

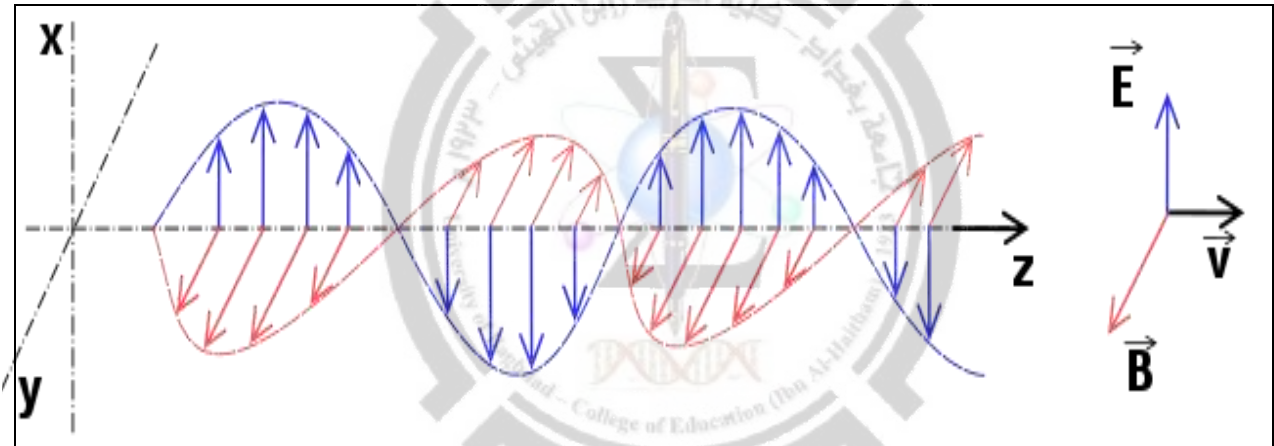
1. المقدمة (Introduction)

قديمًا، قبل القرن التاسع عشر، كان التفكير في الضوء على أنه سيل من الجسيمات التي إما تصدر من العين، أو من الجسم الذي ننظر إليه. قاد فكرة أن الضوء عبارة عن جسيمات تنطلق من الأجسام التي نراها العالم إسحاق نيوتن (Isak Newton)، واستخدم هذه الفكرة لتفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار. بقي القبول لدى العلماء لفرض نيوتن سيد الموقف حتى عام 1678م. حيث اقترح الفيزيائي والفلكي الهولندي هوغنز (Huygens) أن الضوء عبارة عن نوع من الأمواج، وتمكنت النظرية الموجية لهوغنز من تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار للضوء. وفي عام 1801م تمكن العالم توماس يونغ (Thomas Young) من إثبات أن الضوء موجة، عن طريق جعل الضوء يتداخل، الأمر الذي سوف يؤدي إلى انخفاض شدة الضوء (أو اختفائه بالكامل)، أو زيادة شدة الضوء (أو تضاعف شدته) هاتين الظاهرتين يعرفان بالتداخل الهدام والتداخل البناء على الترتيب. ثم لحق ذلك نشر ماكسويل (Maxwell) لعمله في الكهربية والمغناطيسية في عام 1873م الذي دعم أيضاً النظرية الموجية للضوء. تمكنت النظرية الموجية للضوء من تفسير معظم الظواهر الضوئية، إلا أنها فشلت في تفسير بعض الظواهر، مثل الظاهرة الكهروضوئية (Photoelectric Effect)، الظاهرة التي نرى من خلالها انطلاق إلكترونات من سطح المعدن عند تسليط ضوء عليه، وكان فشل النظرية الموجية للضوء يكمن في أن الطاقة الحركية لكل إلكترون لا تعتمد على شدة الضوء الساقط، وإنما على تردده، بينما يعتمد عدد الإلكترونات المنبعثة من سطح المعدن على شدة الضوء الساقط على هذا المعدن. تمكن العالم ألبرت آينشتاين (Albert Einstein) من تفسير هذه الظاهرة عام 1905م مستعيناً بمفهوم تكميم الطاقة الذي وضعه العالم ماكس بلانك، وكنتيجة لتفسيره لهذه الظاهرة حاز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921م. للإجابة عن ماهية الضوء، يمكن القول إنّ الضوء يُظهر سلوكاً موجياً في بعض الأحيان، وفي أحيان أخرى يُظهر سلوكاً خاصاً بالأجسام.

عادةً ما تُستخدم كلمة ضوء للتعبير عن الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يمثل جزءاً ضيقاً من كامل الطيف الكهرومغناطيسي؛ هذا الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي هو الجزء الذي يمكن للعين البشرية أن تدركه، وهو يتراوح بين الطول الموجي (700 nm) للضوء الأحمر والطول الموجي (400 nm) للضوء البنفسجي، وكل ما ينطبق على الطيف الكهرومغناطيسي من قوانين ينطبق أيضاً على هذا الجزء، وعلى الأرض تُعدّ الشمس أكبر مصدر للطيف الكهرومغناطيسي كاملاً، وبهذا يمكن استغلال ضوء الشمس في العديد من نشاطات الحياة اليومية.

2. طبيعة الضوء (Nature of Light)

يبدأ النموذج البسيط لموجة الضوء بشعاع (خط مستقيم) يوضح اتجاه انتقال الضوء. وتمثل الأسهم القصيرة التي على طول الشعاع، والمتعامدة (زاوية قائمة) عليه، المجال الكهربائي. وتشير بعض الأسهم إلى الأعلى من الشعاع والأسهم الأخرى تشير إلى الأسفل منه. وهي تختلف في الطول، لذلك فإن النمط الكلي لرؤوس الأسهم يُشبه الموجة والأسهم التي تمثل المجال المغناطيسي هي أيضاً تشبه الموجة ولكن هذه الأسهم تصنع زاوية قائمة مع الأسهم التي تمثل المجال الكهربائي (الشكل (1)). وهذا النمط يتحرك خلال الشعاع وهو الضوء. أثبتت التجارب في بداية القرن العشرين أن العلماء في النهاية تركوا فكرة الأثير القديمة. وأدركوا أن موجة الضوء، بوصفها نمطاً منتظماً من المجالات الكهربائية والمغناطيسية، يمكن أن تنتقل عبر الفضاء.

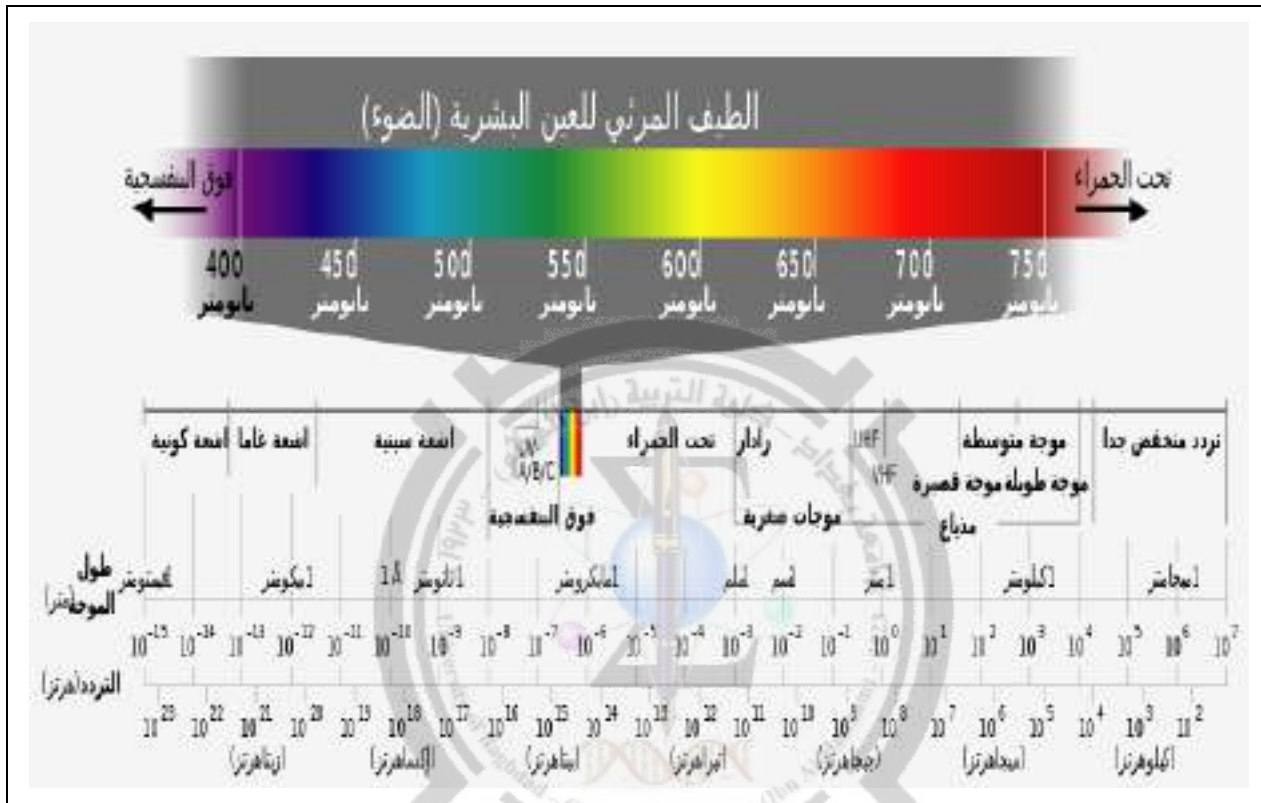


الشكل (1) : موجة يتغير فيها المجال الكهربائي E متعامدا على موجة يتغير فيها مجال مغناطيسي B وتنتشر الموجة في الاتجاه Z العمودي على المستوي الذي يتغير فيه المجالان

3. الطيف الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Spectrum)

يعتبر الضوء المرئي إشعاع كهرومغناطيسي ينتج من أي مصدر تنتقل فيه الإلكترونات بين المدارات الذرية المختلفة فينتج فرق طاقة يولد الطاقة الضوئية ، وهو جزء من طيف واسع من الأشعاع الكهرومغناطيسي الذي يبدأ من الموجات الراديوية (ذات الطول الموجي الطويل والطاقة والتردد الواطئ) ، انتهاءا بالأشعة الكونية (ذات الطول الموجي القصير والطاقة والتردد العالي) . بينما يتكون الضوء المرئي من طيف جزئي خاص به يبدأ من الضوء الأحمر (ذو الطول الموجي الطويل والطاقة والتردد الواطئ) ، وينتهي بالضوء البنفسجي (ذو الطول الموجي القصير والطاقة والتردد العالي) كما في الشكل (2).

ان العين البشرية قادرة على تحسس الضوء المرئي فقط وتمييز الالوان المختلفة عن طريق مستقبلات خاصة في شبكية العين (العصيات والمخاريط) لتتحلل الالوان في الدماغ عن طريق العصب البصري. بينما لا يمكن للعين البشرية تحسس باقي الطيف الكهرومغناطيسي بسبب محدودية مدى تحسس الاطوال الموجية لها ، لكن هناك بعض الحيوانات يمكنها ان تتحسس بعض الطيف الكهرومغناطيسي فضلا عن الضوء المرئي.



الشكل (2): الطيف الكهرومغناطيسي

4. سرعة الضوء (Speed of Light)

تعتبر سرعة الضوء في الفراغ أسرع شيء في الكون حسب احدث النظريات العلمية (النظرية النسبية لآينشتاين) وهي نفسها لكل الطيف الكهرومغناطيسي، وتختلف سرعة الضوء في الاوساط المختلفة نتيجة اختلاف الخواص البصرية لكل وسط ، وتحسب سرعة الضوء من خلال القانون التالي:

$$c = f\lambda \quad \dots \dots (1)$$

حيث (c) هي سرعة الضوء في الفراغ وهي قيمة ثابتة (3×10^8 m/sec) ، (f) هو تردد الضوء (عدد ذبذبات الموجة الضوئية في وحدة الزمن ويقاس بالهيرتز (Hertz)) ، (λ) هو الطول الموجي (المسافة التي تقطعها الموجة الضوئية حتى تعيد نفسها بنفس النمط ويقاس بالمتر او أجزاء المتر) . تعتبر سرعة الضوء من الثوابت الفيزيائية المهمة التي تدخل في

كثير من العلاقات المهمة المتعلقة بالبصريات والطاقة وعلاقتها بالكتلة ولعل أهم هذه العلاقات هي معادلة تكافؤ الطاقة والكتلة لاينشتاين ($E = Mc^2$).

5. الفوتون (The Photon)

اقترح العالم الفيزيائي الألماني ألبرت أينشتاين في سنة 1905 نموذجًا للضوء، وهو مفيد تمامًا مثل النموذج الموجي. يتصرف الضوء في بعض التجارب كما لو أنه جسيمات، وتسمي هذا النوع من الجسيمات الآن الفوتونات. وفي نموذج أينشتاين فإن شعاع الضوء هو المسار الذي يسلكه الفوتون. فمثلاً عندما يرسل المصباح شعاعاً من الضوء خلال غرفة مظلمة فإن شعاع الضوء يتألف من عدد كبير من الفوتونات، وكل واحد منها يسير في خط مستقيم. فهل الضوء موجات أو جسيمات؟ فيما يبدو، لا يمكن أن يكون النموذجان معاً، لأن النموذجين مختلفان تمامًا. وأفضل إجابة أن الضوء لا هذا ولا ذاك. ويتصرف الضوء في بعض التجارب كما لو أنه موجة، وفي بعضها الآخر كما لو أنه جسيمات. وللضوء في الفراغ سرعة واحدة، بعكس الأنواع الأخرى من الموجات، وهي أقصى سرعة ممكنة لأي شيء. ولا يفهم العلماء كنه هذه الحقيقة. والحقيقة التي تنص على أن الضوء في الفراغ يملك سرعة واحدة وهي واحدة من أسس النظرية النسبية لأينشتاين.

ان الفوتون هو جسيم متناهية الصغر (كتلته السكونية تساوي صفر) له طاقة وزخم وترافقه موجة كهرومغناطيسية (حسب المفاهيم الحديثة) ، ويعتبر كم الطاقة الكهرومغناطيسية أي هو العنصر المكون لكل الطيف الكهرومغناطيسي فضلا على الضوء المرئي ، وتحسب طاقة الفوتون عن طريق العلاقة :

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad \dots \dots (2)$$

6. معامل الانكسار (Refraction Index)

هي نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في هذا الوسط. وهو معامل يبين مدى تأثر المادة بالامواج الكهرومغناطيسية. ليس لمعامل الانكسار وحدة تميزه. كلما ازدادت الكثافة البصرية زاد معامل الانكسار للمادة. معامل الانكسار يعتمد على طول الموجة ويمكن مشاهدة ذلك في المنشور الزجاجي . ان زيادة معامل الانكسار يؤدي إلى نقصان سرعة الضوء c في الوسط.

على العموم، فإنّ معامل الانكسار غير ثابت ويعتمد على طول الموجة الكهرومغناطيسية. بالإضافة، فلبعض المواد يختلف معامل الانكسار وفق اتجاه تقدّم الموجة الكهرومغناطيسية في المادة.

معظم المواد ذات الشفافية للضوء المرئي لديها معاملات انكسار ما بين (1-2)، والغازات عند الضغط الجوي القياسي لديها معامل انكسار مقارب للواحد بسبب كثافتها المنخفضة، تقريباً جميع الجوامد والسوائل لديها معامل انكسار أكبر من (1.3) ويستثنى من ذلك الهلام الهوائي. ان الماس من أعلى المواد في قيمة معامل الانكسار (2.42) . أعظم المواد البلاستيكية لديها معاملات انكسار

ما بين (1.7 – 1.3)، ولكن بعض البوليمرات ذات معامل الانكسار الكبير تصل قيمة معامل انكسارها إلى (1.76) للأشعة تحت الحمراء . ان مفهوم معامل الانكسار هو مفهوم نسبي متعلق بالطول الموجي ، فتكون المادة شفافة (اي تسمح بمرور الاشعاع خلالها) لاطوال موجية معينة ، فنحن حين نتحدث عن الزجاج او البلاستيك باعتبارها مواد شفافة نقصد للاطوال الموجية لضوء المرئي، بينما الجرمانيوم يعتبر غير شفاف في مدى الضوء المرئي ولديه معامل انكسار حوالي (4) ، في المقابل يكون الجرمانيوم شفاف لمدى الاشعة تحت الحمراء مما يجعله مادة مهمة لصناعة الخلايا الشمسية. يحسب معامل الانكسار من خلال العلاقة التالية :

$$n = \frac{c}{v} \quad \dots \dots (3)$$

حيث (v) هي سرعة الضوء في الوسط.

7. جبهة الموجة ومبدأ هوغنز (Wave Front & Huygens Principle)

ان مفهوم جبهة الموجة يشير الى المحل الهندسي للنقاط التي لها نفس الطور (اي نفس نسق الحركة للموجة الكهرومغناطيسية). مثال على ذلك موجات الماء المتكونة عند سقوط حجر في بركة الماء الراكدة ، فتكون جبهة الموجة على شكل دوائر متحدة المركز يكون مركزها نقطة سقوط الحجر. لكن في الموجة الضوئية تكون الصورة اعقد من ذلك ، لكن لا بأس بهذا التشبيه اذا كان المصدر نقطي قريب فتنبعث موجات ذات شكل كروي (جبهة الموجة كروية)، اما اذا ابتعدنا عن المصدر فيقل تكور جبهة الموجة الى ان تكون مستوية (تقريبا) في المصادر البعيدة جدا (مثل الشمس).

يعتبر مبدأ هوغنز طريقة هندسية لايجاد شكل جبهة الموجة في لحظة زمنية ما اذا كان شكلها معلوم في لحظة اخرى . حيث افترض ان كل نقطة في جبهة الموجة تعتبر مصدر لتوليد موجات ثانوية تنتشر خارج مراكزها وبنفس اتجاه الموجة الاصلية . ان هذا المبدأ يسمح بتفسير عدة ظواهر فيزاوية مهمة مثل الانعكاس والانكسار .

8. مسائل الفصل الاول (Problems)

(1) ما هي سرعة الضوء في الزجاج (معامل انكسار الزجاج 1.5) لطول موجي مقداره في الفراغ (500 nm) ، احسب ايضا الطول الموجي للضوء المستخدم في الزجاج .

a) Velocity of light in vacuum : $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Velocity of light in glass

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8}{1.5} = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

b) $n = \frac{c}{v} = \frac{f \lambda_0}{f \lambda_g} = \frac{\lambda_0}{\lambda_g}$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{500 \times 10^{-9} \text{ m}}{1.5} = 333.3 \times 10^{-9} \text{ m}$$

(2) قطعة زجاجية سمكها (3 mm) ومعامل انكسارها (1.5) . وضعت بين شاشة ومصدر ضوئي ذي طول موجي (600 nm) (في الفراغ) . المسافة بين المصدر والشاشة هي (3 cm) . كم عدد الموجات الضوئية بين المصدر والشاشة ؟

Number of waves:

$$N = \frac{d}{\lambda} = \frac{d_0}{\lambda_0} + \frac{d_g}{\lambda_g} \quad , \quad \lambda_g = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$N = \frac{(30 - 3) \times 10^{-3} \text{ m}}{600 \times 10^{-9} \text{ m}} + \frac{3 \times 10^{-3} \text{ m}}{\frac{600 \times 10^{-9} \text{ m}}{1.5}}$$

$$N = \frac{27 \times 10^{-3}}{600 \times 10^{-9}} + \frac{4.5 \times 10^{-3}}{600 \times 10^{-9}} = 52.5 \text{ waves}$$

(3) اناء زجاجي عمقه (10 cm) مملوء بالكحول ($n_{ch}=1.361$) ، واناة اخر مماثل له يحتوي على طبقة من الماء ($n_w=1.333$) وطبقة اخرى طافية من الزيت ($n_{oil}=1.473$) ، بحث اصبح الاناء الثاني ممتلئ . عدد الموجات الضوئية النابعة من مصدر عمودي والمارة خلال الانائين هو نفس العدد . ما هو سمك طبقة الزيت؟

$$m = \frac{d_{ch}}{\lambda_{ch}} = \frac{d_w}{\lambda_w} + \frac{d_{oil}}{\lambda_{oil}}$$

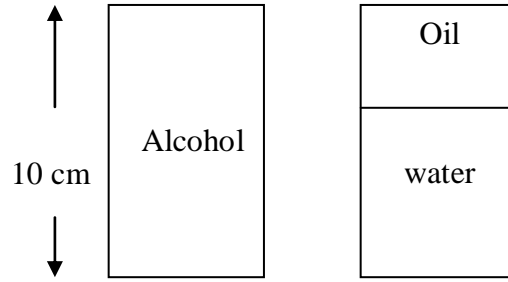
$$\frac{d_{ch}}{\lambda_0} = \frac{d_w}{\lambda_0} + \frac{d_{oil}}{\lambda_0}$$

$$\frac{d_{ch}}{n_{ch}} = \frac{d_w}{n_w} + \frac{d_{oil}}{n_{oil}}$$

$$\frac{10}{1.361} = \frac{10 - d_{oil}}{1.333} + \frac{d_{oil}}{1.473}$$

$$13.61 = 13.33 - 1.333 d_{oil} + 1.473 d_{oil}$$

$$0.28 = 0.14 d_{oil} \Rightarrow d_{oil} = \frac{0.28}{0.14} = 2 \text{ cm}$$



(4) جد النسبة بين سمك طبقة الماء ($n_w=1.333$) الى سمك طبقة الزيت ($n_{oil}=1.473$) اذا كان الزمن المستغرق لعبور الضوء خلال الطبقتين متساوي .

$$\frac{d_w}{d_{oil}} = ?$$

$$t_w = t_{oil} \Rightarrow \frac{d_w}{v_w} = \frac{d_{oil}}{v_{oil}}$$

$$\frac{d_w}{\frac{c}{n_w}} = \frac{d_{oil}}{\frac{c}{n_{oil}}} \Rightarrow \frac{d_w}{d_{oil}} = \frac{n_{oil}}{n_w} = \frac{1.473}{1.333} = 1.1$$

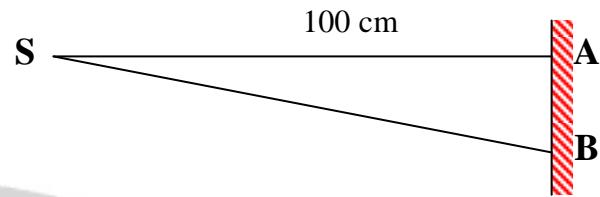
(5) قطعة زجاجية طولها (3 m) ومعامل انكسارها ($n= 1.5$) . نبضتان ضوئيتان متزامنتين انطلقتا معا في نفس الاتجاه ، واحدة خلال الزجاج والثانية خلال الفراغ وقطعتنا نفس المسافة . ما هو الفرق الزمني بين النبضتين لتصل الى المراقب ؟

$$t_{air} = \frac{d_{air}}{v_{air}} = \frac{d_{air}}{c} = \frac{3 \text{ m}}{3 \times 10^8} = 1 \times 10^{-8} \text{ sec}$$

$$t_g = \frac{d_g}{v_g} = \frac{d_g}{\frac{c}{n_g}} = \frac{3 \text{ m}}{\frac{3 \times 10^8}{1.5}} = 1.5 \times 10^{-8} \text{ sec}$$

$$t = t_g - t_{air} = (1.5 - 1) \times 10^{-8} = 0.5 \times 10^{-8}$$

(6) مصدر نقطي (S) يبعث ضوء ذو طول موجي (500 nm) في الهواء . (A , B) نقطتان على شاشة بينهما مسافة (1 cm) ، والمسافة بين الشاشة والمصدر (100 cm) . (a) ما هو الفرق بين عدد الموجات الضوئية بين المسار (SA) والمسار (SB) ؟ (b) وضعت شريحة زجاجية في المسار (SA) ، ما هو سمك الشريحة اللازم لجعل عدد الموجات في المسارين متساوي ؟



$$a) SB = \sqrt{(SA)^2 + (AB)^2} = \sqrt{100^2 + 1^2} = 100.005 \text{ cm}$$

$$m_{SB} = \frac{d}{\lambda} = \frac{100.005 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-9}} = 0.20001 \times 10^7 = 20001 \times 10^2$$

$$m_{SA} = \frac{100 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-9}} = 20000 \times 10^2$$

$$m_{SB} - m_{SA} = 20001 \times 10^2 - 20000 \times 10^2 = 1 \times 10^2 = 100$$

$$b) m_{SB} = m_{SA}$$

$$\frac{d_{SB}}{\lambda_{SB}} = \frac{d_{SA}}{\lambda_{SA}} \rightarrow \frac{d_{SB}}{\lambda_{SB}} = \frac{d_{SA} - d_g}{\lambda_{SA}} + \frac{d_g}{\frac{\lambda_0}{n_g}}$$

$$\frac{100.005 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-9}} = \frac{100 \times 10^{-2} - d_g}{500 \times 10^{-9}} + \frac{d_g n_g}{500 \times 10^{-9}}$$

$$100.005 = 100 - d_g + 1.5 d_g$$

$$0.005 = 0.5 d_g$$

$$d_g = \frac{0.005}{0.5} = 10^{-2} \text{ cm}$$

1. المقدمة (Introduction)

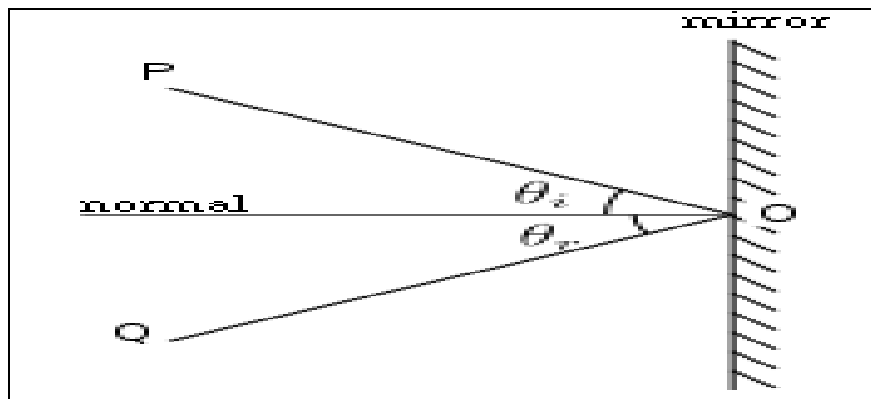
عند سقوط الضوء على الحد الفاصل بين وسطين مختلفين بالكثافة البصرية فان جزء من هذا الضوء ينعكس والجزء الآخر ينكسر والجزء الأخير يمتص ، معتمدا على نوع الواسطين وطبيعة السطح الفاصل بينهما . في هذا الفصل سوف نتحدث على الانعكاس والانكسار لكونه يحدث للجزء الاكبر من الضوء بالنسبة للمواد العازلة الشفافة ، ويهمل الامتصاص لكونه قليل النسبة في هذه المواد ، بينما تزيد نسبة الضوء الممتص في المعادن التي ليست محل دراستنا في هذا الفصل.

2. مبدأ فيرمات (Fermat's Principle)

ينص مبدأ فيرمات على انه عند انتقال الضوء من نقطة الى نقطة اخرى في وسط معين فانه يسلك المسار الذي يحتاج الى اقل زمن ممكن ، والمسار الذي يحتاج الى اقل زمن هو المسار الاقصر مسافة والذي هو الخط المستقيم .

3. الانعكاس (Reflection)

الانعكاس هو تغير اتجاه موجة ضوئية ساقطة على سطح عاكس (الشكل (1)). ينص قانون الانعكاس على أن زاوية سقوط الشعاع على السطح العاكس تكون مساوية لزاوية الانعكاس. ويوضح الشكل تعريف تلك الزاويتين ، حيث تقاس كل زاوية منهما بالنسبة إلى العمود المقام على السطح. الشعاع الساقط على المرآة هو PO والشعاع المرتد (المنعكس) من المرآة هو OQ فتكون زاوية السقوط (θ_i) تساوي زاوية الانعكاس (θ_r) . كذلك هنالك قانون ثاني للانعكاس ينص على ان الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام يقعون جميعا في مستوي واحد.



الشكل (1): ظاهرة الانعكاس

ويتكون الضوء من موجات كهرومغناطيسية. كذلك ينطبق قانون الانعكاس أيضا على جميع أنواع الموجات الكهرومغناطيسية مثل الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة كاما.

4. الانكسار (refraction)

انكسار الضوء هي ظاهرة فيزيائية عبرت عنها الفيزياء الكلاسيكية بأنها ظاهرة انحراف الشعاع الضوئي عن مساره عند عبوره السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين (الشكل (2)). كما أنها تغير في موجات الضوء ونظام الحركة التي تحدثها الموجات في الوسط المادي وجزئيات هذا الوسط فتحدث حركة ذات نظام معين تنتقل عبرها الطاقة وعندما تنتقل إلى وسط آخر مختلف في الكثافة فتغير الاتجاه بسبب تغير سرعتها وتتغير سرعة موجتها بسبب تقيد حركة الموجات في الوسط الأكبر كثافة فتبطأ سرعتها وزيادة الحرية في الانتقال عبر الوسط الأقل. وهو يحصل عند انتقال الموجة من وسط ذي معامل انكسار ما إلى وسط ذي معامل انكسار مختلف. ويحصل الانكسار عند الحد بين الوسطين. وعند الانكسار يتغير الطول الموجي ولكن التردد يبقى ثابتا. ومن الامثلة على الانكسار الموجي تغير اتجاه الضوء عند مروره عبر قطعة زجاجية .

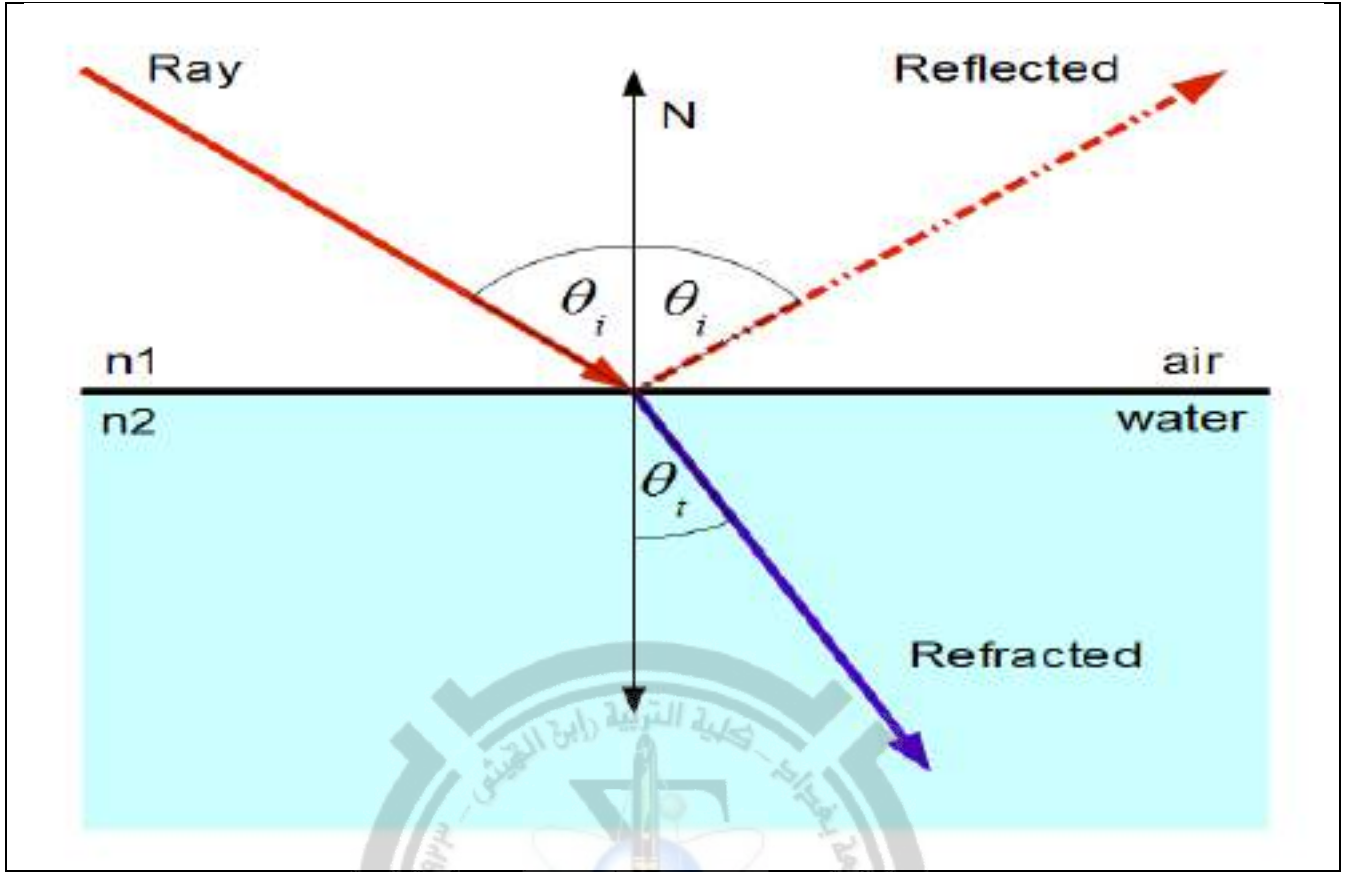
انكسار الضوء هي أحد الظواهر التي يتعرض لها الضوء. و توجد لهذه الظاهرة أهمية كبيرة لفهمنا الطبيعة التي تصادفنا كما أن لها استخدامات تقنية بأجهزة علمية عديدة. ان العلاقة التي تربط بين الضوء الساقط والضوء المنكسر وضعها العالم سنيل (Snell). والذي اشار الى ان النسبة بين جيب زاوية السقوط الى جيب زاوية الانكسار تساوي كمية ثابتة والتي تمثل النسبة بين معامل انكسار الوسط الثاني الى معامل انكسار الوسط الاول ، ويسمى هذا النص بقانون الانكسار الاول (او قانون سنيل) وصيغته الرياضية هي :

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_t} = \frac{n_2}{n_1} = constant \dots \dots (1)$$

حيث (θ_i) تمثل زاوية السقوط وهي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام (N) ، (θ_t) تمثل زاوية الانكسار وهي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام ، (n_2 , n_1) تمثل معاملات انكسار الوسطين الاول والثاني تواليا. ويمكن كتابة قانون سنيل بالصورة التالية:

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t$$

يوجد قانون ثاني للانكسار يشير الى ان الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام يقعون جميعا في مستوي واحد.



الشكل (2) : انكسار وانعكاس الضوء

5. الانعكاس الكلي والزاوية الحرجة (Total reflection and critical angle)

عند سقوط الضوء من وسط معامل انكساره كبير (n_1) الى وسط معامل انكساره صغير (n_2)، فستكون زاوية الانكسار اكبر من زاوية السقوط (والعكس صحيح) كما في الشكل (3) ، وبزيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار الى ان تصل الى مقدار (90°) اي يصبح الشعاع المنكسر يتماس مع الحد الفاصل بين الوسطين. حينها تسمى زاوي السقوط بالزاوية الحرجة (θ_{crt}) والتي تعرف بانها زاوية السقوط التي تصنع زاوية انكسار مقدارها (90°). وبزيادة زاوية السقوط بمقدار اكبر من الزاوية الحرجة فنحصل على ضوء منعكس كلياً (اي لا يحدث انكسار في الوسط الثاني) وهذه الظاهرة تسمى بالانعكاس الكلي .

لحساب العلاقة الخاصة بالزاوية الحرجة ، تكون :

$$\theta_i = \theta_{crt} \rightarrow \theta_t = 90^\circ$$

$$\sin 90 = 1$$

بتطبيق قانون سنيل على المعطيات أعلاه يكون :

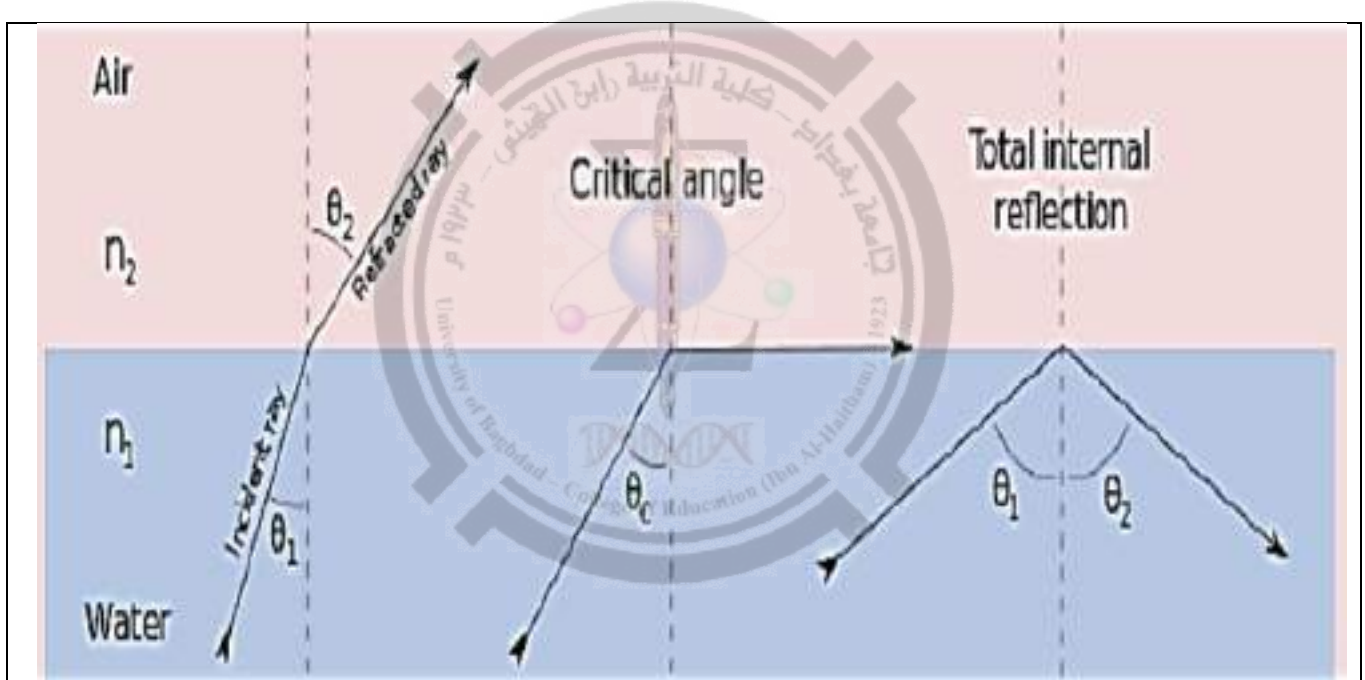
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \rightarrow n_1 \sin \theta_{crt} = n_2 \sin 90$$

$$n_1 \sin \theta_{crt} = n_2$$

$$\sin \theta_{crt} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \theta_{crt} = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \dots \dots (2)$$

مثال : اذا سقط شعاع من وسط زجاجي ذي معامل انكسار يبلغ (1.5) إلى وسط الهواء ذي معامل انكسار يساوي (1) فإن الزاوية الحرجة تساوي :

$$\theta_{crt} = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} = \sin^{-1} \frac{1}{1.5} = 41.8^\circ$$



الشكل (3) : الزاوية الحرجة والانعكاس الكلي

6. الانكسار في الموشور (Refraction in Prism)

الموشور أو المنشور هو وسط شفاف مثل الزجاج، محدود بوجهين مستويين يتقاطعان حسب مستقيم يسمى حرف الموشور، قاعدة الموشور هي الوجه المقابل للحرف. زاوية الموشور (A) هي الزاوية المقابلة للقاعدة. ويرجع السبب في تحلل الضوء الأبيض إلى ألوانه المختلفة أثناء مروره داخل الموشور إلى اختلاف سرعة الضوء في مادة الموشور عن سرعته في الهواء. وهذا يؤدي إلى انكسار شعاع الضوء عند دخوله الوسط (الزجاج) بزوايا انكسار مختلفة، فيكون انكسار الضوء الأحمر أصغر من انكسار اللون الأزرق فينفصلا عن بعضهما (الشكل (4))، ويخرج الشعاعان الأحمر والأزرق من الموشور منفصلين. وحيث أن الضوء الأبيض مثل ضوء الشمس يحتوي على مجموعة من الألوان تشمل الأحمر والأصفر والبرتقالي والأخضر والأزرق والبنفسج (البنفسجي) والبنفسجي، فإن جميع تلك الألوان الضوئية تنفصل عن بعضها البعض بفعل الموشور، لاختلاف معامل انكسار كل لون في الموشور، ونحصل على ما يسمى الطيف الضوئي.

بفرض الموشور متمائل (على الأقل مثلث متساوي الساقين أو مثلث متساوي الأضلاع) وأن الشعاع الذي يحقق زاوية أقل انحراف يمر داخل الموشور موازياً لقاعدته ورأسه الزاوية، يمكن اشتقاق العلاقة بدلالة معامل انكسار كل من الموشور (n_{prism}) والوسط خارج الموشور (n_0) (عادة الهواء). لإثبات ذلك سنفرض الموشور الموجود في الشكل (4). من الرسم نجد أن الشعاع الضوئي يسقط من D إلى A بزاوية (α) ومن ثم ينكسر داخل الموشور مكوناً زاوية الانكسار (β) وعليه يتحقق قانون الانكسار:

$$\frac{n_{prism}}{n_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \dots \dots (3)$$

يمكن أيضاً إثبات أن زاوية الانكسار (β) تشكل نصف زاوية رأس الموشور (σ) في المثلث متساو الساقين أي ($\beta = \frac{\sigma}{2}$). أحد الطرق لإثبات الأمر تكمن في تماثل زوايا المثلث وبإسقاط عمود من رأسه والذي بدوره ينصف زاوية الرأس نكون قد صنعنا مثلثاً قائم الزاوية، يقطع امتداد زاوية الانكسار (β)، الطريقة الأخرى تكمن في أن امتداد الزاويتين المنكسرتين سيشكل مع زاوية الرأس شكل رباعي دائري (لاحتوائه زاويتين متقابلتين قائمتين هما العمودان المظللان في الشكل). بالتالي يمكن كتابة العلاقة السابقة بالصورة:

$$\frac{n_{prism}}{n_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \frac{\sigma}{2}} \quad \dots \dots (4)$$

مرة أخرى يكمل الشعاع المنكسر طريقه داخل الموشور موازياً للقاعدة ويخرج من الجانب الآخر عند النقطة B وينكسر مرة أخرى ماراً بالنقطة C. نظراً لتمائل الموشور، يمكننا تخيل العلاقة بشكل عكسي وإثبات زاوية انكساره عند الخروج هي أيضاً بينما كانت قبل الخروج شريطة أن معامل انكسار الوسط على الجانب الآخر هو نفسه معامل الانكسار على الطرف السابق قبل الدخول (أي أن الوسط خارج الموشور ثابت). نلاحظ أيضاً أن:

$$\theta = \alpha - \beta = \alpha - \frac{\sigma}{2}$$

وأن زاوية الانحراف الصغرى للموشور هي :

$$\delta = \theta + (\alpha - \beta) = \alpha - \frac{\sigma}{2} + \alpha - \frac{\sigma}{2}$$

أي أن:

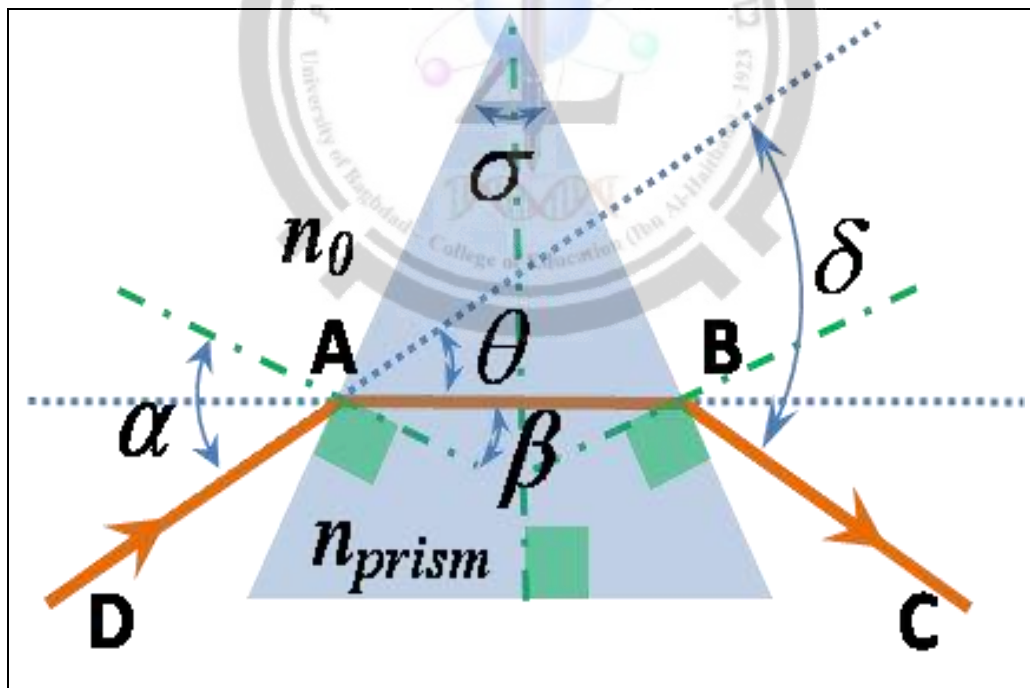
$$\delta = 2\alpha - \sigma$$

أو بعبارة أخرى :

$$\alpha = \frac{\delta + \sigma}{2}$$

بتعويض هذه القيمة في قانون الانكسار مرة أخرى نجد أن :

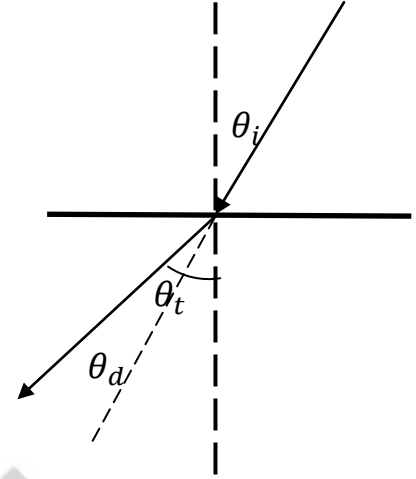
$$\frac{n_{prism}}{n_o} = \frac{\sin \frac{\delta + \sigma}{2}}{\sin \frac{\sigma}{2}} \dots (5)$$



الشكل (4) : الموشور

7. مسائل الفصل الثاني (problems)

1) شعاع ضوئي يسقط على سطح مستوي يفصل بين وسطين شفافين معامل الانكسار لهما $(n_1=1.6, n_2=1.4)$ ، وكانت زاوية السقوط للشعاع هي (30°) . احسب (a): زاوية الانكسار ، (b): زاوية الانحراف .



$$a) n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

$$\sin \theta_t = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \rightarrow \sin \theta_t = \frac{1.6}{1.4} \sin 30 = 0.57$$

$$\theta_t = \sin^{-1}(0.57) = 35^\circ$$

$$b) \theta_d = \theta_t - \theta_i = 35 - 30 = 5^\circ$$

2) مصدر نقطي يبعث شعاع ضوئي يسقط على الحد الفاصل بين وسط ماء ووسط هواء. احسب زاوية الانكسار للشعاع الذي يسقط بزاوية مقدارها (20°) وزاوية (40°) .

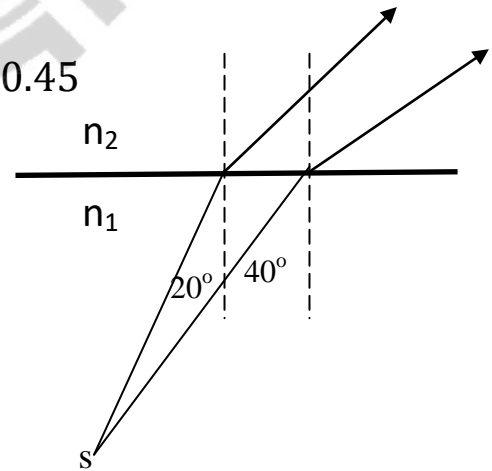
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

$$\sin \theta_t = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \rightarrow \sin \theta_t = \frac{1.33}{1} \sin 20 = 0.45$$

$$\theta_t = \sin^{-1}(0.45) = 27^\circ$$

$$\sin \theta_t = \frac{1.33}{1} \sin 40 = 0.85$$

$$\theta_t = \sin^{-1}(0.85) = 59^\circ$$



(3) شعاع ضوئي يسقط بزاوية (ϕ) على سطح قطعة زجاجية ذات سمك مقداره (t) ، فاذا كانت زاوية النفاذ (الانكسار) هي (ϕ') . برهن أن الإزاحة الجانبية (d) بين الشعاع الساقط والشعاع النفاذ تعطى بالعلاقة

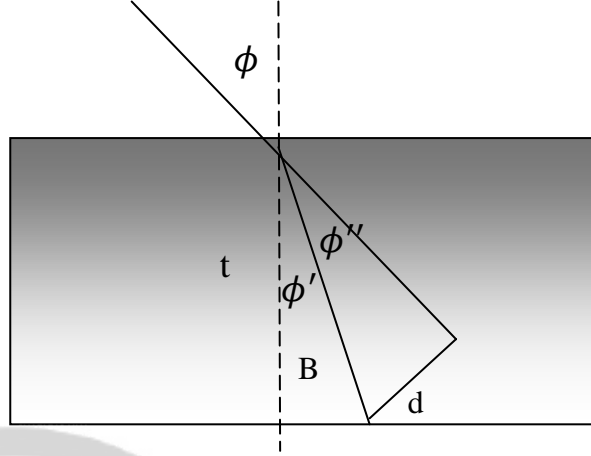
$$d = t \frac{\sin(\phi - \phi')}{\cos \phi'}$$

$$\sin \phi'' = \frac{d}{B} \quad \dots (1)$$

$$\phi'' = \phi - \phi'$$

$$\cos \phi' = \frac{t}{B}$$

$$B = \frac{t}{\cos \phi'} \quad \dots (2)$$



sub. eq. (2) in eq. (1) :

$$d = t \frac{\sin(\phi - \phi')}{\cos \phi'}$$

(4) في الشكل اعلاه ، شعاع ضوئي يسقط بزاوية مقدارها (60°) من الهواء على السطح الزجاجي ذو السمك (2 cm) ومعامل انكسار (1.5) . جد الازاحة الجانبية بين الشعاع الساقط والشعاع النفاذ .

$$n \sin \phi = n' \sin \phi'$$

$$\sin \phi' = \frac{n}{n'} \sin \phi \rightarrow \sin \phi' = \frac{1}{1.5} \sin 60 = 0.577$$

$$\phi' = \sin^{-1}(0.577) = 35^\circ$$

$$d = t \frac{\sin(\phi - \phi')}{\cos \phi'} = 2 * \frac{\sin(60 - 35)}{\cos(35)}$$

$$d = 1.03 \text{ cm}$$

5) شعاع ضوئي يسقط على الوجه العمودي الايسر لمكعب زجاجي ($n_g=1.5$) كما مبين في الشكل ادناه . المكعب مغمور بالماء الذي معامل انكساره ($n_w=1.33$) . ما هي اقل زاوية سقوط يجب ان يسقط بها الضوء على المكعب ليحقق انعكاس داخلي كلي على السطح العلوي له ؟

$$\sin \phi_c = \frac{n_w}{n_g} = \frac{1.33}{1.5} = 0.88$$

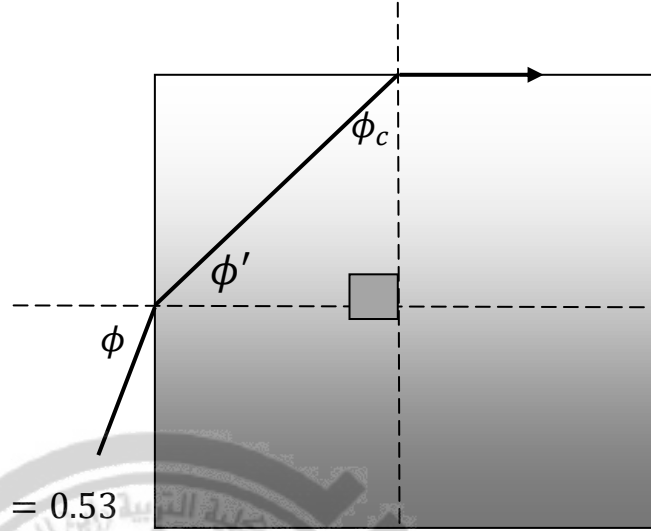
$$\phi_c = \sin^{-1}(0.88) = 62^\circ$$

$$\phi' = 90 - \phi_c = 28^\circ$$

$$n_w \sin \phi = n_g \sin \phi'$$

$$\sin \phi = \frac{n_g}{n_w} \sin \phi' = \frac{1.5}{1.33} \sin 28 = 0.53$$

$$\phi = \sin^{-1}(0.53) = 32^\circ$$



6) موثور زاوية رأسه (60°) ، وزاوية انحرافه الصغرى للون الازرق (43°) . جد زاوية الانكسار للوجه الاول ، وزاوية السقوط ، ومعامل انكسار الموشور . نفرض ان معامل انكسار الوسط المحيط بالموشور هو هواء ($n_o=1$)

$$\beta = \frac{\sigma}{2} = \frac{60}{2} = 30^\circ$$

$$\alpha = \frac{\delta + \sigma}{2} = \frac{43 + 60}{2} = 51.5^\circ$$

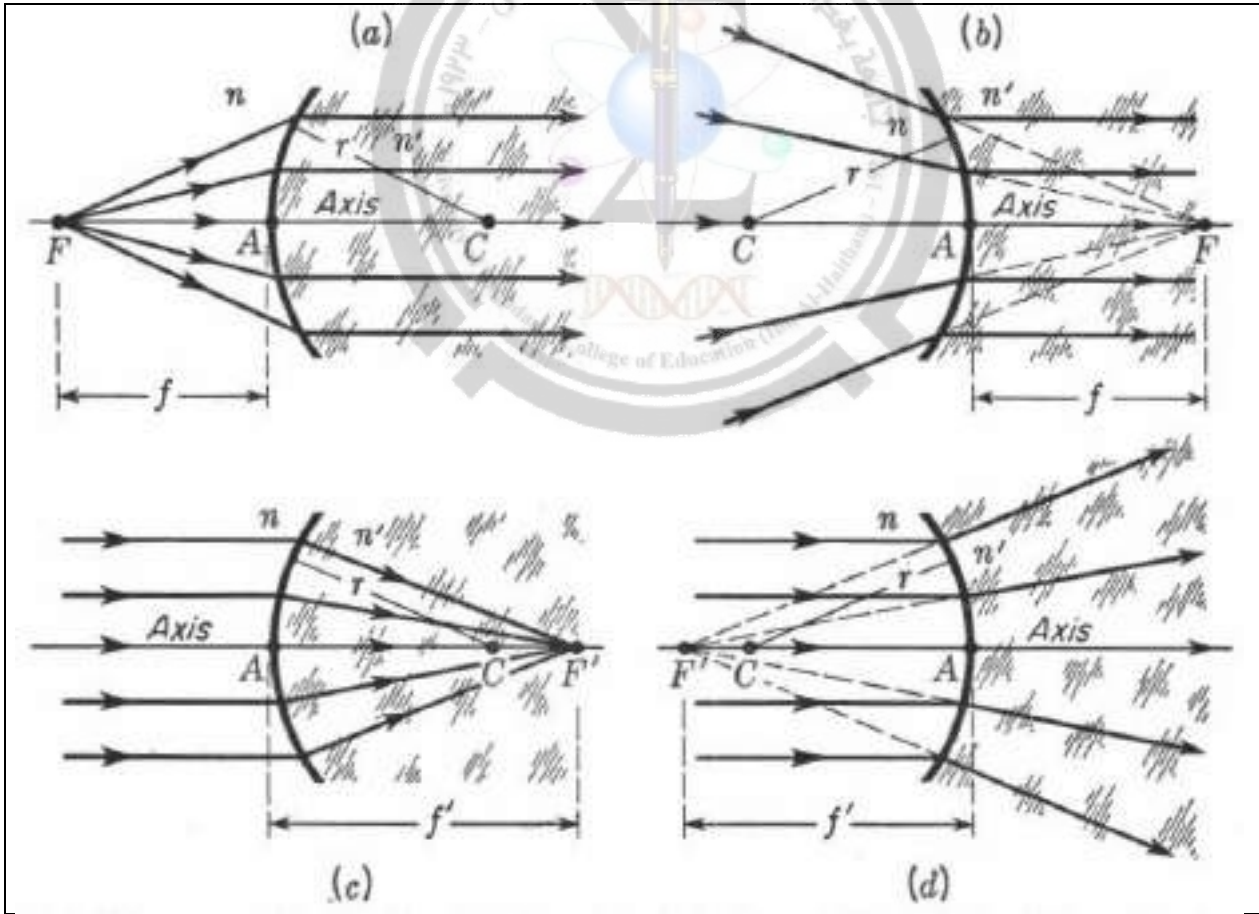
$$n_{prism} = \frac{\sin \frac{\delta + \sigma}{2}}{\sin \frac{\sigma}{2}} = \frac{\sin \frac{43 + 60}{2}}{\sin \frac{60}{2}} = \frac{\sin 51.5}{\sin 30} = \frac{0.78}{0.5} = 1.56$$

(1) السطح الكروي (Spherical Surface)

السطح الكروي هو سطح منحنى جزء من كرة . يسمى السطح الكروي محدب (convex surface) اذا كان مركز التكور له على اليمين ، ويسمى السطح الكروي مقعر (concave surface) اذا كان مركز التكور له على اليسار كما في الشكل (1) .

السطح الكروي الذي يفصل وسطين شفافين له خاصية تجميع او تفريق الاشعة الضوئية المنكسره عليه نتيجة قوانين الانكسار ، وتطبيق قانون سنيل على السطح الكروي باستخدام العمود المقام على مماس النقطة التي يحدث فيها الانكسار وبهذه الطريقة ممكن معرفة اتجاه الشعاع بعد الانكسار .

ان استخدامات السطوح الكروية في البصريات يتضمن تكوين الصور (Image formation) ، وتركيز الاشعة (ray concentration) ، وتسديد الاشعة (ray collimation) ، وتنظيم الاستضاءة (illumination) . وسيقتصر الحديث في هذا الفصل على تكوين الصور الذي يعتبر من اهم وظائف السطوح الكروية .



الشكل (1) السطوح الكروية (a , c) . المحدبة ، (b , d) . المقعرة .

(2) هندسة السطح الكروي (Geometrical of Spherical Surface)

لمعرفة طبيعة السطح الكروي وكيفية عمله في انكسار الضوء خلاله ، يجب معرفة مجموعة من النقاط والمستقيمات ذات العلاقة بهندسة السطح وتطبيق قانون الانكسار وعلاقته بموقع الجسم والصورة .

ان اهم خط مستقيم للسطح الكروي الذي ينصف السطح ويكون عمودي عليه هو **المحور البصري (axis)** ، وتسمى نقطة تقاطع المحور البصري مع السطح الكروي بنقطة **السمت (vertex)** ويرمز لها بالحرف (A) كما في الشكل (1) . بينما يشار الى نقطة مركز تكور السطح الكروي بالرمز (C) التي تقع على يمين السطح المحدب وعلى يسار السطح المقعر. هناك نقطتان مهمتان تعرفان بنقطة البؤرة الاولى والثانوية (primary and secondary focal points) . نقطة البؤرة الاولى (F) هي نقطة محورية (تقع على المحور البصري) تمتاز بخاصية ان اي شعاع ضوئي صادر منها (السطح المحدب) او متجه اليها (سطح مقعر) يسير بعد الانكسار موازي للمحور البصري. اما نقطة البؤرة الثانوية (F') هي نقطة محورية (تقع على المحور البصري) تمتاز بخاصية ان اي شعاع ضوئي يسقط موازي للمحور البصري يسير بعد الانكسار نحوها (السطح المحدب) او كأنه صادر منها (سطح مقعر) . ان المسافة بين موقع البؤرة الاولى والسمت يسمى **البعد البؤري الاولي (primary focal length)** ويرمز له بالرمز (f) ، والمسافة بين موقع البؤرة الثانوية والسمت يسمى **البعد البؤري الثانوي (secondary focal length)** ويرمز له بالرمز (f') ، بينما يسمى المستوى العمودي على المحور البصري في نقطتي البؤرة الاولى والثانوية بالمستوى البؤري الاولي والثانوي (primary and secondary focal plane) على الترتيب.

(3) تكوين الصور (Image Formation)

ان اهم الوظائف المستخدمة لها السطوح الكروية هي تكوين الصور ، ان تكوين الصور يتم عن طريق تجميع الاشعة الصادرة من الجسم (عن طريق الانعكاس او الانكسار) من خلال مرورها في السطح الكروي في نقاط معينة تمثل صورة للنقاط الاصلية للجسم تسمى **النقاط المترافقة (conjugate points)** وهي زوج النقاط المتولدة من الجسم والصورة . لتكوين نقاط مترافقة يجب على الاقل ايجاد شعاعين متقاطعين .

ان هناك طريقتين لايجاد صورة الجسم المتكونة في السطح الكروي هي طريقة الرسم (graphical method) والطريقة الرياضية (mathematical method) .

(4) طريقة الرسم (Graphical Method)