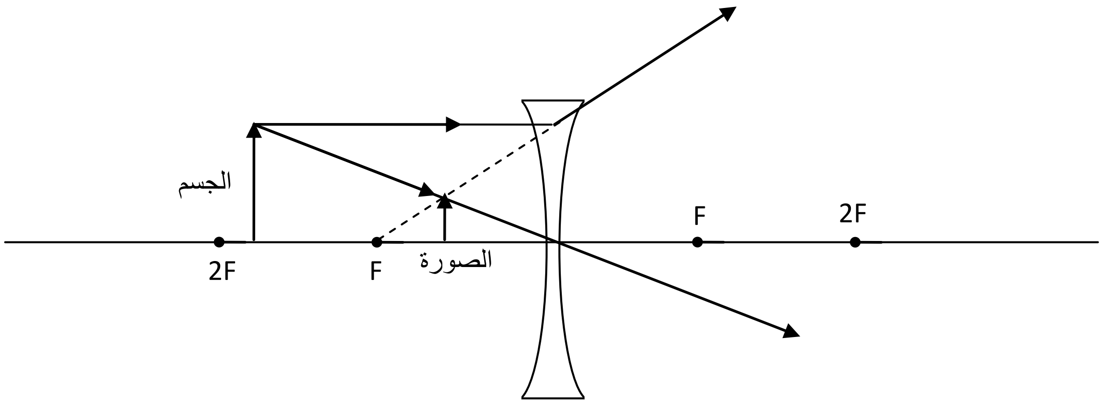

تتكون صورة حقيقية مقلوبة مكبرة عندما يكون موضع الجسم بين البعد البؤري وضعف البعد البؤرى البؤرى.




تتكون صورة حقيقية في مالانهاية للجسم عندما يكون موضع الجسم عند البعد البؤري.




تتكون صورة تقديرية معتدلة مكبرة عندما يكون الجسم بين البعد البؤري ومركز العدسة.




جميع الصور المتكونة في هذه الحالة تكون صورا تقديرية معتدلة مصغرة بغض النظر عن موضع الجسم.

إذا كانت العدسة محدبة، ووضع الجسم على بعد منها أقل من بعدها البؤري. تتكون صورة تقديرية معتدلة مكبرة.

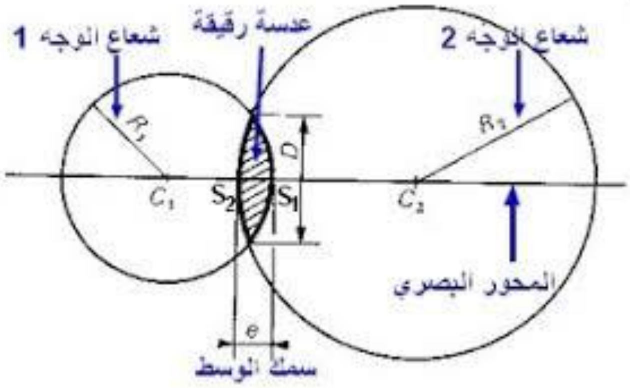
وإذا كان الجسم على بعد أكبر من البعد البؤري للعدسة تكونت صورة حقيقية مقلوبة، فإذا كان البعد أقل من ضعف البعد البؤري كانت الصورة مكبرة واذا كان هذا البعد أكبر من ضعف البعد البؤري كانت الصورة مصغرة. وبدهي أنه إذا كان الجسم على بعد لانهائي من العدسة تكونت صورة صغيرة جدًا على شكل نقطة موضعها بؤرة العدسة.

أما إذا كانت العدسة مقعرة تكون صورة الجسم الموضوع أمامها تقديرية في جميع الحالات.

## 10-3 العدسة الرقيقة:

تتكون العدسة الرقيقة من سطحين كريين متقاطعين، يحدان بينهما مادة شفافة معامل انكسارها يختلف عن معاملي انكسار الوسطين على جانبيها. وتعتبر العدسة رقيقة إذا كانت ذات سمك صغير جدًا بالنسبة إلى بعدها البؤري.

ولإيجاد قانون للعدسات نفرض عدسة رقيقة انحناء سطحيها $R_2$ ، $R_1$ ومعامل انكسار مادته $\mu$، وضعت بين وسطين معامل انكساريهما $\mu_1, \mu_2$ .




قوة السطح الأول $F_1$ هي $F_1 = R_1 ( \mu_1 - \mu_2 )$ وقوة السطح الثاني $F_2$ هي $F_2 = R_2 ( \mu_1 - \mu_2)$

فإذا وضع جسم على بعد $\ell$ مترا من سطح العدسة الأولى يكون التمايل الابتدائي في الوسط الأول $\mu_1 L_1$, ويكون تمايل الموجة بعد تركها السطح الأول مباشرة هو $\mu L$ حيث:

$$\mu_1 L_1 + F_1 = \mu L$$

تسقط الموجة بعد ذلك على السطح الثاني للعدسة فتخرج منه الأشعة بتمايل $\mu_2 L_2$ حيث يكون التمايل النهائى من السطح الأول تمايلًا إبتدائيا للسطح الثاني

$$\mu_2 L_2 = \mu L + F_2$$

وبذلك يكون:

$$\mu_1 L_1 + (F_1 + F_2) = \mu_2 L_2$$

وإذا رمزنا لمجموع قوتي سطحي العدسة بالرمز F حيث :

$$\mathrm{F} = \mathrm{F}_1 + \mathrm{F}_2$$

تصبح المعادلة العامة للعدسات هي:

$$\mu_1 L_1 + F = \mu_2 L_2$$

وإذا كانت العدسة في الهواء يكون $\mu_1 = \mu_2 = 1$ وتصبح المعادلة:

$$L + F = L^{-}$$

$$F = F_1 + F_2$$

$$= R_1(\mu - 1) + R_2(1 - \mu)$$

$$F = (\mu - 1)(R_1 - R_2)$$

هذا بالنسبة للعدسة الهلالية الشكل أما إذا كانت العدسة محدبة الوجهين مثلا فتتبع قاعدة الإشارات بالنسبة لكل سطح على حده فانحناء السطح يكون موجبا إذا كان السطح محدبا بالنسبة لاتجاه الأشعة ويكون سالبا إذا كان مقعرا بالنسبة لإتجاه الأشعة. وعلى ذلك يكون انحناء السطح للعدسة المحدبة الوجهين سالبًا وتصبح قوة العدسة الرقيقة محدبة الوجهين هي:

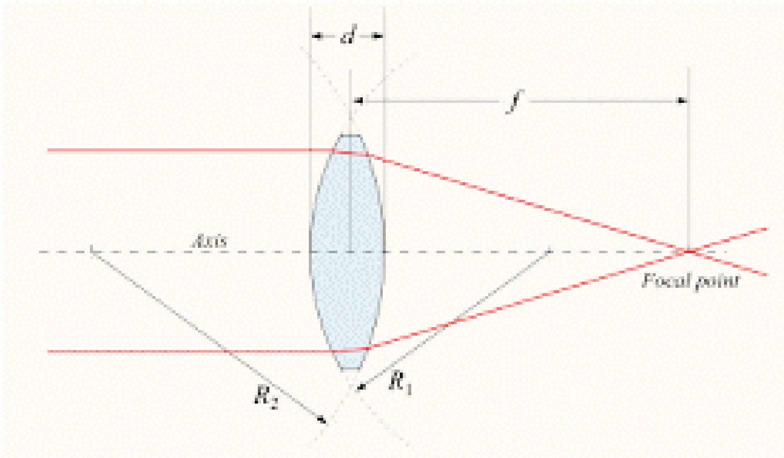
$$F = (\mu - 1)(R_1 - R_2)$$

## 11-3 العدسة السميكة:

تختلف العدسة السمكية عن العدسة الرقيقة في أن البعد بين سطحيها كبير بالنسبة لبعد الجسم وبعد الصورة ولذلك لا يمكن إهماله، ويعامل عندئذ كل سطح

على حدة ويعتبر التمايل النهائي للأشعة بعد مرورها من السطح الأول تمايلًا ابتدائيًا بالنسبة للسطح الثاني بعد أن نُدخل في الاعتبار سمك العدسة أي المسافة بين سطحيها.

نفرض أن $R_1.R_2$ هما انحناءا سطحي العدسة. وأن المسافة بينهما هي d ومعامل انكسار مادة العدسة $\mu$. ونفرض أن السطح الأول يلامس وسطًا معامل انكساره $\mu_1$ وأن السطح الثاني يلامس وسطًا آخر معامل انكساره $\mu_2$ .




تكون قوة السطح الأول $F_1$ هي:

$$F_1= R_1\ (\mu_1-\mu_2)$$

وتكون قوة السطح الثاني $F_2$ هي: $F_2 = R_2\ (\mu_2-\mu_1)$

إذا وضع جسم في الوسط الأول على بعد $\ell$ من السطح $R_1$. يكون تمايل الأشعة الساقطة $\mu_1 L$ وهو التمايل الابتدائي بالنسبة لهذا السطح. وبإضافة قوة السطح $F_1$ يكون التمايل النهائى للأشعة بعد مرورها من السطح الأول هو:

$$\mu L_1 = \mu_2 L + F_1$$

ونظرا لأن سمك العدسة كبيرة ويؤثر في بعد الصورة على السطح الثاني. لذلك يجب طرح المسافة الهوائية المكافئة لسمك العدسة وتساوي المسافة بالأمتار بين السطحين مقسومة على معامل انكسار مادة العدسة.

بعد الصورة على السطح الأول يساوي: $\frac{\ell_1}{\mu} = (\frac{1}{\mu L_1})$

يكون بعد الصورة عن السطح الثاني هو: $\frac{\ell_2}{\mu} = (\frac{\ell_1}{\mu} - \frac{d}{\mu})$

حيث $\ell_2 = \ell_1 + d$ وتعتبر هذه الصورة جسمًا بالنسبة للسطح الثاني للعدسة يبعد مسافة $\ell_2$ عن هذا السطح. ويكون بذلك التمايل الابتدائي بالنسبة للسطح الثاني للعدسة هو $\mu L_2$ حيث $L_2 = \frac{1}{\ell_2}$ وبإضافة قوة السطح الثاني $F_2$ إلى هذا التمايل نحصل على التمايل النهائي للأشعة بعد خروجها من السطح الثاني. أي أن :

$$\mu_2 L\backslash = \mu L_2 + F_2$$

ومنه يكون بعد الصورة في الوسط $\mu_1$ هو $\ell$ حيث $\ell\backslash = \frac{1}{L\backslash}$ ويكون حساب قوة التكبير بضرب قوتي تكبير السطحين، أي أن قوة تكبير العدسة السمكية m هي:

$$m = \frac{\mu_1 L}{\mu L_1} \times \frac{\mu L_2}{\mu_2 L\backslash}$$

## 12-3 مجموعة عدسات رقيقة تفصلها مسافات:

عند اعتبار مجموعة من العدسات الرقيقة تفصل بينها مسافات، يطبق على كل عدسة ما سبق تطبيقه بالنسبة للسطح في العدسة السمكية، مع استبدال قوة السطح بقوة العدسة الرقيقة، واستبدال المسافة بين السطحين بالمسافة بين

العدستين. ويكون التكبير الكلي m للمجموعة هو حاصل ضرب قوة التكبير لعدساتها ......$m_1$, $m_2$ أي أن:

$$m = m_1 \times m_2 \times m_3 \times ....$$
$$= \sum m \qquad (9)$$

**مثال (1):**

عدستان محدبتان وُضعتا متوازيتين ومحوراهما الأصليان على مستقيم واحد. فإذا كانت المسافة بينهما 10 سم ووضع جسم طوله 3 سم على بعد 15 سم من العدسة الأولى وعلى الجانب الآخر. ففي أي مكان تتكون الصورة وما طولها ونوعها بفرض أن البعد البؤري لكل من العدستين 20سم.

الحــل:

أولًا: باعتبار العدسة الأولى:

$$L + F = L\backslash$$
$$-\frac{100}{15} - \frac{100}{20} = L\backslash$$
$$\ell = -60\ cm$$

أي أن الصورة تقديرية معتدلة تظهر في نفس الجانب الموجود به الجسم، ويكون تكبير العدسة الأولى هو: $m_1 = \frac{L}{L\backslash} = -\frac{100}{15} \times -\frac{60}{100} = +4$

أي أن طول الصورة الناتجة عن العدسة الأولى يكون 8 سم.

ثانيًا: باعتبار هذه الصورة جسما بالنسبة للعدسة الثانية. يكون على بعد قدره 70سم وذلك بعد إضافة 10 سم هي المسافة بين العدستين.

وبتطبيق القانون مرة ثانية على العدسة الثانية يكون:

$$-\frac{100}{70}+\frac{100}{25}=L_1^{\backslash}$$
$$\ell_1 = 25\ cm$$

أي أن الصورة تظهر حقيقية على بعد 28 سم من العدسة الثانية. وفي الجهة الأخرى منها. ويكون التكبير للعدسة الثانية هو $m_2 = -\frac{2}{5}$

أي أن الصورة النهائية تكون مقلوبة وطولها $8 \times \frac{2}{5} = 3.2$ سم

**مثال (2):**

عدسة محدبة الوجهين نصف قطر كل من سطحيها 20 سم، وضعت ملامسة لسطح ما في إناء. فإذا وضع جسم على بعد 100سم من العدسة خارج الإناء. أوجد موضع الصورة. علمًا بأن معامل انكسار مادة العدسة 1.5 ومعامل انكسار الماء 1.3.

الحل:

قوة العدسة F تساوي مجموع قوتي السطحين:

$$F=\frac{100}{20}\ (1.5-1)-\ \frac{100}{20}\ (1.3-1.5)$$
$$=\ 3.5\ \Delta$$

بتطبيق القانون العام للعدسات

$$\mu L + F =\ \mu^{\backslash}\ L^{\backslash}$$
$$-1+3.5=1.3\ L^{\backslash}$$
$$\ell = 52\ cm$$

**مثال (3):**

وضع جسم على بعد 10 سم من السطح المستوي لنصف كرة من زجاج معامل انكساره 1.5. فإذا كان نصف قطر الكرة 3سم. فأوجد موضع الصورة وخواصها.

الحل:

معادلة السطح الأول

$$\mu L + F = \mu^{\backslash} L^{\backslash}$$
$$-10 + 0 = \mu^{\backslash} L^{\backslash}$$

بعد الصورة عن السطح الأول = -10 cm

بعد الصورة عن السطح الثاني $-10 - \frac{3}{1.5} = -12cm$

معادلة السطح الثاني

$$-\frac{100}{12} - \frac{100}{3} \ (1 - 15) = \frac{100}{12}$$

أى أن الصورة تتكون على بعد 12 سم من العدسة ويكون تكبيرها -1. أي أنها حقيقية مقلوبة وحجمها يساوي حجم الجسم.

## 13-3 النقطتان المتر افقتان - علاقة نيوتن:

إعتبر جسمًا في نقطة o أمام عدسة C. وتكونت له صورة عند النقطة I. ونظرًا لأن الضوء يسير في نفس مساره إذا عكس اتجاهه. لذلك إذا وضعنا الجسم مكان الصورة تكونت صورة مكان الجسم، أي أن النقطتين I&o نقطتان تبادليتان ويطلق عليهما النقط المترافقة.

أوجد نيوتن علاقة تربط بين البعد البؤرى للعدسة f، وبين بعد الجسم والصورة عن كل من البؤرتين القريبتين منهما (x , y) على الترتيب. كما هو مبين بشكل (4)

==========================

بعد الجسم عن العدسة $(x + f) = L$

بعد الصورة عن العدسة $(y + f) = L$

وبتطبيق قانون العدسات

$$L + F = L^{`}$$
$$-\frac{I}{x+f} + \frac{1}{f} = \frac{1}{y+f}$$
$$f\ (x + y + 2f) = (x + f)(y + f)$$
$$f^2 = xy$$

وهذه العلاقة تدل على أن الجسم إذا اقترب من البؤرة تبتعد الصورة المناظرة. وأهمية هذه العلاقة تكمن في أنها تُستخدم لتعيين القوة المكافئة لمجموعة من عدسات أو للعدسة السمكية، وكذلك لتحديد مستويات الأساسية لها. فإذا فرضنا أن $f_1\&f_2$ هما البؤرتان السطحيتان لمجموعة أو لعدسة سمكية (شكل 5) وأن بعدي الجسم والصورة عن تلك البؤرتين على الترتيب هما: x,y يكون البعد البؤري المكافئ هو $f_{eq}$ ويعطى بالمعادلة $xy = f_{eq}^2$

======================

وبمعرفة $f_{eq}$ يمكننا تحديد المستويين الأساسيين $F_2\&F_1$

## 16-3 القوة المكافئة لعدستين تفصل بينهما مسافة:

لإيجاد القوة المكافئة لعدستين F1,F2. تفصلهما مسافة d نفرض أشعة متوازية ساقطة على العدسة الأولى بزاوية θ مع المحور. شكل (6)

==============================

تتكون صورة $A_1B_1$ عن العدسة الأولى، ويكون موضعها في المستوى البؤري لهذه العدسة. نفرض أن CD هو المستوى الأساسي للمجموعة بالنسبة للضوء الساقط عليها من إتجاه العدسة الأولى $F_1$ وأن المستوى البؤري للمجموعة عند $A_2$ $B_2$.

إذا سقطت الأشعة على العدسة المكافئة $F_{eq}$ مائلة بنفس الزاوية θ تتكون الصورة $A_2$ $B_2$ عند المستوى البؤري وتكون المسافة بين المستوى البؤري والمستوى الأساسي للبعد البؤري المكافئ $F_{eq}$.

من هندسة الشكل

$$\tan\theta = \frac{A_1B_2}{f_1} = \frac{A_2B_2}{f_{eq}}$$

$$F_{eq} = F_1 \frac{1}{(A_2B_2/A_1B_1} = \frac{F_1}{m_2} \qquad (55)$$

حيث $m_2 = \frac{A_2B_2}{A_1B_1}$ هي قوة تكبير العدسة الثانية.

ولإيجاد قوة تكبير العدسة الثانية نطبق قانون العدسات باعتبار أشعة متوازية ساقطة على العدسة $F_1$.

$$o + F_1 = L_1$$

بعد الصورة عن العدسة الأولى هو $\frac{1}{F_1}$، ولكن المسافة بين العدستين d. يكون بعد الصورة عن العدسة الثانية هو $\frac{1}{F_1} - d$.

ويكون التمايل الابتدائي بالنسبة للعدسة الثانية هو: $\frac{F_1}{1-dF_1}$ ويكون التمايل النهائي للصورة المكونة عن العدسة الثانية هو :

$$F_2 + \frac{F_1}{1-dF_1} = L^{`}$$

وبذلك يكون بعد الصورة النهائية عن العدسة الثانية هو:

$$\ell = \frac{1-dF_1}{F_1+F_2-dF_1F_2}$$

وتكون قوة تكبير العدسة الثانية = $m = \frac{\text{التمايل الابتدائي للعدسة الثانية}}{\text{التمايل النهائي للعدسة الثانية}}$

$$m_2 = \frac{F_1}{F_1+F_2-dF_1F_2}$$

وبالتعويض في معادلة (55) نحصل على القوة المكافئة

$$F_{eq} = F_1 + F_2 - dF_1F_2$$

## 17-3 تعيين المستويين الأساسيين لمجموعة عدسات أو لعدسة سميكة:

عند سقوط أشعة متوازية على العدسة الأولى $F_1$ تتجمع على البؤرة الأولى للمجموعة. وتبعد عن العدسة الثانية $F_2$ بمسافة تسمى البعد البؤري السطحي يكون موضع المستوى الأساسي الأول عند نقطة تبعد عن هذه البؤرة الأولى مسافة البعد البؤري المكافئ $F_{eq}$ (شكل 7)

========================

وبالمثل يمكن إيجاد موضع المستوى الأساسي الثاني إذا أسقطنا الأشعة المتوازية على العدسة الثانية $F_2$ وأوجدنا البؤرة تجاه العدسة $F_1$. يكون البعد بينها وهذه العدسة هو البعد البؤري السطحي الثاني. ويكون موضع المستوى الأساسي الثاني عند نقطة تبعد عن هذه البؤرة الثانية مسافة البعد البؤرى المكافئ $F_{eq}$.

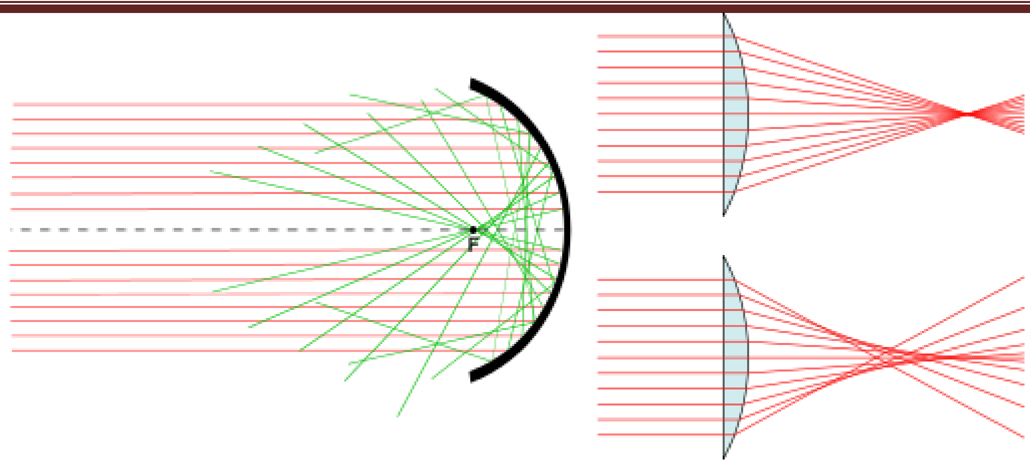
وبالنسبة للعدسة السميكة نجرى نفس خطوات العمل لنحصل على المستويين الأساسيين بعد أن نكون قد حددنا البؤرتين على جانبي العدسة. وكذلك قيمة البعد البؤري المكافئ $F_{eq}$ ويمكن أن يتم ذلك باستخدام علاقة نيوتن $F_{eq}^2 = xy$ حيث y,x هما على الترتيب بعد الجسم عن البؤرة الأولى وبعد الصورة على البؤرة الثانية (انظر الشكل 8)

====================

## 18-3 الزيغ في العدسات وعيوب البصار

### الزيغ الكري:

عندما تسقط أشعة ضوئية متوازية على سطح كري عاكس -أو سطح كري كاسر يفصل بين وسطين شفافين مختلفين- نجد أن الأشعة بعد انعكاسها أو انكسارها لا تتجمع في نقطة واحدة وذلك لأن زوايا السقوط تزداد كلما بعد الشعاع الساقط عن المحور، وتبعًا لذلك تزداد زوايا الانعكاس أو الانكسار ولذلك تقع الأشعة المنعكسة أو المنكسرة المحور الأساسي في نقط مختلفة، كما مبين في شكل . وتزداد هذه الظاهرة وضوحًا كلما زادت مساحة السطح وكلما ازداد انحناؤه. وإذا رسمنا منحنيًا يمس الأشعة المنعكسة أو المنكسرة نتج ما يسمى بمنحنى الكي. على شكل سيكلويد نابه عند البؤرة الفعلية، وهى التي تتجمع عندها الأشعة المحورية.




ولتوضيح الزيغ الكري في العدسات نفرض جسما AB موضوعًا أمام عدسة لامة كما في بالشكل. إذا كان الجسم على بعد أقل من البعد البؤري للعدسة تكونت له صورة تقديرية $A\backslash B\backslash$. ويلاحظ أننا إذا اعتبرنا الأشعة الهامشية والأشعة المحورية الصادرة عن الجسم، نجد أن الصورة الحادثة تظهر مشوهة بسبب عدم وجود بؤرة واحدة للعدسة بالنسبة لهذه الأشعة أو تلك. ويُظهر التشوية الصورة وهي لاتحمل الأبعاد النسبية للجسم. وبدهي أن التشوية يقل جدًا في الصورة، إذا ما استخدم فقط الجزء المركزي من العدسة كما نفعل في آلات التصوير .

أما في حالة سقوط أشعة متوازية على العدسة اللامة ذات السطح الكبير فإننا نجد أن الأشعة الهامشية تتجمع في نقطة مثل a والأشعة المحورية في نقطة أبعد عن العدسة مثل b كما في الشكل . فإذا وضع حاجز أبيض عموديًا على المحور تتكون الصورة عند a على شكل قرص شديد الاضاءة عند حافته بينما تكون الصورة عند b على شكل قرص شديد الاستضاءة عند مركزه. فإذا حركنا الحاجز بين النقطتين a&b حتى تتساوى شدة الاستضاءة في كل أجزاء الدائرة سميت هذه الدائرة بدائرة الوضوح. وتسمى المسافة ab الزيغ الكري الطولي.

## 19-3 الزيغ اللونى في العدسات:-

تعتبر العدسة مجموعة كبيرة في المناشير موضوعة فوق بعضها البعض كما في شكل (5). وتزداد زوايا رأس هذه المناشير تدريجيًا كلما بعدنا عن مركز العدسة واقتربنا من حافتها. ومن المعروف بان شعار الضوء الابيض -عند مروره بمنشور زجاجي- يتفرق إلى ألوان الطيف المختلفة. وتنحرف جميع الألوان عن اتجاه الشعاع الأبيض في اتجاه قاعدة المنشور تبعًا لقوانين الانكسار ولكن يختلف مقدار هذا الانحراف تبعًا لنوع الضوء. ويكون أقل انحراف للون الأحمر وأكبر انحراف للون البنفسجي. وبين هاتين النهايتين يقع انحراف باقي ألوان الطيف وهي على ترتيب: اللون البرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي (انظر شكل 6).

================

ويستدل من ذلك أن معامل انكسار أي وسط يتوقف على نوع الضوء. ويسمى تحلل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف بسبب اختلاف معاملات انكسار المادة بالنسبة لهذه الألوان بالتفرق اللوني.

ولايجاد قوة تفرق منشور نفرض أن مقدار ما تنحرفه الأشعه الحمراء داخل المنشور هو $D_r$ وأن معامل انكسار المنشور لهذه الأشعه هو $\mu_r$ وأن مقدار انحراف الأشعه البنفسجية هو $D_v$ وأن معامل انكسار هذه الأشعة في المنشور هو $\mu_v$ وأن متوسط انحراف الأشعه هو $D$، ويمكن اعتباره انحراف الأشعة للضوء الأبيض وأن معامل انكسار المنشور لهذا الضوء هو $\mu$.

من قانون المنشور ذي زاوية الرأس $A$ يكون معامل انكساره:

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A+D}{2}\right)}{-\sin(A/2)} \ldots\ldots\ldots\ldots (56)$$

وفي حالة زاوية رأس للمنشور صغيرة نختصر المعادلة لتصبح:

$$D = A(\mu - 1) \qquad (57)$$

وبتطبيق المعادلة (57) مرة على الضوء البنفسجي ومرة أخرى على الضوء الاحمر نحصل على التفرق الزاوي $(D_v - D_r)$

$$D_v = A(\mu_v - I)$$
$$D_r = A(\mu_r - I)$$
$$D_v - D_r = A(\mu_v - \mu_r)$$
$$\frac{D_v - D_r}{D} = \frac{\mu_v - \mu_r}{(\mu - 1)} \qquad (58)$$

ويسمى المقدار $\frac{D_v - D_r}{D}$ بقدرة تفرق المنشور. ويلاحظ أنها لا تعتمد على زاوية رأس المنشور A. وتؤخذ عادة قيمة معامل انكسار المنشور الأبيض $\mu$، على أنها المتوسط الحسابي لمعاملي انكسار المنشور للنونين الأحمر والبنفسجي، أي أن:

$$\mu = \frac{\mu_v - \mu_r}{2} \qquad (59)$$

## 20-3 قدرة تفرق العدسة:-

إذا سقطت حزمة متوازية من ضوء أبيض على عدسة رقيقة -وباعتبار أن العدسة مركبة من منشورات زوايا رؤوسها مختلفة- يتكون لكل لون من ألوان الطيف بؤرة، ويكون تجمع الأشعة الحمراء أبعد عن العدسة من وضع تجمع الأشعة البنفسجية كما مبين بشكل (7). وتسمى المسافة بين البؤرتين $(f_r - f_v)$ بالتشويه اللوني الطولي.

==================

ولإيجاد قدرة العدسة على التفرق اللوني نفرض أن انحناء سطحي العدسة هما $R_1, R_2$ وأن معامل انكسار مادة العدسة للون الأحمر $\mu_r$ وللون البنفسجي $\mu_r$. وبتطبيق قانون العدسات (معادلة(5)) مرة على الأشعة الحمراء، ومرة على الأشعة البنفسجية، يكون الفرق بين قوة العدسة للأشعة البنفسجية وقوتها للأشعة الحمراء وهو:

$$F_v - F_r = (R_1 + R_2)(\mu_v - \mu_r) \qquad (60)$$

وإذا كانت قوة العدسة $F$ بالنسبة للأشعة البيضاء ومعامل انكسارها $\mu$ يكون:

$$F = \frac{1}{2}(F_v - F_r)$$

$$\mu = \frac{1}{2}(\mu_v - \mu_r)$$

$$F = (R_1 - R_2)(\mu - 1) \qquad (61)$$

وبقسمة المعادلتين (60)، (61) نحصل على:

$$\frac{(F_v - F_r)}{F} = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1} = P \ldots\ldots\ldots. (62)$$

ويسمى المقدار $P$ بقدرة العدسة على التفرق اللوني، ويلاحظ من مقارنة معادلة (62)، (58) أن قوة تفرق العدسة هي نفسها قدرة تفرق المنشور إذا كانا مصنوعين من نفس المادة، أي أن قدرة التفرق خاصة فيزيائية تتوقف على نوع الوسط المفرق.

## 21-3 مجموعة العدسات اللالونية:-

**أولًا:** يمكن التخلص من التشويه اللوني في العدسات وذلك بتكوين مجموعة من عدستين متلاصقتين بحيث تنطبق بؤرة المجموعة للاشعة البنفسجية على بؤرتها

للأشعة الحمراء. ويتم ذلك باستخدام عدسة لامة من زجاج التاج من عدسة مفرقة من زجاج فلنت (شكل (8)، بحيث يساوي التفرق الزاوي للعدسة اللامة نظيره للعدسة المفرقة، وبذلك يتعادل التفرق اللوني للأشعة بمرورها فيهما فتخرج الأشعة بيضاء كما دخلت.

=====================

أي أن شرط تكون مجموعة لا لونية من عدستين متلاصقتين قوتهما $F_1 \& F_2$ هو:

$$(F_v - F_r)_1 + (F_v - F_r)_2 = 0 \qquad (63)$$

واذا فرضنا أن H قدرة تفريق مادتي العدستين هما $P_1 \ \& \ P_2$ على الترتيب، وباستخدام معادلة (62) نحصل على:

$$(F_v - F_r)_1 = F_1 \, P_1$$
$$(F_v - F_r)_2 = F_2 \, P_2$$

وبالتعويض في معادلة (63) يكون شرط تكوين مجموعة لا لونية من عدستين هو:

$$F_1 \, P_1 + F_2 \, P_2 = 0 \qquad (64)$$

ونظرا لأن قدرة زجاج كل من العدستين على التفرق موجبة، لذلك يجب أن تكون إحدى العدستين لامة والأخرى مفرقة، كذلك لابد أن تكون العدستان من نوعين مختلفين من الزجاج، وإلا فإن شرط المجموعة اللالونية يصير $F_1 = -F_2$. ومعنى هذا أن المجموعة تتلاشى قوتها ولا يكون لها عمل العدسة.

**ثانيًا:** يمكن أيضا تكوين مجموعة لالونية من عدستين لها نفس معامل الانكسار ويفصل بينهما مسافة d. والقوة المكافئة للمجموعة هي:

$$F_{eq} = F_1 + F_2 - d \, F_1 \, F_2$$

بوضع هذه المعادلة على الصورة التفاضلية نحصل على:

$$\Delta F_{eq} = \Delta F_1 + \Delta F_2 - d\ F_1\ \Delta F_2 - d\ F_2\ \Delta F_1 \qquad (65)$$

حيث $\Delta F_{eq}$ تعبير عن التغير في قوة المجموعة بالنسبة للونين الأحمر والبنفسجي.

وبالمثل بالنسبة إلى $\Delta F_2 \& \Delta F_1$.

ولكي تكون المجموعة لالونية يجب أن يتلاشى $\Delta F_{eq}$ أي أن:

$$\Delta F_1 + \Delta F_2 - d\ F_1\ \Delta F_2 - d\ F_2\ \Delta F_1 = 0 \qquad (66)$$

$$\Delta F_1(1 - dF_2) + \Delta F_2(1 - \mathrm{d}F_1) = 0 \qquad (67)$$

وباستخدام المعادلة (62)

$$\frac{F_v - F_r}{F} = P$$

$$\therefore \Delta F = PF \qquad (68)$$

وبالتعويض في المعادلة (67) نحصل على

$$PF_1(1 - dF_2) + \mathrm{P}F_2(1 - d\ F_1) = 0$$

$$F_1 + F_2 = 2\ d\ F_1 F_2$$

$$d = \frac{F_1 + F_2}{2F_1F_2} = \frac{1}{2}(f_1 + f_2) \qquad (69)$$

أي أنه لكي تتكون مجموعة لالونية من عدستين لهما نفس معامل الانكسار، وتفصل بينهما مسافة d يجب أن تكون المسافة بينهما مساوية المتوسط الحسابي لبعديهما البؤريين.

# تمارين

1- عدسة محدبة الوجهين معامل انكسار مادتها 1.44 فاذا كان نصف قطر احد سطحيها الملامس للهواء 1.3 سم ونصف قطر السطح الاخر 1سم ويلامس وسطا معامل انكساره 1.34، فأوجد بعد الصورة لجسم في ما لا نهاية.

2- أوجد البعد البؤرى لعدسة مقعرة الوجهين نصفا قطري سطحيها 25سم،50سم علمًا بأن معامل انكسار مادتها 1.5.

3- أوجد البعد البؤري لعدسة محدبة مستوية نصف قطر سطحها المحدب 50 سم بفرض أن معامل انكسار الضوء في مادتها 1.6.

4- عدسة سميكة محدبة الوجهين نصف قطر كل من سطحيها 10سم والمسافة بينهما 15سم وضع جسم على مسافة 30 سم من أحد السطحين. أوجد موضع الصورة وخواصها (معامل إنكسار العدسة 1.5).

5- عدسة زجاجية لامة بعدها البؤري 200سم في الماء. ما هو البعد البؤري لعدسة هوائية لها نفس الشكل والأبعاد كالعدسة السابقة مغمورة في الماء (معامل انكسار الزجاج 1.55 والماء 1.33).

6- كرة زجاجية نصف قطرها 15سم بها فقاعة هوائية على بعد 5 سم من السطح، فإذا كان معامل انكسار الزجاج 1.5 فأوجد البعد الظاهري للفقاعة عند النظر إليها من نقطة على السطح قريبة من الفقاعة. وماذا يكون البعد إذا نظر إليها من الجهة الأخرى؟.

7- عدسة من الزجاج ($\mu = 1.5$) أحد سطحيها مقعر نصف قطر تكوره $30$سم والآخر محدب نصف قطره تكوره $25$سم. أوجد بعدها البؤري.

8- ألصقت قطعة من الورق على سطح كرة زجاجية نصف قطرها $5$سم، ثم نظر إلى الورقة من الجهة الأخرى المقابلة. أوجد موضع الصورة وأوجد أيضا موضع الصورة المكونة إذا كان الجسم في ما لا نهاية.

9- عدسة محدبة بعدها البؤري $30$سم موضوعة على بعد $20$سم من أخرى مقعرة بعدها البؤري $5$ سم. وضع على جسم على بعد $6$متر أمام المجموعة جهة العدسة المحدبة أوجد موضع الصورة والتكبير.

10- وضع جسم على بعد $24$سم من عدسة رقيقة بعدها البؤري $30$ سم وكان خلف العدسة وعلى بعد منها عدسة مفرقة بعدها البؤري $50$ سم فتكونت للجسم صورة حقيقية على بعد $62.5$سم من العدسة المفرقة. أوجد المسافة بين العدستين وكذلك تكبير الصورة.

11- وضعت عدسة محدبة الوجهين على مرآة مستوية فوجد أنه بوضع سهم على بعد $14$سم منها تنطبق صورة السهم عليه وعندما وضعت بضع قطرات من الماء (معامل انكساره $1.33$) بين العدسة والمرآة انطبقت الصورة على الجسم على بعد $17.3$سم عندما كان سطح العدسة الاولى ملاصقا للماء وعلى بعد $36.2$سم عندما كان سطح العدسة الثاني ملاصقا للماء. أوجد نصفي قطر إنحناء سطحى العدسة وكذلك معامل انكسار مادتها.

12- وضعت عدسة على مرآة مستوية بحيث يكون سطحها المحدب ملامسا للمرآة بينما يكون سطحها الآخر المستوي إلى أعلى. ووجد أنه بوضع جسم على بعد

30سم منها تنطبق صورة الجسم عليه. وعند وضع سائل بين العدسة والمرآة يلزم إبعاد الجسم عن موضعه الأول مسافة80 سم لترى صورة الجسم منطبقة عليه. أوجد معامل انكسار السائل.

13- نصف قطري سطحي عدسة رقيقة معامل انكسارها 1.5 هما 10سم، 20سم ماذا تكون قوة العدسة أولا في الهواء. ثم إذا غمرت في سائل معامل انكساره $1\frac{1}{3}$؟

14- أثبت أن القوة المكافئة $F_{eq}$ لمجموعة مكونة من عدستين $F_1$, $F_2$ يفصل بينهما مسافة d مترا تعطى بالمعادلة:

$$F_{eq} = F_1 + F_2 \cdot dF_1F_2$$

15- البعدان البؤريان السطحيان لمجموعة ضوئية 12سم، 15سم وقوتها المكافئة 5 ديوبتر. وضع جسم على بعد 2سم من السطح الأول. أوجد موضع الصورة بالنسبة للسطح الثاني.

16- كرة زجاجية نصف قطرها r ومعامل انكسارها $\mu$. أوجد قوة العدسة المكافئة لها. وأوجد موضع هذه العدسة بالنسبة لمركز الكرة.

17- أثبت أن البعد بين المستويين الأساسيين لعدسة مستوية محدبة هو $\frac{d(\mu-1)}{\mu}$، حيث d سم العدسة $\mu$ معامل انكسارها.

18- يبعد جسم وصورته الحقيقية مسافة 20سم، 5سم من البؤرتين المناظرتين لعدسة محدبة الوجهين. أوجد البعد البؤري للعدسة ونصف قطر تكور سطحيها المتماثلين إذا علم أن معامل انكسار مادة العدسة 1.5.

19- أوجد شرط تكوين مجموعة لالونية من عدستين يفصلهما مسافة d.

20- مجموعة لالونية من عدستين متلاصقتين معامل انكسار الأولى للونين الأحمر والبنفسجي 1.513 . 1.521 ومعامل انكسار الثانية لنفس اللونين

1.697، 1.731. أوجد قوة كل من العدستين علمًا بأن القوة الكلية للمجموعة $3\frac{1}{3}$ ديوبتر.

21- عدسة محدبة الوجهين نصف قطري سطحيهما 30سم، 20سم، يسقط عليها أشعة متوازية حمراء مرة، وأشعة بنفسجية مرة أخرى. أوجد المسافة بين البؤرة الحمراء والبؤرة البنفسجية، علما بأن معامل انكسار مادة العدسة للون الأحمر 1.514 وللون البنفسجي 1.524.

22- أ – عرف قدرة وسط على التفرق. ب – عدسة من زجاج التاج قوتها 2 ديوبتر وقدرة تفرق مادتها 0.01. ماذا يجب أن تكون قوة عدسة من زجاج فلنت قدرته غلى التفرق 0.045 بحيث تصير المجموعة لالونية؟. احسب البعد البؤري للمجموعة.

23- مجموعة لالونية من عدستين قوتها المكافئة 1 ديوبتر. أوجد البعد البؤري لكل عدسة ونوعها، علما بأن معامل انكسار العدسة الأولى للأحمر والبنفسجي هما على الترتيب: 1.5155 . 1.5345 ومعامل انكسار الثانية للأحمر والبنفسجي 1.641، 1.659.

24- عدسة محدبة الوجهين A تعمل مجموعة لالونية مع عدسة مقعرة مستوية الوجه B. فإذا كان نصف قطر تكور السطح المشترك للعدستين 15.34سم. فأوجد البعد البؤري للمجموعة، علما بأن:

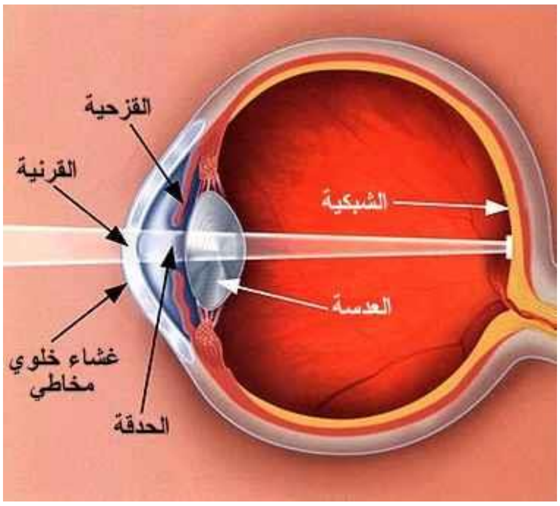
25- معاملات انكسار مادة العدسة A للأزرق والأحمر والأصفر هي على الترتيب: 1.5235 . 1.5149 . 1.5192، ومعاملات انكسار مادة العدسة B لنفس الألوان هي: 1.6635 . 16463 . 1.6549.

# الفصل الرابع

## 4- العين والات الابصار

### 4-1 تشريح العين :-

تعتبر العين واحدة من أدق الأنظمة البصرية التي ترصد المرئيات في سكونها وحركتها،قربها وبعدها، طولها وعرضها وسمكها وارتفاعها وشدة إضاءتها وعتامتها، إضافة إلى تمييز ألوانها. وهي في تركيبها تأخذ شكلاً كروياً قطره حوالي 2.5 سم (بوصة واحدة )، ويحيط بالجزءالأكبر من سطحها جدار صلب يعرف بالصلبة. وتزداد شدة التكور عند الجزء الأمامي من العين، وهذا الجزء مغطى بغشاء شفاف محدب يبلغ نصف قطره تكوره 0.8 سم. ويعرف بالقرنية . والمنطقة التي تلي القرنية تحتوي على سائل




يعرف بالسائل المائي، ويليه العدسة البلورية وهي تحتمي خلف حاجز معتم يعرف بالقزحية. وتتوسط القزحية فتحة مستديرة تسمى "إنسان العين" أو الحدقة . هذه الفتحة تتسع أو تضيق تبعاً لشدة الضوء الذي تستقبله كي تحفظ العين من أضرار الإضاءة الشديدة والمتوهجة. وتثبت العدسة البلورية في مكانها بفعل ألياف عضلية عند أطرافها.وهذه الأجهزة تتصل بالجدار الداخلي لكرة العين، وبتقلصها

وارتخائها تغير من انحناء سطح العدسة البلورية فيما يعرف بتكييف العين للرؤية الواضحة. وخلف العدسة تمتلئ العين بسائل جيلاتيني يعرف بالسائل الزجاجي .

معامل انكسار السائل المائي والسائل الزجاجي يساوي 1.336، وهي قيمة قريبة من مقدار معامل انكسار الماء، أما العدسة البلورية فمعامل انكسار مادتها غير متجانس وقيمته المتوسطة (1.437) ولا تختلف كثيراً عن قيم معاملات انكسار السوائل المحيطة بها، لذا فإن معظم الأشعة المنكسرة للضوء الداخلي إلى العين تتجمع عند القرنية. والجزء الأكبر من السطح الداخلي مغطى بغشاء رقيق من ألياف عصبية هي الشبكية والنقطة الصفراء أكثر نقطة الشبكية تأثراً بالضوء الأبيض أو الملون، وهي عبارة عن فجوة صغيرة قطرها 0.25 سم. وتقع عند تقاطع محور العين مع الشبكية، وبالقرب من هذه النقطة وفيجهة الأنف تقع نقطة أخرى تتجمع عندها الألياف العصبية الدقيقة في العصب البصري ولصغر الفجوة الموجودة عند مركز النقطة الصفراء، فإنه يلزم للعين أن تتحرك كي ترصد بوضوح نقطتين قريبتين. ويسمى موضع دخول العصب البصري إلى داخل العين بالنقطة العمياء، حيث لا ترى فيه االخلايا العصوية والمخروطية.

**أهم عيوب الإبصار هي:**

- قصر النظر (ميوبيا).
- طول النظر (هيبروبيا).
- ضعف قوة التكييف (برسبيوبيا).
- اللانقطية أو اللابؤرية (استجماتيزم).

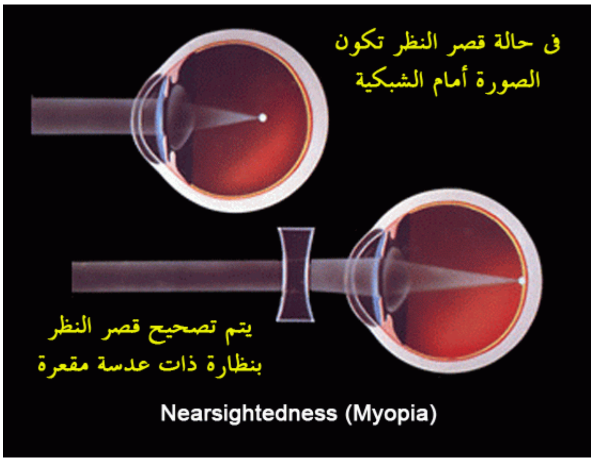
يمكن التغلب على هذه العيوب بتصميم عدسات رقيقة مناسبة لكل حالة، وهذه قد تكون عدسات لاصقة من مواد تعرف بالبلمرات، أو قد تكون زجاجية فيما يعرف بالنظارات الطبية.

## 2-4 قصر النظر:-

ينشأ قصر النظر نتيجة لزيادة قوة عدسة العين أو لزيادة قطر كرة العين مما يسبب تجمع الأشعة المتوازية أمام الشبكية .

وواضح أنناإذا قربنا الجسم من ما لانهاية تجاه العين فإننا نصل إلى بعد تتكون فيه الصورة الشبكية وعندئذ ترى الصورة واضحة، أي أن النقطة البعيدة لمثل هذه العين المصابة بقصر بالنظر تكون أقل من ما لانهاية, وكذلك تكون النقطة القريبة لها أقل من 25سم.

ولإصلاح قصر النظر نستخدم عدسة مفرقة تعمل على زيادة البعد البؤري لعدسة العين بالقدر الذي يجعل صورة الأشياء تنطبق على شبكية العين كما في شكل




نفرض أن قوة العدسة المفرقة اللازمة لتصحيح قصر النظر هي F, وأن النقطة البعيدة للعين المصابة هي $\rho$. وظيفة العدسة المفرقة هي تكوين صورة للجسم في ما لانهاية في موضع النقطة البعيدة للعين، أي أن تمايل أشعة الجسم تساوي صفرًا، وتمايل الأشعة المكونة للصورة $L^\backslash = 1/\rho$ ومن قانون العدسات:

$$0 + F = -L^\backslash$$

والتمايل النهائي سالب حيث أن الصورة تقديرية.

أما في حالة تصحيح قصر النظر بالنسبة للنقطة القريبة, فتكون وظيفة العدسة هي تكوين صورة الجسم على بعد 25سم, عند موضع النقطة القريبة للعين المصابة وليكن بعدها عن العين $\rho$ ومن قانون العدسات:

$$-L + F = L^{\backslash}$$

$$-\frac{100}{25} + F = \frac{100}{\rho}$$

ويلاحظ أن كلا من التمايل الابتدائي والنهائي سالب, حيث أن الأشعة تخرج من الجسم متفرقة, والصورة التقديرية تتكون في نفس جانب العدسة الموجود به الجسم.

<u>مثال:-</u>

النقطة البعيدة لعين قصيرة النظر هي 5 متر والنقطة القريبة لها 20سم, أوجد قوة كل من العدستين اللازمتين لكي يرى بوضوح الجسم البعيدة والقريبة.

<u>الحل:</u>

بالنسبة للأجسام البعيدة: $-\frac{100}{\infty} + F_1 = -\frac{100}{500}$

$$F_1 = -\frac{1}{5}\Delta$$

ويكون البعد البؤري لعدسة اللازمة هو 20 cm-.

وبالنسبة للأجسام القريبة

$$-\frac{100}{25} + F_2 = -\frac{100}{20}$$

$$F_2 = -1\Delta$$

ويكون البعد البؤري لعدسة القراءة هو 100 سم.

## 3-4 طول النظر (Hypermetropia):

إذا تجمعت الأشعة المتوازية في مكان أبعد من الشبكية يسمى ذلك طول نظر,


ويحدث ذلك العيب في الإبصار نتيجة لنقص انحناء القرنية, أو عدسة العين أو نقص في قطر كرة العين, ولإصلاح هذا العيب نستخدم عدسة لامة تزيد في تجمع الأشعة, مما يجعل الصورة تقع على شبكية العين فترى واضحة, ويظهر طول النظر أيضا بالنسبة للنقطة القريبة فتصبح على مسافة من العين أكبر من 25سم, ويصحح ايضا باستخدام عدسة لامة. ولإيجاد قوة العدسة نستخدم قانون العدسات:

$$-L + F = -L^{\backslash}$$

ويلاحظ أن التمايل الابتدائي والنهائي يكونا دائمًا سالبين في مسائل تصحيح عيوب الإبصار.

**مثال:-**

النقطة القريبة لعين مصابة بطول نظر عند 50سم, أوجد قوة ونوع العدسة اللازمة للقراءة.

**الحل:**

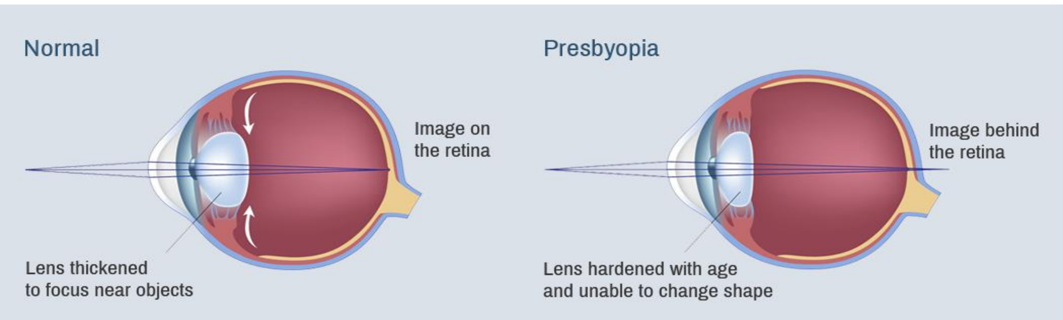
للقراءة يجب أن يوضع الكتاب على بعد 25سم من العين لتظهر صورته، مع استعمال عدسة التصحيح عند نقطة وضوح الرؤية القريبة بالنسبة للعين المصابة, أي أن

$$-\frac{100}{25}+F=-\frac{100}{50}$$
$$\therefore F=2\Delta$$

أي أن العدسة موجبة بعدها البؤري 50 سم.

## 4-4 ضعف قدرة العين للتكيف (Presbyopia)

عندما يؤثر كبر السن على مرونة عدسة العين ويصعب استجابتها للعضلات المتصلة بها تفقد العين قدرتها على التكيف. فإذا لم تكن تعاني أصلا من قصر النظر فإن نقطتها البعيدة تكون في ما لانهاية، بينما تحتاج لعدسة لامة للقراءة، أما إذا كانت العين تعاني من قصر النظر بالإضافة إلى ضعف القدرة على التكيف فإن العين تحتاج عندئذ إلى عدسة مفرقة عند النظر إلى أجسام أبعد من نقطتها البعيدة وتحتاج أيضا لعدسة لامة لرؤية الأجسام القريبة الموجودة على مسافات أقل من نقطتها البعيدة. وتستخدم عادة في هذه الحالة عدسة مركبة ذات قوتين، الجزء العلوي منها عدسة مفرقة ينظر خلالها لرؤية الأجسام البعيدة بينما جزؤها السفلي عدسة لامة ينظر خلالها عند القراءة.

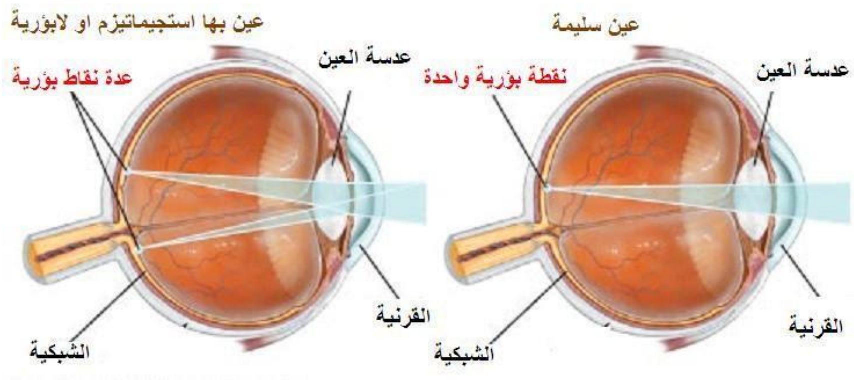


## 5-4 الإستجمية (Astigmatism)

ينشأ هذا العيب في الإبصار عند وجود عيب خلقي في تكور كرة العين، أو عندما يكون انحناء سطح القرنية غير منتظم، ينتج عن ذلك أن قوة العين تختلف بالنسبة للمستوى الأفقي عن المستوى الرأسي أي أن بعض أجزاء الجسم ترى بوضوح في حين أن الأجزاء الأخرى تظهر غير واضحة.

إذا نظرت مثل هذه العين إلى خطين متعامدين في مستوى واحد فإن صورة أحد الخطين لا تنطبق على صورة الخط الآخر. وواضح أن العين لا تستطيع التكيف بقوتين مختلفين في وقت واحد لترى الخطين معا في وضوح، ولكن يمكن إصلاح عيب الاستجمية باستخدام عدسة استجمعية تعمل على تلاشي عدم التماثل في تكور القرنية، وتصبح قوة العين والعدسة مكافئة لمجموعة ذات قوة واحدة في الاتجاهين المتعامدين، أي أنه بواسطة العدسة الاستجمية يمكن تعويض ما ينقص من انحناء قرنية العين في المقطع الأفقى أو المقطع الرأسي.

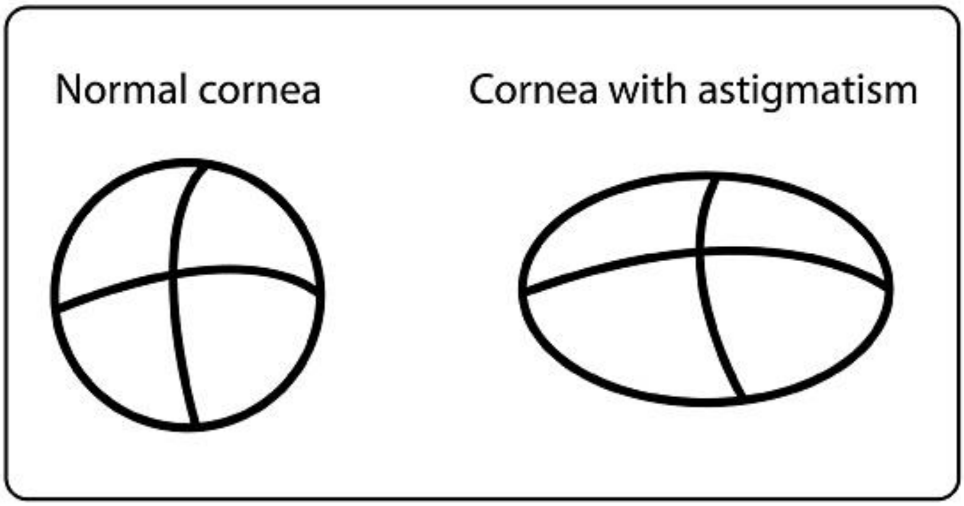
العدسة الاستجمعية أو الاسطوانية هي مقطع في اسطوانة زجاجية، مواز للمحور ويمكن أن تكون موجبة أو سالبة,




قوة العدسة الاسطوانية في اتجاه محور الاسطوانة تساوي صفرًا بينما تكون قوتها في الإتجاه العمودي على المحور هي:

$$F = R(\mu - 1)$$

حيث R انحناء السطح، $\mu$ معامل انكسار مادة العدسة. عندما يكون المقطع الأفقي للقرنية أقل تحدبًا من المقطع الرأسي توضع العدسة الاسطوانية بحيث يكون محورها رأسيًا وبذلك يعوض انحناؤها ما ينقص من انحناء المقطع الأفقي للقرنية.




**<u>مثال:-</u>**

ما نوع وقوة العدسة اللازمة للقراءة لعين نقطتها القريبة تقع على بعد 40سم بالنسبة لخط أفقي وتقع على بعد 50سم بالنسبة لخط رأسي.

**<u>الحل:</u>**

$$-\frac{100}{40} + F_1 = -\frac{100}{50}$$

$$\therefore F_1 = +0.5\Delta$$

وهذه العدسة اسطوانية لتصحيح خطأ الاستجمعية، وتصبح النقطة القريبة بالنسبة للخطين الأفقي والرأسي واحدة وعلى بعد 40سم من العين.

لتصحيح طول النظر نستخدم عدسة كرية لامة $F_2$

$$-\frac{100}{25} + F_2 = -\frac{100}{40}$$

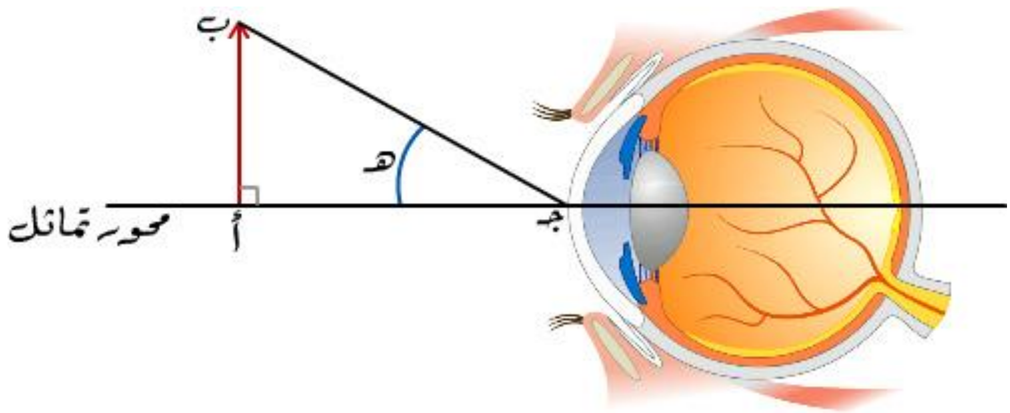
$$\therefore F_2 = +1.5\Delta$$

أي أننا نستخدم عدسة مركبة من سطح كري قوته 1.5 ديوبتر مع سطح اسطواني قوته 0.5 ديومتر بحيث يكون محور أفقيًا.

# آلات الإبصـــار

## 6-4 زاوية الإبصار:

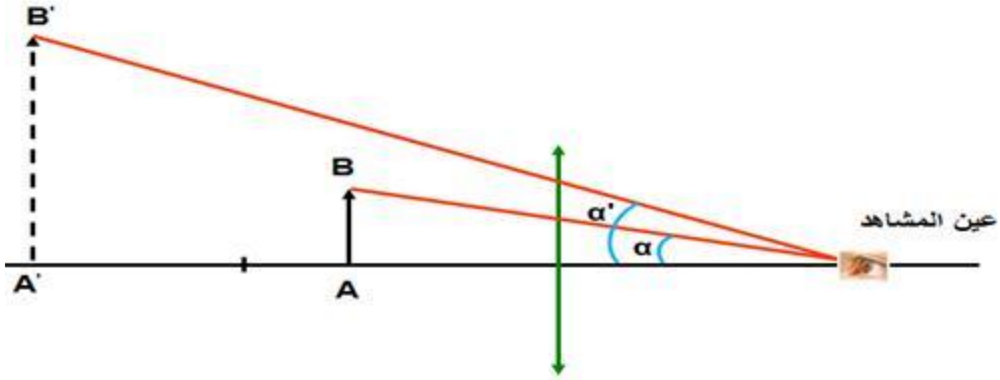
آلات الإبصار هي أجهزة تهدف عادة إلى مساعدة العين في الرؤية الواضحة للأجسام. ويعتمد وضوح الرؤية على زاوية الإبصار. وهي الزاوية التي يصنعها الجسم عند العين .




نفرض جسمًا AB موضوعًا عند نقطة O أمام العين، تتكون للجسم صورة $A\backslash B\backslash$ على شبكية العين. نفرض أن $\theta$ هي الزاوية التى يصنعها الجسم عند العين.

إذا كان قطر كرة العين a. من هندسة الشكل نجد أن: $\theta = \frac{A\backslash B\backslash}{a}$ حيث $\theta$ مقاسه بالتقدير الدائري.

أي أن طول الصورة $A\backslash B\backslash$ على شبكية العين تتناسب مع زاوية الابصار $\theta$. إذ أن قطر كرة العين مقدار ثابت. وواضح أنه كلما ازدادت زاوية الإبصار كلما ازداد حجم الصورة المكونة على الشبكية، وبالتالي ازداد وضوح رؤية الجسم. وذلك ما يحدث عندما نقترب من الجسم لزيادة وضوح رؤيته، إذ أن زاوية الإبصار تزداد بالرغم من عدم تغير حجمه .

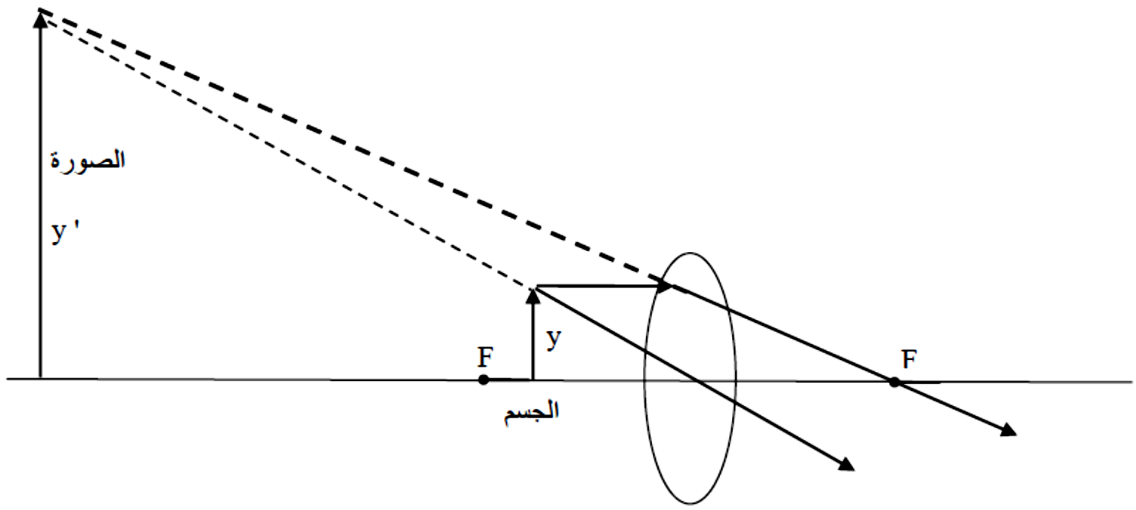



ويعتمد عمل الميكروسكوب والتلسكوب على زيادة إبصار الجسم المراد رؤيته باستخدام مجموعة من عدسات تكون للجسم صورة أمام العين، بحيث تكون زاوية إبصارها كبيرة فتراه العين بوضوح. ويعتبر تكبير الجهاز النسبة بين زاوية الرؤية للصورة النهائية المكونة بواسطة الآلة البصرية وزاوية رؤية الجسم نفسه بدون استخدام الآلة.

## 7-4 الميكروسكوب البسيط:

إذا وضع جسم امام عدسة لامة وكان على بعد أقل من بعدها البؤري فإن العدسة تحدث للجسم صورة تقديرية مكبرة معتدلة. فإذا نظرت العين من خلال العدسة فأنها ترى الصورة مكبرة للجسم. وتسمى العدسة عندئذ ميكرسكوبًا بسيطًا شكل. ويتوقف الحجم الظاهري للجسم على الزاوية البصرية التي يحدثها عند العين. وتزداد هذه الزاوية كلما اقترب الجسم منها، ولكن هناك حدًا لا يستطيع الجسم عن

تقريبه من العين أن يتعداه، إذ أن تكبير الصورة بتقريب الجسم للعدسة يستمر حتى هذا الحد وبعده لا تستطيع العين أن تتكيف لتحدث صورة واضحة للجسم. ويصل التكبير إلى هذا الحد عندما تكون الصورة على بعد من العين يساوي أقصر مسافة للرؤية الواضحة D كما في شكل. أي أنها تكون عند النقطة القريبة للعين بفرض أن العدسة L ملاصقة للعين.




ولإيجاد تكبير الميكروسكوب البسيط نفرض طول الجسم y. يكون التكبير هو:

$$\therefore m = \frac{y^{`}}{y} \qquad (1)$$

ويساوي ذلك التمايل الابتدائي مقسومًا على التمايل النهائي، أي أنه يساوي بعد الصورة مقسومًا على بعد الجسم. ومن قانون العدسات:

$$-L + F = L^{`}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\ell} + \frac{1}{\ell^{`}}$$

لكن الصورة عند النقطة القريبة للعين، أي على بعد D منها، أي أن $D = \ell^{`}$.

ويكون بذلك التكبير هو:

$$m = \frac{\ell}{f} = \frac{y^{`}}{y} = \frac{D}{f} - 1 \qquad (2)$$

ويستخدم الميكروسكوب البسيط عادة عند صناع الساعات الآلات الدقيقة والحفارين على المعادن.

<u>مثال:</u>

عدسة محدبة بعدها البؤري 3سم، تستخدم كميكروسكوب بسيط لشخص نقطته القريبة للعين على بعد 24 سم . أوجد قوة التكبير وموضع الجسم.

<u>الحل:</u>

التكبير m هو

$$m = (\frac{D}{f} - 1)$$

الصورة تقديرية لذلك

$$f = -3. \ell = D = -24$$

$$\therefore m = \frac{-24}{+3} - 1$$

$$m = -9$$

ولإيجاد بعد الجسم عن العدسة تستخدم قانون العدسات

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

وبوضع $L = -24$ $\qquad$ $f = +3$ نحصل على

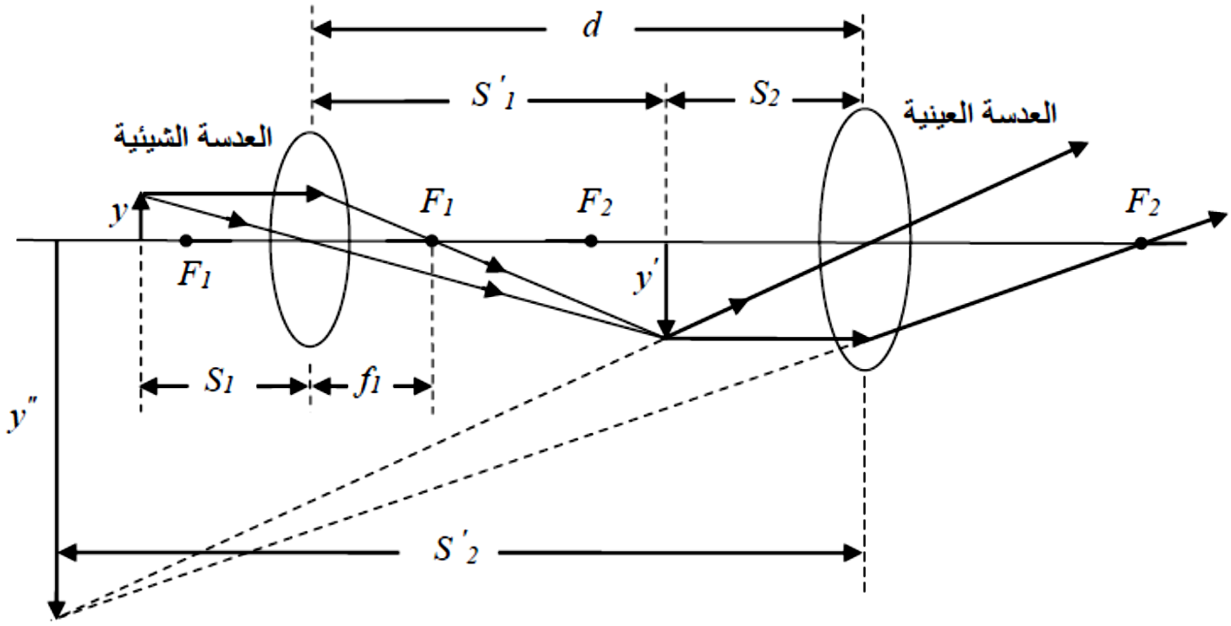
$$\ell = 2.67\ cm$$

## 8-4 الميكروسكوب المركب:

يتركب هذا الميكروسكوب من عدستين $F_1\&F_2$ الأولى ذات بعد بؤري صغير جدا، وهي التى تواجه الجسم $\mathrm{y}$ عند الموضع $\mathrm{o}$ وتسمى هذه العدسة لذلك بالشيئية. أما العدسة الثانية $F_2$ فبعدها البؤري أطول قليلا، وهي التي تنظر العين خلالها ولذلك تسمى بالعينية.

يتكون للجسم $\mathrm{y}$ بواسطة العدسة الأولى صورة $\mathrm{y}'$ حقيقية مكبرة، ومقلوبة بالنسبة إليه توجد عند الموضع $S'_1$، وذلك عندما يكون الجسم المراد رؤيته على بعد من الشيئية أكبر قليلًا من بعدها البؤري.

يعدل موضع العينية بحيث تكون هذه الصورة $\mathrm{y}'$ على بعد منها أقل من بعدها البؤري فتتكون للصورة $\mathrm{y}'$ صورة تقديرية مكبرة معتدلة $\mathrm{y}''$ عند الموضع $\mathrm{S}'_2$ كما في شكل (4). ويجب أن يكون موضع الصورة النهائية $\mathrm{S}'_2$ عند النقطة القريبة للعين $\mathrm{D}$. (أي على بعد 25سم من العينية إذا كانت العين سليمة).




لإيجاد قوة تكبير الميكروسكوب توجد قوتي تكبير الشيئية والعينية $m_1 \& m_2$ فتكون قوة التكبير الكلية m هي:

$$m = m_1 \times m_2 \qquad (3)$$

ولايجاد $m_1$ نفرض أن بعد الجسم عن الشيئية $S_1$ وبعد الصورة $\acute{S}_1$ والبعد البؤري للعدسة الشيئية $f_1$، وبتطبيق قانون العدسات يكون:

$$-\frac{1}{S} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{\acute{S}_1}$$

ويكون التكبير $m_1$ هو النسبة بين بعد الصورة إلى بعد الجسم:

$$m_1 = \frac{\acute{S}_1}{S_1} = \left(\frac{S_1}{f_1} - 1\right) \qquad (4)$$

ويمكن تقريب المعادلة السابقة باعتبار ان بعد الجسم $S_1$ لا يزيد إلا قليلًا عن البعد البؤري للشيئية. ولذلك يمكن اعتباره مساويًا $f_1$ تقريبًا. كما أن البعد البؤري للعينية صغيرًا أيضًا وبعد الصورة الحقيقية $S_1$ عن العينية أصغر من بعدها

البؤري. لذلك يمكن اعتبار $S_1$ مساويًا للبعد بين العدستين، أي لطول أنبوبة الميكروسكوب d. وبذلك يكون تكبير الشيئية

$$m_1 = \frac{d}{f_1} \qquad (5)$$

وباعتبار أن العدسة العينية تعمل عمل ميكروسكوب بسيط لتكبير الصورة $y'$ المكونة واسطة الشيئية، يكون تكبير العينية هو:

$$m_2 = \left(\frac{D}{f_2} - 1\right) \qquad (6)$$

حيث D هو بعد النقطة القريبة للعين، $f_2$ هو البعد البؤري للعينية.

وعلى ذلك تكون قوة تكبير الميكروسكوب المركب هي:

$$m = \left(\frac{S_1}{f_1} - 1\right)\left(\frac{D}{f_2} - 1\right) \qquad (7)$$

وهذه تساوي تقريبًا:

$$m = \frac{d}{f_1}\left(\frac{D}{f_2} - 1\right) \qquad (8)$$

حيث d طول قصبة الميكروسكوب.

ويلاحظ من هذه المعادلة أن قوة التكبير تزداد كلما ازداد قرب الجسم من الشيئية حتى يكاد يساوي بعدها البؤري. وذلك يزداد التكبير كلما صغر البعد البؤري للعينيةٍ.

## 9-4 الميكروسكوب ذو العدسة المغمورة:

عندما يراد إعداد ميكروسكوب له قوة تكبير فائقة نستخدم شيئية من عدة عدسات ذات بعد بؤري صغير. لذلك يجب أن تكون الفتحة التي يدخل منها الضوء لقصبة الميكروسكوب ضيقة، وإلا حدث تشويه كري في الصورة المتكونة. ولزيادة كمية الضوء الساقط على الجسم يوضع فوقه قطرة من زيت معامل انكساره كمعامل انكسار العدسة الشيئية، وبذلك يمكن اعتبار الجسم وكأنه موضوع داخل جسم العدسة فلا تنكسر الأشعة عند مرورها إلى شيئية الميكروسكوب بل تمر كلها دون انكسار. وبذلك تكون شدة استضاءة الجسم كبيرة فيُرى بوضوح. يطلق على العدسة الشيئية عندئذ بالعدسة المغمورة، كما يسمى الميكروسكوب بذي العدسة المغمورة.

تتركب شيئية الميكروسكوب ذي العدسة المغمورة من عدسة على هيئة نصف كرة من الزجاج، سطحها السفلي مستوٍ ويوضع الجسم المراد تكبيره على مسطح من الزجاج، ثم يُملأ الحيز بين الجسم والسطح المستوي للعدسة بزيت له نفس معامل انكسار مادة العدسة $\mu$.

ولكي لا يحدث تشويه كري للصورة، يوضع الجسم على بعد $(\frac{r}{\mu})$ من مركز تكور سطح العدسة c حيث r نصف قطر السطح. تظهر الأشعة بعد انكسارها كأنها صادرة من نقطة ثابتة A على المحور، وتبعد عن المركز c بمقدار $(r\mu)$، أي أن سطح العدسة لا يحدث زيغًا كريًا.

وللبرهنة على ذلك نفرض أن نقطة مضيئة قد وضعت عند O وأن الشعاع الخارج منها OB قد انكسر خارجًا من سطح العدسة في الاتجاه BE.

من هندسة الشكل:

$$\frac{CO}{CB} = \frac{\sin p}{\sin(COB)}$$
$$= \frac{(r/\mu)}{r} = \frac{1}{\mu}$$

ومن ذلك نجد أن الزاوية $(COB)$ هي زاوية الخروج i إذ أن:

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin p}$$

وبذلك تكون الزاوية$(CAB)$ مساوية للزاوية $p$ في المثلث $ABC$

$$\frac{AC}{CB} = \frac{\sin i}{\sin p} = \mu$$

لكن $CB = r$

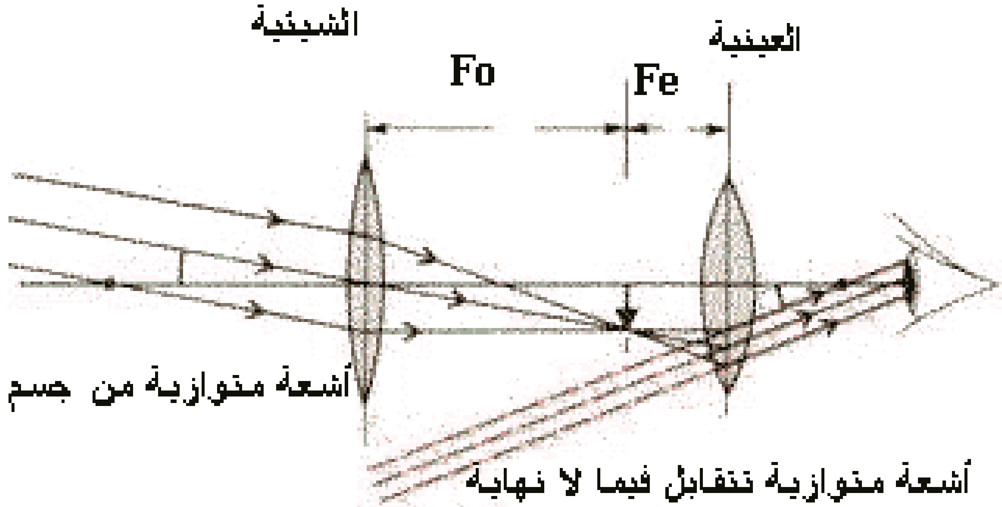
$$AC = \mu\, r$$

من ذلك نرى أنه بوضع جسم على بعد $(\frac{r}{\mu})$ من مركز تكور سطح العدسة، فإن صورته المتكونة بالانكسار تكون دائما على بعد $(r\mu)$ من المركز، ولا تتوقف على زاوية السقوط، أي أن الصورة تكون خالية من أي تشويه كروي.

## 10-4 التلسكوب الفلكي:

يستخدم التلسكوب الفلكي لتكبير رؤية المرئيات البعيدة. ويترتب من عدسة لامة تسمى بالشيئية، تحدث للجسم البعيد صورة حقيقية $I_1$ في بؤرتها. وتُرى هذه الصورة مكبرة بواسطة عدسة أخرى لامة تسمى بالعينية، ويكون موضع العينية بحيث تتكون الصورة الأولى على بعد منها أقل قليلا من بعدها البؤري، أي أن المسافة بين العينية والشيئية -وهي طول قصبة التلسكوب- تساوي تقريبًا مجموع البعدين

البؤرين للعدستين. وتعمل العينية عمل الميكروسكوب البسيط، فتكون للصورة المكونة بالعدسة الشيئية صورة تقديرية مكبرة $I_2$ وهي التي تراها عين الراصد.




لإيجاد قوة تكبير التلسكوب الفلكي نفرض أن زاوية إبصار الجسم هي $\alpha$، وزاوية إبصار الصورة $\beta$، تكون قوة التكبير $m$ هي النسبة بينهما.

$$m = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$= (h_1/f_2)/(h_1/f_1)$$

$$m = \frac{f_1}{f_2} = \frac{F_2}{F_1} \qquad (9)$$

أي أن قوة تكبير التلسكوب تساوي النسبة بين قوة العدسة العينية وقوة الشيئية، وكلما زادت قوة العينية وقلت قوة الشيئية زادت قوة تكبير التلسكوب.

## 11-4 تلسكوب جاليلو:

ابتكر جاليلو تلسكوبا ترى به الصورة معتدلة. وتكون قصبته قصيرة حتى يسهل استعماله، ويسمى أحيانا بمنظار الأوبرا ويشيع استعماله في المسارح ودور

الأوبرا. ويتركب هذا التلسكوب من عدسة شيئية تتكون بواسطتها صورة حقيقية مقلوبة للجسم البعيد، أما العدسة العينية فهي عدسة مفرقة توضع بين الشيئية وبؤرتها، بحيث يكون البعد بين العينية وبؤرة الشيئية مساويًا للبعد البؤري للعينية، أي أن المسافة بين العدستين تساوي عدديًا مجموع بعديهما البؤريين بإشارتهما كما في شكل (7).

==================

تتكون للأشعة الساقطة على الشيئية صورة في مكان قريب من بؤرتها عند $I_1$، وبما أن العينية تعترض هذه الأشعة لذلك تخرج متفرقة، وتبدو كأنها صادرة من نقطة عند $I_2$ حيث تتكون الصورة النهائية التي يراها الراصد، وتكون الصورة تقديرية معتدلة ويتوقف موضعها على بعد العينية عن الصورة $I_1$، فإذا كان ذلك البعد مساويًا للبعد البؤري للعينية فإن الصورة تتكون في ما لانهاية وإذا كان ذلك البعد أكبر قليلًا من البعد البؤري للعينية تكونت الصورة في مكان أقرب من ذلك. ويمكن تعديل موضع العينية بحيث تتكون الصورة على بعد يعادل أقصر مسافة للرؤية الواضحة، أي عند النقطة القريبة للعين.

تحسب قوة التكبير في منظار جاليلو كما حسبت في التلسكوب الفلكي. فإذا كانت $\beta, \alpha$ زاويتي الإبصار للجسم والصورة تكون قوة التكبير m هي:

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{F_2}{F_1} \qquad (10)$$

أي أن قوة التكبير هي النسبة بين قوتي تكبير العينية إلى الشيئية، أو هي النسبة بين البعد البؤري للشيئية إلى البعد البؤري للعينية.

## 12-4 عينية هيجنز (Huygens Eye-picce) :

نظرًا لاستخدام العدسات لرؤية الأجسام بواسطة الآت الإبصار، ونظرًا لأن الأشعة المنكسرة من سطح كري تقابل المحور في نقطة واحدة، إذا كانت زاوية الانحراف صغيرة، ويزداد التشويه الكري كلما زاد الإنحراف، لذلك لكي يرى الجسم غير مشوه يجب أن تكون العينية خالية من التشويه الكري واللوني. وللحصول على أقل تشويه كري ممكن من عدسة لامة يقسم الإنحراف بالتساوي بين سطحي العدسة، أي أن زاوية السقوط تساوي زاوية الخروج، ولن يتم ذلك إلا باستخدام عدستين بدلا من عدسة واحدة، كل منهما عدسة محدبة مستوية، توضع العدستان بحيث يتجه السطح المحدب لهما ناحية الشيئية، وبذلك يكون انحراف شعاع مواز للمحور واحدًا في العدستين، كما في شكل ( 8 ).

وتسمى العدسة الأولى $F_1$ عدسة المجال، وتسمى العدسة الثانية $F_2$ عدسة العين.

=========================

من هندسة الشكل، وباعتبار أن θ هي نفس الزاوية التي ينحرفها الشعاع في كل من العدستين، نجد أن $ab = bc$. وإذا كان الشعاع الأصلي محوريًا -أي-قريبًا من المحور، يمكن اعتبار أن:

$$bg = bc = \frac{1}{2} = ae$$

لكن $\mathrm{ae} = \mathrm{f}_1$ وهو البعد البؤري لعدسة المجال.

لذلك يكون بعد الصورة المكونة من العدسة الأولى عن العدسة الثانية هو:

$$ag = (f_1 - d) = \ell$$

ويكون بعد الصورة النهائية عند b عن العدسة الثانية هو:

$$bg = \frac{1}{2}(f_1 - d) = \ell$$

وبتطبيق قانون العدسات يكون:

$$\frac{1}{\ell} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{\ell}$$

$$\frac{1}{f_1 - d} + \frac{1}{f_2} = \frac{2}{f_1 - d}$$

ومنها نجد أن (11) $\therefore d = f_1 - f_2$

من هذه المعادلة نستنتج أنه للحصول على أقل تشويه كري ممكن في عينية هيجنز يجب أن تكون المسافة بين العدستين مساوية للفرق بين البعدين البؤريين للعدستين.

وللتخلص من التشويه اللوني لعدستين تفصلهما مسافة d ( معادلة 12 – 14 ) يجب أن يكون $d = \frac{1}{2}(f_1 + f_2)$

وعلى ذلك فإذا أردنا تكوين مجموعة خالية من الزيغ الكري والزيغ اللوني يجب أن تكون:

$$d = \frac{1}{2}(f_1 + f_2) = f_1 - f_2$$

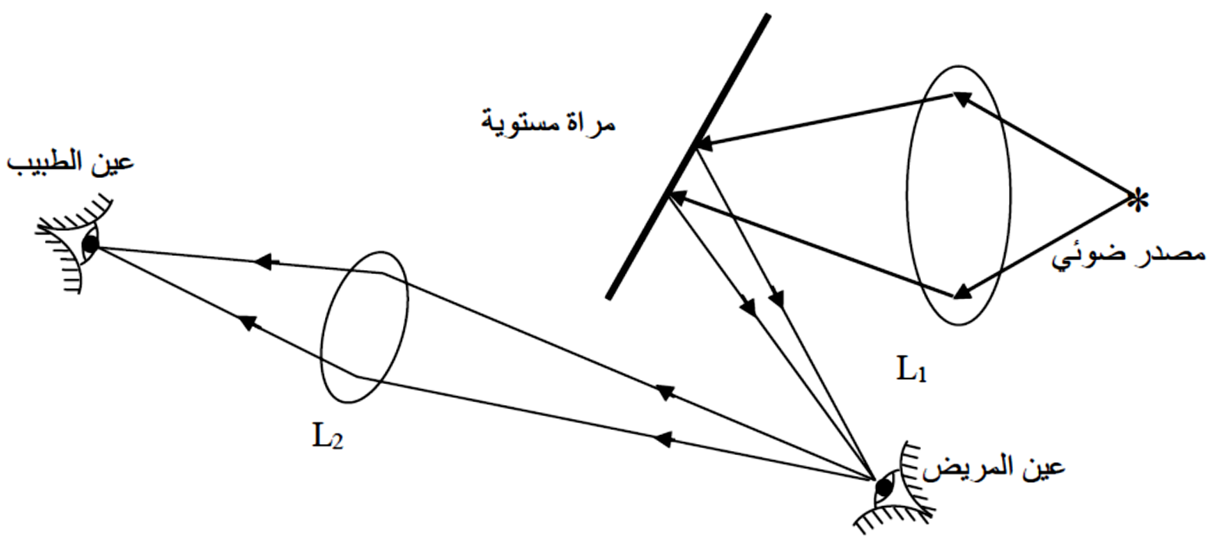
أي أن تكون: $f_1 = 3f_2$

وبذلك فإن عينية هيجنز تتكون من عدستين محدبتين مستويتي الوجه، توضعان بحيث يقابل السطح المستوي لكل منهما العين، ويكون سطح عدسة المجال

كبيرًا لاستقبال أكبر كمية ممكنة من الأشعة. ويكون سطح العدسة العين صغيرًا لاستقبال الأشعة المحورية فقط. كما أن البعد البؤري لعدسة المجال ثلاثة أضعاف البعد البؤري لعدسة العين. والمسافة بين العدستين هي الفرق بين بعديهما البؤريين، أي مساوية لضعف البعد البؤري لعدسة العين.

## 13-4 منظار فحص العين (Opthalmoscope)

هو منظار يستخدمه أطباء العيون لفحص قاع العين، والكشف عن حالة الإبصار وتصحيح عيوبها. ويتكون من مصدر ضوء S موضوع أمام عدسة لامة L على بعد أكبر قليلًا من بعدها البؤري، فتتجمع الأشعة لتسقط على مرآة M جزؤها الأوسط نصف مفضض، ليسمح بالرؤية خلاله. تنعكس الأشعة على المرآة لتسقط على عدسة العين وتتجمع في نقطة داخل العين. إذا كانت هذه النقطة على شبكية العين ترتد عليها الأشعة، وتخرج من العين على شكل حزمة متوازية وتنفذ من الجزء الغير مفضض، من وسط المرآة إلى عين الطبيب فيرى صورة الشبكية واضحة مكبرة. شكل (9)

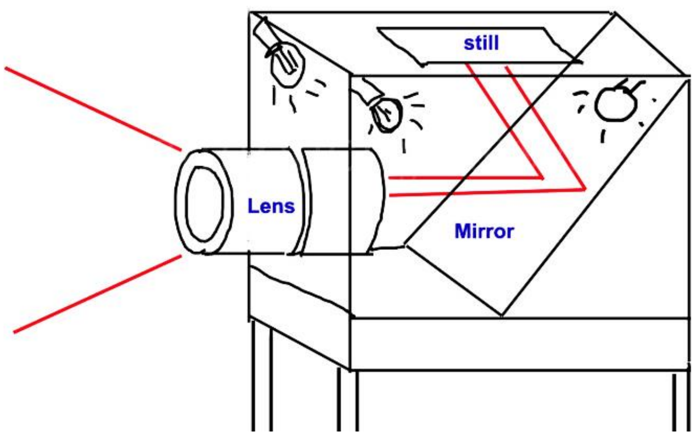


إذا كانت العين غير سليمة, تتجمع الأشعة في نقطة قبل الشبكية في حالة قصر النظر، وتتجمع بعدها في حالة طول النظر، وفي كلتا الحالتين لا تبدو صورة الشبكية واضحة لعين الطبيب.

ولإصلاح عيوب الإبصار يضع الطبيب ما يلزم من عدسات أمام عين المريض حتى يرى أن الأشعة قد تجمعت تمامًا على الشبكية, ويدل ذلك على أن صور المرئيات أيضًا سوف تتكون عليها إذا استخدم المريض هذه العدسات. وبذلك ترى المرئيات واضحة.

## 14-4 الابيدياستوب (Epidiascope)

يستخدم هذا الجهاز للحصول على صور مكبرة الأجسام غير شفافة، مثل صورة مطبوعة أو ورقة في كتاب. وتعتمد نظرية الجهاز على إضاءة الجسم إضاءة شديدة بواسطة مصدر ضوء S ومرآة عاكسة $M_1$ ثم يستقبل الضوء المنعكس من الجسم o على مرآة ثانية $M_2$ ومنها ينعكس إلى عدسة L حيث يتكون بواسطتها صورة حقيقية للجسم O على حائل بعيد I.



## 15-4 آلة السدس (Sextant):

جهاز يستخدم لقياس الزاوية التي يصنعها جسمان بعيدان عن الراصد. ويتكون من تلسكوب T موجه إلى مرآة $M_1$ نصف مفضضة لتعكس جزءًا من الضوء وتسمح بنفاذ جزء آخر منه، ويتحرك دائريًا أمام المرآة $M_1$ مرة أخرى $M_2$ يمكن توجيهها ناحية الجسم المراد رصده. كما أنه يمكن قياس زاوية دوران هذه المرآة على مقياس مدرج V. وتعتمد نظرية هذا الجهاز على أنه إذا دارت مرآة بزاوية معينة، فإن الشعاع المنعكس يدور بزاوية تساوي ضعف زاوية الدوران. اعتبر جسمًا بعيدًا يرسل أشعة متوازية يسقط شعاع منها $S_1$ على المرآة نصف المفضضة $M_1$ فينفذ خلالها ويمر داخل قصبة التلسكوب T ويسقط شعاع آخر $S_2$ على المرآة الدوارة $M_2$ التي يمكن ضبط زاويتها بحيث ينعكس الشعاع $S_2$ على $M_2$ ثم على $M_1$ ويمر خلال التلسكوب. يتكون عندئذ صورتان منطبقتان في مجال رؤية التلسكوب، وتؤخذ قراءة المقياس V على أنها القراءة الصفرية.

إذا أريد رصد جسم آخر بعيد عن النقطة R، يجب إدارة المرآة $M_2$ بزاوية $\theta$ حتى نحصل على انطباق للجسمين الأول S والثاني R، وتؤخذ قراءة المقياس وتكون زاوية الدوران هي الفرق بين القراءتين، ونظرًا لأن زاوية دوران المرآة $M_2$ هي نصف زاوية الدوران الحقيقية للشعاع؛ لذلك يدرج المقياس V عادة بأعداد مضاعفة مرتين، وذلك ليعطي زاوية دوران الشعاع مباشرة.

عند وضع آلة السدس أفقيا يمكننا بمعرفة الزاوية بين جسمين تعيين البعد بينهما. وعند وضعها رأسيا يمكننا تعيين الإرتفاع لأجسام رأسية وذلك باستخدام حساب المثلثات.

# تمـاريــن

1- اذكر ما تعرفه عن الكي - الزيغ الكري الطولي والمستعرض.

2- ما هي أهم عيوب الصور المتكونة بواسطة عدسة؟.

3- عرف ما يأتي: دائرة الوضوح - الاستجمعية.

4- رسم خطان متعامدان على سطح اسطوانة زجاجية نصف قطرها 10سم بحيث يكون الخط الرأسي موازيًا لمحور الاسطوانة والأفقي عموديًا عليه ونظر للخطين من الجهة المقابلة. أوجد كيف يظهر الخطان والمسافة بينهما، علمًا بأن معامل انكسار مادة زجاج الاسطوانة 1.5.

5- يستخدم إنسان عدسة بعدها البؤري 33 سم لكي يقرأ كتابًا على بعد 20 سم من عينيه. ما هو أقرب بعد لجسم يستطيع أن يراه بوضوح بدون استعمال لنظارته.

6- شخص يمكنه أن يرى بوضوح الأجسام التي يتراوح بعدها عنه بين 20 سم و30 متر. احسب قوة العدسة التي تمكنه من رؤية الأجسام البعيدة، وبين تأثير هذه العدسة على النقطة القريبة له.

7- احسب قوة العدسة التي يمكن أن يستخدمها شخص للقراءة إذا كانت النقطة القريبة له 26 سم في المستوى الأفقي، وعادية في المستوى الرأسي.

8- شخص مصاب بالاستجمية. النقطة القريبة له في مستوى أفقي40 سم وفي مستوى رأسي 80 سم. احسب قوة العدسة اللازمة له ليرى بوضوح على بعد 25سم.

9- شخص عنده طول نظر نقطته القريبة على بعد 100سم. ما نوع وقوة العدسة اللازمة له للقراءة؟ وبين تأثير هذه العدسة على نقطته البعيدة.

10- شخص قصير النظر نقطته البعيدة على بعد 5 أمتار ونقطته القريبة على بعد 20سم. فأوجد العدسة اللازمة له للمشي. ماذا تكون أقصر مسافة للرؤية الواضحة باستعمال هذه العدسة.

11- إذا استخدمت عدسة لامة كميكروسكوب بسيط. فأثبت أن التكبير يتناسب عكسيًا مع بعدها البؤري.

12- كيف ترتب عدستين لامتين لنستخدمهما:

- كميكروسكوب.
- كتلسكوب.

وقارن بين فعل الشيئية في الحالتين. وارسم أشكالا توضح إجابتك.

13- أ- قارن بين التلسكوب الفلكي وتلسكوب جاليليو.

ب- إذا كان البعد البؤري للعدسة المقعرة في منظار جاليليو هو 3 سم والتكبير الذي نحصل عليه بهذا المنظار هو 8 فما يكون البعد البؤري لعدسته المحدبة؟ وما المسافة بين العدستين؟.

14- عدستان محدبتان بعدهما البؤري 16، 4 سم وقد استعملتا كتلسكوب لرصد جسم بعيد جدًا. ما قوة التكبير عندما تبدو الصورة عند بعد لانهائي تقريبًا.

15- البعد البؤري لشيئية ميكروسكوب 1.35 سم ولعدسة العينية 2.5 سم، وقد استخدمه شخص لفحص جسم صغير على بعد 1.87 سم من الشيئية.

فإذا كانت أقصر مسافة للرؤية الواضحة له هي 30 سم. فما يكون البعد بين عدستي الميكروسكوب؟ وما مقدار التكبير الذى يحدثه؟.

16- ميكروسكوب مركب البعد البؤري لشيئيته 1 سم ولعينيته 5 سم والبعد بينهما $15\frac{1}{6}$ سم. فإذا كانت الصورة النهائية على بعد 25 سم من العين. فأوجد بعد الجسم من الشيئية ودرجة تكبير الميكروسكوب.

17- تلسكوب جاليليو البعد البؤري لشيئيته 12 سم ولعينيته 5 سم، ضبطت صورته النهائية لتكون على بعد 30 سم من العينية. أوجد التكبير.

18- يتركب تلسكوب من عدستين لامتين البعد البؤري للأولى 250 سم وللثانية 3 سم، يستخدم لرصد كوكب زاوية إبصاره ؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟ راديان. اشرح كيف يمكن استعمال العدستين لهذا الغرض. وأوجد زاوية إبصار الصورة النهائية عند عين الراصد.

19- اشرح عمل منظار فحص العين وبين كيف يمكن بواسطته تصحيح قصر النظر وطول النظر لعين مريضة؟.

20- اشرح كيف يمكن باستخدام آلة السدس إيجاد ارتفاع مبنى مرتفع.