الموجات الضوئية

1) هل الضوء موجة ؟

هل للضوء طبيعة موجية ؟ هل هو مجموعة من الدقائق المادية تنتشر في اتجاه مستقيمي ؟

مجموعة من النتائج التجريبية تؤكد أن الفرضية الأولى صحيحة (كريمالدي **Grimaldi(1665)** ، ثم بعد ذلك يونك و فرينل **Young et Fresnel** في بداية القرن التاسع عشر) و قد برهنوا على أن الضوء له طبيعة موجية .

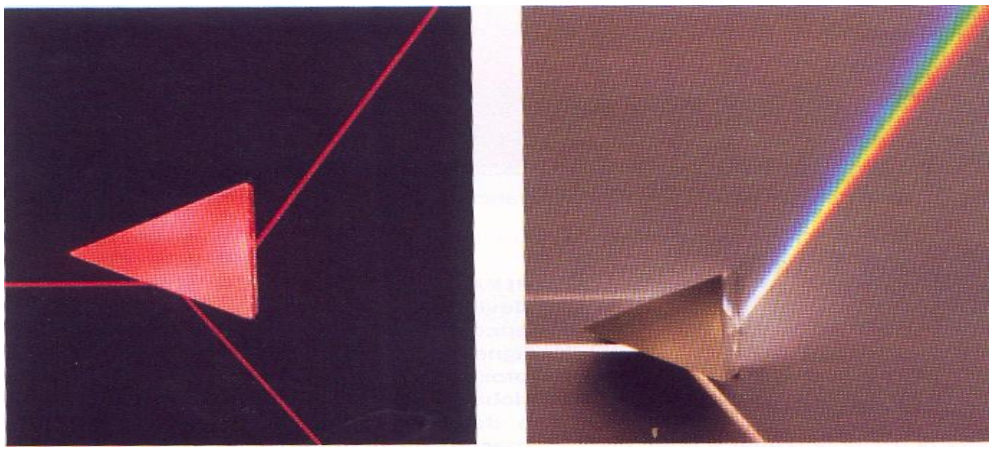
*** التسلسل الزمني :**

. 600 - فيتاغور افترض أن الضوء منبعث من العين .
. 1000 ابن الهيثم اقترح أن الضوء شيء يصدر من الجسم
. 1625 سنيل (Snell) أعطى قوانين الإنعكاس و وضع قواعد البصريات الهندسية (كديكارت 1637 و فيرما Fermat 1667)
. 1665 اكتشف غريمالدي الحيود على جنبات الظلال .
. 1800 اكتشف يونغ ظاهرة التداخل : ضوء + ضوء يمكن أن يعطي ظلام .
. 1814 - 1820 أعطى فرينل نظرية رياضية للحيود و التداخل
. 1840 - 1860 ظهور الكهرومغنطيسية مع فرداي و ماكسويل (Faraday et Maxwell)
. 1900 بفضل إينشتاين خصوصا تطور الميكانيك الكونتية (quantique)
. 2005 تم تفسير كل الظواهر الضوئية الملاحظة ..... لم تبقى سوى تحديات جديدة !

1 - 1) الضوء أحادي اللون و الضوء متعدد الألوان .

في سنة 1665 أجرى إسحاق نيوتن تجربة فيزيائية بتأثير موشور على ضوء الشمس .

⇐ لاحظ تجربة تبدد الضوء بواسطة موشور .

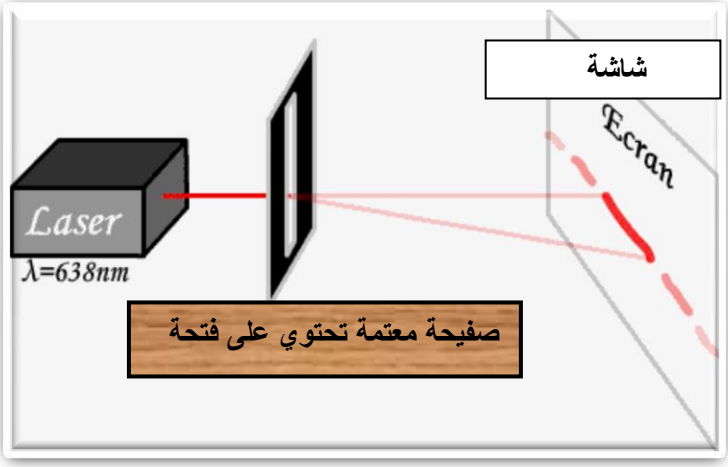


حزمة ضوئية دقيقة منبعثة من جهاز الازر تنحرف عن اتجاهها البدئي عندما تجتاز الموشور ، دون أن تغير لونها : إنها ظاهرة انكسار الضوء .

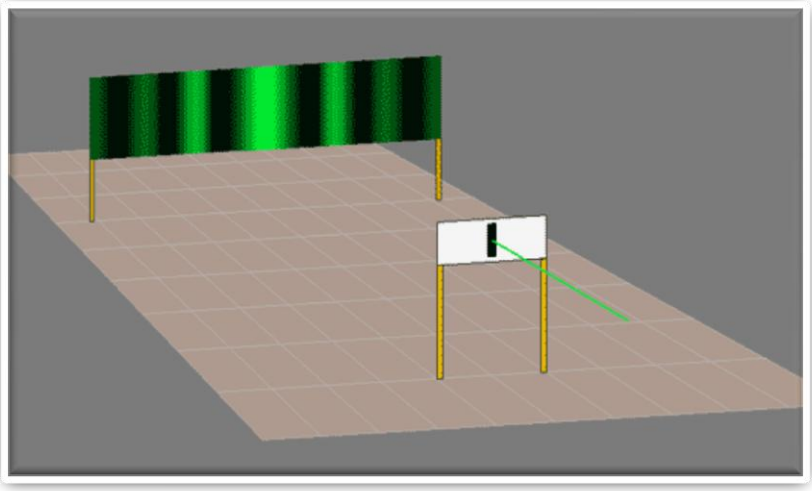
حزمة من الضوء الأبيض لا تنكسر فقط عند اجتيازها الموشور و إنما تتحلل إلى مختلف الأضواء الملونة .
الضوء غير القابل للتحلل بواسطة موشور (أو أي نظام مبدد ، كالشبكة) هو ضوء أحادي اللون .
كل ضوء قابل للتحلل إلى مكوناته بواسطة موشور يسمى ضوءا متعدد الألوان .

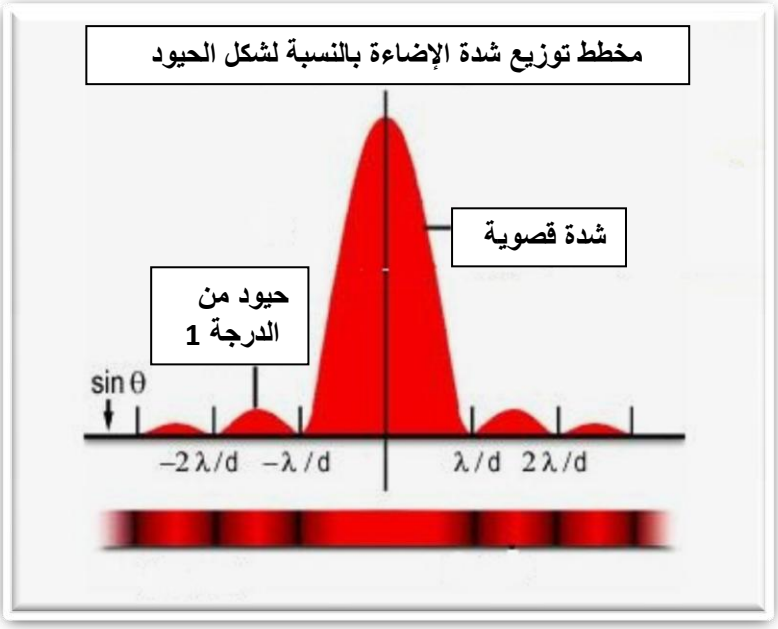
1 - 2) حيود الضوء : البرهان التجريبي على أن للضوء طبيعة موجية .
خلال دراسة الموجات الميكانيكية المتوالية تطرقنا إلى ظاهرة الحيود ، مثلا يمكن ملاحظة ذلك بالنسبة للماء .

لننجز تجربة مماثلة على ضوء جهاز الازر .



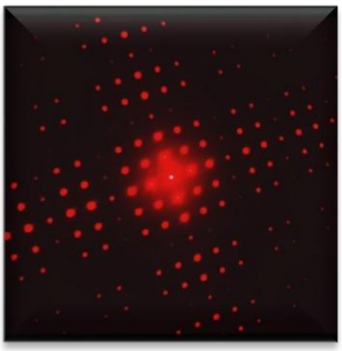
نلاحظ بقعة ضوئية مركزية ، ممددة في اتجاه عمودي على الفتحة . من كلا جانبي هذه البقعة وبالتماثل ، نلاحظ بقع أخرى، أقل إضائة و أقل عرضا . تتخلخل هذ البقع الصغيرة مناطق مظلمة .
نحصل على نفس شكل الحيود عندما نعوض الفتحة بخيط معتم له نفس القطر (خيط رفيع) .



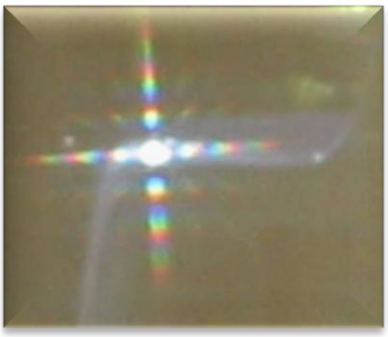


يمكن إعادة التجربة باستعمال أشكال أخرى من الحواجز : ثقب ، نسيج (خيوط مركبة من نوع الترغال) .

شكل الحيود الملاحظ على الشاشة باستعمال ثقب : البقعة الضوئية المركزية دائرية عرضها أكبر من الحزمة الواردة ، محاطة ببعض الحلقات الأقل إضاءة



شكل الحيود الملاحظ على الشاشة باستعمال ثوب ترغال



شكل الحيود الملاحظ على الشاشة باسعمال الثوب و حزمة من الضوء الأبيض : ظهور تقزح لوني حيث إضافة إلى ظاهرة الحيود هناك ظاهرة التبدد

هذه التجارب تبيِّن أن الضوء يخضع لظاهرة الحيود عندما يصادف فتحة (أو حاجز) ذات أبعاد جد صغيرة (تقارب طول الموجة).
ظاهرة الحيود تكون أكثر بروزا كلما صغر بعد الفتحة (أو الحاجز) .
عند حدوث ظاهرة الحيود تنتشراتجاهات الموجة بدون تغير في التردد أو السرعة . ظاهرة الحيود تؤكد أن للضوء طبيعة موجية .
الأشعة الضوئية في هذا النموذج تمثل اتجاهات انتشار الضوء .
الموجة الضوئية تنتشر في الفراغ لذا فهي ليست بموجة ميكانيكية و إنما نقول بأنها موجة كهرمغنطيسية .

2) مميزات الموجات الضوئية .

2 - 1) اللون ، التردد و طول الموجة في الفراغ .

الموجات الضوئية موجات كهرمغنطيسية تنتشر في الفراغ و في الأوساط الشفافة . تحتفظ الموجة الضوئية بنفس اللون و التردد في جميع الأوساط الشفافة .

ينتشر الضوء في الفراغ بسرعة جد مرتفعة :

$$c = 299\ 792\ 458\ m.s^{-1} \approx 3{,}00.10^{8}\ m.s^{-1}$$

في النموذج الموجي للضوء ، نقرن بكل ضوء أحادي اللون موجة جيبية تسمى إشعاع كهرمغنطيسي ، تردده محدد نرمز له ب ν ننطقه **nu** . غالبا الفيزيائيين يفضلون استعمال طول الموجة في الفراغ λ_0 :

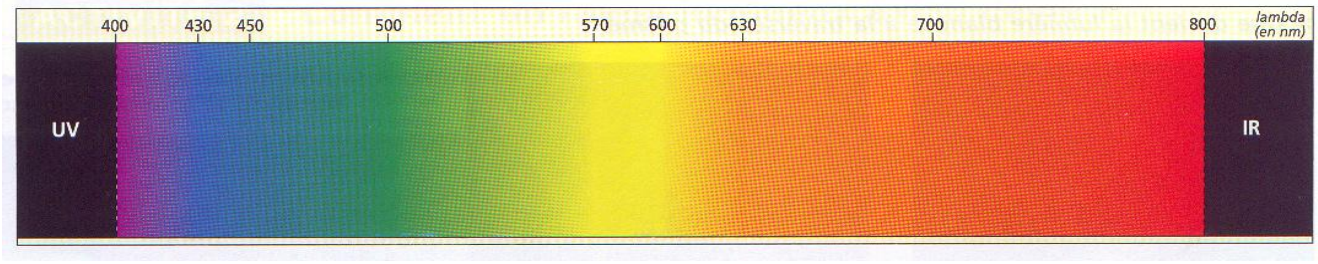
$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$$

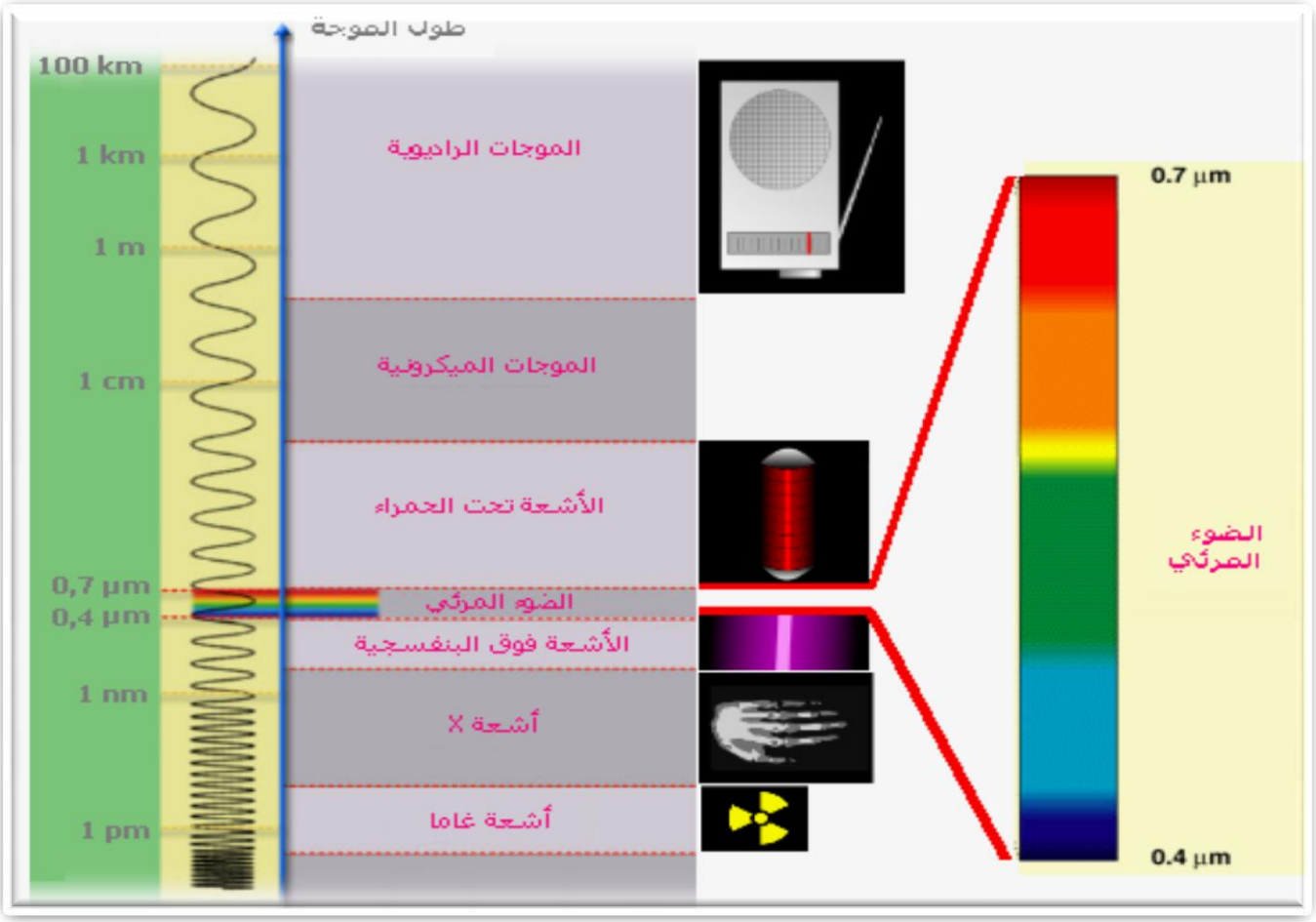
حيث λ_0 بوحدة المتر **(m)** إذا كانت **c** معبر عنها ب $(m.s^{-1})$ و ν بالهرتز **(Hz)** .

نعرف ضوءا أحادي اللون إما بتردده ν أو بطول موجته في الفراغ λ_0 للإشعاع المقرون به . في هذا الإطار نعرف ضوءا متعدد الألوان بكونه تراكب لعدة موجات ضوئية أحادية اللون .

أطوال الموجة في الفراغ لإشعاعات الطيف المرئي محصورة تقريبا بين **400nm** (الإشعاع البنفسجي) و **800nm** (الإشعاع الأحمر) .

توجد هناك إشعاعات ضوئية غير مرئية كالأشعة تحت الحمراء **(IR)** : $\lambda_0 > 800nm$ و الأشعة فوق البنفسجية **(UV)** : $\lambda_0 < 400nm$.



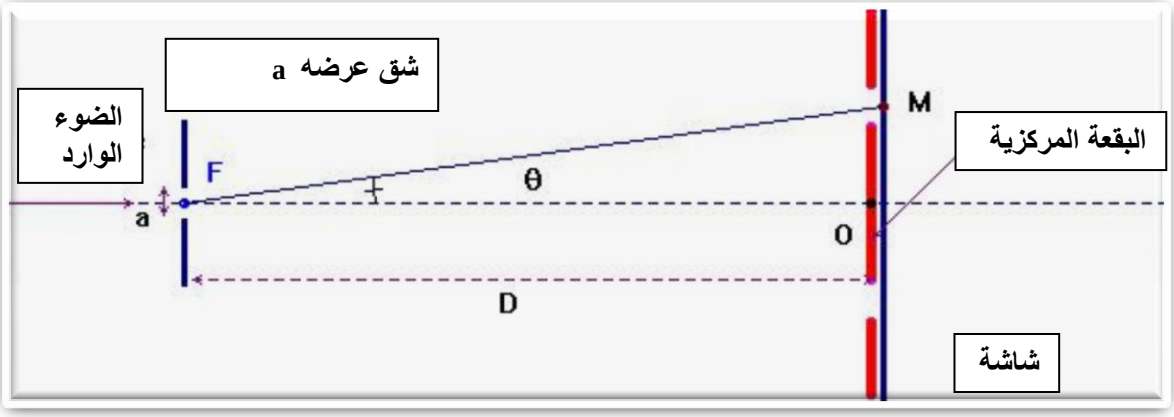


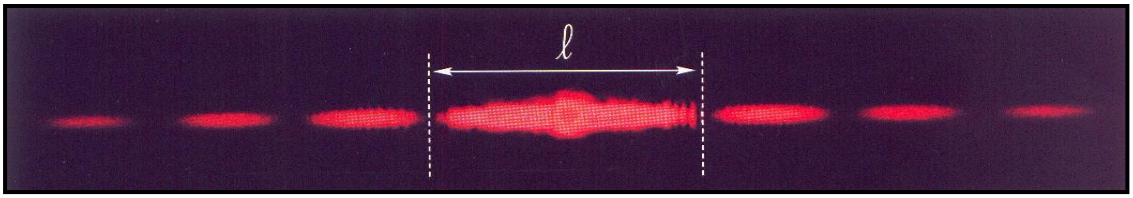
2 - 2) طول الموجة و الحيود عبر شق .

في حالة شق عرضه **a** (أو خيط رفيع عرضه **a**) ، امتداد شكل الحيود له اتجاه عمودي على الشق (أو الخيط الرفيع) .

الفرق الزاوي θ بين الاتجاهين المارين على التوالي من مركز البقعة الضوئية المركزية و أول منطقة مظلمة يحقق العلاقة :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$ حيث λ و **a** لهما نفس الوحد و θ معبر عنها ب **rad**





لنعتبر **D** المسافة الفصلة بين الشق و الشاشة و ℓ عرض البقعة المركزية . بما أن **D** أكبر بكثير من ℓ فإن θ زاوية صغيرة .

نكتب اذن :

$$\theta = \tan\theta = \frac{\ell}{2D}$$

*** ملحوظة :**

حيود الموجات الضوئية تحدث بجلاء رغم أن عرض الشق يكون أكبر من طول الموجة .

3) انتشار الضوء في الأوساط الشفافة .

3 - 1) التردد و تغير الوسط .

لون إشعاع ضوئي ـ كالتردد الذي يميزه ـ لا يتعلق بوسط الإنتشار حيث لا يتغير بتغير الوسط الشفاف .

✓ **انتباه :**

طول الموجة يتغير بتغير الوسط و بذلك لا يميز لون الإشعاع ! إنه طول الموجة في الفراغ هو الذي يميز اللون .

3 - 2) معامل الإنكسار .

السرعة **v** لموجة ميزة جوهرية للوسط الذي تنتشرفيه . في وسط شفاف ذي معامل انكسار **n** تعطى سرعة انتشار الضوء بالعلاقة :

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

c سرعة انتشار الضوء في الفراغ $(m.s^{-1})$

n معامل انكسار وسط الانتشار (دون وحدة)

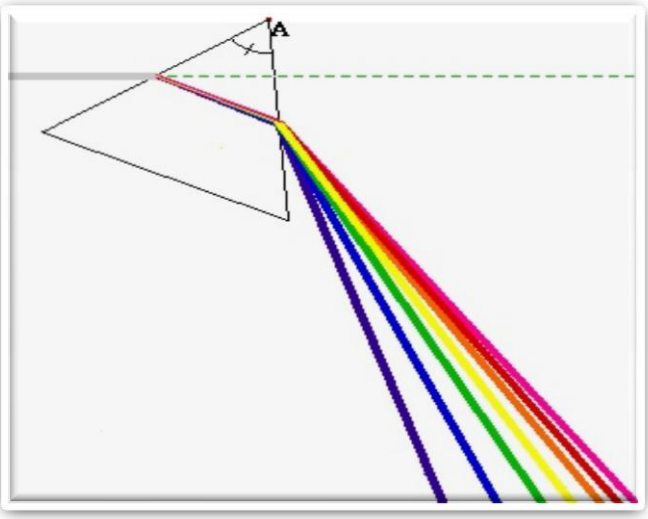
v سرعة انتشار الضوء في الوسط $(m.s^{-1})$

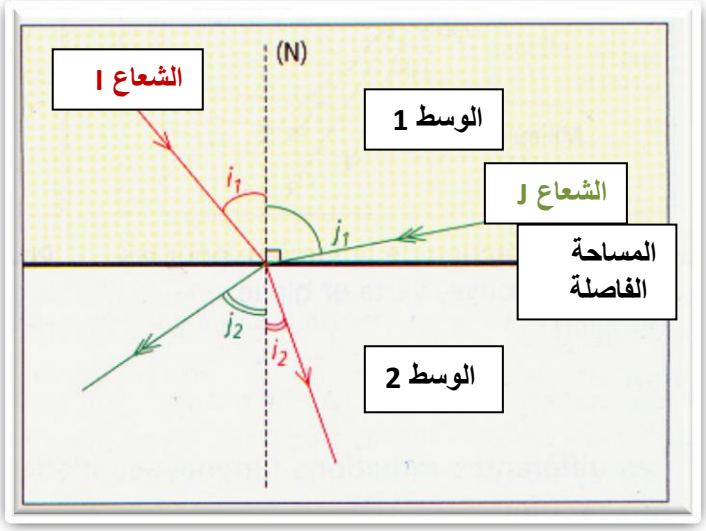
n معامل الإنكسار عدد بدون وحدة ، دائما أكبر من 1 (سرعة الضوء في الفراغ حسب مسلمة النسبية لإنشتاين ، حد قصوي لا يمكن تجاوزه . مثلا : بالنسبة للهواء ، نعتبر بصفة عامة أن $n_{air} \approx 1$. بالنسبة للماء ، $n_{eau} = 1,33$.

3 - 3) تبذذ الضوء .

في النموذج الموجي للضوء ، تحلل الضوء بواسطة موشور يفسر بالشكل التالي :

بصة عامة الأوساط الشفافة أوساط مبددة : السرعة v لإشعاع يتعلق بتردده ، و نفس الشيء بالنسبة لمعامل انكسار الوسط . كل إشعاع اذن ينحرف بشكل مختلف .





عندما يمر الضوء من وسط إلى آخر ينحرف عن مسيره : إنها ظاهرة الإنكسار .

يوجد الشعاع المنكسر في المستوى الذي يكونه الشعاع الوارد و المنظم على السطح الفاصل بين الوسطين (القانون الأول لديكارت) .

تحقق زاوية الورود i_1 و زاوية الإنكسار i_2 العلاقة :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

(القانون الثاني لديكارت)

يكون النحراف أكبر كلما كان طول موجة الشعاع الأحادي اللون صغيرا . تسمح هذه الخاصية بتفسير لماذا يفرق الموشور مختلف الإشعاعات الأحادية اللون .

أغلب الأوساط الشفافة (باستثناء الفراغ و الهواء) أوساط مبددة : **لها معامل انكسار يتعلق بتردد الموجة .**

مثلا :

$n(violet) = 1,528 \neq n(rouge) = 1,511$ **بالنسبة لزجاج البلغسيغلاس**

هذا يفسر لماذا ينحرف البنفسجي أكثر من الأحمر

*** ملحوظة :**

يمكن نمذجة تعلق معامل الانكسار بطول الموجة في الفراغ بعلاقة كوشي (Cauchy)

$$n(\lambda) = n_0 + \frac{B}{\lambda^2}$$

حيث n_0 و B معاملات بدلالة طبيعة الوسط