

الموجات الضوئية



1 (هل الضوء موجة ؟

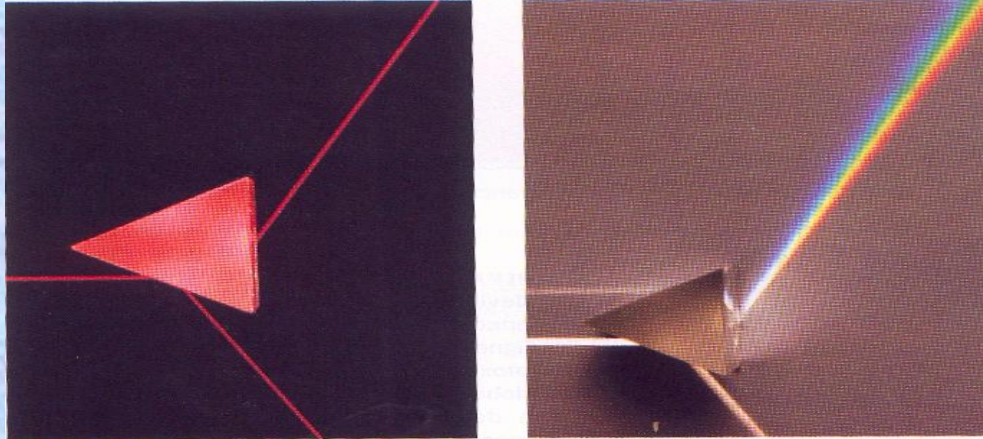
هل للضوء طبيعة موجية ؟ هل هو مجموعة من الدقائق المادية تنتشر في اتجاه مستقيمي ؟
مجموعة من النتائج التجريبية تؤكد أن الفرضية الأولى صحيحة (كريمالدي Grimaldi (1665) ، ثم بعد ذلك يونك و فريزل
Young et Fresnel في بداية القرن التاسع عشر) و قد برهنوا على أن الضوء له طبيعة موجية .

* التسلسل الزمني :

- 600 - فيثاغور افترض أن الضوء منبعث من العين .
- 1000 - ابن الهيثم اقترح أن الضوء شيء يصدر من الجسم
- 1625 - سنيل (Snell) أعطى قوانين الانعكاس 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 فريزل نظرية رياضية للحيود و التداخل
- 1840 - 1860 ظهور الكهرومغناطيسية مع فردي و ماكسويل (Faraday et Maxwell)
- 1900 - بفضل اينشتاين خصوصا تطور الميكانيك الكوانتية (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 .



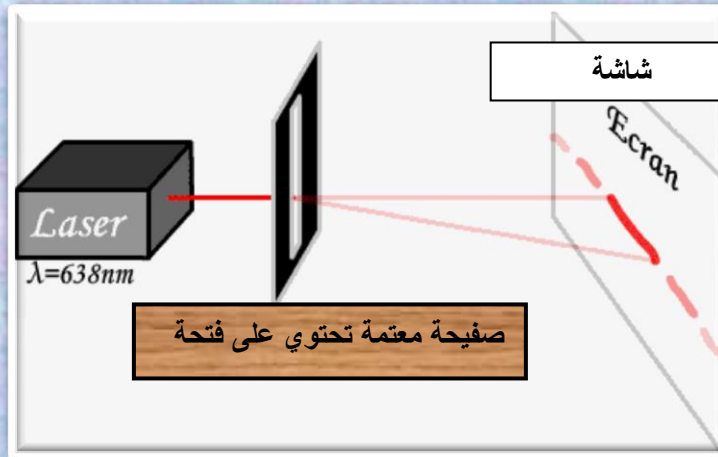
حزمة ضوئية دقيقة منبعثة من جهاز الازر تتحرف عن اتجاهها البدئي عندما تجتاز الموشور ، دون أن تغير لونها : إنها ظاهرة انكسار الضوء .

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 .

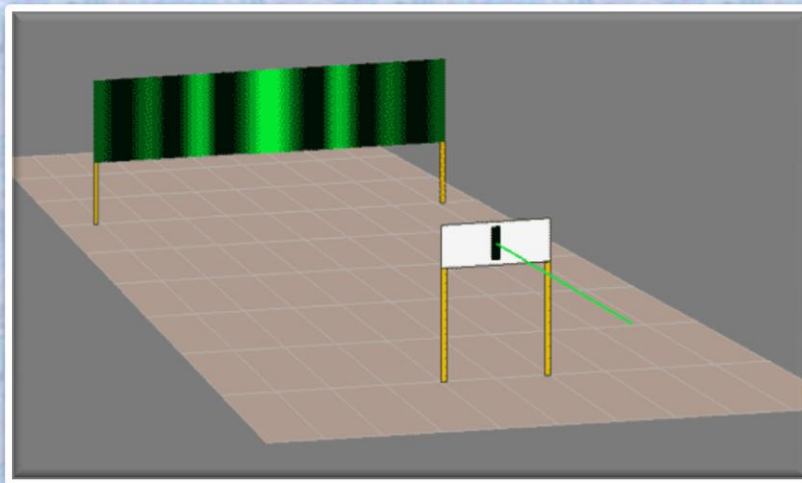
1 - 2) حيود الضوء : البرهان التجريبي على أن للضوء طبيعة موجية .
خلال دراسة الموجات الميكانيكية المتوالية تطرقنا إلى ظاهرة الحيود ، مثلا يمكن ملاحظة ذلك بالنسبة للماء .

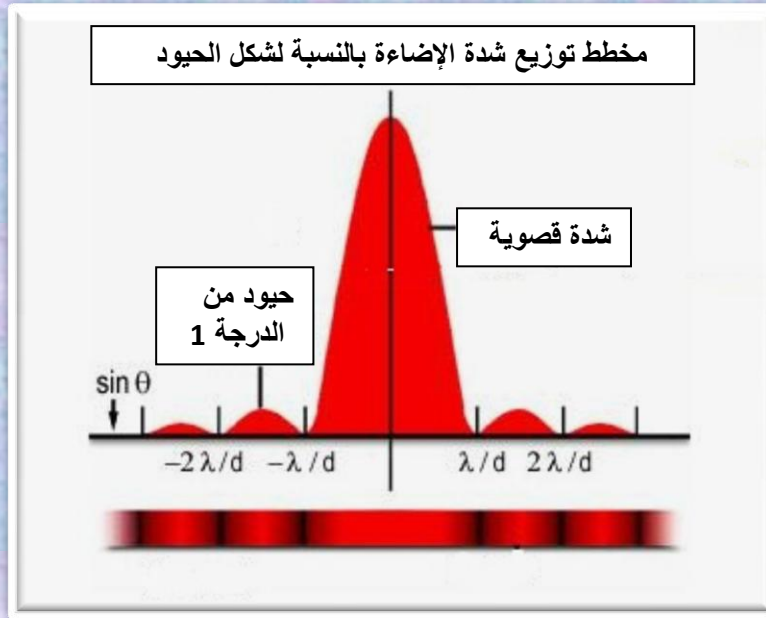


لننجز تجربة مماثلة على ضوء جهاز الازر .



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

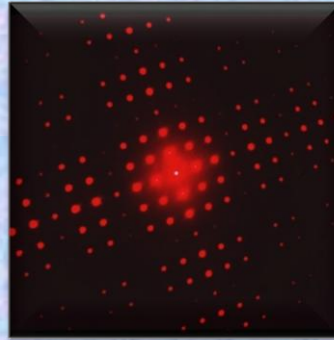




يمكن إعادة التجربة باستعمال أشكال أخرى من الحواجز : ثقب ، نسيج (خيوط مركبة من نوع الترغال) .



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



شكل الحيود الملاحظ على الشاشة باستعمال ثوب ترغال



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

هذه التجارب تبيّن 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 تنتشر اتجاهات 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 كهرومغناطيسية .

2) مميزات الموجات الضوئية .

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

الموجات الضوئية موجات كهرومغناطيسية 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 :

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

في النموذج الموجي للضوء ، نقرن بكل ضوء أحادي اللون موجة جيئية تسمى إشعاع كهرومغناطيسي ، تردده محدد نرمز له ب ν ننطقه

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu} \quad : \quad \lambda_0 \text{ : طول الموجة في الفراغ}$$

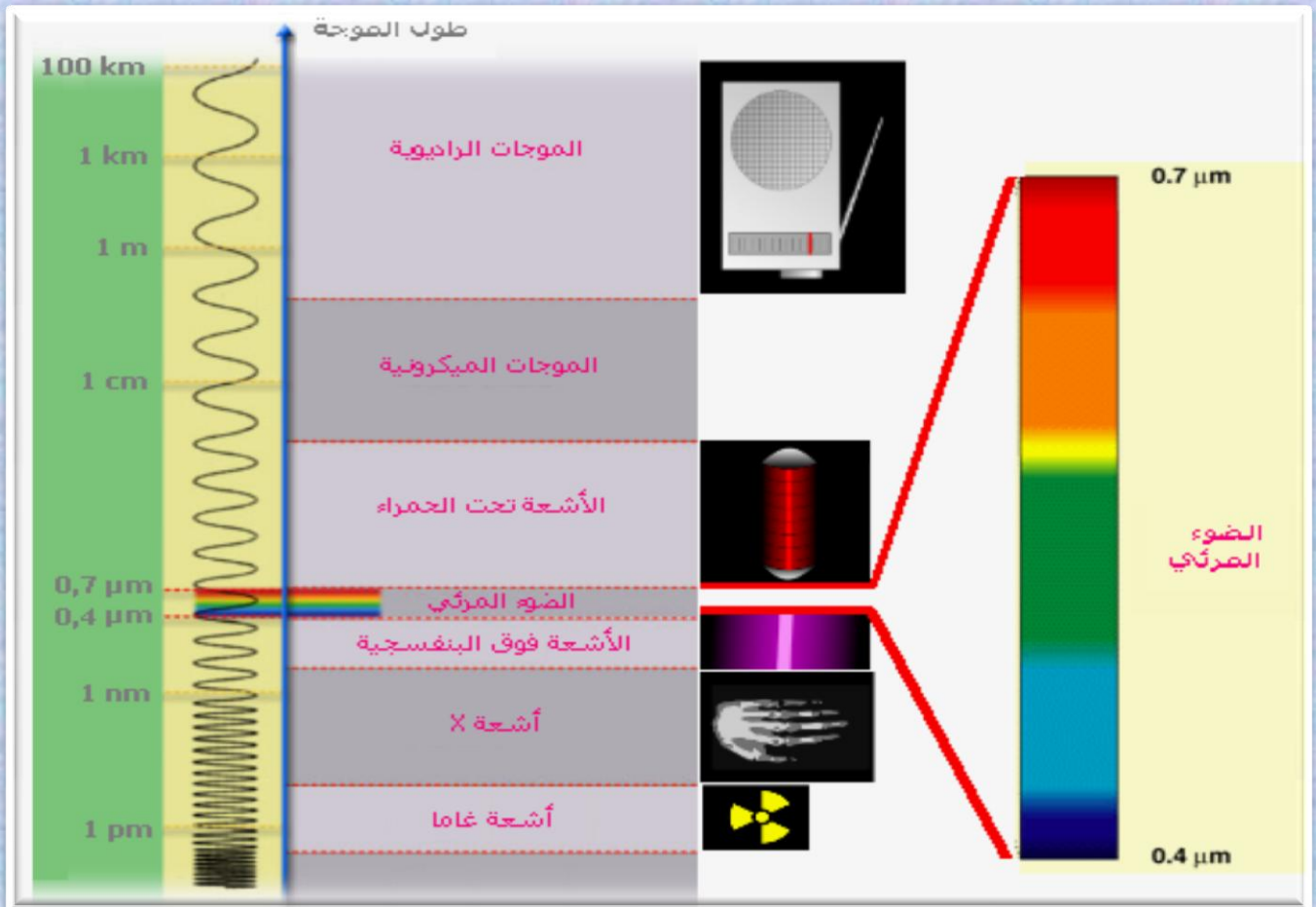
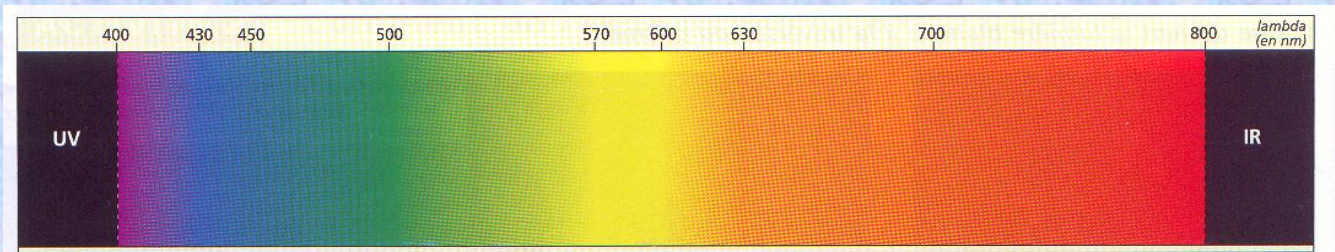
حيث λ_0 بوحدة المتر (m) إذا كانت c معبر عنها ب (m.s⁻¹) و ν بالهرتز (Hz) .

نعرف ضوءاً أحادي اللون إما بتردده ν أو بطول موجته في الفراغ λ_0 للإشعاع المقرون به . في هذا الإطار نعرف ضوءاً متعدد الألوان بكونه تراكم 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) : $\lambda_0 > 800\text{nm}$ و الأشعة فوق البنفسجية (UV) :

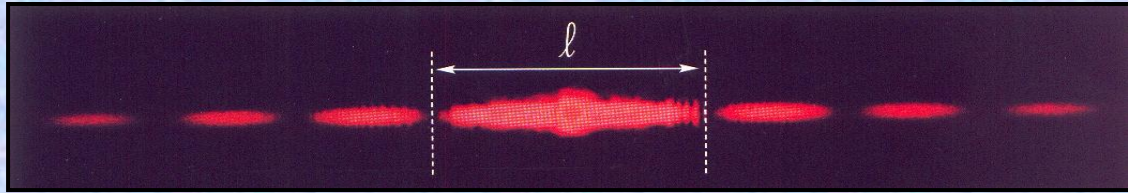
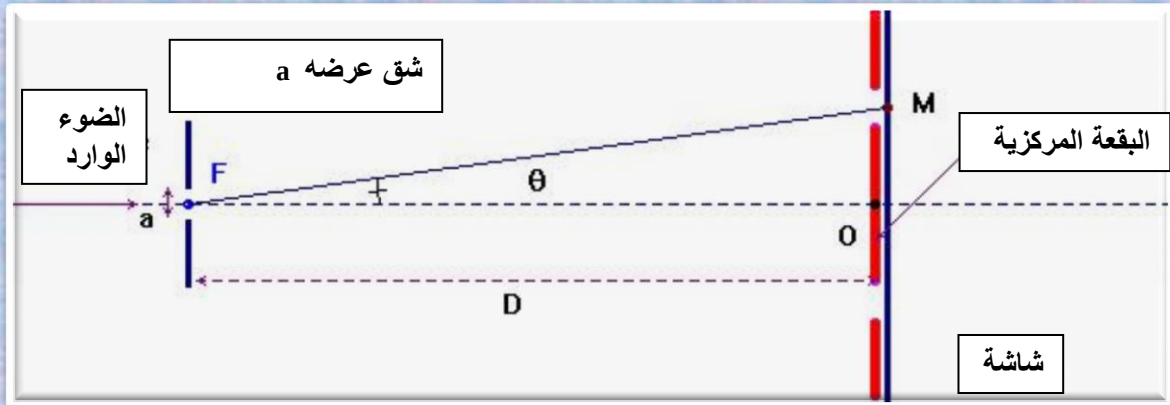
$$\lambda_0 < 400\text{nm}$$



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 :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \quad \text{حيث } \lambda \text{ و } a \text{ لهما نفس الـوحـد و } \theta \text{ معبر عنها بـ rad}$$

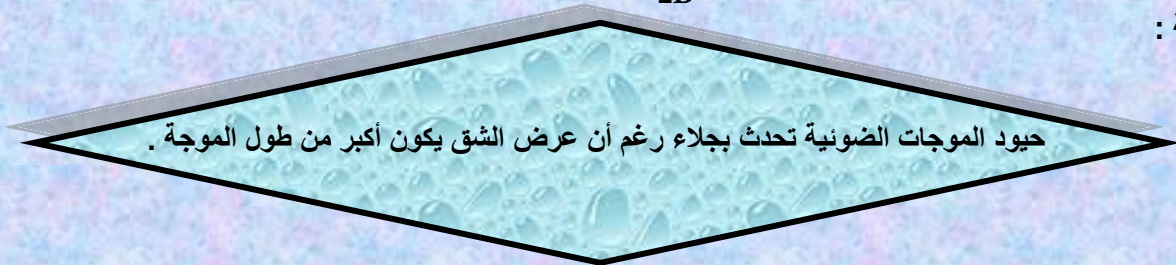


لنعتبر D المسافة الفصلة بين الشق و الشاشة و l عرض البقعة المركزية . بما أن D أكبر بكثير من l فإن θ زاوية صغيرة .

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

نكتب إذن :

* ملحوظة :



3) انتشار الضوء في الأوساط الشفافة .

3-1) التردد و تغير الوسط .

لون إشعاع ضوئي - كالتردد الذي يميزه - لا يتعلق بوسط الانتشار 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 الانكسار .

السرعة v لموجة مية جوهريّة للوسط الذي تنتشر فيه . في وسط شفاف ذي معامل انكسار n تعطى سرعة انتشار الضوء بالعلاقة :

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

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

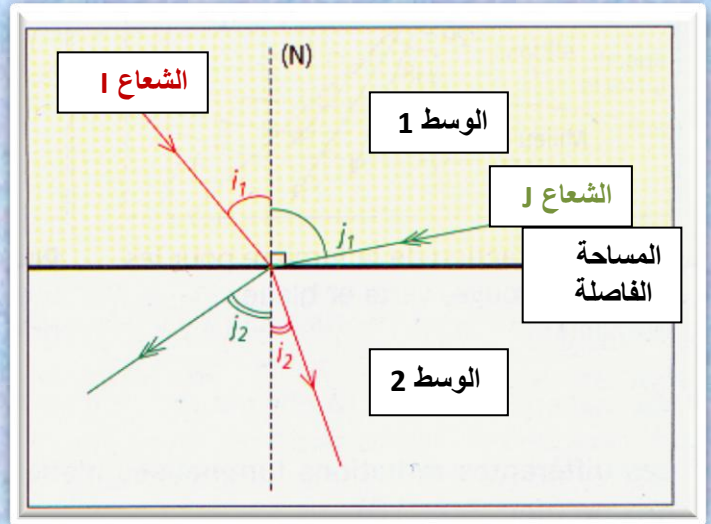
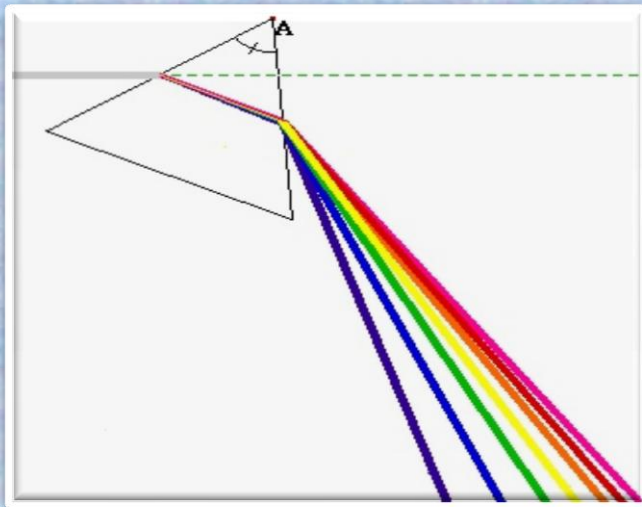
n معامل انكسار وسط الانتشار (دون وحدة)

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

n معامل الانكسار 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 (تَبْذُّدُ الضَّوِّءِ)

في النموذج الموجي للضوء ، تحليل الضوء بواسطة موشور يفسر بالشكل التالي :
بصفة 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 الانحراف 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 :

$$n(\text{violet}) = 1,528 \neq n(\text{rouge}) = 1,511$$

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