محاضرات مادة الفيزياء /1/

لطلاب السنة الأولى

(ميكاترونيكس – معلوماتية – عمارة)

الأستاذ الدكتور جبُّور جبُّور

2025 - 2024

المحاضرة الخامسة

الضوء والبصريات

The Light and Optics

1- مقدمة - Introduction

2- طبيعة الضوء – The nature of Light

3- الانعكاس والانكسار – Reflection and Refraction

4- قانون الانكسار – The Law of Refraction

5- التبدد والموشور – Dispersion and Prisms

6- الانعكاس الداخلي – Internal Reflection

7- نظرية الألياف الضوئية (الألياف البصرية) – Fiber Optic Theory

8- تفسير بعض الظواهر المتعلقة بالضوء – Explication Some Optical Phenomena

1- مقدمة – Introduction

ما هو الضوء؟

- هل هو تدفق من الجسيمات؟
- هل هو موجة؟
- هل هو تدفي من الجسيمات وموجة؟

إن الضوء هذا الذي تستقبله العين.

إن علم الضوء هو إحدى فروع الفيزياء الذي يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية. إن مجال الضوء واسع جداً، نذكر على سبيل المثال: الإدراك الحسي للعالم الذي يُحيط بنا (تشكيل الصور والأخيلة)، الأجهزة الضوئية [مناظير، راصدة (تلسكوب) لرصد الأجرام السماوية وتقريبها، مجاهر...]، انتشار ونقل المعلومات بوساطة الضوء (الليف البصري – Optic Fibre)، منابع ضوئية (ليزر، مصباح صوديوم....)، كواشف (كاميرا تعمل على الأشعة ما تحت الحمراء، كاشف فوتوني، مواد نصف ناقلة....).

2- طبيعة الضوء – The nature of Light

الضوء هو أمواج وفوتونات.

إن الفوتون هو جسيم معدوم الكتلة، وسرعته تساوي سرعة الضوء التي نرمز لها بحرف c صغير وتساوي:

$$c = 299792456\ (m.s^{-1}) \approx 3 \times 10^8\ \left(\frac{m}{s}\right)$$

وطاقة الفوتون تُعطى بالعلاقة الآتية:

$$E = h.\nu\ (joule) \qquad (1)$$

حيث h يُدعى بثابت بلانك "Called Planck's Constant" الذي يساوي:

$$h = 6,626 \times 10^{-34}\ (J.s)$$

و ν التردد ويقدر بمقلوب الثانية $(1/s)$ الذي يُدعى بالهرتز $Hertz\ (Hz)$. وبعض الأحيان نرمز للتردد بالحرف f أي $Frequency$.

وكون الضوء له طبيعة مزدوجة: جسيمية وموجية، فإن الموجة المرافقة للفوتون (الموجة الضوئية) تتميز بما يلي:

- موجة دون حامل (الضوء ينتشر بالخلاء)،
- تنتشر بالخلاء بسرعة تساوي لسرعة الضوء c.

وطول الموجة المرافقة يُعطى بالعلاقة الآتية:

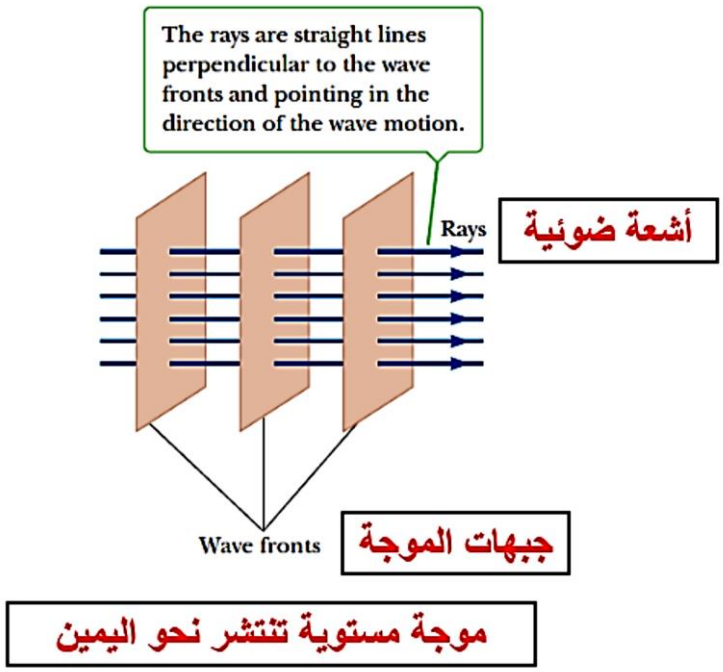
$$\lambda = \frac{c}{\nu} = c.T$$

حيث T يرمز لدور الموجة، ويُقدر بواحدة الطول، وهو يساوي لمقلوب التردد.

بعض القيم المرجعية المتعلقة بالضوء:

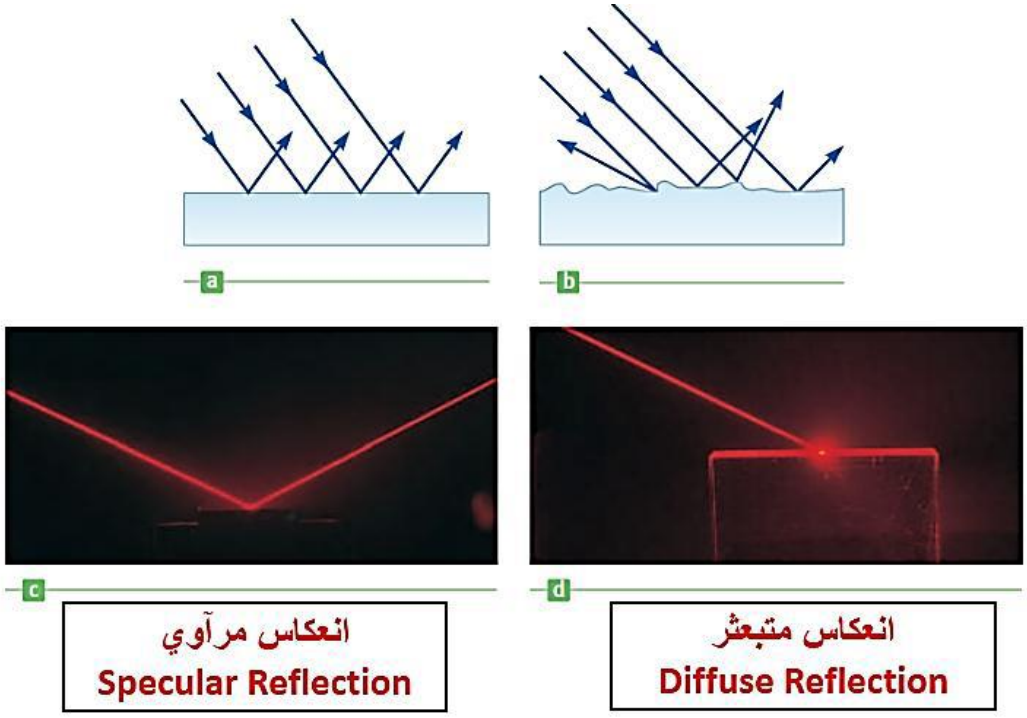
- يُقدر عمر المون بـ (13,7) مليار سنة.
- تعد الشمس نجماً يقدر عمرها بـ (4,5) مليار سنة، ويستغرق ضؤوها لكي يصل إلينا زمناً قدره **8 دقائق** تقريباً. بعبارة أخرى، تجتاز الموجة الضوئية (الفوتون) المسافة بين الأرض والشمس بزمن قدره 8 دقائق تقريباً.
- تدور الموجة الضوئية (الفوتون) حول الأرض **7 مرات بالثانية الواحدة**.

إن الأشعة الضوئية هي عبارة (يمكن اعتبارها بشكل تقريبي وفق مفهوم الضوء الهندسي) عن خطوط مستقيمة عمودية على جهات الموجة وتتجه باتجاه حركة الموجة، انظر الشكل المرفق.

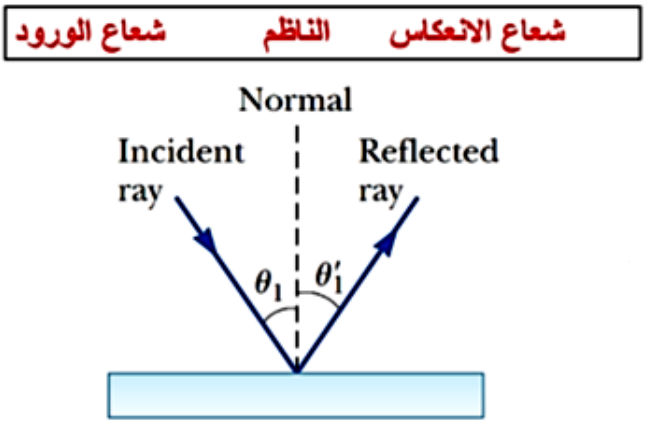


3- الانعكاس والانكسار – Reflection and Refraction

الشكل التالي يوضح مفهوم الانعكاس المرآوي والمتبعثر.



بينما الشكل التالي يبين رسم توضيحي لشعاع الورود والانعكاس. وينص قانون الانعكاس على أن زاوية الانعكاس θ_1' تساوي زاوية الورود θ_1.



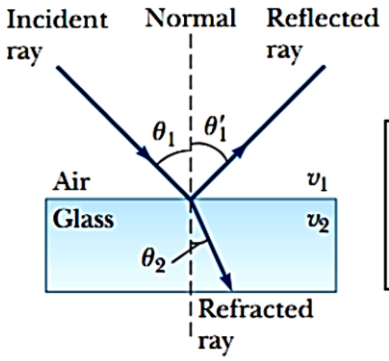
زاوية الانعكاس θ_1' تساوي زاوية الورود θ_1

$$\theta_1' = \theta_1 \qquad (2)$$

4- قانون الانكسار – The Law of Refraction

يوضح الشكل المرفق مفهوم قانون الانعكاس والانكسار.

شعاع الانعكاس	الناظم	شعاع الورود



شعاع الانكسار

$$n = \frac{c}{v}$$

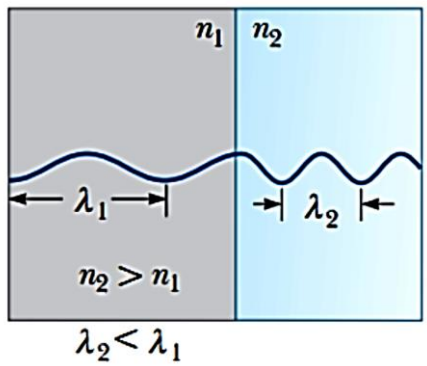
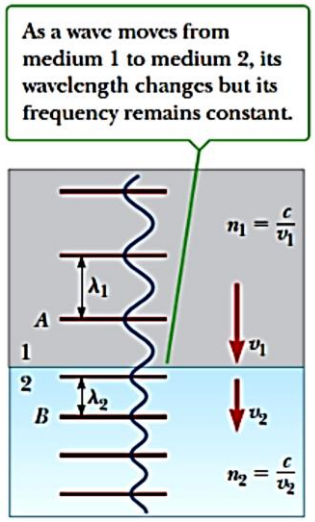
c سرعة الضوء في الخلاء
v سرعة الضوء في الوسط
n قرينة الانكسار
n : Index of refraction

إن قانون الانكسار أو قانون "سنيل" "Snell's Law" يُعطى بالعلاقة الآتية، انظر الشكل السابق:

$$n_1 . \sin\theta_1 = n_2 . \sin\theta_2 \qquad (3)$$

والأشكال المرفقة توضح تغير طول الموجة وثبات التردد عند الانتقال من وسط إلى آخر مختلفي قرينة الانكسار:

$$n = \frac{c\ (\text{سرعة الضوء في الخلاء})}{v\ (\text{سرعة الضوء في الوسط})} \qquad (4)$$

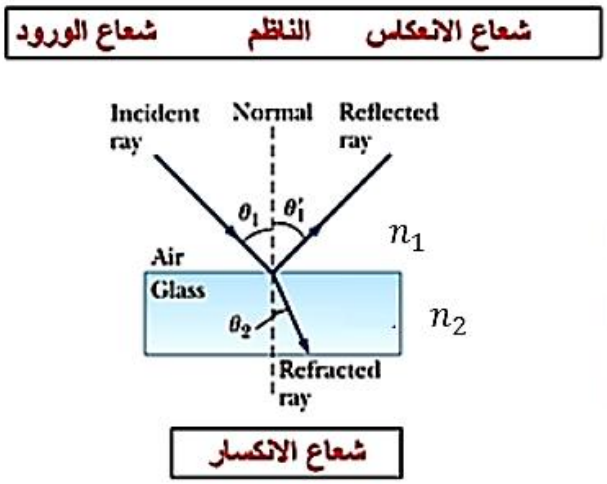
	
$n = \frac{\lambda_0}{\lambda_n}$ طول موجة الضوء في الخلاء، بينما طول موجة الضوء في الوسط	موجة تتحرك من الوسط الأول إلى الوسط الثاني. طول الموجة يتغير بينما التردد يبقى ثابتاً.

مثال (1):

المطلوب إيجاد قرينة الانكسار عند السطح الفاصل بين الهواء والزجاج علماً أن:

$$n_1 = 1{,}31,\ \theta_1 = 27^o \quad \& \quad n_2 = ?,\ \theta_2 = 23^o$$

الحل:



من أجل ذلك نستخدم قانون سنيل:

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

$$n_1 = 1{,}31 \sin 27^o = n_2 \sin 23^o$$

$$n_2 = \frac{1{,}31 \sin 27^o}{\sin 23^o} = \frac{1{,}31 \times 0{,}454}{0{,}391} = \frac{0{,}595}{0{,}391} \cong 1{,}52$$

مثال (2):

شعاع ضوئي ينتقل من وسط الهواء الذي قرينة انكسار تساوي الواحد (1) إلى وسط زجاجي قرينة انكساره $(1{,}52)$ علماً أن زاوية وروده الشعاع تساوي 30 درجة مع الناظم. المطلوب إيجاد زاوية الانكسار.

الحل:

من أجل ذلك نستخدم قانون سنيل:

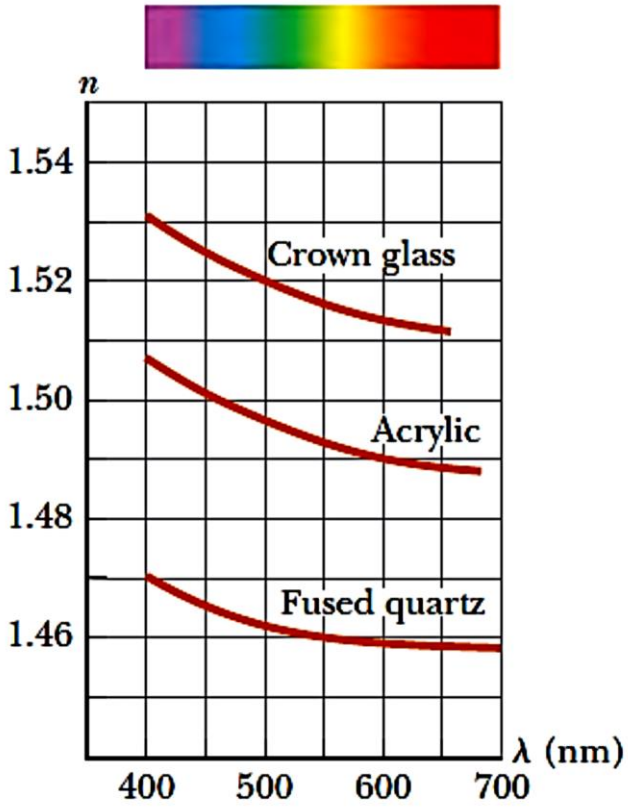
$$n_1 . \sin\theta_1 = n_2 . \sin\theta_2 \rightarrow \sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1$$

$$\theta_2 = sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1\right) = sin^{-1}\left(\frac{1}{1{,}52}\sin 30^o\right) = sin^{-1}\left(\frac{0{,}50}{1{,}52}\right)$$

$$= sin^{-1}(0{,}329) \cong 19{,}2^o$$

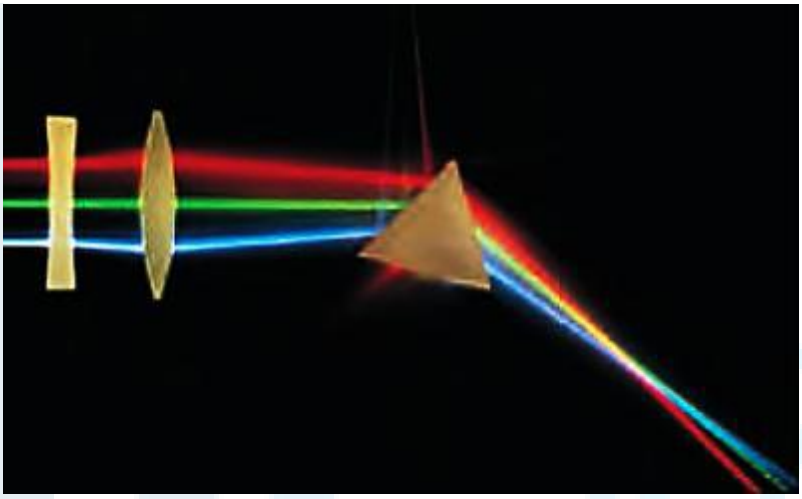
5- التبدد والموشور – Dispersion and Prisms

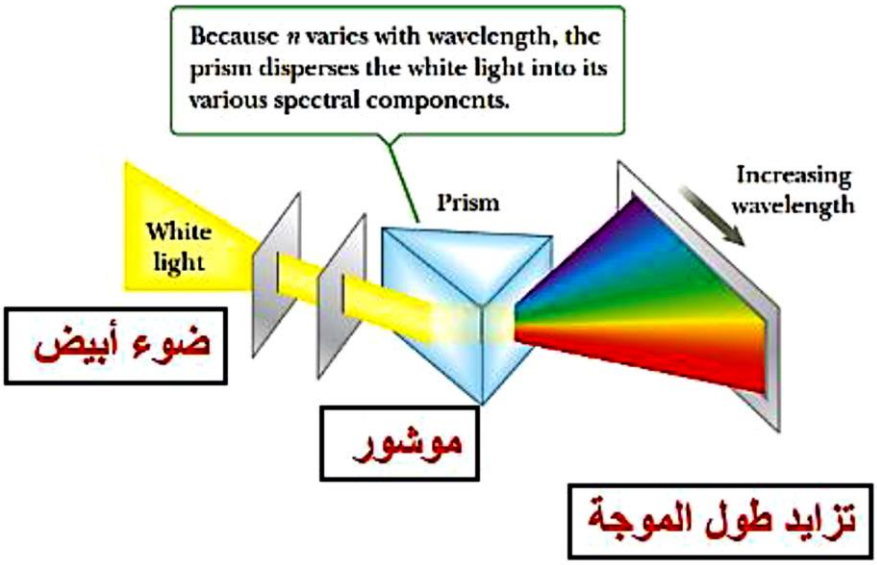
إن قرينة انكسار الوسط تتعلق بطول موجة الضوء الوارد، والمفعول الناتج يُدعى "بالتبدد" "Dispersion". ويوضح الشكل التالي تغير قرينة انكسار الطيف المرئي بتابعية طول الموجة في ثلاث مواد مختلفة.

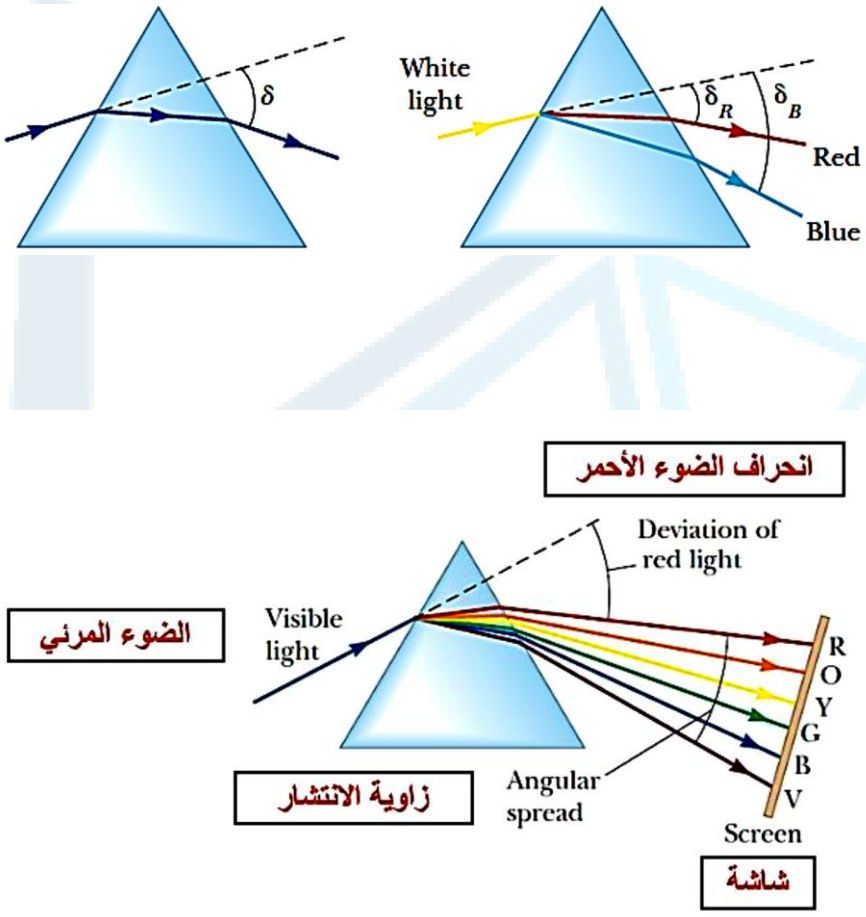


الشكل يوضح تغير قرينة انكسار الطيف المرئي بتابعية طول الموجة في ثلاث مواد مختلفة.

بسبب أن قرينة الانكسار تتغير بتابعية ول الموجة، فإن الموشور يبدد الضوء الأبيض بحسب مركباته الطيفية، انظر الأشكال التوضيحية التالية:

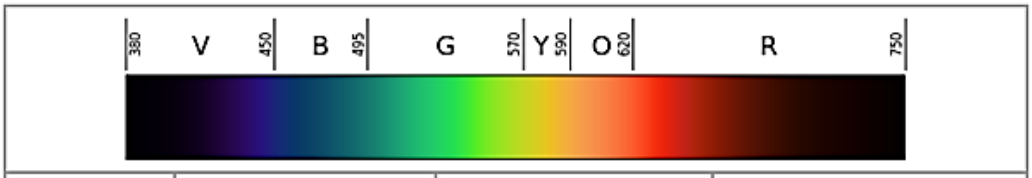



Because n varies with wavelength, the prism disperses the white light into its various spectral components.
Prism
Increasing wavelength
White light
ضوء أبيض
موشور
تزايد طول الموجة



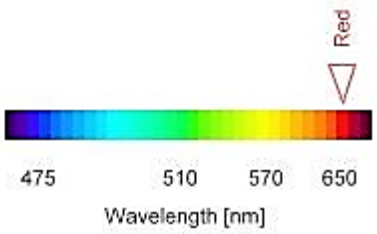
تبدد الضوء الأبيض (المرئي) بوساطة الموشور إلى ألوان الطيف المرئي:
الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، والبنفسجي.

يبين الجدول الآتي تغير كل من طول الموجة (مقدراً بالنانومتر nm حيث $1nm = 10^{-9}m$، التردد مقدراً بالتيراهرتز حيث $1THz = 10^{12}Hz$، وطاقة الفوتون مقدرة بالإلكترون فولط حيث $1eV = 1{,}602 \times 10^{-19}J$ بتابعية اللون.



Color	Wavelength	Frequency	Photon energy
violet	380–450 nm	668–789 THz	2.75–3.26 eV
blue	450–495 nm	606–668 THz	2.50–2.75 eV
green	495–570 nm	526–606 THz	2.17–2.50 eV
yellow	570–590 nm	508–526 THz	2.10–2.17 eV
orange	590–620 nm	484–508 THz	2.00–2.10 eV
red	620–750 nm	400–484 THz	1.65–2.00 eV

Color	Wavelength (nanometers)
Red Light	~650 nm
Orange Light	~590 nm
Yellow Light	~570 nm
Green Light	~510 nm
Blue Light	~475 nm
Indigo Light	~445 nm
Violet Light	~400 nm



يبين الجدولان تغيركل من طول الموجة $\boldsymbol{Wavelength}$ مقدراً بالنانومتر $\boldsymbol{Nanometers}$ حيث $\boldsymbol{1nm = 10^{-9}m}$، التردد $\boldsymbol{Frequency}$ مقدراً بالتيراهرتز حيث $\boldsymbol{1THz = 10^{12}Hz}$، وطاقة الفوتون $\boldsymbol{Photon\ energy}$ مقدرة بالإلكترون فولط حيث $\boldsymbol{1eV = 1,602 \times 10^{-19}J}$ بتابعية اللون.

وكما ذكرنا سابقاً، فإن طاقة الفوتون تُعطى بالعلاقة الآتية:

$$\boldsymbol{E = h.\nu\ (joule)}$$

حيث $\boldsymbol{h}$ يُدعى بثابت بلانك "Called Planck's Constant" الذي يساوي:

$$\boldsymbol{h = 6,626 \times 10^{-34}\ (J.s)}$$

و $\boldsymbol{\nu}$ التردد ويقدر بمقلوب الثانية $(1/s)$ الذي يُدعى بالهرتز $Hertz\ (Hz)$. وبعض الأحيان نرمز للتردد بالحرف f أي $Frequency$.

مثال:

حســـاب طاقة الموجة المرافقة للون الأزرق (طاقة الفوتون المرافق للموجة الزرقاء) مقدرة بالجول وبالإلكترون فولط. معطيات عددية: طول الموجة $\lambda = 475\ nm$ والتردد $\nu = 668\ THz$.

الحل:

بعد التعويض بالعلاقة التي تُعطي طاقة الفوتون نحصل على ما يلي:

$$E = h.\nu\ (joule) = 6{,}626 \times 10^{-34}\ (J.s) \times 668\ THz$$
$$= 6{,}626 \times 10^{-34}\ (J.s) \times 688 \times 10^{12} Hz$$
$$= 4426{,}168 \times 10^{-22} J$$

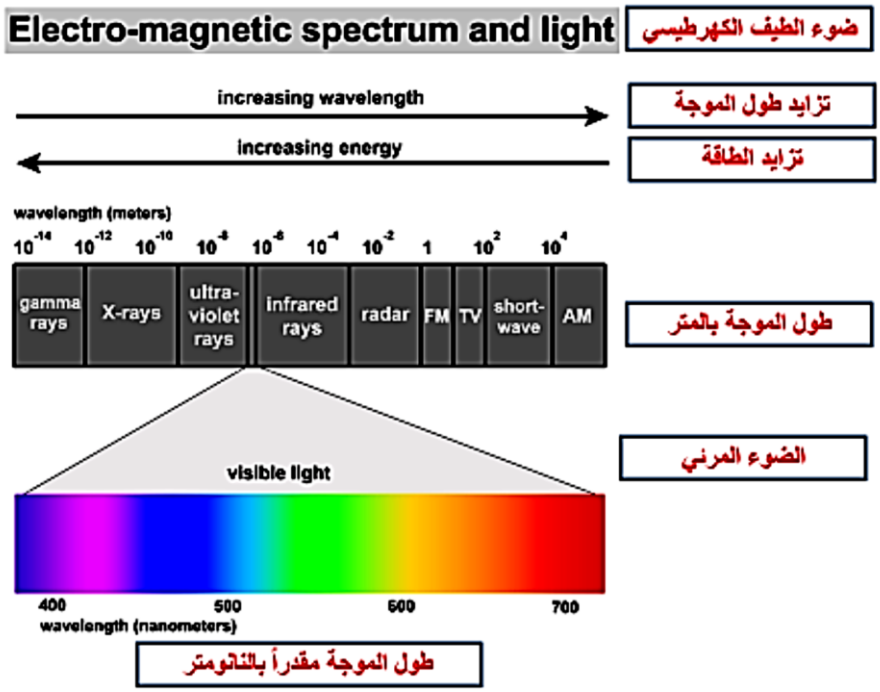
وبما أن العلاقة بين الإلكترون فولط والجول هي:

$$1eV = 1{,}602 \times 10^{-19} J \rightarrow 1J = \frac{1}{1{,}602 \times 10^{-19}}\ eV$$

فيكون لدينا:

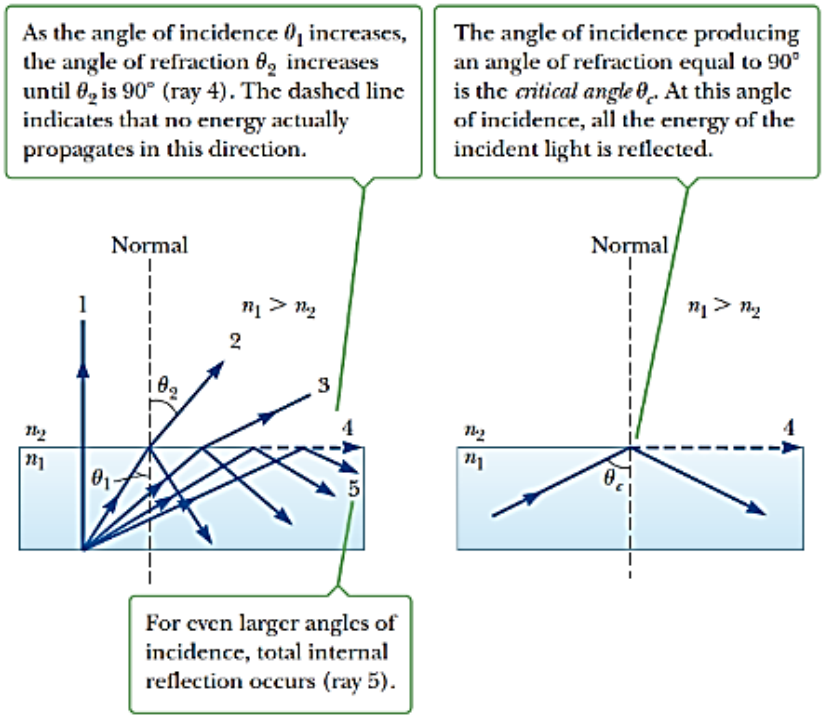
$$E = h.\nu\ (joule) = 4426{,}168 \times 10^{-22} \times \frac{1}{1{,}602 \times 10^{-19}}\ eV$$
$$\cong 2762{,}9 \times 10^{-3}\ eV \cong 2{,}763\ eV$$

والشكل الآتي يوضح ضوء الطيف الكهرطيسي (ألوان الطيف المرئي):



6- الانعكاس الداخلي – Internal Reflection

يحدث الانعكاس الداخلي عندما ينتقل انتشـــار الضـــوء من وســـط قرينته مرتفعة لوســـط قرينته منخفضة. يوضح الشكل المرفق آلية الانعكاس الداخلي.

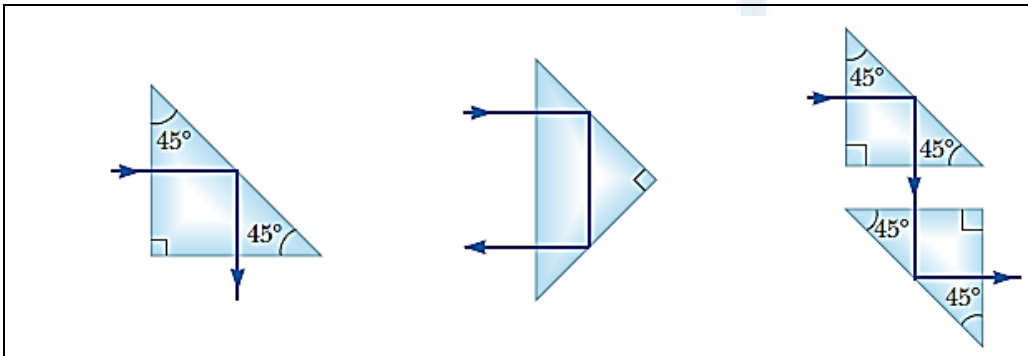


آلية حدوث الانعكاس الداخلي.

وتُعرف الزاوية الحرجة θ_c بالعلاقة الآتية:

$$sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \qquad (5)$$

حيث إن قرينة الوسط الأول (الماء هنا) n_1 أكبر من قرينة انكسار الوسط الثاني (الهواء) n_2: $n_1 > n_2$.



(a) ينحرف الشعاع بزاوية 90 درجة	(b) اتجاه الشعاع ينعكس (ينقلب)	(c) يُستخدم موشوران كجهازيُسمى البيروسكوب

تطبيقات عددية:

تطبيق (1):

شعاع ضوئي ينتقل من وسط الزجاج الذي قرينة انكسار تساوي الواحد $(1,52)$ إلى وسط الماء الذي قرينة انكساره $(1,33)$ علماً أن زاوية وروده الشعاع تساوي 30 درجة مع الناظم. المطلوب إيجاد زاوية الانكسار.

الحل:

من أجل ذلك نستخدم قانون سنيل-ديكارت:

$$n_1.\sin\theta_1 = n_2.\sin\theta_2 \rightarrow \sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1$$

$$\theta_2 = sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1\right) = sin^{-1}\left(\frac{1,52}{1,33}\sin 30^o\right) = sin^{-1}\left(\frac{0,76}{1,33}\right)$$
$$= sin^{-1}(0,571) \cong 34,85^o \cong 35^o$$

أي أن زاوية الانكسار أكبر من زاوية الورود عند الانتقال من وسط أكثر كسراً إلى وسط أقل كسراً (عند الانتقال من الزجاج إلى الماء).

تطبيق (2):

شعاع ضوئي ينتقل من وسط الزجاج الذي قرينة انكسار تساوي الواحد $(1,52)$ إلى وسط الماء الذي قرينة انكساره $(1,33)$. بفرض أن زاوية الورود مجهولة نرمز لها بـــ θ_c وأن زاوية الانكسار تساوي 90 درجة مع الناظم. المطلوب إيجاد زاوية الورود.

الحل:

من أجل ذلك نستخدم قانون سنيل-ديكارت:

$$n_1.\sin\theta_c = n_2.\sin\theta_2 \rightarrow \sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}\sin\theta_2$$

$$\theta_c = sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\sin\theta_2\right) = sin^{-1}\left(\frac{1,33}{1,52}\sin 90^o\right) = sin^{-1}(0,875 \times 1)$$
$$= sin^{-1}(0,875) \cong 61,045^o$$

أي أن زاوية الورود تأخذ قيمة حرجة وتســاوي تقريباً $61,045^o$، حيث من أجل هذه القيمة يكون لدينا انعكاس كلي، وليس هناك من شعاع منكسر.

تطبيق (3):

شعاع ضوئي ينتقل من وسط الزجاج الذي قرينة انكسار تساوي الواحد $(1,52)$ إلى وسط الماء الذي قرينة انكساره $(1,33)$. بفرض أن زاوية الورود تساوي 62 درجة المطلوب إيجاد قيمة زاوية الانكسار θ_2 في الماء.

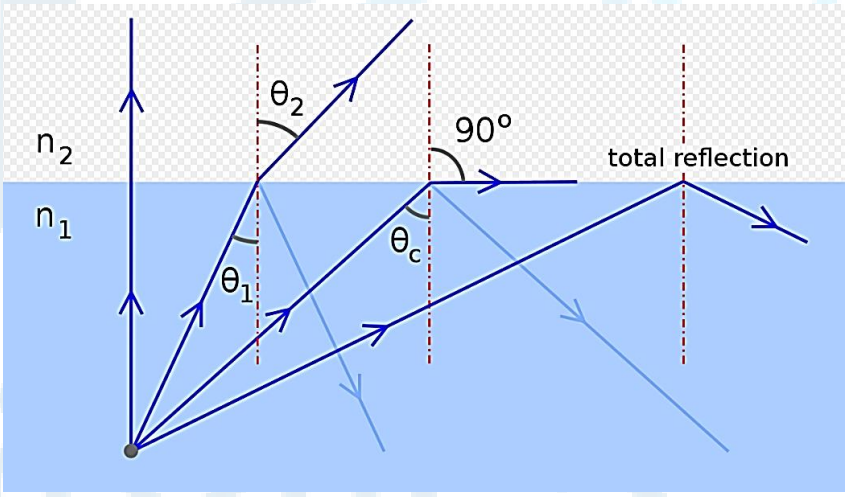
الحل:

من أجل ذلك نستخدم قانون سنيل-ديكارت:

$$n_1.\sin\theta_1 = n_2.\sin\theta_2 \rightarrow \sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1$$

$$\theta_2 = sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1\right) = sin^{-1}\left(\frac{1{,}52}{1{,}33}\sin 62^o\right)$$
$$= sin^{-1}(1{,}143 \times 0{,}883) = sin^{-1}(1{,}009)$$
$$\cong Error\ (Invalid\ input)$$

وهذا مستحيل لأن أكبر قيمة للجيب هي الواحد، أي أن ليس هناك من شعاع منكسر، فالشعاع الوارد ينعكس بشكل كامل (**انعكاس كلي داخلي**) (**Total Reflection**)، ويكون لدينا زاوية الانعكاس تساوي 62^o وهي تساوي زاوية الورود.



شكل يوضح التطبيقات الثلاث المدروسة أعلاه ومفهوم الانكسار والانعكاس من أجل

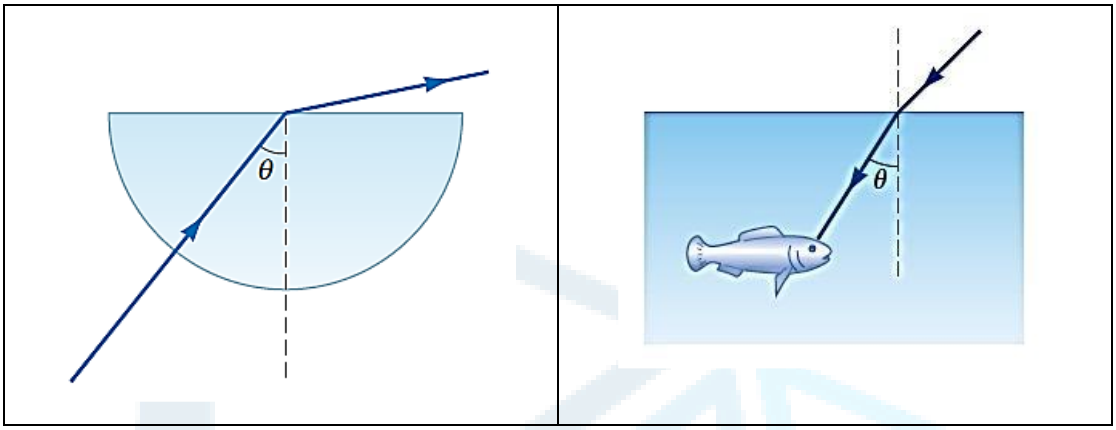
$n_1(\text{زجاج}) > n_2(\text{ماء})$.

<u>تطبيق فيزيائي:</u>

سمكة تنظر نحو الأعلى باتجاه سطح الماء. ماذا ترى السمكة وفق الشكل المعطى؟ المطلوب:

(1) إيجاد الزاوية الحرجة عند اجتياز الحد الفاصل بين الماء والهواء.

(2) استخدم نتيجة الطلب الأول للتنبؤ (أو للتوقع) ماذا سترى السمكة وفق الشكل المعطى إذا نظرت السمكة نحو الأعلى باتجاه سطح الماء من أجل الزوايا التالية: 40 درجة، 48,6 درجة، و 60 درجة؟ معطيات عددية: قرينة انكسار الهواء تساوي الواحد $n_2 = 1$، وقرينة انكسار الماء تساوي: $n_1 = 1{,}333$.



الحل:

إن الهدف من هذا التطبيق هو تطبيق فكرة أو مفهوم الانعكاس الكلي الداخلي.

الطلب الأول:

من العلاقة التي تسمح بحساب الزاوية الحرجة نجد أن:

$$sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1{,}333} \cong 0{,}750 \rightarrow \theta_c = \sin^{-1}(0{,}750) \cong 48{,}6^o$$

الطلب الثاني:

عند الزاوية 40 (الأصغر من الزاوية الحرجة) الضوء ينكسر عند سطح الماء ويدخل وسط الهواء. وبما أن طريق الأشعة الضوئية قابل للإنعكاس (بحسب قانون سنيل)، فإن الضوء سيسلك نفس الطريق (بالاتجاه المعاكس) وتستقبله السمكة.

عند الزاوية 48,6 (الزاوية الحرجة)، الزاوية الحرجة من أجل الماء، فإن الحزمة الضوئية من تحت سطح الماء تنحني (تنحرف) وتنتشر على طول سطح الماء، وهكذا الضوء يتبع نفس الطريق ولكن بشكل معاكس ويصل إلى السمكة فقط بواسطة زبد الماء (رغوة الماء) على طول السطح قبل أن ينكسر باتجاه عين السمكة.

عند الزاوية 60 درجة الأكبر من الزاوية الحرجة، فإن الحزمة الضوئية ستتجه نحو الأسفل وتنعكس بشكل كامل نحو أسفل البركة حيث تتواجد السمكة. وبعكس الطريق، فإن السمكة سترى انعكاس بعض الأشياء الموجودة في الأعماق.

7- نظرية الألياف الضوئية (الألياف البصرية) – Fiber Optic Theory

إن نظرية الألياف الضوئية (الألياف البصرية) تعتمد على الضوء. وهنا لا بد من التذكير بالمفاهيم الآتية:

- **مفهوم الضوء الهندسي:** يمثل الضوء هنا بأشعة حيث تسمح بفهم تشكيل الصور والأخيلة، وهنا لا نهتم بشرح مفهوم التداخل والانعراج.

- **مفهوم الضوء الموجي:** يمثل الضوء هنا باهتزازات بتموجات (أي أن الضوء هنا عبارة عن موجة، أو بتعبير آخر نمثله بتابع موجي) حيث يسمح لنا بشرح مفهوم التداخل والانعراج. ونعتبر هنا أنه بشكل تقريبي عندما يكون طول الموجة يساوي الصفر، فإن الضوء الموجي ينتهي إلى الضوء الهندسي.
- **مفهوم الضوء الكهرطيسي:** يمثل الضوء هنا بموجة كهرطيسية (معادلات ماكسويل) حيث يمكننا شرح وتفسير التداخل، الانعراج، والاستقطاب.

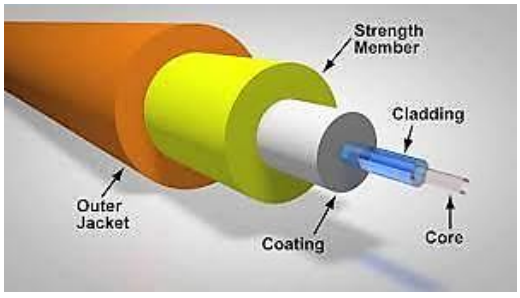
تعريف:

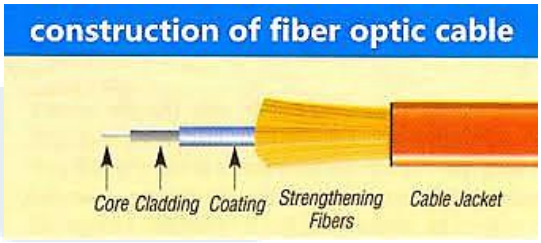
الليف البصري هو عبارة عن سلك زجاجي رفيع جداً، سمكه تقريباً يعادل عشر سماكة شعرة إنسان. وهو قادر على نقل الضوء، ويستخدم لنقل المعطيات والمعلومات العددية، أو للاستثمار المرئي في الوسط الطبي.

تركيب الليف البصري:

يتألف الليف البصري من ثلاثة مكونات هي:

1) القلب المصنوع من مادة السيليس حيث تنتشر الأمواج الضوئية.
2) الغلاف الضوئي الخارجي، وبشكل عام، يُصنع من نفس مواد القلب مع إضافات تسمح بحصر وحبس الأمواج الضوئية في القلب.
3) الغلاف الخارجي للحماية ويصنع عادة من البلاستيك الذي يؤمن الحماية الميكانيكية لليف البصري.





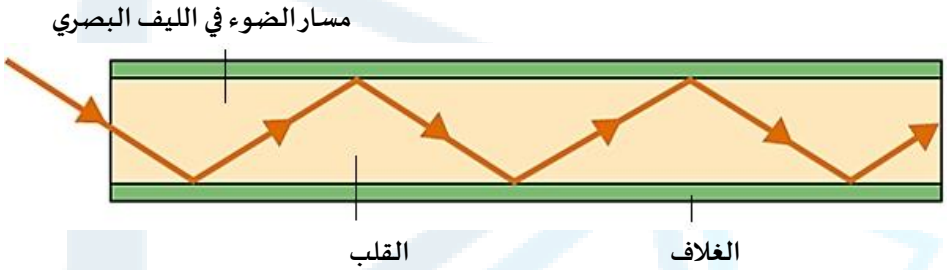
القلب (Core) $\cong$ **62, 5** μm، غلاف ضوئي (Cladding) $\cong$ **125** μm،
غلاف أولي (Coating) $\cong$ **250** μm، غلاف من السيليكون (Stengthining Fibers) $\cong$ **400** μm،
غلاف خارجي (Cable Jacket) $\cong$ **900** μm

شكل يوضح تركيب الليف البصري.

مبدأ عمل الليف البصري:

إن الليف البصري هو عبارة عن دليل مُرشد أو موجه للأمواج الضوئية الذي يستغل ويستثمر خصائص الانعكاسات الضوئية المتتالية. وهو كما ذكرنا أعلاه يتركب من قلب محاط بغلاف. قلب الليف

البصري يمتلك قرينة انكسار أكبر بقليل (الفرق عبارة عن بضعة أجزاء من الألف) من قرينة انعكاس الغلاف ويمكنه حبس وحصر الضوء المنعكس بشكل متتالي وبشكل كامل على السطح بين المادتين (مادة القلب ومادة الغلاف) وذلك بسبب ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي. بتعبير آخر، يعتمد مبدأ عمل الليف البصري على مفهوم الانعكاس الداخلي الكلي. يُقاد الضوء في الليف البصري بوساطة الانعكاسات الكلية المتتالية على السطح الفاصل بين قلب وغلاف الليف البصري، انظر الشكل المرفق.

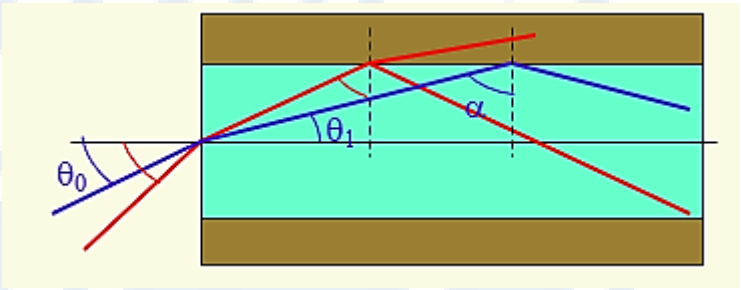


شكل يوضح مبدأ عمل الليف البصري.

عندما يدخل شعاع ضوئي في الليف البصري من أحد طرفيه بزاوية مناسبة ومحددة بشكل جيد، فهذا الشعاع يخضع لانعكاسات داخلية كلية. ينتشر هذا الشعاع حتى الطرف الآخر لليف البصري دون ضياع، متبعاً مسار أو طريق على شكل تعرجات (**Zigzag**). انتشار الضوء في الليف يمكن أن يتم مع ضياع ضعيف جداً حتى لو كان الليف منحنياً أو ملتوياً.

وهنا نطرح السؤال الآتي: من أجل أن يُقاد الضوء في الليف البصري، ما هي الشروط التي يجب تحقيقها لورود الضوء في الليف البصري؟

ولنحاول الآن استنتاج الشرط الذي يجب أن تحققه الزاوية θ_0، انظر الشكل المرفق، لكي يُقاد الضوء في الليف البصري، أي بتعبير آخر سنعرف مفهوم كل من "**مخروط القبول – Acceptance cone**". و "الانفتاح العددي – **Numerical Aperture**" لليف البصري.



استنتاج الشرط الذي يجب أن تحققه الزاوية θ_0،

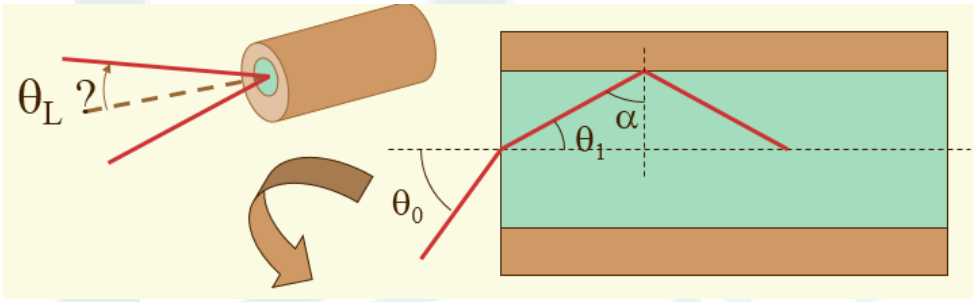
يوصف الليف البصري غالباً وفق المتحولين أو المعاملين التاليين:

- **أولاً:** فرق **القرينة المنظم**، الذي يعطي قياس لقفزة القرينة بين القلب والغلاف:

$$\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c}$$

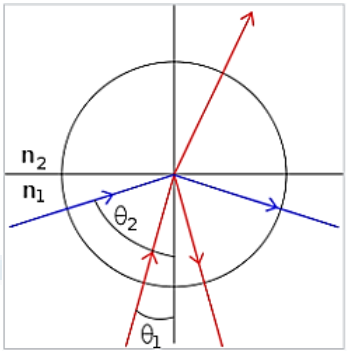
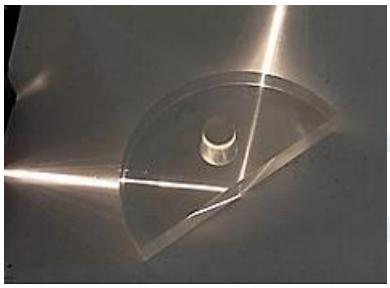
حيث n_c قرينة انكسار القلب، وقرينة انكسار الغلاف n_g. إن Δ يمثل التغير النسبي لقرينة الانكسار.

- **ثانياً:** فتحة الليف البصري (القيمة العددية لفتحة الدخول لليف البصري) التي يُعبر عنها بجيب زاوية الدخول العظمى للضوء في الليف البصري المشكلة بين محور الليف والشعاع الأكثر انحرافاً، وذلك من أجل أن يُقاد الضوء دون ضياع. وتُعرف القيمة العددية لفتحة الليف (انظر الشكل المرفق) بالعلاقة الآتية التي تسمح بتعريف زاوية الورود الحدية أو العظمى $(\alpha_L = \alpha_{Lmax})$، التي تسمح بتوجيه الإشارة الضوئية:



الانعكاس الكلي الداخلي:

في الضوء الهندسي، إن ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي تحدث عندما الشعاع الضوئي يصل إلى السطح الفاصل بين وسطين لهما قرينتي انكسار مختلفتين مع زاوية ورود أكبر من قيمة حدية: حيث في تلك الحالة هناك فقط شعاع منعكس ولم يعد هناك شعاع منكسر.

	
انعكاس و انكسار شعاع ضوئي في وسطين قرينة انكساريهما n_1 و n_2 حيث $(n_1 > n_2)$. الشعاع الضوئي الوارد بزاوية θ_2 منعكس بشكل كامل (اللون الأزرق)، بينما الشعاع الوارد بزاوية θ_1 جزء منه منعكس وجزء منكسر (اللون الأحمر).	**صورة توضح الانعكاس الداخلي الكلي.**

تحدث هذه الظاهرة عندما الشعاع الضوئي الوارد يتواجد في وسط قرينة انكساره أكبر من قرينة انكسار الوسط الذي يمكن أن يتواجد فيه الشعاع المنكسر: على سبيل المثال عند الانتقال من وسط الزجاج

إلى الهواء أو إلى الماء. هذه الظاهرة هي أساسية في علم الاتصالات ونقل المعلومات بواسطة الألياف البصرية (الضوئية).

على الشكل السابق، الزاوية $\boldsymbol{\theta_1}$ أصغر من الزاوية الحدية، والشعاع الأحمر هو بآن واحد منعكس ومنكسر. من أجل الشعاع الأحمر الوارد وفق الزاوية $\boldsymbol{\theta_2}$ هي أكبر من الزاوية الحدية، إذاً هناك انعكاس كلي. إن قياس الزاوية الحدية تسمح بمعرفة النسبة بين قرينتي انكسار الوسطين أو المادتين، وإذا عرفنا إحداهما يمكن قياس الأخرى. وهذا المبدأ هو المستخدم في قياس قرائن الانكسار.

تقريب رياضي:

لنذكر بقانون سنيل-ديكارت **(Sneil-Descartes)** للانكسار:

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

حيث $\boldsymbol{n_1}$ و $\boldsymbol{n_2}$ قرينتي انكسار الوسطين 1 و2، و $\boldsymbol{\theta_1}$ و $\boldsymbol{\theta_2}$ الزاويتان المتشكلتان مع الناظم على التوالي للشعاع الوارد وللشعاع المنكسر. من العلاقة السابقة نستنتج أن:

$$sin\ \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} . sin\ \theta_1$$

وهذه المعادلة لها حل من أجل قيمة معينة للزاوية θ_2 إذا وفقط إذا كانت قيمة الطرف اليميني بين القيمتين (-1) و (+). يمكننا أن نستنتج أو نلاحظ أنه من أجل $n_1 < n_2$، فالمعادلة لها حل دوماً من أجل قيمة معينة لـ θ_2، هذا يعني أنه من أجل $n_1 < n_2$، يوجد دوماً شعاع منكسر وليس هناك أبداً انعكاس كلي.

في الحالة التي كون فيها $n_1 > n_2$، العبارة $\left(\frac{n_1}{n_2} . sin\ \theta_1\right)$ يمكن أن تأخذ قيم خارج المجال $[-1, +1]$: ليس هناك من شعاع منكسر، والانعكاس هو انعكاس كلي. إن القيمة الحدية للزاوية θ_2 تعطى بالعلاقة:

$$\frac{n_1}{n_2} . sin\ \theta_1 = 1$$

ومن هذه المعادلة نستنتج قيمة زاوية الورود الموافقة، أي:

$$\theta_1 = Arc\ sin \frac{n_2}{n_1}$$

واستناداً إلى ذلك يمكننا أن نكتب:

$$\alpha \geq \alpha_L = Arc\ sin \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \alpha_L = \frac{\pi}{2} - \ Arc\ sin \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1 \rightarrow \theta_0 = Arc\ sin \left(\frac{n_1}{n_0} \sin \theta_1\right)$$

$$\theta_0 \leq \theta_L = Arc\ sin \left(\frac{n_1}{n_0} \sin \left[\frac{\pi}{2} - \ Arc\ sin \frac{n_2}{n_1}\right]\right)$$

$$\theta_L = Arc\ sin\left(\frac{n_1}{n_0}\cos\left[Arc\ sin\frac{n_2}{n_1}\right]\right) = Arc\ sin\left(\frac{n_1}{n_0}\sqrt{1-\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}\right)$$

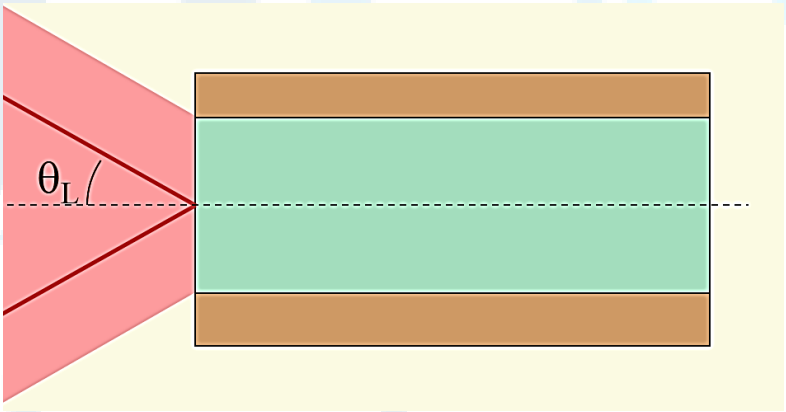
حيث n_1 هنا قرينة الليف البصري، n_2 قرينة الغلاف البصري، و n_0 قرينة انكسار الهواء.

ويجب أن يرد الضوء في الليف الضوئي عبر مخروط نصف زاويته الرأسية تساوي θ_L، التي يُطلق عليها اسم "**مخروط القبول – Acceptance cone**". ويُعرف الانفتاح العددي – "**Numerical Aperture**" لليف بالعلاقة:

$$NA = n_0 \sin\theta_L = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \qquad (6)$$

تطبيق عددي:

$$n_1 = 1{,}5\ \&\ n_2 = 1{,}4\ \&\ n_0 = 1 \rightarrow NA = 0{,}539\ \&\ \theta_L = 32{,}6^o$$



شكل يوضح نصف الزاوية الرأسية لمخروط القبول التي رمزنا لها بـ θ_L.

$n_1 > n_2$، لكن بشكل عام قرينتي الانكسار قريبتين من بعضهما البعض أي أن $(n_1 - n_2 \ll n_1)$

ومنه فإن:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} = \frac{(n_1 - n_2)(n_1 + n_2)}{2n_1^2} \approx \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$$

حيث Δ التغير النسبي للقرينة. وفي هذه الحالة يكون لدينا:

$$NA = n_0 \sin\theta_L = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1\sqrt{2\Delta}$$

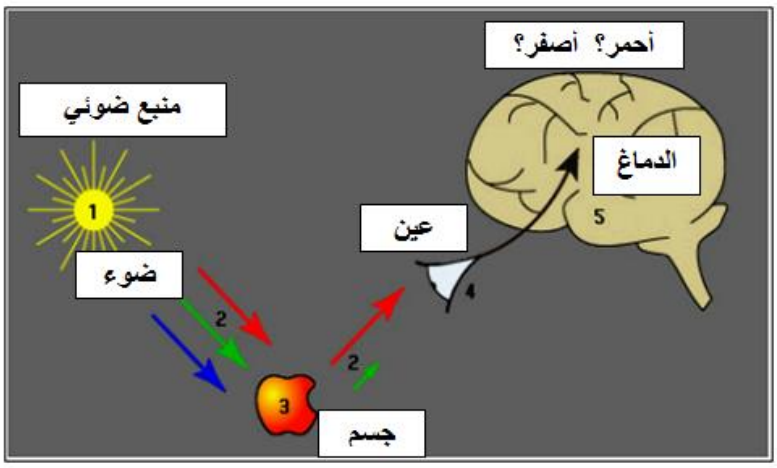
تطبيق عددي:

$$n_1 = 1{,}45\ \&\ \Delta = 1\%\ \&\ n_0 = 1$$
$$\rightarrow NA = n_1\sqrt{2\Delta} \cong 0{,}205 \quad \& \quad \theta_L \cong 11{,}8^o$$

8- تفسير بعض الظواهر المتعلقة بالضوء – Explication Some Optical Phenomena

(أ) العين والضوء:

في ظاهرة الضوء يوجد ثلاثة مشاركين: الضوء، الجسم والعين، الشكل التالي.

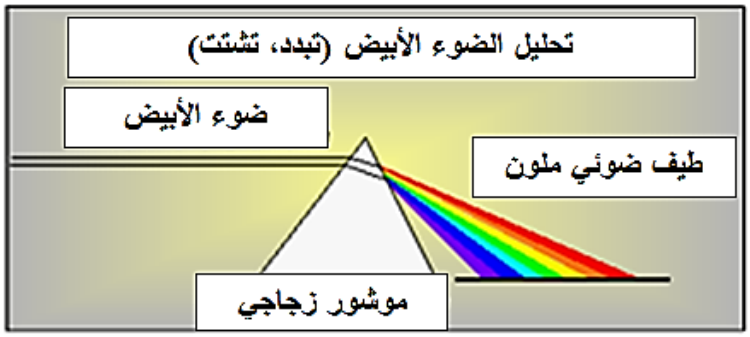


الشكل: (1) منبع ضوئي، (2) ضوء، (3) جسم، (4) عين، (5) دماغ.

(ب) تفاعل الإشعاع مع المادة:

من أجل أن يكون جسم ملوناً، يجب أن يكون مضاءً. لكن هناك حيث لا يوجد مادة، لا يوجد لون. إذاً لا بدَّ من تفاعل الإشعاع مع المادة.

يتم تبادل في الطاقة E بين الإشعاع والمادة عند تفاعل الإشعاع مع المادة. عندما يكون تبادل الطاقة معدوماً، أي عندما يكون $\Delta E = 0$، نقول إنه لدينا تصادم مرن، الشكل المرفق.



الشكل: تصادم مرن $\Delta E = 0$. تشتت الضوء الأبيض بوساطة الموشور: ضوء هندسي، قرينة انكسار، تبدد الضوء.

(ج) الألوان:

ما هو لون الليمونة الحامضة؟

ما هو لون قرص البندورة؟

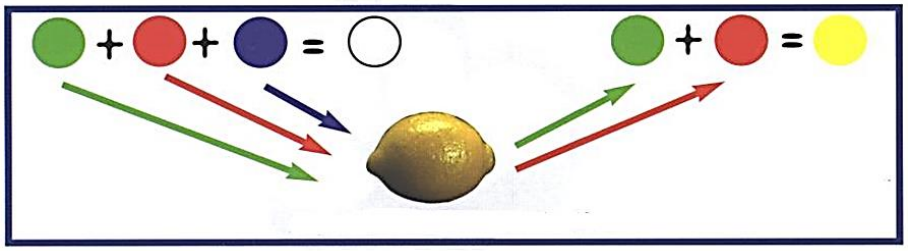
1- هل هو أزرق؟

2- هل هو أحمر؟

3- هل هو أصفر؟

إن لون الليمونة الحامضة أصفر. لكن لماذا أصفر؟

يتولد الضوء من منبع ضوئي يمكن أن يكون شمعة، مصباحاً، شمساً... نجد في الضوء سلسلة من الألوان الممزوجة فيما بينها فتُعطي الضوء الذي نراه، انظر الشكل التالي.

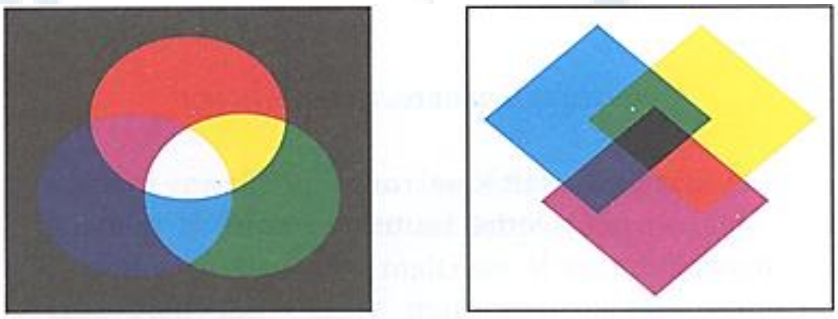


الشكل: قشرة الليمونة الحامضة امتصت اللون الأزرق، وعكست اللون الأحمروالأخضر، ومزجهما يعطي اللون الأصفر.

عند إضاءة قرص البندورة باللون الأبيض، فإنه يُظهر اللون الأحمر لأن قشرته تمتص كل الألوان الأخرى ولا تعكس إلا اللون الأحمر.

برهن العالم ماكسويل (1831-1879) أنه يمكن الحصول على كل درجات الألوان ابتداءً من ثلاثة ألوان أساسية (ألوان أولية): الأحمر، الأخضر، والأزرق، الشكل التالي.

اللون الأصفر مكمل للون الأزرق: أحمر + أخضر = أصفر.



ألوان مطروحة بعضها من بعض (ألوان أولية) | **ألوان مجموعة بعضها لبعض (ألوان ثانوية)**

الشكل يوضح مزج الألوان.

(د) المنابع الضوئية:

كل جسم يمكن أن يُصدر ضوءاً، أو يمكن يُرِدّ الضوء (يُرسل، يُرجع أو يُعيد الضوء) من حوله. يمكن تصنيف المنابع الضوئية إلى منابع أولية ومنابع ثانوية.

1- **المنابع الأولية:**

هي المنابع التي تولد ضوءها الخاص بها. نذكر منها:

- المنابع **المتوهجة** (ذات درجات حرارة مرتفعة) مثل الشمس (درجة حرارتها 6000°C)، الوقود الذي يحترق (شعلة شمعة، مصباح غازي، مصباح وقود... مصابيح كهربائية... إلخ).
- المنابع **المضيئة** (أو المنيرة) (ذات درجات حرارة منخفضة) مثل اللمع، شرارات (تفريغ كهربائي، إضاءة كهربائية)، مصابيح فلوريسنت (تعمل على غاز النيون) ... إلخ.

2- **المنابع الثانوية:**

هي المنابع التي تُعيد (تُرسل، تُرجع) الضوء الذي تستقبله. ونتيجة لذلك يحدث ما يُعرف، كما رأينا سابقاً بـ: امتصاص، انعكاس، أو انكسار الضوء. وكل منبع ثانوي يُرسل الضوء في كل الاتجاهات ("تشتت أو تبعثر" و "انعراج" الضوء). أمثلة على ذلك: السماء (يُشتت الهواء ضوء الشمس)، القمر (يعكس ضوء الشمس)، قوس قزح (هو عبارة عن انكسار الضوء بوساطة قطرات الماء).

3- **انتشار الضوء:**

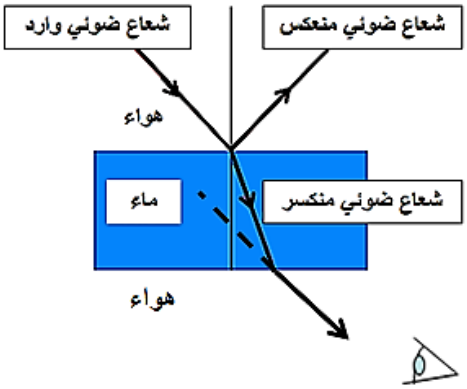
نعلم أن الضوء ينتشر وفق خط مستقيم في وسط متجانس. وتتغير سرعته c بحسب الوسط:

- سرعة الضوء في الخلاء: $c = 300000(km/s)$،
- سرعة الضوء في الماء: $v \approx 225000(km/s)$، يتعلق بقيمة التردد،
- سرعة الضوء في الزجاج: $v \approx 200000(km/s)$،

إن قرينة الانكسار مُعرَّفة بالعلاقة:

$$n = \frac{c}{v} > 1$$

حيث: $n \approx 1$ في الهواء، و $n \approx 1{,}6$ في الماء. عندما تتغير قرينة الانكسار، فإن مسار الضوء ينحرف (ينكسر). ويمكن للضوء أن ينعكس أو ينكسر بشكل كامل. نذكر أيضاً بأن الضوء يتفاعل مع المادة، بوساطة تبادل الطاقة. إذاً ينحرف الضوء بوساطة الأجسام. وهذا يؤدي، كما ذكرنا سابقاً، إلى أن كل منبع ثانوي يُرسل الضوء في كل الاتجاهات ("تشتت أو تبعثر" و "انعراج" الضوء). سنُعطي أمثلة على ذلك لاحقاً عند دراسة ظاهرة: قوس القزح، اللون الأزرق للسماء، السراب... إلخ.



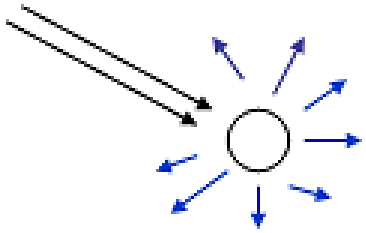
الشكل: تبدو القطعة الحمراء مكسورة لأن الضوء يبدووكأنه يأتي من الأسفل.

(هـ) لماذا لون السماء زرقاء عند الظهيرة؟

ينتج اللون الأزرق للسماء من تبعثر وتشتت الأشعة الشمسية بوساطة الغلاف الجوي. وإذا كان الغلاف الجوي ليس له وجود، سوف نرى قبة سماوية كلها سوداء، وستكون النجوم واضحة للرؤية في منتصف النهار.

نعلم إن الضوء الأبيض للشمس هو مزيج من كل ألوان قوس القزح. يسير الضوء على شكل أمواج ذات أطوال موجية مختلفة. يسير الضوء إذاً بخط مستقيم حتى يُصادف حاجزاً فيُرسله ثانية في اتجاه آخر.

عندما تدخل الأشعة الشمسية في الغلاف الجوي، تصادف ذرات، جزيئات هواء، قطرات ماء، وغبار. إن لجزيئات الهواء أبعاداً كافية لتبعثر وتشتت الأطوال الموجية الأكثر قصراً للضوء، البنفسجي، النيلي، والأزرق، بينما الأطوال الموجية الأكثر طولاً، كالحمراء، تكاد تقريباً لا تتبعثر ولا تتشتت بوساطة هذه الجزيئات من الغبار. إذاً، هناك مزيج من الألوان البنفسجي، النيلي، الأزرق، الأخضر، وجزء قليل من الألوان الأخرى المتبعثرة. **ولهذا السبب نرى السماء زرقاء**، الشكل المرفق.



يتبعثرويتشتت اللون الأزرق في كل الاتجاهات بوساطة جسيمات الغلاف الجوي (الهواء).

إضافة إلى ذلك، فعندما ننظر إلى السماء، فإن الضوء الذي يصل لأعيننا هو من مصدرين مختلفين: الأول يأتي مباشرة من **الشمس** بخط مستقيم، والآخر يتبع مساراً عشوائياً غير مُنظم كلياً وغير متوقع (نُطلق

على ذلك اسم حركة براونية) لأنه مُتبعثر بوساطة الغلاف الجوي: يأتينا اللون الأزرق إذاً من كل مكان. الضوء الأول هو أبيض، يُحرِّض ظلال (أو أخيلة) ساطعة بسبب مسارها المستقيم الذي يأتي من **الشمس**، في حين أن الضوء الآخر مُسيطر عليه اللون الأزرق، والذي لا يُحرِّض ظل (خيال) لأنه يصل إلينا من كل الاتجاهات.

(و) لماذا لون السماء برتقالي عند الغروب؟

عندما يكون الهواء صافياً (غير ملوثاً)، تبدو السماء عند المغيب صفراء، وذلك لأن الضوء الآتي من الشمس يكون قد قطع مسافة طويلة في الهواء، وجزءاً من اللون الأزرق يكون قد تبعثر بعيداً. إذا كان الهواء ملوثاً بجسيمات صغيرة، طبيعية أو غير ذلك، فإن السماء تبدو عند المغيب أكثر احمراراً. وتبدو السماء، عند المغيب، فوق البحر برتقالية، وذلك بسبب وجود الجسيمات المالحة في الهواء[1]. نرى السماء حول الشمس مُحمرة، وكأن الضوء يأتي مباشرة من الشمس. إن سبب ذلك هو أن كل الضوء يكون تبعثر نسبياً بزوايا صغيرة، لكن اللون الأزرق يكون ذا احتمال أكبر ليتبعثر مرتين أو أكثر عند المسافات الأكبر، تاركاً الألوان الأصفر، الأحمر، والبرتقالي (يُنقل الضوء **الأحمر** في اتجاه شعاع الورود).

(ز) كيف نُفسر ظاهرة قوس قزح؟

من أين يأتي هذا القوس الرائع المُتعدد الألوان الذي نلاحظه بعد العاصفة؟ يجب علينا الغوص في عالم الضوء، لكي نفهم مصدر هذا القوس.

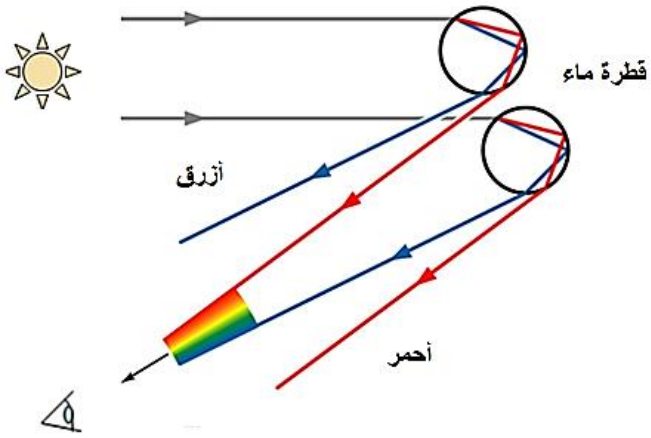
منذ العصور القديمة، فإن أقواس القزح تُحيِّر العلماء: فكَّر أرسطو (Aristote)، على سبيل المثال، أن سببه هو إنعكاس الشمس على الغيوم. لكن يعود الفضل لإسحاق نيوتن (Issac Newton) في عام 1666 لشرح أصل ومصدر ألوان قوس قزح.

يجب أن نعرف أولاً أن اللون هو إحدى مظاهر الضوء (الذي هو موجة كهرطيسية) لطول موجة مُحدد. نعلم أن المجال المرئي للعين يمتد من الطول الموجي 400 نانومتر (400nm) (الموافق للون البنفسجي الذي تراه أعيننا) إلى الطول الموجي 670 نانومتر (670nm) (الموافق للون الأحمر).

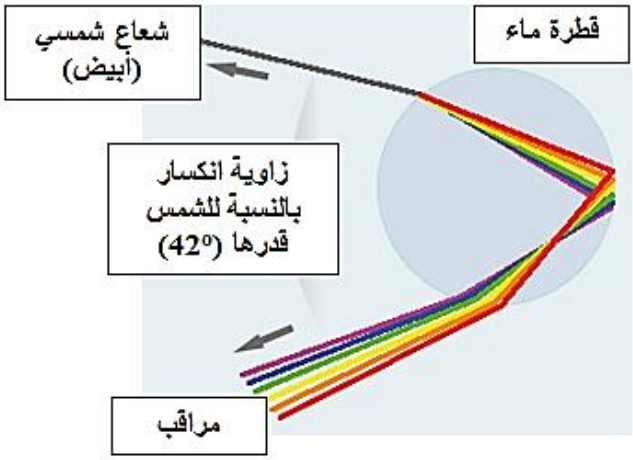
لكن الضوء الصادر عن الشمس هو **"أبيض"**، هذا يعني أنه مُركَّب من مزيج من الأمواج الضوئية ذات أطوال موجية (إذاً من ألوان) مُختلفة. إذا حلَّلنا هذا الضوء إلى مركباته (مكوناته)، نحصل على طيف من الضوء المرئي. يتدخل تحليل الضوء في أثناء ظاهرة الانكسار.

([1]) عند مرور الضوء عبر مائع صافٍ حيث هناك جسيمات صغيرة مُعلقة في هذا المائع، فإن الأطوال الموجية الأقصر للضوء الأزرق تتبعثر بشكل أكبر وأقوى منه من اللون الأحمر. بعبارة أخرى، فإن الضوء الأزرق ذو طاقة أكبر من الضوء الأحمر (طول موجة اللون الأزرق أقصر من طول موجة اللون الأحمر)، أي أن اللون الأزرق يتفاعل بشكل أقوى مع المادة، إذاً فينحرف بشكل أكبر.

عند حدوث المطر، فإن كل نقطة ماء تؤدي إلى انكسار: تعكس هذه النقطة الضوء الأبيض الصادر عن الشمس بِحَرْف مختلفة مركباته بحسب زوايا مختلفة. وهكذا تظهر سبعة ألوان: الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي، والبنفسجي، الشكلان التاليان.



الشكل: المسير في قطرة ماء للأشعة الشمسية.



الشكل: انعكاس و انكسار بوساطة قطرة ماء: أحمر (41°+1°)، بنفسجي (41°-1°).

أولاً - رؤية جزء من دائرة قوس القزح:

تتعلق زاوية الانحراف، في الواقع، بطول الموجة: نستطيع أن نرى قوس مع ألوان مختلفة متتالية. على سبيل المثال، ينعكس اللون الأزرق بحسب زاوية قدرها (40,5°) درجة بالنسبة لأشعة الشمس، وينعكس اللون الأحمر وفق الزاوية (42,4°) (توافق هذه الزاويا للمسار "شمس-قطرة ماء-عين"). ولهذا السبب فإن اللون الأحمر يُرى عند الطرف العلوي لقوس القزح من قبل المراقب.

ولهذا السبب أيضاً يجب إذاً، لرؤية أو لمراقبة قوس قزح، أن تكون زاوية ارتفاع الشمس أقل من (42°) درجة. هناك قليل من الاحتمال أو الحظ برؤية قوس قزح عند الظهر! وبشكل معاكس، كلما كانت الشمس

منخفضة عند الأفق، كلما كان قوس قزح مرتفعاً. ولا يمكننا أبداً رؤية قوس قزح على شكل نصف دائرة كاملة، إلا إذا كنا على جبل أو في طائرة. يمكن رؤية دائرة قوس قزح بشكل كامل عندما نكون في الطائرة.

إضافة إلى ذلك، وبحسب كبر وضخامة قطرات الماء، فيكون قوس قزح أكثر أو أقل تلويناً. في الواقع، عندما تكون قطرات الماء ناعمة جداً (في حالة الرذاذ أو المطر الخفيف على سبيل المثال)، فإن الضوء يتشتت بشكل سيئ: سيكون قوس قزح عندها باهتاً.

ثانياً - قوس قزح مُضاعف:

بعض الأحيان، نرى قوس قزح ثانٍ، أكثر عرضاً، ويمكن أن يُشاهد فوق قوس القزح الأول. سبب ذلك هو انعكاس ثانٍ للأشعة الشمسية داخل قطرات ماء المطر. تُقدر زاويته تقريباً بـ (52°) درجة، الشكل التالي.

وبما أن الضوء ينعكس مرتين، فالألوان تنقلب بالنسبة لقوس القزح الأولي، وهو أيضاً شاحب، إذاً أقل وضوحاً. يمكن، نظرياً، أن نرى عدداً غير منتهٍ من أقواس قزح ناتجة عن انعكاسات متعددة في قطرة الماء. ونشير هنا إلى أنه، مخبرياً، تم الحصول، بهذه الطريقة، على 19 قوس قزح.

لسوء الحظ، في الحقيقة والواقع فالسماء ليست مُعتمة بشكل كافٍ لكي نرى كل هذه الأقواس القزحية. يمكن أن نرى أيضاً أقواس قزح زائدة (فائضة) داخل القوس الأول. وتكون غالباً ذات ألوان خضراء وزهرية، وهذه الأقواس لم تنتج عن الانعكاسات لأشعة الشمس في قطرات الماء، لكن سببها التداخل الضوئي بين القطرات.

لا يستمر، بشكل عام، قوس قزح أكثر من نصف ساعة (أطول فترة لاستمرار قوس قزح تم ملاحظتها في إنكلترا، حيث كانت ست ساعات). يمكن أيضاً رؤية أقواس قزح بالقرب من شلالات الماء، أو في الحديقة... عند سقاية أو رش أنواع معينة من الأزهار تُدعى بالبغونيات (Begonias).

الشكل: تُرى أقواس القزح بشكل أفضل عندما تكون السماء مُعتمة:

ويمكن بعض الأحيان رؤية قوس قزح ثانٍ.

(ك) كيف نُفسر ظاهرة السراب؟

(1) تفسير ظاهرة السراب:

ما هي ظاهرة السراب؟ هل هي خدعة بصرية، هلوسة، أو هذيان؟

تُعدّ ظاهرة السراب ظاهرة غريبة... مع ذلك، فمن السهل تفسيرها. إن قوانين الفيزياء، في الواقع، قادرة على تفسيرها.

نعلم أن الضوء ينتشر في الفراغ. إذا اجتاز الضوء مادة شفافة (هواء، ماء) أو خلاء، في هذه الشروط، ينتشر وفق خط مستقيم إذا كانت المادة المُصادفة، أي التي يجتازها، متجانسة.

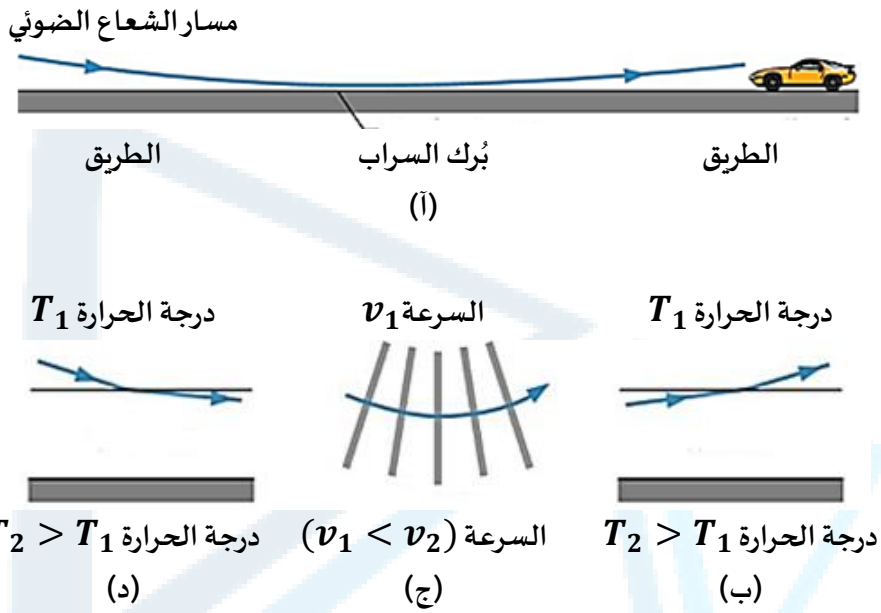
في حالة الصحراء، درجة حرارة الهواء على ارتفاع (5cm) من الأرض أكبر مما هو عليه عند (1m). إذاً، تُعدّ المادة في هذه الحالة غير متجانسة، فعندها مسار الضوء ينحرف، أي لم يعد خطاً مستقيماً، وعند النظر إلى الرمل، نلاحظ، في الواقع السماء. ولهذا السبب، في وسط الصحراء، يعتقد الناس أنهم يرون خِداعاً وأوهاماً، الماء...

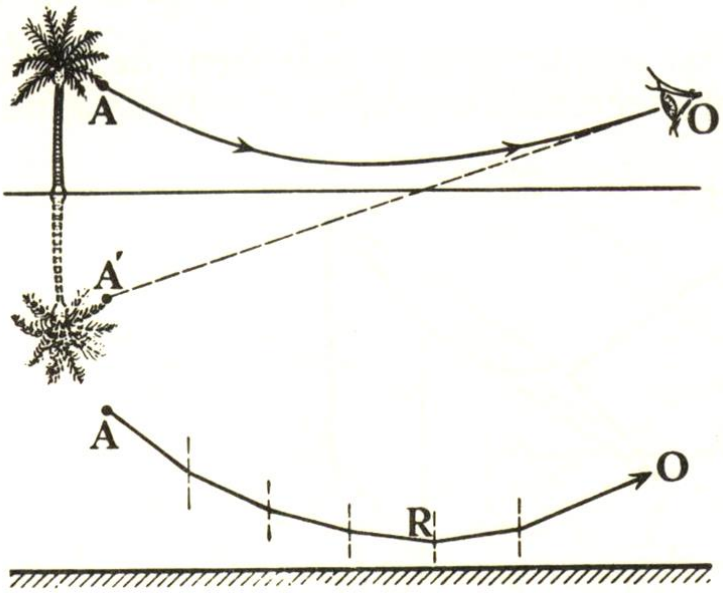
فالسراب لم يَعد بعد ذلك ظاهرة غير طبيعية، على العكس هو ظاهرة يُمكن تفسيرها تماماً بوساطة الفيزياء. من أجل الحصول على ظاهرة السراب يكفي أن يكون لدينا أرض حارة بشكل كبير، أو بشكل غير طبيعي، بالنسبة للهواء (سراب سفلي) أو ماء بارد بشكل كبير، أو بشكل غير طبيعي، بالنسبة للهواء (سراب علوي).

(2) السراب السفلي:

تكون لدينا، في هذه الحالة، الأرض ساخنة (مُفرِطة السخونة)، أما الهواء بالقرب من سطح الأرض فأكثر سخونة (قرينة انكسار ضعيفة) من الهواء الأكثر ارتفاعاً (قرينة انكسار قوية). تُصدر السماء في الأفق الضوء نحو الأرض. ينحرف مسار الضوء. يكون لدينا، على مستوى سطح الأرض، انعكاس كلي. فيرى المراقب إذاً "مستنقعات أو بركاً من السماء" على الطريق التي لا يميزها عن الماء.

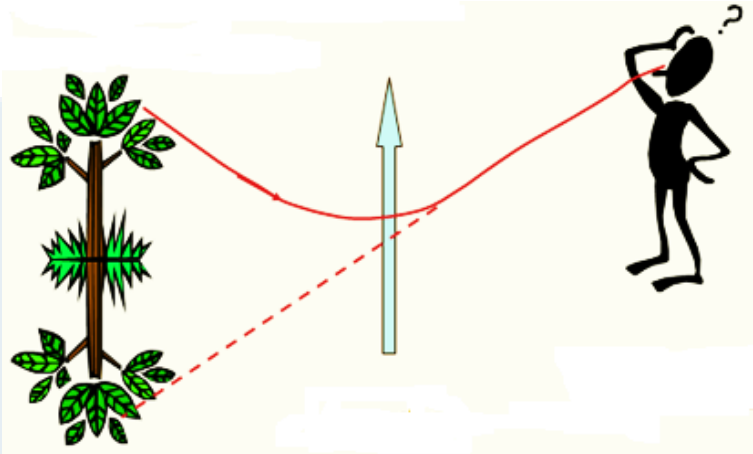
تتغير قيمة قرينة **الانكسار** بتابعية الارتفاع عن سطح الأرض: تزداد قرينة الانكسار بتابعية الارتفاع، أما درجة حرارة الهواء فتتناقص بسرعة كلما ابتعدنا عن سطح الأرض، إذاً فينحرف مسار الضوء ويُلامس الأرض قبل الوصول إلى المراقب. هكذا نرى السماء على الأرض، وهذا يُعطينا الانطباع بأن هناك مساحة واسعة (امتداد، أو برك) من الماء على الأرض، الأشكال التالية.



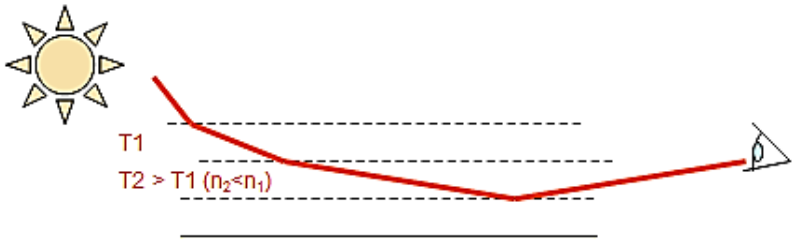


(هـ)

الشكل: تفسير ظاهرة السراب السفلي. إن الشعاع المُنطلق من النقطة A ينكسر مبتعداً عن الناظم. في لحظة ما، سيكون هناك انعكاس كلي (R). فالمراقب الذي يتمركز في النقطة O سيبدو له أنه يرى الأشعة تنطلق من النقطة 'A.



الشكل: في وسط غير متجانس تتبع الأشعة الضوئية مسارات مُقعرة، إذ أن التقعر هو نحو الأعلى، وهذا مثال على السراب السفلي (في البلاد الحارة).

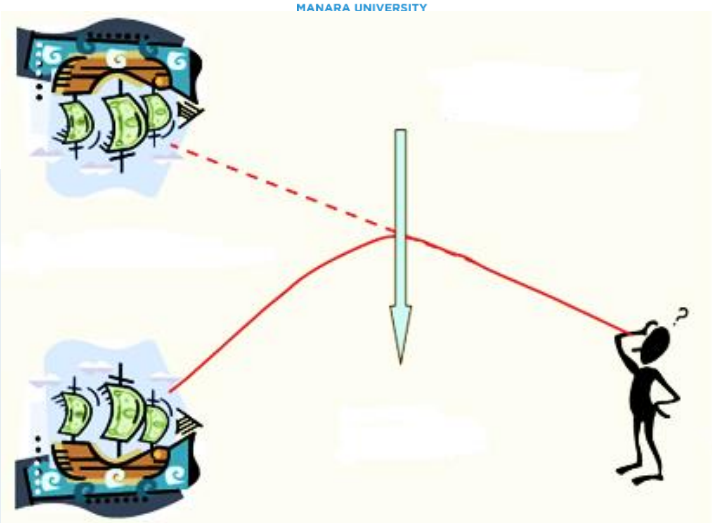


الشكل: تغير كل من درجة الحرارة وقرينة الانكسار بتابعية الارتفاع عن سطح الأرض.

(3) السراب العلوي:

يكون لدينا، في هذه الحالة، الهواء أسخن في الأعلى منه في الأسفل، وذلك بسبب الماء البارد على سبيل المثال. فيتبع الضوء مساراً منحرفاً في الاتجاه الآخر، ويخضع عند ذلك إلى انعكاس كلي في الارتفاع قبل الوصول إلى عين المراقب.

ينحرف الضـــوء، هنا، لكن في الاتجاه المعاكس، لأنه في هذه الحالة تتناقص درجة الحرارة بالتدريج كلما اقتربنا من سـطح الأرض بسـبب الماء الكثير البرودة، وهكذا تبدو صـورة الباخرة وكأنها في السـماء، الشـكل الآتي.

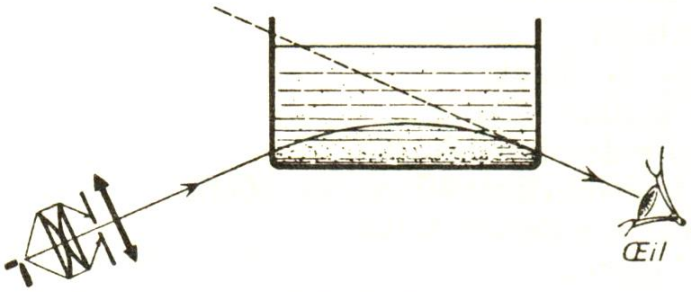


الشكل: في وسط غير متجانس تتبع الأشعة الضوئية مسارات مُحدبة، إذ أن التحدب هو نحو الأسفل، وهذا مثال على السراب العلوي (في البلاد الباردة). نرى المركبة الشراعية في الجو وكأنها شبح.

كيف يمكن أن نُفسر ظاهرة السراب رياضياً؟

لنفرض أنه لدينا حوض زجاجي ذو أوجه متعامدة ومتوازية موضوع في أسفله سكر، الشكل المرفق.

نبدأ بسكب الماء ببطء شديد من أجل الحصول على محلول ذي تركيز متغير (ماء وسكر).



الشكل: آلية الحصول على الانعكاس الكلي مخبرياً.

بإضاءة الحوض الزجاجي كما هو موضح في الشكل السابق، نحصل على الانعكاس الكلي.

هذه التجربة تبدو مماثلة لظاهرة السراب. في الصحراء، في نهاية النهار، فإن درجة حرارة الهواء بجوار سطح الأرض T_1 أكبر من درجة الحرارة T_0 في الطبقات العليا. إن الكتلة الحجمية ρ تابع عكسي لدرجة الحرارة:

$$T_1 > T_0 \Rightarrow \rho_1 < \rho_0$$

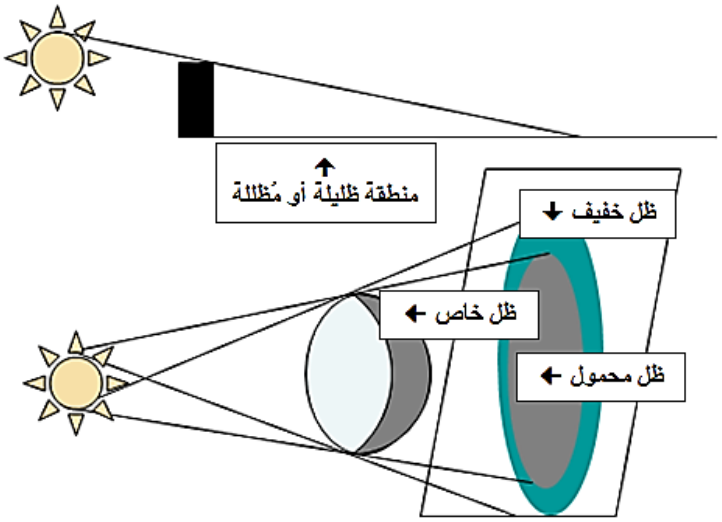
بتطبيق قانون غلايدستون Gladstone على مادة قرينة انكسارها n وكتلتها الحجمية ρ ، نحصل على:

$$\frac{n-1}{\rho} = constant \text{ (ثابت)}$$

إذاً $n_1 < n_0$. ومنه فإن قرينة انكســار الهواء بالقرب من ســطح الأرض n_1 أقل من تلك التي في الطبقات العليا n_0.

(ل) الظل:

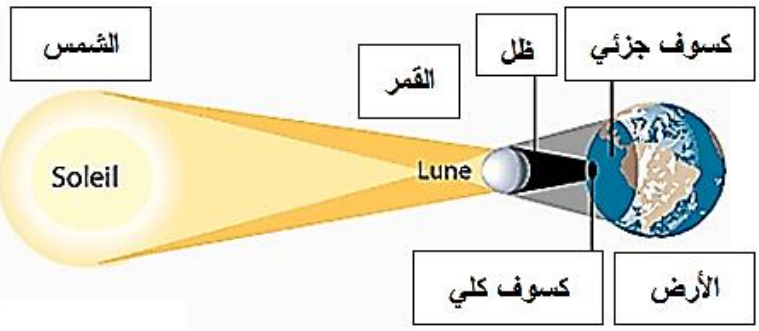
هو عبارة عن منطقة مُظلمة سببها اعتراض الضوء من قبل جسم كتيم غير نفوذ (أي لا يسمح بمرور الضوء)، مثال على ذلك الشكل التالي.

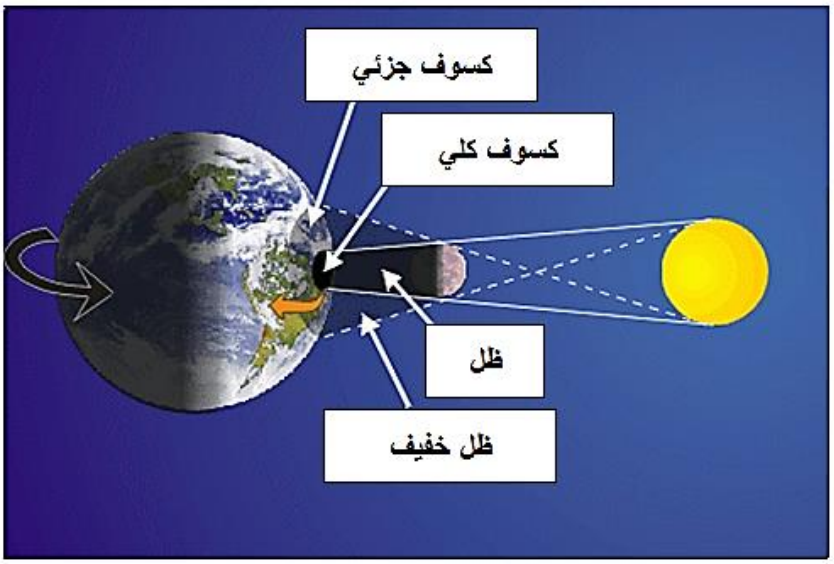


الشكل: آلية رسم أو تشكيل الظل لجسم.

(م) كسوف الشمس:

تنكســف الشــمس عندما يقع القمر (**Moon**) بين الشــمس (**Sun**) والأرض (**Earth**)، الشــكل التالي. ونشير إلى أنه يوجد كسوف كلي وكسوف جزئي للشمس، انظر الشكل المرفق.

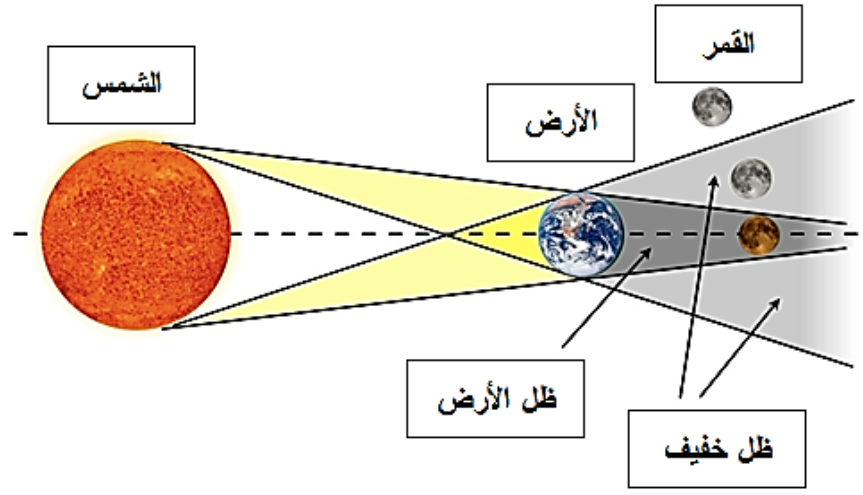




الشكل: كسوف الشمس.

(ح) خسوف القمر:

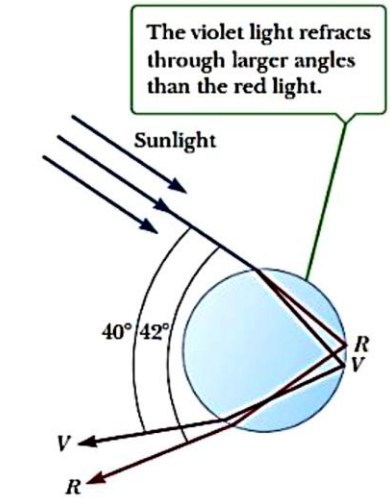
ينخسف القمر عندما تقع الأرض بين الشمس والقمر، الشكل المرفق. ونشير إلى أنه يوجد خسوف كلي وخسوف جزئي للقمر.

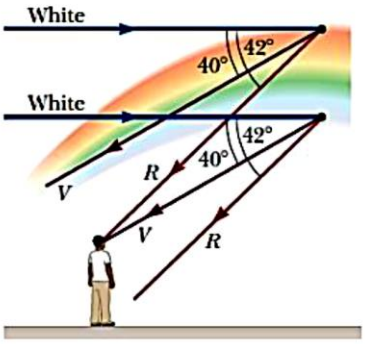


الشكل: خسوف القمر.

MANARA UNIVERSITY

توضح الأشكال التالية آلية تشكل قوس القزح:





Refraction of sunlight by a spherical raindrop.

انكسار ضوء الشمس بوساطة نقطة مطر كروية

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY