[١٢] الباب الثانى عشر :

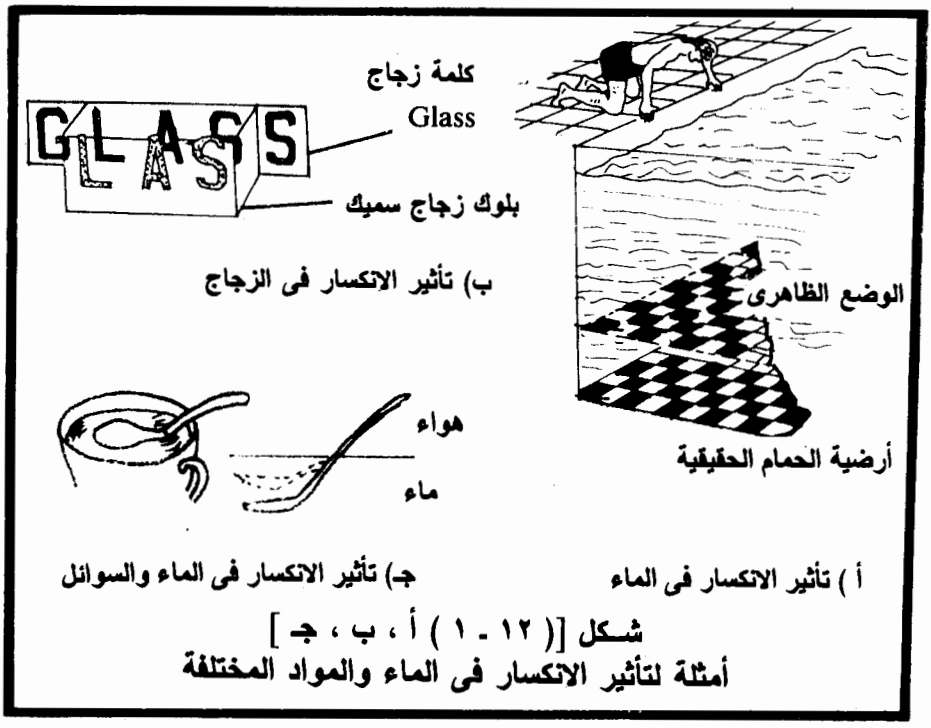
إنكسار الضوء على الأسطح المستوية

Refraction of plane surfaces

[١٢ ـ ١] عـــام :

نعلم جميعاً ، أنه عند النظر إلى أرضية حمام سباحة ، فإنها تبدو للمشاهد كما لو كانت مرتفعة نسبياً عن (الحقيقى) ، وقريبة 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 ـ ١) .

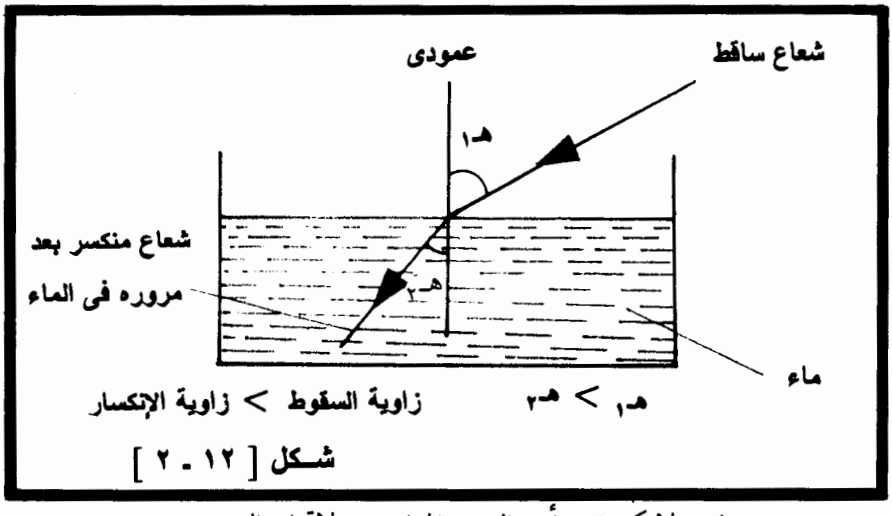


شـكل [(١٢ ـ ١) أ ، ب ، جـ]
أمثلة لتأثير الانكسار فى الماء والمواد المختلفة

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

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

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



شـكل [١٢ ـ ٢]

وقد يعرف الانكسار بأنه التغير المفاجىء 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 الثانى أكثر انكسارية للضوء من الوسط الأول وبالعكس ، فإن الشعاع الضوئى يبتعد عن العمودى على السطح عندما يمر من وسط إلى وسط ثانى أقل إنكسارية .

وفى 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 يلى سرعة انتشار الضوء فى بعض الأوساط الشفافة ، جدول (١٢ ـ ١) :

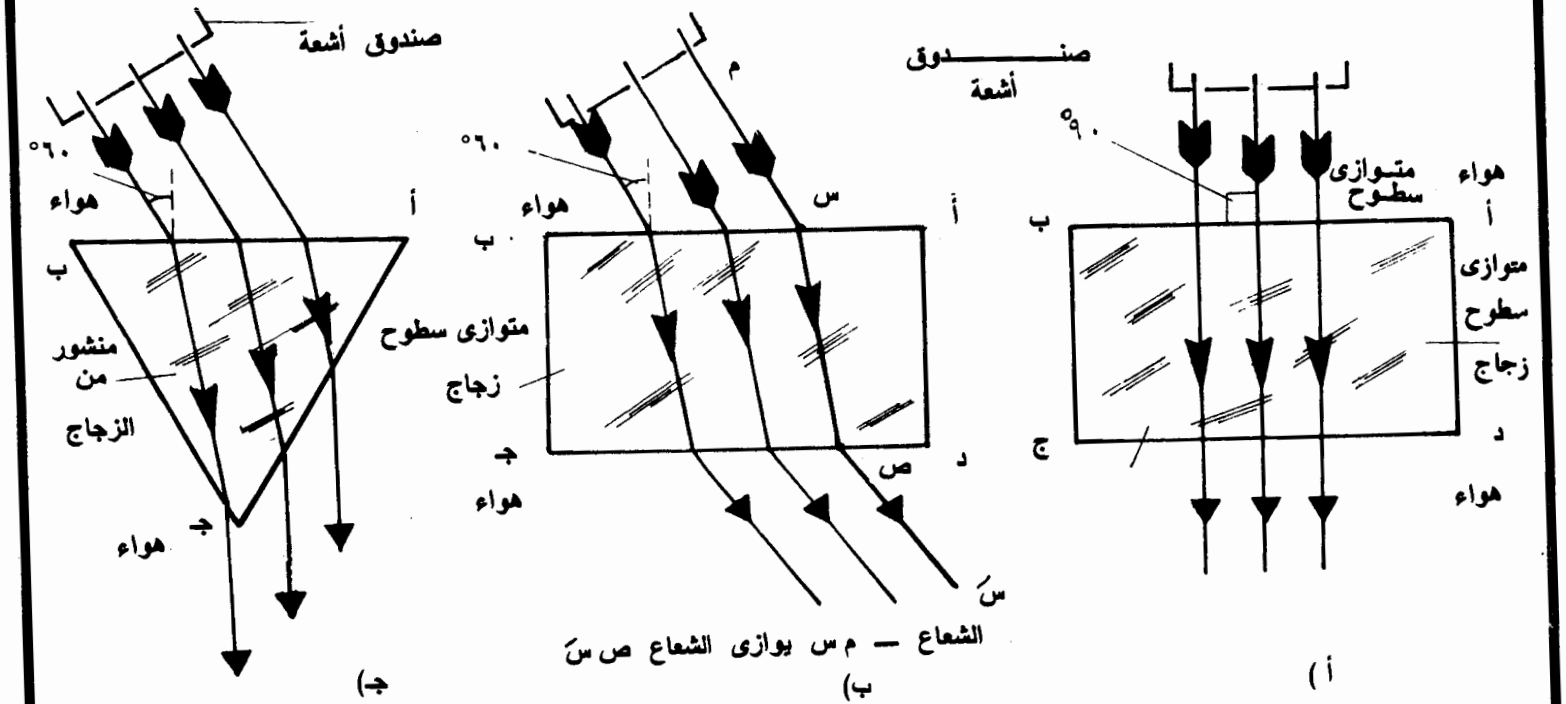
الوسط	الحالة الفيزيائية للوسط	السرعة كيلومتر/ثانية
الهواء	غاز	٢٩٩ ٩١٣
ثانى أكسيد الكربون	غاز	٢٩٩ ٨٦٥
الهيدروجين	غاز	٢٩٩ ٩٥٨
البنزين	سائل	٢٠٠ ٠٠٠
الماء المقطر	سائل	٢٢٥ ٥٦٣
الكحول	سائل	٢٢٠ ٥٨٨
ملح الطعام	صُلب	١٩٢ ٣٠٧
الزجاج العادى	صُلب	٢٠٠ ٠٠٠
الجليد	صلب/سائل	٢٢٩ ٠٠٧

جدول [١٢ ـ ١]

[١٢ ـ 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 جـ د) شكل (١٢ ـ ٣) .



شكل [١٢ - ٣]

الانكسار من الهواء للزجاج ومن الزجاج للهواء

فعندما تكون الأشعة عمودية على السطح (أ ب) (بزاوية ٥٩٠) ، فإنها تمر رأساً خلال الزجاج حيث تخرج من نقطة على السطح (جـ د) فى مقابل نقطة السقوط تماماً ، وفى هذه الحالة لا يحدث انكسار بتاتاً (١٢ ـ ٣ ـ أ) .

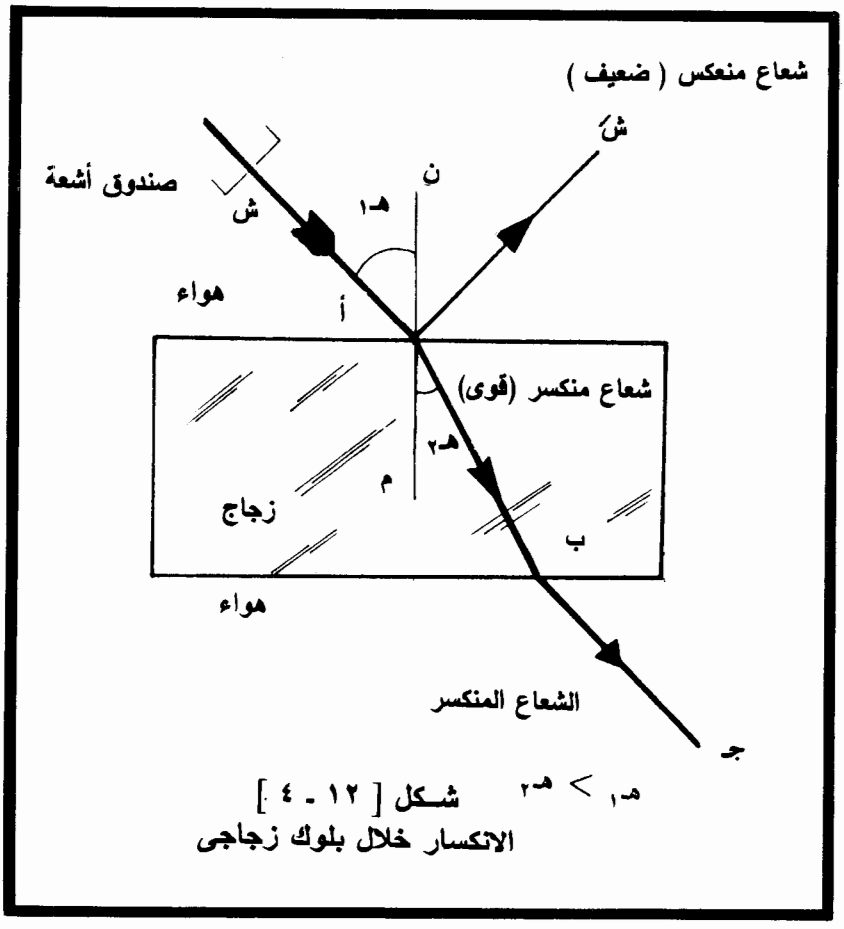
وفى حالة ما إذا أدرنا صندوق الأشعة بحيث تسقط الأشعة مائلة على السطح (أ ب) بزاوية حادة ولتكن بزاوية ٥٦٠ مثلاً فإنه يلاحظ وجود تغير فى اتجاه الأشعة ، بدرجة ملحوظة حيث يتحرك الشعاع الضوئى بداخل الزجاج فى الاتجاه (س ص) ، ويحدث الانكسار ويخرج الشعاع من السطح (جـ د) إلى الهواء مرة ثانية عند (ص) وفى نفس اتجاه دخول الأشعة تقريباً . [١٢ ـ ٣ ـ ب]

وفى **حالة** استخدام منشور زجاجى (يستخدم فى العدسات) فإنه كما يتضح من الشكل (١٢ ـ ٣ ـ جـ) ، فإن الأشعة تنكسر فى حالة منشور زجاجى على هيئة مثلث ، وتنحرف بشكل واضح جداً عن الأشعة الساقطة .

[١٢ ـ ٣] قوانين الإنكسار :

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

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



هـ١ > هـ٢

شـكل [١٢ ـ ٤]
الانكسار خلال بلوك زجاجى

كما وأن الشعاع (أ ب) بداخل الزجاج يعود فينكسر عند خروجه عند السطح الفاصل (زجاج ـ هواء) فى اتجاه (ب جـ) للهواء ، وبعيداً عن العمودى على السطح .

ويمكن الحصول على نفس النتائج عند اختراق أشعة ضوئية لوسط فاصل (هواء ـــ زجاج) والوسط الفاصل (زجاج ـــ هواء) .

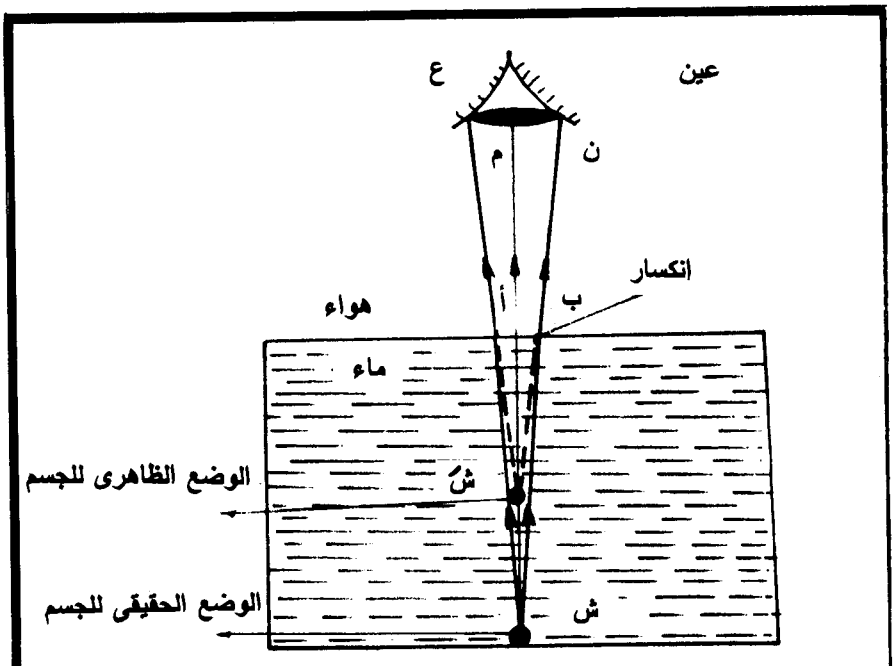
وعموماً ، فإن الضوء عند انتقاله من وسط ما مثل الهواء إلى وسط آخر أكثف مثل الزجاج أو الماء فإنه ينكسر فى الاتجاه العمودى على السطح .

بينما ، عند انتقال الضوء من وسط مثل الزجاج أو الماء إلى وسط أقل كثافة مثل الهواء فإن الضوء ينكسر بعيداً عن العمودى على السطح .

[١٢ ـ ٤] العُمق الظاهرى : Apparent depth :

يمكننا تفسير ظاهرة رؤية قاع حمام السباحة التى سبق وأن ذكرناها فى بداية هذا الدرس [فقرة (١٢ ـ ١) ، حيث يبدو هذا القاع أقل عمقاً عن العمق الحقيقى عند النظر له عبر الماء .

انظر الرسم شكل [١٢ ـ ٥]



شـكل [١٢ ـ ٥]
العمق الظاهرى للأشياء فى الماء عند النظر عموديا

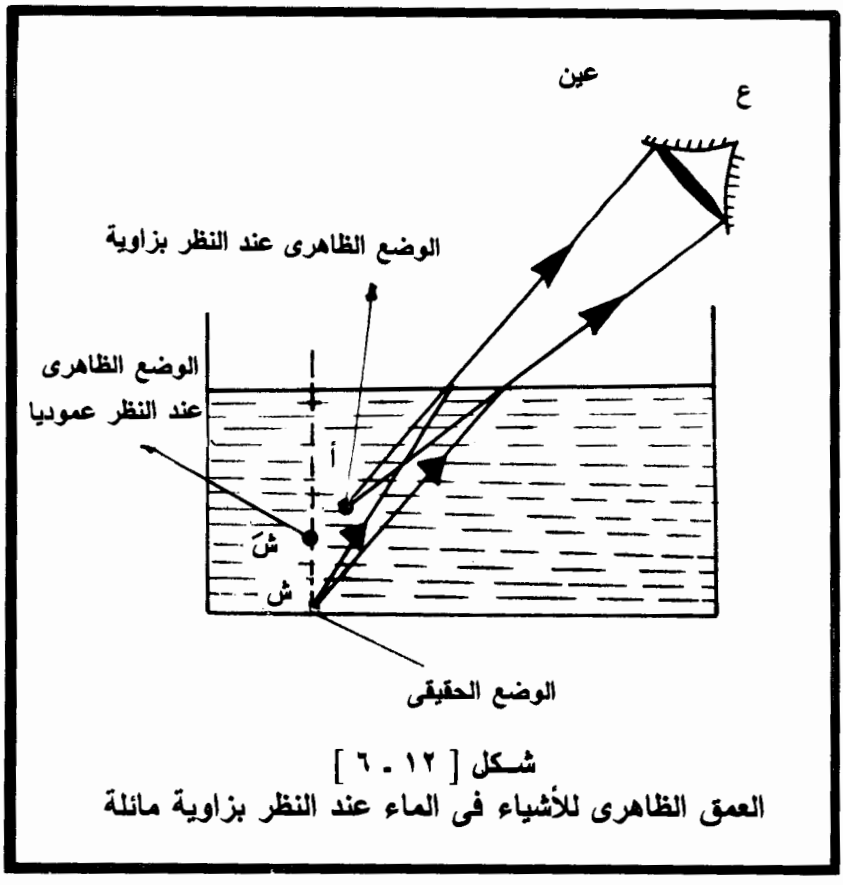
لنعتبر جسماً صغيراً « عملة معدنية مثلاً » عند قاع الحمام مثل (ش) وسنجد أن الشعاع (ش أ) العمودى على سطح الماء ، يمر إلى الهواء فى اتجاه (أ م) وفى نفس الاتجاه (دون انكسار) .

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

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

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

أما إذا كان الرائى ينظر بزاوية مائلة شكل (١٢ ـ ٦) ، فإن الشيء يبدو كما لو كان عند النقطة (أ) ، والتى تبدو مرتفعة بعض الشيء عن النقطة (شَ) إذا ما نظرنا عمودياً لأسفل ، كما وأنها تكون بعيدة عن العمودى على السطح وفى اتجاه اليمين .

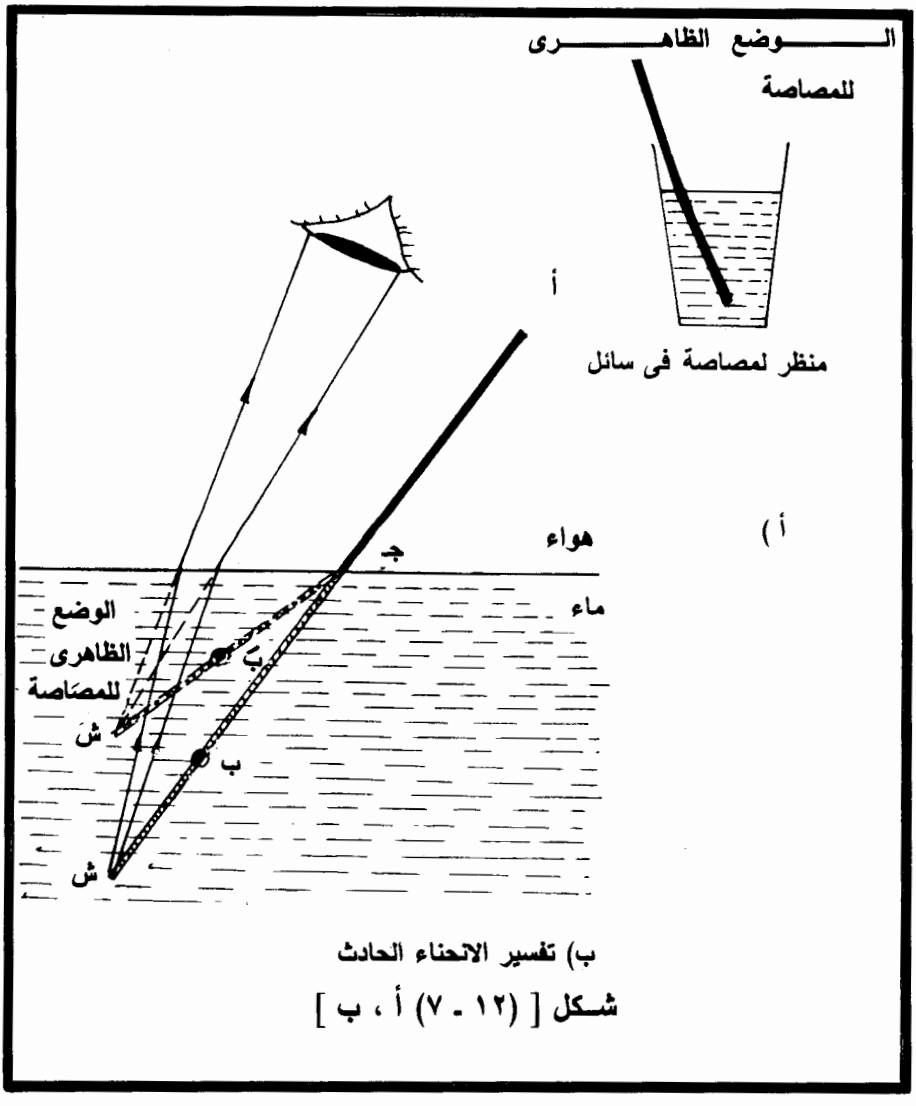


شـكل [١٢ ـ ٦]
العمق الظاهرى للأشياء فى الماء عند النظر بزاوية مائلة

[١٢ ـ ٥] الانكسـار عند غمر الجسم جزئياً فى الماء

Part immersion in water

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



ب) تفسير الانحناء الحادث

شـكل [(١٢ ـ ٧) أ ، ب]

ولنفترض أن (ش أ) هو الوضع الفعلى 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 الحقيقى .

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 ـ 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 ـ تزيد زاوية الانكسار بزيادة زاوية السقوط .

٢ ـ 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) .

∴ معامل الإنكسار م٢ ـ ١ = $\frac{\text{زاوية السقوط}_{١}}{\text{زاوية الانكسار}_{٢}}$

وبتطبيق مبدأ انعكاسية الضوء :

∴ معامل الانكسار م$_{١-٢}$ = $\frac{\text{زاوية الانكسار}_{٢}}{\text{زاوية السقوط}_{١}}$

ومما سبق نصل إلى أن :

معامل الانكسار النسبى للوسط الأول بالنسبة للوسط الثانى =

مقلوب معامل الانكسار النسبى للوسط الثانى بالنسبة للوسط الأول .

أى م$_{١-٢}$ = $\frac{١}{\text{م}_{٢-١}}$ ويعرف هذا بقانون كبلر للزوايا الصغيرة

وفيما يلى جدول يوضح زوايا السقوط (لأقل من ٥٢٥) وزوايا الانكسار المقابلة فى تجربة لإسقاط الضوء بواسطة صندوق الأشعة على متوازى سطوح من الزجاج .

والنسبة بين زاوية السقوط إلى زاوية الانكسار .

انظر جدول [١٢ ـ ٢] .

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

جدول [١٢ ـ ٢]

□ سرعة الضوء ومعامل الانكسار :

أ) سرعة الضوء :

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

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

(ب) معامل الانكسار Refraction index :

عند انتشار الضوء من وسط شفاف أقل انكساراً بسرعة ع١ مثلاً إلى وسط شفاف أكثر انكساراً بسرعة ع٢ ، حيث (ع٢ أقل من ع١) فإن :

معامل الانكسار النسبى للوسط الثانى بالنسبة للأول ($م_{٢-١}$) يُعرّف بـ :

$$م_{٢-١} = \frac{ع_{١}}{ع_{٢}} \quad \text{(أكبر من الواحد الصحيح)}$$

وبتطبيق مبدأ انعكاسية الضوء نجد أن :

$$م_{١-٢} = \frac{١}{م_{٢-١}} = \frac{ع_{٢}}{ع_{١}}$$

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

$$\text{أى : } م = \frac{ع}{ع_{و}}$$

□ **حيث :**

م معامل الانكسار النسبى .

ع سرعة الضوء فى الفراغ .

ع و سرعة الضوء فى الوسط .

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

$$\text{معامل الانكسار العادى } م_{ع} = \frac{ع_{هـ}}{ع_{و}}$$

$م_{ع}$ = معامل الانكسار العادى (النسبى بالنسبة للهواء) .

$ع_{هـ}$ = 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 معاملا الانكسار المطلق لكل من الوسط الأول والوسط الثانى بالعلاقتين التاليتين :

$$م_{١} = \frac{ع}{ع_{١}} \quad ، \quad م_{٢} = \frac{ع}{ع_{٢}}$$

حيث :

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

$م_{٢}$ معامل الانكسار المطلق للوسط الثانى .

$ع$ سرعة الضوء فى الفراغ (٣٠٠ ٠٠٠ كم/ث)

$ع_{١}$ سرعة الضوء فى الوسط الأول .

$ع_{٢}$ سرعة الضوء فى الوسط الثانى .

ومن العلاقتين السابقتين يمكن الحصول على :

$$\frac{م_{٢}}{م_{١}} = \frac{\frac{ع}{ع_{٢}}}{\frac{ع}{ع_{١}}} = \frac{ع_{١}}{ع_{٢}}$$

وقد علمنا سابقاً أن معامل الانكسار النسبى للوسط الثانى بالنسبة للوسط الأول ($م_{٢-١}$) ، هو :

$$م_{٢-١} = \frac{ع_١}{ع_٢}$$ ومن ذلك نصل إلى أن :

$$م_{٢-١} = \frac{م_٢}{م_١} = \frac{ع_١}{ع_٢}$$

وبتطبيق مبدأ انعكاسية الضوء نصل إلى :

$$م_{١-٢} = \frac{م_١}{م_٢} = \frac{ع_٢}{ع_١} = \frac{\text{زاوية الانكسار}}{\text{زاوية السقوط}}$$

وأخيراً ، ∴ $م_١$ × زاوية السقوط = $م_٢$ × زاوية الانكسار .

وهى تعتبر صورة أخرى لقانون كبلر فى حالة الزوايا الحادة الصغيرة (أقل من ٢٥°) .

القانون الثانى للانكسار : « قانون ديكارت » :

نقوم بإسقاط شعاع ضوئى من صندوق للأشعة على متوازى سطوح من الزجاج ونُغير قيمة زاوية السقوط من صفر وحتى ٨٥° ثم ندون زوايا الانكسار المقابلة ونسجل القيم التى نحصل عليها فى جدول كالتالى ، انظر جدول (١٢ ــ ٣) .

ويتضح من الجدول أن قيمة : $\frac{\text{زاوية السقوط (١)}}{\text{زاوية الانكسار (٢)}}$ ، تكون ثابتة فقط فى حدود الزوايا الصغيرة حتى (٢٥°) فى حين أن :

$\frac{\text{نسبة جيب زاوية السقوط}}{\text{نسبة جيب زاوية الانكسار}}$ أى $\frac{\text{جا } \hat{١}}{\text{جا } \hat{٢}}$ تكون ثابتة دائماً

مهما كانت زاوية السقوط صغيرة أم كبيرة وبحيث تنحصر زاوية السقوط فيما بين [صفر ، ٩٠°] .

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

$$م_{٢-١} = \frac{\text{جا } \hat{١}}{\text{جا } \hat{٢}}$$

ويمكن كتابتها هكذا : $م_{١}$ جا $\hat{١}$ = $م_{٢}$ جا $\hat{٢}$

وهذه العلاقة الأخيرة هى قانون ديكارت « الحالة العامة » .

زاوية السقوط = $\hat{١}$	صفر°	٥١٠	٥٢٠	٥٢٥	٥٣٠	٥٤٠	٥٥٠	٥٦٠	٥٧٠	٥٨٠	٥٩٠
زاوية الانكسار = $\hat{٢}$	صفر°	٥٦,٣٠	٥١٣	٥١٦	٥١٩,٣٠	٥٢٥	٥٣٠,٣٠	٥٣٥	٥٣٨	٥٤١	
$\frac{\hat{١}}{\hat{٢}}$		١,٥٤	١,٥٤	١,٥٦	١,٥٥	١,٦٠	١,٦٤	١,٧١	١,٨٤	١,٩٥	
جا $\hat{١}$	صفر	٠,١٧٣٦	٠,٣٤٢٠	٠,٤٢٣٠	٠,٥٠٠	٠,٦٤٣٠	٠,٧٦٦٠	٠,٨٦٦	٠,٩٤٠	٠,٩٨٥	
جا $\hat{٢}$	صفر	٠,١١٣٢	٠,٢٢٥	٠,٢٧٦	٠,٣٣٤	٠,٤٢٣٠	٠,٥٠٧٠	٠,٥٧٤	٠,٦١٦	٠,٦٥٦	
$\frac{\text{جا } \hat{١}}{\text{جا } \hat{٢}}$		١,٥٣	١,٥٢	١,٥٣	١,٥٠	١,٥٢	١,٥١	١,٥١	١,٥٢	١,٥٠	

جدول [١٢ - ٣]

[١٢ ـ 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 .

فنلاحظ 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 .

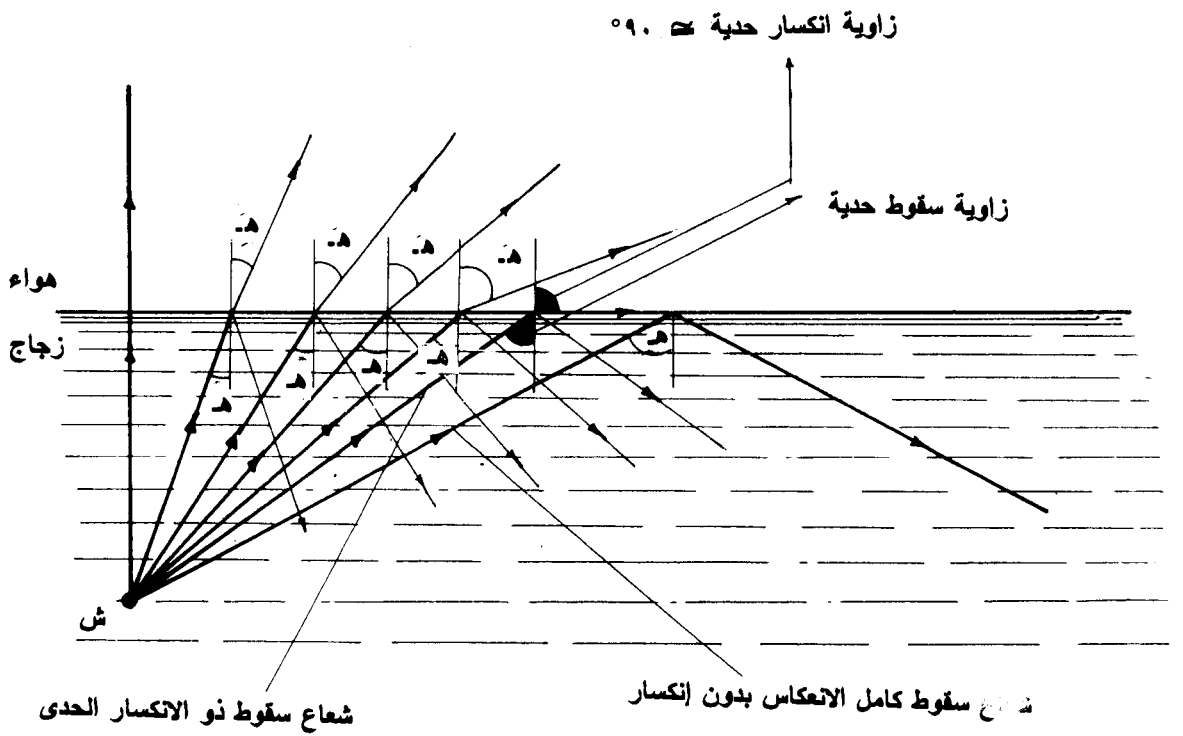
وعندما تصل زاوية السقوط حداً معيناً (هـ) ، نجد أن الشعاع الضوئى ينزلق على السطح الفاصل بين الوسطين .

وتكون زاوية الانكسار حينئذ حوالى ٩٠° ونقول أن الانكسار حينئذ انكساراً حدياً .

وتُسمى زاوية هـ بزاوية الانكسار الحدى [أى زاوية السقوط الحدية التى تعطى زاوية انكساراً حدياً (حوالى ٩٠°)] .

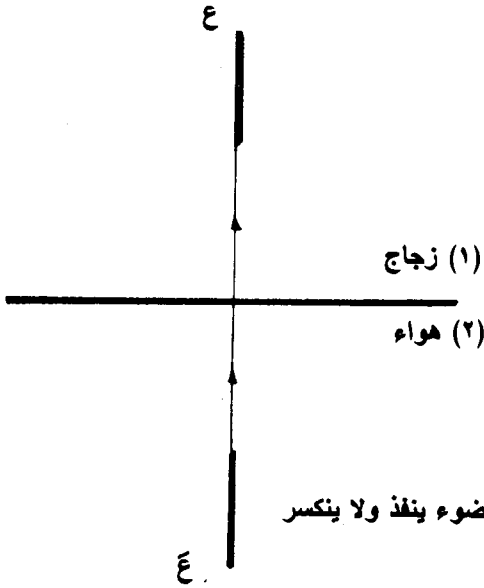
وعندما تكون زاوية السقوط أكبر من زاوية هـ (الزاوية الحدية) فإنه لا تكون هناك أشعة منكسرة حيث نلاحظ أن الشعاع الساقط لا ينكسر بل

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



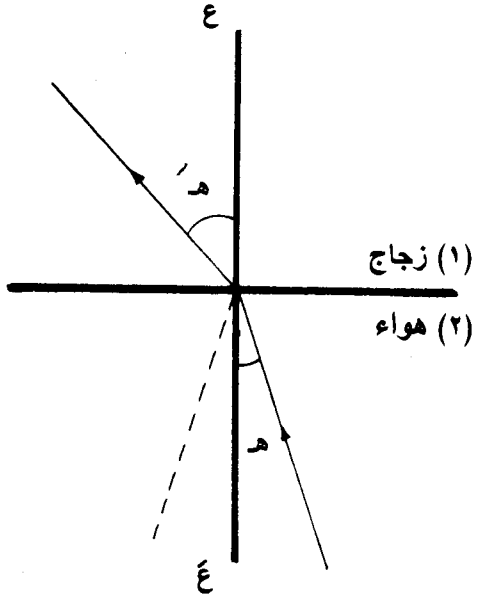
شـكل [١٢ ـ ٨]
الانعكاس الكلى والانكسار الحدى

(أ)

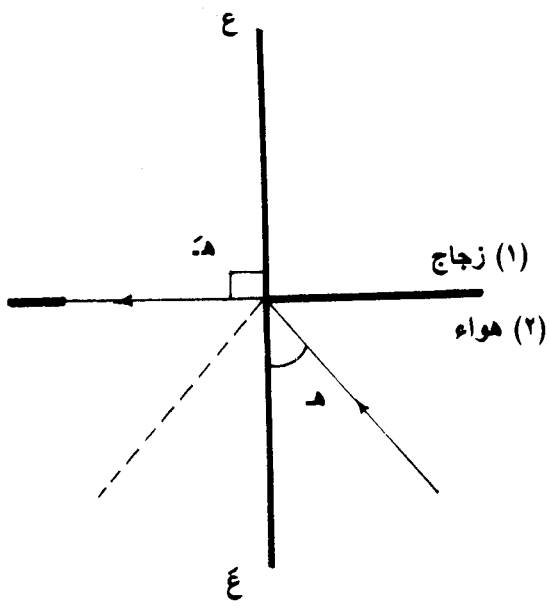


هـ = هـ = صفر والضوء ينفذ ولا ينكسر

(ب)



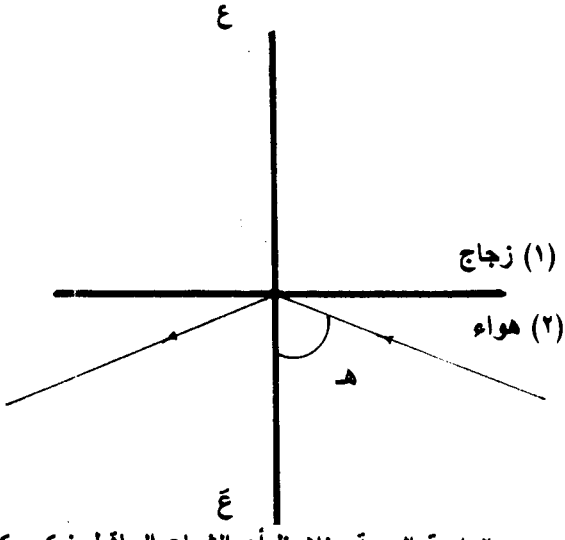
هـ أقل من الزاوية الحدية، الجزء الأكبر من الضوء ينكسر بينما ينعكس جزء قليل منه



هـَ = الزاوية الحدية حيث تقل إضاءة الشعاع المنكسر بينما تزداد إضاءة الشعاع المنعكس

(ظاهرة الانكسار الحدى هـَ = ٩٠°)

(د)



هـَ أكبر من الزاوية الحدية ونلاحظ أن الشعاع الساقط ينعكس كليا

(ظاهرة الانعكاس الكلى)

شـكل [(١٢ ـ ٩) أ ، ب ، جـ ، د]

الانعكاس الكلى والانكسار الحدى

ولا تحدث ظواهر من هذا النوع إلا فى الحالات التى 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 .

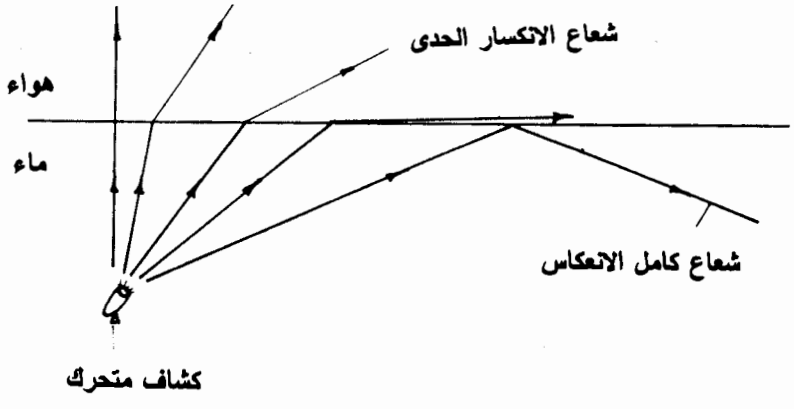
وتُسمى زاوية السقوط ← التى تكون زاوية انكسارها مساوية ٩٠° "$\frac{ط}{٢}$"، بزاوية السقوط الحدية .

ويوضح شكل (١٢ ـ 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 سيقترب أكثر للسطح الفاصل (سطح الماء مع الهواء) حتى يكاد أن يلامسه .

وعندما تكون زاوية ميل الشعاع الساقط حوالى (٤٩°) مع العمودى (زاوية السقوط الحدية) فإن الشعاع المنكسر يمر موازياً لسطح الماء .

فإذا ما أملنا الشعاع أكثر بحيث تصبح زاوية السقوط أكبر من (٤٩°) فإنه لن يكون هنالك شعاع منكسر ، بل شعاع منعكس (انعاكساً كلياً) وهذا ما يعرف بظاهرة الانعكاس الكلى للضوء **Total internal** reflection



شكل [١٢ ـ ١٠]
الانعكاس الكلى والانكسار

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

wave theory of refraction

يمكن تعيين اتجاه الشعاع المنكسر بواسطة النظرية الموجية للضوء .

ولنعتبر حزمة ضوئية من الأشعة المتوازية قادمة من الهواء ، وتخترق سطح مستوى من الزجاج ، وكما فى شكل (١٢ ــ ١١) ، فإن (أ ب) تُمثل جبهة الموجة المستوية plane wave ، والتى فى وضع يكاد أن يخترق الزجاج عند نقطة (أ) ، بينما يمثل (جـ 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 .

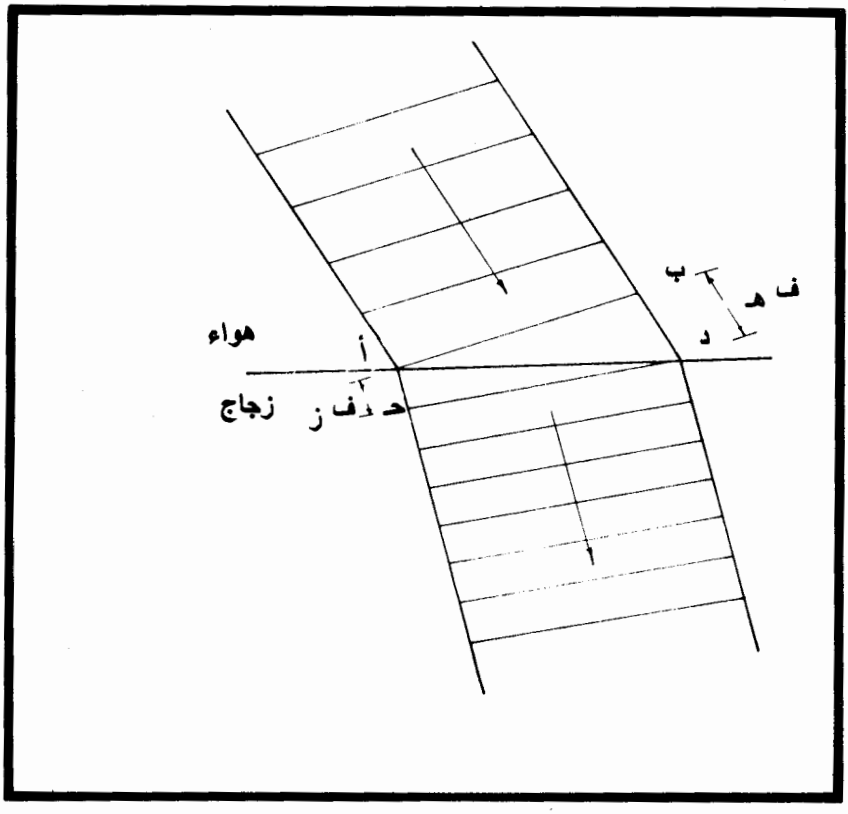
ع ز = سرعة الضوء فى الزجاج .

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 .



شـكل [١٢ ـ ١١]
انكسار الموجات المستوية،النظرية الموجية للانكسار

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

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

المادة	معامل الانكسار م = سرعة الضوء فى الفراغ / سرعة الضوء فى المادة المطلق
هيدروجين	١,٠٠٠١٤
هواء	١,٠٠٠٢٩
ثانى 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]

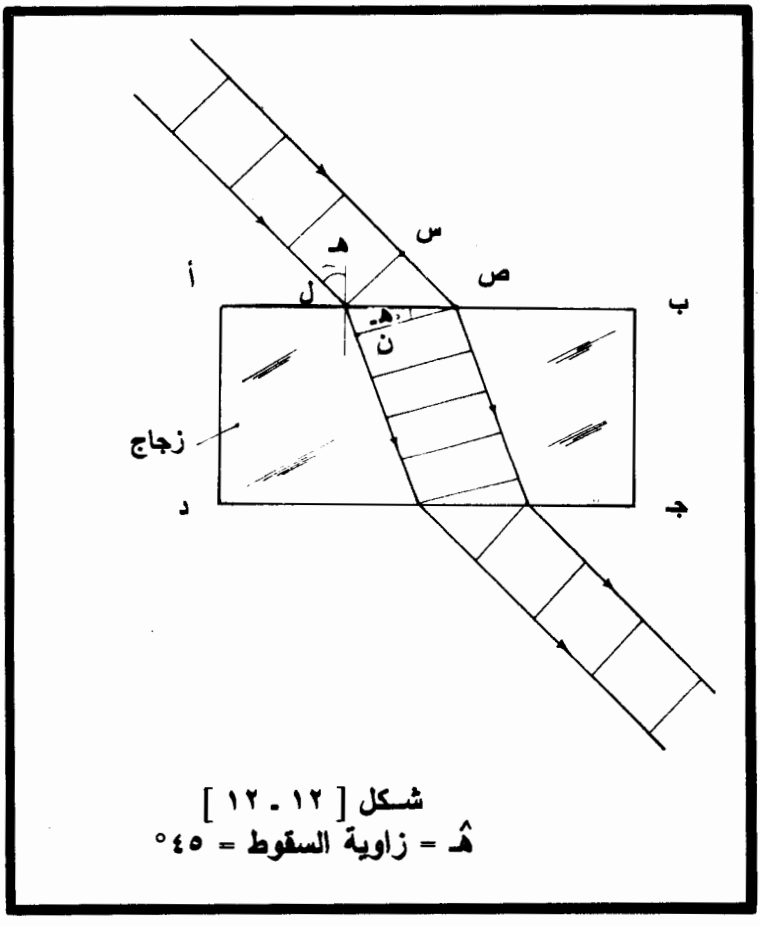
مثال : على الانكسار والزاوية الحرجة (الحدية) للانكسار :

ويوضح شكل (١٢ ـ ١٢) حزمة من أشعة أحادية اللون (أحادى الطول الموجى monochromatic light ، تسقط بزاوية ٤٥° على السطح (أ ب) للمجسم الزجاجى (متوازى سطوح) ؛ (أ ب جـ د) وهو يوضح بعض من جبهات الضوء عند اقترابها من (أ ب) وعند انتقالها عبر الزجاج [مثل شكل (١٢ ــ ١١)] وبعد خروجها من الزجاج للهواء مرة ثانية .

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

(ب) احسب الزاوية الحرجة (الحدية) للضوء عند خروجه من الزجاج لمعامل انكسار = ١,٥٥ ، إلى الهواء .

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



شكل [١٢ ـ ١٢]
هـ = زاوية السقوط = ٤٥°

(أ) يتغير اتجاه حركة جبهة الموجة فى الزجاج لأن سرعة الضوء فى الزجاج (٢٠٠ ٠٠٠ كم/ث) تقل عن سرعة الضوء فى الهواء (حوالى ٢٩٩ ٩١٣ كم/ث) ارجع لجدول (١٢ ـ ١) .

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

وبذلك تصبح جبهة الضوء فى الزجاج هى (ص ن) . وهى تصنع زاوية (هَـ) مع (أ ب) وهى تعتبر كزاوية انكسار وحيث أن الزاوية (ل ن ص) = ٥٩٠ .

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

∴ ١,٥٥ = $\frac{\text{جا ٤٥}}{\text{جا هـ}}$ ∴ جا هـ = $\frac{\text{حا ٤٥}}{١,٥٥}$

∴ جا هـ = $\frac{٠,٧٠٧}{١,٥٥٠}$ = ٠,٤٥٦٠

∴ هَـ = ٥٢٧ تقريباً .

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

جا هَـ$_{\text{الحدية}}$ = $\frac{١}{\text{م ز}}$ = $\frac{١}{١,٥٥}$

∴ جا هَـ$_{\text{الحدية}}$ = ٠,٦٤٥٠ ∴ هَـ$_{\text{الحدية}}$ = ٤٠٥ 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 فى الماء ، تكون ٥٩٠ عندما تكون زاوية السقوط فى الزجاج أكبر من حالة الزجاج للهواء . وزاوية السقوط هذه (هـ) هى الزاوية الحدية .

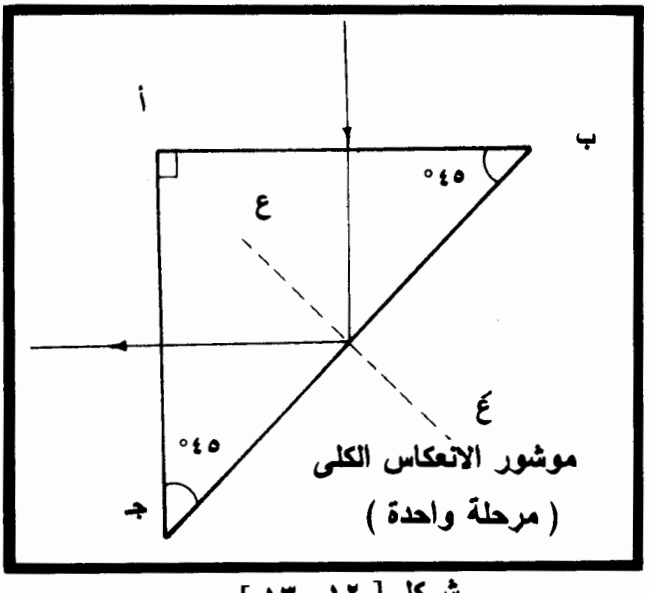
[١٢ ـ ٩] تطبيقات على الانعكاس الكلى :

١ ـ الموشور ذو الانعكاس الكلى *Totally* reflecting *prisms*

علمنا مما سبق أن هنالك ولأى وسط زاوية انكسار حدية أو حرجة والتى 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 .

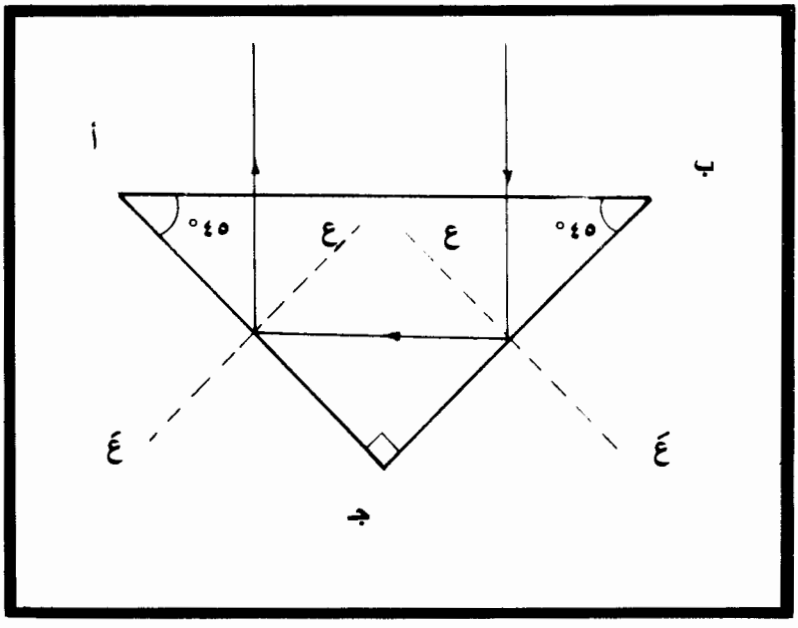
فإذا نظرنا إلى شكل [١٢ ـ ١٣] ، نجد موشور متساوى الساقين وقائم الزاوية (الموضح هو مقطع فى الموشور) فعندما يسقط شعاع من الضوء على الوجه (أ ب) وعمودياً عليه (زاوية السقوط تساوى صفر) ، وبذلك فإن الشعاع يجتاز هذا الوجه الزجاجى دون أن ينكسر أو ينعكس وينفذ عمودياً على السطح حيث يلاقى الوجه (ب جـ) بزاوية سقوط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

، ولما كانت ٤٥° > ٤٢° ؛ فينعكس الشعاع كلياً ولا ينكسر حيث يسقط من جديد على الوجه (جـ أ) بزاوية سقوط = صفر أى عمودياً عليه ، لينفذ بعد ذلك إلى الهواء دون أى انكسار .



شكل [١٢ ـ ١٣]

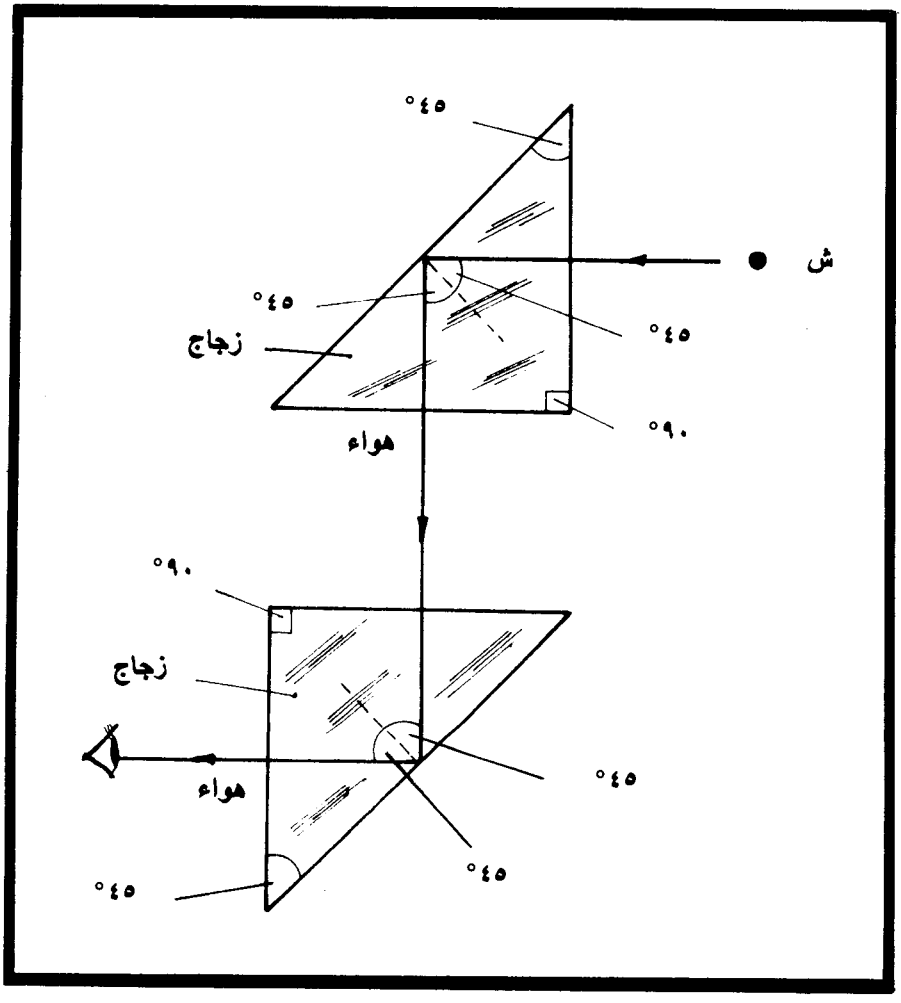
وفى شكل (١٢ ـ ١٤) يحدث نفس الشيء إلا أن الشعاع الساقط يعانى انعكاسين كُليين (انعكاساً كلياً مرتين) ، داخل الموشور .



شـكل [١٢ ـ ١٤]
موشور الانعكاس الكلى (مرحلتين)

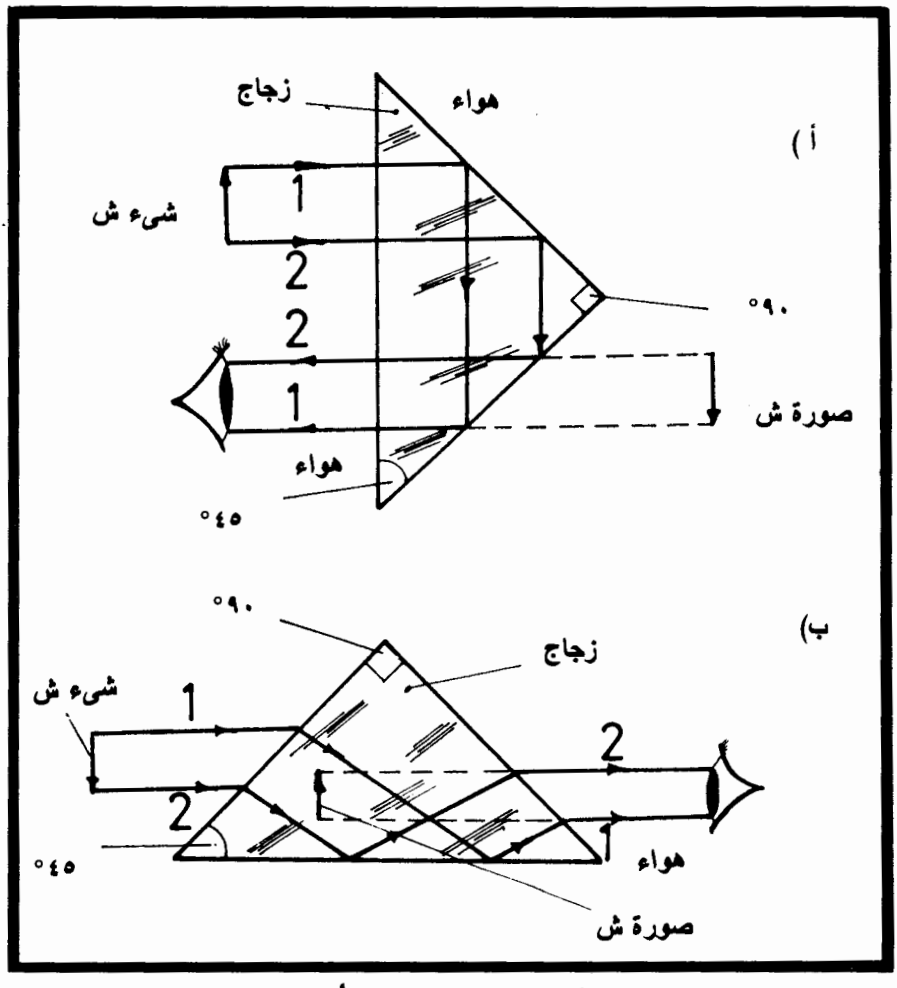
ويوضح شكل (١٢ ـ ١٥) التأثير البصرى لظاهرة الانعكاس الكلى باستخدام ٢ موشور ، كل منهم قائم الزاوية ومتساوى الساقين ويستخدم مثل هذا التركيب فى جهاز البريسكوب السابق ذكره ، فى الغواصات بدلاً من استخدام المرايا المستوية .

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



شكل [١٢ ـ ١٥]

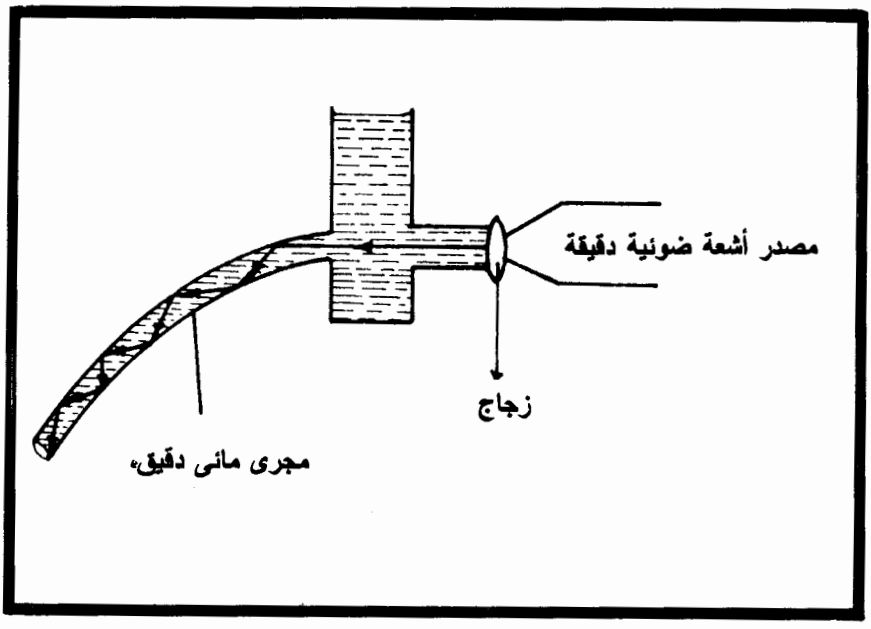
ويوضح شكل [١٢ ـ ١٦] ، استخدام الموشور [٩٠° ، ٤٥° ، ٤٥°] ، ذو الانعكاس الكلى فى عكس صورة الجسم وتدور الأشعة هنا بزاوية قدرها (١٨٠°) وبذلك فإن شعاع الضوء يعود لاتجاه يوازى اتجاه الأشعة الساقطة .



شكل [(١٢ ـ ١٦) أ ، ب]

٢ ـ النافورات المضيئة :

عند سقوط حزمة ضوئية دقيقة على السطح الداخلى لمجرى مائى دقيق بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحدية ، فتنعكس هذه الحزمة الضوئية انعكاسات ضوئية متتالية على السطح الداخلى إلى أن يتحول الماء بالداخل إلى قطرات يتفرق عندها الشعاع الضوئى فى اتجاهات عديدة وشتى حيث تبدو القطرات كما لو كانت مضيئة ومتلألئة ، انظر شكل (١٢ ـ ١٧) .



شـكل [١٢ ـ ١٧]
النافورات المضيئة والانعكاس الكلى

٣ ـ الألياف الموصلة للضوء (الألياف البصرية)

Optical fibres

نلاحظ تلألؤ 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 المضيئة ، حيث يحدث نتيجة للانعكاسات الكلية المتتابعة لحزمة ضوئية داخل ليف بصرى من الزجاج ، أن تبدو الألياف كما لو كانت مضيئة .

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 التواءاته .

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

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

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

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

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

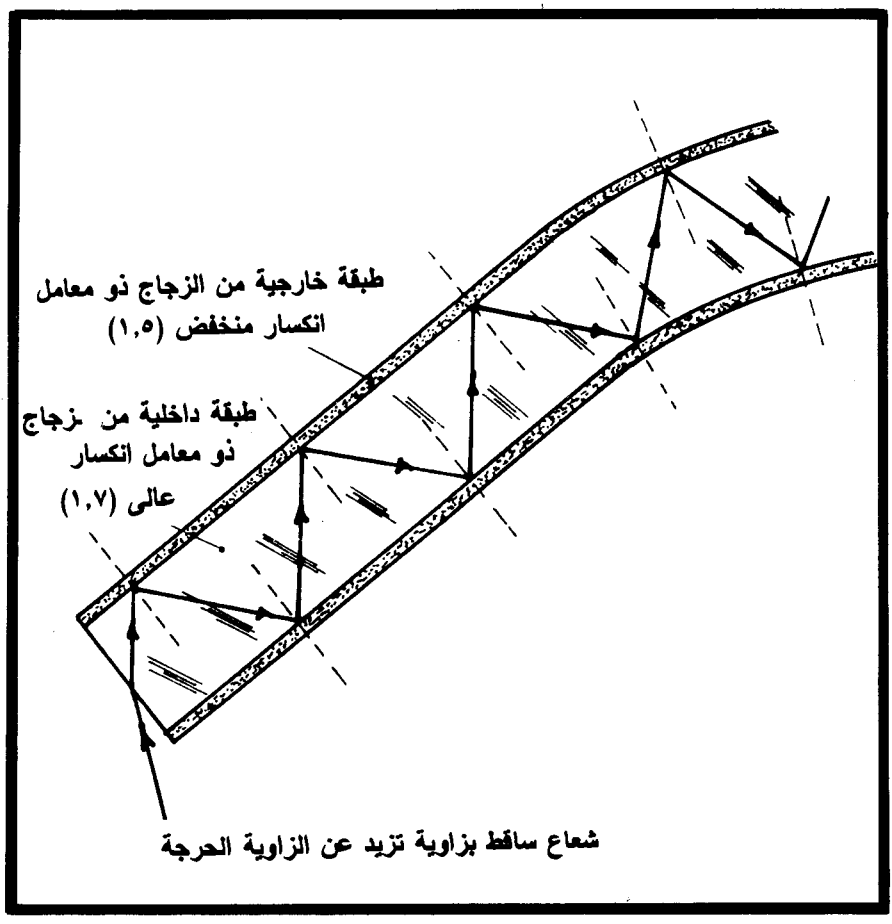
فعندما يسقط الضوء على إحدى نهايتى الليف البصرى بزاوية تقل عن ٥٦٠ (وتزيد عن ٥٤٢ وهى الزاوية الحدية للانعكاس الكلى للزجاج) فإن الضوء يتابع انعكاساته الكلية بداخل الليف وذلك لأن زاوية السقوط تزيد عن الزاوية الحدية (الحرجة) للزجاج فيما بين معاملى الانكسار ١,٥ ـ ١,٧ .

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 فى الطرف الآخر للحزمة .

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

انظر الرسم شكل (١٢ ـ ١٨) .



شـكل [١٢ ـ ١٨]
الألياف البصرية والانعكاس الكلى

[١٢ ـ ١٠] *السـراب* Mirages :

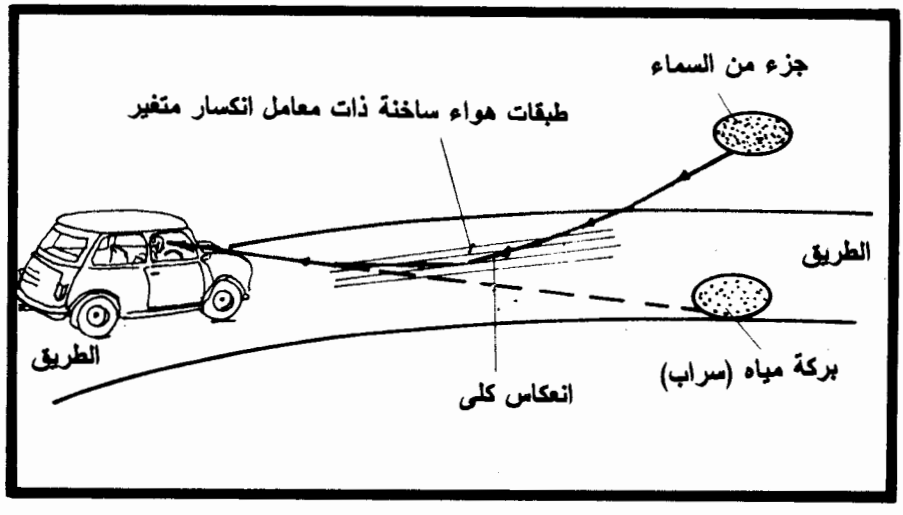
تُعتبر ظاهرة السراب مثال آخر لظاهرة الانعكاس الكلى ولكنها فى حالة السراب تحدث عند السطح الفاصل بين طبقتى غاز إحداهما ساخنة والثانية أبرد منها نسبياً .

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

والواقع أن هذا الماء وهمى لا وجود له ولهذا يطلق عليه السراب وهذا الماء ما هو إلا انعكاس لصورة السماء ، حيث أن الهواء الملامس للرمال أو الطريق ، يكون أسخن ويبرد تدريجياً كلما ارتفعنا عن الأرض وفرق الحرارة هذا يؤدى إلى اختلاف الكثافة بين طبقات الهواء المتتالية حيث تزداد الكثافة كلما بعدنا عن سطح الأرض ، وبالتالى يتزايد معامل الانكسار وبناء على ما تقدم ، فإن شعاع الضوء الساقط من جزء ما من السماء يمر خلال طبقات الهواء من الطبقة الأبرد إلى الطبقة الأقل برودة وهكذا حتى يصل إلى الطبقات الساخنة الملامسة للطريق أو للرمال .

وبهذا تنكسر الأشعة الساقطة انكسارات متتالية حتى تصل إلى طبقة من الطبقات الهوائية الساخنة القريبة من الأرض بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحدية ، حيث يحدث انعكاس كلى وترتد الأشعة المنعكسة إلى عين المشاهد فى طبقة هواء أبرد نسبياً من الطبقة الحادث عندها الانعكاس الكلى ، وتبدو لعين المشاهد كما لو كانت قادمة من على الطريق أمامه .

انظر الرسم شكل (١٢ ـ ١٩) .



شـكل [١٢ ـ ١٩]
تفسير ظاهرة السراب Mirages

خلاصـــة :

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

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

٣ ـ **قانونا الانكسار** :

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

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

٤ ـ معامل الانكسار م = $\frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جيب زاوية الانكسار}}$

٥ ـ يمكن تحديد اتجاه الشعاع المنكسر باستخدام العلاقة السابقة.

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

٦ ـ 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 .