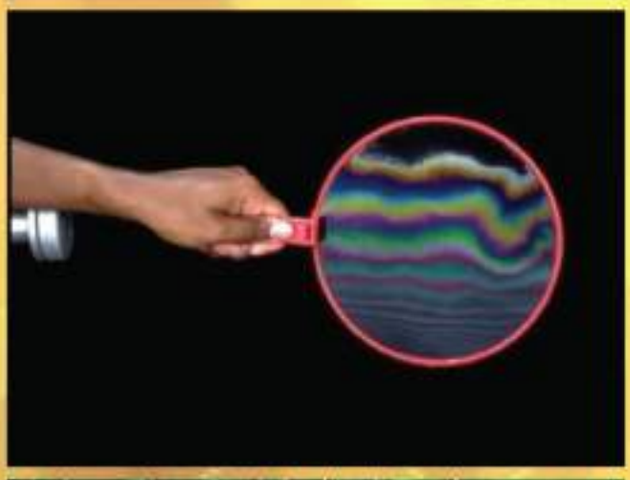
# الفصل الخامس 5

## البصريات الفيزيائية
## Physical optics



### مفردات الفصل


1-5 مقدمة

2-5 تداخل الموجات الضوئية

3-5 تجربة شقي يونك

4-5 التداخل في الاغشية الرقيقة

5-5 حيود موجات الضوء

6-5 مُحَزَّز الحيود

7-5 استقطاب الضوء

8-5 استطارة الضوء

## الأهداف السلوكية

**بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:**

- يعرف مفهوم التداخل في الضوء.
- يذكر شروط التداخل.
- يجري تجربة لتكون هدب التداخل في الضوء.
- يتعرف بعض الظواهر التي تحصل نتيجة التداخل في الضوء.
- يقارن بين حيود الضوء وتداخله من خلال استيعاب المفهومين الحيود والتداخل.
- يتعرف مضامين تجربة شقّي يونك.
- يميز بين الضوء المستقطب والضوء الاعتيادي غير المستقطب .
- يذكر بعض طرائق الحصول على الضوء المستقطب.
- يعرف مفهوم ظاهرة الاستطارة في الضوء.

| المصطلحات العلمية | |
|---|---|
| Interference of light waves | تداخل الموجات الضوئية |
| Young double Slits Experiment | تجربة شقي يونك |
| Double Slit | الشق المزدوج |
| Interference in thin Films | التداخل بالاغشية الرقيقة |
| Wave Light Diffraction | حيود موجات الضوء |
| Diffraction grating | محزز الحيود |
| Polarization of light | استقطاب الضوء |
| Polarized waves | موجات مستقطبة |
| polarizer | المستقطب |
| Analyzer | المحلل |
| Random directions | اتجاهات عشوائية |
| Polarization of Light by Reflection | استقطاب الضوء بالانعكاس |
| Brewster angle | زاوية بروستر |
| Scattering of Light | استطارة الضوء |

## 1-5 مقدمة

لقد تعرفت في دراستك السابقة على بعض الظواهر الضوئية ،وفي هذا الفصل سنتناول دراسة ظواهر أخرى كالتداخل والحيود والاستقطاب.

فماذا يقصد بهذه الظواهر؟ وكيف تحدث؟وما القوانين التي تصفها؟

## 2-5 تداخل الموجات الضوئية Interference of light waves

للتعرف على مفهوم تداخل الموجات نجري النشاط الآتي :

### نشاط (1)

#### تداخل الموجات

**أدوات النشاط:**

جهاز حوض المويجات ، مجهز قدرة، هزاز، نقار ذو رأسين مدببين بمثابة مصدرين نقطيين $(S_2،S_1)$ يبعثان موجات دائرية تنتشر على سطح الماء بالطول الموجي نفسه.

**خطوات النشاط:**

- نعد حوض المويجات للعمل إذ يمس طرفا النقار سطح الماء في الحوض.
- عند اشتغال الهزاز نشاهد طراز التداخل عند سطح الماء نتيجة تراكب الموجات الناتجة عن اهتزاز المصدرين النقطيين المتماثلين $(S_2،S_1)$ الشكل (1).

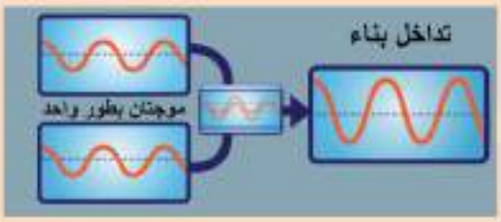
والآن، يتبادر إلى ذهننا السؤال الآتي؟ أيبعث المصدران الموضحان $(S_2،S_1)$ في الشكل (1) الموجتين بطور واحد ؟ وما نوع التداخل الحاصل؟

الشكل (1)

ومن مشاهدتنا للتداخل الحاصل للموجات عند سطح الماء يتضح لنا أن هناك نوعين من التداخل هما:

1- عندما يكون للموجتين الطور نفسه والسعة نفسها عند نقطة معينة فإن الموجتين تتحدان عند تلك النقطة لتقوي كل منهما الأخرى، وفي هذه الحالة تكون سعة الموجة الناتجة مساوية لضعف سعة أي من الموجتين

الأصليتين ويسمى هذا النوع من التداخل بالتداخل البناء، لاحظ الشكل (2-a). وهو ناتج عن تراكب قمتين أو قعرين لموجتين ينتج عنهما تقوية.



الشكل (2-a)

2- أما إذا كان التداخل ناتج عن اتحاد سلسلتين من الموجات بطورين متعاكسين وسعتين متساويتين، وهو ناتج عن تراكب قمة موجة مع قعر موجة أخرى، ينتج عن ذلك أن تأثير أحدهما يمحو تأثير الآخر أي إن سعة الموجة الناتجة تساوي صفراً. ويسمى هذا النوع من التداخل تداخل إتلاف، لاحظ الشكل (2-b).

الشكل (2-b)

وعلى هذا الأساس يمكننا القول إن التداخل في الموجات الضوئية من الصفات العامة لها، وتداخل الضوء هو ظاهرة إعادة توزيع الطاقة الضوئية الناشئة عن تراكب سلسلتين او إكثر من الموجات الضوئية المتشاكهة عند انتشارها بمستو واحد وفي ان واحد في الوسط نفسه. ويتم ذلك على وفق مبدأ تراكب الموجات، (تكون ازاحة الموجة المحصلة عند اي لحظة تساوي حاصل جمع ازاحتي الموجتين المتراكبتين عند اللحظة نفسها).

وإن التداخل المستديم بينها يحصل في الحالات الآتية:

1. إذا كانت الموجتان متشاكهتين.
2. إذا كان اهتزازهما في مستوى واحد وفي وسط واحد وتتجهان نحو نقطة واحدة وفي آن واحد.

ومن الجدير بالذكر أن المقصود بالموجات المتشاكهة في الضوء هي الموجات:

1. المتساوية في التردد.
2. المتساوية (او المتقاربة) في السعة.
3. فرق الطور بينهما ثابت.

والمسار البصري هو الازاحة التي يقطعها الضوء في الفراغ بالزمن نفسه الذي يقطعه في الوسط المادي الشفاف

ولحساب فرق المسار البصري بين موجتين ضوئيتين تنبعثان بطور واحد عن المصدرين ($S_1$،$S_2$) والواصلتين إلى النقطة (P) بدقة بعد معرفة نوع التداخل الحاصل لهذه الموجات ، علما ان فرق الطور $\Phi$ بين الموجتين الواصلتين الى النقطة P يحدده فرق المسار البصري بين تلك الموجتين على وفق العلاقة الآتية:

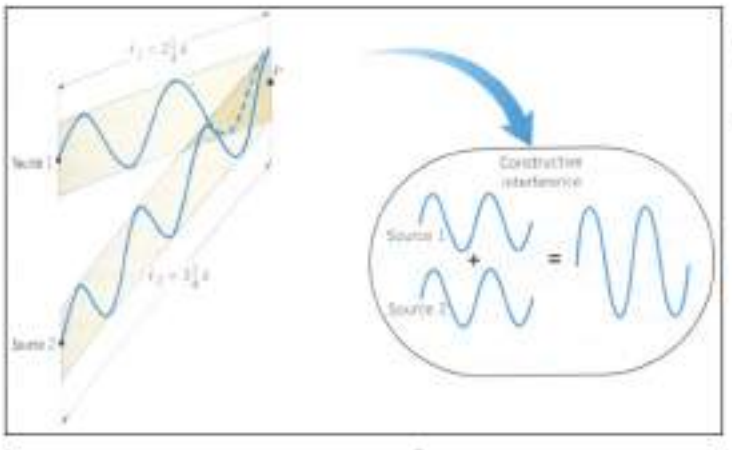
$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta\ell$$

إذ إن $\Delta\ell$ تمثل فرق المسار البصري بين الموجتين .

$\Phi$ تمثل فرق الطور بين الموجتين.

فلو كان طول المسار البصري $\ell_1 = 2.25\lambda$ للموجات المنبعثة من المصدر ($S_1$) والواصلة الى النقطة P

وطول المسار البصري $\ell_2 = 3.25\lambda$ للموجات المنبعثة من المصدر ($S_2$) والواصلة الى النقطة P ، لاحظ الشكل (3-a).
فان فرق المسار البصري للموجتين ( $\Delta\ell$ ) يكون:



الشكل (3-a) التداخل البناء

$$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1$$
$$\Delta\ell = 3.25\lambda - 2.25\lambda$$
$$\Delta\ell = 1\lambda$$

أي إن الموجتين المنبعثتين من المصدرين ( $S_2$،$S_1$ ) تصلان النقطة p في اللحظة نفسها، وتكونان متوافقتين بالطور وعندئذ يحصل بينهما تداخل بناء عند النقطة p عندما يكون فرق الطور ( $\Phi$ ) بينهما يساوي صفراً أو أعداداً زوجية من ($\pi$ rad) اي ان: $\Phi = 0\ ,\ 2\pi\ ,\ 4\pi\ ,\ 6\pi\ ,\ .....\text{rad}$

وهذا يعني أن فرق المسار البصري ( $\Delta\ell$ ) يساوي صفراً أو أعداداً صحيحة من طول الموجة

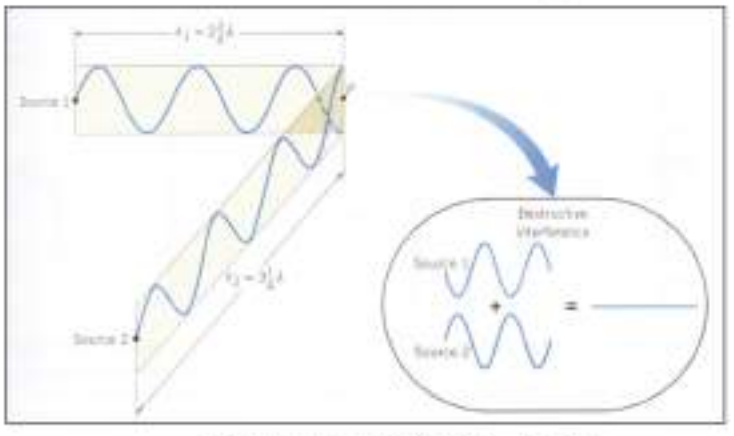
$$\Delta\ell = 0\ ,\ 1\lambda\ ,\ 2\lambda\ ,\ 3\lambda\ ,\ .....$$

وعلى هذا الأساس يكون شرط التداخل البناء هو:

$$\Delta\ell = m\lambda \qquad m = 0,1,2,3.....$$

أما إذا كان طول المسار البصري $\ell_1 = 1\lambda$ للموجات المنبعثة من المصدر $S_1$ والواصلة إلى النقطة P وطول المسار البصري $\ell_2 = 1.5\lambda$ للموجات المنبعثة من المصدر $S_2$ والواصلة إلى النقطة P.

فان فرق المسار البصري ( $\Delta\ell$ ) للموجتين يكون (لاحظ الشكل 3-b).



الشكل (3-b) تداخل الاتلاف

$$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1$$
$$\Delta\ell = 1.5\lambda - 1\lambda$$
$$\Delta\ell = 0.5\lambda$$
$$\Delta\ell = \frac{1}{2}\lambda$$

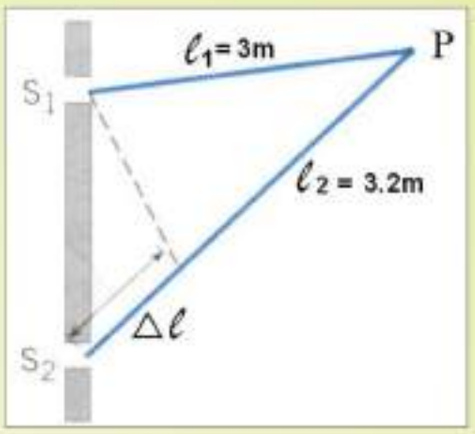
أي إن الموجتين المنبعثتين من المصدرين ( $S_2$،$S_1$ ) تصلان نقطة p في اللحظة نفسها وتتعاكسان بالطور وعندئذ يحصل بينهما تداخل إتلاف عند النقطة p عندما يكون فرق الطور بينهما $\Phi$ يساوي أعداداً فردية من ($\pi$ rad). أي إن: $\Phi = \pi\ ,\ 3\pi\ ,\ 5\pi\ ,\ .....\text{rad}$

وهذا يعني أن فرق المسار البصري ( $\Delta\ell$ ) بينهما في حالة حصول تداخل اتلاف يساوي أعداداً فردية من نصف طول الموجة أي إن: $\Delta\ell = \frac{1}{2}\lambda\ ,\ \frac{3}{2}\lambda\ ,\ \frac{5}{2}\lambda\ .....$

وعلى هذا الأساس يكون شرط تداخل إتلاف هو:

$$\Delta\ell = (m+\frac{1}{2})\lambda \qquad m = 0,1,2,3.....$$

**مثال (1)**




في الشكل المجاور مصدران $(S_2, S_1)$ متشاكهان يبعثان موجات ذات طول موجي $(\lambda = 0.1m)$ وتتداخل الموجات الصادرة عنها عند النقطة p في آن واحد.ما نوع التداخل الناتج عند هذه النقطة عندما تقطع إحدى الموجتين مساراً بصرياً قدره (3.2m) والأخرى مساراً بصرياً مقداره (3m):

**الحل**

لمعرفة نوع التداخل الحاصل بين الموجتين يتطلب إيجاد (m) من شرطي التداخل التاليين كما ذكر آنفاً:

$\Delta\ell = m\lambda$

$\Delta\ell = (m+\frac{1}{2})\lambda$

$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1 \Rightarrow \Delta\ell = 3.2 - 3$

$\Delta\ell = 0.2m$ فرق المسار البصري

الاحتمال الاول: $\Delta\ell = (m+\frac{1}{2})\lambda$

$0.2 = (m+\frac{1}{2})\times 0.1 \Rightarrow 2 = m+\frac{1}{2}$

$\therefore m = 1\frac{1}{2}$

وهذا لا يحقق شرط التداخل الإتلاف لان قيم (m) يجب أن تكون أعداداً صحيحة مثل (0.1.2.3. . .):

الاحتمال الثاني: $\Delta\ell = m\lambda \qquad m = 0,1,2,3.....$

$0.2 = m\times 0.1 \Rightarrow m = 2$

وهذا يحقق شرط التداخل البناء لان قيم m اعداد صحيحة.

أي ان:

$m = 0,1,2,3,...$

**سؤال:**

بالنسبة الى المثال السابق ماذا يحصل عندما:

a- تقطع إحدى الموجتين مساراً بصرياً مقداره (3.2m) والأخرى تقطع مساراً بصرياً مقداره (3.05m).

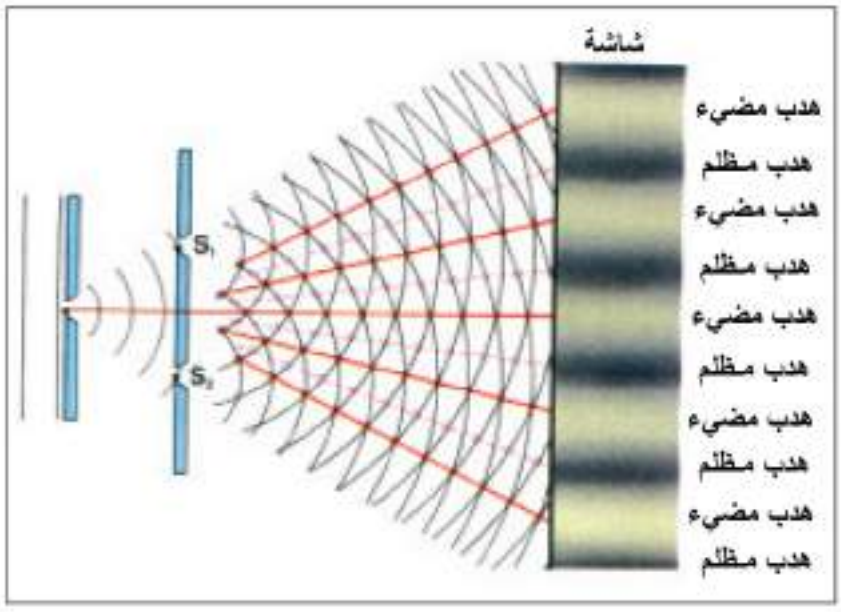
b- تقطع إحدى الموجتين مساراً بصرياً مقداره (3.2m) والأخرى تقطع مساراً بصرياً مقداره (2.95m).

ملاحظة : يمكن حل السؤال بطريقة أخرى باستخدام معادلة فرق الطور.

## 3-5 تجربة شقي يونك Young double slits Experiment

استطاع العالم يونك أن يثبت من خلال تجربته التي أجراها عام 1801 الطبيعة الموجية للضوء إذ تمكن من حساب الطول الموجي للضوء المستعمل في التجربة ،

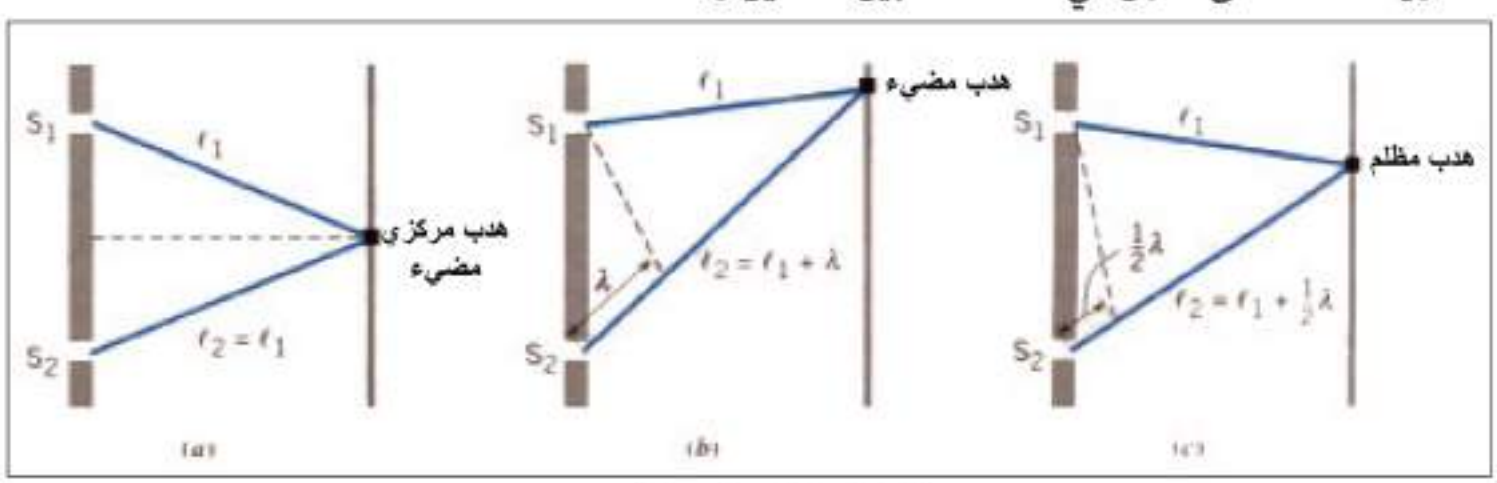
وقد استعمل في تجربته حاجزاً ذا شق ضيق أضيء بضوء أحادي اللون ومن ثم يسقط الضوء على حاجز يحتوي شقين متماثلين ضيقين يسميان بالشق المزدوج (double slit) يقعان على بعدين متساويين عن شق الحاجز الأول، ثم وضع على بعد بضعة أمتار منهما شاشة. وكانت النتيجة التي حصل عليها العالم يونك هي ظهور مناطق مضيئة ومناطق معتمة على التعاقب سميت بالهُدب. لاحظ الشكل (4). وهنا نتساءل عن كيفية تكوّن الهُدب المضيئة والهدب المظلمة في تجربة يونك.




الشكل (4) تجربة شقي يونك

للإجابة عن ذلك اعتمد الشكل (5) وحاول ان تفسر سبب حصول هذه الهُدب من خلال تذكرك لشروط حصول كل من التداخل البناء والتداخل الإتلاف اللذين تعلمتهما سابقاً .إن الشقين ($S_1$،$S_2$) المضاءين بضوء أحادي اللون هما مصدران ضوئيان متشاكهان والموجات الصادرة عنهما يكون فرق الطور فيها ثابتا في الأزمان جميعها، وهذا هو الشرط الأساسيّ لحصول التداخل، وإن نوع التداخل في أية نقطة يعتمد على الفرق بين طول مساريهما البصريين للوصول إلى تلك النقطة.

والشكل (5) يوضح ذلك إذ نلاحظ في الجزئين (a-b) تكون هُدبا مضيئة في حين في الجزء (c) يتكون هداباً مظلماً. ويعتمد ذلك على الفرق في المسافات بين الشقين والشاشة.




الشكل (5) تكون الهدب

والسؤال الآن: أين تكون مواقع الهُدب المضيئة والهُدب المظلمة على الشاشة؟ بما أن البعد بين الشقين (d) صغير جداً مقارنة ببعدهما عن الشاشة (L) (أي إن: d<<L)، وعليه فإن فرق المسار البصري بين الشعاعين المبين في

الشكل (6) يعطى بالعلاقة الآتية :

فرق المسار البصري = $d \sin\theta$

من هنا فان شرط التداخل البناء الحصول على هُداب مضيئة هو: $d \sin\theta = m\lambda$

في حين نحصل على هُداب معتمة (ناتجة عن التداخل الإتلاف) اذا كانت :

$$d \sin\theta = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

إذ إن $m$ عدد صحيح:

$$m = 0, \pm1, \pm2, \pm3, .....$$

ولحساب بعد مركز الهداب المضيء أو المظلم عن مركز الهداب المركزي المضيء $(y)$ على وفق العلاقة الآتية:

$$\tan\theta = \frac{y}{L}$$

إذ $\theta$ تمثل زاوية الحيود.

$y$ يمثل بعد مركز الهداب المضيء او المظلم عن مركز الهداب المركزي المضيء.

$L$ يمثل بعد الشاشة عن حاجز الشقين، لاحظ الشكل (6).

ومن الجدير بالذكر أن تجربة يونك تعد تجربة مهمة من الناحية العملية في قياس طول الموجة ( $\lambda$ ) للضوء الأحادي اللون المستعمل.

ولكون زاوية الحيود $\theta$ صغيرة فان:

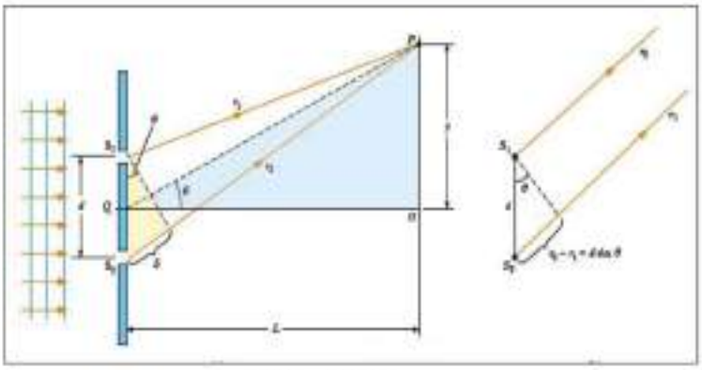
$$\tan\theta \cong \sin\theta$$

عندها يصبح: $y = L\tan\theta \cong L\sin\theta$

وعندها يمكن تعيين مواقع الهدب المضيئة والمعتمة عن المركز O كما يأتي:

للهُدب المضيئة $\quad y_m = \frac{\lambda L}{d} m \quad , \quad (m = 0, \pm1, \pm2, .....)$

للهُدب المظلمة $\quad y_m = \frac{\lambda L}{d}(m + \frac{1}{2}) \quad , \quad (m = 0, \pm1, \pm2, .....)$



الشكل (6)

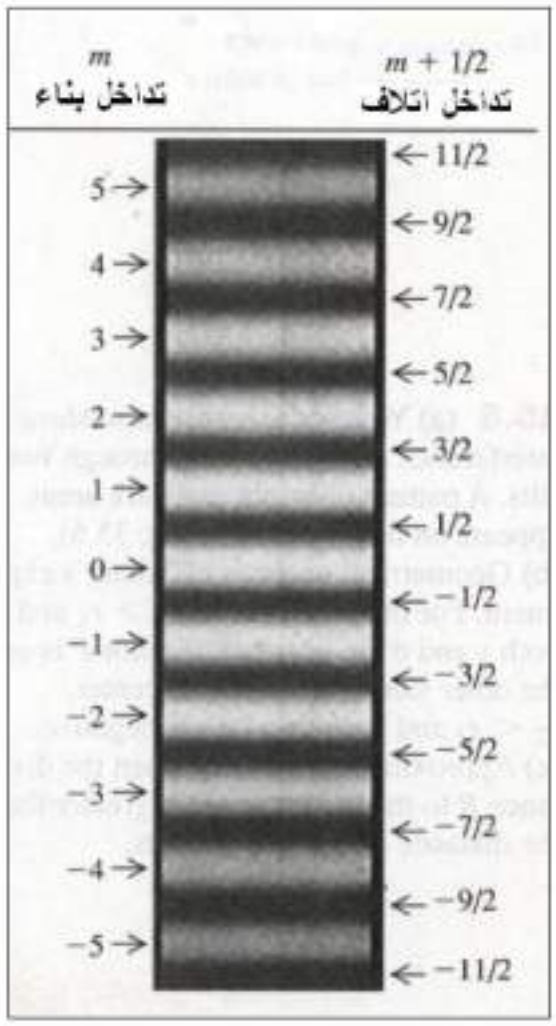
والشكل (7) يوضح مواقع هدب التداخل الحاصلة على الشاشة.

وان الفواصل بين الهدب المتجاورة تسمى فاصلة الهدب $\Delta y$ (fringe spacing)وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta y = y_{m+1} - y_m$$

$$\Delta y = \frac{(m+1)\lambda L}{d} - \frac{m\lambda L}{d}$$

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



الشكل (7) يوضح مواقع هدب التداخل

**تذكر**

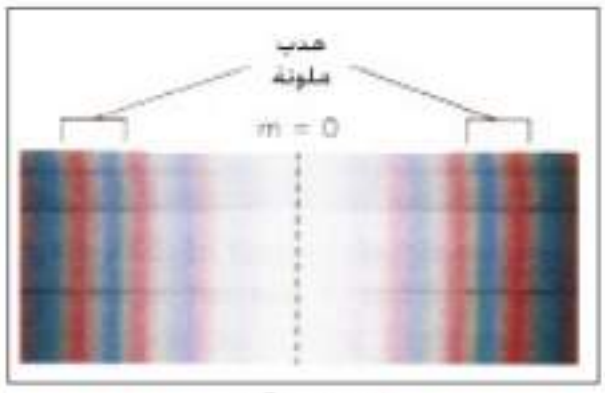
1- يزداد مقدار فاصلة الهدب ( $\Delta y$ ) عندما يزداد بعد الشقين عن الشاشة ($L$).

2- يزداد مقدار فاصلة الهدب ( $\Delta y$ ) إذا قل البعد بين الشقين ($d$).

3- يزداد مقدار فاصلة الهدب ( $\Delta y$ ) عند ازدياد الطول الموجي للضوء الاحادي المستعمل في تجربة يونك.

لعلك تسأل ؟ لو استعمل الضوء الأبيض في تجربة يونك. فكيف يظهر لون الهداب المركزي المضي ؟ وكيف تظهر بقية الهدب المضيئة على جانبي الهداب المركزي المضي ؟

يظهر الهداب المركزي بلون أبيض وعلى كل من جانبيه تظهر أطياف مستمرة للضوء الأبيض يتدرج كل طيف من اللون البنفسجي الى اللون الأحمر. لاحظ الشكل (8).



الشكل (8)

وماذا تتوقع أن يحصل إذا كان المصدران الضوئيان غير متشاكهين ؟ فهل يحصل التداخل البناء والإتلاف ؟

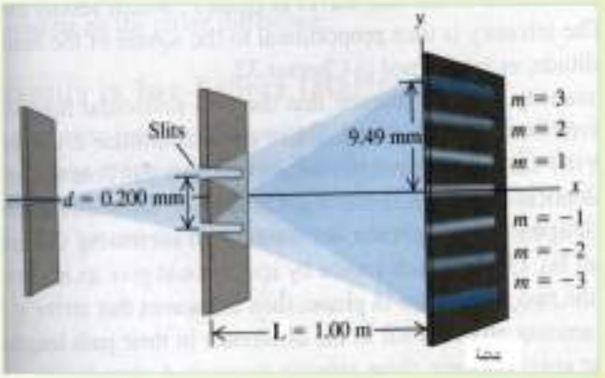
الحقيقة يحصل التداخل البناء والإتلاف بالتعاقب وبسرعة كبيرة جداً لا تدركهما العين، لان كلاً من المصدرين يبعث موجات بأطوار عشوائية متغيرة بسرعة فائقة جداً فلا يمكن الحصول على فرق ثابت في الطور بين الموجات المتداخلة في أية نقطة من نقاط الوسط، لذا تشاهد العين إضاءة مستديمة بسبب صفة دوام الإبصار.

**فكر:**

في حالة استعمالك لضوءٍ أحمر في تجربة شقي يونك ستشاهد أن المسافات بين هداب التداخل أكبر مما هي عليه في حال استعمال الضوء الأزرق، لماذا؟

## مثال (2)

إذا كان البعد بين شقي تجربة يونك يساوي 0.2mm وبعد الشاشة عنهما يساوي 1m، وكان البعد بين الهدب الثالث المضيء عن الهدب المركزي يساوي 9.49mm، لاحظ الشكل (9). احسب طول موجة الضوء المستعمل في هذه التجربة؟




الشكل (9)

### الحل

بتطبيق العلاقة الآتية :

للهدب المضيئة

$$\lambda = \frac{y_m d}{mL} = \frac{(9.49\times10^{-3}m)(0.2\times10^{-3}m)}{(3)(1m)}$$

$$\lambda = 633\times10^{-9}m$$

$$\lambda = 633nm$$

**فكر:**

هل أن الهدب المضيء الثالث ($m = -3$) يعطي الطول الموجي نفسه؟

## مثال (3)

في الشكل المجاور، استعمل ضوء أحمر طوله الموجي ($\lambda$=664 nm) في تجربة يونك وكان البعد بين الشقين ($d=1.2\times10^{-4}$ m) وبعد الشاشة عن الشقين (L=2.75 m). جد المسافة y على الشاشة بين الهدب المضي ذي المرتبة الثالثة عن الهدب المركزي. علماً ان $\sin 0.951^\circ = 0.0166$ $\tan 0.951 = 0.0166$

### الحل

نحسب أولاً قياس الزاوية $\theta$ للمرتبة المضيئة الثالثة (m=3)

$$d \sin\theta = m\lambda$$

$$1.2\times10^{-4}\sin\theta = 3\times664\times10^{-9}$$

$$\sin\theta = 0.0166$$

$$\theta = 0.951^\circ$$

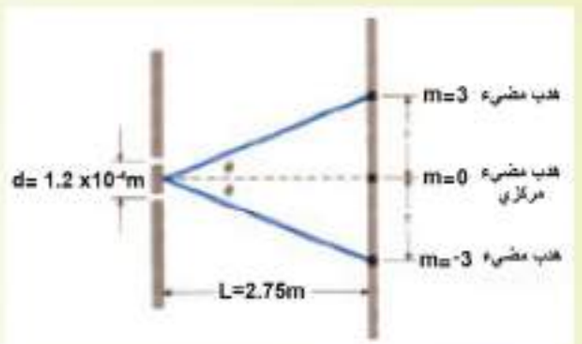
ومنها نجد أن:

$$y = L\times\tan\theta$$

$$y = 2.75\times\tan 0.951$$

$$y = 0.0456\ m$$

$$y = 4.56\ cm$$



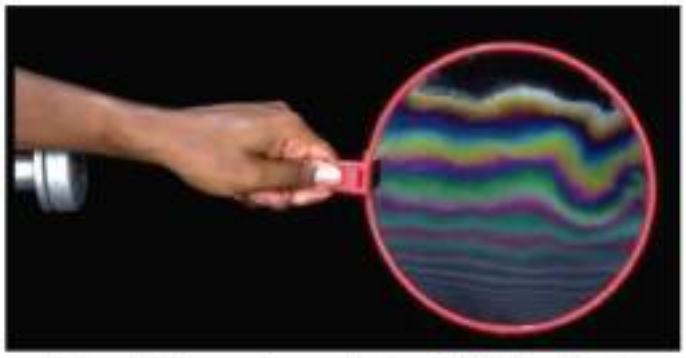

بعد الهداب المضيء ذي المرتبة

الثالثة عن الهداب المركزي المضيء

يمكن حل السؤال بطريقة اخرى من خلال استعمال القانون: $y_m = \frac{mL\lambda}{d}$

## 4-5 التداخل في الغشية الرقيقة Interference in thin films

في حياتنا اليومية نشاهد أحياناً تلون بقع الزيت الطافية على سطح الماء بألوان زاهية، أو نشاهد أغشية فقاعة الصابون ملونة بألوان الطيف الشمسي لاحظ الشكل (10)، وسبب ذلك التداخل بين موجات الضوء الأبيض المنعكسة عن السطح الأمامي والسطح الخلفي للغشاء الرقيق.



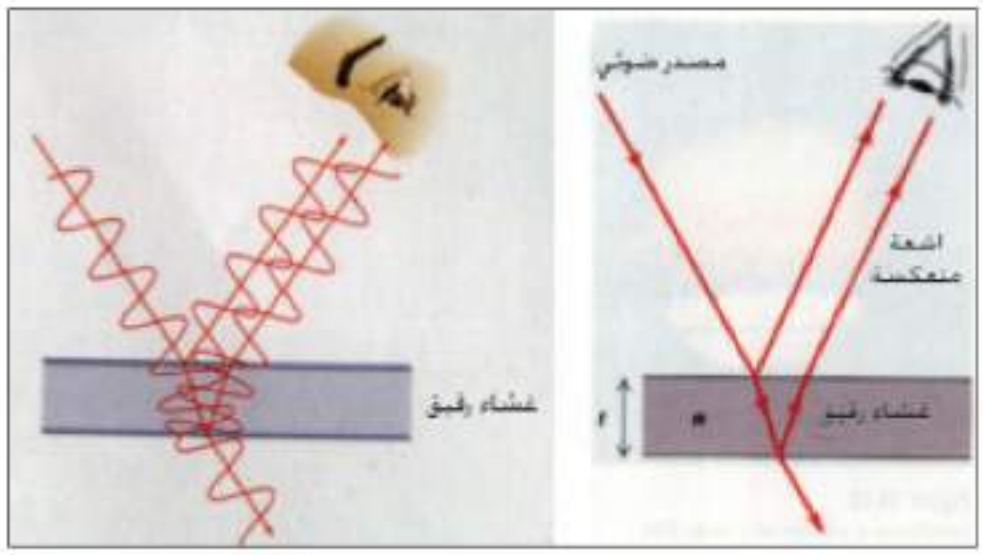
الشكل (10) التداخل في الاغشية الرقيقة

أن التداخل في الأغشية الرقيقة يتوقف على عاملين هما:

a- سمك الغشاء: إذ إن الموجات المنعكسة عن السطح الخلفي للغشاء تقطع زيادة على الذي تقطعه الموجات المنعكسة عن السطح الامامي مساراً يساوي ضعف سمك الغشاء.

b- انقلاب الطور: فالموجات المنعكسة عن السطح الأمامي يحصل لها انقلاباً في الطور مقداره ($\pi$ rad).

وللتعرف على مفهوم التداخل في الأغشية الرقيقة لاحظ الشكل (11) اذ يبين أن الموجات الضوئية الساقطة على الغشاء ينعكس قسمٌ منها عن السطح الأمامي للغشاء وتعاني انقلاباً في الطور مقداره ($\pi$ rad) لان كل موجة تنعكس عن وسط معامل انكساره أكبر من الوسط الذي قدمت منه يحصل لها انقلاباً في الطور بمقدار ($180^{\circ}$)، اما القسم الاخر من الضوء فان موجاته تنفذ في الغشاء وتعاني انكساراً، وعند انعكاسها عن السطح الخلفي للغشاء (الذي سمكه t) لاتعاني انقلاباً في الطور ، بل تقطع زيادة على ذلك مساراً بصرياً يساوي ضعف السمك البصري للغشاء (2nt). فيحصل تداخل بين الموجتين المتعاكستين عن السطح الامامي والسطح الخلفي وحسب مقدار فرق الطور.




الشكل (11) التداخل في الاغشية الرقيقة

فاذا كان السمك البصري للغشاء (nt) مساوياً للاعداد الفردية لربع طول موجة الضوء الاحادي الساقط $(1\times\frac{1}{4}\lambda, 3\times\frac{1}{4}\lambda, 5\times\frac{1}{4}\lambda, 7\times\frac{1}{4}\lambda, \ldots)$ سيكون التداخل بناءً على وفق العلاقة الآتية :

$$2nt+\frac{1}{2}\lambda=\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \ldots$$

أي إن: $nt = (1\times\frac{1}{4}\lambda, 3\times\frac{1}{4}\lambda, 5\times\frac{1}{4}\lambda, 7\times\frac{1}{4}\lambda, ...)$

إذ يظهر الغشاء مضاء بلون الضوء الساقط عليه (تداخل بناء).

أما إذا كان السمك البصري للغشاء (nt) مساوياً للاعداد الزوجية لربع طول موجة الضوء الاحادي الساقط $(2\times\frac{1}{4}\lambda, 4\times\frac{1}{4}\lambda, 6\times\frac{1}{4}\lambda, 8\times\frac{1}{4}\lambda, ...)$ سيكون التداخل اتلافي على وفق العلاقة الآتية :

$$2nt + \frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda, ...$$

$$2nt = 0, \frac{2}{2}\lambda, \frac{4}{2}\lambda, \frac{6}{2}\lambda, ...$$

أي إن:

$$nt = 0, \frac{2}{4}\lambda, \frac{4}{4}\lambda, \frac{6}{4}\lambda, ...$$

إذ يظهر الغشاء مظلماً (تداخل اتلاف).

**تذكر**

طول موجة الضوء $\lambda_n$ في وسط ما معامل انكساره (n) يعطى بـ :

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

## 5-5 حيود موجات الضوء

هل جربت يوما أن تنظر الى مصباح مضيء من خلال إصبعين من أصابع يدك عند تقريبهما من بعضهما او النظر الى ضوء الشمس من خلال تقريب رموش عينيك لتشاهد حزم مضيئة ومظلمة بالتعاقب نتيجة حيود الضوء وتداخله. وللتعرف على ظاهرة حيود الضوء نجري النشاط الآتي :

### نشاط (2)

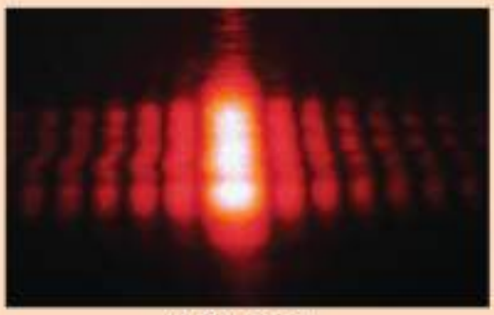
**حيود الضوء**

**أدوات النشاط:**

لوح زجاج ، دبوس ، دهان أسود ، مصدر ضوئي أحادي اللون.

**خطوات النشاط:**

- ادهن لوح الزجاج بالدهان الأسود .
- اعمل شقا رفيعا في لوح الزجاج باستعمال رأس الدبوس .



الشكل (12)

- انظر من خلال الشق إلى المصدر الضوئي، ماذا تلاحظ؟

ستلاحظ مناطق مضيئة تتخللها مناطق معتمة وان المنطقة الوسطى عريضة وشديدة الإضاءة وان الهدب المضيئة تقل شدتها بالتدريج عند الابتعاد عن الهداب المركزي المضيء.

إن ظهور مناطق مضيئة وأخرى مظلمة على جانبي الفتحة تدل على أن الضوء يحيد عن مساره، لاحظ الشكل (12).

إن شروط الحصول على هدب معتمة او هدب مضيئة هو كما يأتي:

- الشرط اللازم للحصول على هدب معتم هو :

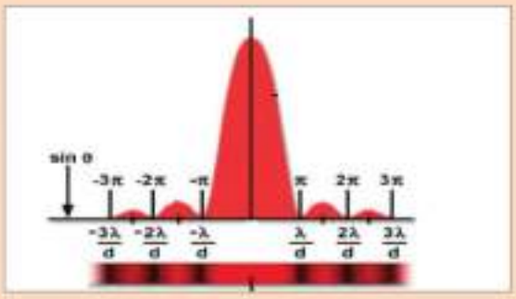
$$\ell . \sin\theta = m\lambda$$

- الشرط اللازم للحصول على هدب مضيء هو :

$$\ell . \sin\theta = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

$\ell$ يمثل عرض الشق

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




الشكل (13) شدة اضاءة الهدب على الحاجز

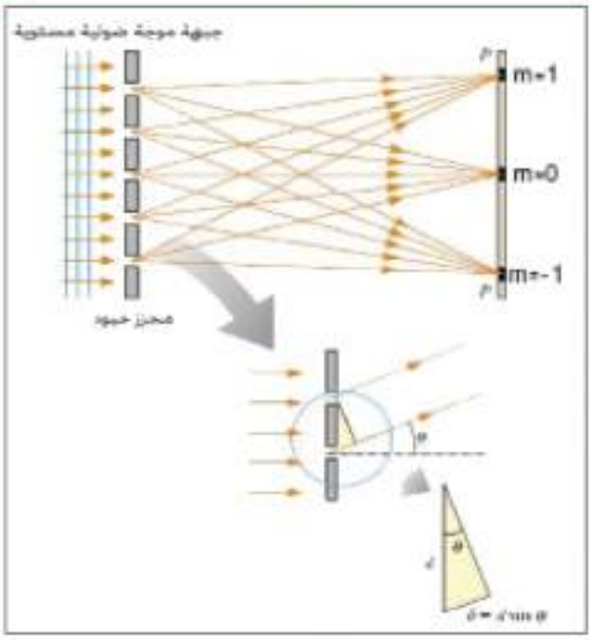
ويوضح الشكل (13) شدة الإضاءة للهدب على الحاجز والتي تكون في قيمتها العظمى عند النقطة المركزية وتقل شدة الإضاءة للهدب كلما ازداد بعدها عن النقطة المركزية.

## 6-5 محزز الحيود Diffraction grating

محزز الحيود أداة مفيدة في دراسة الاطياف وتحليل مصادر الضوء وقياس الطول الموجي للضوء إذ يتألف من عدد كبير من الحزوز المتوازية ذوات الفواصل المتساوية، ويمكن صنع المحزز بوساطة طبع حزوز على لوح زجاج في ماكنة تسطير بالغة الدقة، فالفواصل بين الحزوز تكون شفافة إذ تعمل عمل شقوق منفصلة والحز يُعد منطقة مظلمة.

تتراوح عدد الشقوق في السنتمتر الواحد بين (1000 - 10000) line، حز (line) لكل (cm).

وعليه فان ثابت المحزز (d) صغير جدا ويمثل (d) المسافة بين كل حزين متتاليين لاحظ الشكل (14).




الشكل (14) محزز الحيود

فلو كان للمحزز $5000\frac{\text{line}}{\text{cm}}$ مثلاً فان ثابت المحزز يكون:

$$d = \frac{\text{عرض المحزز } (W)}{\text{عدد الحزوز } (N)}$$

$$d = \frac{W}{N}$$

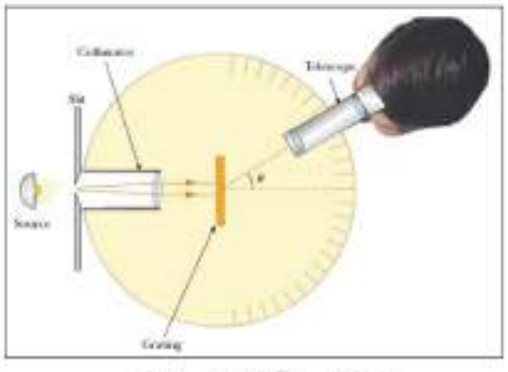
ومنها: $\mathbf{d = \frac{1cm}{5000} = 2 \times 10^{-4} cm}$

إن فرق المسار البصري بين الشعاعين الخارجين من أي شقين متجاورين في محزز الحيود مساويا إلى $(d \sin\theta)$.

فإذا كان هذا الفرق مساويا إلى طول موجة واحدة $(\lambda)$ أو أعداد صحيحة من طول الموجة $(m\lambda)$ فان الموجات تكون نتيجة تداخلها هدب مضيئة على الشاشة على وفق العلاقة الآتية:

$$d \sin\theta = m\lambda \quad , \quad m = \pm 1 , \pm 2 , \pm 3 , \ldots$$

يمكن استعمال العلاقة أعلاه لحساب الطول الموجي لضوء أحادي اللون باستعمال جهاز يسمى المطياف (spectrometer) لاحظ الشكل (15).



الشكل (15) المطياف

**مثال (4)**

ضوء أحادي اللون من ليزر هيليوم – نيون طوله الموجي $(\lambda = 632.8\ nm)$ يسقط عموديا على محزز حيود يحتوي السنتمتر الواحد منه على $(6000\ line)$. جد زوايا الحيود $(\theta)$ للمرتبة الأولى والثانية المضيئة.

علماً ان $\sin 49^\circ = 0.7592$ , $\sin 21.3^\circ = 0.3796$

**الحل**

$$d = \frac{W}{N}$$

$$d = \frac{1cm}{6000}$$

$$d \text{ (ثابت المحزز)} = 1.667 \times 10^{-4} cm$$

(1) للهدب المضيئة $(m=1)$

$$d \sin\theta = m\lambda$$

$$1.667 \times 10^{-4} cm \times \sin\theta_1 = 1 \times 632.8 \times 10^{-7} cm$$

$$\sin\theta_1 = \frac{1 \times 632.8 \times 10^{-7} cm}{1.667 \times 10^{-4} cm}$$

$$\sin\theta_1 = 0.3796$$

ومنها :

$\theta_1 = 21.3^\circ$ وتمثل زاوية حيود المرتبة الاولى المضيئة .

(2) (m=2) للهدب المضيئة

$$d \sin\theta = m\lambda$$

$$1.667\times10^{-4} cm \times \sin\theta_2 = 2\times632.8\times10^{-7} cm$$

$$\sin\theta_2 = 0.7592$$

ومنها $\theta_2 = 49^\circ$ وهي تمثل زاوية حيود المرتبة الثانية المضيئة.

## 7-5 استقطاب الضوء Polarization of Light

عند دراستك لظاهرتي الحيود والتداخل تبين لك أن هاتين الظاهرتين تثبت الطبيعة الموجية للضوء، إلا أنهما لم تثبتا حقيقة الموجة الضوئية أطولية هي أم مستعرضة ؟ ولفهم ذلك نقوم بإجراء النشاط الآتي:

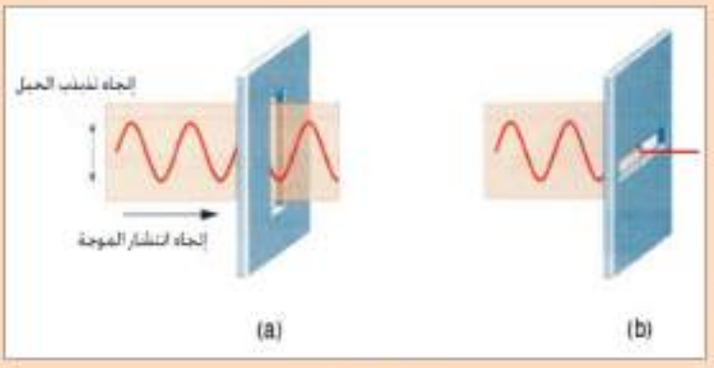
### نشاط (3)

### استقطاب الموجات

**أدوات النشاط:** حبل مثبت من أحد طرفيه بجدار ، حاجز ذو شق.

**خطوات النشاط:**

- نمرر الطرف السائب من الحبل عبر شق الحاجز. ونجعل الشق طوليا نحو الاعلى وعموديا مع الحبل.
- نشد الحبل ثم ننتره لتوليد موجة مستعرضة منتقلة فيه. نشاهد أن الموجة المستعرضة قد مرت من خلال الشق. لاحظ الشكل (16-a)
- نجعل الشق بوضع أفقي ثم نشد الحبل وننتره، نشاهد أن الموجة المستعرضة المتولدة في الحبل لا يمكنها المرور من خلال الشق . لاحظ الشكل (16-b)




الشكل (16)

يمكنك التوصل إلى النتيجة نفسها مع موجات الضوء، إذا استعملت شريحة من التورمالين وهي مادة شفافة تسمح بمرور موجات الضوء الذي يكون تذبذب مجاله الكهربائي بالاتجاه العمودي وتحجب موجات الضوء الذي يكون تذبذب مجاله الكهربائي بالاتجاه الأفقي على الشق وذلك بامتصاصها داخليا. ولمعرفة ذلك قم بإجراء النشاط الآتي:

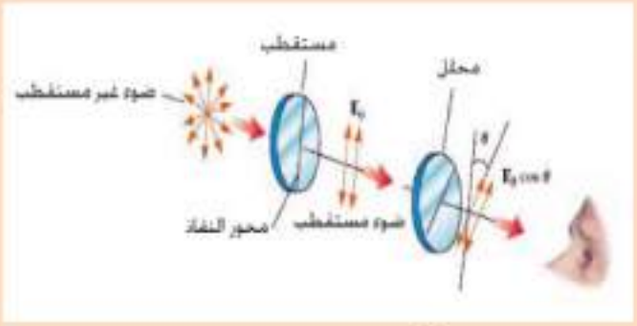
## نشاط (4)

### استقطاب موجات الضوء

**أدوات النشاط:** شريحتان من التورمالين ، مصدر ضوئي

**خطوات النشاط:**

- خذ شريحة من التورمالين وضعها في طريق مصدر الضوء.
- قم بتدوير الشريحة حول المحور المار من وسطها والعمودي عليها، ولاحظ هل يتغير مقدار الضوء النافذ ؟
- ضع شريحتين من التورمالين كما موضح في الشكل (17).
- ثبت إحدى الشريحتين، دور الشريحة الأخرى ببطء حول الحزمة الضوئية ولاحظ شدة الضوء النافذ كما موضح في الشكل (17).




الشكل (17) استقطاب موجات الضوء

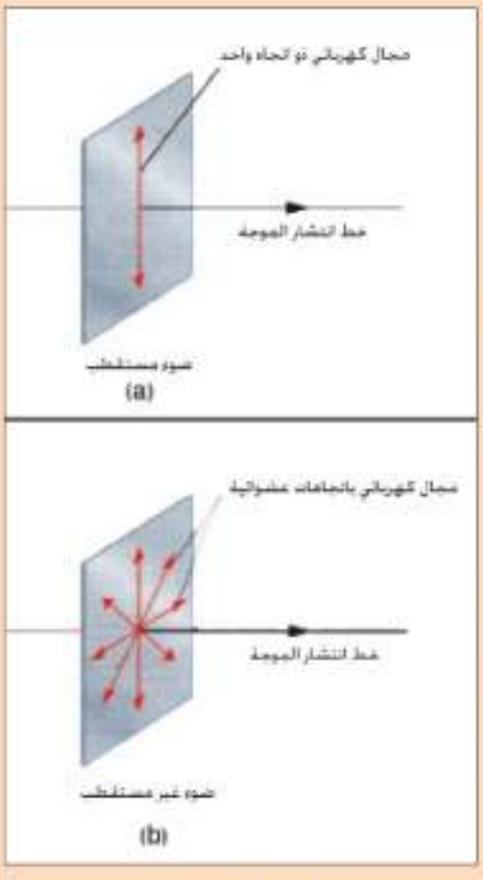
وقد تتساءل لماذا تتغير شدة الإضاءة عند تدوير الشريحة الثانية مع العلم أن لها التركيب نفسه ؟

إن الضوء غير المستقطب هو موجات مستعرضة يهتز مجالها الكهربائي في الاتجاهات جميعها، وبلورة التورمالين تترتب فيها الجزيئات بشكل سلسلة طويلة، إذ لا يسمح بمرور الموجات الضوئية إلا إذا كان مستوى اهتزاز مجالها الكهربائي عمودي على خط السلسلة بينما تقوم بامتصاص باقي الموجات وهذه العملية تسمى الاستقطاب (Polarization) والموجات الضوئية تسمى موجات ضوئية مستقطبة (Polarized Waves).

وتسمى الشريحة التي تقوم بهذه العملية المستقطب (polarizer) والشريحة الثانية بالمحلل (analyzer).

في حالة الضوء المستقطب فيكون تذبذب المجال الكهربائي للموجات الكهرومغناطيسية باتجاه واحد، لاحظ الشكل (18-a).

أما في حالة الضوء غير المستقطب فيكون تذبذب مجالها الكهربائي باتجاهات عشوائية (Random Directions) وفي مستويات متوازية عمودية على خط انتشار الموجة. لاحظ الشكل (18-b).

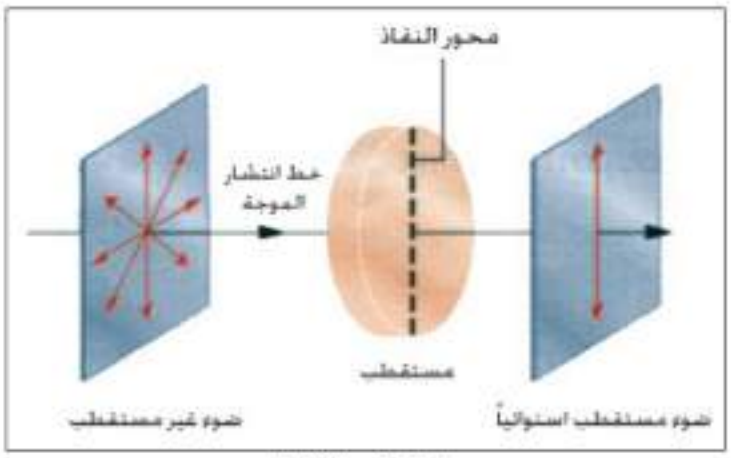



الشكل (18)

بمساعدة بعض المواد المستقطبة للضوء مثل (التورمالين الكالسايت) يمكن الحصول على الضوء المستقطب من الضوء غير المستقطب.

يكون اتجاه محور النفاذ للمادة المستقطبة هو اتجاه استقطاب الضوء نفسه والمار خلال المادة لاحظ الشكل (19).

وللتعرف على تاثير المادة المستقطبة في شدة الضوء النافذ من خلالها نجري النشاط الآتي :




الشكل (19)

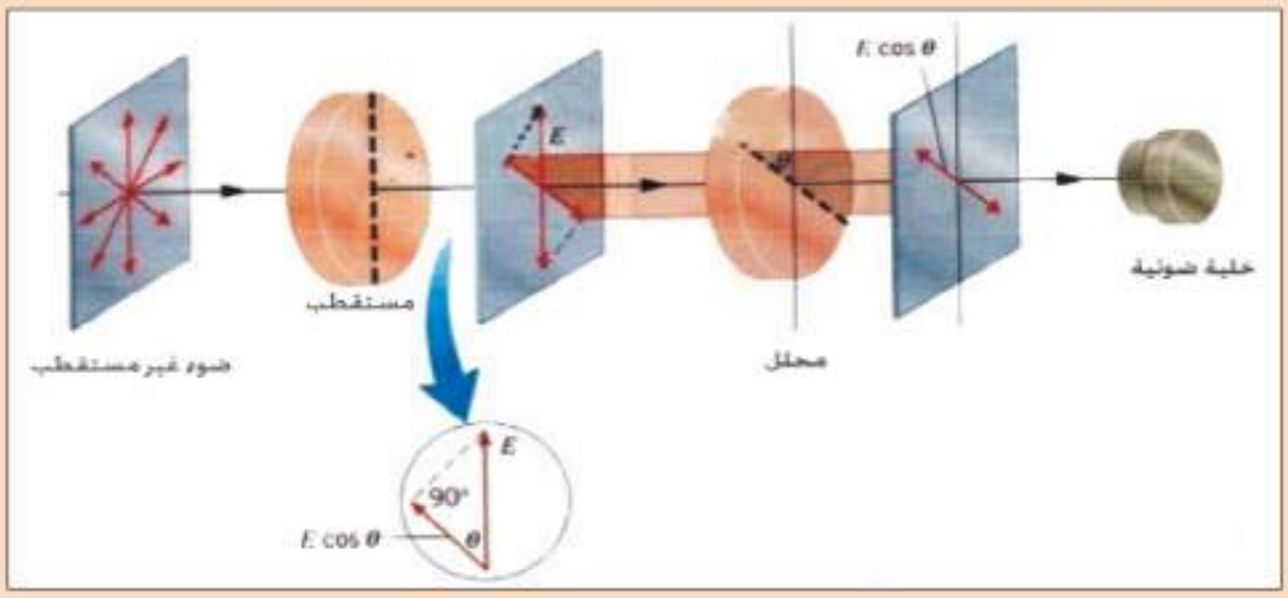
## نشاط (5)

### المادة المستقطبة وشدة الضوء المستقطب النافذ من خلالها

**أدوات النشاط:** مصدر ضوئي أحادي اللون ، شريحتان من مادة التورمالين، خلية ضوئية.

**خطوات النشاط:**

- نضع المصدر الضوئي أمام اللوح المستقطب ثم نضع اللوح الثاني المحلل خلفه نلاحظ تناقص شدة الضوء النافذ خلال اللوحين.
- نقوم بتدوير اللوح المحلل حتى تنعدم شدة الضوء تماماً. لاحظ الشكل (20).




الشكل (20) يوضح المادة المستقطبة وشدة الضوء المستقطب

**نستنتج من ذلك:**

أن الضوء النافذ من خلال اللوح المستقطب قد استقطب أستوائياً وقلت شدته، وعند نفوذه من اللوح المحلل قلت شدته أكثر.

عند تدوير اللوح المحلل عند وضع معين له نجد أن شدة الضوء تختفي تماماً عند النظر من خلاله وهذا يدل على أن الضوء المستقطب قد حجبه المحلل بالكامل، لاحظ الشكل (20).

## طرائق الاستقطاب في الضوء Polarization Methods In Light

يمكن الحصول على حزمة ضوئية مستقطبة خطياً (استوائياً أو كلياً) من حزمة ضوئية غير مستقطبة.

هنا نتساءل كيف ؟ وما التقنيات المستعملة لهذا الغرض ؟

يمكن ذلك بوساطة إزالة معظم الموجات من الحزمة الضوئية (غير المستقطبة) ما عدا تلك التي مجالها الكهربائي يتذبذب في مستوٍ واحد منفرد ، وأن معظم التقنيات الشائعة الاستعمال للحصول على ضوء مستقطب باستعمال مواد تُنفذ الموجات التي تتذبذب مجالاتها الكهربائية في مستو موازٍ لاتجاه معين وهو المحور البصري وتمتص تلك الموجات التي تتذبذب مجالاتها الكهربائية بالاتجاهات الأخرى. ومن طرائق الاستقطاب في الضوء:

### 1- الاستقطاب بالامتصاص الانتقائي Polarization By Selective Absorption

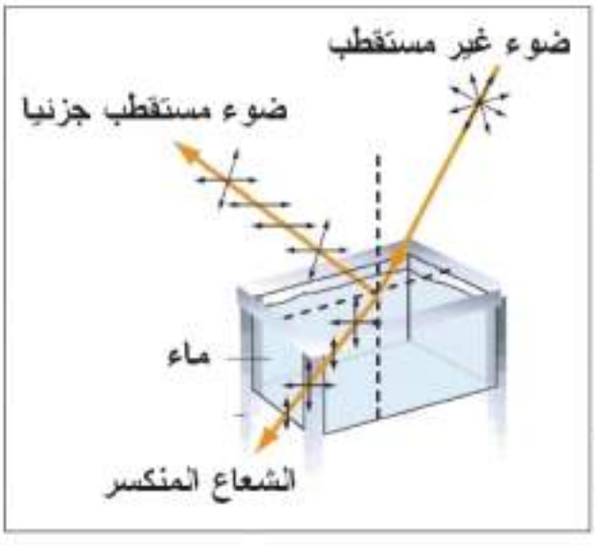
لقد اكتشفت مواد تسمى بالقطبية والتي تستقطب الضوء عن طريق الامتصاص الانتقائي، إذ تصنع هذه المواد بهيئة ألواح رقيقة ذات سلسلة هيدروكاربونية طويلة وتكون الألواح ممتدة خلال تصنيعها إذ تتراصف جزيئات السلسلة الطويلة لتكوّن محور بصري لنفاذ الضوء والتي يكون مجالها الكهربائي عموديا على محورها البصري.

ومن الجدير بالذكر أن هناك مواداً تسمى بالمواد النشطة بصرياً مثل (بلورة الكوارتز، سائل التربنتين ، محلول السكر في الماء).

هذه المواد لها القابلية على تدوير مستوى الاستقطاب للضوء المستقطب عند مروره من خلالها بزاوية تسمى بزاوية الدوران البصري الـتي تعتمد على نوع المادة وسمكها وتركيز المحلول وطول موجة الضوء المار خلالها.

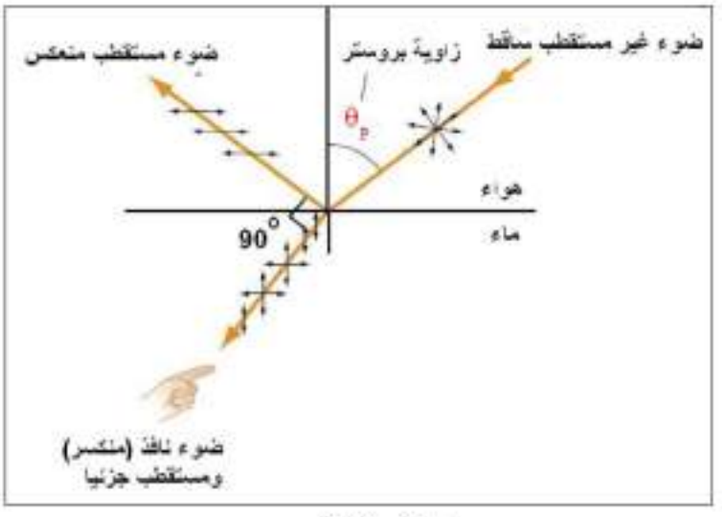
### 2- استقطاب الضوء بالانعكاس Polarization of Light By Reflection

اكتشف العالم مالوس (Malus) أنه عند سقوط الضوء على سطوح عاكسة كالمرايا المستوية أو كسطح ماء في بحيرة أو كالزجاج، فإن الضوء المنعكس يكون مستقطبا جزئيا وفي مستوي موازٍ لمستوى السطح العاكس كما في الشكل (21). في حين الضوء المنكسر في الوسط الثاني يكون في مستوى سقوط الأشعة.



الشكل (21)

وتعتمد درجة الاستقطاب على زاوية السقوط، فإذا كانت زاوية سقوط الضوء تساوي صفراً لا يحدث استقطاب، في حين يزداد الاستقطاب بزيادة زاوية السقوط إلى أن يصل إلى استقطاب استوائي كلي عند زاوية معينة تسمى زاوية بروستر (Brewster Angle). لاحظ الشكل (22).




الشكل (22)

ويكون الشعاع المنكسر مستقطبا جزئيا وتكون الزاوية بين الشعاع المنعكس والمنكسر قائمة ($90^0$).

كما وجد العالم بروستر علاقة بين زاوية الاستقطاب $\theta_p$ ومعامل انكسار الوسط (n) على وفق العلاقة الآتية:

$$\tan \theta_p = n$$

## 8-5 Scattering of Light استطارة الضوء

لابد أنك شاهدت قرص الشمس عند الشروق وعند الغروب فلاحظت تلون الأفق بلون الضوء الأحمر. وربما تتساءل: ما سبب هذا اللون الطاغي عند الأفق ؟

ولماذا تبدو السماء بلونها الأزرق الباهت عندما تكون الشمس فوق الأفق نهاراً ؟ لاحظ الشكل (23).

الشكل (23)

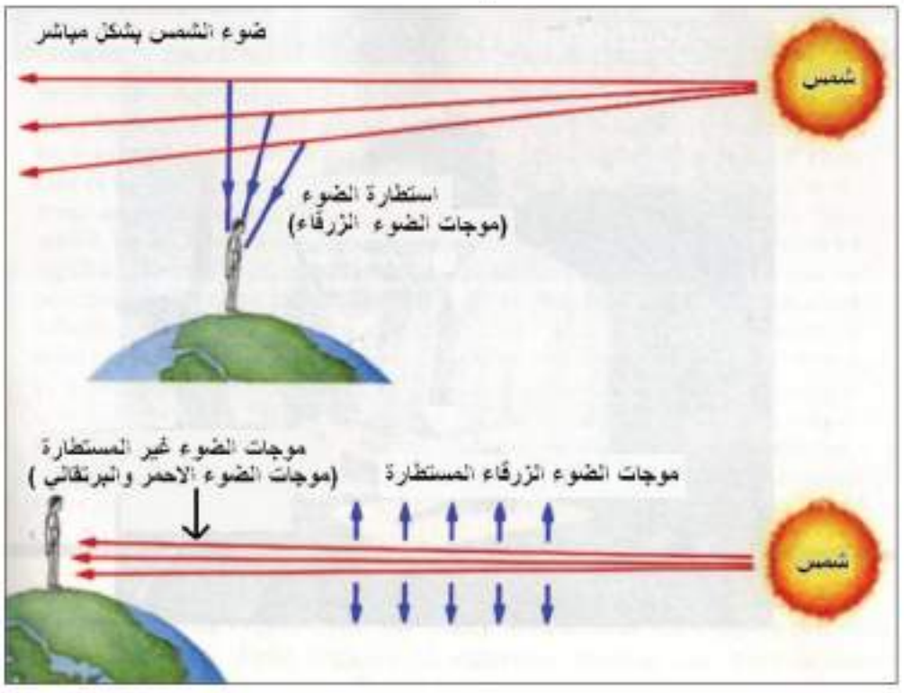
إن سبب ذلك يعود الى ظاهرة الاستطارة في الضوء .

فعند سقوط ضوء الشمس ( الذي تتراوح أطواله الموجية $\lambda$ بين( $400nm - 700nm$ ) على جزيئات الهواء ودقائق الغبار التي أقطارها تبلغ d (اذ ان $d \leq \lambda$ ) وجد أن شدة الضوء المستطار يتناسب عكسيا مع الأس الرابع للطول الموجي أي مع $(\frac{1}{\lambda^4})$.

وعلى هذا الأساس فإن الأطوال الموجية القصيرة من ضوء الشمس (وهو الضوء الأزرق) يستطار بمقدار أكبر من الأطوال الموجية الطويلة (وهو الضوء الأحمر) لاحظ الشكل (24).

لذلك عندما ننظر الى السماء نحو الأعلى فإننا نراها زرقاء بسبب استطارة الضوء الأزرق.

أما إذا نظرنا الى السماء باتجاه الغرب وقت الغروب (أو باتجاه الشرق وقت الشروق) فإننا نرى الوان الضوء الاحمر والبرتقالي تلوّن الافق عند غروب الشمس أو في أثناء شروقها لقلة استطارتها.




الشكل (24) الضوء الازرق يستطار بنسبة أكبر من الضوء الاحمر

والجدول أدناه يبين مدى (extent) استطارة الضوء بوساطة جزيئات الهواء.

| اللون | بنفسجي | أزرق | أخضر | أصفر | برتقالي | أحمر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الطول الموجي | 0.40 | 0.48 | 0.52 | 0.58 | 0.60 | 0.70 |
| العدد النسبي للموجات المستطارة | 10 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

هل

**تعلم** (للاطلاع)

الشكل المجاور يوضح أن ريش بعض الطيور يتلون بألوان زاهية نتيجة استطارة الضوء وظهور ريشها للناظر بهذه الألوان التركيبية.

# أسئلة الفصل الخامس

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1- في حيود الضوء من شق واحد، فإن شرط تكون الهداب المضيء الأول (غير المركزي) أن يكون عرض الشق مساويا الى :

a. $\lambda$

b. $\frac{\lambda}{2\sin\theta}$

c. $\frac{3\lambda}{2\sin\theta}$

d. $\frac{\lambda}{2}$

2- تُعزى الوان فقاعات الصابون إلى ظاهرة :

a- التداخل.

b- الحيود.

c- الاستقطاب.

d- الاستطارة.

3- سبب ظهور هدب مضيئة وهدب مظلمة في تجربة شقي يونك هو:

a- حيود وتداخل موجات الضوء معا.

b- حيود موجات الضوء فقط.

c- تداخل موجات الضوء فقط.

d- استعمال مصدرين ضوئيين غير متشاكهين.

4- إذا سقط ضوء أخضر على محزز حيود فإن الهداب المركزي يظهر بلون :

a- أصفر.

b- أحمر.

c- أخضر.

d- أبيض.

5- تزداد زاوية حيود الضوء مع :

a- نقصان الطول الموجي للضوء المستعمل.

b- زيادة الطول الموجي للضوء المستعمل.

c- بثبوت الطول الموجي للضوء المستعمل.

d- كل الاحتمالات السابقة معا.

6- إذا كان فرق المسار البصري بين موجتين ضوئيتين متشاكهتين متراكبتين يساوي أعدادا فردية من أنصاف الأطوال الموجية عندها يحصل :

a- تداخل بناء.

b- استطارة.

c- استقطاب.

d- تداخل اتلاف.

7- لحصول التداخل المستديم في موجات الضوء يجب أن يكون مصدراهما :

a- متشاكهين

b- غير متشاكهين

c- مصدرين من الليزر

d- جميع الاحتمالات السابقة.

8- في تجربة شقي يونك . يحصل الهداب المضيء الاول على جانبي الهداب المركزي المضيء المتكون على الشاشة عندما يكون فرق المسار البصري مساويا الى:

a- $\frac{1}{2}\lambda$

b- $\lambda$

c- $2\lambda$

d- $3\lambda$

9- نمط التداخل يتولد عندما يحصل :

a- الانعكاس b . الانكسار c . الحيود d. الاستقطاب

10- أغشية الزيت الرقيقة وغشاء فقاعة صابون الماء تبدو ملونه بألوان زاهية نتيجة الانعكاس و :

a . الانكسار b. التداخل c . الحيود d. الاستقطاب

11- الخاصية المميزة للطيف المتولد بوساطة محزز الحيود تكون :

a- الخطوط المضيئة واضحة المعالم

b- انتشار الخطوط المضيئة

c- انعدام الخطوط المضيئة

d- انعدام الخطوط المظلمة

12- حزمة الضوء غير المستقطبة هي التي تكون تذبذب مجالاتها الكهربائية.

a- مقتصرة على مستو واحد

b- تحصل في الاتجاهات جميعها.

c- التي لا يمكنها المرور خلال اللوح القطيب.

d- تحصل في اتجاهات محددة.

13- الموجات الطولية لا يمكنها إظهار .

a- الانكسار b- الانعكاس c- الحيود d- الاستقطاب.

14. تكون السماء زرقاء بسبب

a- جزيئات الهواء تكون زرقاء

b- عدسة العين تكون زرقاء.

c- استطارة الضوء تكون أكثر مثالية للموجات القصيرة الطول الموجي

d- استطارة الضوء تكون أكثر مثالية للموجات طويلة الطول الموجي.

15. عند إضاءة شقي يونك بضوء أخضر طوله الموجي $(5\times10^{-7}m)$ وكان البعد بين الشقين.$(1mm)$ وبعد الشاشة عن الشقين .$(2m)$ فإن البعد بين مركزي هدابين مضيئين متتاليين في نمط التداخل المتكون على الشاشة يساوي:

a- 0.1 mm

b- 0.25 mm

c- 0.4 mm

d- 1 mm

س2 هل يمكن للضوء الصادر عن المصادر غير المتشاكهة أن يتداخل؟ وهل يوجد فارق بين المصادر المتشاكهة وغير المتشاكهة؟

س3 مصدران ضوئيان موضوعان الواحد جنب الآخر معاً اسقطت موجات الضوء الصادر منهما على شاشة. لماذا لا يظهر نمط التداخل من تراكب موجات الضوء الصادرة عنهما على الشاشة ؟

س4 لو أجريت تجربة يونك تحت سطح الماء، كيف يكون تاثير ذلك في طراز التداخل؟

س5 ما الشرط الذي يتوافر في الفرق بطول المسار البصري بين موجتين متشاكهتين متداخلتين في حالة:

a- التداخل البناء.

b- التداخل الاتلافي.

س6 خلال النهار ومن على سطح القمر يرى رائد الفضاء السماء سوداء ويتمكن من رؤية النجوم بوضوح، في حين خلال النهار ومن على سطح الارض يرى السماء زرقاء وبلا نجوم، ما تفسير ذلك؟

س7 ما التغير الذي يحصل في عرض المنطقة المركزية المضيئة لنمط الحيود من شق واحد عندما نجعل عرض الشق يضيق أكثر؟

## المسائل الفصل الخامس

س1 وضعت شاشة على بعد (4.5m) من حاجز ذي شقين وأضيء الشقان بضوء أحادي اللون طول موجته في الهواء ($\lambda = 490\ nm$) فكانت المسافة الفاصلة بين مركز الهداب المركزي المضيء ومركز الهداب ذو المرتبة (m=1) المضيء تساوي (4.5 cm) ، ما مقدار البعد بين الشقين؟

س2 ضوء أبيض تتوزع مركبات طيفه بوساطة محزز حيود فإذا كان للمحزز $2000\ line/cm$ . ما قياس زاوية حيود المرتبة الأولى للضوء الأحمر ذي الطول الموجي ($\lambda = 640\ nm$) . اذا علمت ان

$$\sin 7.5^\circ = 0.128$$

س3 سقطت حزمة ضوئية على سطح عاكس بزوايا سقوط مختلفة القياس ، وقد تبين أن الشعاع المنعكس اصبح مستقطبا كليا عندما كانت زاوية السقوط $48^\circ$ احسب معامل الانكسار للوسط ؟ علما أن :

$$\tan 48^\circ = 1.110$$

س4 إذا كانت الزاوية الحرجة للاشعة الضوئية لمادة العقيق الازرق المحاطة بالهواء $34.4^\circ$ ، احسب زاوية الاستقطاب للاشعة الضوئية لهذه المادة ، علما إن:

$$\sin 34.4 = 0.565 \quad , \quad \tan 60.5^\circ = 1.77$$