

**1. المقدمة (Introduction)**

عند سقوط الضوء على الحد الفاصل بين وسطين مختلفين بالثافة 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 تتحدث على الانعكاس والانكسار لكونه يحدث للجزء الاكبر من الضوء بالنسبة للمواد العازلة الشفافة ، وبهمل الامتصاص لكونه قليل النسبة في هذه المواد ، بينما تزيد نسبة الضوء الممتص في المعادن التي ليست محل دراستنا في هذا الفصل.

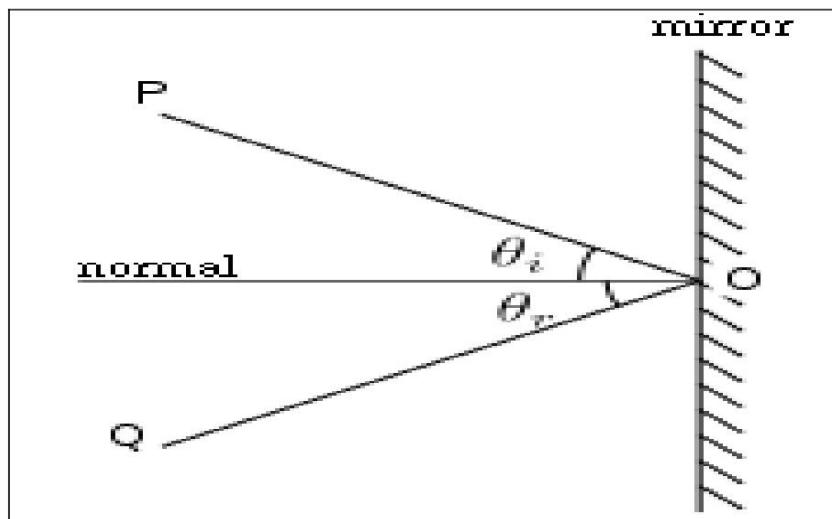
**2. مبدأ فيرمات (Fermat's Principle)**

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 (المنعكس) 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. في حال سقوط الشعاع الضوئي على سطح أملس كان الانعكاس منتظمًا، أما إن سقط الشعاع على سطح غير مصقول؛ فإن الشعاع المنعكس ينتشر، أي أن زاوية السقوط لا تساوي زاوية الانعكاس، وفي هذه الحالة لا يُسمى انعكاساً وإنما انتشاراً للضوء.

يتكون 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 .



الشكل (1): ظاهرة الانعكاس

#### 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 فتحت حرفة 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 تغيير اتجاه الضوء عند مروره عبر قطعة زجاجية.

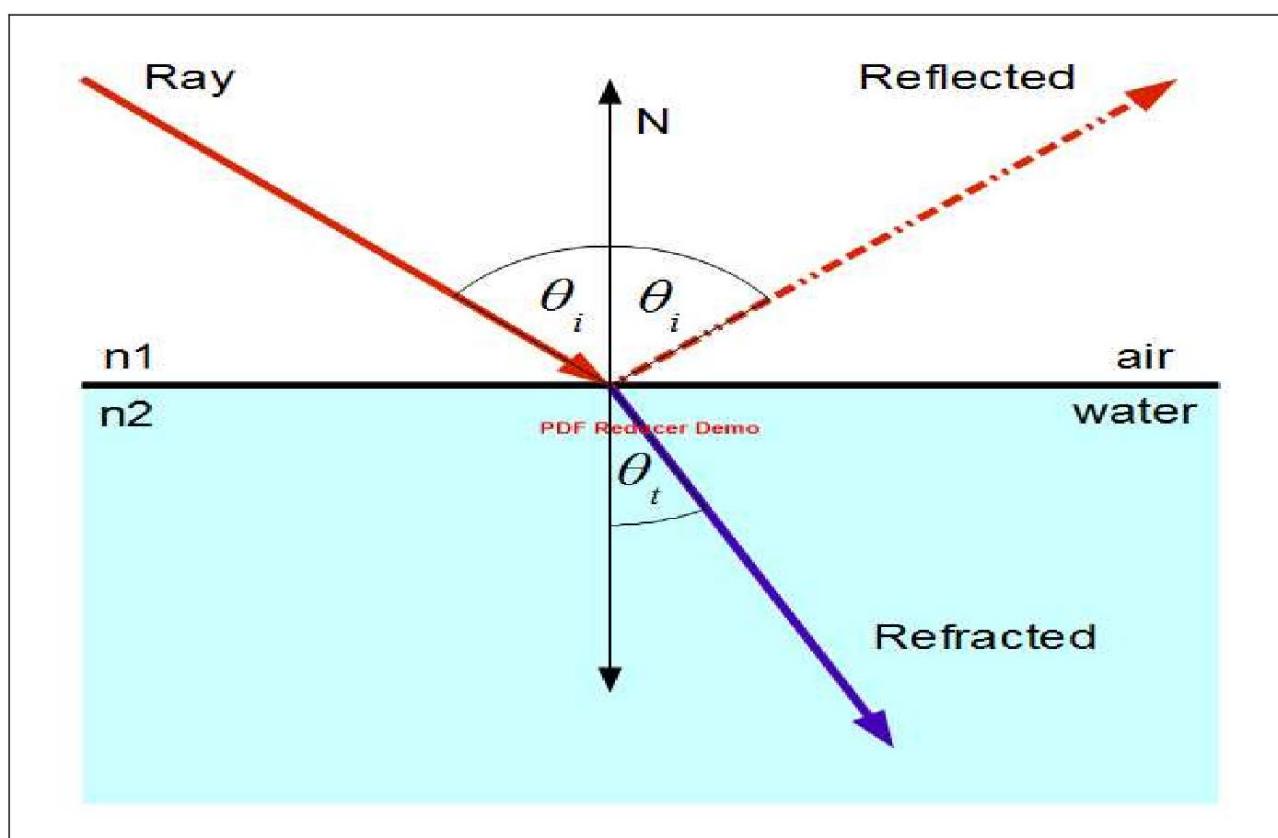
انكسار الضوء هي أحد الظواهر التي يتعرض لها الضوء. و توجد لهذه الظاهرة أهمية كبيرة لفهمها الطبيعية التي تصادفنا كما أن لها استخدامات تقنية بأجهزة علمية عديدة. إن العلاقة التي تربط بين الضوء الساقط والضوء المنكسر وضعها العالم سنيل (Snell). والذي اشار الى ان النسبة بين جيب زاوية السقوط الى جيب زاوية الانكسار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

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

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 ، ( $n_1, n_2$ ) 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 (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 ( $90^\circ$ ) اي يصبح الشعاع المنكسر بتماس مع الحد الفاصل بين الوسطين . حينها تسمى زاوي السقوط بالزاوية الحرجة ( $\theta_{crt}$ ) والتي تعرف بانها زاوية السقوط التي تصنع زاوية انكسار مقدارها ( $90^\circ$ ). وبزيادة زاوية السقوط بمقدار

اكبر من الزاوية الحرجة فنحصل على ضوء منعكس كلبا (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 :

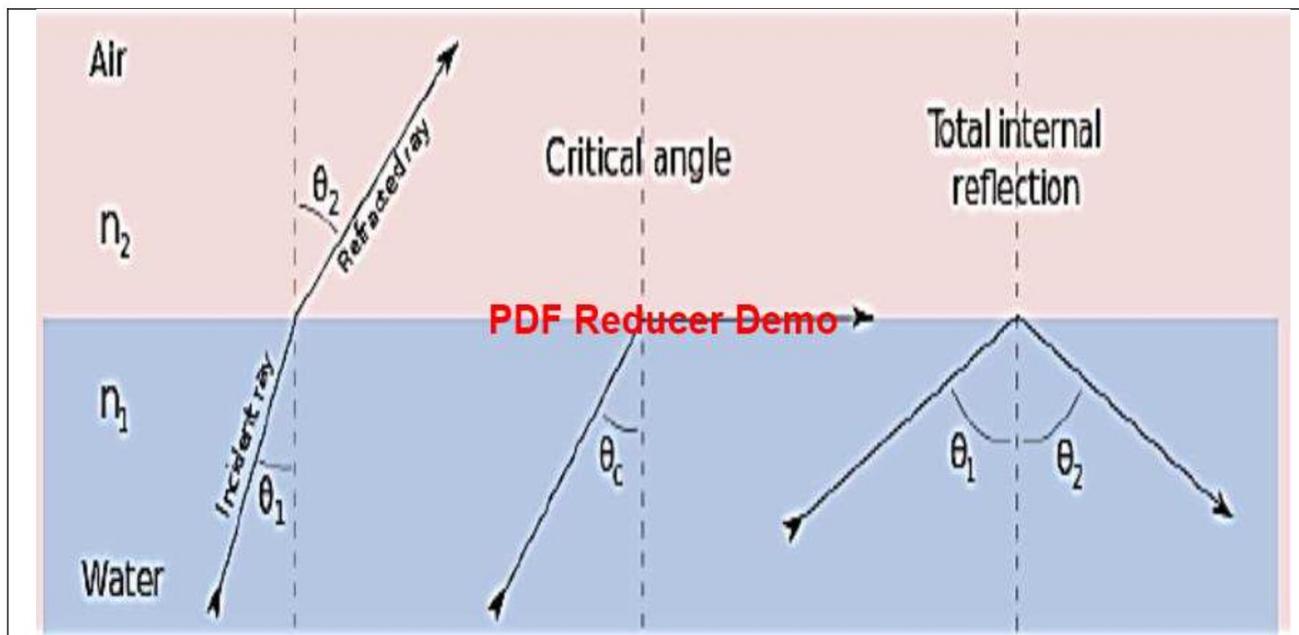
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \rightarrow n_1 \sin \theta_{crt} = n_2 \sin 90$$

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

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

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 المنشور (Refraction in Prism)

المنشور 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 تحلل 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) بزايا انكسار مختلفة، فيكون انكسار الضوء الأحمر أصغر من انكسار اللون الأزرق فينفصلا عن بعضهما (الشكل (4))، ويخرج الشعاعان الأحمر والأزرق من المنشور منفصلين. وحيث أن الضوء الأبيض مثل ضوء الشمس يحتوي على مجموعة من الألوان تشمل الأحمر والأصفر والبرتقالي والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي ، فإن جميع تلك الألوان الضوئية تتفصل 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 لقاعدته ورأسه الزاوية ، يمكن اشتقاق العلاقة بدلاله 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 إلى  $A$  بزاوية ( $\alpha$ ) ومن ثم ينكسر داخل المنشور مكوناً زاوية الانكسار ( $\beta$ ) وعليه يتحقق قانون الانكسار :

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

يمكن أيضا 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 تماثل زوايا المثلث وبإسقاط عمود من رأسه والذي بدوره ينصف زاوية الرأس تكون قد صنعنا مثاثلا قائم الزاوية، يقطع امتداد زاوية الانكسار ( $\beta$ ) ، الطريقة الأخرى تكمن في أن امتداد الزاويتين المنكسرتين سيشكل مع زاوية الرأس شكل رباعي دائري (لاحتوائه زاويتين متقابلتين قامتين هما العمودان المظللان في الشكل). وبالتالي يمكن كتابة العلاقة السابقة بالصورة :

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

مرة أخرى يكمل الشعاع المنكسر طريقه داخل المنشور موازيًا لقاعدته ويخرج من الجانب الآخر عند النقطة  $B$  وينكسر مرة أخرى مارأ بالنقطة  $C$ . نظرًا لتماثل المنشور، يمكننا تخيل العلاقة بشكل عكسي وإثبات زاوية انكساره عند الخروج هي أيضًا 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:

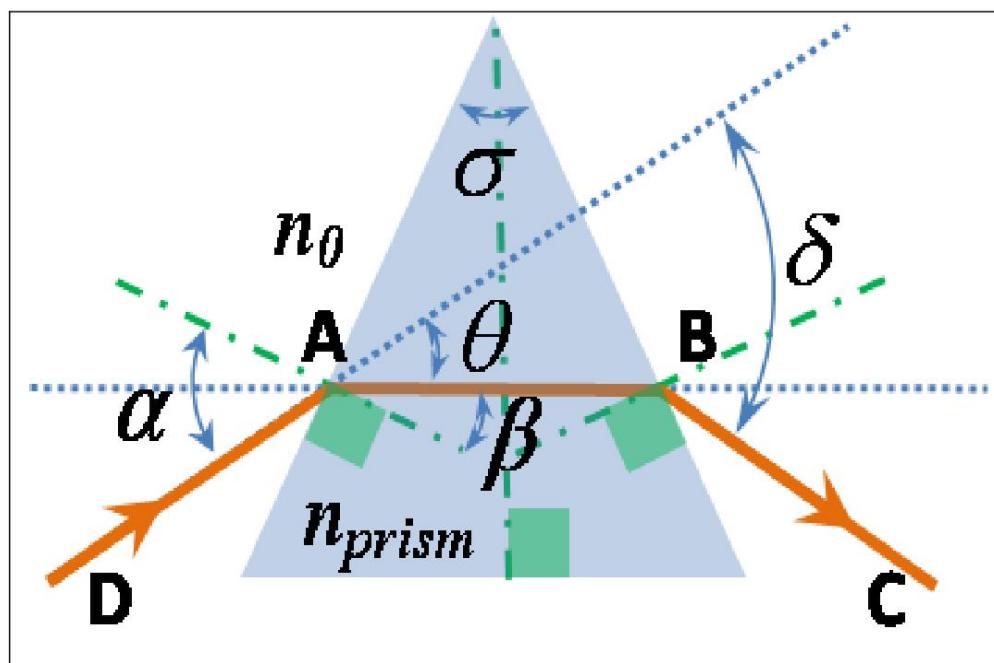
$$\delta = 2\alpha - \sigma$$

أو بعبارة أخرى :

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

بتعميض هذه القيمة في قانون الانكسار مرة أخرى نجد أن :

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



الشكل (4) : المنشور

## 7. تحلل الضوء الأبيض (Dispersion of White Light)

ينتقل الضوء على ترددات وأطوال موجية مختلفة، وكل طول موجي سرعة معينة، تختلف عند انتقال الضوء من وسط إلى آخر، فعلى سبيل المثال: تختلف سرعة الضوء في الفراغ عنها في الهواء، أو الماء، أو الزجاج، وعند مرور الضوء في وسط مختلف، فإن الأطوال الموجية المختلفة ستتكسر بزوايا مختلفة، وكلما زاد الطول الموجي زادت زاوية انكسارها، والعكس صحيح، فالانكسار يعتمد على الطول الموجي للضوء، كما يعتمد على المادة المكونة للوسط، وتكون هذه الانكسارات بزوايا مختلفة لأطوال موجية مختلفة، وهذا ما يظهر ألوان الطيف المختلفة مرتبةً حسب الطول الموجي: أحمر (أكبر طول موجي)، وبرتقالي، وأصفر، وأخضر، وأزرق، ونيلي، وبنفسجي، ويمكن الحصول على هذه الألوان عن طريق جعل الضوء ينكسر في موشور زجاجي عند مروره فيه.

إن تشکل قوس قزح في أيام العواصف المطرية عندما يخترق ضوء الشمس الغيوم الممطرة هو أحد الأمثلة على تحلل الضوء الأبيض إلى ألوان المكونة له، ويحدث ذلك بسبب انكسار ضوء الشمس في قطرات المطر، وهذا شبيه بانكسار الضوء في الموشور.

## 8. الألياف البصرية (Fiber Optics)

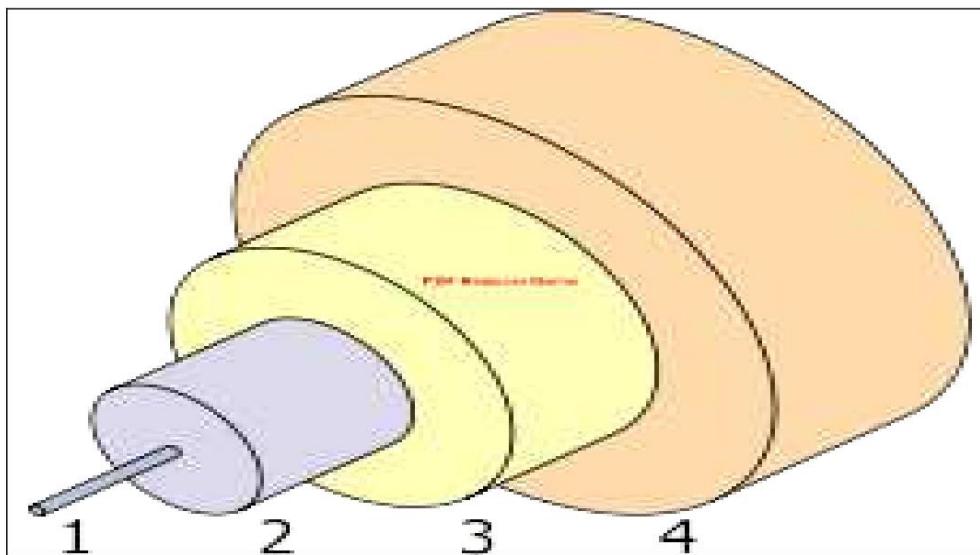
تصنع الألياف البصرية من زجاج خاص نقى للغاية، تكون طويلة ورفيعة ولا يتعدى سمكها سماكة الشعرة. يجمع العديد من هذه الألياف في حزم داخل الكابلات البصرية، وتستخدم في نقل الإشارات الضوئية لمسافات بعيدة جداً. يقوم مبدأها على ظاهرة الانعكاس الكلى ، تتعدد استعمالات الألياف البصرية في كثير من المجالات اهما المجال الطبى والهندسى والعسكري والتدريسي. الألياف البصرية تتكون من اجزاء رئيسية هي (الشكل (5)) :

1. القلب (Core) هو عبارة عن زجاج رفيع (أسطواني) ينتقل فيه الضوء ويصنع عادة من السليكا المطعمة بالجرمانيوم.(Ge-Silica).

2. الغلاف (Cladding) مادة تحيط بالقلب الزجاجي (أسطوانة أخرى محيطة) وتعمل على حفظ الضوء في مركز الليف الضوئي وهي مصنوعة من السليكا، وذلك لكي يكون معامل انكسار القلب أكبر من معامل انكسار الغلاف، وهو الشرط المطلوب لحصول ظاهرة الانعكاس الكلى الذي هو أساس توجيه الضوء في الألياف الضوئية، إذ ينعكس الضوء كلها وبتكرار الانعكاس ينتشر الضوء داخل قلب الليف الضوئي ويصل إلى النهاية الأخرى للليف.

3. الغطاء الواقي (Buffer Coating) غلاف بلاستيكي يحمي الليف الضوئي من الرطوبة ويعطيه من الضرر والكسر.

4. الغلاف الخارجي (jacket) هو غلاف خارجي يجمع مئات من هذه الألياف البصرية تصنف معا في حزمة لتكون الحبل البصري .



الشكل (5) : مكونات الليف البصري

عندما يدخل شعاع ضوئي بزاوية ( $\theta$ ) على الجدار بين القلب و الغلاف فإن جزء منه ينعكس بنفس الزاوية، اذا ما حسبنا الزاويتين انطلاقا من المستقيم العمودي على الجدار في نقطة الدخول، والجزء الآخر ينكسر بزاوية ( $\phi$ ) بالانتقال إلى الغلاف ذي معامل الانكسار( $n_2$ )قادما من القلب ذي معامل الانكسار ( $n_1$ ) حسب قانون سنيل ، تظهر هذه العلاقة أنه إذا كان للقلب معامل انكسار أكبر من معامل الغلاف فإننا قد نجد مجالا من قيم ( $\theta$ ) حيث لا يحدث انكسار (انعكاس كلي) وبالتالي عدم ضياع الشعاع وهي ما تعرف بالزاوية الحرجة.

عندما ينتقل الضوء في وسط كثيف ضوئيا يسقط عند زاوية حادة اكبر من الزاوية الحرجة ، فينعكس الضوء كليا . هذا التأثير يستخدم في الالياف الضوئية للحد من انتشار الضوء في النواة . الضوء ينتقل من خلال نواة الالياف، من خلال الانعكاس ذهابا وايابا بين حدود النواة والغلاف. بشرط ان تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة فتسمى في هذه الحالة زاوية القبول (acceptance angle)، والمجال المسموح للزوايا يسمى مخروط القبول. الضوء الذي يدخل الالياف ضمن مجال الزاوية الحرجة يستطيع التنقل اسفل الالياف دون ان يتشتت. جيب هذه الزاوية القصوى يسمى الفتحة العددية (numerical aperture NA) . الشكل (6) يوضح طريقة انتقال الشعاع الضوئي داخل الليف البصري عن طريق الانعكاس الكلي.