الأستاذ أيوب مرضي	مـــــــادة الـــــفـــــيـــــزيـــــاء	6 صفحات
مستوى الثانية بكالوريا علوم تجريبية	الـجـــزء الأول: الـــــمـــــوجـــــات	
شعبة : علوم الحياة و الأرض – العلوم الفيزيائية	مدة الإنجاز (درس+تمارين): 4 س + 2 س	

الدرس الثالث

انـتـشـار مـوجـة ضـوئـيـة

Propagation d'une onde lumineuse

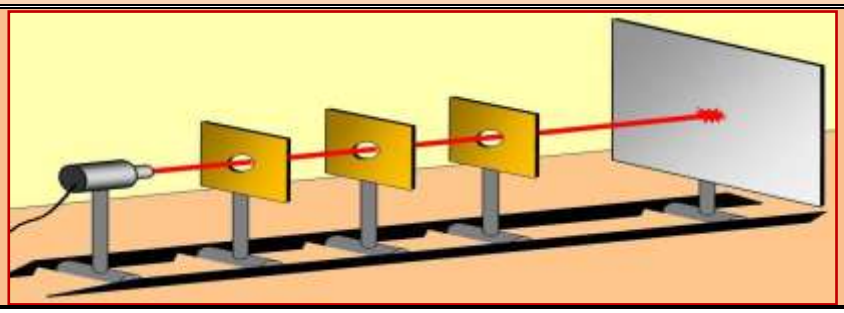
I. الطبيعة الموجية للضوء.

1. حيود الضوء:

أ. نشاط تجريبي 1:

التجربة الأولى

نضيء مجموعة من الحواجز بها ثقوب موضوعة على استقامة واحدة، بحزمة ضوئية منبعثة من جهاز لازر، كما يوضح الشكل أسفله.



1) ماذا تلاحظ؟

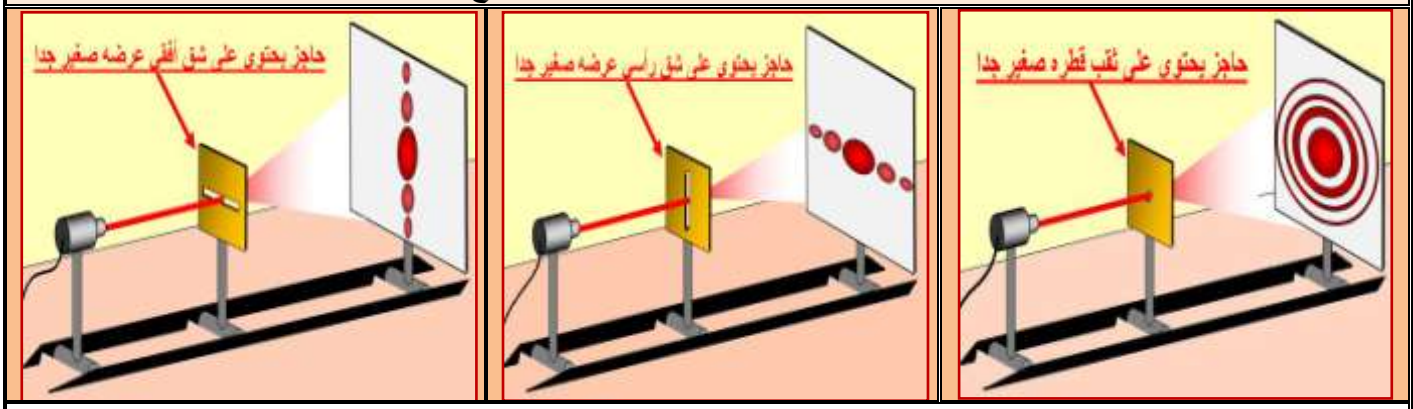
نشاهد ظهور بقعة ضوئية واحدة بعد أن اجتاز الشعاع الضوئي جميع الثقوب الموجودة على استقامة واحدة.

2) بماذا تفسر ذلك؟

يفسر هذا بمبدأ الانتشار المستقيمي للضوء.

التجربة الثانية

نضيء مجموعة من الحواجز تحتوي على فتحات مختلفة و صغيرة جدا، بحزمة ضوئية منبعثة من جهاز لازر، كما هو مبين أسفله، فنحصل على شاشة تبعد على الفتحة بمسافة محددة، على بقع ضوئية مختلفة.



3) ماذا تلاحظ؟

نلاحظ أن هناك تغير في اتجاه الأشعة الضوئية، بحيث يمكنها الوصول إلى أماكن توجد خلف الحاجز، مكونة بقع ذات إضاءة قصوى (أهداب لامعة) تفصل بينها بقع مظلمة (أهداب مظلمة).

4) هل تحقق ما تم التوصل إليه في السؤال 2 ؟

نلاحظ أن مبدأ الانتشار المستقيمي للضوء لم يتحقق.

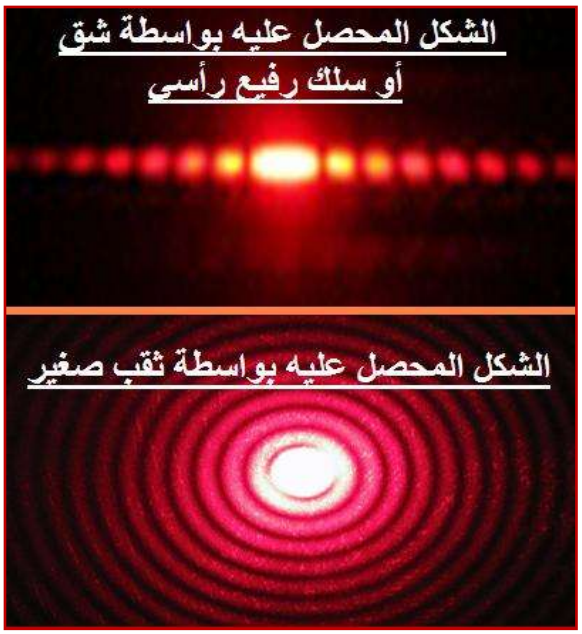
5) بالمماثلة مع الموجات الميكانيكية، أعط اسم الظاهرة، ثم استنتج طبيعة الضوء.

بالمماثلة مع الموجات الميكانيكية تسمى هذه الظاهرة بظاهرة حيود الضوء، و منه يمكن أن نستنتج أن الضوء عبارة عن موجة.

ب. خلاصة:

كما هو الشأن بالنسبة لحيود موجة ميكانيكية على سطح الماء في حوض الموجات، يتم حيود الضوء بواسطة حواجز بها فتحات مختلفة الشكل و صغيرة القد، جعلت الضوء يصل إلى أماكن توجد وراءها، بحيث تتصرف هذه الأخيرة كمنابع ضوئية وهمية، مما سميت هذه الظاهرة **بظاهرة حيود الضوء** ، و إثبات فرضية أن **للضوء طبيعة موجية** أي أنه عبارة عن موجة متوالية.

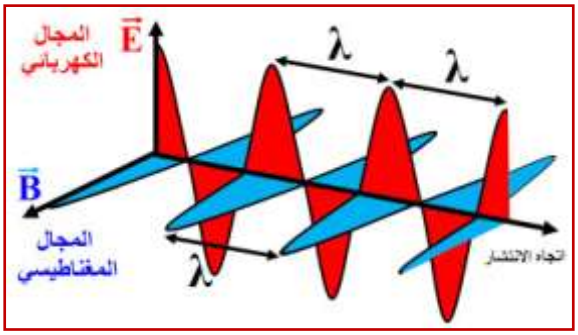
كما يمكن مشاهدة هذه الظاهرة سواء عندما نسلط الضوء على شق أو سلك، حيث نحصل على بقع ضوئية ممتدة ومتعامدة مع وضع الشق أو السلك الرفيع، تتخللها بقع مظلمة و تتناقص شدة إضاءتها كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي (البقعة المركزية). أو كذلك عندما نسلط الضوء على ثقب صغير جدا حيث نشاهد بقعة مركزية تحيط بها على التوالي حلقات مظلمة و أخرى مضيئة.



2. النموذج الموجي للضوء:

توصل مجموعة من العلماء إلى فرضية أن الضوء موجة مستعرضة، و أن التشوه الحاصل الذي ينتشر عبارة عن مجال كهربائي مرفق بمجال مغنطيسي، مما سميت الموجة الضوئية **بموجة كهرمغنطيسية**.

بما أن الضوء عبارة عن موجة، إذن فلهذه الموجة دورية مزدوجة.

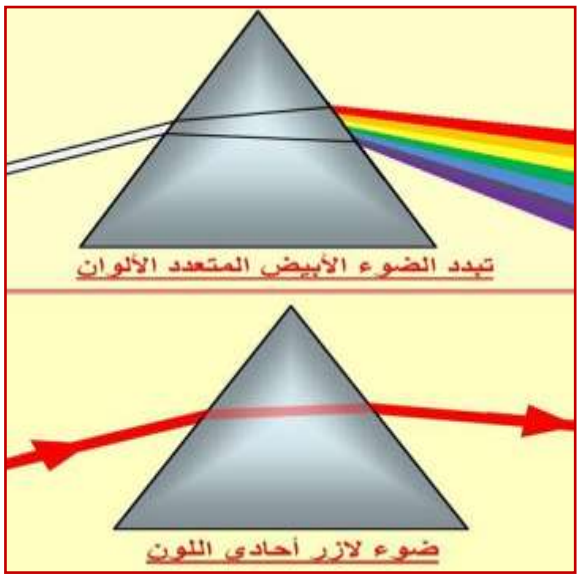


II. خصائص الموجة الضوئية.

1. الموجة الضوئية الأحادية اللون:

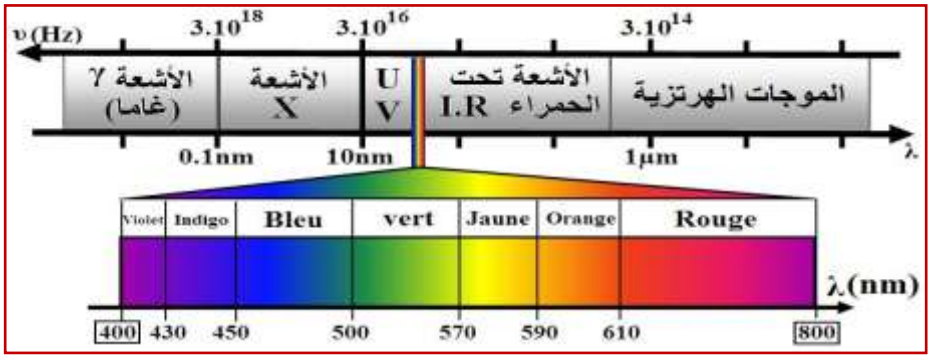
نسمي ضوء أحادي اللون كل ضوء **لا يتبدد** بعد اجتيازه لموشور(أنظر جانبه)، و نقرن كل ضوء أحادي اللون بموجة ضوئية أحادية اللون، و هي موجة متوالية جيبية، تتميز بما يلي:

- **الدورية الزمانية:** تتميز بالدور T أو بالتردد ، واللذي يفرضه المنبع و لا يتعلق بوسط الانتشار، حيث $\upsilon = \frac{1}{T}$.
- **الدورية المكانية:** تتميز بطول الموجة λ و هي تتعلق بوسط الانتشار.
- **سرعة الانتشار v:** تتعلق بوسط الانتشار.



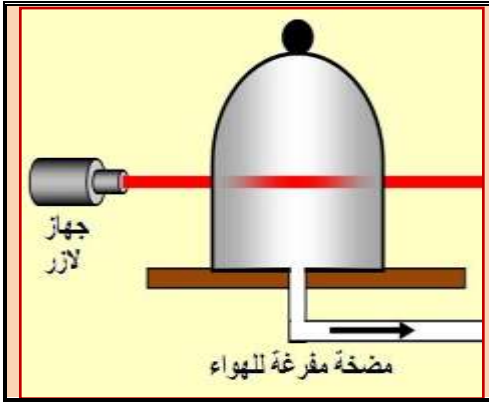
2. المجال المرئي للموجات الضوئية:

إن عين الإنسان حساسة للموجات الضوئية ذات الطيف المرئي الذي يتدرج من البنفسجي إلى الأحمر و التي تنتمي إلى المجال المحصور بين **400nm** و **800nm** و الذي تحده **الأشعة فوق البنفسجية (U.V)** و**الأشعة تحت الحمراء (I.R)**.



3. وسط انتشار الضوء:

أ. نشاط تجريبي 2:



نضيء إناءا زجاجي على شكل ناقوس مفرغ من الهواء بواسطة ضوء لازر أحمر اللون.

1) ماذا تلاحظ ؟
نلاحظ أن ضوء اللازر قد عبر الإناء الزجاجي الشفاف من الداخل.
أي أن الضوء قد انتشر في الفراغ.

2) ماذا تستنتج ؟
نستنتج أن الضوء موجة تنتشر في أوساط شفافة مادية و غير مادية.

ب. خلاصة:

الضوء عبارة عن موجة كهرمغنطيسية تنتشر في جميع الأوساط الشفافة سواء كانت مادية أو غير مادية، و ذلك بسرعات انتشار مختلفة.

♦ **سرعة انتشار الضوء في الفراغ:**

تنتشر الموجات الضوئية في الفراغ بسرعة انتشار ثابتة عالميا، حيث بينت القياسات الدقيقة أنها تساوي c=299792458m/s و لكن غالبا ما تؤخذ القيمة التقريبية $c = 3.10^8$ m/s.

كما بين العالم أينشتاين EINSTEIN أن سرعة الأجسام المادية لا يمكنها أن تتعدى سرعة الضوء في الفراغ.

و تعرف سرعة موجة ضوئية في الفراغ، **طول موجتها** λ_0(m)، و **ترددها** υ(Hz)، بالعلاقة التالية:

$$c = \lambda_0 . \upsilon$$

♦ **سرعة انتشار الضوء في وسط مادي شفاف:**

تنتشر الموجة الضوئية في وسط مادي شفاف بسرعة v أقل قيمة من سرعته في الفراغ c أي أن : $v < c$.

و تعرف سرعة موجة ضوئية في وسط مادي شفاف ، **طول موجتها في هذا الوسط** λ(m)، و **ترددها** υ(Hz)، بالعلاقة التالية:

$$v = \lambda . \upsilon$$

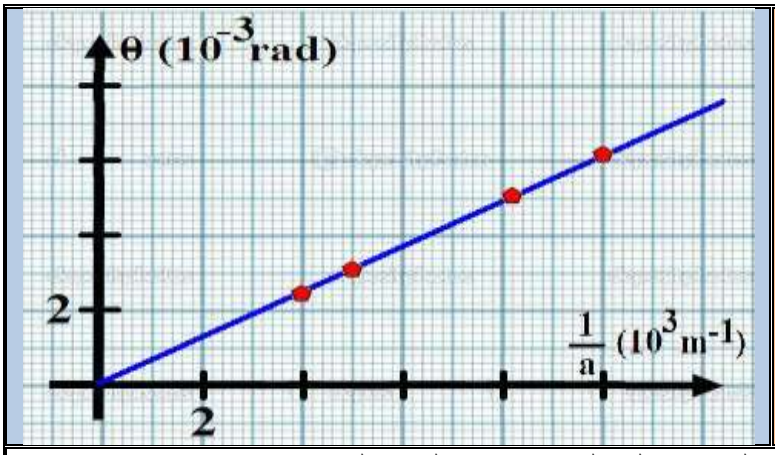
III. دراسة حيود موجة ضوئية أحادية اللون.

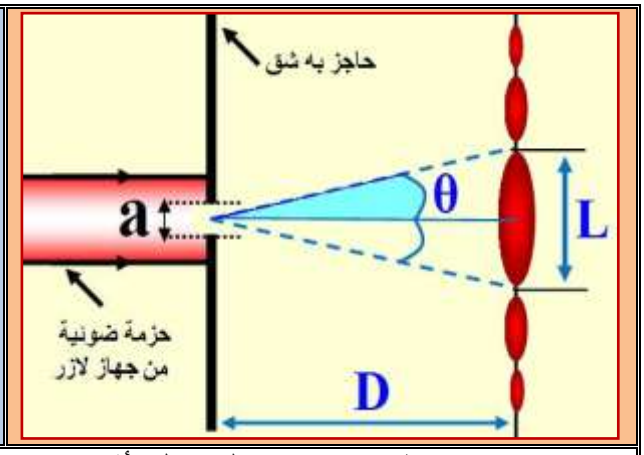
1. نشاط تجريبي 3:

نحتفظ بنفس التركيب التجريبي السابق (**النشاط التجريبي 1 – التجربة 2**) مع استعمال جهاز لازر طول موجته في الهواء تقريبا λ= 610 nm، و حاجز ذو شق عرضه a قابل للضبط يبعد عن شاشة بالمسافة D=1.5m. (أنظر الشكل)

نغير العرض a للشق، نقيس بالنسبة لكل قيمة لـ a عرض البقعة المركزية L، و ندون النتائج المحصل عليها في الجدول أسفله. مع θ الزاوية السماة بالفرق الزاوي بين وسط البقعة المركزية و أول بقعة مظلمة.

a (µm)	100	120	200	250
L (mm)	19	16	10	7,5
θ (rad)	$6,3.10^{-3}$	$5,3.10^{-3}$	$3,3.10^{-3}$	$2,5.10^{-3}$
	1.10^4	$8,3.10^3$	5.10^3	4.10^3





1) ماذا تلاحظ؟ و ما استنتاجك حول تأثير عرض الشق a على العرض L و الفرق الزاوي θ؟

نلاحظ أن تغيير عرض الشق يؤدي إلى تغير عرض البقعة المركزية. حيث كلما صغر عرض الشق كلما ازداد عرض البقعة المركزية و منه يمكن أن نستنتج أن هذا التغيير يؤثر على قيمة الفرق الزاوي.

2) باعتبار θ صغيرة جدا، أي $\tan\theta \approx \theta$، أثبت العلاقة بين كل من θ و L و D، و ذلك اعتمادا على الشكل أعلاه.

اعتمادا على الشكل أعلاه و بما أن θ صغيرة جدا، لدينا: $\tan\theta = \frac{\frac{L}{2}}{D} = \frac{L}{2D}$ و منه: $\theta = \frac{L}{2D}$

3) أتمم ملأ الجدول السابق. (أنظر أعلاه)

4) مثل منحنى تغيرات θ بدلالة 1/a. (أنظر أعلاه)

5) اعتمادا على تمثيلك للمنحنى، أعط تعبير الدالة θ=f(1/a). ماذا تستنتج؟

حسب المنحنى فهو عبارة عن دالة خطية (مستقيم) تكتب على الشكل : $\theta = k \times \frac{1}{a}$ حيث k المعامل الموجه للمستقيم بحيث: $k = \frac{\Delta\theta}{\Delta(\frac{1}{a})} = \frac{(5{,}3-3{,}3).10^{-3}}{(8{,}3-5).10^{3}} = 6{,}06.10^{-7}m = 606nm$ و منه نستنتج أن: $k = \lambda$.

و بالتالي يمكننا أن نكتب أن: $\theta = \frac{\lambda}{a}$

6) أوجد تعبير عرض البقعة المركزية L بدلالة a و λ و D.

نعلم أن: $\theta = \frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a} \Leftrightarrow$ و منه: $L = \frac{2D.\lambda}{a}$

7) استنتج العوامل المؤثرة على ظاهرة حيود الموجات الضوئية.

من خلال العلاقة المتوصل إليها في السؤال 6 نستنتج ما يلي:

أن عرض البقعة المركزية L يزداد كلما ازدادت المسافة D الفاصلة بين الحاجز و الشاشة.

أن عرض البقعة المركزية L يزداد كلما استعملنا منبع ضوئي ذو طول موجة أكبر.

أن عرض البقعة المركزية L يزداد كلما صغر عرض الشق a.

2. خلاصة:

♦ خلال حيود موجة ضوئية أحادية اللون طول موجتها λ بواسطة شق عرضه a يبعد عن شاشة بالمسافة D، يعبر عن الفرق الزاوي θ بين وسط البقعة المركزية و أول بقعة مظلمة، بالعلاقتين التاليتين:

$$\theta = \frac{L}{2D} \quad و \quad \theta = \frac{\lambda}{a}$$

♦ تكون ظاهرة الحيود أكثر أهمية كلما كان عرض الشق أصغر أو طول الموجة للضوء الأحادي اللون المستعمل أكبر، حيث يزداد عرض البقعة المركزية مما يزيد في قيمة الفرق الزاوي.

IV. تبدد الضوء.

1. معامل الانكسار لوسط شفاف:

إن كل شعاع ضوئي ينكسر عند مروره من وسط انتشار لآخر . مما يميز كل وسط انتشار عن غيره و ذلك **بمعامل الانكسار** الذي نرمز له بالرمز n و يعرف بالعلاقة التالية:

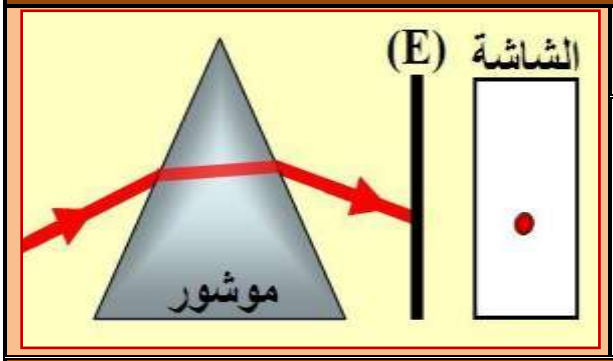
$$n = \frac{c}{v}$$

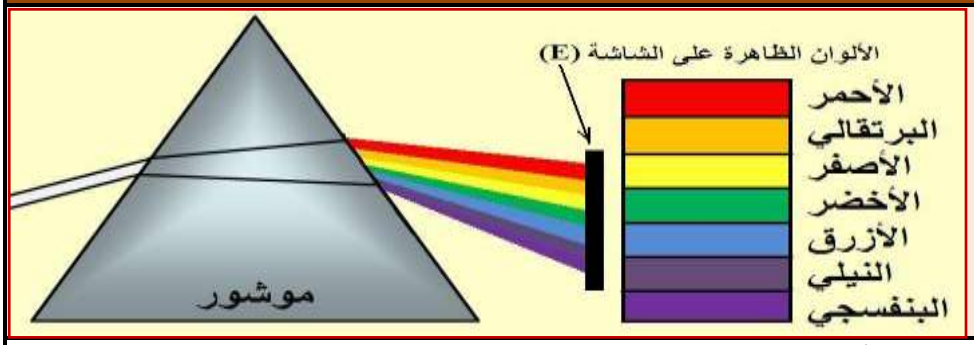
حيث c سرعة انتشار الموجة الضوئية في الفراغ بـ (m/s)، و v سرعة انتشارها في الوسط بـ (m/s).

ملاحظات:

- بما أن $v \leq c$ إذن فإن : $n \geq 1$.
- بما أن لـ c و v نفس الوحدة (m/s) فإن معامل الانكسار مقدار بدون وحدة.
- معامل انكسار الهواء يقارب 1 لأن سرعة الضوء في الهواء يقارب سرعته في الفراغ.
- يتعلق معامل انكسار وسط ما بتردد الموجة الضوئية التي تنتشر فيه، بحيث: $n = \frac{c}{v} = \frac{c}{\lambda.v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$ ، و منه إذا تم تغيير لون الضوء بالنسبة لنفس وسط الانتشار فإن معامل الانكسار يتغير.

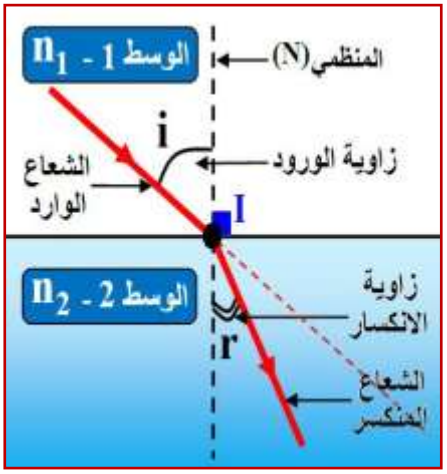
2. نشاط تجريبي 4:

التجربة الأولى	
ترد حزمة ضوئية أسطوانية و أحادية اللون منبعثة من جهاز لازر، على الوجه الأول لموشور، أنظر الشكل جانبه.	
(1) ماذا تلاحظ على الشاشة (E) بعد اجتياز الضوء للموشور؟ بعد اجتياز الحزمة الضوئية للموشور نلاحظ على الشاشة ظهور بقعة ضوئية دائرية الشكل. (2) ما الظاهرة التي حدثت للحزمة الضوئية على مستوى أوجه الموشور؟ تعرضت الحزمة الضوئية مرتين لظاهرة انكسار الضوء.	

التجربة الأولى	
نرسل حزمة من الضوء الأبيض على الوجه الأول لموشور، فنحصل على الشكل المبين جانبه.	
(3) ماذا سنلاحظ على الشاشة في غياب الموشور؟ سنلاحظ على الشاشة في غياب الموشور بقعة ضوئية بيضاء اللون. (4) ماذا تلاحظ على الشاشة بعد اجتياز الضوء الأبيض للموشور؟ ما الظاهرة التي يمكن إبرازها؟ نلاحظ على الشاشة بعد اجتياز الضوء الأبيض للموشور بقع ملونة كألوان قوس قزح، و كأن الضوء الأبيض قد انفصل إلى مجموعة من الألوان. تسمى الظاهرة التي تم إبرازها في هذه التجربة بظاهرة تبدد الضوء الأبيض. (5) حدد لون الضوء الأكثر انحرافا و الأقل انحرافا. الضوء الأكثر انحرافا هو الضوء البنفسجي و الأقل انحرافا هو الضوء الأحمر.	

3. خلاصة:

أ. قانون ديكارت للانكسار:



ينص **قانون ديكارت للانكسار** على أن الشعاع الضوئي يغير اتجاهه عند مروره من وسط انتشار لآخر. فاعتمادا على الرسم البياني جانبه، يرد شعاع ضوئي أحادي اللون في النقطة I، مكونا زاوية i بينه وبين المنظمي، تسمى **زاوية الورود** بالنسبة لوسط الانتشار الأول ذو معامل الانكسار n_1. بعدها يتعرض هذا الشعاع للانكسار في النقطة I ليكون مسارا ثانيا يحصر الزاوية r مع المنظمي في I، و المسماة **بزاوية الانكسار** بالنسبة لوسط الانتشار الثاني ذو معامل الانكسار n_2. ومنه العلاقة المعبرة عن قانون ديكارت للانكسار في النقطة I هي:

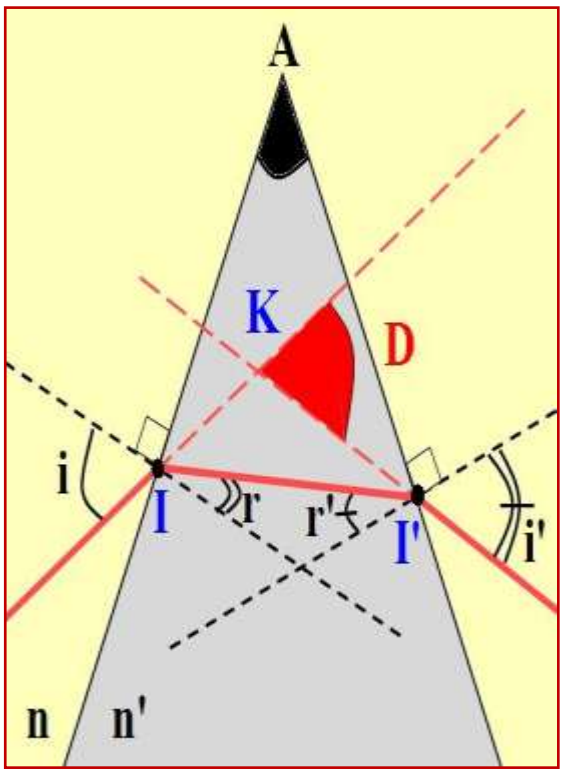
$$n_1.\sin(i) = n_2.\sin(r)$$

ب. العلاقات المميزة لموشور باستعمال ضوء أحادي اللون:

الموشور وسط شفاف و متجانس محدود بمستويين (وجهين) يتقاطعان حسب مستقيم يسمى **حرف الموشور** ، كما أنهما يحددان بينهما زاوية A تسمى **زاوية الموشور**.

نورد شعاعا ضوئيا على الموشور عند النقطة I مكونا بذلك زاوية **الورود i مع المنظمي N_1**، فينكسر عند هاته النقطة وفق زاوية **الانكسار r مع المنظمي N_1**. بعدها يرد على الوجه الثاني للموشور في النقطة I' وفق **زاوية ورود r' مع المنظمي N_2**، لينبثق مكونا **زاوية انكسار i' مع المنظمي N_2**. (أنظر الرسم البياني)

يكون اتجاه الشعاع البدئي مع اتجاه الشعاع المنبثق زاوية D تسمى **زاوية الانحراف D**. و ليكن n' معامل انكسار الوسط المكون للموشور و n معامل انكسار الوسط حيث يوجد الموشور.



- **يكتب قانون ديكارت عند النقطة I كما يلي:**

$$n.\sin(i) = n'.\sin(r)$$

- **يكتب قانون ديكارت عند النقطة I' كما يلي:**

$$n'.\sin(r') = n.\sin(i')$$

- **باعتبار المثلث (AII'):**

لدينا الزاوية: $I = 90 - r$ و لدينا الزاوية: $I' = 90 - r'$.
و نعلم أن مجموع زوايا المثلث هي 180 أي:
$A + (90 - r) + (90 - r') = 180$ و منه:

$$A = r + r'$$

- **باعتبار المثلث (KII'):**

لدينا الزاوية: $K = 180 - D$ و $I = \hat{i} - r$ و $I' = \hat{i}' - r'$
و بالمثل بالنسبة للمثلث (KII') فإن مجموع زواياه هو 180، أي: $(180 - D) + (\hat{i} - r) + (\hat{i}' - r) = 180$
يعني أن: $D = \hat{i} + \hat{i}' - (r + r')$ ومنه:

$$D = \hat{i} + \hat{i}' - A$$

ج. تبدد الضوء الأبيض:

بعد أن يرد الشعاع الأبيض على الوجه الأول للموشور، نلاحظ انه ينحرف، حيث يتعرض مرتين في آخر انبثاق له. **لظاهرة الانكسار**

كما أننا نلاحظ ظهور بقعة ضوئية ملونة مشابهة لألوان **قوس قزح (ألوان الطيف)** تسمى هذه البقعة الضوئية الملونة **بطيف الضوء الأبيض** ، حيث أن الضوء البنفسجي أكثر انحرافا من الضوء الأحمر أي:
$D_V > D_I > D_B > D_{Vr} > D_J > D_O > D_R$.

تسمى هذه الظاهرة التي مكنتنا من فصل الإشعاعات المختلفة الألوان المكونة للضوء الأبيض **بظاهرة تبدد الضوء الأبيض**. كما يسمى الموشور **وسطا مبددا للضوء**.

و بما أن كل ضوء يتميز بزاوية انحراف خاصة به فهذا يفسر بأن لكل ضوء معامل انكسار يميزه في الوسط الذي ينتشر فيه، و ذلك حسب العلاقة السابقة : $n = \frac{c}{v} = \frac{c}{\lambda.v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$.