الفيزياء

Physics

الضوء Light

1- مقدمة

إن اي 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 υ مع طاقته E وفق العلاقة التالية:

$$E = h\upsilon \qquad (1)$$

حيث h ثابت بلانك، وتتعلق قيمته بالواحدات المستخدمة وهو يساوي في الجملة الدولية SI إلى $h = 6.6262 \times 10^{-34}$. واحدته 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 أياً 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:

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

وتسمى n قرينة الانكسار المطلقة للوسط الشفاف المعتبر وتتعلق 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:

$$T = \frac{1}{\upsilon} \qquad (3)$$

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:

$$\lambda = \upsilon T \quad , \quad \lambda_0 = cT \qquad (4)$$

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

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

يبين الجدول رقم 1 قيم قرائن الانكسار لبعض المواد في درجة حرارة $20°C$ وذلك من أجل إشعاع الخط الأصفر لعنصر الصوديوم $\lambda_0 = 0.589\ \mu m$.

الجدول (1): قرائن الانكسار لبعض المواد

الهواء	1.0003	الغليسيرين	1.4701
الماء	1.3330	الزجاج	1.5
الكحول الايتيلي	1.3614	كبريت الفحم	1.6277
حمض الخل	1.3726	كبريت الزنك	2.3600
الفلورين	1.4338	الماس	2.4173

3- صدر الموجة wavefront – الأشعة الضوئية:

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

$$E = E_0 \cos wt \tag{6}$$

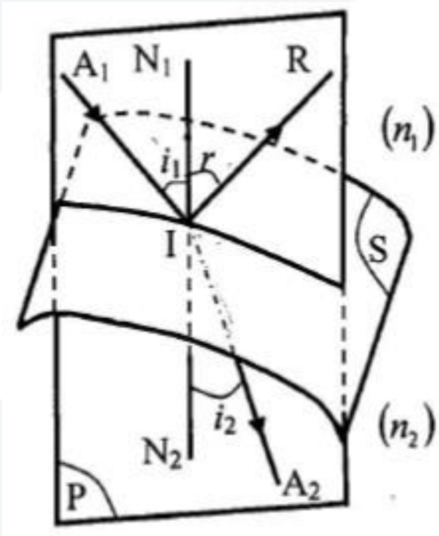
حيث E يمثل المركبة الكهربائية للموجة الكهرومغناطيسية. نسمي صدر الموجة المحل الهندسي للنقاط التي يكون فيها للحقل الكهربائي قيمة واحدة في لحظة ما. ونسمي شعاع ضوئي الخط العمودي في كل نقطة من نقاطه على صدر الموجة المار بتلك النقطة.

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.

3-2- قوانين ديكارت Snell–Descartes laws

نفترض أن الأوساط المادية شفافة، متجانسة ومتناحية وأن الضوء المستخدم وحيد اللون أيضاً. ليكن الشعاع الضوئي الوارد A_1I على سطح صقيل S يفصل بين وسطين شفافين قرينة انكسارهما n_2 و n_1، الشكل (1). يقطع الشعاع A_1I السطح المصقول في نقطة I نسميها نقطة الورود. نرسم من هذه النقطة مستقيماً N_1IN_2 عمودي على S نسميه الناظم. كما نسمي المستوي P الذي يحوي الناظم والشعاع الوارد A_1I مستوي الورود.



الشكل (1): انعكاس وانكسار الأشعة الضوئية

ينقسم الشعاع الوارد إلى شعاعين أحدهما يسمى الشعاع المنعكس IR والآخر يخترق الوسط الثاني ويسمى الشعاع المنكسر IA_2. تسمى الزاوية الكائنة بين الشعاع الوارد والناظم زاوية الورود $(\hat{\imath}_1)$، كما نسمي الزاوية الكائنة بين الشعاع المنكسر والناظم بزاوية الانكسار $(\hat{\imath}_2)$. تمكننا قوانين ديكارت من تعيين منحى الشعاعين المنعكس والمنكسر وتزودنا بالنتائج التالية:

1- يقع الشعاعان المنعكس والمنكسر في مستوي الورود

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

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

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

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

تدعى هذه العلاقة بقانون ديكارت.

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

ملاحظة 1: إذا كانت زاوية الورود $\hat{\imath}_1$ صـغيرة جداً، فإن زاوية الانكسـار $\hat{\imath}_2$ تكون صـغيرة جداً أيضـاً. وعندئذٍ يمكن كتابة العلاقة الأخيرة بالشكل:

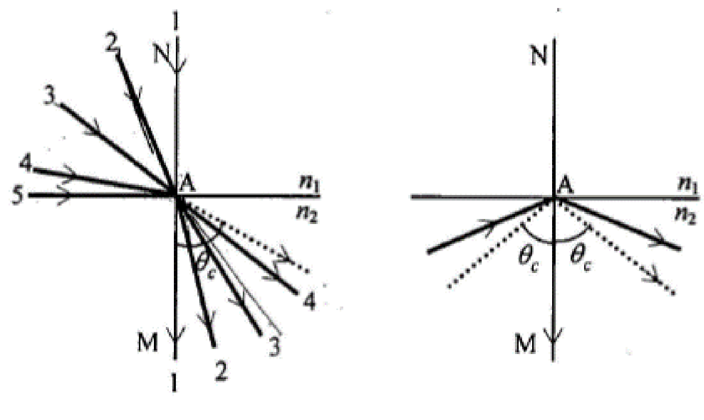
$$n_1\hat{\imath}_1 = n_2\hat{\imath}_2 \qquad (9)$$

تدعى هذه العلاقة بقانون كبلر.

ملاحظة 2: تبين معادلة (قانون) ديكارت بأن الشعاع الذاهب من وسط لآخر أشد كسراً للضوء (أي عندما $n_2 > n_1$ تكون $\hat{\imath}_2 < \hat{\imath}_1$) ينكسر مقترباً من الناظم، والعكس صحيح.

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

بينا سابقاً بأنه عندما يرد الضوء من وسط كالهواء إلى وسط آخر كالزجاج أو الماء، فإن زاوية الانكسار تكون دائماً أقل من زاوية الورود. وبين الشكل (2) عدداً من زوايا الورود 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 $\hat{\imath}_1 = 90^\circ$ و $\hat{\imath}_2 = \theta_c$ في قانون ديكارت:

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

وبالتالي:

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

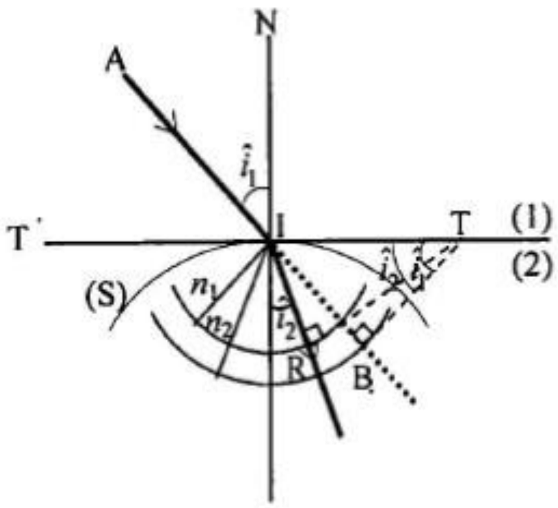
أما إذا زادت زاوية الورود عن θ_c، فإن كل شعاع وارد سوف ينعكس انعكاساً كلياً. في كثير من الحالات يكون الهواء هو الوسط، أي أن $n_1 = 1$. وبالتالي يكون $\sin \theta_c = \frac{1}{n_2}$ وتبلغ الزاوية الحرجة النموذجية للماء $\theta_c = 49^\circ$ وللزجاج التاجي $\theta_c = 42^\circ 8'$ وللماس $\theta_c = 24^\circ$.

3-4- الإنشاء الهندسي للشعاع المنكسر refracted beam construction

طريقة هايجنس Huygens–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'IT (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.

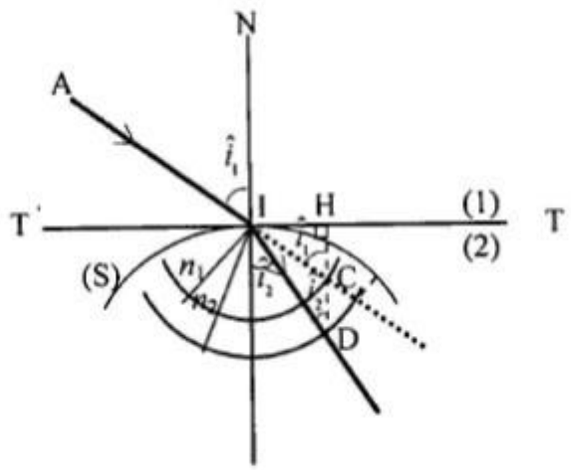


الشكل (3): طريقة هايجنس لايجاد الشعاع المنكسر.

طريقة سطوح القرنية:

في حالة $n_1 < n_2$

باتباع الطريقة السـابقة ذاتها ننشـئ الدائرتين (الشـكل 4). نرسـم من النقطة C (نقطة تقاطع ممدد الشـعاع الوارد مع الدائرة n_1) المستقيم العمودي على T'IT فيقطع الدائرة n_2 في النقطة D ، عندئذٍ يكون ID الشعاع المنكسر المطلوب.



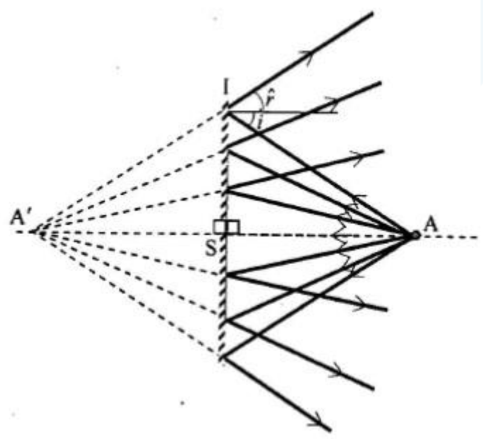
الشكل (4): طريقة سطوح القرنية لإيجاد الشعاع المنكسر.

4- المرآة المستوية plane mirror

نسمي مرآة مستوية كل سطح مستو عاكس للضوء. وتتعلق نسبة الطاقة المنعكسة بطبيعة الوسط وبزاوية الورود.

4-1- الخيال shadow في المرآة المستوية

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

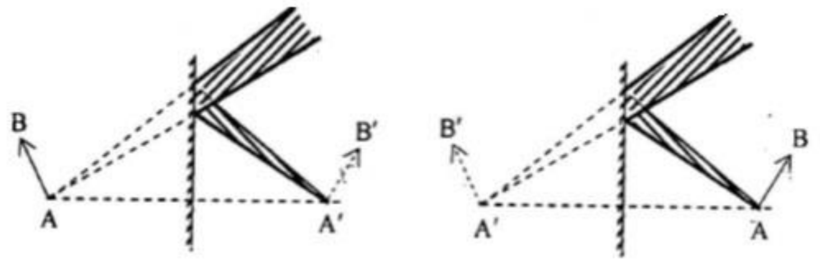


الشكل (5): تشكل الخيال في المرآة المستوية.

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 أياً يكن مكان A، ونقول أن الجسم والخيال متناظرين بالنسبة لمستوي المرآة ونكتب:

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

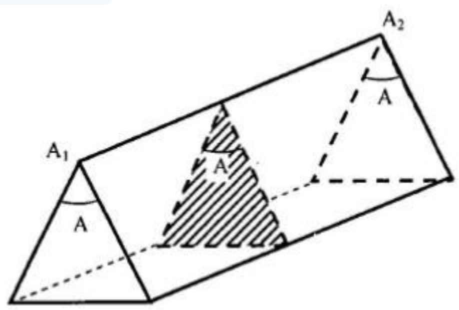
كما ونرى أيضـــاً من الشــكل رقم (6) أن الجســم والخيال لهما طبيعتان مختلفتان دوماً، أي أن أحدهما وهمي والآخر حقيقي.



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

5- الموشور prism

يعرف الموشوربأنه وسط شفاف متجانس محدد بكاسرين مستويين غير متوازيين (الشكل رقم 7) نسمي A_1A_2 (الفصل المشترك للكاسرين) حرف الموشور، والزاوية $\hat{A}$ الكائنة بينهما زاوية الموشور، والوجه المقابل للحرف قاعدة الموشور.



الشكل (7): موشور ومقطع عرضي فيه ممثلاً بالمثلث المخطط

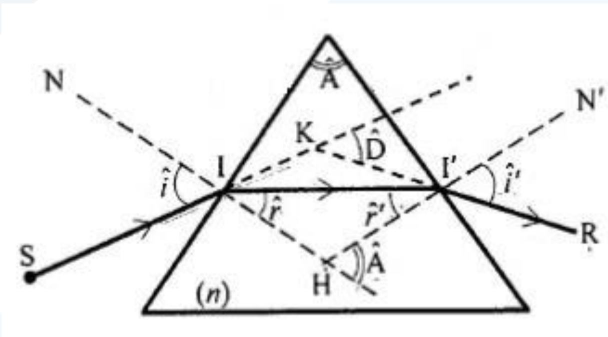
1-5- قوانين الموشور laws of prism

نعتبر شعاع SI يرد بزاوية $\hat{\imath}$ على الموشور، فينعكس داخله مقترباً من الناظم NH (على وجه الورود) وذلك مهما كانت زاوية وروده، فإن الشعاع يبرز بالاتجاه $I'R$ مبتعداً عن الناظم $N'H$ (على وجه البروز). نرمز لزاوية الانكسار لدى الدخول بالرمز $\hat{r}$، ولزاوية البروز بالرمز $\widehat{\imath'}$، ولزاوية الانحراف بالرمز $\widehat{D}$ (وهي الزاوية الكائنة بين امتداد الشعاع الوارد SI وامتداد الشعاع البارز $I'R$). وكما نعتبر أن الموشور مغمور في الهواء (الشكل 8)، عندئذٍ يكون:

$$\sin\hat{\imath} = n\sin\hat{r} \tag{11}$$

$$\sin\hat{\imath}' = n\sin\hat{r}' \tag{12}$$

$$\hat{A} = \hat{r} + \hat{r}' \tag{13}$$



الشكل (8): زاوية الورود وزاويتي الانكسار والبروز لشعاع ضوئي وراد على الموشور.

نحصل على المعادلتين 11, 12 من جملة المعادلات السابقة بتطبيق قانون ديكارت على وجهي الورود والبروز. أما المعادلة 13 فتنتج من المثلث HII' الذي زاويته الخارجية في $\widehat{H}$ تساوي زاوية الموشور $\hat{A}$ بالتعامد.