

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- معرفة كيف تُظهر أنماط التداخل والحيود أن الضوء يسلك سلوك الموجات.
- توضيح كيفية حدوث أنماط التداخل والحيود في الطبيعة، وكيفية استخدامها.

الأهمية

يمكن رؤية كل من ظاهرتي التداخل والحيود في الأشياء المحيطة بك؛ إذ تُظهر الأقراص المدججة بالحيود بوضوح، كما يظهر التداخل في الفقاعات، في حين تُظهر أجنحة الفراشة الزرقاء كلاً من التداخل والحيود معاً.

محلول الفقاعات يكون محلول فقاعات الصابون في الإناء شفافاً، ولكن إذا علقت الفقاعات على شبكة بلاستيكية أمكنك رؤية مجموعة من الألوان. ولا تنتج هذه الألوان بسبب وجود الأصباغ أو الملونات في الصابون، ولكن تظهر بسبب الطبيعة الموجية للضوء.

فكر

كيف يُظهر محلول فقاعات الصابون ألوان قوس المطر؟

عندما يُضاء سطح غشاء رقيق، كغشاء فقاعة صابون، فإن جزءاً من موجات الضوء ينعكس عن السطح الخارجي للغشاء، بينما ينفذ الجزء الآخر إلى داخل الغشاء، فينعكس عن السطح المقابل لذلك الغشاء. تتداخل هذه الموجات المنعكسة مسببة تداخلاً بناءً لبعض الأطوال الموجية، بينما تسبب تداخلاً هداماً لبعضها الآخر، وذلك وفق سمك الغشاء ومعاملات الانكسار.



www.jen.edu.sa



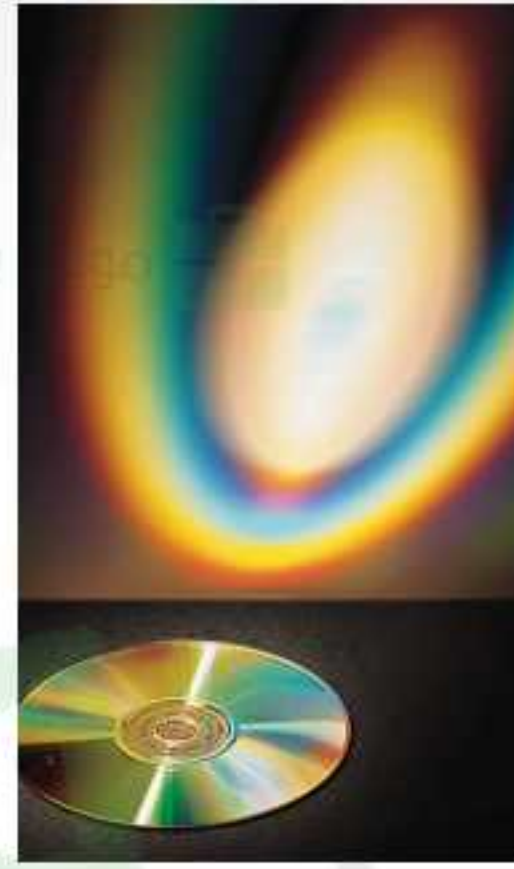
تجربة استهلاكية

لماذا يعكس القرص المدمج الضوء بألوان قوس المطر؟

سؤال التجربة كيف يتأثر الضوء عندما ينعكس عن قرص مدمج؟

الخطوات

1. احصل على قرص مدمج (CD أو DVD) وجهاز عرض الضوء، ومرشحات ضوئية - من معلمك.
2. ضع القرص المدمج على سطح الطاولة، بحيث يكون سطحه العاكس إلى أعلى.
3. ضع مرشح لون على جهاز عرض الضوء.
4. شغل جهاز عرض الضوء، وأسقط الضوء الصادر على سطح القرص المدمج، بحيث



- يسقط الضوء المنعكس عن القرص على شاشة بيضاء. تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الضوء الصادر عن جهاز عرض الضوء.
5. سجّل ملاحظاتك حول الضوء الذي تشاهده على الشاشة.
 6. أطفئ جهاز عرض الضوء، وغيّر مرشح اللون مستخدماً مرشح لون آخر.
 7. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام مرشح لون جديد.
 8. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام ضوء أبيض.

التحليل

هل يؤثر لون الضوء في النمط المتكوّن؟ كيف يختلف انعكاس الضوء الأبيض عن انعكاس الضوء الأحادي اللون؟

التفكير الناقد تأمل ملاحظاتك حول الضوء الأبيض المنعكس عن القرص، واقترح مصادر أخرى تُمكنك تُظهر حزمًا من الألوان.

7-1 التداخل Interference

التحليل

هل يؤثر لون الضوء في النمط المتكوّن؟ كيف يختلف انعكاس الضوء الأبيض عن انعكاس الضوء الأحادي اللون؟

ينعكس الضوء الأحادي اللون

عن القرص المدمج، وتنتج حلقة لون مفردة تُشاهد على الشاشة. يُنتج الضوء الأبيض حلقات متحدة المركز للألوان، بحيث يظهر اللون الأزرق ذو الطول الموجي القصير في الداخل، واللون الأحمر ذو الطول الموجي الكبير في الخارج.

التفكير الناقد تأمل ملاحظاتك حول الضوء الأبيض المنعكس عن القرص، واقترح مصادر أخرى تُمكنك تُظهر حزمًا من الألوان.

قد يعتقد الطلاب

أن الطيف ينتج بسبب التفريق، إلا أن القرص المدمج البلاستيكي غير سميك بصورة كافية لتفريق الضوء الأبيض بدرجة كبيرة. وسبب ظهور هذا الطيف هو الحيود، حيث يُكوّن محزوز الانعكاس الدائري نمط حيود، وسوف تناقش محزوزات الحيود لاحقًا.

a



b



الشكل 1-7 تتولد مقدمات موجات الضوء المنتظمة من المصادر النقطية (a)، وأشعة الليزر (b).

تداخل الضوء المترابط (المتزامن)

Interference of Coherent Light

إن نقيض الضوء غير المترابط هو **الضوء المترابط**؛ وهو الضوء الناتج عن تراكب ضوء صادر من مصدرين أو أكثر، مُشكلاً مقدمات موجات منتظمة. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة من مصدر نقطي، كما يتضح من الشكل 1a-7، كما يمكن توليدها أيضاً من مصادر نقطية عدّة عندما تتزامن هذه المصادر النقطية جميعها، كما في أشعة الليزر، وكما هو موضح في الشكل 1b-7. وتحدث ظاهرة التداخل نتيجة تراكب موجات ضوئية صادرة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط، كما ستلاحظ في هذا الفصل.

أثبت الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج أن للضوء خصائص موجية، وذلك عندما أنتج نمط تداخل من إسقاط ضوء من مصدر نقطي مترابط أحادي خلال شقين. فقد وجّه يونج ضوءاً مترابطاً على شقين ضيقين وقريبين في حاجز. وعند تداخل الضوء الخارج من الشقين وسقوطه على الشاشة لوحظ أن الضوء المتداخل لم يُنتج إضاءة منتظمة، وبدلاً من ذلك ولّد نمطاً مكوناً من حزم مضيئة وأخرى معتمّة، سمّاها يونج **أهداب التداخل**. وقد فسّر يونج تكوّن هذه الحزم نتيجة التداخل البناء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية الصادرة من الشقين في الحاجز.

في تجربة تداخل الشقّ المزدوج (تجربة يونج) حيث استخدم **ضوء أحادي اللون**؛ وهو ضوء له طول موجي واحد فقط، يُنتج التداخل البناء حزمة ضوئية مركزية مضيئة (هدباً مضيئاً) بلون معين على الشاشة، كما يُنتج على كل جانب حزمة مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية تقريباً، وعرضها متساوٍ تقريباً، كما يتضح من الشكلين 2a-7 و 2b-7. وتتناقص شدة إضاءة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي. ويمكنك ملاحظتها بسهولة في الشكل 2a-7. وتوجد بين الأهداب المضيئة مساحات معتمّة (أهداب معتمّة)؛ بسبب حدوث تداخل هدام. وتعتمد مواقع حزم التداخل البناء والهدّام على

الشكل 2-7 أنماط تداخل الشقّ المزدوج للضوء الأزرق (a)، وللضوء الأحمر (b)، وللضوء الأبيض (c).

a

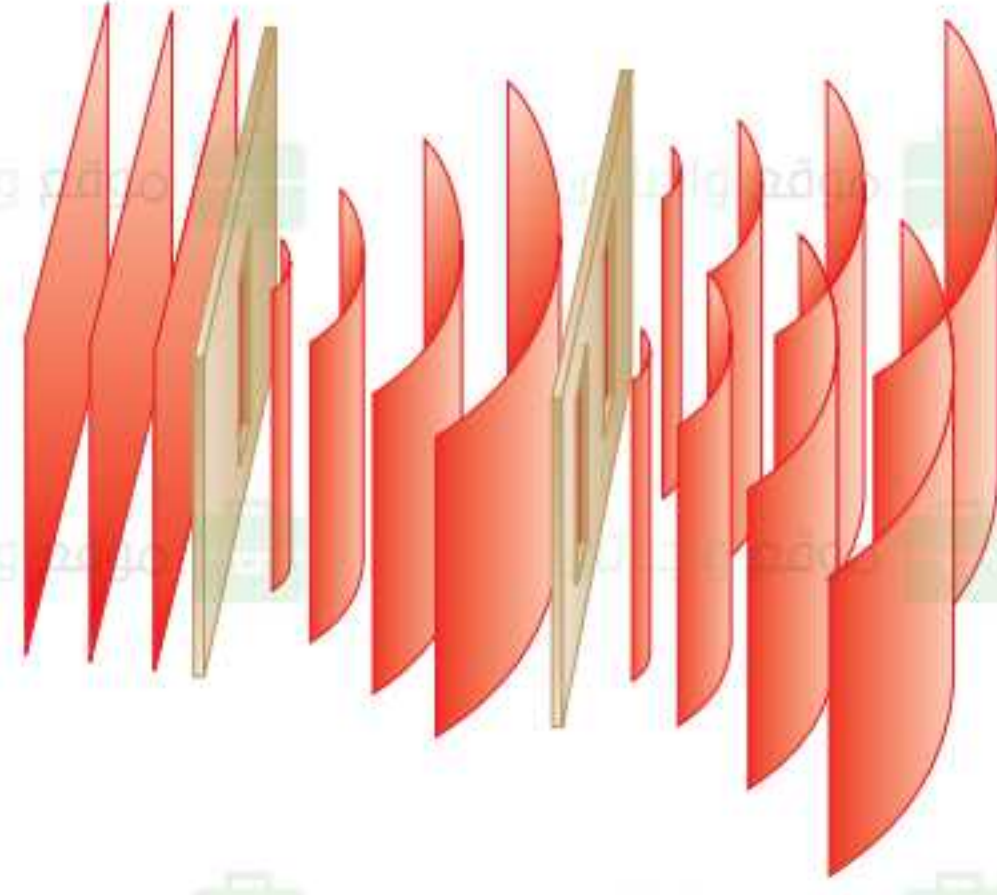


b



c



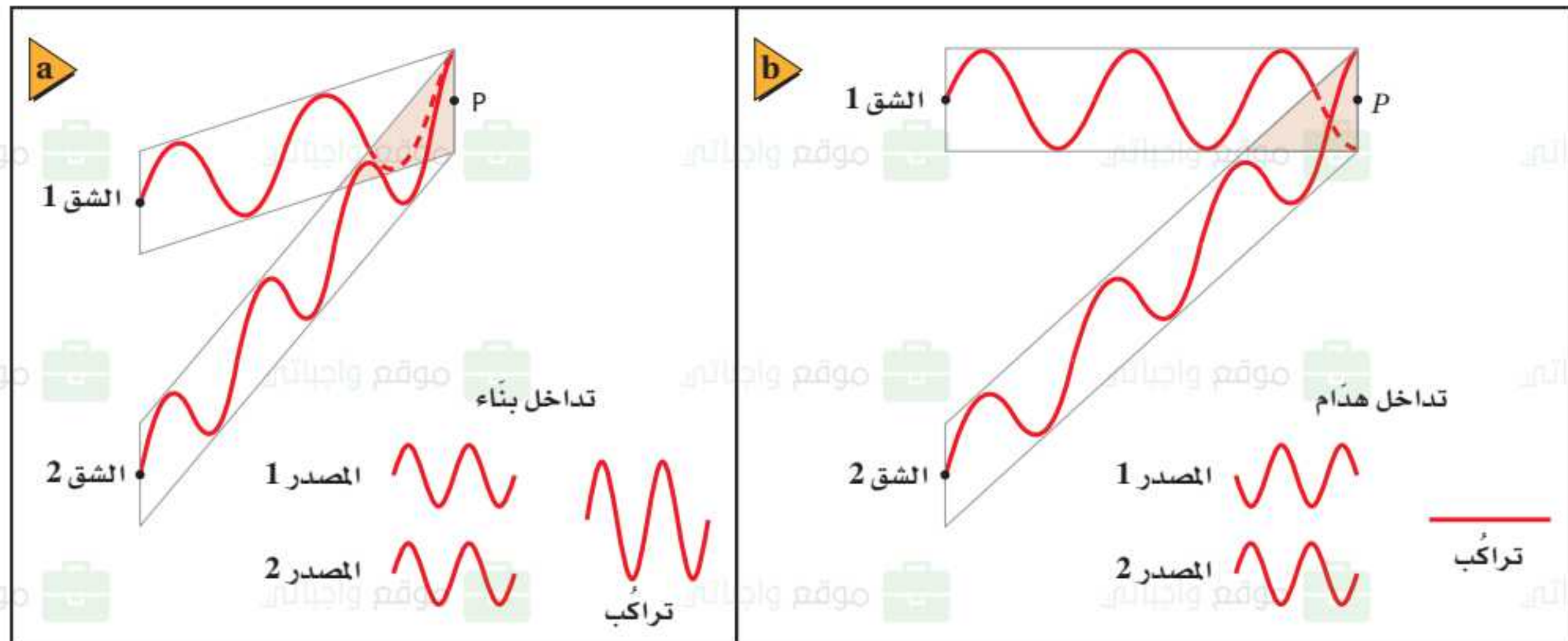


■ **الشكل 3-7** مصدر الضوء المتوافق الذي يتكوّن بواسطة الشقّ الأحادي الضيق يُنتج موجات متوافقة أسطوانية الشكل تقريباً، تنتقل إلى شقين في الحاجز الثاني. وتغادر موجتان متوافقتان أسطوانيتا الشكل تقريباً الشقّ المزدوج.

الطول الموجي للضوء الساقط. وعندما يُستخدم ضوء أبيض في تجربة شقي يونج فإن التداخل يسبّب ظهور أطراف ملوّنة بدلاً من الأهداب المضيئة والمعتمة، كما يتضح من الشكل 2c-7. وتتداخل الأطوال الموجية جميعها تداخلاً بناءً في الهدب المركزي المضيء؛ لذا يكون هذا الهدب أبيض دائماً. وتنتج مواقع الأهداب الأخرى الملوّنة عن تراكب أهداب التداخل التي تحدث، حيث تتداخل الأطوال الموجية لكل لون منفصل تداخلاً بناءً.

تداخل الشق المزدوج لتوليد ضوء مترابط من ضوء غير مترابط، وضع يونج حاجزاً ضوئياً ذا شقّ ضيق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون. ولأن عرض هذا الشقّ كان صغيراً جداً، فقد نفذ الجزء المترابط من الضوء فقط، ثم حاد هذا الجزء بواسطة الشقّ، فتولّدت مقدمات موجات أسطوانية تقريباً بسبب حيودها، كما في الشكل 3-7. وبسبب تماثل مقدمات الموجة الأسطوانية فإن جزأي مقدمة الموجة يصلان إلى الحاجز الثاني ذي الشقين متفقين في الطور. ثم ينتج عن الشقين في الحاجز الثاني مقدمات موجات مترابطة وأسطوانية الشكل تقريباً تتداخل بعد ذلك، كما في الشكل 3-7، تداخلاً بناءً أو هداماً؛ اعتماداً على العلاقة بين طوريهما، كما موضّح في الشكل 4-7.

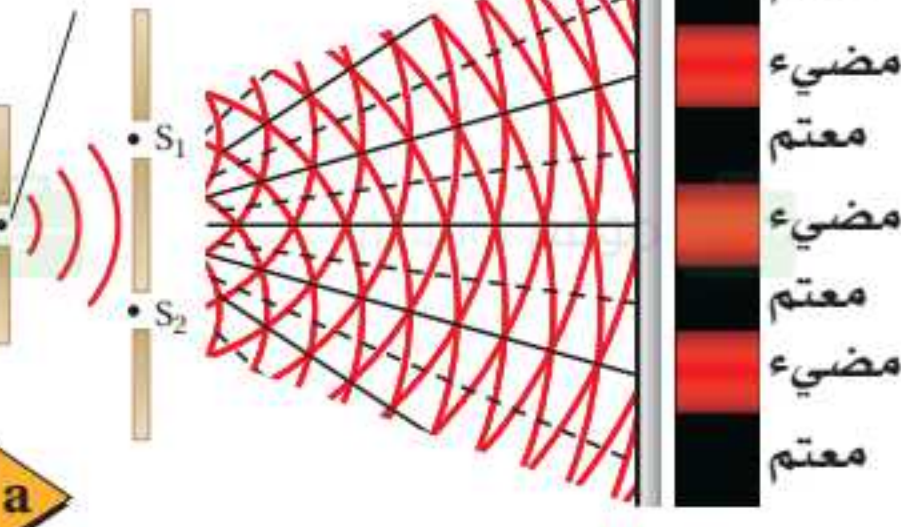
■ **الشكل 4-7** تولّد عند الشقين زوج من الموجات المتفقة في الطور. ويمكن أن يحدث للموجات عند بعض المواقع تداخل بناء لتشكل أهداب مضيئة (a)، أو تداخل هدام لتشكل أهداب معتمة (b).



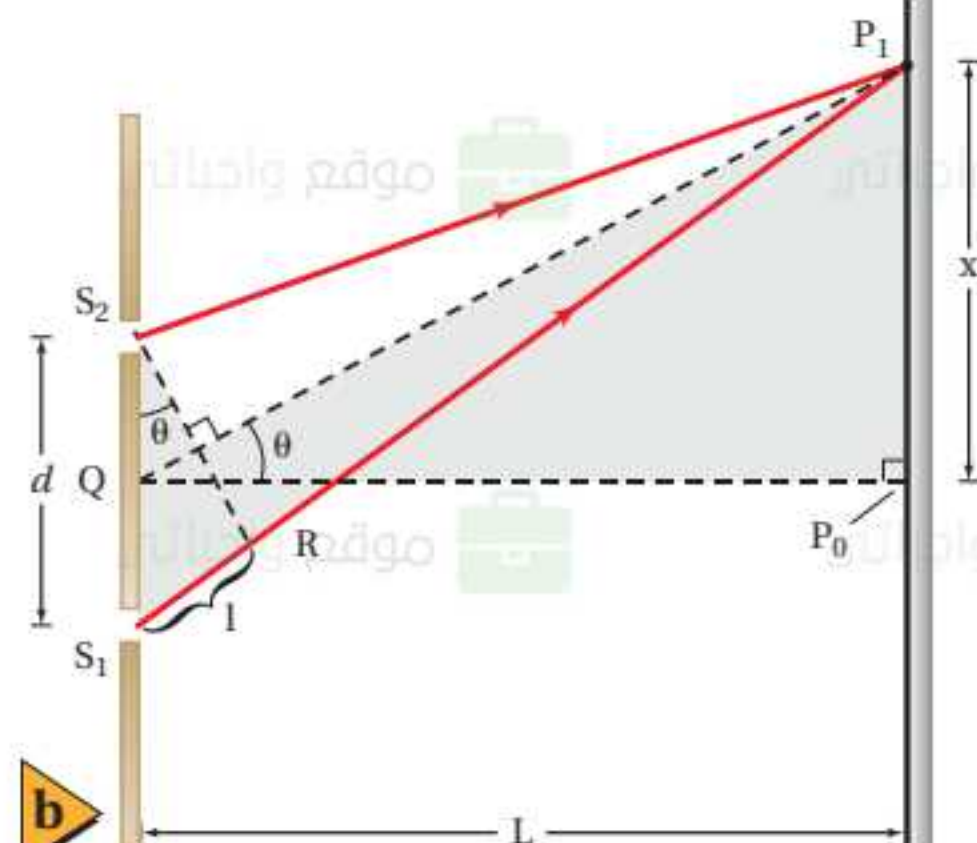
تداخل هدام

تداخل بناء

المصدر



a



b

الشكل 5-7 يولد تداخل الضوء الأحادي اللون الذي يمر خلال الشقّ المزدوج أهداباً مضيئة وأخرى معتمة على الشاشة (a). يمثل هذا الشكل (b) تحليلاً للهدبة المضيئة الأولى؛ حيث تكون المسافة الفاصلة بين الشقين والشاشة L أكبر بـ 105 مرة تقريباً من المسافة الفاصلة بين الشقين d . (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قياس الطول الموجي للضوء يوضح الشكل 5a-7 منظرًا علويًا لمقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريباً وتجربة شقي يونج، حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بناءً وهداماً لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة. ويوضح الشكل 5b-7 الرسم التخطيطي النموذجي الذي يستخدم لتحليل تجربة يونج. وتلاحظ من الشكل أن الموجتين تتداخلان تداخلاً بناءً على الشاشة لتكوين الهدب المركزي المضيء عند النقطة P_0 ؛ وذلك لأن للموجتين الطور نفسه، وتقطعان المسافة نفسها من كل شق إلى النقطة. كما يوجد أيضاً تداخل بناءً عند الهدب المضيء P_1 على جانبي الحزمة المركزية؛ لأن القطعة المستقيمة P_1S_1 أطول من القطعة المستقيمة P_1S_2 بمقدار طول موجي واحد λ ، لذا تصل الموجات عند النقطة P_1 بالطور نفسه. ويمكن إيجاد الطول الموجي باستخدام المعادلة الآتية:

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

الطول الموجي من تجربة شقي يونج

الطول الموجي للضوء المقيس بتجربة شقي يونج يساوي المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء الأول على الشاشة، مضروبة في المسافة بين الشقين، ومقسومة على المسافة بين الشقين والشاشة.

يحدث تداخل بناءً للضوء النافذ من شقين عند مواقع x_m ، على جانبي الهدب المركزي المضيء، ويتم تحديد هذه المواقع باستخدام المعادلة $m\lambda = \frac{x_m d}{L}$ ؛ حيث $m = 0, 1, 2, \dots$ ، والمحددة باستخدام التبسيطات الناجمة عن كون الزاوية صغيرة. ويتولد الهدب المركزي المضيء عند $m=0$ ، في حين يسمّى الهدب الناتج عند $m=1$ هدب الرتبة الأولى، وهكذا لسائر المواقع.

وقد نشر العالم يونج نتائج أبحاثه عام 1803، إلا أنه قوبل بالسخرية من المجتمع العلمي، ولم تُقبل نتائجه حتى عام 1820، حينما اقترح العالم جين فريسنل حلاً رياضياً للطبيعة الموجية للضوء من خلال مسابقة. وبين أحد حكماء المسابقة سيمون دينس بويسون أنه إذا كان اقتراح فريسنل صحيحاً فسوف تتكون بقعة مضيئة عند مركز ظل جسم دائري مُضاء بضوء مترابط. وأثبت حكم آخر - اسمه جين أرجو - وجود تلك البقعة تجريبياً؛ حيث كان كل من بويسون وأرجو متشككين حول الطبيعة الموجية للضوء قبل هذا الإثبات.



تجربة

ما الطول الموجي؟

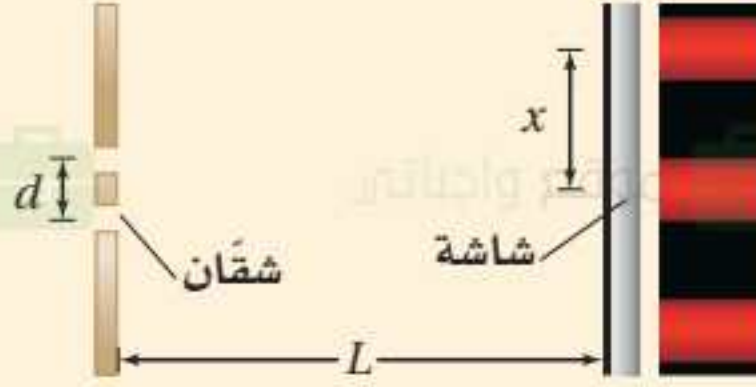
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

◀ مثال 1

الطول الموجي للضوء طُبِّقَت تجربة يونج لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر، فتكوّن الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى على بُعد 21.1 mm من الهدب المركزي المضيء. فإذا كان البعد بين الشقين 0.0190 mm، ووضعت الشاشة على بُعد 0.600 m منهما، فما الطول الموجي للضوء الأحمر؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الشقين والشاشة برسم تخطيطي.
- ارسم نمط التداخل موضّحاً فيه الأهداب في مواقعها المناسبة على الشاشة.



المجهول

$$\lambda = ?$$

المعلوم

$$d = 1.90 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$x = 2.11 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$L = 0.600 \text{ m}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$\lambda = xd/L$$

$$= \frac{(2.11 \times 10^{-2} \text{ m})(1.90 \times 10^{-5} \text{ m})}{(0.600 \text{ m})}$$

$$= 6.68 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 668 \text{ nm}$$

عوض مستخدماً $x = 2.11 \times 10^{-2} \text{ m}$, $d = 1.90 \times 10^{-5} \text{ m}$, $L = 0.600 \text{ m}$

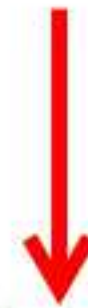
3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ الإجابة بوحدة الطول، وهي صحيحة بالنسبة للطول الموجي.
- هل الجواب منطقي؟ الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm تقريباً، وللضوء الأزرق 400 nm تقريباً، لذا فإن الإجابة منطقية.

◀ مسائل تدريبية

1. ينبعث ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm، ويسقط على شقين البعد بينهما $1.90 \times 10^{-5} \text{ m}$. ما المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب الأصفر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشة تبعد مسافة 0.600 m من الشقين؟
2. في تجربة يونج، استخدم الطلاب أشعة ليزر طولها الموجي 632.8 nm. فإذا وضع الطلاب الشاشة على بُعد 1.00 m من الشقين، ووجدوا أن الهدب الضوئي ذا الرتبة الأولى يبعد 65.5 mm من الخط المركزي، فما المسافة الفاصلة بين الشقين؟

الإجابة في الصفحة التالية



ما الهولوجرام؟

تجربة عملية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

1. ينبعث ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm، ويسقط على شقّين البعد بينهما $1.90 \times 10^{-5} \text{ m}$. ما المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب الأصفر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشة تبعد مسافة 0.600 m من الشقّين؟

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

$$= \frac{(596 \times 10^{-9} \text{ m})(1.90 \times 10^{-5} \text{ m})}{0.600 \text{ m}}$$

$$= 1.88 \times 10^{-2} \text{ m} = 18.8 \text{ mm}$$

2. في تجربة يونج، استخدم الطلاب أشعة ليزر طولها الموجي 632.8 nm. فإذا وضع الطلاب الشاشة على بُعد 1.00 m من الشقّين، ووجدوا أن الهدب الضوئي ذا الرتبة الأولى يبعد 65.5 mm من الخط المركزي، فما المسافة الفاصلة بين الشقّين؟

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

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

$$= \frac{(632.8 \times 10^{-9} \text{ m})(1.00 \text{ m})}{65.5 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$= 9.66 \times 10^{-6} \text{ m} = 9.66 \mu\text{m}$$



■ الشكل 6-7 يحدث تقوية لكل طول موجي عندما يكون سُمك غشاء الصابون $5\lambda/4, 3\lambda/4, \lambda/4$ (a). ولأن كل لون له طول موجي خاص به فإن سلسلة الأهداب التي تنعكس عن غشاء الصابون تكون ملونة (b).

التداخل في الأغشية الرقيقة Thin-film Interference

هل سبق أن شاهدت ألوان الطيف التي كوَّنتها فقاعة صابون أو غشاء زيتي عائِم على سطح تجمع مائي صغير في ساحة مواقف سيارات؟ هذه الألوان لم تنتج عن تحليل الضوء الأبيض بواسطة منشور، أو عن امتصاص الألوان بواسطة الأصباغ، بل كان طيف الألوان هذا نتيجة للتداخل البناء والهدام للموجات الضوئية؛ بسبب انعكاسها عن الغشاء الرقيق، وتسمى هذه الظاهرة **التداخل في الأغشية الرقيقة**.

إذا حُمِلَ غشاء الصابون رأسياً - كما في الشكل 6-7 - فإن وزنه يجعله أكبر سمكاً عند القاع منه عند القمة، ويتغير السمك تدريجياً من أعلى إلى القاع. وعندما تسقط موجة ضوء على الغشاء ينعكس جزء منها، كما يوضح الشعاع 1، بينما ينفذ جزء آخر منها أيضاً، ويكون للموجتين المنعكسة والنافذة تردد الموجة الضوئية الأصلية نفسه. وتنتقل الموجة النافذة خلال الغشاء إلى السطح الخلفي، حيث ينعكس جزء منها مرة أخرى، كما يوضح الشعاع 2. إن عملية تجزئة كل موجة ضوئية من المصدر غير المترابط إلى زوج متماثل من الموجات تعني أن الضوء المنعكس عن الغشاء الرقيق ضوء مترابط.

تحسين (تعزيز) اللون كيف نجعل الانعكاس لضوء أحادي اللون معزّزاً (شدة إضاءته أكبر)؟ يحدث هذا عندما يكون للموجتين المنعكستين الطُّور نفسه بالنسبة لطول موجي محدد. فإذا كان سمك غشاء الصابون في الشكل 6-7 يساوي ربع الطول الموجي $\lambda/4$ للموجة في الغشاء، فإن طول المسار ذهاباً وإياباً داخل الغشاء يساوي $\lambda/2$. وسيبدو في هذه الحالة أن الشعاع 2 يعود إلى السطح الأمامي مختلفاً في الطُّور مع الشعاع 1 بنصف طول موجي، وأن كلا من الموجتين ستُلغِي أثر الأخرى اعتماداً على مبدأ التراكب. ولكن عندما تنعكس موجة مستعرضة عن وسط ما سرعتها أقل فإنها تنقلب. ويحدث هذا للضوء عند الوسط الذي يكون معامل انكساره أكبر. ونتيجة لما سبق، ينعكس الشعاع 1 وينقلب، في حين ينعكس الشعاع 2 عن وسط معامل انكساره صغير (الهواء) ولا ينقلب. لذا يتفق الشعاعان 1 و 2 في الطور.

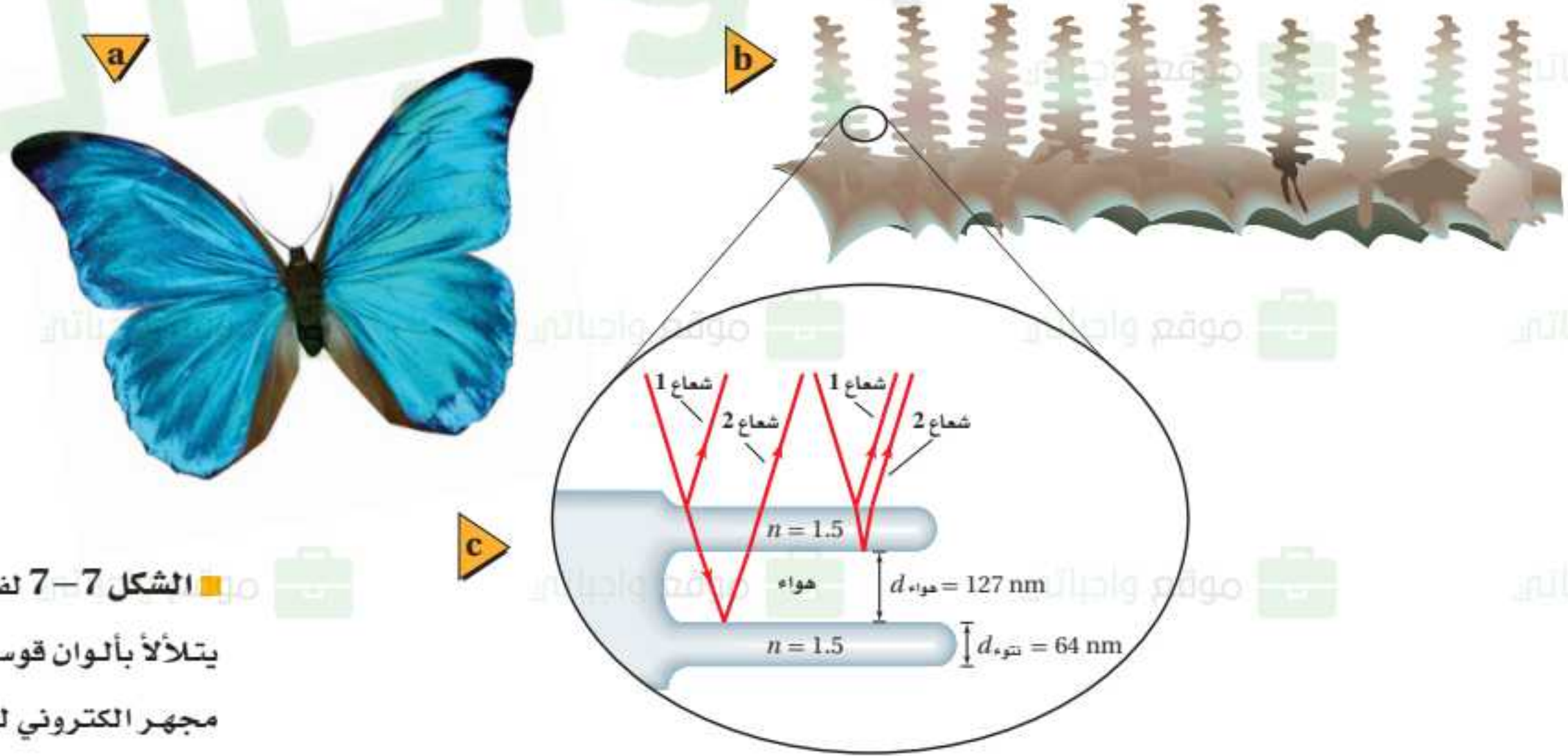
إذا كان سمك الغشاء d ، يحقق الشرط $d = \lambda/4$ ، فسينعكس لون الضوء الذي له ذلك الطول الموجي بشدة كبيرة، ويحدث تعزيز لهذا اللون نتيجة ذلك. ولأن الطول الموجي للضوء في الغشاء أقصر من الطول الموجي له في الهواء فإن $d = \lambda_{\text{الغشاء}}/4$ ، أو بدلالة الطول

تطبيق الفيزياء

النظارات غير العاكسة يمكن وضع غشاء رقيق على عدسات النظارات ليمنع عكس الأطوال الموجية للضوء التي تكون حساسية العين البشرية لها عالية جداً؛ مما يمنع وهج الضوء المنعكس.

الموجي في الهواء الغشاء $d = \lambda_{\text{الفراغ}} / 4n$. لاحظ أن كلتا الموجتين تعزز إحداهما الأخرى عندما تغادران الغشاء. بينما يحدث تداخل هدام للضوء عند الأطوال الموجية الأخرى. وكما تعلم فإن ألوان الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة. أما الغشاء المتغير السمك - ومنه الغشاء الموضح في الشكل 6-7 - فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند درجات سمك مختلفة للألوان المختلفة. والنتيجة هي تكوّن ألوان قوس المطر. وعندما يكون الغشاء رقيقاً جداً بحيث لا يُنتج تداخلاً بناءً لأي طول موجي من ألوان الضوء، يبدو الغشاء معتمًا. لاحظ تكرار الطيف في الشكل 6b-7؛ فعندما يكون سمك الغشاء $3\lambda/4$ تكون مسافة الذهاب والإياب $3\lambda/2$ ، ويحدث التداخل البناء مرة أخرى. وسيحقق أي سمك للغشاء مساوياً لـ $\lambda/4$ ، $3\lambda/4$ ، $5\lambda/4$... إلخ شروط التداخل البناء لطول موجي محدد.

تطبيقات التداخل في الأغشية الرقيقة إن مثال غشاء الماء المحتوي على الصابون في الهواء يتضمن تداخلاً بناءً مع انقلاب إحدى الموجتين عند الانعكاس. ففي المثال الذي استُهل به الفصل حول فقاعات الصابون، كلما تغير سمك غشاء محلول الفقاعات فإن الطول الموجي الذي يحدث له تداخل بناءً يتغير. وهذا يؤدي إلى تكوّن طيف مُزاح للون على سطح الغشاء الصابوني عندما يضاء بضوء أبيض. وفي أمثلة أخرى على التداخل في الأغشية الرقيقة يمكن أن تنقلب كلتا الموجتين أو لا ينقلب أيّ منهما. ويمكنك أن تحل أي مسألة تتضمن تداخل الغشاء الرقيق، وذلك باستخدام استراتيجيات حل المسألة أدناه. ويمكنك أن تضع حلاً لأي مسألة تتضمن التداخل في الأغشية الرقيقة، باستخدام استراتيجيات حل المسألة أدناه.



الشكل 7-7 7-7a لفرشة المورفو لون أزرق يتلألأ بألوان قوس المطر (a). استخدم مجهر الكتروني لعرض المقطع العرضي لجزء من نتوءات جناحها الشبيه بالنتوءات البارزة (b)، وللنتوءات البارزة تركيب مشابه للدرج. ويمكن أن تتداخل الأزواج المتماثلة من الأشعة الضوئية المنعكسة عن نتوء مفرد والأشعة المنعكسة عن نتوءات متعددة (c).

ويحدث تداخل الغشاء الرقيق طبيعياً في جناحي فرشة المورفو، كما في الشكل 7a-7. فاللون الأزرق المتلألئ للفرشة هو نتيجة للنتوءات التي تبرز خارجة من القشور الداخلية لجناح الفرشة، كما في الشكل 7b-7؛ حيث ينعكس الضوء وينكسر خلال سلسلة من التراكيب التي تشبه الدرج، كما في الشكل 7c-7، مما يؤدي إلى تكوين نمط تداخل أزرق اللون؛ يؤدي بدوره إلى ظهور الفرشة كأنها تصدر وميضاً يمكن ملاحظته عند النظر إليها.

التداخل في الأغشية الرقيقة

عند حل المسائل المتعلقة بالتداخل في الأغشية الرقيقة كَوْن المعادلة الخاصة بالمسألة، وذلك

باستخدام الاستراتيجيات الآتية:

انعكاس عن غشاء رقيق



1. ارسم رسماً توضيحياً للغشاء الرقيق وللموجتين

المتراپطين. وللتسهيل ارسم الموجات على شكل أشعة.

2. اقرأ المسألة، وحدد هل حدث تقوية أم إضعاف

للضوء المنعكس؟ فإذا حدثت تقوية له تكون

الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلاً بناءً، أما إذا

ضعف فتكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلاً

هدّاماً.

3. هل تنقلب إحدى الموجتين أو كليهما عند

الانعكاس؟ إذا تغيّر معامل الانكسار من قيمة أقل

إلى قيمة أكبر تكون الموجة المنعكسة منقلبة، أما إذا

تغير معامل الانكسار من قيمة أكبر إلى قيمة أقل فلن

تنقلب الموجة المنعكسة.

4. أوجد المسافة الإضافية التي يجب أن تقطعها الموجة الثانية في الغشاء الرقيق لتوليد التداخل المطلوب.

a. إذا أردت تداخلاً بناءً وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، أو أردت تداخلاً هداماً وكانت

كليهما مقلوبة أو غير مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عدداً فردياً من أنصاف الطول

الموجي: $\lambda_{\text{الغشاء}} (m + \frac{1}{2})$ حيث $m = 1, 2, 3, \dots$

b. إذا أردت تداخلاً بناءً وكانت كليتا الموجتين مقلوبة أو غير مقلوبة، أو أردت تداخلاً هداماً

وكانت إحدى الموجتين مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عدداً صحيحاً من الأطوال

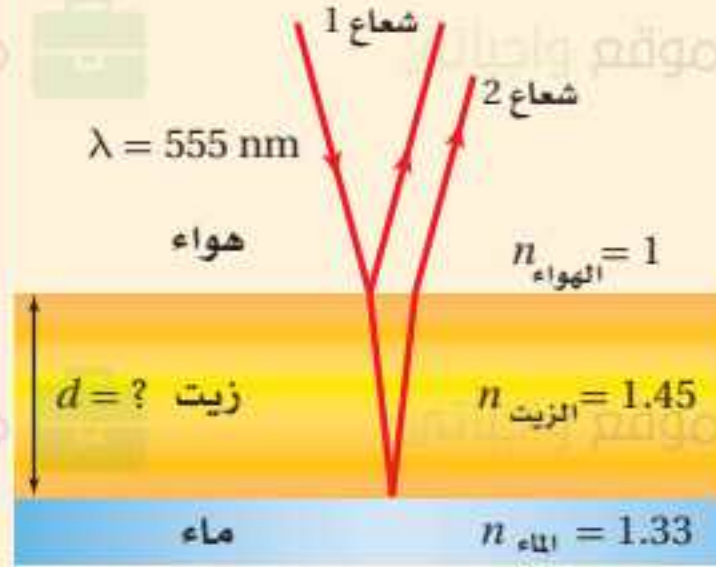
الموجية: $m\lambda_{\text{الغشاء}}$ ، حيث $m = 1, 2, 3, \dots$

5. حدّد المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع الثاني بحيث تساوي ضعف سمك الغشاء، $2d$.

6. تذكر مما درسته سابقاً أن $n_{\text{الغشاء}} / n_{\text{الفراغ}} = \lambda_{\text{الغشاء}} / \lambda$.

مثال 2

الزيت والماء لاحظت حلقات ملوثة في بركة ماء صغيرة، واستنتجت أنه لا بد من وجود طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء. فنظرت مباشرة إلى أسفل نحو البركة، فشاهدت منطقة صفراء مخضرة ($\lambda = 555 \text{ nm}$). فإذا كان معامل الانكسار للزيت 1.45، وللماء 1.33، فما أقل سمك لطبقة الزيت تسبب ظهور هذا اللون؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الغشاء الرقيق والطبقتين؛ الطبقة التي فوقه والطبقة التي تحته.
- ارسم الأشعة مبيناً الانعكاس عن سطح الغشاء العلوي وعن سطحه السفلي.

المجهول

$$d = ?$$

المعلوم

$$n_{\text{الماء}} = 1.33$$

$$n_{\text{الزيت}} = 1.45$$

$$\lambda = 555 \text{ nm}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لأن $n_{\text{الهواء}} < n_{\text{الزيت}}$ فسيؤدي ذلك إلى اختلاف في الطور بمقدار 180° (انقلاب في الطور) في الانعكاس الأول، ولأن $n_{\text{الزيت}} > n_{\text{الماء}}$ فلن يحدث انقلاب في الطور في الانعكاس الثاني. لذا يحدث انقلاب موجي واحد فقط، ويكون الطول الموجي للضوء في الزيت أقل منه في الهواء.

طبق استراتيجية حل المسائل لتكوين المعادلة:

ولأنك تريد أقل سمك، فإن $m=0$.

عوض مستخدماً $m = 0$

عوض مستخدماً $n_{\text{الزيت}} = 1.45$ و $\lambda = 555 \text{ nm}$

$$2d = \left[m + \frac{1}{2}\right] \frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}}$$

$$d = \frac{\lambda}{4n_{\text{الزيت}}} = \frac{555 \text{ nm}}{4(1.45)} = 95.7 \text{ nm}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ إن الإجابة بوحدة nm، وهي صحيحة بالنسبة للسمك.
- هل الجواب منطقي؟ إن أقل سمك يكون أقل من طول موجي واحد، والذي يمثل ما يجب أن يكون.

مسائل تدريبية

3. ارجع إلى المثال 2، ثم أوجد أقل سمك ممكن للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر ($\lambda = 635 \text{ nm}$).
4. وضع غشاء من فلوريد الماغنسيوم معامل انكساره 1.38 على عدسة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة معامل انكساره 1.52. كم يجب أن يكون سمك الغشاء بحيث يمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر؟
5. ما أقل سمك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلاً بناءً مع نفسه؟

الإجابة في الصفحة التالية

3. ارجع إلى المثال 2، ثم أوجد أقل سُمْك ممكن للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر ($\lambda = 635 \text{ nm}$).

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}}$$

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكاً

$$m = 0$$

$$\begin{aligned} d &= \left(\frac{1}{4}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}} \\ &= \frac{635 \text{ nm}}{(4)(1.45)} \\ &= 109 \text{ nm} \end{aligned}$$

4. وضع غشاء من فلوريد الماغنسيوم معامل انكساره 1.38 على عدسة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة معامل انكسارها 1.52. كم يجب أن يكون سمك الغشاء بحيث يمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر؟

لأن $n_{\text{الغشاء}} < n_{\text{الهواء}}$ فإن هناك انقلاباً في الطور في الانعكاس الأول،

ولأن $n_{\text{الزجاج}} < n_{\text{الغشاء}}$ فإن هناك انقلاباً في الطور في الانعكاس

الثاني. ولمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر يجب أن يكون

التداخل هداماً

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكاً

$$m = 0$$



$$d = \left(\frac{1}{4}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{555 \text{ nm}}{(4) (1.38)}$$

$$= 101 \text{ nm}$$

5. ما أقل سُمْك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلاً بناءً مع نفسه؟

حتى يتداخل الضوء تداخلاً بناءً

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكاً

$$m = 0$$

$$d = \left(\frac{1}{4}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{521 \text{ nm}}{(4) (1.33)}$$

$$= 97.9 \text{ nm}$$

6. **سمك الغشاء** يمسك خالد بلعبة الفقاعات، وينفخ في غشاء الصابون المعلق رأسياً في الهواء مكوناً فقاعات. ما العرض الثاني الأقل سمكاً لغشاء الصابون الذي يتوقع عنده رؤية شريط مضيء إذا كان الطول الموجي للضوء الذي يضيء الغشاء 575 nm؟ افترض أن معامل انكسار محلول الصابون 1.33.

سيكون هناك انقلاب واحد في الطور؛ لذا سيحدث التداخل

البناء عندما :

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

بالنسبة إلى العرض الثاني الأقل سمكاً، تكون

$$m = 1$$

$$d = \left(\frac{3}{4}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{(3) (575 \text{ nm})}{(4) (1.33)}$$

$$= 324 \text{ nm}$$

7. **الأنماط المضيئة والمعتمة** تم تكوين شقين متقاربين جداً في قطعة كبيرة من الكرتون، وأضيء الشقان بضوء أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيداً عن الشقين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقاً. وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة.

عندما تواجه الموجة شقاً فإنها تنحني. فالضوء يحيد بواسطة

الشقوق، والضوء النافذ من أحد الشقوق يتداخل مع الضوء

النافذ من الشق الآخر، فإذا كان التداخل بناءً فسيكون هدب

مضيء، أما إذا كان التداخل هداماً فإن الهدب سيكون معتماً.

8. أنماط التداخل وضح بالرسم النمط الذي وُصف في المسألة السابقة.

ستكون شبيهة بالنمط الذي تشاهده للضوء الأحمر.

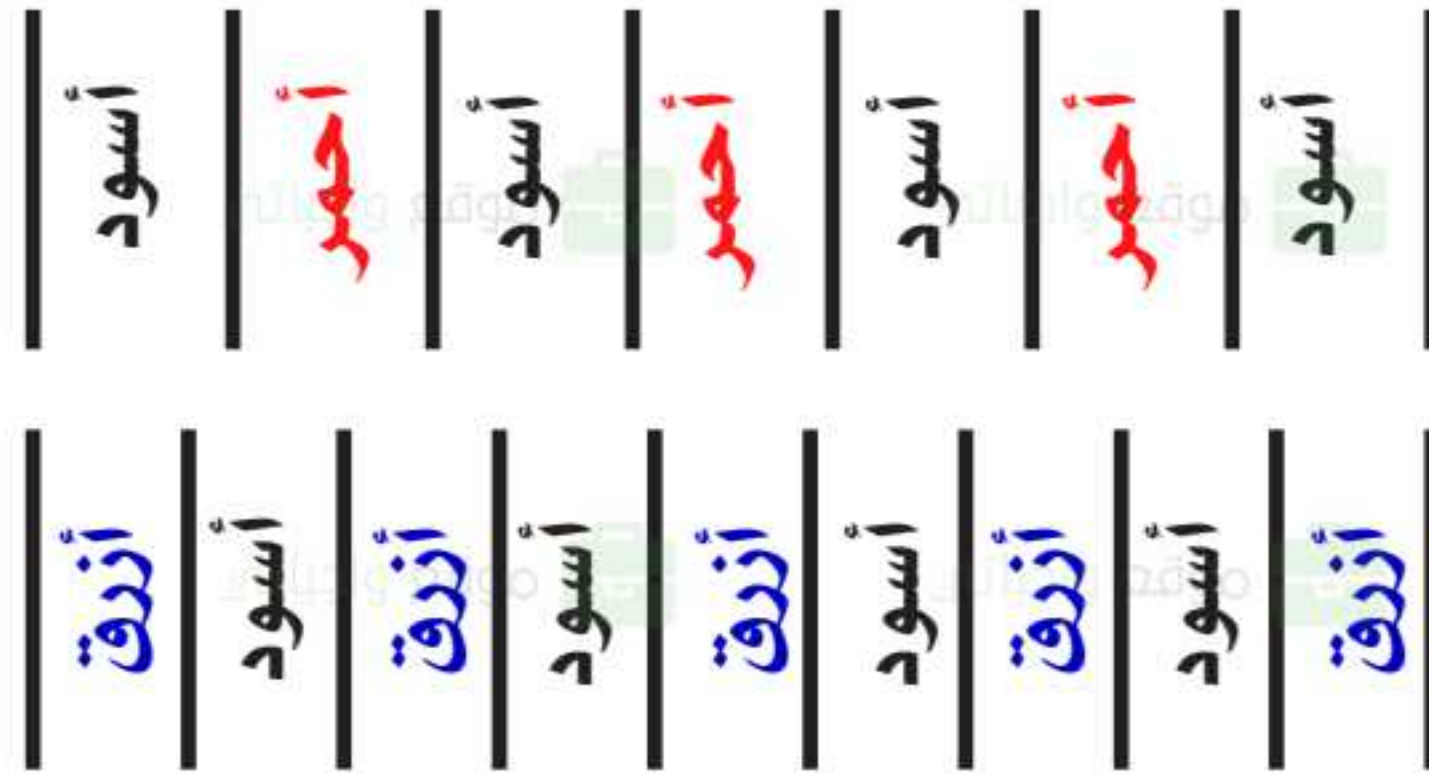
التكرارات
والتلاشيات



التكرارات
والتلاشيات

9. أنماط التداخل مثل ما يحدث لنمط التداخل في المسألة 7 عند استخدام ضوء أزرق بدلاً من الضوء الأحمر.

التكرارات
والتلاشيات



التكرارات
والتلاشيات

تصبح أهداب الضوء بعضها أقرب إلى بعض.

10. **سمك الغشاء** غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره

1.83، ثبت على نافذة زجاجية، فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج 1.52:

a. فما أقل سُمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

75.8 nm

b. إذا علمت أن هذا الغشاء لا يمكن صناعته بهذا

السُمك، فما السُمك الآتي الذي يحدث التأثير نفسه؟

227 nm

11. **التفكير الناقد** تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة

من تجربة يونج عندما تكون الزاوية θ صغيرة جدًا،

وعندها يكون $\sin \theta \approx \tan \theta$. إلى أي زاوية يبقى هذا

التقريب جيدًا؟ وهل تزداد الزاوية العظمى للتقريب

الجيد والصحيح أم تتناقص عندما تزيد دقة قياسك لها؟

$\sin \theta = \tan \theta$ لزاوية تتكون من رقمين معنويين حتى 9.9° ،

وزيادة دقة القياس يقلل هذه الزاوية إلى 2.99° .



www.iqn.edu.sa

7-2 الحيود Diffraction

الأهداف

- توضيح كيف تتشكل أنماط الحيود بواسطة محزوزات الحيود.
- تصف كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف.
- تناقش كيف يحدد الحيود من المقدرة على التمييز بين جسمين متقاربين جداً بواسطة عدسة.

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معياريه

درست سابقاً أن مقدمات الموجات الضوئية المنتظمة تنحني حول حواف فتحة في حاجز في أثناء نفاذها خلال هذه الفتحة؛ أي يحدث لها حيود. وقد أمكن تفسير ذلك وفقاً لمبدأ هيجنز، الذي يبين أن النقاط جميعها على مقدمات الموجات تمثل مصادر ضوئية نقطية، فإذا عبر الضوء المترابط حافتين متقاربتين يتكوّن نمط حيود؛ وهو نمط يتكوّن على شاشة نتيجة التداخل البناء والهدام لموجات هيجنز.

حيود الشق الأحادي Single-Slit Diffraction

عندما يمر الضوء الأزرق المترابط خلال شق صغير عرضه أكبر من الطول الموجي للضوء فإن الضوء يحيد عن كلتا الحافتين، وتتكوّن سلسلة من الأهداب المضيئة والمعتمة على شاشة بعيدة، كما في الشكل 7-8. وتلاحظ أنه بدلاً من تكوّن أنماط تفصلها مسافات متساوية كتلك التي تكوّنت من مصدرين ضوئيين مترابطين في تجربة يونج يتكوّن في هذه الحالة نمط عبارة عن هدب مركزي عريض ومضيء مع أهداب أقل سمكاً وأقل إضاءة على كلا الجانبين. ويزداد عرض الحزمة المركزية المضيئة عندما نستخدم الضوء الأحمر بدلاً من الضوء الأزرق، وعند استخدام الضوء الأبيض يكون النمط مزيجاً من أنماط ألوان الطيف جميعها.

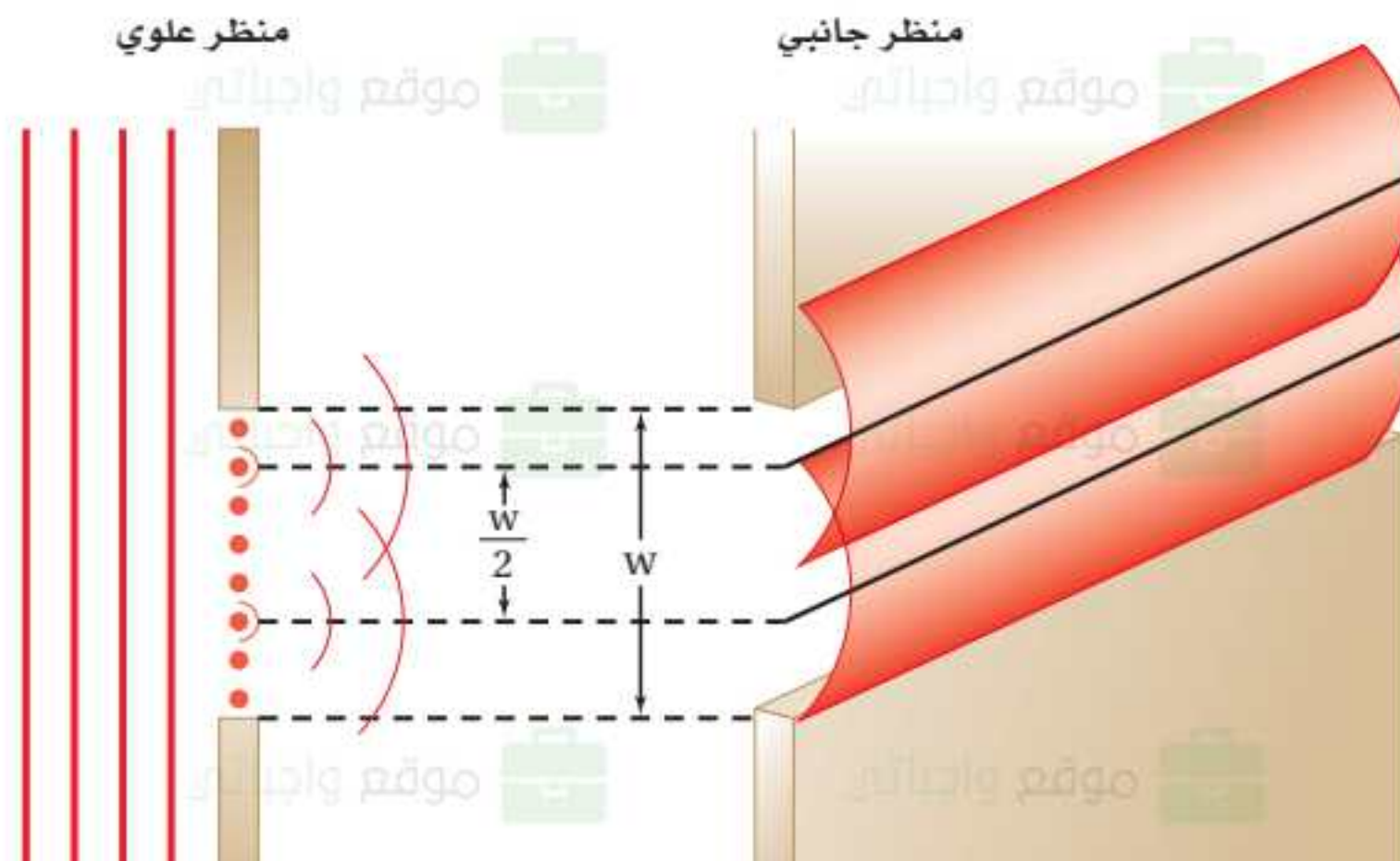
ولملاحظة كيف تُنتج موجات هيجنز نمط الحيود، تخيل شقاً عرضه w مُجزأ إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، كما في الشكل 7-9، حيث تعمل كل نقطة من هذه النقاط بوصفها مصدراً نقطياً لموجات هيجنز. جزئ الشق ذهنيًا إلى جزأين متساويين، واختر مصدراً واحداً من كل جزء، على أن يفصل كل زوج مسافة $w/2$ عن الآخر. سيُنتج هذا الزوج من المصادر الموجات الأسطوانية المترابطة التي ستتداخل.

ويقابل كل موجة هيجنز تتكوّن في النصف العلوي من الشق موجة هيجنز أخرى تتكوّن في النصف السفلي منه، وتفصلها مسافة $w/2$ مما يؤدي إلى تداخلها تداخلاً هداماً وتكوين هدب معتم على الشاشة، وتتداخل كل الأزواج المماثلة من موجات هيجنز تداخلاً هداماً

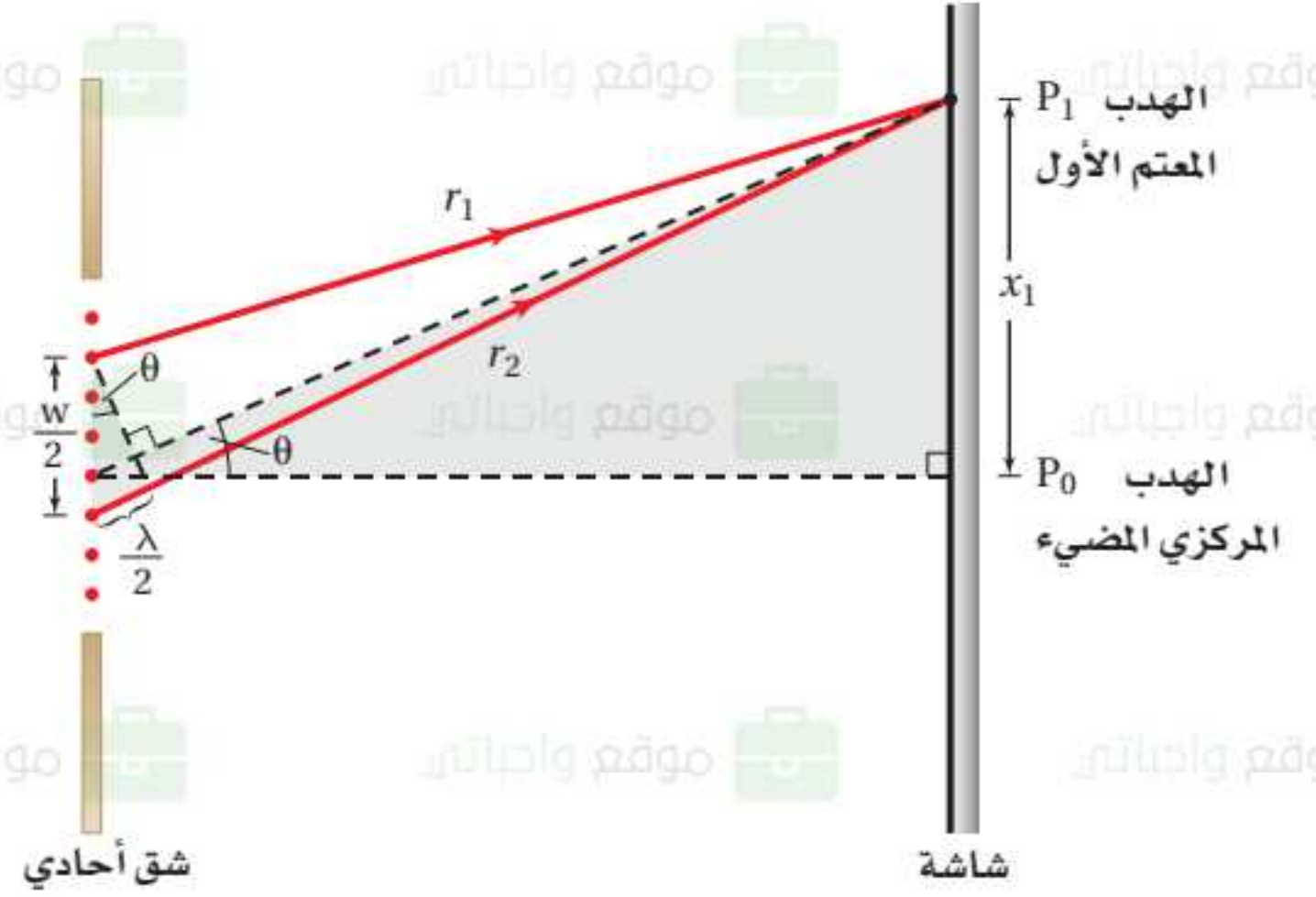
■ الشكل 7-8 لاحظ الهدب المركزي العريض والأهداب الضيقة على كلا الجانبين. إن نمط حيود الشق المفرد للضوء الأحمر له هدب مركزي أكثر عرضاً من الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستخدم شق له الحجم نفسه لكلا اللونين.



■ الشكل 7-9 شق عرضه w مُجزأ إلى أزواج من الخطوط التي تشكل موجات هيجنز، ويفصل بين كل زوج مسافة مقدارها $w/2$.



عند الأهداب المعتمدة. أما الأهداب المضئية على الشاشة فهي نتيجة تداخل أزواج من موجات هيجنز تداخلًا بناءً، في حين يحدث تداخل هدام جزئيًا في المنطقة ذات الإضاءة الخافتة التي تقع بين الأهداب المضئية والمعتمدة.



نمط الحيود عندما يُضاء الشق المفرد يظهر هدب مركزي مضئي عند الموقع P_0 على الشاشة، كما في الشكل 10-7. ويظهر الهدب المعتمد الأول عند الموقع P_1 ، لأن طولي المسارين r_1 و r_2 لموجتي هيجنز يختلف أحدهما عن الآخر بمقدار نصف طول موجي عند هذا الموقع، لذا ينتج هدب معتمد نتيجة للتداخل الهدام، وهذا النموذج مشابه رياضيًا لتداخل الشق المزدوج. إن مقارنة نمط حيود الشق الأحادي بنمط تداخل الشق المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه، تُظهر أن جميع أهداب التداخل المضئية لنمط تداخل الشق المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية المضئية لنمط حيود الشق الأحادي؛ وذلك لأن تداخل الشق المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشق الأحادي للموجات الناتجة عن الشقين.

الشكل 10-7 يمثل هذا الرسم تحليلًا للهدب المعتمد الأول. ويكون بعد الشق عن الشاشة L أكبر كثيرًا من عرضه w .

ويمكننا الآن تطوير معادلة لنمط الحيود الذي ينتج بواسطة شق أحادي باستخدام التبسيطين نفسيهما اللذين استخدمتهما في تداخل الشق المزدوج، بافتراض أن البعد عن الشاشة أكبر كثيرًا من w ، والمسافة الفاصلة بين مصدري الموجتين المتداخلتين تساوي $w/2$. ولإيجاد المسافة المقيسة على الشاشة للحزمة المعتمدة الأولى x_1 نلاحظ أن فرق المسار يساوي $\lambda/2$ بسبب حدوث تداخل هدام عند الحزمة المعتمدة، لذا فإن $\lambda/w = x_1/L$.

نلاحظ من الشكل 10-7 أنه يصعب قياس المسافة من مركز الحزمة المركزية المضئية إلى الحزمة المعتمدة الأولى. والطريقة المثلى لحساب x_1 هي أن تقيس عرض الحزمة المركزية المضئية $2x_1$. وتُعطي المعادلة الآتية عرض الحزمة المركزية المضئية في حيود الشق الأحادي:

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w} \text{ عرض الحزمة المضئية في حيود الشق المفرد}$$

عرض الحزمة المركزية المضئية يساوي حاصل ضرب ضعف الطول الموجي في البعد عن الشاشة مقسومًا على عرض الشق.

وباختصار العدد 2 من طرفي المعادلة أعلاه نحصل على المسافة بين مركز الهدب المركزي المضئي والهدب المعتمد الأول. ويمكن إيجاد موقع الأهداب المعتمدة الأخرى عندما يكون الفرق في أطوال المسارات مساويًا لـ $3\lambda/2$ ، $5\lambda/2$ ، وهكذا، ويُعبّر عنها بالمعادلة $x_m = m\lambda L/w$ ، حيث $m = 1, 2, 3, \dots$ مع مراعاة أن تكون الزوايا صغيرة وفقًا للتبسيط الذي تم تناوله. وبتعويض قيمة $m=1$ في هذه المعادلة نُحدّد موقع الهدب المعتمد ذي الرتبة الأولى، أما الهدب المعتمد ذو الرتبة الثانية فيحدث عند $m=2$ ، وهكذا لسائر الأهداب.

12. يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شق مفرد عرضه 0.095 mm. إذا كان بُعد الشق عن الشاشة يساوي 75 cm، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

$$\lambda = \frac{x_{\text{أقل}} w}{L}$$

$$x_{\text{أقل}} = \frac{\lambda L}{w}$$

$$= \frac{(5.46 \times 10^{-7} \text{ m})(0.75 \text{ m})}{9.5 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

$$= 4.3 \text{ mm}$$

$$2x_{\text{أقل}} = \text{عرض الهدب المركزي المضيء}$$

$$2x_{\text{أقل}} = 2(4.3 \text{ mm})$$

$$= 8.6 \text{ mm}$$

13. سقط ضوء أصفر على شق مفرد عرضه 0.0295 mm، فظهر نمط على شاشة تبعد عنه مسافة 60.0 cm. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 24.0 mm، فما الطول الموجي للضوء؟

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

$$\lambda = \frac{(2x_1)w}{2L}$$

$$= \frac{(24.0 \times 10^{-3} \text{ m})(0.0295 \times 10^{-3} \text{ m})}{(2)(60.0 \times 10^{-2} \text{ m})}$$

$$= 5.90 \times 10^2 \text{ nm}$$

14. سقط ضوء أبيض على شق مفرد عرضه 0.050 mm ، فإذا وضعت شاشة على بُعد 1.00 m منه، ووضع طالب مرشحًا أزرق - بنفسجيًا ($\lambda = 441 \text{ nm}$) على الشق، ثم أزاله ووضع مرشحًا أحمر ($\lambda = 622 \text{ nm}$)، ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء:

a. فأي المرشحين ينتج هدبًا ضوئيًا أكثر عرضًا؟

الأحمر؛ لأن عرض الهدب يتناسب طرديًا مع الطول الموجي.

b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشحين.

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

للأزرق:

$$2x_1 = \frac{2(4.41 \times 10^{-7} \text{ m})(1.00 \text{ m})}{5.0 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

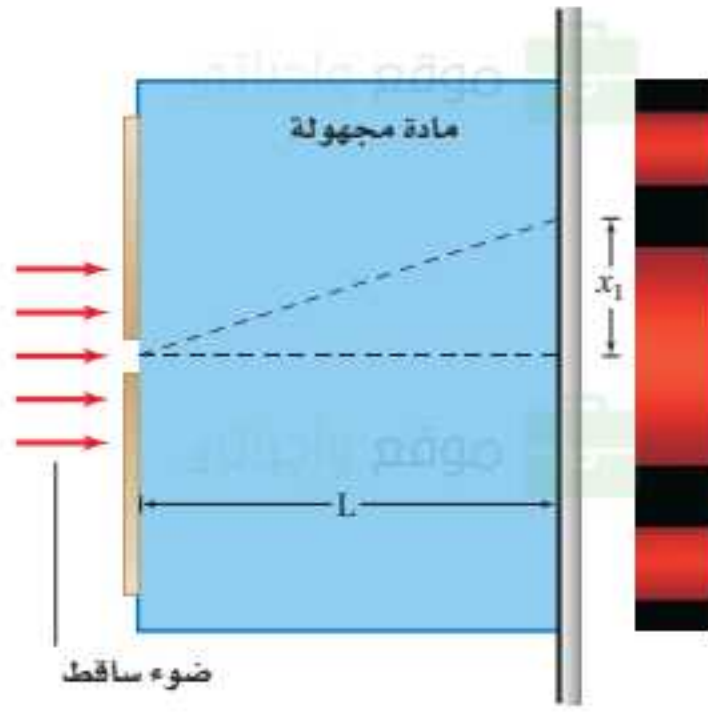
$$= 18 \text{ mm}$$

للأحمر:

$$2x_1 = \frac{2(6.22 \times 10^{-7} \text{ m})(1.00 \text{ m})}{5.0 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

$$= 25 \text{ mm}$$

لديك مجموعة من المواد غير المعروفة، وأردت أن تتعرف أنواعها باستخدام أدوات حيود الشق المفرد، فقررت وضع عينة من المادة المجهولة في المنطقة بين الشق والشاشة، واستخدمت البيانات التي حصلت عليها لتحديد نوع كل مادة، وذلك بحساب معامل الانكسار. اعتماداً على ذلك، أجب عما يأتي:



1. اكتب صيغة عامة لمعامل الانكسار لمادة مجهولة بدلالة الطول الموجي للضوء في الفراغ λ ، وعرض الشق w ، والمسافة بين الشق والشاشة L ، والمسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1 .

استخدم (1)
$$\lambda = \frac{w}{L} x_{\text{أقل}}$$

(2)
$$v_{\text{المادة}} = \lambda_{\text{المادة}} f$$
 وكذلك

(3)
$$n_{\text{المادة}} = \frac{c}{v}$$

بناءً على دمج (2) و (3) فإن

$$n_{\text{المادة}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} f}{\lambda_{\text{المادة}} f} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{\lambda_{\text{المادة}}} \quad (4)$$

تم اختصار التردد من البسط والمقام؛ لأنه يبقى ثابتاً عندما يقطع الضوء الحد الفاصل.

أعد كتابة المعادلة (1) بدلالة المادة الموجودة في الفراغ بين الشق والشاشة.

(5)
$$\lambda_{\text{المادة}} = \frac{(w) x_{\text{أقل}}}{L}$$

بناءً على دمج (4) و (5) وحل المعادلة الناتجة بالنسبة إلى المتغير (x) نحصل على

$$n_{\text{المادة}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{\frac{(w) x_{\text{أقل}}}{L}}$$

$$x_{\text{أقل}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} L}{n_{\text{المادة}} w}$$

2. إذا كان الطول الموجي لضوء المصدر الذي تستخدمه 634 nm، وعرض الشق 0.10 mm، والبعد بين الشق والشاشة 1.15 m، وغمرت الأدوات في الماء ($n_{\text{الماء}} = 1.33$) فكم تتوقع أن يكون عرض الهدب المركزي؟

$$x = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} L}{n_{\text{المادة}} W}$$

$$= \frac{(634 \times 10^{-9} \text{ m})(1.15 \text{ m})}{(1.33)(0.10 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$= 5.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

محزوزات الحيود Diffraction Gratings

درست أن تداخل الشقّ المزدوج وحيود الشقّ المفرد يعتمدان على الطول الموجي للضوء المستخدم، لذا فإننا بحاجة إلى قياسات دقيقة للطول للموجي. ومن أجل ذلك تُستخدم محزوزات الحيود الموضحة في الشكل 7-11. ومحزوز الحيود أداة مكوّنة من شقوق عدة مفردة تسبّب حيود الضوء، وتكوّن نمط حيود ناتجاً عن تراكب أنماط ناتجة عن حيود شقّ مفرد. ويمكن أن يتكوّن محزوز الحيود من 10,000 شقّ لكل سنتيمتر. لذا فإن المسافة بين الشقوق تكون صغيرة جداً تصل إلى 10^{-6} m أو 1000 nm.

من أنواع محزوزات الحيود ما يُسمّى محزوز النفاذ. ويصنع هذا المحزوز بعمل خدوش على زجاج منفذ للضوء في صورة خطوط رفيعة جداً بواسطة رأس من الألماس؛ حيث تعمل الفراغات بين خطوط الخدوش كالشقوق. والنوع الأقل تكلفة من محزوزات الحيود هو المحزوز طبق الأصل أو المحزوز الغشائي. ويُصنع هذا المحزوز بضغط صفيحة رقيقة من البلاستيك على محزوز زجاجي، وعندما تسحب صفيحة البلاستيك الرقيقة خارج المحزوز يتكوّن أثر على سطحها مماثل للمحزوز الزجاجي. وتُصنع المجوهرات أحياناً على صورة محزوزات نفاذ تنتج أطيفاً ضوئية، كما هو موضح في الشكل 7-12a.

وهناك نوع آخر من محزوزات الحيود تُسمّى محزوزات الانعكاس. ويُصنع هذا النوع بواسطة حفر خطوط رفيعة جداً على سطوح طبقة معدنية أو زجاج عاكس. وطيف الألوان الناتج عندما ينعكس الضوء الأبيض عن سطح قرص مدمج CD أو DVD هو نتيجة لعمل هذا القرص عمل محزوز انعكاس، كما هو موضح في الشكل 7-12b. فإذا وجّهت ضوءاً أحادي اللون إلى DVD فسيكوّن الضوء المنعكس نمط حيود على شاشة. وتنتج محزوزات النفاذ ومحزوزات الانعكاس أنماط حيود متشابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفسها. يبين الشكل 7-13 إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.



الشكل 7-11 تستخدم محزوزات الحيود لتكوين أنماط الحيود من أجل تحليل مصادر الضوء.



الشكل 7-12 جوهرة مصنوعة في صورة محزوز نفاذ تنتج أطيفاً ضوئية (a). تعدّ الأقراص المدمجة محزوزات انعكاس؛ إذ تكوّن نمط طيف الحيود عندما يسقط عليها ضوء أبيض (b).



القرن العاشر (م) ابن سهل أحد العلماء المسلمين، وضع أول قانون للانكسار واستخدمه لاستخلاص أشكال العدسات التي تعمل على تركيز الضوء. وهو أول من وصف قانون الانكسار وصفاً صحيحاً.

الشكل 7-13 خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

القرن الحادي عشر

القرن العاشر

القرن التاسع الميلادي

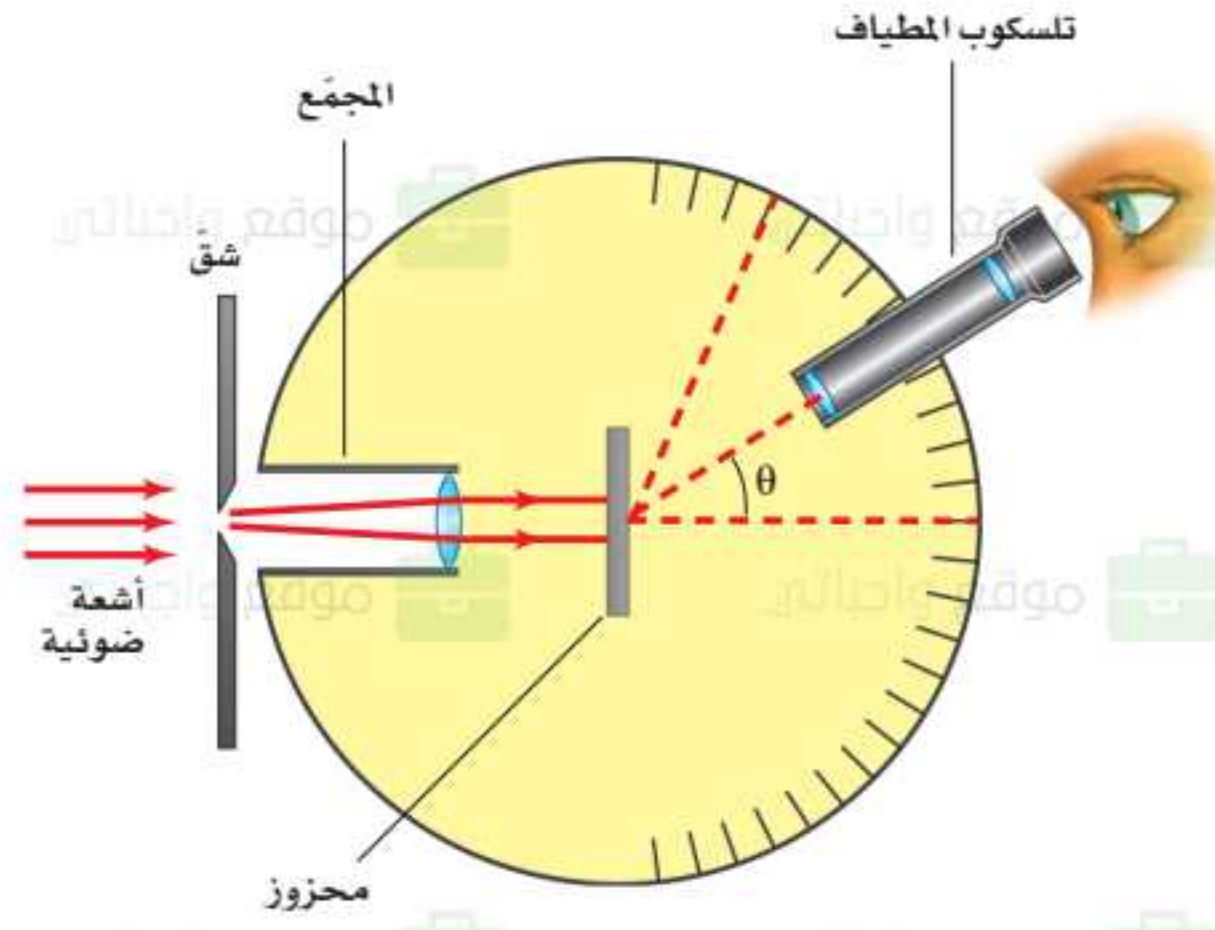
القرن الحادي عشر (م) ابن الهيثم أحد العلماء المسلمين، أوجد علم البصريات معتمداً على التجربة والبرهان، كما ولدت على يديه نظرية الورود (الانعكاس)، وفسر كيفية رؤية العين للأجسام، ودرس العين البشرية وعرف أجزاءها، وأعطى كل جزء الاسم الخاص به.



القرن التاسع (م) يعقوب بن إسحاق الكندي أحد العلماء المسلمين، فسر اختلاف أطوال الظلال للأجسام، والانعكاس في المرايا، وبين أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة.



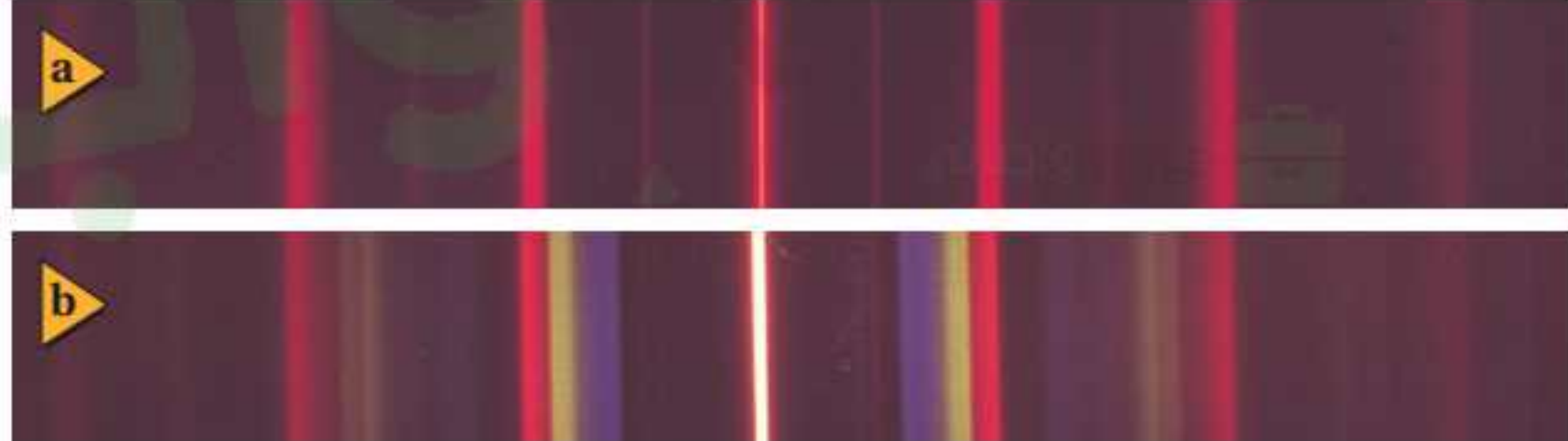
■ الشكل 7-14 يستخدم المطياف لقياس الأطوال الموجية للضوء المنبعث من مصدر ضوئي.



قياس الطول الموجي الجهاز الذي تُقاس به الأطوال الموجية للضوء باستخدام محزوز الحيود يُسمّى المطياف، كما هو موضح في الشكل 7-14. حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءاً يوجّه نحو شقّ، وينفذ الضوء عبر الشقّ ليسقط على محزوز الحيود، فيُنتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بتلسكوب المطياف.

ويكون نمط الحيود المتكوّن بواسطة محزوز حيود عبارة عن أهداب مضيئة ضيقة تفصلها مسافات متساوية، كما في الشكل 7-15. وكلّما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز تكوّنت أهداب أكثر ضيقاً في نمط الحيود. لذا يمكن قياس المسافة بين الأهداب المضيئة باستخدام المطياف بدقة أكبر، مقارنة باستخدام الشقّ المزدوج.

■ الشكل 7-15 استخدم محزوز لإنتاج أنماط الحيود للضوء الأحمر (a) وللضوء الأبيض (b).



درست سابقاً في هذا الفصل أنه يمكن استخدام نمط التداخل الناتج بواسطة شق مزدوج لحساب الطول الموجي للضوء المستخدم. ويمكن الحصول على معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتبعت للحصول على معادلة الشق المزدوج. ولكن الزاوية θ في محزوز الحيود تكون كبيرة؛ لذا لا يُطبق التبسيط الخاص بالزاوية الصغيرة. ويمكن إيجاد الطول الموجي بقياس الزاوية θ بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى.

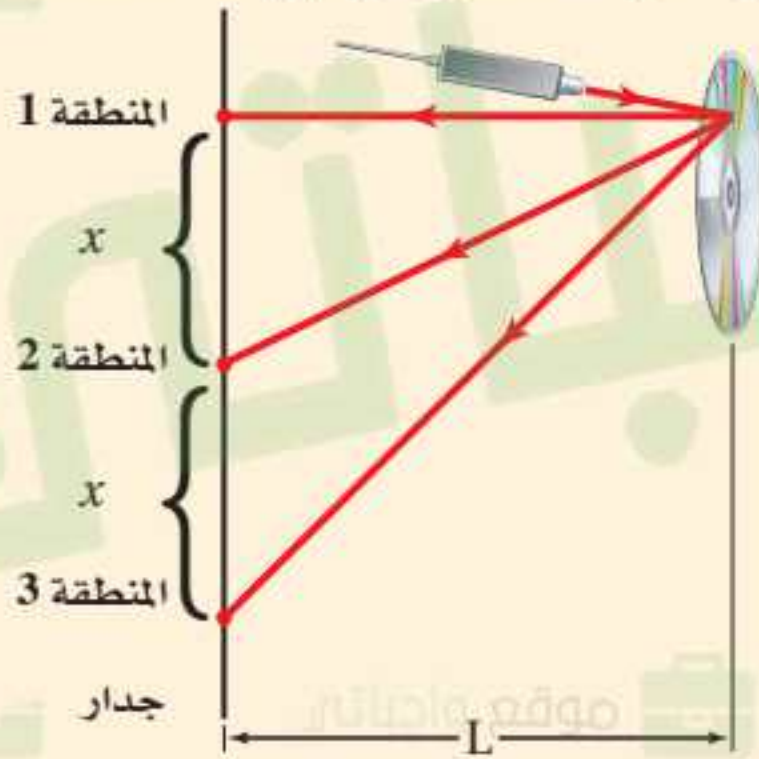
$$\lambda = d \sin \theta \quad \text{الطول الموجي من محزوز الحيود}$$

الطول الموجي للضوء يساوي المسافة الفاصلة بين الشقوق مضروبة في جيب الزاوية التي يتكوّن عندها الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى.

ويحدث التداخل البناء بواسطة محزوز الحيود عند زوايا على جانبي الهدب المركزي المضيء، ويعبر عنه من خلال المعادلة $m\lambda = d \sin \theta$ ، حيث $m = 0, 1, 2, \dots$ ، ويحدث الهدب المضيء المركزي عند $m=0$.

مثال 3

استخدام قرص DVD بوصفه محزوز حيود أسقط طالب شعاعاً ضوئياً من مصدر ضوئي أخضر اللون على قرص DVD، ولاحظ انعكاس ثلاث مناطق مضيئة على جدار يبعد عن القرص 1.25 m . فإذا كان الطول الموجي للضوء المصدر 532 nm ، ووجد الطالب أن الفراغات بين هذه المناطق 1.29 m ، فما مقدار التباعد بين الفراغات على قرص الـ DVD؟



1 تحليل المسألة ورسمها

• مثل التجربة، مبيّناً المناطق المضيئة على الجدار، وقرص الـ DVD بوصفه محزوزاً.

المجهول

المعلوم

$$d = ? \quad x = 1.29 \text{ m}, L = 1.25 \text{ m}, \lambda = 532 \text{ nm}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الزاوية المحصورة بين المنطقة المركزية المضيئة ومنطقة أخرى

$$\tan \theta = x/L$$

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

$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.29 \text{ m}}{1.25 \text{ m}}\right) = 45.9^\circ$$

$$x = 1.29 \text{ m}, L = 1.25 \text{ m}$$

استخدم الطول الموجي للضوء الساقط على محزوز الحيود، وحلّ المسألة بالنسبة للمتغير d .

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

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \frac{532 \times 10^{-9} \text{ m}}{\sin 45.9^\circ} = 7.41 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\theta = 45.9^\circ, \lambda = 532 \times 10^{-9} \text{ m}$$

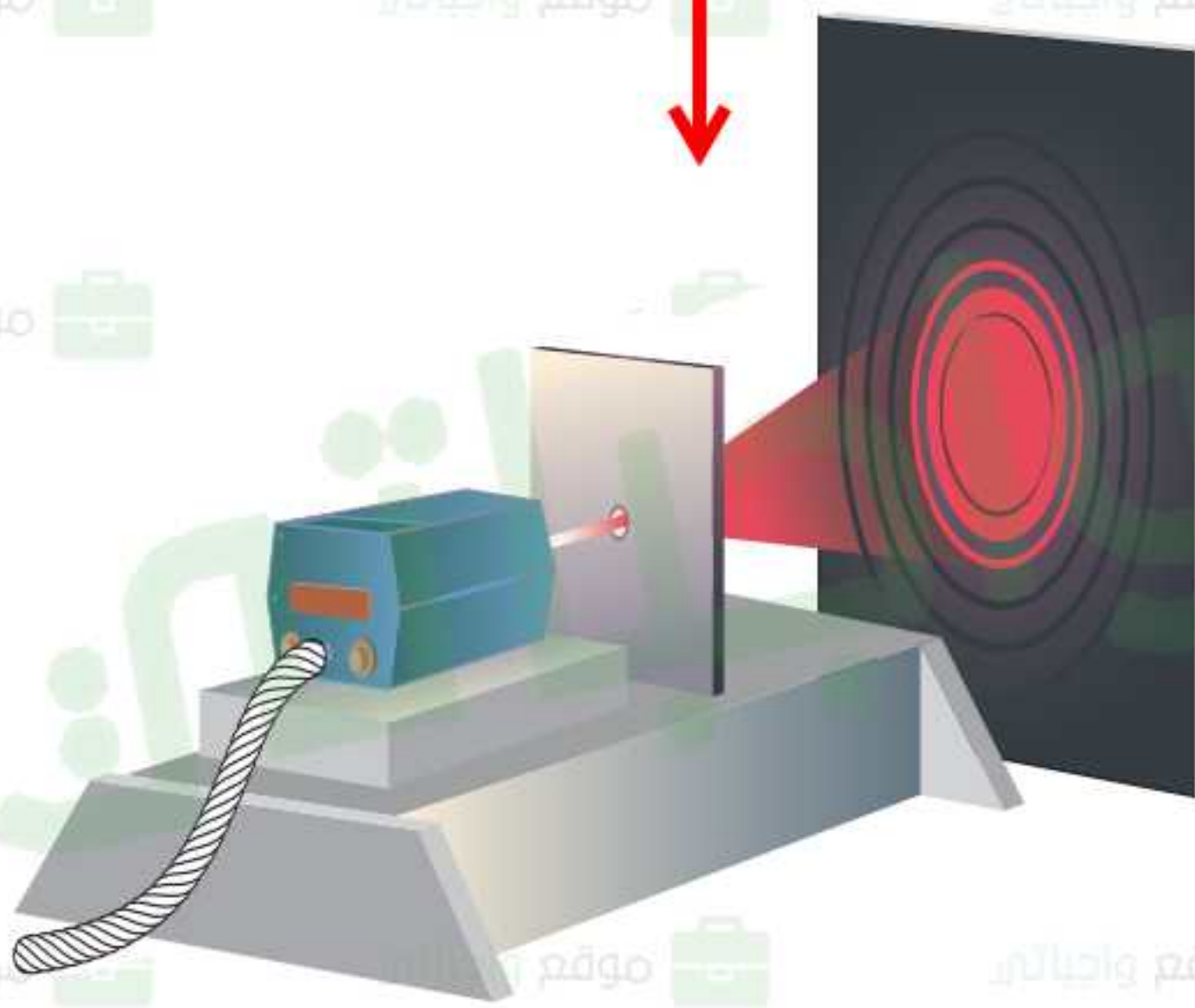
3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ الإجابة بوحدة m ، وهي وحدة صحيحة للمسافة الفاصلة.

• هل الجواب منطقي؟ عندما يكون L و x المقدار نفسه تكون قيمة d قريبة من قيمة λ .

15. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط المتكوّن.
16. يسقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، فتكوّن أهداب على شاشة على بعد 1.05 m . إذا كانت الفراغات بين هذه الأهداب 0.55 m ، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في محزوز الحيود؟
17. يُضاء محزوز حيود تفصل بين شقوقه مسافة $8.60 \times 10^{-7} \text{ m}$ بضوء بنفسجي طوله الموجي 421 nm . فإذا كان البعد بين الشاشة والمحزوز 80.0 cm ، فما مقدار المسافات الفاصلة بين الأهداب في نمط الحيود؟
18. يسقط ضوء أزرق على قرص DVD في المثال 3، فإذا كانت المسافات الفاصلة بين النقاط المتكوّنة على جدار يبعد 0.65 m تساوي 58.0 cm ، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟
19. يمر ضوء طوله الموجي 632 nm خلال محزوز حيود، ويكوّن نمطاً على شاشة تبعد عن المحزوز مسافة 0.55 m . فإذا كان الهدب المركزي الأول يبعد 5.6 cm عن الهدب المركزي المضيء، فما عدد الشقوق لكل سنتيمتر في المحزوز؟

الإجابة في الصفحة التالية



يمكن رؤية نمط التداخل في الأغشية الرقيقة ضمن زاوية نظر صغيرة، عند النظر رأسياً من فوق الغشاء. وكذلك الحال بالنسبة لفراشة المورفو الزرقاء، ذات نمط التداخل المتألي، فلو لم تكن طبقة القشور الداخلية التي تشبه طبقة الزجاج موجودة لما حدث هذا التداخل، ولما بدت هذه الفراشة بهذا اللون؛ إذ تعمل طبقة القشور الداخلية عمل محزوز الحيود، وتسبب انتشار نمط تداخل الضوء الأزرق المتألي لينتج نمط حيود بزاوية نظر أوسع. ويعتقد العلماء أن ذلك يجعل فراشة المورفو أكثر وضوحاً لجذب شريك التزاوج.

الشكل 16-7 نمط الحيود لثقب

دائري ينتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قوة التمييز للعدسات Resolving Power of lenses

تعمل العدسة المستديرة في المنظار الفلكي والمجهر - وحتى في عينك - عمل ثقب أو فتحة تسمح للضوء بالمرور من خلالها. وتسبب الفتحة حيود الضوء تماماً كما يفعل الشقّ الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بواسطتها، كما في الشكل 16-7. وتكون معادلة الفتحة ماثلة لمعادلة الشقّ المفرد، إلا أن للفتحة حافة دائرية بدلاً من حافتي الشقّ. لذا يُعوّض قطر الفتحة D بدلاً من عرض الشقّ w ، بالإضافة إلى معامل هندسي إضافي مقداره 1.22 يتم إدخاله ضمن المعادلة لتصبح على الشكل الآتي: $x_1 = 1.22 \lambda L / D$.

عندما يُرى الضوء المنبعث من نجم بعيد بواسطة فتحة المنظار الفلكي فإن الصورة تنتشر بسبب الحيود. وإذا كان هناك نجمان قريبان جداً أحدهما إلى الآخر فإن صورتيهما تتداخلان

15. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط المتكوّن.

يُشاهد طيف ضوئي كامل للألوان جميعها. وبسبب اختلاف الأطوال الموجية فإن الأهداب المعتمدة لأحد الأطوال الموجية ستسقط عليها أهداب مضيئة لطول موجي آخر.

16. يسقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، فتكوّن أهداب على شاشة على بعد 1.05 m. إذا كانت الفراغات بين هذه الأهداب 0.55 m، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في محزوز الحيود؟

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

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

حيث إن

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

$$d = \frac{\lambda}{\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{x}{L} \right) \right)}$$

$$= \frac{434 \times 10^{-9}}{\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{0.55 \text{ m}}{1.05 \text{ m}} \right) \right)}$$

$$= 9.4 \times 10^{-7} \text{ m}$$

17. يُضاء محزوز حيود تفصل بين شقوقه مسافة $8.60 \times 10^{-7} \text{ m}$ بضوء بنفسجي طوله الموجي 421 nm . فإذا كان البعد بين الشاشة والمحزوز 80.0 cm ، فما مقدار المسافات الفاصلة بين الأهداب في نمط الحيود؟

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

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

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

$$x = L \tan \theta$$

$$= L \tan \left(\sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{d} \right) \right)$$

$$= (0.800 \text{ m}) \left(\tan \left(\sin^{-1} \left(\frac{421 \times 10^{-9} \text{ m}}{8.60 \times 10^{-7} \text{ m}} \right) \right) \right)$$

$$= 0.449 \text{ m}$$

18. يسقط ضوء أزرق على قرص DVD في المثال 3، فإذا كانت المسافات الفاصلة بين النقاط المتكوّنة على جدار يبعد 0.65 m تساوي 58.0 cm ، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟

$$\lambda = d \sin \theta = d \sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{x}{L} \right) \right)$$

$$= (7.41 \times 10^{-7} \text{ m}) \left(\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{0.58 \text{ m}}{0.65 \text{ m}} \right) \right) \right)$$

$$= 490 \text{ nm}$$

19. يمر ضوء طوله الموجي 632 nm خلال محزوز حيود، ويكون نمطاً على شاشة تبعد عن المحزوز مسافة 0.55 m. فإذا كان الهدب المضيء الأول يبعد 5.6 cm عن الهدب المركزي المضيء، فما عدد الشقوق لكل سنتيمتر في المحزوز؟

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

هناك شق واحد خلال المسافة d ، لذا فإن المقدار $\frac{1}{d}$ يعطي عدد الشقوق لكل سنتيمتر.

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

$$= \frac{\lambda}{\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{x}{L} \right) \right)}$$

$$= \frac{632 \times 10^{-9} \text{ m}}{\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{0.056 \text{ m}}{0.55 \text{ m}} \right) \right)}$$

$$= 6.2 \times 10^{-6} \text{ m} = 6.2 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$1 \text{ شق} / 6.2 \times 10^{-4} \text{ cm} = 1.6 \times 10^3 \text{ شق} / \text{cm}$$

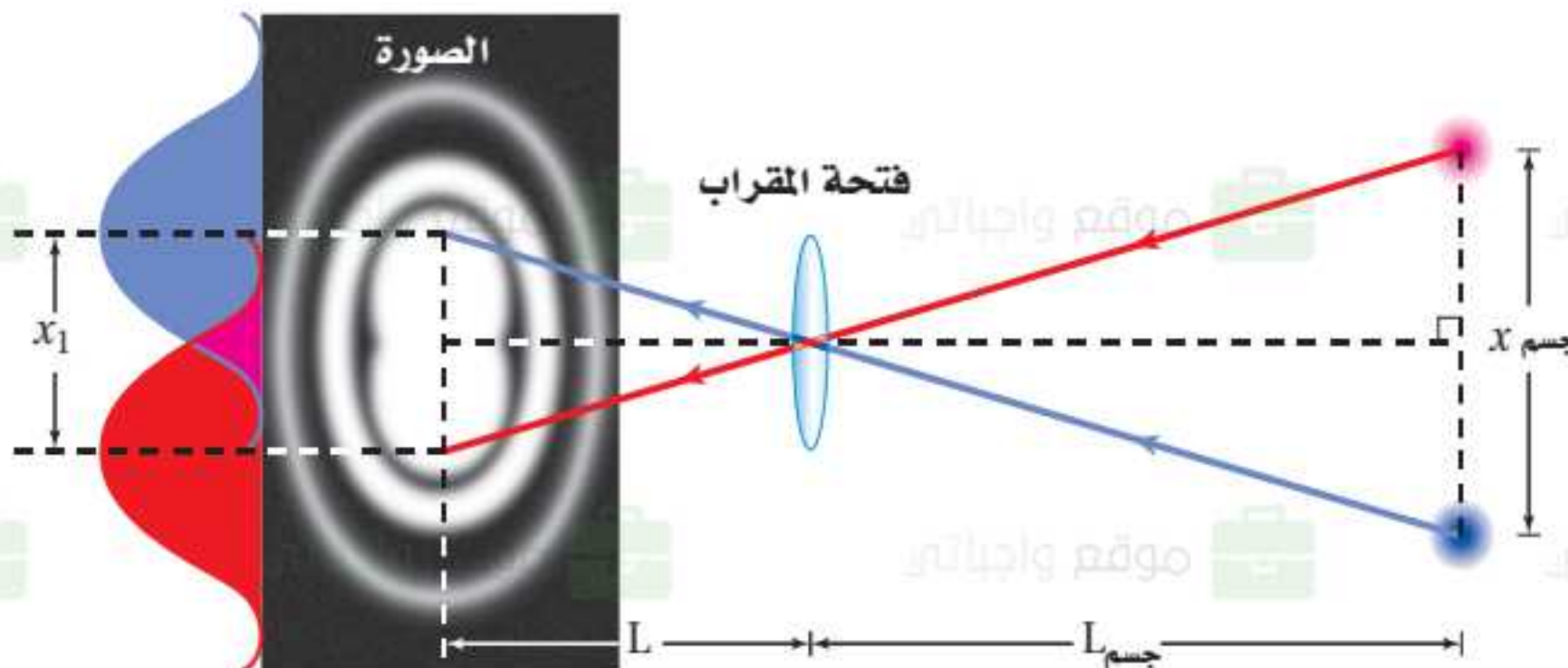
معاً، كما في الشكل 17-7. وفي عام 1879 وضع الفيزيائي والرياضي البريطاني لورد ريليه، الحائز على جائزة نوبل، معياراً لتحديد ما إذا كان هناك نجم أو نجمان في مثل هذه الصورة. وينص **معيار ريليه** على أنه إذا سقط مركز البقعة المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمدة الأولى للنجم الثاني فإن الصورتين تكونان عند حد الفصل أو التمييز؛ أي يكون المشاهد قادراً على تحديد وجود نجمين بدلاً من نجم واحد فقط.

إذا كانت الصورتان عند حد التمييز فكم يبعد الجسمان أحدهما عن الآخر؟ يبعد مركزا البقعتين المضيئتين للصورتين أحدهما عن الآخر مسافة x_1 ، وذلك باستخدام معيار ريليه. ويوضح الشكل 17-7 أنه يمكن استخدام تشابه المثلثات لإيجاد أن $x_1/L = \lambda_{\text{الجسم}}/L$ ، وبتعويض قيمة x_1 من المعادلة $x_1 = 1.22\lambda L/D$ في المعادلة السابقة لحذف المقدار x_1/L ، ثم إعادة ترتيب حدود المعادلة للحصول على المسافة التي تفصل بين الجسمين x ، يمكن التوصل إلى المعادلة الآتية:

$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L}{D}$$

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

الحيود في العين البشرية عندما يكون الضوء ساطعاً يكون قطر بؤبؤ العين 3 mm تقريباً. وحساسية العين البشرية كبيرة للون الأصفر - المخضر؛ حيث الطول الموجي يساوي 550 nm. وبتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{\text{الجسم}} = 2 \times 10^{-4} L$ ، وحيث إن المسافة بين البؤبؤ والشبكية 2 cm تقريباً، فإنه من الصعب التمييز بين مصدرين نقطيين عندما تفصل بينهما مسافة مقدارها 4 μm على شبكية العين. والمسافة الفاصلة بين كاشفين ضوئيين داخل العين - وهي المخاريط التي تقع في أكثر أجزاء العين حساسية للضوء - تساوي 2 μm تقريباً. لذا تُسجل المخاريط الثلاثة المتجاورة في الحالة المثالية ضوءاً، وعتمة، وضوءاً، وعندئذ تبدو العين مثالية التركيب. وإذا كانت المخاريط متقاربة جداً فإنها ستري تفاصيل نمط الحيود لا المصادر. أما إذا كانت المخاريط متباعدة فلن يكون باستطاعتها تمييز التفاصيل الممكنة كلها.



الربط مع الفلك

تجربة

شاشات عرض الشبكة



هل تعلم أنك تستطيع اتخاذ شبكية عينك شاشة؟ تحذير: لا تنفذ الخطوات الآتية مستخدماً أشعة الليزر أو ضوء الشمس.

1. صل مصباحاً متوهجاً له فتيل مستقيم بمصدر طاقة، ثم أشعله، وقف على بُعد 2 m من المصباح.

2. أمسك بمحزوز حيود، وضعه أمام عينك على أن يكون طيف الألوان المتكون أفقياً.

3. لاحظ أنماط ألوان الأطياف المتكونة، وسجل ملاحظاتك مستخدماً أقلاماً ملونة.

التحليل والاستنتاج

4. ما اللون الأقرب إلى الهدب المركزي المضيء (ضوء الفتيل)؟ وما اللون الأبعد؟

5. ما عدد الأطياف التي يمكنك رؤيتها على كل جانب للضوء؟

6. فسر البيانات هل بياناتك متطابقة مع معادلة الطول الموجي من محزوز الحيود؟

الشكل 17-7 تسمح لك هندسة المثلثات المتماثلة بحساب المسافة الفعلية التي تفصل بين جسمين. تم استخدام اللونين الأزرق والأحمر فقط بغرض التوضيح. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

4. ما اللون الأقرب إلى الهدب المركزي المضيء (ضوء الفتيل)؟ وما اللون الأبعد؟

بنفسجي / أزرق؛ وأحمر.

5. ما عدد الأطياف التي يمكنك رؤيتها على كل جانب للضوء؟

ستختلف الإجابات، ينبغي مشاهدة اثنين.

6. فسر البيانات هل بياناتك متطابقة مع معادلة الطول الموجي من محزوز الحيود؟

نعم، الطول الموجي للضوء الأحمر يساوي

$\lambda = 650 \text{ nm}$ ، وللضوء البنفسجي يساوي

$\lambda = 425 \text{ nm}$ ، لذلك ينبغي أن يكون اللون

الأحمر أكثر بعداً عن الخط المركزي المضيء من

البنفسجي / الأزرق بالنسبة للطيف الناتج.

2-7 مراجعة

20. المسافة بين الأهداب المعتمدة ذات الرتبة الأولى

يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طول موجته

546 nm على شق مفرد عرضه 0.080 mm . ويقع

الشق على بُعد 68.0 cm من شاشة. ما المسافة

الفاصلة بين الهدب المعتمد الأول على أحد جانبي

الهدب المركزي المضيء والهدب المعتمد الأول على

الجانب الآخر؟

21. معيار ريليه نجم الشعري اليمانية (سيرْيوس)

أكثر النجوم سطوعاً في السماء في فصل الشتاء في

نصف الكرة الأرضية الشمالي. ونجم الشعري-في

الحقيقة- نظام مكون من نجمين يدور كل منهما

حول الآخر فإذا وجه تلسكوب هابل الفضائي (قطر

فتحته 2.4 m) نحو هذا النظام الذي يبعد 8.44

سنوات ضوئية عن الأرض، فما أقل مسافة فاصلة

بين النجمين تلزمنا للتمييز بينهما باستخدام

التلسكوب؟ (افترض أن متوسط الطول الموجي

للضوء القادم من النجمين يساوي 550 nm)

22. التفكير الناقد شاهدت جهاز مطياف، إلا أنك لا

تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور

أو محزوز. كيف تعرف ذلك من خلال النظر إلى

طيف الضوء الأبيض؟

الإجابة في الصفحة التالية



20. المسافة بين الأهداب المعتمدة ذات الرتبة الأولى يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طول موجته 546 nm على شق مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشق على بُعد 68.0 cm من شاشة. ما المسافة الفاصلة بين الهدب المعتم الأول على أحد جانبي الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول على الجانب الآخر؟

$$2x_{\text{أقل}} = \frac{2\lambda L}{w}$$

$$= \frac{(2)(546 \times 10^{-9} \text{ m})(68.0 \times 10^{-2} \text{ m})}{0.080 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$= 9.3 \text{ mm}$$

21. معيار ريليه نجم الشعري اليمانية (سيروس) أكثر النجوم سطوعاً في السماء في فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي. ونجم الشعري-في الحقيقة- نظام مكون من نجمين يدور كل منهما حول الآخر فإذا وجه تلسكوب هابل الفضائي (قطر فتحة 2.4 m) نحو هذا النظام الذي يبعد 8.44 سنوات ضوئية عن الأرض، فما أقل مسافة فاصلة بين النجمين تلزمنا للتمييز بينهما باستخدام التلسكوب؟ (افتراض أن متوسط الطول الموجي للضوء القادم من النجمين يساوي 550 nm)

$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22 \lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

$$= \frac{1.22 (550 \times 10^{-9} \text{ m})(7.99 \times 10^{16} \text{ m})}{2.4 \text{ m}}$$

$$= 2.2 \times 10^{10} \text{ m}$$

22. **التفكير الناقد** شاهدت جهاز مطياف، إلا أنك لا تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور أو محزوز. كيف تعرف ذلك من خلال النظر إلى طيف الضوء الأبيض؟

حدد ما إذا كان اللون البنفسجي أم الأحمر في نهاية الطيف يصنع زاوية أكبر مع اتجاه حزمة الضوء الأبيض الساقط. يكسر المنشور اللون البنفسجي الذي يقع في نهاية الطيف بدرجة أكبر، في حين يحيد المحزوز الأطوال الموجية للضوء الأحمر بمقدار أكبر.

مختبر الفيزياء

تداخل الضوء بواسطة الشق المزدوج Double-Slit Interference of Light

يسلك الضوء أحياناً سلوك الموجة؛ فعندما يسقط ضوء مترابط على شقين قريبين جداً أحدهما إلى الآخر يكون الضوء النافذ خلال الشقين نمطاً من التداخل البناء والتداخل الهدام على شاشة. وفي هذا الاستقصاء ستطوّر إجراءات وخطوات قياس الطول الموجي لمصدر ضوء أحادي اللون باستخدام شقين.

سؤال التجربة

كيف يمكن استخدام نمط تداخل الشق المزدوج في قياس الطول الموجي للضوء الأحادي؟

الأهداف

الخطوات

1. حدّد المعادلة التي تطبق على تداخل الشق المزدوج.
2. استخدم شقاً مزدوجاً على أن تكون المسافة الفاصلة بين الشقين معلومة d ، أو طور طريقة لتحديد d .
3. وضح بالرسم التخطيطي كيف ينفذ الضوء خلال شق مزدوج؛ لكي يساعدك ذلك على تحديد كيفية قياس كل من x و L .
4. استخدم الرسم من الخطوة 3 وقائمة المواد والأدوات المذكورة في هذه التجربة، ثم صمّم التجربة، وسجّل خطوات تنفيذها.
5. حدّد قيم m غير الصحيحة بالنسبة للمعادلة.
6. تحذير: النظر مباشرة إلى أشعة الليزر يلحق الأذى بعينيك.
7. تأكد من أن معلمك قد تفحص تجربتك، كما يتعين عليك الحصول على موافقته قبل بدء تنفيذ التصميم.
8. نفذ تجربتك، وسجّل بياناتك في جدول بيانات مماثل للجدول الموجود في الصفحة الآتية.

- تلاحظ نمط التداخل للشق المزدوج لضوء أحادي اللون.
- تحسب الطول الموجي للضوء مستخدماً نمط التداخل للشق المزدوج.

احتياطات السلامة



- استخدم وافي العين من أشعة الليزر.
- لا تنظر مباشرة إلى ضوء الليزر.

المواد والأدوات

- مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر لاختباره
- شق مزدوج
- مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر معلوم الطول الموجي
- مشبك غسيل لحمل مؤشر الليزر
- كرة صلصال لتثبيت لوحة الشق المزدوج
- مسطرة مترية



المصدر	اللون	قيمة λ المقبولة (m)	d (m)	m	x (m)	L (m)
مؤشر الليزر	أحمر	670 nm	0.2×10^{-3}	1	5.5×10^{-3}	1.83
				2		
				3		
				4		
				5		

التحليل

1. اضبط المسافة بين الشقين والشاشة. هل توجد مسافة معينة تسمح لك بجمع معظم البيانات بدقة كبيرة؟

ينتشر النمط أكثر مع زيادة البعد عن الشاشة. المسافة الفاصلة بين الأهداب الناتجة يمكن أن تجعل قياس x سهلاً، ولكن في المقابل يقل التباين مع زيادة المسافة، فيصعب رؤية بعض الأهداب. إن الدقة هي مسألة تحديد المسافة التي تعطينا أهداباً حادة وواضحة ويتباعد بعضها عن بعض مسافات متساوية.

2. احسب الطول الموجي λ لمصدر الضوء مستخدماً m وقياسات كل من x و d و L .

عينة إجابات

$$\lambda = \frac{xd}{mL} = \frac{(5.5 \times 10^{-3} \text{ m}) (2.0 \times 10^{-4} \text{ m})}{(1) (1.83 \text{ m})} = 601 \text{ nm}$$

3. **تحليل الخطأ** قارن بين الطول الموجي الذي حسبته والقيمة المقبولة، وذلك بحساب النسبة المئوية للخطأ.

عينة إجابات: النسبة المئوية للخطأ تساوي

$$\% \text{error} = \frac{(670 \text{ nm} - 601 \text{ nm})(100)\%}{(670 \text{ nm})} = 10\%$$

1. **استخلص** هل مكّنتك الخطوات التي نفّذتها من استخدام نمط التداخل للشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي للضوء؟ وضح إجابتك.

نعم.

2. **قدّر** ما النتائج التي ستحصل عليها إذا استخدمت لوحة تكون فيها المسافة الفاصلة d بين الشقّين أقل، مقارنة بالحالة الأولى، وأجريت التجربة مرة أخرى وبالطريقة نفسها تمامًا؟

إنقاص قيمة d يزيد من قيمة x .

3. **استنتج** ما التغيرات التي تطرأ على ملاحظاتك إذا استخدمت ضوءًا أخضر، وكانت لوحة الشقّ المزدوج هي نفسها التي استخدمتها سابقًا، والمسافة بين الشقّين والشاشة هي نفسها كذلك؟

للضوء الأخضر طول موجي أقصر منه للضوء الأخضر؛ لذلك ستكون x أصغر مقارنة مع الضوء الأحمر.

1. استخدام التفسير العلمي صف لماذا يخفت نمط التداخل للشقّ المزدوج، ثم يسطع، ثم يخفت، كلما ازداد البعد عن مركز النمط؟

هذا هو حيود الشق المفرد الذي يترابط مع أهذاب تداخل الشق المزدوج. إنه ينتج من استعمال الشقوق التي يزيد عرضها على $1\mu\text{m}$.

2. تحليل الخطأ صف بعض الأمور التي يمكنك تنفيذها في المستقبل لتقليل الخطأ المنهجي في تجربتك.

عينة إجابات: زد L لزيادة x . واستعمل الغرفة المعتمدة لتكون الأنماط أكثر وضوحاً.

3. قوّم افحص أداة القياس التي استخدمتها، وحدّد أيّ الأدوات قلّت من دقة حساباتك؟ وأيها حققت لك دقة أكبر؟

عينة إجابة: الدقة الأقل ناتجة عن استعمال المسطرة المترية لقياس x والصعوبة في إيجاد مركز الهدب المضيء. إن الطول الموجي المعلوم لضوء الليزر يعطي دقة أكبر من تلك التي نحتاج.

4. تقنيات المختبر كيف يمكنك أن تعدّل في إعدادات التجربة لكي تستخدم ضوءاً أبيض من مصباح كهربائي عادي لتوليد نمط تداخل الشقّ المزدوج؟

ضع شقاً مفرداً ذا عرض ضيق بين المصباح الكهربائي والشق المزدوج.

1. إذا سقط ضوء أبيض على شقوق باب شبكي يمنع دخول الحشرات فلماذا لا يُرى نمط تداخل في ظل الباب على الجدار؟

يكون الضوء النافذ من الباب الشبكي غير مترابط، لكونه يصدر عن عدة مصادر. وحتى لو كان الضوء مترابطاً، فإن المسافة الفاصلة بين الشقوق كبيرة كفاية بحيث تكون المسافة بين الأهداف المضيئة الناتجة صغيرة جداً، فلا يمكن رؤيتها أو تمييزها. ولكلا السببين فإنه لا يظهر أي نمط على الجدار.

2. إذا كان جميع الضوء الذي ينير العالم مترابطاً، فهل ستبدو الأشياء مختلفة؟ وضح ذلك.

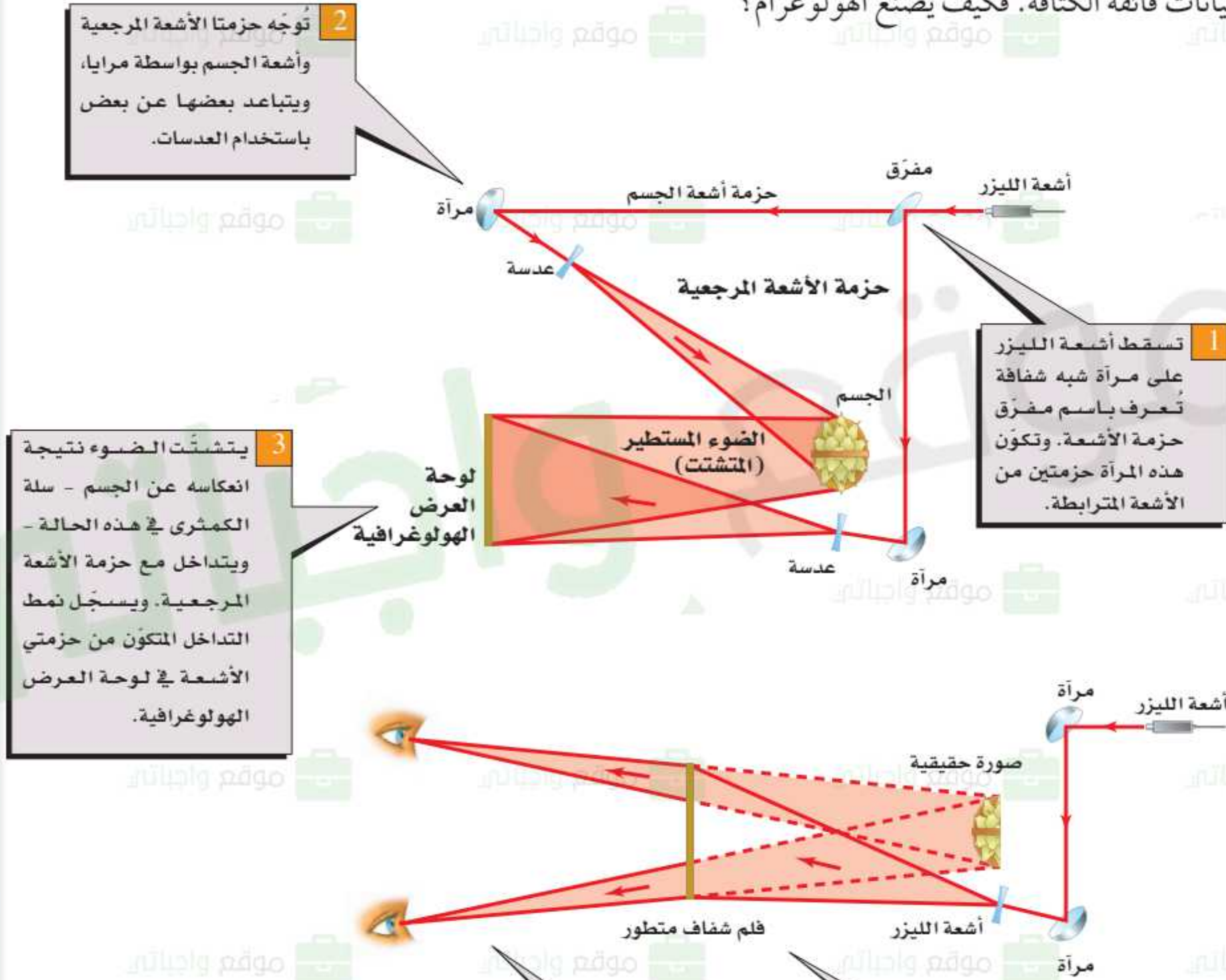
ستبدو الأشياء أقل تحديداً ورفيعة (أقرب إلى رسم خط ناعم وفاتح اللون). الضوء غير المترابط هو الذي يأتي من الاتجاهات جميعها.

كيف يعمل

الهولوجرافية؟

How it works Holography

يُعدّ الهولوجرافية أحد أشكال التصوير الفوتوغرافي الذي يعطي صورة ثلاثية الأبعاد. لقد صنع دينس جابور أول جهاز هولوغرام عام 1947، وبقي التصوير الهولوجرافية غير عملي إلى أن اخترع ليزر الغاز عام 1960. ويستخدم الهولوجرام في بطاقات الاعتماد البنكية للمساعدة على منع عمليات التزييف، ويمكن أن يستخدم مستقبلاً في تخزين بيانات فائقة الكثافة. فكيف يصنع الهولوجرام؟



التفكير الناقد

1. استنتج يُسجّل الهولوجرام نمطاً معقّداً لأهداب التداخل البناء والتداخل الهدام. فلماذا نفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولاً؟
2. استخدام التوضيح العلمي حدّد أين تحدث الخصائص الموجية الآتية في الرسوم البيانية ووضّحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.

الإجابة في الصفحة التالية

كيف يعمل

الهولوغرافية؟

How it works Holography

التفكير الناقد

1. **استنتج** يُسجّل الهولوغرام نمطاً معقّداً لأهداب التداخل البناء والتداخل الهدام. فلماذا تفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولاً؟
المقياس الذي يُسجل عنده نمط التداخل صغير جداً. يجب أن يبقى كل من المصدر والجسم ولوحة العرض الهولوغرافية ثابتاً لثوانٍ عدة، وإلا فستحطم الاهتزازات نمط التداخل ولن يكون هناك هولوغرام.
2. **استخدام التوضيح العلمي** حدّد أين تحدث الخصائص الموجية الآتية في الرسوم البيانية ووضّحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.
يحدث الانعكاس في المرايا. ويحدث الانكسار في العدسات. يحدث التداخل على سطح الفيلم عند صناعة الهولوغرام. يحدث الحيود عندما يسلط الضوء من خلال أهداب واضحة أو ينعكس عن الأهداب العاكسة لجهاز الهولوغرام.

الفصل 7

دليل مراجعة الفصل

7-1 التداخل Interference

المفردات

- الضوء غير المترابط
- الضوء المترابط
- أهداب التداخل
- الضوء الأحادي اللون
- التداخل في الأغشية الرقيقة

المفاهيم الرئيسية

- يضيء الضوء غير المترابط الجسم بالتساوي، كما يضيء المصباح الكهربائي سطح مكتبك.
- ينتج نمط التداخل من تراكب موجات ضوئية ناتجة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط.
- يبرهن التداخل أن للضوء خصائص موجية.
- يُنتج الضوء المار خلال شقين ضيقين متقاربين نمطاً من أهداب معتممة ومضيئة على شاشة تُسمى أهداب التداخل.
- يمكن استخدام أنماط التداخل لقياس الطول الموجي للضوء.

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

- يمكن أن تنتج أنماط التداخل عندما ينتج ضوء مترابط عند حد الانكسار لغشاء رقيق.

7-2 الحيود Diffraction

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معيار ريليه

المفاهيم الرئيسية

- يحيد الضوء المار خلال شق ضيق، أو ينتشر بعيداً عن مسار الخط المستقيم، ويُنتج نمط حيود على شاشة.
- يكون نمط الحيود من شق مفرد حزمة مركزية مضيئة عرضها يساوي المسافة بين الحزمة المعتممة الأولى على كلا جانبي الحزمة المركزية المضيئة.

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

- تتكون محزوزات الحيود من عدد كبير من الشقوق المتقاربة جداً، وتنتج خطوطاً ضيقة ناتجة عن تراكب أنماط التداخل للشقوق المفرد لجميع الشقوق في المحزوز.
- تُستخدم محزوزات الحيود لقياس الطول الموجي للضوء بدقة كبيرة، أو تُستخدم لتحليل الضوء المتكون من أطوال موجية مختلفة.

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

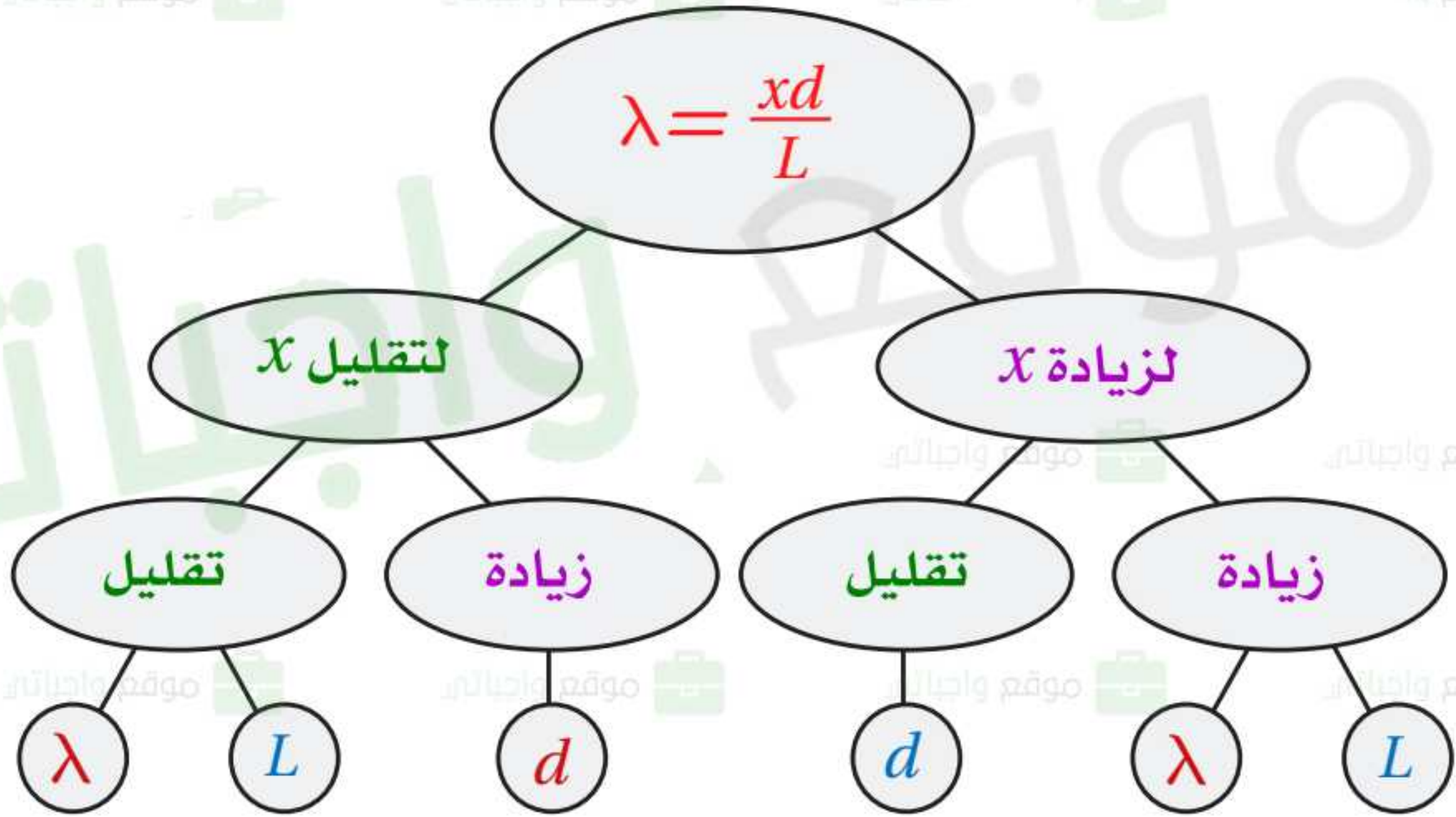
- يحد الحيود من قدرتنا على التمييز بين جسمين متقاربين جداً عند النظر إليها من خلال فتحة أو ثقب.

$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L}{D}$$

- إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة لإحدى الصور على الحلقة المعتممة الأولى للصورة الثانية فإن الصورتين تكونان عند حد التمييز.

خريطة المفاهيم

23. يضيء ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ شقين في تجربة يونج. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقين d ، وتكون نمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقين، فأكمل خريطة المفاهيم الآتية مستخدماً λ و L و d لتبين كيف يمكنك تغييرها لتحصل على التغير المشار إليه في الفراغ بين الأهداب المضيئة المتجاورة x .



إتقان المفاهيم

24. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهماً في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟

عندما تستخدم الضوء الأحادي اللون، تحصل على نمط تداخل دقيق المعالم؛ وإذا كنت تستخدم ضوءاً أبيض فستحصل على مجموعة من الأهداب الملونة.

25. وضح لماذا لا يمكن استخدام موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشق المزدوج لحساب الطول الموجي لموجات الضوء؟

الأطوال الموجية جميعها تنتج الهدب المركزي في الموقع نفسه.

26. اقترح طريقة تمكنك من استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقين.

أسقط الضوء على الشق المزدوج، ودع نمط التداخل يسقط على ورقة، ثم قس المسافات بين الأهداب المضيئة x ، واستخدم المعادلة $d = \frac{\lambda L}{x}$.

27. يشع ضوء أبيض خلال محزوز حيود. هل تكون الفراغات بين الخطوط الحمراء الناتجة متقاربة أم متباعدة أكثر مقارنة بالخطوط البنفسجية الناتجة؟ ولماذا؟

تتناسب المسافة طردياً مع الطول الموجي. ولما كان للضوء الأحمر طول موجي أطول منه للضوء البنفسجي، فإن الخطوط الحمراء ستفصلها مسافات أكبر من الخطوط البنفسجية.

28. ما لون الضوء المرئي الذي ينتج خطأ ساطعاً قريباً جداً من الهدب المركزي المضيء بالنسبة لمحزوز حيود معين؟

الضوء البنفسجي هو اللون ذو الطول الموجي الأقصر.

29. لماذا يكون التلسكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمين متقاربين جداً؟

للفتحات الصغيرة أنماط حيود كبيرة تُحد من القدرة على التمييز بين الصورتين.

الفصل 7

التقويم

تطبيق المفاهيم

30. حدّد في كل من الأمثلة الآتية ما إذا كان اللون ناتجاً عن التداخل في الأغشية الرقيقة، أم عن الانكسار، أم نتيجة وجود الأصباغ.

a. فقاعات الصابون c. غشاء زيتي

التداخل

التداخل

b. بتلات الورد d. قوس المطر

الانكسار

الأصباغ

31. صف التغيرات في نمط حيود الشقّ المفرد عندما يتناقص عرض الشقّ.

تأخذ الأهداب في الاتساع، وتأخذ إضاءتها في الخفوت.

32. **معرض العلوم** إحدى المعروضات في معرض العلوم عبارة عن غشاء كبير جداً من الصابون ذي عرض ثابت تقريباً، ويضاء بواسطة ضوء طوله الموجي 432 nm ، فيظهر السطح كاملاً تقريباً على شكل ظل أرجواني اللون. فماذا ستشاهد في الحالات الآتية؟

a. عندما يتضاعف سمك الغشاء.

تداخل هدام كامل.

b. عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط.

تداخل بناء كامل.

c. عندما يتناقص سمك الغشاء بمقدار ربع الطول الموجي للضوء الساقط.

تداخل هدام كامل.

33. **تحدي مؤشر الليزر** إذا كان لديك مؤشر الليزر؛ أحدهما ضوءه أحمر والآخر ضوءه أخضر، واختلف زميلك أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، وأصر أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجي أكبر. فإذا كان لديك محزوز حيود فصف العرض الذي ستنفذه بواسطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما؟

سلط كل مؤشر ليزر خلال المحزوز على جدار قريب، فسيُنتج الضوء ذو الطول الموجي الأكبر نقاطاً تفصلها مسافات كبيرة على الجدار؛ لأن المسافة بينها تتناسب طردياً مع الطول الموجي. (الصحيح هو قول أحمد؛ الطول الموجي للضوء الأحمر أكبر من الطول الموجي للضوء الأخضر).

تقويم الفصل 7

إتقان حل المسائل

7-1-7 إتقان حل المسائل

34. يسقط ضوء على شقين متباعدين بمقدار $19.0 \mu\text{m}$ ، ويبعدان عن شاشة 80.0 cm ، كما في الشكل 7-18. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 7-18

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

$$= \frac{(1.90 \times 10^{-2} \text{ m})(19.0 \times 10^{-6} \text{ m})}{80.0 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$= 451 \text{ nm}$$

تقويم الفصل 7

35. البقع النفطية خرج أسامة وعمر في نزهة قصيرة بعد المطر، ولاحظا طبقة نفطية رقيقة معامل انكسار مادتها 1.45 على سطح بركة صغيرة تُنتج ألواناً مختلفة. ما أقل سمك لطبقة النفط، عندما تُكوّن تداخلاً بناءً لضوء طول له الموجي 545 nm؟

لا يوجد انقلاب في الطور، لذا سيحدث التداخل البناء عندما

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

الطبقة النفطية

وعند أقل سمك تكون

$$m = 0$$

$$d = \left(\frac{1}{4}\right) \frac{\lambda}{n}$$

الطبقة النفطية

$$= \frac{545 \text{ nm}}{(4)(1.45)}$$

$$= 94.0 \text{ nm}$$

تقويم الفصل 7

36. يوجّه علي مؤشر ليزر أحمر نحو ثلاث مجموعات من الشقوق المزدوجة المختلفة. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقين في المجموعة A 0.150 mm ، وبُعد الشاشة عن الشقين 0.60 m ، أما في المجموعة B فكانت المسافة الفاصلة بين الشقين 0.175 mm ، وبُعد الشاشة عنهما 0.80 m ، وفي المجموعة C كانت المسافة الفاصلة بين الشقين 0.150 mm ، وبُعد الشاشة عنهما 0.80 m ، فرتب المجموعات الثلاث اعتماداً على المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى، وذلك من المسافة الفاصلة الأصغر إلى الأكبر.

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

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

لما كانت λ هي نفسها للمجموعات جميعها فإنه ينبغي أن تحسب المقدار x ؛ وذلك للمقارنة بين المجموعات.

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

المجموعة A:

$$= \frac{0.60 \text{ m}}{1.50 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$= 4.0 \times 10^3$$

المجموعة B:

$$= \frac{0.80 \text{ m}}{1.75 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$= 4.6 \times 10^3$$

المجموعة C:

$$= \frac{0.80 \text{ m}}{1.50 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$= 5.3 \times 10^3$$

$$x_C > x_B > x_A$$

تقويم الفصل 7

7-2 الحيود

37. يعبر ضوء أحادي اللون خلال شق مفرد عرضه 0.010 cm ، ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة 100 cm ، كما في الشكل 7-19. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm ، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 7-19

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

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

$$= \frac{(0.60 \text{ cm})(0.010 \text{ cm})}{100 \text{ cm}}$$

$$= 600 \text{ nm}$$

تقويم الفصل 7

38. يمرّ ضوء طوله الموجي $4.5 \times 10^{-5} \text{ cm}$ خلال شق مفرد ويسقط على شاشة تبعد 100 cm . فإذا كان عرض الشق 0.015 cm ، فما مقدار المسافة بين مركز النمط والهدب المعتم الأول؟

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

وتمثل الكمية $2x_1$ ؛ عرض الهدب المضيء، ولإيجاد المسافة بين مركز النمط والهدب المعتم الأول ينبغي التقسيم على 2.

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

$$= \frac{(4.5 \times 10^{-5} \text{ cm})(100 \text{ m})}{0.015 \text{ cm}}$$

$$= 0.3 \text{ cm}$$

تقويم الفصل 7

39. يمر ضوء أحادي اللون طول له الموجي 425 nm خلال شقّ مفرد، ويسقط على شاشة تبعد 75 cm. فإذا كان عرض الحزمة المركزية المضيئة 0.60 cm، فما عرض الشقّ؟

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

$$w = \frac{2\lambda L}{2x_1}$$

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

$$x_1 = \left(\frac{1}{2}\right)(2x_1)$$

$$= 0.30 \text{ cm}$$

$$w = \frac{(4.25 \times 10^{-5} \text{ cm})(75 \text{ cm})}{0.30 \text{ cm}}$$

$$= 1.1 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

تقويم الفصل 7

40. **المطياف** يستخدم في جهاز المطياف محزوز حيود يحوي $\text{cm} / \text{خط} 12000$. أوجد الزاويتين اللتين توجد عندهما الأهداب المضيئة ذات الرتبة الأولى لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي 632 nm ، والضوء الأزرق الذي طوله الموجي 421 nm .

$$d = \frac{1}{12000 \text{ خط} / \text{cm}}$$

$$= 8.33 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

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

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

للضوء الأحمر

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{6.32 \times 10^{-5} \text{ cm}}{8.33 \times 10^{-5} \text{ cm}} \right)$$

$$= 49.3^\circ$$

للضوء الأزرق

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{4.21 \times 10^{-5} \text{ cm}}{8.33 \times 10^{-5} \text{ cm}} \right)$$

$$= 30.3^\circ$$

تقويم الفصل 7

مراجعة عامة

41. يوضع طلاء مانع للانعكاس معامل انكساره 1.2 على عدسة، فإذا كان سمك الطلاء 125 nm، فما لون/ ألوان الضوء التي يحدث عندها تداخل هدام بصورة كاملة؟ تلميح: افترض أن العدسة مصنوعة من الزجاج.

لما كانت $n_{\text{الطلاء}} < n_{\text{الهواء}}$ ، فإن هناك انقلاباً في الطور في الانعكاس الأول، ولما كانت:

$$n_{\text{الطلاء}} = 1.52 > n_{\text{العدسة}}$$

فإن هناك انقلاباً في الطور في الانعكاس الثاني.

وحتى يحدث التداخل الهدام:

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_{\text{الطلاء}}}$$

$$\lambda = \frac{2dn_{\text{الطلاء}}}{\left(m + \frac{1}{2}\right)}$$

$$= \frac{(2)(125 \text{ nm})(1.2)}{\left(m + \frac{1}{2}\right)}$$

$$= \left(m + \frac{1}{2}\right)^{-1} (3.0 \times 10^2 \text{ nm})$$

وعندما تكون، $m = 0$

$$\lambda = \left(\frac{1}{2}\right)^{-1} (3.0 \times 10^2 \text{ nm})$$

$$= 6.0 \times 10^2 \text{ nm}$$

لذا فإن الضوء مائل إلى الحمرة (محمّر) – برتقالي. وبالنسبة

إلى قيم أخرى لـ m يكون الطول الموجي أقصر منه لهذا الضوء.

تقويم الفصل 7

التفكير الناقد

42. **تطبيق المفاهيم** سقط ضوء أصفر على محزوز حيود، فتكوّنت ثلاث بقع على الشاشة خلف المحزوز؛ إحداها عند الدرجة صفر حيث لا يحدث حيود، والثانية عند $+30^\circ$ ، والثالثة عند -30° . فإذا أسقطت ضوءاً أزرق متماثل الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسه، فما نمط البقع التي سترها على الشاشة الآن؟

بقعة خضراء عند 0° ، بقع صفراء عند $+30^\circ$ و -30° ، وبقعتان زرقاوان متقاربتان إلى حد ما.

43. **تطبيق المفاهيم** يمر ضوء أزرق طوله الموجي λ عبر شقّ مفرد عرضه w ، حيث يظهر نمط حيود على شاشة. فإذا استخدمت الآن ضوءاً أخضر طوله الموجي 1.5λ بدلاً من الضوء الأزرق، فكم يجب أن يكون عرض الشقّ للحصول على النمط السابق نفسه؟

تعتمد زاوية الحيود على النسبة بين عرض الشق والطول الموجي، لذا يزداد العرض ليصبح $1.5w$.

الكتابة في الفيزياء

44. ابحث، ثم صِف مساهمات العالم توماس يونج في الفيزياء. وقوِّم تأثير أبحاثه في الفكر العلمي حول طبيعة الضوء.

قد تختلف إجابات الطلاب، ولكنها يجب أن تتضمن تجربة الشق المزدوج ليونج التي تتيح لهم القدرة على قياس الطول الموجي للضوء بدقة.

تقويم الفصل 7

45. ابحث ثم فسر دور الحيود في كل من الطب وعلم الفلك. وِصفْ على الأقل تطبيقين لكل منهما.

قد تختلف إجابات الطلاب، ولكنها يجب أن تتضمن الحيود في التلسكوبات والميكروسكوبات والمطياف.

مراجعة تراكمية

46. وضعت شمعة طولها 2.00 cm على بعد 7.50 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 21.0 cm. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لحساب بُعد الصورة وطولها.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

$$d_i = \frac{d_o f}{d_o - f}$$

$$= \frac{(7.50 \text{ cm})(21.0 \text{ cm})}{7.50 \text{ cm} - 21.0 \text{ cm}}$$

$$= -11.7 \text{ cm}$$

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$

$$= \frac{-(-11.7 \text{ cm})(2.00 \text{ cm})}{7.50 \text{ cm}}$$

$$= 3.11 \text{ cm}$$

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تبدو ألوان الغشاء الرقيق مثل فقاعات الصابون أو الزيت على الماء كأنها تتغير وتتحرك عندما تنظر إليها؛ لأن:

A تيارات الحمل الحراري في طبقة الهواء التي تلي الغشاء الرقيق تشوه الضوء.

B سمك الغشاء عند أي موقع محدّد يتغير مع الزمن.

C الأطوال الموجية في ضوء الشمس تتغير مع الزمن.

D رؤيتك تتغير على نحو قليل مع الزمن.

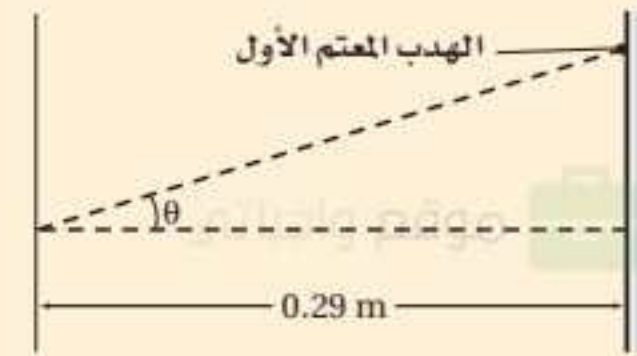
2. يشع ضوء طوله الموجي 410 nm خلال شقّ، ويسقط على شاشة مسطحة ومستوية، كما في الشكل أدناه. فإذا كان عرض الشقّ $3.8 \times 10^{-6} \text{ m}$ ، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

A 0.024 m

B 0.031 m

C 0.048 m

D 0.063 m



3. في المسألة السابقة، ما مقدار الزاوية θ للهدب المعتم الأول؟

A 3.1°

B 6.2°

C 12.4°

D 17°

4. نجمان على بعد 6.2×10^4 سنة ضوئية عن الأرض، والمسافة بينهما تساوي 3.1 سنة ضوئية. ما أقل قطر لفتحة تلسكوب تلزمننا للتمييز بينهما باستخدام ضوء طوله الموجي 610 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 $1.5 \times 10^7 \text{ m}$

5. محزوز حيود، المسافة الفاصلة بين شقوقه 0.055 mm. ما مقدار زاوية الهدب المضيء ذي الرتبة الأولى لضوء طوله الموجي 650 nm؟

A 0.012°

B 0.68°

C 1.0°

D 11°

6. يضيء شعاع ليزر طوله الموجي 638 nm شقين ضيقين. فإذا كان بُعد الهدب ذي الرتبة الثالثة من النمط الناتج عن الهدب المركزي المضيء يساوي 7.5 cm، وبُعد الشاشة عن الشقين 2.475 m، فما المسافة 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. وضعت شاشة مسطحة على بعد 4.200 m من زوج من الشقوق، وأضيء الشقان بحزمة ضوء أحادي اللون. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الثانية 0.082 m، والمسافة الفاصلة بين الشقين $5.3 \times 10^{-5} \text{ m}$ ، فحدّد الطول الموجي للضوء.

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 $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}$

الأسئلة الممتدة

8. ينتج محزوز حيود له 6000 شقّ في كل cm نمط حيود له خط مضيء ذو رتبة أولى عند زاوية مقدارها 20° من الخط المركزي المضيء. ما مقدار الطول الموجي للضوء؟

570 nm

إرشاد

اطلب المساعدة دون خجل أو تردد

إذا كنت تتدرب على إجابة اختبار، وكانت لديك صعوبة في فهم السؤال أو الوصول إلى الإجابة، فاسأل أحد المشرفين على الاختبار ليساعدك. وعليك أن تطلب المساعدة قبل بدء الاختبار لا في أثنائه.