الفصل الرابع (الضوء)

إعداد: أ/ محمد الحيلة

الخصائص العامة لموجات الضوء:

١) **السير في خط مستقيم .**

تسير موجات الضوء في خط مستقيم في الوسط المتجانس.

سرعة الضوء:

يمكن حساب سرعة الضوء من خلال القانون العام للموجات:

ع = λ × ت

حيث:

ع : السرعة (م/ث)

λ : الطول الموجي (م)

ت : التردد (هرتز)

وتختلف سرعة الضوء من وسط لآخر حسب كثافة الوسط. حيث تبلغ سرعة الضوء في الهواء ٣ × ١٠^{٨} م/ث في حين تصل سرعة الضوء في الماء ٢,٢٥×١٠^{٨} م/ث.

٢) **انعكاس الضوء .**

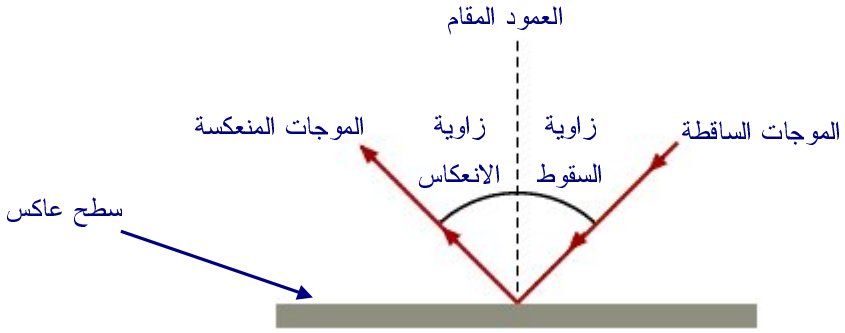
تعريفه: هو ارتداد الضوء بعد اصطدامه بسطح عاكس (وسط ذو كثافة مختلفة).

تقسم الأجسام حسب مقدرتها على عكس أو إنفاذ الضوء إلى:

١. أوساط معتمة (الخشب).

٢. أوساط شفافة (الماء – الزجاج).

٣. أوساط نصف شفافة (الزجاج الخشن – الورق الشفاف).



زاوية السقوط: هي الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات الساقطة والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة الانعكاس.

زاوية الانعكاس: هي الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات المنعكسة والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة الانعكاس.

و ينطبق على موجات الضوء قانوني انعكاس الموجات وهما :

١. زاوية السقوط = زاوية الانعكاس.

٢. الموجة الساقطة والموجة المنعكسة والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.

٣) **الانكسار .**

تعريفه: هو انحراف الموجات عن مسارها نتيجة لانتقالها من وسط لآخر يختلف عنه في الكثافة الضوئية (بسبب اختلاف سرعة الضوء في الوسطين).

الكثافة الضوئية: هي قدرة الوسط على إنفاذ الأشعة الضوئية و تأثيرها فيه عندما تنتقل خلاله.

وتخضع خاصية الانكسار للقانونين الآتيين :

١. معامل الانكسار $م = \frac{ع_{١}}{ع_{٢}} = \frac{حا\theta_{١}}{حا\theta_{٢}} = \frac{\lambda_{١}}{\lambda_{٢}}$

٢. اتجاه سقوط الموجات و اتجاه انكسارها والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل بين الوسطين.

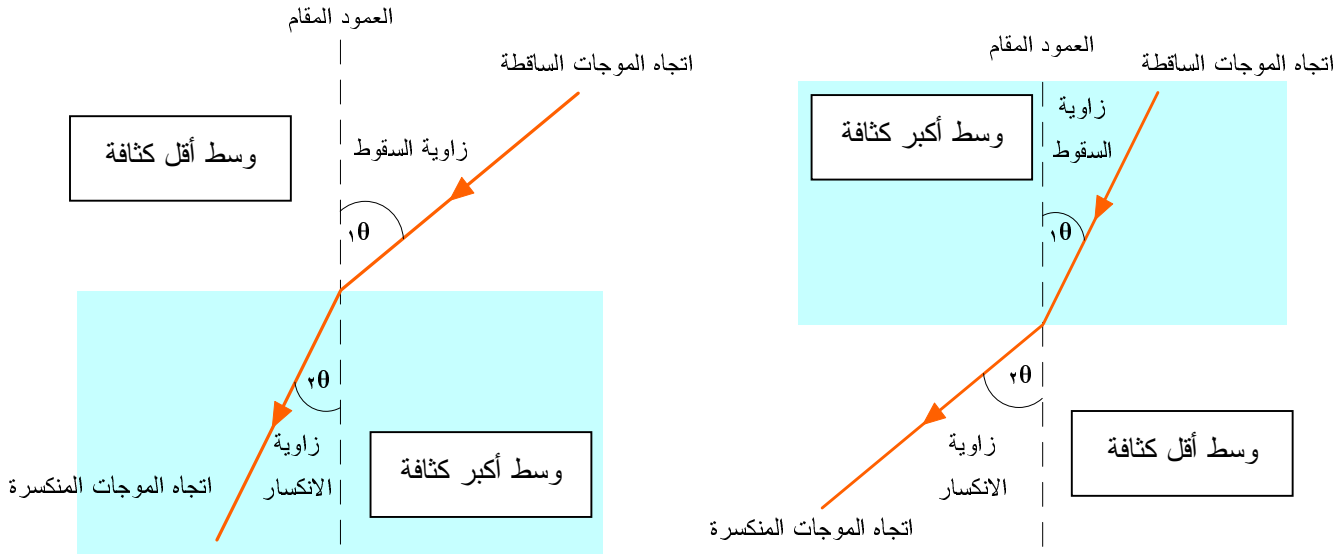
عند انتقال موجات الضوء من وسط أقل كثافة ضوئية إلى وسط أكبر كثافة فإنها تنكسر مقتربة من العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين، وعند انتقال موجات الضوء من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة فإنها تنكسر مبتعدة عن العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين. وتكون:

١) زاوية الانكسار أو السقوط في الوسط الأقل كثافة أكبر من زاوية الانكسار أو السقوط في الوسط الأكبر كثافة.

٢) سرعة الموجات في الوسط الأقل كثافة أكبر من سرعة الموجات في الوسط الأكبر كثافة.

٣) الطول الموجي في الوسط الأقل كثافة أكبر من الطول الموجي في الوسط الأكبر كثافة.

٤) التردد يبقى ثابتاً.



زاوية السقوط: هي الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات الساقطة والعمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين عند نقطة السقوط.

زاوية الانكسار: هي الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات المنكسرة والعمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين عند نقطة السقوط.

ملاحظة:

١. معامل الانكسار للهواء أو الفراغ = ١ .

٢. عند المقارنة بين مادتين في الكثافة الضوئية فإن المادة التي لها معامل انكسار أكبر تكون كثافتها الضوئية أكبر.

٣. زاوية الدخول تساوي زاوية الخروج إلى نفس الوسط عند الانكسار خلال السطوح المتوازية.

ومعامل الانكسار نوعان:

أ. معامل الانكسار المطلق:

تعريفه: هو النسبة بين جيب زاوية السقوط في الهواء و جيب زاوية الانكسار في الوسط المادي. أي أن:

$$\text{معامل الانكسار المطلق} = \frac{\text{جيب زاوية السقوط في الهواء}}{\text{جيب زاوية الانكسار في الوسط}}$$

وبصورة عامة $م_{الوسط} = \frac{ع_{الهواء}}{ع_{الوسط}} = \frac{\lambda_{الهواء}}{\lambda_{الوسط}} = \frac{جا\theta_{الهواء}}{جا\theta_{الوسط}}$

حيث أن:

$م_{الوسط}$: معامل الانكسار المطلق للوسط المادي.

$ع_{الهواء}$: سرعة الضوء في الهواء وتساوي ٣×١٠^{٨} م/ث. $ع_{الوسط}$: سرعة الضوء في الوسط المادي.

$\lambda_{الهواء}$: الطول الموجي للضوء في الهواء. $\lambda_{الوسط}$: الطول الموجي للضوء في الوسط المادي.

$جا\theta_{الهواء}$: جيب زاوية السقوط في الهواء. $جا\theta_{الوسط}$: جيب زاوية الانكسار في الوسط المادي.

ملاحظات هامة:

١. يجب أن تكون المتغيرات المتعلقة بالهواء دائماً في البسط عند حساب معامل الانكسار.

٢. بما أن λ و ع و θ في الهواء أكبر منها في الوسط المادي دائماً فإن: معامل الانكسار المطلق أكبر أو يساوي ١ .

ب. معامل الانكسار النسبي:

تعريفه: هو النسبة بين جيب زاوية السقوط في وسط مادي و جيب زاوية الانكسار في وسط مادي آخر. أي أن:

$$\text{معامل الانكسار النسبي} = \frac{\text{جيب زاوية السقوط في الوسط المادي الأول}}{\text{جيب زاوية الانكسار في الوسط المادي الثاني}} = \frac{جا\theta_{١}}{جا\theta_{٢}} \longleftarrow (١)$$

$$\text{معامل الانكسار النسبي} = \frac{م_{٢}}{م_{١}} \longleftarrow (٢)$$

حيث:

$م_{٢}$: معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني.

$م_{١}$: معامل الانكسار المطلق للوسط الأول.

وبصورة عامة: $م_{١،٢} = \frac{ع_{١}}{ع_{٢}} = \frac{\lambda_{١}}{\lambda_{٢}} = \frac{جا\theta_{١}}{جا\theta_{٢}} = \frac{م_{٢}}{م_{١}}$

ملاحظات :

١. لحساب معامل الانكسار النسبي من الوسط ١ إلى ٢ نقسم معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني على الأول أي بعكس ترتيب الوسطين.

٢. مقدار معامل الانكسار النسبي ليس بالضرورة أكبر من ١ .

نستنتج من المعادلة ١ والمعادلة ٢ في الصفحة السابقة أن:

$$م_{١} \times جا\theta_{١} = م_{٢} \times جا\theta_{٢}$$

وهذا القانون يعرف بـــ "قانون سنل" ونصه: حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق للوسط الأول في جيب زاوية الانكسار خلاله يساوي حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار خلاله.

٤) تداخل الموجات .

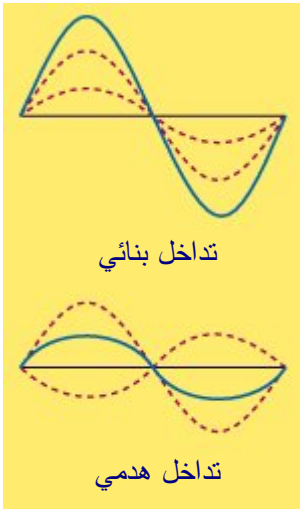
تعريفه: هو وجود موجتين أو أكثر في مكان واحد في نفس الوقت .

ويحدث للموجات المتفقة في الطور أي متفقة في :

١. اتجاه الانتشار .

٢. الطول الموجي .

٣. فرق المسير بينهما عند نقطة معينة ثابت .



ومن أنواعه:

١. تداخل بناء: ويحدث عند التقاء قمم موجة مع قمم الموجة الأخرى أو قيعان موجة مع قيعان موجة أخرى وذلك حين يكون فرق المسير بينهما = ن λ .

٢. تداخل هدمي: ويحدث عند التقاء قمم موجة مع قيعان الموجة الأخرى أو قيعان موجة مع قمم موجة أخرى وذلك حين يكون فرق المسير بينهما = (ن + $\frac{١}{٢}$ λ)

وينقسم إلى :

أ. تداخل إضعاف ويكون حين تكون سعة الموجتين مختلفتين.

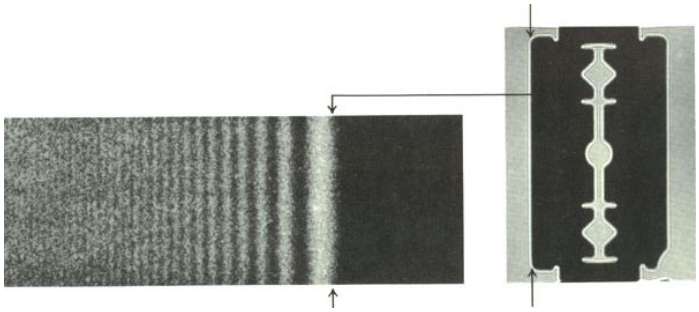
ب. تداخل انعدام ويحدث حين تكون سعة الموجتين متساويتين.

٥) حيود الموجات .

تعريفه: هي ظاهرة انحراف موجات الضوء عن مسارها نتيجة مرورها بثقب صغير أو اصطدامها بحافة عائق صلب.

يجب أن يكون سمك الحافة أو عرض الثقب أقل من الطول الموجي حتى يحدث الحيود، وكلما زاد الطول الموجي زاد الحيود.

يكون حيود الضوء أقل ما يمكن عندما يقترب الطول الموجي للضوء من سمك الحافة أو اتساع الثقب.



تطبيقات على انعكاس الضوء:

الانعكاس عن السطوح المستوية:

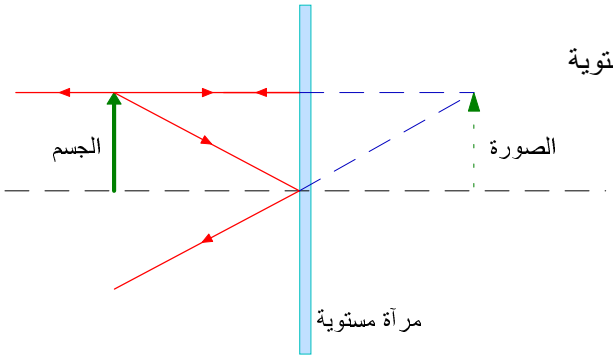
تتكون صور للمرئيات على المرآة بسبب انعكاس الضوء من على السطوح المستوية، و خواص الصورة المتكونة هي:

١. تقديرية و معتدلة.

٢. بعد الجسم عن المرآة يساوي بعد الصورة المتكونة عن خلف المرآة عن المرآة.

٣. طول الصورة المتكونة يساوي طول الجسم، حيث أن :

التكبير = $\frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}}$ = ١ في حالة المرآة المستوية



الانعكاس الكلي الداخلي :

الزاوية الحرجة : هي زاوية سقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار في الوسط الأقل كثافة مقدارها ٩٠° (لاحظ الشعاع رقم٢).

و يمكن حسابها من القانون :

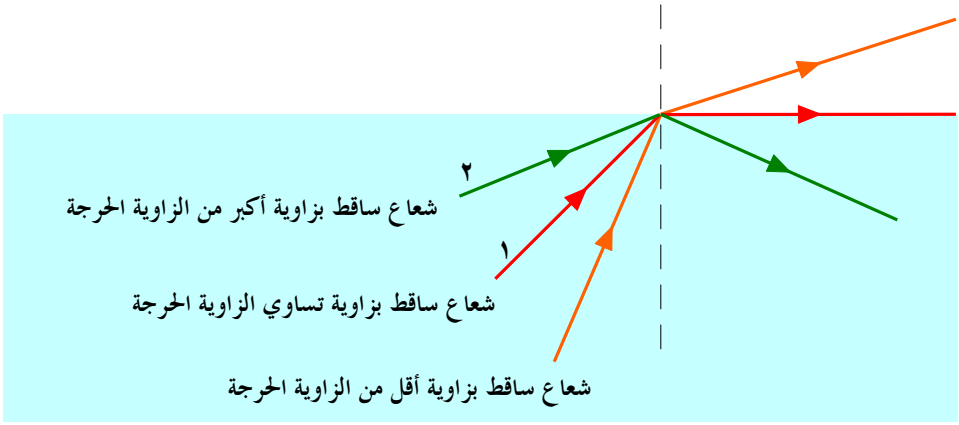
$$م = \frac{١}{\text{جا (الزاوية الحرجة)}}$$

وهذه المعادلة تستخدم في حالة أن يكون أحد الوسطين هو الهواء.

أما إذا لم يكن أحد الوسطين هواء فالأفضل استخدام قانون سنل لإيجاد قيمة الزاوية الحرجة.

الانعكاس الكلي الداخلي: عندما يسقط شعاع ضوئي من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فإنه ينعكس انعكاساً كلياً داخلياً (لاحظ الشعاع رقم٢).

وقد سمي هذا الانعكاس كلياً لأن الأشعة الساقطة تنعكس بكاملها دون امتصاص أي جزء منها كما يحدث في انعكاس الضوء عن المرايا مثلاً.



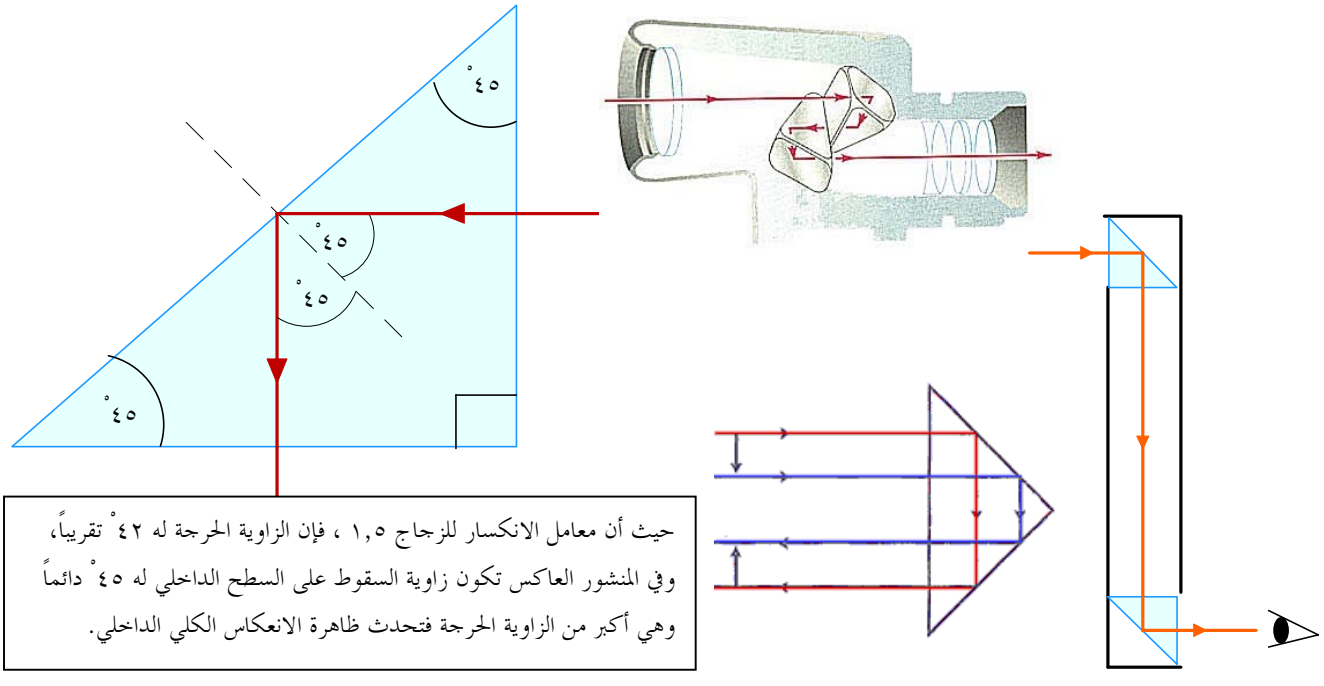
بعض التطبيقات على الانعكاس الكلي الداخلي :

١. المنشور العاكس

عندما تسقط أشعة ضوئية على المنشور الثلاثي القائم الزاوية المتساوي الساقين فإن الأشعة تسقط على السطح الداخلي للمنشور بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فتنعكس انعكاساً كلياً داخلياً لذلك تكون صوراً أوضح من المرآة. و يستخدم المنشور العاكس في:

١) المنظار المقرب (التلسكوب).

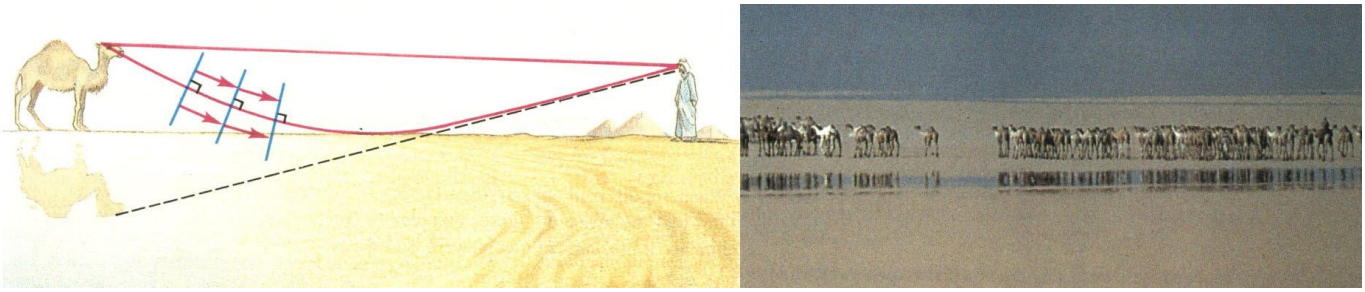
٢) منظار الغواصة (البيروسكوب).



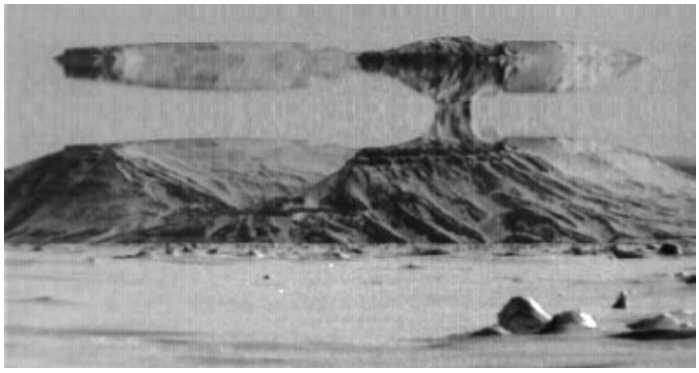
حيث أن معامل الانكسار للزجاج ١,٥ ، فإن الزاوية الحرجة له ٤٢° تقريباً، وفي المنشور العاكس تكون زاوية السقوط على السطح الداخلي له ٤٥° دائماً وهي أكبر من الزاوية الحرجة فتحدث ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي.

٢. ظاهرة السراب.

وسببها هو حدوث الانكسار المتكرر للضوء عند انتقاله من الطبقات الباردة للهواء (الأكبر كثافة) إلى الطبقات الساخنة (الأقل كثافة) ينكسر الضوء مبتعداً عن العمود المقام إلى أن تصل زاوية السقوط إلى قيمة أكبر من الزاوية الحرجة فيحدث الانعكاس الكلي الداخلي مما يسبب حدوث السراب.



السراب الصحراوي



السراب القطبي

تطبيقات على انكسار الضوء:

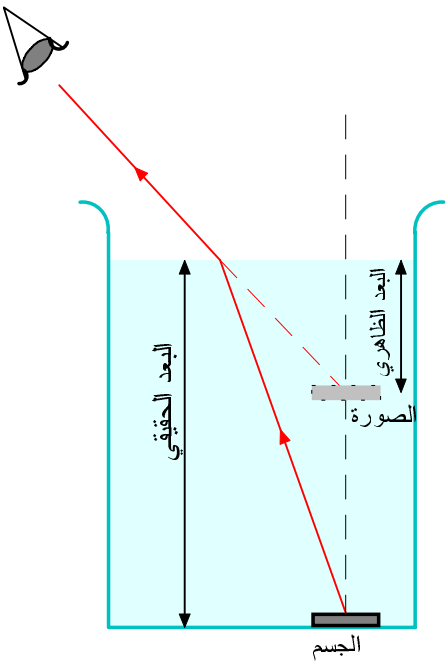
رؤية الأجسام المغمورة في السوائل في غير مواقعها الحقيقية:

نرى الأجسام في السوائل في غير مواضعها الحقيقية ، وذلك بسبب ظاهرة انكسار الضوء، فعندما ننظر من أعلى في إناء مملوء بالماء به عملة معدنية فإننا نراها في موضع أقرب من موضعها الحقيقي. ولتعيين معامل الانكسار في هذه الحالة يستخدم القانون الآتي:

$$\text{معامل الانكسار المطلق} = \frac{\text{البعد الحقيقي}}{\text{البعد الظاهري}}$$

وهذه المعاملة تستخدم إذا وسط العين هو الهواء والجسم في السائل (الوسط المادي) وبصورة عامة يمكن استخدام المعادلة التالية لأي وسطين:

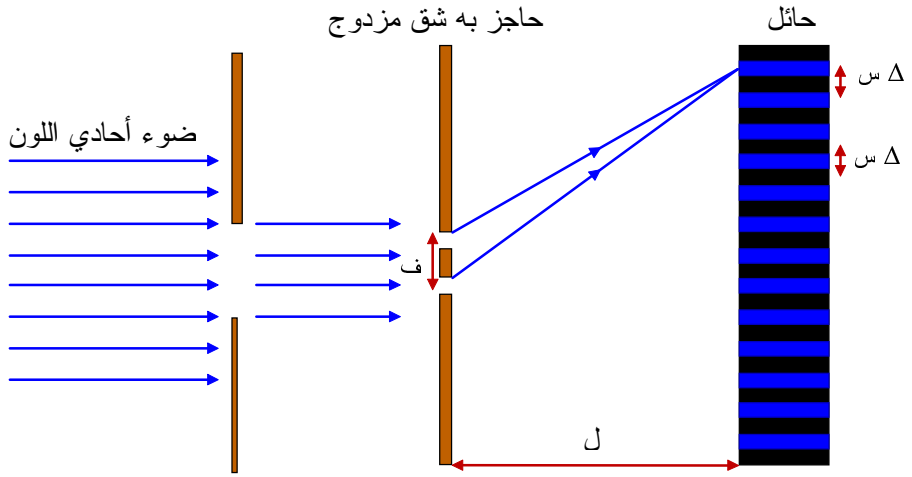
$$\text{م}_{\text{وسط العين ، وسط الجسم}} = \frac{\text{البعد الحقيقي في وسط العين}}{\text{البعد الظاهري في وسط الجسم}}$$



تطبيقات على حيود وتداخل الضوء:

تجربة الشق المزدوج:

وقد قام بها العالم توماس يونج، وتركيب التجربة موضح بالشكل التالي:



حيث يسقط ضوء أحادي اللون (أي له طول موجي واحد) على حاجز به شقين عرض كل منهما أقل من الطول الموجي للضوء الساقط. لماذا؟ فيحدث لموجات الضوء حيود مما يؤدي إلى تداخلها فتتكون أهداب مضيئة بسبب حدوث تداخل بنائي وتتكون أهداب مظلمة بسبب حدوث تداخل هدمي.

ويمكن حساب الطول الموجي للضوء المستخدم من خلال العلاقة :

$$\Delta \text{ س} = \frac{\lambda \times \text{ل}}{\text{ف}}$$

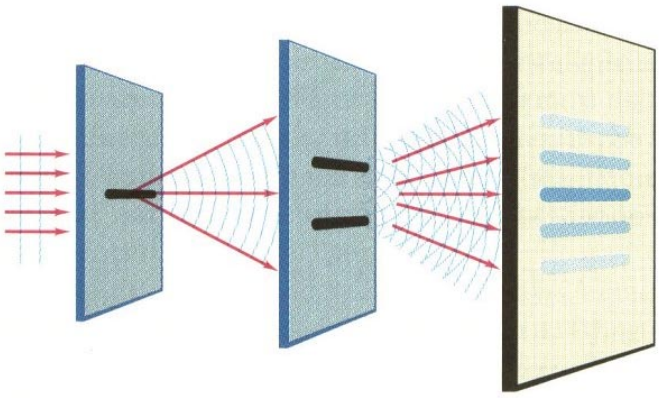
حيث:

Δ س : المسافة بين مركزي هدبتين متتاليتين من نفس النوع

ل : المسافة بين الشق المزدوج و الحائل الذي عليه الهدب

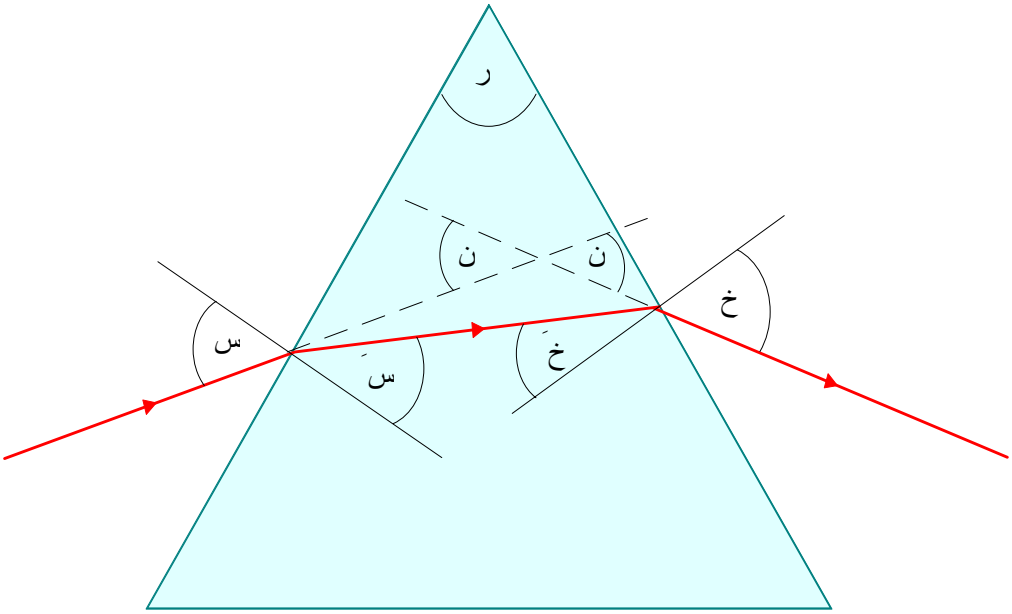
λ : الطول الموجي للضوء أحادي اللون المستخدم في التجربة

ف : المسافة بين مركزي الشقين المزدوجين



انكسار الضوء خلال المنشور الثلاثي

المنشور: هو جزء من وسط شفاف متجانس يحده سطحان غير متوازيين بينهما زاوية تعرف بزاوية رأس المنشور.



حيث:

ر : زاوية رأس المنشور.

ن : زاوية الانحراف، ويعبر عنها أيضاً بمقدار الانحراف.

س: زاوية السقوط، ومن أسمائها أيضاً: زاوية الدخول، زاوية السقوط الأولى، زاوية السقوط في الهواء، زاوية السقوط الخارجية.

سَ: زاوية الانكسار، ومن أسمائها أيضاً: زاوية الانكسار الأولى، زاوية الانكسار الداخلية، زاوية الانكسار في المنشور.

خ: زاوية الخروج، ومن أسمائها أيضاً: زاوية الانكسار الثانية، زاوية الانكسار الخارجية، زاوية الانكسار في الهواء.

خَ: زاوية السقوط في المنشور، ومن أسمائها أيضاً: زاوية السقوط الثانية، زاوية السقوط الداخلية.

زاوية الانحراف : هي الزاوية الحادة المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط و امتداد الشعاع المنكسر.

وتنطبق على المنشور الثلاثي القوانين الآتية:

١. $م = \frac{\text{جا س}}{\text{جا سَ}} = \frac{\text{جا خ}}{\text{جا خَ}}$

٢. $ر = سَ + خَ$

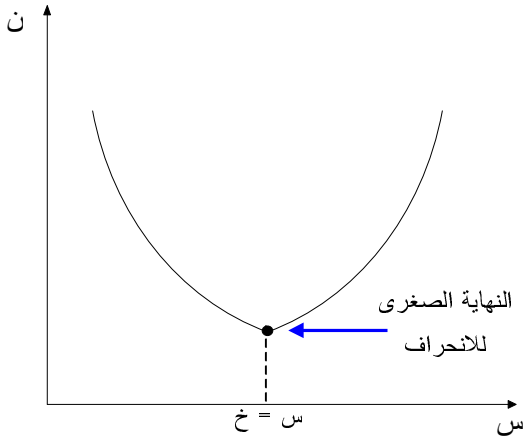
٣. $ن = س + خ - ر$

النهاية الصغرى للانحراف :

تعريفها: هي الحالة التي يكون عندها مقدار زاوية الانحراف أقل ما يمكن.

عند هذه الحالة أيضاً تتساوى زاويتا الدخول والخروج في المنشور الثلاثي.

وفي الشكل المجاور نجد أنه عند زيادة مقدار زاوية السقوط تقل زاوية الانحراف حتى تصل لأقل مقدار لها (حالة النهاية الصغرى للانحراف) وعندها تتساوى زاوية الدخول مع زاوية الخروج، وعند زيادة زاوية السقوط بعد ذلك فإن زاوية الانحراف تزداد أيضاً.



والقوانين الخاصة بالمنشور الثلاثي في وضع النهاية الصغرى للانحراف هي:

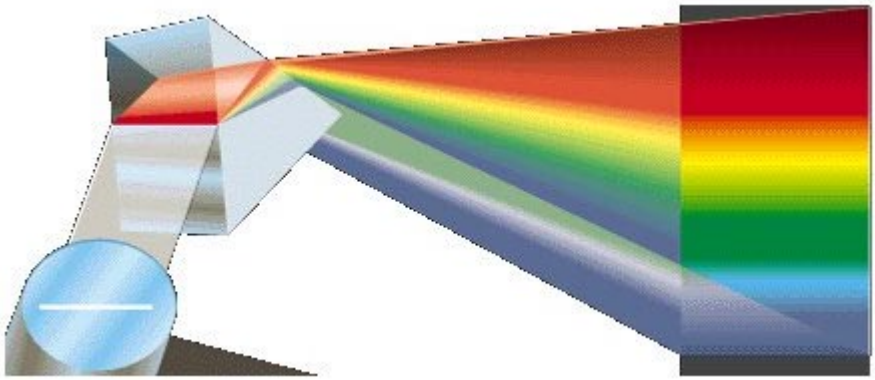
١. س = خ ، سَ = خَ

٢. $س = خ = \frac{ر + ن}{٢}$

٣. $سَ = خَ = \frac{ر}{٢}$

٤. $م = \frac{جا \frac{ر + ن}{٢}}{جا \frac{ر}{٢}}$

نتيجة هامة: من المعروف أن لكل لون من ألوان الضوء طول موجي خاص به وبالرجوع للمعادلة: $م = \frac{\lambda_{١}}{\lambda_{٢}}$ **والتي تدل على أن معامل الانكسار يعتمد على الطول الموجي نستنتج أن لكل لون معامل انكسار خاص به وبالرجوع للمعادلة ٤ أعلاه نجد أن زاوية الانحراف في المنشور الرقيق تعتمد على معامل الانكسار فقط في حالة ثبات زاوية رأس المنشور، وبذلك فإن كل لون له زاوية انحراف خاصة به، فتنفصل ألوان الطيف عن بعضها البعض وهذه العملية هي ما تعرف بتحليل الضوء. أي يمكن أن نحصل على أنقى تحليل لطيف الضوء بواسطة المنشور الثلاثي عندما يكون في حالة النهاية الصغرى للانحراف.**



المنشور الرقيق :

تعريفه: هو منشور لا تزيد زاوية رأسه عن ١٠ْ.

إذا سقطت الأشعة الضوئية على سطح المنشور الرقيق تكون عمودية تقريباً، وتكون زوايا السقوط والانكسار والانحراف صغيرة جداً، وحيث أن قيم الزوايا الصغيرة بالتقدير الدائري تساوي قيم جيوبها تقريباً، لذلك يمكن حساب معامل الانكسار لمادة المنشور باعتبار النسبة بين قيم الزوايا نفسها بدلاً من جيوبها ونحصل على القانون الخاص التالي:

ن = ر (م – ١)

التفريق اللوني (الانفراج الزاوِّي) :

التفريق اللوني بين لونين: هو الفرق بين زاويتي انحراف أي لونين من ألوان الطيف.

التفريق اللوني لمنشور: هو الفرق بين زاويتي انحراف أول لون في الطيف وآخر لون فيه وهما الأحمر والأزرق.

ملاحظة: تم اعتبار اللون الأزرق آخر لون في الطيف لأنه منطبق تقريباً على اللون البنفسجي حيث أن المنشور لا يفصل بينهما بشكل واضح.

التفريق اللوني يتوقف على:

١. طبيعة مادة الوسط الذي يحدث فيه الانكسار.

٢. المسافة بين اللونين على شريط الطيف.

ولحساب التفريق اللوني للمنشور الرقيق يستخدم القانون الآتي:

$$ن_أ - ن_ب = ر (م_أ - م_ب)$$

حيث أن:

$ن_أ$ و $م_أ$: هما زاوية الانحراف ومعامل الانكسار للون الأول، وفي حالة حساب التفريق اللوني للمنشور يعتبر هذا اللون هو الأزرق.

$ن_ب$ و $م_ب$: هما زاوية الانحراف ومعامل الانكسار للون الثاني، وفي حالة حساب التفريق اللوني للمنشور يعتبر هذا اللون هو الأحمر.

قوة التفريق اللوني ω :

تعريفه: هو مقياس لقدرة المنشور على الفصل بين الألوان عند تحليلها.

وهو لا يتوقف على زاوية رأس المنشور.

ويمكن حسابه لأي منشور باستخدام المعادلة:

$$\omega = \frac{ن_ز - ن_ح}{ن} = \frac{م_ز - م_ح}{م - ١}$$

حيث أن:

$ن_ز$ و $م_ز$: هما زاوية الانحراف ومعامل الانكسار للون الأزرق.

$ن_ح$ و $م_ح$: هما زاوية الانحراف ومعامل الانكسار للون الأحمر.

ن و م : هما زاوية الانحراف والانكسار للون الذي يتوسط طيف الضوء الأبيض وهو اللون الأصفر، وإذا لم يكونا معلومين يمكن استخدام المعادلين التاليتين لحسابهما:

$$م = \frac{م_ز + م_ح}{٢}$$

$$ن = \frac{ن_ز + ن_ح}{٢}$$