

الفيزياء البصرية
المرحلة الثانية

إعداد

أ.م.د. مصطفى حسام

الفصل الأول : طبيعة الضوء

الضوء : هو ذلك الإشعاع الذي يؤثر على العين ويسبب الرؤية وقد مر هذا التعريف بمراحل تاريخية متعددة إلى أن أصبح بصيغته هذه وهو تعريف طبيعي لا يتدخل في التفاصيل الدقيقة أو الطبيعية للضوء . ولكن **التعريف الدقيق لضوء أو التعريف العلمي للضوء هو** [أن الضوء عبارة عن اضطراب ينتشر على هيئة موجات كهرومغناطيسية مستعرضة تثير الإحساس بالرؤية في عين الإنسان وتبلغ سرعة الضوء $(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ وله طاقة إشعاعية تتحول إلى الأنواع الأخرى المعروفة من الطاقة تحقيقاً لمبدأ حفظ الطاقة (الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم)].

الموجات الكهرومغناطيسية تمتد على مدى واسع جداً وهو ما يسمى بالطيف الكهرومغناطيسي ويبدأ من أشعة جاما ذات الطول الموجي $3 \times 10^{-17} \text{ m}$ إلى موجات الراديو الطويلة التي تقاس بالكيلومترات . ومن هذا الطيف الكهرومغناطيسي فإن الأطوال الموجية التي تراها عين الإنسان تمتد عبر شريط ضيق جداً منه يقع بين حوالي $(7 \times 10^{-7} \text{ m})$ للون الأحمر و $(4 \times 10^{-7} \text{ m})$ للون البنفسجي. و المناطق الطيفية المجاورة لهذا الشريط يطلق عليها أيضاً في العادة ضوء و هي منطقة الأشعة تحت الحمراء المجاورة للمنطقة الحمراء و منطقة الأشعة فوق البنفسجية المجاورة للمنطقة البنفسجية على الجانب الآخر.

توصف جميع الخواص المعروفة للضوء بدلالة التجارب التي اكتشفت بها و كذلك من خلال التجارب الإيضاحية وبالرغم من اتخاذ التجارب خواص متعددة إلا انه يمكن تصنيف التجارب تحت ثلاثة عناوين وهي:

1- البصريات الهندسية.

2- البصريات الموجية (الطبيعة).

3- البصريات الكمية.

البصريات الهندسية وتشمل دراسة انتشار الضوء في خطوط مستقيمة، سرعة الضوء، خواص الضوء، الانعكاس، الانكسار، التشتت، خواص الضوء عند السطوح، والأجهزة البصرية، العدسات والمرايا وهذا الذي يهتما في هذا البحث.

البصريات الموجية هي التداخل، الحيود، الاستقطاب، الانكسار المزدوج والأطياف الضوئية.

البصريات الكمية وتشمل دراسة المدرات الذرية وكثافة الاحتمالية وتوزيعات الالكترونات ومستويات الطاقة و كمية الإشعاع الصادرة عن الأجسام والكمات حسب نظرية الكم لبلائنك وأشعة الليزر وأشعة اكس وجسيمات ألفا وبيتا وجاما.

الضوء وطبيعة انتشاره :

ينتشر الضوء في جميع الاتجاهات وبسرعة فائقة جداً لدرجة لا يوجد في حياتنا اليومية أي شيء يدعونا للقول أنه يتحرك أسرع من الضوء ، يكون انتشار الضوء في خطوط مستقيمة لذلك فان لكل جسيم معين هناك ظل عند سقوط الضوء عليه أو على أي شيء يصدر منه ، لذلك يمكن القول بأن انتشار الضوء بخطوط مستقيمة هو مبدأ علمي يتحقق من مشاهدة الظل وكذلك فإن تكون الضوء بالكاميرات هو تطبيق أو تحقيق آخر لهذا المبدأ. تختلف حساسية العين باختلاف الطاقة الإشعاعية المستقبلية من الأجسام المضيئة أو المرئية والعين قادرة على التمييز بين الألوان المختلفة المكونة للضوء العادي وهو ضوء الشمس المرئي الواصل لسطح الأرض ولكل لون خواص مختلفة عن اللون الآخر حيث تقع حد حساسية العين في التمييز أو الرؤية للألوان أي للموجات

الضوئية بين الضوء الذي طول موجته (4000 A) وإلى (7000 A) أي هاتين القيمتين هما حدود الإحساس بالرؤية.

لكن للعين ايضاً أن تكشف ضوء بطول موجة خارج عن هذه الحدود إذا كانت شدة الضوء عالية لدرجة كافية وتستخدم الألواح الفوتوغرافية والكاشفات الالكترونية الحساسة للكشف عن الإشعاع بدلاً عن العين البشرية وخاصة خارج الحدود المذكورة (7000 A - 4000 A) وهذه الحدود تعرف بحدود الضوء المرئي (visible light).

وحسب تعريفنا السابق للضوء فيمكن أن نعطي تعريف حسب طبيعة الضوء واستناداً (إلى النظريات) بأنه عبارة عن اضطراب كهرومغناطيسي ينتشر على هيئة موجات مستعرضة وتتميز الموجة عامة بالعوامل التالية

- 1- سعة الموجة (a) بالمتر.
- 2- طول الموجة (λ) بالمتر.
- 3- سرعة الموجة (v) متر/ثانية.
- 4- التردد (f) بالهرتز أي دورة/ثانية.
- 5- العدد الموجي (k) أي عدد الموجات لكل وحدة طول والذي يساوي ($\frac{2\pi}{\lambda} m^{-1}$).
- 6- السرعة الزاوية (ω) والذي يساوي ($\omega = 2\pi f$).

العلاقة الخاصة بسرعة الموجات تعطى كالتالي ($v = f \times \lambda$).

وفي علم البصريات والموجات تقاس الأطوال بوحدات صغيرة جداً والمستخدم هو الميكرومتر (μ) و النانومتر (nm) و الانجستروم (A) حيث : $1nm = 10^{-9}m$, $1\mu = 10^{-6}m$, $1A = 10^{-10}m$

ومنبع الضوء حولنا هي الشمس وهذا لا يعني أن الشمس فقط هي مصدر الضوء الوحيد فمثلاً نحصل على الضوء من الكهرباء ومن المصابيح الزيتية مثل مصابيح الإنارة.

سرعة الضوء :

كان الفلكيون يعتقدون أن الضوء ينتقل بسرعة لانهائية كما كان يُعتقد أن أي حدث يحدث في أي مكان في الكون يلاحظ في جميع النقاط الأخرى في الكون في الوقت ذاته.

ويقال أن جاليليو قد حاول أن يقيس سرعة الضوء عام 1600م ولكنه لم ينجح في تلك الفترة إلا بعد محاولات متعددة وأقتنع أن سرعة الضوء لانهائية أي لا يوجد شيء أسرع من الضوء.

ولكن في عام 1849م نجح العالم فيزو بإعطاء قيمة مطلقة لسرعة الضوء على كوكب الأرض وهي ($2.9999 \times 10^8 m/s$) أما في الفضاء فان سرعة الضوء المطلقة هي ($3 \times 10^8 m/s$) أما هذا الفرق البسيط لا قيمة له في الحسابات . أما في الأوساط المادية فينتقل الضوء بسرعة معتمدة على خواص الوسط حيث نستطيع وضع معادلة بين سرعة الضوء في الوسط (v) وسرعة الضوء في الفراغ (c) حيث:

$$n = c / v$$

حيث (v) سرعة الضوء في الوسط المادي.

و(c) سرعة الضوء في الفراغ .

و(n) معامل الانكسار للوسط حيث يمثل نسبة سرعة الضوء في الفراغ ال سرعة الضوء في الوسط.

مثلا سرعة الضوء في الماء هي ثلاثة أرباع سرعة الضوء في الفراغ.

وسرعة الضوء بالزجاج هي ثلثي سرعة الضوء في الفراغ.

نظريات تفسر سلوك الضوء :

ظهرت عدة نظريات لتفسير ظواهر الضوء عند اصطدامه أو إختراقه أو امتصاصه في الأوساط منها :

1- نظرية الدقائق لنيوتن.

2- نظرية ماكسويل للموجات الكهرومغناطيسية.

3- نظرية اينشتاين للفوتون.

4- النظرية الموجية الكمية.

1- نظرية الدقائق لنيوتن :

تصور نيوتن أن الجسم المضيء تنبعث منه جسيمات دقيقة كروية تامة المرونة و تسير بسرعة منتظمة كبيرة جداً وتختلف من وسط إلى آخر حسب كثافته. وتكون حركة هذه الجسيمات الكروية في خطوط مستقيمة في الوسط المتجانس الواحد وقد استدل نيوتن على أن الأشعة الضوئية عندما تصطدم بسطح عاكس فإن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس كاصطدام كرة تامة المرونة بسطح أملس مرتدة بحيث زاوية سقوطها تساوي زاوية انعكاسها.

أما في ظاهرة الانكسار فإنه قد فسره نيوتن عندما تخترق هذه الجسيمات الكروية الضوئية اوساطاً مختلفة الكثافة مثل الماء أو الزجاج فأنها تنكسر داخل كل وسط وتتحرف عن المسار المستقيم لها. فعند انتقال الضوء من وسط اقل كثافة مثل الهواء إلى وسط أكثر كثافة مثل الماء فأن الوسط المائي يحرف هذه الجسيمات الضوئية إلى أسفل ومعنى ذلك أن المركبة الرأسية لسرعة الضوء المنكسر سوف تقل بحيث تقترب الجسيمات الكروية الضوئية من العمود على السطح الفاصل بين الوسطين .

وبذلك سوف تزداد السرعة المحصلة أي أن سرعة الضوء في الوسط الكثيف سوف تزداد وتصبح أكبر من سرعة الضوء في الوسط الخفيف (أي أن سرعة الضوء تعتمد على الكثافة الضوئية للوسط). وهذا غير صحيح ويخالف التجارب العلمية حيث أن سرعة الضوء تكون اكبر ما يمكن في الفراغ أي تزداد كلما قلت الكثافة للوسط فأن سرعة الضوء في ذروتها في الفراغ وبالتالي فشلت نظرية نيوتن في تفسير ظاهرة الحيود والتداخل والاستقطاب.

2- نظرية ماكسويل للموجات الكهرومغناطيسية :

وجد ماكسويل أن الضوء هو موجة كهرومغناطيسية سرعتها تساوي سرعة الضوء. أي أن الضوء موجات كهرومغناطيسية لها طاقة إشعاعية وقد أتضح أنه ليست الشحنة الكهربائية تولد مجالاً كهربائياً وهي ساكنة أو

مجالاً مغناطيسياً وهي متحركة بل أيضا أن التغير في المجال الكهربائي يولد مجالاً مغناطيسياً وهذا نص قانون (أمبير) وأن التغير في المجال المغناطيسي يولد مجال كهربائي وهذا نص قانون (فاراداي). هذه الحقيقة هي نص أو أصل تكوين الموجات الكهرومغناطيسية حيث أن شحنة كهربائية متذبذبة تولد في الفضاء مجالين كهربائي و مغناطيسي أي مجالاً (كهرومغناطيسي) متغير وهذا المجال يتحرك في الفراغ بسرعة الضوء نفسها .

3- نظرية اينشتاين للفوتون :

من أهم العلماء الفيزيائيين الذين قاموا بتفسير سلوك الضوء حول العالم بلانك الذي درس الطاقة الإشعاعية المنبعثة من الاجسام الساخنة واستطاع حسابها بالقانون التالي:

$$E = f \times h$$

حيث (E) هي الطاقة و (h) هو ثابت يسمى ثابت بلانك ويساوي (J.S) 6.635×10^{-34} و (f) هو التردد الضوء المنبعث.

وأن الضوء ينبعث على شكل كمات صغيرة سماها الفوتون واقترح اينشتاين على اساس فرض بلانك أن الطاقة في الحزم الضوئية تسير في الفراغ بشكل حزم مركزة من الطاقة وهي الفوتونات ويكون انبعاثها على شكل كمات أي دفعات واقترح أن الضوء المار خلال الفراغ لا يسلك سلوك الموجة اطلاقاً بل سلوك جسيم الفوتون وبذلك تعارض اينشتاين في أول الأمر مع مبدأ النظرية الموجية للضوء التي حققت نتائج مخبريه عظيمة ولكن بعد مرور فترة زمنية أيد اينشتاين فكرة النظرية الموجية وعارض نفسه أي عارض مبدأ سلوك الجسيمات. وفي عام 1924م وضع العالم (ديبرولي) مبدأ هام جداً وهو المبدأ السائد حتى الآن والذي نال على أثره شهادة الدكتوراه في الفيزياء وينص على:

(أن للضوء صفة مزدوجة فهو يسلك سلوك الموجة تحت ظروف معينة - وهذا يفسر الانعكاس والانكسار والاستقطاب و الحيود و التداخل وهذا ما يتفق مع نظرية ماكسويل)- وأن الضوء يسلك سلوك الجسيم (الفوتون) تحت ظروف أخرى -وهذا يفسر تفاعل الضوء مع المواد والظاهرة الكهروضوئية وظاهرة كومبتون وغيرها وهذا ما يتفق مع نظريات اينشتاين- نيوتن) . وهذا يعني أن للضوء صفة مزدوجة .

4- النظرية الموجية الكمية :

لدراسة انتقال الطاقة كحركة موجية يتطلب عادة وسط حيث تتذبذب جزيئات الوسط. فالجسيم المتذبذب يؤثر بقوة على جاره فيجعله يتذبذب ايضاً وبهذه الطريقة فإن الحركة من جسيم إلى آخر وبالتالي يتم انتقال الطاقة الموجية وهي حالة مشابهة لما يحدث في الماء عندما تنقل الطاقة إلى الضفة دون أن تنتقل جسيمات الماء نفسه. وفكرة الأثير ابتكرت كي يكون هذا الوسط هو الوسط الناقل لضوء بالطريقة السابقة. ولكن الضوء حسب النظرية الكهرومغناطيسية لا يحتاج إلى وسط فهو يأتي من الشمس أي في الفراغ الذي لا وسط فيه وبسرعة الضوء المطلقة وقد استبدل في النظرية الكهرومغناطيسية الجسيمات المتذبذبة في حركة منتظمة وتوافقية بتغير المجالين الكهربائي (E) والمغناطيسي (B). وقد عرفت جبهة الموجة على أساس ذلك بأنها المحل الهندسي لجميع النقاط ذات الطور الواحد.

مبدأ هيجنز : افترض هيجنز أن الضوء على هيئة موجات ولم يتعرض لطبيعة هذه الموجات ولا لخواصها الكهرومغناطيسية و أنما وضع مبدأ على أساس هندسي وينص المبدأ :

(أن جميع النقاط التي تقع على جبهة الموجة يمكن اعتبارها مصادر لأمواج نقطية ثانوية تصدر منها موجات ثانوية كروية وأن السطح المماس لكل هذه الموجات الثانوية يشكل جبهة الموجة الجديدة).

معامل الانكسار: يعرف معامل الانكسار أي وسط ضوئي بأنه :

(النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعة الضوء في ذلك الوسط ويرمز له بالرمز n) وهو عديم الوحدات.

$$n = c / v$$

وهذه بعض قيمه :

$$\text{للزجاج} = 1.520$$

$$\text{للماء} = 1.333$$

$$\text{للجليد} = 1.310$$

$$\text{للغواء} = 1.000001$$

الكثافة البصرية :

تعرف الكثافة البصرية لأي وسط شفاف مقياسا لمعامل انكساره. فيقال أن الكثافة البصرية عالية للوسط إذا كان معامل انكساره كبير. ويقال أن الكثافة البصرية للوسط صغيرة إذا كان معامل انكساره صغير.

المسار الضوئي:

لكي نعرف أساسيات البصريات الهندسية يجب التعرف على كمية جديدة تسمى المسار الضوئي. ويمكن أعطاء تعريف للمسار الضوئي بأنه :

(هو المسافة التي يقطعها الشعاع الضوئي في الفراغ في نفس الزمن الذي يستغرقه لاختراق وسط مادي). فإذا اخترق شعاع وسط معامل انكساره (n) لمسار هندسي (l) فيكون الزمن الذي استغرقه الشعاع في الوسط هو (t) ويساوي:

$$t = l / v \implies v = l / t$$

حيث (v) سرعة الضوء في ذلك الوسط.

$$n = c / v \implies v = c / n$$

ولكن

إذا

$$l / t = c / n \implies c \times t = l \times n \implies t = (l \times n) / c \implies t = L / c$$

حيث ان المسار الضوئي ($L = l \times n$) هي المسافة التي يقطعها الشعاع بسرعة (c) أي في الفراغ وبشكل عام فأن :

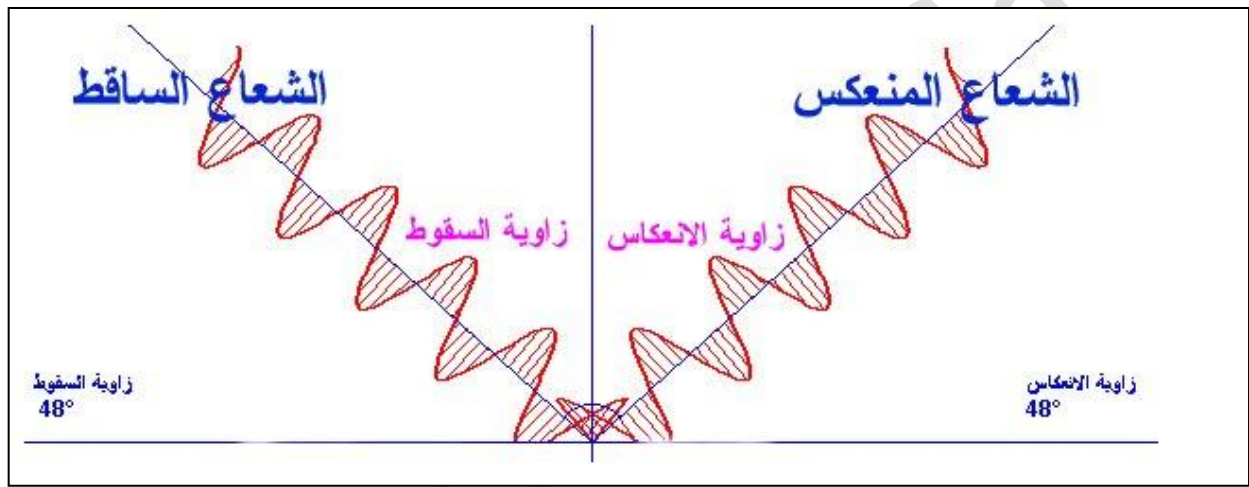
المسار الضوئي = المسار الهندسي \times معامل الانكسار

انعكاس الضوء

انعكاس الضوء : هو ارتداد الأشعة الضوئية في نفس الوسط عندما تقابل سطحاً عاكساً

الشعاع الساقط : هو الشعاع الذي يصل إلى السطح العاكس

الشعاع المنعكس : هو الشعاع الذي يرتد عن السطح العاكس



زاوية السقوط هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس

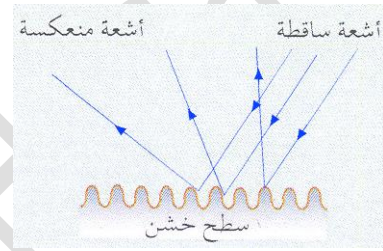
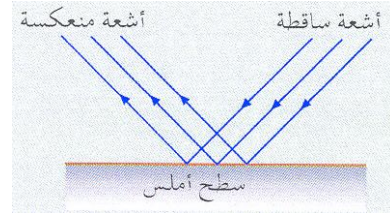
زاوية الانعكاس هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس

قانونا الانعكاس Laws of Reflection

القانون الأول : زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

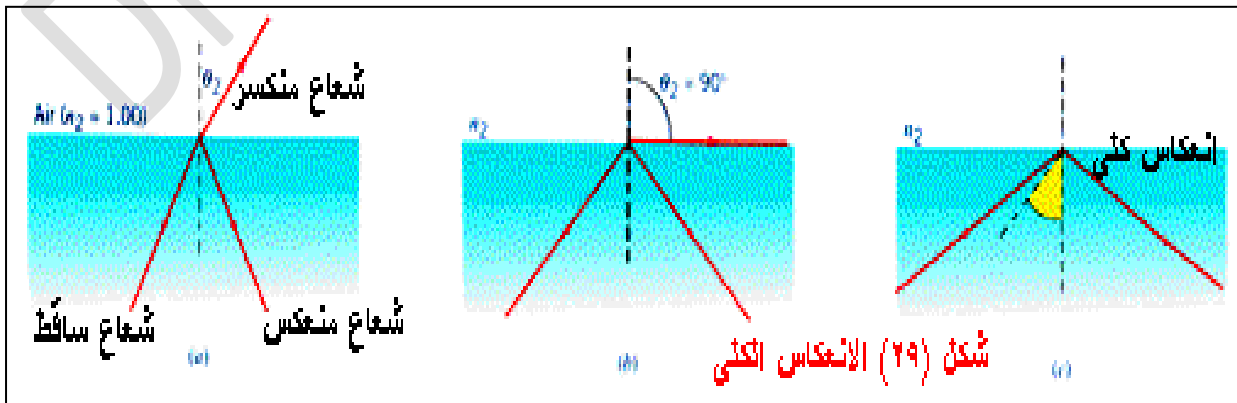
القانون الثاني : الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعاً في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس

| نوع الانعكاس | الخواص |
|------------------|---|
| (أ) انعكاس منتظم | <p>1- ينعكس الضوء في اتجاه واحد فقط.</p> <p>2- يحدث على مرآة أو سطح ماء صاف ساكن.</p> |
| (ب) انعكاس مشتت | <p>1- ينعكس الضوء خلال مدى من الزوايا المختلفة.</p> <p>2- يحدث على الأسطح الخشنة مثل جدار غير ناعم، أو شاشة ورقية، أو قماش.</p> |



الانعكاس الكلي والزاوية الحرجة

عندما ينتقل الضوء من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية أي معامل الانكسار إلى وسط أقل كثافة ضوئية أي معامل الانكسار على سبيل المثال من الماء إلى الهواء فإن الشعاع المنكسر يبتعد عن العمود أي تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط شكل (29) (a). وكلما زادت زاوية السقوط زادت زاوية الانكسار وعندما تصل زاوية السقوط في الوسط الأكبر في معامل الانكسار قيمة معينة تسمى الزاوية الحرجة تصبح زاوية الانكسار 90° أي أن الشعاع المنكسر يكون في اتجاه السطح الذي يفصل الوسطين (شكل b)



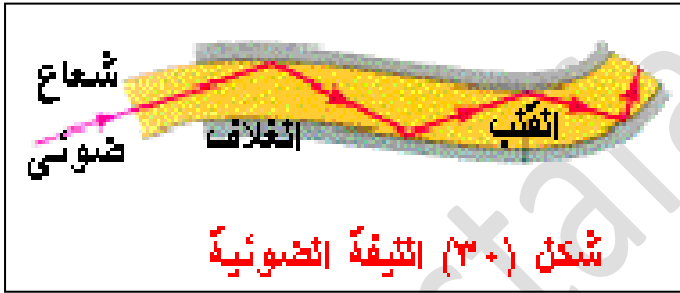
الزاوية الحرجة (θ_c) : هي زاوية سقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية (الأكبر في معامل الانكسار) تقابلها زاوية انكسار في الوسط الأقل كثافة ضوئية (الأقل في معامل الانكسار) تساوى 90° درجة .
وإذا زادت زاوية السقوط في الوسط الأكبر في معامل الانكسار عن الزاوية الحرجة فإن الضوء الساقط لا ينتقل إلى الوسط الآخر إنما ينعكس إلى نفس الوسط الساقط منه بحيث تكون زاوية الانعكاس تساوى زاوية السقوط ، و تسمى هذه الظاهرة بالانعكاس الكلى . و تحدث ظاهرة الانعكاس الكلى فقط عند انتقال الضوء من الوسط الأكبر في معامل الانكسار إلى الوسط الأقل في معامل الانكسار و لا تحدث في الحالة العكسية . و تعتمد قيمة الزاوية الحرجة لوسط ما على معامل انكسار كل من وسطى السقوط و الانكسار و هي تساوى

$$\sin \theta_c = \frac{n_2 \sin 90}{n_1}$$

و عندما يكون وسط الانكسار n_2 (وهو الوسط الأقل في معامل الانكسار) هو الهواء فإن الزاوية الحرجة تساوى $\sin \theta_c = \frac{1}{n_1}$ حيث n_1 هو معامل الانكسار للوسط الأكبر كثافة ضوئية.

بعض التطبيقات على ظاهرة الانعكاس الكلى :

❖ الألياف الضوئية :



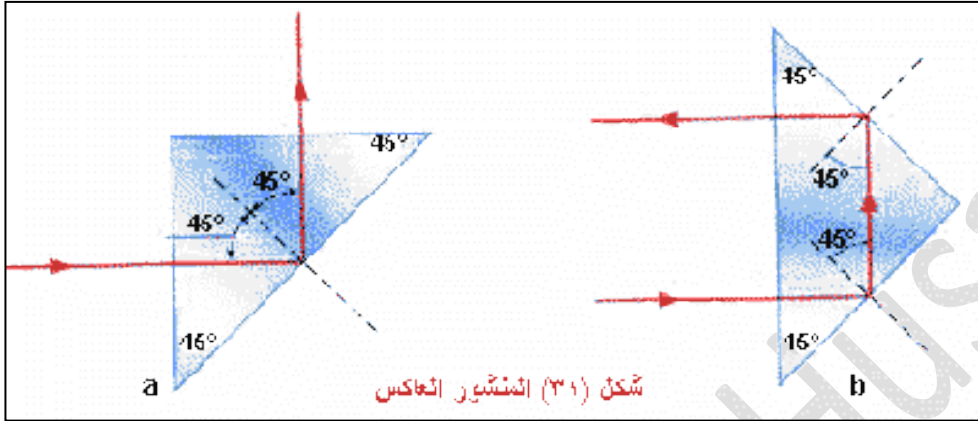
تعتبر الألياف الضوئية من أحد التطبيقات الهامة لظاهرة الانعكاس الكلى حيث تقوم "ليفة" في سمك شعرة الرأس من الزجاج أو البلاستيك بنقل الضوء من مكان إلى آخر و تسمى الليفة الضوئية Optical Fiber و تتكون الليفة الضوئية من

قلب core اسطوانى و هو الذى يحمل الضوء مغلف بغلاف cladding على شكل اسطوانة متحدة المحور مع القلب و يصنع القلب من الزجاج أو البلاستيك ذو معامل انكسار أكبر من معامل انكسار مادة الغلاف التى تكون عادة أيضا من نوع آخر من الزجاج أو البلاستيك. و بذلك فإن الضوء الذى يدخل من أحد طرفى الليفة الضوئية بحيث يسقط على السطح الفاصل بين قلب الليفة والغلاف بزوايا أكبر من الزاوية الحرجة ينعكس انعكاسا كليا ويرتد إلى القلب مرة أخرى و يسقط على السطح الفاصل فى نقطة أخرى بزوايا أكبر من الزاوية الحرجة .

وهكذا فإن الضوء يعانى انعكاسات كلية متعاقبة حتى يخرج من الطرف الآخر من الليفة الضوئية. وفى الأنواع الجيدة من الألياف الضوئية تكون كمية الضوء المفقودة بالامتصاص فى قلب الليفة الضوئية قليلة جدا و بذلك يمكن نقل الضوء لمسافة قد تبلغ بضعة كيلومترات دون أن تقل شدته بكمية كبيرة .
وعادة يوضع عدد كبير من الألياف الضوئية مع بعضها لتكون حزمة مرنة (كابل) . و تستخدم كابلات الألياف الضوئية فى مجال الاتصالات حيث يحمل الضوء المعلومات خلال الألياف الضوئية تماما كما يحملها التيار الكهربى خلال الأسلاك مع مميزات هامة للألياف الضوئية منها أن الضوء المحمول لا يتأثر بتداخلات المجالات الكهربائية بالإضافة إلى السعة العالية لنقل المعلومات . فشعاع الليزر الذى ينتقل فى ليفة ضوئية واحدة يمكنه نقل بضعة عشرات من المكالمات التلفونية وبضعة برامج تلفزيونية فى وقت واحد . ولقد لاقت تطبيقات الألياف الضوئية فى مجال الطب نجاحا منقطع النظير وعلى سبيل المثال فى مجال المناظير التى تستخدم فى التشخيص لأمراض الرئة والمعدة والأمعاء وغيرها و كذلك فى مجال الجراحة لمعظم أعضاء الجسم و التى أصبحت تتم بفتحات صغيرة للغاية . وهناك مجالات كثيرة أخرى تستخدم فيها الألياف الضوئية

❖ المنشور العاكس :

في كثير من الآلات البصرية مثل البيروسكوب و التليسكوب يستخدم منشور ثلاثي في وضع تستغل فيه ظاهرة الانعكاس الكلي لتغيير مسار الضوء بمقدار 90° أو 180° . و المعروف أن معامل انكسار الزجاج 1.5 و معامل انكسار الهواء 1 و بذلك تكون الزاوية الحرجة من الزجاج إلى الهواء 42° درجة . شكل (31) يوضح مسار شعاع ضوئي يسقط على منشور ثلاثي 90° ، 45° ، 45° من زجاج معامل انكسار مادته 1.5 . يسقط الضوء عموديا على أحد الأوجه المجاورة للقائمة فيمردون أن يعانى انكسارا ليسقط بزاوية 45°

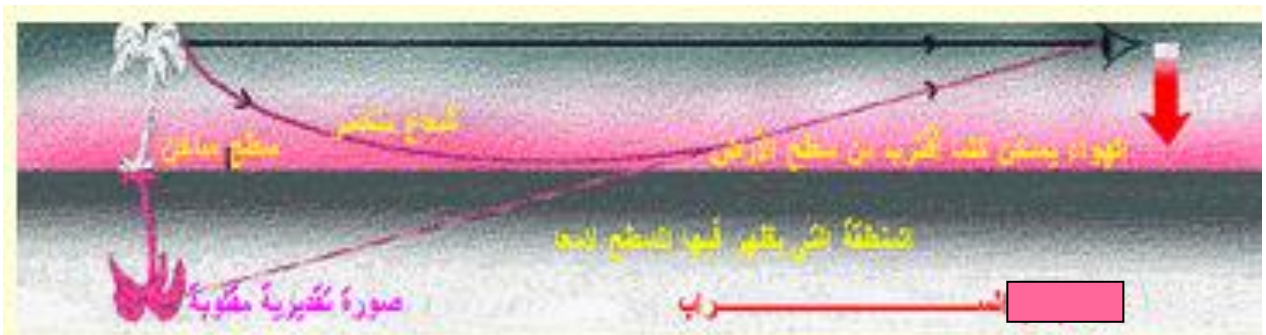


درجة مع العمود على الوجه المقابل للقائمة . و هذه الزاوية أكبر من الزاوية الحرجة زجاج / هواء فيعانى الشعاع انعكاسا كلياً و يتردد بزاوية انعكاس 45° درجة مع العمود و

يسقط عموديا على الوجه الآخر المجاور للقائمة و يخرج إلى الهواء دون أن يعانى انكسارا على هذا الوجه . و بذلك يكون مسار الضوء قد تغير بمقدار 90° درجة . أما الشكل (b) فيوضح كيفية استخدام المنشور العاكس لتغيير مسار الضوء بمقدار 180° درجة حيث يحدث الانعكاس الكلي مرتين في هذه الحالة .

❖ السراب :

يتكون السراب نتيجة لانكسار الضوء في الهواء . و هو يحدث عندما تكون طبقات الهواء القريبة من سطح الأرض أقل كثافة من طبقات الهواء الأعلى . فعندما تسطح الشمس في أيام الصيف في الصحراء أو على الطرق المرصوفة ترتفع درجة حرارة سطح الأرض و بالتالي درجة حرارة طبقة الهواء الملاصقة والقريبة من سطح الأرض فتتمدد و تقل كثافتها وكذلك كثافتها الضوئية ومعامل انكسارها . وبذلك يزداد معامل انكسار الهواء تدريجيا كلما ارتفعنا إلى أعلى حيث يبرد الهواء . ونتيجة لذلك فإنه بالنسبة للمشاهد الذي ينظر إلى جسم بعيد مثل نخلة أو شجرة مثلا فإن الضوء يصل إلى عينيه عن طريق مسارين كما هو موضح بشكل أدناه ، مسار مستقيم و مسار منحنى و بذلك فإن عين المشاهد سترى الجسم في موضعه الحقيقي و سترى في أسفله صورة مقلوبة له .



هذه الصورة المقلوبة هي صورة تقديرية و تسمى السراب mirage وهي شبيهة بالصورة التي تحدث بالانعكاس على سطح الماء و لذلك يظن المشاهد الذي يسير في الصحراء أو على الطرق المرصوفة في الصيف وجود ماء على بعد .

و تفسير المسار المنحني هو أن شعاع الضوء الصادر من الجسم البعيد و هو النخلة في الشكل يعاني انكسارا عند انتقاله إلى الطبقة التي أسفل والأقل في معامل الانكسار فيبتعد عن العمود و بتوالي الانكسار يتغير مسار الضوء تدريجيا حسب التغير التدريجي في كثافة الهواء . و عندما تصبح زاوية السقوط في إحدى الطبقات أكبر من الزاوية الحرجة بالنسبة للطبقة التي تحتها يعاني شعاع الضوء انعكاسا كليا و يتخذ مرة أخرى مسارا منحنيا مقتربا من العمود إلى أن يصل إلى العين . والعين ترى صورة الجسم على امتداد الأشعة التي تصل إليها و كذلك بالنسبة للنقاط الأخرى على الجسم ولذلك فإن العين ترى صورة مقلوبة للجسم .

انكسار الضوء

انكسار الضوء : هو تغير اتجاه الشعاع الضوئي عندما يجتاز السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين

السطح الفاصل : هو السطح الذي يفصل بين وسطين شفافين مختلفين في الكثافة الضوئية

الكثافة الضوئية : لوسط ما هي قدرة الوسط على كسر الأشعة الضوئية عند نفاذها فيه

الشعاع الضوئي الساقط : هو الشعاع المتجه إلى السطح الفاصل ويقابله في نقطة السقوط

زاوية السقوط هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل

الشعاع الضوئي المنكسر : هو المسار الجديد للشعاع الضوئي في الوسط الثاني بعد نفاه من السطح الفاصل

زاوية الانكسار هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل

قانونا الانكسار

القانون الاول : النسبة بين جيب زاوية السقوط في الوسط الأول وجيب زاوية الانكسار في الوسط الثاني نسبة ثابتة لهذين الوسطين وتسمى معامل الانكسار من الوسط الأول إلى الوسط الثاني

القانون الثاني : الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعا في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل

معامل الانكسار النسبي بين وسطين

هو النسبة بين جيب زاوية السقوط في الوسط الأول وجيب زاوية الانكسار في الوسط الثاني

ملاحظات هامة: إذا سقط شعاع عموديا على السطح الفاصل تكون زاوية السقوط صفرا وبالتالي تصبح زاوية الانكسار صفرا فينفذ الشعاع في الوسط الثاني على استقامته دون أن يعاني انكسارا

المصطلحات

انكسار الضوء

هو تغير اتجاه الشعاع الضوئي عندما يجتاز السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين الكثافة الضوئية لوسط ما

هو المقدار الذي يميز اعتماد سرعة انتشار الضوء على نوع الوسط وتقاس بالقيمة العددية لمعامل الانكسار المطلق للوسط أو هي قدرة الوسط على كسر الأشعة الضوئية عند نفاذها فيه السطح الفاصل

هو السطح الذي يفصل بين وسطين شفافين مختلفين في الكثافة الضوئية الشعاع الضوئي الساقط

هو الشعاع المتجه الى السطح الفاصل ويقابله في نقطة السقوط

زاوية السقوط : هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الضوئي الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل

الشعاع الضوئي المنكسر : هو المسار الجديد للشعاع الضوئي في الوسط الثاني بعد نفاذه من السطح الفاصل زاوية الانكسار : هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الضوئي المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل

قانون الانكسار الأول : نسبة جيب زاوية السقوط الى جيب زاوية الانكسار لوسطين معينين هي مقدار ثابت يعرف بمعامل الانكسار النسبي بين الوسطين

قانون الانكسار الثاني : يقع الشعاع الساقط والشعاع المنكسر في مستوى واحد مع العمود المقام من نقطة سقوط الشعاع على السطح الفاصل بين الوسطين

معامل الانكسار النسبي بين وسطين : هو النسبة بين سرعة الضوء في الوسط الأول وسرعة الضوء في الوسط الثاني

معامل الانكسار المطلق لوسط : هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ أو الهواء وسرعة الضوء في هذا الوسط

قانون سنل : ناتج ضرب معامل الانكسار المطلق للوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي ناتج ضرب معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار

ملاحظات هامة

- 1 - من القانون الأول يتضح أن بزيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار ولكن ليس بصورة متناسبة
- 2- للشعاعين الساقط والمنكسر خاصية انعكاسية
- 3- عند عبور شعاع الضوء من وسط كثافته البصرية أقل - السرعة فيه أعلى - الى وسط كثافته البصرية أعلى - السرعة فيه أقل - فانه ينكسر مقتربا من العمود
- 4- عند عبور شعاع الضوء من وسط السرعة فيه أقل الى وسط السرعة فيه أعلى - من ماء الى هواء - فان الشعاع ينكسر مبتعدا عن العمود ومقتربا من السطح الفاصل وفي هذه الحالة يكون معامل الانكسار النسبي بين الماء والهواء أصغر من الواحد وهذا الذي يفسر النقص الظاهري لعمق خزان الماء عندما ينظر الانسان الى الماء
- 5 - اذا سقطت الأشعة الضوئية على السطح الفاصل بين وسطين شفافين بصورة عمودية فانها تنفذ الى الوسط الثاني دون أن تنكسر
- 6- عند سقوط حزمة ضوء رقيقة من الهواء الى الماء نلاحظ أنه في نقطة السقوط ينعكس جزء من الضوء وينفذ الجزء الآخر في الماء منكسرا وبالتالي تكون هناك زاوية سقوط وزاوية انعكاس وزاوية انكسار ونسأل هنا سؤال كم من الطاقة التي ينقلها الاشعاع الى السطح الفاصل بين الوسطين تؤخذ من قبل الاشعة المنعكسة وكم من الطاقة تؤخذ من قبل الاشعة المنكسرة ؟ للاجابة على هذا السؤال نفرض أن الاشعاع يحمل الى نقطة السقوط خلال فترة زمنية معينة طاقة ولتكن E بعد ذلك تنقسم هذه الطاقة فيكون نصيب الاشعة المنعكسة منها E refl بينما نصيب الاشعة المنكسرة E refr ومن قانون حفظ الطاقة نجد أن الطاقة الساقطة تساوي مجموع الطاقتين التي تحملها الاشعة المنعكسة والتي تحملها الاشعة المنكسرة وبما أن كل وسط ما عدا الفراغ يمتص من طاقة الاشعاع اذا لا تصلح هذه المساواة الا عند القياس بالقرب من نقطة السقوط فاذا عبر الشعاع الضوئي لمسافات كبيرة من الوسط ولم يضعف الا بشيء صغير نسمي هذا الوسط وسطا شفافا مثل الزجاج والماء والكحول وبالعكس تمتص المعادن بشدة كبيرة الاشعاع الضوئي الذي ينفذ اليها بمعنى أنها ليست شفافة بالنسبة له وتعكس القسم الاكبر من الاشعاعات التي تسقط عليها ونلاحظ هنا أن كل وسط بدرجة أو بأخرى يعكس ويمتص الاشعاع الضوئي ويعتمد انعكاس وامتصاص الاشعاع الساقط على الجسم على - نوع المادة - حالة السطح - تركيب الاشعاع - زاوية السقوط - حيث عند زيادة زاوية سقوط الاشعة يزيد نصيب الضوء المنعكس وينقص نصيب الضوء المنكسر ونلاحظ أيضا اعتماد الانعكاس والامتصاص على تردد الموجات يكون له طبيعة اختيارية أي أن المادة تعكس أو تمتص بقوة ذبذبات بتردد معين وتضعف ذبذبات بتردد اخر وعلى سبيل المثال يمتص الغلاف الجوي للأرض الموجات ذات الطول الموجي القصير من الطيف المرئي بقوة (وهذا من نعمة الله علينا) بينما يمتص الموجات الطويلة أضعف بكثير وهنا أطرح سؤالاً لماذا نستخدم الضوء الأحمر للإشارة الى الخطر وأيضا للتنبيه على الرغم من أن العين حساسة أكثر للأشعة الخضراء ؟

قوانين:

| | |
|--|---|
| $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ (قانون سنل) | n_1 = معامل انكسار الوسط الأول ، θ_1 = زاوية السقوط n_2 = معامل انكسار الوسط الثاني ، θ_2 = زاوية الانكسار |
| $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \implies \sin \theta_c = n_2 / n_1$ (for $n_1 > n_2$) | θ_c = الزاوية الحرجة |
| $n = c / v$ | c = سرعة الضوء في الفراغ ، v = سرعة الضوء في الوسط |
| $v = f \lambda$ | λ = الطول الموجي في الوسط ، f = التردد |
| $\theta = \theta'$ (قانون الانعكاس) | θ = زاوية السقوط ، θ' = زاوية الانعكاس |

مثال 1: في الشكل أدناه بين هل الشعاع الضوئي سينفذ للهواء؟ ولماذا؟

نحسب زاوية الانكسار في الوسط الثاني

للمعاشق من الوسط الأول

حسب قانون سنل:

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

$$2 \times \sin 35 = 1.5 \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_2 = 0.76$$

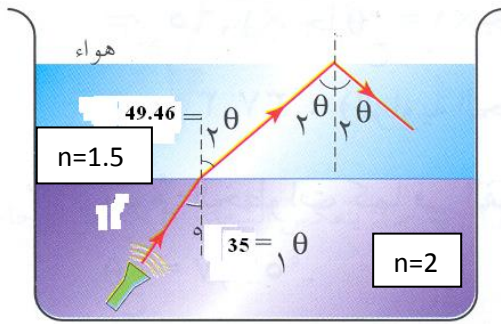
$$\therefore \theta_2 = 49.46^\circ$$

- الشعاع الضوئي المنكسر في الوسط الثاني بزاوية 49.46° سيسقط بالزاوية نفسها على السطح الفاصل بين الوسطين الثاني والثالث. لذلك نطبق قانون سنل لحساب زاوية الانكسار لهذا الشعاع في الوسط الثالث:

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

$$1.5 \times \sin 49.46 = 1 \times \sin \theta_3$$

$$\sin \theta_3 = 1.14$$



ولأن أكبر قيمة لجيب الزاوية هي 1، فإن الشعاع الضوئي لن ينفذ من الوسط الثاني إلى الهواء وإنما سينعكس كلياً داخل الوسط الثاني كما في الشكل، لأنه سقط على السطح الفاصل بين الوسطين بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة.

مثال 2: جد الزاوية الحرجة اذا علمت ان الوسطين هما الماء والهواء؟

نعلم ان معامل انكسار الهواء = 1

ومعامل انكسار الماء = 1.33

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \Longrightarrow \quad n_1 \sin \theta_c = 1 \times \sin 90$$

$$\Longrightarrow \sin \theta_c = n_2 / n_1 = 1 / 1.33 = 0.752$$

$$\Longrightarrow \theta_c = \sin^{-1}(0.752) = 48.8^\circ$$

مثال 3: مرأتان مستويتان الزاوية بينهما 120° فإذا سقط شعاع ضوئي على الأولى بزاوية سقوط قدرها 65° جد زاوية الانعكاس للشعاع الضوئي عن المرآة الثانية؟

على المرآة الأولى يكون

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

$$\theta_1 = \theta'_1 = 65^\circ$$

اذن متممة الزاوية (θ'_1) مع محور (X) ستكون (θ_3)

$$\theta_3 = 90 - 65 = 25^\circ$$

ومعلوم لدينا ان مجموع زوايا المثلث = 180

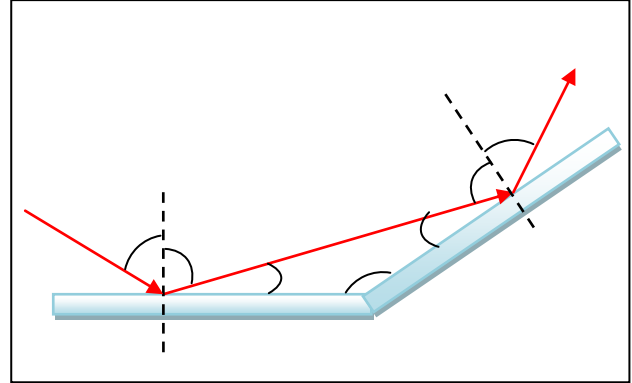
$$25^\circ + 120^\circ + \theta_4 = 180^\circ$$

$$\implies \theta_4 = 180^\circ - 145^\circ = 35^\circ$$

$$\theta_2 = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$$

وبما ان زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

$$\theta_2 = \theta'_2 = 55^\circ$$



مثال 4: اثبت ان معامل انكسار وسط ما (n) يساوي النسبة بين الطول الموجي للضوء في الهواء (λ_0) الى الطول الموجي للضوء في ذلك الوسط (λ_n) اي اثبت ان $(n = \lambda_0 / \lambda_n)$ ؟

$$v = f \lambda$$

$$v_1 = f \lambda_1, \quad v_2 = f \lambda_2 \quad (\text{لان التردد لا يتغير})$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{f \lambda_1}{f \lambda_2} \implies \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \text{ ----- (1)}$$

$$n = c / v \implies v = c / n \implies v_1 = c / n_1 \text{ ----- (2)}$$

$$v_2 = c / n_2 \text{ ----- (3)}$$

$$\frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \implies \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

نعوض (2) و(3) في (1) نحصل على :

$$\implies n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2 \implies 1 \times \lambda_0 = n \times \lambda_n \implies n = \lambda_0 / \lambda_n$$

مثال 5: حزمة ضوئية تنتقل خلال وسط معامل انكساره (n_1) فتتمر خلال شريحة سميكة لها وجهان متوازيان ومعامل انكسار (n_2) ، برهن ان الحزمة الخارجة تكون موازية للحزمة الساقطة؟

لحل هذه المسألة يستوجب منا تطبيق قانون سنل للسطح العلوي وللسطح السفلي

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \implies \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1 / n_2 \quad (1)$$

$$\& n_2 \sin \theta_3 = n_1 \sin \theta_4$$

$$\text{but } \theta_3 = \theta_2$$

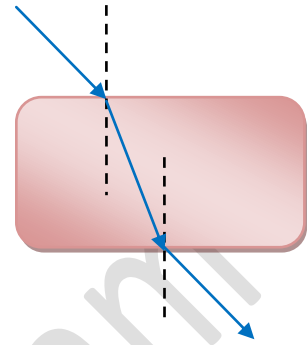
$$\implies n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_4$$

$$\implies \sin \theta_4 = n_2 \sin \theta_2 / n_1 \quad (2)$$

نعوض معادلة (1) في معادلة (2) نحصل على :

$$\sin \theta_4 = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 \implies \sin \theta_4 = \sin \theta_1 \implies \theta_4 = \theta_1$$

وهذا يعني ان زاوية سقوط الحزمة = زاوية خروجها اي ان الحزمة الخارجة تكون موازية للحزمة الساقطة.



مثال 6: حزمة ضوئية بطول موجي (550 nm) تنتقل خلال الهواء وتسقط على شريحة من مادة شفافة بزاوية (40°) مع العمود ، والحزمة المنكسرة تصنع زاوية (26°) مع العمود احسب :

1. معامل انكسار المادة؟

2. الطول الموجي للضوء في الشريحة؟

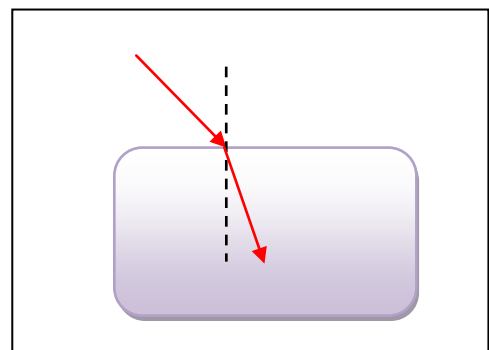
$$\underline{\text{أولا}}: n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \implies$$

$$1 \times \sin 40^\circ = n \sin 26^\circ \implies$$

$$n = \frac{\sin 40}{\sin 26} = \frac{0.643}{0.438} = 1.47$$

$$\underline{\text{ثانيا}}: n = \lambda_0 / \lambda_n \implies$$

$$\lambda_n = \lambda_0 / n = 550 \text{ nm} / 1.47 = 374 \text{ nm}$$



مثال 7: حزمة من الضوء تسقط على سطح من الزيت المعدني بزاوية (23.1°) مع العمود ، فإذا كانت سرعة الضوء في الزيت (2.17 × 10⁸ m/s) ، احسب زاوية الانكسار ؟

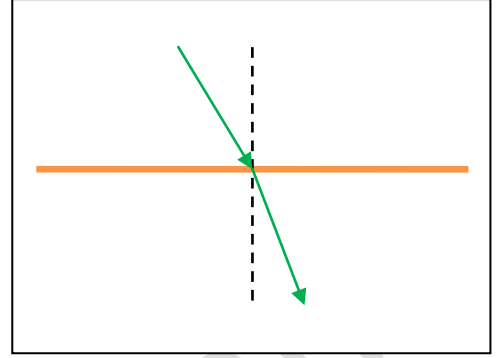
$$n = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{2.17 \times 10^8} = 1.382$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \implies$$

$$1 \times \sin 23.1^\circ = 1.382 \times \sin \theta_2 \implies$$

$$\sin \theta_2 = \frac{\sin 23.1}{1.382} = \frac{0.392}{1.382} = 0.284 \implies$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} 0.284 = 16.5^\circ$$



مثال 8: حزمة ضوئية تسقط على سطح قطعة من الثلج بزاوية (40°) مع العمود جزء من الضوء ينعكس وجزء منه ينكسر ، جد الزاوية بين الضوء المنعكس والمنكسر ؟

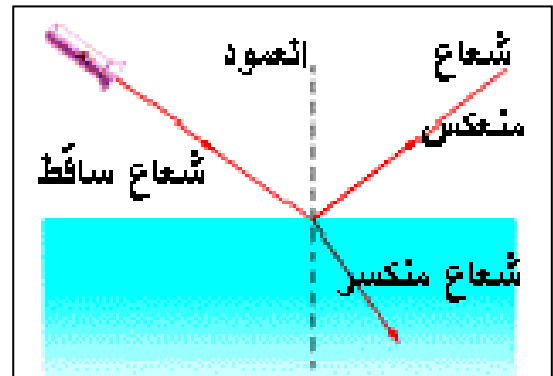
$$\theta_1 = \theta'_1 \implies \theta_3 = 90 - \theta'_1 = 90 - 40 = 50$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \implies$$

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1 \sin \theta_1}{n_2} = \frac{1 \times \sin 40}{1.31} = \frac{0.643}{1.31} = 0.5$$

$$\implies \theta_2 = \sin^{-1} 0.5 = 30^\circ$$

$$\theta_4 = 90 - \theta_2 = 90 - 30 = 60$$



وعليه تكون الزاوية بين الشعاع المنعكس والمنكسر = $\theta_4 + \theta_3 = 60 + 50 = 110$

مثال 9: قطعة من الثلج تطفو على سطح الماء ، فإذا سقط شعاع ضوئي على السطح العلوي للثلج بزاوية (30°) مع العمود ، ما هي زاوية انكسار الشعاع الضوئي في الماء؟

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \implies$$

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1 \sin \theta_1}{n_2} = \frac{1 \times \sin 30}{1.31} = \frac{0.5}{1.31}$$

$$= 0.382 \implies$$

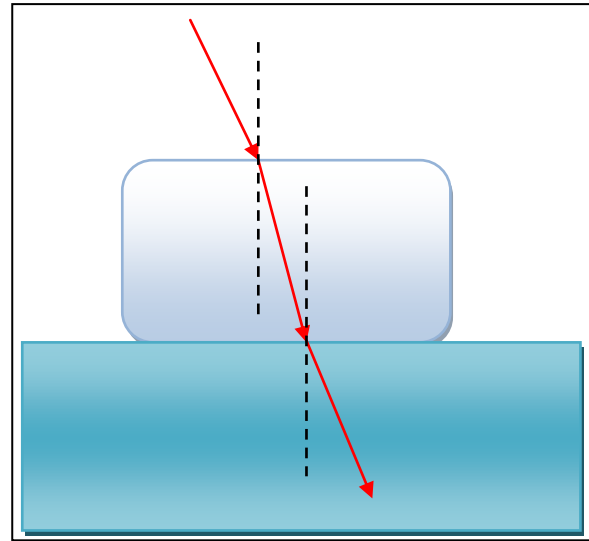
$$\theta_2 = \sin^{-1} 0.382 = 22.44^\circ$$

$$n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 \implies$$

$$\sin \theta_3 = \frac{n_2 \sin \theta_2}{n_3} = \frac{1.31 \times 0.382}{1.33}$$

$$= \frac{0.5}{1.33} = 0.376 \implies$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} 0.375 = 22^\circ$$



Dr. Mustafa Hudaib