محاضرات فى

البصريات الهندسية

د. محمد نصارى

الكلية : كلية التربية

الفرقة :الاولى

الشعبة : طبيعة وكيمياء

العام الجامعى :٢٠٢٢/٢٠٢٣م

فهرس المحتويات

الضوء وطبيعته

ماهية الضوء: -

الضوء نوع من الطاقة كالطاقة الحرارية والكهربية والاجسام المضيئة – كالشمس مثلاً- ترسل اشعاعها تتأثر به العين عن طريق مباشر. أو طريق انعكاس تلك الاشعة على الاجسام.

ويكون الضوء جزءا من الطيف الكهرومغناطيسي، ويقع في منطقة بين الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء.

تنشأ الأمواج الكهرومغناطيسية عندما يثار الكترون ذرة ما الى مستويات طاقة أعلى. ثم بعودته الى مستواه الأصلي تنبعث الطاقة الزائدة على شكل كمات من الطاقة او فوتونات لتكون الطيف الكهرومغناطيسي. ويتوقف طول موجة الفوتون المنبعث من الذرة على كمية الطاقة التي يحتويها الفوتون. وتقع أمواج الضوء المنظور فيما بين اطوال الموجات ٣٠٠٠،٨٠٠٠ انجستروم حيث يحد هذه المنطقة من الطيف المنظور الاشعاع البنفسجي من ناحية الموجات القصيرة والاشعاع الاحمر من ناحية الموجات الطويلة.

وللضوء صفات عامة يمكن تلخيصها فيما يلي: -

١- ينتقل الضوء بسرعة كبيرة تساوى ٣*١٠^٨ متر /ث.
٢- تتحرك فوتونات الضوء في خطوط مستقيمة وهي التي ستمثل بالأشعة.
٣- لا يحتاج الضوء لوسط ناقل له اذ يمكن للفوتونات الانتقال في الفراغ.
٤- يمكن للضوء ان ينعكس على السطوح المصقولة، كما يمكن له ان ينكسر عند انتقاله من وسط الى اخر.
٥- للضوء طبيعة موجية، ولذلك يمكن ان يتداخل كما تظهر له ظاهرتا الحيود والاستقطاب.
٦- لا يتأثر الضوء بالمجالات الكهربية او المغناطيسية.

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

مصادر الضوء: -

تنقسم المصادر الضوئية الى: -

١- المصادر الضوئية الطبيعية للضوء هي الشمس والنجوم وتشع الشمس ضوء لأنها ساخنه نتيجة للتفاعلات الذرية التي تحدث بداخلها، وتبلغ درجة حرارة سطحها حوالي ٦٠٠٠ درجة مئوية وتعتبر هي المصدر الطبيعي الرئيس للحراة.

٢- (أ) المصادر الضوئية الصناعية فتشع ضوء نتيجة لان درجة حرارتها عالية، ولكن هذه الطريقة لحدوث الضوء ليست ذو فائدة كبيرة. اذ ان 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 الحرارة الجسم كلما زادت نسبة الطاقة المرئية (الضوء) الى الطاقة غير المرئية (الحرارة) مثل اللهب.

(ب) مصادر ينبعث منها الضوء كنتيجة تحول الطاقة الكهربية الى طاقة ضوئية كما يحدث في المصابيح الكهربية وهي احدى المصادر الصناعية التي تشع ضوءا. ويتكون المصباح الكهربائي من انبوبة زجاجية تحتوي على غاز خامل مثل الارجون ويوجد بداخل الانبوبة سلك مصنوع من معدن ذات درجة انصهار عالية جدا مثل مادة النجستين. ويلحم نهايتي السلك في الانبوبة الزجاجية بحيث يكون هناك عازلا بين نهايتي السلك وفائدة الغاز الخامل هو التقليل من تبخر المعدن. فاذا وصلنا طرفي السلك الموجود في المصباح الكهربي بمصدر كهربي فان تيار كهربيا يسرى في السلك ويكتسب بذلك طاقة كهربية تتحول الى طاقتين وهما طاقة غير مرئية وهي الطاقة الحرارية وطاقة مرئية وهي الطاقة الضوئية. ويوجد مصادر أخرى للضوء مثل القوس الكهربي وغير ذلك.

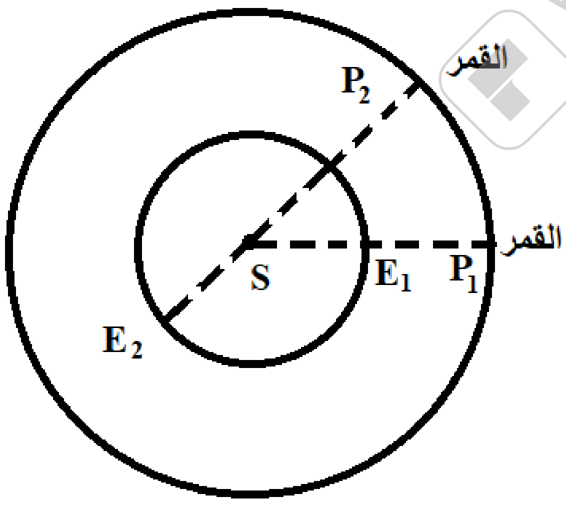
قياس سرعة الضوء: -

لقد كان الاعتقاد قديما ان سرعة الضوء لا نهائية نظر لكبرها ولعدم امكان قياسها الى ان جاء " رومر " عام ١٦٧٦ وأجرى محاولة ناجحة لقياس سرعة الضوء بطريقة فلكية استخدم فيها خسوف أحد اقمار كوكب المشترى. وهي كالاتي:

١- طريقة " رومر ":

نجح رومر في إيجاد سرعة الضوء من بعض ارصاد فلكية اجراها على خسوف أحد أقمار المشترى الذي يستغرق في الدوران حوله فترة زمنية قصيره. في اثناء دوران هذا القمر او التابع حول المشترى يدخل منطقة ظله مره كل دوره أي ان الزمن الذي بين خسوفين متتاليين لهذا القمر هو τ وهو الزمن الدوري له.

ونظرا لحركة الأرض والمشترى حول الشمس فان خسوف هذا القمر لا يمكن مشاهدته الا عندما تكون الأرض والمشترى والقمر على استقامة واحدة وفى نفس الترتيب المذكور كما بالشكل.



نفترض ان S موضع الشمس وان P_2 , E_2 , P_1 , E_1 تمثل الأرض والمشترى 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 اثناء دوران الأرض من E_1 الى E_2 فان

$$t = n\tau + \frac{2r}{c} \qquad (1)$$

حيث r نصف قطر مدار الأرض، c سرعة الضوء. وإذا افترضنا t هو الزمن الذي يمضي بين رؤية خسوفين متتالين في خلال النصف عام الثاني أي اثناء عودة الأرض من E_2 الى E_1 فان

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

من المعادلتين (١،٢) ينتج أن:

$$t - t_1 = \frac{4r}{c}$$

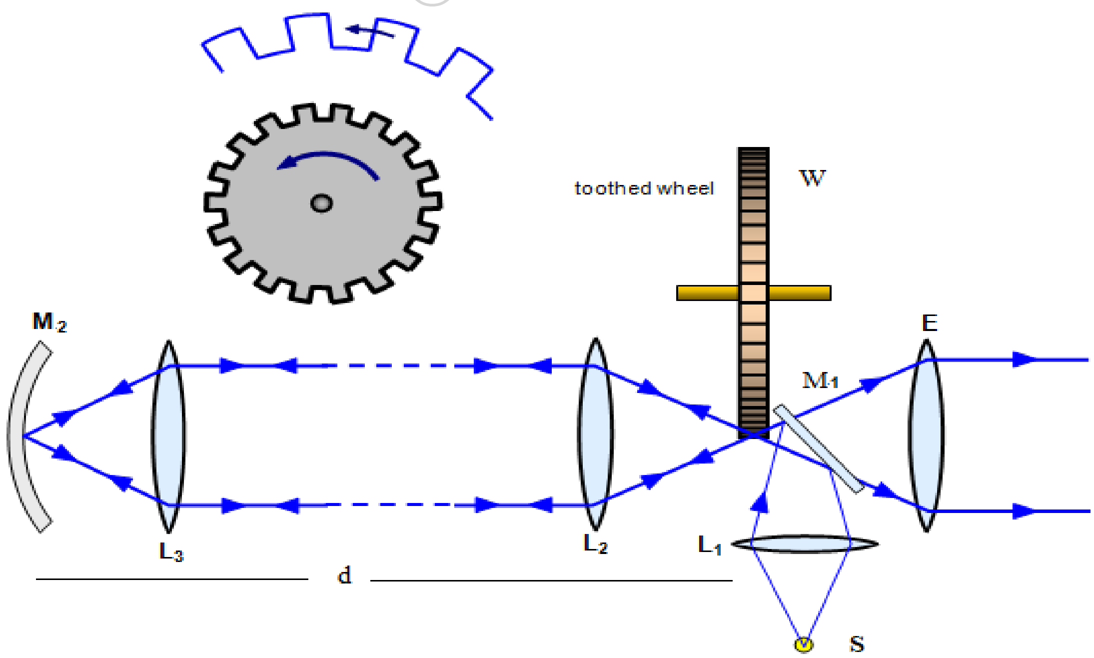
$$\therefore C = \frac{4r}{t - t_1} \qquad (3)$$

وبالتعويض في المعادلة (٣) عن قيمة $(t - t_1)$ وتساوى بالمشاهدة ١٩٨٠ ثانية وعن قطر مدار الأرض ويساوى ١٨٦*$١٠^{٦}$ ميل نجد ان

$$C = \frac{2x186x10^6}{1980} = 18700 \qquad sec$$

<u>٢ـ طريقة " فيزو ":</u>

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



يتركب جهاز العجلة الدوارة " لفيزو" من مصدر قوى للضوء S تتجمع اشعته بواسطة عدسة لامة L_1، حيث تسقط الاشعة المجمعة على مرآة نصف مفضضة M_1 تعكس الضوء ليتجمع عند نقطة I توجد في بؤرة العدسة L_2.

يخرج الضوء بعد ذلك حزمة متساوية لينتقل مسافة d (بضعة كيلو مترات) قبل ان يسقط على عدسة لامة أخرى L_3 تتجمع الاشعة لتسقط عموديا على مرآة مقعرة M_2 فتعكس الاشعة مقتفيه نفس المسار وتتجمع مرة ثانية عند النقطة I وبعدها تسقط الاشعة على المرآة نصف المفضضة M_1 لتنفذ خلالها وتراها عين الراصد.

توضع عجلة مسننه W في وضع راسي عند النقطة I بحيث يمكن للأشعة الضوئية المرور بين اسنانها، كما يمكن إدارة العجلة حول محورها الأفقي. عند دوران العجلة تمر اسنانها واحدة تلو الأخرى على شعاع الضوء عند I وتوقف مروره لحظة وجود السن في طريق الاشعة ثم تعود الاشعة للمرور عندما لا يعترض 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 أيضا فتحة بين سنين في الإياب بعد انعكاسه على المرآة M_2 إذا زيدت السرعة الزاوية W للعجلة تدريجيا، نصل الى درجة تختفي عندها صورة المصدر تماما بالنسبة للراصد وذلك عندما يقطع الضوء مسافة الذهاب بالإضافة الى سافة الإياب – 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 ان الضوء يعود ثانية للظهور بوضوح اذ تحل الفتحة الثانية محل الفتحة الأولى في زمن قطع الضوء مسافة 2d. ولإيجاد زمن قطع الضوء لهذه المسافة نفرض ان عدد الاسنان في العجلة الدوارة m سنا، وان السرعة الزاوية للعجلة هي: $W=2\pi n$ حيث n عدد دوراتها في الثانية. أي ان زمن الدورة الكاملة هو: $t=1/n$ sec.

يوجد عدد m من الاسنان ومثله من الفتحات، أي ان عدد الاسنان والفتحات $2m$. فاذا كان زمن الدورة t يكون زمن انتقال سن ليحل محل فتحة هو $t=1/2m$ ويقابل هذا الزمن الانتقال من حالة الرؤية الكاملة والوضوح للمصدر الى حالة عدم رؤيته واختفائه تماما، اما إذا اعتبرت حالة تناوب الرؤية الواضحة للمصدر، يكون الزمن بين رؤيتين واضحتين هو ضعف الزمن السابق.

استخدم " فيزو " عجلة ذات ٧٢٠ سنا ووجد ان اول اختفاء لصورة المصدر تحدث عندما تكون عدد دورات العجلة ١٢,٦ دورة في الثانية. وكانت المسافة بين النقطتين I، M_2 هي ٨٦٣٣ مترا.

وعلى ذلك يكون زمن انتقال سن العجلة محل الفتحة التالية هو $1/\ (2x720x12.6)$ ويكون ذلك هو نفس زمن انتقال الضوء ضعف المسافة بين I، M_2 وعلى ذلك تكون سرعة الضوء C هي المسافة على الزمن أي ان:

$$C = \frac{2d}{\frac{1}{2nm}} = 4dnm$$

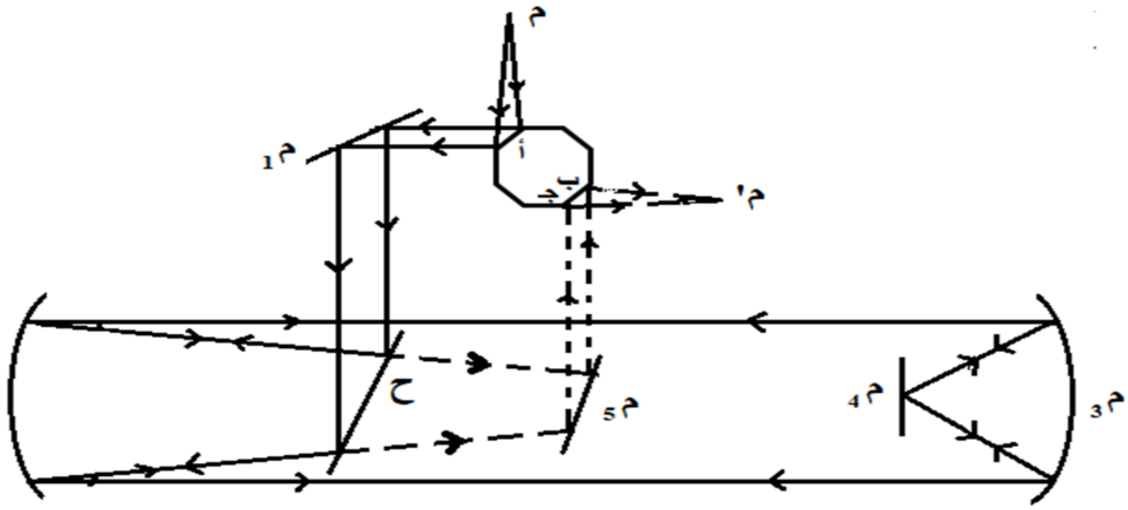
$$= 4x8633x12.6x720$$

$$= 3.1x10^{8} \quad m/s$$

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

<u>٣ـ طريقة " ميكلسون " لتعيين سرعة الضوء: ـ</u>

نجح ميكلسون سنة ١٩١٦ في قياس سرعة الضوء بطريقة دقيقة، وذلك باستخدام المثمن الدائر.



فالضوء المنبعث من المصدر **(م)** شكل (٣) ينعكس عند احد أوجه المثمن العاكس الى مرآة مستوية **(م١)**، ومنها الى لوح نصف مفضض (ح)، ينعكس الضوء من اللوح (ح) الى مرآة مقعرة كبيرة (م٢) حيث يرتد منها على هيئة اشعة متوازية لتسقط على مرآة مقعرة كبيرة **(م٣)** تبعد ٢٢ ميلا عن المرآة المقعرة الأولى، وبعد انعكاسها من المرآة **(م٣)** تتجمع الاشعة على سطح مرآة مستوية **(م٤)** حيث تنعكس في نفس اتجاه مسار سقوطها الى **(م٢)** ثم الى المرآة المستوية **(م٥)** عبر اللوح (ح) عند **(م٥)** تنعكس الاشعة الى وجه المثمن (ب) حيث تنعكس منه لتكون صورة عند النقطة **(مـ)** للمصدر الأصلي.

فاذا كان المثمن العاكس ساكنا فان الصورة **(مـ)** تظل كذلك ساكنه، اما إذا بدأ المثمن العاكس في الدوران فان إزاحة تحدث في وضع الصورة **(مـ)**، وتتوقف هذه الازاحة على سرعة دوران الوجه (ب).

فإذا فرضنا ان الزمن الذي يستغرقه الضوء ليقطع المسافة من الوجه (أ) الى الوجه (ب) **(أ م١، م٢ م٣ م٤ م٣ م٢ح م٥ ب)** هو نفس الزمن الذي يتحرك فيه الوجه (جـ) ليمثل مكان الوجه (ب) فانه لا يكون هناك إزاحة في وضع الصورة كما لو كان المثمن العاكس ساكن تماما.

فاذا كانت سرعة المثمن العاكس عندئذ **f** دورة في الثانية وكان **t** اللازم ليحل محل أحد أوجه المثمن الذي يليه مباشرة فان:

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

فاذا كانت X هي المسافة بالكيلومتر بين م٢، م٣ فان

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

حيث C سرعة الضوء

من المعادلتين (1)، (2) نجد ان

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

ومنها

$$C = 16\,F\,X \qquad (3)$$

ولقد وجد ان سرعة الضوء المستنتجة من المعادلة (3) تساوى ٢٩٩٨٥٠ كيلومتر/ثانية.

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 شمعة عيارية.

والشمعة العيارية تبعث في جميع الاتجاهات فيضا قدره ٤ ط لومن في الثانية.

شدة الاستضاءة: -

وتعرف شدة الاستضاءة عند سطح بالفيض الضوئي الذي يسقط عموديا على وحدة المساحات في الثانية، فاذا فرضنا مصدرا قوة اضاءته f شمعة عيارية فان كمية الضوء F المنبعث منه في الثانية تعطى بالمعادلة

$$F = 4\pi f$$

وإذا تصورنا كرة جوفاء مركزها المصدر ونصف قطرها r فان شدة الاستضاءة عند اى نقطة من سطح الكرة تعطى بهذه المعادلة

$$I = \frac{F}{A}$$

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

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

والوحدة العملية لقياس شدة استضاءة سطح هي " اللاكس " وهو الفيض الضوئي لكل متر مربع أي ان اللومن / سم^{٢} = ١٠$^{-٤}$ لاكس

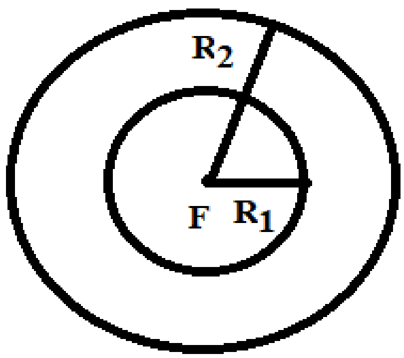
قوة الإضاءة: -

تعرف قوة اضاءة مصدر ضوئي بأنها الفيض الضوئي المنبعث منه في زاوية مجسمة مقدارها الوحدة ويقاس بوحدة تسمى الشمعة.

قانون التربيع العكسي: -

سبق ان ذكرنا ان الفيض الضوئي المنبعث في جميع الاتجاهات من مصدر قوة اضاءته F يعطى بالعلاقة $F=4\pi f$

وإذا تصورنا كرتين مركزهما المصدر الضوئي ونصف قطرهما R_1، R_2 شكل (٣) فان شدة الاستضاءة على سطح الكرة الأولى يعطى بالمعادلة



$$I_1 = \frac{4\pi f}{4\pi R_1^2} = \frac{f}{R_1^2}$$

وشدة الاستضاءة على سطح الكرة الثانية

$$I_1 = \frac{4\pi f}{4\pi R_2^2} = \frac{f}{R_2^2}$$

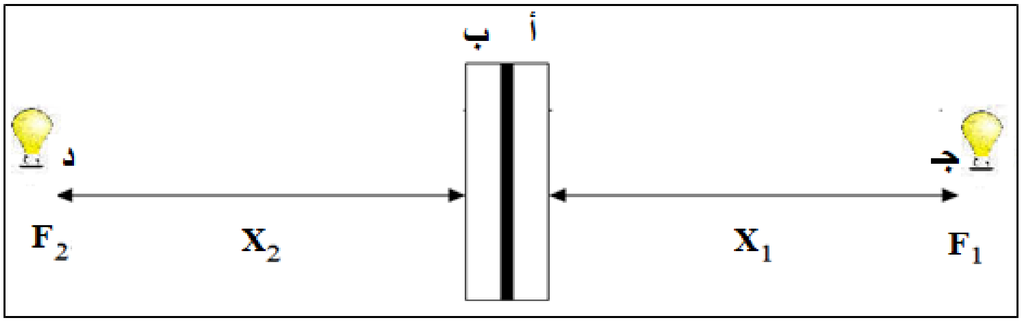
من هذا نرى ان شدة الاستضاءة على سطح مضاء عموديا اضاءة منتظمة تتناسب عكسيا مع مربع بعد السطح عن المصدر وطريا مع قوة اضاءة.

الفوتو مترات: -

الفوتو مترات هي أجهزة يمكن استخدام سطحها للمقارنة بين قوتي اضاءة مصدريين وذلك بتغيير بعدهما عنه حتى تصبح شدة استضاءة الناتجة عنها متساوية. يوجد أنواع مختلفة من الفوتو مترات وسنقتصر في دراستنا على فوتومتر" جولي ".

- **فوتومتر" جولي ".**

يتركب فوتومتر جولي من لوحيين متماثلين أ، ب من شمع البرافين يفصلهما صفيحة من القصدير.



فاذا وضع المصدران المراد مقارنة قوة اضاءتهما على جانبي الفوتومتر عند النقطة جـ، د مثلا فان اللوح أ يصبح مضاء بالمصدر F_1 واللوح ب يصبح مضاء بالمصدر F_2 شكل (٤).

وبتغيير بعد المصدريين عن الفوتو متر حتى تصبح شدة استضاءة اللوحيين واحدة يكون

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{X_1^2}{X_2^2}$$

حيث X_1، X_2 بعد المصدريين على الترتيب.

أسئلة

١- اشرح طريقة لقياس سرعة الضوء.

٢- عرف " اللومن " " اللاكس" واذكر العلاقة بينهما.

٣- اذكر قانون التربيع العكسي واشرح كيف يمكن تطبيقه في المقارنة بين قوة اضاءة مصدريين ضوئيين.

٤- اشرح كيف يمكن المقارنة بين قوة اضاءة مصدريين ضوئيين باستخدام فوتومتر جولي.

٥- وضع أحد جانبي فوتومتر جولي وعلى مسافة ٢٥ سم منه مصدر ضوئي قوته ١٠٠ شمعة ففي أي جانب وعلى أي بعد من الفوتومتر يوضع مصدر قوته ٢٥ شمعة حتى تتساوى شدة استضاءة سطحي الفوتومتر.

٦- وضع مصدر قوة اضاءته ١٠٠ شمعة على بعد ٢٠سم من أحد وجهي فوتومتر جولي ووضع على الجانب الاخر وعلى بعد ١٠ سم من الفوتومتر مصدر قوة اضاءته ٣٣ شمعة. فأوجد اين وكيف توضع مرآة مستوية حتى تتساوى شدة الاستضاءة على جانبي الفوتومتر علما بان المرآة تعكس ٧٢٪ من الضوء الساقط عليها.

٧- وضع حائل صغير على بعد ٦٠سم من منبع ضوئي بحيث كانت اشعة المنبع عمودية على الحائل، ثم ابعد الحائل حتى صار بعده عن المنبع ١٠٠ سم وادير حتى صارت زاوية سقوط الاشعة عليه ٦٠ درجة. قارن بين شدتي استضاءة الحائل في الحالتين.

٨- مصباحان قوة اضاءة أحدهما ٢٧ شمعة وقوة الاخر ٤٨ شمعة والبعد بينهما ٨٤ سم. عند أي نقطة بين الخط الواصل بينهما يجب ان يوضع فوتومتر جولي لكي يضاء جانباه بشدة واحدة.

٩- في تجربة فيزو إذا كانت العجلة المسننة بها ٧٥٠ سن وتدور بسرعة ١٢,٦ دورة في الثانية. اوجد سرعة الضوء علما بان المسافة بين العاكس والتلسكوب ٨٦٣٣ متر.

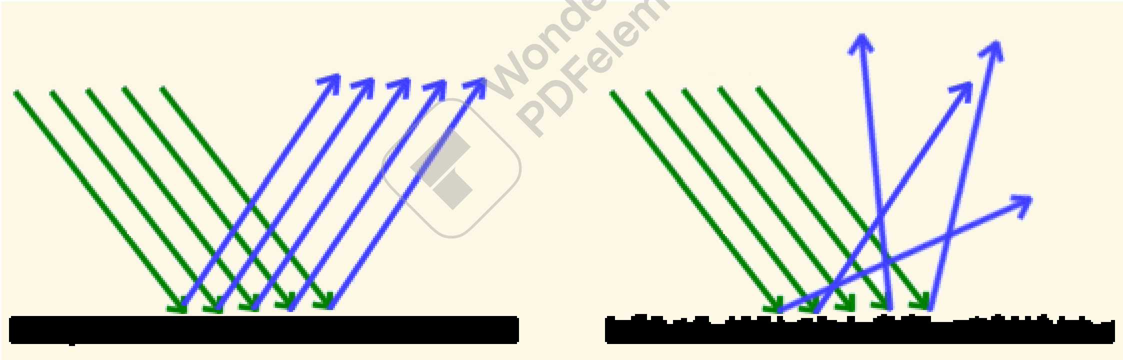
١٠- اوجد المسافة بين العاكس والتلسكوب في تجربة فيزو إذا علمت ان عدد السنون ٦٠٠ سن في العجلة وتدور بسرعة ١٥ دورة في الثانية وان سرعة الضوء $٣*١٠^{٨}$ سم/ث.

١١- إذا كانت العجلة الدوارة في طريقة فيزو ١٠ سن والمسافة بين سنين مساوية لعرض السن وكانت المسافة بين العجلة المسننة والمرآة ١٢ كم. فكم تكون سرعة دوران العجلة لكي نحصل على الظلام الأول علما بان سرعة الضوء $٣*١٠^{٨}$ سم/ث.

انعكاس الضوء

عندما يسقط الضوء على سطح يفصل بين وسطين فان جزءا من هذا الضوء يرتد او ينعكس في نفس الوسط الذي سقط منه، اما الجزء الاخر فانه يخترق الوسط الثاني عبر سطح الانفصال حيث يمتص إذا كان الوسط معتما او ينفذ خلاله إذا كان شفافا. اما إذا كان ما ينفذ من الضوء خلال الوسط قليلا بحيث يصعب معه الرؤية خلاله فان الوسط يسمى حينئذ نصف شفاف. وتتوقف نسبة ما ينعكس من الضوء على طبيعة السطح العاكس، فالسطح المفضض الاملس يعكس ٩٠٪ من الضوء الساقط عليه ويمتص ١٠٪ منه، اما اللوح الزجاجي العادي فيمتص ٥ % ويعكس ٥٪ وينفذ ٩٠٪ من الضوء الساقط عليه.

يكون انعكاس الضوء عند الاسطح المصقولة منتظما أي يحدث في اتجاه معين بالنسبة لاتجاه سقوطه، ويكون الانعكاس غير منتظم عند الاسطح الخشبية ويسمى بالانعكاس المشتت.



الانعكاس عند سطح مستوى: -

ينعكس الضوء من السطح العاكس المستوى وفقا للقوانين الاتية:

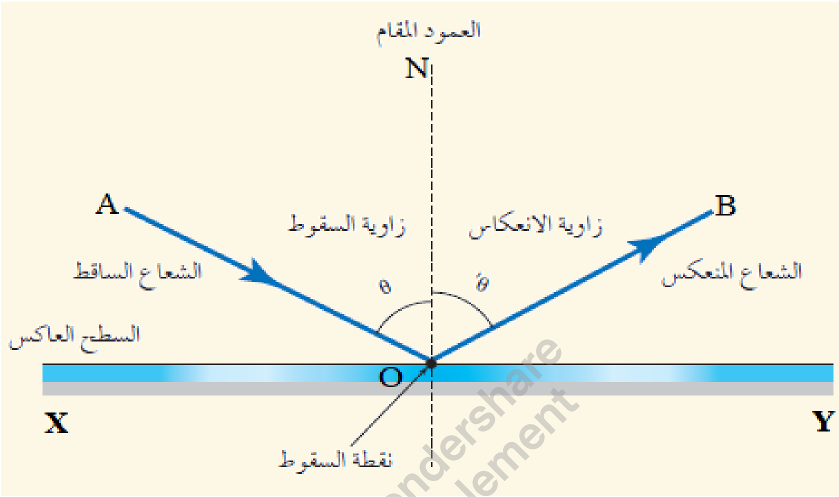
١- زاوية السقوط تساوى زاوية الانعكاس.

٢- الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود على السطح العاكس عند نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد.

فاذا فرضنا X Y يمثل سطح مراه مستوية وان A O اتجاه شعاع ساقط على هذا السطح عند O وان BO اتجاه الشعاع المنعكس.

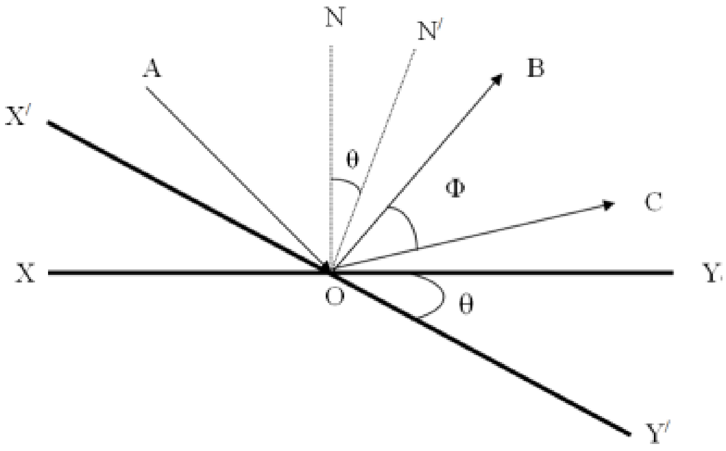
$$\therefore \text{BON} = \text{AON}$$

كذلك تقع الاتجاهات NO, BO, AO في مستو واحد عمودي على سطح المرآه.



<u>تأثير دوران السطح العاكس على اتجاه الشعاع المنعكس:-</u>

نفرض ان AO اتجاه شعاع ساقط على السطح العاكس XY وان BO اتجاه الشعاع المنعكس ON العمود على XY.



نفرض كذلك ان السطح العاكس قابل للدوران حول محور عمودي على مستوى الرسم وان السطح العاكس انحرف عن وضعه الأصلي بزاوية θ الى الوضع $X'\ Y'$ وان اتجاه الشعاع المنعكس عند هذا الوضع هو OC وليكن ON' والعمود على السطح $X'\ Y'$.

$$\therefore \ BON = AON$$

$$BON' + \theta = AON \qquad (1)$$

كذلك

$$CON' = AON'$$

$$BON' + \varphi = \theta + AON \qquad (2)$$

من ١، ٢ ينتج ان:

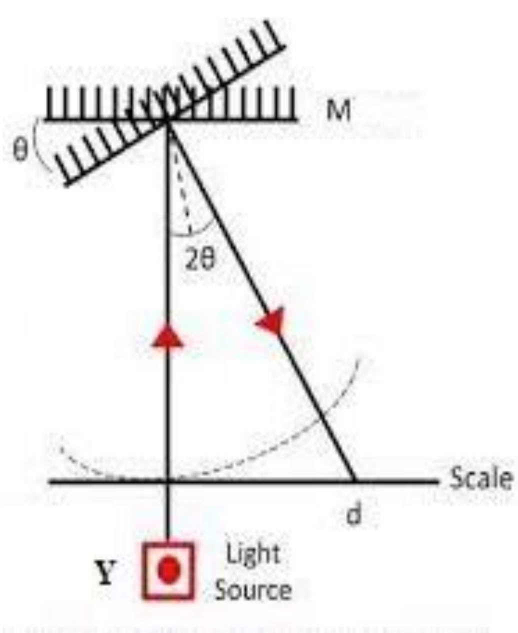
$$BON' + \varphi = \theta + BON' + \theta$$

$$\varphi = 2\theta$$

أي ان دوران السطح العكس بزاوية θ ينتج عنه انحراف الشعاع المنعكس بضعف هذه الزاوية.

الجلفانومتر ذو المرآة: -

يستخدم الجلفانومتر ذو المرآة في القياسات الدقيقة للتيار الكهربي وفيه يستبدل المؤشر بمرآة صغيرة M تتصل بالملف المتحرك او على وجه العموم بالجزء المتحرك في الجلفانومتر فاذا سقط على المرآة شعاع ضوئي من المصدر Y في الاتجاه العمودي عليها فانه ينعكس منطبقا على اتجاه سقوطه الى مقياس مدرج (نصف شفاف).



فاذا مر في الجلفانومتر تيار كهربي ونتج عنه دوران الجزء بمقدار θ فان المرآة كذلك تدور بزاوية θ وينتج عن هذا الدوران ان الشعاع الساقط ينعكس منحرفا عن اتجاهه الأصلي بزاوية 2θ ليسقط على المقياس المدرج بإزاحة تتوقف قيمتها على زاوية دوران المرآة او على شدة التيار المار في الجلفانومتر.

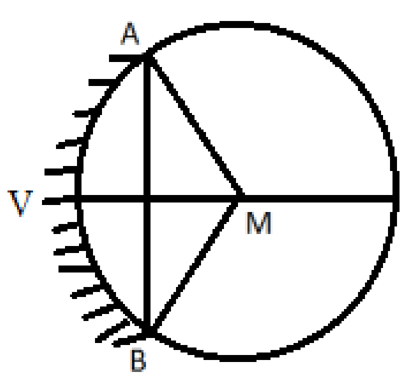
الانعكاس عند سطح كرى – المرآة الكرية: -

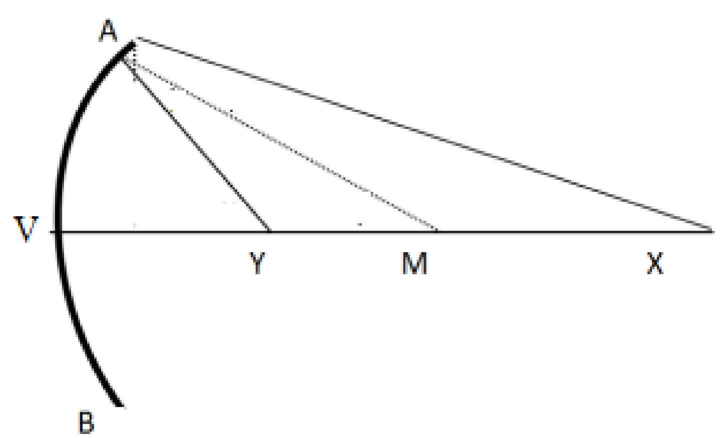
يمكن تعريف المرآة الكرية بانها السطح الناتج من تقاطع كره عاكسة بمستوى. والمرأة الكرية اما مقعرة إذا كان سطحها الخارجي عاكسا ويسمى قطر دائرة تقاطع الكره بالمستوى بالاتساع الخطى للمرآة. اما الاتساع الزاوي فتقدر قيمته بمقدار الزاوية (α) $(A\ M\ B)$ ويسمى المستقيم الواصل بين قطب المرآه V ومركز تكورها M بالمحور الرئيسي للمرآة.

١- جميع المسافات مقاسة من قطب المرآة تكون سالبة في اتجاه انتشار الضوء وموجبة في اتجاه انتشار الضوء.

٢- يكون البعد البؤري موجبا للمرآة المقعرة وسالب للمرآة المحدبة.

فاذا فرضنا ان X نقطة مضيئة على المحور الرئيسي للمرآة مقعرة فان بعد الجسم X V موجبا وبعد الصورة Y V موجبا أيضا.

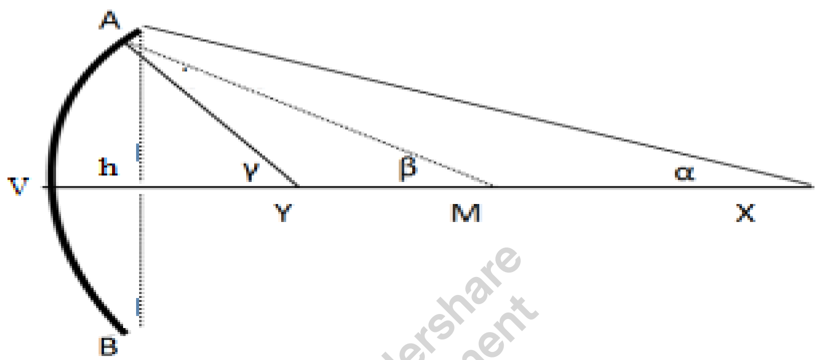




الانعكاس عند السطح الكرى المقعر: -

نعتبر السطح العاكس مكونا من عدد كبير من مرايا مستوية صغيرة متلاحقة وبذلك يمكن الاستفادة من قوانين الانعكاس (زاوية السقوط تساوى زاوية الانعكاس، الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود على السطح العاكس عند نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد).

نفرض ان A V B يمثل مرآة مقعرة مركزها M.



لنفرض ان X نقطة مضيئة على محور المرآة وعلى مسافة X منها فاذا فرضنا ان شعاعا ضوئيا X A يسقط على سطح المرآة النقطة A فانه ينعكس في الاتجاه A Y بحيث ان:

$$Y A M = X A M$$

وكذلك A M يكون عموديا على سطح المرآة عند النقطة A

$$\beta = \alpha + i$$

$$\gamma = \beta + i$$

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

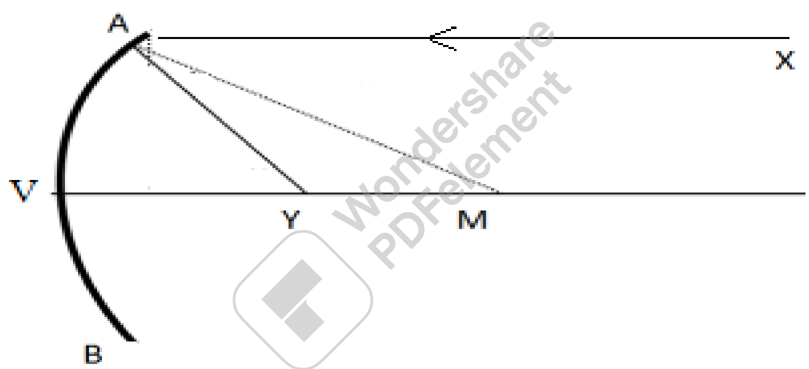
فاذا فرضنا ان الاتساع الزاوي للمرآة صغيرا وان نقطة A بالقرب من V بحيث يكون A Y, V Y متساويين وكذلك A X, V X فان الزوايا β, α تكون صغيرة وبذلك يكون:

$$\alpha = \frac{h}{X}, \beta = \frac{h}{R}, \alpha = \frac{h}{Y}$$

$$\therefore \frac{2}{R} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y}$$

هي الحالة العامة وهي العلاقة بين بعد الجسم عن قطب المرآة وبعد الصورة التي تتكون على محور المرآة. وتمثل القانون العام للمرآة المقعرة فاذا كان الجسم في مالانهاية وكانت X كبيرة جدا فان:

$$\frac{1}{X} \rightarrow \text{صفر}$$



وبذلك يكون: -

$$\frac{1}{Y} = \frac{2}{R} \quad \therefore \quad Y = \frac{R}{2}$$

يتضح من هذه النتيجة انه إذا سقطت حزمة من الاشعة المتوازية على مرآة مقعرة في اتجاه محورها الرئيسي فأنها تنعكس الى نقطة على المحور عند منتصف المسافة بين القطب ومركز تدور السطح العاكس. وتسمى هذه النقطة بالبؤرة ويسمى بعدها عن القطب بالبعد البؤري F أي ان:

$$\frac{R}{2}=\frac{1}{X}+\frac{1}{Y}=\frac{1}{F}$$

<u>معامل التكبير m: -</u>

من هندسة الشكل يتضح ان:

$$\tan i=\frac{I}{X}\quad,\quad \tan r=\frac{I'}{Y}$$

حيث أن I طول الجسم، I' طول الصورة الحقيقية المتكونة وزاوية السقوط i تساوى زاوية الانعكاس r.

$$\frac{I}{X}=\frac{I'}{Y}$$

وحيث ان معامل التكبير m يعرف بانه: -

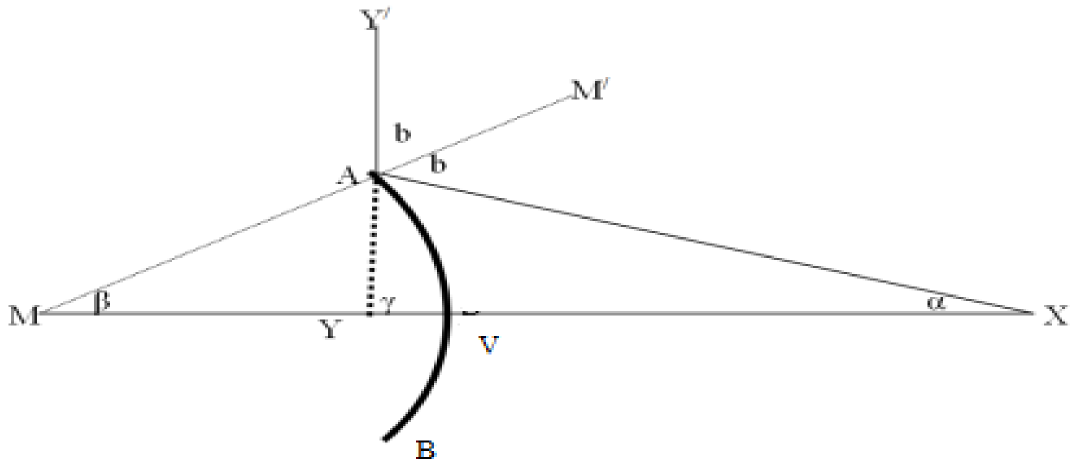
النسبة بين طول الصورة المتكونة الى طول الجسم.

$$m=\frac{I'}{I}=\frac{Y}{X}$$

حيث Y بعد الصورة من قطب المرآة، X بعد الجسم من نفس القطب.

<u>الانعكاس عند السطح الكري المحدب: -</u>

نفرض ان $B\ V\ A$ يمثل مرآة محدبة مركز تكورها M، لنفرض كذلك ان X نقطة مضيئة واقعة على محور المرآة وعلى مسافة x منها فاذا فرضنا ان شعاع ضوئيا $A\ X$ يسقط منها على سطح المرآة المحدبة عند النقطة A فانه ينعكس في الاتجاه $A\ Y'$ بحيث:



$$A\,M' = X\,A\,M'\,Y'$$

ويلاحظ ان الشعاع $A\,Y'$ لا يقطع محور المرآة المحدبة في نقطة امام السطح العاكس، ولكن امتداده يقطع المحور الرئيسي للمرآة في نقطة Y خلف المرآة هي الصورة التقديرية للجسم X ويتضح من الرسم ان: -

$$i = \alpha + \beta$$

$$2i = \alpha + \gamma$$

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

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

إذا اتبعنا الإشارات

$$\alpha = \frac{h}{X}\ ,\beta = \frac{h}{R}\ ,\alpha = \frac{h}{Y}$$

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

$$\therefore \frac{2}{R} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y}$$

المعادلة العامة التي تدل على العلاقة بين بعد الجسم عن القطب المحدب وبعد الصورة التقديرية التي تتكون له على المحور.

فاذا فرضنا ان النقطة X في مالانهاية وكانت المسافة x كبيرة جدا فان:

$$\frac{1}{X} \rightarrow \text{صفر}$$

وبذلك يكون:

$$\frac{1}{Y} = \frac{2}{R} \quad \therefore \quad Y = \frac{R}{2}$$

وحيث ان مركز تكور المرآة المحدبة يقع خلف المرآة فانه تبعا لمصطلح الإشارات تكون R سالبة.

$$Y = -\frac{R}{2}$$

ويتضح من هذه النتيجة أنه إذا سقطت حزمه من الاشعة المتوازية على مرآه محدبة في اتجاه محورها الرئيسي فأنها تنعكس من نقطه تقديريه خنف المرأة عند منتصف المسافة بين القطب ومركز تكور المرأة وتسمي هذه النقطة بالبؤرة ويسمي بعدها عن القطب البد البزري للمرآة.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{Y} + \frac{1}{X}$$

<u>معامل التكبير m: -</u>

بالمثل معامل التكبير في المرآة المحدبة كالمرأة المقعرة.

$$m = \frac{I'}{I} = \frac{Y}{X}$$

حيث Y بعد الصورة من قطب المرآة، X بعد الجسم من نفس القطب.

مثال (١)

ما نوع المرآة اللازمة لتكوين صورة لفتيل مصباح موضوع على بعد ١٠ سم منها على حائط يبعد عن المرآة بمسافه قدرها ثلاثة أمتار وكم يكون ارتفاع الصورة إذا كان ارتفاع الجسم ٥ مم.

الحل

$$X = 10 \text{ cm},\ Y = 300 \text{ cm}$$

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y}$$

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{300} + \frac{1}{10}$$

$$R = 19.4 \text{ cm}$$

وحيث أن نصف قطر التكور موجبا فان المرآه المطلوبة هي مرآه مقعره.

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

وحيث أن التكبير سالب فهذا يعني أن الصورة مقلوبه وتساوي قدر ارتفاع الجسم ٣٠ مره.

طول الصورة $= 5 \text{ X } 30 = 150 = 15 \text{ cm}$

مثال (٢)

جسم صغير موضوع على بعد ٨ سم يسار قطب مرآه مقعرة نصف قطر تكررها ٣٤ سم. أوجد موضع الصورة الناتجة وكذلك التكبير؟

الحل

$$X = 8\ \text{cm},\ R = 24\ \text{cm}$$

$$\frac{2}{24} = \frac{1}{8} + \frac{1}{Y}$$

$$Y = -24\ \ \text{cm}$$

$$m = -\frac{Y}{X} = -\frac{-24}{8} = 3$$

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

انكسار الضوء

إذا مر شعاع ضوئي من وسط شفاف متجانس إلى آخر فإنه يتكسر عند السطح الفاصل بين الوسطين وفقا للقوانين الآتية: -

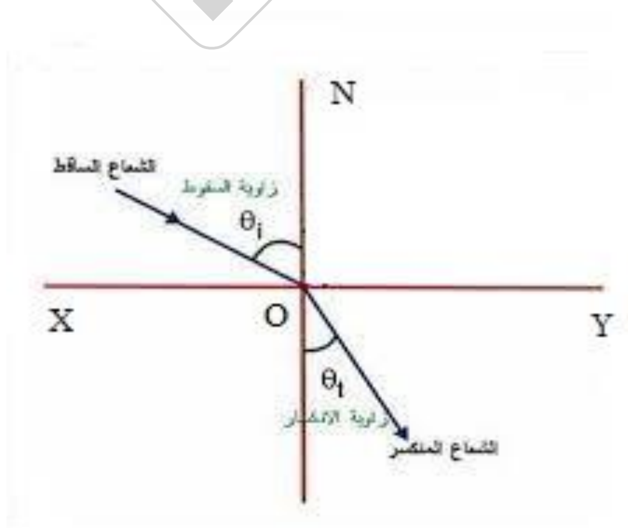
١- النسبة بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار ثابتة للوسطين وتسمى هذه التسمية معامل الانكسار النسبي للضوء من الوسط الأول إلى الوسط الثاني.

٢- الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود على السطح الفاصل عند نقطة السقوط تقع جميعا في مستوى واحد عمودي على سطح الانفصال.

فإذا فرضنا X Y يمثل سطحا مستويا يفصل بين وسطين كما بالشكل وأن AO الشعاع الساقط عند النقطة (O) وان (OB) الشعاع المنكسر.

$$\mu_{12} = \frac{\sin A\hat{O}N}{\sin B\hat{O}N}$$

حيث μ_{12} هو معامل الانكسار النسبي للضوء من الوسط الأول إلى الوسط الثاني.



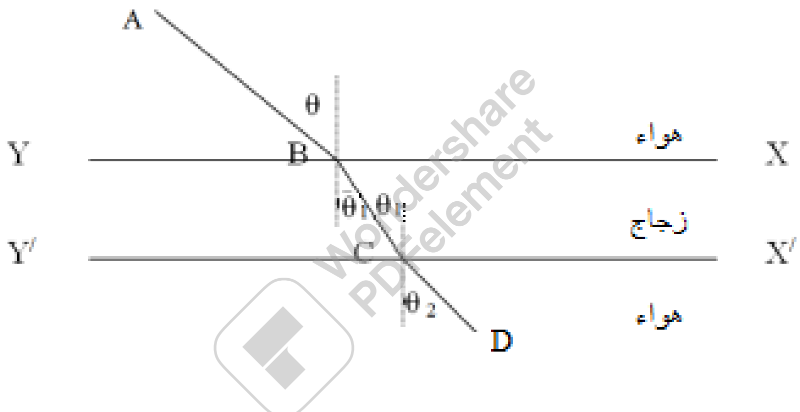
فإذا كان انكسار الضوء في الوسط الثاني ناحية العمود كان هذا أكبر كثافة ضوئية من الوسط الأول. أي أن الكثافة الضوئية لاي وسط منفذ للضوء تتناسب مع معامل انكسار الضوء فيه، إذا

كان الوسط الأول فراغا او هواء فإن النسبة الثابتة μ_2 تسمي معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني.

كذلك تقع الاتجاهات A O, B O, O N في مستوى واحد عمودي على السطح (XY) .

<u>الانكسار خلال وسط محدود بسطحين متوازيين: -</u>

نفرض أن شعاعا ضوئية (AB) يسقط من الهواء على أحد السطحين المتوازيين لكتلة من الزجاج، ولتكن θ زاوية السقوط من الهواء، والكثافة الضوئية للزجاج أكبر من الهواء أي أن $\mu > 1$ فإن الشعاع المنكسر B C يصنع مع العمود (B N) زاوية θ_1 حيث $\theta > \theta_1$



$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta_1} = \mu_{\text{هواء}-\text{زجاج}} = \frac{\mu_{\text{زجاج}}}{\mu_{\text{هواء}}} \qquad (1)$$

وكذلك الشعاع BC ينكسر عند السطح $(X'Y')$ فيخرج في الهواء مرة ثانية في الاتجاه (CD) ولتكن θ هي زاوية الخروج.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \mu_{\text{زجاج}-\text{هواء}} = \frac{\mu_{\text{هواء}}}{\mu_{\text{زجاج}}} \qquad (2)$$

من (1) و (2) ينتج ان

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta_1} * \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = 1$$

$$\sin\theta = \sin\theta_2 = 1$$

$$\therefore \theta = \theta_2$$

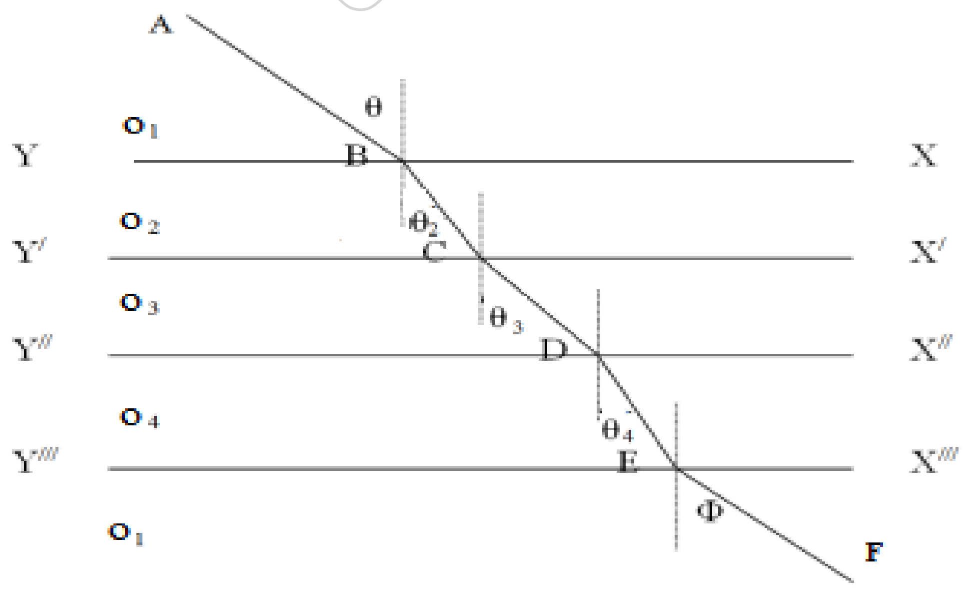
من ذلك نستنتج أن الشعاع (CD) يخرج موازية لاتجاهه الاصلي A B بإزاحة في الاتجاه العمودي على الشعاع نفسه وتتوقف قيمة الازاحة **δ** على سمك الوسط الذي يخترقه الضوء كما يتضح من العلاقة التالية:

$$\delta = BC(\theta - \theta_1)$$

$$\delta = \frac{m}{\cos\theta_1}\sin(\theta - \theta_1)$$

حيث m سمك اللوح الزجاجي.

الانكسار خلال أوساط متعاقبة محدودة بأسطح متوازية:-



نفرض ان AB يمثل اتجاه شعاع ساقط من الوسط الأول O_1 على السطح X Y الفاصل بين الوسطين O_1, O_2 وأن BC هو الشعاع المنكسر في الوسط O_2 عند السطح $X'Y'$ الذي يفصل بين الوسطين O_2, O_3 وينكسر الضوء مرة ثانية وليكن CD هو اتجاه الشعاع المنكسر في الوسط O_3. وكذلك يعاني الضوء انكسارا عند كل من الأسطح المتعاقبة $X''Y'', X'''Y'''$.

لنفرض أن الشعاع الضوئي خرج بعد ذلك في وسط من نفس نوع الوسط الأول O_1. ولتكن $\theta, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ هي زوايا السقوط عند الاسطح $X Y, X'Y', X''Y'', X'''Y'''$ على الترتيب ولتكن φ في زاوية الخروج في الوسط الاخير O_1.

يتضح ان

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_3} = \frac{\mu_3}{\mu_2}$$

$$\frac{\sin\theta_3}{\sin\theta_4} = \frac{\mu_4}{\mu_3}$$

$$\frac{\sin\theta_4}{\sin\varphi} = \frac{\mu_1}{\mu_4}$$

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta_2} * \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_3} * \frac{\sin\theta_3}{\sin\theta_4} * \frac{\sin\theta_4}{\sin\varphi} = \frac{\mu_2}{\mu_1} * \frac{\mu_3}{\mu_2} * \frac{\mu_4}{\mu_3} * \frac{\mu_1}{\mu_4} = 1$$

$$\frac{\sin\theta}{\sin\varphi} = 1 \quad \rightarrow \quad \sin\theta = \sin\varphi$$

$$\therefore \theta = \varphi$$

أي أن الشعاع الخارج (E F) يوازي الشعاع الأصلي الساقط (AB) وبمعني اخر إذا سقط شعاع ضوئي ونفذ بعد انكساره خلال مجموعه من الأوساط التي تفصها سطوح انفصال متوازية فانه يخرج الى الوسط الاول موازيا لمسار الشعاع الساقط وكذلك نستنتج مما سبق أن: -

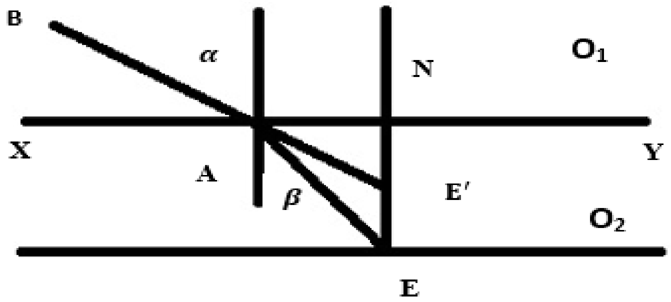
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_3} = \mu_{32} = \frac{\mu_3}{\mu_2}$$

$$\mu_2 \sin \theta_2 = \mu_3 \sin \theta_3 = \mu_4 \sin \theta_4$$

أى أن معامل الانكسار للوسط مضروبا في جيب زاوية السقوط في هذا الوسط يساوي مقدار ثابت وهذا هو قانون " سنل ".

السمك الظاهري: -

نفرض ان E نقطة مضيئة في وسط شفاف O_2 وليكن $E\ A$ اتجاه شعاع ساقط منها على السطح المستوى $X\ Y$ الذي يفصل بين هذا الوسط ووسط اخر شفاف O_1 اقل كثافة ضوئية من الوسط السابق، وان $A\ B$ هو اتجاه الشعاع المنكسر في الوسط O_1 كما بالشكل:



نفرض كذلك ان $E\ N$ هو اتجاه شعاع منبعث من النقطة E في الاتجاه العمودي على السطح $X\ Y$ وهذا الشعاع ينفذ الى الوسط O_1 في نفس اتجاهه دون ان يعاني أي انكسار. فإذا مد الشعاع $B\ A$ ليقابل $E\ N$ في E' فان:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{\frac{A\ N}{A\ E'}}{\frac{A\ N}{A\ E}}=\frac{A\ E}{A\ E'}$$

أي ان

$$A\ E' = A\ E\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}$$

وتدل هذه النتيجة على ان موضع النقطة E' ليس ثابتا، بل يتوقف على زاوية رأس مخروط الاشعة التي ترى بها العين النقطة المضيئة E. فاذا كانت العين قريبة من الخط العمودي وكانت بذلك الزاوية α, β صغيرة فانه يمكن اعتبار:

$$\frac{A\ E}{A\ E'}=\frac{E\ N}{E'N}$$

أي ان

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \mu_{21} = \frac{N\,E}{N\,E'}$$

ويكون بذلك البعد الظاهري $N\,E'$ اقل من البعد الحقيقي $N\,E$ وفقا للمعادلة الاتية:

$$\mu_{21} = \frac{N\,E}{N\,E'} = \frac{\text{البعدالحقيقى}}{\text{البعدالظاهرى}}$$

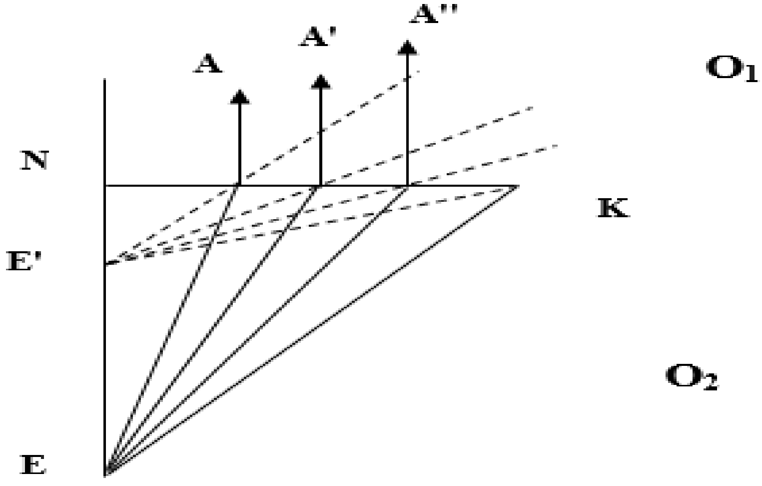
وتقدر ازاحة الصورة في اتجاه العمود بالمقدار $E\,E'$ حيث:

$$E\,E' = N\,E - N\,E'$$

$$E\,E' = N\,E\left(1 - \frac{N\,E'}{N\,E}\right)$$

$$N\,E = \left(1 - \frac{1}{\mu_{21}}\right)$$

ويتضح مما سبق ان الصورة التقديرية E' يتغير تبعا لتغير زاوية السقوط، أي ان الاشعة المنبعثة من النقطة المضيئة تنكسر عند سطح الانفصال لا لتتلاقى امتداداتها في نقطة واحدة، بل لتمس منحنى $E'K$ يسمى المنحنى الغلافي او المنحنى الحارق للأشعة المنكسرة كما بالشكل:

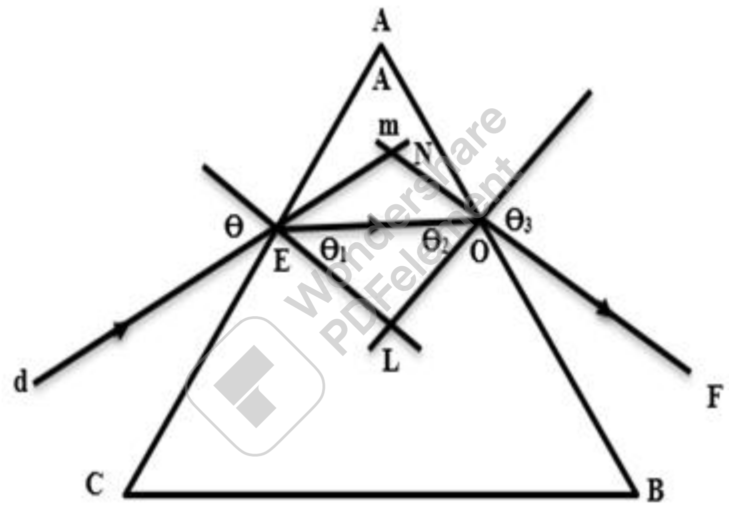


ومعنى ذلك ان النقطة E' تعاني إزاحة عرضية وازاحة راسية تتوقف قيمتها على اتجاه خط النظر.

انكسار الضوء خلال المنشور الثلاثي: -

المنشور الثلاثي هو جزء من وسط شفاف متجانس محدود بسطحين غير متوازيين، ويسمى المستقيم الذي يتقاطع فيه هذان السطحان او امتدادهما بحرف المنشور، كما تسمى الزاوية بينهما زاوية رأس المنشور.

فاذا فرضنا A B C يمثل المقطع الأساسي لمنشور ثلاثي من الزجاج زاوية رأسه A وان شعاعا ضوئيا dE يسقط على الوجه AC فانه ينكسر داخل المنشور مقتربا من العمود أي في الاتجاه EO ثم يخرج من الوجه AB في الاتجاه OF



الشعاع dE يعاني انحرافا عند كلا من النقطتين O, E وان الانحراف الكلى من اتجاه الشعاع dE ويقدر قيمة الزاوية بين امتداد الشعاعين dE، OF فاذا كانت $\theta_3, \theta_2, \theta_1, \theta$ هي زوايا السقوط والانكسار عند النقطتين E، O فان:

$$m\,\hat{E}\,O = \theta - \theta_1$$

$$m\,\hat{O}\,E = \theta_3 - \theta_2$$

ولكن زاوية الانحراف

$$m\,\hat{O}\,E + m\,\hat{E}\,O = N$$

$$N = \Theta - \Theta_1 + \Theta_3 - \Theta_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

من الشكل الرباعي A E L O:

$$A\,\hat{E}\,L + A\,\hat{O}\,L = 180$$

$$A + O\,\hat{L}\,E = 180 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

من المثلث O E L

$$\Theta_1 + \Theta_2 + O\,\hat{L}\,E = 180 \ldots\ldots\ldots (3)$$

من المعادلتين (3,2) نجد ان:

$$\hat{A} = \Theta_1 + \Theta_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

من المعادلتين (1,4) نجد ان:

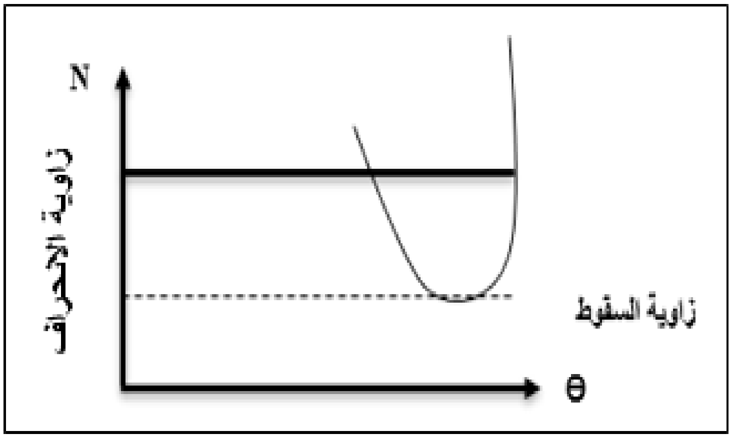
$$\hat{N} + \hat{A} = \Theta + \Theta_3 \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

النهاية الصغرى لزاوية الانحراف: -

زاوية الاحراف ($\hat{N}$) تتغير تبعا لتغير زاويتي السقوط والخروج نجد ان كلما زادت زاوية السقوط نقصت زاوية الانحراف بسرعة حتى تبلغ أصغر قيمة لها ثم تأخذ بعدها في الزيادة بالتدريج.

معنى هذا ان هناك قيمة لزاوية السقوط (Θ) تكون عندها زاوية الانحراف (N) اقل ما يمكن أي ان:

$$\frac{dN}{d\theta} = Zero$$



بتفاضل المعادلة (5) نجد ان:

$$\frac{dN}{d\theta} = 1 + \frac{d\theta_1}{d\theta} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

وحيث ان عند النهاية الصغرى للانحراف يكون

$$\frac{dN}{d\theta} = 0$$

$$\therefore \frac{d\theta_1}{d\theta} + 1 = \text{zero} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

وبتفاضل المعادلة (4) نجد ان

$$\frac{d\theta_2}{d\theta} + \frac{d\theta_3}{d\theta} = \text{zero} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

إذا كان معامل الانكسار لمادة المنشور μ

$$\mu = \frac{\sin\theta}{\sin\theta_1}$$

$$\sin\theta = \mu \ \sin\theta_1$$

بإجراء التفاضل

$$\frac{d}{d\theta}\sin\theta = \mu \frac{d}{d\theta}\sin\theta_1$$

$$\therefore \cos\theta = \mu\cos\theta_1 \frac{d\theta_1}{d\theta}$$

$$\therefore \frac{d\theta_1}{d\theta} = \frac{1}{\mu}\frac{\cos\theta}{\cos\theta_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

وبالمثل يمكن اثبات ان

$$\frac{d\theta_2}{d\theta_3} = \frac{1}{\mu}\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_3} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

ولكن:

$$\frac{d\theta_2}{d\theta} = \frac{d\theta_2}{d\theta_3}.\frac{d\theta_3}{d\theta} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. (11)$$

من المعادلتين (9,8) نجد ان:

$$\frac{1}{\mu}\frac{\cos\theta}{\cos\theta_1} + \frac{d\theta_3}{d\theta} = \text{zero} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

من المعادلات (12,11,10) نجد ان

$$\frac{1}{\mu}\frac{\cos\theta}{\cos\theta_1} + \frac{1}{\mu}\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_3}.\frac{d\theta_2}{d\theta} = zero \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. (13)$$

من المعادلات (13,7) نجد ان: -

$$\frac{1}{\mu}\frac{\cos\theta}{\cos\theta_1} - \frac{1}{\mu}\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_3} = \text{zero}$$

$$\frac{1-\sin^2\theta}{\sin^2\theta_1}-\frac{1-\sin^2\theta_2}{\sin^2\theta_3}=\text{zero}$$

$$\frac{1-\sin^2\theta}{1-\dfrac{1-\sin^2\theta}{\mu^2}}=\frac{1-\sin^2\theta_2}{1-\dfrac{1-\sin^2\theta}{\mu^2}}$$

$$(1-\sin^2\theta)(\mu^2-\sin^2\theta_2)=(1-\sin^2\theta_2)(\mu^2-\sin^2\theta))$$

$$(1-\mu^2)(\sin^2\theta-\sin^2\theta_2)=0$$

$$\sin^2\theta-\sin^2\theta_2=0$$

$$\sin^2\theta=\sin^2\theta_2$$

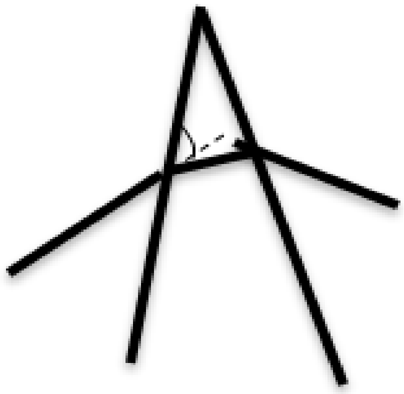
$$\therefore\ \theta=\theta_2\,,\theta_1=\theta_3$$

معنى هذا انه عند النهاية الصغرى للانحراف

$$A=2\theta_1, A+N=2\theta$$

$$\therefore\ \mu=\frac{\sin\dfrac{A+N}{2}}{\sin\dfrac{A}{2}}$$

اما إذا كانت زوية رأس المنشور صغيرة وكذلك الاشعة على سطح المنشور عمودية تقريبا فان زاوية الانكسار والانحراف تكون كذلك صغيرة أي ان

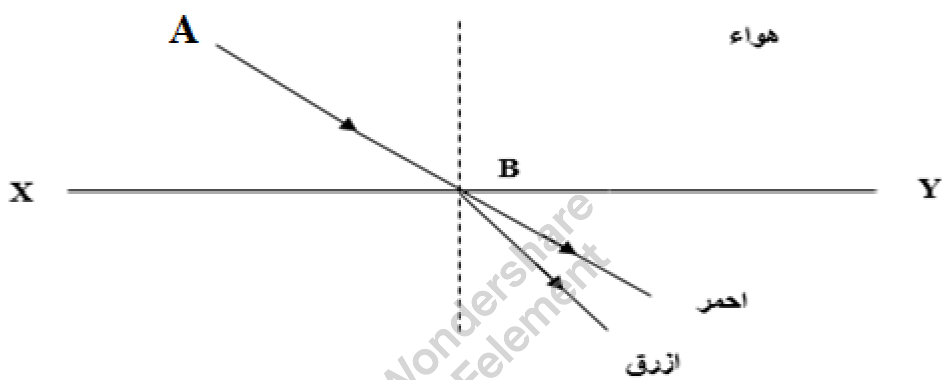


$$\mu=\frac{\dfrac{A+N}{2}}{\dfrac{A}{2}}=\frac{A+N}{A}=1+\frac{N}{A}$$

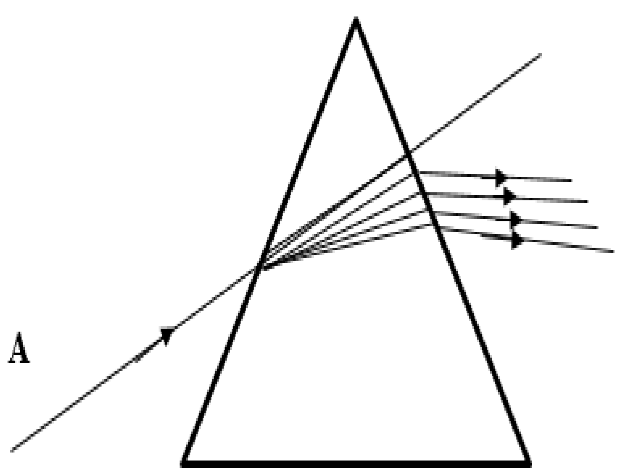
$$\therefore\ N=\ A\,(\mu-1)$$

تفريق الضوء بالانكسار: -

إذا فرضنا أن شعاعا ضوئيا ab يسقط من الهواء على سطح مستوي XY يفصل بين الهواء ووسط آخر كالزجاج فإن الشعاع المنكسر في الزجاج يعاني تفريقا أو تحليلا إلى الأشعة المكونة له وتسمي هذه الظاهرة التفرق اللوني او التشتت اللوني وهي نتيجة اختلاف معامل انكسار الوسط بالنسبة للون الضوء ومعني هذا أن زاوية انكسار اللون البنفسجي تكون اقل من زاوية انكسار اللون الأحمر أي ان انحراف الشعاع البنفسجي يكون أكبر من انحراف الشعاع الأحمر.



وتسمي مجموعة الالوان الناتجة من التشتت الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي- بطيف المصدر المنبعث منه الضوء. كما يسمي الفرق بين زاويتي انحراف اي لونين في الطيف بالتفرق الزاوي لذلك اللونين وتتوقف هذه الزاوية على طبيعة الوسط الذي يحدث فيه الانكسار.

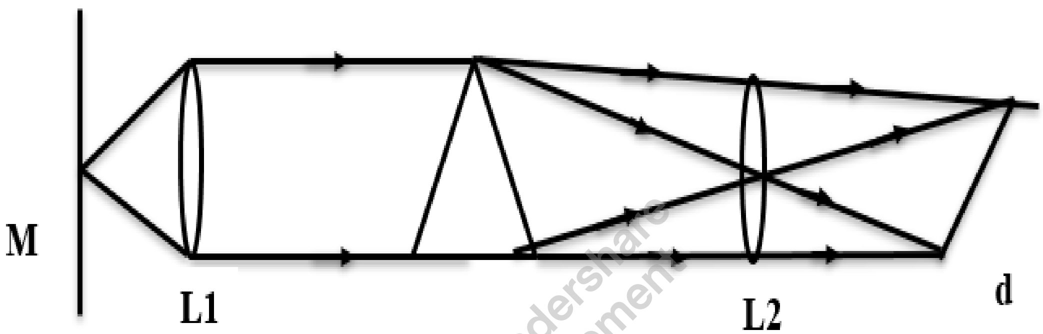


ويزداد التفريق الزاوي في حالة المنشور كما بالشكل وذلك نتيجة انحراف الاشعة عند كلا من سطحي المنشور.

ومن الجدير بالذكر أنه إذا كان الضوء الساقط على المنشور على هيئة حزمة

متفرقة فإن كلا من الأشعة المكونة للطيف تخرج من المنشور علي هيئة حزمة متفرقة كذلك ومعني هذا أن الألوان تتداخل أحدها في الأخر.

وللحصول على طيف نقي يوضع مصدر الضوء في بؤرة عدسة لامه L_1 حتى تكون الاشعة الساقطة على المنشور متوازية وبذلك تكون زاوية الانحراف واحدة للأشعة التي لها لون واحد - أي أن الأشعة المكونة للطيف تكون كذلك متوازية وتعمل العدسة L_2 على تكوين صورة واضحة لكل من ألوان الطيف على الحاجز(d) الذي يوضع في المستوي البؤري كما بالشكل



<u>قوة التفريق: -</u>

في حالة المنشور الرقيق يمكن التعبير عن زاوية الانحراف بالمعادلة الآتية

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

حيث μ معامل انكسار مادة المنشور

فإذا كانت زاوية انحراف اللون البنفسجي N_b وزاوية انحراف اللون الاحمر N_R فإن

$$N_b = A(\mu_b - 1)$$

$$N_R = A(\mu_R - 1)$$

حيث μ_b،μ_R هما معاملا انكسار الاشعة البنفسجية والحمراء في مادة المنشور أي أن التفريق الزاوي للونين الاحمر والبنفسجي يعطي بالمعادلة

$$N_b - N_R = A(\mu_b - \mu_R)$$

$$E = \frac{N_b - N_R}{N}$$

حيث N زاوية الانحراف للون الاوسط في الطيف.

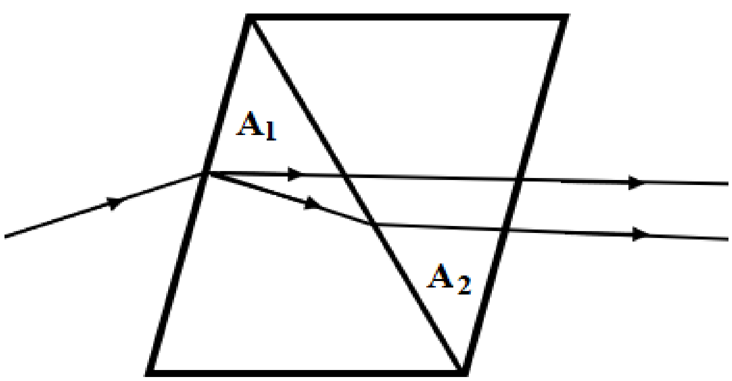
فإذا كانت **μ** متوسط معامل الانكسار للونين البنفسجي والاحمر فإن قوة تفيق المنشور للضوء تعطي بالمعادلة

$$E = \frac{N_b - N_R}{(\mu - 1)}$$

يتضح من المعادلتين السابقتين انه بينما يتوقف التشتيت الزاوي علي زاوية رأس المنشور وعلى طبيعة المادة المصنوع منها فإن قوة التشتيت تتوقف فقط على طبيعة المادة المصنوع منها المنشور.

<u>مجموعة لا لونيه من منشورين: -</u>

يمكن التغلب على التفريق الذي يحدثه المنشور باستخدام منشورين رقيقين مختلفي الزاوية ومصنوعين من مادتين مختلفتين كالزجاج التاجي والزجاج الصخر يمثلا في هذه المجموعة يوضع المنشوران متلاصقان بحيث يبطل أحدهما التفريق الزاوي الحادث بفعل الآخر وتسمي المجموعة في هذه الحالة بالمجموعة اللالونية وذلك لان الضوء ينفذ منها دون أن يعاني تفريقا لونيا.



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

$$(N_b - N_R)_1 = A_1 (\mu_b - \mu_R)_1 \dots \dots \dots \dots \dots \dots (1)$$

وزاوية التفريق لنفس اللونين في المنشور الثاني هي

$$(N_b - N_R)_2 = A_2 (\mu_b - \mu_R)_2 \dots \dots \dots \dots \dots \dots (2)$$

وان شرط تعادل زاويتي التفريق هو أن

$$(N_b - N_R)_1 + (N_b - N_R)_2 = 0 \dots \dots \dots \dots \dots \dots (3)$$

$$(N_b - N_R)_1 = -(N_b - N_R)_2 \dots \dots \dots \dots \dots \dots (4)$$

ومعني الاشارة السالبة في الطرف الايمن هو أن المنشورين يجب أن يكونا متعاكسين من المعادلة 4 والمعادلتين 1, 2 نستنتج أن شرط المجموعة اللونية هو

$$A_1 (\mu_b - \mu_R)_1 = A_2 (\mu_b - \mu_R)_2$$

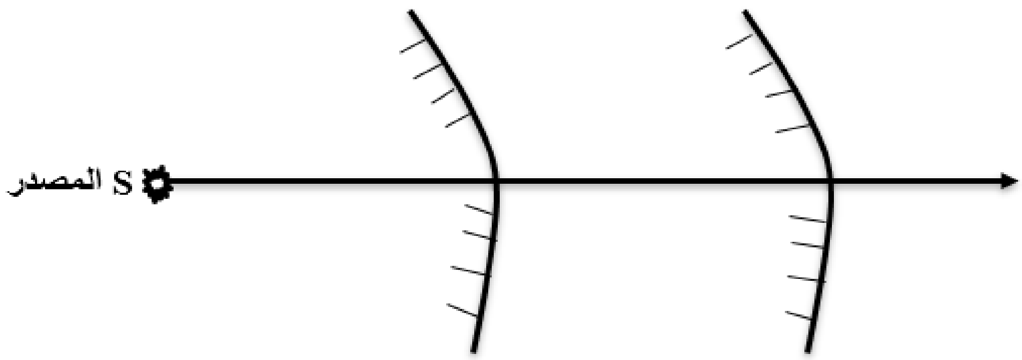
ومن الجدير بالذكر أن الانحراف الكلي في هذه المجموعة يعطي بالمعادلة

$$N = N_1 - N_2 = A_1 (\mu - 1) - A_2 (\mu - 1)$$

النظرية الموجية وطبيعة الضوء: -

كان من المعتقد قديما ان الضوء يتكون من سيل من الجسيمات الدقيقة تحرج من المصدر وتسير في خطوط مستقيمة كما ان لها القدرة على انفاذ من خلال الاجسام الشفافة والانعكاس على السطوح المصقولة. وقد أمكن بواسطة النظرية الجسيمية التي وضعها نيوتن من تفسير بعض ظواهر الضوء المعروفة مثل الضوء وتساوى زاوية السقوط بزاوية الانعكاس، كما فسرت ظاهرة الانكسار، ولكنها عجزت عن تفسير ظاهرة التداخل، والتي يمكن مشاهدتها بسهولة لو أحضرنا قطعة من الورق الاسود واحدثنا به ثقبين متقاربين البعد بينهما صغير ثم وضعنا خلفها مصدر ضوئي وامامها على بعد يقترب من مترين حائل فأننا نرى هدبا مضيئة ومعتمة على التعاقب. وقد فشلت ايضا النظرية الجسيمية من تفسير حيود الضوء عن المسار في خطوط مستقيمة عندما تمر بأحرف مستقيمة لحاجز معتم وكذلك فشلت في تفسير الضوء عند مروره في بعض المواد المتبلورة الشفافة.

وضع "هيجنز" النظرية الموجية للضوء وفيها فرض ان الضوء ينتشر من المصدر على شكل امواج مركزها الجسم المضيء ويختلف لون الضوء تبعا لاختلاف طول هذه الامواج. وشبه انتشار الموجات الضوئية من المصدر بانتشار التموجات التي تنشأ في الماء عند سقوط جسم صغير فيه. اذ انتشر على شكل دوائر متحدة المركز يمثل كل منها صدر الموجة عند لحظة معينة. وفرض "هيجنز" ان كل نقطة على صدر الموجة تعمل هي الاخرى كمصدر ثانوي يرسل موجات كرية في جميع الاتجاهات في الوسط. ويكون السطح المغلف لجميع هذه الموجات هو صدر الموجة ويسمى الخط العمودي على صدر الموجة بالشعاع ويعين اتجاه انتشار الضوء. ويكون صدر الموجة كرية عندما يكون المصدر نقطيا، ويكون اسطوانيا عندما يكون المصدر أسطواني الشكل، كما يكون مستويا عند انبعاث الضوء من سطوح متساوية.



انعكاس الامواج المستوية على السطوح المستوية: -

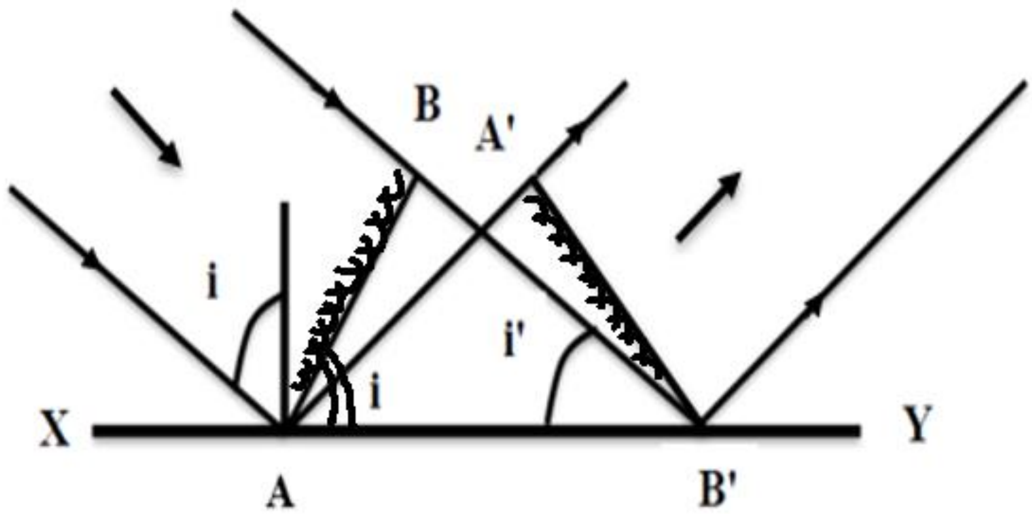
يبعث أي مصدر ضوء بعيد امواجا كرية ذات اقطار كبيرة يمكن معها اعتبار أي جزء من هذه الامواج على انه مستوى. فالشمس مثلا ترسل امواجا مستوية ويمثلها لذلك اشعة متوازية.

نفرض ان XY سطحا مستويا عاكسا سقطت عليه موجة مستوية AB بزاوية سقوط i وتعرف زاوية السقوط في النظرية الموجية بانها الزاوية الواقعة بين صدر الموجة والسطح. تصل النقطة A من صدر الموجة اولا الى السطح فتعمل كمصدر ضوء يرسل موجات في اتجاه A A′ عندما تصل النقطة B من صدر الموجة الساقطة الى السطح العاكس XY عند 'B، وتكون النقطة A قد ارسلت موجة نصف قطرها A A′ ويصبح بذللك صدر الموجة المنعكس 'A B. ونظرا لان الانعكاس يتم في نفس الوسط لذلك تكون

$$A\,A' = B\,B'$$

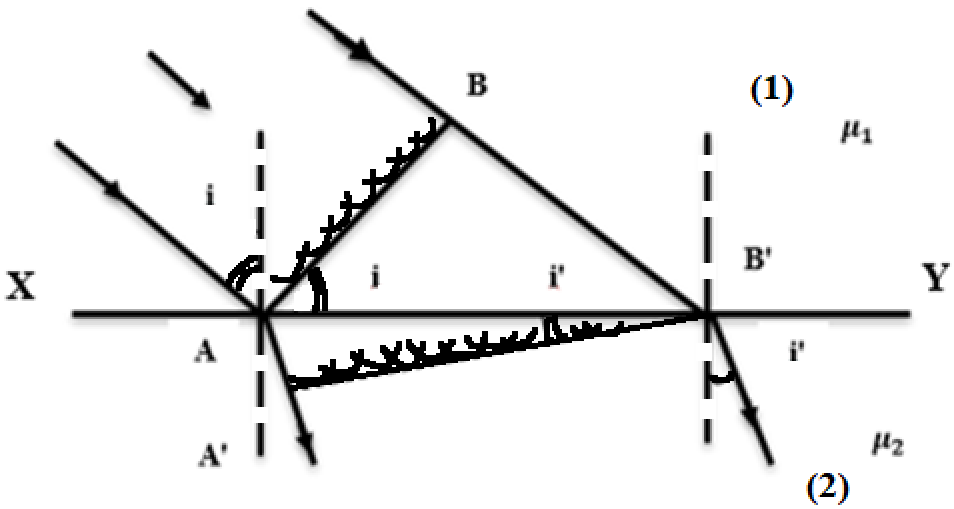
نفرض ان زاوية الانعكاس وهي الزاوية بين صدر الموجة المنعكسة والسطح هي i'، ومن هندسة الشكل وتطابق المثلثين 'A A' B'،A B B يمكن اثبات ان زاوية السقوط i تساوي زاوية الانعكاس i'.

وإذا اعتبرنا الشعاع الساقط والمنعكس والعمود على السطح، نجد انهم جميعا في مستوى عمودي على السطح العاكس.



انكسار الأمواج المستوية على السطوح المستوية: ـ

عندما تمر موجة ضوء مستويه من وسط إلى آخر عبر سطح مستوي يحدث انكسار للضوء وتكون النسبة بين جيب زاوية السقوط i وجيب زاوية الانكسار i ثابتة للوسطين أيا كانت زاوية السقوط وتسمي هذه النسبة معامل الانكسار النسبي للضوء من الوسط الاول الي الوسط الثاني ولإثبات ذلك نفرض سطحا فاصلا بين وسطين XY يسقط عليه موجة ضوء مستوي AB تصل النقطة A من صدر الموجة أولا الي السطح فتعمل عمل مصدر ضوء ثانوي في الوسط الثاني وترسل فيه موجات كريه.



عندما تصل النقطة B من صدر الموجة الساقطة للنقطة 'B تكون A قد ارسلت موجات 'A A تختلف سرعة الضوء من الوسط (1) عنها ف الوسط (2) ولكن زمن قطع المسافة 'A A هو نفسه زمن انتقال الضوء من B الى'B وعلي ذلك تكون :

$$V_2 = \frac{A\,A'}{t}, \qquad V_1 = \frac{B\,B'}{t}$$

حيث (V_2, V_1) هما سرعتا الضوء في الوسطين (2,1) وبذلك يكون

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{B\,B'}{A\,A'} = \mu_{12}$$

حيث النسبة بين سرعتي الضوء في الوسطين تساوي معامل الانكسار النسبي من الاول الي الثاني

ومن هندسة الشكل نجد ان

$$\sin i = \frac{B\,B'}{A\,B'}, \qquad \sin i' = \frac{A\,A'}{A\,B'}$$

وعلي ذلك يكون

$$\frac{V_1}{V_2} = \mu_{12} = \frac{\sin i}{\sin i'}$$

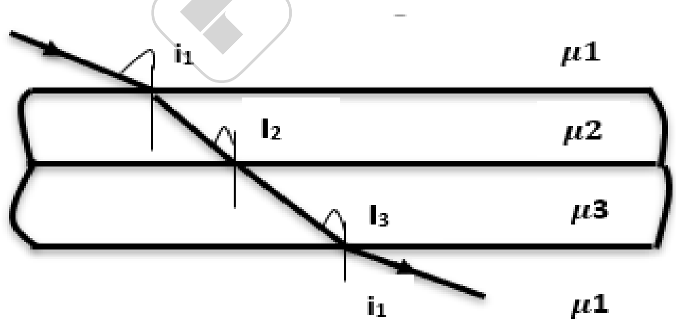
وإذا كان معامل الانكسار المطلق للوسط الاول هو μ_1 وللوسط الثاني هو μ_2 ويكون معامل الانكسار النسبي

$$\mu_{12} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\sin i}{\sin i'}$$

وبذلك يكون

$$\mu_1 \sin i = \mu_2 \sin i$$

اي ان حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق للوسط الاول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار فيه ويسمي هذا بقانون "سنيل" وهو صحيح لاي عدد من الاوساط المتتابعة المحدودة بأسطح مستوية ويلاحظ ان الشعاع إذا عاد الي نفس الوسط مرة ثانيه بعد عدة انكسارات متعاقبة فإنه يخرج موازيا لاتجاهه الاصلي.



<u>انحناء الامواج وقاعدة الإشارات: -</u>

يقاس انحناء السطح الكري بالزوايا النصف قطرية وتعرف الزاوية النصف قطرية بالزاوية المحصورة بين نصف قطرين في دائرة طول كل منهما الوحدة وطول القوس المحصور بينهما الوحدة وتستخدم وحدة تساوي ٠,٠٠١ من الزاوية النصف قطرية تسمي الديوبتر وهي انحناء قوس

طوله ١ سم ونصف قطره متر وتستعمل وحدة الديوبتر لتحديد انحناء الامواج الصادرة عند مصدر ضوء أو المتجمعة لتكوين صوة كما تستخدم في تعريف السطوح المنحنية.

الأمواج الصادرة من مصدر ضوئي تكون متفرقه لان قطرها يزداد كلما بعدنا عن المصدر وبذلك يقل انحناؤها وتكون اشارة انحناء الامواج المتفرقة دائما سالبة أما الامواج التي تتجمع تتكون صورة حقيقيه للمصدر فتسمي امواجا متجمعة وتكون اشارة انحناؤها دائما موجبة ويكون انحناء الامواج المستوية والسطوح المستوية صفرا ويعرف تمايل الموجه سواء أكانت متفرقة أو متجمعة بأنه حاصل ضرب انحنائها في معامل انكسار الوسط الذي تسير فيه الموجه.

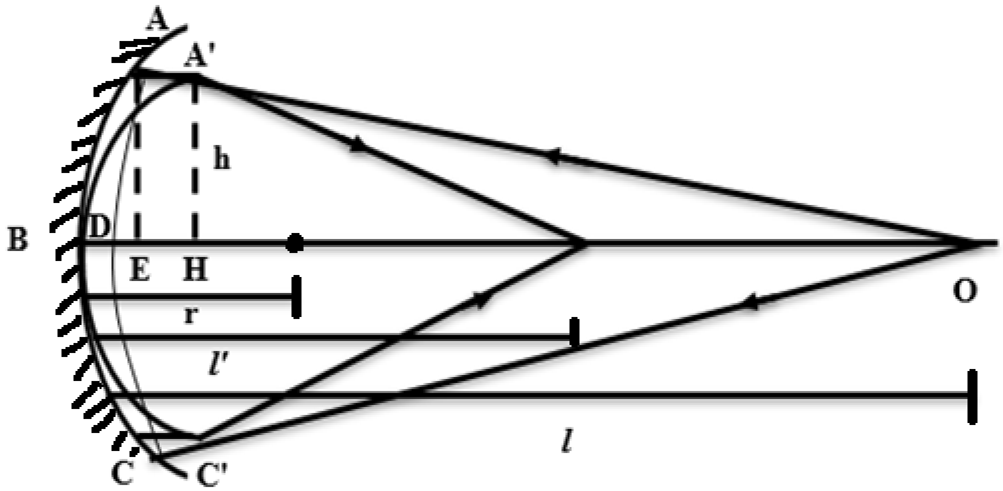
اما بالنسبة لإشارة السطوح عاكسه او كاسره تكون الإشارة موجبه إذا كان السطح يجمع الاشعة وتكون سالبة إذا كان السطح يفرقها فالسطح المقعر العاكس يكون موجبا بينما يكون انحناء المرآه المحدبة سالبا.

<u>انعكاس امواج كريه على سطح كري: -</u>

نفرض مصدرا ضوئيا عند النقطة O التي تبعد مسافة l مترا عن مرآه مقعرة A B C نصف قطرها r ويكون انحناء الموجه الساقطة L هو مقلوب البعد بالأمتار واشارته سالبه وتمثل A D C صدر الموجه الساقطة كما أن انحناء السطح العاكس هو مقلوب نصف القطر بالأمتار ويقدر بالديوبتر أي أن $\mathrm{R} = \frac{1}{\mathrm{r}}$ واشارته موجبه.

عند انعكاس صدر الموجه الساقطة A D C علي المرآه تصل النقطتين C, A أولا للمرآة وفي الزمن الذي تصل فيه النقطة D للمرآه أي عندما تكون قد قطعت في الهواء مسافة قدرها DB تكون النقطتان C, A قد أرسلا موجتين طول نصف قطريهما $\mathrm{A\,A^{-}}$ $\mathrm{C\,C^{-}}$ وبالتالي يكون

$\mathrm{A\,B} = \mathrm{A\,A^{-}} = \mathrm{C\,C^{-}}$ ويكون بذلك صدر الموجه المنعكس هو $\mathrm{AB\,C^{-}}$ وتتجمع الصورة في I التي تبعد عن مركز المرآه المسافة l^{-} مترا.



من هندسة الشكل نجد أن

$$A\,A^{-} = E\,H = B\,H - B\,E$$

أيضا:

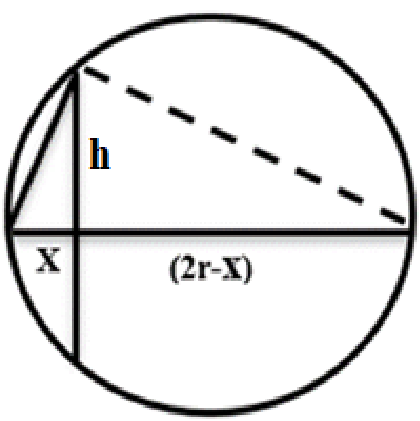
$$B\,D = B\,E - E\,D$$

وبذلك يكون

$$B\,H - B\,E = B\,E - E\,D$$

$$B\,H + E\,D = 2\,B\,E \,..........\, *$$

وباستخدام النظرية الهندسية حيث



$$h^2 = X(2r - X)$$

$$= 2rX - X^2$$

وبإهمال X^2 لصغرها يكون

$$h^2 = 2rX \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots **$$

$$X = \frac{h^2}{2r}$$

وبالتعويض في المعادلة * باستخدام المعادلة ** نحصل علي

$$\frac{h^2}{2\, l^-} + \frac{h^2}{2l} = 2\frac{h^2}{2r}$$

$$\frac{1}{l^-} + \frac{1}{l} = \frac{2}{r}$$

لكل انحناء الموجه الساقطة سالب لتفرق الاشعة الصادرة من الجسم o أي أن

$$L = \frac{1}{l}$$

كما أن انحناء الموج المنعكسة موجب لتجمع الأشعة لتكون الصورة عند I أي أن

$$L^- = \frac{1}{l^-}$$

وانحناء المرآه R موجب ويساوي $\frac{1}{t}$ وبذالك تكون معادله الانعكاس على السطح الكري هي

$$L^- - L = 2R \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots ***$$

وعند سقوط موجه مستويه اي اشعه متوازية انحناؤها صفر يكون بذلك تمايل الأشعة المنعكسة هو قوة المرآه F وبذلك يكون

$$F = 2R$$

وتتجمع الأشعة المتوازية في بؤره المرآه على بعد f من قطبها حيث f=r/2 اي انها تتجمع في منتصف المسافة بين مركز تكور المرآه C وقطبها B وبذلك تصبح المعادلة ***

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

أي ان التمايل الابتدائي + قوة المرآه = التمايل النهائي

وتستخدم نفس هذ المعادلة في حالة الانعكاس على المرآه المحدبة مع مراعاة وضع الاشارات المناسبة.

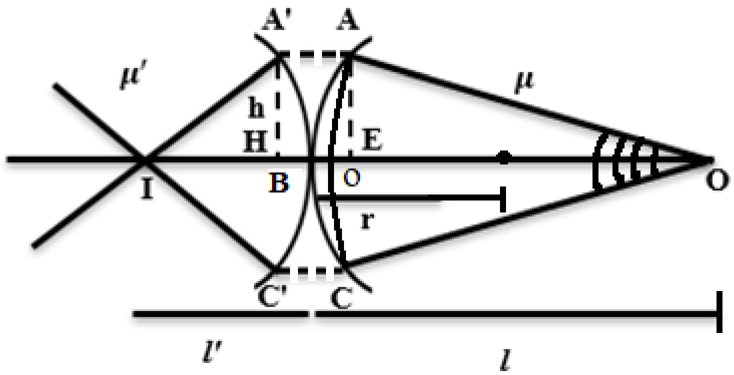
التمايل: -

يعرف تمايل موجه ضوئية بحاصل ضرب انحناء هذه الموجه في معامل انكسار الوسط الذي تنتشر فيه.

انكسار امواج كرية على سطح كرى: -

نفرض ان A B C سطحا كريا نصف قطره r، يفصل بين وسطين معاملا انكسارهما μ^{-} ، μ على الترتيب. ونفرض صدرا ضوئيا عند نقطة O في الوسط الاول يرسل امواجا كرية يكون صدر الموجة عند السطح A B C هو A D C، ويكون التمايل الابتدائي للموجة الساقطة $nl =$ $-(\frac{1}{l})\mu$ حيث l هو بعد المصدر عن السطح، والاشارة سالبة لان الاشعة تخرج متفرقة من المصدر.

تبدأ النقطتان A ، C من صدر الموجة الساقطة في الانتقال في الوسط الثاني بينما لا تزال النقطة D متجهة الى النقطة B عند السطح، ترسل كل من A، C موجتين الى A^{-} ، C^{-} في الوسط الثاني في نفس الزمن الذى تصل فيه النقطة D الى B كما بالشكل.



وبذلك يكون صدر الموجة المنكسرة التي تنتقل في الوسط μ^- هو $A^- \; B \;\; C^-$ وتتجمع عند النقطة I التي تبعد مسافة l^- من السطح لتكون الصوره.

التمايل النهائي للأشعة $\mu^- \; L^- = \mu^- (\frac{1}{l^-})$ وإشارته موجبه إذ أن الأشعة متجمعة.

إذا كانت سرعة الضوء في الوسط الأول V وفي الثاني V^- يكون

$$\frac{V}{V^-} = \frac{B\,D}{A\,A^-}$$

لكن النسبة بين سرعة الضوء في الوسط الأولي إلى سرعة الضوء في الوسط الثاني كالنسبة بين معامل انكسار الوسط الثاني الي معامل انكسار الوسط الأول أي أن سرعة الضوء تتناسب عكسيا مع معامل الانكسار وعلى ذلك يكون:

$$\frac{B\,D}{A\,A^-} = \frac{\mu^-}{\mu}$$

ومن هندسة الشكل نجد ان

$$\frac{B\,E - D\,E}{B\,E + B\,H} = \frac{\mu^-}{\mu}$$

باستخدام النظرية الهندسية (**)

$$\mu^{-}\left(\frac{h^2}{2r}+\frac{h^2}{2l}\right)=\mu\left(\frac{h^2}{2r}+\frac{h^2}{2l^{-}}\right)$$

$$-\frac{1}{r}(\mu^{-}-\ \mu)-\frac{\mu}{l}=\frac{\mu^{-}}{l^{-}}$$

وبذلك تكون معادلة التمايل للأشعة هي

$$R(\mu^{-}-\ \mu)+\mu L=\mu^{-}L^{-}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ \blacksquare$$

ويلاحظ هنا أن السطح مقعر بالنسبة لاتجاه الأشعة ولذلك يكون انحناؤها سالبا أي $R=-\frac{1}{r}$

وكذلك يكون تمايل الأشعة الساقطة حيث إنها متفرقة ونستخدم المعادلة ■ لإيجاد تمايل الصورة إذا علم تمايل الأشعة الساقطة من الجسم وانحناء السطح ومعامل انكسار الوسطين.

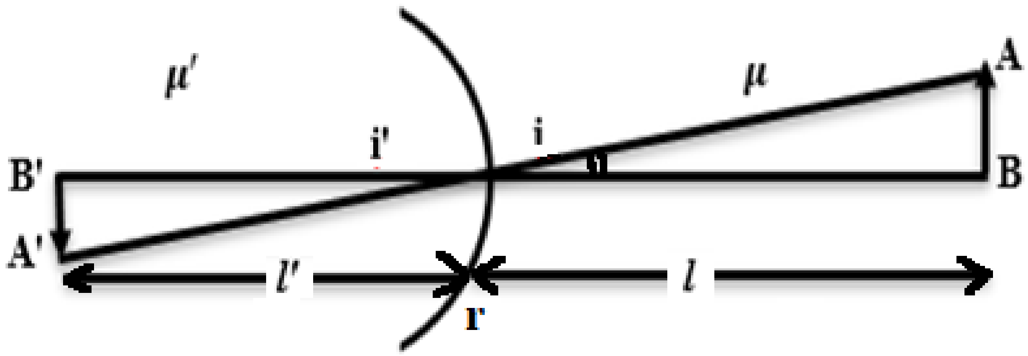
وإذا سقطت موجه مستويه تمايلها صفر علي السطح يساوي تمايل الأشعة المنكسرة قوة السطح ويصبح:

$$F=\mu^{-}L^{-}=R(\mu^{-}-\mu)$$

وبذلك تكون المعادلة العامة للانكسار على السطوح المنحنية هي

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

ولإيجاد التكبير نفرض أن طول الجسم A B، وأنه على بعد من السطح وأن طول الصورة $A^{-}B^{-}$ وأنها تكونت على بعد l^{-} من السطح.



من هندسة الشكل يكون

$$\frac{\sin i}{\sin i^{-}} = \frac{\mu^{-}}{\mu}$$

حيثμ , μ^{-} معاملا لانكسار الوسطين الذين يفصل بينهما السطح الكاسر

أي أن

$$\frac{\mu\, L}{\mu^{-} L^{-}} = \frac{A^{-} B^{-}}{A\, B} = m$$

أي أن m ويساوي طول الصورة مقسوما على طول الجسم يعادل النسبة بين التمايل الابتدائي للأشعة الي التمايل النهائي لها.

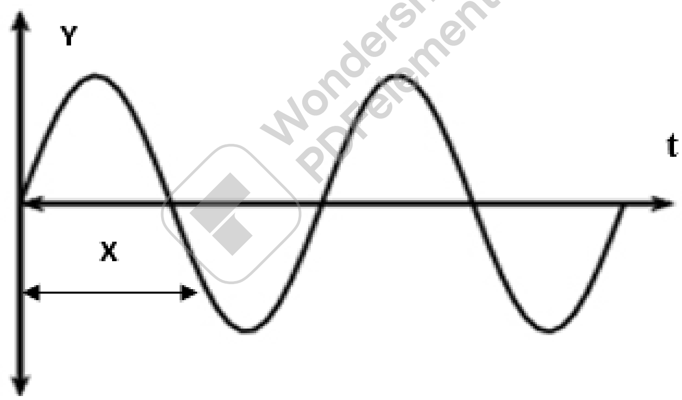
نظرية الحركة الموجية: ـ

ينتشر الضوء من مصدره على هيئة أمواج نتيجة لتغيرات الدورية في كل من المجال الكهربي والمجال المغناطيسي عند أي نقطه من نقط الوسط المحيط بالمصدر الضوئي بذلك فأنه يمكن تمثيل الموجه بالمعادلة:

$$y = a \ \sin \frac{2\pi}{\lambda}(Vt - x) \ldots \ldots \ldots \ldots (1)$$

حيث a سعة الاهتزازة، **λ** الطول الموجي v سرعة تحرك الموجه في الاتجاه الموجب x.

وتسمي هذه الموجه بالموجه التوافقية البسيطة كما بالشكل وهذه المعادلة تشمل على ثلاث متغيرات هما t, x, y.



ويمكن كتابة المعادلة (1) بهذه الصورة:

$$y = a \ \sin \frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (1^{-})$$

or

$$y = a \ \sin \frac{2\pi}{\lambda}\left(t.F - \frac{x}{\lambda}\right) \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (1^{-})$$

حيث T زمن الدورة، F تردد الحركة الدورية.

وإذا فرضنا أن

$$\delta = \frac{2\pi x}{\lambda}$$

فإنه يمكن تمثيل الموجه الضوئية الموضحة بالمعادلة 1^{-} بهذه المعادلة:

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

وتسمي الزاوية $\left(\frac{2\pi t}{T} - \delta\right)$ بزاوية الطور والزاوية δ بفرق الطور بين نقطتين تفصلهما مسافة x أي أن إذا أمكن تمثيل الحركة الموجية عند نقطه ما في الوسط نتيجة انتشار موجه ضوئية بالمعادلة:

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

فإن معادله الحركة الموجية عند نقطه أخريفي الوسط تبعد عن الأولي مسافة $\boldsymbol{\lambda}$ هي:

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

وبالمثل تكون معادله الحركة عند النقطة تبعد مسافة 2λ عن النقطة الاولي هي:

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

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

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

من ذلك يتضح ان:

$$y = y_1 = y_2 = \cdots \dots \dots \dots \dots = y_m$$

ويقال عندئذ أن هذه النقطة تتحرك طور واحد.

<u>المعادلة التفاضلية للموجه التوافقية البسيطة: -</u>

$$y = a\ \sin\frac{2\pi}{\lambda}(Vt - x) \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (1)$$

وبإجراء التفاضل على المعادلة (1)

مره بالنسبة للزمن t مع ثبوت x ومره اخري بالنسبة للمسافة x للمسافة مع ثبوت الزمن t فإننا نحصل على ما يلي:

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

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{2\pi}{\lambda} a\ \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right) \dots \dots \dots \dots (3)$$

وبمقارنة المعادلتان ينتج أن:

$$\frac{dy}{dt} = -v\ \frac{dy}{dx}$$

أي أن سرعة جزئ يبعد مسافة x من نقطة الأصل = سرعة انتشار الموجة * ميل الموجه X

وبتفاضل كل من المعادلتين (3,2) مره اخري نحصل على

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

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

بمقارنة المعادلتان الاخيرتان ينتج ان

$$\frac{d^2y}{d\,t^2} = v^2\frac{d^2y}{d\,x^2} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

المعادلة (4) تمثل المعادل التفاضلية للحركة الموجية والجذر التربيعي لمعامل $\frac{d^2y}{d\,x^2}$ يعطي دائما مقدار سرعة الموجه

طاقة الموجه:

إذا اعتبرنا ان المعادلة (١) تمثل معادلة الموجه وأن ρ تمثل كثافة الوسط (كثافة وحدة الحجوم) فان مقدار الطاقة الحركية لوحدة الحجوم تعطي بهذه المعادلة

$$K.E = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

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

ولإيجاد طاقة الوضع(P.E) نفترض حدوث إزاحة عند الموضع المتوسط بمقدار dy وبالتالي فان مقدار الشغل الذي يبذله الجسم ليعود الي وضعه الاصلي يعطي بهذه العلاقة:

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

إذا الشغل الكلي المبذول عند حدوث الإزاحة (y) أي مقدار طاقة الوضع (P.E) يعطي بالمعادلة:

$$P.E=\int_0^y \rho\,\frac{4\pi^2 v^2}{\lambda^2}y.dy=\frac{1}{2}\,\rho.4\frac{\pi^2 v^2}{\lambda^2}y^2$$

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

إذا مقدار الطاقة الكلية لوحدة الحجوم تعطي بالمعادلة

$$K.E+P.E=\frac{1}{2}\,\rho.4\frac{\pi^2 v^2}{\lambda^2}a^2 \dots\dots\dots\dots\dots\dots (5)$$

من المعادلة (5) يتضح أنه بالرغم من ان كلا من طاقة الوضع وطاقة الحركة يعتمدا على x,t الا ان مقدار الطاقة كما هو موضح من المعادلة يكون دائما مقدار ثابت كما ان طاقة الجسم المتكونة منه الموجه يتناسب طرديا مع مربع السعه وعكسيا مع مربع الطول الموجي

مثال:

موجه توافقيه بسيطة تتحرك في الاتجاه الموجب للمحور(x) سعتها ٥ سم وسرعة انتشارها ٤٠ سم/ث وترددها ٦٠ ذبذبة/ثانية. احسب كلا من الازاحة وسرعة الجسم الذي يبعد مسافة ٤٠ سم عن نقطة الاصل بع زمن يساوي ٢ ثانية.

الحل

الإزاحة تعطي بهذه العلاقة

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

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

$$y = 5\ \sin\frac{2\pi}{2/3}(80 - 40)$$

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

سرعة الجسم تعطي بهذه المعادلة

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

$$= 600\ cm / sec$$

<u>تراكب الأمواج: -</u>

مبدأ تراكب الأمواج يعتبر أساسا لتفسير كثير من الظواهر ومثال ذلك ظاهرة التداخل في الأمواج والموجات الموقوفة وهاتان الظاهرتان يمكنا ان تحدثا في جميع انواع الموجات سواء كانت هذه الموجات ضوئية او صوتيه او غير ذلك.

<u>أولا تداخل الأمواج: Interference of Wave</u>

إذا سرت موجتان في وسط ما فان كلا منهما تؤثر فيه مستقله عن الأخرى وتكون حركة اى جسم في الوسط هي محصلة الحركة الناشئة عن كلا منهما. تفرض ان لدينا مصدرين للموجات لها نفس التردد والسعة وينتشران في نفس الاتجاه بينما يختلفان في الطور. وهذه الأمواج يمكن تمثيلها كالاتي:

$$y_1 = a \sin(\omega t + \alpha) \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (6)$$

$$y_2 = a \sin(\omega t + \beta) \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (7\ )$$

حيث α, β طور الموجتان، (ω) السرعة الزاوية، (a) سعة الاهتزازة.

وتبعا لمبدأ التراكب فان محصلة إزاحة الجسم تحت تأثير الموجتان معا 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:

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

وبتطبيق هذه العلاقة فان:

$$y = 2a\cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\sin\left(\omega t + \frac{\alpha+\beta}{2}\right) \dots\dots\dots\dots (8)$$

وبمقارنة المعادلة (8) بالمعادلة (6)، (7) فإنه يتضح أن الموجه المحصلة تمثل موجه توافقيه بسيطة ولها نفس تردد الموجات الأصلية وسعتها تعطى بهذه المعادلة:

$$A = 2a\cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right) \dots\dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

وذات طور $(\varphi = \frac{\alpha+\beta}{2})$ حيث إن المعادلة (8) يمكن كتابتها على هذه الصورة:

$$y = A\sin(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots\dots (10)$$

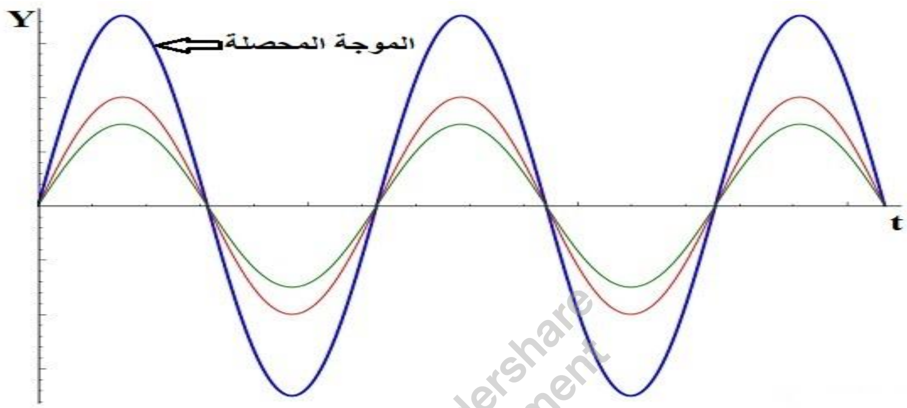
وهناك بعض الحالات الخاصة التي يجدر بنا ملاحظتها: -

(أ) إذا كانت

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

$$\therefore \alpha-\beta = 2n\pi \quad ; n = 0, 1, 2, \dots ..$$

في هذه الحالة تكون سعة الموجة المحصلة مساوية لضعف سعة الموجة الاصلية، أي انه يمكن القول بأن تداخل الأمواج يعتبر تداخلا بناء ويكون الضوء الناتج اقوى ما يمكن شكل (٢).



شكل (2)

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

$$\frac{\alpha-\beta}{2} = \frac{\pi}{2}, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \dots \dots \dots (n+\frac{1}{2})\pi$$

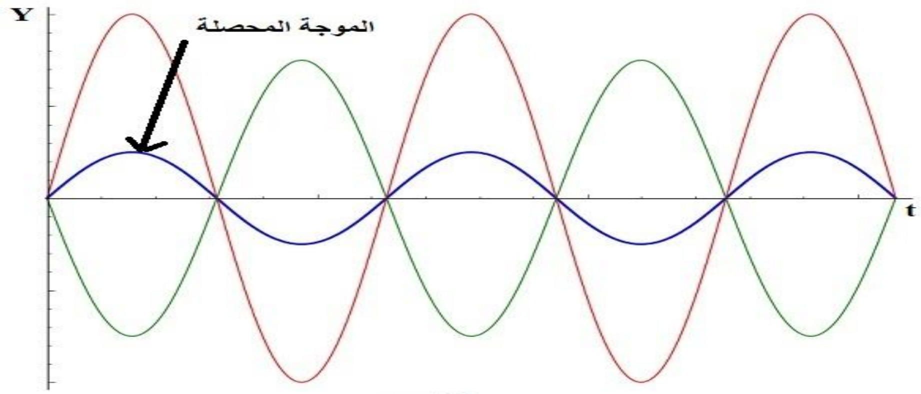
$$\therefore \alpha-\beta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots \dots \dots (2n+1)\pi$$

ويمكن كتابتها بصورة مبسطة

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

$$; n = 0, 1, 2, \dots \dots \dots$$

فان مقدار السعة في هذه الحالة يساوى صفر، أي ان السعة المحصلة تكون نهاية صغرى او اقل ما يمكن والتداخل يعتبر تداخلا هداما ويكون الضوء الناتج أضعف ما يمكن. شكل (٣)



شكل (3)

ثانياً الموجات الساكنة (الموقوفة):

إذا انعكست الأمواج المنتقلة من عاكس تام المرونة فإن الموجه المنعكسة تتداخل مع الموجة الساقطة وينتج عن هذا التدخل أن تظل بعض جزيئات الوسط بدون حركه وان الجزيئات الأخرى تهتز في وقت واحد بسعات مختلفة، فالحركة الموجية الناتجة في هذه الدله تسمي حركة موجية ساكنه أو موقوفه.

لدراسة الموجات الساكنة رياضيا نفترض ان الإزاحة عند نقطه تبعد عن مصدر بمقدار x هي y_1 وأن الإزاحة (عند نفس النقطة) الناشئة عن الموجه المنعكسة ى y_2 فاذا حدث الانعكاس بدون تغير في الطور فإن:

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

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

والازاحة الكلية

$$y = y_1 + y_2$$

$$= a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)\right] + a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t + x)\right]$$

$$= 2\,a\sin\frac{2\pi}{\lambda}\,.\,vt\cos\frac{2\pi}{\lambda}x \dots\dots\dots\dots\dots\dots (11)$$

وتبين من المعادلة (11) انه لجميع قيم t تكون الازاحة مساوية للصفر على بعد:

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

$$; n = 0, 1, 2, \dots\dots\dots$$

وهذه النقطة تكون فيها الازاحة مساوية للصفر تسمى بالعقد

وبوضع $n=1$ فإن $x = (3/4)\,\lambda$

وبوضع $n=2$ فإن $x' = (5/4)\,\lambda$

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

بالتالي يمكن القول بان المسافة بين عقدتين متتاليتين هي نصف طول موجي ($\frac{\lambda}{2}$)

اما عند البطون في الموجة الموقوفة فان

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

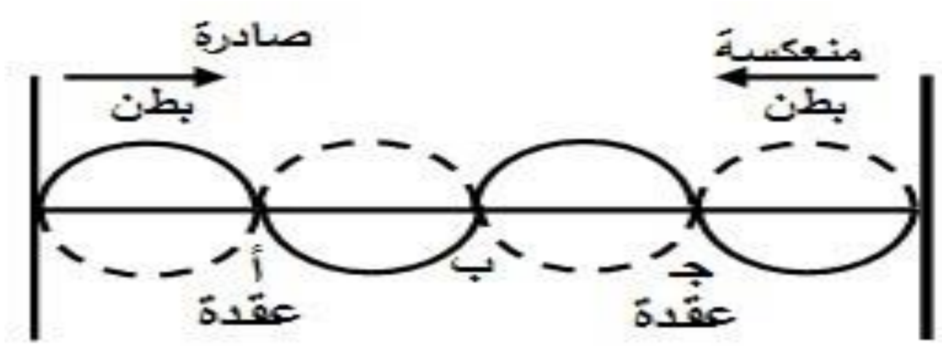
$$\frac{2\pi}{\lambda}x = 0, \pi, 2\pi, \dots\dots n\pi$$

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

إذا يمكن كتابة المعادلة بصورة عامة وهي

$$x = \frac{n}{2}\lambda \qquad ; n = 0, 1, 2, \dots\dots\dots$$

وكذلك الوضع فان المسافة بين بطنين متتاليين تكون مساوية نصف طول موجي. الشكل (٤) يمثل موجة موقوفة.

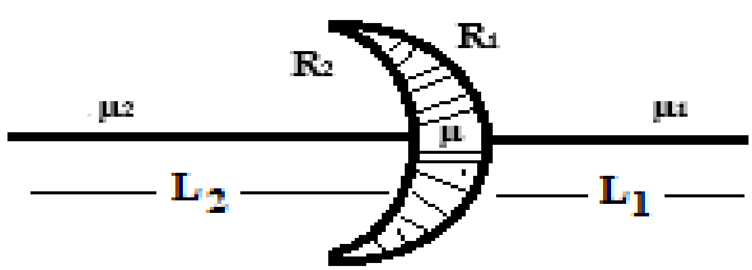


شكل (4)

العدسة الرقيقة:

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

ولإيجاد قانون العدسات نفرض عسة رقيقة انحناء سطحيها R_1, R_2 ومعامل انكسار مادته μ وضعت بين وسطين معامل انكساريهما μ_1, μ_2 كما في شكل (١).



شكل (1)

باستخدام المعادلة (*) نجد أن: قوة السطح الأول F_1 هي $F_1 = R_1(\mu - \mu_1)$ وقوة السطح الثانى F_2 هي $F_2 = R_2(\mu_2 - \mu)$

فإذا وضع جسم على بعد L متر من سطع العدسة الأولى يكون التمايل الابتدائي في الوسط الأول هو $(\mu_1 L_1)$، ويكون تمايل الموجة بعد تركها السطح الأول مباشرة هو (μL) 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 النهائي من السطح الأول تمايلا ابتدائيا للسطح الثاني

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

وذلك يكون:

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

وإذا رمزنا لمجموع قوتي سطحي العدسة بالرمز F حيث:

$$F = F_1 + F_2 \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (1)$$

تصبح المعادلة العامة للعدسات هي:

$$\mu_1 L_1 + F = \mu_2 L_2 \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (2)$$

وإذا كانت العدسة في الهواء يكون:

$$\mu_1 = \mu_2 = 1$$

وتصبح المعادلة:

$$L_1 + F = L_2 \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (3)$$

من المعادلة (1) نجد ان

$$F = F_1 + F_2$$

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

$$\therefore F = (\mu - 1)(R_1 - R_2) \dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

هذا بالنسبة للعدسة الهلالية الشكل كما في شكل (١) أما إذا كانت العدسة محدبة الوجهين مثلا، فنتبع قاعدة الإشارات بالنسبة لكل سطح على حده فانحناء السطح يكون موجبا إذا كان السطح محدبا بالنسبة لاتجاه الاشعة ويكون سالبا إذا كان مقعرا بالنسبة لاتجاه الأشعة. وعلى ذلك يكون انحناء السطح للعدسة المحدبة الوجهيين سالبا، وتصبح قوة العدسة الرقيقة محدبة الوجهين هي:

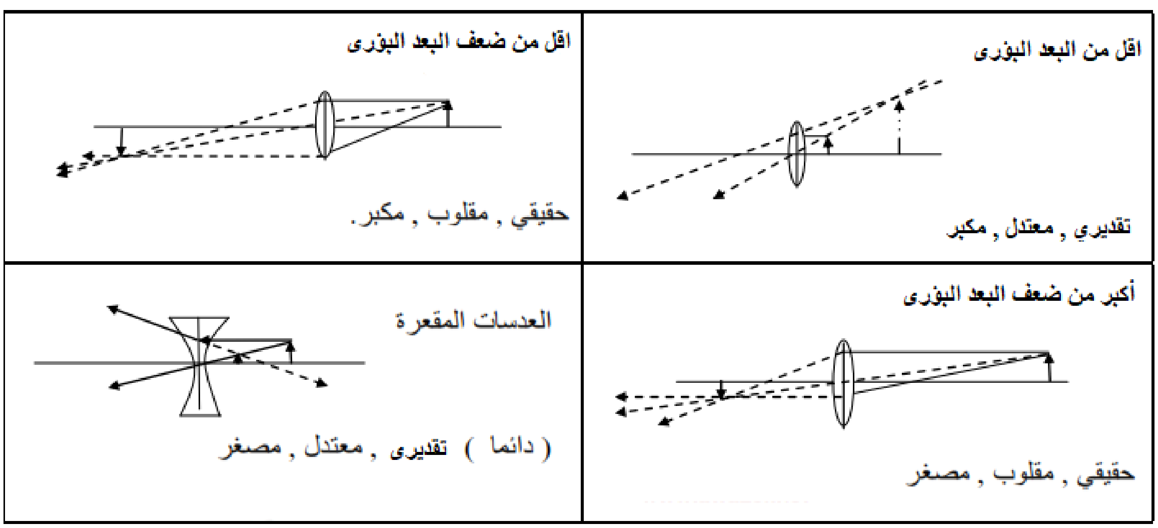
$$\therefore F = (\mu - 1)(R_1 + R_2) \dots\dots\dots\dots\dots (5)$$

الصورة المكونة بالعدسات:

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

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

ثانيا: الشعاع الساقط على العدسة ويمر بمركزها البصري ينفذ منها دون أن يغير اتجاهه. انظر شكل (٢)



شكل (2)

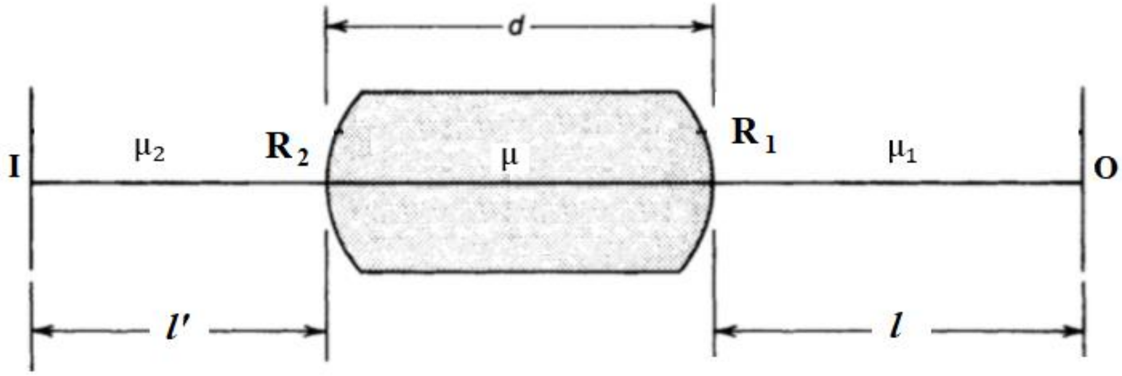
إذا كانت العدسة محدبة، ووضع الجسم على بعد منها أقل من بعدها البؤري، تتكون صورة تقديرية معتدلة مكبرة.

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، وإذا كان هذا البعد أكبر من ضعف البعد البؤري كانت الصورة مصغرة. وبديهي انه إذا كان الجسم على بعد نهائي من العدسة تكونت صورة صغيرة جدا على شكل نقطة موضعها بؤرة العدسة، أما إذا كانت العدسة مقعرة تكون صورة الجسم الموضوع امامها تقديرية في جميع الحالات.

العدسة السميكة:

تختلف العدسة السميكة عن العدسة الرقيقة في أن البعد بين سطحيها كبير. بالنسبة البعد الجسم وبعد السورة ولذلك لا يمكن اهماله. ويعامل عندئذ كل سطع على حدة. ويعتبر التمايل النهائي للأشعة بعد مرورها من السطح الأول تمايلا ابتدائيا، بالنسبة للسطح الثاني بعد أن ندخل في الاعتبار سمك العدسة: أي المسافة بين سطحيها.

نفرض أن R_2 , R_1 ها انحناء سطحي العدسة، وأن المسافة بينهما هي d ومعامل انكسار مادة العدسة هي μ. ونفرض أن السطح الأول يلامس وسطا معامل انكساره μ_1. وأن السطح الثاني يلامس وسطا أخر معامل انكساره μ_2 شكل (٣).



شكل (3)

تكون قوة السطح الاول F_1 هي:

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

وتكون قوة السطح الثانى F_2 هي:

$$F_2 = R_2(\mu_2 - \mu)$$

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

$$\mu L_1 = \mu_1 L + F_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

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

بعد الصورة عن السطح الأول يساوى:

$$\frac{l_1}{\mu} = \frac{1}{\mu L_1}$$

يكون بعد الصورة عن السطح الثاني هو:

$$\frac{l_2}{\mu} = \frac{l_1}{\mu} - \frac{d}{\mu}$$

حيث $(l_2 = l_1 = d)$ وتعتبر هذه الصورة جسما بالنسبة للسطح الثاني للعدسة يبعد مسافة (l_2)

عن هذا السطح. ويكون بذلك التمايل الابتدائي بالنسبة للسطح الثاني للعدسة هو (μL_2) حيث $(L_2 = \frac{1}{l_2})$ وبإضافة قوة السطح الثاني F_2 إلى هذا التمايل نحصل على التمايل النهائي للأشعة بعد خروجها من السطح الثاني: أي أن:

$$\mu_2 L' = \mu L_2 + F_2 \dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

ومنه يكون بعد الصورة في الوسط μ_2 هو l' حيث $(l' = \frac{1}{L'})$ ويكون حساب قوة التكبير بضرب قوتي تكبير السطحين. أي ان قوة تكبير العدسة السميكة m هي:

$$m = \frac{\mu_1 L}{\mu L_1} \text{x} \frac{\mu L_2}{\mu_2 L'} \dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

<u>مجموعة عدسات رقيقة تفصلها مسافات:</u>

عند اعتبار مجموعة من العدسات الرقيقة تفصل بينها مسافات، يطبق على كل عدسة ما سبق تطبيقه بالنسبة للسطح في العدسة السميكة، 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 $m_1, m_2, \dots\dots$ أي ان:

$$m = m_1 \times m_2 \times m_3 \times \dots\dots$$

$$m = \prod m \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

مثال:

عدستان محدبتان وضعتا متوازيتين ومحورهما الاصليان على مستقيم واحد. فاذا كانت المسافة بينهما ١٠ سم ووضع جسم طوله ٣ اسم على بعد ١٥ سم من العدسة الاولى وعلى الجانب الأخر. ففي أي مكان تتكون الصوة وما طولها ونوعها بفرض ان البعد البؤري لكل من العدستين ٢٠ سم.

الحل:

أولا: باعتبار العدسة الأولى:

$$\mathrm{L} + \mathrm{F} = \mathrm{L}'$$

$$-\frac{100}{15} + \frac{100}{20} = \mathrm{L}'$$

$$l' = -60 \text{ cm}$$

أي أن الصورة تكون تقديرية معتدلة تظهر في نفس الجانب الموجود به الجسم، ويكون تكبير العدسة الأولى هو:

$$\mathrm{m}_1 = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{L}'} = -\frac{100}{15} \times -\frac{60}{100} = +4$$

أي ان طول الصورة الناتجة عن العدسة الأولى يكون ٨ سم.

ثانيا: باعتبار هذه الصورة جسما بالنسبة للعدسة الثانية، يكون على بعد مقداره ٧٠ سم وذلك بعد إضافة ١٠ سم هي المسافة بين العدستين.

وبتطبيق القانون مرة ثانية على العدسة الثانية يكون:

$$-\frac{100}{70} + \frac{100}{25} = L'_1$$

$$l'_1 = 28 \text{ cm}$$

أي ان الصورة تظهر حقيقية على بعد ٢٨ سم من العدسة الثانية، وفى الجهة الأخرى منها، ويكون التكبير للعدسة الثانية هو

$$m_2 = -\frac{2}{5}$$

أي ان الصورة النهائية تكون مقلوبة وطولها

$$8 \times \frac{2}{5} = 3.2 \text{ cm}$$

مثال:

عدسة محلية الوجهين نصف قطر كل من سطحيها ٢٠ سم، وضعت ملامسة لسطح ماء في إناء، فاذا وضع جسم على بعد ١٠٠ سم من العدسة خارج الإناء أوجد موضع الصورة. علما بان معامل انكسار مادة العدسة ١,٥ ومعامل انكسار الماء ١,٣.

الحل:

قوة العدسة F تساوى مجموع قوتي السطحين:

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

بتطبيق القانون العام للعدسات

$$\mu L + F = \mu' L'$$

$$-1 + 3.5 = 1.3\ L'$$

$$l' = 52 \text{ cm}$$

مثال:

وضع جسم على بعد ١٠ سم من السطح المستوى لنصف كرة من زجاج معامل انكساره ١,٥. فاذا كان نصف قطر الكرة ٣ سم فأوجد موضع الصورة وخواصها.

الحل:

معادلة السطح الأول

$$\mu L + F = \mu' L'$$

$$-10 + 0 = \mu' L'$$

بعد الصورة عن السطح الأول = -10 cm

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

معادلة السطح الثاني:

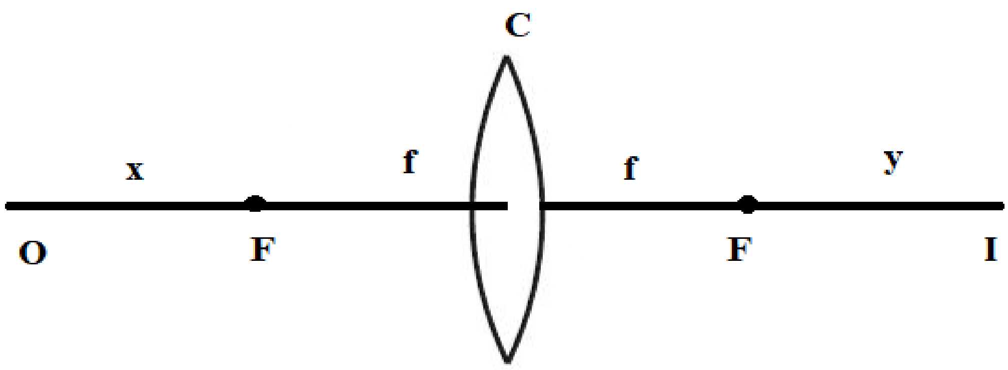
$$-\frac{100}{12} - \frac{100}{3}(1 - 1.5) = \frac{100}{12}$$

أي ان الصورة تتكون على بعد ١٢ سم من العدسة ويكون تكبيرها ـ١، أي انها حقيقية مقلوبة وحجمها يساوى حجم الجسم.

<u>النقطتان المترافقتان – علاقة نيوتن:</u>

اعتبر جسما في نقطة O امام عدسة C وتكونت له صورة عند النقطة I. ونظرا لان الضوء يسير في نفس مساره إذا عكس اتجاهه. لذلك إذا وضعنا الجسم مكان الصورة تكونت صورة مكان الجسم. أي ان النقطتين O&I نقطتان تبادليتان ويطلق عليهما النقط المترافقة.

اوجد نيوتن علاقة تربط بين البعد البؤري للعدسة f. وبين بعد الجسم والصورة عن كل من البؤرتين القريبتين منها (x, y) على الترتيب. كما هو مبين بشكل (٤).



شكل (4)

بعد الجسم عن العدسة = l = (x+f)

بعد الصورة عن العدسة = l' = (y+f)

وبتطبيق قانون العدسات:

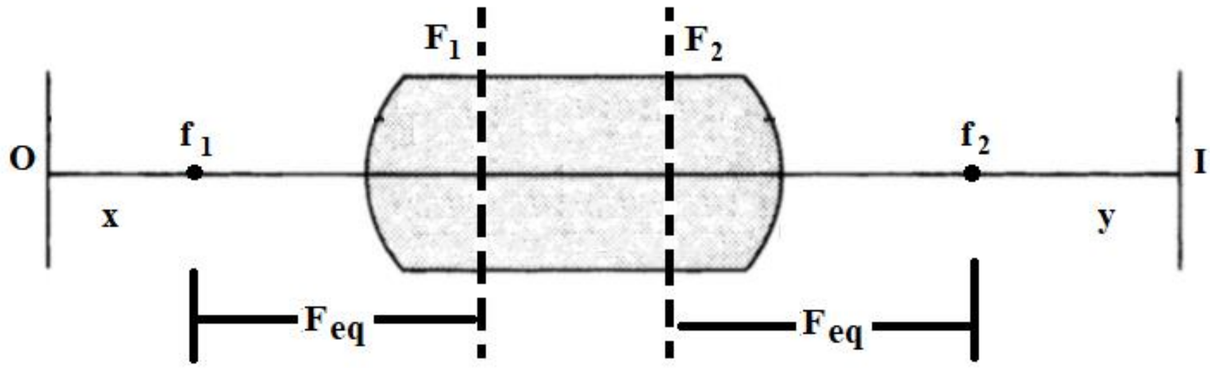
$$L + F = L'$$

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

$$f(x + y + 2f) = (x + f)(y + f)$$

$$f^2 = xy \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

وهذه العلاقة تدل على أن الجسم إذا اقترب من البؤرة تبتعد الصورة المناظرة، وأهمية هذه العلاقة تكمن في أنها تستخدم لتعيين القوة المكافئة لمجموعة من عدسات أو للعدسة السميكة، وكذلك لتحديد المستويات الأساسية لها. فاذا فرضنا أن $(f_1 \,\&\, f_2)$ هما البؤرتان السطحيتان لمجموعة أو لعدسة سمكية (شكل ٥) وأن بعدي الجسم والصورة عن تلك البؤرتين على الترتيب هما (x, y) يكون البعد البؤري هو (f_{eq}) ويعطى بالمعادلة $(f_{eq}^2 = x\,y)$.

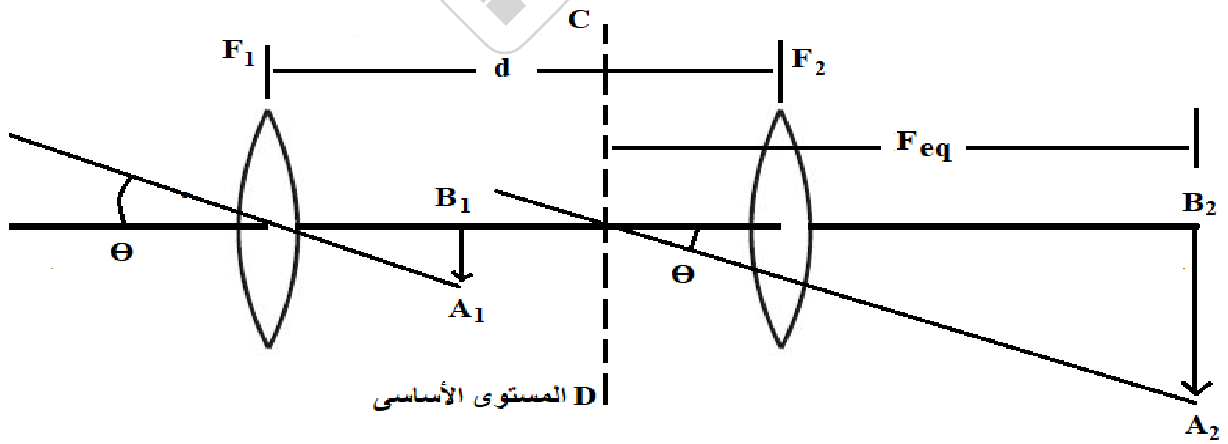


شكل (5)

وبمعرفة (f_{eq}) يمكننا تحديد المستويين الأساسيين F_1 & F_2.

القوة المكافئة لعدستين تفصل بينهما مسافة:

لإيجاد القوة المكافئة لعدستين F_1 & F_2 تفصلهما مسافة d تفرض أشعة متوازية ساقطة على العسة الأولى بزاوية θ مع المحور. شكل (٦).



شكل (6)

تتكون صورة $A_1\ B_1$ عن العدسة الأولى. ويكون موضعها في المستوى البؤري لهذه العدسة. تفرض أن CD هو المستوى الأساسي للمجموعة، بالنسبة للضوء الساقط عليها من اتجاه 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 شكل (٦)

$$\tan\theta = \frac{A_1B_1}{f_1} = \frac{A_2B_2}{f_{eq}}$$

$$F_{eq} = F_1\frac{1}{(A_2B_2/A_1B_1)} = \frac{F_1}{m_2} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (11)$$

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

ولإيجاد قوة تكبير العدسة الثانية نطبق قانون العدسات باعتبار اشعة متوازية ساقطة على العدسة F_1

$$0 + F_1 = L_1$$

بعد الصورة عن العدسة الأولى هو $1/F_1$ ولكن المسافة بين العدستين d. يكون بعد الصورة عن العدسة الثانية $\left(\frac{1}{F_1} - d\right)$.

ويكون التمايل الابتدائي بالنسبة للعدسة الثانية هو $\left(\frac{F_1}{1-dF_1}\right)$ 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:

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

وتكون قوة تكبير العدسة الثانية = التمايل الابتدائي للعدسة الثانية ÷ التمايل النهائي للعدسة الثانية = m_2

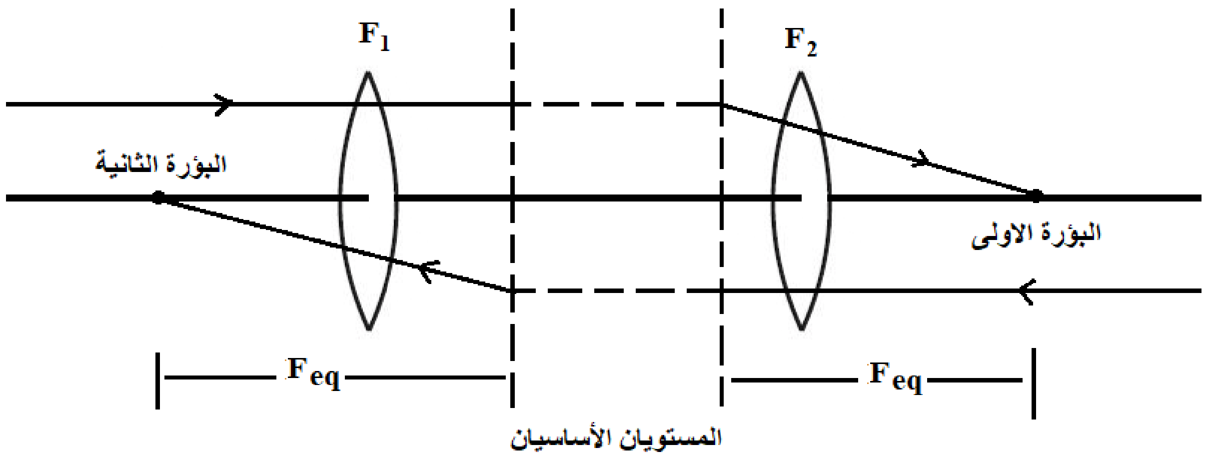
$$m_2 = \frac{F_1}{F_1 + F_2 - dF_1F_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

وبالتعويض في معادلة (١٢/١١) نحصل على القوة المكافئة:

$$F_{eq} = F_1 + F_2 - dF_1F_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

تعيين المستويين الأساسيين لمجموعة عدسات أو العدسة سميكة:

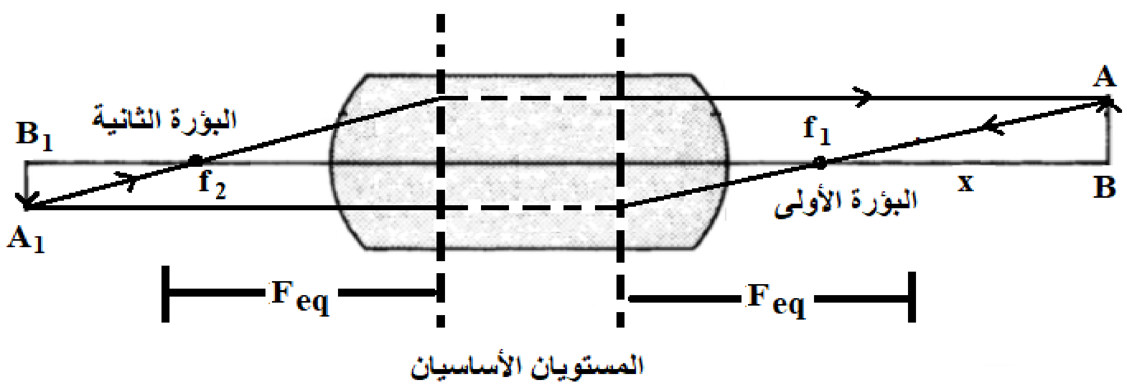
عند سقوط اشعة متوازية على العدسة الأولي F_1. تتجمع في البؤرة الأولى للمجموعة. وتبعد عن العدسة الثانية F_2 بمسافة تسمى البؤري السطحي. يكون موضع المستوى الأساسي الأول عند نقطة تبعد عن هذه البؤرة الأولى مسافة البعد البؤري المكافئ (F_{eq}) شكل (٧).



شكل (7)

وبالمثل يمكن إيجاد موضع المستوى الأساسي الثاني إذا اسقطنا 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 البؤري المكافئ (F_{eq}).

وبالنسبة للعدسة السميكة نجري 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: $(F_{eq}^2 = x\,y)$، حيث (x, y) هما على الترتيب بعد الجسم عن البؤرة الاولى، وبعد الصورة عن البؤرة الثانية (انظر شكل (٨)).



شكل (8)

تمارين

١- إذا علم أن العجلة المسننة في تجربة فيزو لقياس سرعة الضوء تدور بسرعة ٧ دورات في الثانية. وأنها تحتوي ٧٢٠ سنا، فأوجد سرعة الضوء، علما بأن المسافة التي يقطعها الضوء ذهابا وإيابا ١٥٠٠٠ مترا.

٢- أوجد عدد الدورات في الثانية للعجلة المسننة في تجربة فيزو لكي يختفي الضوء اول مرة. علما بان عدد الأسنان ٧٢٠ والمسافة بين العجلة والعاكس ٨٦٣٣ مترا.

٣- باستخدام طريقة فيزو لإيجاد سرعة الضوء، وجد أن الصورة تبدأ في الاختفاء عندما تكون السرعة الزاوية للعجلة ٦٠ زاوية نصف قطرية في الثانية، فإذا كان عدد أسنان المجلة ٨٠٠ والمسافة التي يقطعها الضوء ٢٠ كيلو مترا، فاحسب سرعة الضوء.

٤- وضع مصدر ضوء قوته ١٠٠ قنديلة على بعد ٢٥ سم، من أحد وجهي فوتومتر جولي ووقع على الجانب الأخر وعلى بعد ١٠ سم من الفوتومتر مصدر قوته ٣٣ قنديلة. أوجد أين وكيف توضع مرآة مستوية حتى تتساوى شدة الاستضاءة على جانبي الفوتومتر؟ علما بأن المرآة تعكس فقط ٧٥٪ من الضوء الساقط عليها.

٥- علق مصباح على ارتفاع ٥٠ سم من مركز منضدة مستديرة قطرها١٠٠ سم. قارن بين شدة استضاءة المنضدة عند مركزها وعند حافتها.

٦- وضع مصباح على بعد ٨٠، سم من حائل أبيض رأسي، ثم وضع بينهما وعلى بعد ٣٠ اسم من المصباح لوح رأس من زجاج مخشنا. فإذا كان ذلك الزجاج يحجب ٦٠٪ مما يسقط عليه من الضوء، فقارن بين شدة استضاءة الحائل أولا وأخيرا.

٧- مصدران للضوء A, B، وضع أولهما على بعد ١٠ سم من فوتومتر جولي والثاني على بعد ٨٠ سم. B فصارت الاستضاءة واحدة على الجانبين. أوجد النسبة بين قوتي المصباحين. وإذا وضع بين المصدر والفوتومتر لوح الزجاج، يلزم إزاحة هذا المصدر مسافة ١٠ سم على المستقيم الواصل بين المصباحين، لكي تتساوى شدة الاستضاءة في الجانبين. احسب النسبة المئوية لما يمتصه لوح الزجاج من الضوء الساقط عليه.

٨- عدسة محدبة الوجهين معامل انكسار مادتها ١,٤٤. فإذا كان نصف قطر أحد سطحيها الملامس للهواء ١.٢ سم، ونصف قطر السطح الآخر ١ سم ويلامس وسطا معامل انكساره ١,٣٤، فأوجد بعد الصورة لجسم في مالانهاية.

٩- أوجد البعد البؤري لعدسة مقعرة الوجهين نصفا قطري سطحيها ٢٥ سم، ٥٠ سم، علما بان معامل انكسار مادتها ١,٥.

١٠- اوجد البعد البؤري لعدسة محدبة مستوية نصف قطر سطحها المحدب ٥٠ سم، بفرض ان معامل انكسار الضوء في مادتها ١,٦ سم.

١١- عدسة سميكة محدبة الوجهين نصف قطر كلا من سطحيها ١٠ سم والمسافة بينهما ١٥ سم. وضع جسم على مسافة ٣٠ سم من أحد السطحين. اوجد موضع الصورة وخواصها (معامل انكسار العدسة ١,٥).

١٢- عدسة زجاجية لامة بعدها البؤري ٢٠٠ سم في الماء. ما هو البعد البؤري لعدسة هوائية لها نفس الشكل والابعاد كالعدسة السابقة مغمورة في الماء؟ (معامل انكسار الزجاج ١,٥٥ والماء ١,٣٣).

١٣- كرة زجاجية نصف قطرها ١٥ سم. بها فقاعة هوائية على بعد ٥ سم من السطح، فاذا كان معامل انكسار الزجاج ١,٥ فأوجد العد الظاهري للفقاعة عند النظر اليها من نقطة على السطح قريبة من الفقاعة. وماذا يكون البعد إذا نظر اليها من الجهة الأخرى؟

١٤- عدسة من الزجاج ($\mu = 1.5$) أحد سطحيها مقعر نصف قطر تكوره ٣٠ سم، والأخر محدب نصف قطر تكوره ٢٥ سم. اوجد بعدها البؤري.

١٥- الصقت قطعة من الورق على سطح كرة زجاجية نصف قطرها ٥ سم. ثم نظر الى الورق من الجهة الأخرى المقابلة. اوجد موضع الصورة، واوجد أيضا موضع الصورة المكونة إذا كان الجسم في مالانهاية.

١٦- عدسة محدبة بعدها البؤري ٣٠ سم، موضوعة على بعد ٢٠ سم من أخرى مقعرة بعدها البؤري ٥ سم. وضع جسم على بعد ٦ متر امام المجموعة جهة العدسة المحدبة. اوجد موضع الصورة والتكبير.

١٧- وضع جسم على بعد ٢٤ سم من عدسة رقيقة بعدها البؤري ٣٠ سم، وكان خلف العدسة وعلى بعد منها عدسة مفرقة بعدها البؤري ٥٠ سم. فتكونت للجسم صورة حقيقية على بعد ٦٢,٥ سم من العدسة المفرقة. اوجد المسافة بين العدستين وكذلك تكبير الصورة.

١٨- وضعت عدسة محدبة الوجهين على مرآة مستوية، فوجد انه بوضع سهم على بعد ١٤ سم منها تنطبق صورة للسهم عليه. وعندما وضعت بضع قطرات من الماء (معامل انكساره ١,٣٣) بين العدسة والمرآة. انطبقت الصورة على الجسم على بعد ١٧,٢ سم، عنما كان سطح العدسة الأولى ملاصقا للماء. اوجد نصفي قطر انحناء سطحي العدسة، وكذلك معامل انكسار مادتها.

١٩- وضعت عدسة على مرآة مستوية بحيث يكون سطحها المحدب ملامسا للمرآة بينما يكون سطحها الاخر المستوى الى اعلى. ووجد انه بوضع جسم على بعد ٢٠ سم منها تنطبق صورة الجسم عليه. وعند وضع سائل بين العدسة والمرآة يلزم ابعاد الجسم عن موضعه الأول مسافة ٨٠ سم، لترى صورة الجسم منطبقة عليه. اوجد معامل انكسار السائل.

٢٠- نصف قطري سطحي عدسة رقيقة معامل انكسارها ١,٥ هما ١٠سم، ٢٠سم. ماذا تكون قوة العدسة أولا في الهواء، ثم إذا غمرت في سائل معامل انكساره ١,٣٣؟

٢١- اثبت ان القوة المكافئة (F_{eq}) لمجموعة مكونة من عدستين F_1, F_2 يفصل بينهما مسافة d مترا، تعطى بالمعادلة:

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

٢٢- البعدان البؤريان السطحيان لمجموعة ضوئية ١٢ سم، ١٥ سم وقوتها المكافئة ٥ ديوبتر. وضع جسم على بعد ٢ سم من السطح الأول. اوجد موضع الصورة بالنسبة للسطح الثاني.

٢٣- كرة زجاجية نصف قطرها r ومعامل انكسارها μ، اوجد قوة العدسة المكافئة لها. واوجد موضع هذه العدسة بالنسبة لمركز الكرة.

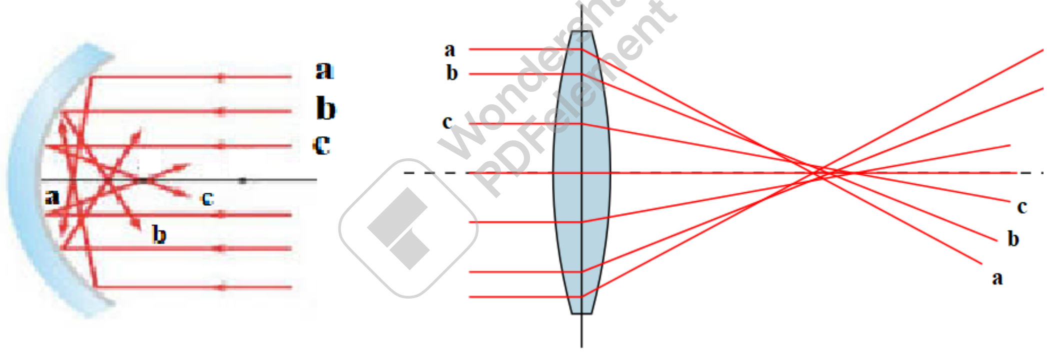
٢٤- اثبت ان البعد بين المستويين الاساسين لعدسة مستوية محدبة هو $\left(\frac{d-(\mu-1)}{\mu}\right)$. حيث d سمك العدسة، μ معامل انكسارها.

٢٥- يبعد جسم وصورته الحقيقية مسافة ٢٠ سم، ٥ سم من البؤرتين المناظرتين لعدسة محدبة الوجهين. اوجد البعد البؤري للعدسة ونصف قطر تكور سطحيها المتماثلين إذا علم ان معامل انكسار مادة العدسة ١,٥.

الزيغ في الابصار وعيوب العدسات

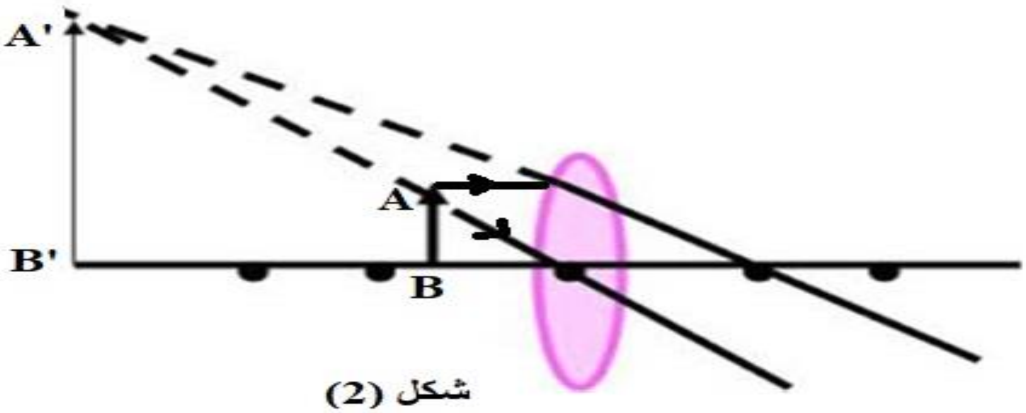
الزيغ الكرى:

عندم تسقط اشعة ضوئية متوازية على سطح كرى عاكس – او سطح كرى كاسر يفصل بين وسطين شفافين مختلفين – نجد ان الاشعة بعد انعكاسها او انكسارها لا تتجمع في نقطة واحدة، وذلك لان زوايا السقوط تزداد كلما بعد الشعاع الساقط عن المحور. وتبعا لذلك تزداد زوايا الانعكاس او الانكسار، ولذلك تقطع الاشعة المنعكسة او المنكسرة المحور الأساسي في نقط مختلفة، كما مبين في شكل (١). وتزداد هذه الظاهرة وضوحا كلما زادت مساحة السطح وكلما ازداد انحناءه. وإذا رسمنا منحنيا يمثل الاشعة المنعكسة او المنكسرة نتج ما يسمى منحنى الكي، على كل سيكلويد نابه عند البؤرة الفعلية، وهي التي تتجمع عندها الاشعة المحورية.



شكل (1)

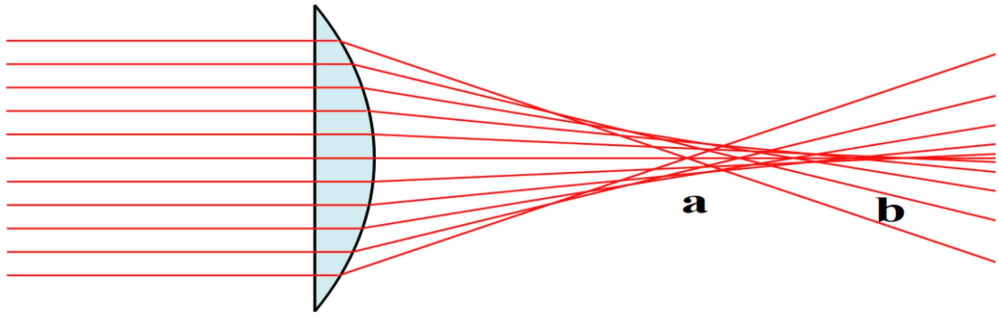
ولتوضيح الزيغ الكرى في العدسات نفرض جسما AB موضوعا امام عدسة لامة، كما في شكل (٢). إذا كان الجسم على بعد اقل من البعد البؤري للعدسة تكونت له صورة تقديرية $A'B'$. ويلاحظ اننا إذا اعتبرنا الاشعة الهامشية والاشعة المحورية الصادرة عن الجسم، نجد ان الصورة الحادثة تظهر مشوهة بسبب عدم وجود بؤرة واحدة للدسة بالنسبة لهذه الاشعة او تلك. ويظهر التشوه الصورة وهي لا تحمل الابعاد النسبية للجسم. وبديهي ان التشوه يقل جدا في الصورة إذا ما استخدم فقط الجزء المركزي من العدسة كما تفعل في الات التصوير.



شكل (2)

اما في حالة سقوط اشعة متوازية على سطح العدسة اللامة ذات السطح الكبير. فإننا نجد ان الاشعة الهامشية تتجمع في نقطة مثل a. والاشعة المحورية في نقطة ابعد عن العدسة مثل b. كما في شكل (٣). فاذا وضع حاجز ابيض عمودي على المحور تتكون الصورة عندa. على شكل قرص شديد الاستضاءة عند حافته، بينما تكون الصورة عند b على شكل قرص شديد الاستضاءة عند مركزه. فاذا حركنا الحاجز بين النقطتين a&b حتى تتساوى شدة الاستضاءة في كل أجزاء الدائرة، سميت هذه الدائرة بدائرة الوضوح.

وتسمى المسافة ab الزيغ الكرى الطولي.



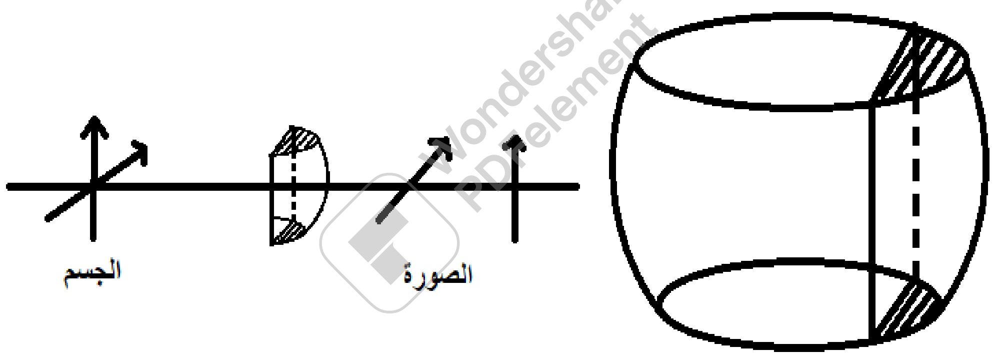
شكل (3)

<u>الاستجمية:</u>

عندنا ينتظر الى جسم نقطي موضوع امام عدسة كرية – بحيث يكون موضعه بعيدا عن محور العدسة – تعاني صورته الناتجة بالانكسار حلال العدسة من ظاهرة الاستجمية، فتظهر الصورة

على شكل خطيين غير منطبقين. ويرجع حدوث هذا الزيغ الى ان العدسة ليست متماثلة تماما بالنسبة لأي جسم غير منطقي على محورها. وعند وضع حاجز عمودي على محور العدسة لاستقبال الصورة تظهر الصورة على شكل قطع ناقص تختلف شدة استضاءته من نقطة الى أخرى. وتكون الصورة على هيئة دائرة منتظمة الإضاءة عند نقطة بين الخطين غير المنطبقين تسمى بدائرة الوضوح او بدائرة اقل زيغ.

وتحدث أيضا ظاهرة الزيغ الاستجمي. عندما يختلف انحناء سطح العدسة في اتجاهين مختلفين، ويظهر ذلك كثيرا في عدسة العين. وينشأ عن هذه الظاهرة ان يتكون للجسم النقطي صورتان خطيتان متعامدتان على بعدين متساويين من العدسة. ويبين شكل (٤) عدسة برميلية الشكل يختلف انحناء سطحها في الاتجاه الأفقي عنه في الاتجاه الرأسي.



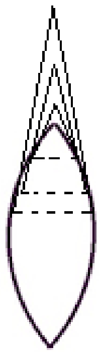
شكل (4)

ولذلك تظهر صورة خطيين متعامدين امام العدسة، على شكل خطين منفصلين على بعدين مختلفين منها.

<u>الزيغ اللوني في العدسات:</u>

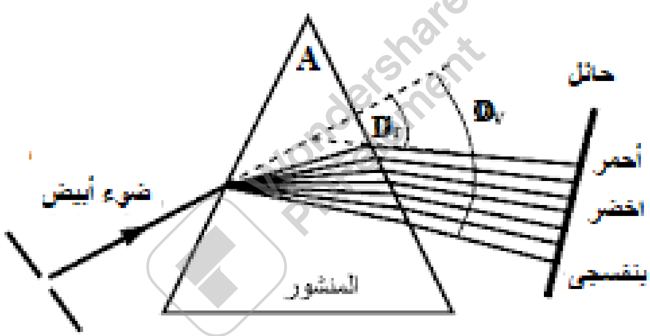
تعتبر العدسة مجموعة كبيرة من المناشير موضوعة فوق بعضها البعض. كما في شكل (٥) وتزداد زوايا راس هذه المناشير تدريجيا كلما بعدنا عن مركز العدسة واقتربنا من حافتها. ومن المعروف بان شعاع الضوء الأبيض – عند مروره بمنشور زجاجي – يتفرق الى ألوان الطيف

المختلفة، وتنحرف جميع الألوان عن اتجاه الشعاع الأبيض في اتجاه قاعدة المنشور تبعا لقوانين الانكسار، ولكن يختلف مقدار هذا الانحراف تبعا لنوع الضوء ويكون اقل انحراف للون الأحمر وأكبر انحراف للون البنفسجي. وبين هاتين النهايتين يقع انحراف باقي ألوان الطيف وهي على الترتيب: اللون البرتقالي والاصفر، والاخضر، والازرق، والنيلي. انظر شكل (٦).



شكل (5)

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



شكل (6)

ولإيجاد قوة تفرق منشور نفرض أن مقدار انحراف الأشعة الحمراء داخل المنشور هوD_r وان معامل انكسار المنشور لهذه الأشعة هو μ_r وأن مقدار انحراف الأشعة البنفسجية هو D_v وأن معامل انكسار هذه الأشعة في المنشور هو μ_v وأن متوسط انحراف الأشعة هو D ويمكن اعتباره انحراف الأشعة للضوء الأبيض وان معامل انكسار المنشور لهذا الضوء هو μ.

من قانون المنشور ذي زاوية الرأس A يكون معامل انكساره

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\sin(A/2)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

وفي حالة زاوية رأس للمنشور صغير نختصر المعادلة لتصبح:

$$D = A(\mu - 1) \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots . (2)$$

وبتطبيق المعادلة (٢) مرة على الضوء البنفسجي ومرة اخري على الضوء الأحمر نحصل على التفرق الزاوي $(D_V - D_r)$

$$D_V = A(\mu_v - 1)$$

$$D_r = A(\mu_r - 1)$$

$$D_V - D_r = A(\mu_v - \mu_r)$$

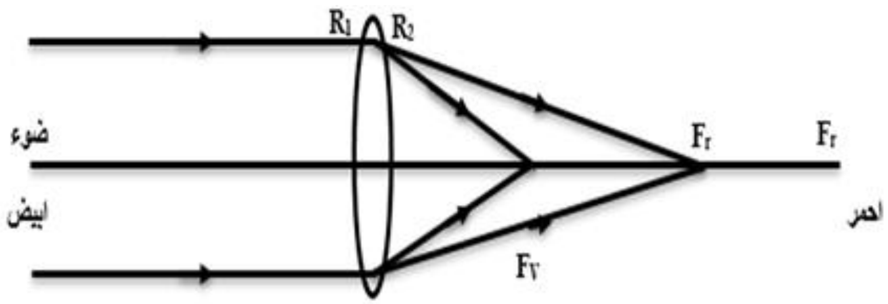
$$\frac{D_V - D_r}{D} = \frac{\mu_V - \mu_r}{(\mu - 1)} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots . (3)$$

ويسمي 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 μ على أنها المتوسط الحسابي لمعاملي انكسارالمنشور للونين الأحمر والبنفسجي أي أن:

$$\mu = \frac{\mu_V + \mu_r}{2} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (4)$$

<u>قدرة تفرق العدسة:</u>

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 (٧) وتسمي المسافة بين البؤرتين بالتشويه اللوني الطولي.



شكل (7)

ولإيجاد قدرة العدسة على التفرق اللوني نفرض أن انحناء سطحي العدسة هما R_1,R_2 وأن معامل انكسار مادة العدسة للون الأحمر μ_r وللون البنفسجي μ_v وبتطبيق قانون العدسات (معادلة ٥) مرة على الأشعة الحمراء ومرة على الأشعة البنفسجية يكون الفرق بين قوة العدسة للأشعة البنفسجية وقوتها للأشعة الحمراء هو:

$$F_v - F_r = (R_1 + R_2)(\mu_v - \mu_r) \dots\dots\dots\dots\dots (5)$$

وإذا كانت قوة العدسة F بالنسبة للأشعة البيضاء ومعامل انكسارها μ يكون:

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

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

$$F = (R_1 + R_2)(\mu - 1) \dots\dots\dots\dots\dots\dots (6)$$

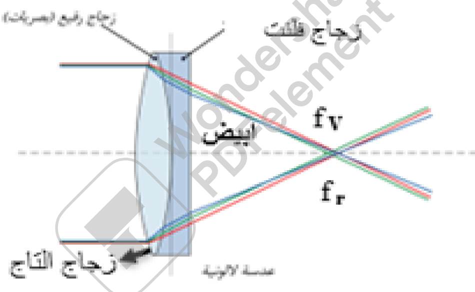
وبقسمة المعادلتين (٥) و(٦) نحصل على:

$$\frac{F_v - F_r}{F} = \frac{(\mu_v - \mu_r)}{\mu - 1} = P \dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

ويسمي المقدار P بقدرة العدسة على التفرق اللوني ويلاحظ من مقارنة معادلة (٧)، (٣) 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.

مجموعة العدسات اللالونية:

أولا: يمكن التخلص من التشويه اللوني في العدسات وذلك بتكوين مجموعة من عدستين متلاصقتين بحيث تنطبق بؤرة المجموعة للأشعة البنفسجية على بؤرتها للأشعة الحمراء. ويتم ذلك باستخدام عدسة لامة من زجاج التاج مع عدسة مفرقة من زجاج فلنت شكل (٨) بحيث يساوي التفرق الزاوي للعدسة اللامة نظيره للعدسة المفرقة. وبذلك يتعادل التفرق اللوني للأشعة بمرورها فيهما فتخرج الأشعة بيضاء كما دخلت.



شكل (8)

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

$$(F_v - F_r)_1 - (F_v - F_r)_2 = 0 \dots\dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

وإذا فرضنا أن قدرة تفقر مادتي العدستين هما $P_1\&\ P_2$ على الترتيب وباستخدام معادلة (٧) نحصل علي:

$$(F_v - F_r)_1 = F_1 P_1$$

$$(F_v - F_r)_2 = F_2 P_2$$

وبالتعويض في معادلة (٨) يكون شرط تكوين مجموعة لا لونية من عدستين هو:

$$F_1P_1 + F_2P_2 = 0 \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (9)$$

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 $(F_1= -F_2)$ ومعني هذا أن المجوعة تتلاشي قوتها ولا يكون لها عمل العدسة.

ثانيا: يمكن أيضا تكوين مجوعة لا لونية من عدستين لهما نفس معامل الانكسار ويفصل بينهما مسافة d والقوة المكافئة للمجموعة (معادلة ١٣) هي:

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

بوضع هذه المعادلة على الصورة التفاضلية نحصل علي:

$$\Delta F_{eq} = \Delta F_1 + \Delta F_2 - dF_1\Delta F_2 - dF_2\Delta F_1 \ldots \ldots (10)$$

حيث ΔF_{eq} تعبر عن التغير في قوة المجموعة بالنسبة للونين الأحمر والبنفسجي وبالمثل بالنسبة إلى $\Delta F_1, \Delta F_2$

ولكي تكون المجموعة لا لونية يجب أن يتلاشى ΔF_{eq} أي أن:

$$\Delta F_1 + \Delta F_2 - dF_1\Delta F_2 - dF_2\Delta F_1 = 0 \ldots \ldots \ldots . (11)$$

$$\Delta F_1(1 - dF_1) + \Delta F_2(1 - dF_2) = 0 \ldots \ldots \ldots . (12)$$

وباستخدام المعادلة (٧)

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

$$\therefore \Delta F = PF \dots\dots\dots\dots\dots\dots..(13)$$

وبالتعويض في المعادلة (١٢) نحصل علي:

$$PF_1(1-dF_1)+PF_2(1-dF_2)=0$$

$$\because F_1+F_2=dF_1F_2$$

$$d=\frac{F_1+F_2}{2F_1F_2}=\frac{1}{2}(f_1+f_2)\dots\dots\dots\dots.(14)$$

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

العين وعيوب الابصار:

العين هي العضو من جسم الإنسان الذي يقوم بنقل الصور والمرئيات إلي المخ فيتم الاحساس بها. والعين حساسة للطاقة الفوتونية في منطقة من الطيف الكهرومغناطيسي تسمي بمنطقة الطيف المنظور وتتركب العين من غشاء شفاف محدب يسمي القرنية D به سائل ملحي يوجد خلفه عدسة L محدبة الوجهين تتصل من حوافها بمجموعة من العضلات C يمكن بواسطتها تغيير انحناء سطحي العدسة وبالتالي قوتها، وبذلك تتمكن العين من التكيف ورؤية الأجسام علي أبعاد مختلفة ولكي يتحدد كمية الضوء الداخل للعين يوجد حاجز معتم به ثقب مستدير في المركز يسمي بحدقة العين P ويمكن لهذا الثقب أن يضيق أو يتسع وفقا لكمية الضوء الساقط علي العين فيكون متسعا في الظلام وضيقا في ضوء الشمس ويتحدد لون العين بلون هذا الحاجز المعتم.

يوجد خلف عدسة العين غرفة كروية تقريبا بها سائل زجاجي شفاف جيلاتيني القوام معامل انكساره ١,٣٣٦ ويختلف عن معامل انكسار العدسة ١,٤٣٧ ويحيط بكرة العين من الداخل غشاء R يسمي الشبكية، ويتكون من ألياف عصبية ونهايات تتصل جميعها بالعصب البصري O شكل (٩).

شكل (9)

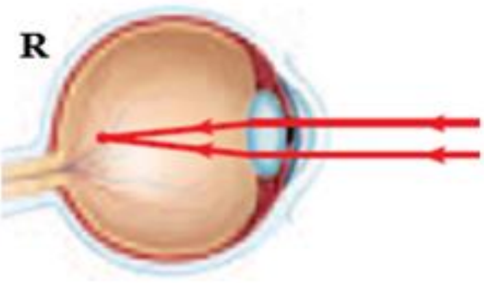
عندما يسقط من الضوء صادر عن جسم ما علي العين فإنه ينكسر من سطح القرنية ثم يمر خلال عدسة العين فتتكون للجسم صورة حقيقية مصغرة مقلوبة علي الشبكية. وتقوم أطراف الأعصاب علي الشبكية بنقل هذا التأثير بواسطة العصب البصري إلي المخ فيحس الانسان بوجود الجسم. والعين السليمة تكون معدة لرؤية الجسم البعيد واستقبال الأشعة المتوازية الصادرة عنه فتتكون صورة علي الشبكية فإذا أخذ هذا الجسم في القرب من العين تتغير قوة عدسة العين بفعل العضلات المتصلة بها لتصبح ذات بعد بؤري مناسب لكي تتكون الصورة دائما علي شبكية العين ويسمي تغير قوة العدسة بالتكيف. ويستمر تكيف العدسة كلما اقترب الجسم من العين حتى يصل إلي بعد ٢٥ سنتيمترا هو أقل بعد يمكن للعين السليمة أن تري فيه الأجسام بوضوح ويسمي هذا البعد بالنقطة القريبة للعين. أي أن قدرة العين السليمة علي التكيف والرؤية الواضحة تكون بين مالانهاية - وهي النقطة البعيدة للعين وبين البعد ٢٥ سم من العين - وهو النقطة القريبة - وتتكون الصورة عندئذ علي الشبكية كما في شكل (١٠)

ب- رؤية الجسم في مالا نهاية
القطة البعيدة

أ- في حالة القراءة
النقطة القريبة

شكل (10)

يحدث أحيانا زيادة أو نقصان غير عادي في انحناء القرنية أو في انحناء سطحي عدسة العين أوفي قطر كرة العين يكون من نتيجته ألا تتجمع الأشعة على شبكية العين شكل (١١) مما يسبب عدم وضوح الرؤية وقد يكون ذلك أيضا بسبب عدم قدرة العين للتكيف. ينشأ عن كل ذلك ما يسمي بعيوب الابصار ويمكن تقسيمها كالآتي:



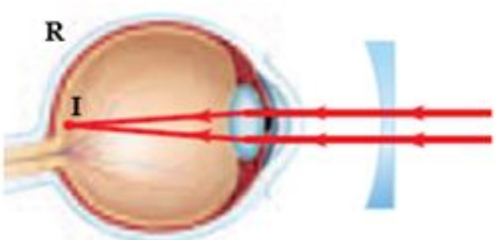
شكل (11)

أولا: قصر النظر

ينشأ قصر النظر نتيجة لزيادة قوة عدسة العين أو لزيادة قطر كرة العين مما يسبب تجمع الأشعة المتوازية امام الشبكية كما في شكل (١١).

وواضح أننا إذا قربنا الجسم من مالانهاية تجاه العين فإننا نصل إلي بعد تتكون فيه الصورة علي الشبكية وعندئذ نري الصورة واضحة أي أن النقطة البعيدة لمثل هذه العين المصابة بقصر النظر تكون أقل من مالا نهاية وكذلك تكون النقطة التربية لها أقل من ٢٥ سم

ولإصلاح قصر النظر نستخدم عدسة مفرقة تعمل علي زيادة البعد البؤري لعدسة العين بالقدر الذي يجعل صور الأشياء تنطبق على شبكية العين كما في شكل (١٢).



شكل (12)

نفرض أن قوة العدسة المفرقة اللازمة لتصحيح قصر النظر هي F وأن النقطة البعيدة للعين المصابة هي l' وظيفة العدسة المفرقة هي تكوين صورة للجسم في مالانهاية في موضع النقطة البعيدة للعين. اي أن تمايل أشعة الجسم تساوي صفرا وتمايل الاشعة المكونة للصورة $L' = \frac{1}{l'}$

ومن قانون العدسات:

$$0 + F = -L'$$

والتمايل النهائي سالب حيث إن الصورة تقديرية.

أما في حالة تصحيح قصر النظر بالنسبة للنقطة القريبة فتكون وظيفة العدسة هي تكوين صورة الجسم على ببعد ٢٥ سم. عند موضع النقطة القريبة للعين المصابة وليكن بعدها عن العين l'

ومن قانون العدسات:

$$-L + F = -L'$$

$$-\frac{100}{25} + F = \frac{100}{l'}$$

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

<u>مثال:</u>

النقطة البعيدة لعين قصيرة النظر هي ٥ متر والنقطة التربية له ٢٠ سم أوجد قوة كل من العدستين اللازمتين لكي يري بوضوح الأجسام 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 للعدسة اللازمة هو 20 cm-

وبالنسبة للأجسام القريبة

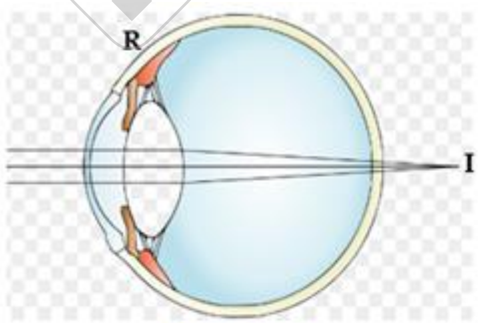
$$-\frac{100}{25} + F_2 = -\frac{100}{20}$$

$$F_2 = -1\,\Delta$$

ويكون البعد البؤري لعدسة القراءة هو ١٠٠ سم

ثانيا: طول النظر

إذا تجمعت الأشعة المتوازية في مكان أبعد من الشبكية يسمي ذلك طول نظر (شكل ١٣).



شكل (13)

ويحدث ذلك العيب في الإبصار نتيجة لنقص انحناء القرنية او 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 فتري واضحة. ويظهر طول النظر أيضا بالنسبة للنقطة القريبة فتصبح على

مسافة من العين أكبر من ٢٥سم. ويصحح أيضا باستخدام عدسة لامة ولإيجاد قوة العدسة نستخدم قانون العدسات.

$$-\mathrm{L} + \mathrm{F} = -\mathrm{L}'$$

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

مثال:

النقطة القريبة لعين مصابة بطول نظر عند ٥٠ سم. أوجد قوة ونوع العدسة اللازمة للقراءة.

الحل:

للقراءة يجب ان يوضع الكتاب على بعد ٢٥ سم من العين لتظهر صورته مع استعمال عدسة التصحيح عند نقطة وضوح الرؤية القريبة بالنسبة للعين المصابة أي أن:

$$-\frac{100}{25} + \mathrm{F} = -\frac{100}{50}$$

$$\therefore \mathrm{F} = 2\Delta$$

اي أن العدسة موجبة بعدها البؤري ٥٠ سم

ثالثا: ضعف قدرة العين للتكيف:

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

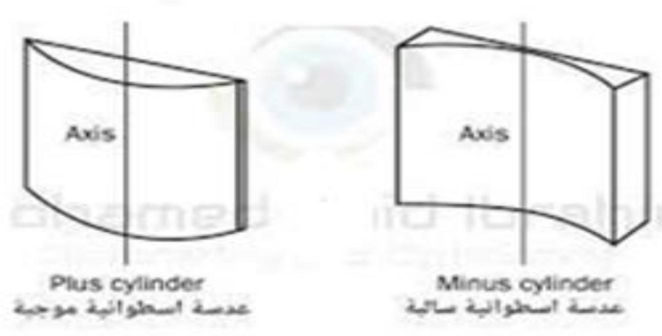
عدسة مفرقة ينظر خلالها لرؤية الأجسام البعيدة بينما جزؤها السفلي عدسة لامة ينظر خلالها عند القراءة.

رابعا: الاستجمية

ينشأ هذا العيب في الإبصار عند وجود عيب خلقي في تكوين كرة العين أو عندما يكون انحناء سطح القرنية غير منتظم ينتج عن ذاك أن قوة العين تختلف بالنسب للمستوي الأفقي عن المستوي الرأسي أي أن بعض أجزاء الجسم تري بوضوح في حين أن الاجزاء الأخرى تظهر غير واضحة.

إذا نظرت مثل هذه العين إلى خطين متعامدين في مستوي واحد فإن صورة أحد الخطين لا تنطبق علي صورة الخط الاخر وواضح أن العين لا تستطيع التكيف بقوتين مختلفتين في وقت واحد لتري الخطين معا في وضوح ولكن يمكن إصلاح عيب الاستجمية باستخدام عدسة استجمية تعمل علي 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 الأفقي أو في المقطع الرأسي.

العدسة الاستجمية أو الاسطوانية هي مقطع في اسطوانة زجاجية مواز للمحور ويمكن أن تكون موجبة أو سالبة كما في الشكل (١٤)



شكل (14)

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

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

حيث R انحناء السطح و μ معامل انكسار مادة العدسة عندما يكون المقطع الأفقي للقرنية أقل تحدبا من المقطع الرأسي توضع العدسة الاسطوانية بحيث يكون محورها رأسيا وبذلك يعوض انحناؤها ما ينقص من انحناء المقطع الأفقي للقرنية.

مثال:

ما نوع وقوة العدسة اللازمة للقراءة لعين نقطتها القريبة تقع على بعد ٤٠ سم بالنسبة لخط أفقي وتقع على بعد ٥٠ سم بالنسبة لخط رأسي

الحل:

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

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

وهذه العدسة اسطوانية لتصحيح خطأ الاستجمية وتصبح النقطة القريبة بالنسبة للخطين الافقي والرأسي واحدة وعلى بعد ٤٠ سم من العين.

لتصحيح طول النظر نستخدم عدسة كرية لامة F_2.

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

$$\therefore F_2 = +0.5\Delta$$

أي أننا نستخدم عدسة مركبة من سطح كري قوته ١,٥ ديوبتر مع سطح أسطواني قوته ٠,٥ ديوبتر بحيث يكون محوره أفقيا.

تمارين

١- اذكر ما تعرفه عن: منحني الكي - الزيغ الكري الطولي المستعرض؟

٢- ماهي أهم عيوب الصور المتكونة بواسطة عدسة؟

٣- عرف ما يأتي: دائرة الوضوح -الاستجمية؟

٤- أو جد شرط تكوين مجموعة لا لونية من عدستين يفصلهما مسافة d؟

٥- مجموعة لا لونية من عدستين متلاصقتين معامل انكسار الأولي للونين الأحمر والبنفسجي ١,٥١٣-١,٥٢١ ومعامل انكسار الثانية لنفس اللونين ١,٦٩٧-١,٧٣١ أوجد قوة كل من العدستين علما بأن القوة الكلية للمجموعة ٣,٣٣ ديوبتر؟

٦- عدسة محدبة الوجهين نصف قطري سطحيهما ٣٠سم .٢٠سم يسقط عليها أشعة متوازية حمراء مرة وأشعة بنفسجية مرة أخري. أوجد المسافة بين البؤرة الحمراء والبؤرة البنفسجية علما بأن معامل انكسار مادة العدسة للون الأحمر ١,٥١٤ وللون البنفسجي ١,٥٢٤؟

٧- أ- عرف قدرة وسط على التفرق.

ب-عدسة من زجاج التاج قوتها ٢ ديوبتر وقوة تفرق مادتها ٠,٠١٨ ماذا يجب أن تكون قوة عدسة من زجاج فلنت قدرته على التفرق ٠,٠٤٥ بحيث تصير المجموعة لا لونية؟ أحسب البعد البؤري للمجموعة؟

٨- مجموعة لا لونية من عدستين قوتها المكافئة ١ ديوبتر. أوجد البعد البؤري لكل عدسة ونوعها علما بأن معامل انكسار العدسة الأول للأحمر والبنفسجي هما على الترتيب :١,٥١٥٥، ١,٥٢٤٥ومعامل انكسار الثانية للأحمر والبنفسجي ١,٦٤١، ١,٦٥٩.

٩- عدسة محدبة الوجهين A تعمل مجموعة لا لونية مع عدسة مقعرة مستوية الوجه B. فإذا كان نصف قطر تكور السطح المشترك للعدستين ١٥,٣٤ سم فأوجد البعد البؤري للمجموعة علما بأن:

معاملات انكسار مادة العدسة A للأزرق والأحمر والأصفر هي على الترتيب ١,٥٢٣٥، ١,٥١٤٩، ١,٥١٩٢ ومعاملات انكسار مادة العدسة B لنفس الألوان هي: ١,٦٦٣٥، ١,٦٤٦٣، ١,٦٥٤٩.

١٠- رسم خطان متعامدان على سطح اسطوانة زجاجية ونصف قطرها ١٠ سم بحيث يكون الخط الرأسي موازيا لمحور الأسطوانة والأفقي عموديا عليه ونظرا للخطين من الجهة المقابلة. أوجد كيف يظهر الخطان والمسافة بينهما علما بأن معامل انكسار مادة زجاج الاسطوانة ١,٥.

١١- يستخدم إنسان عدسة بعدها البؤري ٢٢سم لكي يقرأ كتابا على بعد ٢٠ سم من عينيه. ما هو أقرب بعد لجسم يستطيع أن يراه بوضوح بدون استعمال لنظارته؟

١٢- شخص يمكنه أن يري بوضوح الأجسام التي يتراوح بعدها عنه بين ٢٠ سم، ٢ متر. احسب قوة العدسة التي تمكنه من رؤية الأجسام البعيدة. وبين تأثير هذه العدسة على النقطة القريبة له.

١٣- احسب قوة العدسة التي يمكن أن يستخدمها شخص للقراءة إذا كانت النقطة القريبة له ٣٦ سم في المستوي الأفقي وعادية في المستوي الرأسي.

١٤- شخص مصاب بالاستجمية. النقطة القريبة له في مستوي أفقي ٤٠ سم وفي مستوي رأسي ٨٠ سم. احسب قوة العدسة اللازمة له ليري بوضوح علي بعد ٢٥سم.

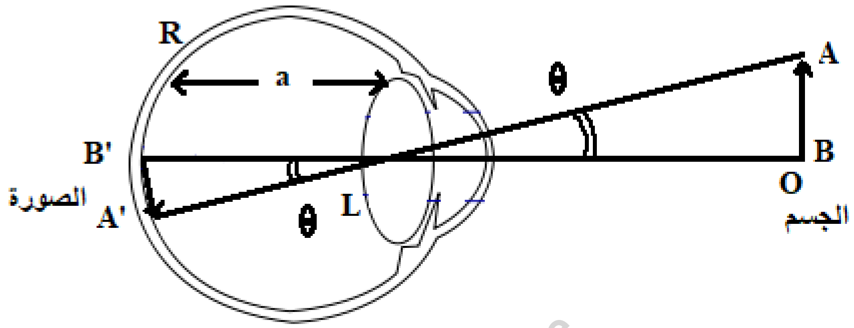
١٥- شخص عنده طول نظر نقطته القريبة علي بعد ١٠٠ سم. ما نوع وقوة العدسة اللازمة له للقراءة؟ وبين تأثير هذه العدسة علي نقطته البعيدة.

١٦- شخص قصير النظر نقطته البعيدة علي بعد ٥ أمتار ونقطته القريبة علي بعد ٢٠ سم. أوجد العدسة اللازمة له للمشي. ماذا تكون أقصر مسافة للرؤية الواضحة باستعمال هذه العدسة.

آلات الابصار

زاوية الابصار:

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. شكل (١).

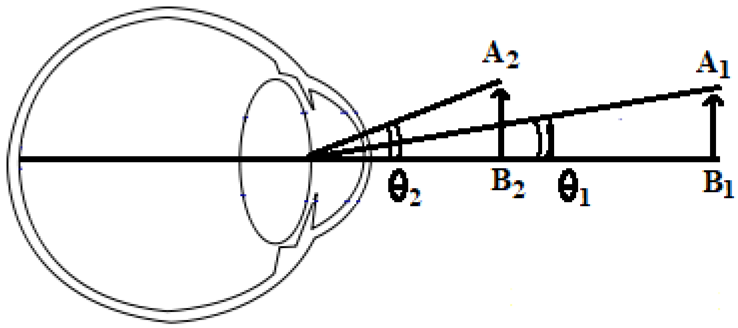


شكل (1)

نقرض جسما AB موضوعا عند نقطة O أمام العين. تتكون للجسم صورة $A'B'$ على شبكية العين. نفرض أن θ هي الزاوية التي يصنعها الجسم عند العين.

إذا كان قطر كرة العين a، من هندسة شكل (١) نجد أن: $\theta = \frac{A'B'}{a}$ حيث θ مقاسة بالتقدير الدائري.

أي أن طول الصورة AB. على شبكية العين تناسب مع زاوية الإبصار θ. إذ أن قطر كرة العين مقدار ثابت. وواضح أنه كلما ازدادت زاوية الإبصار كلما ازداد جسم الصورة المكونة على الشبكية، وبالتالي ازداد وضوح رؤية الجسم. وذلك ما يحدث عندما تقترب من الجسم لزيادة وضوح رؤيته، إذ أن زاوية الابصار تزداد بالرغم من عدم تغير حجمه. شكل (٢).

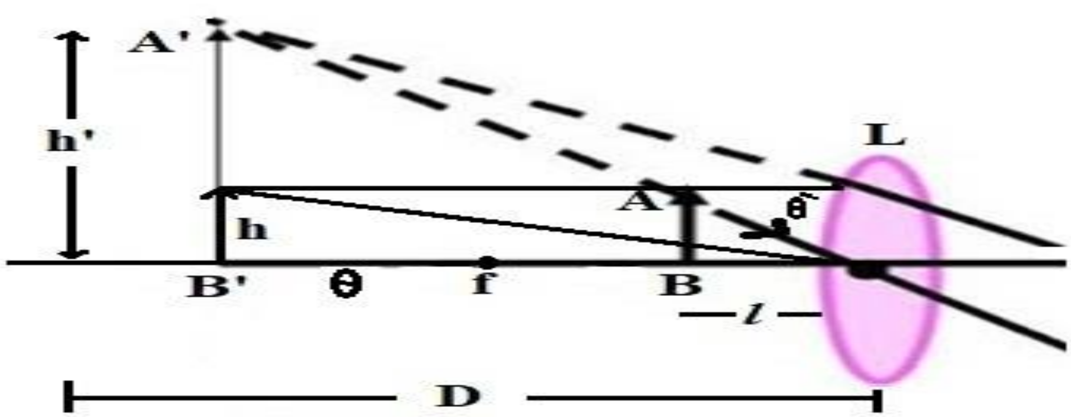


شكل (2)

ويعتمد عمل الميكروسكوب والتلسكوب على زيادة إبصار الحسم 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 الالة البصرية، وزاوية رؤية الجسم نفسه بدون استخدام الألة.

<u>الميكروسكوب البسيط:</u>

إذا وضع جسم أمام عدسة لامة، وكان على بعد أقل من بعدها البؤري، فإن العدسة تحدث للجسم صورة تقديرية مكبرة معتدلة. فإذا نظرت العين من خلال العدسة فإنها ترى الصورة مكبرة للجسم، وتسمى العدسة عندئذ ميكروسكوب بسيط. شكل (٣).



شكل (3)

ويتوقف الحجم الظاهري للجسم على الزاوية البصرية التي يحدثها عند العين، وتزداد هذه الزاوية كلما اقترب الجسم منها. ولكن هناك حدا لا يستطيع الجسم عند 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 يساوى أقصر مسافة للرؤية الواضحة، D كما في شكل (٣)، أي أنها تكون عند النقطة القريبة للعين بفرض أن العدسة L ملاصقة للعين.

ولإيجاد تكبير الميكروسكوب البسيط نفرض طول الجسم h، وزارية إبصاره عن النقطة القريبة للعين θ. وأن طول الصورة المكونة بالعدسة h′ ، وزاوية إبصار الصورة θ′ يكون التكبير هو:

$$m = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A'B'}{D} / \frac{AB}{D}$$

$$\therefore m = \frac{h'}{h} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ويساوي ذلك التمايل الابتدائي مقسوما على التمايل النهائي، أي أنه يساوى بعد الصورة l' في مقسوما على بعد الجسم l. ومن قانون العدسات:

$$-L + F = L'$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{l} + \frac{1}{l'}$$

$$\frac{l'}{l} = \frac{l'}{f} - 1$$

لكن الصورة عند النقطة القريبة للعين، أي على بعد D منها، أي أن $l' = D$ ويكون بذلك التكبير هو:

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

مثال:

عدسة محدبة بعدها البؤري ٣ سم، تستخدم كميكروسكوب بسيط لشخص نقطته القريبة للعين على بعد ٢٤ سم. أوجد قوة الكبير وموضع الجسم.

الحل:

التكبير m هو

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

الصورة تقديرية لذلك

$$f = 3\,, \qquad l' = D = -24$$

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

$$\therefore m = -9$$

ولإيجاد بعد الجسم عن العدسة نستخدم قانون العدسات:

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

وبوضع

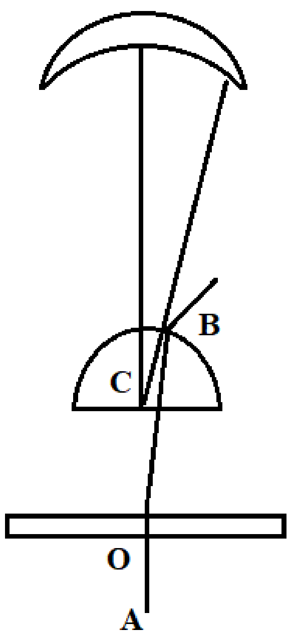
$$f = 3\,, \qquad l' = -24$$

نحصل على

$$l = 2.67 \text{ cm}$$

الميكروسكوب المركب: -

يتركب هذا الميكروسكوب من عدستين F_2&F_1، الأولى ذات بعد بؤري صغير جدا، وهي التي تواجه الجسم h عند الموضع O وتسمى هذه العدسة لذلك بالشيئية، أما العدسة الثانية F_2 فبعدها البؤري أطول قليلا، وهي التي تنظر العين خلالها ولذلك تسمى ذات بعد بؤري صغير. لذلك يجب أن تكون الفتحة التي يدخل منها الضوء لقطب الميكروسكوب ضيقة. وإلا حدث تشوبه كرى 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 فيرى بوضوح. يطلق على العدسة الشيئية عندئذ بالعدسة المغمورة. كما يسمى الميكروسكوب بذي العدسة المغمورة.



شكل (5)

تتركب شيئية الميكروسكوب ذي العدسة المغمورة من عدسة على هيئة نصف كرة من الزجاج، سطحها السفلى مستو، شكل (٥). ويوضع الجسم المراد تكبيره على مسطح من الزجاج، ثم يملأ الحيز بين الجسم والسطح المستوى للعدسة بزيت له نفس معامل انكسار مادة العدسة μ.

ولكي لا يحدث تشويه كرى 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، تبعد عن المركز C بمقدار$(r\mu)$ ، أي أن سطح العدسة لا بحث زيغا كريا.

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

من هندسة الشكل:

$$\frac{\mathrm{CO}}{\mathrm{CB}} = \frac{\sin \mathrm{i}'}{\sin \mathrm{COB}}$$

$$= \frac{(\frac{\mathrm{r}}{\mu})}{\mathrm{r}} = \frac{1}{\mu}$$

ومن ذلك نجد أن الزارية $(\mathrm{C\hat{O}B})$ هي زاوية الخروج i إذ ان:

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

وبذلك تكون الزاوية $(\mathrm{C\hat{A}B})$ مساوية للزاوية (i') في المثلث ABC.

$$\frac{\mathrm{AC}}{\mathrm{CB}} = \frac{\sin \mathrm{i}}{\sin \mathrm{i}'} = \mu$$

لكن

$$\mathrm{CB} = \mathrm{r}$$

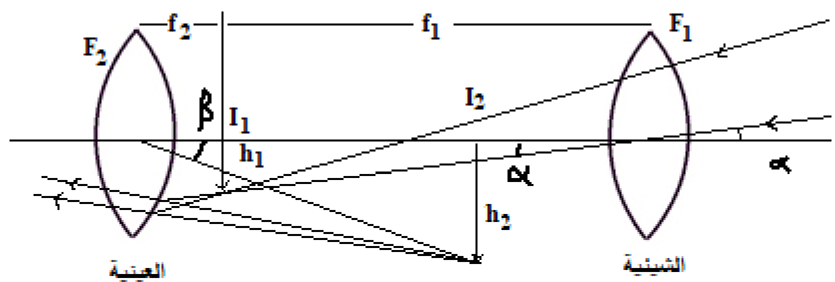
$$\mathrm{AC} = \mu\mathrm{r}$$

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

<u>التلسكوب الفلكي: -</u>

يستخدم التلسكوب الفلكي لتكبير رؤية المرئيات البعيدة، ويتركب من عدسة لامة تسمى بالشيئية، تحدث للجسم البعيد صورة حقيقية I_1 في بؤرتها. وترى هذه الصورة مكبرة بواسطة عدسة أخرى لامة تسمى بالعينية، ويكون موضع العينية بحيث تكون الصورة الأولى على بعد منها أقل قليلا

من بعدها البؤري، أي أن المسافة بين العينية والشيئية - وهي طول قصبة التلسكوب – تساوى تقريبا مجموع البعدين البؤريين للعدستين. وتعمل العينية عمل الميكروسكوب البسيط، فتكون الصورة المكونة بالعدسة الشيئية صورة تقديرية مكبرة I_2، هي التي تراها عين الراصد. انظر شكل (٦).



شكل (6)

لإيجاد قوة تكبير التلسكوب الفلكي نفرض ان زاوية ابصار الجسم هي α، وزاوية ابصار الصورة β، تكون قوة التكبير m هي النسبة بينهما.

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

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

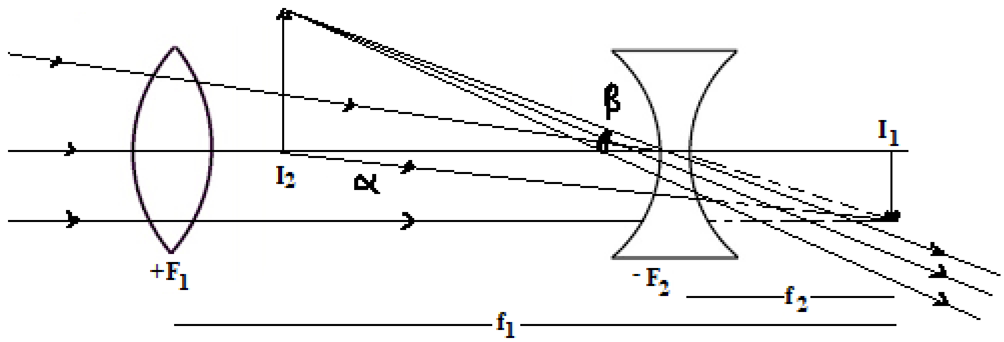
$$m = \frac{f_1}{f_2} = \frac{F_2}{F_1}$$

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

تلسكوب جاليليو: -

ابتكر جاليليو تلسكوبا ترى به الصوة 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، وبحيث يكون البعد بين العينية وبؤرة الشيئية مساويا للبعد البؤري بإشارتهما. كما في شكل (٧).



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، وتبدوا كأنها صادرة من نقطة عند I_2 حيث تكون الصورة النهائية التي يراها الراصد، وتكون الصورة تقديرية معتدلة ويتوقف موضعها على بعد العينية عن الصورة I_1 فإذا كان ذلك البعد مساويا للبعد البؤري للعينية، فإن الصورة تتكون في ما لانهاية واذا كان ذلك البعد أكبر قليلا من البعد البؤري للعينية تكونت الصورة ن مكان أقرب من ذلك. ويمكن تعديل موضع العينية بحيث تتكون الصورة على بعد يعادل أقصر مسافة الرؤية الواضحة، أي عند النقطة القريبة للعين.

تحسب قوة التكبير في منظار جاليليو كما حسبت في التلسكوب الفلكي. فاذا كانت $\beta\&\alpha$ زاويتي الابصار للجسم وللصورة تكون قوة التكبير m هي:

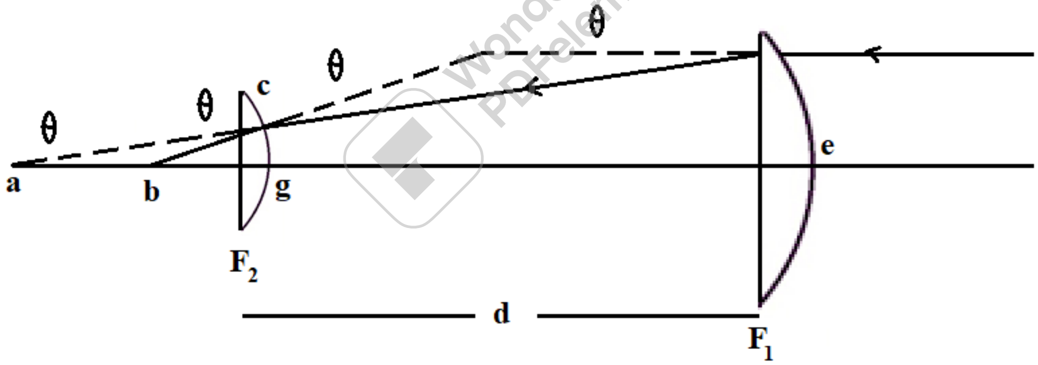
$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{F_2}{F_1}$$

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

عينية هيجنز: -

نظرا لاستخدام العدسات لرؤية الأجسام بواسطة الات الإبصار، ونظرا لأن الاشعة المنكسرة من سطح كرى تقابل المحرر في نقطة واحدة، إذا كانت زاوية الانحراف صغيرة. ويزداد التشويه الكرى كلما زاد الانحراف، لذلك لكي يرى الجسم غير مشوه يجب أن تكون العينية خالية من التشويه الكرى واللوني. وللحصول على أقل تشويه كرى ممكن من عدسة لامة يقسم الانحراف بالتساوي بين سطحي العدسة، أي أن زاوية السقوط تساوى 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 واحداً في العدستين، كما في شكل (٨).

وتسمى العدسة الأولى F_1عدسة المجال. وتسمى العدسة الثانية F_2 عدسة العين.



شكل (8)

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

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

لكن $ae = f_1$ وهو البعد البؤري لعدسة المجال.

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

$$ag = (f_1 - d) = l$$

ويكون بعد الصورة النهائية عند b عن العدسة الثانية هو:

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

وبتطبيق قانون العدسات يكون

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{l'}$$

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

ومنها نجد

$$d = f_1 - f_2$$

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

وللتخلص من التشويه اللوني لعدستين تفصلهما مسافة d (معادلة 14-12) يجب أن يكون

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

وعلى ذلك فإذا أردنا تكوين مجموعة خالية من الزيغ الكرى والزيغ اللوني يجب ان تكون:

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

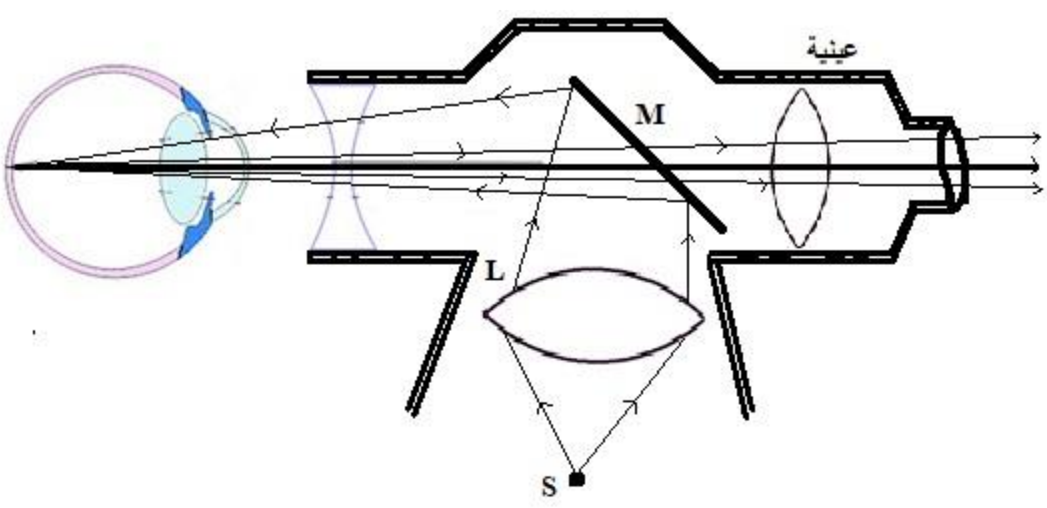
أي ان تكون

$$f_1 = 3\, f_2$$

وبذلك فإن عينية هينجنز تتكون من عدستين محدبتين مستويتي الوجه، توضعان بحيث يقابل السطح المستوى لكل منهما العين، ويكون سطح عدسة المجال كبيرا لاستقبال أكبر كمية ممكنة من الأشعة، ويكون سطح عدسة العين صغيرا لاستقبال الاشعة 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.

منظار فحص العين: -

هو منظار يستخدمه أطباء العيون لفحص قاع العين، والكشف عن حالة الابصار وتصحيح عيوبها. ويتكون من مصدر ضوء S موضوع أمام عدسة لامة L على بعد أكبر قليلا من بعدها البؤري، فتتجمع الأشعة لتسلط على مرآة M جزؤها الأوسط نصف مفضض ليسمح بالرؤية خلاله. تنعكس الأشعة على المرأة M لتسقط على عدسة الدين 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 (٩).



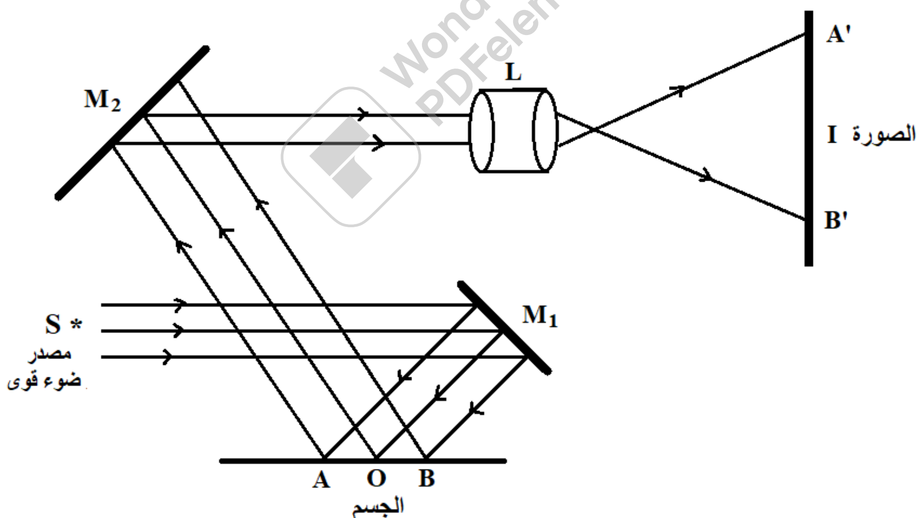
شكل (9)

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 ان الاشعة قد تجمعت تماما على الشبكية، ويدل ذلك على أن صور المرئيات أيضا سوف تتكون عليها إذا استخدم المريض هذه العدسات، وبذلك ترى المرئيات واضحة.

<u>الابيدياسكوب:-</u>

يستخدم هذا الجهاز للحصول صور مكبرة لأجسام غير شفافة، مثل صورة مطبوعة ورقة في كتاب. وتعتمد نظرية الجهاز على إضاءة الجسم إضاءة شديدة بواسطة مصدر ضوء S ومرأة عاكسة M_1 شكل (١٠). ثم يستقبل النسوة 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.

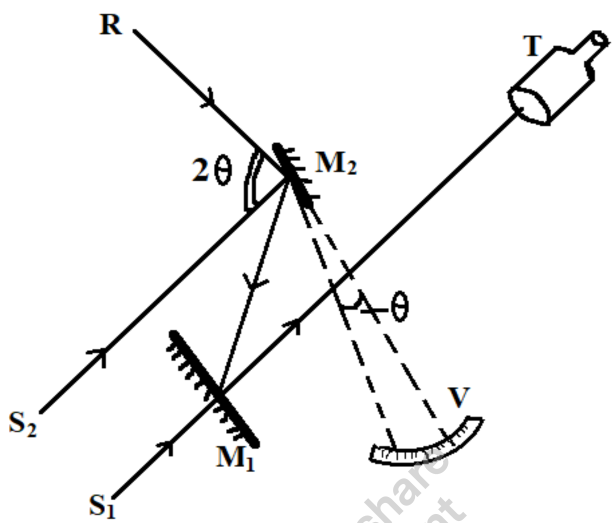


شكل (10)

<u>الة السدس(Sextant) : -</u>

جهاز يستخدم لقياس الزاوية التي يصنعها جسمان بعيدان عن الراصد. ويتكون من تلسكوب T موجه الى مرآة M_1 نصف مفضضة لتعكس جزءا من الضوء وتسمح بنفاذ جزء اخر منه، ويتحرك دائريا أمام المرآة M_1 مرآة اخرى M_2 يمكن توجيهها ناحية الجسم المراد رصده. كما

أنه يمكن قياس زاوية دوران هذه المرآة على مقياس مدرج V. شكل (١١) وتعتمد نظرية هذا الجهاز على أنه إذا دارت مرآة بزاوية معينة، فإن الشعاع المنعكس يدور بزاوية تساوى ضعف زاوية الدوران. (على الطالب إثبات ذلك).



شكل (11)

اعتبر جسما بعيدا يرسل أشعة متوازية يسقط شعاع منها S_1 على المرأة نصف المفضضة M_1 فينفذ خلالها ويمر داخل قصبة التلسكوب T ويسقط شعاع أخر S_2 على المرآة الدوارة M_2 التي يمكن ضبط زاويتها بحيث ينعكس الشماع 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 أخر بعيد من النقطة R، يجب إدارة المرآة M_2 بزاوية θ حتى نحصل على انطباق للجسمين الأول S والثاني R. وتؤخذ قراءة المقياس وتكون زاوية الدوران هي الفرق بين القراءتين. ونظرا لان زاوية دوران المرآة M_2 هي نصف زاوية الدوران الحقيقية للشعاع لذلك يدرج المقياس V عادة بأعداد مضاعفة مرتين. وذلك ليعطى زاوية دوران الشعاع مباشرة.

عند وضع الة السدس افقيا يمكننا بمعرفة الزاوية بين جسمين تعيين البعد بينهما وعند وضعها راسيا يمكننا تعيين الارتفاع لأجسام راسية وذلك باستخدام حساب المثلثات.

تمارين

١- إذا استخدمت عدسة لامة كميكروسكوب بسيط، فاثبت أن التكبير يتناسب عكسيا مع بعدها البؤري.

٢- كيف ترتب عدستين لامتين لتستخدمهما:

أ- كميكروسكوب.

ب-كتلسكوب؟

وقارن بين نمل الشيئية في الحالتين، وارسم اشكالا توضح إجابتك.

٣-

أ- قارن بين التلسكوب الفلكي وتلسكوب جاليليو.

ب-إذا كان البعد البؤري للعدسة المقعرة في منظار جاليليو هو ٣ سم والتكبير الذي نحصل عليه بهذا المنظار هو ٨. فماذا يكون البعد البؤري لعدسته المحدبة؟ وما المسافة بين العدستين.

٤- عدستان محدبتان بعدهما البؤري ٤,١٦ سم وقد استعملتا كتلسكوب لرصد جسم بعيد جدا. ما قوة التكبير عندما تبدو الصورة عند بعد لا نهائي تقريبا؟

٥- البن البؤري لشيئية ميكروسكوب ١,٢٥ سم ولعدسة العينية ٢,٥ سم، وقد استخدمه شخص لفحص جسم صغير على بعد ١,٨٧ سم من الشيئية. فإذا كانت أقصر مسافة للرؤية الواضحة له هي ٣٠ سم، فما يكون البعد بين عدستي الميكروسكوب؟ وما مقدار التكبير الذي يحدثه؟

٦- ميكروسكوب مركب البعد البؤري لشيئيته ١ سم ولعينيته ٥ سم والبعد بينهما ١٥,١٦٦ سم. فإذا كانت الصورة النهائية على بعد ٢٥ سم من العين. فأوجد بعد الجسم من الشيئية ودرجة تكبير الميكروسكوب.

المراجع

١ـ " البصريات الهندسية " ، نصر الزوام ، مركز الكتاب الأكاديمي ، ١٠ مايو ٢٠١٨.

٢ـ " البصريات الهندسية " ، شاهر ربحي عليان ، دار المسيرة للطباعة والنشر ، ٠١ يناير ٢٠٠٩.

٣ـ " البصريات " ، د. سعود بن حمد اللحياني ، ٢٩ أبريل ٢٠٠٩.

٤ـ " البصريات الهندسية " ، حسن راشد نزال ، دار اليازوري العلمية ، ٠١ يناير ٢٠٠٦.

٥ـ " البصريات الهندسية والأمواج " ، مجدي صبحي بنظير، ٠١ يناير ٢٠٠٦.