

1- مقدمة

إن أي تغير كهرومغناطيسي يطرأ على ذرة من ذرات المادة يجعل هذه الذرة منبعاً للإشعاع. ويمكن تفسير جميع الظواهر والتجارب الضوئية استناداً إلى النظريات القائلة بأن المنبع الضوئي يرسل كمات من الطاقة يسمى كل منها فوتون. ويواكب الفوتون في حركته موجة كهرومغناطيسية بسيطة يتناسب ترددها ν مع طاقته E وفق العلاقة التالية:

$$E = h\nu \quad (1)$$

حيث h ثابت بلانك، وتتعلق قيمته بالوحدات المستخدمة وهو يساوي في الجملة الدولية SI إلى $h = 6.6262 \times 10^{-34}$ واحده هي (J.sec) وبمعنى آخر نقول أن للضوء مظهرين متكاملين هما: 1- المظهر الكمي الذي يتمثل بالفوتونات ويقوم بالدور الرئيسي في التفاعل بين المادة والإشعاع. 2- المظهر الموجي ويتمثل بالموجة الكهرومغناطيسية المواكبة للفوتون ويقوم بالدور الرئيسي في التفاعل بين الإشعاع والإشعاع. وتجدر الإشارة هنا إلى أن معظم المنابع الضوئية ترسل أمواجاً كهرومغناطيسية لها تواترات مختلفة في آن واحد، فنقول عندئذٍ عن الضوء الصادر أنه مركب أو متعدد الألوان، كالضوء الصادر عن الشمس والمصابيح الكهربائية. أما إذا كانت جميع الأمواج الصادرة عن المنبع الضوئي لها تواتر واحد، فنقول عن الضوء أنه بسيط أو وحيد اللون.

2- سرعة انتشار الأمواج الضوئية

بينت التجارب أن الأمواج الكهرومغناطيسية أيًا تكن تواتراتها تنتشر في الخلاء بسرعة واحدة يرمز لها بالرمز c وقيمتها $c = 2.998 \times 10^8 \frac{m}{s}$. أما الأوساط المادية الشفافة فإن سرعة انتشار الضوء فيها تكون

دوماً أصغر من سرعة انتشاره في الخلاء. فإذا رمزنا لسرعة انتشار الضوء في الوسط الشفاف بالرمز v

عندئذٍ يمكننا كتابة النسبة التالية:

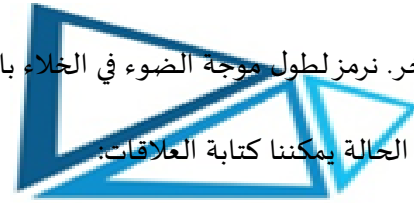
$$n = \frac{c}{v} > 1 \quad (2)$$

وتسمى n قرينة الانكسار المطلقة للوسط الشفاف المعبر وتتنوع بعدة عوامل, منها ما يتعلق بخصائص المادة (كثافتها, بنيتها البلورية وتركيبها الكيميائي), ومنها ما يتعلق بالضوء نفسه (كالتواتر وطول الموجة).

تبين التجربة بأن الموجة الكهرومغناطيسية تحتفظ بقيمة تواترها الذي يرتبط بدورها T وفق العلاقة:

$$T = \frac{1}{v} \quad (3)$$

وذلك عند مرورها من وسط إلى آخر. نرمز لطول موجة الضوء في الخلاء بالرمز λ_0 ولطول موجة الضوء في الوسط الشفاف بالرمز λ . في هذه الحالة يمكننا كتابة العلاقات:



$$\lambda = vT, \quad \lambda_0 = cT \quad (4)$$

$$\rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_0} = n \rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (5)$$

وبما أن $n > 1$, فإن طول الموجة في الوسط الشفاف أصغر من طول الموجة في الخلاء.

يبين الجدول رقم 3 قيم قرائن الانكسار لبعض المواد في درجة حرارة 20°C وذلك من أجل إشعاع الخط

$$\lambda_0 = 0.589 \mu\text{m} \text{ الأصفر لعنصر الصوديوم}$$

الجدول (3): قرائن الانكسار لبعض المواد

1.4701	الجليسرين	1.0003	الهواء
1.5014	البنزين	1.3330	الماء
1.6277	كبريت الفحم	1.3614	الكحول الايتيلي
2.3600	كبريت الزنك	1.3726	حمض الخل
2.4173	الماس	1.4338	الفلورين

3- صدر الموجة wavefront – الأشعة الضوئية:

نعتبر منبعاً للضوء نقطياً يرسل في الفراغ المحيط به أمواجاً كهرومغناطيسية يعبر عنها بالتابع التالي:

$$E = E_0 \cos wt \quad (6)$$

حيث E يمثل المركبة الكهربائية للموجة الكهرومغناطيسية. نسمي صدر الموجة المحل الهندسي للنقاط التي يكون فيها للحقل الكهربائي قيمة واحدة في لحظة ما. ونسمي شعاع ضوئي الخط العمودي في كل نقطة من نقاطه على صدر الموجة المار بتلك النقطة.

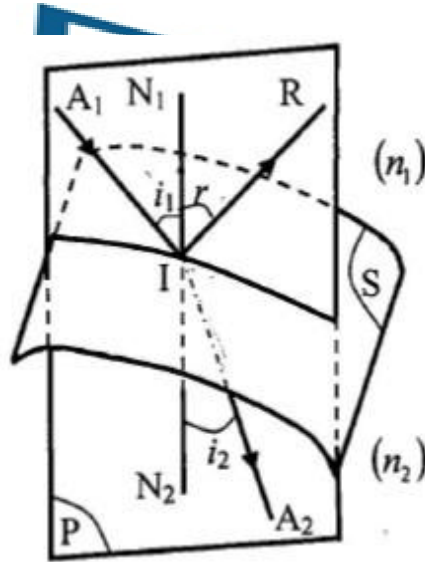
3-1- مبدأ الانتشار المستقيم straight diffusion

إن الشعاع الضوئي بين نقطتين في وسط متجانس هو خط مستقيم. ومعظم الملاحظات المعروفة كظلال الأجسام وحادثتي الخسوف والكسوف تؤكد هذا المبدأ. تجدر الإشارة هنا إلى أن هذا المبدأ ليس صالحاً

عند اجتياز الضوء للثقوب والحواجز الصغيرة، لذلك فإن استبعادها شرط ضروري وأساسي كي تبقى قوانين الضوء الهندسية صحيحة.

2-3- قوانين ديكارت Snell–Descartes laws

نفترض أن الأوساط المادية شفافة، متجانسة ومتناحية وأن الضوء المستخدم وحيد اللون أيضاً. ليكن الشعاع الضوئي الوارد A_1 على سطح صقيل S يفصل بين وسطين شفافين قرينة انكسارهما n_1 و n_2 . الشكل (1). يقطع الشعاع A_1 السطح المصقول في نقطة I نسميها نقطة الورد. نرسم من هذه النقطة مستقيماً N_1N_2 عمودي على S نسميه الناظم. كما نسي المستوي P الذي يحوي الناظم والشعاع الوارد A_1 مستوي الورد.



الشكل (1): انعكاس وانكسار الأشعة الضوئية

ينقسم الشعاع الوارد إلى شعاعين أحدهما يسي الشعاع المنعكس IR والآخر يخترق الوسط الثاني ويسى الشعاع المنكسر A_2 . تسمى الزاوية الكائنة بين الشعاع الوارد والناظم زاوية الورد (\hat{i}_1). كما نسي الزاوية الكائنة بين الشعاع المنكسر والناظم بزاوية الانكسار (\hat{i}_2). تمكننا قوانين ديكارت من تعيين منحى الشعاعين المنعكس والمنكسر وتزودنا بالنتائج التالية:

1- يقع الشعاعان المنعكس والمنكسر في مستوي الورد

2- زاوية الانعكاس (\hat{r}) تساوي زاوية الورد وتعاكسها بالاشارة، أي أن:

$$\hat{r} = -\hat{i}_1 \quad (7)$$


3- من أجل ضوء وحيد اللون يكون للجداء $n \sin \hat{i}$ قيمة واحدة في كلا الوسطين، أي أن:

$$n_1 \sin \hat{i}_1 = n_2 \sin \hat{i}_2 \quad (8)$$

تدعى هذه العلاقة بقانون ديكارت.

تمكننا العلاقة الأخيرة رقم 8 من حساب \hat{i}_2 إذا علمنا قيم المقادير الأخرى.

ملاحظة 1: إذا كانت زاوية الورد \hat{i}_1 صغيرة جداً، فإن زاوية الانكسار \hat{i}_2 تكون صغيرة جداً أيضاً. وعندئذٍ يمكن كتابة العلاقة الأخيرة بالشكل:



$$n_1 \hat{i}_1 = n_2 \hat{i}_2 \quad (9)$$

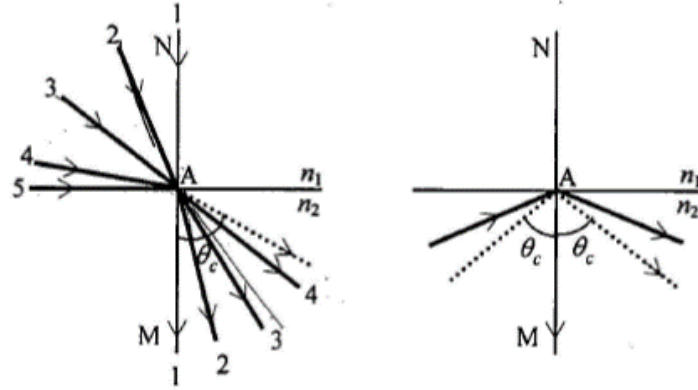
تدعى هذه العلاقة بقانون كبلر.

ملاحظة 2: تبين معادلة (قانون) ديكارت بأن الشعاع الذاهب من وسط لأخر أشد كسراً للضوء (أي عندما

$$n_2 > n_1 \text{ تكون } \hat{i}_2 < \hat{i}_1 \text{ ينكسر مقترباً من الناظم، والعكس صحيح.}$$

3-3- الزاوية الحرجة critical angle والانعكاس الكلي total reflection

بيننا سابقاً بأنه عندما يرد الضوء من وسط كالهواء إلى وسط آخر كالزجاج أو الماء، فإن زاوية الانكسار تكون دائماً أقل من زاوية الورد. وبين الشكل (2) عدداً من زوايا الورد من (0°) إلى (90°) وزوايا الانكسار المناظرة من (0°) إلى (θ_c°) على الترتيب.



الشكل (2): الانعكاس والانكسار الكلي، يسار: الزاوية الحرجة θ_c النهائية للانكسار.

يمين: الانعكاس الكلي بعد الزاوية الحرجة θ_c .

نلاحظ من الشكل رقم (2) أنه عندما تقترب الأشعة الواردة من زاوية الورود 90° ، فإن الأشعة المنكسرة تقترب من قيمة ثابتة قدرها θ_c الزاوية الحرجة. ويمكن حساب الزاوية الحرجة بوضع $\hat{i}_1 = 90^\circ$ و

$\hat{i}_2 = \theta_c$ في قانون ديكارت:

$$n_1 \times 1 = n_2 \sin \theta_c$$

وبالتالي:

$$\sin \theta_c = \frac{n_1}{n_2} \quad (10)$$

أما إذا زادت زاوية الورود عن θ_c ، فإن كل شعاع وارد سوف ينعكس انعكاساً كلياً. في كثير من الحالات يكون الهواء هو الوسط، أي أن $n_1 = 1$. وبالتالي يكون $\sin \theta_c = \frac{1}{n_2}$ وتبلغ الزاوية الحرجة النموذجية

للماء $\theta_c = 49^\circ$ وللزجاج التاجي $\theta_c = 42^\circ 8'$ ولللماس $\theta_c = 24^\circ$.

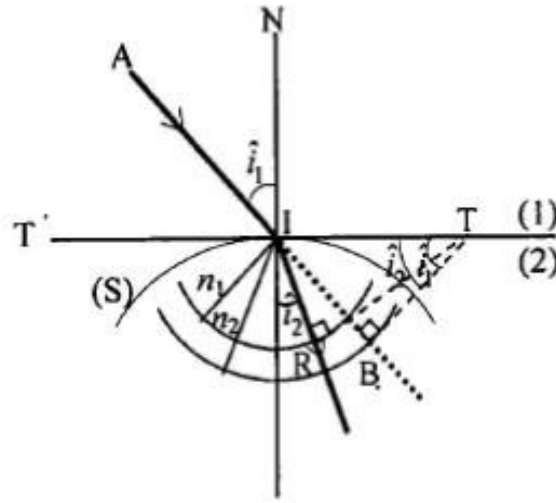
4-3- الإنشاء الهندسي للشعاع المنكسر refracted beam construction

طريقة هايجنس–Fresnel:

في حالة $n_1 < n_2$

ليكن مستوي الورود هو مستوي الورقة (الشكل 3). نرسم دائرتين مركزهما نقطة الورود I ونصف قطريهما n_1 و n_2 , ثم نمدد الشعاع الوارد AI حتى يقطع دائرة الوسط n_2 في النقطة B . ثم نرسم من B مماساً لهذه الدائرة فيقطع المستقيم $T'I$ (المماس للسطح S في نقطة الورود) في النقطة T . نرسم من T المماس TR

للدائرة الأخرى n_1 , فنرى بسهولة أن IR هو الشعاع المنكسر المطلوب.

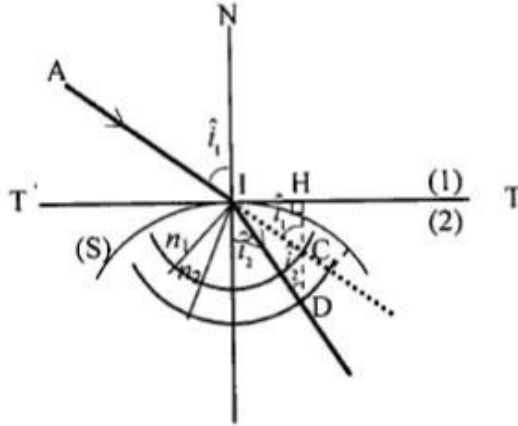


الشكل (3): طريقة هايجنس لاجاد الشعاع المنكسر.

طريقة سطوح القرنية:

في حالة $n_1 < n_2$

باتباع الطريقة السابقة ذاتها ننشئ الدائرتين (الشكل 4). نرسم من النقطة C نقطة تقاطع ممدد الشعاع
 الوارد مع الدائرة n_1 المستقيم العمودي على T'I' فيقطع الدائرة n_2 في النقطة D , عندئذٍ يكون ID الشعاع
 المنكسر المطلوب.



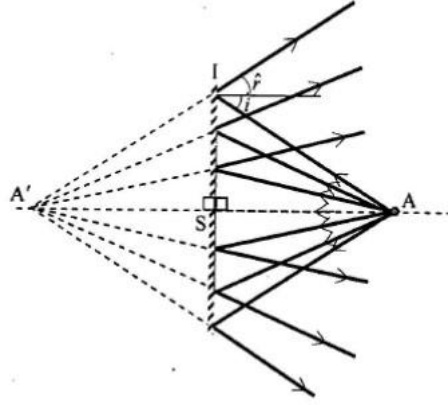
الشكل (4): طريقة سطوح القرنية لإيجاد الشعاع المنكسر.

4- المرآة المستوية plane mirror

نسمي مرآة مستوية كل سطح مستو عاكس للضوء. وتتعلم نسبة الطاقة المنعكسة بطبيعة الوسط
 وبزاوية الورد.

1-4- الخيال shadow في المرآة المستوية

يمكن وبسهولة التحقق من تساوي زاويتي الورد والانعكاس إذا فرضنا أن المنبع هو A الشكل (5).

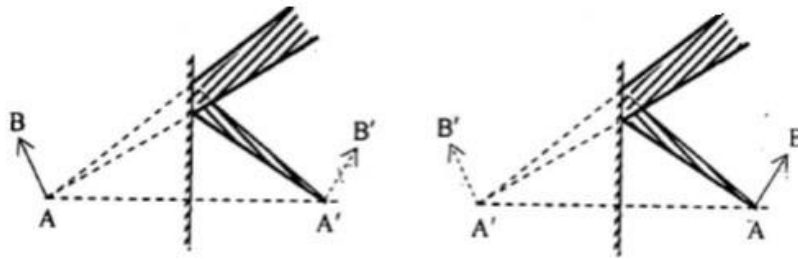


الشكل (5): تشكل الخيال في المرآة المستوية.

نرى أن جميع الأشعة المنعكسة تبدو كأنها صادرة من نقطة واحدة A' مناظرة لنقطة الجسم A بالنسبة لمستوي المرآة. وهذا ينتج من تساوي المثلثين القائمين ASI و $A'SI$ وذلك أيّاً يكن مكان A . ونقول أن الجسم والخيال متناظرين بالنسبة لمستوي المرآة ونكتب:

$$\overline{SA} = \overline{SA'}$$

كما ونرى أيضاً من الشكل رقم (6) أن الجسم والخيال لهما طبيعتان مختلفتان دوماً، أي أن أحدهما وهمي والآخر حقيقي.



الشكل (6): يمين: جسم حقيقي وخيال وهمي، يسار: جسم وهمي وخيال حقيقي.

