

## 1. المقدمة (Introduction)

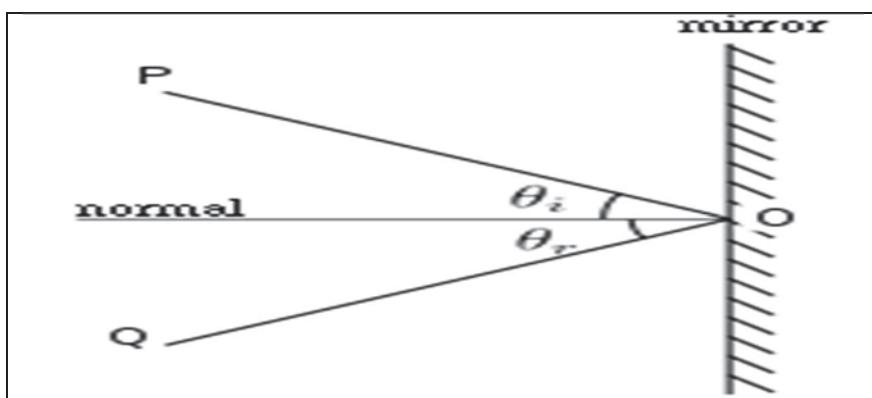
عند سقوط الضوء على الحد الفاصل بين وسطين مختلفين بالكتافة البصرية فان جزء من هذا الضوء ينعكس والجزء الآخر ينكسر والجزء الأخير يمتص ، معتمدا على نوع الوسطين وطبيعة السطح الفاصل بينهما . في هذا الفصل سوف نتحدث على الانعكاس والانكسار لكونه يحدث للجزء الاكبر من الضوء بالنسبة للمواد العازلة الشفافة ، ويهمل 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 منها بالنسبة إلى العمود المقام على السطح. الشعاع الساقط على المرأة هو  $PO$  والشعاع المرتد (المعكس) من المرأة هو  $OQ$  فتكون زاوية السقوط ( $\theta_i$ ) تساوي زاوية الانعكاس ( $\theta_r$ ). كذلك هنالك قانون ثانى للانعكاس ينص على ان الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام يقعون جميعا في مستوى واحد.



الشكل (1): ظاهرة الانعكاس

ويكون 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.

## الانكسار (refraction)

. 4

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 وجزيئات هذا الوسط فتحت حركة ذات نظام معين تنتقل عبرها الطاقة وعندما تنتقل إلى وسط آخر مختلف في الكثافة فتغير اتجاهها بسبب تغير سرعتها وتتغير سرعة موجتها بسبب تقييد 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 الأمثلة على الانكسار الموجي تغير اتجاه الضوء عند مروره عبر قطعة زجاجية.

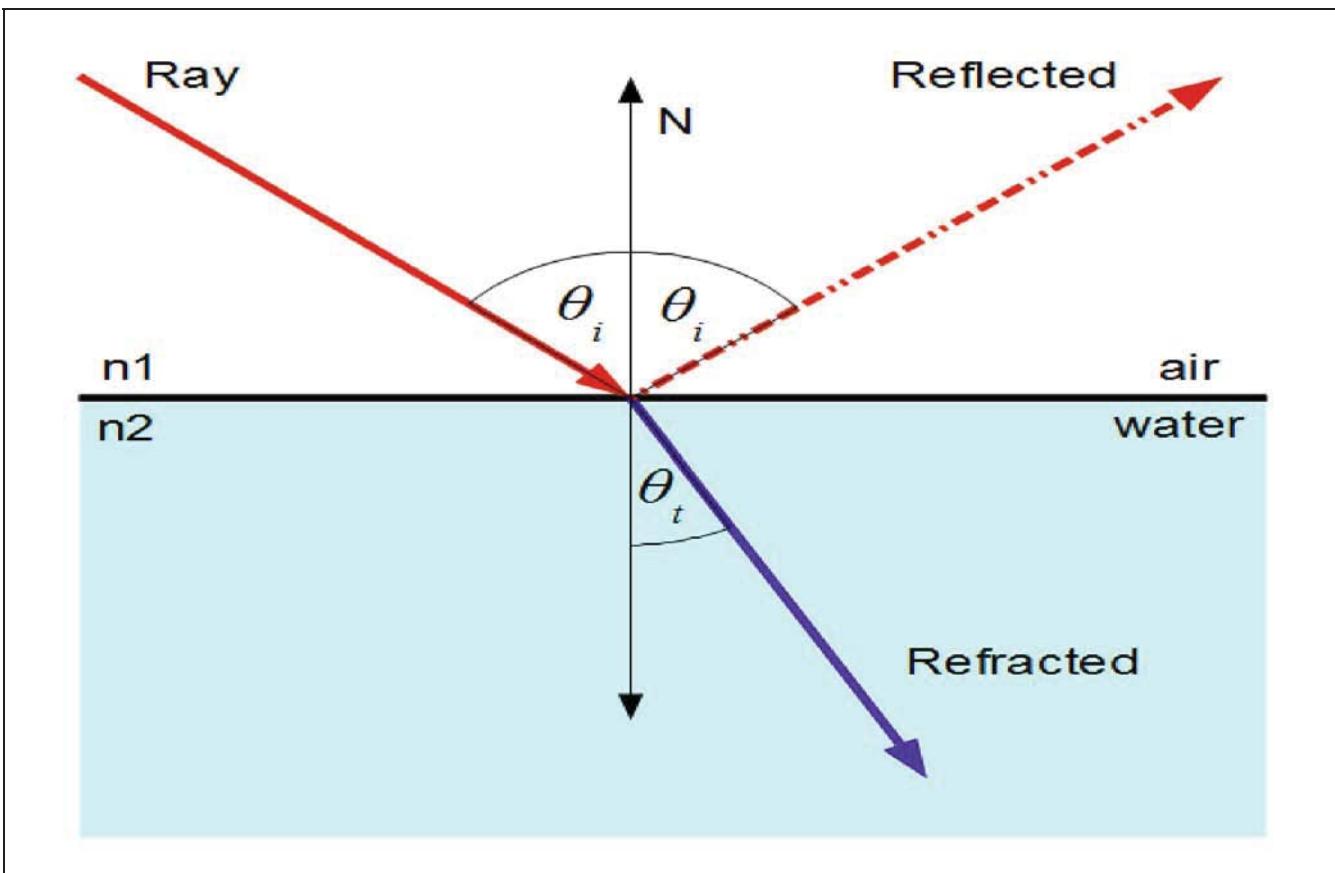
انكسار الضوء هي أحد الظواهر التي يتعرض لها الضوء. و توجد لهذه الظاهرة أهمية كبيرة لفهمنا الطبيعية التي تصادفنا كما أن لها استخدامات تقنية بأجهزة علمية عديدة. إن العلاقة التي تربط بين الضوء الساقط والضوء المنكسر وضعها العالم سنيل (Snell). والذي اشار الى ان النسبة بين جيب زاوية السقوط الى جيب زاوية الانكسار 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 :

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

حيث ( $\theta_i$ ) تمثل زاوية السقوط وهي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام(N) ، ( $\theta_t$ ) 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 ثانى للانكسار يشير الى ان الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام يقعون جميعا في مستوى واحد.



الشكل (2) : انكسار وانعكاس الضوء

## 5. الانعكاس الكلي والزاوية الحرجة (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 ( $90^\circ$ ) اي يصبح الشعاع المنكسر بتناسق مع الحد الفاصل بين الوسطين . حينها تسمى زاوي السقوط **بزاوية الحرجة** ( $\theta_{crt}$ ) والتي تعرف بانها زاوية السقوط التي تصنع زاوية انكسار مقدارها ( $90^\circ$ ). وبزيادة زاوية السقوط بمقدار اكبر من الزاوية الحرجة فتحصل على ضوء منعكss كلية (اي لا يحدث انكسار في الوسط الثاني) وهذه الظاهرة تسمى **بالانعكاس الكلي** .

لحساب العلاقة الخاصة بزاوية الحرجة ، تكون :

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

$$\sin 90^\circ = 1$$

بتطبيق قانون سنيل على المعطيات أعلاه يكون :

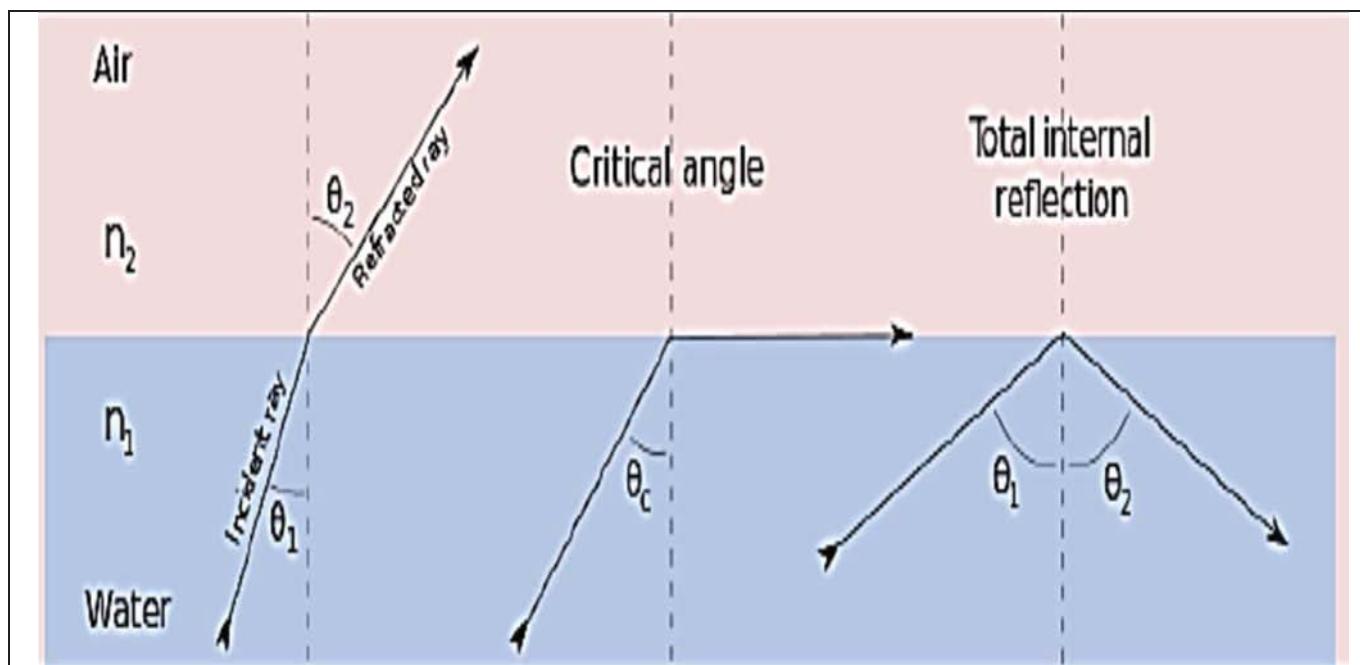
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \rightarrow \quad _1 \sin \theta_{crt} = n_2 \sin 90$$

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

$$\sin \theta_{crt} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{... ... (2)}$$

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

## الموشور (Refraction in Prism)

### الانكسار في

الموشور أو المنشور هو وسط شفاف مثل الزجاج، محدود بوجهين مستويين يتقاطعان حسب مستقيم يسمى حرف المنشور، قاعدة المنشور هي الوجه المقابل للحرف. زاوية المنشور ( $A$ ) هي الزاوية المقابلة لقاعدة. ويرجع السبب في تحل الضوء الأبيض إلى ألوانه المختلفة أثناء مروره داخل المنشور إلى اختلاف سرعة الضوء في مادة المنشور 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 فينفصلاً عن بعضهما (الشكل (4)), ويخرج الشعاعان الأحمر والأزرق من المنشور منفصلين. حيث أن الضوء الأبيض مثل ضوء الشمس يحتوي على مجموعة من الألوان تشمل الأحمر والأصفر والبرتقالي والأخضر والأزرق والازرق الغامق (النيجي) والبنفسجي ، فإن جميع تلك الألوان الضوئية تفصل عن بعضها البعض بفعل المنشور، لاختلاف معامل انكسار كل لون في المنشور، ونحصل على ما يسمى الطيف الضوئي.

بفرض المنشور متماثل (على الأقل مثلث متساوي الساقين أو مثلث متساوي الأضلاع) وأن الشعاع الذي يحقق زاوية أقل انحراف يمر داخل المنشور موازيًا لقاعنته ورأسه الزاوية ، يمكن اشتلاق العلاقة بدلالة معامل انكسار كل من المنشور ( $n_{\text{prism}}$ ) والوسط خارج المنشور ( $n_0$ ) (عادة الهواء). لإثبات ذلك سنفرض المنشور الموجود في الشكل (4). من الرسم نجد أن الشعاع الضوئي يسقط من  $D$  إلى  $A$  بزاوية ( $\alpha$ ) ومن ثم ينكسر داخل المنشور مكوناً زاوية الانكسار ( $\beta$ ) وعليه يتتحقق قانون الانكسار :

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

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

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

مرة أخرى يكمل الشعاع المنكسر طريقه داخل المنشور موازيًا لقاعدة ويخرج من الجانب الآخر عند النقطة  $B$  وينكسر مرة أخرى مارًّا بالنقطة  $C$  نظراً لتماثل المنشور، يمكننا تخيل العلاقة بشكل

عكسى 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 المنشور ثابت). نلاحظ أيضاً أن:

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

وأن زاوية الانحراف الصغرى للمنشور هي :

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

أي أن:

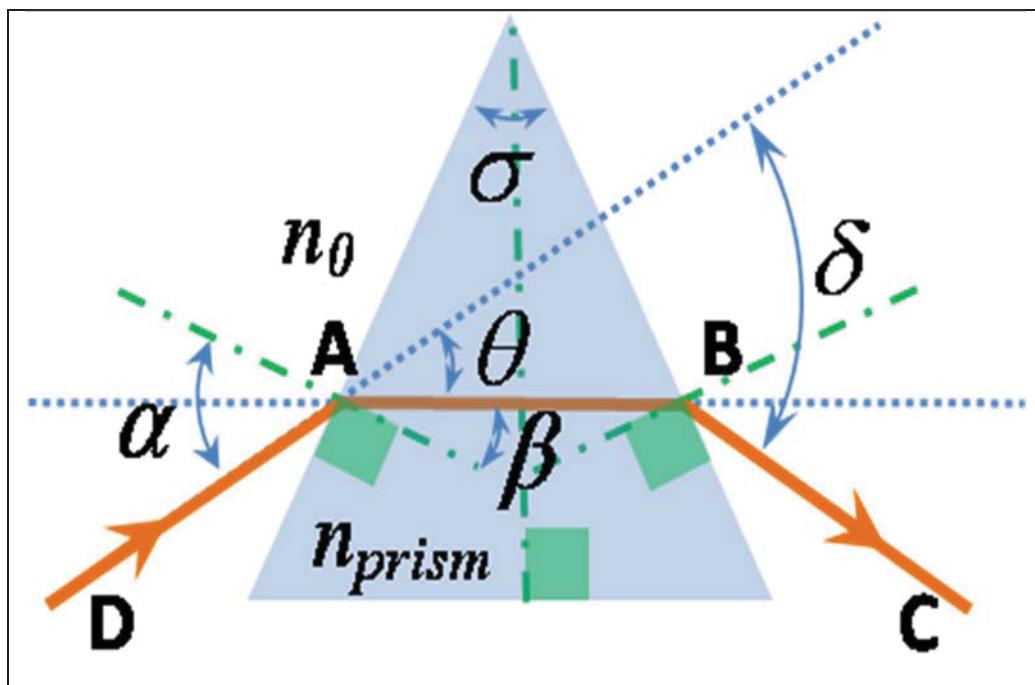
$$\delta = 2\alpha - \sigma$$

أو بعبارة أخرى :

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

بتعويض هذه القيمة في قانون الانكسار مرة أخرى نجد أن :

$$\frac{n_{prism}}{n_0} = \frac{\sin \frac{\delta + \sigma}{2}}{\sin \frac{\sigma}{2}} \dots \dots (5)$$

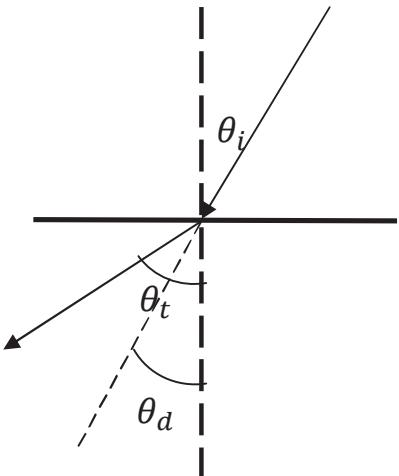


الشكل (4) : المنشور

.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  $(30^\circ)$  . 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  $(20^\circ)$  وزاوية  $(40^\circ)$  .

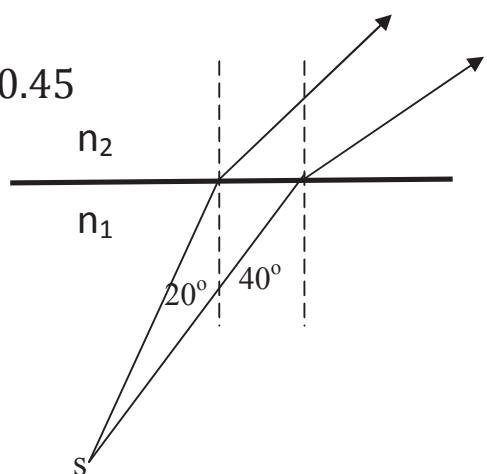
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

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

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

$$\sin \theta_t = \frac{1.3}{1} \sin 40 = 0.85$$

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



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

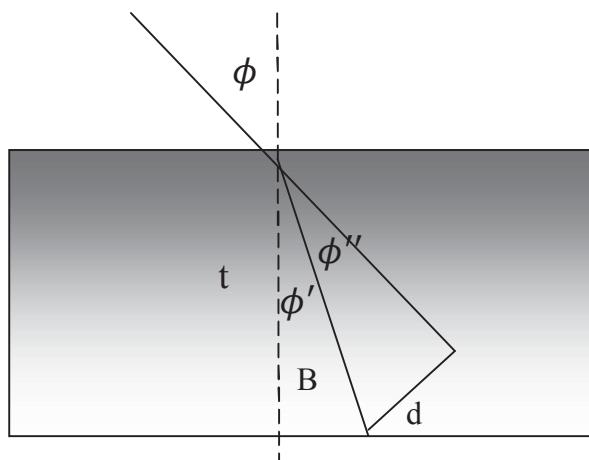
$$d = t \frac{\sin(\phi - \phi')}{\cos \phi'}$$

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

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

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

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



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

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

(4) في الشكل اعلاه ، شعاع ضوئي يسقط بزاوية مقدارها ( $60^{\circ}$ ) من الهواء على السطح الزجاجي ذو السمك (2 cm) ومعامل انكسار (1.5) . جد الإزاحة الجانبية بين الشعاع الساقط والشعاع النافذ .

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

$$\sin \phi' = \frac{n}{n'} \sin \phi \rightarrow \sin \phi' = \frac{1}{1.5} \sin 60 = 0.57 \quad 7$$

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

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

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

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

$$\sin \phi_c = \frac{n'}{n} = \frac{1.33}{1.5} = 0.88$$

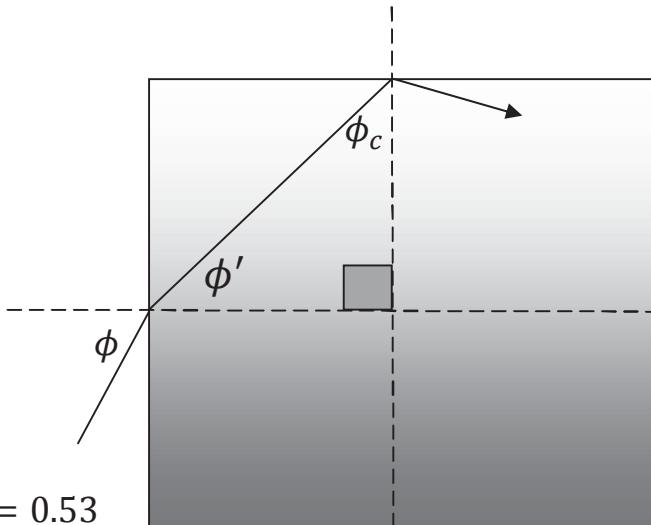
$$\phi_c = \sin^{-1}(0.88) = 62^\circ$$

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

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

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

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



6) موشور زاوية رأسه ( $60^\circ$ ) ، وزاوية انحرافه الصغرى للون الازرق ( $43^\circ$ ). جد زاوية الانكسار للوجه الاول ، وزاوية السقوط ، ومعامل انكسار الموشور نفرض ان معامل انكسار الوسط المحيط بالموشور هو هواء ( $n_0 = 1$ )

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

$$\alpha = \frac{\delta + \sigma}{2} = \frac{43 + 60}{2} = 51.1^\circ$$

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