تم تحميل هذا الملف من موقع المناهج العُمانية

*للحصول على أوراق عمل لجميع الصفوف وجميع المواد اضغط هنا

https://almanahj.com/om

* للحصول على أوراق عمل لجميع مواد الصف الثاني عشر اضغط هنا

https://almanahj.com/om/12

* للحصول على جميع أوراق الصف الثاني عشر في مادة فيزياء ولجميع الفصول, اضغط هنا

https://almanahj.com/om/12physics

* للحصول على أوراق عمل لجميع مواد الصف الثاني عشر في مادة فيزياء الخاصة بـ الفصل الثاني اضغط هنا

https://almanahj.com/om/12physics2

* لتحميل كتب جميع المواد في جميع الفصول للـ الصف الثاني عشر اضغط هنا

https://almanahj.com/om/grade12

* لتحميل جميع ملفات المدرس عبقري الفيزياء اضغط هنا

للتحدث إلى بوت على تلغرام: اضغط هنا

https://t.me/omcourse_bot

almanahj.com/om موقع المناهج العُمانية

الفصل الخامس

الطبيعة الموجية للضوء

إعداد : عبقري الفيزياء

almanahj.com/om
Physics Genius

◄ كيف تتكون الموجات الكهرومغناطيسية ؟

درسنا فيما سبق ، أن العالم أورستد تمكن من إيجاد أن التيار الكهربائي المار عبر موصل يمكنه أن يولد مجالاً مغناطيسياً حول هذا الموصل شدته تتغير بتغير شدة التيار ، وكما تعلمنا أيضاً وحسب قوانين فاراداي في الحث الكهرومغناطيسي أن المجال المغناطيسي المتغير الذي يقطع سطح الموصل يمكنه أن يولد مجالاً كهربائياً متغيراً بين طرفي الموصل .

درس العالم الاسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل الظواهر السابقة ووجد أنها تفتقد إلى التماثل فيما بينها وأن الفيزياء تعاني من النقص في هذه النقطة ، حيث لاحظ ماكسويل متسائلاً أنه إذا كانت المجالات المغناطيسية المتغيرة تولد مجالات كهربائية متغيرة فلماذا لا يمكنه أن يحدث العكس (أي هل يمكن للمجالات الكهربائية أن تولد مجالات مغناطيسية ؟!)

هنا خطا ماكسويل خطوة جريئة أصبحت من أعظم الانجازات في تاريخ العلم فقد تنبأ أنه يمكن للمجالات الكهربائية المتغيرة أن تولد مجالات مغناطيسية متغيرة ، هذه الخطوة الجريئة حثت ماكسويل من صياغة معادلات رياضية تمكن من خلالها إثبات ما تنبأ به وتعرف هذه المعادلات في وقتنا الحالي بإسم ((معادلات ماكسويل)) .

ومن خلال هذه المعادلات تبين الشحنات المعجلة تؤدي إلى توليد مجالاً مغناطيسياً متغيراً والذي بدوره يؤدي إلى توليد مجالاً كهربائياً متغيراً والمجال الكهربائي المتغير يؤدي إلى توليد مجالاً مغناطيسياً متغيراً , وهكذا...

وحسب المعادلات أيضاً لابد أن يكون المجالين متعامدين على بعضهما البعض وكل منهما يؤدي إلى توليد الآخر أي أن كل منهما يمكن اعتباره مصدراً للآخر ولا يمكن فصلهما عن بعضهما البعض . وبالتالي فإنه إذا كان المجال الكهربائي متغيراً بصورة جيبية (متردد) فإنه سيؤدي إلى توليد مجالاً مغناطيسياً متغيراً بصورة جيبية أيضاً والأخير سيؤدي إلى توليد مجالاً كهربائياً متغيراً بصورة جيبية أيضاً ..... وهكذا .

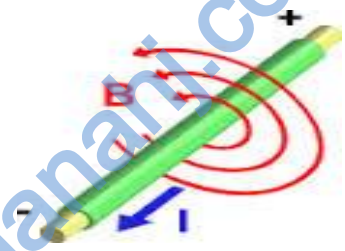
وعندها إذا أطلقنا للمجال الكهربائي والمغناطيسي المتغيران بصورة جيبية بالموجات الكهربائية و المغناطيسية على التوالي , وعندها ونظراً لأنه لا يمكن فصل المجالين عن بعضهما البعض فقد أطلق عليهما معاً بالموجات الكهرومغناطيسية .

وهكذا نجد أن ماكسويل قاد العالم إلى اكتشاف نوع آخر من الموجات بالإضافة إلى الموجات الميكانيكية وهو الموجات الكهرومغناطيسية .

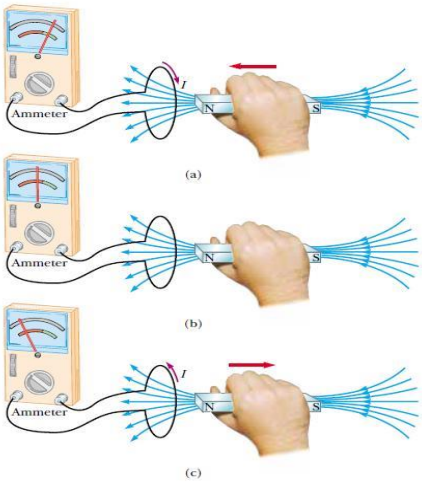
◄ توليد الموجات الكهرومغناطيسية :

على الرغم من أن ماكسويل هو صاحب فكرة وجود الموجات الكهرومغناطيسية والتي أثبتها رياضياً عن طريق المعادلات إلا إنه لم يستطع تحقيق وجودها عملياً .

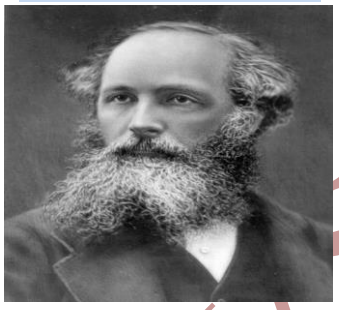
مبدأ أورستد



الحث الكهرومغناطيسي



جيمس ماكسويل



معادلات ماكسويل

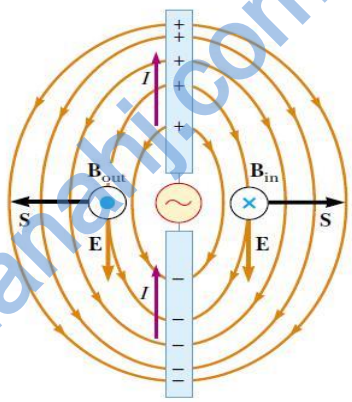
$$\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{A} = \frac{q_{enc}}{\varepsilon_0}$$

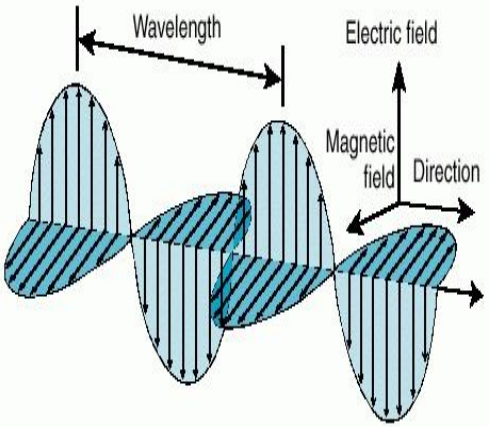
$$\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{A} = 0$$

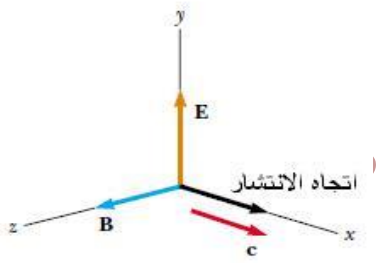
$$\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s} = \mu_0\varepsilon_0\frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{enc}$$

almanahj.com/om Physics Genius







ويعتبر العالم هينريك هيرتز من أوائل العلماء الذين استطاعوا إنتاج الموجات الكهرومغناطيسية عملياً , وأبسط طريقة يمكننا من خلالها توليد الموجات الكهرومغناطيسية عن طريق استخدام هوائي ثنائي القطب يتصل قطباه بمصدر متردد كما في الشكل المقابل ، وذلك نجعل الشحنات الكهربائية تتحرك بتسارع على طول الهوائي بين قطباه تؤدي بدورها إلى توليد مجالاً كهربائياً متغير الشدة والاتجاه بين قطبي الهوائي اتجاهه يكون على طول الصفحة التي ننظر إليها وكذلك تؤدي إلى تولد مجالاً مغناطيسياً متغير الشدة والاتجاه واتجاهه متعامداً على اتجاه الصفحة التي ننظر إليها وينتشران في جميع الاتجاهات حول الهوائي وترددهما يساوي تردد الشحنات بين قطبيه , وبالتالي وحسب نظرية ماكسويل فإنه عند نقاط بعيدة عن الهوائي يؤدي المجال الكهربائي المتغير إلى توليد مجالاً مغناطيسياً متغير والذي يؤدي بدوره إلى توليد مجالاً كهربائياً متغيراً متعامدين على بعضهما البعض وعلى اتجاه انتشارهما , وهكذا فإن ذلك سيؤدي إلى انتقال المجالين المترددين إلى نقاط بعيدة عن الهوائي بمساندة ذاتية وبدون وجود شحنات على هيئة موجات كهرومغناطيسية ويطلق عليه (مجال الإشعاع الكهرومغناطيسي) .

كما استطاع ماكسويل أيضاً من حساب سرعة الموجات الكهرومغناطيسية رياضياً ووجد أنها تساوي سرعة الضوء في الفراغ أي $3 \times 10^8 m/s$ مما جعله يتنبأ أن الضوء أيضاً عبارة عن موجات كهرومغناطيسية .

◄ **تعريف الموجات الكهرومغناطيسية :**

تعرف الموجات الكهرومغناطيسية بأنها (موجات مستعرضة تنشأ من اهتزاز مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين على بعضهما البعض وعلى اتجاه انتشارهما) .

◄ **خواص الموجات الكهرومغناطيسية :**

- موجات مستعرضة .
- يمكنها أن تنتقل في الأوساط المادية وغير المادية (الفراغ) .
- سرعتها في الفراغ أو الهواء ثابتة وتساوي $3 \times 10^8 m/s$.
- قابلة للاستقطاب .
- لها القدرة على النفاذ والاختراق .
- تختلف في الخواص الفيزيائية .
- مصدرها الشحنات الكهربائية المعجلة .
- لا تحمل شحنة وبالتالي لا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المغناطيسية .
- يمكن أن يحدث لها الظواهر الموجية مثل الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود .

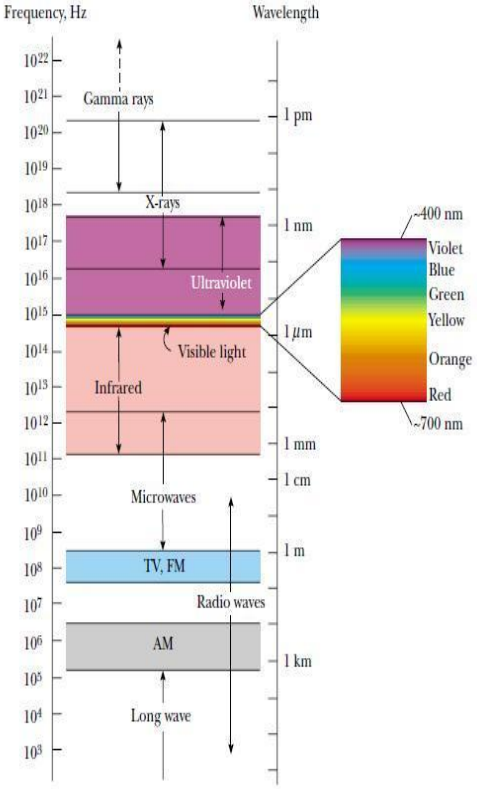
almanahj.com/om
Physics Genius

◄ الضوء والطيف الكهرومغناطيسي :

لم يلاقي تنبؤ العالم ماكسويل في كون أن الضوء عبارة موجة كهرومغناطيسية القبول من قِبل العلماء في ذلك الوقت بسبب إنه لم يستطع تحقيقها عملياً إلى أن تمكن العالم الألماني هينريك هيرتز من إنتاج موجات كهرومغناطيسية باستخدام دائرة كهربائية تحتوي على معجل للشحنات الكهربائية معلوم التردد وبحساب الأطوال الموجية لهذه الموجات وبالتعويض في قانون حساب سرعة الموجات :

$$v = \lambda f$$

وجد أن سرعة هذه الموجات تساوي ($3 \times 10^8 m/s$) وهو نفس المقدار الذي تنبأ به ماكسويل والذي يساوي سرعة الضوء في الفراغ مما يؤكد صحة فرضية ماكسويل أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية , وتتالى بعد ذلك إنتاج الموجات الكهرومغناطيسية ذات ترددات عالية تصل إلى أكثر من $10^{14} Hz$ وطول موجي اقل من $10^{-12} m$, وبدراسة هذه الموجات وجد أن بعض الأطوال الموجية والترددات تتشابه في خواصها الفيزيائية وتختلف فيها عن أطوال موجية وترددات أخرى وتبعاً لذلك تم تصنيف الموجات الكهرومغناطيسية إلى عدة أنواع وتم ترتيبها ترتيباً تصاعدياً أو تنازلياً حسب الطول الموجي أو التردد في صف يعرف بإسم (الطيف الكهرومغناطيسي) ، وفيما يلي أنواع الموجات الكهرومغناطيسية مرتبة ترتيباً تصاعدياً (من الأصغر إلى الأكبر) حسب الطول الموجي :



1- أشعة جاما .
2- الأشعة السينية .
3- الأشعة فوق البنفسجية .
4- الضوء المرئي .
5- الأشعة تحت الحمراء .
6- موجات المايكروويف .
7- موجات الراديو .

◄ مقارنة بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية :

الموجات الميكانيكية	الموجات الكهرومغناطيسية
تنشأ من إهتزاز جزيئات الوسط المادي	تنشأ من الشحنات المعجلة
موجات طولية أو مستعرضة	موجات مستعرضة فقط
تحتاج إلى وسط ناقل	لا تحتاج إلى وسط ناقل
سرعتها في الفراغ تساوي صفر	سرعتها في الفراغ تساوي $3 \times 10^8 m/s$

◄ قياس سرعة الضوء :

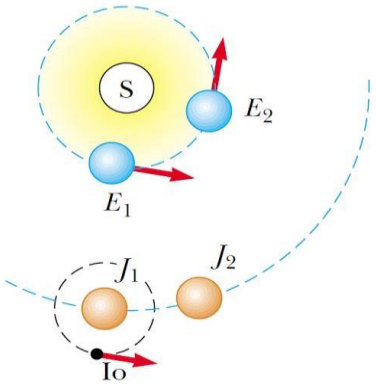
* محاولة العالم جاليليو :

تعتبر أول محاولة في قياس سرعة الضوء حيث طلب من أحد طلابه أن يقف في قمة إحدى تلتين تفصل بينهما مسافة $10Km$ ويقف هو في قمة التلة الأخرى كما في الشكل المقابل , حيث يحمل كل منهما مصباح

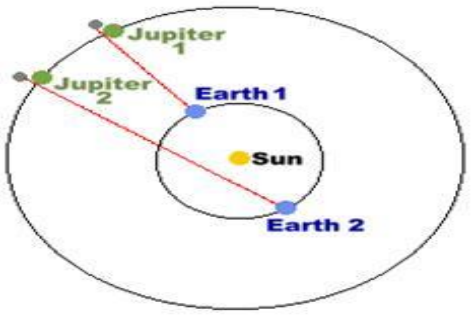
almanahj.com/om
Physics Genius

ويقوم جاليليو بإرسال إشارة ضوئية إلى الطالب ثم يقوم الطالب بإرسال إشارة ضوئية إلى جاليليو لحظة رؤيته لإشارة جاليليو ، وقد كانت فكرة جاليليو في أن يقوم بحساب الفترة الزمنية من انطلاق الإشارة الأولى وحتى لحظة استقباله للإشارة القادمة من الطالب وحينها يكون قد قام بحساب الفترة الزمنية للضوء ذهاباً وعودة وبقسمة المسافة على الزمن يستطيع حساب سرعة الضوء . إلا إنه فشل فذلك واستنتج أن الزمن الذي حصل عليه لا يمثل إلا زمن استجابة الإنسان وأنه من المستحيل حساب سرعة الضوء بهذه الطريقة وأن زمن انتقال الضوء بين التلتين أقل بكثير من سرعة استجابة الإنسان .

*** محاولة العالم رومر :**



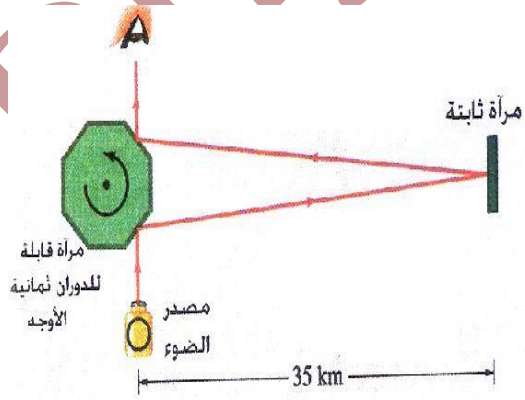
تعتبر محاولة العالم الفلكي الدنماركي أولي رومر في عام 1976م أول محاولة ناجحة في تحديد سرعة الضوء , حيث قام رومر بتتبع حركة أحد أقمار كوكب المشتري والذي كان يدور حوله مرة كل 42.5 ساعة وكانت مدة دوران كوكب المشتري حول الشمس تقريباً مرة كل 12 سنة أي أن سرعة دوران الأرض حول الشمس تعادل $\frac{1}{12}$ مرة من سرعة دوران المشتري حول الشمس .



وبعد أكثر من سنة تقريباً من تجميع البيانات وجد رومر أن زمن دوران القمر حول المشتري يزداد عن 42.5 ساعة عندما تكون الأرض بعيدة عن المشتري ويقل عن 42,5 ساعة عندما تكون الأرض قريبة من المشتري ، وقد استنتج رومر أن النتائج التي حصل عليها غير دقيقة وقد عزا رومر هذا الخطأ في القياسات إلى الحركة النسبية بين الأرض والمشتري .

بعد ذلك قام العالم هيجنز بتجميع البيانات التي حصل عليها رومر في محاولته واستطاع من خلالها حساب اقل سرعة ممكنة للضوء وفقاً لهذه البيانات ووجد أنها تساوي تقريباً $2.1 \times 10^8 m/s$ وحينها أصبح جلياً للعلماء ومما لا يدع مجالاً للشك أن للضوء قيمة محددة عالية جداً ويمكن حسابها .

*** محاولة العالم مايكلسون :**



تعتبر محاولة العالم الأمريكي مايكلسون أول محاولة عالية الدقة في تحديد سرعة الضوء وكانت محاولته كما يمثلها الشكل المقابل ، عبارة عن حساب الزمن الذي يقطعه الشعاع الضوئي ذهاباً وعودة بين مرآة ذات ثمانية أوجه قابلة للدوران حول محور مع أو عكس عقارب الساعة وبين مرآة مستوية تبعد عنها مسافة 35 Km ليسقط على تيليسكوب فإذا كانت سرعة دوران المرآة ذات الثمانية أوجه تتناسب مع سرعة الضوء ذهاباً وعودة بحيث يسقط الضوء على نقطة في أحد أوجه المرآة ذات الثمانية أوجه وينعكس عنها باتجاه المرآة المستوية وعند عودته تكون المرآة ذات الثمانية أوجه قد أكملت $\frac{1}{8}$ دورة بحيث يصنع الشعاع الضوئي زاوية سقوط نفس زاوية السقوط قبل انعكاسه باتجاه المرآة المستوية ليسقط مباشرة على التيليسكوب أما إذا كان غير ذلك فإن الشعاع الضوئي سينحرف قليلاً

بين جانبي التيليسكوب .

وبمعرفة سرعة دوران المرآة ذات الثمانية أوجه , وبالتعويض في المعادلة :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

وعندها يمكن حساب الزمن الدوري للمرآة :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

وبالتالي يمكن حساب الزمن الذي استغرقه الشعاع الضوئي ذهاباً وعودة بين المرآتين كما يلي :

$$t = \frac{1}{\text{عدد أوجه المرآة}} . T$$

وبالتعويض عن الزمن في قانون حساب السرعة :

$$v = \frac{x}{t}$$

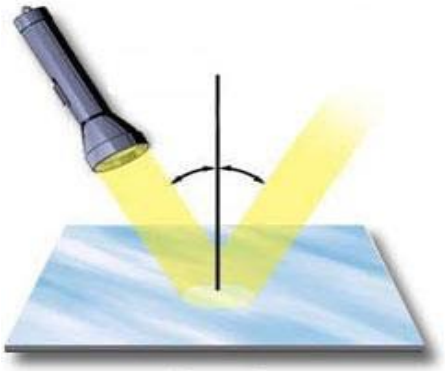
حيث أن x تمثل المسافة التي قطعها الشعاع الضوئي ذهاباً وعودة , وجد مايكلسون أن سرعة الضوء تساوي :

$$3 \times 10^8 m/s$$

ويعبر عن سرعة الضوء في كونها من الثوابت العامة بالرمز (c) .

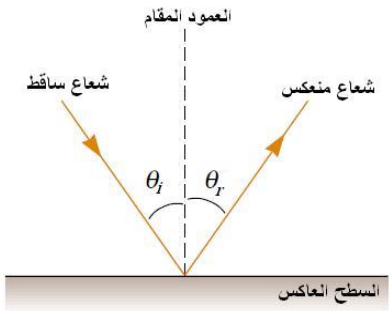
◄ انعكاس الضوء :

ينتقل الضوء في الفراغ أو أي وسط مادي على هيئة حزم ضوئية تتكون من أشعة مستقيمة ومتوازية مع بعضها البعض , وعندما تصطدم الحزمة بحاجز مادي غير نفاذ للضوء فإنها سوف ترتد في مسارها وتعرف هذه الظاهرة بالانعكاس .



● قانون الانعكاس :

عندما يسقط الشعاع الضوئي على السطح العاكس فإن الشعاع الساقط يصنع زاوية مع العمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تعرف بزاوية السقوط ، وعند انعكاسه فإن الشعاع المنعكس أيضاً سيصنع زاوية مع العمود المقام وتعرف بزاوية الانعكاس وينص قانون الانعكاس على أن :

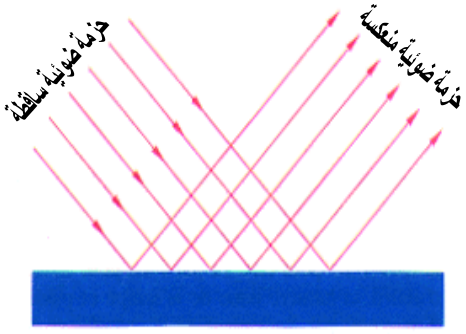


زاوية الانعكاس = زاوية السقوط

$$\theta_i = \theta_r$$

نظراً لقصر الطول الموجي للضوء فإنه يتأثر بطبيعة السطح العاكس هل هو أملس أم خشن ، فإذا كان :

♦ السطح العاكس أملس , كما في الشكل المقابل فإن :

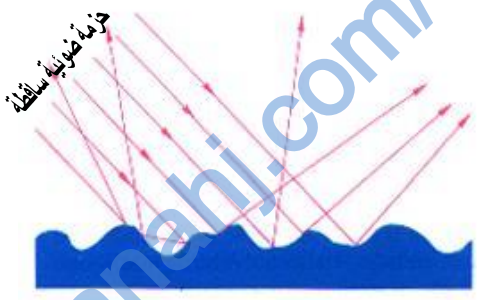


- الضوء يسقط على هيئة حزمة ضوئية وينعكس على هيئة حزمة ضوئية .
- يمكن تطبيق قانون الانعكاس على الحزمة الضوئية وعلى كل شعاع لحده.
- زوايا السقوط والانعكاس متساوية بالنسبة لجميع الأشعة في الحزمة وأيضاً بالنسبة للحزمة الضوئية ككل .
- أمثلة على الأسطح الملساء : المرايا ، سطح الماء الساكن .

almanahj.com/om
Physics Genius

♦ السطح العاكس خشن , كما في الشكل المقابل فإن :

- الضوء يسقط على هيئة حزمة ضوئية وينعكس على هيئة أشعة متفرقة.
- لا يمكن تطبيق قانون الانعكاس على الحزمة الضوئية ولكن يمكن تطبيقه على كل شعاع لحده.
- زوايا السقوط والانعكاس مختلفة بالنسبة لجميع الأشعة في الحزمة .
- أمثلة على الأسطح الخشنة : الخشب , الملابس , الكتاب .

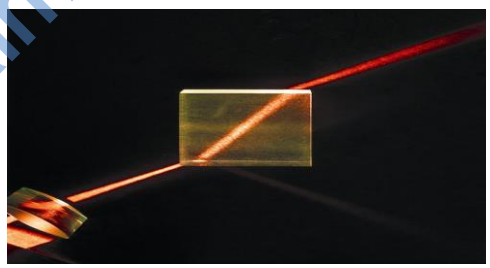


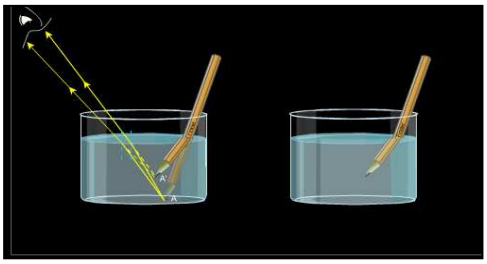
إنكسار الضوء :

● التعريف :

هو انحراف الشعاع أو الموجات الضوئية عن مسارها الأصلي عند انتقاله بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية بسبب التغير المفاجئ في سرعة الموجات الضوئية .

وهذا ما يفسر لنا رؤية القلم وكأنه يبدو مكسوراً عند وضعه في كوب زجاجي شفاف مملوء بالماء كما في الشكل المقابل

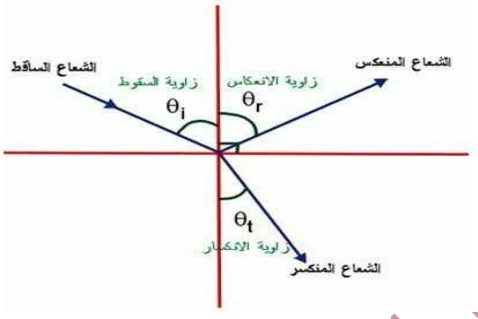




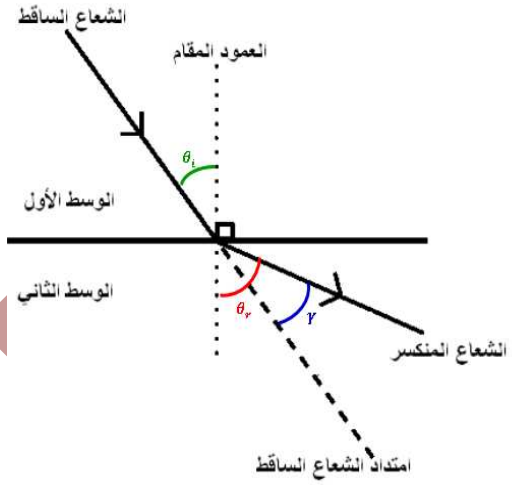
- الشعاع الضوئي عندما يسقط على السطح الفاصل بين وسطين فإن جزءاً منه سوف ينعكس وجزءاً منه سوف يمتص والجزء الآخر سوف ينكسر ويعتمد مقدار كلاً من الانعكاس والامتصاص والانكسار على طبيعة السطح الفاصل .

● قوانين الانكسار :

لنفترض أن شعاعاً ضوئياً يسقط على سطح فاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة ،من الوسط الأول إلى الوسط الثاني كما هو مبين في الشكل المقابل ، ومن خلال الشكل نجد أن:



- زاوية السقوط (θ_i) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل .
- زاوية الانكسار (θ_r) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام .
- زاوية الانحراف (γ) هي الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط والشعاع المنكسر .



♦ القانون الأول للانكسار :

$n_{12} = \frac{sin\theta_i}{sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ (معامل الانكسار النسبي)

* تردد الضوء الساقط = تردد الضوء المنكسر .

♦ معامل الانكسار المطلق للوسط :

* التعريف :

هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ (c) إلى سرعته في هذا الوسط (v) .

* القانون :

$$n = \frac{c}{v}$$

ـ معامل الانكسار المطلق لأي وسط عدا الهواء دائماً أكبر من الواحد الصحيح ($n > 1$) وذلك لأن سرعة الضوء في الفراغ هي أكبر سرعة للضوء ولا يمكن لسرعة الضوء في الوسط أن تكون أكبر منها وبالتالي عن الرجوع للقانون نجد أنه دائماً مقدار البسط (c) أكبر من مقدار المقام (v) أما بالنسبة للهواء أو الفراغ فهو يساوي 1 .

♦ قانون سنل :

من خلال التجارب استطاع العالم الهولندي ويلبرود سنل من إثبات أن النسبة بين جيب زاوية السقوط ($sin\theta_i$) في الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار ($sin\theta_r$) في الوسط الثاني دائماً تساوي النسبة بين معامل الانكسار المطلق للضوء في الوسط الثاني (n_2) إلى معامل الانكسار المطلق للضوء في الوسط الأول (n_1) :

$$\frac{sin\theta_i}{sin\theta_r} = \frac{n_2}{n_1}$$

ومنها نحصل على :

$$n_1 . sin\theta_i = n_2 . sin\theta_r$$

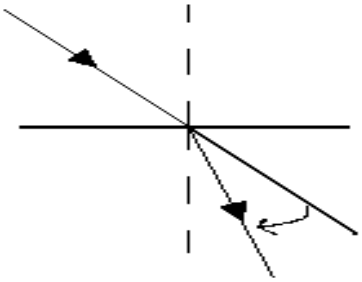
وهو ما يعرف بقانون سنل وينص على أن (حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق للضوء للوسط الأول في جيب زاوية السقوط لابد أن يساوي حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق للضوء للوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار)

* استنتاج :

مما سبق نستطيع استنتاج أن :

$$n_{12} = \frac{sin\theta_i}{sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

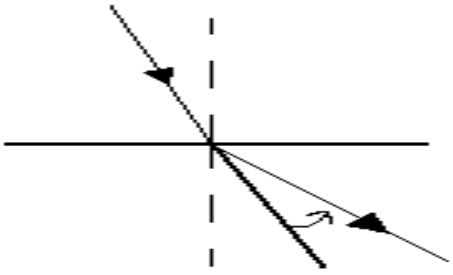
☜ إذا كان الشعاع الضوئي ينتقل من وسط أقل كثافة إلى وسط أعلى كثافة فإن :



$$n_1 < n_2$$
$$v_1 > v_2$$
$$\lambda_1 > \lambda_2$$
$$sin\theta_i > sin\theta_r$$

أي أن الشعاع الضوئي سينكسر مقترباً من العمود المقام .

☜ إذا كان الشعاع الضوئي ينتقل من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة فإن :



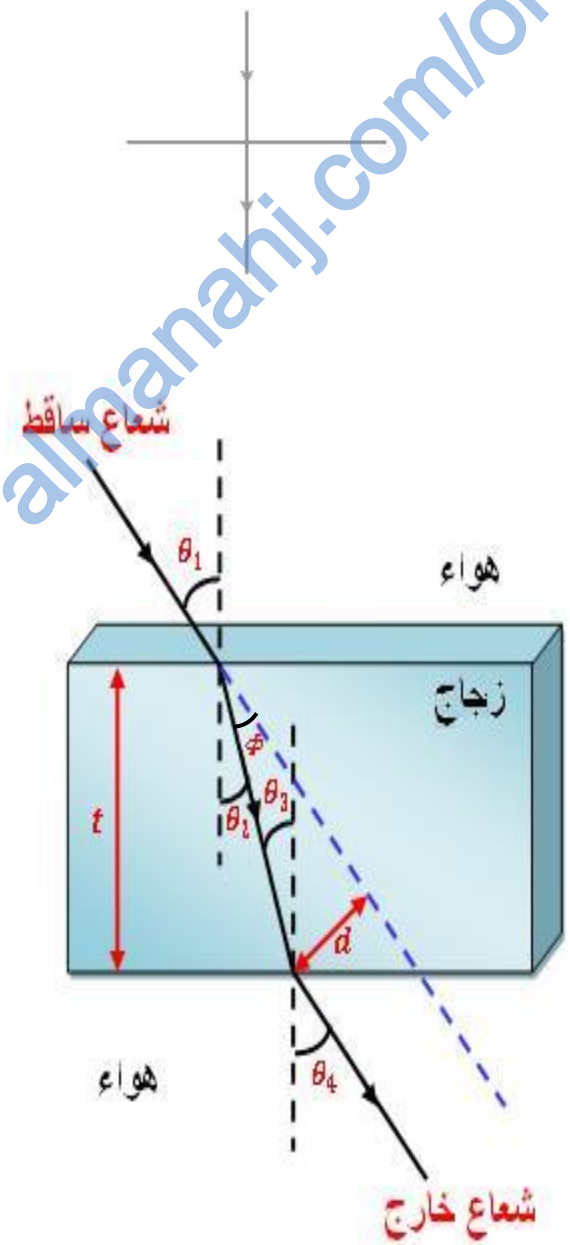
$$n_1 > n_2$$
$$v_1 < v_2$$
$$\lambda_1 < \lambda_2$$
$$sin\theta_i < sin\theta_r$$

أى أن الشعاع الضوئى سينكسر مبتعداً عن العمود المقام .

☜ إذا كان الشعاع الضوئي ينتقل من وسطين مختلفين في الكثافة ويسقط عمودياً على السطح الفاصل بين الوسطين ($\theta_i = 0$) ، فإنه يمر دون أن يعاني أي انكسار ($\theta_r = 0$) .

◄ **إنتقال الشعاع الضوئي بين أكثر من وسطين :**

الشكل المقابل يوضح سقوط شعاع ضوئي بزاوية سقوط مقدارها (θ_1) على سطح أحد أوجه مكعب من الزجاج معامل انكساره (n_2) فانكسر مقترباً من العمود المقام (لأن معامل انكسار الزجاج أكبر من معامل انكسار الهواء) بزاوية انكسار مقدارها (θ_2) ثم يخرج عنه من الوجه المقابل بحيث يصنع زاوية سقوط أخرى بالنسبة لهذا الوجه مقدارها (θ_3) ليخرج إلى الهواء ويعاني انكساراً آخر ولكن في هذه الحالة ينكسر مبتعداً عن العمود المقام (لأن معامل انكسار الهواء أقل من معامل انكسار الزجاج) بزاوية انكسار مقدارها (θ_4).



هنا نجد أن الشعاع الضوئي لأنه انتقل بين أكثر من وسطين (هواء ثم زجاج ثم هواء) فإنه قد عانى أكثر من انكسار ويمكن تطبيق قوانين الانكسار في كل مره ينكسر فيها وبتطبيق قوانين الانكسار في هذه الحالة نجد أن :

* أولاً / عندما ينتقل الشعاع من الهواء إلى الزجاج فإن :

$$n_1.sin\theta_1 = n_2.sin\theta_2 \quad \gg 1$$

* ثانياً / عندما ينتقل الشعاع من الزجاج إلى الهواء فإن :

$$n_2.sin\theta_3 = n_1.sin\theta_4 \quad \gg 2$$

وبما أن وجهي المكعب متوازيين ، فإنه يمكن القول أن :

$$\theta_3 = \theta_2 \text{ (بالتبادل)}$$

$$\therefore \ sin\theta_3 = sin\theta_2$$

بإيجاد مقدار ($\sin\theta_2$) من المعادلة رقم 1 نحصل على :

$$sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2}.sin\theta_1$$

ومنها نستنتج أن :

$$\therefore \ sin\theta_3 = \frac{n_1}{n_2}.sin\theta_1$$

وبالتعويض عن مقدار ($sin\theta_3$) الذي حصلنا عليه في المعادلة 2 كما يلي:

$$\cancel{n_2}.\frac{n_1}{\cancel{n_2}}.sin\theta_1 = \cancel{n_1}.sin\theta_4$$

$$\therefore \ sin\theta_1 = sin\theta_4$$

أي أن :

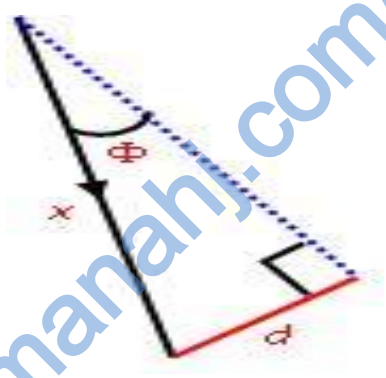
$$\theta_1 = \theta_4$$

هذا يعني أن الشعاع الساقط على الوجه الأول للمكعب الزجاجي يوازي الشعاع الخارج من الوجه الثاني .

● **إيجاد مقدار إزاحة الشعاع الخارج عن الشعاع الساقط (d) :**

من خلال الشكل نجد أن الشعاع الخارج عن المكعب الزجاجي ينزاح

almanahj.com/om Physics Genius



عن المسار الأصلي للشعاع الساقط مسافة مقدارها (d) ، ونجد أيضاً أن الشعاع المنكسر داخل الزجاج ينحرف بزاوية إنحراف مقدارها (Φ) عن المسار الأصلي كما في الشكل المقابل ، وبافتراض أن الشعاع الضوئي المنكسر يقطع مسافة مقدارها (x) بين وجهي المكعب فإننا سنحصل على :

$$sin\Phi = \frac{d}{x}$$

$$\therefore \quad d = x.sin\Phi$$

من الشكل الموضح للمكعب الزجاجي نجد أن :

$$\theta_1 = \Phi + \theta_2$$

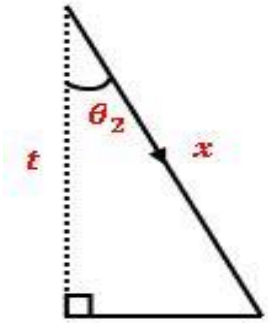
$$\therefore \quad \Phi = \theta_1 - \theta_2$$

ومنها تصبح :

$$d = x.sin(\theta_1 - \theta_2) \qquad \gg 3$$

كيف نوجد مقدار (x) ؟!!

من الشكل المقابل , وبافتراض أن (t) تمثل سمك مكعب الزجاج ، نستنتج أن :



$$cos\theta_2 = \frac{t}{x}$$

$$\therefore \quad x = \frac{t}{cos\theta_2} \qquad \gg 4$$

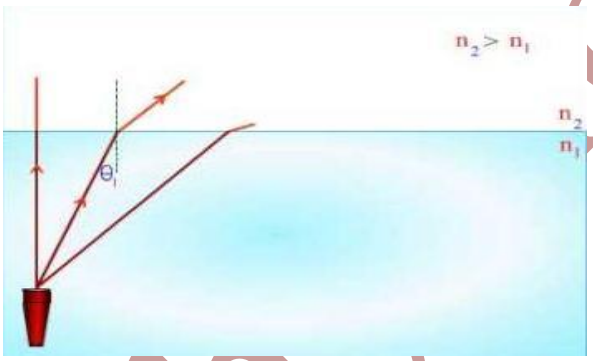
وبالتعويض عن (x) من المعادلة 4 في المعادلة 3 نحصل على :

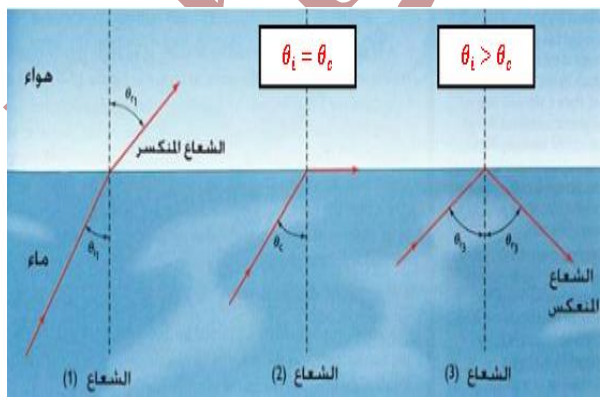
$$d = \frac{t.sin(\theta_1 - \theta_2)}{cos\theta_2}$$

◄ **الانعكاس الكلي الداخلي :**

عندما يسألك شخص ما , ماذا يحدث لشعاع ضوئي عند انتقاله بين وسطين مختلفين في الكثافة وكانت كثافة الوسط الأول أعلى من كثافة الوسط الثاني , كانتقاله من الماء إلى الهواء ؟

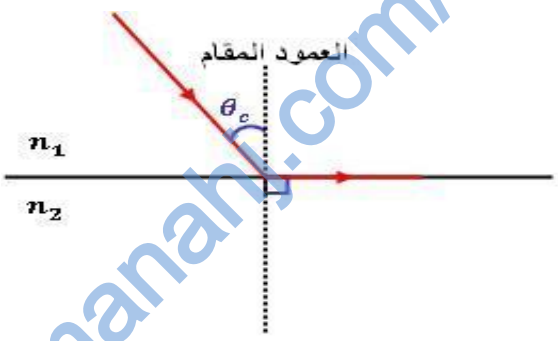
بطبيعة الحال وحسب معرفتك لقانون سنل في الانكسار ستكون إجابتك أن الشعاع الضوئي سيعاني الشعاع من انكسار ويكون اتجاه انكساره مبتعداً عن العمود المقام . أي أنه في هذه الحالة ستكون زاوية الانكسار (θ_r) أكبر من زاوية السقوط (θ_i) .





وماذا سيحدث إذا قمنا بزيادة زاوية السقوط (θ_i) ؟! كما هو موضح في الشكل المقابل , هنا أيضاً ستزداد زاوية الانكسار (θ_r) ، وهذا يعني أنه كلما اقتربت زاوية السقوط (θ_i) من الزاوية ($90°$) فإن زاوية الانكسار (θ_r) ستقترب أيضاً من الزاوية ($90°$) أي أن ونظراً لأن زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط ، فإنه وعند الاستمرار في زيادة زاوية السقوط تدريجياً فإن زاوية الانكسار تزداد تدريجياً إلى أن نصل إلى قيمة معينة لزاوية السقوط تصبح عندها زاوية الانكسار تساوي ($90°$) أي أن الشعاع الضوئي سينكسر موازياً للسطح الفاصل وتسمى هذه القيمة لزاوية السقوط بإسم (الزاوية الحرجة) ويرمز لها بالرمز (θ_c) بحيث أن عـــند

زيادة زاوية السقوط إلى قيمة أكبر من الزاوية الحرجة $(\theta_i > \theta_c)$ فإن الشعاع الضوئي لا يمكن أن يحدث له إنكسار ويؤدي إلى انعكاسه عند السطح الفاصل ويسمى هذا الانعكاس بـ(الانعكاس الكلي الداخلي) .

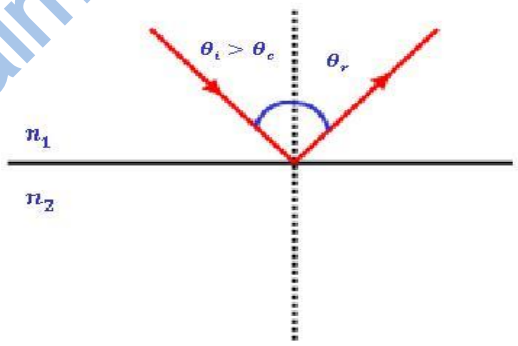


* تعرف الزاوية الحرجة (θ_c) :

هي زاوية السقوط التي يقابلها زاوية انكسار تساوي $(90°)$ عندما ينتقل الضوء من وسط أعلى كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية .

* تعريف الانعكاس الكلي :

ظاهرة انعكاس الضوء وعدم نفاذه عندما ينتقل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة بين الوسطين وكان معامل انكسار الوسط الأول أكبر من معامل انكسار الوسط الثانية .



● حساب الزاوية الحرجة :

☜ الشرط الأساسي للحصول على الزاوية الحرجة هو أن يكون $(n_1 > n_2)$.

في الشكل المقابل يوضح انتقال شعاع ضوئي بين وسطين مختلفين في الكثافة بزاوية سقوط مقدارها (θ_c) , وبالتالي وبتطبيق قانون سنل :

$$n_1.sin\theta_i = n_2.sin\theta_r$$

نحصل على :

$$n_1.sin\theta_c = n_2.sin90$$

نعلم أن :

$$sin90 = 1$$

$$\therefore \quad n_1.sin\theta_c = n_2$$

ومنها نجد أن :

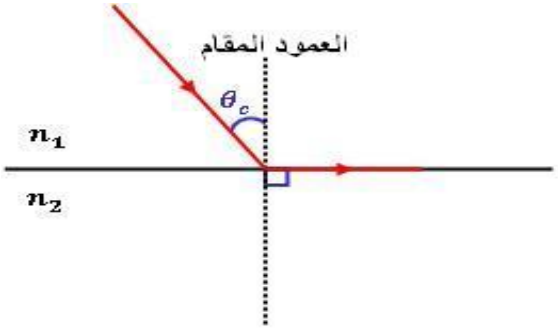
$$sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

ومنها يمكن القول أن :

$$sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

حيث أن :

$$n_1 > n_2$$
$$v_1 < v_2$$
$$\lambda_1 < \lambda_2$$



◄ تطبيقات على الانعكاس الكلي الداخلي :

من أهم التطبيقات والظواهر التي تعتمد على الانعكاس الكلي الداخلي هي :

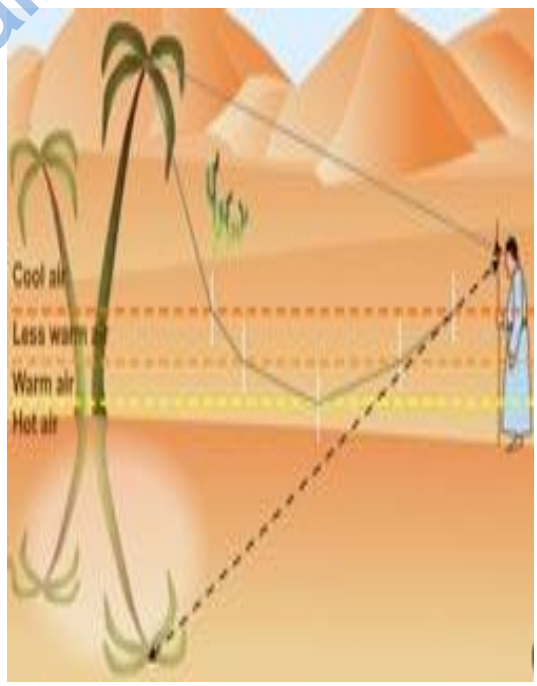
— السراب (الصحراوي أو القطبي) .

— الألياف الضوئية .

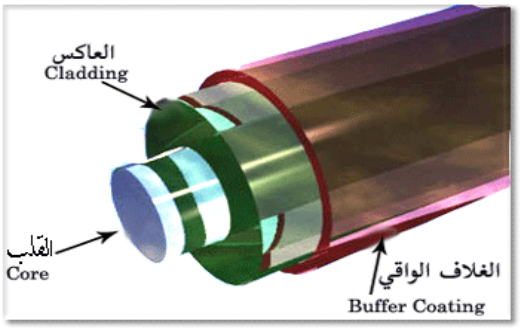
almanahj.com/om
Physics Genius

* السراب الصحراوي :

ظاهرة تحدث في المناطق الحارة مثل دول الخليج العربي حيث أنه وفي فترة الظهيرة في فصل الصيف تبدو الطرق عندما تنظر إلى الأفق يبدو الطريق أمامك وكأنه مغطى بالماء أو تتكون صورة منعكسة للأجسام ، تلك البقعة أو تلك الصورة المنعكسة التي تراها ما هي إلا إنعكاس كلي يحث للأشعة القادمة من الشمس عن وصولها بالقرب من سطح الأرض ، فكيف يحدث ذلك ؟



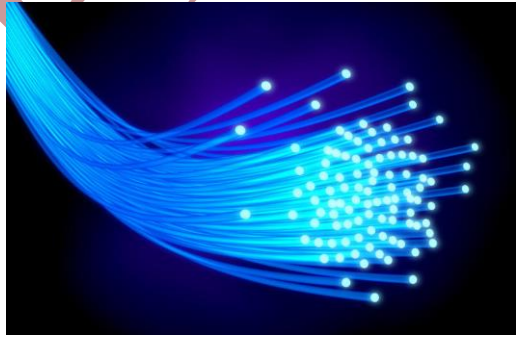
تفسير ذلك هو أنه في وقت الظهيرة تكون درجة حرارة سطح الأرض مرتفعة فتعمل على تسخين طبقات الهواء الملامسة لها فتقل كثافة الهواء عندها وتكون الطبقات التي أعلى منها أقل سخونة وتكون كثافة الهواء أعلى وهكذا كلما ارتفعنا عن سطح الأرض فإن درجة حرارة الهواء تقل وتزداد كثافته وبالتالي سوف يتكون فوق سطح الأرض طبقات من الهواء مختلفة الكثافة بحث تكون الطبقات العليا أكبر كثافة من الطبقات الدنيا , فعندما تنظر إلى جسم بعيد فإن الأشعة القادمة منه سوف تنتقل عبر طبقات الهواء المختلفة في الكثافة من طبقة ذات كثافة أعلى – معامل انكسار مطلق أعلى – إلى طبقة ذات كثافة أقل – معامل انكسار مطلق أقل - فتنكسر مبتعدة عن العمود المقام وكلما انتقل الشعاع الضوئي بين طبقات الهواء كلما تزداد زاوية السقوط وتزداد بالتالي معها زاوية الانكسار إلى أن تصبح زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة بين طبقتي الهواء المختلفة وعندها سيحدث للشعاع الضوئي انعكاس كلي داخلي فينعكس إلى الأعلى ويعاني عدة انكسارات أيضاً عند انتقاله مرةً أخرى بين طبقات الهواء إلا إنه في هذه الحالة سينتقل من طبقة ذات كثافة أقل إلى طبقة ذات كثافة أعلى فينكسر مقترباً من العمود المقام (لا يمكن أن يحدث له انعكاس كلي داخلي) ويستمر في الانتقال إلى أن يصل إلى العين وعندها ستتكون صورة معكوسة للجسم في العين بحيث تبدو وكأنها قادمة من مصدر خلف النقطة التي حدث عندها انعكاس كلي هذه الصورة المتكونة للجسم يطلق عليها السراب كما في الشكل المقابل .



* الألياف الضوئية :

من أهم التطبيقات العملية التي تعتمد على ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي وهي عبارة عن أنبوب رفيع مرن مصنوع من الزجاج أو البلاستيك الشفاف تتكون من ثلاث طبقات وهي :

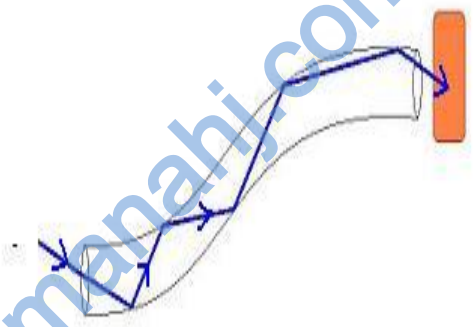
- القلب ومصنوع من الزجاج إو البلاستيك الشفاف (معامل انكساره المطلق كبير) .
- العاكس ومصنوع من الزجاج أو البلاستيك الشفاف (معامل انكساره المطلق أقل بكثير من معامل انكسار القلب) .
- الغلاف الواقي وهو مصنوع من مادة غير شفافة مثل المطاط تقلل من فقد الأشعة الداخلة إلى الألياف الضوئية.



● فكرة العمل :

عندما يدخل الضوء إلى داخل الليفة الضوئية بزاوية مناسبة فإنه سينتقل من القالب إلى العاكس وعندها تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية

الحرجة بين القالب والعاكس فيحدث له انعكاس كلي داخلي وتتكرر الانعكاسات الكلية الداخلية حتى تصل إلى الطرف الآخر للأنبوب دون فقد في الطاقة الضوئية .



● أهم الاستخدامات :

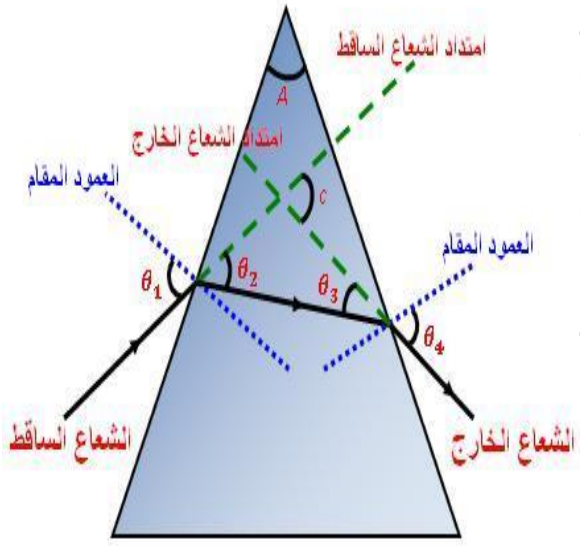
- الاتصالات الهاتفية والانترنت .
- عمليات المنظار والفحص الطبي بالمنظار .
- نقل الإشارات الكهربائية .
- العمليات الجراحية بالليزر .

◄ المنشور الرقيق الثلاثي الأوجه :

* تعريف :

هو عبارة عن جسم زجاجي أو بلاستيكي شفاف به قاعدتان مثلثتان وثلاثة أوجه مستطيلة أو مربعة الشكل .

* فكرة عمله :



عند سقوط الشعاع الضوئي على أحد أوجه المنشور فإنه سيعاني انكسار أول ومقترباً من العمود المقام , ثم ينتقل الشعاع الضوئي داخل المنشور ليسقط على الوجه الآخر للمنشور ويعاني انكساراً ثانياً ليخرج إلى خارج المنشور مبتعداً عن العمود المقام , كما في الشكل المقابل .

بتحليل هذا الشكل يمكن أن نستخلص بعض المعلومات التي تهمنا وهي :

♦ (A) ☜ زاوية رأس المنشور وهي الزاوية المحصورة بين وجهي المنشور اللذان يسقط عليها الشعاع الضوئي .

♦ (c) ☜ زاوية الانحراف الكلي وهي الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط على المنشور والشعاع الخارج منه .

♦ (θ_1 و θ_3) زوايا سقوط .

♦ (θ_2 و θ_4) زوايا انكسار .

♦ يمكن إيجاد زاوية رأس المنشور (A) من العلاقة :

$$A = \theta_2 + \theta_3$$

♦ يمكن إيجاد زاوية الانحراف الكلي (c) من العلاقة :

$$c = (\theta_1 + \theta_4) - A$$

* تحليل الضوء بواسطة المنشور الثلاثي :

نلاحظ من العلاقة الرياضية أن زاوية الانحراف الكلي تعتمد على زاوية رأس المنشور وزاوية الانكسار الثاني (الخروج من المنشور) وبالتالي فإنه عند سقوط ضوء أبيض على أحد أوجه المنشور ، وكما نعلم أن الضوء الأبيض يحتوي على سبعة ألوان ولكل لون طول موجي خاص به ومن العلاقة :

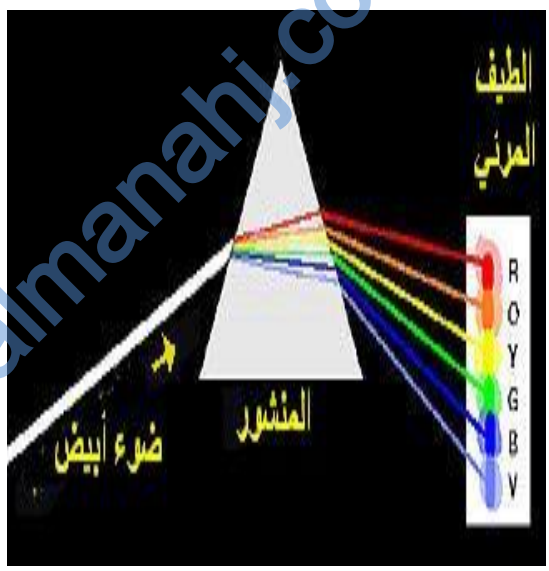
$$\frac{sin\theta_i}{sin\theta_r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

almanahj.com/om
Physics Genius

نجد أن العلاقة بين الطول الموجي للضوء الساقط (λ_1) يتناسب عكسياً مع زاوية الانكسار (θ_r) ومن هنا فإنه عند دخول الضوء الأبيض إلى داخل المنشور فإن كل لون سوف يكون له زاوية خروج (انكسار) خاصة به واللون الذي له أطول طول موجي سوف يكون له أقل زاوية خروج (انكسار) وبالتالي وحسب العلاقة لزاوية الانحراف الكلي :

$$c = (\theta_1 + \theta_4) - A$$

فإن هذا اللون سوف تكون له أقل زاوية انحراف كلي . ومن هنا ونظراً لأن اللون الأحمر له أطول طول موجي من بين الألوان السبعة واللون البنفسجي له اقل طول موجي فإن اللون الأحمر سوف يكون له أقل زاوية انحراف كلي واللون البنفسجي سوف يكون له أكبر زاوية انحراف كلي ، وبالتالي سوف يعمل المنشور على تحليل الضوء الأبيض إلى الألوان السبعة التي يتكون منها , وسوف نجد أيضاً أثناء تحليل الضوء بواسطة المنشور أن اللون البنفسجي هو أقرب الألوان من قاعدة المنشور وأن اللون الأحمر هو أبعدها كما هو موضح في الشكل المقابل .



كذلك تعمل قطرة الماء عن سقوط المطر في يوم مشمس جزئياً عمل المنشور فتعمل على تحليل ضوء الشمس إلى الألوان السبعة ونشاهد حدوث ظاهرة قوس قزح .

◄ **تطبيقات على ظاهرة الإنعكاس (المرايا) :**

تعتبر المرآة من أقدم الأجهزة البصرية تتكون من سطحين يكون أحدهما مطلي بمادة تعمل على عكس الضوء عند سقوطه على الوجه الآخر وتعتمد في عملها مبدأ الانعكاس لتكوين صورة للأجسام ، وهي تقسم إلى نوعين وذلك حسب شكل السطح العاكس لها هما :

- المرآة المستوية
- المرآة الكروية

سنتعرف على النوعين وكيفية تكوين الصورة للأجسام في كل نوع .

*** أولاً : المرآة المستوية :**

سميت بهذا الاسم لأن السطح العاكس لها مستوي كما في الشكل .

☜ **كيف تتكون الصورة للأجسام في العين ؟**

كما نعلم أن الأجسام تعكس الضوء الساقط عليها من الشمس في جميع الاتجاهات وإذا سقطت هذه الأشعة على العين فإنه نتيجة إلتقاء الأشعة مع بعضها داخل العين تتكون صورة لهذا الجسم عند نقطة الإلتقاء ويجب أن يكون بين العين والجسم المنظر خط مستقيم .

☜ **كيف تتكون الصورة للأجسام بواسطة المرايا ؟**

عند سقوط الأشعة المنعكسة عن الجسم في السطح العاكس للمرآة فإنه يعمل على عكس هذه الأشعة حسب قانون الإنعكاس وإذا ما سقطت هذه الأشعة على العين والتقت مع بعضها عند نقطة ما فإنه سوف تتكون صورة

almanahj.com/om Physics Genius

للجسم عند نقطة الالتقاء ولكنه قد يحدث ولا تتلاقى الأشعة المنعكس مع بعضها هنا نجد أن امتدادات هذه الأشعة سوف تلتقي عند نقطة ما وعندها ستتكون أيضاً صورة للأجسام وإذا ما استقبلت العين هذه الأشعة المنعكسة فإنها سوف تبدو وكأنها تنبعث من نقطة داخل المرآة فتتكون صورة للجسم في العين تبدو وكأنها موجودة بداخل المرآة.

مما سبق نجد أنه حتى تتكون صورة للجسم بواسطة المرآة في العين يجب أن :

– يكون بين العين والجسم المنظور خط مستقيم .

– أن تلتقي الأشعة المنعكسة عن السطح العاكس للمرآة عند نقطة أو أن تلتقي امتداداتها عند نقطة وبالتالي فإن عند نقطة الالتقاء هذه سوف تكون صورة للجسم .

☜ كيف نرسم الصورة المتكونة بواسطة المرايا ؟ وكيف نستنتج خصائص هذه الصورة المتكونة ؟

♦ لرسم الصورة المتكونة بواسطة المرايا فإننا نلجأ إلى الإستراتيجية التالية :

1- استخدام مخطط الأشعة وقانون الانعكاس : يمكن أن نرسم صورة للجسم الذي يقف أمام المرايا باستخدام (مخطط الأشعة) حيث كل نقطة في الجسم تكون مصدراً لعدد لا نهائي من الأشعة التي تنتقل في جميع الاتجاهات وإذا ما سقطت هذه الأشعة على السطح العاكس للمرايا وباستخدام قانون الانعكاس نستطيع تحديد اتجاهات الأشعة المنعكسة .

2- إذا إلتقى شعاعين على الأقل من الأشعة المنعكسة فإن جميع الأشعة المنعكسة بالتالي سوف تلتقي عند نفس النقطة التي إلتقى فيها الشعاعين .

3- نقطة إلتقاء الأشعة المنعكسة تمثل صورة لتلك النقطة التي تبعث الضوء في الجسم .

4- إذا لم تلتقي الأشعة المنعكسة مع بعضها البعض فإننا عندها نلجأ إلى إمتدادات هذه الأشعة وأيضاً نقطة إلتقاء الامتدادات تشكل صورة للجسم أو النقطة التي تبعث الضوء .

♦ خصائص الصورة المتكون بواسطة المرايا :

1- إما حقيقية أو تقديرية :

حقيقية	تقديرية
تتكون بواسطة الأشعة المنعكسة	تتكون بواسطة امتدادات الأشعة المنعكسة
يمكن استقبالها على حائل	لا يمكن استقبالها على حائل

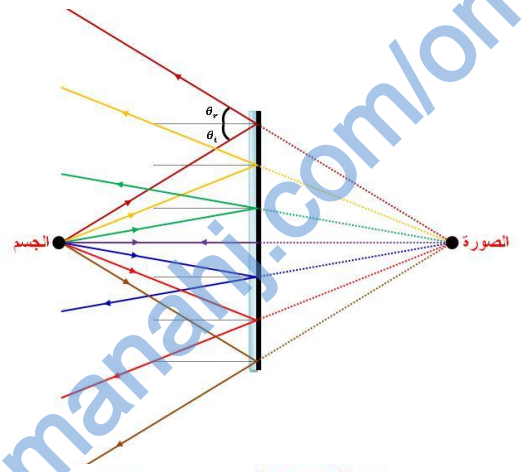
2- إما معتدلة أو مقلوبة :

معتدلة	مقلوبة
اتجاه الصورة في نفس اتجاه الجسم	اتجاه الصورة في عكس اتجاه الجسم

3- مصغرة أو مكبرة أو نفس حجم الجسم :

مصغرة	مكبرة	نفس حجم الجسم
حجم الصورة أصغر من حجم الجسم	حجم الصورة أكبر من حجم الجسم	حجم الصورة مساوي لحجم الجسم

almanahj.com/om Physics Genius

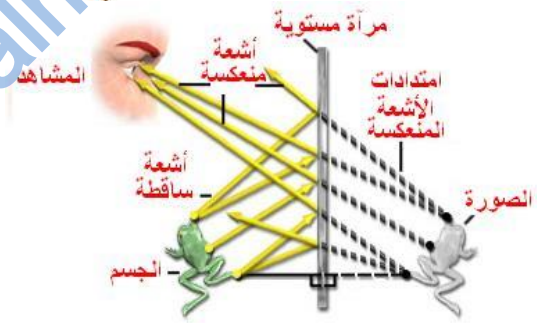


☜ كيف نرسم الصورة لجسم يقف أمام مرآة مستوية ؟

نفترض جسم نقطي يقف أمام السطح العاكس لمرآة مستوية , وكما ذكرنا سابقاً يعتبر هذا الجسم وكأنه مصدر للأشعة الضوئية تنتقل في جميع الاتجاهات وبالتالي فإن بعضاً من هذه الأشعة تسقط على السطح العاكس للمرآة كم هو موضح في الشكل .

وباستخدام مخطط الأشعة وبتطبيق قانون الانعكاس على هذه الأشعة بحيث نرسم العمود المقام على نقطة السقوط لكل شعاع يسقط على السطح العاكس وبتحديد زوايا السقوط والانعكاس نستطيع تحديد اتجاه الأشعة المنعكسة كما في الشكل ، ماذا تلاحظ ؟

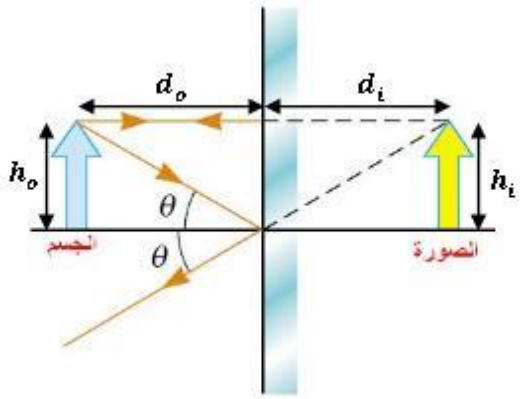
- نلاحظ أن الأشعة المنعكسة لا يمكن أن تلتقي مع بعضها البعض أي أنها تبتعد عن بعضها.
- نرسم امتدادات هذه الأشعة فنجد أنها تلتقي عند نقطة خلف المرآة
- نقطة إلتقاء الإمتدادات تكون صورة للنقطة التي تبعث الضوء .
- عند سقوط الأشعة المنعكسة على عين المشاهد فإنها ستبدو وكأنها قادمة من تلك النقطة التي إلتقت عندها إمتدادات الأشعة المنعكسة فيشاهد المشاهد تكون صورة للجسم عند تلك النقطة .
- نلاحظ أن صورة الجسم تقع على خط مستقيم من الجسم نفسه .



☜ خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرايا المستوية :

مما سبق في الأشكال المقابلة يمكن أن نستنتج الخصائص التالية للصورة المتكونة :

- الصورة تقديرية لأنها تكونت بواسطة إمتدادات الأشعة المنعكسة .
- الصورة معتدلة لأن اتجاهها في نفس اتجاه الجسم .
- حجم الصورة نفس حجم الجسم .
- الصورة معكوسة جانبياً وذلك لأن كل نقطة في الجسم تكون صورة لها في المرآة على خط مستقيم معها .
- إذا افترضنا أن بعد الجسم عن المرآة هو (d_o) وبعد الصورة عن المرآة هو (d_i) فإننا نحصل على :



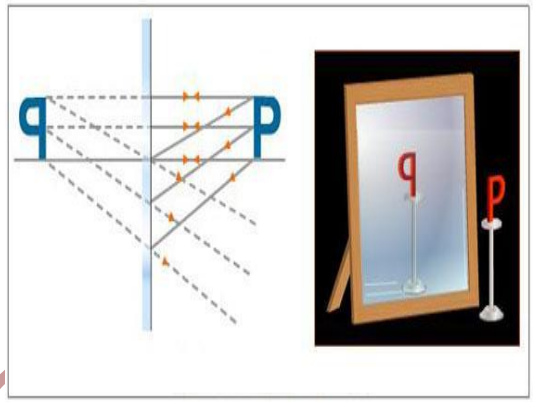
بعد الصورة عن المرآة = بعد الجسم عن المرآة

$$d_o = d_i$$

- إذا افترضنا أن طول الجسم هو (h_o) وطول الصورة هو (h_i) فإننا نحصل على :

طول الصورة = طول الجسم

$$h_o = h_i$$

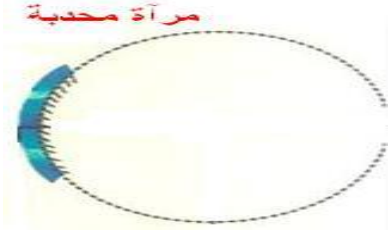


* ثانياً : المرايا الكروية :

هي نوع آخر من أنواع المرايا وسميت بهذا الاسم لأن سطحها العاكس يكون جزءاً صغيراً من كرة ، وهي تنقسم إلى نوعين :

1- المرآة المقعرة : وهي التي يكون سطحها العاكس هو الجزء الداخلي من الكرة التي تعتبر جزءً منها .

2- المرآة المحدبة : وهي التي يكون سطحها العاكس هو الجزء الخارجي من المرة التي تعتبر جزءً منها .



almanahj.com/om Genius

♦ أجزاء المرايا الكـــروية :

تتكون كل من المرآة المقعرة والمرآة المحدبة من نفس الأجزاء والتي يجب علينا معرفتها قبل أن نتعلم كيف نرسم الصورة المتكونة بواسطتها ، وهذه الأجزاء موضحة في الشكل المقابل ، وهي كما يلي :

○ مركز التكور (C) : وهو مركز الكرة التي يكون السطح العاكس للمرآة جزءً منها .

○ قطب المرآة أو مركز المرآة (A) : وهو نقطة تقع في مركز السطح العاكس للمرآة .

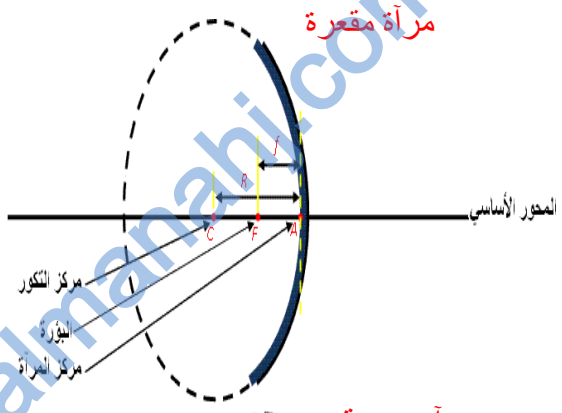
○ المحور الأساسي : وهو خط مستقيم لا نهائي الطول يمر بمركز التكور (C) ومركز المرآة (A) .

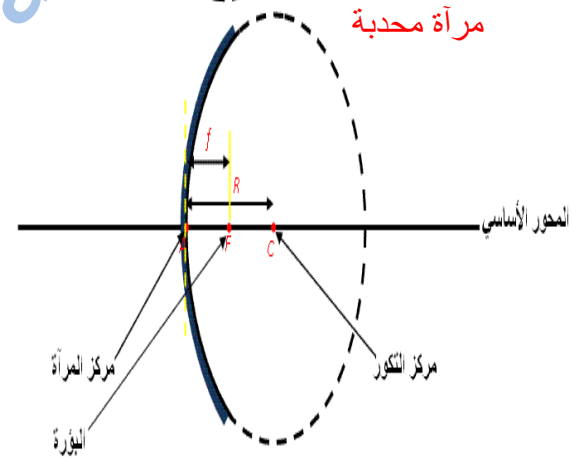
○ البؤرة (F) : وهي نقطة تقع في منتصف المسافة بين مركز التكور (C) و مركز المرآة (A) .

○ نصف قطر التكور (R) : وهو نصف قطر الكرة التي يكون السطح العاكس للمرآة جزءً منها .

○ البعد البؤري (f) : المسافة بين مركز المرآة (A) والبؤرة (F) وهو يساوي نصف نصف قطر التكور (R) ، أي أن :

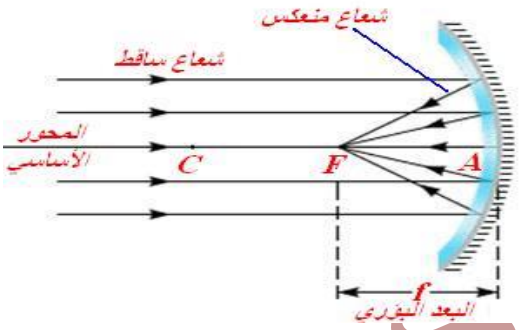
$$f = \frac{R}{2}$$





♦ البؤرة في المرآة المقعرة :

لنفترض مصدر ضوئي يوجد عن مالا نهاية بالنسبة لمرآة مقعرة مثل الشمس ويبعث ضوء باتجاه المرآة , فإن الأشعة الضوئية ستصل إلى السطح العاكس للمرآة على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية , كما هو موضح في الشكل المقابل , وبتطبيق قانون الانعكاس على كل شعاع من هذه الأشعة فسوف نجد أن كل شعاع سينعكس باتجاه المحور الأساسي ونجد أن كل الأشعة المنعكسة تلتقي (تتجمع) مع بعضها عند نقطة تقع في منتصف المسافة بين مركز التكور (C) ومركز المرآة(A) , وتسمى هذه النقطة بالبؤرة .



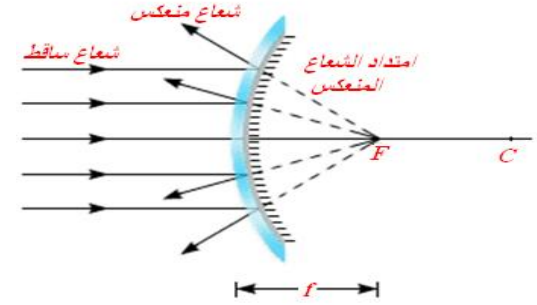
مما سبق نجد أن :

- البؤرة في المرآة المقعرة حقيقية لأنها تكون بواسطة الأشعة المنعكسة .

- المرآة المقعرة هي مرآة مجمعة للأشعة الساقطة عليها .

♦ البؤرة في المرآة المحدبة :

بنفس الطريقة نفترض مصدر ضوئي يوجد عن مالا نهاية بالنسبة لمرآة مقعرة مثل الشمس ويبعث ضوء باتجاه المرآة , فإن الأشعة الضوئية ستصل إلى السطح العاكس للمرآة على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية , كما هو موضح في الشكل المقابل , وبتطبيق قانون الانعكاس على كل شعاع من هذه الأشعة فسوف نجد أن كل شعاع سينعكس مبتعداً عن المحور الأساسي ونجد أن كل الأشعة المنعكسة تبتعد عن بعضها البعض (تتفرق) ولا يمكن أن تلتقي هذه الأشعة مع بعضها البعض ولكن في المقابل إذا رسمنا امتداد هذه الأشعة المنعكسة سنجد أنها سوف تلتقي مع بعضها البعض في نقطة تقع خلف السطح العاكس وتقع بين مركز التكور ومركـــز



almanahy.com/om
Physics Genius

المرآة وتسمى هذه النقطة بالبؤرة .

مما سبق نجد أن :

- البؤرة في المرآة المحدبة تقديرية لأنها تكون بواسطة امتدادات الأشعة المنعكسة .

- المرآة المحدبة هي مرآة مفرقة للأشعة الساقطة عليها .

♦ استخدام مخطط الأشعة في رسم الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة:

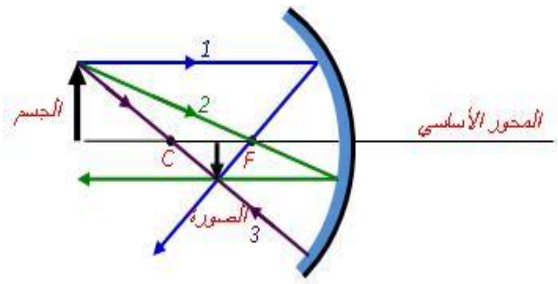
يمكن تحديد موقع الصورة المتكونة لجسم يقف أمام مرآة مقعرة باستخدام مخطط الأشعة وذلك بتحديد نقطة في أعلى الجسم ولتكن الرأس ثم نرسم شعاعين أو ثلاثة أشعة تنطلق من تلك النقطة من الأشعة التالية :

1- الشعاع الساقط موازياً على المحور الأساسي فإنه ينعكس ماراً بالبؤرة .

2- الشعاع الساقط ماراً بالبؤرة فإنه ينعكس موازياً للمحور الأساسي .

3- الشعاع الساقط ماراً بمركز التكور فإنه ينعكس على نفسه .

وعند إلتقاء شعاعين على الأقل من هذه الأشعة فإن نقطة التقائها سوف تكون هي صورة النقطة التي تقع في أعلى الجسم ثم نرسم بقية الجسم بحيث ينتهي عند المحور الأساسي .



☜ خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرايا المقعرة أو المحدبة :

1- حقيقية أو تقديرية :

← تكون حقيقية إذا تكونت بواسطة الأشعة المنعكسة أو إذا تكونت أمام المرآة .

← تكون تقديرية إذا تكونت بواسطة امتدادات الأشعة المنعكسة أو إذا تكونت خلف المرآة .

2- تكون مقلوبة أو معتدلة :

← تكون مقلوبة إذا كان اتجاه الصورة عكس اتجاه الجسم أو إذا كانت حقيقية .

← تكون معتدلة إذا كان اتجاه الصورة في نفس اتجاه الجسم أو إذا كانت معتدلة .

3- تكون مصغرة أو مكبرة أو نفس حجم الجسم :

← إذا كان طول الصورة أكبر من طول الجسم تكون مكبرة .

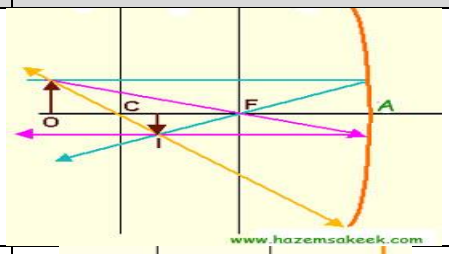
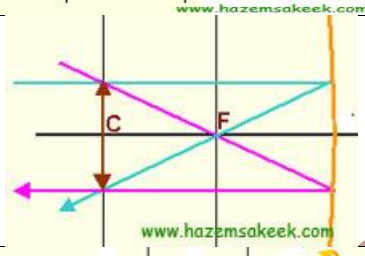
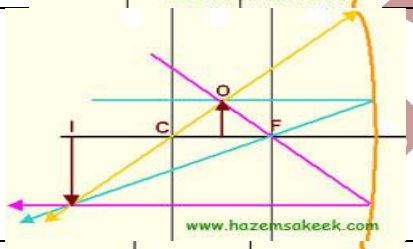
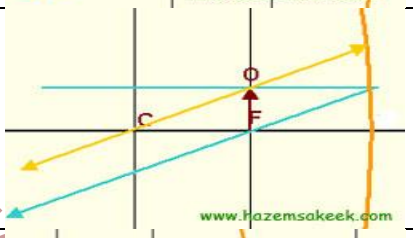
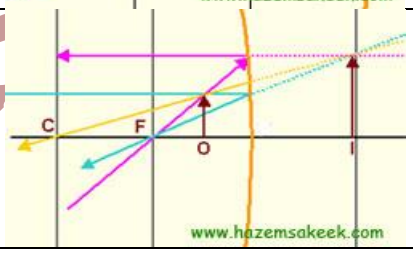
← إذا كان طول الصورة أقل من طول الجسم تكون مصغرة.

← إذا كان طول الصورة يساوي طول الجسم تكون نفس حجم الجسم .

☜ التعرف على خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة :

الجدول التالي يوضح موقع الجسم بالنسبة للمرآة المقعرة وخصائص الصورة المتكونة :

almanahj.com/om
Physics Genius

موقع الجسم	مخطط الأشعة	موقع الصورة	خصائص الصورة
أبعد من مركز التكور (أي عند بعد أكبر من $2f$)		بين مركز التكور والبؤرة	حقيقية مقلوبة مصغرة
عند مركز التكور (أي عند بعد يساوي $2f$)		عند مركز التكور	حقيقية مقلوبة نفس حجم الجسم
بين مركز التكور والبؤرة (أي عند بعد أصغر من $2f$ وأكبر من f)		أبعد عن مركز التكور	حقيقية مقلوبة مكبرة
عند البؤرة (أي عند بعد يساوي f)		عند مالانهاية	حقيقية مقلوبة مصغرة جداً
بين البؤرة ومركز المرآة (أي عند بعد أقل من f)		خلف المرآة	تقديرية معتدلة مكبرة

مما سبق نجد أن خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة تتغير بتغير موقع الجسم .

♦ استخدام مخطط الأشعة في رسم الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة:

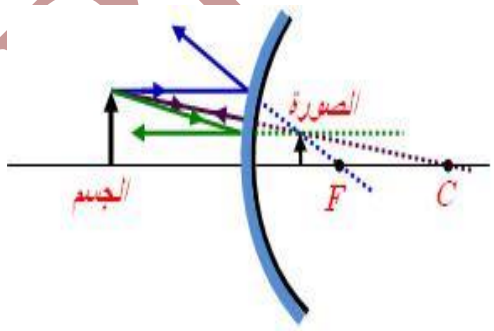
يمكن موقع الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة باستخدام مخطط الأشعة وذلك برسم شعاعين على الأقل من الأشعة التالية :

1- الشعاع الساقط موازياً للمحور الأساسي فإنه ينعكس بحيث يكون امتداده ماراً بالبؤرة .

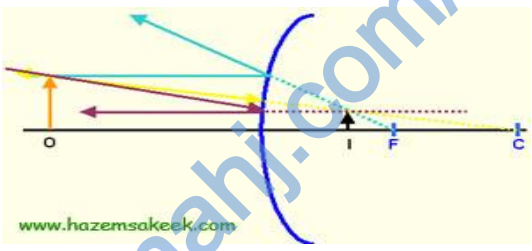
2- الشعاع الساقط بحيث يكون امتداده ماراً بالبؤرة فإنه ينعكس موازياً للمحور الأساسي .

3- الشعاع الساقط بحيث يكون امتداده ماراً بمركز التكور فإنه ينعكس مرتداً على نفسه .

بحيث تتكون الصورة نتيجة إلتقاء امتدادات الأشعة المنعكسة كما في الشكل المقابل .



almanahj.com/om



☜ التعرف على خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة :

خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة لا تعتمد على موقع الجسم فهي دائماً تكون :

تقديرية ، معتدلة ، مصغرة

كما في الشكل المقابل ، وهي دائماً تقع بين مركز المرآة والبؤرة .

♦ استخدام معادلة المرايا ومعادلة التكبير في تعيين موقع الصورة المتكونة بواسطة المرايا الكروية وخصائصها :

● معادلة المرايا :

إذا اعتبرنا أن بعد الجسم عن المرآة يعبر عنه بالرمز (d_o) وبعد الصورة عن المرآة يعبر عنها بالرمز (d_i) كما هو موضح في الشكل المقابل ، فإننا يمكن أن نعبر عن العلاقة بينهما باستخدام معادلة المرايا كما يلي :

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

ومنها يمكن القول أن :

$$* f=\frac{d_o.d_i}{d_o+d_i}$$

$$* d_o=\frac{d_i.f}{d_i-f}$$

$$* d_i=\frac{d_o.f}{d_o-f}$$

● معادلة التكبير :

نستخدم هذه المعادلة في معرفة حجم الصورة بالنسبة لحجم الجسم ويرمز للتكبير بالرمز (M) وبافتراض أن طول الجسم هو (h_o) وطول الصورة هو (h_i) فإن معادلة التكبير تكتب كما يلي :

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

ومن خلال معادلتي المرايا والتكبير نستطيع معرفة خصائص الصورة المتكونة وتحديد موقعها ، وعند استخدام هذه المعادلات يجب مراعاة قواعد الإشارة التالية :

البعد / الإشارة	+	-
البعد البؤري f	إذا كانت المرآة مقعرة	إذا كانت المرآة محدبة
بعد الجسم d_o	إذا كان أمام المرآة	إذا كان خلف المرآة
بعد الصورة d_i	إذا كانت أمام المرآة	إذا كانت خلف المرآة
طول الجسم h_o	إذا كان اتجاه الجسم لأعلى	إذا كان اتجاه الجسم لأسفل
طول الصورة h_i	إذا كان اتجاه الصورة لأعلى	إذا كان اتجاه الصورة لأسفل
التكبير M	إذا كانت الصورة تقديرية , معتدلة	إذا كانت الصورة حقيقية , مقلوبة .

Physics Genius

♦ استنتاج :

● من خلال معادلة التكبير نجد أن مقدار التكبير يدل على حجم الصورة فإذا كان :

☜ $M > 1$ فإن الصورة تكون مكبرة .

☜ $M < 1$ فإن الصورة تكون مصغرة .

☜ $M = 1$ فإن حجم الصورة يكون نفس حجم الجسم .

● الإشارة في التكبير تدل على نوع الصورة فإذا كان التكبير:

☜ سالب فإن الصورة تكون حقيقية , مقلوبة .

☜ موجب فإن الصورة تكون تقديرية , معتدلة .

● مثال :

$$M = -3$$

بما أن التكبير سالب فإن الصورة تكون حقيقية , مقلوبة .

وبما أن مقدار التكبير أكبر من 1 فإن الصورة مكبرة

وبالتالي نستطيع استنتاج خصائص الصورة المتكونة وهي :

حقيقية , مقلوبة , مكبرة

◄ تطبيقات على ظاهرة الإنكسار (العدسات الرقيقة) :

العدسة عبارة عن جسم زجاجي أو بلاستيكي شفاف به وجهان كل منهما يعتبر جزءً من كرة وتعتمد العدسة في مبدأ عملها على الإنكسار في تكوين صورة للأجسام .

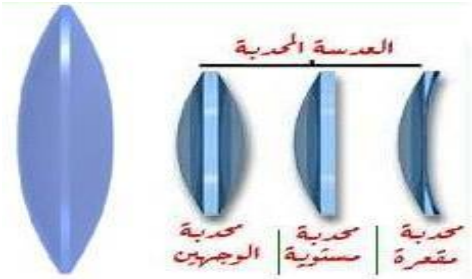
♦ أنواع العدسات :

تقسم العدسات إلى نوعين هما :

1- عدسة محدبة :

وهي التي يكون سمك وسطها أكبر من سمك أطرفها , وهي تصنع بأشكال مختلفة كما يلي :

- عدسة محدبة الوجهين .
- عدسة محدبة مقعرة (محدبة هلالية)
- عدسة محدبة مستوية .



2- عدسة مقعرة :

وهي التي يكون سمك وسطها أقل من سمك أطرافها وهي أيضاً تصنع بأشكال مختلفة كما يلي :

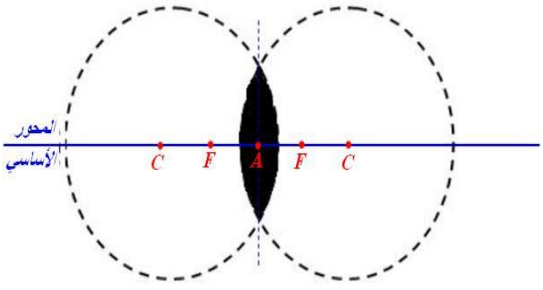
- عدسة مقعرة الوجهين .
- عدسة مقعرة محدبة (مقعرة هلالية) .
- عدسة مقعرة مستوية .

♦ أجزاء العدسة :

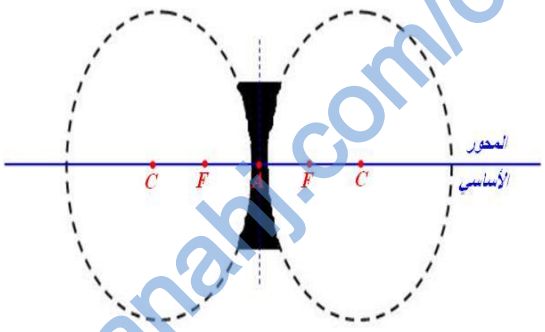
كل من العدسة المحدبة والعدسة المقعرة تتكون من نفس الأجزاء وهي :

○ المركز البصري (A) : نقطة تقع في منتصف المسافة بين ومركزي وجهي العدسة .

○ مركز التكور (C) : نقطة تقع في مركز الكرة التي يعتبر وجه العدسة جزءً منها .



almanahj.com/om Physics Genius



○ **المحور الأساسي** : خط لا نهائي الطول يمر بالمركز البصري(*A*) ومركز التكور (*C*) .

○ **البؤرة (*F*)** : وهي نقطة تقع في منتصف المسافة بين مركز التكور (*C*) و المركز البصري (*A*) .

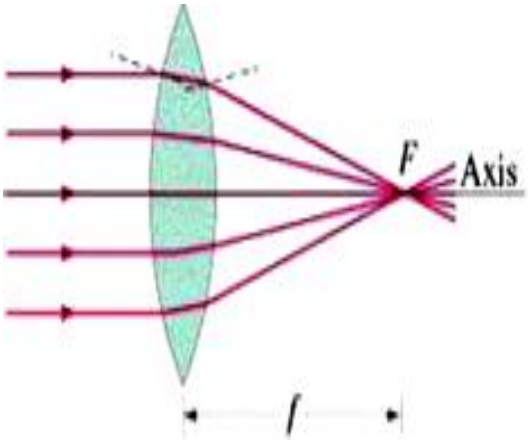
○ **نصف قطر التكور (*R*)** : وهو نصف قطر الكرة التي يكون وجه العدسة جزءً منها .

○ **البعد البؤري (*f*)** : المسافة بين المركز البصري (*A*) والبؤرة (*F*) وهو يساوي نصف نصف قطر التكور (*R*) ، أي أن :

$$f = \frac{R}{2}$$

♦ **البؤرة في العدسة المحدبة :**

عند سقوط أشعة قادمة من مالا نهاية على أحد وجهي العدسة المحدبة فإنها تكون على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية ، وعند تطبيق قوانين الإنكسار على هذه الأشعة عند دخولها للعدسة وعند خروجها منها فإننا سنجد أن جميع الأشعة تنكسر باتجاه المحور الأساسي وتلتقي (تتجمع) عند نقطة في منتصف المسافة بين المركز البصري (*A*) ومركز التكور (*C*) وتسمى البؤرة .

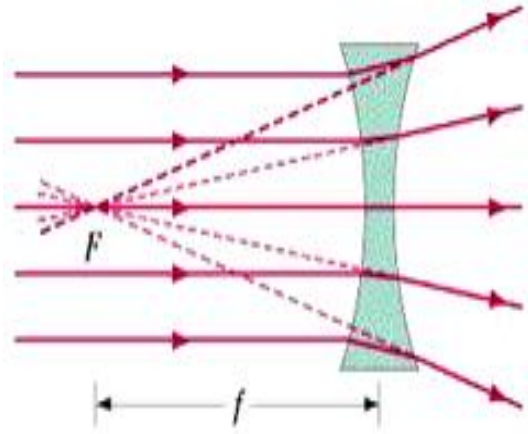


مما سبق نجد أن :

- البؤرة في العدسة المحدبة حقيقية لأنها تكون بواسطة الأشعة المنكسرة .
- العدسة المحدبة هي عدسة مجمعة للأشعة الساقطة عليها.

♦ **البؤرة في العدسة المقعرة :**

بنفس الطريقة المتبعة في العدسة المحدبة فإنه عند سقوط أشعة قادمة من مالا نهاية على أحد وجهي العدسة المقعرة فإنها تكون على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية ، وعند تطبيق قوانين الإنكسار على هذه الأشعة عند دخولها للعدسة وعند خروجها منها فإننا سنجد أن جميع الأشعة تنكسر مبتعدة عن المحور الأساسي وعن بعضها البعض (تتشتت) ولا يمكن أن تلتقي هذه الأشعة مع بعضها البعض وعند اللجوء إلى امتدادات هذه الأشعة نجد أنها تلتقي عند نقطة في منتصف المسافة بين المركز البصري (*A*) ومركز التكور (*C*) وتسمى البؤرة .

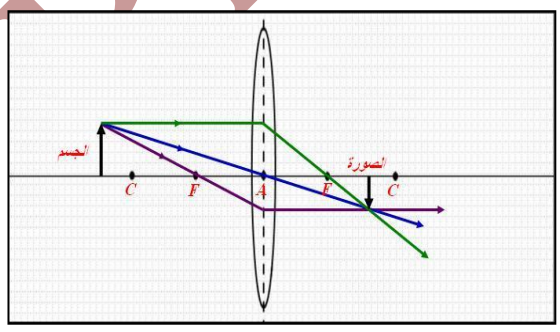


مما سبق نجد أن :

- البؤرة في العدسة المقعرة تقديرية لأنها تكون بواسطة امتدادات الأشعة المنكسرة .
- العدسة المقعرة هي عدسة مفرقة للأشعة الساقطة عليها.

♦ **استخدام مخطط الأشعة في رسم الصورة المتكونة بواسطة العدسة المحدبة:**

يمكننا أن نرسم ونستنتج خصائص الصورة المتكونة بواسطة العدسة المحدبة برسم إثنان أو ثلاثة أشعة من الأشعة التالية :



1- الشعاع الساقط ماراً بالمركز البصري (*A*) فإنه يمر دون أن يعاني أي إنكسار .

2- الشعاع الساقط موازياً للمحور الأساسي فإنه ينكسر ماراً بالبؤرة .

almanahj.com/om
Physics Genius

3- الشعاع الساقط ماراً بالبؤرة فإنه ينكسر موازياً للمحور الأساسي .

ونرسم الصورة عند النقطة التي تلتقي فيها الأشعة المنكسرة أو امتداداتها .

☜ **خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرايا المقعرة أو المحدبة :**

1- حقيقية أو تقديرية :

← تكون حقيقية إذا تكونت بواسطة الأشعة المنكسرة أو إذا تكونت خلف العدسة .

← تكون تقديرية إذا تكونت بواسطة امتدادات الأشعة المنكسرة أو إذا تكونت أمام العدسة .

2- تكون مقلوبة أو معتدلة :

← تكون مقلوبة إذا كان اتجاه الصورة عكس اتجاه الجسم أو إذا كانت حقيقية .

← تكون معتدلة إذا كان اتجاه الصورة في نفس اتجاه الجسم أو إذا كانت معتدلة .

3- تكون مصغرة أو مكبرة أو نفس حجم الجسم :

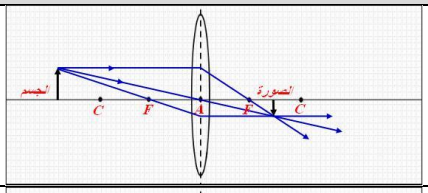
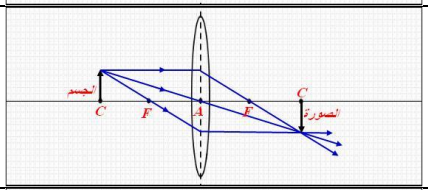
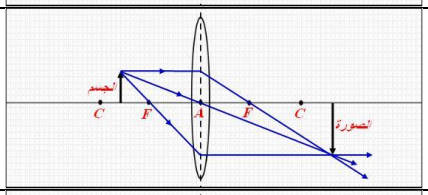
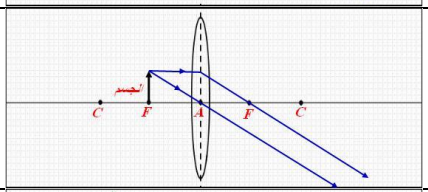
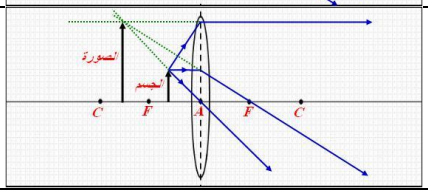
← إذا كان طول الصورة أكبر من طول الجسم تكون مكبرة .

← إذا كان طول الصورة أقل من طول الجسم تكون مصغرة.

← إذا كان طول الصورة يساوي طول الجسم تكون نفس حجم الجسم .

☜ **التعرف على خصائص الصورة المتكونة بواسطة العدسة المحدبة :**

الجدول التالي يوضح موقع الجسم بالنسبة للمرآة المقعرة وخصائص الصورة المتكونة :

موقع الجسم	مخطط الأشعة	موقع الصورة	خصائص الصورة
أبعد من مركز التكور (أي عند بعد أكبر من $2f$)		بين مركز التكور والبؤرة	حقيقية مقلوبة مصغرة
عند مركز التكور (أي عند بعد يساوي $2f$)		عند مركز التكور	حقيقية مقلوبة نفس حجم الجسم
بين مركز التكور والبؤرة (أي عند بعد أصغر من $2f$ وأكبر من f)		أبعد عن مركز التكور	حقيقية مقلوبة مكبرة
عند البؤرة (أي عند بعد يساوي f)		عند مالانهاية	حقيقية مقلوبة مصغرة جداً
بين البؤرة والمركز البصري (أي عند بعد أقل من f)		بين مركز التكور والبؤرة أمام العدسة	تقديرية معتدلة مكبرة

almanahj.com/om
Physics Genius

مما سبق نجد أن خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة تتغير بتغير موقع الجسم .

♦ استخدام مخطط الأشعة في رسم الصورة المتكونة بواسطة العدسة المقعرة:

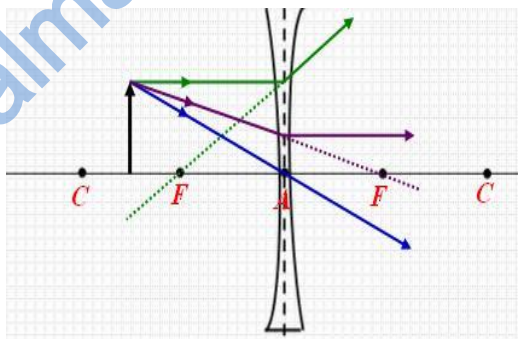
يمكننا أن نرسم ونستنتج خصائص الصورة المتكونة بواسطة العدسة المقعرة برسم إثنان أو ثلاثة أشعة من الأشعة التالية :

1- الشعاع الساقط ماراً بالمركز البصري (A) فإنه يمر دون أن يعاني أي إنكسار .

2- الشعاع الساقط موازياً للمحور الأساسي فإنه ينكسر بحيث يكون امتداده ماراً بالبؤرة .

3- الشعاع الساقط الذي يكون امتداده ماراً بالبؤرة فإنه ينكسر موازياً للمحور الأساسي .

ونرسم الصورة عند النقطة التي تلتقي فيها الأشعة المنكسرة أو امتداداتها .

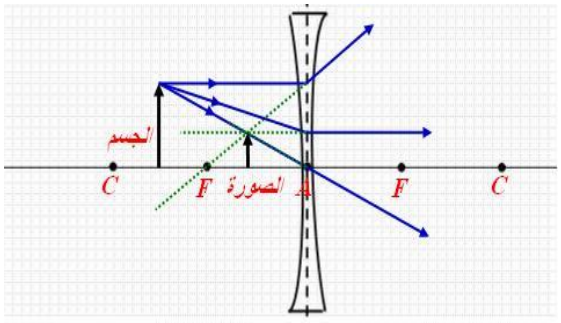


☜ التعرف على خصائص الصورة المتكونة بواسطة العدسة المقعرة :

خصائص الصورة في العدسة المقعرة لا تعتمد على موضع الجسم بالنسبة للعدسة وهي دائماً :

تقديرية , معتدلة , مصغرة

ودائماً تقع أمام العدسة بين المركز البصري والبؤرة كما هو موضح في الشكل المقابل .



♦ استخدام معادلة العدسات ومعادلة التكبير في تعيين موقع الصورة المتكونة بواسطة العدسة الرقيقة وخصائصها :

● معادلة العدسات :

إذا اعتبرنا أن بعد الجسم عن العدسة يعبر عنه بالرمز (d_o) وبعد الصورة عن العدسة يعبر عنها بالرمز (d_i) كما هو موضح في الشكل المقابل ، فإننا يمكن أن نعبر عن العلاقة بينهما باستخدام معادلة العدسات كما يلي :

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

ومنها يمكن القول أن :

$$* \ f=\frac{d_o.d_i}{d_o+d_i}$$

$$* \ d_o=\frac{d_i.f}{d_i-f}$$

$$* \ d_i=\frac{d_o.f}{d_o-f}$$

● معادلة التكبير :

نستخدم هذه المعادلة في معرفة حجم الصورة بالنسبة لحجم الجسم ويرمز للتكبير بالرمز (M) وبافتراض أن طول الجسم هو (h_o) وطول الصورة هو (h_i) فإن معادلة التكبير تكتب كما يلي :

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

almanahj.com/om Physics Genius

ومن خلال معادلتي العدسات والتكبير نستطيع معرفة خصائص الصورة المتكونة وتحديد موقعها ، وعند استخدام هذه المعادلات يجب مراعاة قواعد الإشارة التالية :

البعد / الإشارة	+	-
البعد البؤري f	إذا كانت العدسة محدبة	إذا كانت العدسة مقعرة
بعد الجسم d_o	إذا كان أمام العدسة	إذا كان خلف العدسة
بعد الصورة d_i	إذا كانت خلف العدسة	إذا كانت أمام العدسة
طول الجسم h_o	إذا كان اتجاه الجسم لأعلى	إذا كان اتجاه الجسم لأسفل
طول الصورة h_i	إذا كان اتجاه الصورة لأعلى	إذا كان اتجاه الصورة لأسفل
التكبير M	إذا كانت الصورة تقديرية , معتدلة	إذا كانت الصورة حقيقية , مقلوبة .

♦ استنتاج :

● من خلال معادلة التكبير نجد أن مقدار التكبير يدل على حجم الصورة فإذا كان :

☜ $M > 1$ فإن الصورة تكون مكبرة .

☜ $M < 1$ فإن الصورة تكون مصغرة .

☜ $M = 1$ فإن حجم الصورة يكون نفس حجم الجسم .

● الإشارة في التكبير تدل على نوع الصورة فإذا كان التكبير:

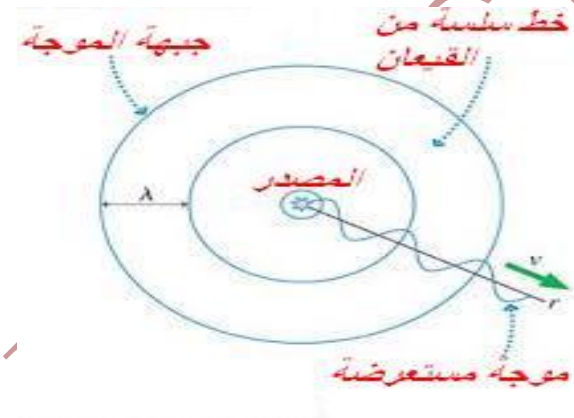
☜ سالب فإن الصورة تكون حقيقية , مقلوبة .

☜ موجب فإن الصورة تكون تقديرية , معتدلة .

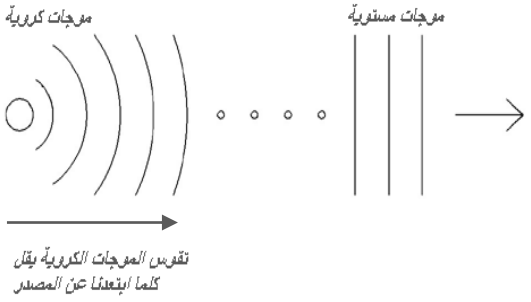
◄ مبدأ هيجنز :

♦ الموجات الكروية جبهة الموجة :

عندما تنبعث الموجات الضوئية من مصدر ضوئي ما فإنها تنتشر في جميع الاتجاهات حول هذا المصدر على هيئة موجات مستعرضة (قمم وقيعان) وبالتالي سيحيط بالمصدر على شكل دائري سلسلة من القمم والقيعان وإذا ما أخذنا نقطة عند جميع القمم أو القيعان ووصلنا هذه النقاط ببعضها البعض سوف يتشكل لنا حلقات دائرية متحدة المركز ومركزها هو مصدر الضوء يطلق لكل من هذه الحلقات الدائرية بإسم جبهة الموجة وتسمى الموجات في هذه الحالة بالموجات الكروية كما في الشكل المقابل , وتكون المسافة بين كل جبهتين متتاليتين مساوية للطول الموجي للموجات الضوئية المنبعثة من المصدر .

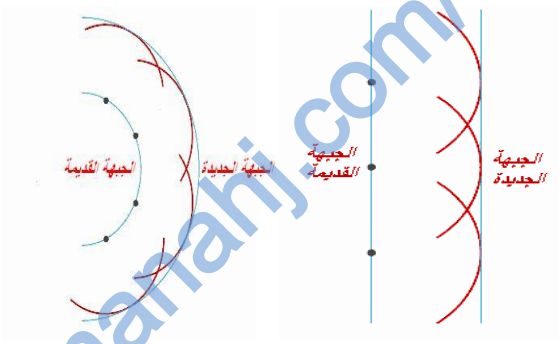


وفي الأوساط المتجانسة تنتشر هذه الجبهات مبتعدة عن المصدر لتصل لمسافات بعيدة بنفس الخصائص الموجية (الطول الموجي , التردد , سرعة الانتشار, ... إلخ) وكلما ابتعدت كلما قل تقوسها بالنسبة للمشاهد وبالتالي فإنه وعند مسافات بعيدة جداً من المصدر تبدو هذه الجبهات وكأنها خطوط مستقيمة ومتوازية وعندها يطلق عليها بإسم الموجات المستوية .



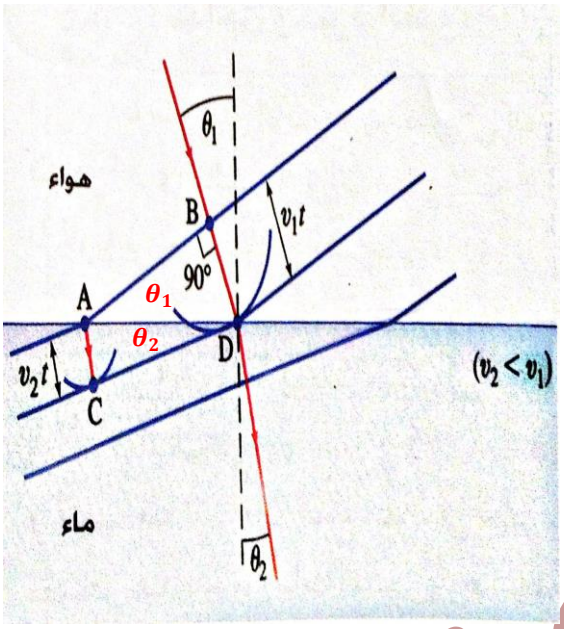
♦ نص مبدأ هيجنز :

((كل جبهة موجة تتكون من عدد لا متناهي من النقاط التي تعمل كمصادر فرعية لجبهات لموجات صغيرة متماثلة تنتشر في جميع الاتجاهات بسرعة تساوي سرعة الضوء في الوسط , وإذا ما أخذنا الخط المماسي لمقدمة كل جبهة من هذه الجبهات الفرعية فإنه سيشكل الجبهة الجديدة التي تلي الجبهة القديمة وهكذا)) , كما يتضح في الشكل المقابل , ويمكن تطبيق هذا المبدأ أيضاً على الموجات المستوية .



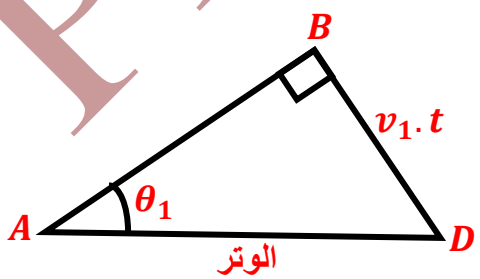
♦ تفسير هيجنز لظاهرة الانكسار :

نفترض سلسلة من الموجات المستوية تنتقل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية (الماء والهواء) وكان معامل الانكسار المطلق للوسط الأول اقل من معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني وعندها سوف تكون سرعة الموجات الضوئية في الوسط الأول أكبر من سرعتها في الوسط الثاني كما في الشكل ، وإذا ما أخذنا النقطتان A و B في جبهة الموجة الأقرب من السطح الفاصل وبتطبيق مبدأ هيجنز على النقطتين فإن كل نقطة سوف تكون مصدر لموجة فرعية جديدة , ولكن نلاحظ أن جبهة الموجة الناتجة من النقطة B تنتشر في الوسط الأول , وجبهة الموجة الناتجة من النقطة A تنتشر في الوسط الثاني , وبالتالي فإن سرعة الموجة الناتجة من النقطة B سوف تكون v_1 وسرعة الموجة الناتجة من النقطة A سوف تكون v_2 حيث أن $v_1 > v_2$, وبالتالي فإنه عند فترة زمنية ولتكن t فإن جبهة الموجة الناتجة من B سوف تقطع المسافة $(v_1.t)$ حتى تصل إلى النقطة D عند السطح الفاصل وفي النفس الفترة الزمنية t فإن جبهة الموجة الناتجة من A سوف تقطع مسافة مقدارها $(v_2.t)$ حتى تصل إلى النقطة C وبما أن $v_1 > v_2$ فإن $v_1.t > v_2.t$



أي الجبهة الناتجة من النقطة B سوف تقطع مسافة أكبر من الجبهة الناتجة من النقطة A , وإذا ما أخذنا الخط المماسي بين الجبهتين فإن الجبهة الجديدة سوف تنحرف ويتغير اتجاه الموجة نتيجة لذلك ويحدث انكسار للموجات كما يتضح في الشكل . وبالتالي إذا اعتبرنا أن النقطتين C و D عبارة عن مصادر فرعية في الجبهة الجديدة فإن كل من جبهات الموجتين تنتقل في الوسط الثاني وبالتالي سوف تكون سرعة كل من الجبهتين الجديدتين سوف تكون متساوية وإذا أخذنا الخط المماسي بين الجبهتين سوف تتشكل الجبهة الجديدة في خط يوازي الجبهة القديمة

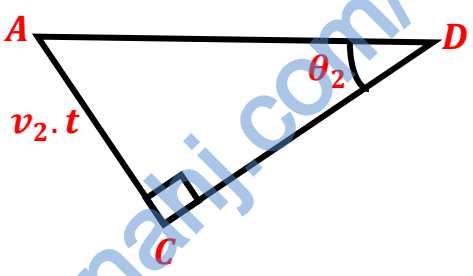
عند تحليل الشكل المقابل , نجد أن جبهة الموجة AB تميل عن السطح الفاصل بزاوية تساوي زاوية السقوط (θ_1) المحصورة بين اتجاه الموجة والذي يكون عمودياً على الجبهة AB والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل , وكذلك بالنسبة للجبهة CD نجد أنها تميل عن السطح الفاصل بزاوية تساوي زاوية الانكسار (θ_2) المحصورة بين اتجاه الموجة المنكسرة والذي يكون عمودياً على الجبهة CD والعمود المقام .



ونلاحظ في الشكل أنه يوجد لدينا مثلثان قائما الزاوية ويشتركان في الوتر هما :

☜ المثلث (ABD) قائم الزاوية عند B والوتر هو $\overline{AD}$

almanahj.com/om
Physics Genius



☜ المثلث (ACD) قائم الزاوية عند C والوتر هو $\overline{AD}$

وعند إيجاد الوتر لكل مثلث نحصل على :

بالنسبة للمثلث (ABD) :

$$\overline{AD} = \frac{v_1.t}{sin\theta_1}$$

بالنسبة للمثلث (ACD) :

$$\overline{AD} = \frac{v_2.t}{sin\theta_2}$$

وبمساواة العلاقتين ببعضهما :

$$\frac{v_1.\cancel{t}}{sin\theta_1} = \frac{v_2.\cancel{t}}{sin\theta_2}$$

ومنها نحصل على :

$$\frac{sin\theta_1}{sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \gg 1$$

نعلم أن :

$$n = \frac{c}{v}$$

ومنها :

$$v = \frac{c}{n}$$

$$\therefore v_1 = \frac{c}{n_1} \quad و \quad v_2 = \frac{c}{n_2}$$

وبالتعويض في المعادلة 1 نحصل على :

$$\frac{sin\theta_1}{sin\theta_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}}$$

$$\therefore \frac{sin\theta_1}{sin\theta_2} = \frac{\cancel{c}.n_2}{\cancel{c}.n_1}$$

$$\therefore \frac{sin\theta_1}{sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

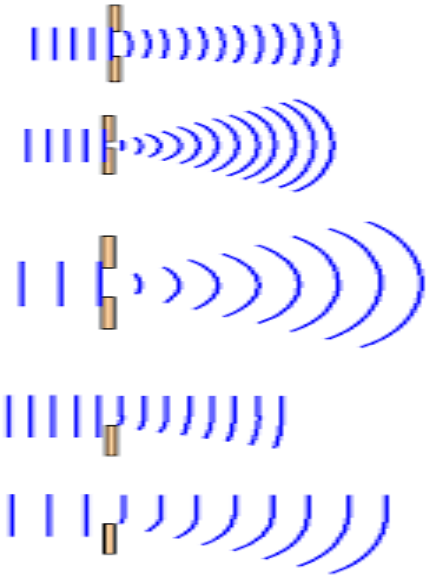
ومنها نجد أن :

$$n_1.sin\theta_1 = n_2.sin\theta_2$$

وهي نفس العلاقة أو القانون الذي توصل إليه سنل للانكسار .

♦ تفسير هيجنز لظاهرة حيود الضوء :

تمكن هيجنز أيضاً من تفسير ظاهرة مهمة جداً في الضوء ألا وهي ظاهرة حيود الضوء باستخدام المبدأ الذي وضعه ، حيث تنبأ بأن الموجات الضوئية ستنحني وتنحرف عن مسارها عن مرورها من حافة حاجز أو عبرة فتحة ضيقة في حاجز ، حيث قال أنه عند اصطدام جبهة الموجة الضوئية بالحاجز الذي يحتوي على فتحة ضيقة فإن الفتحة التي تقع على جبهة الموجة ستعمل وكأنها مصدر جديد للموجات لتنتشر بعد ذلك الموجات خلف هذا الحاجز أو الفتحة في جميع الاتجاهات كما في الشكل .



almanahj.com/om Physics Genius

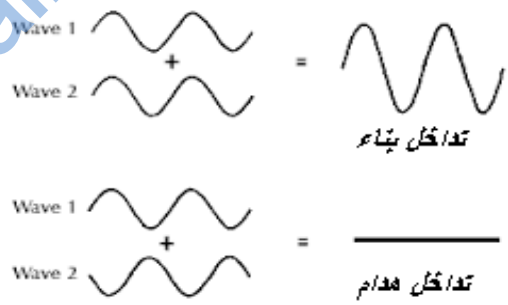
إلا إنه ونظراً لصغر الطول الموجي للموجات الضوئية فإنه من الصعب جداً ملاحظة ظاهرة الحيود التي تحدث للضوء بالعين المجردة مثل الموجات المائية .

◄ تداخل الضوء (تجربة شقي يونج) :

♦ تعريف التداخل :

هو إلتقاء قطارين من الموجات أو أكثر مع بعضهما في نفس الوسط عند نقطة ما وتراكبهما مما ينتج عنه مناطق تزداد فيها سعة الموجة المحصلة ومناطق تقل فيها سعة الموجة المحصلة .

♦ أنواع التداخل :



1- تداخل بناء : ينتج عنه مناطق تزداد فيها سعة الموجة المحصلة , ويحدث ذلك عند إلتقاء قمة مع قمة أو قاع مع قاع في نفس النقطة , كما في الشكل .

2- تداخل هدام : ينتج عنه مناطق تقل فيها سعة الموجة المحصلة , ويحدث ذلك عند إلتقاء قمة مع قاع في نفس النقطة , كما في الشكل .

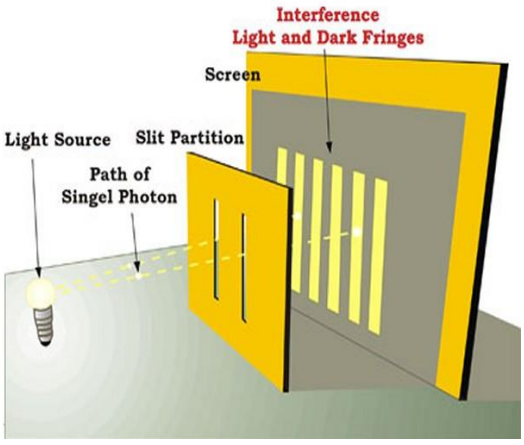
من الممكن أن تحدث هذه ظاهرة التداخل في الموجات الضوئية فينتج عنه مناطق تزداد فيها شدة الإضاءة عند حدوث تداخلات بناءة بين الموجات أو ينتج عنه ظهور مناطق تنعدم فيها الإضاءة عند حدوث تداخلات هدامة بين الموجات الضوئية ولكن وبسبب قصر الطول الموجي للموجات الضوئية فإنه من الصعب جداً ملاحظة هذه الظاهرة إلا إذا توفر الشرطين التاليين :

1- أن يكون المصدرين متماثلين : أي أن الموجات الضوئية المتولدة عنهما لها نفس الخصائص الموجية من الطول الموجي والتردد وسرعة الانتشار والسعة (لهما نفس الطور) .

2- أن يكون المصدرين أحاديي اللون : أي أن الموجات الضوئية الصادرة عنهما تمتلك طول موجي واحد .

في عام 1801م استطاع العالم الانجليزي توماس يونج من تحقيق هذه الشروط في تجربته الشهيرة (شقي يونج) بالاعتماد على مبدأ هيجنز واستطاع من خلال هذه التجربة الحصول على قياسات دقيقة في حساب الأطوال الموجية للموجات الضوئية .

♦ تجربة شقي يونج :



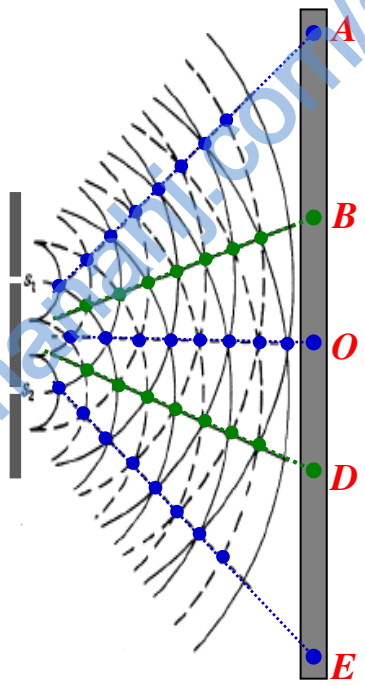
استخدم يونج في هذه التجربة مصدر أحادي اللون ووضع أمامه حاجز غير نفاذ للضوء يحتوي على شقين متجاورين تفصل بينهما مسافة لا تتعدى *1mm* يسمحان بنفاذ الضوء من خلالهما ، كما في الشكل ليسقط الضوء على شاشة خلف الحاجز تبعد مسافة عنه لا تقل عن *1m* .

● فكرة التجربة :

عند سقوط الموجات الضوئي على الحاجز فإن كلا الشقان وحسب مبدأ هيجنز سوف يعملان كمصدر مستقل للضوء ينتشر في جميع الجهات خلف الحاجز ونظراً لأن الموجات الضوئية تصل إلى الشقين في نفس اللحظة فإن الشقين سوف يعملان كمصدران متماثلان للضوء أحادي اللون ، وبالتالي سوف تلتقي الموجات القادمة من احد الشقين مع الموجات القادمة

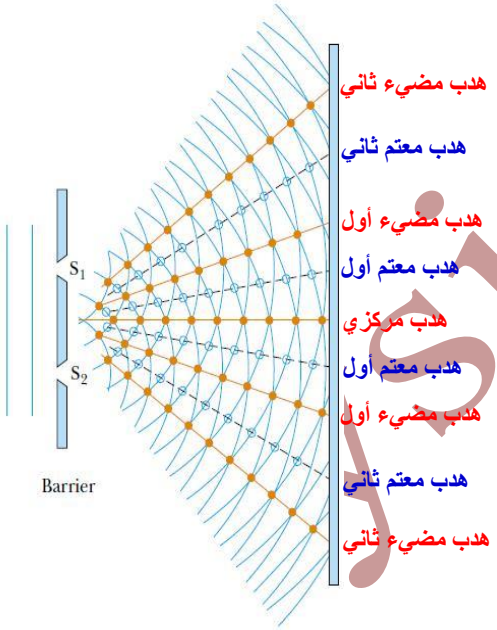
من الشق الآخر ، وعند إلتقاء قمة موجة قادمة من احد الشقين مع قمة موجة قادمة من الشق الآخر في نقطة ما فإنه سيحدث فيما بينها نمط تداخل بناء مما يؤدي إلى زيادة شدة الإضاءة عند هذه النقطة وكذلك الحال إذا إلتقى قاعين مع بعضهما البعض عن نقطة ما أما إذا إلتقت قمة موجة قادمة من أحد الشقين مع قاع موجة قادمة من الشق الآخر فإنه يؤدي إلى حدوث نمط تداخل هدام بينهما وينتج عنه إنعدام في شدة الإضاءة عند هذه النقطة وهكذا.

الشكل المقابل يوضح مخطط انتشار الموجات الصادرة من كل من الشقين خلف الحاجز بحيث يمثل الخط المستمر قمم الموجات الصادرة من كلا الشقين والخط المتقطع يمثل قيعان ونجد فيه ما يلي :

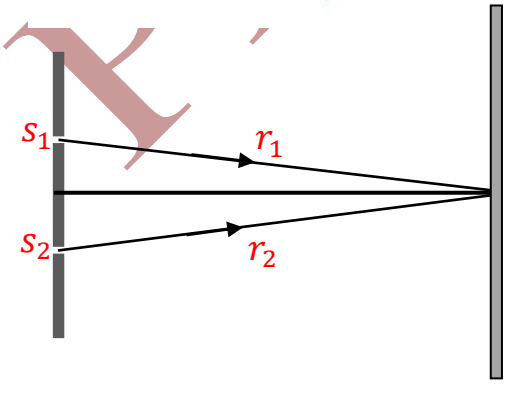


- النقاط التي باللون الأزرق تمثل نقطة إلتقاء قمة موجة قادمة من أحد الشقين مع قمة موجة أخرى قادمة من الشق الآخر (خط مستمر مع خط مستمر) أو قاع مع قاع (خط متقطع مع خط متقطع) أي تداخل بناء ينتج عنه زيادة في شدة الإضاءة عند تلك النقطة .
- النقاط التي باللون الأخضر تمثل نقطة إلتقاء قمة موجة قادمة من أحد الشقين مع قاع موجة قادمة من الشق الآخر (خط مستمر مع خط متقطع) أي تداخل هدام يحدث عنده انعدام في الإضاءة عند تلك النقطة .
- نقاط التداخل البناء تقع في خط مستقيم يسمى بخط التداخل البناء .
- نقاط التداخل الهدام تقع في خط مستقيم يسمى خط التداخل الهدام .

وبالتالي فإنه عند وضع شاشة خلف الحاجز فإنه سيتكون على الشاشة عند النقطة (O) مثلاً بقعة مضيئة وذلك لأنها تقع على خط التداخل البناء وكذلك بالنسبة للنقطة (A) والنقطة (E) وهكذا . أما بالنسبة للنقطة (B) فإنها تقع على خط تداخل هدام لذلك تظهر على الشاشة بقعة مظلمة سوداء وكذلك بالنسبة للنقطة (D) .



- أطلق يونج على هذه النقاط بإسم اهداب التداخل فإذا كان التداخل بناء كان الهدب مضيء وإذا كان التداخل هدام كان الهدب معتم .
- النقطة (O) تقع في منتصف المسافة بين الشقين وكذلك تتماثل وتتبادل بين هدب معتم وهدب مضيء أهداب التداخل على جانبي , لذلك أطلق عليها يونج بإسم الهدب المركزي وهو دائماً مضيء .
- نظراً لأن النقطة (A) هي أول هدب مضيء يلي الهدب المركزي , فإنها تسمى الهدب المضيء الأول , والهدب الذي يليها بالهدب المضيء الثاني ... وهكذا ، ويطلق عليها رتبة الهدب المضيء ويرمز لها بالرمز (m).
- نظراً لأن النقطة (B) هي أول هدب معتم يلي الهدب المركزي , فإنها تسمى بالهدب المعتم الأول والذي يليها بالهدب المعتم الثاني ... وهكذا، وأيضاً يطلق عليها رتبة الهدب المعتم ويرمز لها بالرمز (m) .



● حساب الطول الموجي للضوء المستخدم :

بافتراض أن المسافة بين الشقين هي (d) وأن الشاشة تبعد عن الحاجز مسافة مقدارها (L) ، نجد أن :

○ عند الهدب المركزي :

الشعاع الضوئي القادم من المصدر S_1 يقطع مسافة مقدارها r_1 تسمى المسار .

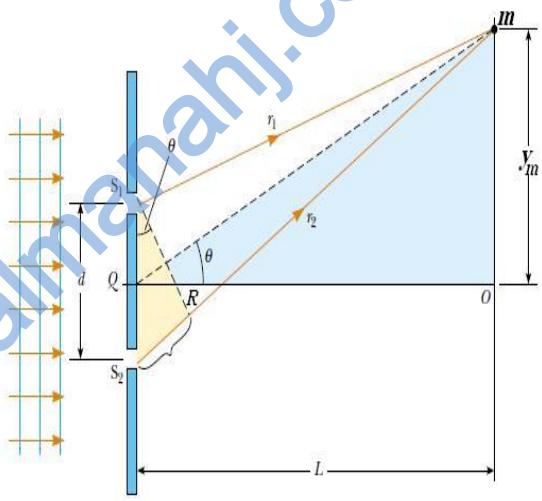
الشعاع الضوئي القادم من المصدر S_2 يقطع مسافة مقدارها r_2

almanahy.com/om
Physics Genius

ونجد أن الشعاعين يقطعان نفس المسافة ليصلا إلى الهدب المركزي أي أن :

$$r_1 = r_2$$

وبالتالي فإننا نحصل على هدب مركزي في الشاشة إذا كان الشعاعين القادمين من الشقين يقطعان نفس المسافة ونحصل دائماً على هدب مضيء .



○ بافتراض أن m هي رتبة الهدب المتكون على الشاشة , على بعد من الهدب المركزي كما في الشكل نجد أن :

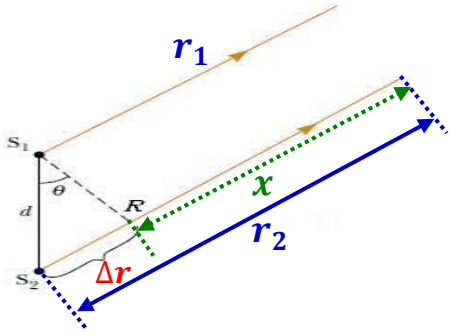
- الشعاع القادم من المصدر s_1 يقطع مسافة مقدارها r_1 حتى يصل إلى النقطة m ، والشعاع القادم من s_2 يقطع مسافة مقدارها r_2 حتى يصل إلى النقطة m ونجد أن $r_2 > r_1$

- مقدار (L) كبير جداً مقارنة بمقدار (d) :

$$L \gg d$$

وبالتالي يمكن اعتبار أن المسارين r_1 و r_2 متوازيين , كما في الشكل , وبالتالي فإنه عند إسقاط خط من بداية المسار r_1 (المسار الأقصر) وعمودي على المسار r_2 (المسار الأطول) فإن المسافة (x) من المسار r_2 سوف تكون مساوية للمسار r_1 :

$$x = r_1$$



والجزء المتبقي من المسار r_2 يمثل الفرق في المسار بين المسارين r_1 و r_2 ويرمز له بالرمز (Δr) أي أن :

$$\Delta r = r_2 - r_1 \quad \text{(فرق المسار)}$$

- عند رسم خط مستقيم من منتصف المسافة بين الشقين إلى النقطة (m) التي تكون عندها الهدب الذي رتبته (m) نجد أن الهدب عند هذه النقطة يميل بزاوية مقدارها (θ_m) عن الهدب المركزي , وهي تساوي مقدار الزاوية المحصورة بين العمود المقام على المسار r_2 والحاجز .

- من خلال الشكل نجد أن النقاط (s_1, R, s_2) تشكل مثلث قائم الزاوية عند (R) وزاوية رأس المثلث هي (θ) وبالتالي يمكن القول أن :

$$sin\theta_m = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$$

$$\therefore sin\theta_m = \frac{\Delta r}{d} \gg 1$$

ومنها نجد أن :

$$\Delta r = d.sin\theta_m = r_2 - r_1 \quad \text{(فرق المسار)}$$

● بمعلومية فرق المسار بين الشعاعين الصادرين من الشقين ، يمكن معرفة نوع الهدب المتكون ورتبته (m) ، كما يلي :

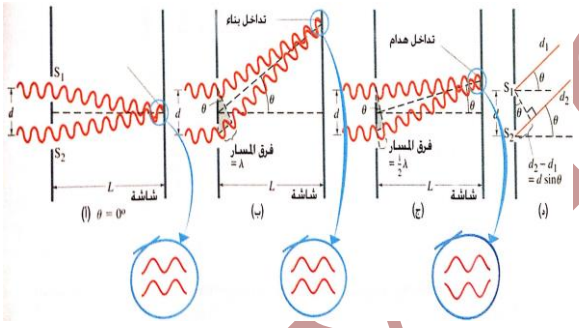
○ يتكون هدب مضيء في الشاشة إذا كان :

$$\Delta r = d.sin\theta_m = \pm m\lambda$$

حيث أن :

- m تمثل رتبة الهدب , وتساوي عدد صحيح :

$$m = 0 , \pm1, \pm2, \pm3, \pm4, \dots\dots, \pm\infty$$



$m = 0$	(الهدب المركزي)
$m = \pm1$	(الهدب المضيء الأول)
$m = \pm2$	(الهدب المضيء الثاني)
$m = \pm3$	(الهدب المضيء الثالث)
$m = \pm4$	(الهدب المضيء الرابع)
.....	وهكذا

almanahj.com/om
Physics Genius

○ يتكون هدب معتم في الشاشة إذا كان :

$$\Delta r = d.sin\theta = \pm m\frac{\lambda}{2}$$

حيث أن :

- m تمثل رتبة الهدب , وتساوي عدد فردي :

$$m = \pm 1 , \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \dots\dots, \pm\infty$$

● إيجاد بعد الهدب الذي رتبته (m) عن الهدب المركزي :

بافتراض أن الهدب (m) يبعد عن الهدب المركزي مسافة مقدارها (y_m) ومن الشكل أعلاه نجد أن النقاط (O,Q,m) تشكل مثلث قائم الزاوية عند (O) وزاوية رأس المثل عند (Q) تساوي (θ) فإننا يمكن أن نستنتج أن :

$$tan\theta_m = \frac{y_m}{L} \quad \gg 2$$

وبما أن البعد بين الشقين (d) صغير جداً وبما أن $(L \gg d)$ ، فإن مقدار الزاوية (θ_m) سوف يكون أيضاً صغير جداً, وبالتالي يمكن القول أن :

$$tan\theta_m = sin\theta_m \quad \gg 3$$

وبالتعويض عن المعادلة 1 و 2 في المعادلة 3 نحصل على :

$$\frac{y_m}{L} = \frac{\Delta r}{d}$$

$$\therefore y_m = \frac{\Delta r.L}{d} \quad \gg 4$$

وبالتالي فإنه :

☜ إذا كان الهدب (m) مضيء فإن :

$$\Delta r = m\lambda$$

ومنه يمكن كتابة المعادلة 4 بالصورة :

$$y_m = \frac{m\lambda.L}{d}$$

حيث أن :

y_m ← يمثل بعد الهدب المضيء الذي رتبته (m) عن الهدب المركزي .

m ← يمثل رتبة الهدب $(m = 0 , \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty)$.

☜ إذا كان الهدب (m) معتم فإن :

$$\Delta r = m\frac{\lambda}{2}$$

ومنه يمكن كتابة المعادلة 4 بالصورة :

$$y_m = \frac{m\lambda.L}{2d}$$

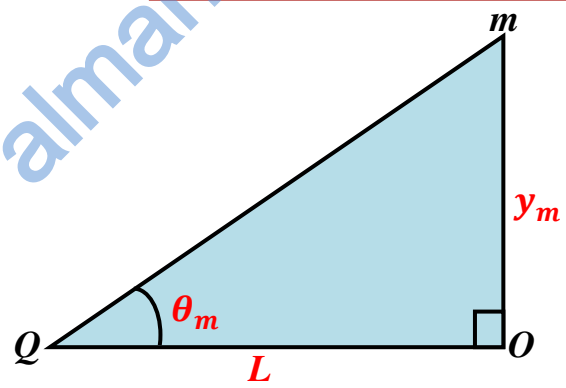
حيث أن :

y_m ← يمثل بعد الهدب المعتم الذي رتبته (m) عن الهدب المركزي .

m ← يمثل رتبة الهدب $(m = \pm 1 , \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \dots\dots, \pm\infty)$.

● إيجاد البعد بين هدبين مضيئين (Δy) رتبة كل منهما (m)و(n) يبعدان عن الهدب المركزي مسافة (y_m) و (y_n) بالترتيب كما في الشكل المقابل , ومن خلال الشكل نجد أن :

$m = \pm 1$ (الهدب المعتم الأول)
$m = \pm 3$ (الهدب المعتم الثاني)
$m = \pm 5$ (الهدب المعتم الثالث)
$m = \pm 7$ (الهدب المعتم الرابع)
$m = \pm 9$ (الهدب المعتم الخامس)
و هكذا ...



almanahj.com/om
Physics Genius

$$\Delta y = y_n - y_m$$

وبالتالي يمكن القول أن :

$$y_n - y_m = \frac{n\lambda . L}{d} - \frac{m\lambda . L}{d}$$

$$\therefore \quad y_n - y_m = (n-m)\frac{\lambda . L}{d} \quad \gg 5$$

حيث أن :

$$n\ , m = 0\ , \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty$$

● إيجاد البعد بين هدبين معتمين (Δy) رتبة كل منهما (m)و(n) يبعدان عن الهدب المركزي مسافة (y_m) و (y_n) بالترتيب كما في الشكل المقابل , ومن خلال الشكل نجد أن :

$$y_n - y_m = \frac{n\lambda . L}{2d} - \frac{m\lambda . L}{2d}$$

$$\therefore \quad y_n - y_m = (n-m)\frac{\lambda . L}{2d} \quad \gg 6$$

حيث أن :

$$n\ , m = \pm 1\ , \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \dots\dots, \pm\infty$$

●إيجاد البعد بين هدب مضيء وهدب معتم (Δy) بالنظر في الشكل المقابل وبافتراض أن الهدب (m) معتم والهدب (n) مضيء فإن:

$$y_n - y_m = \frac{n\lambda . L}{d} - \frac{m\lambda . L}{2d}$$

$$\therefore \quad y_n - y_m = \left(n - \frac{m}{2}\right)\frac{\lambda . L}{d} \quad \gg 7$$

حيث أن :

$$n\ = 0\ , \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty$$
$$m = \pm 1\ , \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \dots\dots, \pm\infty$$

● إيجاد البعد بين هدبين متتاليين (مضيئين أو معتمين) :

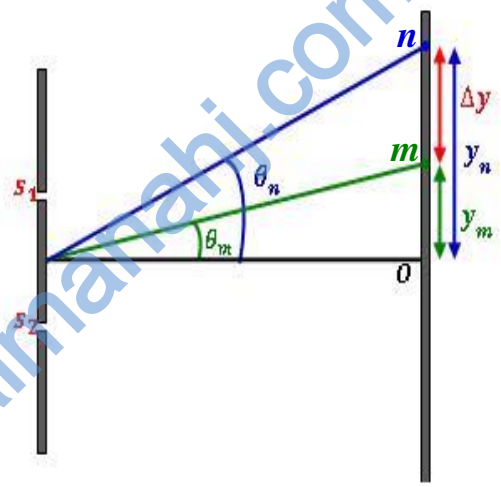
إذا كان الهدبين المتتاليين معتمين أو مضيئين فإنه في الأهداب المضيئة المتتالية $(n - m = 1)$ وفي الأهداب المعتمة المتتالية $(n - m = 2)$ وبالتعويض في المعادلتين (5) و (6) على الترتيب نحصل على أنه في كلا الحالتين :

$$y_n - y_m = \frac{\lambda . L}{d}$$

● إيجاد البعد بين هدب مضيء وهدب معتم متتاليين :

يمكن إيجاد البعد بين الهدبين المختلفين المتتاليين من العلاقة :

$$y_n - y_m = \frac{\lambda . L}{2d}$$



$$y_n - y_m = (n-m)\frac{\lambda . L}{d}$$
$$\therefore \quad y_n - y_m = (1)\frac{\lambda . L}{d} = \frac{\lambda . L}{d}$$

$$y_n - y_m = (n-m)\frac{\lambda . L}{2d}$$
$$\therefore \quad y_n - y_m = (2)\frac{\lambda . L}{2d} = \frac{\lambda . L}{d}$$

almanahj.com/om PHYSICS Genius

● إيجاد أقصى عدد من الأهداب المضيئة أو المعتمة المتكونة على الشاشة (أو آخر رتبة من الأهداب يمكن الحصول عليها) :

في هذه الحالة نعوض عن مقدار ($\theta_m = 90°$) وعندها تصبح

$$sin\theta_m = 1$$

وبالتعويض في معادلة فرق المسار فإذا كان :

☜ الهدب مضيء فإن :

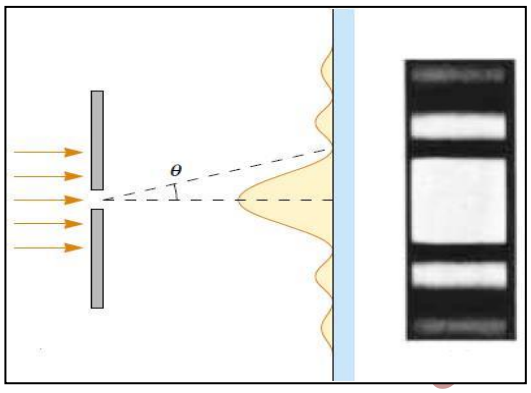
$$m = \frac{d}{\lambda}$$

☜ الهدب معتم فإن :

$$m = \frac{2d}{\lambda}$$

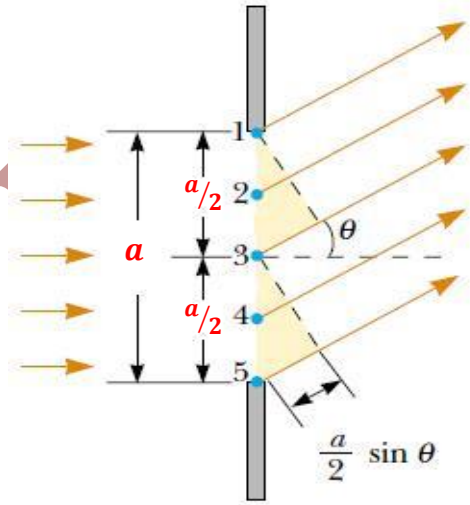
◄ **الحيود بواسطة الشق المفرد :**

تعلمنا فيما سبق ماذا يحدث للضوء في تجربة شقي يونج عندما يصطدم بحاجز به شقان وكيف يعمل الشقان وكأنهما مصادر مستقلة للضوء لتتداخل الموجات الصادرة كل منهما ويتكون أنماط للتداخل على شاشة خلف الحاجز وذلك بتطبيق مبدأ هيجنز على الشقين ، ولكن ماذا يحدث عند استخدام حاجز به شق مفرد ؟



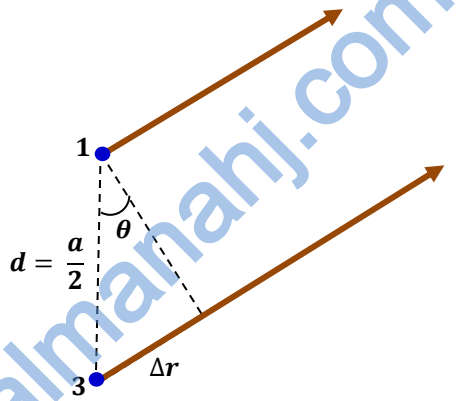
لنفترض الآن أنه يوجد لدينا حاجز به شق مفرد ويسقط عليه ضوء أحادي اللون ويتم استقباله على شاشة تبعد مسافة كبيرة من الحاجز , وعند مشاهدة الأهداب على الشاشة تكونت أهداب التداخل نفسها التي حصل عليها يونج في تجربة الشقين ما اختلاف بسيط كما في الشكل المقابل ، فكيف أمكن حدوث ذلك ؟!

أفضل طريقة لتفسير ذلك هي باعتبار أن الشعاع الضوئي الساقط على الشق قادم من مسافة بعيدة وبالتالي فإن جبهات لموجات مستوية سوف تصطدم بالحاجز ، فإن جميع النقاط في جبهة الموجة عندها سوف تصل إلى الشق في نفس اللحظة ، في تجربة يونج اعتبرنا أن كل شق من الشقين سوف يسلك سلوك مصدر ضوئي مستقل ، أما هنا فالأمر مختلف حيث أنه يتم تقسيم الشق وحسب مبدأ هيجنز إلى مجموعة من النقاط التي ستعمل كمصادر مستقلة ومتماثلة للضوء متفقة الطور وبالتالي فإن كل نقطة في بين حافتي الشق سوف تعمل نفس العمل الذي يقوم به كل شق في تجربة يونج ، مما يؤدي إلى حدوث تداخل بين موجات الضوء القادمة من كل نقطة فإذا كان التداخل بناء فسوف نحصل على بقعة مضيئة في الشاشة أما إذا كان التداخل هدام فسوف نحصل في المقابل على بقعة معتمة في الشاشة .



لتفسير كيفية حدوث ذلك , فإن أسهل طريقة هي تقسيم الشق إلى نصفين متساوين ، فإذا كان عرض الشق هو (a) فإن عرض كل نصف سيكون ($\frac{a}{2}$) ، ونفترض أن الشق (a) يحتوي على 5 نقاط أي سيكون لدينا 5 مصادر متماثلة ، كما هو موضح في الشكل المقابل .

وباعتبار أن الشاشة تقع على مسافة بعيدة جداً من الحاجز مقارنة بعرض الشق , وبالتالي فإنه وبنفس الطريق التي اعتمدناها في تجربة شقي



يونج ،فإننا سنعتبر أن الأشعة المنبعثة من كل نقطة في الشق سوف تكون متوازية مع بعضها البعض ، وعند إسقاط خط من الشعاع الأقصر منبعث من نقطة في النصف العلوي من الشق عمودي على الشعاع الأطول والمنبعث من نقطة تماثلها في الشعاع السفلي مثل النقطة (1) والنقطة (3) فنجد أن النقطة (1) توجد في أعلى الشق العلوي والنقطة (3) توجد في أعلى الشق السفلي وبالتالي فإن هاتين النقطتين تكونان متماثلتين وكذلك أيضاً بالنسبة للنقطتين (2) و (4) وأيضاً بالنسبة للنقطتين (3) و (5) وهكذا ، فإننا نحصل على فرق في المسار بين هاتين النقطتين كما في الشكل وهو يساوي فرق المسار بين أي نقطتين متماثلتين أخريتين ، يمكن إيجاده بتطبيق معادلة فرق المسار ليونج كما يلي :

$$\Delta r = d.sin\theta$$

حيث أن :

d ← البعد بين النقطتين ونجد أن :

$$d = \frac{a}{2}$$

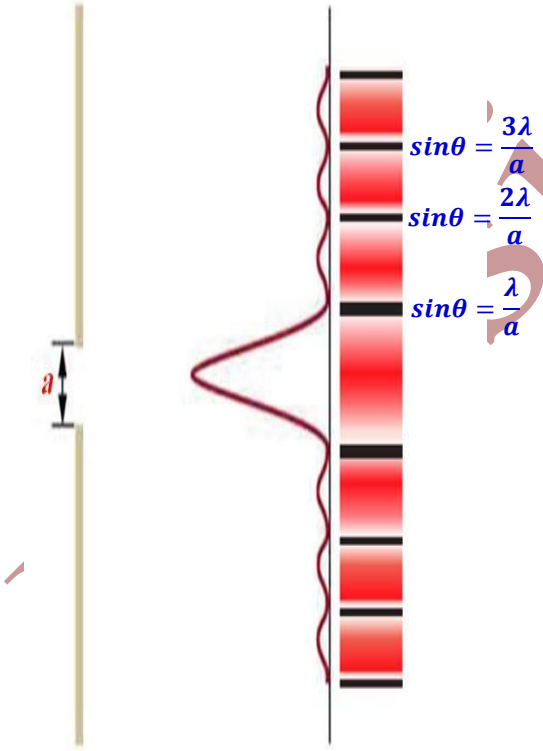
وعندها نحصل على :

$$\Delta r = \frac{a}{2}.sin\theta$$

وبالتالي سوف نحصل على تداخل هدام في الشاشة إذا كان فرق المسار :

$$\frac{a}{2}.sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad sin\theta = \frac{\lambda}{a}$$



وإذا قسمنا الشق إلى أربعة أقسام أيضاً فيمكن أن نحصل على تداخل هدام في الشاشة إذا كان :

$$\frac{a}{4}.sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad sin\theta = \frac{2\lambda}{a}$$

وكذلك يمكن الحصول على تداخل هدام في الشاشة إذا قسمنا الشق إلى 6 أسام متساوية وكان :

$$\frac{a}{6}.sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad sin\theta = \frac{3\lambda}{a}$$

وبالتالي نجد أنه يمكن الحصول على تداخلات هدامة في الشاشة إذا كان :

$$sin\theta = \frac{m\lambda}{a}$$

حيث أن (m) تمثل رتبة الهدب المعتم وتساوي :

$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty$$

كما في الشكل المقابل .

☜ في الشق المفرد يمكن ملاحظة مايلي :

almanahj.com/om
Physics Genius

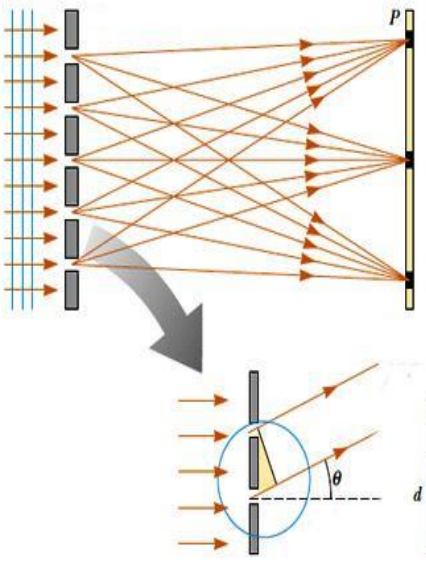
- شدة إضاءة الأهداب المضيئة تقل كلما أبتعدت عن الهدب المركزي .
- الهدب المركزي يكون أكثر الأهداب في شدة الإضاءة .
- سمك الهدب المركزي يساوي ضعف سمك الأهداب المضيئة .

◄ محزوز الحيود :

● **تعريف المحزوز :** هو حاجز يحتوي على مجموعة من الشقوق على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية على بعضها البعض ، كما في الشكل .

● **فكرة العمل :**

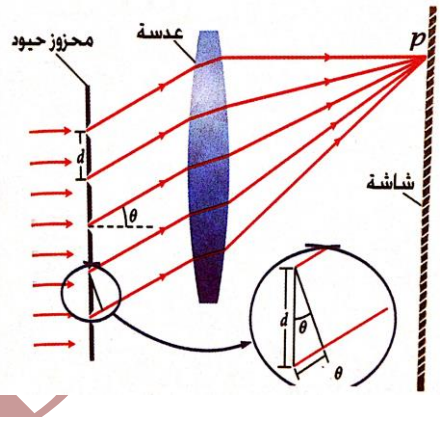
عند سقوط جبهة الموجات المستوية علي سطح المحزوز فإن كل شق في المحزوز وحسب مبدأ هيجنز سوف يؤدي إلى حدوث حيود للموجات الضوئية ويعمل كل شق وكأنه مصدر جديد للضوء بحيث تنتشر الموجات خلف كل شق في جميع الاتجاهات ، مما يؤدي إلى حدوث تداخل بين الموجات القادمة من كل الشقوق عند إلتقاءها مع بعضها البعض في نفس المسار وينتج عنه نمط تداخل بناء ونمط تداخل هدام على شاشة موضوعة خلف الحاجز كما في الشكل .



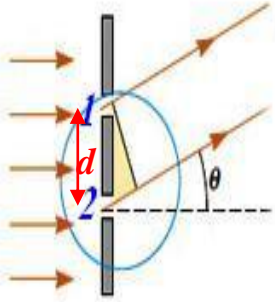
● **التفسير :**

نفترض مصدر ضوئي أحادي اللون موضوع على مسافة بعيدة جداً من المحزوز ويبعث موجات ضوئي باتجاه المحزوز ، وبالتالي فإن جبهات من الموجات المستوية سوف تصل إلى سطح المحزوز لتصطدم الجبهة على جميع الشقوق في نفس اللحظة ، عندها ستعمل الشقوق كمصادر مستقل ومتماثلة للضوء تبعث الضوء خلفها في جميع الاتجاهات لتسقط على شاشة تقع في مسافة بعيدة جداً عنها مقارنة ببعد الشقوق عن بعضها البعض .

نفترض أن الأشعة المنبعثة من الشقوق تسقط على نقطة في منتصف الشاشة ولتكن (O) ونظراً لأن الشاشة بعيدة جداً عن المحزوز مقارنة بالبعد بين الشقوق فإنه يمكن اعتبار أن الأشعة المنبعثة من الشقوق متوازية مع بعضها البعض وبالتالي فإنه يمكن استخدام عدسة محدبة لتجميع هذه الأشعة كما في الشكل وعندها نجد أن جميع الأشعة التي تسقط على النقطة (O) تقطع نفس المسافة ومنه نجد أن فرق المسار بين جميع النقاط سوف يساوي صفر وبالتالي سوف ينتج عنه نمط تداخل بناء وهدب مضيء عن هذه النقطة ويطلق عليه بالهدب المركزي .



لنفترض الآن أن الأشعة الضوئية تسقط على نقطة بعيدة من الهدب المركزي ولتكن (P) وبالتالي فإنه عند هذه النقطة سوف تقطع الأشعة مسافات مختلفة حتى تصل إلى النقطة (P) مما يؤدي إلى حدوث فرق في المسار بين هذه الأشعة ، ولو نظرنا إلى الشكل أدناه ، نجد أن الشعاع الصادر من النقطة (1) يقطع مسافة أقل من الشعاع الصادر من النقطة (2) وبالتالي فإنه عند إسقاط خط عمودي من بداية الشعاع الصادر من النقطة (1) على الشعاع الصادر من النقطة (2) وإذا كانت المسافة بين الشقين (1) و (2) هي (d) فإن فرق المسار بين الشعاعين الصادرين من كل منهما يساوي :



$$\Delta r = d.sin\theta$$

وإذا كان فرق المسار بينهما يساوي عدد صحيح من الأطول الموجيه أي أن:

$$d.sin\theta = m\lambda$$

حيث أن :

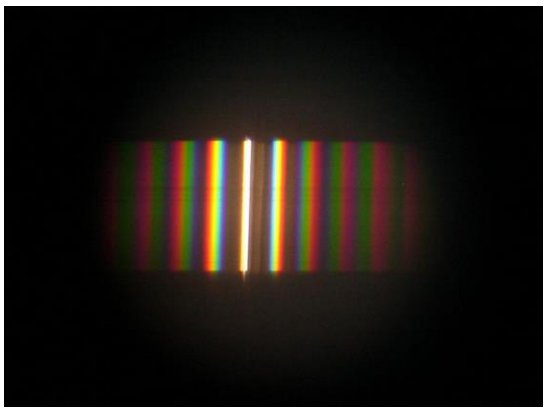
$$m = \pm1, \pm2, \pm3, \pm4, \dots\dots, \pm\infty$$

فإننا سنحصل على تداخل بناء بينهما ، وتتكرر العملية مع كل شقين متجاورين في المحزوز ، أي انه إذا حدث نمط تداخل بناء بين شقين متجاورين في المحزوز فإنه سيحدث نمط تداخل بناء مع جميع الشقوق المتجاورة الأخرى وسنحصل على بقعة مضيئة في الشاشة عند النقطة (P) وهكذا .

يمكن إيجاد البعد بين كل شقين متجاورين (d) بمعلومية عدد الشقوق في المحزوز حيث أن :

$$d = \frac{1}{n(\text{عدد الشقوق})}$$

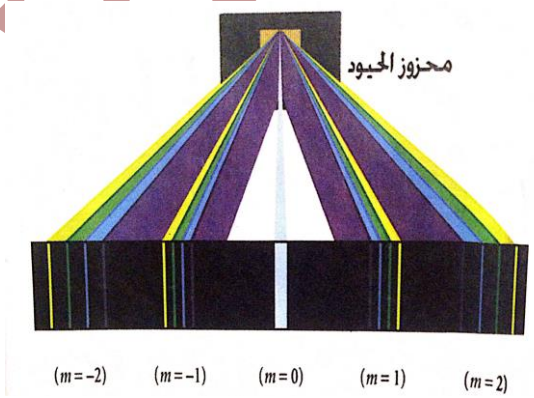
تمتاز أهداب التداخل في محزوز الحيود في أن منطقة الأهداب المعتمة أوسع بكثير من منطقة الأهداب المضيئة وتكون الأهداب المضيئة عبارة عن خطوط متساوية الشدة وعالية الوضوح كما في الشكل ويمكن تمييز أطرافها وبالتالي وبالرغم من نجاح تجربة شقي يونج في حساب الأطوال الموجية إلا أن محزوز الحيود مكن العلماء من الحصول على قياسات بالغة في الدقة للأطوال الموجية المختلفة ، كذلك ونظراً لحدة خطوط التداخل فإنه عند استخدام مصدر ضوئي متعدد الأطوال الموجية فإنه يمكن تمييز أهداب التداخل لكل طول موجي عن الأخر بمعرفة زاوية الهدب المضيء والطول الموجي للموجات الضوئية ، ومن خلال العلاقة أعلاه في حساب فرق المسار نجد أن :



$$\theta \; \alpha \; \lambda$$

وبالتالي فإن الضوء الذي له طول موجي أعلى سوف يكون هدب التداخل له لنفس الرتبة عند زاوية (θ) أكبر ، ومن خلال هذه الخاصة أمكن العلماء من تحليل الضوء بواسطة محزوز الحيود أومكنهم من حساب الطول الموجي لجميع الألوان في الطيف المرئي بدقة عالية جداً .

ونظراً لأن الضوء الأحمر هو أكبر الألوان في الطول الموجي واللون البنفسجي هو أقلها فإن اللون الأحمر سوف يكون له أعلى زاوية بعد عن الهدب المركزي من بين جميع الألوان واللون البنفسجي هو أقلها لذلك عند تحليل الضوء بواسطة المحزوز نجد أن اللون البنفسجي هو أقرب الألوان من الهدب المركزي واللون الأحمر هو أبعدها عند نفس الرتبة كما هو موضح في الشكل المقابل.



يطلق على أول طيف على يمين أو يسار الهدب المركزي بإسم طيق الرتبة الأولى ويكون عنده رتبة الهدب $(m = \pm1)$ والطيف الذي يليه بطيف الرتبة الثانية $(m = \pm2)$ ..... وهكذا .

الهدب المركزي في محزوز الحيود عند تحليل الضوء يكون دائماً مضيء باللون الأبيض وذلك وكما ذكرنا أعلاه تكون جميع الأشعة الصادرة من الشقوق تقطع نفس المسافة إلى أن تصل إلى الهدب المركزي ويكون التداخل بين جميع الأشعة تداخلاً بناءً فتتداخل جميع الألوان مع بعضها عند تلك النقطة وينتج عنها اللون الأبيض عند الهدب المركزي .

almanahj.com/om
Physics Genius

● **مميزات محزوز الحيود :**

- أهداب التداخل عالية الوضوح يمكن تمييز حدودها بكل سهوله .
- يزداد وضوح أهداب التداخل بزيادة عدد الشقوق في المحزوز أي عند تقليل المسافة الفاصلة بين الشقوق (d).
- يزداد سمك الأهداب بزيادة عدد الشقوق .

almanahj.com/om
Physics Genius