

# ملخص شامل

الفصل الدراسي الثالث

للسف الثاني عشر عام

في مادة

الفيزياء

للعام الدراسي 2023/2022 م

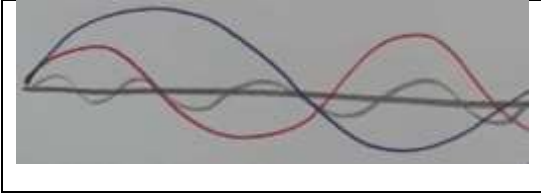
الوحدة الثامنة : التداخل والحيود

إعداد / محمد طلعت محمد الصاوي

## أولا : التداخل

ينقسم الضوء إلى ثلاثة أنواع

1- الضوء الأبيض :



موجات الضوء التي تختلف في الطول الموجي والتردد والقمم والقيعان

2- الضوء أحادي اللون :



متفق في الطول الموجي والتردد ويختلف بالاتجاه

3- الضوء المترابط :

تتفق موجاته بالطول الموجي والتردد والاتجاه

مثل موجات الليزر

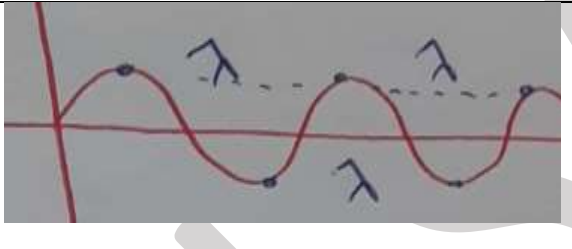
الطول الموجي :  $\lambda$

هو المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليتين ( متر )

التردد :  $f$

هو عدد الإهتزازات التي يحدثها الجسم بالثانية

ووحدة هرتز Hz



- التحويل من  $\mu\text{m}$  إلى متر نضرب في  $10^{-6}$

- التحويل من nm إلى متر نضرب في  $10^{-9}$

- التحويل من cm إلى متر نضرب في  $10^{-2}$

- التحويل من mm إلى متر نضرب في  $10^{-3}$



موجات مترابطة



موجات غير مترابطة

## تداخل الضوء المترابط

**التداخل :** التقاء ( تلاقي ) موجتين أو أكثر

أهداب التداخل : نمط من حزم مضيئة ناتجة من تداخل بناء وحزم مظلمة ناتجة من تداخل هدام

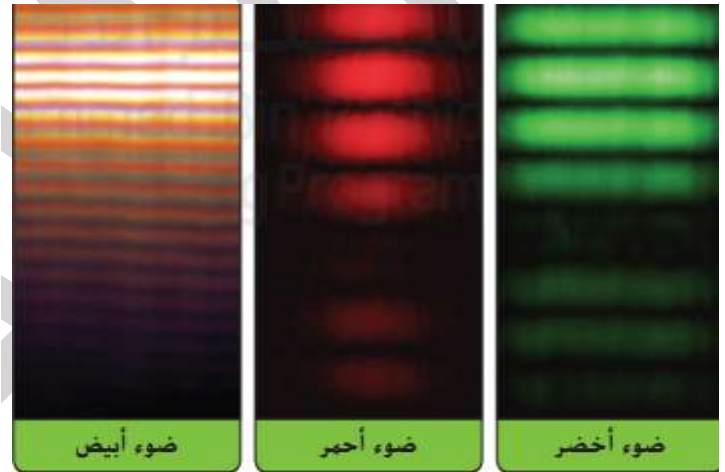
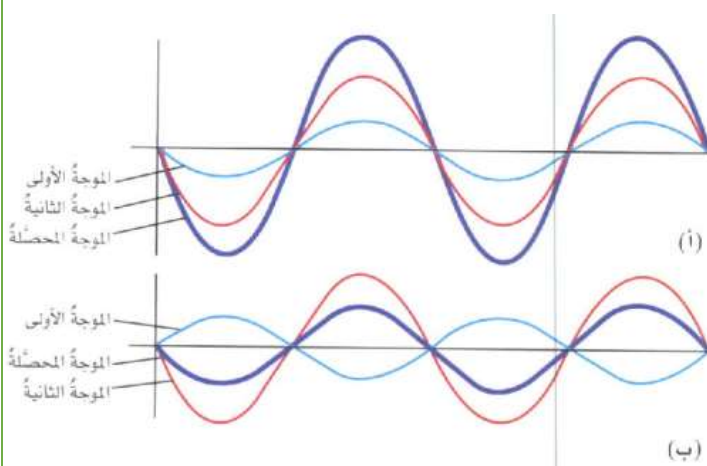
مكتشف التداخل : توماس يونج

الضوء المستخدم : ضوء أحادي اللون ( ضوء له طول موجي واحد )

ينتج التداخل البناء حزمة مركزية مضيئة بلون معين على الشاشة تتناقص شدة إضاءة الحزم كلما

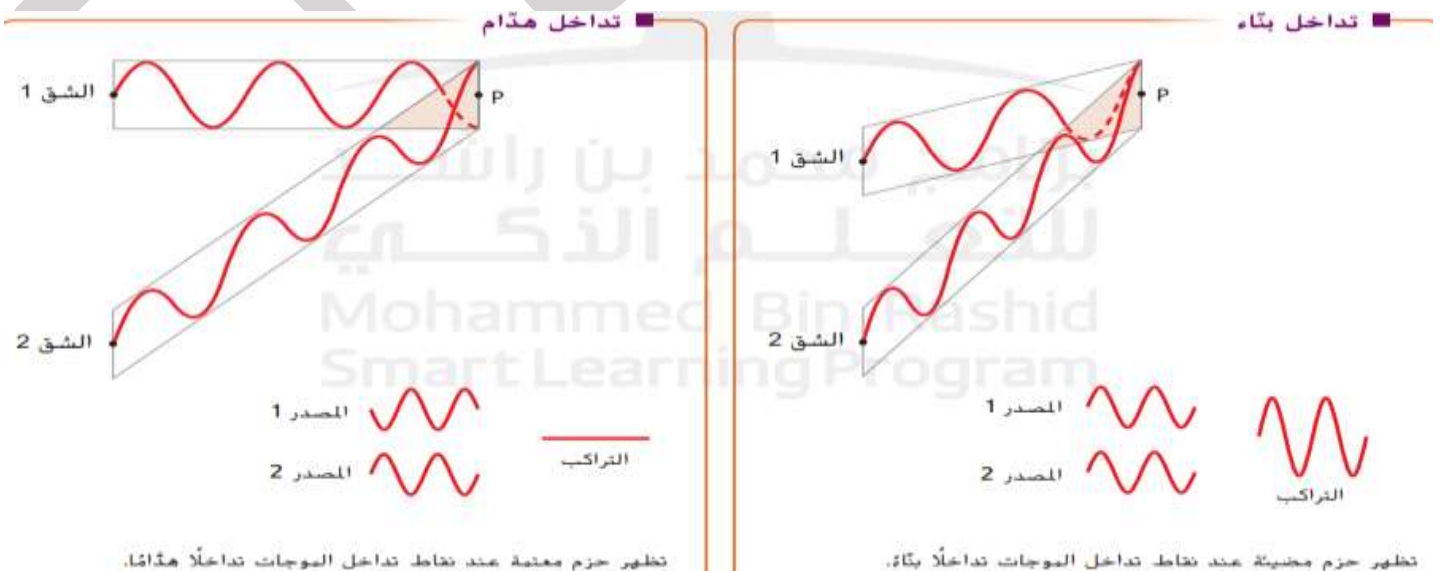
ابتعدنا عن الحزمة المركزية وبين الحزم المضيئة حزم مظلمة ناتجة من تداخل هدام

مواقع الحزم المضيئة تعتمد على الطول الموجي للضوء



كيف يمكن توليد ضوء مترابط

بوضع حاجز ضوئي ذي شق ضيق أمام ضوء أحادي اللون

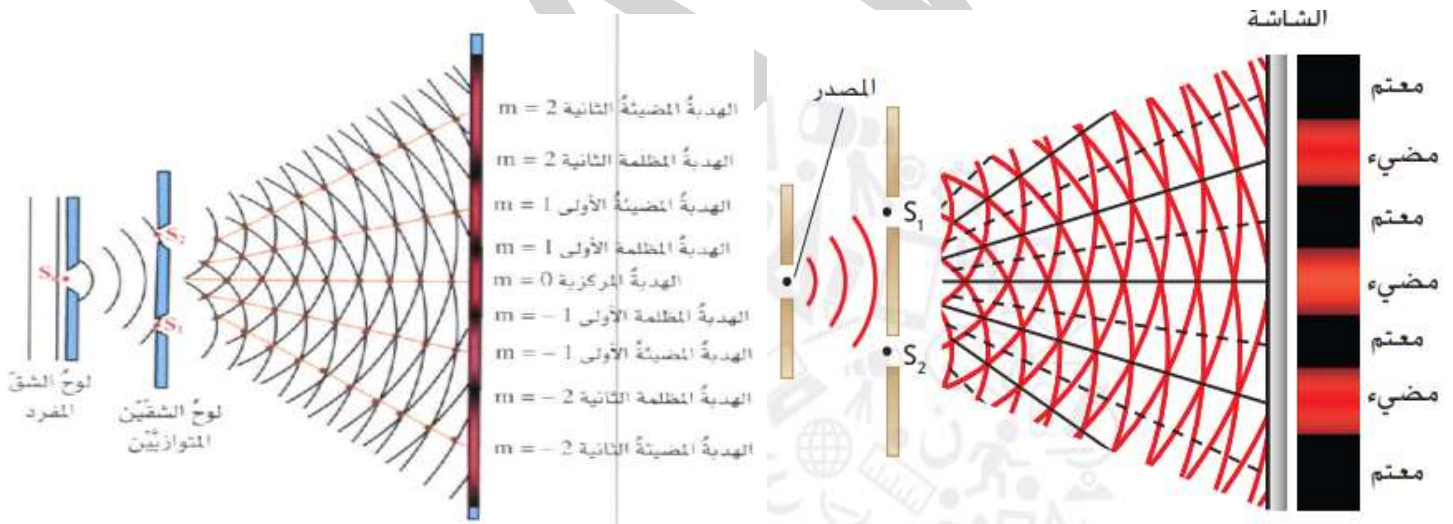


**توليد الضوء المترابط** يُنتج الضوء الصادر من مصدر أحادي اللون ضوءًا غير مترابط. أما عند وضع حاجز ضوئي ذي شق ضيق أمام ضوء أحادي اللون، ينتج ضوء مترابط. ونظرًا إلى أنَّ عرض الشق صغير جدًا، لا ينفذ عبر الشق إلا الضوء الصادر من جزء صغير جدًا من المصدر. ثم يحيد هذا الجزء بواسطة الشق (وسيتم التطرق للحيود بشكل مفصل في القسم التالي). فنتج مقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريبًا، كما هو مبين في الشكل 4. أما الحاجز الثاني، فله شقان ضيقان جدًا. ونظرًا إلى تماثل مقدمات الموجة الأسطوانية، فإن جزأي مقدمة الموجة يصلان إلى الحاجز الثاني متفقين في الطور. فينتج عن شقي الحاجز الثاني مقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريبًا. ثم تتداخل مقدمات الموجات الناتجة عن هذين الشقين، كما هو مبين في الشكل 4. ويكون هذا التداخل بناءً أو هدامًا اعتمادًا على العلاقة بين طوريهما، كما هو مبين في الشكل 5. إذا كان التداخل بناءً عند سقوط الضوء على حاجز، فستظهر حزمة مضيئة. أما إذا كان هدامًا، فستظهر حزمة معتمة.

### نلاحظ من الرسم السابق

1- التداخل البناء (إضاءة) ينتج من تلاقي موجتين لهما نفس الاتجاه

2- التداخل الهدام (ظلام) ينتج من تلاقي موجتين مختلفتين بالاتجاه



الهدبة المركزية : تلاقي قمة الموجة الأولى مع قمة الموجة الثانية وفيها فرق الطور  $0$

تلاقي موجتان لهما نفس الاتجاه

الهدبة المضئية الأولى : تلاقي قمة الموجة الأولى مع قمة الموجة الثانية وفيها فرق الطور  $1\lambda$

الهدبة المظلمة الأولى : تلاقي قمة الموجة الأولى مع قاع الموجة الثانية وفيها فرق الطور  $\frac{1}{2}\lambda$

تلاقي موجتان مختلفتان بالاتجاه

نلاحظ أننا



الهدبة المضيئة  $N$  بها فرق الطور  $N\lambda$  بينما الهدبات المظلمة بها فرق الطور  $(N - \frac{1}{2})\lambda$

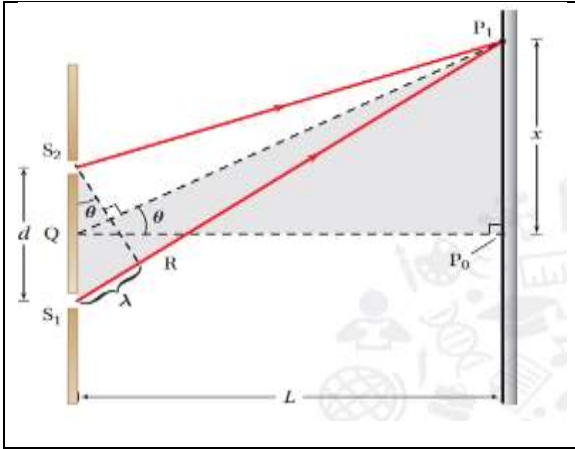
**الطول الموجي من تجربة الشق المزدوج**

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

حيث  $d$  هي المسافة بين شقي يونج

و  $L$  بعد الشاشة ( المسافة بين الشقين والشاشة)

و  $x$  بعد الهدبة المركزية عن المضيئة الأولى



**الطول الموجي من تجربة الشق المزدوج**

يساوي الطول الضوئي المقيس بتجربة الشق المزدوج المسافة بين الحزمة المركزية المضيئة والحزمة المضيئة الأولى على الشاشة، مضروبة في المسافة بين الشقين، ومقسومة على المسافة بين الشقين والشاشة.

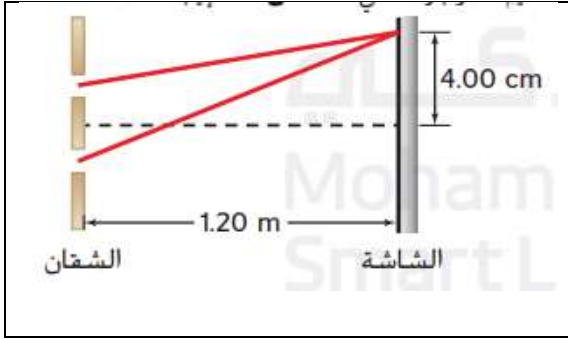
$$\lambda = \frac{xd}{L}$$

يحدث تداخل بناء عند مواقع  $x_m$  على جانبي الحزمة المركزية المضيئة، ويتم تحديد هذه المواقع من خلال المعادلة  $m\lambda = x_m d / L$ ، حيث  $m = 0, 1, 2$ ، وهكذا. وتتكون الحزمة المركزية المضيئة عند  $m = 0$ ، وتسمى الحزمة عند  $m = 1$  بحزمة الرتبة الأولى غالباً، وهكذا لبقية المواقع.

**تمارين 1/**

- (1) أجريت تجربة الشق المزدوج لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر وكان البعد بين الشقين  $0.019\text{mm}$  والمسافة بين الشقين والشاشة  $0.60\text{m}$  والمسافة بين الحزمة المركزية والمضيئة الأولى  $21.2\text{mm}$  أوجد الطول الموجي للضوء الأحمر ؟

- (2) سلط ضوء من مصباح بطول موجي  $500\text{nm}$  على شقين بينهما مسافة  $1.9 \times 10^{-5}\text{m}$  ما المسافة بين الحزمة المركزية والحزمة المضيئة الأولى إذا كانت الشاشة تبعد مسافة  $0.60\text{m}$  ؟

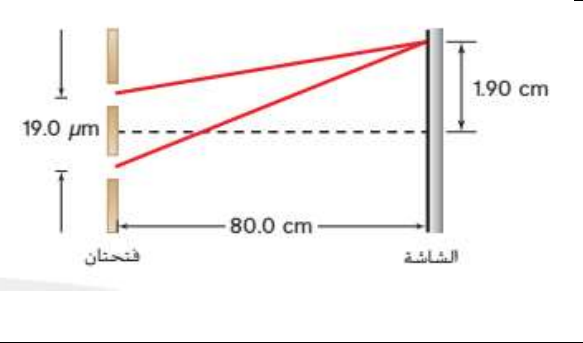


(3) مستعينا بالشكل المقابل عند سقوط ضوء طوله الموجي 550nm أوجد المسافة بين الشقين ؟

.....

.....

.....



(4) من الرسم المقابل أوجد

الطول الموجي للضوء المستخدم ؟

.....

.....

.....

### التداخل في الأغشية الرقيقة

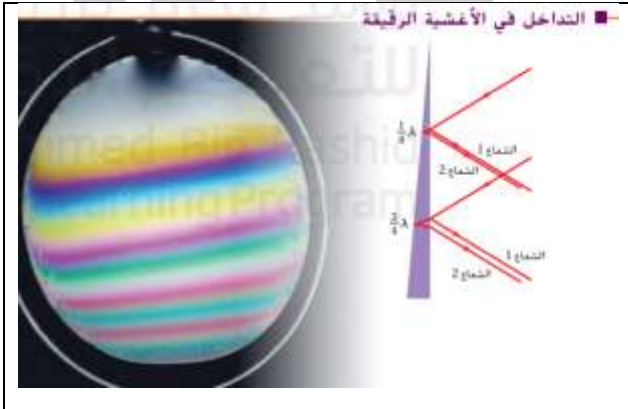
مثل المكونة من فقاعات الصابون أو بقعة زيتية على سطح مائي وذلك بسبب التداخل البناء والهدام للموجات الضوئية المنعكسة وفيه يزداد السمك تدريجيا من أعلى لأسفل



عند سقوط موجة ضوء على السطح الأمامي للغشاء ينعكس جزء منها وينفذ جزء آخر ويكون للموجات المنعكسة والنافذة نفس التردد

عندما تكون درجات سمك الغشاء  $\frac{\lambda}{4}$  أو  $\frac{3\lambda}{4}$  أو  $\frac{5\lambda}{4}$

وغيرها يكون الضوء الذي طوله الموجي  $\lambda$  متفقا في الطور وتكون حزم هذا الضوء الملون مرئية



## تطبيقات التداخل في الأغشية الرقيقة

على الصابون في الهواء تداخلًا بَنَاءً مع انقلاب إحدى الموجتين عند الانعكاس. ففي مثال محللول الفقاعات أو الغشاء الزيتي الرقيق العائم على تجمع مائي، كلما تغيّر سُمك الغشاء أو تغيّرت الزاوية التي يصنعها الضوء مع الغشاء، يتغيّر الطول الموجي الذي يحدث له تداخل بَنَاءً. يؤدي هذا إلى لون مُزاج على سطح الغشاء عندما يُضاء بضوء أبيض. وفي الأمثلة الأخرى للتداخل في الأغشية الرقيقة، يمكن أن تنتقلب كلتا الموجتين أو لا تنتقلب أي منهما، حيث يعتمد انقلاب الموجة على معاملات انكسار الأوساط التي تنتفذ من خلالها. وإذا انتقلت كلتا الموجتين من وسط ذي معامل انكسار أقل إلى وسط ذي معامل انكسار أكبر، فستنتقلب كلتاها. في هذه الحالة، ستكون درجات سُمك الغشاء التي تحقق شرط حدوث التداخل البَنَاء  $1\lambda/2$  و  $\lambda$  و  $3\lambda/2$  و  $2\lambda$  و  $5\lambda/2$  وما إلى ذلك. يمكنك أن تحل المسألة التي تتضمن تداخل الغشاء الرقيق باستخدام الاستراتيجية التالية.

### ملاحظات في الحل

(1) عند زيادة سطوع الضوء المنعكس تكون الموجة المنعكسة

قد تداخلت تداخلًا بناءً والانعكاس صحيح

(2) إذا تغير معامل الانكسار من قيمة أقل لقيمة أكبر تكون

الموجة منقلبة والانعكاس صحيح

(3) إذا أردنا تداخلًا بناءً وكانت إحدى الموجتين مقلوبة أو تداخلًا

هداما وكلتا الموجتين مقلوبة أو غير مقلوبة

فإن فرق المسافة يكون عددا فرديا من أنصاف الأطوال الموجية  $(m + \frac{1}{2})\lambda$  حيث  $m = 0, 1, 2$

(4) إذا أردنا تداخلًا بناءً وكانت كلتا الموجتين مقلوبة أو غير مقلوبة أو تداخلًا هداما وكانت إحدى

الموجتين مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عدد صحيحا من الأطوال الموجية  $m\lambda$  حيث  $m = 1, 2$

(5) حدد المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع الثاني بحيث تساوي ضعف سمك الغشاء  $2d$

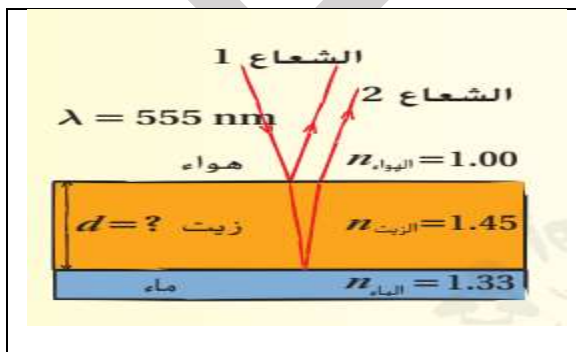
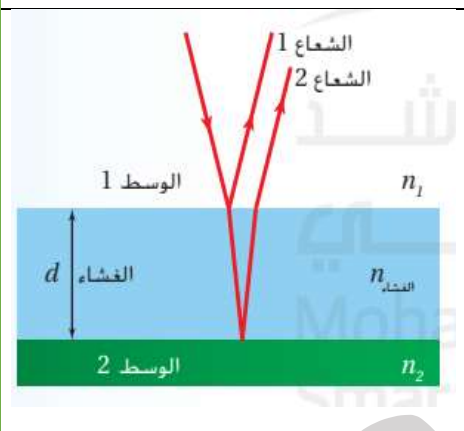
$$2d = (m + \frac{1}{2}) (\frac{\lambda}{n}) \quad \text{أو} \quad 2d = m \frac{\lambda}{n} \quad \text{حيث } n \text{ معامل الانكسار}$$

(6) عندما يطلب أقل سمك تكون  $m = 0$

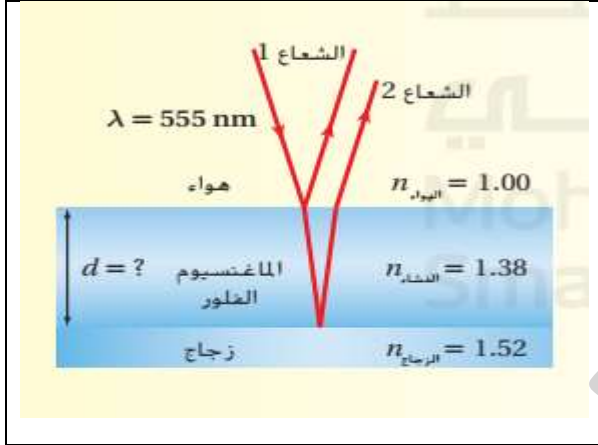
تمرين 1/2

(1) مستعينا بالشكل المقابل

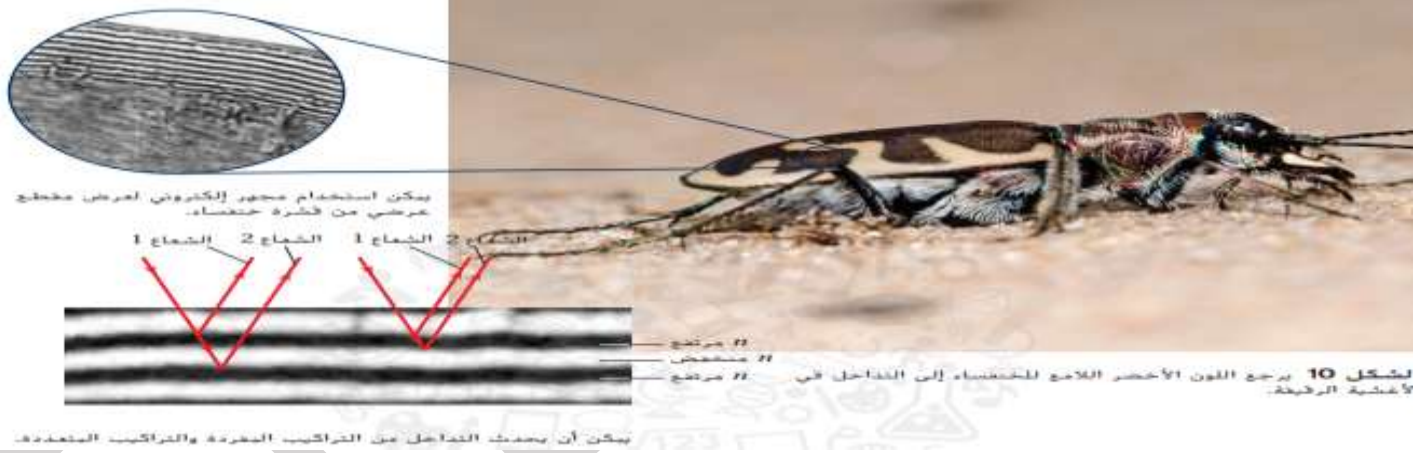
أوجد أقل سمك لطبقة الزيت ؟



(2) ما أقل سمك لغشاء الصابون الذي معامل إنكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 520nm تداخلا بناءا مع نفسه ؟



(3) من الشكل المقابل ما سمك الغشاء غير العاكس لمنع انعكاس الضوء الأخضر الذي طوله الموجي 555nm ؟

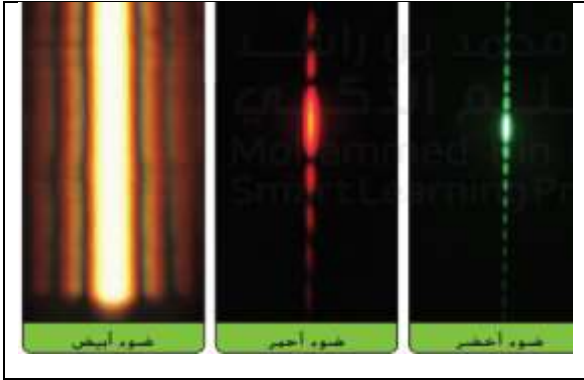
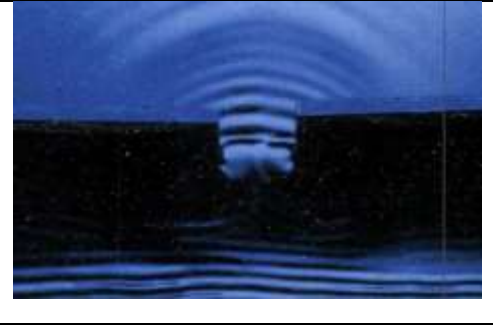


كما يحدث تداخل الضوء بشكل طبيعي في الطبقة الخارجية من قشرة العديد من الخنافس، كما هو موضح في الشكل 10. يرجع اللون الأخضر المتألق للخنفساء إلى انعكاس عن الطبقات الرقيقة المتوازية من مادة الكايتين ومواد أخرى أحياناً مختلفة في معامل الانكسار. وتوضح صور المجهر الإلكتروني هذه الطبقات المتوازية. يوضح الرسم التخطيطي في الشكل 10 طريقة عمل هذه العاكسات متعددة الطبقات. تعكس الطبقات العديدة للهيكل الخارجي الضوء، فيحدث تداخل بناء للضوء الأخضر، ومن ثم ينتج هذا المظهر المتألق. كما يرجع تألؤ العديد من الخنافس والفراشات الأخرى وكذا الحجر الكريم أوبال إلى تداخل الضوء.

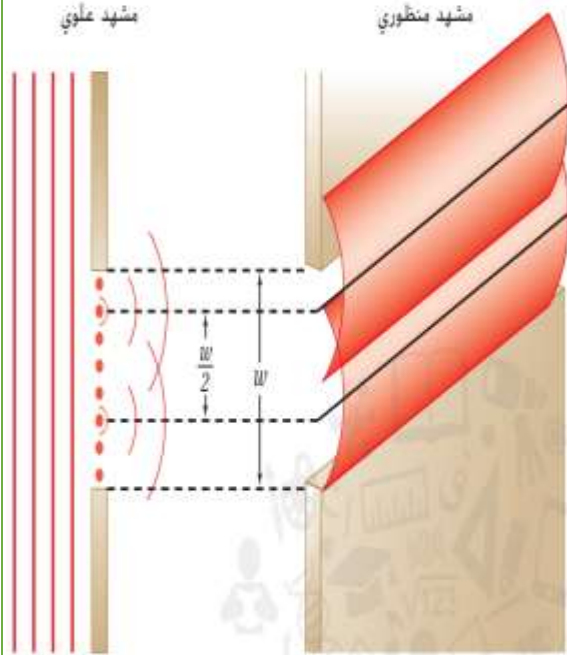


## ثانياً : الحيود

هو تغير ( إنحراف ) مقدمة الموجة عند مرورها عبر شق ضيق أو اصطدامها بحافة حائل



- عند استخدام ضوء أخضر
- يزيد عرض الحزمة المركزية ( أخضر اللون )
- عند استخدام ضوء أبيض
- يكون النمط مزيجاً من ألوان الطيف
- تستخدم موجات هيجنز لملاحظة نمط الحيود



**موجات هويجنز** لملاحظة طريقة إنتاج موجات هويجنز نمط الحيود، تخيل شفا عرضه  $W$  مجزاً إلى عدد زوجي من نقاط هويجنز، كما هو موضح في الشكل 13، حيث تعمل كل نقطة كمصدر لموجات هويجنز، جزئي الشق إلى جزئين متساويين، واختر مصدراً واحداً من كل جزء، بحيث يبعد كل جزء عن الآخر مسافة  $W/2$ . سينتج هذا الزوج من المصادر الموجات الأسطوانية المترابطة التي ستتداخل. سيقابل أي موجة هويجنز تتكون في النصف العلوي موجة أخرى تتكون في النصف السفلي، وتفصلهما مسافة  $W/2$ ، مما يؤدي إلى تداخلهما تداخلاً هداماً وتكوين حزمة معتمة على الشاشة. تتداخل كل الأزواج المماثلة من موجات هويجنز تداخلاً هداماً عند الحزم المعتمة. والعكس صحيح، تكون الحزمة المضئية على الشاشة نتيجة تداخل أزواج من موجات هويجنز تداخلاً بناءً. أما في المناطق ذات الإضاءة الخافتة بين الحزم المضئية والمعتمة، فيحدث تداخل هدام بشكل جزئي.

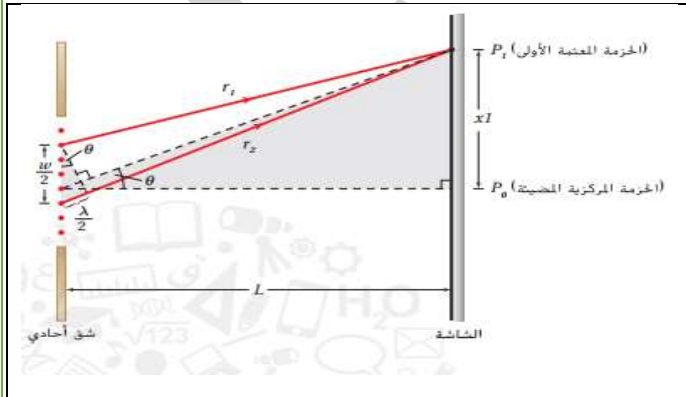
عرض الحزمة المضئية في حيود الشق الأحادي

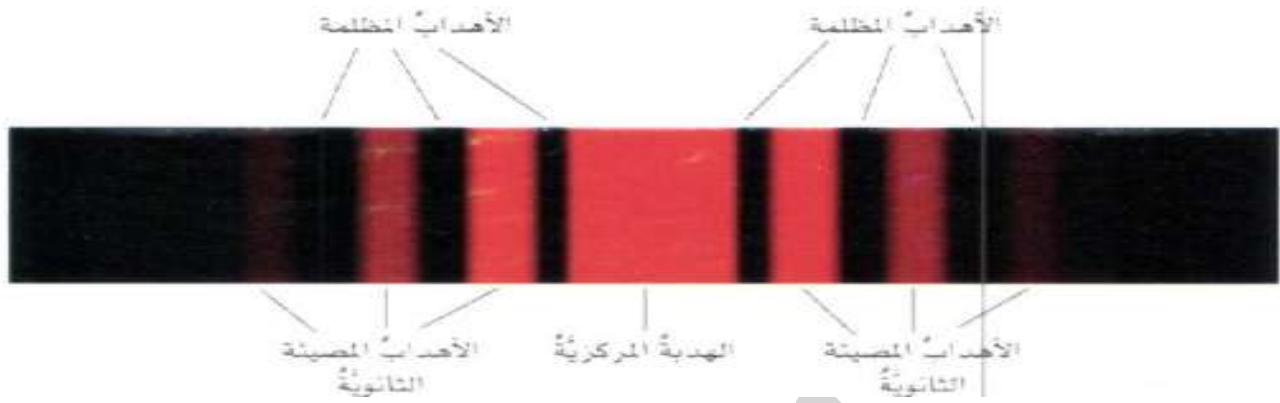
$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{W} \text{ تحسب من العلاقة}$$

حيث  $2x_1$  عرض الحزمة المركزية المضئية

$L$  البعد عن الشاشة

$W$  عرض الشق





## تمرين 3/

(1) يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي  $546\text{nm}$  على شق أحادي عرضه  $0.095\text{mm}$  ويبعد عن الشاشة مسافة  $75\text{cm}$  فما عرض الحزمة المركزية المضيئة ؟

(2) يمر ضوء أصفر طوله الموجي  $589\text{nm}$  عبر شق عرضه  $0.110\text{mm}$  فنتج نمط على الشاشة فأوجد بعد الشاشة علما بأن عرض الحزمة المركزية  $2.60 \times 10^{-2} \text{ m}$  ؟

(3) يسقط ضوء أصفر على شق أحادي عرضه  $0.0295\text{mm}$  وكان عرض الحزمة المركزية المضيئة  $24\text{mm}$  وتبعد الشاشة  $60\text{cm}$  فأوجد الطول الموجي للضوء ؟

## التحويلات الهامة

1- التحويل من  $\text{nm}$  إلى متر  $\text{m}$  نضرب في  $10^{-9}$

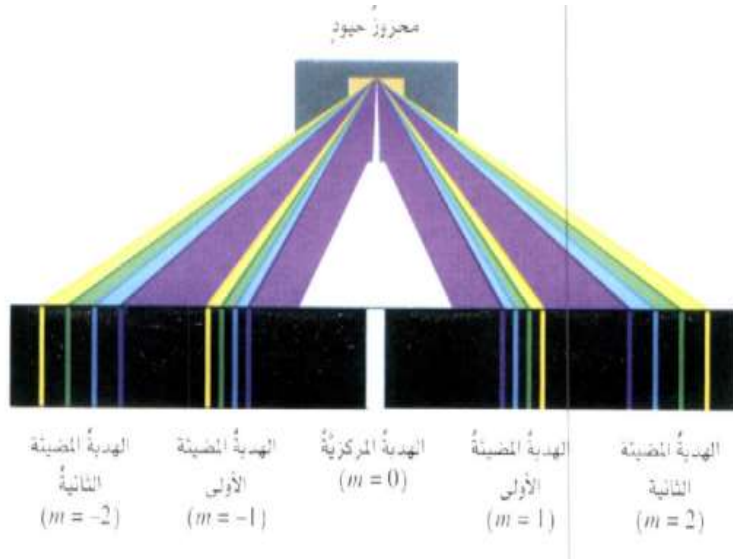
2- التحويل من  $\mu\text{m}$  إلى  $\text{m}$  متر نضرب في  $10^{-6}$

3- التحويل من  $\text{cm}$  إلى  $\text{m}$  متر نضرب في  $10^{-2}$

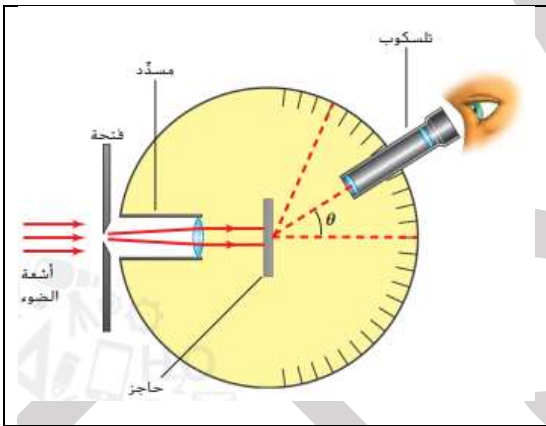
4- التحويل من  $\text{mm}$  إلى  $\text{m}$  متر نضرب في  $10^{-3}$

## محزوز الحيود

أداة مكونة من عدد كبير من الشقوق الصغيرة تسبب حيود الضوء ويتم بها دراسة الضوء والأجسام التي تبعث الضوء أو تمتصه



مثل



محزوز الانعكاس : كما في الاقراص المدمجة وأقراص DVD  
قياس الطول الموجي :

يستخدم جهاز يسمى المنظار الطيفي ذو المحزوز  
وكلما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز كانت  
الخطوط أضيق في نمط الحيود وكلما كانت الخطوط أضيق  
زادت دقة قياس المسافة بين الخطوط المضئية

يحسب الطول الموجي من محزوز الحيود من العلاقة  $\lambda = d \sin \theta$

وتحسب الزاوية من العلاقة  $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{x}{L} \right)$

حيث d تمثل المسافات بين الفراغات في المحزوز و x المسافة الفاصلة بين الخطوط في نمط الحيود  
و L البعد بين المحزوز والجدار

الطول الموجي من محزوز الحيود  
يساوي الطول الموجي للضوء المسافة الفاصلة بين الشقوق مضروبة في  
جيب الزاوية التي يحدث عندها الخط المضئي ذو الرتبة الأولى.

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

## تمرين 3/

1) يسقط ضوء طوله الموجي 500nm على محزوز حيود المسافة بين فراغاته على الشاشة التي يظهر عليها الضوء 1.29m وتبعد عن الجدار مسافة 1.25m فما المسافة بين الفراغات بمحزوز الحيود ؟

2) يضاء محزوز حيود تفصل بين شقوق مسافة  $8.60 \times 10^{-7}m$  بضوء بنفسجي طوله الموجي 421nm إذا كانت الشاشة تبعد 80.0cm من المحزوز فما مقدار المسافات الفاصلة بين بين الخطوط في نمط الحيود ؟

## قدرة التحليل للعدسات

## معياري ريلييه :

إذا سقط مركز البقعة المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمدة الأولى للنجم الثاني فإن الصورتين تكونان عند حد التمييز

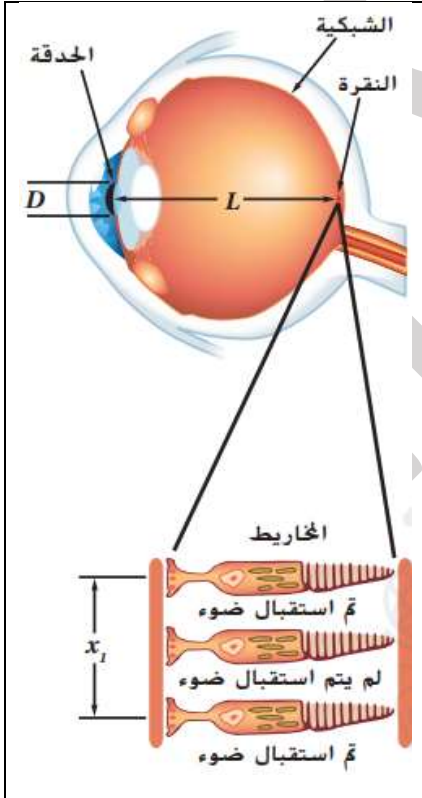
وإذا كانت صورتا النجمين عند حد التمييز فسيكون المشاهد قادرا على تحديد وجود نجمين بدلا من نجم واحد فقط

وتحسب المسافة الفاصلة بين نجمين عندما يكونان عند حد التمييز

$$x_{obj} = \frac{1.22 \lambda L_{obj}}{D} \quad \text{من العلاقة}$$

حيث  $L_{obj}$  تمثل المسافة من الفتحة المستديرة إلى الجسمين

و  $D$  تمثل قطر الفتحة المستديرة

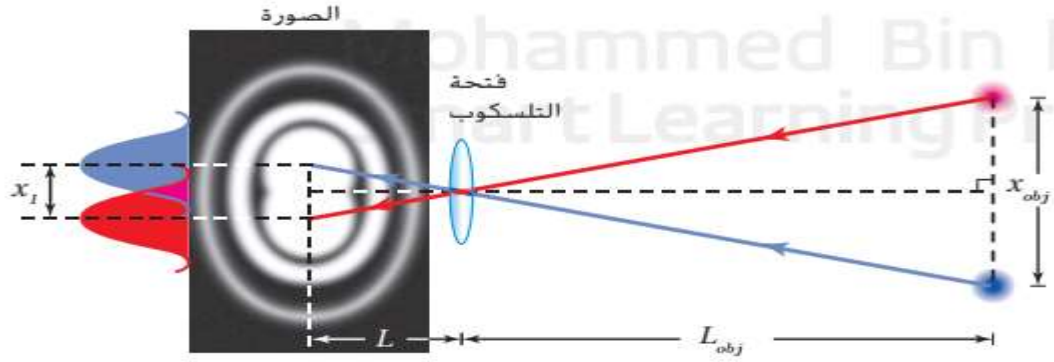


## معياري ريلييه

تساوي المسافة الفاصلة بين جسمين عندما يكونان عند حد التمييز 1.22 مضروباً في الطول الموجي للضوء والمسافة من الفتحة المستديرة إلى الجسمين مقسوماً على قطر الفتحة المستديرة.

$$x_{obj} = \frac{1.22 \lambda L_{obj}}{D}$$



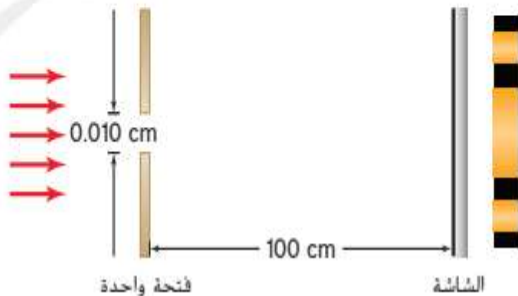


مثال

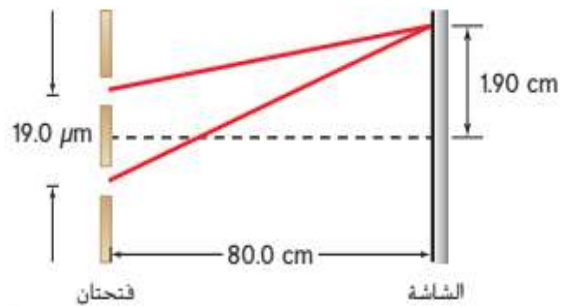
- (1) يبعد نجمان عن الأرض بمقدار  $6.4 \times 10^4$  سنة ضوئية وتصل المسافة بينهما 3.1 سنة ضوئية ما أصغر قطر لتلسكوب يمكن أن يميز بينهما باستخدام ضوء طول موجته 610nm ؟

- (2) تلسكوب هابل ( قطر فتحته 2.4m ) يتم توجيهه نحو نجم يبعد 8.44 سنة ضوئية فما أقل مسافة بين النجمين للتمييز بينهما ؟  $\lambda = 550\text{nm}$

47. يمر ضوء أحادي اللون خلال شق أحادي عرضه 0.010 cm ويسقط على شاشة تبعد 100 cm. كما في الشكل 25. إذا كان عرض الحزمة المركزية 1.20 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



35. سقط ضوء على شقين متباعدين بمقدار  $19.0 \mu\text{m}$  وبعُثدان مسافة 80.0 cm عن شاشة، كما في الشكل 23. وكانت الحزمة المضيئة ذات الرتبة الأولى تبعد 1.90 cm عن الحزمة المركزية المضيئة. فما الطول الموجي للضوء؟



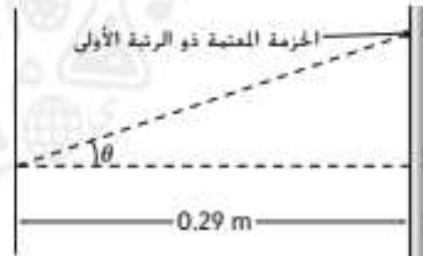
الهدية	شرط حدوثها
المركزية	فرق المسار بين موجات المصدرين يساوي صفراً $\Delta r = 0$
المضيئة الأولى	فرق المسار بين موجات المصدرين يساوي طولاً موجياً واحداً $\Delta r = \lambda$
المضيئة الثانية	فرق المسار بين موجات المصدرين يساوي طولين موجيين $\Delta r = 2\lambda$
المضيئة الثالثة	فرق المسار بين موجات المصدرين يساوي ثلاثة أطوال موجية $\Delta r = 3\lambda$

5. تبعد شقوق محزوز عن بعضها بمقدار  $0.055 \text{ mm}$ . ما زاوية الخط المضيء ذي الرتبة الأولى لضوء طول موجته  $650 \text{ nm}$ ؟  
A.  $0.012^\circ$  B.  $0.68^\circ$   
C.  $1.0^\circ$  D.  $11^\circ$
6. يضيء شعاع ليزر طول موجته  $638 \text{ nm}$  شقين ضيقين. تبعد الحزمة ذات الرتبة الثالثة للنسب الناتج عن الحزمة المركزية المضيئة بمقدار  $7.5 \text{ cm}$ . تبعد الشاشة عن الشقوق بمقدار  $2.475 \text{ m}$ . ما المسافة الفاصلة بين الشقين؟  
A.  $5.8 \times 10^{-8} \text{ m}$  B.  $6.3 \times 10^{-7} \text{ m}$   
C.  $2.1 \times 10^{-5} \text{ m}$  D.  $6.3 \times 10^{-5} \text{ m}$
7. وُضعت شاشة مستوية على بُعد  $4.200 \text{ m}$  من شقين مضائين بواسطة شعاع ضوء أحادي اللون. على الشاشة، تصل المسافة الفاصلة بين الحزمة المضيئة المركزية والحزمة المضيئة ذات الرتبة الثانية إلى  $0.082 \text{ m}$ . تبلغ المسافة بين الشقين  $5.3 \times 10^{-5} \text{ m}$ . حدد طول موجة الضوء.  
A.  $2.6 \times 10^{-7} \text{ m}$  B.  $5.2 \times 10^{-7} \text{ m}$   
C.  $6.2 \times 10^{-7} \text{ m}$  D.  $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}$
8. ينتج مهرج فقاعات صابون وتلاحظ أن لون جزء واحد من الفقاعة الكبيرة بشكل خاص يوافق لون أنفه. إذا كانت الفقاعة تعكس موجات الضوء الأحمر بمقدار  $6.5 \times 10^{-7} \text{ m}$  وكان معامل الانكسار لفساء الفقاعة  $1.41$ . فما الحد الأدنى لسمك فقاعة الصابون في الموقع الذي تعكس فيه الضوء الأحمر؟  
A.  $1.2 \times 10^{-7} \text{ m}$  B.  $3.5 \times 10^{-7} \text{ m}$   
C.  $9.2 \times 10^{-7} \text{ m}$  D.  $1.9 \times 10^{-6} \text{ m}$

### أسئلة ذات إجابات مفتوحة

9. يُنتج محزوز حيود يتكون من  $6000$  شق لكل  $\text{cm}$  شط حيود يتضمن خطاً مضيقاً من الرتبة الأولى عند  $20^\circ$  من الخط المركزي المضيء. فما الطول الموجي للضوء؟

1. ما أفضل تفسير محتمل لسبب تغيّر ألوان الفشاء الرقيق. مثل فقاعة الصابون أو الزيت على الماء وتحركها كما ترى؟  
A. لأن موجات الحمل الحراري في الهواء بجانب الفشاء الرقيق تشوه الضوء  
B. لأن سمك الفشاء في موقع معين يتغير مع مرور الزمن  
C. لأن أطوال موجة ضوء الشمس تختلف مع مرور الزمن  
D. لأن رؤيتك تختلف إلى حد ما مع مرور الزمن
2. يظهر الضوء عند  $410 \text{ nm}$  من خلال شق ويسقط على شاشة مسطحة كما هو موضح في الشكل التالي. يبلغ عرض الشق  $3.8 \times 10^{-6} \text{ m}$ . ما عرض الحزمة المركزية المضيئة؟  
A.  $0.024 \text{ m}$  B.  $0.031 \text{ m}$   
C.  $0.048 \text{ m}$  D.  $0.063 \text{ m}$



3. في ما يتعلق بالحالة الموضحة في المسألة 2، ما زاوية  $(\theta)$  للحزمة الأولى المضيئة؟  
A.  $3.1^\circ$  B.  $6.2^\circ$   
C.  $12^\circ$  D.  $17^\circ$

4. تبعد نجبان عن الأرض بمقدار  $6.2 \times 10^4$  سنة ضوئية وتصل المسافة بينهما إلى  $3.1$  سنوات ضوئية. ما أصغر قطر لتلسكوب يمكن أن يميز بينهما باستخدام ضوء طول موجته  $610 \text{ nm}$ ؟  
A.  $5.0 \times 10^{-5} \text{ m}$  B.  $6.1 \times 10^{-5} \text{ m}$   
C.  $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$  D.  $1.5 \times 10^7 \text{ m}$