وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

الجمهورية العربية السورية

الفصل الثالث

علم الضوء

Optics

جامعة الشام الخاصة
Al-Sham Private University

أهداف الفصل

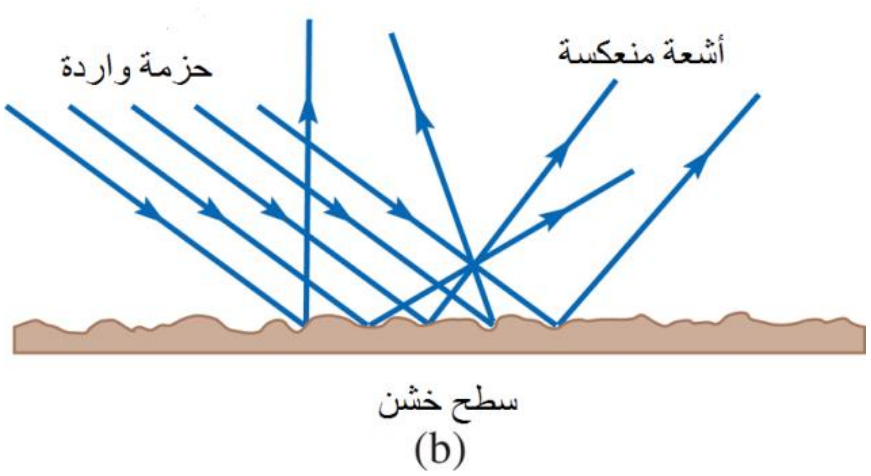
- دراسة كل من:
- الضوء الهندسي Geometrical Optics
- والضوء الفيزيائي أو الموجي Wave Optics
- الضوء الكمومي أو الفوتونيات Photonics

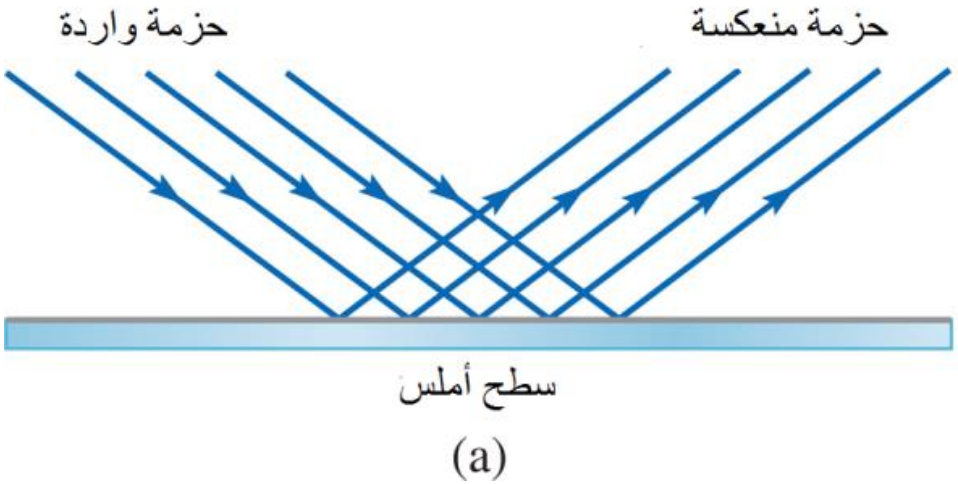
الضوء الهندسي

- الانعكاس reflection نوعان :

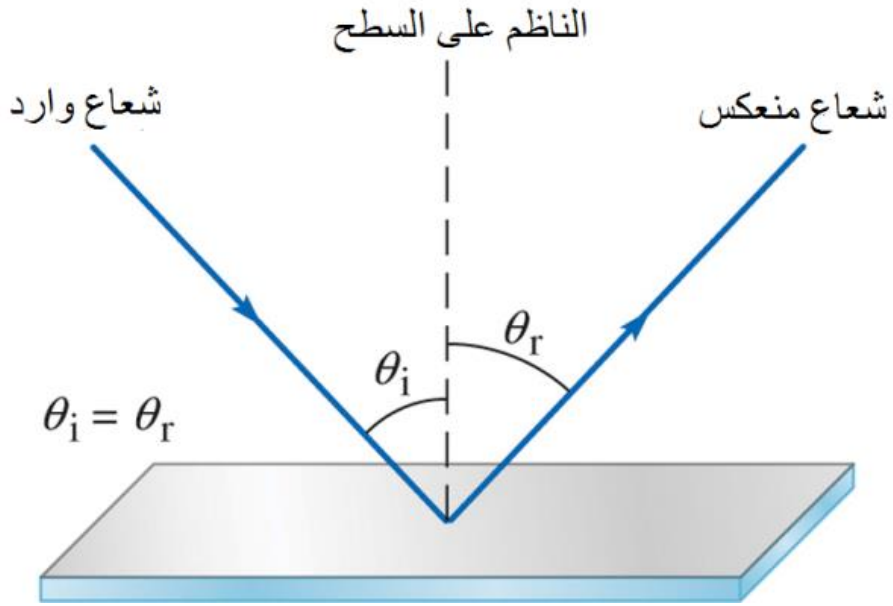
(1) مرآوي specular (السطح أملس)،

(2) تبعثري diffuse (السطح خشن)





قانونا الانعكاس



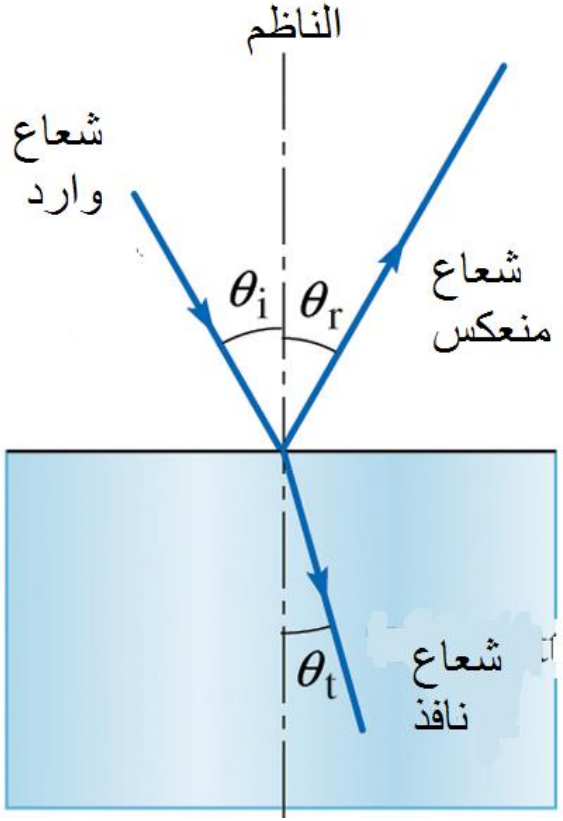
(1) زاوية الورود تساوي زاوية الانعكاس،

(2) وقوع كل من الشعاع الوارد والشعاع المنعكس والناظم في المستوي نفسه، ووقوع الشعاعين الوارد والمنعكس في جهتين متقابلتين من الناظم

الانكسار

- عندما تعبر الأشعة الضوئية السطح الفاصل بين وسطين مختلفين فإنها تغير اتجاهها بسبب تغير سرعتها. يطلق اسم الانكسار refraction على هذه الظاهرة.

قانونا الانكسار



- ويمكن النظر للانكسار من وجهة نظر شعاعية كما في الشكل .

(1) القانون الأول

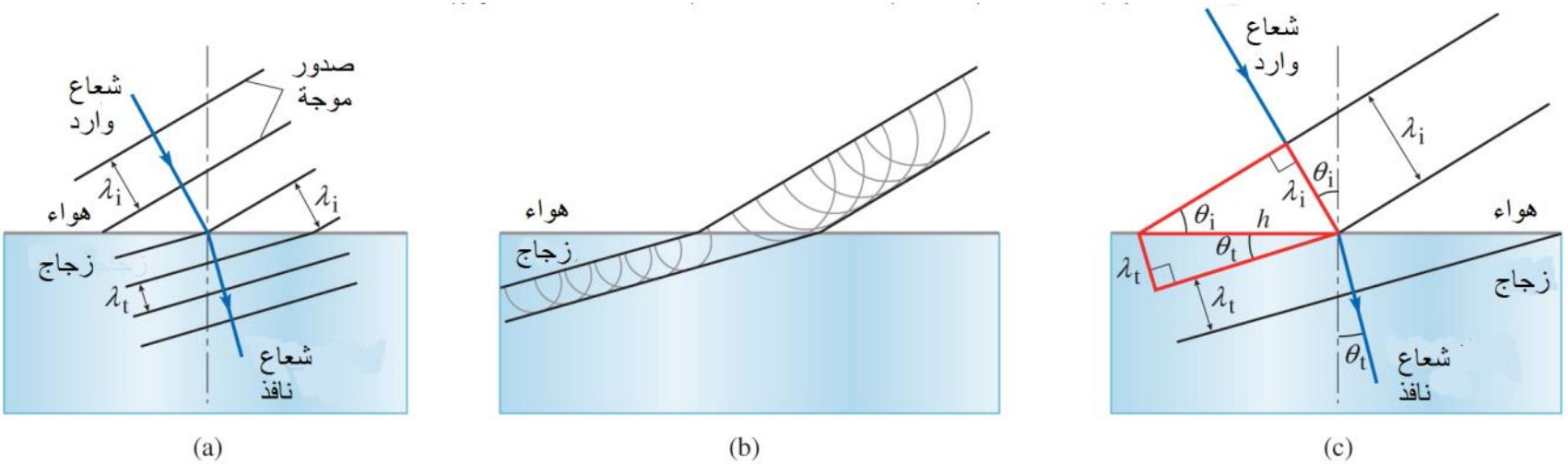
$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t$$

(2) القانون الثاني

هو وقوع الشعاع الوارد والمنكسر والناظم على السطح في مستوٍ واحد.

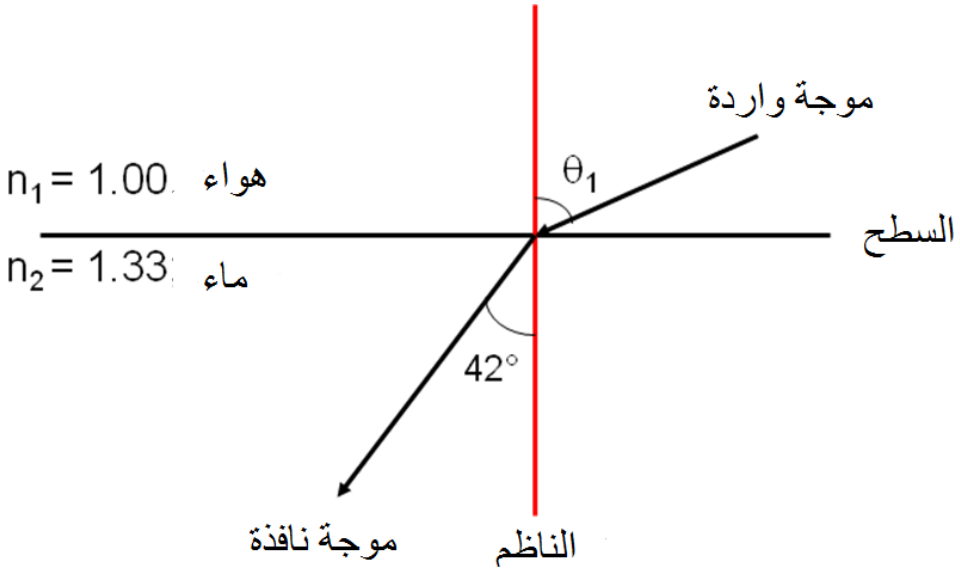
الانكسار

- يمكن النظر إلى الانكسار من وجهة نظر موجية كما في الشكل



مثال 3.1. عن الانكسار

- يسقط ضوء الشمس على سطح بحيرة. يرى غواص الشمس بزاوية 42.0° بالنسبة إلى الشاقول. ما الزاوية التي تصنعها أشعة الشمس في الهواء مع الشاقول؟



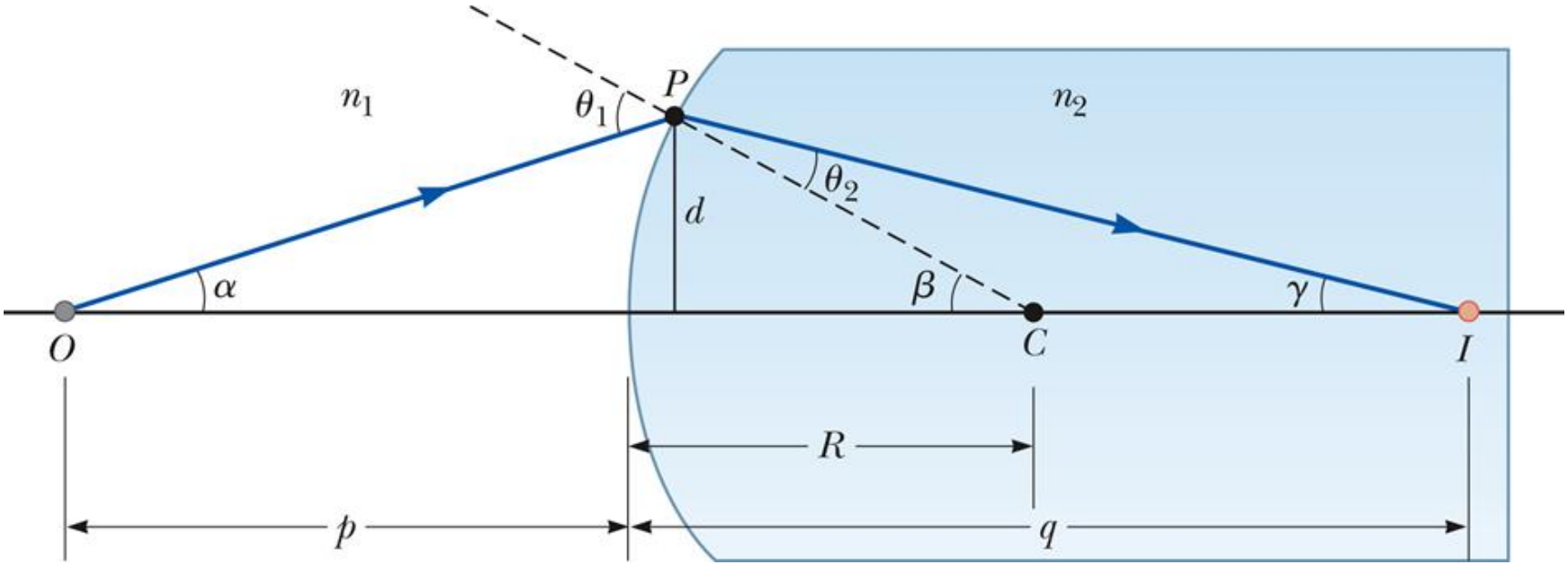
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$(1.00)\sin\theta_1 = (1.333)\sin 42^\circ$$

$$\sin\theta_1 = 0.8920$$

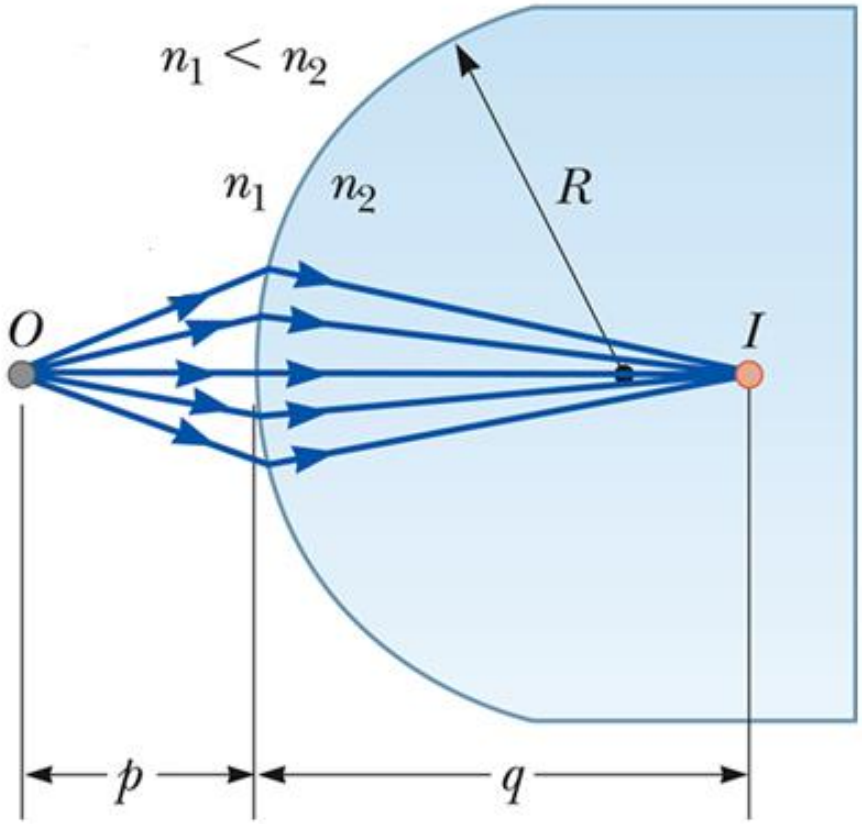
$$\theta_1 = 63.1^\circ$$

الكاسر الكروي



$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

تشكل الأخيلة بالانكسار



تنكسر الأشعة الصادرة من الجسم O والمقاربة للمحور الضوئي للكاسر الكروي عند السطح ويتجمع في النقطة الخيال I . تربط العلاقة

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

بين بعدي الجسم والخيال في هذه الحالة.

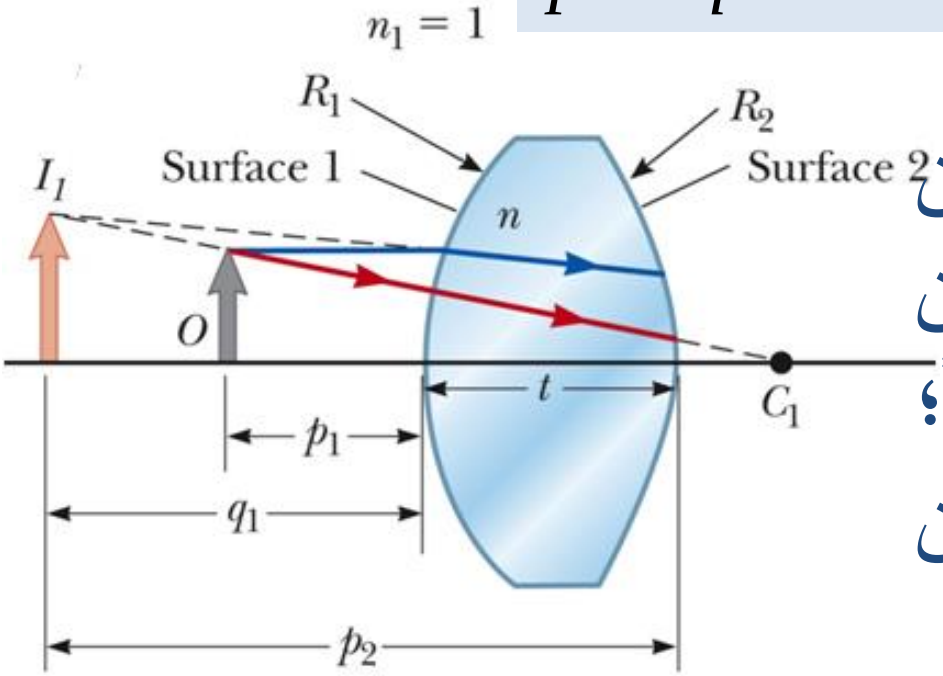
الأخيلة التي تشكلها العدسات الرقيقة

- يشيع استخدام العدسات في تشكيل الأخيلة بالانكسار.
- حيث تستخدم العدسات في العديد من الأجهزة البصرية كالمصوِّرات Cameras والمقاريب Telescopes والمجاهر Microscopes.
- يخضع الضوء المار في عدسة للانكسار عند سطحين كاسرين كرويين، والخيال الذي يشكله أحد السطحين الكاسرين يؤدي دور جسم للسطح الآخر

تحديد موقع خيال تشكله عدسة

- الخيال الذي يشكله السطح الأول

$$\frac{n_1}{p}+\frac{n_2}{q}=\frac{n_2-n_1}{R}\rightarrow\frac{1}{p_1}+\frac{n}{q_1}=\frac{n-1}{R_1}$$

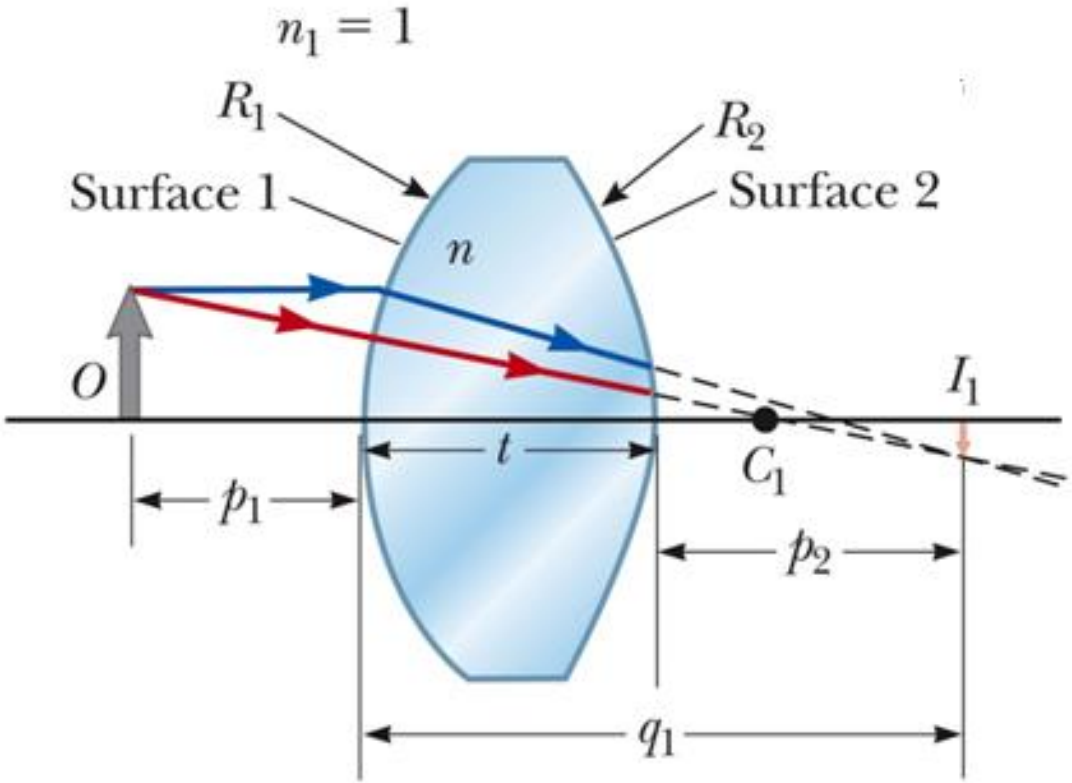


إذا كان الخيال الناجم عن السطح الأول وهمياً فإن بعد الخيال q_1 يكون سالباً؛ ويكون موجباً عندما يكون الخيال حقيقياً.

تحديد موقع خيال تشكله عدسة

- الخيال الذي يشكله السطح الثاني

الخيال الذي يشكله السطح الأول لو كان حقيقياً

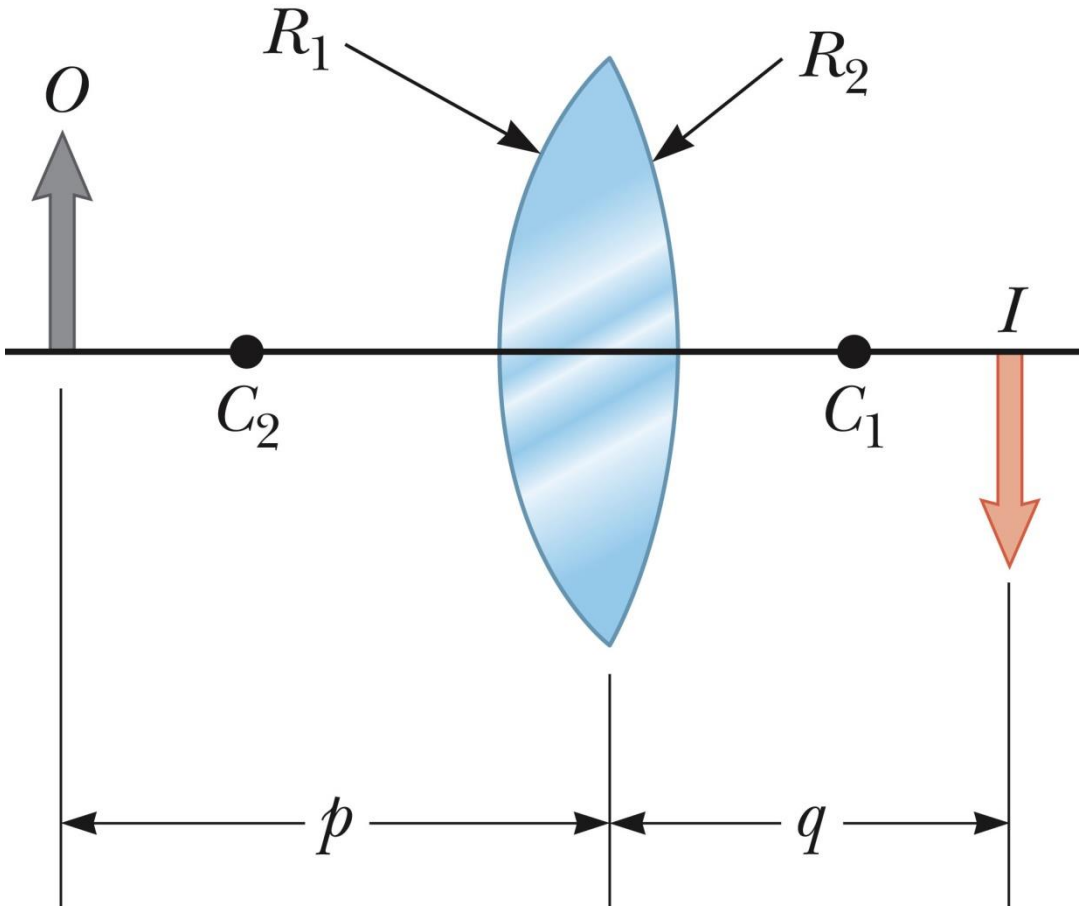


$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{n}{p_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1-n}{R_2}$$

معادلة صنّاع العدسات

$$\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_2}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)=\frac{1}{f}$$



الخيال الذي تشكله عدسة رقيقة

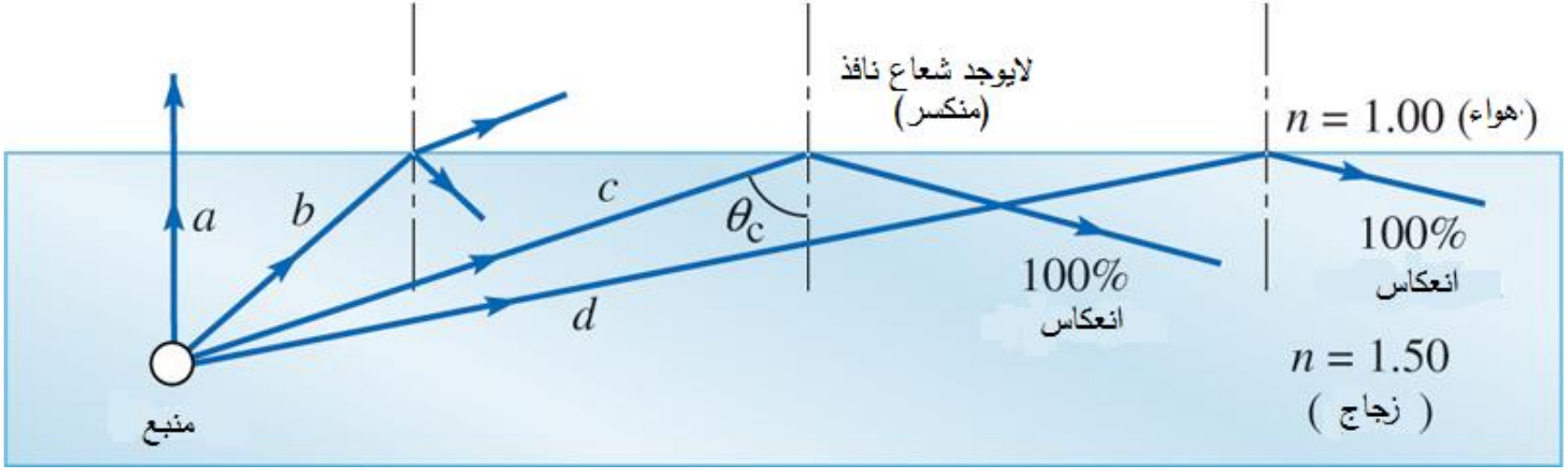
- **معادلة العدسة الرقيقة**
- العلاقة بين البعد البؤري وبعد الجسم وبعد الخيال هي نفسها في حالة المرآة
- 0يمكن مراجعة تجربة المرآه المقعرة في كتاب عملي الفيزياء للسنة التحضيرية

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

- **ملاحظة.** يمكن باستعمال مجموعة عدسات الحصول على مجهر أو نظارة تفصل حسب الطلب.

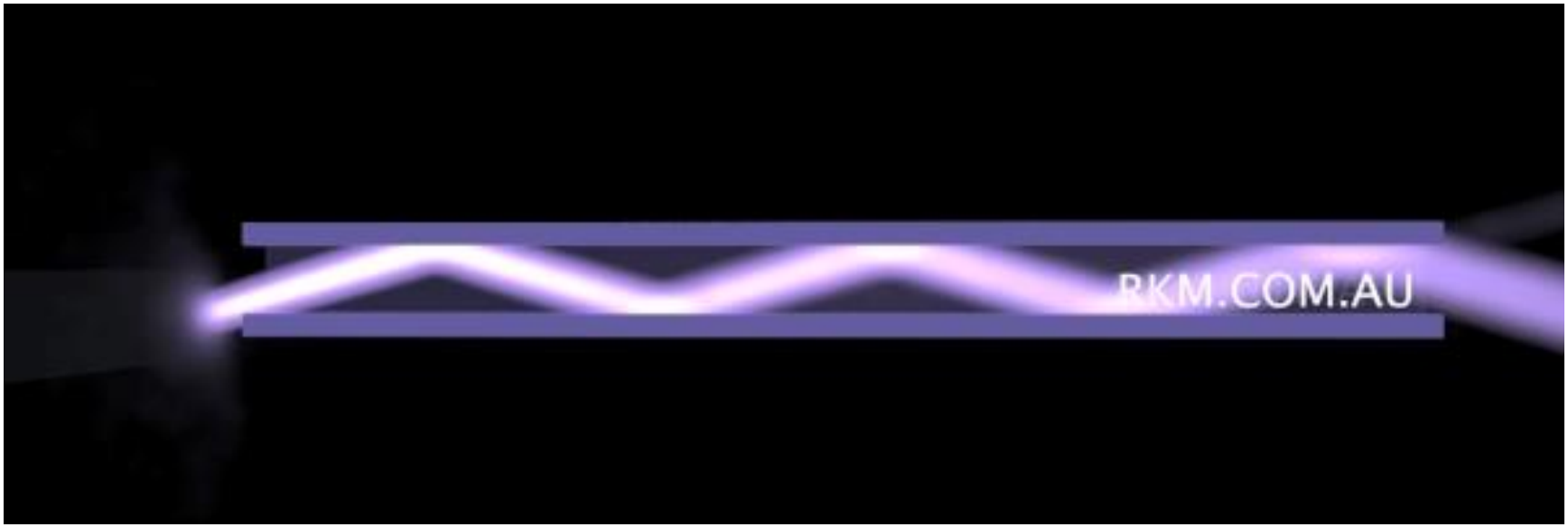
الانعكاس الداخلي الكلي

إذا ورد شعاع على سطح فاصل بين وسطين بزاوية ورود أكبر من أو تساوي زاوية حرجة معينة، فلن تكون ثمة موجة منكسرة في الوسط الآخر، وستنعكس الموجة كلياً عند السطح الفاصل.



الانعكاس الكلي

الليف الضوئي

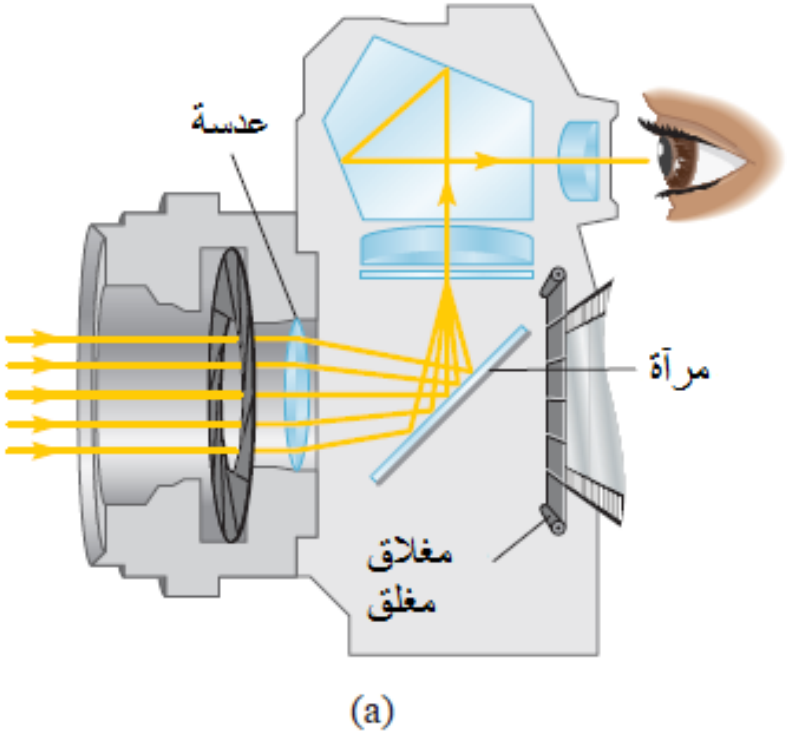


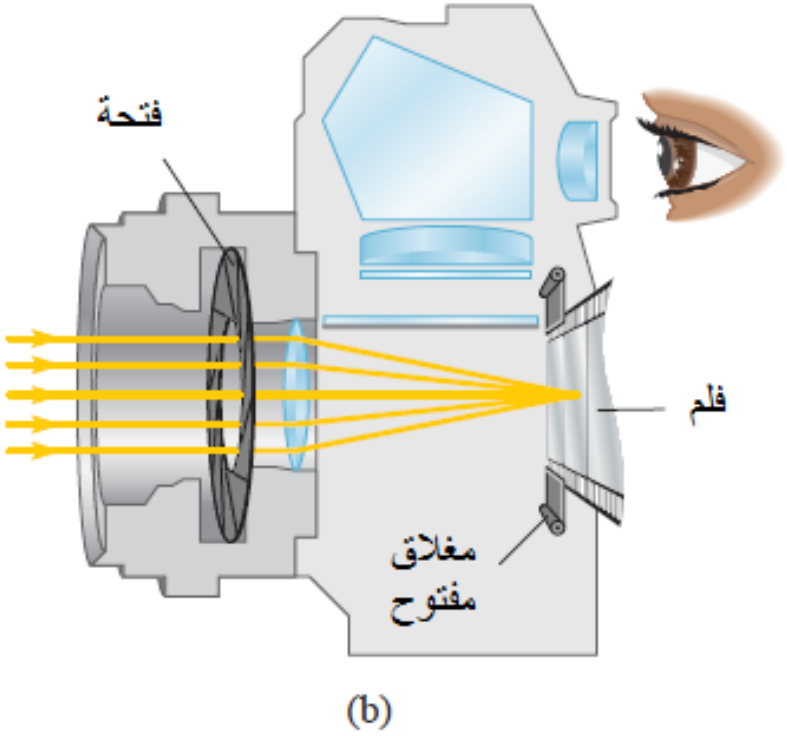
المصوِّرات (الكاميرات)

- المصوِّرة ذات الثقب (خالية من العدسات)
- مصوِّرة بعدسة واحدة ، وفلم حساس للضوء
- مصوِّرة رقمية بصفيف من المحسِّات في مصوِّرة الأدوات المقترنة بالشحنة CCD charge-coupled device.

المصوِّرات البسيطة

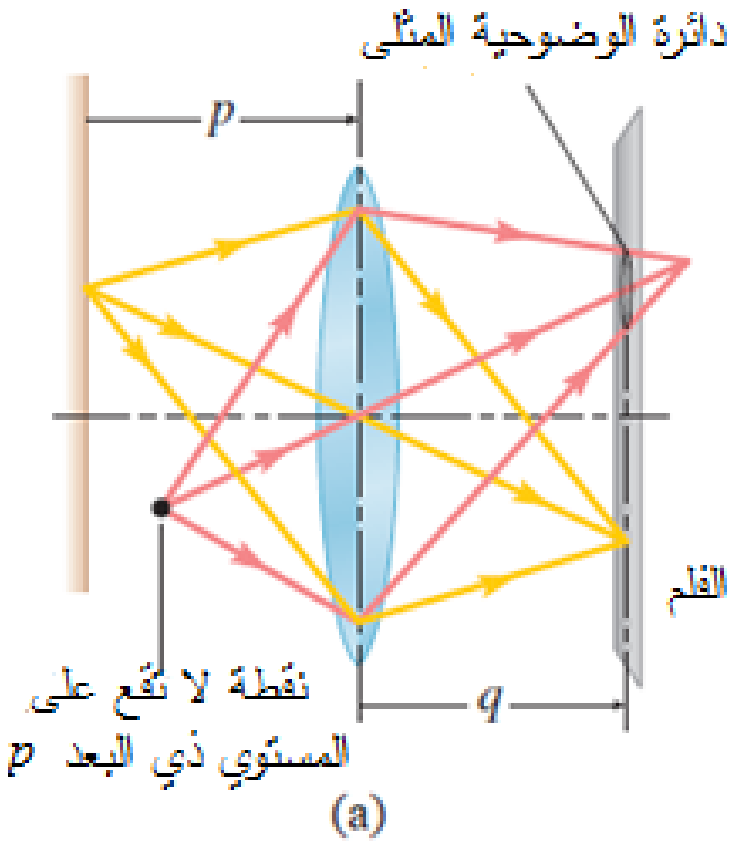
- المصوِّرة البسيطة

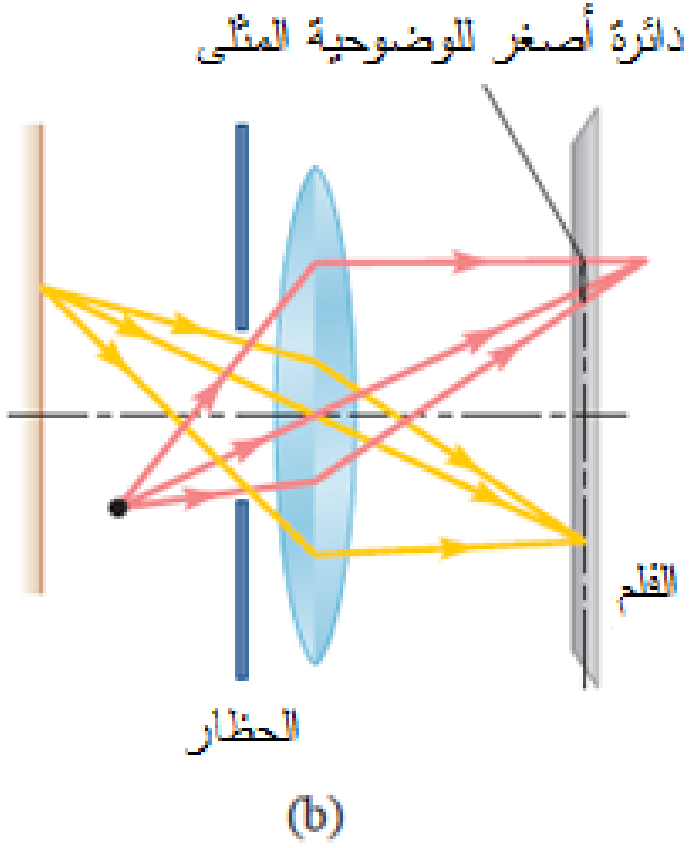




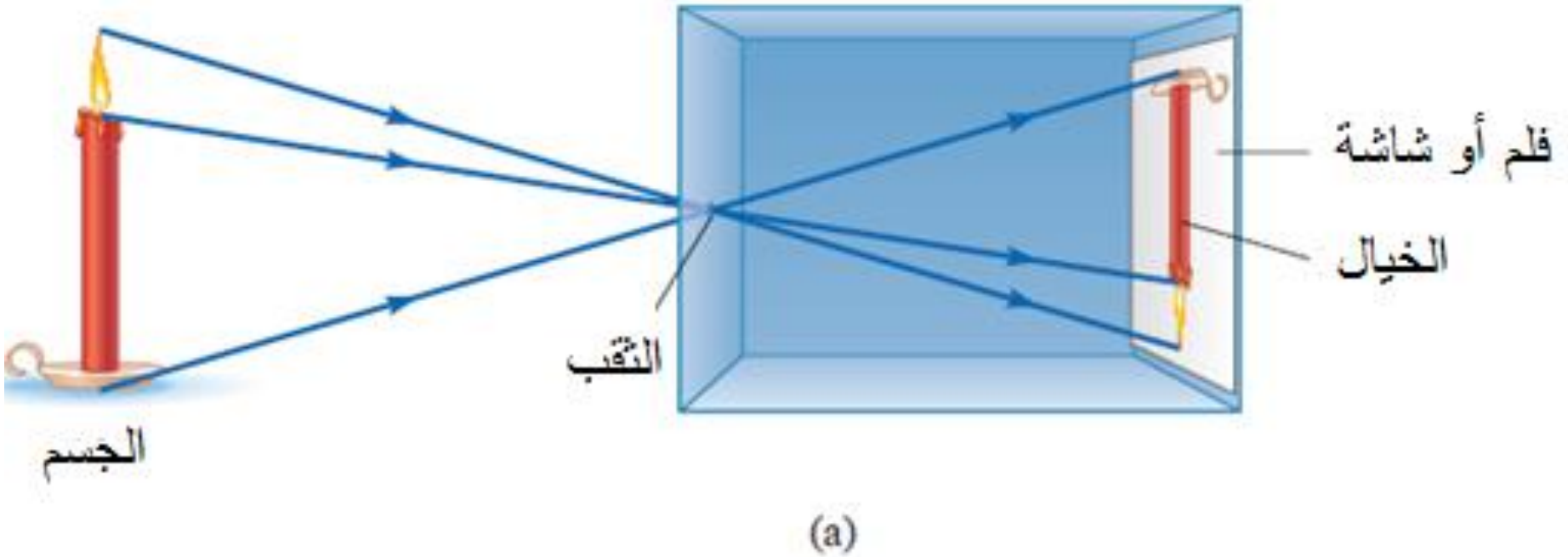
المصوِّرات البسيطة

- **ضبط التعرض** - عمق الحقل



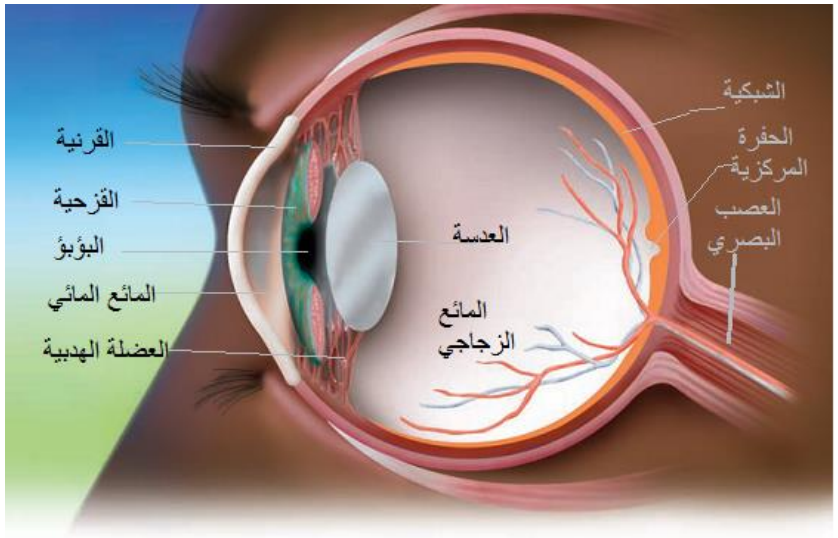


المصوِّرة ذات الثقب



(a)

العين



- تشريحية العين

(1) القرنية (n=1.351)

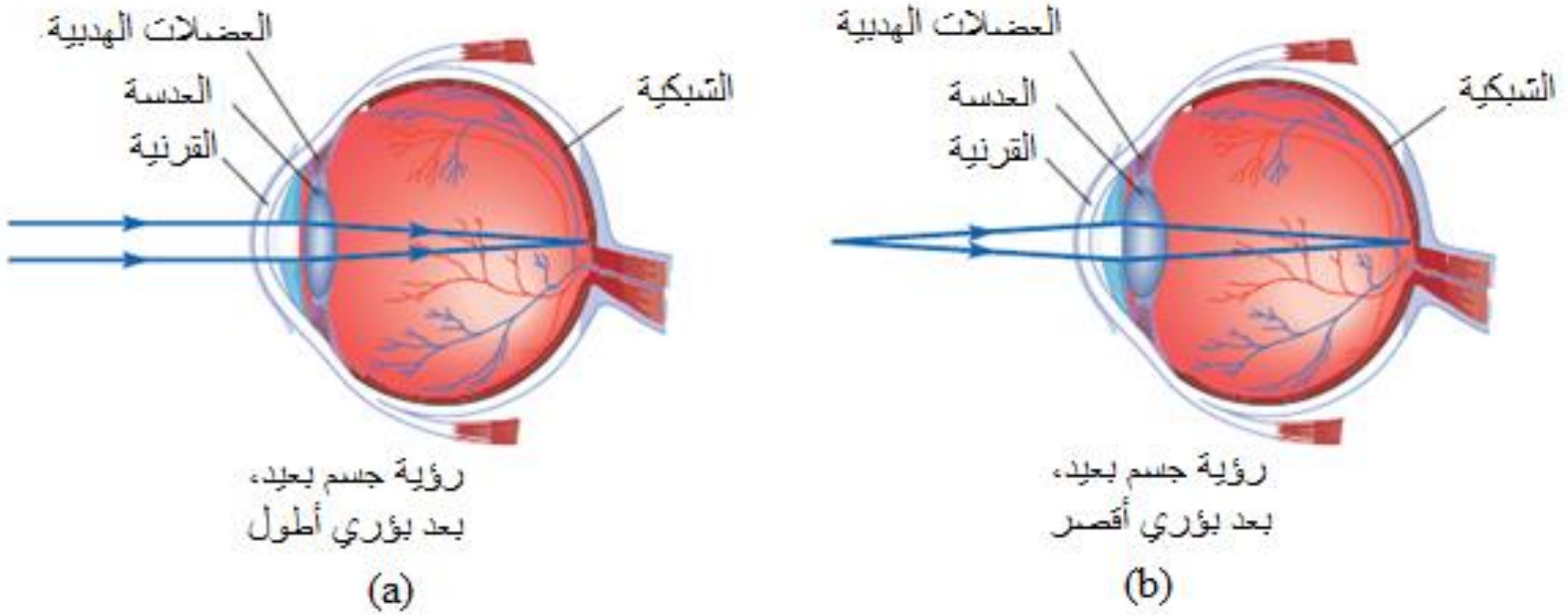
(2) مائع مائي، (n=1.333)

(3) عدسة بعدها البؤري قابل للتغيير يتغير بين (بين 1.85cm و 2.00cm) إذا كانت الشبكية تبعد 2.00cm عن العدسة، (n=1.437).

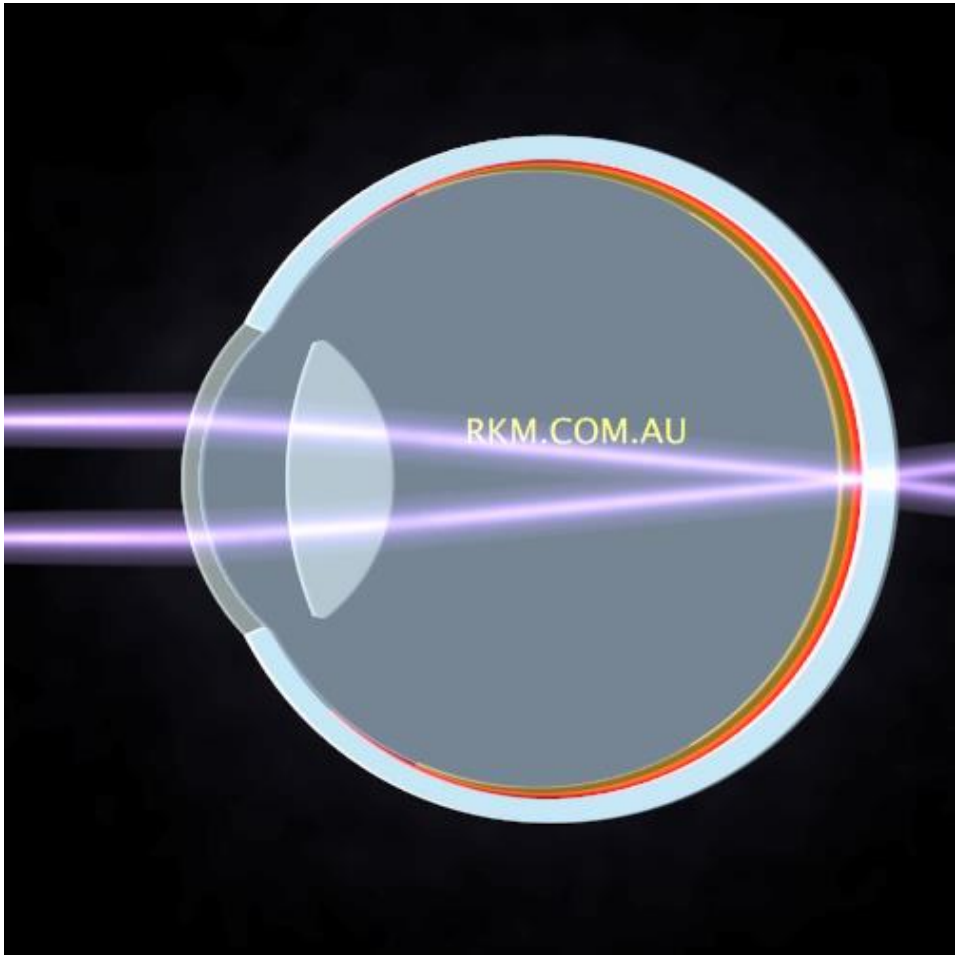
(4) المائع الزجاجي.

(5) بؤبؤ العين (فتحة المصوِّرة) يتحكم فيه القزحية تبعاً لشدة الضوء يبلغ يبلغ قطر البؤبؤ في الضوء العادي 2mm، ونحو 8mm في الضوء الخافت).

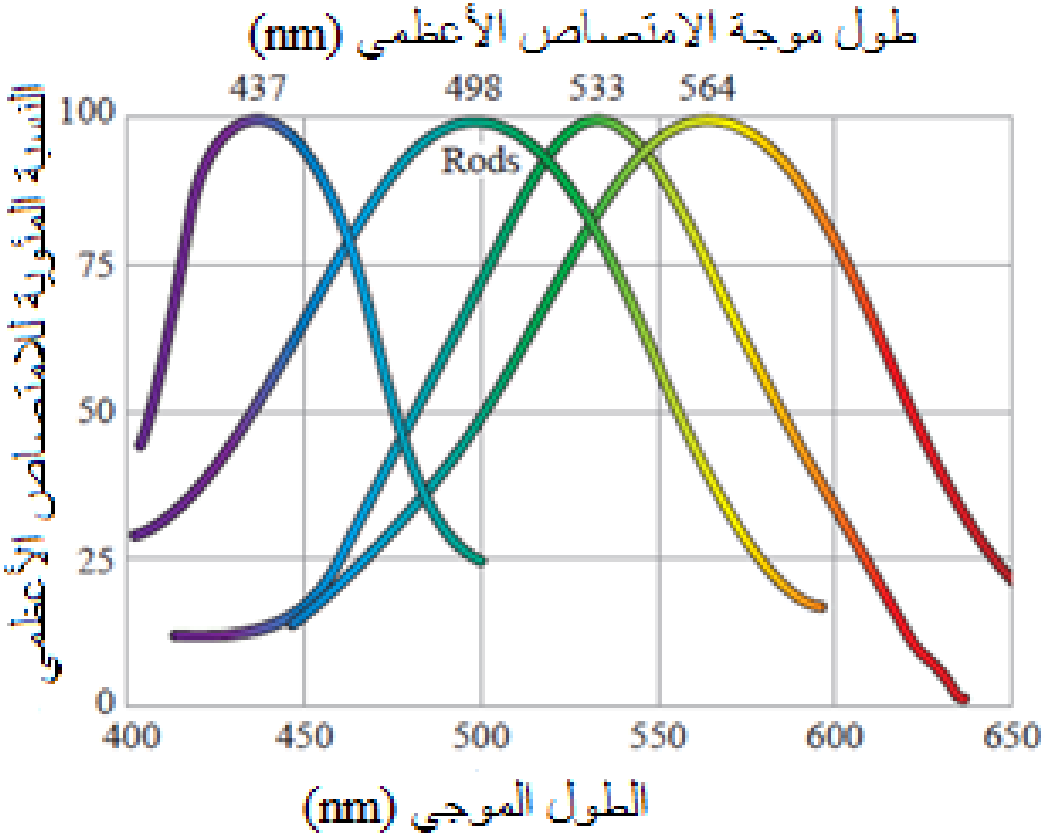
المطابقة



البعد البؤري لعدسه العين يكون (a)اطول في حاله الاجسام البعيدة و(b) أقصر في حالة الأجسام القريبة.


RKM.COM.AU

حساسية العصيات والخلايا المخروطية



تتركز الخلايا المستقبلة للضوء في الشبكية بكثافة في منطقة صغيرة جداً تدعى اللطخة الصفراء.

في الشبكية ثلاثة أنواع مختلفة من المخاريط تستجيب لأطوال موجية ضوئية مختلفة .

المخاريط مسؤولة عن رؤية الألوان.

تزدحم المخاريط بشدة في الحفرة المركزية في مركز اللطخة الصفراء (قطرها 0.25mm)

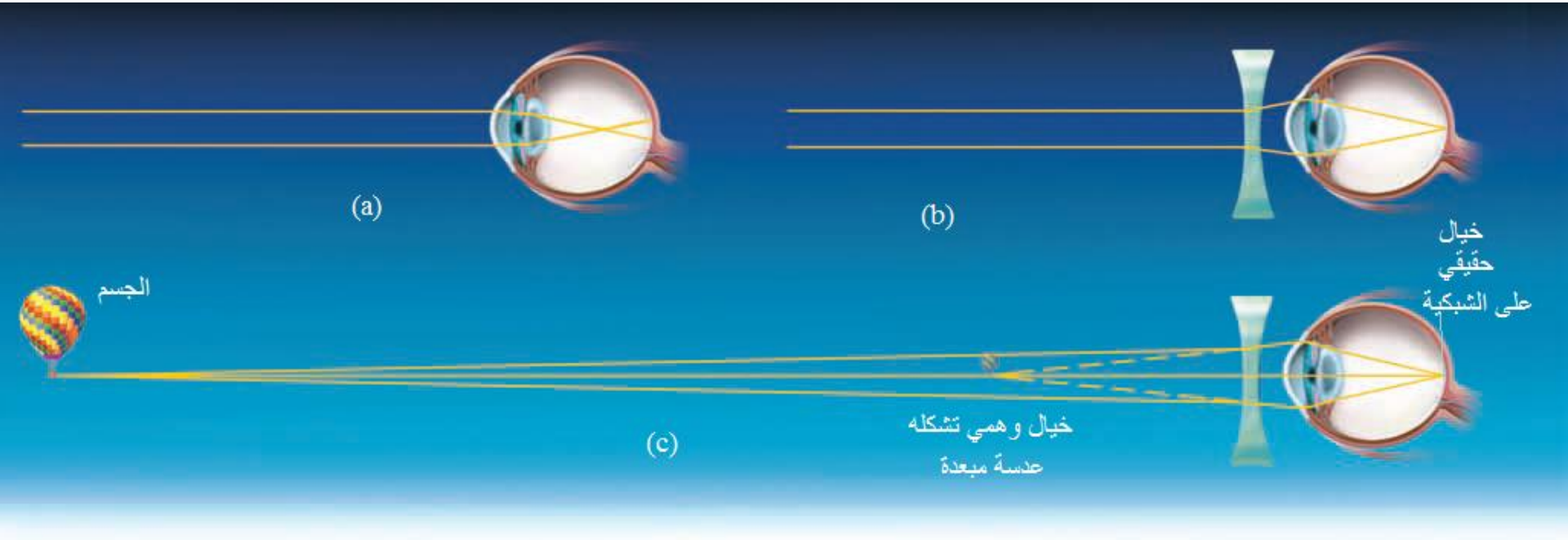
العضلات التي تتحكم في حركة العين تؤمن وقوع خيال الجسم المدروس في مركز الحفرة المركزية.

تصحيح العين

- يمكن بنظارات أو عدسات لاصقة أو الجراحة تصحيح العين في حالة نقطة كثب تزيد على 25cm أو نقطة مدى تقل عن اللانهاية.
- يكتب المبصاريون Optometrists وصفات بدلالة القوة الكاسرة refractive power (p) عوضاً عن البعد البؤري.
- تختلف القوة الكاسرة عن قوة التكبير، التي هي مرادف التكبير الزاوي لأداة بصرية).
- والقوة الكاسرة هي مجرد مقلوب البعد البؤري:
- تقاس القوة الكاسرة بالكسيرات

$$P = \frac{1}{f}$$

تصحيح حسر البصر (قصر البصر)



مثال: تصحيح قصر البصرmyopia (العين الحسيرة)

لا يمكن لشخص من دون عدساته اللاصقة أن يرى بوضوح جسماً يبعد عنه أكثر من 40.0cm. ما قيمة القوة الكاسرة التي يجب أن تكون لعدساته لتصبح رؤيته طبيعية؟

- معادلة العدسة الرقيقة

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}=P \Rightarrow 0+\frac{1}{-40.0cm}=\frac{1}{f} \Rightarrow f=-40.0cm$$

ومن ثم القوة الكاسرة

$$P=\frac{1}{f}=\frac{1}{-40.0\times10^{-2}\,m}=-2.50D$$

تصحيح مد البصر (العين الطامسة)

(a) عين مديدة البصر تشكل خيالاً لجسم قريب وراء الشبكية. (ليس بالمقياس نفسه).

(b)عدسة تصحيح مقربة تشكل خيالاً وهمياً أبعد عن العين من الجسم. يمكن للعين أن تقرب الأشعة الصادرة من الخيال الوهمي لتشكيل خيال حقيقي على الشبكية.

مثال3.5 تصحيح مد البصر Farsighted Eye

- لا يستطيع شخص التركيز على أجسام أقرب من 2.5m من عينيه. ما قوة الكسر التي يجب أن تكون لعدسات التصحيح؟
- معادلة العدسة الرقيقة

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

- بالتعويض p=0.25m و q=-2.50m

$$\frac{1}{0.25}+\frac{1}{-2.50}=\frac{1}{f}\Rightarrow \quad f=0.28m$$

- ومن ثم فإن قوة الكسر تساوي

$$P=\frac{1}{f}=+3.6D$$

مثال عملي 3.3. استخدام النظارات

- يمكن لرجل أن يرى بوضوح جسماً يبعد 2.00m(أو أكثر) من دون ارتداء نظارات. فإذا كانت القوة الكاسرة للنظارات +1.50D ، فما هو أقرب بعد عن النظارات يمكن أن يكون للجسم، بحيث يستمر الرجل في رؤيته؟ افرض أن النظارات تبعد 2.0cmمن العين.

وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

الجمهورية العربية السورية

الفصل الثالث

الضوء الفيزيائي أو الموجي

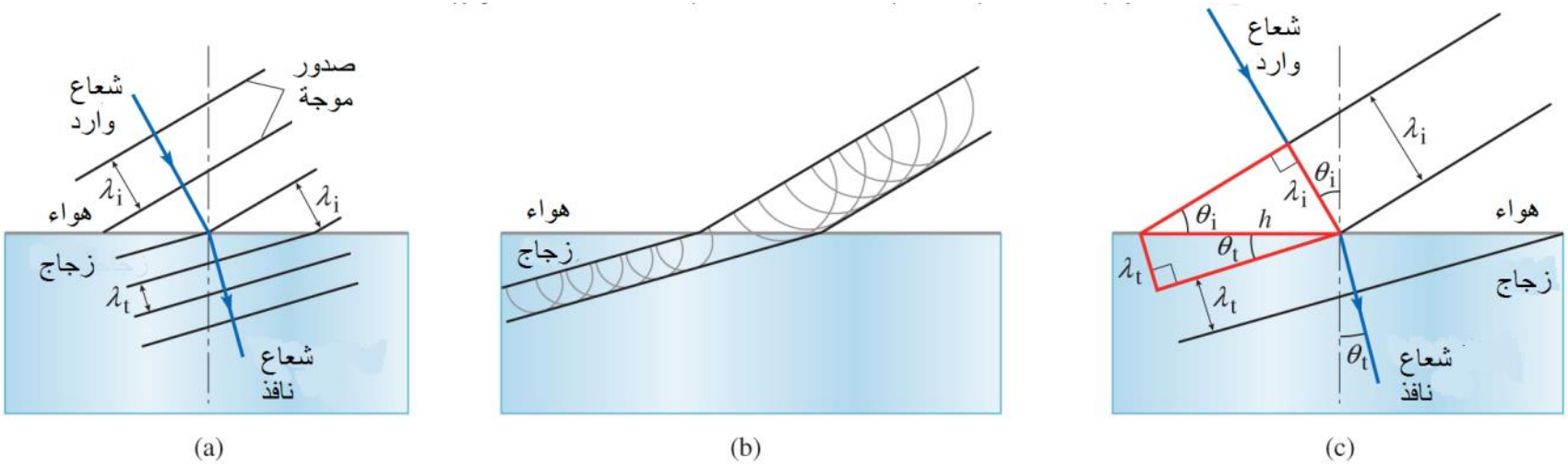
Physical Optics

- يمكن لأي نوع من الأمواج أن يبدي ظاهرتي التداخل والانعراج
- تعتمد النظرية الموجية عموماً على الطور وفرق الطور للأمواج المتباينة.
- يعطى الطور في الحركة الجيبية على شكل مجموع حدين :

$$D(x,t) = A\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right)$$

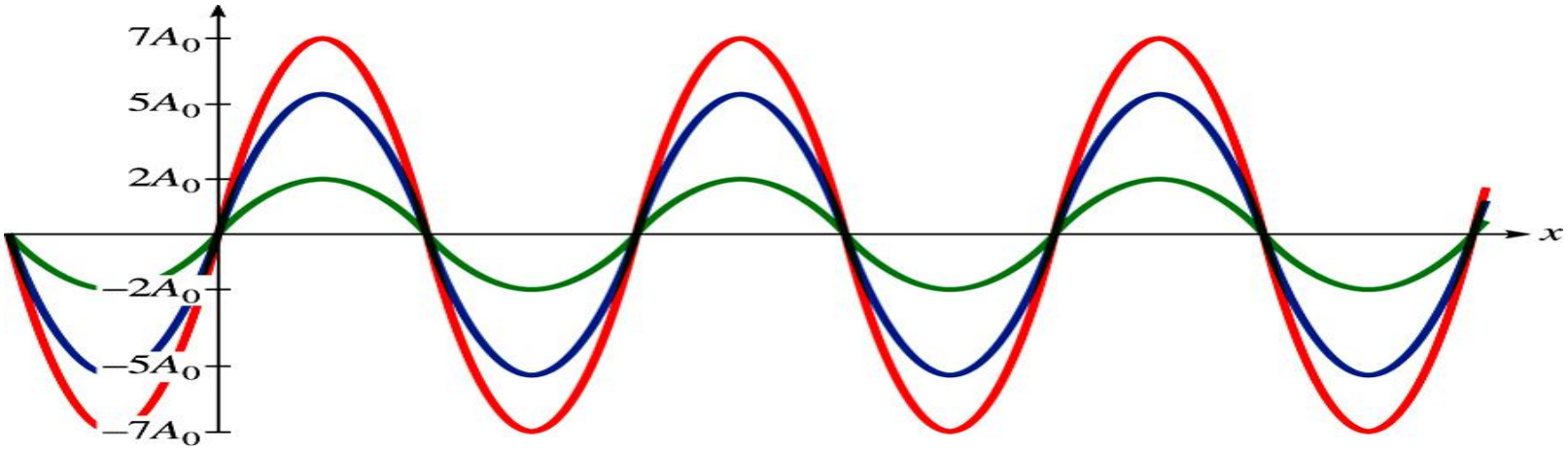
آلية توليد الأمواج

- مبدأ هويغنز



التداخل Interference

- التداخل البنّاء (بين موجتين) $\Delta\varphi = (2\pi)\mathrm{m}$

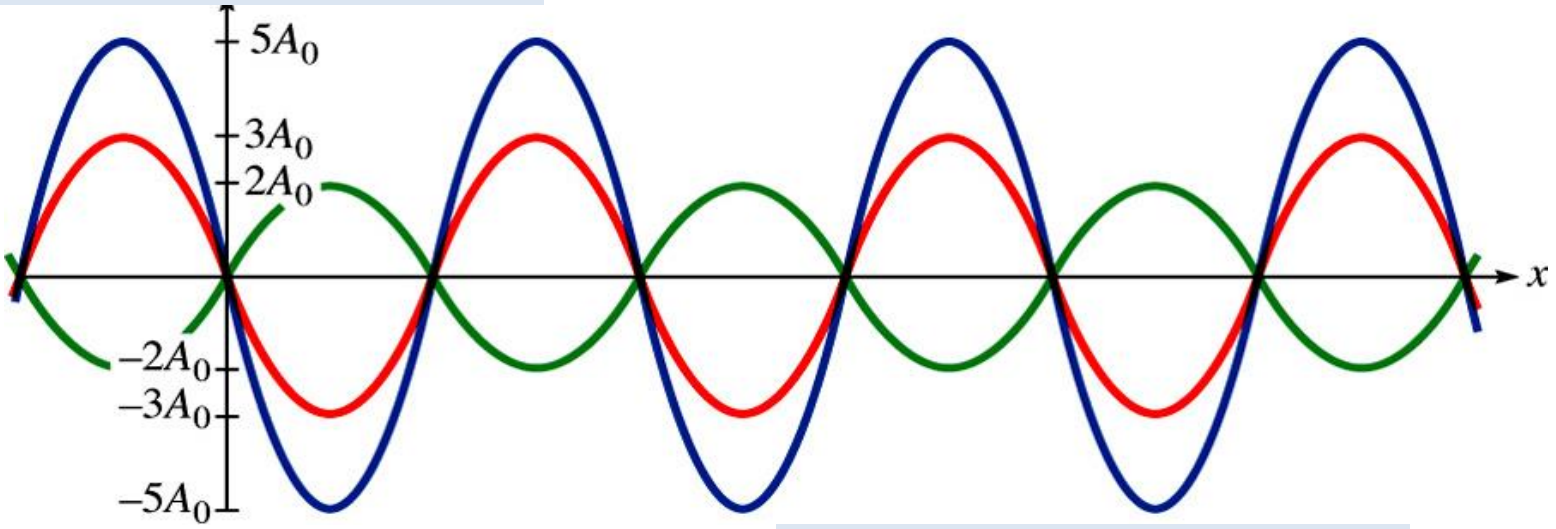


$$A = A_1 + A_2 \Rightarrow \quad I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$$

- وفي حال تساوي الشدتين تكون الشدة المحصلة $4I_1$

التداخل

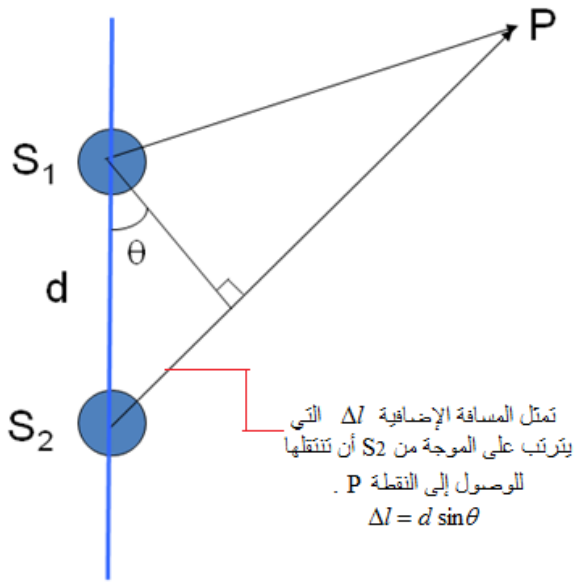
- **التداخل الـهدّام (بين موجتين)** $\Delta\varphi = (2\pi)(m + \frac{1}{2})$



$$A = |A_1 - A_2| \quad \Rightarrow \quad I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$$

- وفي حال تساوي الشدتين تنعدم الشدة المحصّلة.

التداخل



- شرطا التداخل

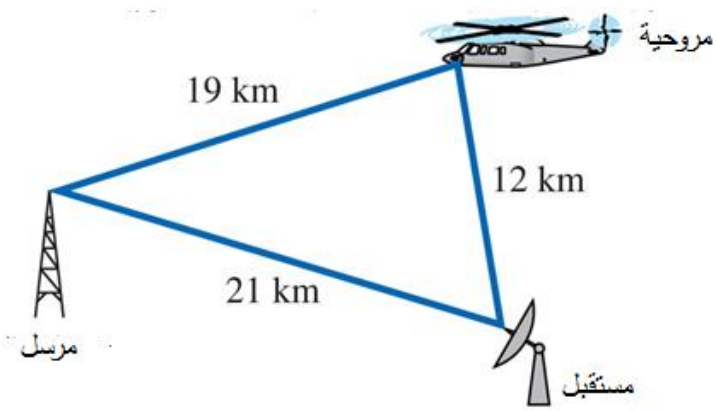
في حالة التداخل البنّاء $\Delta l = m\lambda$

في حالة التداخل الهدّام $\Delta l = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$

- حيث m عدد صحيح.

مثال

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.0\times10^{5}\,\text{km/sec}}{60\times10^{3}\,\text{Hz}} = 5.0\text{km}$$

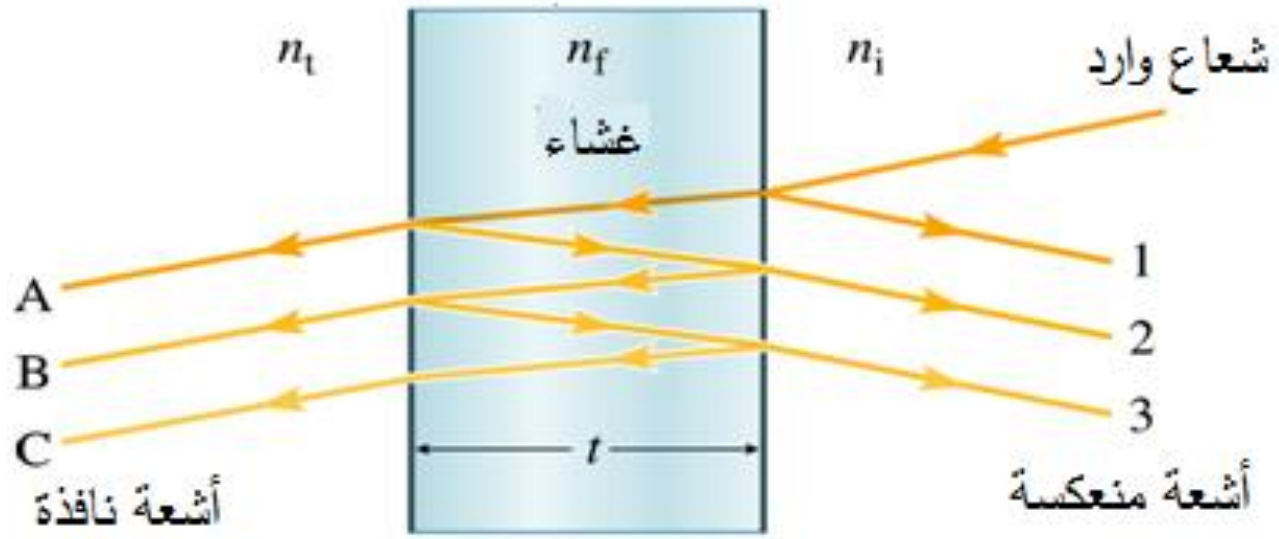


- فرق المسير بين الطريقين (عدد صحيح من الطول الموجي

$$\Delta l = 10\,\text{km} = 2\lambda$$

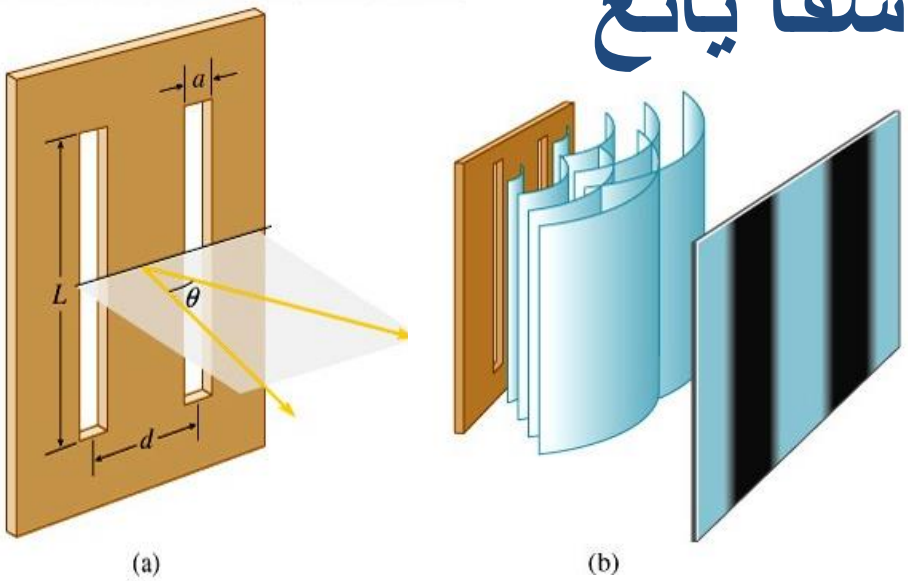
- التداخل هدّام لوجود انزياح في الطور قدره 180°

التداخل في الأغشية الرقيقة



فإذا جمعت الأشعة المنعكسة أو البارزة (النافذة) ستكون نتيجة الجمع إضاءة أو ظلام وفق فروق المسير بينها، وتكون الحزمتان البارزة والمنعكسة متتامتين بالشدة، فإذا كانت الحزمة المنعكسة مضاءة بالنسبة لطول موجي معين تكون الحزمة البارزة مظلمة... وهذا هو **مبدأ النظارات المتلألئة**

تجربة شقا يانغ

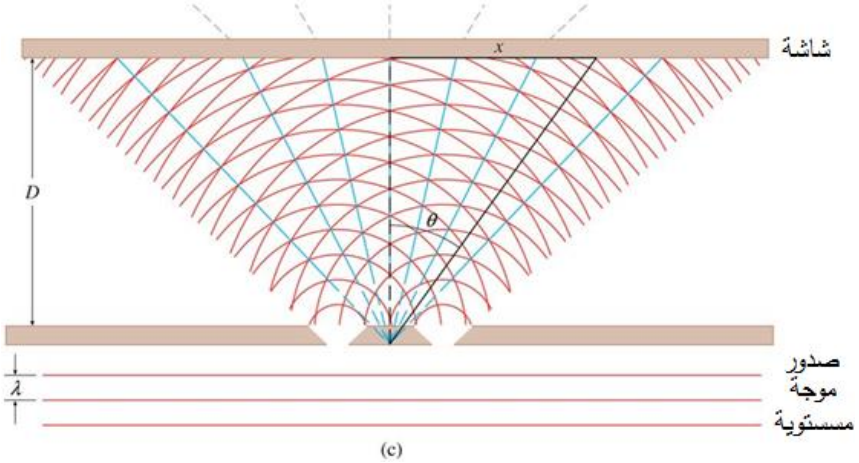


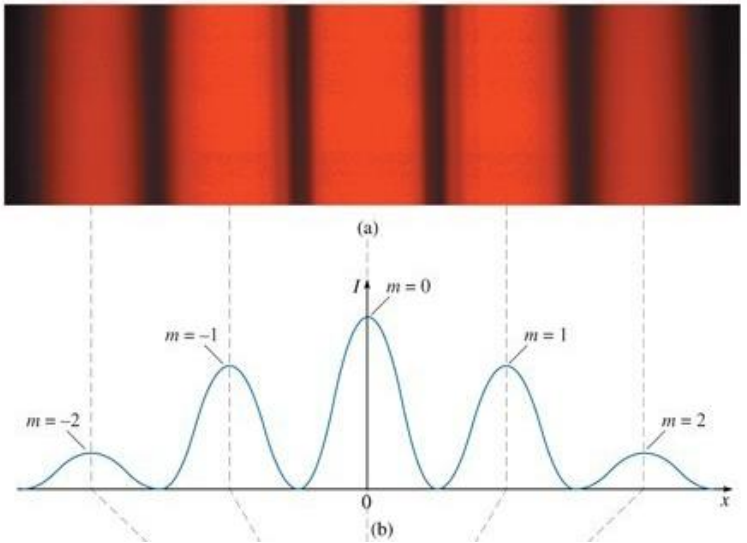
- الأهداب المضيئة

$$\Delta l = d \sin\theta = m\lambda$$

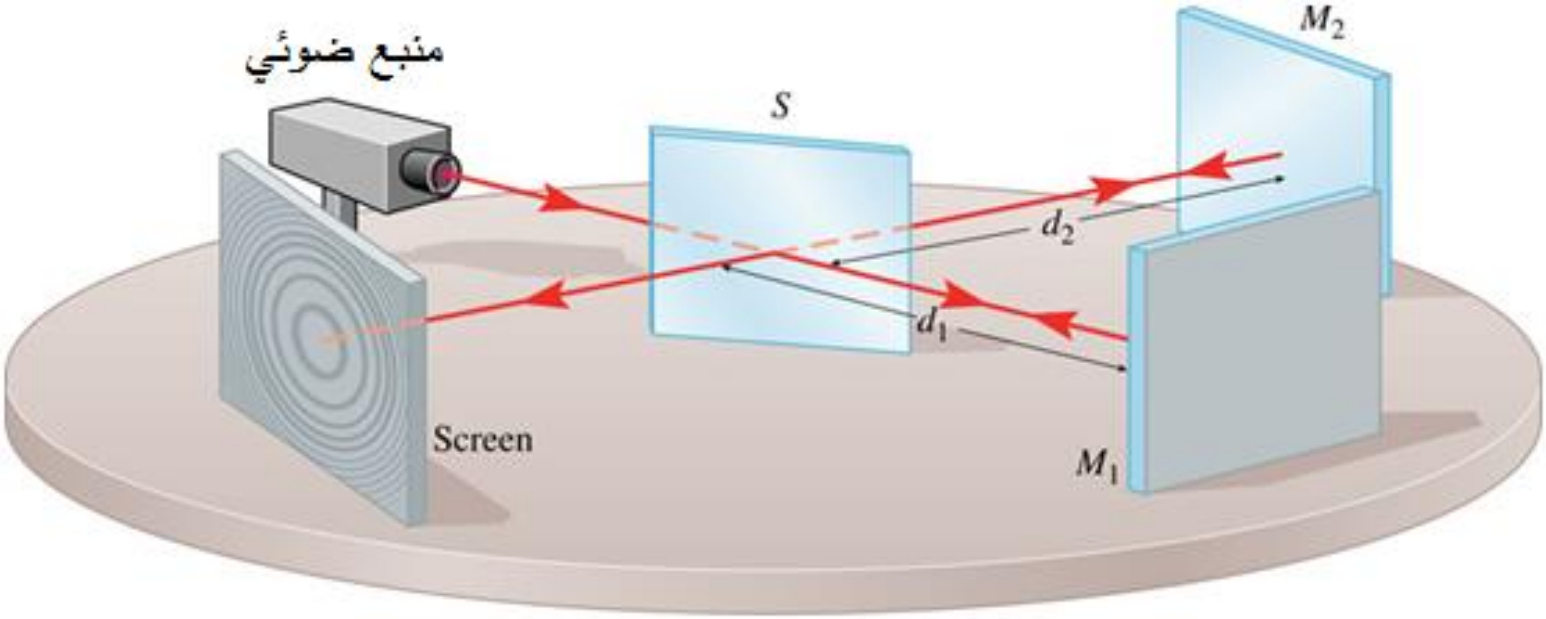
- الأهداب المظلمة

$$\Delta l = d \sin\theta = \left(m + \tfrac{1}{2}\right)\lambda$$





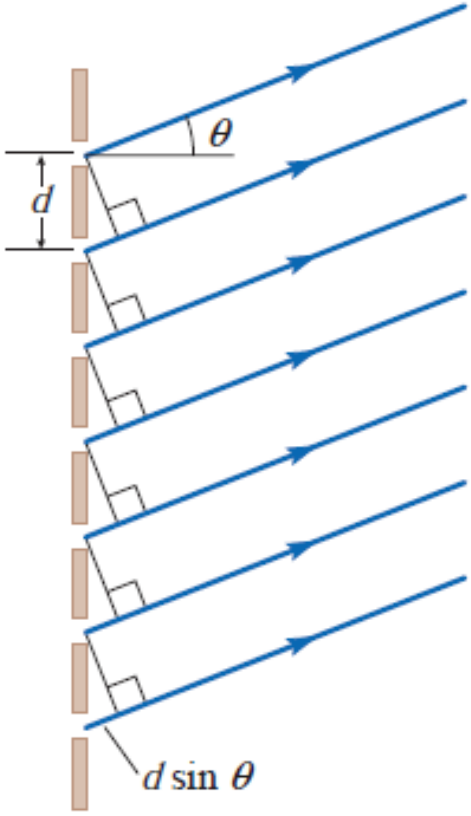
مقياس مايكلسون التداخلي



يستخدم في العديد من طرائق التصوير الليزرية المأمونة في الطب التي تحتاج إلى شطر الحزمة الليزرية إلى شطرين يدخل أحدهما في النسيج والآخر تتم المقارنة معه، كالـ OCT(التصوير المقطعي للترابط الضوئي) الذي اشتهر بتصوير الشبكية والـ Acousto-Optic الذي اشتهر بتصوير الثدي، .....الخ . (الفصل العاشر : طرائق التصوير بالليزر)

شبكات الانعراج diffraction gratings

لشبكات الانعراج أهمية كبيرة في المطيافية الضوئية. يمكن التعرف على خصائص الشبكة من خلال المثال الآتي.



ضوء أحمر طوله الموجي λ=650nm،
يمكن أن يرى بثلاث مراتب في شبكة معينة. كم شق تتضمن الشبكة تقريباً في السنتمتر ؟

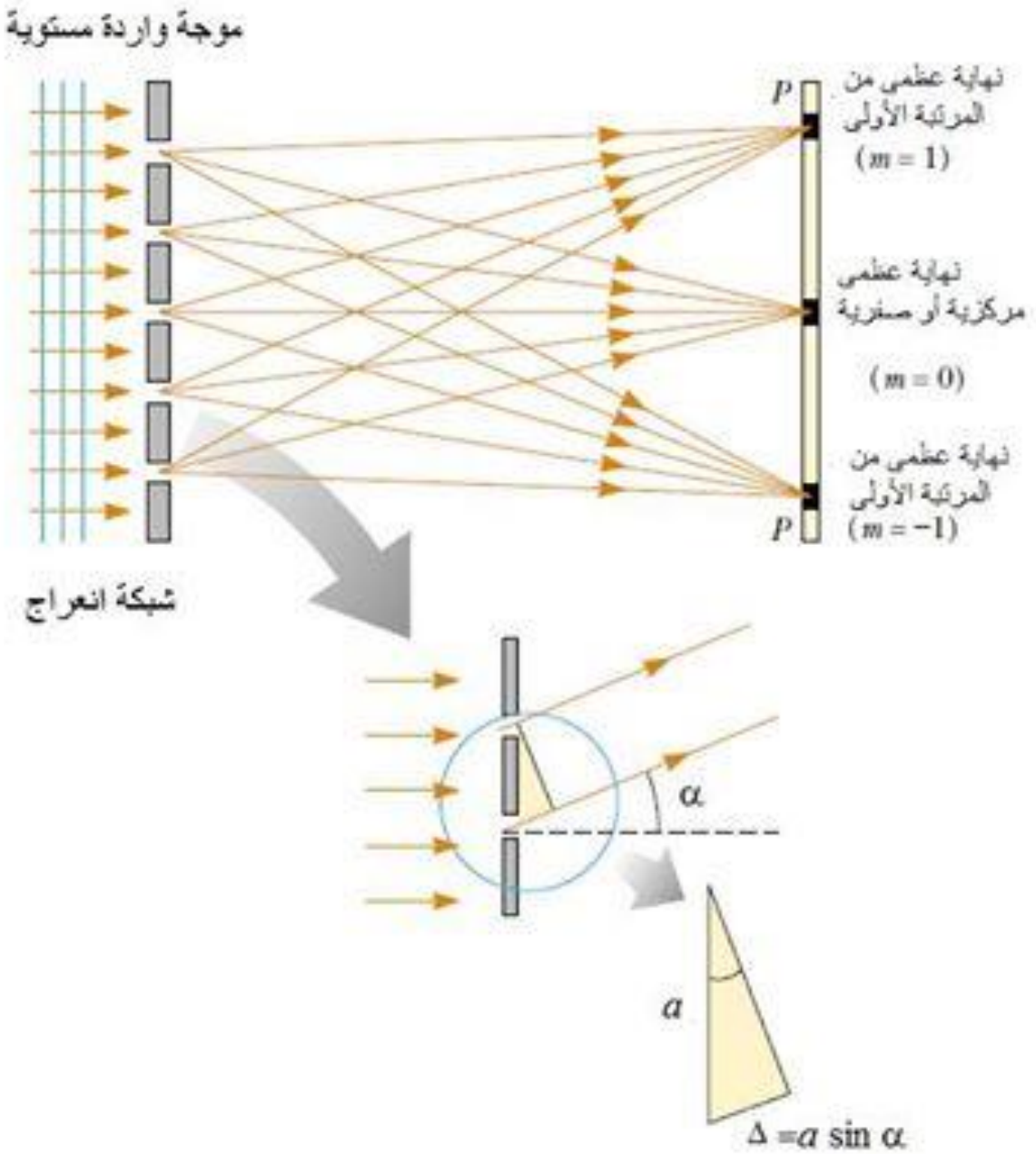
$$d\sin\theta_0 = 0$$
$$d\sin\theta_1 = 1\lambda$$
$$d\sin\theta_2 = 2\lambda$$
$$d\sin\theta_3 = 3\lambda$$
$$d\sin\theta_4 = 4\lambda$$

من أجل كل نهاية نحصل على النهايات العظمى عندما يكون

$$d\sin\theta = m\lambda$$

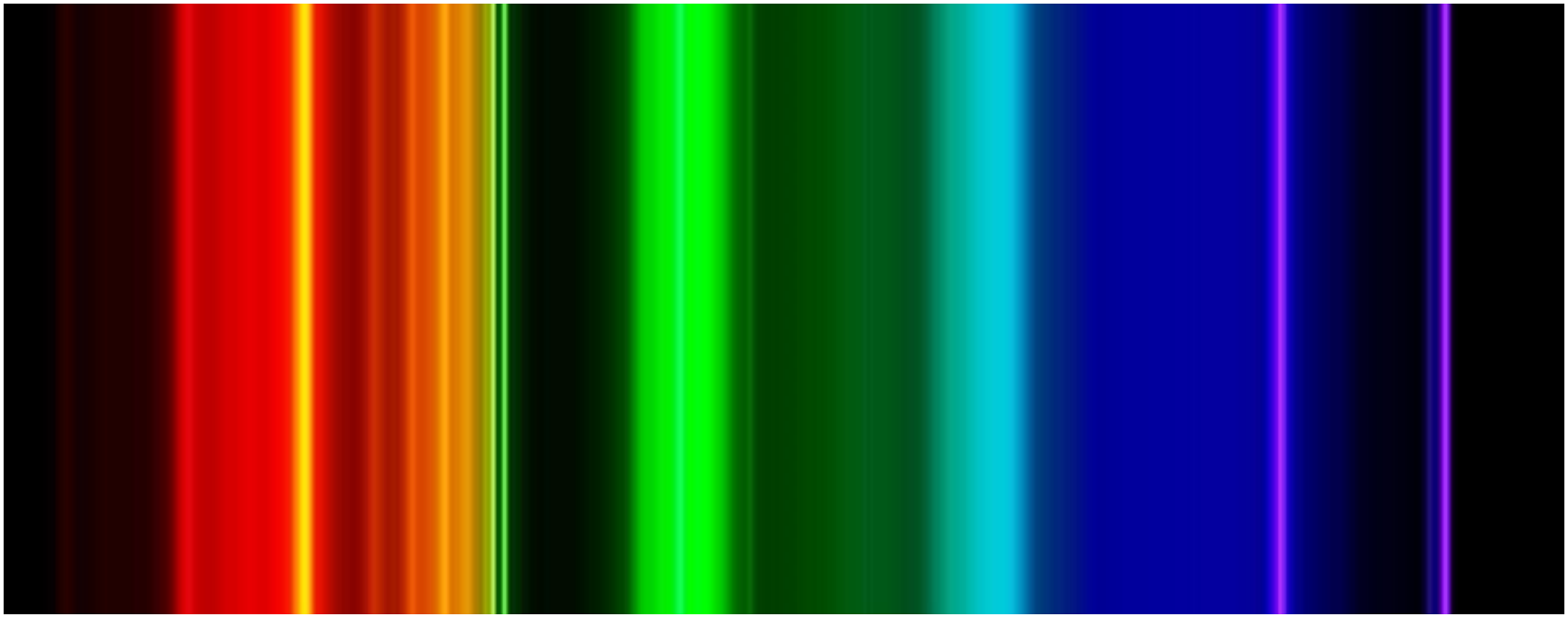
حيث

$$m = 0,1,2,3,4..$$

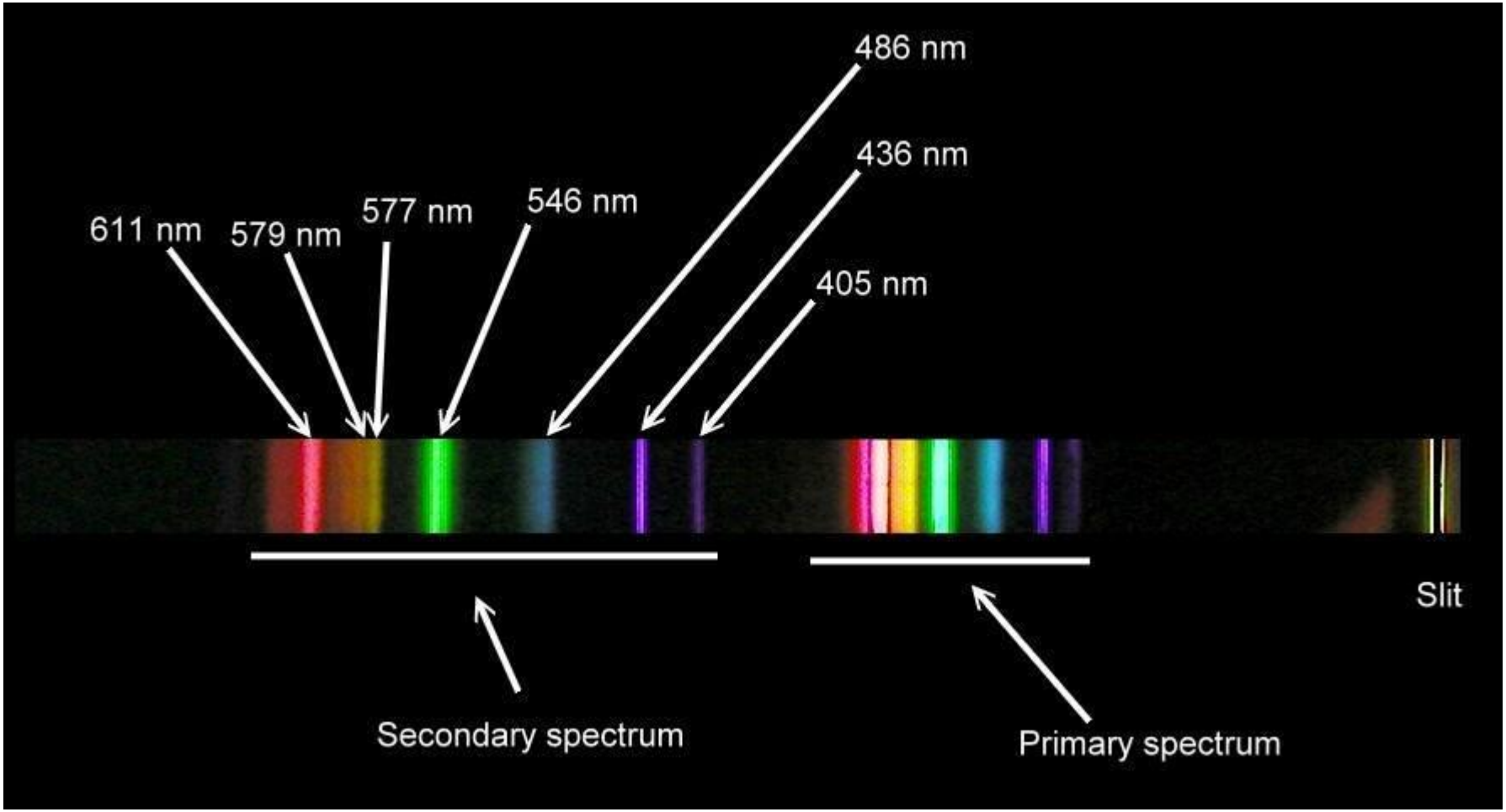


المرتبة الصفرية والمرتبة الأولى إلى جانبي المرتبة الصفرية

الخطوط الطيفية في المرتبة الواحدة



المرتبة الصفرية والمرتبتان الأولى والثانية



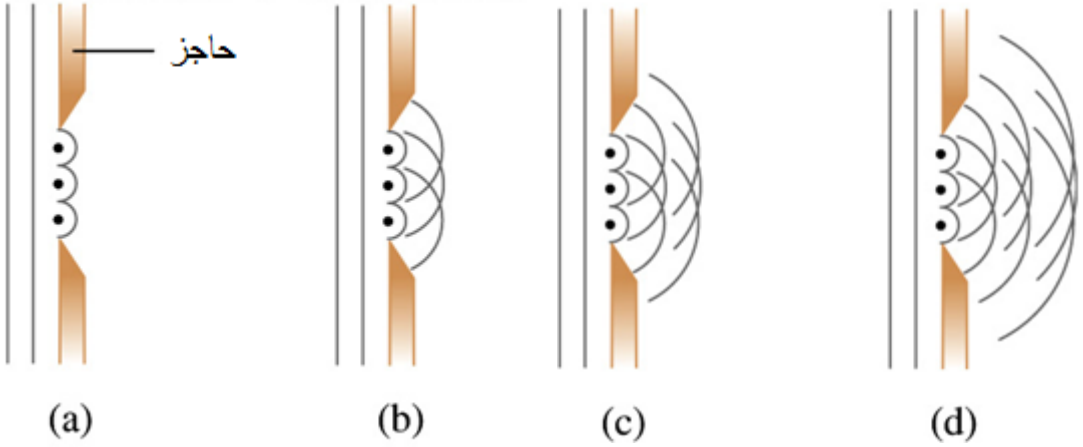
- المرتبة الثالثة تلاحظ
- ولكن المرتبة الرابعة لا تلاحظ.
- لما كانت حالة $m=4$ لا تلاحظ، لأنها تتطلب أن يكون $\sin\theta_4 > 1$ ، يمكن أن نفترض في هذه الحالة أن $\theta_3 \approx 90^\circ$. الأمر الذي يعطي:

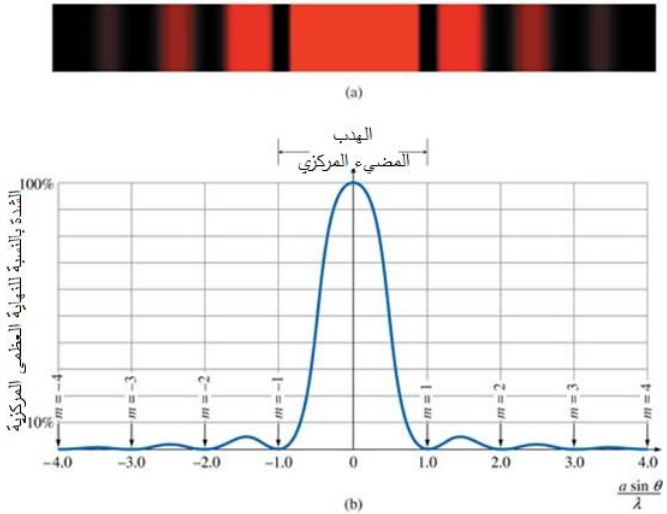
$$d\sin\theta_0 = 0$$
$$d\sin\theta_1 = 1\lambda$$
$$d\sin\theta_2 = 2\lambda$$
$$d\sin\theta_3 = 3\lambda$$
$$d\sin\theta_4 = 4\lambda$$

$$d = 3\lambda = 1.95\times10^{-6}\,\text{m}$$

$$N = \frac{1}{d} = 510{,}000\ \text{lines/m} = 5100\ \text{lines/cm}$$

الانعراج Diffraction





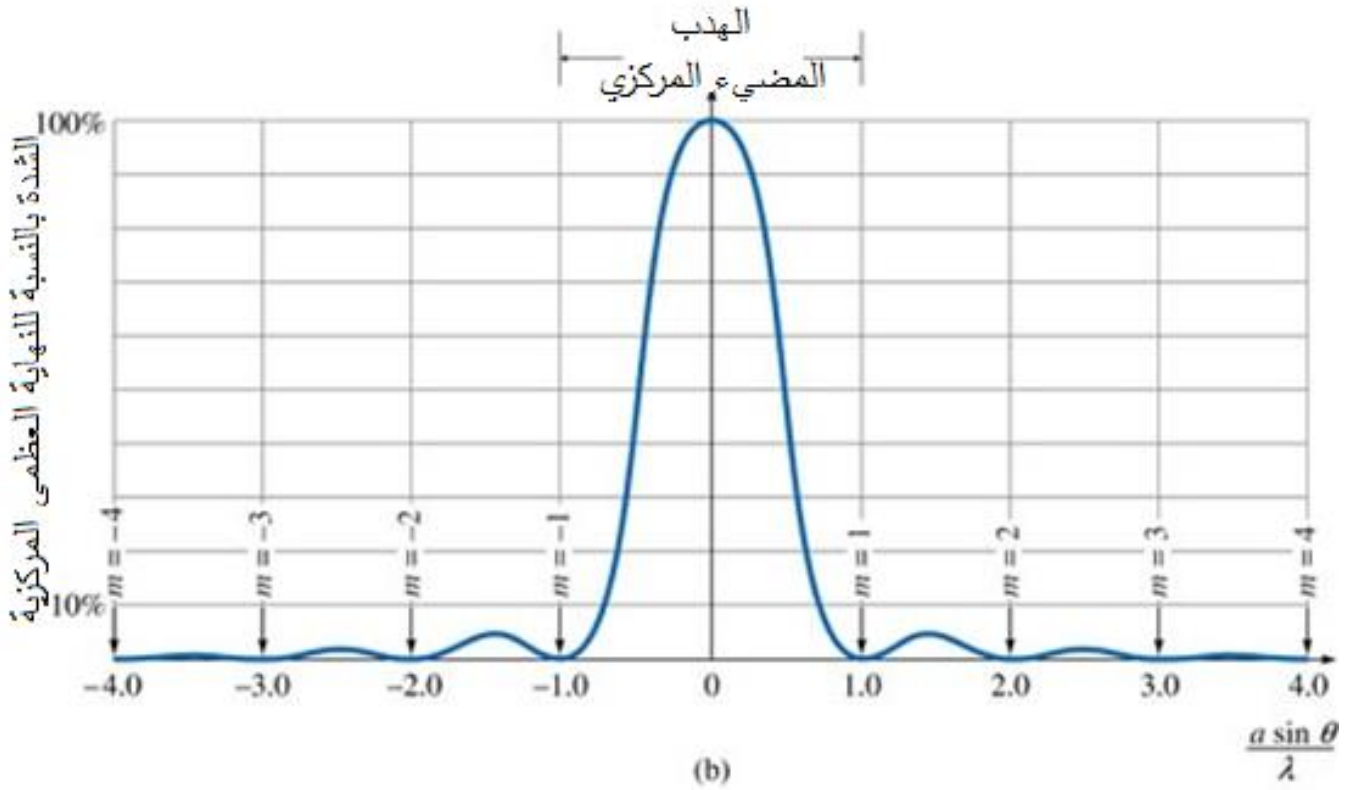
مبدأ هويغنز: تعد كل نقطة على صدر موجة منبعاً للمويجات؛ يتوسع عرض الضوء عندما ينتشر من خلال شق ضيق.

لا يلاحظ الانعراج إلّا عندما يكون عرض الشق له أبعاد الطول الموجي نفسها.

- تحدث النهايات الصغرى عند $a\sin\theta = m\lambda$ حيث $m = \pm 1, \pm 2, \ldots$

الانعراج من خلال شق

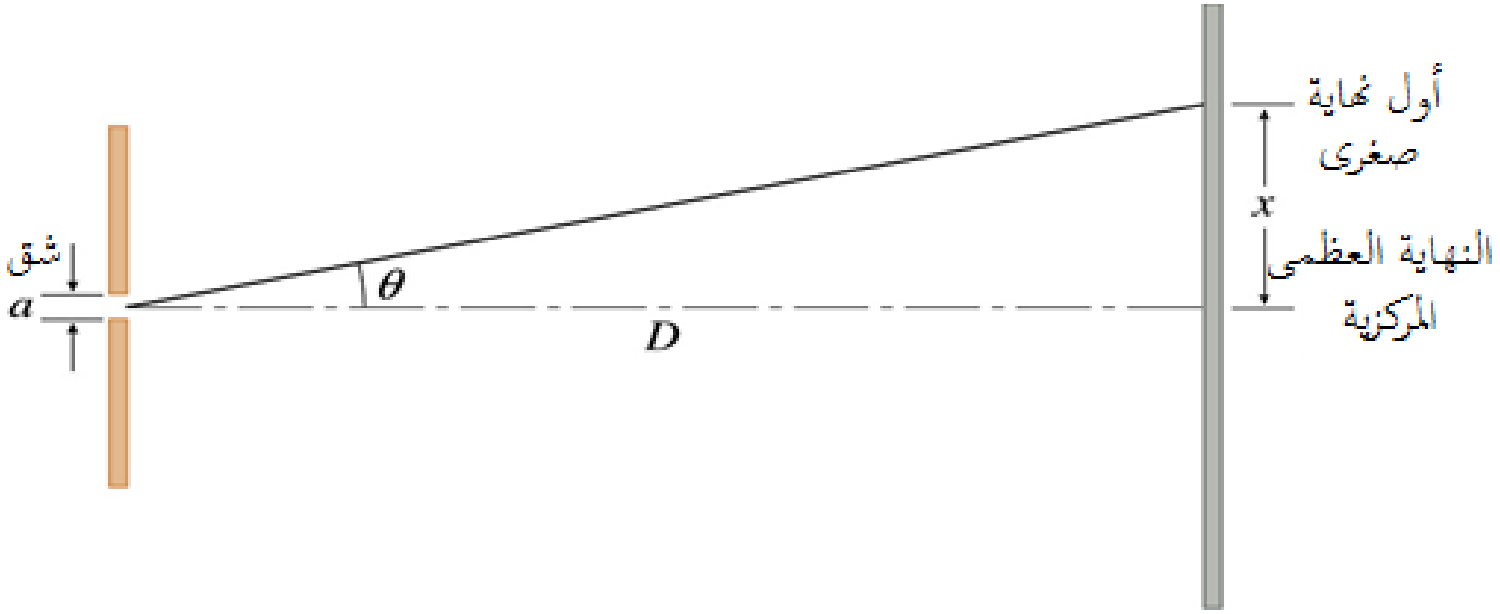
(a)



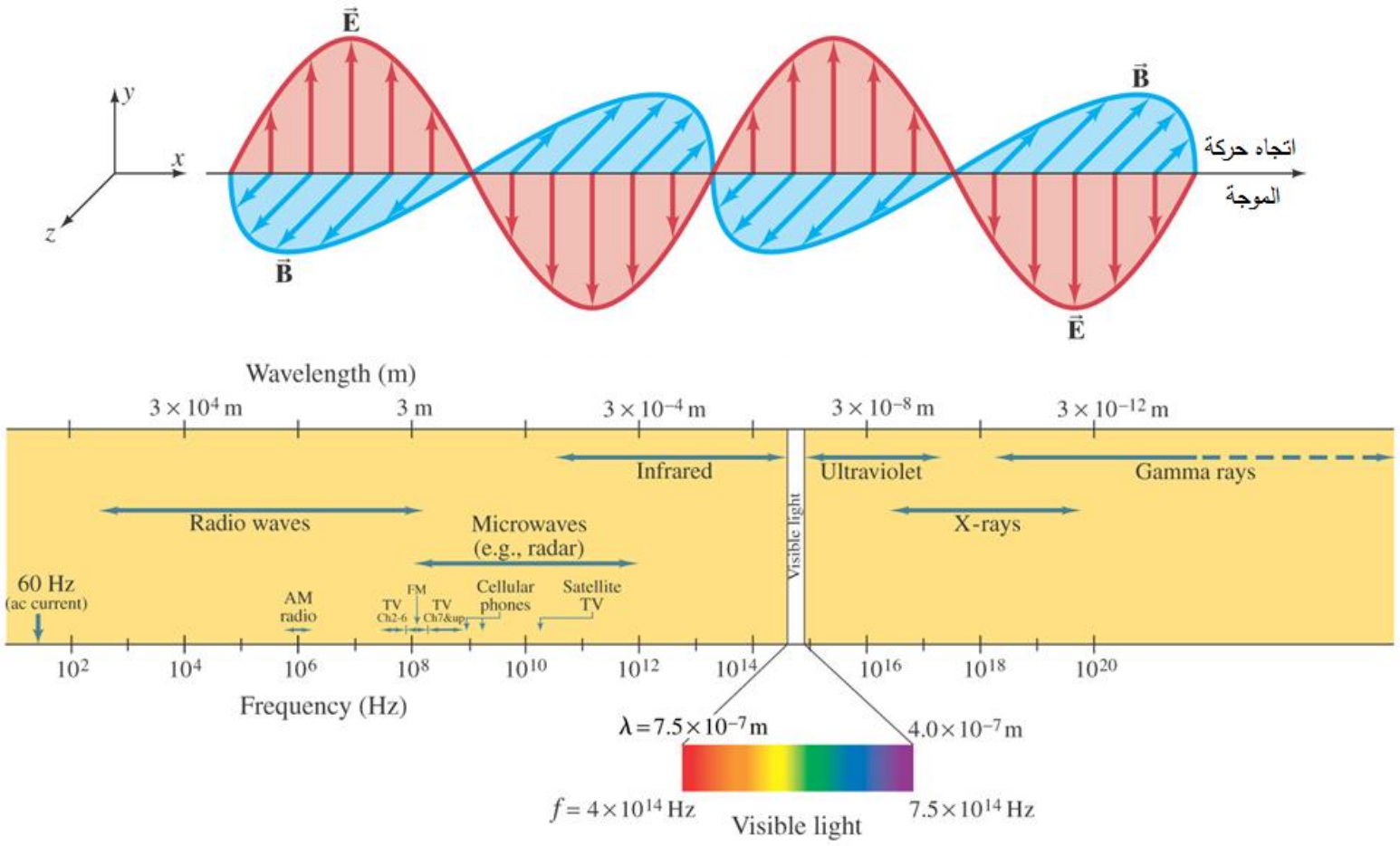
(b)

نموذج الشدة الملاحظ على الشاشة.

أول نهاية صغرى في الانعراج من خلال فتحة



الضوء موجة كهرطيسية



طيف الأمواج الكهرطيسية يظهر التواترات والأطوال الموجية المقابلة لمختلف المجالات (في الهواء).

معادلات ماكسويل والأمواج الكهرطيسية

- جمعت معادلات مكسويل جميع القوانين الكهربائية والمغنطيسية المعروفة حتى عهد مكسويل بصورة موجزة.
- فمن المعروف (1) أن الشحنة الثابتة تولد حقلاً كهربائياً، وأن (2) الشحنة المتحركة بسرعة معينة تولد حقلين: كهربائياً ومغنطيسياً.
- أما (3) الشحنة المسرَّعة فتولد حقلين كهربائياً ومغنطيسياً متغيرين.
- (4) يشكل هذان الحقلان الأمواج الكهرطيسية electromagnetic EM waves.

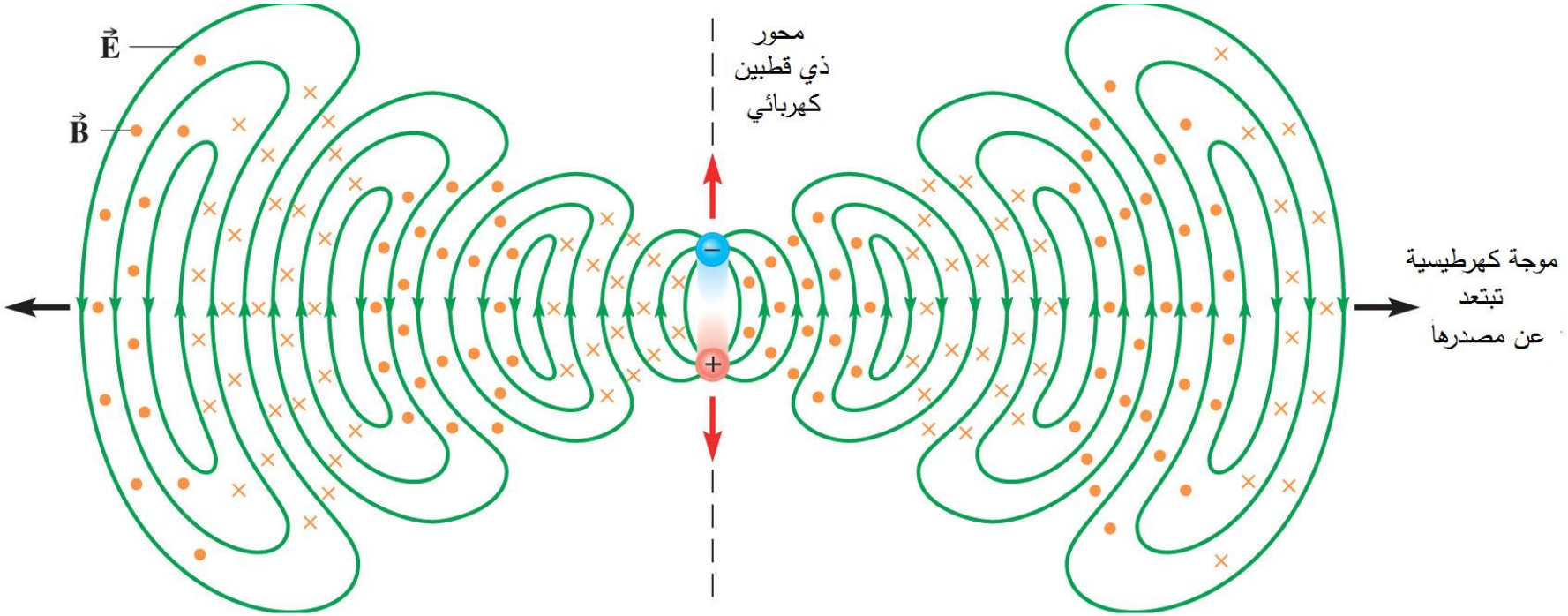
معادلات ماكسويل والأمواج الكهرطيسية

فإذا كانت الشحنة تهتز بتواتر f يكون للموجة الكهرطيسية المتولدة التواتر نفسه.

وإذا توقفت الشحنة عن الاهتزاز،

تكون الموجة الكهرطيسية نبضة (موجة محدودة الأبعاد).

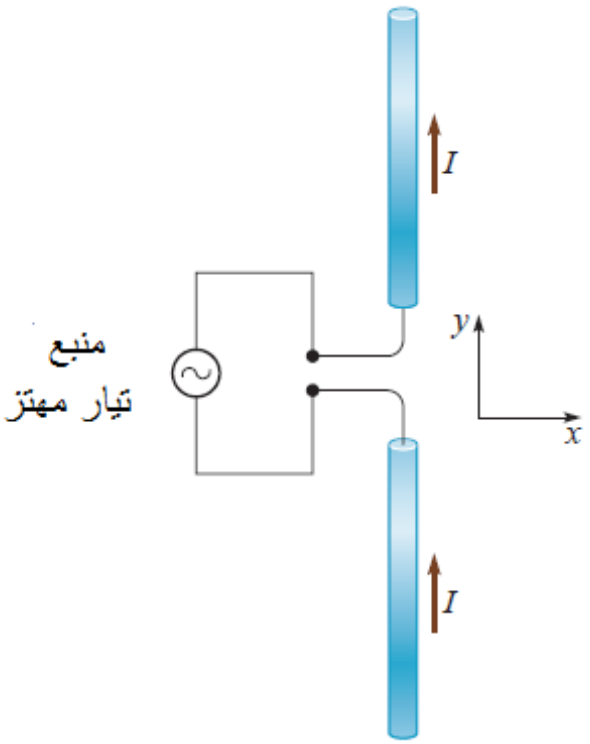
معادلات ماكسويل والأمواج الكهرطيسية

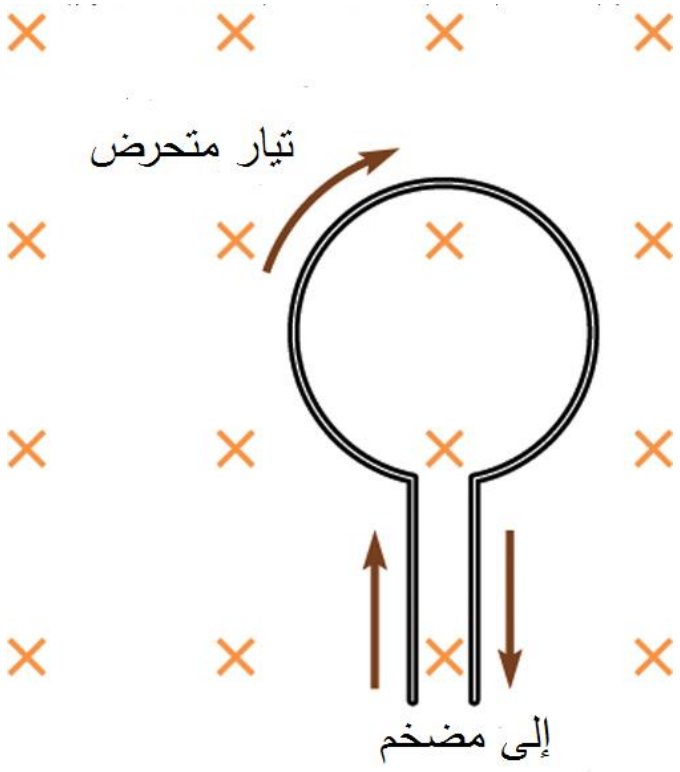


ذو قطبين كهربائي مهتز oscillating dipole تصدر عنه موجة كهرطيسية مبتعدة

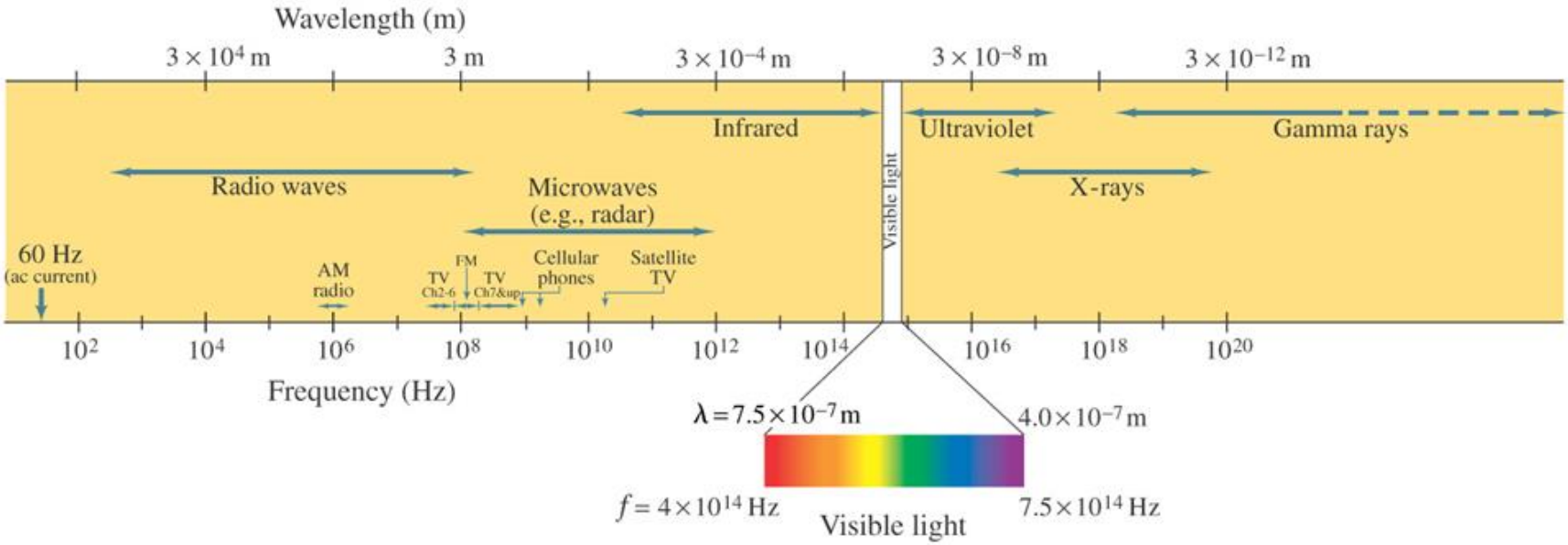
هوائي ذو قطبين كهربائي وهوائي ذو قطبين مغنطيسي

- تحرض الإشعاعات الكهرطيسية تياراً في هوائي ذي قطبين كهربائي
- و تحرض تياراً في هوائي ذي قطبين مغنطيسي بمركبتها المغنطيسية.



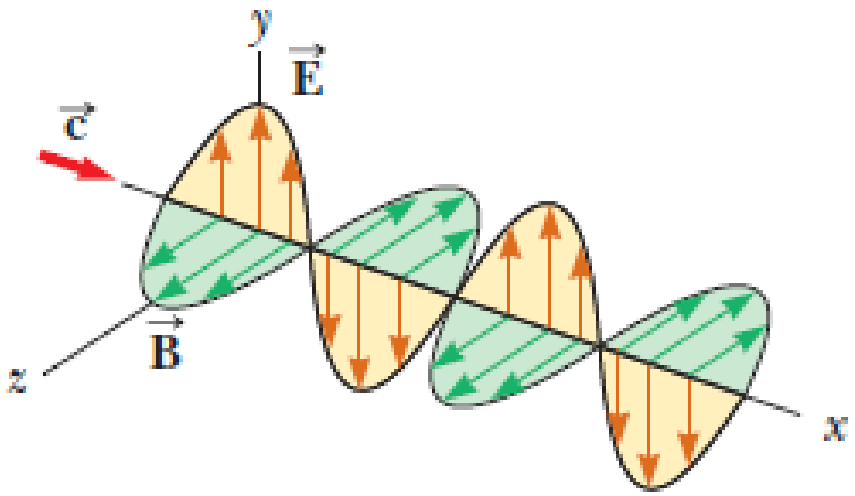


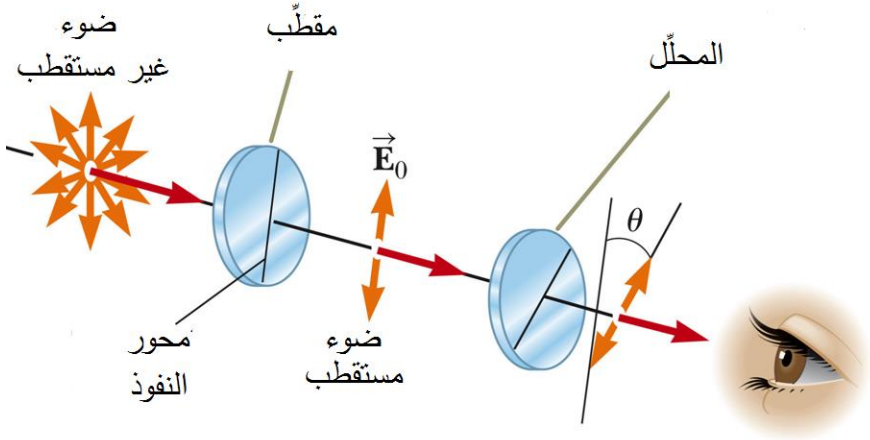
The EM Spectrum الطيف الكهرطيسي



الطيف

الاستقطاب

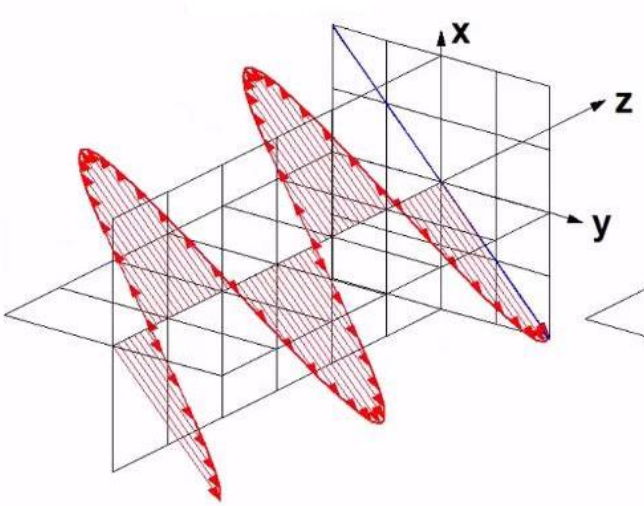




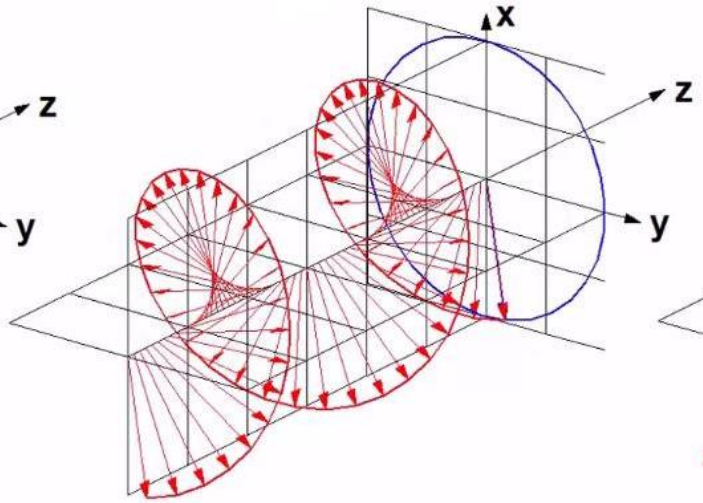
استقطاب خطي للضوء بمقطب موجة غير مستقطبة

أنواع الاستقطاب

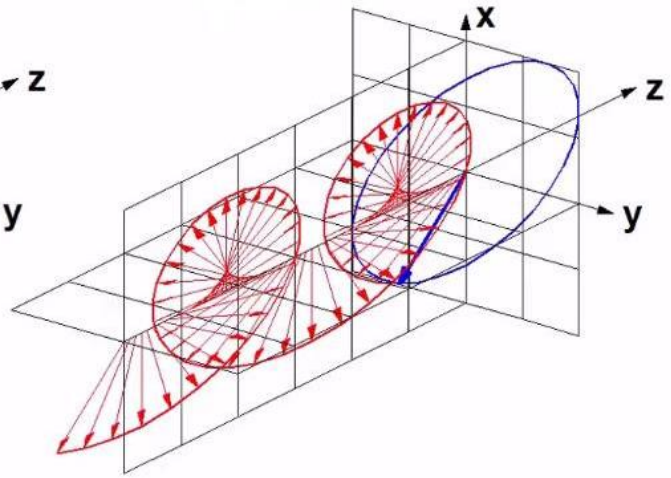
استقطاب خطي



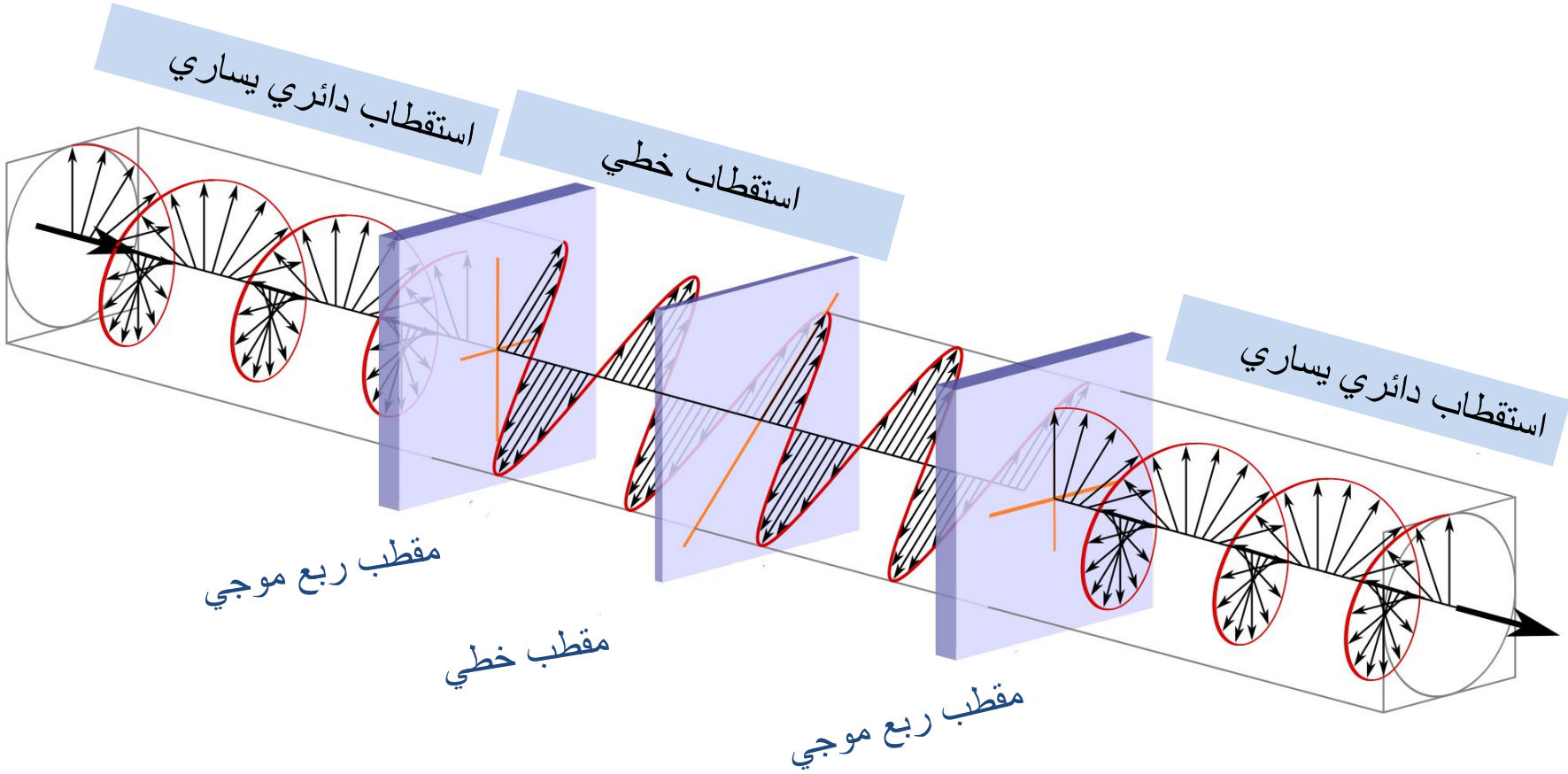
استقطاب يميني دائري



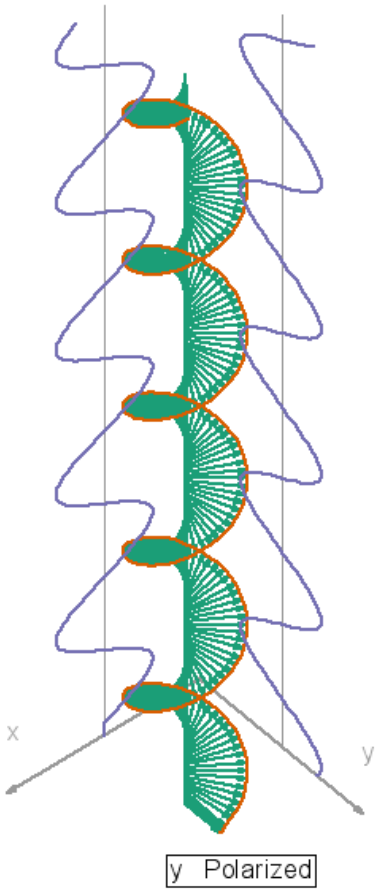
استقطاب يميني إهليلجي



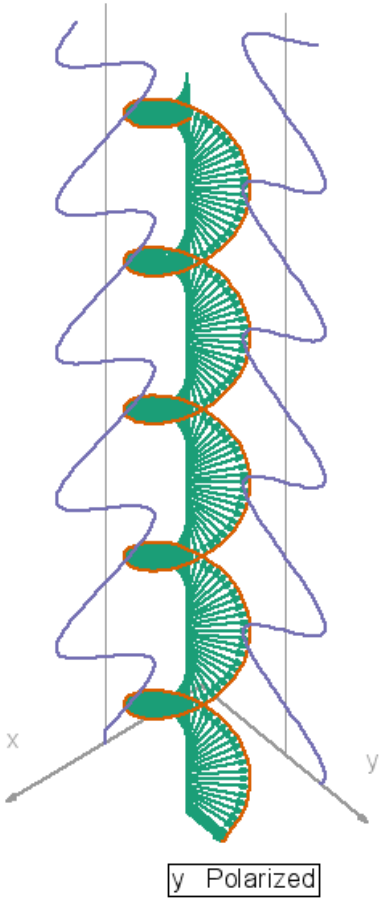
استقطاب دائري يساري



أنواع الاستقطاب

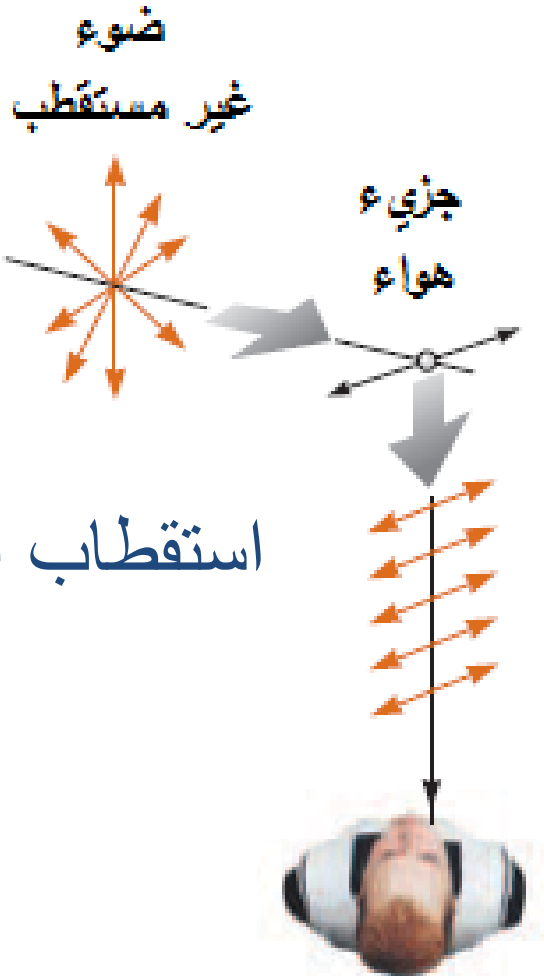


أنواع الاستقطاب



مجهر استقطابي

استقطاب الضوء بجزيئات الهواء



استقطاب الضوء بجزيء هواء

مفعول دوبلر الكهرطيسي Doppler Effect

- انزياح التواتر في الحالة التي تكون فيها السرعة النسبية صغيرة جداً بالنسبة إلى سرعة الضوء

$$f_o \approx f_s\left(1+\frac{v}{c}\right)$$

- حيث f_s التواتر الذي يصدره المنبع، f_o التواتر الذي يدركه المراقب، v السرعة النسبية للمنبع والمراقب، و c سرعة الضوء. فإذا كان المراقب والمنبع يقتربان أحدهما من الآخر، تكون v موجبة؛ وفي الحالة التي يبتعدان فيها أحدهما من الآخر تكون سالبة.

تطبيقات مفعول دوبلر الكهرطيسي

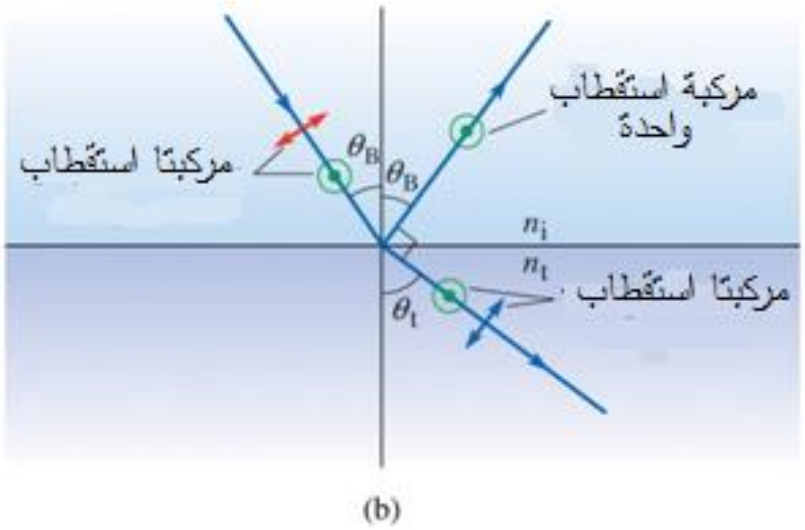
- التنبؤ عن حالة الطقس باستخدام الرادار الذي يعتمد على الأمواج الراديوية **Ra**dio (RADAR) **D**etecting **A**nd **R**anging.
- حيث يعطي الفاصل الزمني بين إصدار نبضات الرادار واستقبالها بعد انعكاسها عن قطرات المطر raindrops موقع الهطل precipitation. وقياس انزياح تواتر دوبلر يخبرنا عن سرعة حركة الغيمة وفي أي اتجاه.

تطبيقات مفعول دوبلر الكهرطيسي
وانزياح الأحمر redshift (في الفلك)

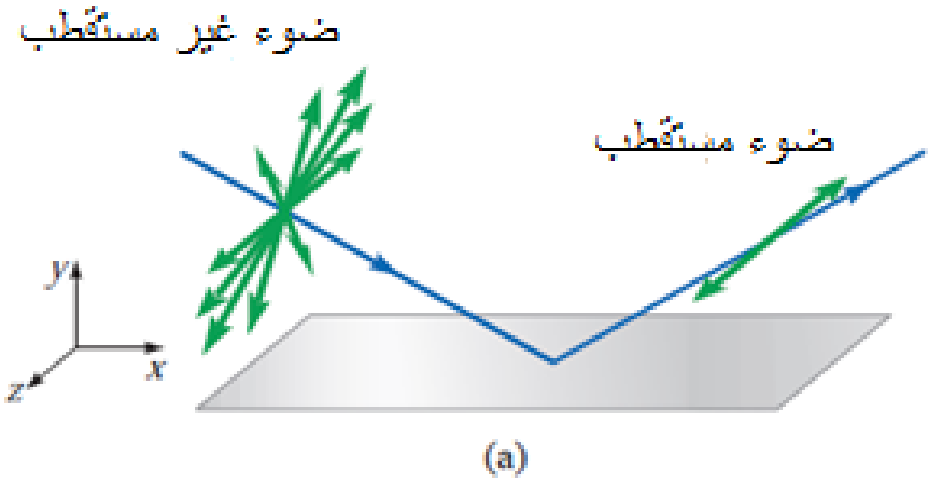
- إذ يمكن تحديد سرعة المجرات البعيدة بانزياح دوبلر. حيث ينزاح ضوء مجرات البعيدة، نحو التواترات الأخفض مشيراً إلى ابتعاد المجرات عنا.
- تدعى هذه الظاهرة انزياح الأحمر لأن تواتر الأحمر هو الأخفض وتنزاح باتجاهه في المجال المرئي. وبقدر ما يكون انزياح التواتر أكبر تكون سرعة ابتعاد المجرات عنا أكبر.
- وتعد هذه الظاهرة أساساً لفكرة تمدد الكون، وهي إحدى أسس فكرة أن الكون بدأ بانفجار أعظم Big Bang.

الاستقطاب بالانعكاس

- استقطاب كلي بالانعكاس عن سطح في حالة الورود وفق زاوية بروستر (a)
- استقطاب جزئي في حالة الورود بزاوية أخفض من زاوية بروستر.



(b)



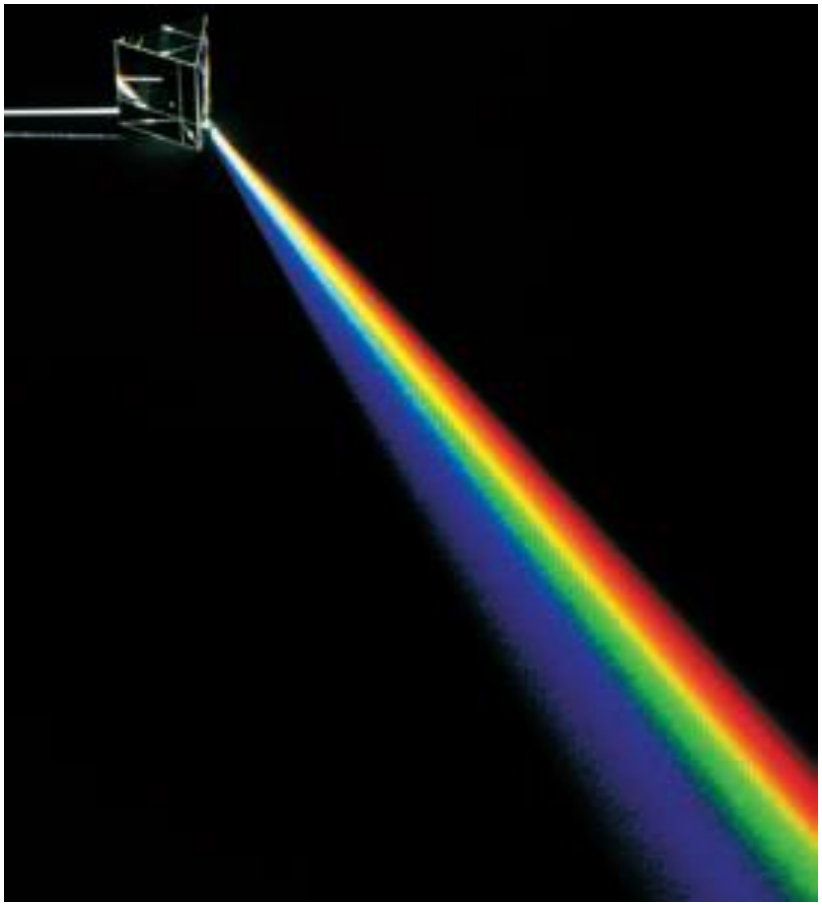
(a)

طاقة الأمواج الكهرطيسية

- تحمل الأمواج الكهرطيسية طاقتها على مركبتيها الكهربائية والمغنطيسية
- كثافة الطاقة المختزنة في الحقل الكهربائي $u_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$
- كثافة الطاقة المختزنة في الحقل المغنطيسي $u_B = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$
- مجموع الكثافتين $u = u_E + u_B = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$
- أي الطاقة المحمولة في وحدة الحجوم

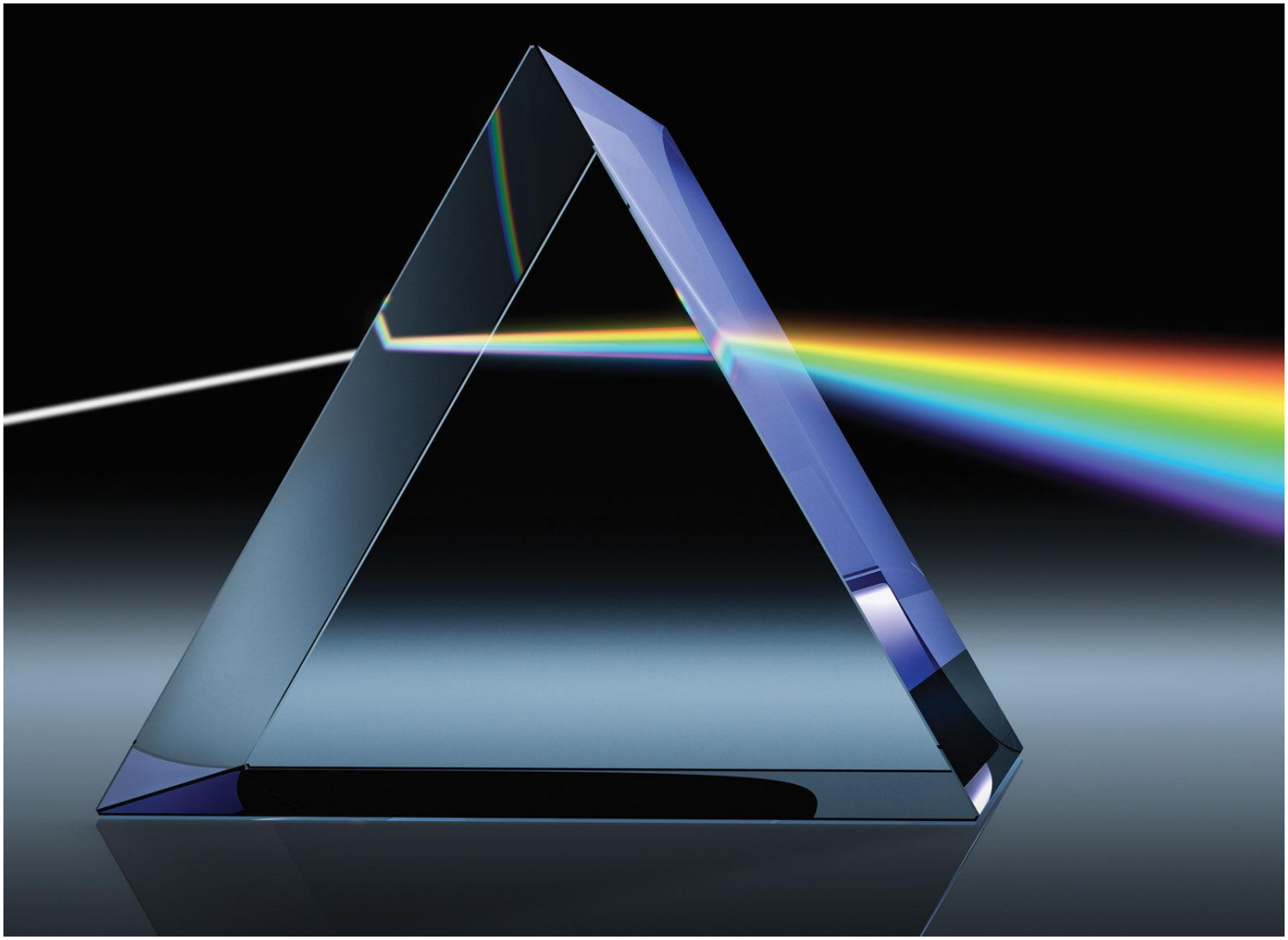
الطيف المرئي وتحليل الضوء

- يتحلل الضوء لاعتماد قرينة الانكسار على الطول الموجي.
- ولأن قرينة انكسار الأطوال الموجية الأقصر تكون أكبر، يكون انحناء الضوء البنفسجي أكبر ما يمكن عنده، في حين يكون انحناء الضوء الأحمر أقل ما يمكن.

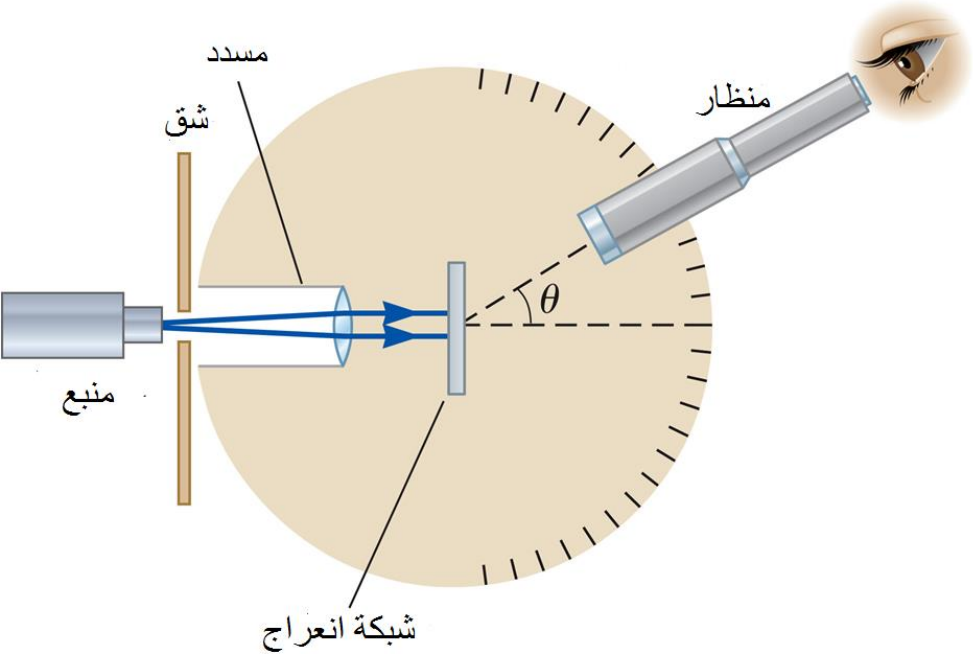


تحليل الضوء بالموشور

تحليل الضوء



مقياس الطيف والمطيافية



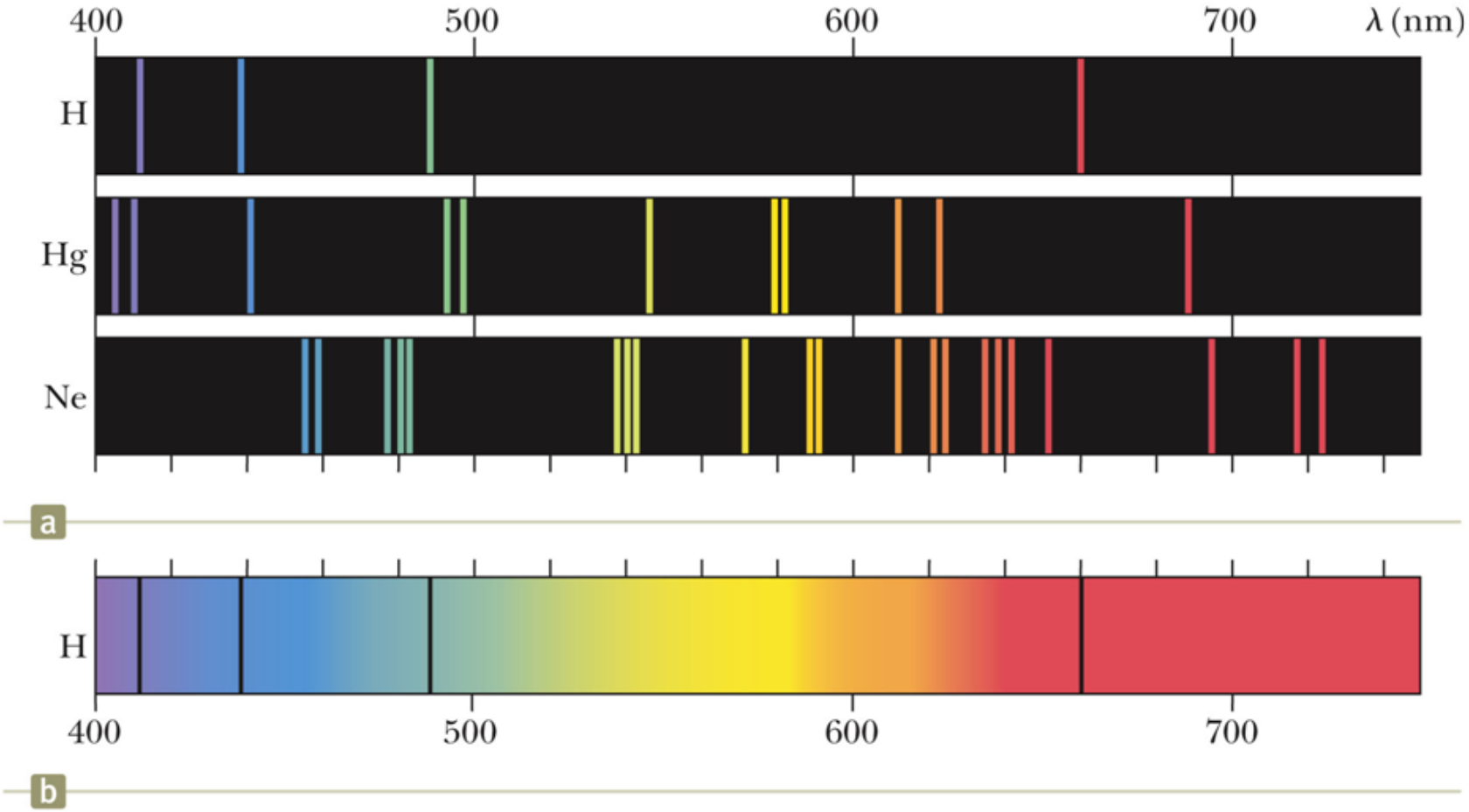
مقياس الطيف أداة لقياس الأطوال الموجية بدقة باستخدام شبكة انعراج diffraction grating أو موشور prism لفصل الأطوال الموجية المختلفة للضوء.

تؤخذ عادة نهايات الانعراج الموافقة للمرتبة الأولى.

$$\lambda = \frac{d}{m}\sin\theta$$

مقياس الطيف spectrometer
أو منظار الطيف spectroscope

الأطياف الخطية أو الذرية أو المتقطعة



الأطياف الخطية للغازات المشار إليها، وطيف الشمس الذي تظهر فيه خطوط الامتصاص.

طيف الامتصاص

- تمتص الذرات أو الجزيئات، إذا ما تعرّضت لطيف مستمر، الخطوط الطيفية التي تصدرها تماماً.
- يعتمد ذلك، عملياً، على درجة حرارة المنبع وعلى درجة حرارة الغاز الماص.

طيف الامتصاص

- تفيد مطيافية الامتصاص Absorption Spectroscopy، تبعاً لذلك، في الكشف عن وجود أنواع معينة من الجزيئات في العينات المختبرية حيث يكون التحليل الكيميائي صعباً.
- فالجزيء الحيوي الـ DNA مثلاً وأنواع البروتين المختلفة تمتص الضوء في مناطق معينة من الطيف (كالمجال فوق البنفسجي).

طيف الامتصاص

- يكشف طيف الامتصاص عن نوع معين من الجزيئات وعن تركيزه، ويستعمل عندئذ مقياس الشدة الضوئية spectrophotometer.
- يحدث إصدار الضوء وامتصاصه خارج المجال المرئي من الطيف، كالمجالين فوق البنفسجي وتحت الأحمر.

النظرية الفوتونية للضوء والمفعول الكهرضوئي

- احسب طاقة فوتون ضوئي أزرق طوله الموجي في الهواء أو الخلاء .
- الحل. لما كان ، لدينا:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63\times10^{-34})\times(3\times10^{8})}{450\times10^{-9}} = 4.4\times10^{-19}\,J$$

$$4.4\times10^{-19}\,J\,/(1.6\times10^{-19}\,J/eV = 2.8eV$$

$$E(eV) = \frac{1240}{\lambda(nm)}$$

(photon energy in eV)

تطبيق المفعول الكهرضوئي

- يعتمد الكثير من كواشف الدخان على المفعول الكهرضوئي في الكشف عن آثار الدخان التي تقطع تدفق الضوء وتغير التيار الكهربائي.
- كما تستخدم الخلايا الضوئية في مقاييس الطيف الامتصاصية لقياس شدة الضوء.