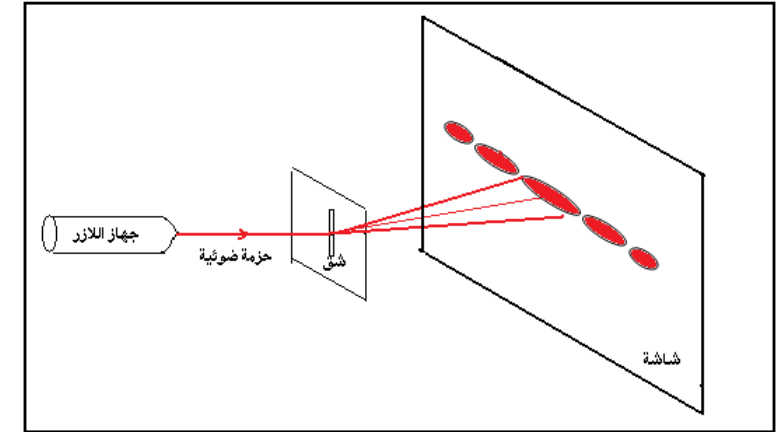


انتشار موجة ضوئية Propagation d'une onde lumineuse

I – الإبراز التجريبي لظاهرة حيود الضوء

1 – تجربة

نجز التركيب التجريبي جانبه حيث :
– الحزمة الضوئية المنبعثة من جهاز الليزر تقع في وسط الورق الميليمتري .
– نضع صفيحة بها شق عرضه a على مسافة $D=1,77m$ من الشاشة ، فنشاهد على هذه الأخيرة الشكل أ .



– نعوض الصفيحة بأخرى شقها عرضه $a/2$ فنحصل على الشكل ب
– نحتفظ بنفس المسافة $D=1,77m$ ونستعمل صفائح شقوقها مختلفة العرض a . نقيس بالنسبة لكل صفيحة العرض L للبقع المركزية المشاهدة على الشاشة .
ندون في جدول قيم كل من a و L . فنحصل على الجدول التالي :

$a(\mu m)$	380	250	110	90	70
------------	-----	-----	-----	----	----

L(mm)	5,5	8,5	20	25	30
-------	-----	-----	----	----	----

استثمار

1 – قارن الشكلين المحصلين مع ما تم الحصول عليه في ظاهرة حيود موجات على سطح الماء
ظاهرة حيود الموجات الميكانيكية تحدث عندما تصادف هذه الأخيرة حاجز به فتحة عرضها قريب من طول الموجة الميكانيكية .

نفس الشيء بالنسبة للضوء فعند وصوله إلى حاجز ذي فتحة عرضها صغير جدا يتغير اتجاه انتشار الأشعة الضوئية .

2 – ذكر بالمبدأ المستقيمي للضوء . هل يتحقق هذا المبدأ خلال هذه التجربة ؟

ينتشر الضوء في أوساط شفافة ومتجانسة وفق خطوط مستقيمة .

عند وصول الضوء إلى الحاجز ذي الفتحة يتغير اتجاه انتشاره وبالتالي فإن مبدأ انتشار الضوء لا يتحقق . لأن هذه الأشعة الضوئية يمكنها أن تصل إلى أماكن توجد وراء الحاجز . نقول أن الضوء خضع لظاهرة الحيود

عند حدوث هذه الظاهرة نحصل على عدة بقع ذات إضاءة قصوى وأخرى مظلمة بشكل متتابع ، وتقل شدة إضاءتها كلما ابتعدنا عن المركز ويتصرف هنا الشق كمنبع ضوئي وهمي .

3 – ماذا يمكن استخلاصه فيما يخص طبيعة الضوء ؟

مبدأ الانتشار المستقيمي للضوء لا يمكن من تفسير وصول الضوء لأماكن توجد وراء الحاجز وبالماتلة مع الموجات الميكانيكية نعتبر الضوء موجة .

خلاصة :

كما هو الشأن بالنسبة لحيود موجة ميكانيكية مستقيمة على سطح الماء في حوض الموجات ، يتم حيود الضوء ، بواسطة فتحات صغيرة : ثقب أو شق رأسي أو سجاج voilage أو بواسطة سلك رفيع سمكه صغير جدا و يمكن اعتبار الفتحات أو السلك كمنابع ضوئية وهمية ، الشيء الذي يثبت الفرضية التالية :

إن الضوء عبارة عن موجات متوالية . ويسمى هذا المظهر المظهر الموجي للضوء .

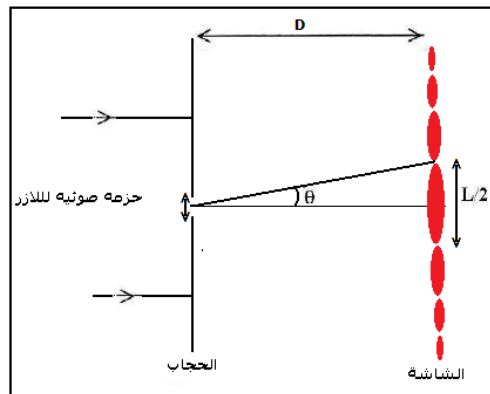
ولقد توصل العالم هويكنس Huygens إلى هذه الفرضية في منتصف القرن السابع عشر الميلادي وتم إثباتها تجريبيا في بداية القرن التاسع عشر الميلادي من طرف العالم يونغ Young

4 – تحديد طول الموجة لموجة صوتية منبعثة من جهاز الليزر .

– يرمز للفرق الزاوي بين وسط البقعة المركزية وأول بقعة مظلمة بالحرف θ .

4 – 1 بالنسبة لفرق زاوي صغير ، يمكن كتابة العلاقة $\tan\theta=\theta$ ، حيث يعبر عن θ بالرديان .

أثبت العلاقة : $\theta = \frac{L}{2D}$



نعبر عن الفرق الزاوي θ بالرديان بين وسط الهدب المركزي واول هدب مظلم

من خلال الشكل لدينا :

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{L}{2D}$$

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{L}{2D} \quad \text{باعتبار أن } \theta \text{ صغيرة جدا فإن}$$

4 - 2 مثل المنحنى الممثل لتغيرات θ بدلالة $1/a$

a(μm)	380	250	110	90	70
L(m)	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
1/a(m ⁻¹)	$2,6 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$
θ(rad)	$1,55 \cdot 10^{-3}$	$2,40 \cdot 10^{-3}$	$0,56 \cdot 10^{-2}$	$0,71 \cdot 10^{-2}$	$0,85 \cdot 10^{-2}$

التمثيل المبياني باختيار السلم التالي :

$$\text{بالنسبة ل } 1/a \text{ نختار : } 1 \text{cm} \leftrightarrow 0,5 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}$$

$$\text{بالنسبة ل } \theta \text{ نختار : } 1 \text{cm} \leftrightarrow 1 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

4 - 3 أستنتج العلاقة الرياضية بين θ و $(1/a)$. ما هو المدلول الفيزيائي للمعامل الموجة للمنحنى المحصل عليه ؟

$$\theta = k \cdot \frac{1}{a} \quad \text{و من خلال التحليل البعدي لهذه}$$

العلاقة يتبين أن الثابتة k تمثل طول الموجة لأن وحدتها في المعادلة هي المتر . وبالتالي فالعلاقة

$$\text{بين } \theta \text{ و } (1/a) \text{ هي : } \theta = \frac{\lambda}{a}$$

5 - ما تأثير عرض الشق a على العرض L للبقعة المركزية ؟

$$\text{من خلال العلاقتين } \theta = \frac{\lambda}{a} \text{ و } \theta = \frac{L}{2D} \text{ نستنتج}$$

$$\text{أن } a = \frac{2D\lambda}{L} \text{ وبالتالي فإن}$$

a و L يتناسبان عكسيا .

6 - ما تأثير طول موجة الضوء الأحادي اللون على العرض L للبقعة المركزية ؟

$$\text{من العلاقة السابقة } L = \frac{2D\lambda}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{L \cdot a}{2D} \text{ يتبين أن طول موجة الضوء الأحادي}$$

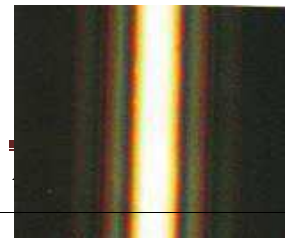
اللون يتناسب اطرادا وعرض البقعة المركزية .
خلاصة :

من خلال الدراسة التجريبية يتبين أنه النسبة لوسط معين ترتبط a و θ و λ بالعلاقة

$$\text{التالية : } \theta = \frac{\lambda}{a} \quad \text{بحيث أن } \theta \text{ تمثل الفرق الزاوي أو الانحراف الزاوي بين مركز الهدب}$$

المضيء المركزي وأول هدب مظلم . نعتبر عن θ الرديان (rad) و λ المتر و a بالمتر ملحوظة : ظاهرة حيود الضوء الأبيض

عند إضاءة شق عرضه صغير جدا حزمة ضوئية أسطوانية للضوء الأبيض نشاهد على الشاشة أطراف الضوء الأبيض (شبيهة بقوس قزح) يتوسطها هدب مركزي أبيض (أنظر الشكل)



II - خصائص الموجة الضوئية

1 - انتشار الموجات الضوئية

تنتشر الموجة الضوئية في الفراغ وفي الأوساط المادية الشفافة عكس الموجة الميكانيكية والتي تتطلب وسطا ماديا مرنا للانتشار .

الموجات الضوئية موجات كهرومغناطيسية . تنتشر في الفراغ بسرعة $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

سرعة انتشار الضوء في الفراغ هي ثابتة عالمية قيمتها $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ في وسط مادي شفاف سرعة الضوء أصغر من سرعته في الفراغ . في الهواء تقارب سرعته في الفراغ .

2 - العلاقة بين طول الموجة الضوئية والتردد

تتميز موجة ضوئية أحادية اللون بترددها ν ، نعتبر عنه بالهرتز (Hz) أو بالدور $T = \frac{1}{\nu}$ نعتبر عنها بالثانية

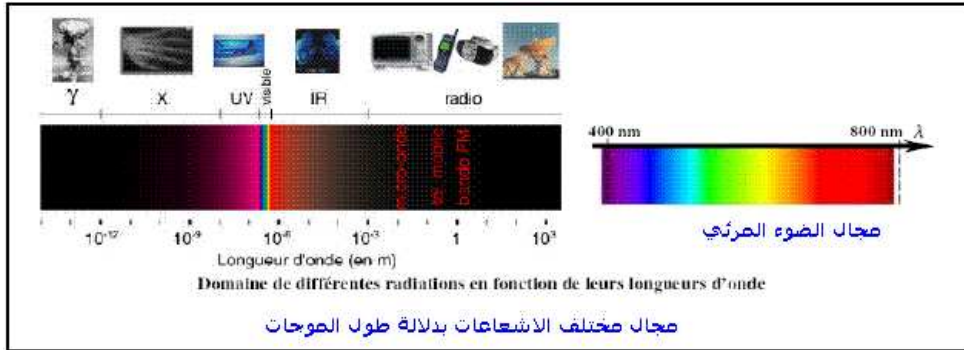
s وبطول موجتها λ .

تردد الموجة ν لا يتعلق بوسط الانتشار ولا يتغير عند انتقالها من وسط شفاف إلى آخر . طول الموجة λ يمثل الدورية المكانية و T تعبر عن الدورية الزمانية . هذان المقدران مرتبطان بالعلاقة التالية :

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

نعتبر عن λ بالمتر (m) و عن c ب (m/s) و ν ب الثانية (s) .

يبين الجدول التالي مجال الترددات وطول الموجة للموجات الضوئية في الفراغ :



* مجال الموجات الضوئية المرئية : $400 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 800 \text{ nm}$

* مجال الأشعة فوق البنفسجية : $10 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 400 \text{ nm}$

* مجال الأشعة تحت الحمراء : $800 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1000 \text{ nm}$

3 - سرعة الانتشار ومعامل الانكسار n

تعريف : معامل انكسار وسط شفاف هو النسبة بين سرعة الانتشار c للضوء في الفراغ وسرعة انتشاره ν في هذا الوسط الشفاف .

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

معامل الانكسار ليست له وحدة .

في الهواء كل الإشعاعات تنتشر بسرعة V تقارب c وبالتالي فمعامل انكسار الهواء يقارب 1 :
 $n_{\text{air}} = 1,00$

في الماء ، تساوي سرعة الضوء تقريبا $2,3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ أي أن معامل الانكسار الماء هو : $n_{\text{eau}} = 1,3$
4 - معامل الانكسار وطول الموجة

طول الموجة λ_0 لإشعاع تردد ν في الفراغ هو : $\lambda_0 = c.T = \frac{c}{\nu}$

في وسط شفاف معامل انكساره $n = \frac{c}{v}$ ، الإشعاع ذي التردد ν نعبر عن طول موجته λ بالعلاقة

$$\lambda = v.T = \frac{c}{n.v}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \Rightarrow n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

من خلال هذه العلاقة يتبين أن طول الموجة لضوء أحادي اللون تردده ν ، يتعلق بوسط الانتشار أي أن الموجة الضوئية تتميز بطول موجتها لكون أن طول الموجة يتغير عندما تنتقل من وسط إلى آخر $n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$ ، بينما ، التردد يبقى هو نفسه . وبالتالي فالذي يتغير

من وسط إلى آخر هو سرعة انتشار الضوء . حسب قانون ديكرت للانكسار

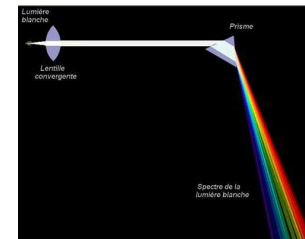
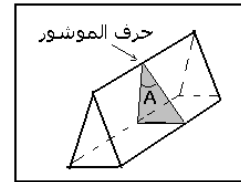
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

III - تبعد الضوء La dispersion de la lumière

1 - تعريف بالموشور :

الموشور وسط شفاف محدود بوجهين مستويين غير متوازيين ، يتقاطعان حسب مستقيم يسمى حرف الموشور

- مستوى المقطع الرأسي هو المستوى المتعامد مع الحرف
- قاعدة الموشور هي الوجه المقابل للحرف
- زاوية الموشور هي الزاوية \hat{A} المقابلة للقاعدة .



2 - تجربة : تحليل الضوء الأبيض
 نضع أمام منبع ضوئي (S) ، حجابا به شق رقيق جدا ونحقق بواسطة عدسة رقيقة مجمعة ، على شاشة E ، صورة الشق ، ثم نضع بين العدسة والشاشة ، موشورا من زجاج شفاف . نضيء أحد أوجه الموشور بواسطة الحزمة الضوئية الأسطوانية للضوء الأبيض .
 1 - ماذا نلاحظ ؟

انحراف الحزمة الضوئية بسبب وجود الموشور .
 نلاحظ على الشاشة E بقعة ضوئية ملونة وهذه الألوان مشابهة لألوان قوس قزح ، تسمى هذه البقعة الضوئية الملونة بطيف الضوء الأبيض

نلاحظ أن الضوء الأحمر أقل انحرافا من الضوء البنفسجي .
 2 - نستبدل الضوء الأبيض بشعاع ضوئي أحمر منبعث من جهاز الليزر .
 ماذا نلاحظ في هذه الحالة ؟

عند استعمال ضوء أحادي اللون (الأحمر) نلاحظ على الشاشة طيف ضوئي يضم حزة واحدة ذي لون أحمر .
 خلاصة :

الموشور يبعد الضوء الأبيض أي يمكن من فصل الإشعاعات ذات الألوان المختلفة . تسمى هذه الظاهرة بتبعد الضوء .

2 - انحراف الضوء الأحادي اللون :

يرد شعاع ضوئي أحادي اللون ينتمي إلى المقطع الرأسي على وجه الموشور .

1 - ما هي الظاهرة التي تحدث عند دخوله الموشور ، ثم عند خروجه منه ؟
 - تحدث ظاهرة الانكسار مرتين : عنط دخوله في النقطة I ، ثم عند خروجه في النقطة I' .

2 - حدد على الشكل زاوية الانحراف D بين الشعاع الوارد على

الموشور والشعاع المنبعث عند خروجه I'R منه : $D = (SI, I'R)$

- الشعاعان SI و I'R ليس لهما نفس الاتجاه وبالتالي فغن الموشور قد غير اتجاه الضوء الأحادي اللون :

تسمى هذه الظاهرة انحراف الضوء بواسطة موشور .
 تعريف : زاوية الانحراف D هي الزاوية التي يكونها اتجاه الشعاع الوارد SI مع اتجاه الشعاع المنبعث I'R أي

$$D = (SI, I'R)$$

3 - أوجد هندسيا وتطبيق قوانين ديكرت للانكسار صيغ الموشور .

حسب قوانين ديكرت للانكسار لدينا :

$$\sin i = n \sin r$$

$$n \sin r' = \sin i'$$

هندسيا لدينا : حسب المثلث AII'

$$\hat{A} + \left(\frac{\pi}{2} - r\right) + \left(\frac{\pi}{2} - r'\right) = \pi \Rightarrow \hat{A} = r + r'$$

نأخذ زاويا المثلث AJI' و IJE

$$\hat{A} + \left(\frac{\pi}{2} - i\right) + \left(\pi - \frac{\pi}{2} - i + D\right) = \pi \Rightarrow \hat{A} - i - i + D = 0$$

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

3 - تفسير ظاهرة تبعد الضوء

نرسل حزمة رقيقة من الضوء الأبيض على موشور كما هو ممثل في الشكل ونعتبر العلاقة :

$$D = i + i' - A$$

نلاحظ :

بالنسبة للإشعاعات التي تكون الضوء الأبيض أن كلا من الزاويتين i و A لهما نفس القيمة ، بينما

قيمتا الزاويتين i' و D مرتبطتان بقيمة معامل الانكسار $n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$ أي طول موجة الإشعاع أي لون هذا الأخير .

$$\sin i = n \sin r$$

$$n \sin r' = \sin i'$$

مما يبين أن معامل انكسار زجاج الموشور يتعلق بتردد الموجات الضوئية وبما أن $n = \frac{c}{v}$ فإن سرعة

انتشار الموجات تتعلق كذلك بتردد الموجات وهذا يبين أن زجاج الموشور مبدد للضوء بالنسبة لمنحى الانحراف D ، فإنه يكبر من اللون الأحمر إلى اللون البنفسجي أي الضوء الأحمر أقل انحرافاً بينما الضوء البنفسجي أكثر انحرافاً . $D_v > D_j > D_R$.

خلاصة :

يتعلق معامل انكسار وسط شفاف بتردد الإشعاعات الضوئية ، وهذا ما يسبب ظاهرة تبديد الضوء

