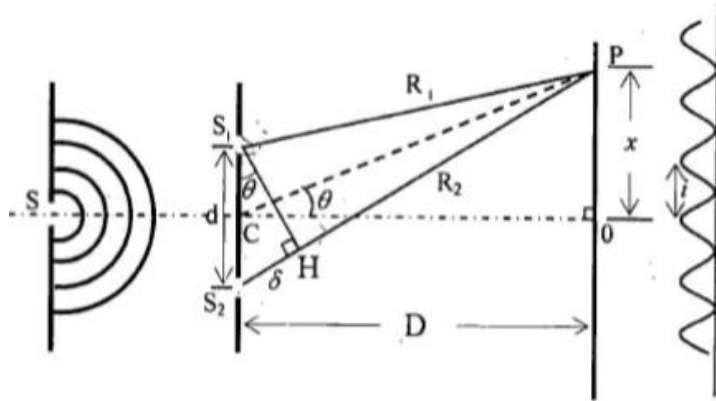


شفا يونغ Double-slit experiment

تعتبر تجربة شفا يونغ من أول تجارب التداخل التي قام بها العالم يونغ عام 1807, حيث سمح لضوء الشمس أن يدخل في حاجز مظلم من خلال ثقب صغير S ويسقط على ثقبين S_1 و S_2 (الشكل 2).



الشكل (2): رسم تخطيطي لتجربة شفا يونغ.



وفقاً لمبدأ هايجنس يقوم الثقب S بدور المنبع النقطي. ولذلك, تبرز منه موجة كروية وتسقط على الثقبين S_1 و S_2 . يقوم هذان الثقبان بدورهما بإصدار أمواجاً كروية ثانوية تنتشر من الثقبين S_1 و S_2 وتلتقي في الفراغ خلف الحاجز الحاوي على الثقبين. وبما أن الثقبين S_1 و S_2 قد أضيئنا بالموجة نفسها, فإن الموجتين المتداخلتين مترابطتان وشدة الإضاءة في كل نقطة تتوقف على فرق الطور بينهما. وإذا وضع الحاجز وراء الثقبين, فإن أهداب التداخل تظهر عليه. إذ نلاحظ من الشكل (2) أن الشقين S_1 و S_2 يبعدان عن الشق S مسافتين متساويتين. ولهذا السبب فإن الشقين S_1 و S_2 بقومان بدور منبعين مترابطين لهما الطور نفسه. إن الأمواج الصادرة عن S_1 و S_2 تتداخل في النقطة P . ثم إن فرق المسير $\delta = |\overline{S_2P} - \overline{S_1P}|$ يسبب تغيراً في الطور بين الموجتين عند التقائهما في النقطة P وهذا الفرق يساوي:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta = \frac{2\pi}{\lambda} |\overline{S_2P} - \overline{S_1P}| = \frac{2\pi}{\lambda} S_2 H \quad (1)$$

حيث λ طول موجة الضوء المستخدم. وجدنا في محاضرات سابقة خاصة بتركيب الحركات التوافقية البسيطة بأن السعة المحصلة لحركتين توافقيتين لهما نفس المنحى والتواتر الزاوي تعطى بالعلاقة (العلاقة رقم 13 من بحث الاهتزازات):

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (2)$$

عندما $A = A_1 = A_2$ تصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$A^2 = 2A^2[1 + \cos(\varphi_2 - \varphi_1)] \quad (3)$$

$$\rightarrow A^2 = I = 2A^2(1 + \cos \varphi) \quad (4)$$

نلاحظ من المعادلة الأخيرة رقم 4 أن الشدة I في النقطة P تكون أعظمية إذا كان $\cos \varphi = 1$ وأصغرية إذا كان $\cos \varphi = -1$. وعليه، في حالة الأهداب المضئنة يكون فرق الطور مساوياً إلى:

$$\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots \quad (5)$$

جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY

وفي حالة الأهداب المظلمة:

$$\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots \quad (6)$$

يمكننا أن نجد من الشكل (2) أنه إذا تحقق الشرطان $d = S_1S_2$ و $D \gg d = OP$ فإن المثلثين COP و S_1S_2H متشابهان، وبالتالي:

$$\frac{\overline{S_2H}}{\overline{S_1S_2}} = \frac{\overline{OP}}{\overline{OC}}$$

$$\rightarrow \overline{S_2H} = \delta = \frac{Xd}{D} \quad (7)$$

وعليه فإن فرق الطور في حالة الأهداب المضئنة يساوي إلى:

$$\varphi = \frac{2\pi Xd}{\lambda D} = 0, 2\pi, 4\pi, \dots, 2K\pi \quad (8)$$

حيث K عدد صحيح.

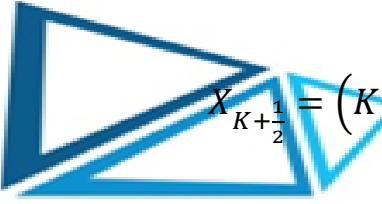
وفي حالة الأهداب المظلمة يساوي إلى:

$$\varphi = \frac{2\pi Xd}{\lambda D} = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots, (2K + 1)\pi \quad (9)$$

ومنه نجد موضع الهدب المضيء (X_K) :

$$X_K = K \frac{\lambda d}{D} \quad (10)$$

وموضع الهدب المظلم $(X_{K+\frac{1}{2}})$:



$$X_{K+\frac{1}{2}} = \left(K + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda d}{D} \quad (11)$$

يعرف البعد الهدبي الذي نرمز له بالرمز i بأنه البعد بين مركزي هديين مضيئين متتاليين أو مركزي هديين

مظلمين متتاليين. ومن علاقة موضع الهدب المضيء ولكن للهدب ذو المرتبة $(K+1)$ نستطيع كتابة:

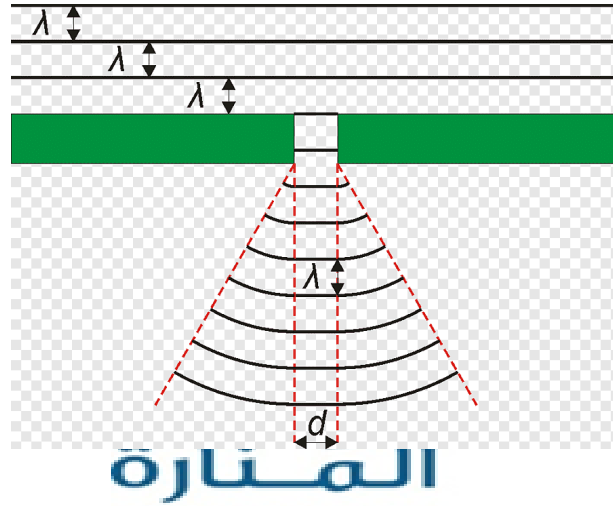
$$X_{K+1} = (K + 1) \frac{\lambda d}{D} \quad (12)$$

وبالتالي البعد الهدبي يساوي:

$$i = X_{K+1} - X_K = (K + 1) \frac{\lambda d}{D} - K \frac{\lambda d}{D}$$

$$\rightarrow i = \frac{\lambda d}{D} \quad (13)$$

يعرف بأنه حيود الضوء عن مبدأ الانتشار المستقيم الذي صاغه نيوتن عام 1700 م، وينص على أن الضوء يصدر عن المصادر الضوئية ويتابع سيره دون حيود. ولكن عندما وردت موجة مستوية (أشعة متوازية) على فتحة دائرية مصنوعة في حاجز عاتم، نصف قطرها d كبير بالمقارنة مع طول موجة الضوء فإن الأشعة الضوئية البارزة منها ستبقى متوازية. أما إذا كان نصف قطر الفتحة قريب من طول موجة الضوء فإن الضوء البارز سوف يتوزع بكافة الاتجاهات ونقول أن الضوء قد انعرج وحاد عن مبدأ الانتشار المستقيم وتصبح الموجة البارزة كروية الشكل (الشكل 1).

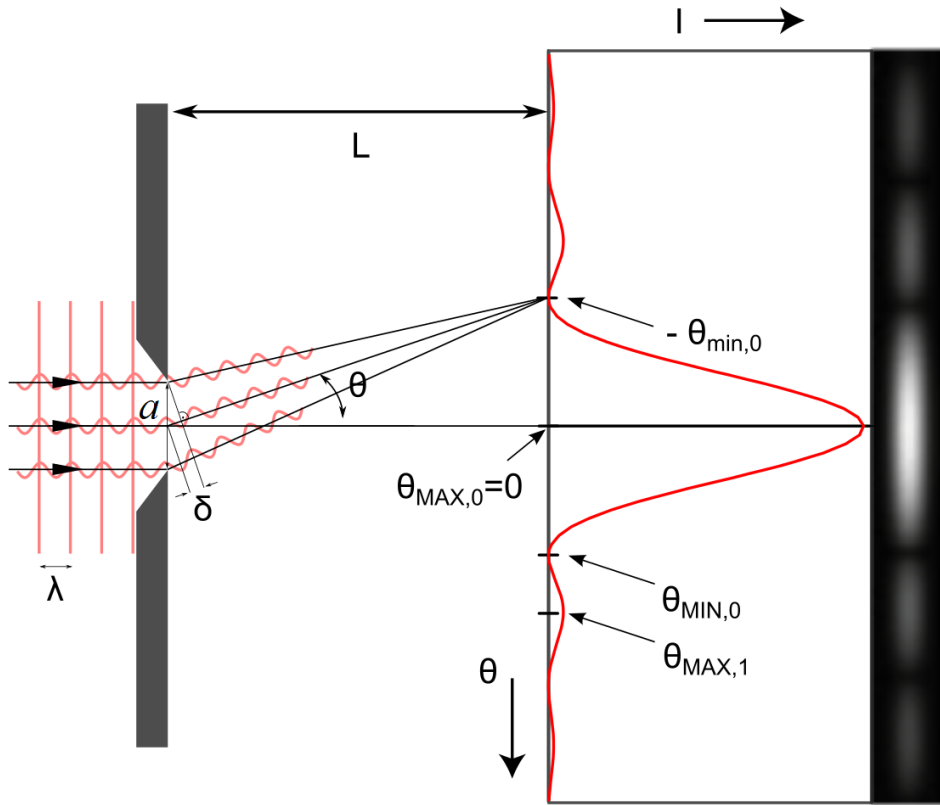


الشكل (1): موجة ضوئية واردة ومنعرجة عن فتحة $d \approx \lambda$.

إذا وضعنا شاشة في طريق الأشعة البارزة سوف نشاهد منطقة دائرية مضيئة مساحتها أكبر بكثير من مساحة الثقب الدائري محاطة بحلقات مظلمة فمضيئة متعاقبة تدعى أهداب الإنعراج.

حالة الإنعراج من شق ضيق diffraction through a single slit

لنفرض أنه لدينا شق طولي صغير يرد عليه موجة ضوئية مستوية ووضعنا شاشة لتراقب الأهداب الناتجة عن ظاهرة الانعراج (الشكل 2).



الشكل (2): الانعراج الناتج عن شق وحيد وتشكل أهداب الانعراج.

من أجل $\theta = 0$ يتشكل على الشاشة هدب مضئي أعظمي يتبعه هدب مظلم ومن ثم مضئي بالتتابع. حسب مبدأ هايجينس فإن كل جزء من الفتحة سوف يصبح منبع ضوئي وشدة الإضاءة الناتجة على الشاشة تعتمد على الزاوية θ . تتداخل الأمواج بشكل بناء أو هدام فيتشكل لدينا تلك الأهداب المبينة بالشكل 2. من أجل التداخل الهدام (هدب مظلم) يكون:

$$\frac{a}{2} \sin \theta = n \frac{\lambda}{2}$$

$$\sin \theta = \pm n \frac{\lambda}{a}$$

حيث n رتبة الهدب المظلم. فإذا كان عرض الشق a والمسافة بين الشق والحاجز L فيكون من أجل الأهداب المظلمة (في حالة الزوايا الصغيرة):

$$\tan \theta = \sin \theta = \frac{y_n}{L}$$

حيث أن y بعد الهدب المظلم بشكل عام عن مركز الهدب المضيء المركزي.

مثال:

يرد شعاع ضوئي بطول موجي 580 nm على شق عرضه 0.300 mm ، تبعد شاشة العرض عنه 2 m ، أوجد عرض الهدب المضيء المركزي.

الحل:



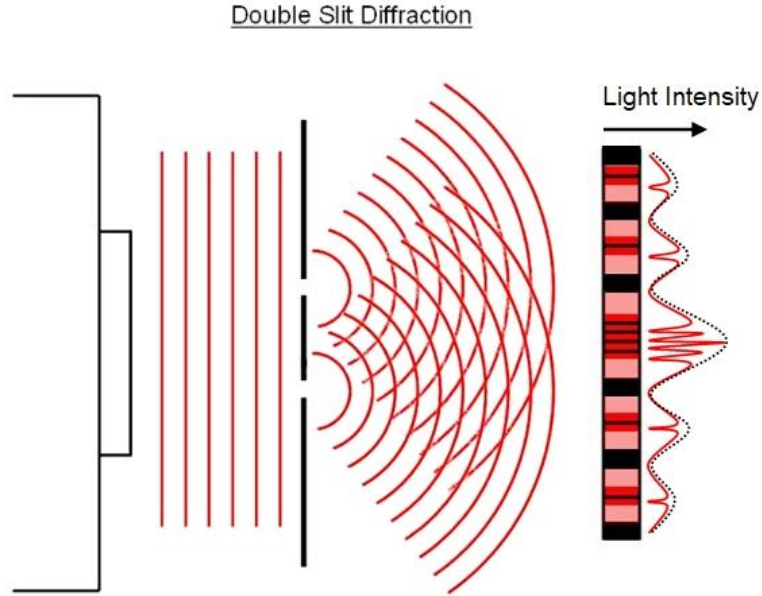
$$\rightarrow 2 y_1 = 2 \times L \times \sin \theta$$

$$\rightarrow 2 y_1 = 2 \times L \times \frac{\lambda}{a}$$

$$\rightarrow 2 y_1 = 2 \times 2 \times \frac{580 \times 10^{-9}}{0.300 \times 10^{-3}} = 7.73 \text{ mm}$$

الانعراج الناتج عن شقين Double slit Diffraction

عندما يكون لدينا أكثر من شق فيجب تحديد أهداب التداخل بالإضافة لأهداب الانعراج، نتيجة لورود الأشعة من الشقين (الشكل 3).



الشكل (3): تشكل أهداب التداخل والانعراج نتيجة ورود الضوء على شقين.


 جَامِعَةُ
 المَنَارَةِ
 MANARA UNIVERSITY

نلاحظ هنا تشكل أهداب الانعراج وضمنها أهداب التداخل.

شبكة الانعراج

تتألف من عدد كبير من الشقوق المتوازية وبفواصل متساوية بحيث تكون كل الأمواج من الشقوق في طور واحد. إن الشرط الأساسي لتشكيل أهداب مضيئة يعطى بالعلاقة:

$$d \sin \theta = n\lambda$$

حيث أن d دور الشبكة و n رتبة الهدب المضيء.

مثال:

يرد ضوء ليزر نيون بطول موجي $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ على شبكة انعراج تتألف من 6000 شق في السننيمتر. أوجد الزاوية لأول هدب أعظمي (مضيء).

الحل:

$$d = \frac{1}{6000} = 1.667 \times 10^{-4} \text{ cm} = 1667 \text{ nm}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{n\lambda}{d} = \frac{1 \times 632.8}{1667} = 0.3797$$

$$\rightarrow \theta = 22.31^\circ$$

$$\sin \theta_2 = \frac{n\lambda}{d} = \frac{2 \times 632.8}{1667} = 0.7594$$

$$\rightarrow \theta = 49.41^\circ$$

مثال:

شبكة انعراج بمعدل 250 groves/mm، لنفرض أن الطيف المرئي 400-700 nm فكم من الأهداب يمكن أن نجد في داخل الطيف المرئي.

الحل:

$$d = \frac{1 \times 10^{-3}}{250} = 4000 \text{ nm}$$

$$d \sin \theta = n\lambda$$



$$\rightarrow n = \frac{d \sin \theta}{\lambda}$$

$$n_{max} = \frac{d \sin \theta_{max}}{\lambda} = \frac{4000 \sin 90}{700} = 5.71 \text{ هذب}$$

$$n_{max} = \frac{d \sin \theta_{max}}{\lambda} = \frac{4000 \sin 90}{400} = 10.5 \text{ هذب}$$

مثال:

يعرض شق بعرض 0.75 mm لضوء بطول موجي 587.5 nm ، ما هي المسافة التي توضع عندها الشاشة

للحصول على أهداب انعراج تبعد عن الهدب المركزي مسافة 0.85 mm



الحل:

بالعودة إلى علاقة أهداب الانعراج المظلمة:

$$\sin \theta = n \frac{\lambda}{a}$$

MANARA UNIVERSITY

$$\tan \theta = \sin \theta = \frac{y_n}{L}$$

$$\rightarrow L = \frac{y_1}{\sin \theta} = \frac{y_1 a}{n \lambda} = \frac{0.85 \times 10^{-3} \times 0.75 \times 10^{-3}}{1 \times 587.5 \times 10^{-9}} = 1.1 \text{ m}$$

مثال:

ليزر هيليوم نيون بطول موجة $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ يوضع أمام شق بعرض 0.300 mm ، احسب عرض

الهدب المركزي المشيئة على حاجز تبعد 1 m عن الشق.

الحل:

$$\sin \theta = n \frac{\lambda}{a}$$

$$\tan \theta = \sin \theta = \frac{y_n}{L}$$

$$\rightarrow 2 y_1 = 2 \times L \times \sin \theta$$

$$\rightarrow 2 y_1 = 2 \times L \times \frac{\lambda}{a}$$

$$\rightarrow 2 y_1 = 2 \times 1 \times \frac{6.328 \times 10^{-7}}{3 \times 10^{-4}} = 4.22 \text{ mm}$$

