

[١٢] الباب الثاني عشر :

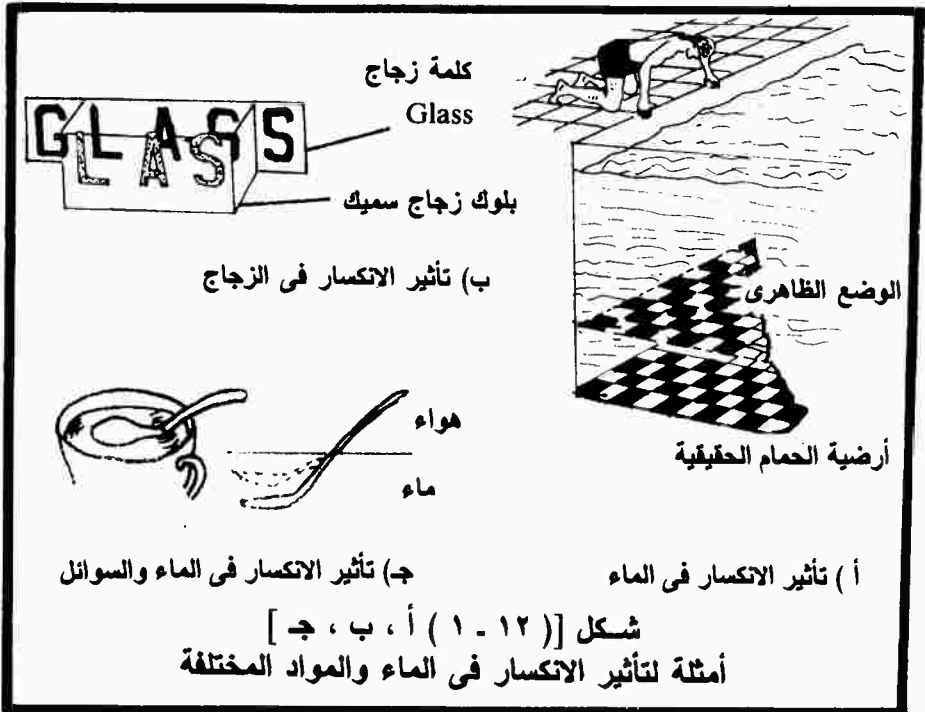
إنكسار الضوء على الأسطح المستوية

Refraction of plane surfaces

[١٢ - ١] عام :

نعلم جميعاً ، أنه عند النظر إلى أرضية حمام سباحة ، فإنها تبدو للمشاهد كما لو كانت مرتفعة نسبياً عن (الحقيقى) ، وقرية إلى سطح الماء ، عما لو كان الحمام فارغاً .

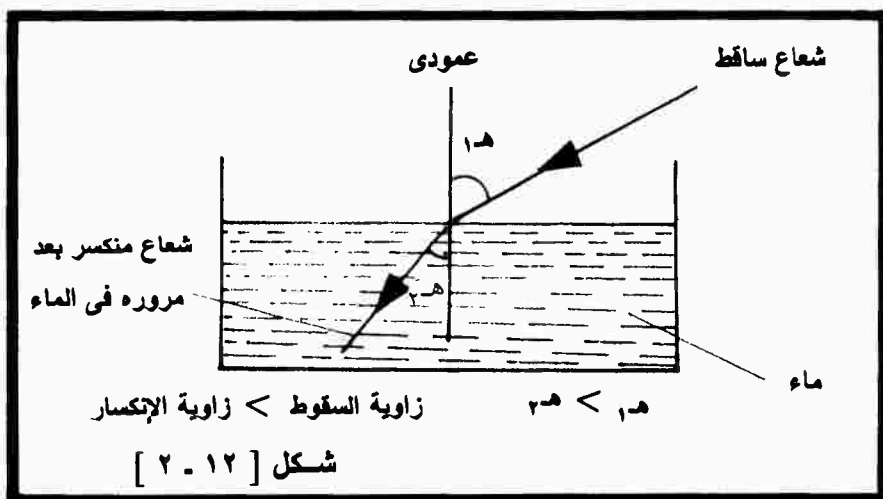
، وبسهولة يمكنك ملاحظة ، أنه إذا وضعنا مجسماً كبيراً من الزجاج فوق ورقة مكتوبة فإن حروف الكتابة والكلمات ستبدو قريبة من العين عن الواقع ، انظر الرسم شكل (١٢ - ١) .



وكما سنرى فيما بعد فإن هذا ينشأ من تغير اتجاه وسرعة الضوء عند انتقاله من وسط لآخر وفي حالة حمام السباحة ، عند انتقال الضوء من الماء (أرضية الحمام) إلى الهواء (عين المشاهد) .

أو من الزجاج (في حالة حروف الكتابة) إلى الهواء (عين المشاهد) ويُطلق على هذه الظاهرة بالانكسار **Refraction** .

ويحدث هذا الانكسار عند انتقال الضوء من الهواء إلى العدسات الزجاجية وفي شكل (١٢ - ٢) ، نجد أنه عندما يمر الضوء من وسط شفاف (الهواء) إلى وسط شفاف (الماء) ، فإن الضوء يغير اتجاهه كما بالشكل (١٢ - ٢) وتُسمى هذه الظاهرة بانكسار الضوء كما يطلق على السطح الفاصل بين الوسطين (الهواء والماء) بالسطح الكاسر للضوء .



وقد يعرف الانكسار بأنه التغير المفاجئ لاتجاه الضوء عند مروره من وسط شفاف إلى وسط آخر .

ويلاحظ أن ظاهرة الانكسار تكون مصحوبة دائماً بانعكاس جزئى للضوء على السطح الكاسر .

كما يلاحظ أنه عندما يمر الضوء من وسط شفاف إلى وسط آخر أقل شفافية (مثل مرور الضوء من الهواء للماء) فإن شعاع الضوء بعد انكساره يكون قريباً من العمودى على المستوى .

وهنا نقول أن الوسط الثاني أكثر انكسارية للضوء من الوسط الأول وبالعكس ، فإن الشعاع الضوئي يبتعد عن العمودى على السطح عندما يمر من وسط إلى وسط ثانى أقل إنكسارية .

وفي نفس الوقت فإنه عندما يكون الشعاع الساقط عمودياً على السطح أى منطبقاً مع العمودى على السطح فإن الضوء يمر من الهواء إلى الماء دون أى انكسار .

وفيما يلي سرعة انتشار الضوء في بعض الأوساط الشفافة ، جدول (١٢ - ١) :

الوسط	الحالة الفيزيائية للوسط	السرعة كيلومتر/ثانية
الهواء	غاز	٢٩٩ ٩١٣
ثانى أكسيد الكربون	غاز	٢٩٩ ٨٦٥
الهيدروجين	غاز	٢٩٩ ٩٥٨
البنزين	سائل	٢٠٠ ٠٠٠
الماء المقطر	سائل	٢٢٥ ٥٦٣
الكحول	سائل	٢٢٠ ٥٨٨
ملح الطعام	صلب	١٩٢ ٣٠٧
الزجاج العادى	صلب	٢٠٠ ٠٠٠
الجليد	صلب/سائل	٢٢٩ ٠٠٧

جدول [١٢ - ١]

[١٢ - ٢] الانكسار فى متوازى سطوح زجاجى
ومنشور زجاجى :

Refraction through rectangular block and prism

يمكن دراسة هذه الحالة باستخدام صندوق أشعة تخرج منه حزمة متوازية من الأشعة حيث تسقط على متوازى السطوح الزجاجى (أ ب ج د) شكل (١٢ - ٣) .

فعندما تكون الأشعة عمودية على السطح (أ ب) (بزواية ٥٩٠°) ، فإنها تمر رأساً خلال الزجاج حيث تخرج من نقطة على السطح (ج د) في مقابل نقطة السقوط تماماً ، وفي هذه الحالة لا يحدث انكسار بتاتاً (١٢ - ٣ - أ) .

وفي حالة ما إذا أدركنا صندوق الأشعة بحيث تسقط الأشعة مائلة على السطح (أ ب) بزواية حادة ولكن بزواية ٥٦٠° مثلاً فإنه يلاحظ وجود تغير في اتجاه الأشعة ، بدرجة ملحوظة حيث يتحرك الشعاع الضوئي بداخل الزجاج في الاتجاه (س ص) ، ويحدث الانكسار ويخرج الشعاع من السطح (ج د) إلى الهواء مرة ثانية عند (ص) وفي نفس اتجاه دخول الأشعة تقريباً .
[١٢ - ٣ - ب]

وفي حالة استخدام منشور زجاجي (يستخدم في العدسات) فإنه كما يتضح من الشكل (١٢ - ٣ - ج) ، فإن الأشعة تنكسر في حالة منشور زجاجي على هيئة مثلث ، وتنحرف بشكل واضح جداً عن الأشعة الساقطة .

[١٢ - ٣] قوانين الانكسار :

عندما يمر شعاع (ش أ) في الهواء ثم يسقط على سطح فاصل من الزجاج عند نقطة (أ) فإنه ينكسر في اتجاه العمودى على السطح (م أ ن) عند دخوله الوسط الزجاجي .

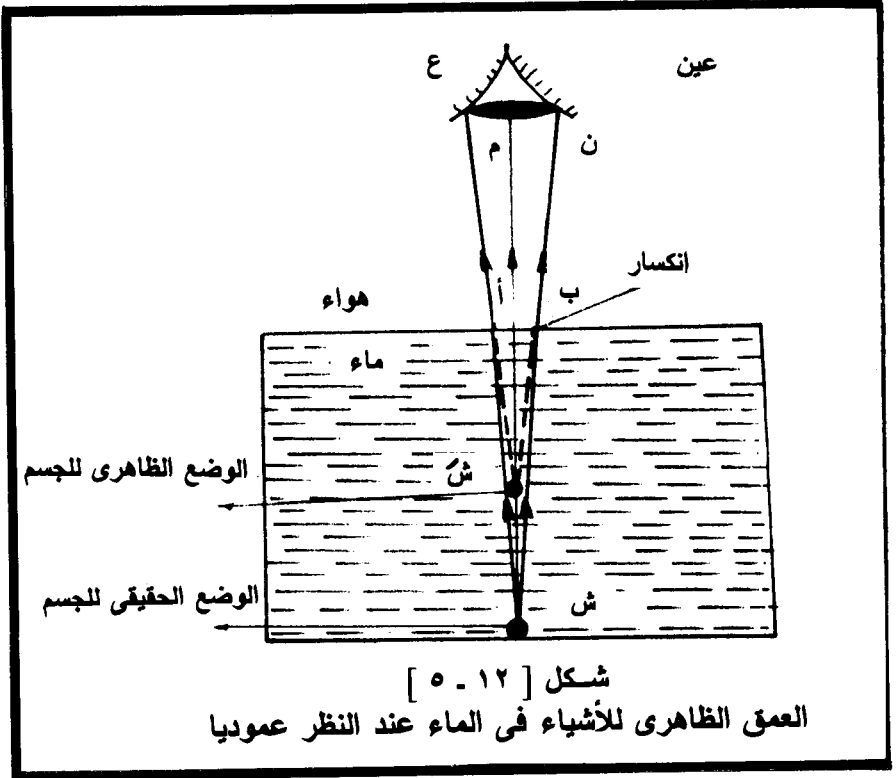
كما أن هنالك بعض من الضوء الساقط ينعكس في اتجاه (أ ش) إلا أن (أ ش) يكون شعاعاً ضعيفاً بالمقارنة بالشعاع المنكسر انظر الرسم شكل (١٢ - ٤) .



[١٢ - ٤] العُمق الظاهري : Apparent depth :

يمكننا تفسير ظاهرة رؤية قاع حمام السباحة التي سبق وأن ذكرناها في بداية هذا الدرس [فقرة (١٢ - ١)] ، حيث يبدو هذا القاع أقل عمقاً عن العمق الحقيقي عند النظر له عبر الماء .

انظر الرسم شكل [١٢ - ٥]



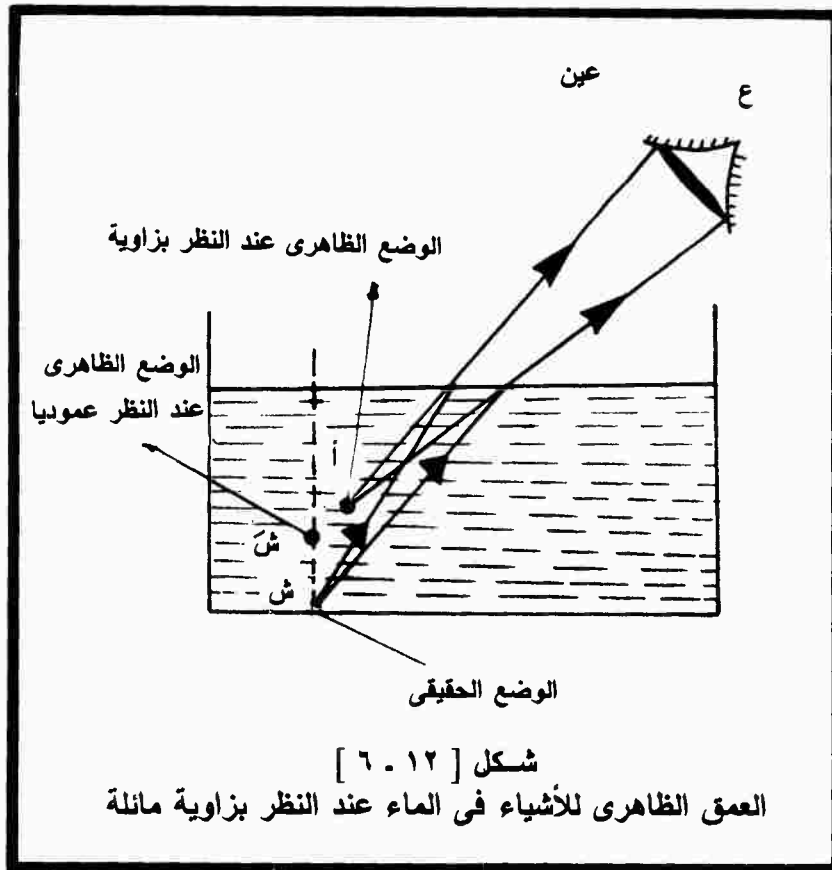
لنعتبر جسماً صغيراً « عملة معدنية مثلاً » عند قاع الحمام مثل (ش) وسنجد أن الشعاع (ش أ) العمودي على سطح الماء ، يمر إلى الهواء في اتجاه (أ م) وفي نفس الاتجاه (دون انكسار) .

في حين أن الشعاع الآخر (ش ب) ، يميل بدرجة بسيطة على العمودي (ش أ) ، ينكسر في اتجاه (ب ن) عند عبوره الماء إلى الهواء ، وبعيداً عن العمودي على سطح الماء عند (أ) .

ويبدو لعين الرائي (ع) أن كل من الشعاعين (ب ن) ، (أ م) قادمين من نقطة (ش) وهي نقطة تقاطعهما وتبدو نقطة (ش) أقرب لسطح الماء عن نقطة (ش) .

وهذا يُفسر ظهور شيء في قاع الماء كما لو كان قريباً من السطح عن الحقيقة ، وما سبق كان باعتبار أن الرائي أو المشاهد ، ينظر عمودياً على سطح الماء ولأسفل ،

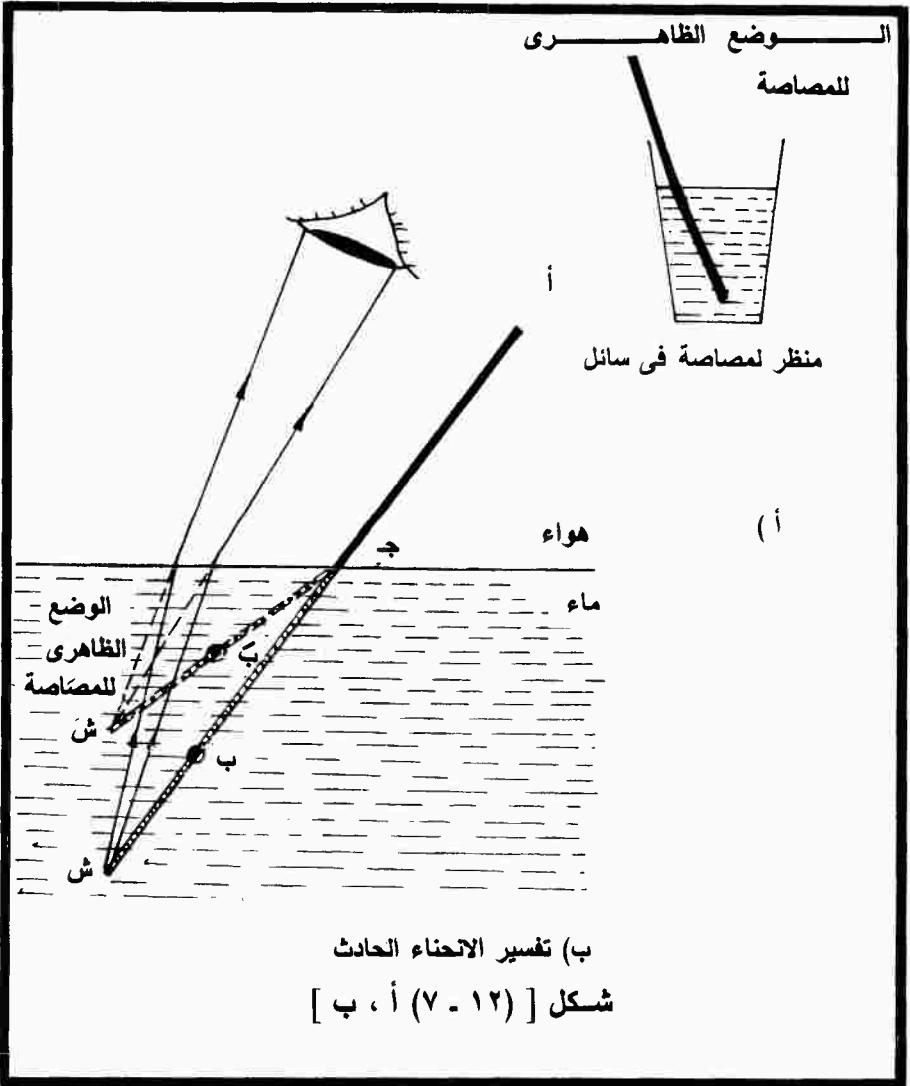
أما إذا كان الرائي ينظر بزاوية مائلة شكل (١٢ - ٦) ، فإن الشيء يبدو كما لو كان عند النقطة (أ) ، والتي تبدو مرتفعة بعض الشيء عن النقطة (ش) إذا ما نظرنا عمودياً لأسفل ، كما وأنها تكون بعيدة عن العمودى على السطح وفي اتجاه اليمين .



[١٢ - ٥] الانكسار عند غمر الجسم جزئياً في الماء

Part immersion in water

يظهر لنا عند وضع مصاصة الشرب (كما بالشكل) ، بحيث تكون مغمورة جزئياً في سائل شفاف ، كما لو كانت مثنية عند سطح السائل ويحدث هذا نتيجة انكسار الضوء ، انظر الرسم شكل (١٢ - ٧) وكذلك ارجع لشكل (١٢ - ١ - ج) .



ولنفترض أن (ش أ) هو الوضع الفعلي للمصاصة فإذا فرضنا أن عين المشاهد تنظر إلى (ش) من أعلى ، فإن (ش) ستبدو أقرب للسطح كما سبق وأن بينا وبنفس الطريقة فإن نقطة أخرى مثل (ب) ، على المصاصة ستظهر أعلى من مكانها ولتكن عند (بَ).

وبذلك فإن كل النقط على سطح المصاصة فيما بين (ش ، جـ) ستبدو للمشاهد أعلى من مكانها الحقيقي .

وتبدو الصورة الإجمالية لجميع النقط فيما بين (ش ، جـ) أو بمعنى آخر ، المسافة (ش جـ) ، كما لو كانت أعلى من مكانها أى ، عند (شَ جـ) وبذلك تكون المسافة (أ جـ ش) ، ليست على استقامة واحدة مع المسافة (حـ شَ) ، وهذا ما يفسر انحناء المصاصة لأعلى .

« ١٢ - ٦ » قوانين انكسار الضوء « تفصيلاً » :

القانون الأول للانكسار : « قانون كبلر »

يقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمودى على السطح الكاسر ، فى مستوى واحد .

فإذا ما أحضرنا متوازى سطوح زجاجى وصندوق أشعة وقمنا بإسقاط أشعة ضوئية بزوايا سقوط مختلفة ، وقسنا فى كل حالة زاوية الانكسار « تُجرى التجربة لزوايا سقوط تتراوح من صفر وحتى ٥٢٥ فقط » فنلاحظ ما يلى :

١ - تزيد زاوية الانكسار بزيادة زاوية السقوط .

٢ - نسبة زاوية السقوط إلى زاوية الانكسار ثابتة دائماً .

وتعرف هذه النسبة بمعامل الإنكسار النسبى للوسط الثانى (الزجاج) بالنسبة للوسط الأول (الهواء) .

معامل الانكسار النسبى (م) = $\frac{\text{زاوية السقوط}}{\text{زاوية الانكسار}}$ (للزوايا الصغيرة القيمة)

ويمكننا هنا تطبيق مبدأ انعكاسية الضوء ، أى إذا رمزنا للوسط الأول بـ (١) والوسط الثانى بـ (٢) .

$$\therefore \text{معامل الانكسار } n_{2-1} = \frac{\text{زاوية السقوط}_1}{\text{زاوية الانكسار}_2}$$

وبتطبيق مبدأ انعكاسية الضوء :

$$\therefore \text{معامل الانكسار } n_{1-2} = \frac{\text{زاوية الانكسار}_2}{\text{زاوية السقوط}_1}$$

ومما سبق نصل إلى أن :

معامل الانكسار النسبي للوسط الأول بالنسبة للوسط الثاني =

مقلوب معامل الانكسار النسبي للوسط الثاني بالنسبة للوسط الأول .

$$\text{أى } n_{1-2} = \frac{1}{n_{2-1}} \text{ ويعرف هذا بقانون كبلر للزوايا الصغيرة}$$

وفيما يلي جدول يوضح زوايا السقوط (لأقل من ٢٥°) وزوايا الانكسار المقابلة في تجربة لإسقاط الضوء بواسطة صندوق الأشعة على متوازي سطوح من الزجاج .

والنسبة بين زاوية السقوط إلى زاوية الانكسار .

انظر جدول [١٢ - ٢] .

٥٢٥	٥٢٠	٥١٥	٥١٠	صفر°	زاوية السقوط (١)
٥١٦	٥١٣	٥١٠	٥٠٦,٣٠	صفر°	زاوية الانكسار (٢)
١,٥٦	١,٥٤	١,٥	١,٥٤		معامل الانكسار = $\left(\frac{1}{n}\right)$

جدول [١٢ - ٢]

□ سرعة الضوء ومعامل الانكسار :

أ) سرعة الضوء :

ينتشر الضوء في الأوساط الشفافة المختلفة ، بسرعات مختلفة انظر جدول (١٢ - ١) ، وتختلف هذه السرعات باختلاف الوسط وكثافته .

ومن المعلوم أن سرعة الضوء ، تبلغ أقصى قيمة لها في الفراغ المطلق حيث تبلغ ٣٠٠ ٠٠٠ كيلومتر/ثانية .

(ب) معامل الانكسار Refraction index :

عند انتشار الضوء من وسط شفاف أقل انكساراً بسرعة ع_١ مثلاً إلى وسط شفاف أكثر انكساراً بسرعة ع_٢ ، حيث (ع_٢ أقل من ع_١) فإن :

معامل الانكسار النسبي للوسط الثاني بالنسبة للأول (م_{٢-١}) يُعرّف بـ :

$$m_{2-1} = \frac{c_1}{c_2} \text{ (أكبر من الواحد الصحيح)}$$

وبتطبيق مبدأ انعكاسية الضوء نجد أن :

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{1}{m_{2-1}} = m_{1-2}$$

ويعرف معامل الانكسار المطلق لوسط ما (أى فى حالة عبور الأشعة الضوئية من الفراغ إلى الوسط) بأنه معامل الانكسار النسبي (م) لهذا الوسط بالنسبة للفراغ :

$$m = \frac{c}{c_0}$$

□ حيث :

- | | |
|----------------|-------------------------|
| م | معامل الانكسار النسبي . |
| ع | سرعة الضوء فى الفراغ . |
| ع _٠ | سرعة الضوء فى الوسط . |

وبنفس الطريقة فإن معامل الانكسار النسبي للوسط بالنسبة للهواء (وليس الفراغ) يعرف بمعامل الانكسار العادى .

$$\text{معامل الانكسار العادى م ع} = \frac{\text{ع ه}}{\text{ع و}}$$

م ع = معامل الانكسار العادى (النسبى بالنسبة للهواء) .

ع ه = سرعة الضوء فى الهواء .

ع و = سرعة الضوء فى الوسط .

ويمكننا أن نعتبر ، أن سرعة انتشار الضوء فى الهواء (٢٩٩ ٩١٣ كم/ث) تعادل وإلى حد كبير من الدقة سرعة انتشار الضوء فى الفراغ (٣٠٠ ٠٠٠ كم/ث) .

العلاقة بين معامل الانكسار النسبى ومعامل الانكسار المطلق :

يُعرّف معامل الانكسار المطلق لكل من الوسط الأول والوسط الثانى بالعلاقين التاليتين :

$$\frac{\text{ع}}{\text{٢ع}} = \text{م ٢} ، \quad \frac{\text{ع}}{\text{١ع}} = \text{م ١}$$

حيث :

١م	معامل الانكسار المطلق للوسط الأول .
٢م	معامل الانكسار المطلق للوسط الثانى .
ع	سرعة الضوء فى الفراغ (٣٠٠ ٠٠٠ كم/ث)
١ع	سرعة الضوء فى الوسط الأول .
٢ع	سرعة الضوء فى الوسط الثانى .

ومن العلاقتين السابقتين يمكن الحصول على :

$$\frac{\text{ع}}{\text{١ع}} = \frac{\frac{\text{ع}}{\text{٢ع}}}{\frac{\text{ع}}{\text{١ع}}} = \frac{\text{م ٢}}{\text{م ١}}$$

وقد علمنا سابقاً أن معامل الانكسار النسبي للوسط الثاني بالنسبة للوسط الأول (١-٢م) ، هو :

$$=_{١-٢م} \frac{١٤}{٢٤} \text{ ومن ذلك نصل إلى أن :}$$

$$\frac{١٤}{٢٤} = \frac{٢٢}{١٢} =_{١-٢م}$$

وبتطبيق مبدأ انعكاسية الضوء نصل إلى :

$$\frac{\text{زاوية الانكسار}}{\text{زاوية السقوط}} = \frac{٢٤}{١٤} = \frac{١٢}{٢٢} =_{٢-١م}$$

وأخيراً ، ∴ $١م \times \text{زاوية السقوط} = ٢م \times \text{زاوية الانكسار}$.

وهي تعتبر صورة أخرى لقانون كبلر في حالة الزوايا الحادة الصغيرة (أقل من ٥٢٥°) .

القانون الثاني للانكسار : « قانون ديكارت » :

نقوم بإسقاط شعاع ضوئي من صندوق للأشعة على متوازي سطوح من الزجاج ونغير قيمة زاوية السقوط من صفر وحتى ٥٨٥° ثم ندون زوايا الانكسار المقابلة ونسجل القيم التي نحصل عليها في جدول كالتالي ، انظر جدول (١٢ - ٣) .

ويتضح من الجدول أن قيمة : $\frac{\text{زاوية السقوط (١)}}{\text{زاوية الانكسار (٢)}}$ ، تكون

ثابتة فقط في حدود الزوايا الصغيرة حتى (٥٢٥°) في حين أن :

نسبة جيب زاوية السقوط / أي جـ ١ / تكون ثابتة دائماً
نسبة جيب زاوية الانكسار / جـ ٢

مهما كانت زاوية السقوط صغيرة أم كبيرة وبحيث تنحصر زاوية السقوط فيما بين [صفر ، ٥٩٠°] .

وبذلك فإن معامل الانكسار ($\frac{\hat{١}}{\hat{٢}}$) النسبي للزوايا الصغيرة .

$$\frac{\hat{\alpha}}{\hat{\beta}} = 1 - 2\mu$$

ويمكن كتابتها هكذا : $\mu = \hat{\alpha} - \hat{\beta}$

وهذه العلاقة الأخيرة هي قانون ديكرارت « الحالة العامة » .

٥٩٠	٥٨٠	٥٧٠	٥٦٠	٥٥٠	٥٤٠	٥٣٠	٥٢٥	٥٢٠	٥١٠	صفر	زاوية السقوط = $\hat{\alpha}$
	٥٤١	٥٣٨	٥٣٥	٥٣٠,٣٠	٥٢٥	٥١٩,٣٠	٥١٦	٥١٣	٥٠٦,٣٠	صفر	زاوية الانكسار = $\hat{\beta}$
	١,٩٥	١,٨٤	١,٧١	١,٦٤	١,٦٠	١,٥٥	١,٥٦	١,٥٤	١,٥٤		$\frac{\hat{\alpha}}{\hat{\beta}}$
	٠,٩٨٥	٠,٩٤٠	٠,٨٦٦	٠,٧٦٦٠	٠,٦٤٣٠	٠,٥٠٠	٠,٤٢٣٠	٠,٣٤٤٠	٠,١٧٣٦	صفر	جا $\hat{\alpha}$
	٠,٦٥٦	٠,٦١٦	٠,٥٧٤	٠,٥٠٧٠	٠,٤٢٣٠	٠,٣٣٤	٠,٢٧٦	٠,٢٢٥	٠,١١٣٢	صفر	جا $\hat{\beta}$
	١,٥٠	١,٥٢	١,٥١	١,٥١	١,٥٢	١,٥٠	١,٥٣	١,٥٢	١,٥٣		$\frac{\text{جا } \hat{\alpha}}{\text{جا } \hat{\beta}}$

جدول [١٢ - ٣]

[١٢ - ٧] الانعكاس الكلى والانكسار الحدى

Total reflection, refraction limit :

نضع مصدر ضوء فى أى وسط شفاف مثل الزجاج ونراقب عبور الإشعاع الضوئى إلى وسط ذو كثافة بصرية أقل مثل الهواء .

فلاحظ أن الضوء ينعكس وينكسر كذلك على السطح الفاصل وبالتجربة نلاحظ أنه بزيادة زاوية السقوط تزيد زاوية الانكسار وتنمو طاقة الضوء المنعكس فى حين تقل طاقة الضوء المنكسر .

وعندما تصل زاوية السقوط حداً معيناً (هـ) ، نجد أن الشعاع الضوئى ينزلق على السطح الفاصل بين الوسطين .

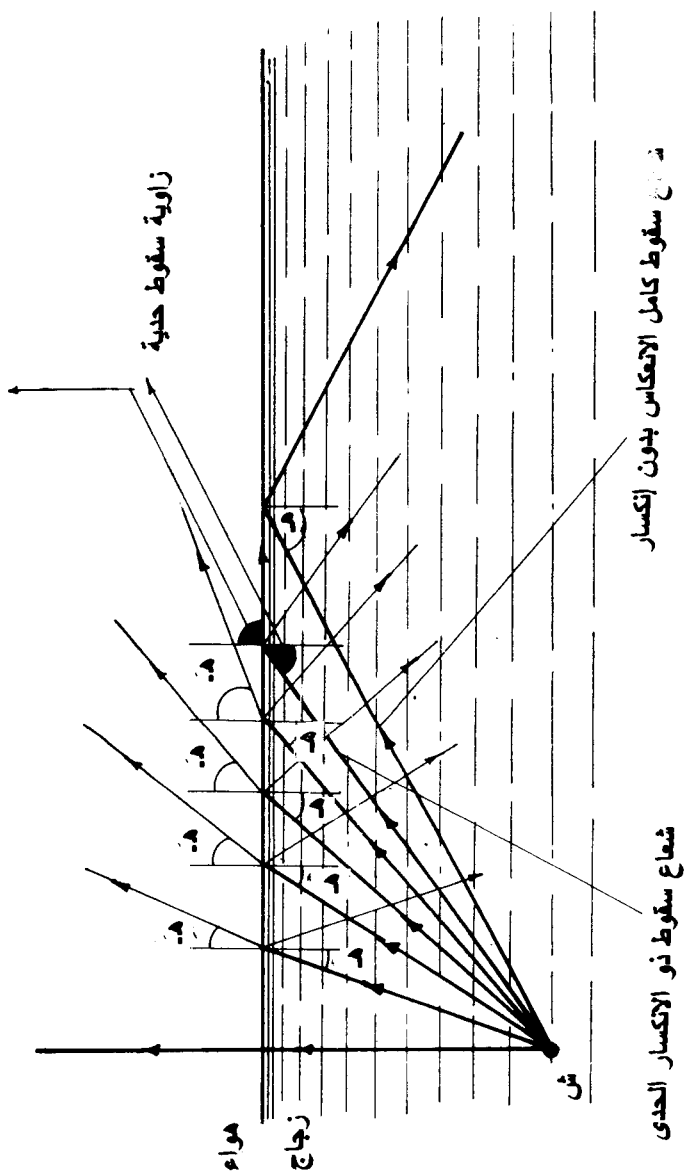
وتكون زاوية الانكسار حينئذ حوالى 90° ونقول أن الانكسار حينئذ انكساراً حدياً .

وتسمى زاوية هـ بزاوية الانكسار الحدى [أى زاوية السقوط الحدية التى تعطى زاوية انكساراً حدياً (حوالى 90°)] .

وعندما تكون زاوية السقوط أكبر من زاوية هـ (الزاوية الحدية) فإنه لا تكون هناك أشعة منكسرة حيث نلاحظ أن الشعاع الساقط لا ينكسر بل

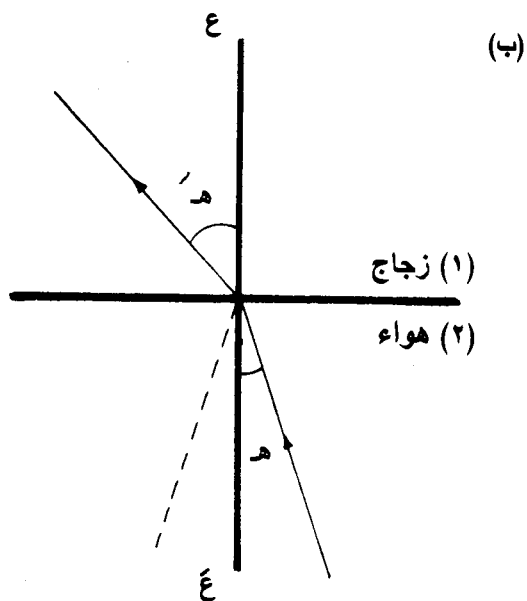
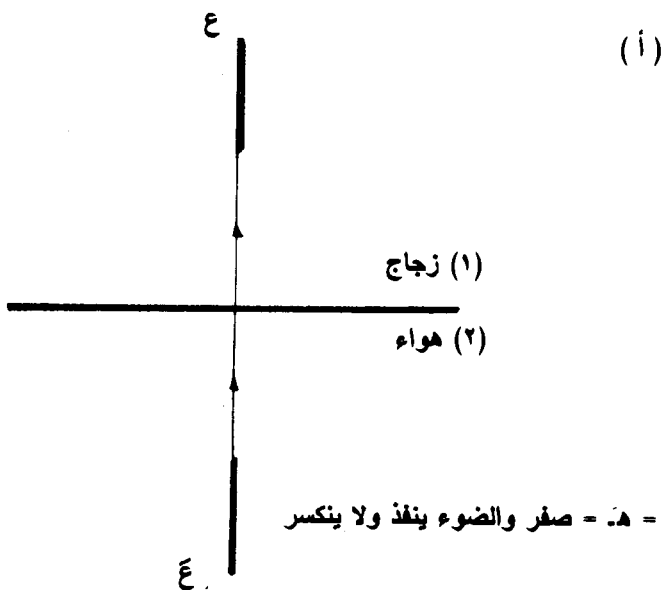
ينعكس كلياً على السطح الفاصل بين الوسطين وتسمى هذه الظاهرة بالانعكاس الكلى للضوء انظر الرسم شكل [١٢ - ٨] ، [١٢ - ٩] أ ، ب ، ج ، د وهى توضح ذلك .

زاوية انكسار حدية ٩٠°

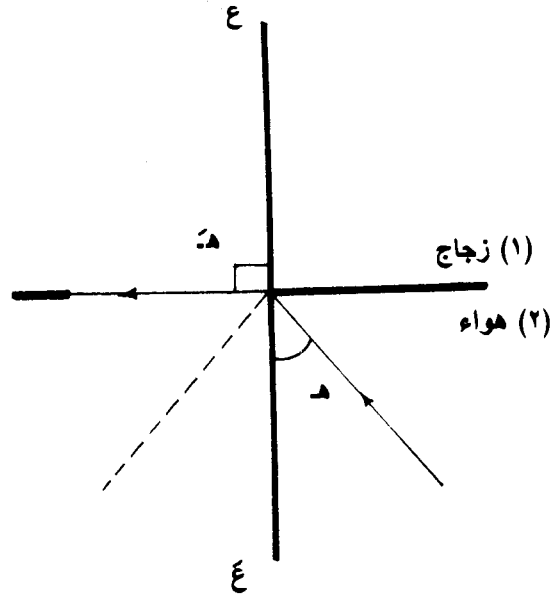


شكل [٨ - ١٢]

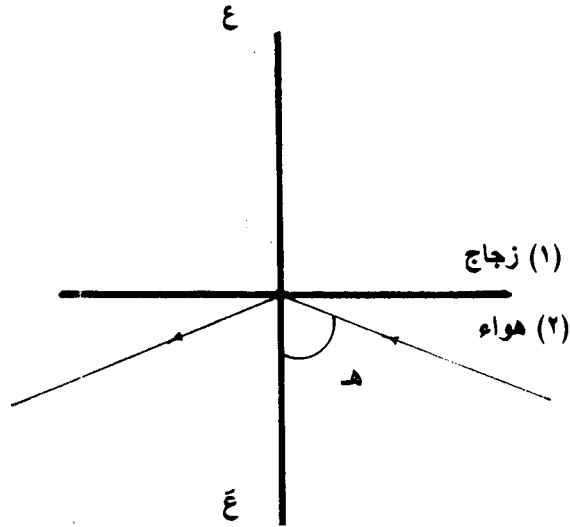
الانعكاس الكلى والانكسار الحدى



هـ أقل من الزاوية الحدية، الجزء الأكبر من الضوء يتكسر بينما ينعكس جزء قليل منه



هـ = الزاوية الحدية حيث تقل إضاءة الشعاع المنكسر بينما تزداد إضاءة الشعاع المنعكس
(ظاهرة الانكسار الحدى هـ = ٩٠°) (د)



هـ أكبر من الزاوية الحدية ونلاحظ أن الشعاع الساقط ينعكس كلياً
(ظاهرة الانعكاس الكلى)

شكل [(٩ - ١٢) أ ، ب ، ج ، د]
الانعكاس الكلى والانكسار الحدى

ولا تحدث ظواهر من هذا النوع إلا في الحالات التي يسقط فيها الضوء على السطح الفاصل من ناحية الوسط ذو الكثافة البصرية الأكبر أى عند ابتعاد الأشعة عند الانكسار عن العمودى على السطح الفاصل بين الوسطين .

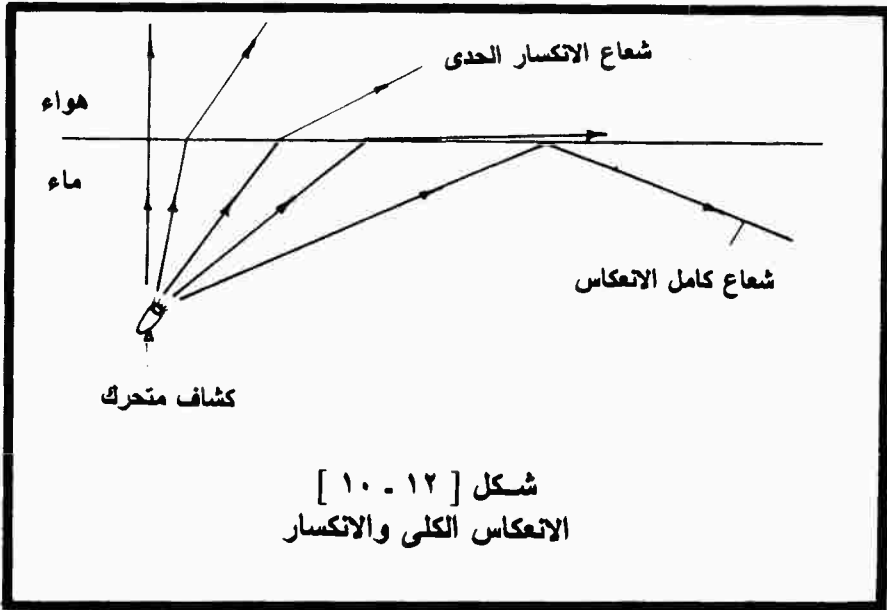
وتسمى زاوية السقوط θ_i التى تكون زاوية انكسارها مساوية 90° θ_c ، بزاوية السقوط الحدية .

ويوضح شكل (١٢ - ١٠) شعاع ضوئى قادم من وسط أكثر كثافة كالماء إلى وسط أقل كثافة كالهواء ويمكن تحديد وتغيير زاوية ميل هذا الشعاع . فإذا ما أملنا هذا الشعاع أكثر فأكثر ، فإن الشعاع المنكسر سيقترّب أكثر للسطح الفاصل (سطح الماء مع الهواء) حتى يكاد أن يلامسه .

وعندما تكون زاوية ميل الشعاع الساقط حوالى (90°) مع العمودى (زاوية السقوط الحدية) فإن الشعاع المنكسر يمر موازياً لسطح الماء .

فإذا ما أملنا الشعاع أكثر بحيث تصبح زاوية السقوط أكبر من (90°) فإنه لن يكون هنالك شعاع منكسر ، بل شعاع منعكس (انعكاساً كلياً) وهذا

ما يعرف بظاهرة الانعكاس الكلى للضوء Total internal reflection



[١٢ - ٨] تفسير الانكسار ، النظرية الموجية للانكسار :

wave theory of refraction

يمكن تعيين اتجاه الشعاع المنكسر بواسطة النظرية الموجية للضوء .

ولنعبر حزمة ضوئية من الأشعة المتوازية قادمة من الهواء ، وتخترق سطح مستوى من الزجاج ، وكما فى شكل (١٢ - ١١) ، فإن (أ ب) تمثل جبهة الموجة المستوية plane wave ، والتي فى وضع يكاد أن يخترق الزجاج عند نقطة (أ) ، بينما يمثل (ج د) جبهة الموجة التى عبرت فعلاً سطح الزجاج .

والزمن اللازم لانتقال موجة الضوء المسافة ف هـ فى الهواء ، هو نفسه الزمن اللازم لانتقال موجة الضوء المسافة ف ز فى الزجاج وعلى هذا يمكننا أن نقول :

$$\frac{ع هـ}{ع ز} = \frac{ف هـ}{ف ز}$$

حيث :

ع هـ = سرعة الضوء فى الهواء .

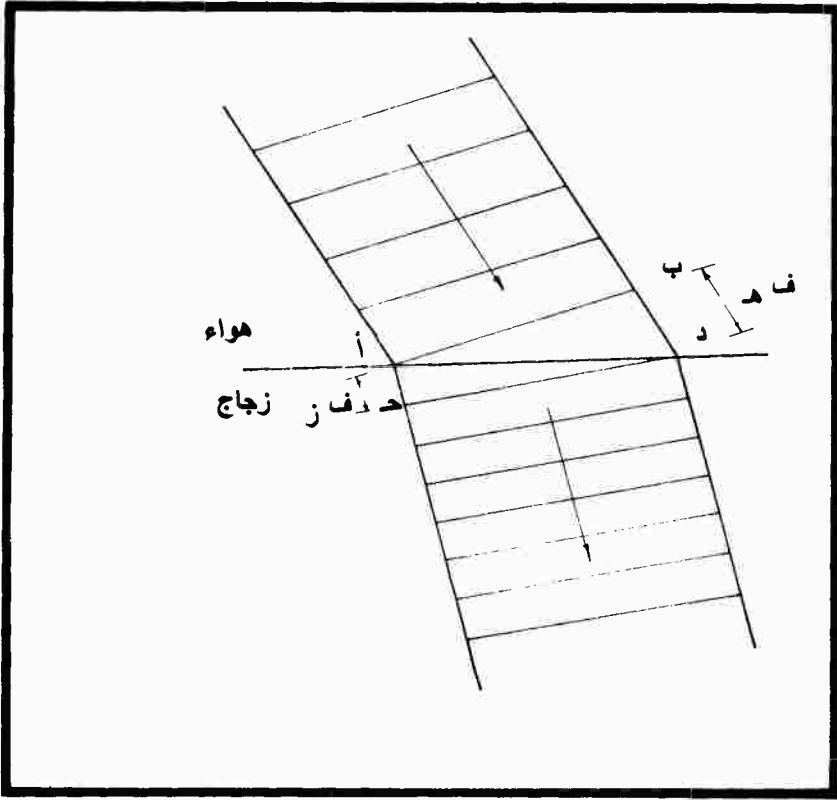
ع ز = سرعة الضوء فى الزجاج .

ف هـ = المسافة المقطوعة فى الهواء .

ف ز = المسافة المقطوعة فى الزجاج

ويمكننا اعتبار أن سرعة الضوء فى الهواء ، عملياً ، تساوى سرعة الضوء فى الفراغ أى ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ث .

حيث يمكن إهمال الفرق بين السرعتين فى معظم الحالات .



شكل [١١ - ١٢]
انكسار الموجات المستوية، النظرية الموجية للانكسار

ويطلق على النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعة الضوء في وسط ما بمعامل انكسار المادة (م)، وهي تبين وتوضح مقدار انحناء أو انكسار الأشعة .

ويوضح جدول [١٢ - ٤] معامل الانكسار لبعض المواد (والأوساط)

المادة	معامل الانكسار $n = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في المادة}}$ المطلق
هيدروجين	١,٠٠٠١٤
هواء	١,٠٠٠٢٩
ثاني أكسيد الكربون	١,٠٠٠٤٥
ثلج	١,٣١
ماء مقطر	١,٣٣
الكحول	١,٣٦
زيت الزيتون	١,٤٧
البنزين	١,٥٠
زجاج عادى	١,٥٠
زجاج كثيف	١,٦٠ - ١,٩٠
ماس	٢,٤٢
ملح الطعام	١,٥٦

جدول [١٢ - ٤]

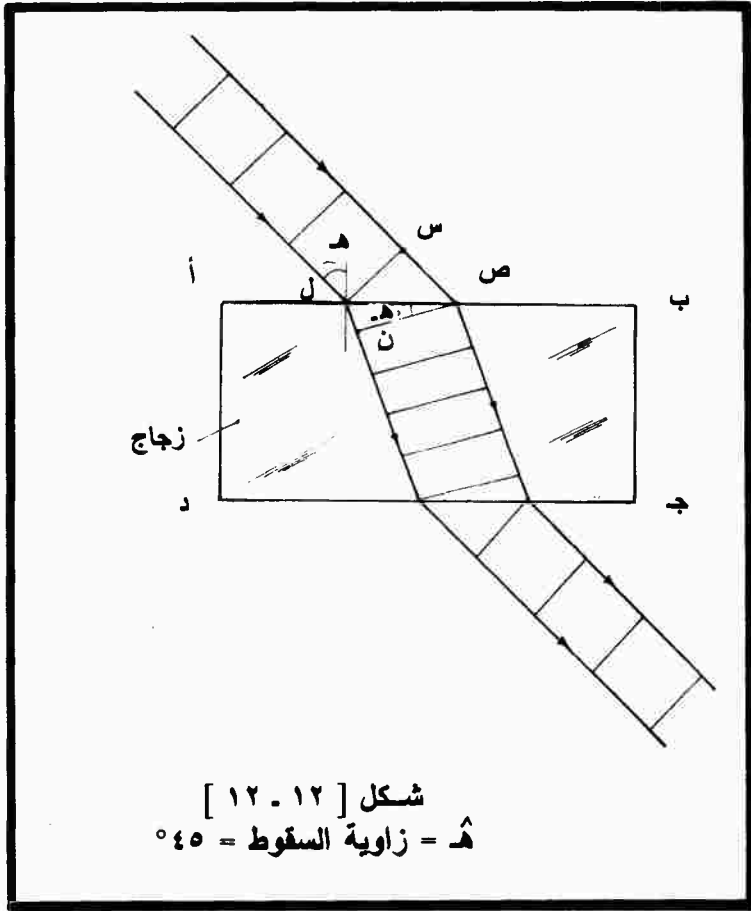
مثال : على الانكسار والزاوية الحرجة (الحدية) للانكسار :

ويوضح شكل (١٢ - ١٢) خزمة من أشعة أحادية اللون (أحادى الطول الموجى monochromatic light ، تسقط بزاوية ٥٤٥° على السطح (أ ب) للمجسم الزجاجى (متوازى سطوح) ؛ (أ ب ج د) وهو يوضح بعض من جهات الضوء عند اقترابها من (أ ب) وعند انتقالها عبر الزجاج [مثل شكل (١٢ - ١١)] وبعد خروجها من الزجاج للهواء مرة ثانية .

(أ) ووضح لماذا يتغير اتجاه حركة جبهة الموجة عند دخولها الزجاج وإذا كان معامل الانكسار للزجاج [$n = ١,٥٥$] ، فما مقدار الزاوية التى تصنعها جبهة الموجة مع (أ ب) .

(ب) احسب الزاوية الحرجة (الحدية) للضوء عند خروجه من الزجاج لمعامل انكسار $n = 1.55$ ، إلى الهواء .

وهل تكون هذه الزاوية الحدية أكبر أم أصغر من تلك ، في حالة ما إذا خرج الضوء من الزجاج إلى الماء بدلاً من الهواء ، وضح الأسباب .



(أ) يتغير اتجاه حركة جبهة الموجة في الزجاج لأن سرعة الضوء في الزجاج (٢٠٠.٠٠٠ كم/ث) تقل عن سرعة الضوء في الهواء (حوالي ٢٩٩.٩١٣ كم/ث) ارجع لجدول (١٢ - ١) .

وعلى ذلك فإنه أثناء انتقال الضوء من النقطة (س) ، إلى (ص) في الهواء فإن الضوء ينتقل في الزجاج مسافة أقل من (ل) إلى (ن) .

وبذلك تصبح جبهة الضوء في الزجاج هي (ص ن) . وهي تصنع زاوية (هـ) مع (أ ب) وهي تعتبر كزاوية انكسار وحيث أن الزاوية (ل ن ص) = ٩٠° .

$$\frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جيب زاوية الانكسار}} = ١,٥٥ = \text{م}$$

$$\therefore \frac{\text{جا هـ}}{\text{جا هـ}} = ١,٥٥ \quad \therefore \frac{\text{جا هـ}}{\text{جا هـ}} = \frac{٤٥}{١,٥٥}$$

$$\therefore \text{جا هـ} = \frac{٠,٧٠٧}{١,٥٥} = ٠,٤٥٦٠$$

$$\therefore \hat{\text{هـ}} = ٢٧^\circ \text{ تقريباً .}$$

(ب) ويمكن حساب قيمة الزاوية الحدية لخروج الضوء من الزجاج للهواء من العلاقة :

$$\frac{١}{١,٥٥} = \frac{١}{\text{م}} = \text{جا هـ الحدية}$$

$$\therefore \text{جا هـ الحدية} = ٠,٦٤٥٠ \quad \therefore \hat{\text{هـ الحدية}} = ٤٠^\circ \text{ تقريباً .}$$

وعند انتقال الضوء من الزجاج للماء فإنه ينكسر بعيداً عن العمودى بزاوية أصغر من تلك الناشئة عند انتقال الضوء من الزجاج للهواء .

وبذلك فإن زاوية الانكسار في الماء ، تكون ٩٠° عندما تكون زاوية السقوط في الزجاج أكبر من حالة الزجاج للهواء . وزاوية السقوط هذه (هـ) هي الزاوية الحدية .

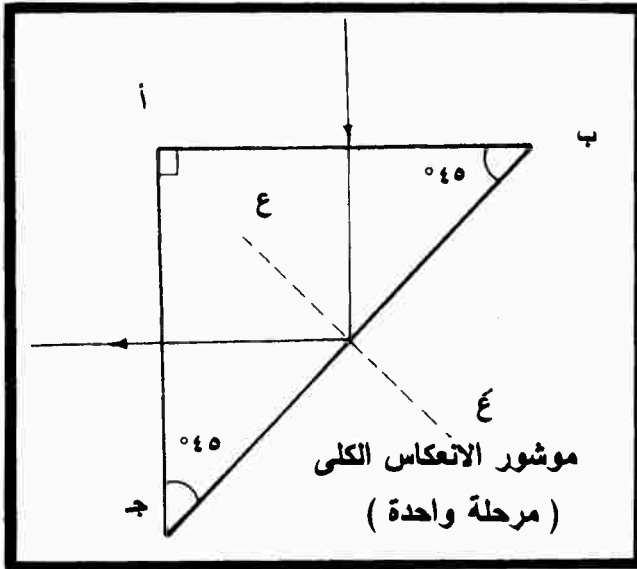
[١٢ - ٩] تطبيقات على الانعكاس الكلى :

١ - الموشور ذو الانعكاس الكلى *Totally reflecting prisms*

علمنا مما سبق أن هنالك ولأى وسط زاوية انكسار حدية أو حرجة والتي عندها يسير الضوء المنكسر موازياً للسطح الفاصل بين هذا الوسط والوسط الآخر ، فإذا ما زادت زاوية السقوط عن هذه الزاوية الحرجة فإن الضوء ينعكس كلياً ولا ينكسر .

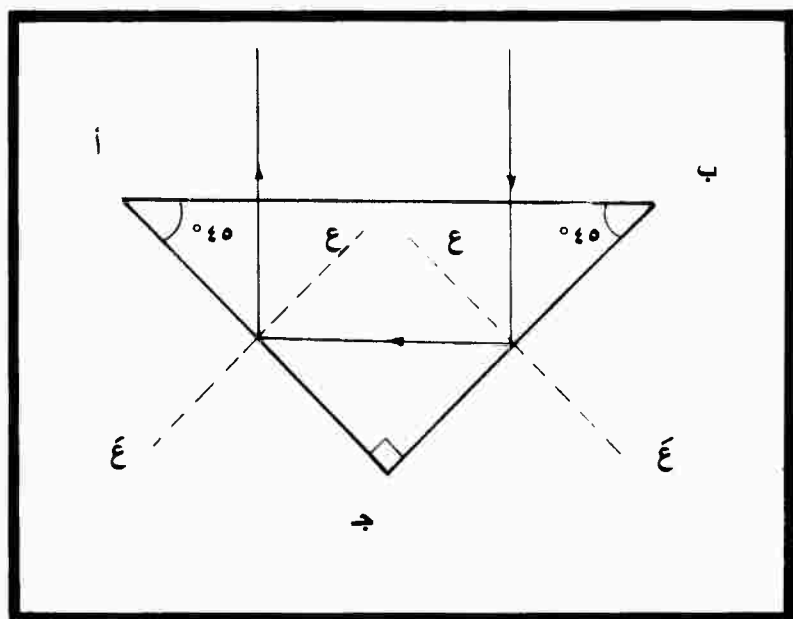
فإذا نظرنا إلى شكل [١٢ - ١٣] ، نجد موشور متساوى الساقين وقائم الزاوية (الموضح هو مقطع في الموشور) فعندما يسقط شعاع من الضوء على الوجه (أ ب) وعمودياً عليه (زاوية السقوط تساوى صفر) ، وبذلك فإن الشعاع يجتاز هذا الوجه الزجاجي دون أن ينكسر أو ينعكس وينفذ عمودياً على السطح حيث يلاقى الوجه (ب ج) بزاوية سقوط $= ٤٥^\circ$ (وزاوية الانعكاس الكلى $= ٤٢^\circ$) .

، ولما كانت $٤٥^\circ < ٤٢^\circ$ ؛ فينعكس الشعاع كلياً ولا ينكسر حيث يسقط من جديد على الوجه (ج أ) بزاوية سقوط = صفر أى عمودياً عليه ، لينفذ بعد ذلك إلى الهواء دون أى انكسار .



شكل [١٢ - ١٣]

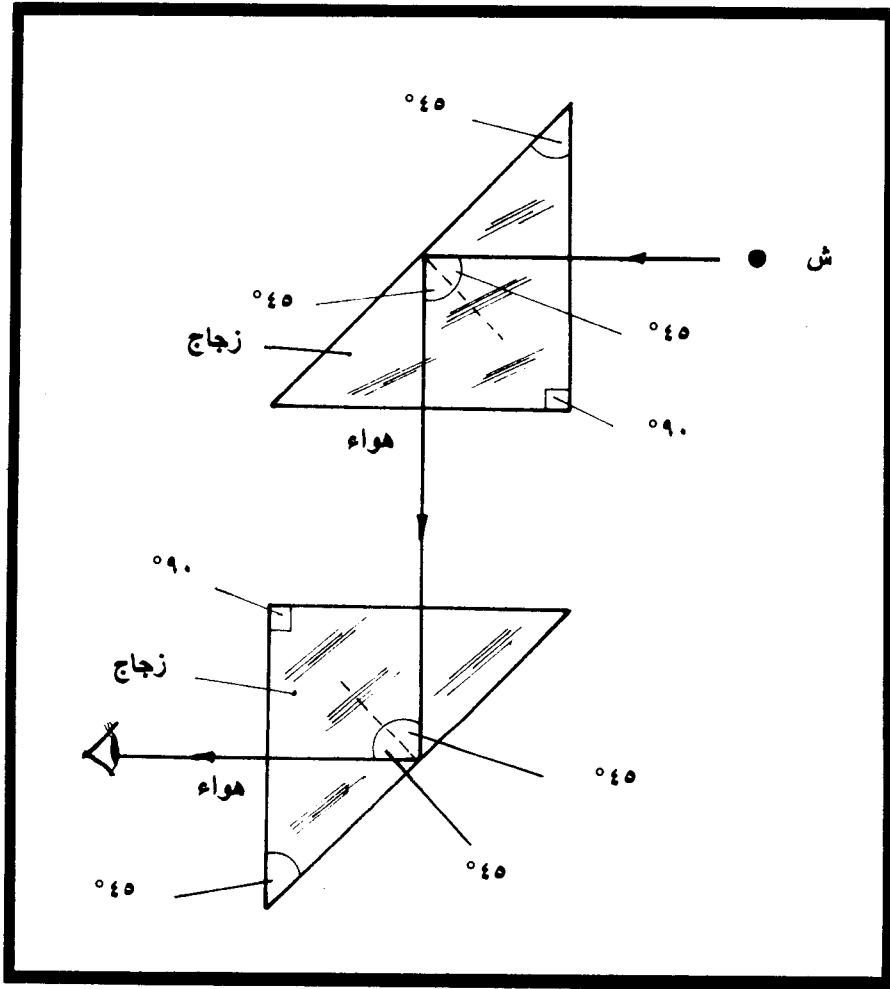
وفى شكل (١٢ - ١٤) يحدث نفس الشيء إلا أن الشعاع الساقط يعانى انعكاسين كُليين (انعكاساً كلياً مرتين) ، داخل الموشور .



شكل [١٢ - ١٤]
موشور الانعكاس الكلى (مرحلتين)

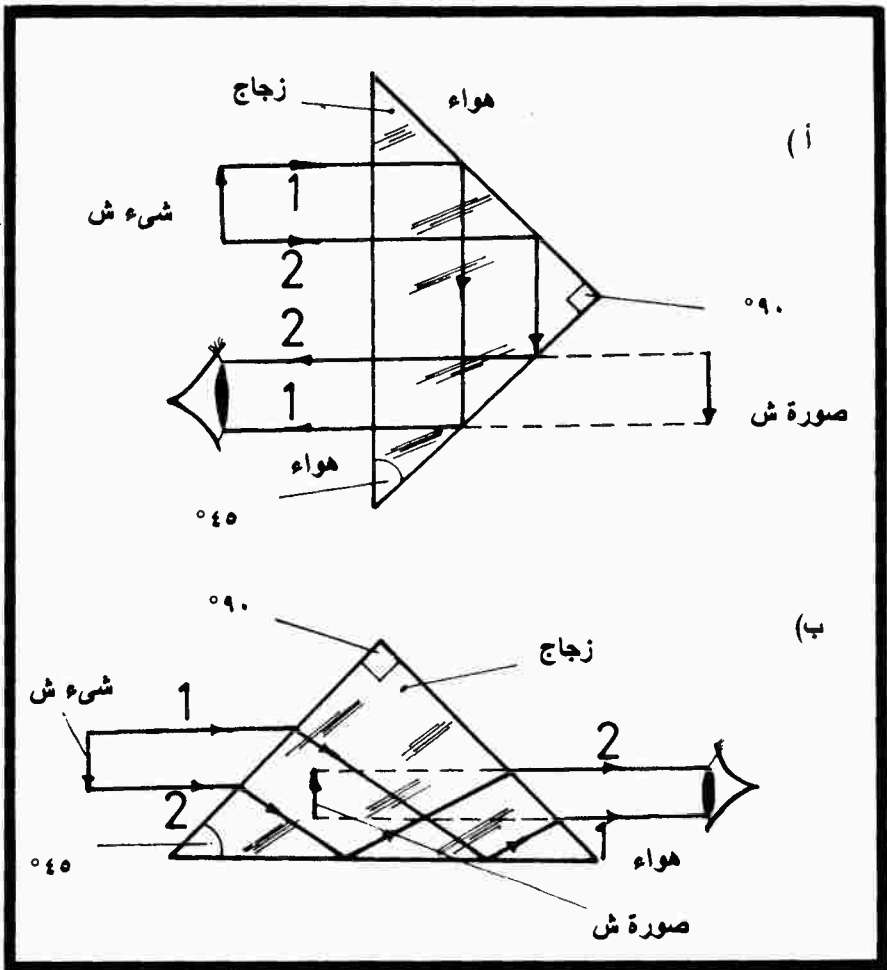
ويوضح شكل (١٢ - ١٥) التأثير البصرى لظاهرة الانعكاس الكلى باستخدام ٢ موشور ، كل منهم قائم الزاوية ومتساوى الساقين ويستخدم مثل هذا التركيب فى جهاز البريسكوب السابق ذكره ، فى الغواصات بدلاً من استخدام المرايا المستوية .

ويلاحظ من الشكل أن الشعاع المنعكس لأى نقطة ، يدخل العين فى اتجاه يوازى اتجاه سقوط الأشعة لنفس النقطة .



شكل [١٥ - ١٢]

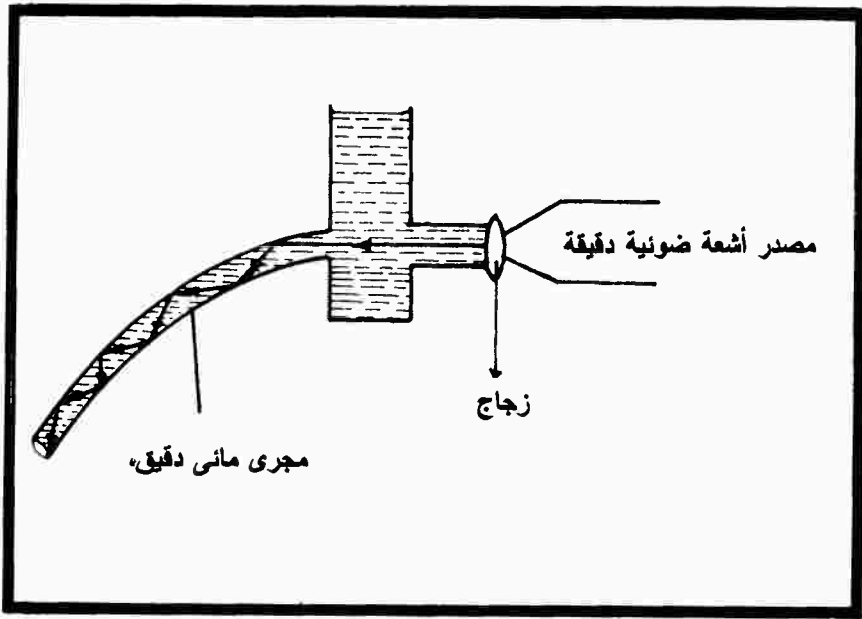
ويوضح شكل [١٢ - ١٦] ، استخدام الموشور [٩٠° ، ٤٥° ، ٤٥°] ، ذو الانعكاس الكلى فى عكس صورة الجسم وتدور الأشعة هنا بزاوية قدرها (١٨٠°) وبذلك فإن شعاع الضوء يعود لاتجاه يوازي اتجاه الأشعة الساقطة .



شكل [(١٦ - ١٢) أ ، ب]

٢ - النافورات المضئية :

عند سقوط حزمة ضوئية دقيقة على السطح الداخلي لمجرى مائي دقيق بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحدية ، فتعكس هذه الحزمة الضوئية انعكاسات ضوئية متتالية على السطح الداخلي إلى أن يتحول الماء بالداخل إلى قطرات يتفرق عندها الشعاع الضوئي في اتجاهات عديدة وشتى حيث تبدو القطرات كما لو كانت مضئية ومتألقة ، انظر شكل (١٢ - ١٧) .



شكل [١٢ - ١٧]
النافورات المضئية والانعكاس الكلى

٣ - الألياف الموصلة للضوء (الألياف البصرية)

Optical fibres

نلاحظ تلاًؤ أنبوبة الاختبار المجوفة المغمورة فى الماء ، والفقاعات الغازية فى الماء وكأنها مطلية بالفضة ، ومرد هذا إلى الانعكاسات الكلية للأشعة على الحد بين السائل أو الجسم الصلب والوسط الغازى وللألياف البصرية نفس مبدأ النافورات المضئية ، حيث يحدث نتيجة للانعكاسات الكلية المتتابة لحزمة ضوئية داخل ليف بصرى من الزجاج ، أن تبدو الألياف كما لو كانت مضئية .

حيث يوجه الضوء إلى داخل الليف الزجاج الشفاف من إحدى نهايتيه ، ويخرج من الجهة الأخرى بعد أن ينعكس عدة مرات متتالية على جدران هذا الليف متابعاً لتواءاته .

وتستخدم موصلات الضوء في التوصل البصرى ، حيث يمكننا بواسطة تضمين الضوء المار في موصل الضوء ، أن ننقل كمية ضخمة من المعلومات أكبر بكثير مما في الكابلات عالية التردد .

ويمكن بذلك ، خلال حزمة من الألياف الموصلة للضوء أن ننقل صورة جسم يقع أمام الجانب الآخر للحزمة .

ويستفاد من هذه الخاصية في مجال الطب عند الرغبة في فحص الأجزاء الداخلية للمريض باستخدام منظار الباطن (وفى هذه الحالة يستخدم جزء من الألياف في الإضاءة الداخلية) ، كما تستخدم الألياف البصرية في النقل والبيث الإعلامى .

وتتكون الألياف البصرية من عشرات الآلاف من زجاج خاص رفيع جداً ومجدول مغطى بزجاج ذو معامل انكسار أقل .

ويكون قطر الجذيلة الواحدة حوالى ٠,٠٠٠٥ سم ، ويتراوح معامل انكسار الزجاج فيما بين (١,٥ - ١,٧) .

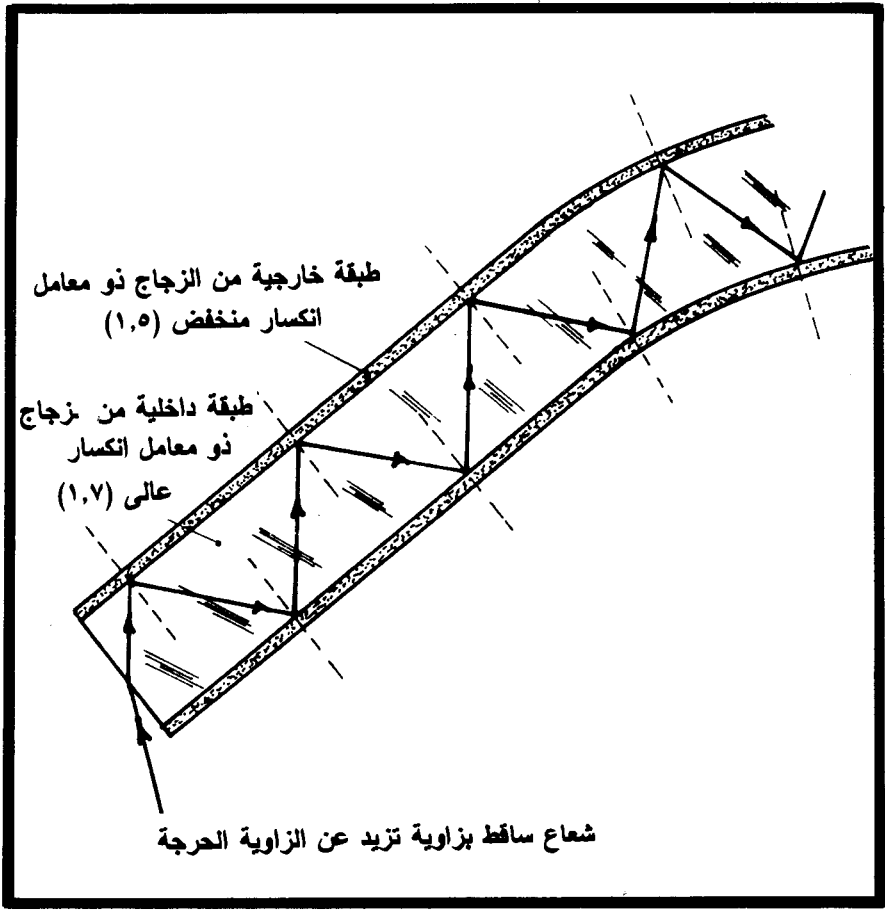
فعندما يسقط الضوء على إحدى نهايتى الليف البصرى بزاوية تقل عن ٥٦° (وتزيد عن ٥٤٢° وهى الزاوية الحدية للانعكاس الكلى للزجاج) فإن الضوء يتابع انعكاساته الكلية بداخل الليف وذلك لأن زاوية السقوط تزيد عن الزاوية الحدية (الحرجة) للزجاج فيما بين معاملى الانكسار ١,٥ - ١,٧ .

ولا يهم هنا انحناء الليف البصرى فمهما كان انحناءه أو استقامته فإن الضوء يخرج من النهاية الأخرى مركزاً .

وبذلك فإن حزمة من الألياف ، يمكنها نقل صورة جسم في الطرف الآخر للحزمة .

ويمكن الحصول على صورة مكبرة باستخدام ألياف مسلوكة القطر وللألياف البصرية استخدامات هندسية لا حصر لها .

انظر الرسم شكل (١٢ - ١٨) .



شكل [١٢ - ١٨]
الآليات البصرية والانعكاس الكلى

[١٢ - ١٠] السراب : Mirages

تُعتبر ظاهرة السراب مثال آخر لظاهرة الانعكاس الكلى ولكنها فى حالة السراب تحدث عند السطح الفاصل بين طبقتى غاز إحدهما ساخنة والثانية أبرد منها نسبياً .

وظاهرة السراب باختصار تحدث عادة فى الصحراء وفى الأيام الحارة - عند قيادة سيارة على طريق - مستقيمة أفقية ، حيث تبدو الرمال والأسفلت (الزفت) ، من بعيد كما لو كانت مغطاة ببقعة أو بركة من المياه .

خلاصة :

١ - عند انتقال الضوء من وسط ما إلى وسط آخر أكبر كثافة فإنه ينكسر في اتجاه العمودى .

٢ - عند انتقال الضوء من وسط كثيف إلى وسط أقل كثافة فإنه ينكسر بعيداً عن العمودى .

٣ - قانون الانكسار :

(أ) الشعاع الساقط والمنكسر والعمودى تقع كلها في مستوى واحد .

(ب) النسبة بين : $\frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جيب زاوية الانكسار}}$ مقدار ثابت

$$٤ - \text{معامل الانكسار } n = \frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جيب زاوية الانكسار}}$$

٥ - يمكن تحديد اتجاه الشعاع المنكسر باستخدام العلاقة السابقة .

$$n = \frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جيب زاوية الانكسار}}$$

٦ - يحدث الانعكاس الكلى عندما :

(أ) يمر الضوء من وسط (مثل الزجاج) إلى وسط أقل كثافة (مثل الهواء) .

(ب) عندما تزيد زاوية السقوط عن الزاوية الحدية .

