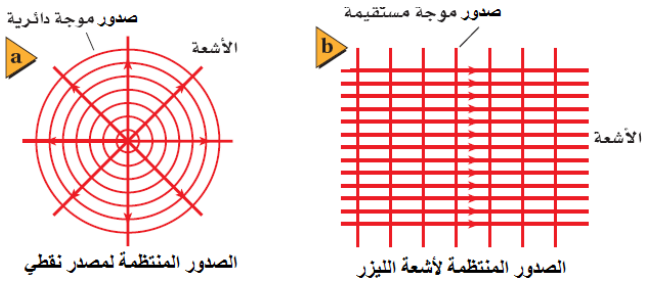
الفصل السادس : التداخل والحيود

6-1 :التداخل

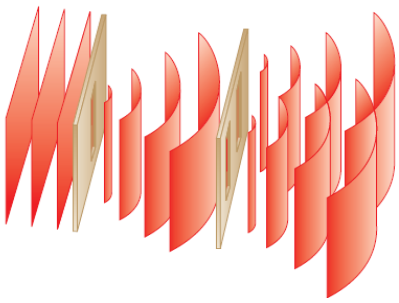
تداخل الضوء المترابط

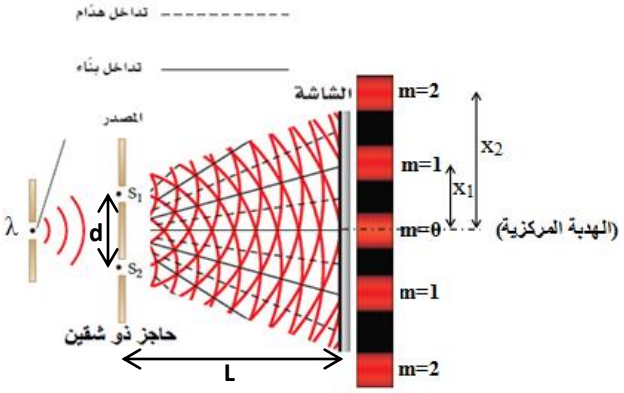


- **الضوء المترابط**: الضوء الناتج من تراكب ضوئي مصدرين أو أكثر لتشكيل صدور موجات منتظمة.
- **أمثلة على الضوء المترابط**: المصادر النقطية - أشعة الليزر.

تجربة الشق المزدوج ليونج

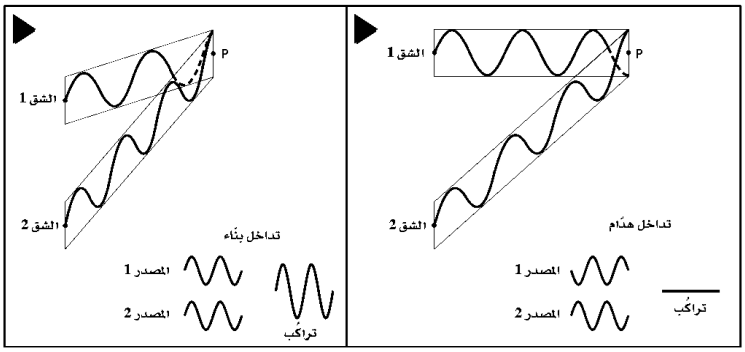
- أسقط يونج ضوء أحادي اللون (ذو طول موجي معين)من مصدر نقطي على حاجز ذو شق ضيق، لينفذ جزءا منه الى حاجز ذو شقين ضيقين ، وذلك للحصول على ضوء مترابط ، فيسقط الضوء الخارج من الشقين على شاشة تبعد مسافة معينة عن الحاجز.





- **الملاحظة**: لاحظ يونج تكون نمط مكون من حزم مضيئة تفصلها فراغات معتمة متساوية الأبعاد تقريبا ، سماها يونج "أهداب التداخل". كما ولاحظ أن الهدبة المركزية تكون مضيئة وتتناقص شدة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي.

- **التفسير**: تتداخل الموجات الضوئية القادمة من الشقين على الشاشة، فعندما تتلاقى قمة احدى الموجتين مع قمة الموجة الأخرى ، والقاع مع القاع، (متفقتان في الطور) يحدث تداخل بناء (تقوية)، فتتكون أهدابا مضيئة. وعندما تتلاقى قمة احدى الموجتين مع قاع الموجة الأخرى (متعاكستان في الطور) يحدث يحدث تداخل هدمي، فتتكون أهدابا معتمة.
وقد أثبت توماس يونج من هذه التجربة أن للضوء خصائص موجية (التداخل)



■ **قياس الطول الموجي للضوء** :

يحدث التداخل البنائي (الهدبات المضيئة) على الشاشة عند مواقع معينة على جانبي الهدبة المركزية ، يمكن حسابها باستخدام المعادلة التالية:

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

حيث : ***m*** : رتبة الهدبة المضيئة (.....m=0,1,2,3)
فمثلا عند m=0 (الهدبة المركزية) ، m=1 (الهدبة المضيئة من الرتبة الأولى) ، m=2 (الهدبة من الرتبة الثانية)
X_m : المسافة بين الهدبة المركزية وهدبة مضيئة ذات رتبة معينة.
d : المسافة بين الشقين.
L : المسافة بين الحاجز ذو الشقين والشاشة.
λ: الطول الموجي للضوء المراد قياسه.

فبالنسبة للهدبة المضيئة من الرتبة الأولى نضع (m=1) في القانون السابق ، ومن خلاله يمكن حساب الطول الموجي للضوء الساقط في تجربة الشق المزدوج ليونج.

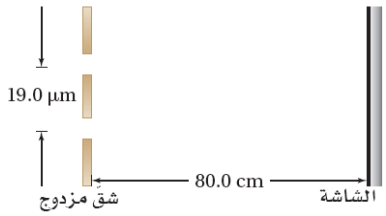
$$\lambda = \frac{x_1 d}{L}$$

www.alManahj.com

حيث : X_1 : المسافة بين الهدبة المركزية والهدبة المضيئة من الرتبة الأولى.
d : المسافة بين الشقين.
L : المسافة بين الحاجز ذو الشقين والشاشة.
λ: الطول الموجي للضوء المراد قياسه.

تدريبات متنوعة على تجربة الشق المزدوج ليونج

تدريب1 : **يسقط ضوء على شقين متباعدين بمسافة** 19 µm، **ويبعدان عن الشاشة** 80cm، **فاذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد** 1.9 cm **عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟**



.....
.....
.....
.....
.....
.....

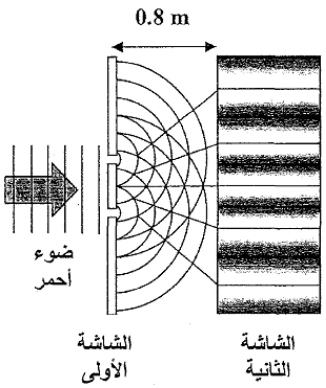
تدريب 2: **في تجربة يونج ، أسقطت حزمة ضوئية وحيدة اللون على شريحة تحوي شقان يبعد أحدهما عن الآخر مسافة** $10\mu m$ **فتكونت أهداب واضحة على شاشة تبعد عن** $1m$ **الشقين ، ووجد أن الهدب المضيء ذا الرتبة الأولى يبعد** $66mm$ **عن الهدب المضيء المركزي، ما الطول الموجي للضوء المستخدم؟**

.....
.....
.....
.....

تدريب3: **(اختر الاجابة الصحيحة) يحدث التداخل الهدمي عند تراكب موجتين فرق المسار بينهما يساوي** :

أ- λ **ب-** 3λ **ج-** 5λ **د-** $\frac{1}{4}\lambda$

تدريب4 : **يمثل الشكل أدناه تجربة يونج، حيث سلط ضوء أحمر أحادي اللون طوله الموجي** 700nm **على الشاشة الأولى والتي بها شقين ضيقين يبعدان عن بعضهما مسافة قدرها** 0.020 m، **فتكون نمط للتداخل على شاشة تبعد عن الشاشة الأولى** 0.8 m. **أجب عن الأسئلة التالية**:



www.alManahj.com

1- **ما الذي أثبته توماس يونج من هذه التجربة؟**
أثبت أن للضوء خصائص موجية (التداخل)

2- **كيف ولد توماس يونج ضوءا مترابط من ضوء غير مترابط**
وضع حاجزا ضوئيا ذا شق ضيق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون.

3- **صف الشكل المتكون على الشاشة الثانية** .
يتكون نمط مكون من حزم مضيئة وحزم معتمة تفصلها مسافات متساوية تسمى أهداب التداخل وتكون الهدبة المركزية مضيئة

4- **احسب المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذا الرتبة الأولى** .

.....
.....
.....
.....
.....
.....

5- **ما التغير الذي يطرأ على التجربة اذا سلط ضوء ابيض على الشاشة الأولى بدلا من الضوء الأحمر**.

صيغة أخرى للسؤال: **صف نمط التداخل الناتج عند استعمال ضوء أبيض**.
تظهر أطياف ملونة بدلا من الحزم المضيئة والمعتمة وتكون الهدب المركزي أبيض دائما.

تدريب4: **يمكن ايجاد الطول الموجي لضوء أحادي اللون في تجربة الشق المزدوج من المعادلة** $m\lambda = \frac{x_m d}{L}$. **أجب عن الأسئلة التالية حول هذه التجربة**:

1- **ما دلالة كل من الرموز التالية في المعادلة**:
X= المسافة بين هدبتين متتاليتين
d=المسافة بين الشقين
L= المسافة بين الحاجز ذو الشقين والشاشة

2- **ماذا يسمى الهدب الناتج عندما** :
m=0 الهدب المركزي المضيء
m=1 هدب الرتبة الأولى

3- **ما عدد الأهداب الناتجة عندما** m=1 ؟
اثنان

التداخل في الأغشية الرقيقة

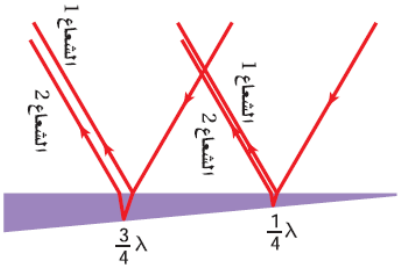
■ **التداخل في الأغشية الرقيقة**: الظاهرة التي ينتج عنها طيف الألوان بسبب التداخل البنائي و التداخل الهدمي.

■ **علل**: **ظهور ألوان الطيف على فقاقيع الصابون أو الغشاء الزيتي العائم على سطح التجمعات المائية الصغيرة أو جناحي الفراشة.**

ج: وذلك نتيجة للتداخل البنائي والهدمي للموجات الضوئية المنعكسة عن الغشاء الرقيق.

فاذا سقط شعاع ضوئي على غشاء صابون رقيق كالموضح بالشكل مثلا. ينعكس جزء من الشعاع الضوئي عند السطح الأول (الشعاع 1) ، بينما ينفذ الجزء الآخر، لينعكس عن السطح الخلفي (الشعاع 2).

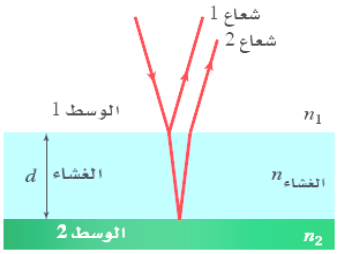
تتداخل الأشعة المنعكسة عن السطحين تداخلا بنائيا وهدميا بحسب سمك الغشاء و فرق الطور بينهما ، مما يؤدي لتكون ألوان الطيف.



علل: **تبدو ألوان الطيف الناتجة في الأغشية الرقيقة وكأنها تتغير وتتحرك.**

ج: لأن سمك الغشاء الرقيق لفقاقيع الصابون أو الزيت يتغير مع مرور الزمن

انعكاس عن غشاء رقيق



■ **انعكاس الموجات عند انتقالها بين أوساط مختلفة**

1- تنعكس الموجة مقلوبة (انقلاب في الطور بمقدار 180) عندما تنتقل من وسط معامل انكساره أقل الى أكبر

2- تنعكس الموجة معتدلة (لا يوجد انقلاب في الطور) عندما تنتقل من وسط معامل انكساره أكبر الى أقل.

■ **طريقة حل مسائل الأغشية الرقيقة**:

www.alManahj.com

1- **نرسم الحالة.**

2- **نحدد حالة الموجتين الضوئيتين المنعكستين لحظة تداخلهما، ما اذا كان لهما نفس الطور أو متعاكستين في الطور.**

3- **نستخدم المعادلات التالية لايجاد المطلوب:**

أ- **اذا كانت الموجتان مختلفتان في الطور:**

- في حالة التداخل البناء (تقوية في الضوء) $2d = (m + \frac{1}{2}) \frac{\lambda_{\circ}}{n_{غشاء}}$
- في حالة التداخل الهدمي (اضعاف للضوء) $2d = m \left(\frac{\lambda}{n_{غشاء}}\right)$

ب- **اذا كانت الموجتان متفقتان في الطور:**

- في حالة التداخل البناء (تقوية في الضوء) $2d = m \left(\frac{\lambda}{n_{غشاء}}\right)$
- في حالة التداخل الهدمي (اضعاف للضوء) $2d = (m + \frac{1}{2}) \frac{\lambda_{\circ}}{n_{غشاء}}$

4- **لايجاد أقل سمك للغشاء الرقيق الذي حدث عنده التداخل نضع** (m=0) ، **ولايجاد السمك الذي يليه نضع** (m=1) ، **وهكذا**

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

مسائل متنوعة على التداخل فى الأغشية الرقيقة

تدريب1: **وضعت طبقة (غشاء) رقيقة من زيت على سطح ماء . وعند النظر اليها لوحظ تكون منطقة صفراء مخضرة** (λ=555nm). **فاذا كان معامل انكسار الزيت** 1.45 ، **والماء** 1.33 ، **فما أقل سمك لطبقة الزيت التي تسبب هذا اللون**؟

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

تدريب2: **وضع غشاء من فلوريد المغانسيوم معامل انكساره** 1.38 **على عدسة زجاجية مطلية بطبقة عاكسة معامل انكسارها** 1.52 .
كم يجب أن يكون سمك الطبقة الضرورية لمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر(λ=555nm)؟

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

تدريب3: **ما أقل سمك لغشاء صابون معامل انكساره** 1.33 **ليتداخل عنده الضوء ذو الطول الموجي** λ=521 nm **تداخلا بنائيا مع نفسه**؟

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

تدريب4: **غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره** 1.83 ، **ثبت على نافذة زجاجية ، فاذا علمت أن معامل انكسار الزجاج** 1.52 .
أ- ما أقل سمكك لهذا الغشاء ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر (λ=555nm)؟
ب-اذا كان سمك هذا الغشاء لا يمكن صناعته ، فما السمك التالي الذي يحدث التأثير نفسه.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

تدريب5: **علل لما يلي**:

1- **تبدو فراشة المورفو الزرقاء اللون بألوان قزحية.**
نتيجة تداخل الضوء في الأغشية الرقيقة في جناحي الفراشة (حيث تتداخل الاشعة الضوئية الناتجة من نتوء مفرد والأشعة المنبعثة من نتوءات متعددة لينتج عنها ألوان قوس قزح)

2- **تبدو فقاقيع الصابون بألوان قزحية.**
نتيجة تداخل الضوء في الأغشية الرقيقة لفقاقيع الصابون

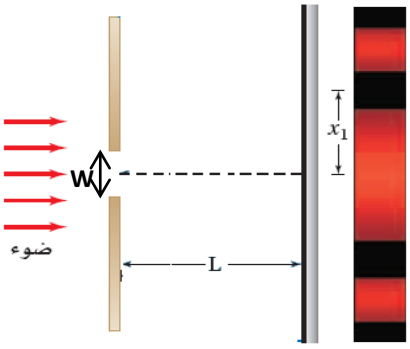
تدريب6 (**اختر**) **ينتج التداخل البناء في الغشاء الرقيق لفقاعة الصابون بسبب**:

أ- **امتصاص بعض ألوان الطيف في الغشاء.**
ب- **انعكاس الضوء على السطح العلوي للغشاء.**
ج- **انقلاب الضوء المنعكس على السطح العلوي للغشاء.**
د- **انقلاب الضوء المنعكس على السطحين العلوي والسفلي للغشاء.**

6-2: الحيود

حيود الشق الأحادي

- عندما يمر ضوء أحادي ذو طول موجي معين خلال فتحة صغيرة أكبر من الطول الموجي للضوء ، فان الضوء يحيد عن كلتا الحافتين، ليتداخل على شاشة بعيدة مكونا نمط التداخل.
- **نمط الحيود المتكون من الشق الأحادي** : عبارة عن أهداب مضيئة ومعتمة. يكون فيها الهدب المركزي عريض ومضيء ، وتصبح الأهداب أكثر ضيقا وأقل اضاءة على الجانبين.
- يزداد عرض الهدبة المركزية المتكونة عندما يكون الطول الموجي للضوء أكبر.
- عند استخدام الضوء الأبيض يكون النمط المتكون مزيجا من أنماط ألوان الطيف.



■ **قانون الشق الأحادي**:

أ-**حساب البعد بين هدب معتم من رتبة معينة والهدب المركزي**

$$X_m = \frac{m\lambda L}{w}$$

ب-**حساب عرض الهدبة المركزية المضيئة**

عرض الهدبة المركزية المضيئة = $2X_1$

حيث ***m***: رتبة الهدبة المظلمة (.....m=0,1,2,3)
W: عرض الشق.
X: البعد بين هدبة معتمة من رتبة معينة والهدبة المركزية.
λ: الطول الموجي للضوء المستخدم.
L: البعد بين الشق والشاشة.

مسائل متنوعة على حيود الشق الأحادي

تدريب1: **يسقط ضوء أحادي اللون طوله الموجي** 546nm **على شق مفرد عرضه** 0.095mm . **اذا كان بعد الشق عن الشاشة يساوي** 75cm، **فكم يكون عرض الهدب المركزي المضيء؟**

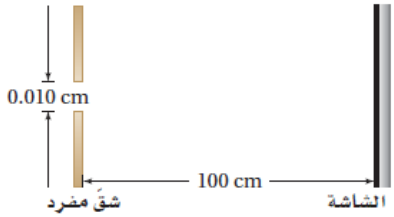
.....
.....
.....
.....
.....

www.alManahj.com

تدريب2: **سقط ضوء أصفر على شق مفرد عرضه** 0.0295mm **فظهر نمط على شاشة تبعد عنه مسافة** 60cm، **فاذا كان عرض الهدب المركزي المضيء** 24mm، **فما مقدار الطول الموجي للضوء؟**

.....
.....
.....
.....

تدريب3: **يعبر ضوء أحادي اللون خلال شق مفرد عرضه** 0.01cm، **ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة** 100cm، **كما بالشكل الموضح**.
فاذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.2 cm، **فما مقدار الطول الموجي للضوء؟**



.....
.....
.....
.....
.....

تدريب4: **سقط ضوء أبيض على شق مفرد عرضه** 0.050mm، **فاذا وضعت شاشة على بعد**1m **منه** ، **ووضع طالب مرشحا أزرق – بنفسجيا** (λ=441nm)**على الشق،ثم وضع مرشحا أحمر** (λ=622nm)، **ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء** ، **أجب عن السؤالين التاليين**:
أ- أي المرشحين ينتج هدبا ضوئيا أكثر عرضا. **ب- احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشحين.**

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

تدريب5: **يمر ضوء طوله الموجي** 4.5×10^{-5} cm **خلال شق مفرد ويسقط على شاشة تبعد** 100cm. **فاذا كان عرض الشق** 0.015cm، **فما مقدار المسافة بين مركز النمط والهدب المعتم الأول؟**

.....
.....
.....
.....

تدريب6: **يمر ضوء أحادي اللون طوله الموجي** 425nm **خلال شق مفرد، ويسقط على شاشة تبعد** 75cm. **فاذا كان عرض الحزمة المركزية المضيئة** 0.60 cm ، **فما عرض الشق؟**

.....
.....
.....
.....

تدريب7: **عند مرور الضوء خلال فتحة صغيرة فانه يحيد** ، **وتتكون سلسلة من الأهداب المضيئة والمعتمة على شاشة** ، **بين ما يحدث لعرض الحزمة المضيئة في حيود الشق المفرد في كل من الحالت التالية**:

1- **زيادة قطر الشق**: .....
2- **زيادة الطول الموجي للضوء**:.....
3- **نقصان البعد بين الشق والشاشة**: .....

تدريب8: اختر الاجابة الصحيحة لكل مما يلي:

1- **أي مما يأتي يظهر في حيود الشق المفرد:**

أ- حزمة مركزية ، وعلى جانبها حزمتين معتمتين. ب- سلسلة متساوية من الحزم المضيئة.

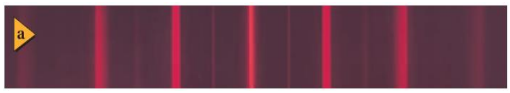
ج-حزمة مركزية معتمة ، وعلى جانبيها حزمتين مضيئتين. د- حزمة واحدة عريضة ومضيئة.

2- **عندما تمر موجة من ثقب ما أو حافة حادة فانها تعاني:**

أ- تداخلا ب- حيودا ج- انكسارا د- انعكاسا

محزوزات الحيود

- **محزوز الحيود**: أداة مكونة من عدد كبير من الشقوق المفردة المتقاربة جدا ، تسبب حيود الضوء، وتكون نمط حيود ناتجا عن تراكب الأنماط الناتجة عن شق أحادي.
- **نمط الحيود المتكون بواسطة محزوز الحيود**: عبارة عن أهداب مضيئة ضيقة تفصلها مسافات متساوية. وكلما زاد عدد الشقوق في وحدة الطول أصبحت الأهداب أكثر ضيقا في نمط الحيود.



أنواع محزوزات الحيود

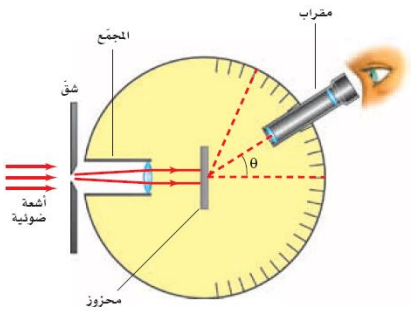
1- **محزوز النفاذ**: محزوز يصنع بعمل خدوش (خطوط) رفيعة جدا على الزجاج المنفذ للضوء، بواسطة رأس من الألماس، وتعمل الفراغات بين الخدوش كالشقوق. (مثال: المجوهرات تصنع أحيانا في صورة محزوز نفاذ وينشأ عنها أطيافا ضوئية)

2- **المحزوز الغشائي (محزوز طبق الأصل)**: محزوز يصنع بضغط صفيحة رقيقة من البلاستك على محزوز زجاجي، ثم يتم سحب الصفيحة ويبقى أثر على سطحها مماثل للمحزوز الزجاجي.

3- **محزوزات الأنعكاس**: محزوز يصنع عن طريق حفر خطوط رفيعة جدا على طبقة معدنية أو على سطوح الزجاج العاكس. مثال: CD أو DVD يعتبر محزوز انعكاس حيث يتكون طيف من الألوان عندما ينعكس الضوء الأبيض عنها.

قياس الطول الموجي للضوء باستخدام محزوز الحيود والمطياف

- **المطياف**: هو جهاز يستخدم لقياس الأطوال الموجية للضوء في وجود محزوز الحيود.



- **طريقة استخدام المطياف**: يبعث المصدر المراد تحليله (أو قياس طوله الموجي) ضوءا باتجاه الشق، فينفذ الضوء ويسقط على محزوز الحيود، فينتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بمقراب المطياف.
- **قانون حساب الطول الموجي باستخدام محزوز الحيود**:

❖ يحدث التداخل البنائي بواسطة محزوز الحيود عند زوايا معينة على جانبي الخط المركزي المضيء ويمكن حسابها باستخدام العلاقة:

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

حيث: m: رتبة الهدبة المضيئة (.....m=0,1,2,3,4)
λ: الطول الموجي للضوء المستخدم.
d: المسافة الفاصلة بين الشقوق في محزوز الحيود.
θ: الزاوية التي تقع عندها هدبة من رتبة معينة.

❖ فبالنسبة للهدبة المضيئة من الرتبة الأولى نضع (m=1) في القانون السابق ، ومن خلاله يمكن حساب الطول الموجي للضوء الساقط

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

أي أن الطول الموجي للضوء يساوي المسافة الفاصلة بين الشقوق مضروبة في جيب الزاوية ، حيث يتكون الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى.

❖ يمكن حساب المسافة الفاصلة بين الشقوق d في محزوز الحيود من خلال العلاقة :

$$d = \frac{\text{طول المحزوز}}{\text{عدد الشقوق}}$$

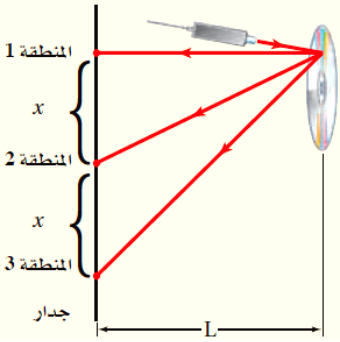
www.alManahj.com

تدريبات متنوعة على محزوز الحيود

تدريب1: يستعمل في جهاز المطياف محزوز حيود يحوي 12000/ cm **خط . أوجد الزوايا التي توجد فيها الأهداب المضيئة ذات الرتبة الأولى لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي** 632nm، **والضوء الأزرق الذي طوله الموجي** 421nm.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

تدريب2: سقط شعاع ضوئي أخضر اللون طوله الموجي 532nm **على قرص** DVD **فتكونت ثلاث بقع مضيئة على الحائط. فاذا كان البعد بين البقع على الحائط يساوي** 1.29m. **فاحسب التباعد بين الشقوق على قرص** DVD . **علما بأن الحائط يبعد مسافة** 1.25m **عن القرص.**



.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....