تداخل الضوء Interference

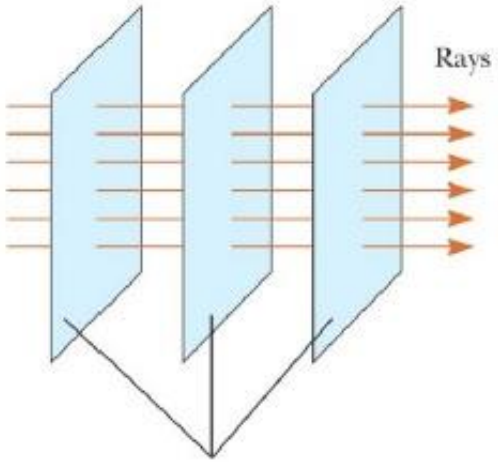
الفصل العاشر: تداخل و حيود واستقطاب الضوء

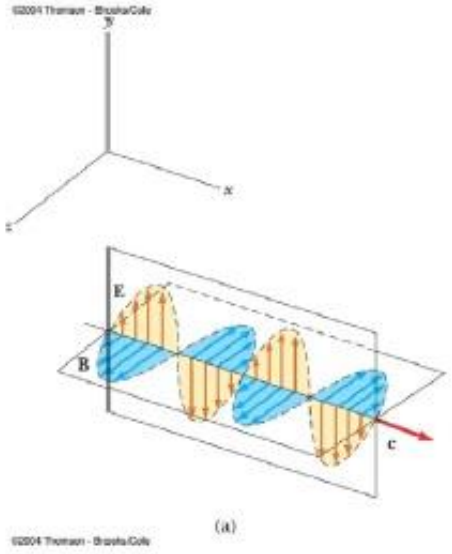
١٠-١ مقدمة

١٠-٢ تداخل الموجات الضوئية وشرط التداخل

١٠-٣ تجربة شقي يونج

تداخل الضوء Interference

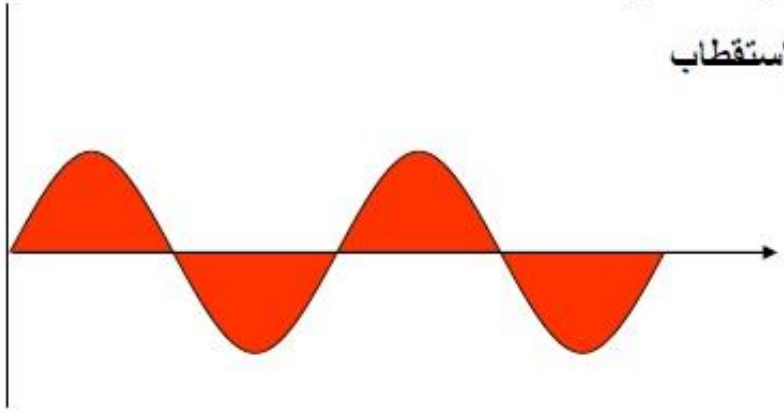




١٠-١ مقدمة

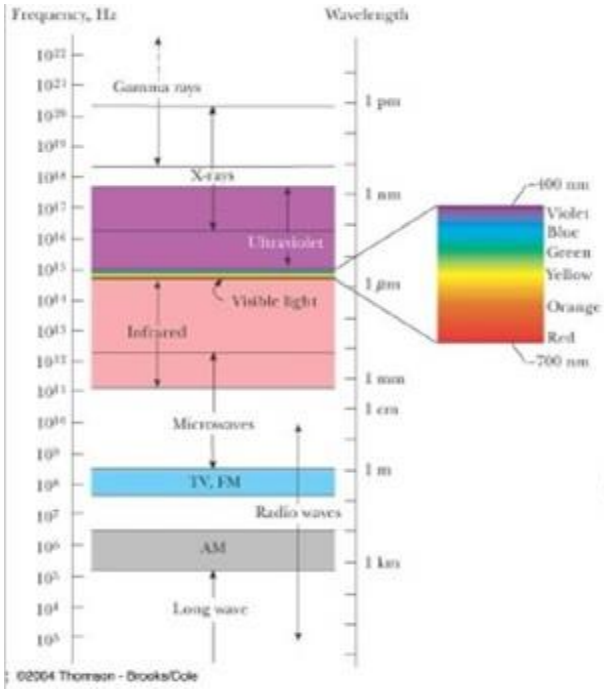
- الضوء الهندسي: حيث يستخدم مفهوم الشعاع الضوئي لشرح وتوضيح بعض الظواهر الضوئية مثل انعكسا وانكسار الضوء

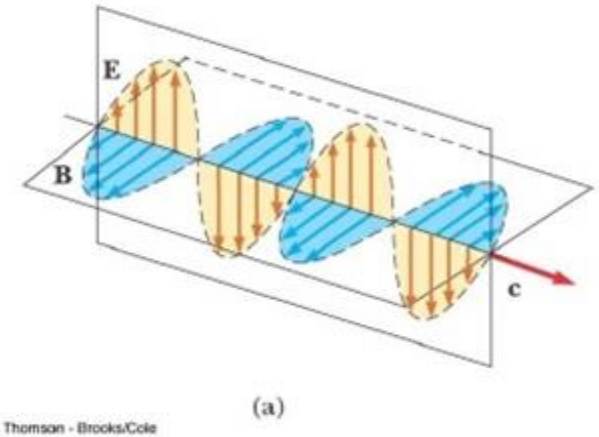
- البصريات الموجية: حيث يستخدم مفهوم الموجات الضوئية لشرح وتوضيح بعض الظواهر الضوئية مثل التداخل، الحيود والاستقطاب



المركبة الكهربية للموجة الكهرومغناطيسية

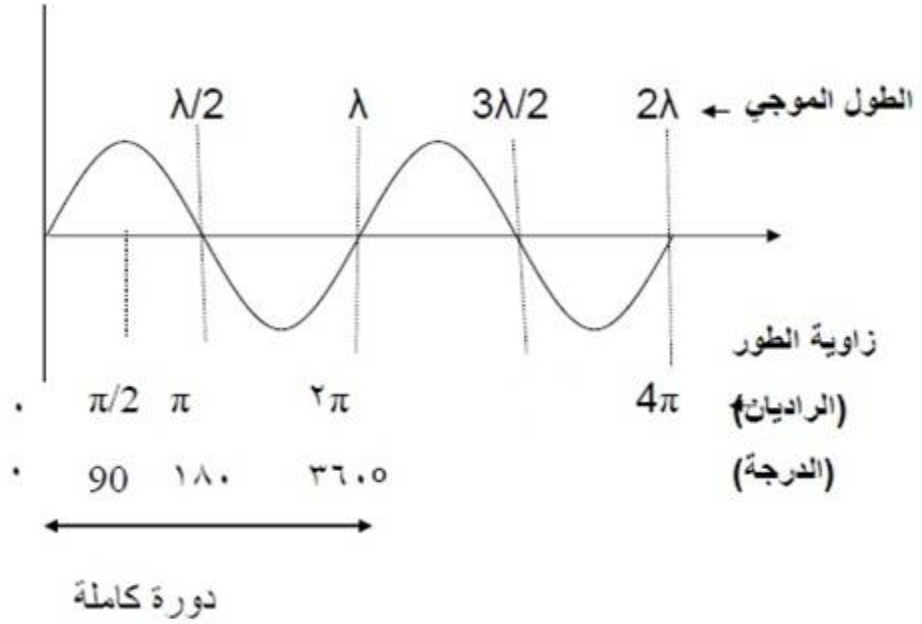
تداخل الضوء Interference





-النظرية الموجية للضوء:

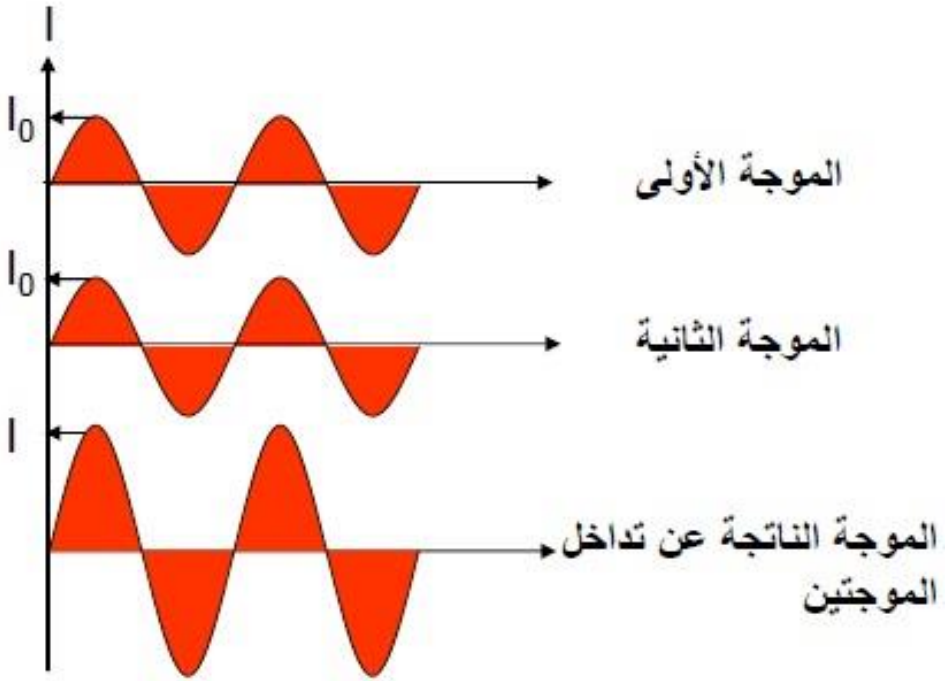
الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تنتشر بسرعة (c)على شكل جيبي (دالة جيب الزاوية)، وتتكون الموجة من مركبتين احدهم كهربية والأخرى مغناطيسية متعامدتين على بعضهما. وتستخدم عادة المركبة الكهربية لوصف واستنتاج قوانين التداخل والحيود والاستقطاب.



تداخل الضوء Interference

١٠-٢ تداخل الموجات الضوئية وشروط التداخل:

* يحدث التداخل عند التقاء موجتين جيبيتين متساويتين في التردد وتتحركان في نفس الاتجاه وبنفس السرعة (نفس الطول الموجي حيث $V = f \lambda$) وبفرق طور ثابت مقداره φ وبفرق مسار ثابت مقداره δ.

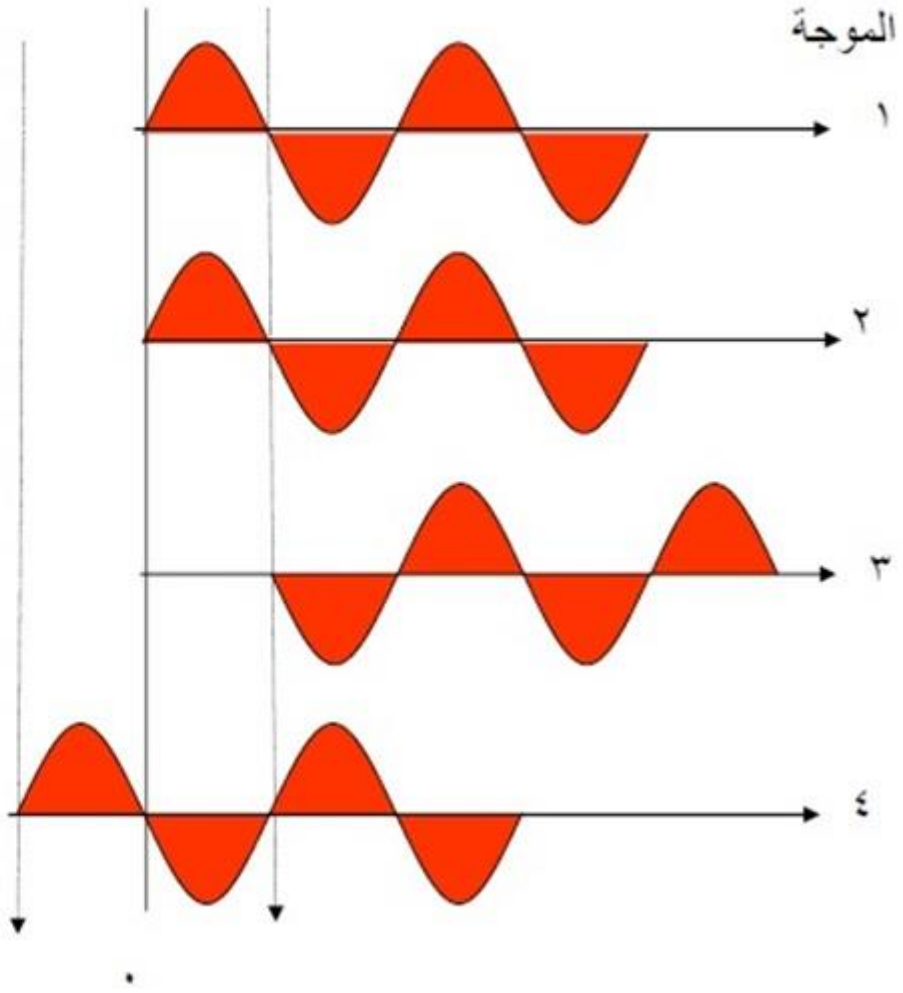


- الموجة الجديدة الناتجة عن تداخل الموجتين يكون لها نفس التردد ولكنها مختلفة السعة (E) وكذلك الشدة (I). وبالإضافة إلى ذلك تختلف في الطور عن الموجتين الأصليتين بمقدار ($\varphi/2$) أي اما تقدما أو تأخرا.

تداخل الضوء Interference

*** مقارنة الموجات ٢،٣،٤ بالنسبة للموجة رقم ١:**

الموجة	φ	δ
٢-	٠	٠
٣-	$-\pi$ (-١٨٠)	$-\lambda/٢$
٤-	$+\pi$ (+١٨٠)	$+\lambda/٢$



ويمكننا القول ان:

- الموجة ٢ لها نفس الطور ولا يوجد فرق في المسار،

-الموجة ٣ متأخرة عن الموجة ١ بنصف دورة أي بزاوية 180^{o} (π) ، وطول موجي يساوي $\lambda/٢$.

- الموجة ٤ متقدمة عن الموجة ١ بنصف دورة أي بزاوية 180^{o} (π) ، وطول موجي يساوي $\lambda/٢$.

تداخل الضوء Interference

$$E_1 = E_0 \sin(kx - \omega t - \varphi) \;\; \& \;\; E_2 = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

- السعة الكهربية للموجتين قبل التداخل

$$E = 2E_0 \cos\frac{\varphi}{2} = E_{\max} \cos\frac{\varphi}{2} \longleftarrow$$

- السعة الكهربية للموجة الناتجة عن تداخل الموجتين

حيث:

-K: العدد الموجي (عدد الموجات لكل 360^o، 2π) & ($k=2\pi/\lambda$)

- ω: التردد الزاوي ($\omega=2\pi f$) - f: التردد (عدد الدورات لكل ثانية)

- λ: الطول الموجي - φ: زاوية فرق الطور

- E: السعة الكهربية للموجة، تتغير قيمتها بتغير قيمة ال (----) sin بالمعادلة

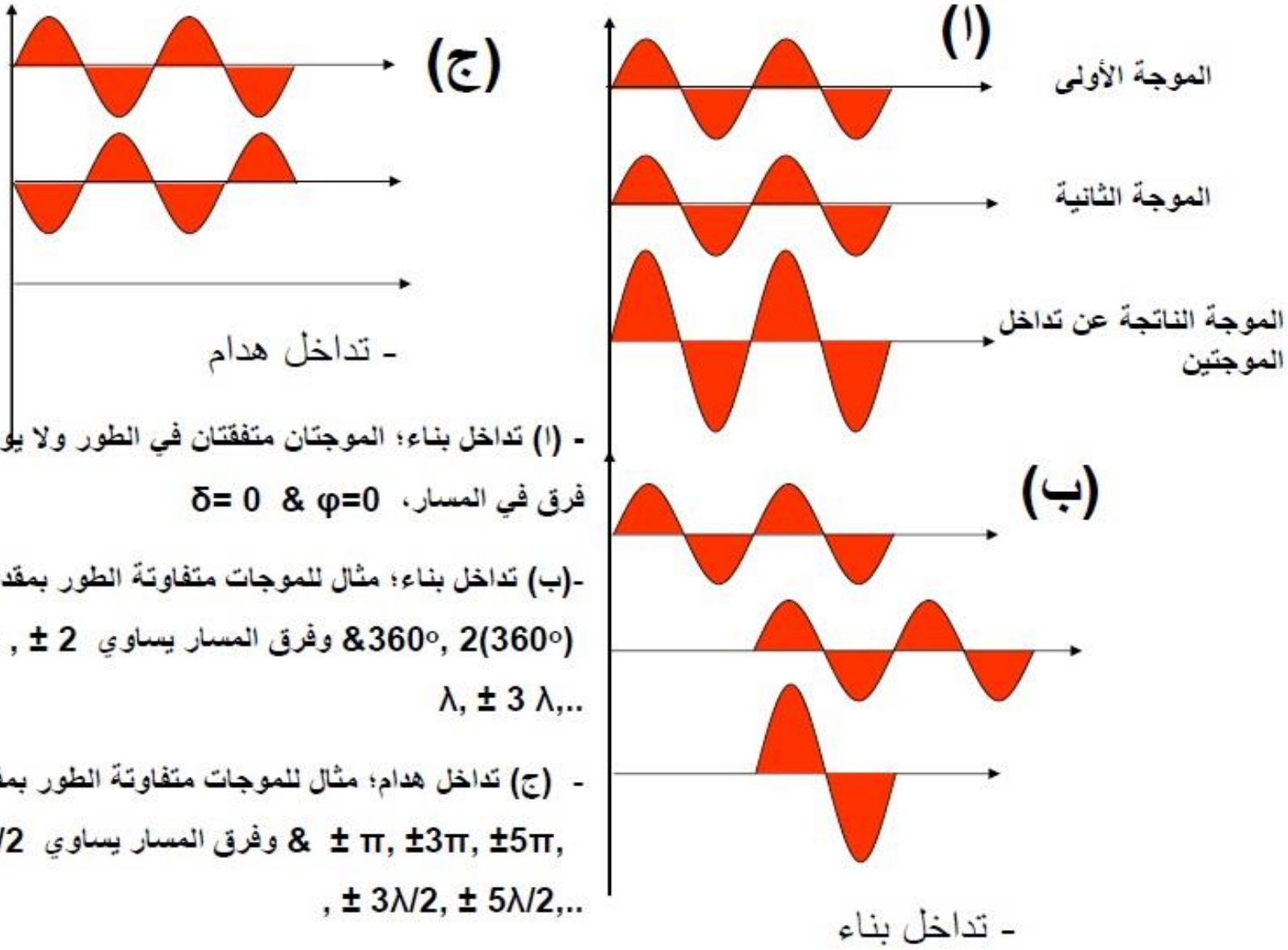
- E_o : القيمة العظمى لسعة الموجة وهى قيمة السعة عندما قيمة ال (----) sin يساوي واحد

- E_{max}: النهاية العظمى لسعة الموجة الناتجة عن التداخل

$$\because I \alpha E^2 \Rightarrow \therefore I = 4 I_o \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

حيث I_0: شدة الموجة قبل التداخل & I: شدة الموجة بعد التداخل

تداخل الضوء Interference



- تداخل بناء

- تداخل هدام

- (ا) تداخل بناء؛ الموجتان متفقتان في الطور ولا يوجد فرق في المسار، $\delta = 0$ & $\varphi = 0$

-(ب) تداخل بناء؛ مثال للموجات متفاوتة الطور بمقدار $2(360^\circ)$, 360°& وفرق المسار يساوي $\pm 2\lambda$, $\pm \lambda$, $\pm 3\lambda$,..

- (ج) تداخل هدام؛ مثال للموجات متفاوتة الطور بمقدار $\pm \pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi,$ & وفرق المسار يساوي $\pm \lambda/2$, $\pm 3\lambda/2, \pm 5\lambda/2$,..

تداخل الضوء Interference

التداخل	فرق الطور (φ)	فرق المسار (δ)
البناء	$\varphi = 2m\pi$ $= 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \ldots.$	$\delta = m\lambda$ $= 0, \pm\lambda, \pm 2\lambda, \pm 3\lambda, ..$
الهدام	$\varphi = 2(m+\frac{1}{2})\pi$ $= \pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi, \pm^{7}\pi \ldots.$	$\delta = (m+\frac{1}{2})\lambda$ $= \pm\lambda/2, \pm 3\lambda/2, \pm 5\lambda, ..$

m = 0, ±1, ±2, ±3,….

δ = φ / K

تداخل الضوء Interference

- ينتج التداخل بسبب إلتقاء موجتين جيبيتين متساويتين في التردد، وتتحركان في نفس الاتجاه وبنفس السرعة ولكن بفرق طور ثابت مقداره ϕ يعتمد على فرق المسار δ بين الموجتين والطول الموجي λ:

$$\phi = \delta\, \mathrm{k} = \delta \frac{2\pi}{\lambda}$$

- حيث k هو العدد الموجي ويساوي $2\pi/\lambda$

تداخل الضوء Interference

- الشدة الضوئية النهائية للموجة الناتجة من التداخل هي:

$$I = 4I_o \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

- حيث I_o الشدة قبل التداخل

تداخل الضوء Interference

أعلى قيمة للشدة تكون عندما $I = 4I_o$ أي أن $\cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) = 1$

وهذا يكون إذا كانت

$$\frac{\phi}{2} = 0, \pm\pi, \pm 2\pi, \pm 3\pi, ... = (m\pi)$$

حيث:

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, ...$$

إذا شرط التداخل البناء هو:

$$\delta = m\,\lambda$$

تداخل الضوء Interference

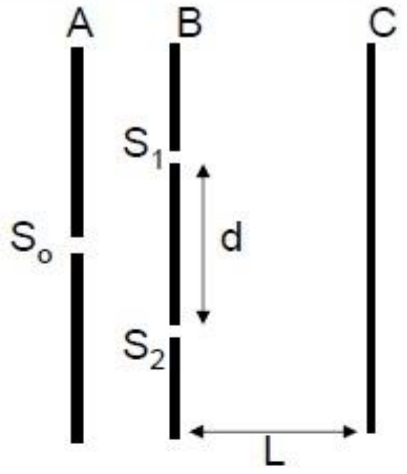
وأدنى قيمة للشدة تكون عندما $I = 0$ أي أن $\cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) = 0$

وهذا يكون إذا كانت $\frac{\phi}{2} = \pm\frac{1}{2}\pi, \pm\frac{3}{2}\pi, \pm\frac{5}{2}\pi, ... = \left(m + \frac{1}{2}\pi\right)$

حيث: $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, ...$

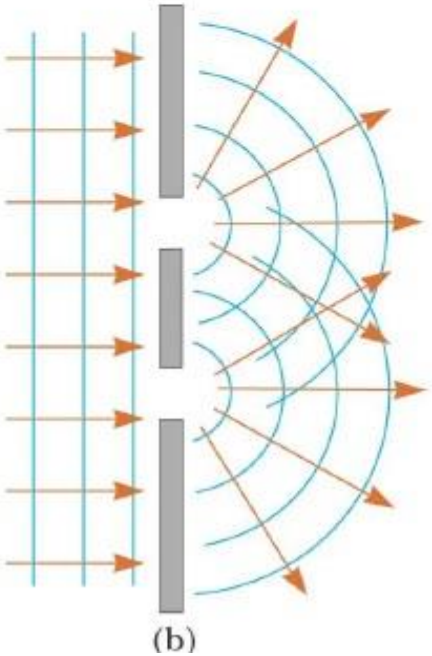
إذا شرط التداخل الهدام هو: $\delta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$

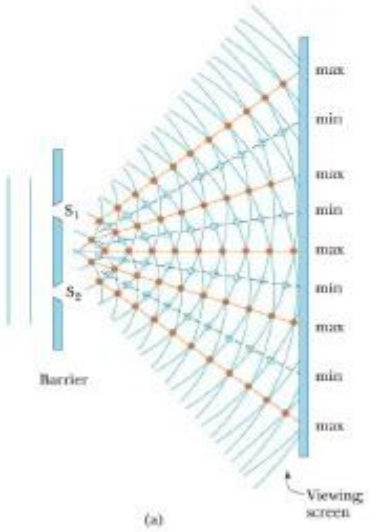
تداخل الضوء Interference



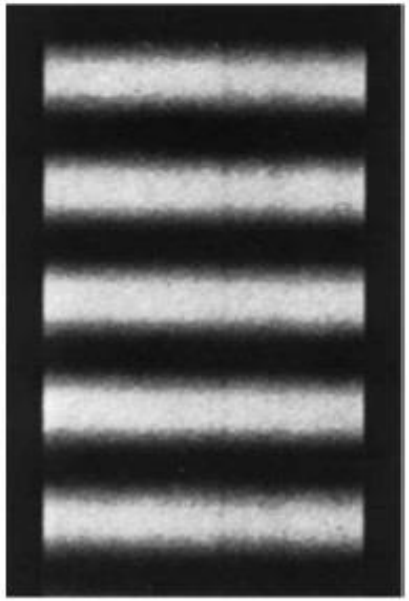
٣-١٠ تجربة شقي يونج : - تجربة لدراسة ظاهرة تداخل الأمواج الضوئية

- مصدر ضوء احادي الطول الموجي عند S_0 ، شقان ضيقان (S1 &S2) متوازيان المسافة بينهما (d) يعملان كمصدرين لضوء مترابط لأن الضوء النافذ منهما له نفس جبهة الموجة الابتدائية. بذلك نحصل على موجتين ضوئيتين لهم نفس زاوية الطور والتردد ويتحركان في نفس الاتجاه وبنفس السرعة.





©2004 Thomson - Brooks/Cole

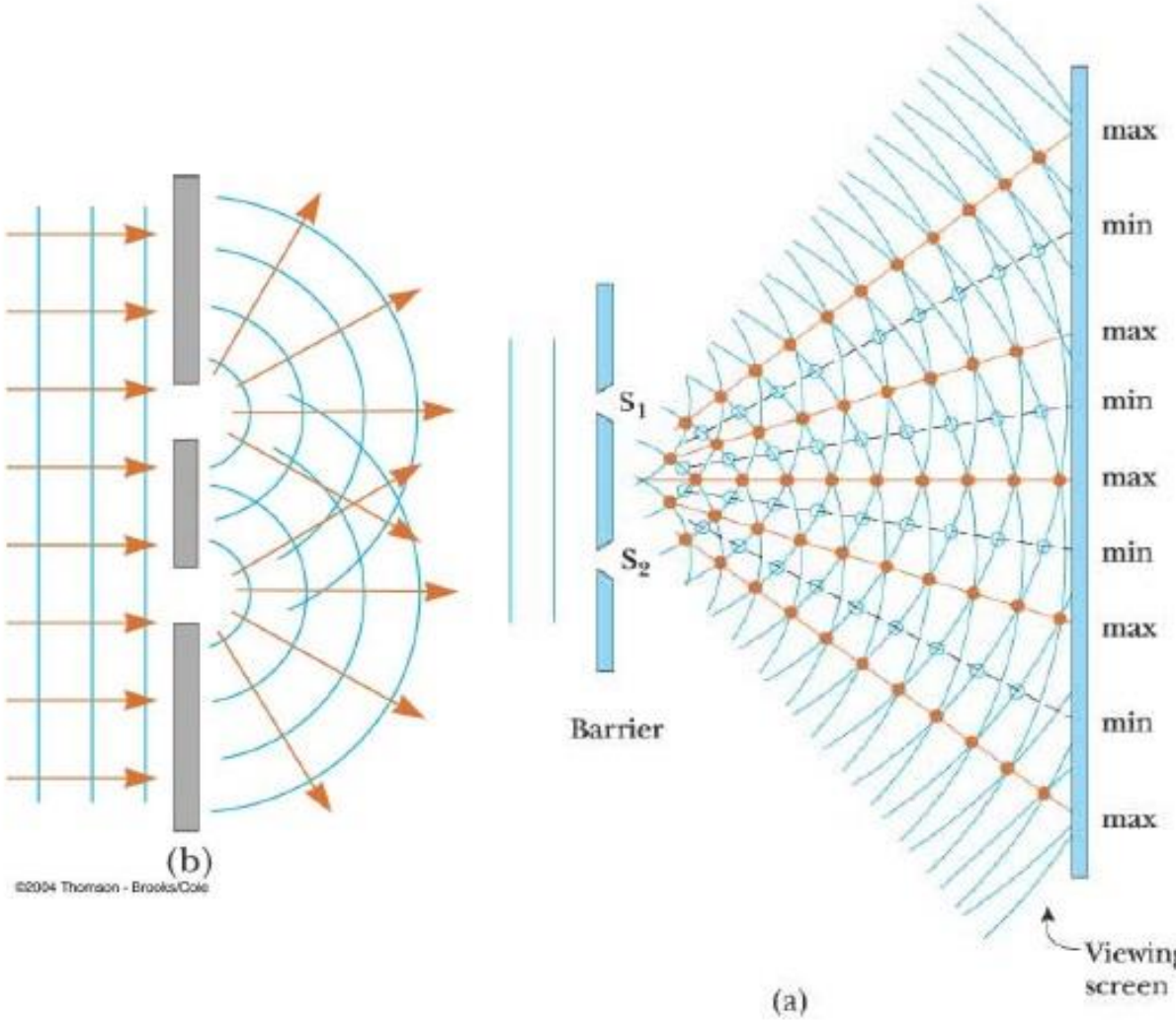


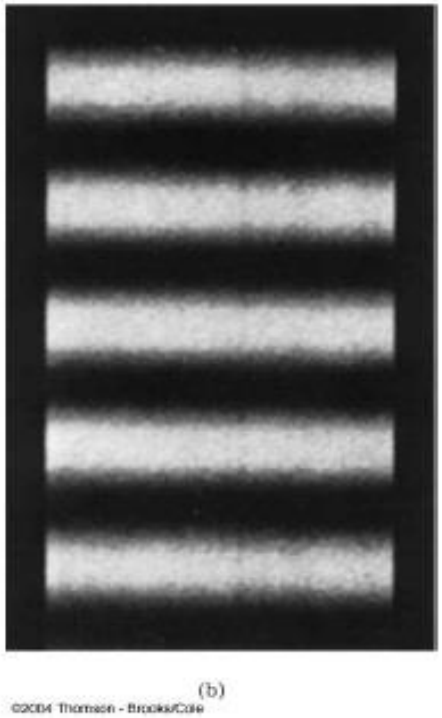
(b)

©2004 Thomson - Brooks/Cole

تداخل الضوء Interference

- تتداخل الموجات الضوئية الصادرة من الشقين لنتج عنها أهداب عديدة ذات مناطق مضيئة وأخرى مظلمة على الحاجز (C).

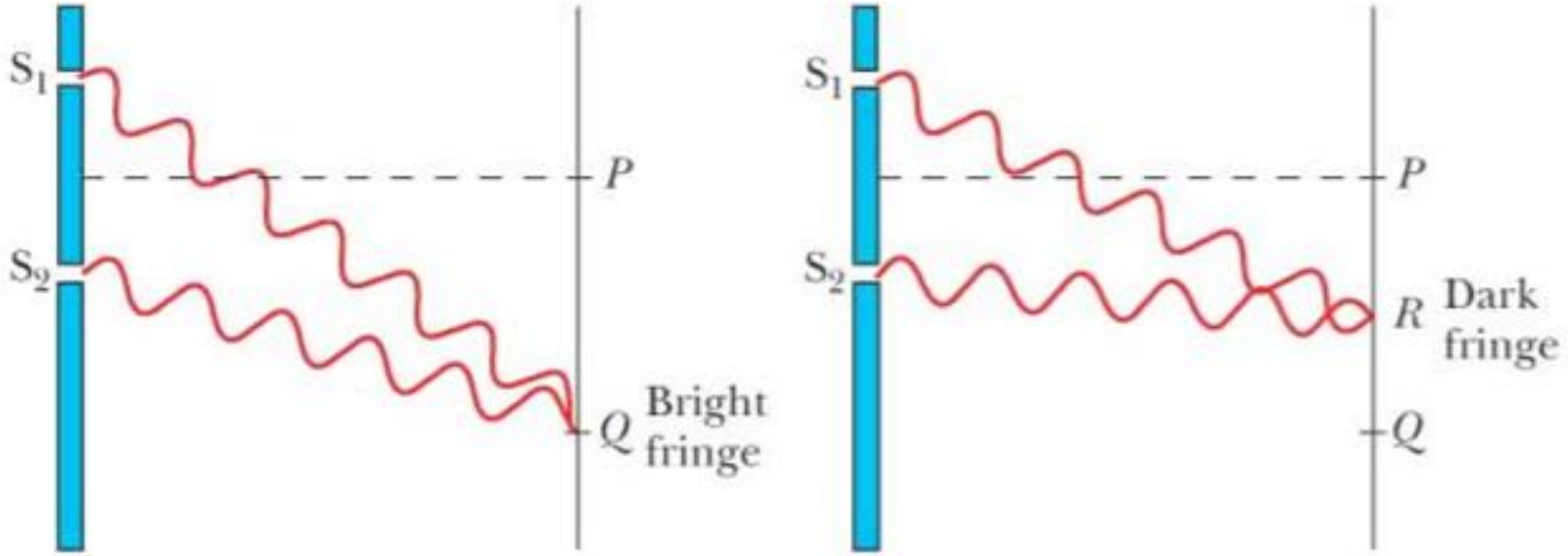




تداخل الضوء Interference

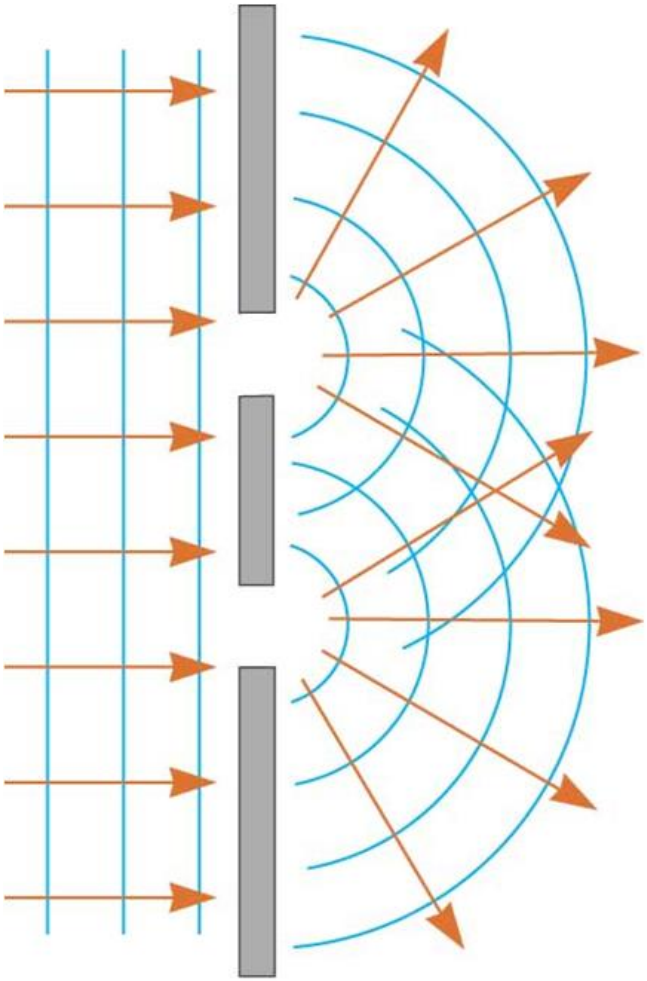
شقا يونج

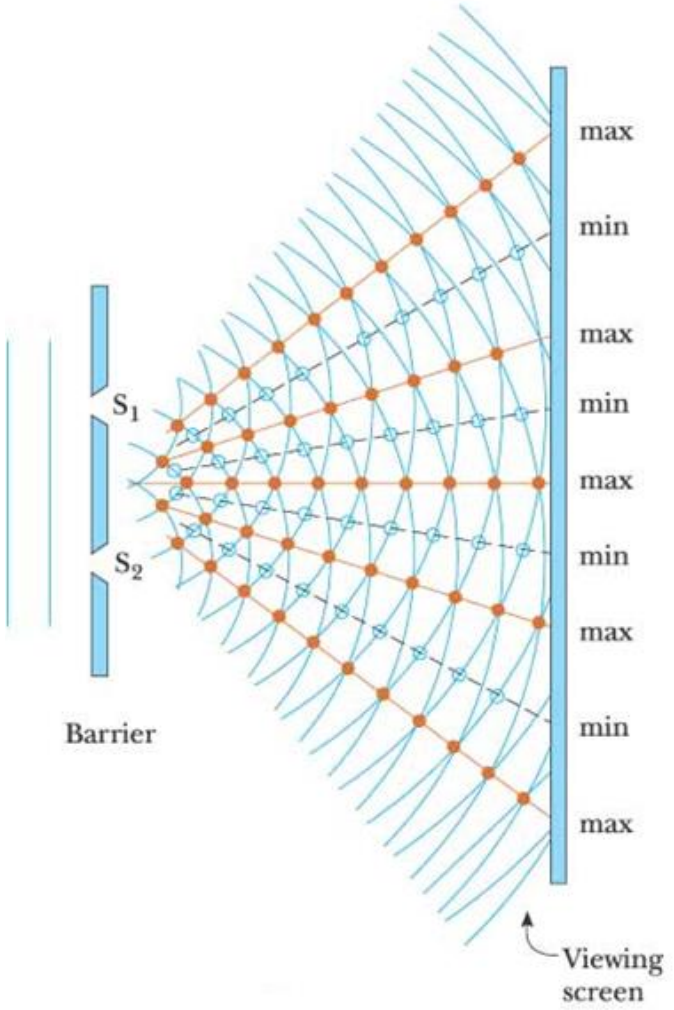
في عام 1801 اثبت يونج ظاهرة تداخل الأمواج الضوئية الصادرة من شقين ضيقين متوازيين، مما يؤدي إلى حدوث انحراف فس مساره وبالتالي حدوث فرق في المسار الضوئي بين الشعاعين النافذين من الشقين



تداخل الضوء Interference

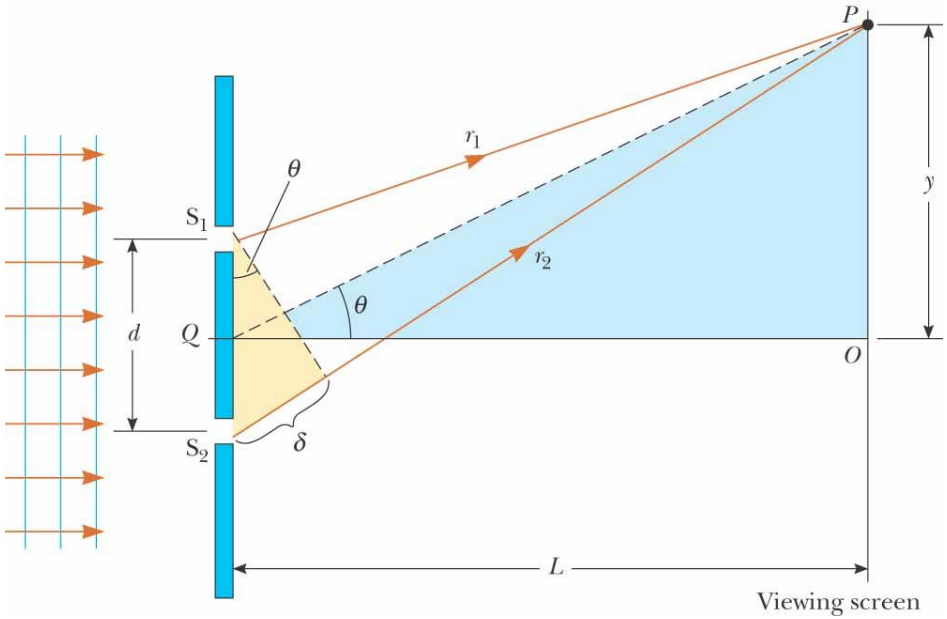
تكون الأهداب المضيئة والمظلمة بالتتابع





تداخل الضوء Interference

من الشكل: $\delta = d \sin\theta$



موقع الهدب المضيء:

$$y_b = m\frac{\lambda L}{d}$$

موقع الهدب المظلم:

$$y_d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda L}{d}$$

المسافة بين أي هدبتين متتاليتين:

$$\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$$

تداخل الضوء Interference

مثال (١٠ – ١) :

شقان متوازيان المسافة بينهما 0.8 mm سقط عليهما ضوء من ليزر الهليوم – نيون He - Ne Laser الذي له الطول الموجي 632.8 nm .

(أ) ما هو فرق الطور بين الموجتين المتداخلتين على حاجز يبعد 3.2 m عند نقطة 2 mm فوق الهدب المركزي الناصع .

(ب) ما هي نسبة الشدة عند هذه النقطة إلى الشدة عند الهدب المركزي الناصع .

الحل :

$$d = 0.8 \text{ mm}$$

$$\lambda = 632.8 \text{ nm}$$

$$L = 3.2 \text{ m}$$

$$y = 2 \text{ mm}$$

من العلاقة بين فرق الطور ϕ وفرق المسار δ .

$$\phi = k\,\delta$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

حيث k العدد الموجي .

من الشكل (١٠ – ٤) نجد أن فرق المسار δ .

$$\delta = d \sin\theta \cong d \tan\theta = d\left(\frac{y}{L}\right)$$

$$= \frac{0.8 \times 10^{-3}\ m \times 2 \times 10^{-3}\ m}{3.2\ m} = 5 \times 10^{-7}\ m$$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\,\delta = \frac{2\pi}{632.8 \times 10^{-9}\ m} \times 5 \times 10^{-7}\ m$$

$$= 4.964\ rad$$

$$\because\ 1\ rad = \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\phi = 284.4^\circ$$

(ب) الشدة عند هذه النقطة هي :

$$I = 4I_o \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) = 4I_o \cos^2\left(\frac{284.4^\circ}{2}\right)$$

$$= 4I_o(0.625)$$

والشدة عند الهدب المركزي :

$$I_{max} = 4I_o \cos^2\left(\frac{2m\pi}{2}\right)$$

تداخل الضوء Interference

عند الهدب المركزي $m = 0$

$$\therefore I_{max} = 4I_o \cos^2 0^o = 4I_o$$

$$\frac{I}{I_{max}} = \frac{4I_o(0.625)}{4I_o}$$

$$= \frac{5}{8}$$

أي أنها تساوي 0.625 من الشدة الأصلية .

تداخل الضوء Interference

مثال (١٠ – ٢) :

إذا كانت المسافة بين شقي يونج Young's double-slit هي 0.12 mm والمسافة بينهما وبين الحاجز الذي ظهرت عليه أهداب التداخل هي 55 cm وطول موجة الضوء المستخدم 546 nm ، فاحسب المسافة بين أي هدبين مضيئين متتاليين .

الحل :

المسافة بين أي هدبين مضيئين متتاليين تعطى حسب العلاقة :

$$\Delta y = \frac{\lambda L}{d} = \frac{(546\times10^{-9}\ m)(55\times10^{-2}\ m)}{0.12\times10^{-3}\ m}$$

$$= 2.5\times10^{-3}\ m$$

$$= 2.5\ mm$$

تداخل الضوء Interference

سؤال ١ ص ٤٣٤: في تجربة شقي يونج للتداخل، اذا كانت المسافة بين الشقين 0.3 mm والضوء الساقط طوله الموجي 546.1 nm، شوهدت أهداب التداخل على حاجز يبعد 1.2 m من الشقين؛ احسب المسافة:

- بين القيمة العظمى المركزية وأول هدب مضيء على أي من جهتيها؟

- بين أول وثاني هدب مظلم؟

$$\Delta Y = \frac{\lambda L}{d} = \frac{546.1\times10^{-9}\times1.2}{0.3\times10^{-3}} = 2.18\times10^{-3}\,m = 2.18mm$$

سؤال ٢ ص ٤٣٤: في تجربة شقي يونج للتداخل، استخدم ضوء ليزر فإذا كانت المسافة بين الشقين 0.5 mm، شوهدت أهداب التداخل على حاجز يبعد 3.3 m من الشقين، علما بأن القيمة العظمى الأولى تقع على بعد 3.4 mm من مركز نماذج التداخل؛ احسب الطوله الموجي لضوء اليزر؟

$$\Delta Y = \frac{\lambda L}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{\Delta Y d}{L} = \frac{3.4\times10^{-3}\times0.5\times10^{-3}}{3.3} = 515.1\times10^{-9}\,m = 515.1nm$$

تداخل الضوء Interference

سؤال ٣ ص ٣٤٣: أضيئا شقان متوازيان المسافة بينهما 0.75 mm بضوء أحادي اللون طوله الموجي 600 nm، أحسب؛

- فرق الطور بين الموجتين المتداخلتين على الحاجز الذي يبعد مسافة 3 m عند الهدب المضيء الأول الذي يبعد مسافة 2 mm من الهدب المركزي الناصع؟

- نسبة شدة الضوء عند هذه النقطة إلى شدته عند الهدب المركزي الناصع؟

d=0.75 mm λ=600 nm L=3 m ΔY=2 mm m=1

فرق المسار $$\delta = d\frac{Y}{L} = 0.75\times10^{-3}\frac{2\times10^{-3}}{3} = 5\times10^{-7}\,m$$

فرق الطور $$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta = \frac{2\pi\times5\times10^{-7}}{600\times10^{-9}} = 5.2rad$$

$$Irad = \frac{180}{\pi} \Rightarrow \varphi = 5.2\times\frac{180}{\pi} = 297.3^{O}$$

تداخل الضوء Interference

ب) الشده عند هى النقطة:

$$I = 4I_O \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

$$I = 4I_O \cos^2\left(\frac{297.3}{2}\right) = 4I_O(0.73)$$

الشده عند الهدب المركزي (m = 0):

$$I_{\max} = 4I_O \cos^2\left(\frac{2m\pi}{2}\right) \Rightarrow I_{\max} = 4I_O$$

$$\therefore \frac{I}{I_{\max}} = \frac{4I_O(0.73)}{4I_O} = 0.73$$

أي أن الشدة تساوي 0.73 من الشدة الأصلية.