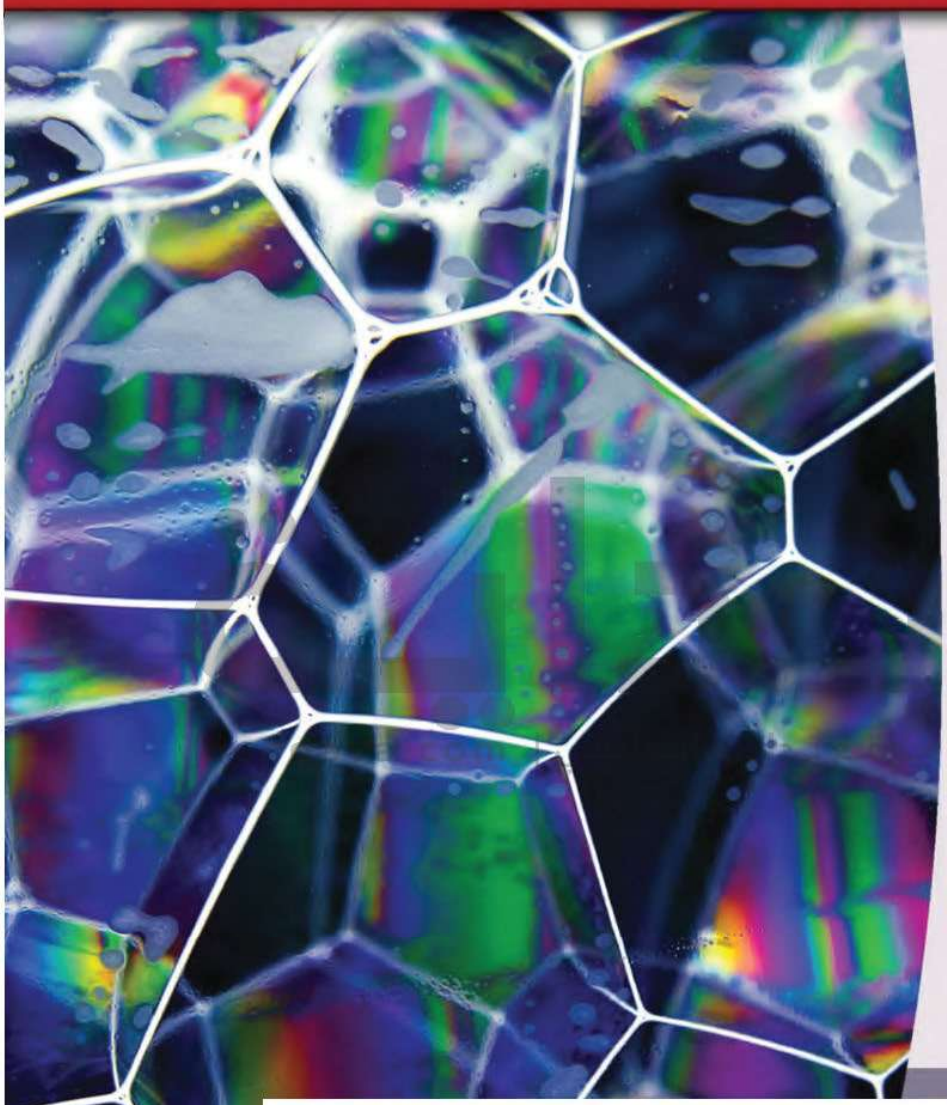
الفصل 1

التداخل والحيود

Interference and Diffraction



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 المدمجة الحيود بوضوح، كما يظهر التداخل في الفقاعات، في حين تُظهر أجنحة الفراشة الزرقاء كلًّا من التداخل والحيود معًا.

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

فكّر ◄

كيف يُظهر محلول فقاعات الصابون ألوان قوس المطر؟

عندما يضاء سطح غشاء رقيق، كغشاء فقاعة صابون، فإن جزءا 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 تداخلًا بناءً لبعض الأطوال الموجية، بينما تسبب تداخلًا هدامًا لبعضها الآخر، وذلك وفق سمك الغشاء ومعاملات الانكسار.

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

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، ومرشّحات ضوئية – من معلمك.
2. ضع القرص المدمج على سطح الطاولة، بحيث يكون سطحه العاكس إلى أعلى.
3. ضع مرشّح لون على جهاز عرض الضوء.
4. شغّل جهاز عرض الضوء، وأسقِط 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 مرشّح اللون مستخدمًا مرشّح لون آخر.
7. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام مرشّح 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 تأمّل ملاحظاتك حول الضوء الأبيض المنعكس عن القرص، واقترح مصادر أخرى ممكنة تُظهر حزمًا من الألوان.

التحليل

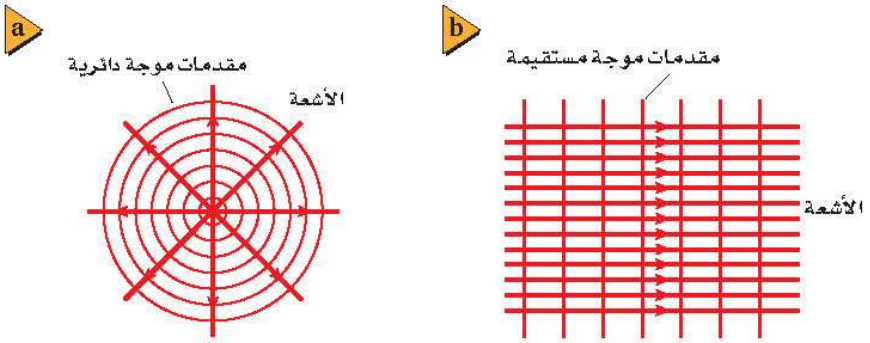
ينعكس الضوء الأحادي اللون عن القرص المدمج، وتنتج حلقة لون مفردة تشاهد عل الشاشة. ينتج الضوء الأبيض حلقات متحدة المركز للألوان، بحيث يظهر اللون الأزرق ذو الطول الموجي القصير في الداخل، واللون الأحمر ذو الطول الموجي الكبير في الخارج.

التفكير الناقد:

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 يكون محزوز الانعكاس الدائري نمط حيود، وسوف تناقش محزوزات الحيود لاحقا.

متزامنة. ويمكن مشاهدة تأثير عدم الترابط في الموجات عند سقوط مطر بغزارة على بركة سباحة؛ حيث يكون سطح الماء مضطرباً، ولا يظهر فيه أي نمط منتظم لمقدمات موجة أو موجات مستقرة. ولأن تردّد موجات الضوء كبير جدًّا فإن الضوء غير المترابط لا يظهر لك متقطّعًا أو غير مترابط. فعندما يُضاء جسم من مصدر ضوئي أبيض غير مترابط فإنك ترى تراكب موجات الضوء غير المترابط كأنها ضوء أبيض منتظم.

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



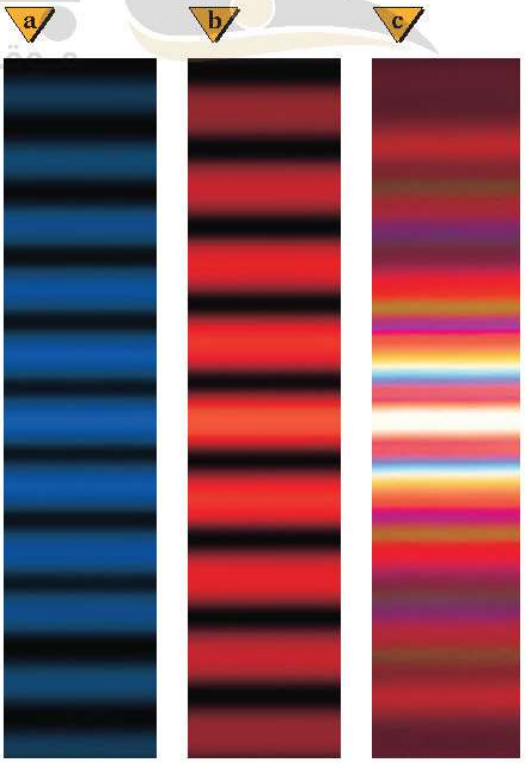
■ **الشكل 1–1** تتولد مقدمات موجات الضوء المنتظمة من المصادر النقطية (a)، وأشعة الليزر (b).

تداخل الضوء المترابط (المتزامن)

Interference of Coherent Light

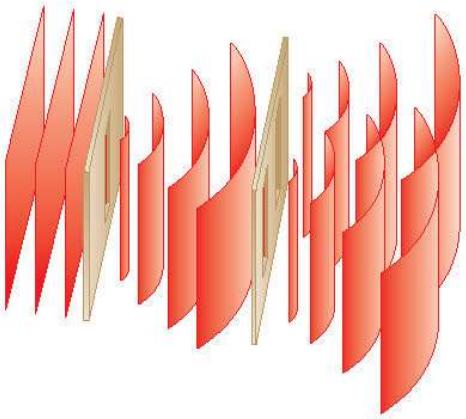
إن نقيض الضوء غير المترابط هو **الضوء المترابط**؛ وهو الضوء الناتج عن تراكب ضوء صادر من مصدرين أو أكثر، مُشكّلًا مقدمات موجات منتظمة. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة من مصدر نقطي، كما يتضح من **الشكل 1a–1**، كما يمكن توليدها أيضًا من مصادر نقطية عدّة عندما تتزامن هذه المصادر النقطية جميعها، كما في أشعة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

■ **الشكل 2–1** أنماط تداخل الشقّ المزدوج للضوء الأزرق (a)، وللضوء الأحمر (b)، وللضوء الأبيض (c).



أثبت الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج أن للضوء خصائص موجية، وذلك عندما أنتج نمط تداخل من إسقاط ضوء من مصدر نقطي مترابط أحادي خلال شقّين. فقد وجّه يونج ضوءًا مترابطًا على شقّين ضيّقين وقريبين في حاجز. وعند تداخل الضوء الخارج من الشقّين وسقوطه على الشاشة لوحظ أن الضوء المتداخل لم يُنتج إضاءة منتظمة، وبدلاً من ذلك ولّد نمطًا مكوّنًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة، سمّاها يونج **أهداب التداخل**. وقد فسّر يونج تكوّن هذه الحزم نتيجة التداخل البنّاء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية الصادرة من الشقّين في الحاجز.

في تجربة تداخل الشقّ المزدوج (تجربة يونج) حيث استخدم **ضوء أحادي اللون**؛ وهو ضوء له طول موجي واحد فقط، يُنتج التداخل البنّاء حزمة ضوئية مركزية مضيئة (هدبًا مضيئًا) بلون معين على الشاشة، كما يُنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية تقريبًا، وعرضها متساوٍ تقريبًا، كما يتضح من **الشكلين 2a–1** و **2b–1**. وتتناقص شدة إضاءة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي. ويمكنك ملاحظتها بسهولة في **الشكل 2a–1**. وتوجد بين الأهداب المضيئة مساحات معتمة (أهداب معتمة)؛ بسبب حدوث تداخل هدّام. وتعتمد مواقع حزم التداخل البناء والهدّام على

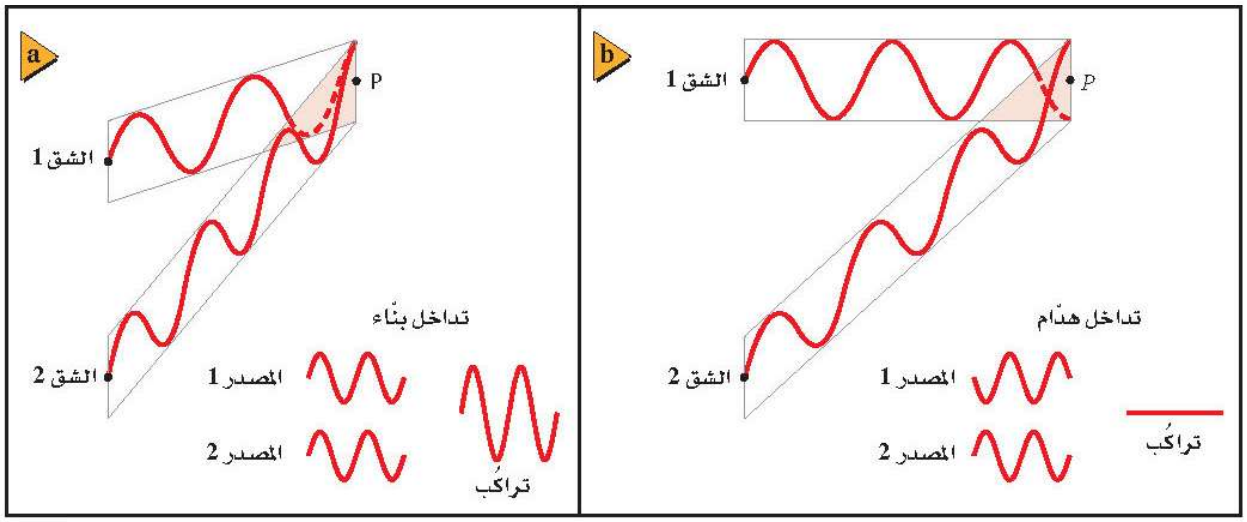


الشكل 3–1 مصدر الضوء المتوافق الذي يتكوّن بواسطة الشقّ الأحادي الضيّق يُنتج موجات متوافقة أسطوانية الشكل تقريبًا، تنتقل إلى شقّين في الحاجز الثاني. وتغادر موجتان متوافقتان أسطوانيتا الشكل تقريبًا الشقّ المزدوج.

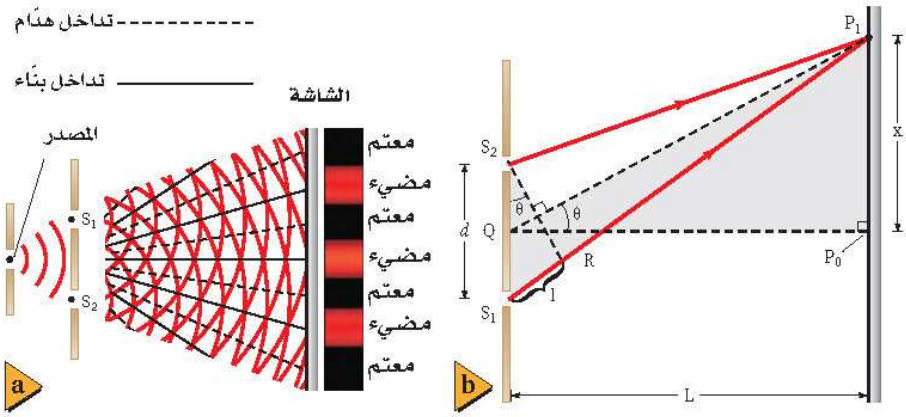
الطول الموجي للضوء الساقط. وعندما يُستخدم ضوء أبيض في تجربة شقّي يونج فإن التداخل يسبّب ظهور أطياف ملوّنة بدلاً من الأهداب المضيئة والمعتمة، كما يتضح من **الشكل 2c–1**. وتتداخل الأطوال الموجية جميعها تداخلًا بنّاءً في الهدب المركزي المضيء؛ لذا يكون هذا الهدب أبيض دائمًا. وتنتج مواقع الأهداب الأخرى الملوّنة عن تراكب أهداب التداخل التي تحدث، حيث تتداخل الأطوال الموجية لكل لون منفصل تداخلًا بنّاءً.

تداخل الشق المزدوج لتوليد ضوء مترابط من ضوء غير مترابط، وضع يونج حاجزًا ضوئيًّا ذا شقّ ضيّق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون. ولأن عرض هذا الشقّ كان صغيرًا جدًّا، فقد نفذ الجزء المترابط من الضوء فقط، ثم حاد هذا الجزء بواسطة الشقّ، فتولّدت مقدمات موجات أسطوانية تقريبًا بسبب حيودها، كما في **الشكل 3–1**. وبسبب تماثل مقدمات الموجة الأسطوانية فإن جزأيْ مقدمة الموجة يصلان إلى الحاجز الثاني ذي الشقّين متفقين في الطور. ثم ينتج عن الشقّين في الحاجز الثاني مقدمات موجات مترابطة وأسطوانية الشكل تقريبًا تتداخل بعد ذلك، كما في **الشكل 3–1**، تداخلًا بنّاءً أو هدّامًا؛ اعتمادًا على العلاقة بين طوريهما، كما موضّح في **الشكل 4–1**.

الشكل 4–1 تولّد عند الشقّين زوج من الموجات المتفقة في الطور. ويمكن أن يحدث للموجات عند بعض المواقع تداخل بنّاء لتشكيل أهداب مضيئة (a)، أو تداخل هدّام لتشكيل أهداب معتمة (b).



beadaya.com



الشكل 5–1 يولّد تداخل الضوء الأحادي اللون الذي يمر خلال الشقّ المزدوج أهدابًا مضيئة وأخرى معتمة على الشاشة (a). يمثّل هذا الشكل (b) تحليلاً للهدبة المضيئة الأولى؛ حيث تكون المسافة الفاصلة بين الشقّين والشاشة L أكبر بـ 105 مرة تقريبًا من المسافة الفاصلة بين الشقّين d. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قياس الطول الموجي للضوء يوضّح **الشكل 5a–1** منظرًا علويًّا لمقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريبًا وتجربة شقّي يونج، حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بنّاءة وهدّامة لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة. ويوضّح **الشكل 5b–1** الرسم التخطيطي النموذجي الذي يستخدم لتحليل تجربة يونج. وتلاحظ من الشكل أن الموجتين تتداخلان تداخلاً بنّاءً على الشاشة لتكوين الهدب المركزي المضيء عند النقطة P_0؛ وذلك لأن للموجتين الطور نفسه، وتقطعان المسافة نفسها من كل شقّ إلى النقطة. كما يوجد أيضًا تداخل بنّاء 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:

تجربة عملية

ما الطول الموجي؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الطول الموجي من تجربة شقي يونج

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

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

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

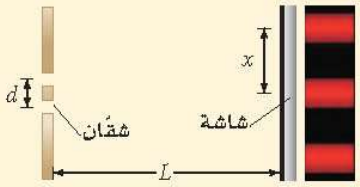
وقد نشر العالم يونج نتائج أبحاثه عام 1803، إلا أنه قوبل بالسخرية من المجتمع العلمي، ولم تُقبل نتائجه حتى عام 1820، حينما اقترح العالم جين فريسنل حلاً رياضيًّا للطبيعة الموجية للضوء من خلال مسابقة. وبيّن أحد حكّام المسابقة سيمون دينس بويسون أنه إذا كان اقتراح فريسنل صحيحًا فسوف تتكون بقعة مضيئة عند مركز ظل جسم دائري مُضاء بضوء مترابط. وأثبت حكَمٌ آخر ـ اسمه جين آرجو ـ وجودَ تلك البقعة تجريبيًّا؛ حيث كان كل من بويسون وآرجو متشكّكين حول الطبيعة الموجية للضوء قبل هذا الإثبات.

مثـــال

الطول الموجي للضوء طُبّقت تجربــة 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 الشقّين 0.0190 mm، ووضعت الشاشة على بُعد 0.600 m منهما، فما الطول الموجي للضوء الأحمر؟

تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الشقّين والشاشة برسم تخطيطي.
- ارسم نمط التداخل موضّحًا فيه الأهداب في مواقعها المناسبة على الشاشة.



المعلوم	المجهول
$d = 1.90\times10^{-5}\ \text{m}$	$\lambda = ?$
$x = 2.11\times10^{-2}\ \text{m}$	
$L = 0.600\ \text{m}$	

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

2 إيجاد الكمية المجهولة

$\lambda = xd/L$

عوّض مستخدمًا $x = 2.11\times10^{-2}\ \text{m}$ ،$d = 1.90\times10^{-5}\ \text{m}$ ،$L = 0.600\ \text{m}$

$$= \frac{(2.11\times10^{-2}\ \text{m})(1.90\times10^{-5}\ \text{m})}{(0.600\ \text{m})}$$

$$= 6.68\times10^{-7}\ \text{m}$$

$$= 668\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

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

بدايه
بوابة حلول التعليم
bedaya.com

مسائل تدريبية

1. ينبعث ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm، ويسقط على شــقّين البعد بينهما $1.90\times10^{-5}\ \text{m}$. ما المسافة بين الهدب المركزي المــضيء والهدب الأصفــر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشــة تبعد مســافة 0.600 m من الشقّين؟
2. في تجربة يونج، اســتخدم الطلاب أشــعة ليزر طولها الموجي 632.8 nm. فإذا وضع الطلاب الشاشــة على بُعد 1.00 m من الشــقّين، ووجــدوا أن الهدب الضوئي ذا الرتبة الأولى يبعد 65.5 mm من الخط المركزي، فما المسافة الفاصلة بين الشقّين؟

تجربة عملية

ما الهولوجرام؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الإجابة في الصفحة التالية:

مسائل تدريبية

1. ينبعث ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm، ويسقط على شقّين البعد بينهما 1.90×10^{-5} 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؟

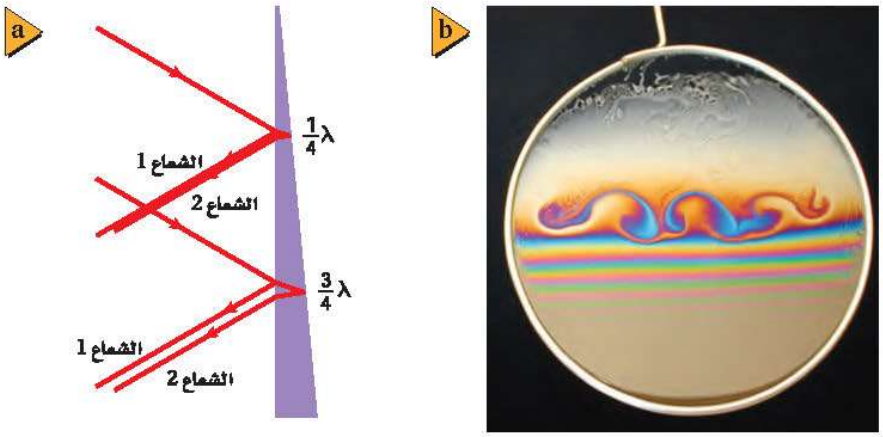
$$\lambda = \frac{xd}{L}$$

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

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

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

beadaya.c



الشكل 6–1 يحدث تقوية لكل طول موجي عندما يكون سُمك غشاء الصابون $\lambda/4$، $3\lambda/4$، $5\lambda/4$ (a). ولأن كل لون له طول موجي خاص به فإن سلسلة الأهداب التي تنعكس عن غشاء الصابون تكون ملوّنة (b).

التداخل في الأغشية الرقيقة Thin-film Interference

هل سبق أن شاهدت ألوان الطيف التي كوَّنتها فقاعة صابون أو غشاء زيتي عائم 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 البنّاء والهدّام للموجات الضوئية؛ بسبب انعكاسها عن الغشاء الرقيق، وتسمى هذه الظاهرة **التداخل في الأغشية الرقيقة**.

إذا حُمِلَ غشاء الصابون رأسيًّا ـ كما في **الشكل 6–1** ـ فإن وزنه يجعله أكبر سمكًا عند القاع منه عند القمة، ويتغير السمك تدريجيًّا من أعلى إلى القاع. وعندما تسقط موجة ضوء على الغشاء ينعكس جزء منها، كما يوضح الشعاع 1، بينما ينفذ جزء آخر منها أيضًا، ويكون للموجتين المنعكسة والنافذة تردّد 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 معزَّزًا (شدة إضاءته أكبر)؟ يحدث هذا عندما يكون للموجتين المنعكستين الطّور نفسه بالنسبة لطول موجي محدّد. فإذا كان سمك غشاء الصابون في **الشكل 6–1** يساوي ربع الطول الموجي $\lambda/4$ للموجة في الغشاء، فإن طول المسار ذهابًا وإيابًا داخل الغشاء يساوي $\lambda/2$. وسيبدو في هذه الحالة أن الشعاع 2 يعود إلى السطح الأمامي مختلفًا في الطّور مع الشعاع 1 بنصف طول موجي، وأن كلًّا من الموجتين ستُلغي أثر الأخرى اعتمادًا على مبدأ التراكُب. ولكن عندما تنعكس موجة مستعرضة عن وسط ما سرعتها فيه 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 الطّور.

إذا كان سمك الغشاء d، يحقّق الشرط $d = \lambda/4$، فسينعكس لون الضوء الذي له ذلك الطول الموجي بشدّة 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 جدًّا؛ مما يمنع وهج الضوء المنعكس.

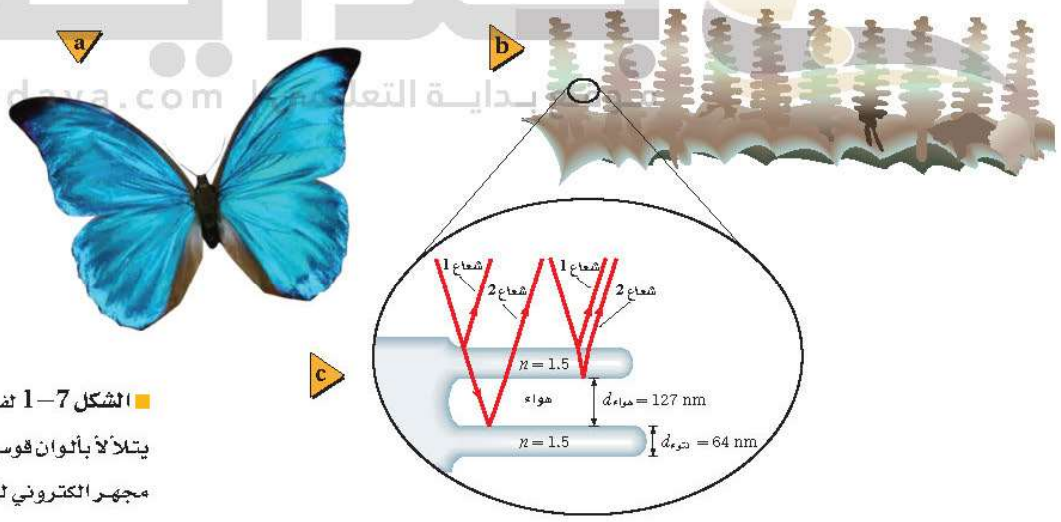
Dirasaya.com | دراستي

الموجي في الهـواء $d = \lambda_{\text{الفراغ}} / 4n_{\text{الغشاء}}$. لاحظ أن كلتا الموجتين تعـزّز إحداهما الأخرى عندما تغادران الغشـاء. بينما يحدث تداخل هدّام للضوء عند الأطوال الموجية الأخرى.

وكما تعلم فإن ألوان الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة. أما الغشـاء المتغيّر السمك –ومنه الغشاء الموضح في **الشكل 6–1** – فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند درجات سُمْك مختلفة للألوان المختلفة. والنتيجة هي تكوّن ألوان قوس المطر. وعندما يكون الغشاء رقيقًـا جدًّا بحيث لا يُنتج تداخلًا بنّاءً لأيّ طول موجي من ألوان الضوء، يبدو الغشـاء معتمًا. لاحظ تكرار الطيف في **الشـكل 6b–1**؛ فعندما يكون سمك الغشاء $3\lambda / 4$ تكون مسافة الذهاب والإياب $3\lambda / 2$، ويحدث التداخل البنّاء مرة أخرى. وسيحقّق أي سمك للغشاء مساويًا لـ $\lambda / 4$، $3\lambda / 4$، $5\lambda / 4$، ... إلخ شروطَ التداخل البنّاء لطول موجيّ محدّد.

تطبيقـات التداخل في الأغشـية الرقيقة إن مثال غشـاء المـاء المحتوي على الصابون في الهواء يتضمن تداخلًا بنّاء مع انقـلاب إحدى الموجتين عند الانعكاس. ففي المثال الذي اسـتُهِلَّ به الفصل حول فقاعات الصابون، كلما تغير سُـمك غشاء محلول الفقاعات فإن الطول الموجـي الذي يحدث له تداخل بنّاء يتغير. وهذا يؤدي إلى تكوّن طيف مُزاح للّون على سطح الغشـاء الصابوني عندما يضاء بضوء أبيض. وفي أمثلة أخرى على التداخل في الأغشـية الرقيقة يمكن أن تنقلب كلتا الموجتـين أو لا ينقلب أيّ منهما. ويمكنك أن تحل أي مسـألة تتضمن تداخل الغشاء الرقيق، وذلك باستخدام اسـتراتيجيات حل المسألة أدناه. ويمكنك أن تضع حلًّا لأي مسألة تتضمن التداخل في الأغشية الرقيقة، باستخدام استراتيجيات حل المسألة أدناه.

بداية
beadaya.com بداية التعلم



الشكل 7–1 فراشة المورفو لون أزرق يتلألأ بألوان قوس المطر (a). استُخدم 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 متعدّدة (c).

ويحدث تداخل الغشـاء الرقيق طبيعيًّا في جناحي فراشـة المورفو، كما في **الشكل 7a–1**. فاللون الأزرق المتلألئ للفراشة هو نتيجة للنتوءات التي تبرز خارجة من القشور الداخلية لجناح الفراشة، كما في **الشـكل 7b–1**؛ حيث ينعكس الضوء وينكسر خلال سلسلة من التراكيب التي تشبه الدرج، كما في **الشكل 7c–1**، مما يؤدي إلى تكوين نمط تداخل أزرق اللون؛ يؤدي بدوره إلى ظهور الفراشة كأنها تصدر وميضًا يمكن ملاحظته عند النظر إليها.

التداخل في الأغشية الرقيقة

عند حل المسائل المتعلقة بالتداخل في الأغشية الرقيقة كوّن المعادلة الخاصة بالمسألة، وذلك باستخدام الاستراتيجيات الآتية:

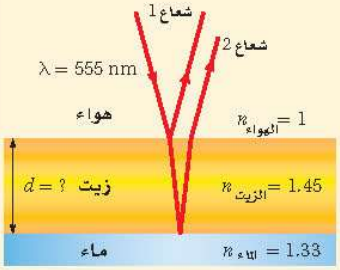
1. ارسم رسمًا توضيحيًّا للغشاء الرقيق وللموجتين المترابطتين. وللتسهيل ارسم الموجات على شكل أشعة.
2. اقرأ المسألة، وحدّد هل حدث تقوية أم إضعاف للضوء المنعكس؟ فإذا حدثت تقوية له تكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا بنّاء، أما إذا ضعف فتكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا هدّامًا.
3. هل تنقلب إحدى الموجتين أو كلتاهما 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 بنّاءً وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت كلتاهما مقلوبة أو غير مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا فرديًّا من أنصاف الطول الموجي: $\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda_{\text{الغشاء}}$ حيث $m = 1, 2, 3\ldots$.
   b. إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت كلتا الموجتين مقلوبة أو غير مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت إحدى الموجتين مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا صحيحًا من الأطوال الموجية: $m\lambda_{\text{الغشاء}}$، حيث $m = 1, 2, 3,\ldots$.
5. حدّد المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع الثاني بحيث تساوي ضعف سمك الغشاء، $2d$.
6. تذكّر مما درسته سابقًا أن $\lambda_{\text{الغشاء}} = \lambda_{\text{الفراغ}} / n_{\text{الغشاء}}$.

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

مثـــــال 2

الزيت والماء لاحظت حلقات ملوّنة في بركة ماء صغيرة، واستنتجت أنه لا بدّ من وجود طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء. فنظرت مباشرة إلى أسفل نحو البركة، فشاهدت منطقة صفراء مخضرة (λ=555 nm). فإذا كان معامل الانكسار للزيت 1.45، وللماء 1.33، فما أقل سمك لطبقة الزيت تسبّب ظهور هذا اللون؟

تحليل المسألة ورسمها



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

المعلوم	المجهول
$n_{\text{الماء}} = 1.33$	$d = ?$
$n_{\text{الزيت}} = 1.45$	
$\lambda = 555\ \text{nm}$	

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.

طبّق استراتيجية حل المسائل لتكوين المعادلة:

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

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

ولأنك تريد أقل سمك، فإن $m=0$.

عوّض مستخدمًا $m = 0$

$$d = \frac{\lambda}{4n_{\text{الزيت}}}$$

عوّض مستخدمًا $n_{\text{الزيت}} = 1.45$ ، $\lambda = 555\ \text{nm}$

$$= \frac{555\ \text{nm}}{4\,(1.45)}$$

$$= 95.7\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن الإجابة بوحدة nm، وهي صحيحة بالنسبة للسُّمْك.
- **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 سُمْك ممكن للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر ($\lambda = 635\ \text{nm}$).
4. وضع غشـــاء من فلوريد الماغنســـيوم معامل انكســـاره 1.38 على عدســـة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة معامل انكسارها 1.52. كم يجب أن يكون سمك الغشاء بحيث يمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر؟
5. ما أقل سُمْك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلاً بنّاءً مع نفسه؟

الإجابة في الصفحة التالية:

مسائل تدريبية

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 سمكًا

$$m = 0$$

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

$$= \frac{635\ \text{nm}}{(4)(1.45)}$$

$$= 109\ \text{nm}$$

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 انقلابًا في الطور في الانعكاس الثاني. ولمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر يجب أن يكون التداخل هدَّامًا.

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

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكا

$$m = 0$$

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

تابع إلى الصفحة التالية

$$= \frac{555\ \text{nm}}{(4)(1.38)}$$
$$= 101\ \text{nm}$$

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

حتى يتداخل الضوء تداخلًا بناءً

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

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكاً

$$m = 0$$
$$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{521\ \text{nm}}{(4)(1.33)}$$
$$= 97.9\ \text{nm}$$

بداية
موقع بداية التعليمي | bedaya.com

. **سمك الغشاء** يمسك خالد بلعبة الفقاعات، وينفخ في غشاء الصابون المعلّق رأسيًّا في الهواء مكوّنًا فقاعات. ما العرض الثاني الأقل سمكًا 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.

7. **الأنماط المضيئة والمعتمة** تم تكوين شقّين متقاربين جدًّا في قطعة كبيرة من الكرتون، وأضيء الشقّان بضوء أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقّين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقًّا. وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة.

8. **أنماط التداخل** وضّح بالرسم النمط الذي وصِف في المسألة السابقة.

9. **أنماط التداخل** مثّل ما يحدث لنمط التداخل في المسألة 7 عند استخدام ضوء أزرق بدلًا من الضوء الأحمر.

10. **سمك الغشاء** غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره 1.83، ثبّت على نافذة زجاجية، فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج 1.52:

a. فما أقل سُمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

b. إذا علمت أن هذا الغشاء لا يمكن صناعته بهذا السُّمك، فما السُّمك الآتي الذي يحدث التأثير نفسه؟

11. **التفكير الناقد** تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة من تجربة يونج عندما تكون الزاوية θ صغيرة جدًّا، وعندها يكون $\sin\theta \approx \tan\theta$. إلى أيّ زاوية يبقى هذا التقريب جيدًا؟ وهل تزداد الزاوية العظمى للتقريب الجيد والصحيح أم تتناقص عندما تزيد دقة قياسك لها؟

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

الإجابة في الصفحة التالية:

. **سمك الغشاء** يمسك خالد بلعبة الفقاعات، وينفخ في غشاء الصابون المعلّق رأسيًّا في الهواء مكوّنًا فقاعات. ما العرض الثاني الأقل سمكًا 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 سمكًا، تكون:

$$m = 1$$

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

$$= \frac{(3)(575\ \text{nm})}{(4)(1.33)} = 324\ \text{nm}$$

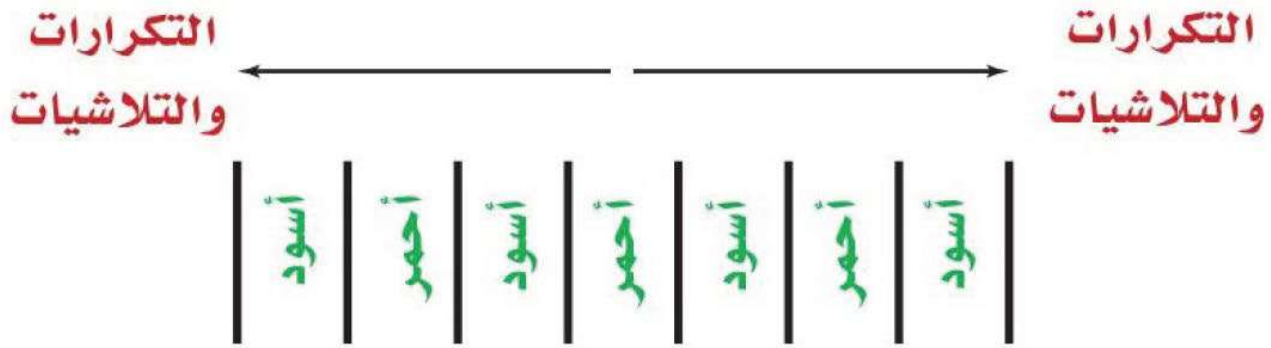
7. **الأنماط المضيئة والمعتمة** تم تكوين شقّين متقاربين جدًّا في قطعة كبيرة من الكرتون، وأضيء الشقّان بضوء أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقّين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقًّا. وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة.

عندما تواجه الموجة شقا فإنها تنحني. فالضوء يحيد بواسطة الشقوق، والضوء النافذ من أحد الشقوق يتداخل مع الضوء النافذ من الشق الأخر، فإذا كان التداخل بناء فسيتكون هدب مضيء، أما إذا كان التداخل هداما فإن الهدب سيكون معتما.

بداية
beadaya.com | بوابتك نحو التعليمي

8. **أنماط التداخل** وضّح بالرسم النمط الذي وصِف في المسألة السابقة.

ستكون شبيهة بالنمط الذي تشاهده للضوء الأحمر



9. **أنماط التداخل** مثّل ما يحدث لنمط التداخل في المسألة 7 عند استخدام ضوء أزرق بدلًا من الضوء الأحمر.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

تصبح أهداب الضوء بعضها أقرب إلى بعض

تابع إلى الصفحة التالية

10. سمك الغشاء غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره 1.83، ثبّت على نافذة زجاجية، فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج 1.52:

a. فما أقل سُمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

لما كان الغشاء n > الهواء n فإن هناك تغيراً في الطور في الانعكاس الأول، ولما كان الزجاج n > الغشاء n فلن يحدث تغير في الطور في الانعكاس الثاني. وحتى ينعكس الضوء الأصفر المخضر يجب أن يكون التداخل بناءً

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

$$m = 0$$

بالنسبة إلى الغشاءا لأقل سمكاً

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

$$= \frac{555\ \text{nm}}{(4)(1.83)} = 75.8\ \text{nm}$$

b. إذا علمت أن هذا الغشـــاء لا يمكـــن صناعته بهذا السُّمك، فما السُّمك الآتي الذي يحدث التأثير نفسه؟

$$m = 1$$

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

$$= \frac{(3)(555\ \text{nm})}{(4)(1.83)} = 227\ \text{nm}$$

تابع إلى الصفحة التالية

11. **التفكير الناقد** تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة من تجربة يونج عندما تكـــون الزاوية θ صغيرة جدًّا، وعندها يكون $\sin\theta \approx \tan\theta$. إلى أيّ 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 $2.99°$

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

1–2 الحيود Diffraction

الأهداف

- **توضح** كيف تتشكّل أنماط الحيود بواسطة محزوزات الحيود.
- **تصف** كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف.
- **تناقش** كيف يحد الحيود من المقدرة على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا بواسطة عدسة.

المفردات

نمط الحيود
محزوز الحيود
معيار ريليه

درست سابقًا 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 وفقًا لمبدأ هيجنز، الذي يبين أن النقاط جميعها على مقدمات الموجات تُمثِّل مصادر ضوئية نقطية، فإذا عبر الضوء المترابط حافتين متقاربتين يتكوّن **نمط حيود**؛ وهو نمط يتكوّن على شاشة نتيجة التداخل البنّاء والهدّام لمويجات هيجنز.

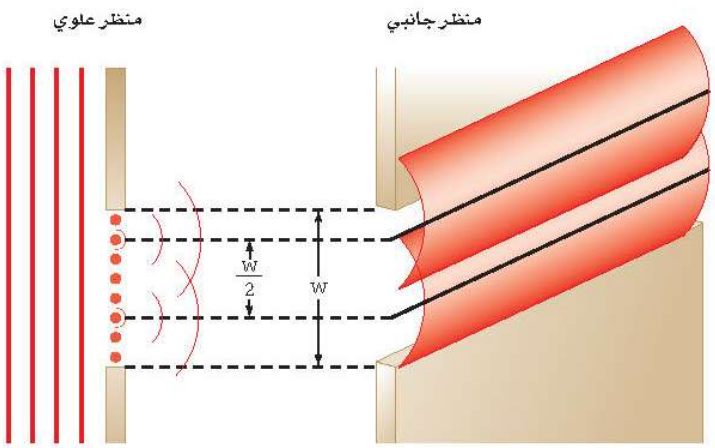
حيود الشق الأحادي Single-Slit Diffraction

عندما يمر الضوء الأزرق المترابط خلال شقّ 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 8–1**. 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 سمكًا وأقل إضاءة على كلا الجانبين. ويزداد عرض الحزمة المركزية المضيئة عندما نستخدم الضوء الأحمر بدلاً من الضوء الأزرق، وعند استخدام الضوء الأبيض يكون النمط مزيجًا من أنماط ألوان الطيف جميعها.

ولملاحظة كيف تُنتج مويجات هيجنز نمط الحيود، تخيّل شقًّا عرضه w مُجزّأً إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، كما في **الشكل 9–1**، حيث تعمل كل نقطة من هذه النقاط بوصفها مصدرًا نقطيًّا لمويجات هيجنز. جزّئ الشقّ ذهنيا إلى جزأين متساويين، واختر مصدرًا واحدًا من كل جزء، على أن يفصل كل زوج مسافة $w/2$ عن الآخر. سيُنتج هذا الزوج من المصادر الموجات الأسطوانية المترابطة التي ستتداخل.

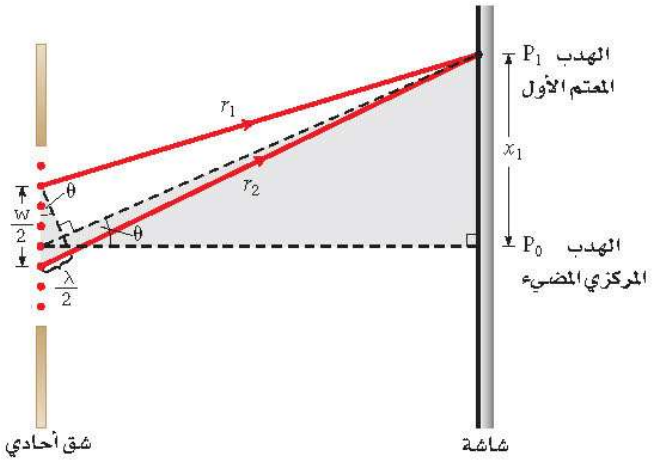
ويقابل كل مويجة هيجنز تتكوّن في النصف العلوي من الشقّ مويجة هيجنز أخرى تتكوّن في النصف السفلي منه، وتفصلها مسافة $w/2$ ممّا يؤدي إلى تداخلهما تداخلاً هدّامًا وتكوين هدب معتم على الشاشة، وتتداخل كل الأزواج المماثلة من مويجات هيجنز تداخلاً هدّامًا

الشكل 8–1 لاحظ الهدب المركزي العريض والأهداب الضيّقة على كلا الجانبين. إن نمط حيود الشقّ المفرد للضوء الأحمر له هدب مركزي أكثر عرضًا من الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستخدم شقّ له الحجم نفسه لكلا اللونين.



الشكل 9–1 شقّ عرضه w جُزّئ إلى أزواج من الخطوط التي تشكّل مويجات هيجنز، ويفصل بين كل زوج مسافة مقدارها $w/2$.

عند الأهداب المعتمة. أما الأهداب المضيئة على الشاشة فهي نتيجة تداخل أزواج من مويجات هيجنز تداخلاً بنّاءً، في حين يحدث تداخل هدّام جزئيًّا في المنطقة ذات الإضاءة الخافتة التي تقع بين الأهداب المضيئة والمعتمة.



■ **الشكل 10–1** يمثل هذا الرسم تحليلا للهدب المعتم الأول. ويكون بعد الشقّ عن الشاشة L أكبر كثيرًا من عرضه w.

نمط الحيود عندما يُضاء الشقّ المفرد يظهر هدب مركزي مضيء عند الموقع P_0 على الشاشة، كما في **الشكل 10–1**. ويظهر الهدب المعتم الأول عند الموقع P_1، لأن طولي المسارين r_1 و r_2 لمويجتي هيجنز يختلف أحدهما عن الآخر بمقدار نصف طول موجي عند هذا الموقع، لذا ينتج هدب معتم نتيجة للتداخل الهدّام، وهذا النموذج مشابه رياضيًّا لتداخل الشق المزدوج. إن مقارنة نمط حيود الشقّ الأحادي بنمط تداخل الشقّ المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه، تُظهر أن جميع أهداب التداخل المضيئة لنمط تداخل الشقّ المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية المضيئة لنمط حيود الشقّ الأحادي؛ وذلك لأن تداخل الشقّ المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشقّ الأحادي للموجات الناتجة عن الشقّين.

ويمكننا الآن تطوير معادلة لنمط الحيود الذي ينتج بواسطة شقّ أحادي باستخدام التبسيطين نفسيهما اللذين استخدمتهما في تداخل الشقّ 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 المعتمة الأولى x_1 تلاحظ أن فرق المسار يساوي $\lambda/2$ بسبب حدوث تداخل هدّام عند الحزمة المعتمة، لذا فإن $x_1/L = \lambda/w$.

beadaya.com | بوابة البيضاء التعليمية

تلاحظ من **الشكل 10–1** أنه يصعب قياس المسافة من مركز الحزمة المركزية المضيئة إلى الحزمة المعتمة الأولى. والطريقة المثلى لحساب x_1 هي أن تقيس عرض الحزمة المركزية المضيئة $2x_1$. وتُعطي المعادلة الآتية عرض الحزمة المركزية المضيئة في حيود الشقّ الأحادي:

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

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

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

مسائل تدريبية

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

13. سقط ضوء أصفر على شقّ 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؟

14. سقط ضوء أبيض على شقّ مفرد عرضه 0.050 mm، فإذا وضعت شاشة على بُعد 1.00 m منه، ووضع طالب مرشّحًا أزرق- بنفسجيًّا ($\lambda = 441\ nm$) على الشقّ، ثم أزاله ووضع مرشّحًا أحمر ($\lambda = 622\ nm$)، ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء:

a. فأيّ المرشّحين ينتج هدبًا ضوئيًّا أكثر عرضًا؟

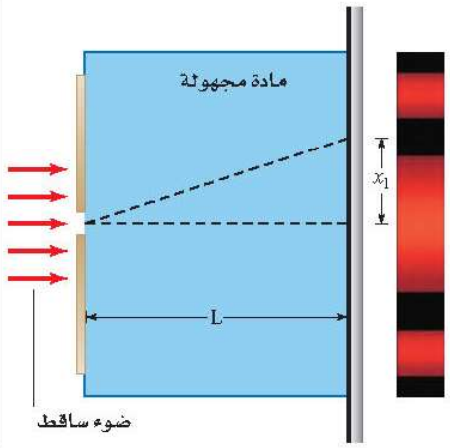
b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشّحين.

الإجابة في الصفحة التالية

يُقدِّم حيود الشقّ الأحادي تصورًا واضحًا للطبيعة الموجية للضوء عندما يتراوح عرض الشقّ بين 10و 100 ضعف الطول الموجي للضوء. أما إذا كانت الفُتحات أكبر من ذلك فإنها تكوّن ظلالاً حادّة، وكان العالم إسحق نيوتن أول من لاحظ ذلك. وفي حين يعتمد نمط الشقّ الأحادي على الطول الموجي للضوء، فإن الحيود يزوّدنا بأداة فعّالة لقياس الطول الموجي للضوء فقط عند استخدام عدد كبير من الشقوق بعضها بجانب بعض.

مسألة تحفيز

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



1. اكتب صيغة عامة لمعامل الانكسار لمادة مجهولة بدلالة الطول الموجي للضوء في الفراغ $\lambda_{\text{الفراغ}}$، وعرض الشق w، والمسافة بين الشقّ والشاشة L، والمسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1.

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

بداية | موقع بداية التعليمي
beadaya.com

مسائل تدريبية

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

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

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

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

$$= 4.3\ \text{mm}$$

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

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

$$= 8.6\ \text{mm}$$

13. سقط ضوء أصفر على شقّ 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 شقّ مفرد عرضه 0.050 mm، فإذا وضعت شاشة على بُعد 1.00 m منه، ووضع طالب مرشّحًا أزرق- بنفسجيًّا ($\lambda = 441\ \text{nm}$) على الشقّ، ثم أزاله ووضع مرشّحًا أحمر ($\lambda = 622\ \text{nm}$)، ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء:

a. فأيّ المرشّحين ينتج هدبًا ضوئيًّا أكثر عرضًا؟

الأحمر، لأن عرض الهدب يتناسب طرديًا مع الطول الموجي

تابع إلى الصفحة التالية

b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشّحين.

للأزرق:

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

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

$$= 18\ \text{mm}$$

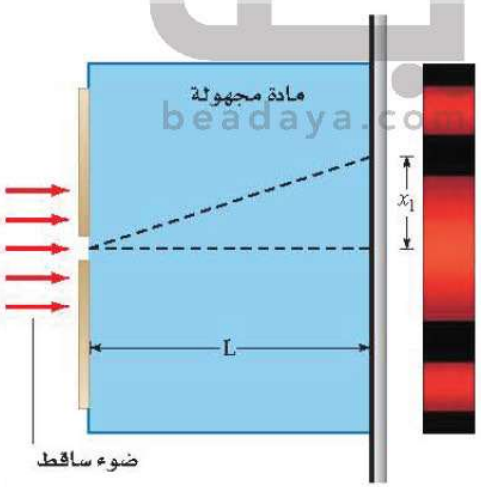
للأحمر

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

$$= 25\ \text{mm}$$

مسألة تحفيز

لديك مجموعة من المواد غير المعروفة، وأردّت أن تتعرف أنواعها باستخدام أدوات حيود الشقّ المفرد، فقرّرت وضع عينة من المادة المجهولة في المنطقة بين الشـقّ والشاشة، واستخدمت البيانات التي حصلـت عليها لتحديد نـوع كل مادة، وذلك بحسـاب معامل الانكسار. اعتمادًا على ذلك، أجب عما يأتي:



بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

1. اكتب صيغة عامـة لمعامل الانكسـار لمادة مجهولـة بدلالة الطول الموجي للضوء في الفراغ $\lambda_{\text{الفراغ}}$، وعرض الشـق W، والمسـافة بين الشـقّ والشاشـة L، والمسـافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1.

استخدم (١)

$$\lambda = \frac{x_{\text{الأقل}}\, W}{L}$$

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

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

تابع إلى الصفحة التالية

بناء على دمج (٢) و (٣) فإن (٤)

$$n_{\text{المادة}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} f}{\lambda_{\text{المادة}} f}$$

$$= \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{\lambda_{\text{المادة}}}$$

تم اختصار التردد من البسط والمقام؛ لأنه يبقى ثابتاً عندما يقطع الضوء الحد الفاصل. أعد كتابة المعادلة (١) بدلالة المادة الموجودة في الفراغ بين الشق والشاشة.

$$\lambda_{\text{المادة}} = \frac{(x_{\text{الأقل}} \, w)}{L} \quad (٥)$$

بناءً على دمج (٤) و (٥) وحل المعادلة الناتجة بالنسبة إلى المتغير (x) نحصل على:

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

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

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

تابع إلى الصفحة التالية

2. إذا كان الطـــول الموجي لضوء المصدر الذي تســـتخدمه 634 nm، وعرض الشـــقّ 0.10 mm، والبعد بين الشـــقّ والشاشة 1.15 m، وغمـــرت الأدوات في الماء ($n_{\text{المادة}} = 1.33$) فكـــم تتوقع أن يكون عرض الهدب المركزي؟

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

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

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

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

محزوزات الحيود Diffraction Gratings

درســت أن تداخل الشقّ المزدوج وحيود الشقّ المفرد يعتمدان على الطول الموجي للضوء المســتخدم، لذا فإنّنا بحاجة إلى قياسات دقيقة للطول للموجي. ومن أجل ذلك تُستخدم محزوزات الحيود الموضّحة في **الشــكل 11–1**. **ومحزوز الحيود** أداة مكوّنة من شقوق عدة مفردة تسبّب حيود الضوء، وتكوّن نمط حيود ناتجًا عن تراكُب أنماط ناتجة عن حيود شقّ مفرد. ويمكن أن يتكوّن محزوز الحيود من 10,000 شــقّ لكل سنتمتر. لذا فإن المسافة بين الشقوق تكون صغيرة جدًّا 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 جدًّا بواســطة رأس من الألماس؛ حيث تعمل الفراغات بين خطوط الخدوش كالشــقوق. 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 أحيانًا على صورة محزوزات نفاذ تنتج أطيافًا ضوئية، كما هو موضح في **الشكل 12a–1**.

وهناك نوع آخر من محزوزات الحيود تُسمّى محزوزات الانعكاس. ويُصنع هذا النوع بواسطة حفر خطوط رفيعة جدًّا 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 محــزوز انعكاس، كما هو موضح في **الشــكل 12b–1**. فإذا وجّهت ضوءًا أحاديَّ اللون إلى DVD فسيُكوّن الضوء المنعكس نمط حيود على شاشة. وتُنتج محزوزات النفــاذ ومحزوزات الانعكاس أنماطَ حيود متشــابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفســها. يبين **الشكل 13–1** إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

■ **الشــكل 11–1** تستخدم محزوزات الحيود لتكوين أنماط الحيود من أجل تحليل مصادر الضوء.

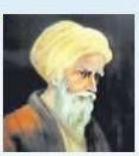
■ **الشــكل 12–1** جوهرة مصنوعة في صورة محزوز نفاذ تُنتج أطيافًا ضوئية (a). تُعدّ الأقراص المدمجة محزوزات انعكاس؛ إذ تكوّن نمط طيف الحيود عندما يسقط عليها ضوء أبيض (b).

■ **الشــكل 13–1** خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

القــرن العاشــر (م) ابــن ســهل أحــد العلماء المسلمين، وضَع أول قانون للانكسار واستخدمه لاســتخلاص أشــكال العدســات التي تعمل عــلى تركيز الضوء. وهــو أول من وصف قانون الانكسار وصفًا صحيحًا.

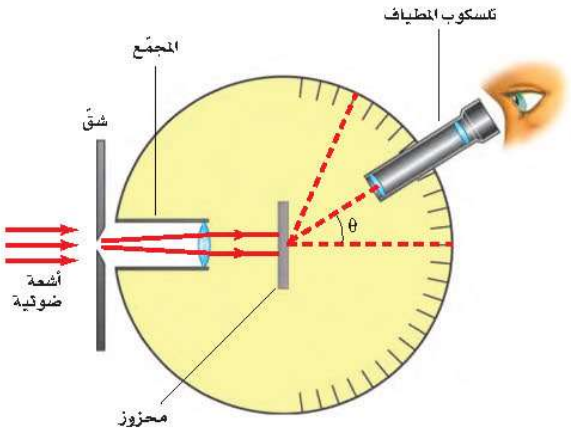
القرن التاسع الميلادي | القرن العاشر | القرن الحادي عشر

القــرن التاســع (م) يعقــوب بن إســحاق الكندي أحــد العلماء المســلمين، فسّر اختلاف أطوال الظلال للأجســام، والانعكاس في المرايا، وبيّن أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة.



القــرن الحادي عشــر (م) ابن الهيثم أحد العلماء المسلمين، أوجد علــم البصريــات معتمدًا عــلى التجربة والبرهــان، كما ولدت على يديه نظريــة الورود (الانعكاس)، وفسّر كيفية رؤية العين للأجســام، ودرس العين البشرية وعرّف أجزاءها، وأعطى كل جزء الاسم الخاص به.

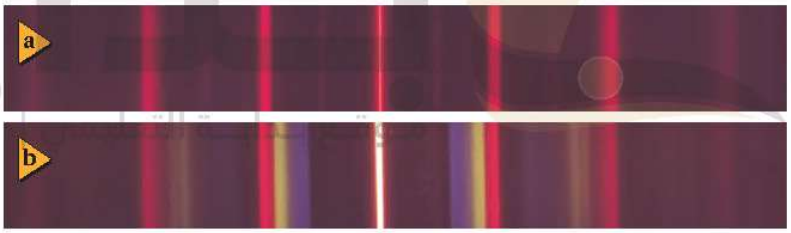
بداية
موقع بداية التعليمي
bedaya.com



■ **الشكل 14–1** يستخدم المطياف لقياس الأطوال الموجية للضوء المنبعث من مصدر ضوئي.

قياس الطول الموجي الجهاز الذي تُقاس به الأطوال الموجية للضوء باستخدام محزوز الحيود يُسمّى المطيافَ، كما هو موضح في **الشكل 14–1**. حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءًا يوجّه نحو شقّ، وينفذ الضوء عبر الشقّ ليسقط على محزوز الحيود، فيُنتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بتلسكوب المطياف.

ويكون نمط الحيود المتكوّن بوساطة محزوز حيود عبارة عن أهداب مضيئة ضيّقة تفصلها مسافات متساوية، كما في **الشكل 15–1**. وكلّما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز تكوّنت أهداب أكثر ضِيقًا في نمط الحيود. لذا يمكن قياس المسافة بين الأهداب المضيئة باستخدام المطياف بدقة أكبر، مقارنة باستخدام الشقّ المزدوج.



■ **الشكل 15–1** استُخدم محزوز لإنتاج أنماط الحيود للضوء الأحمر (a) وللضوء الأبيض (b).

beddaya.com

القرن السابع عشر (م) رينيه ديكارت وضَع بعض النظريات البصرية التي فسّرت مجموعة من الظواهر البصرية مثل الانعكاس والانكسار.

القرن السابع عشر (م) سنل وضع قانون الانكسار.

القرن الثامن عشر (م) إسحاق نيوتن وصَفَ الضوء بأنه انبعاث جسيمات، واكتشف أنه مكون من سبعة ألوان سمّاها الطيف المرئي. وأن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

القرن التاسع عشر (م) ماكسويل استنتج أن الضوء موجات كهرومغناطيسية.

القرن السابع عشر

القرن الثامن عشر

القرن التاسع عشر

القرن العشرين

القرن السابع عشر (م) كريستيان هيجنز وضع أساسًا لبناء النظرية الموجية للضوء، وطوّر نظرية تقول إن الضوء ينتقل على شكل موجات، وفسّر ظواهر الحيود والتداخل وغيرها. وبيّن أن كل نقطة على صدر (مقدمة) الموجة تصبح مصدرًا لموجة أخرى.

القرن التاسع عشر (م) توماس يونج بداية توصّل إلى دليل مقنع للطبيعة الموجية للضوء، واستطاع قياس الأطوال الموجية للضوء المرئي. وهو صاحب التجربة الشهيرة لتداخل الشقّ المزدوج.

القرن العشرون (م) بور أعطى أول تفسير منطقي صحيح لآلية (ميكانيكية) انبعاث الضوء من الذرات، وفسّر الظاهرة الكهروضوئية.

درســت سابقًا في هذا الفصل أنه يمكن اســتخدام نمط التداخل الناتج بواسطة شــقّ مزدوج لحساب الطول الموجي للضوء المســتخدم. ويمكن الحصول على معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتبعت للحصول على معادلة الشقّ المزدوج. ولكن الزاويــة θ في محزوز الحيود تكون كبيرة؛ لذا لا يُطبّق التبســيط الخاص بالزاوية الصغــيرة. ويمكن إيجاد الطول الموجي بقياس الزاوية θ بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى.

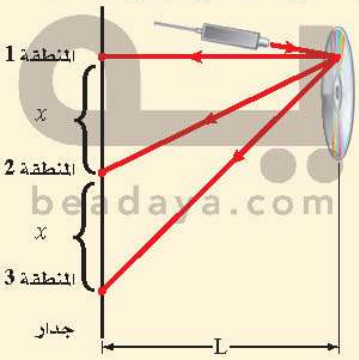
الطول الموجي من محزوز الحيود $\lambda = d \sin\theta$

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

ويحــدث التداخل البنّاء بوســاطة محزوز الحيود عند زوايا عــلى جانبي الهدب المركزي المضيء، ويعبَّر عنــه من خلال المعادلة $m\lambda = d \sin\theta$، حيث $m = 0, 1, 2 \ldots$، ويحدث الهدب المضيء المركزي عند $m=0$.

مثـــال 3

استخدام قرص DVD بوصفه محزوز حيود أسقط طالب شعاعًا ضوئيًّا 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 لضوء 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

- مثّل التجربة، مبيّنًا المناطق المضيئة على الجدار، وقرص الـ DVD بوصفه محزوزًا.

المعلوم $\lambda = 532\ \text{nm}$، $L = 1.25\ \text{m}$، $x = 1.29\ \text{m}$ **المجهول** $d = ?$

بداية | موقع بداية التعليمي
bedaya.com

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الزاوية المحصورة بين المنطقة المركزية المضيئة ومنطقة أخرى تليها مستخدمًا $\tan\theta = x/L$

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

عوّض مستخدمًا $L = 1.25\ \text{m}$، $x = 1.29\ \text{m}$

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

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

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

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

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

$$= 7.41 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة m، وهي وحدة صحيحة للمسافة الفاصلة.
- **هل الجواب منطقي؟** عندما يكون لـ x وL المقدار نفسه تكون قيمة d قريبة من قيمة λ.

مسائل تدريبية

15. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط المتكوّن.
16. يسقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، فتكوّنت 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 8.60×10^{-7} 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 نمطًا 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 سنتمتر في المحزوز؟

الإجابة في الصفحة التالية

يمكن رؤية نمط التداخل في الأغشية الرقيقة ضمن زاوية نظر صغيرة، عند النظر رأسيًّا من فوق الغشاء. وكذلك الحال بالنسبة لفراشة المورفو الزرقاء، ذات نمط التداخل المتلألئ، 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، وتسبِّب انتشار نمط تداخل الضوء الأزرق المتلألئ لينتج نمط حيود بزاوية نظر أوسع. ويعتقد العلماء أن ذلك يجعل فراشة المورفو أكثر وضوحًا لجذب شريك التزاوج.

bidaaya.com | موقع بداية التعليمي

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 تمامًا كما يفعل الشقّ الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بواسطتها، كما في **الشكل 16–1**. وتكون معادلة الفتحة مماثلة لمعادلة الشقّ المفرد، إلا أن للفتحة حافة دائرية بدلًا من حافتي الشقّ. لذا يُعوَّض قطر الفتحة D بدلًا 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 جدًّا أحدهما إلى الآخر فإن صورتيهما تتداخلان

■ **الشكل 16–1** نمط الحيود لثقب دائري ينتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

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

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

16. يسقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، فتكوّنت 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 شـقوقه مسافة 8.60×10^{-7} 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؟

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

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

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

تابع إلى الصفحة التالية

$$
\begin{aligned}
x &= L\tan\theta \\
&= L\tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{d}\right)\right) \\
&= (0.800\text{ m})\left(\tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{421\times10^{-9}\text{ m}}{8.60\times10^{-7}\text{ m}}\right)\right)\right) \\
&= 0.449\text{ m}
\end{aligned}
$$

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؟

$$
\begin{aligned}
\lambda &= d\sin\theta = d\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right)\right) \\
&= (7.41\times10^{-7}\text{ m})\left(\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{0.58\text{ m}}{0.65\text{ m}}\right)\right)\right) \\
&= 490\text{ nm}
\end{aligned}
$$

19. يمر ضوء طوله الموجي 632 nm خلال محزوز حيود، ويكوّن نمطًا 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 سنتمتر في المحزوز؟

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

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

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

$$
\begin{aligned}
d &= \frac{\lambda}{\sin\theta} \\
&= \frac{\lambda}{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right)\right)} \\
&= \frac{632\times10^{-9}\text{ m}}{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{0.056\text{ m}}{0.55\text{ m}}\right)\right)} \\
&= 6.2\times10^{-6}\text{ m} = 6.2\times10^{-4}\text{ cm}
\end{aligned}
$$

$$1\text{ شقّ}/6.2\times10^{-4}\text{ cm} = 1.6\times10^{3}\text{ شقّ}/\text{cm}$$

معًا، كما في **الشكل 17–1**. وفي عام 1879 وضع الفيزيائي والرياضي البريطاني لورد ريليه، الحائز على جائزة نوبل، معيارًا 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 المعتمة الأولى للنجم الثاني فإن الصورتين تكونان عند حدّ الفصل أو التمييز؛ أي يكون المُشاهد قادرًا على تحديد وجود نجمين بدلاً من نجم واحد فقط.

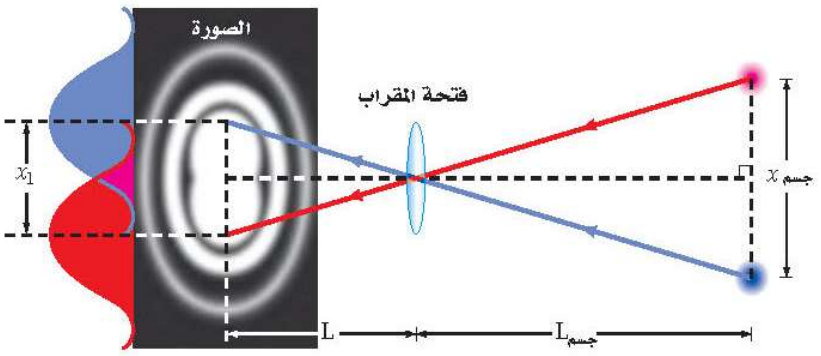
إذا كانت الصورتان عند حدّ التمييز فكم يبعد الجسمان أحدهما عن الآخر؟ يبعد مركزا البقعتين المضيئتين للصورتين أحدهما عن الآخر مسافة x_1، وذلك باستخدام معيار ريليه. ويوضح **الشكل 17–1** أنه يمكن استخدام تشابه المثلثات لإيجاد أن $x_1 / L = x_{\text{الجسم}} / L_{\text{الجسم}}$. وبتعويض قيمة x_1 من المعادلة $x_1 = 1.22\lambda L / D$ في المعادلة السابقة لحذف المقدار x_1 / L، ثم إعادة ترتيب حدود المعادلة للحصول على المسافة التي تفصل بين الجسمين $x_{\text{الجسم}}$، يمكن التوصل إلى المعادلة الآتية:

معيار ريليه

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

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

الحيود في العين البشرية عندما يكون الضوء ساطعًا يكون قطر بؤبؤ العين 3 mm تقريبًا. وحساسيّة العين البشرية كبيرة للون الأصفر – المخضر؛ حيث الطول الموجي يساوي 550 nm. وبتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{\text{الجسم}} = 2 \times 10^{-4} L_{\text{الجسم}}$. وحيث إن المسافة بين البؤبؤ والشبكية 2 cm تقريبًا، 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 تقريبًا. لذا تُسجّل المخاريط الثلاثة المتجاورة في الحالة المثالية ضوءًا، وعتمة، وضوءًا، وعندئذٍ تبدو العين مثالية التركيب. وإذا كانت المخاريط متقاربة جدًّا فإنها سترى تفاصيل نمط الحيود لا المصادر. أما إذا كانت المخاريط متباعدة فلن يكون باستطاعتها تمييز التفاصيل الممكنة كلها.



■ **الشكل 17–1** تسمح لك هندسة المثلثات المتماثلة بحساب المسافة الفعلية التي تفصل بين جسمين. تم استخدام اللونين الأزرق والأحمر فقط بغرض التوضيح. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

تجربة

شاشات عرض الشبكة

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

1. صل مصباحًا متوهجًا 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 المتكوّن أفقيًّا.
3. **لاحظ** أنماط ألوان الأطياف المتكوّنة، وسجّل ملاحظاتك مستخدمًا أقلامًا ملوّنة.

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. **فسّر البيانات** هل بياناتك متطابقة مع معادلة الطول الموجي من محزوز الحيود؟

إن تطبيق معيار ريليه لإيجاد قدرة العين على التمييز بين مصدرين متباعدين يدل على أن العين لديها القدرة على التمييز بين الضوئين الأماميين لمركبة (المسافة بينهما 1.5 m) من بُعد 7 km. وعمليًّا، لا يحدّ الحيود من عمل العين؛ إذ يؤدي السائل الذي يملأ العين والعيوب في العدسة إلى التقليل من قدرة التمييز للعين بمقدار خمس مرات، وفق معيار ريليه. ويستخدم معظم الناس أعينهم لأغراض غير التمييز بين المصادر النقطية، فمثلاً يبدو أن للعين قدرة ذاتية للكشف عن الحواف المستقيمة.

ويعلن بعض صانعي أجهزة المنظار الفلكي أن أجهزتهم محدودة الحيود؛ أي يدّعون أن لأجهزتهم القدرة على التمييز بين مصدرين نقطيين عند حدّ معيار ريليه. وللوصول إلى هذا الحدّ يتعين عليهم صقل المرايا والعدسات بدقة تصل إلى عُشر (1/10) الطول الموجي أو 55 nm تقريبًا. وكلما كبر قطر المرآة زادت قدرة التمييز للمنظار الفلكي. إلّا أن الضوء المنبعث من الكواكب أو النجوم يجب أن يمر خلال الغلاف الجوي للأرض، حيث تؤدي التغيرات نفسها التي تحدث في الغلاف الجوي والتي تجعل النجوم تتلألأ إلى عدم وصول المنظار الفلكي إلى حد الحيود. وتعد قدرة تمييز ودقة صور تلسكوب هابل الفضائي أفضل كثيرًا من التلسكوبات الكبرى الموجودة على سطح الأرض؛ وذلك بسبب وجوده فوق الغلاف الجوي للأرض.

2–1 مراجعة

20. **المسافة بين الأهداب المعتمة ذات الرتبة الأولى** يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طول موجته 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشقّ 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؟

21. **معيار ريليه** نجم الشِّعرى اليمانية (سيريوس) أكثر النجوم سطوعًا في السماء في فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي. ونجم الشعِّرى–في الحقيقة– نظام مكوّن من نجمين يدور كل منهما حول الآخر فإذا وجّه 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 المعتمة ذات الرتبة الأولى** يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طول موجته 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشقّ 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 الشِّعرى اليمانية (سيريوس) أكثر النجوم سطوعًا في السماء في فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي. ونجم الشعّرى-في الحقيقة- نظام مكوّن من نجمين يدور كل منهما حول الآخر فإذا وجّه 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)

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

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

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

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

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؟

حدّد 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 أحيانًا سلوك الموجة؛ فعندما يسقط ضوء مترابط على شقّين قريبين جدًّا أحدهما إلى الآخر يكوّن الضوء النافذ خلال الشقّين نمطًا من التداخل البنّاء والتداخل الهدّام على شاشة. وفي هذا الاستقصاء ستطوّر إجراءات وخطوات قياس الطول الموجي لمصدر ضوء أحادي اللون باستخدام شقّين.

سؤال التجربة

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

الأهداف

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

احتياطات السلامة

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

المواد والأدوات

مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر لاختباره

شقّ مزدوج

مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر معلوم الطول الموجي

مشبك غسيل لحمل مؤشر الليزر

كرة صلصال لتثبيت لوحة الشقّ المزدوج

مسطرة مترية

الخطوات

1. حدّد المعادلة التي تطبّق على تداخل الشقّ المزدوج.
2. استخدم شقًّا مزدوجًا على أن تكون المسافة الفاصلة بين الشقّين معلومة d، أو طوِّر طريقة لتحديد d.
3. وضّح بالرسم التخطيطي كيف ينفذ الضوء خلال شقّ 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 تفحّص تجربتك، كما يتعين عليك الحصول على موافقته قبل بدء تنفيذ التصميم.
8. نفّذ تجربتك، وسجّل بياناتك في جدول بيانات مماثل للجدول الموجود في الصفحة الآتية.

بداية
موقع بداية التعليمي | beadaya.com

جدول البيانات						
المصدر	اللون	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 الشقّين والشاشة. هل توجد مسافة معينة تسمح لك بجمع معظم البيانات بدقة كبيرة؟
2. احسب الطول الموجي λ لمصدر الضوء مستخدمًا m وقياسات كل من x وd و L.
3. **تحليل الخطأ** قارن بين الطول الموجي الذي حسبته والقيمة المقبولة، وذلك بحساب النسبة المئوية للخطأ.

الاستنتاج والتطبيق

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

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؟
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؟

التوسع في البحث

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

2. **تحليل الخطأ** صف بعض الأمور التي يمكنك تنفيذها في المستقبل لتقليل الخطأ المنهجي في تجربتك.
3. **قوّم** افحص أداة القياس التي استخدمتها، وحدّد أيّ الأدوات قلّلت من دقة حساباتك؟ وأيّها حقّقت لك دقة أكبر؟
4. **تقنيات المختبر** كيف يمكنك أن تعدّل في إعدادات التجربة لكي تستخدم ضوءًا أبيض من مصباح كهربائي عادي لتوليد نمط تداخل الشقّ المزدوج؟

الفيزياء في الحياة

1. إذا سقط ضوء أبيض على شقوق باب شبكي يمنع دخول الحشرات فلماذا لا يُرى نمط تداخل في ظل الباب على الجدار؟
2. إذا كان جميع الضوء الذي ينير العالم مترابطًا، فهل ستبدو الأشياء مختلفة؟ وضح ذلك.

الإجابات في الصفحة التالية

التحليل

1. اضبط المسافة بين الشقّين 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 سهلا، ولكن في المقابل يقل التباين مع زيادة المسافة، فيصعب رؤية بعض الأهداب. إن الدقة هي مسألة تحديد المسافة التي تعطينا أهدابا حادة وواضحة ويتباعد بعضها عن بعض مسافات متساوية.

2. احسب الطول الموجي λ لمصدر الضوء مستخدمًا m وقياسات كل من x وd 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: النسب المئوية للخطأ تساوي

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

الاستنتاج والتطبيق

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

التوسع في البحث

. **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 يتراكب مع أهداب تداخل الشق المزدوج. إنه ينتج من استعمال الشقوق التي يزيد عرضها على $1\mu m$

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

عينة إجابات: زد L لزيادة x. واستعمل الغرفة المعتمة لتكون الأنماط أكثر وضوحًا.

3. **قوّم** افحص أداة القياس التي استخدمتها، وحدّد أيّ الأدوات قلّلت من دقة حساباتك؟ وأيّها حقّقت 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 ضوءًا أبيض من مصباح كهربائي عادي لتوليد نمط تداخل الشقّ المزدوج؟

ضع شقًّا مفردًا ذا عرض ضيق بين المصباح الكهربائي والشوق المزدوج.

تابع إلى الصفحة التالية

موقع بدايتي للحلول الطلابية
bedaytech

الفيزياء في الحياة

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

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

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

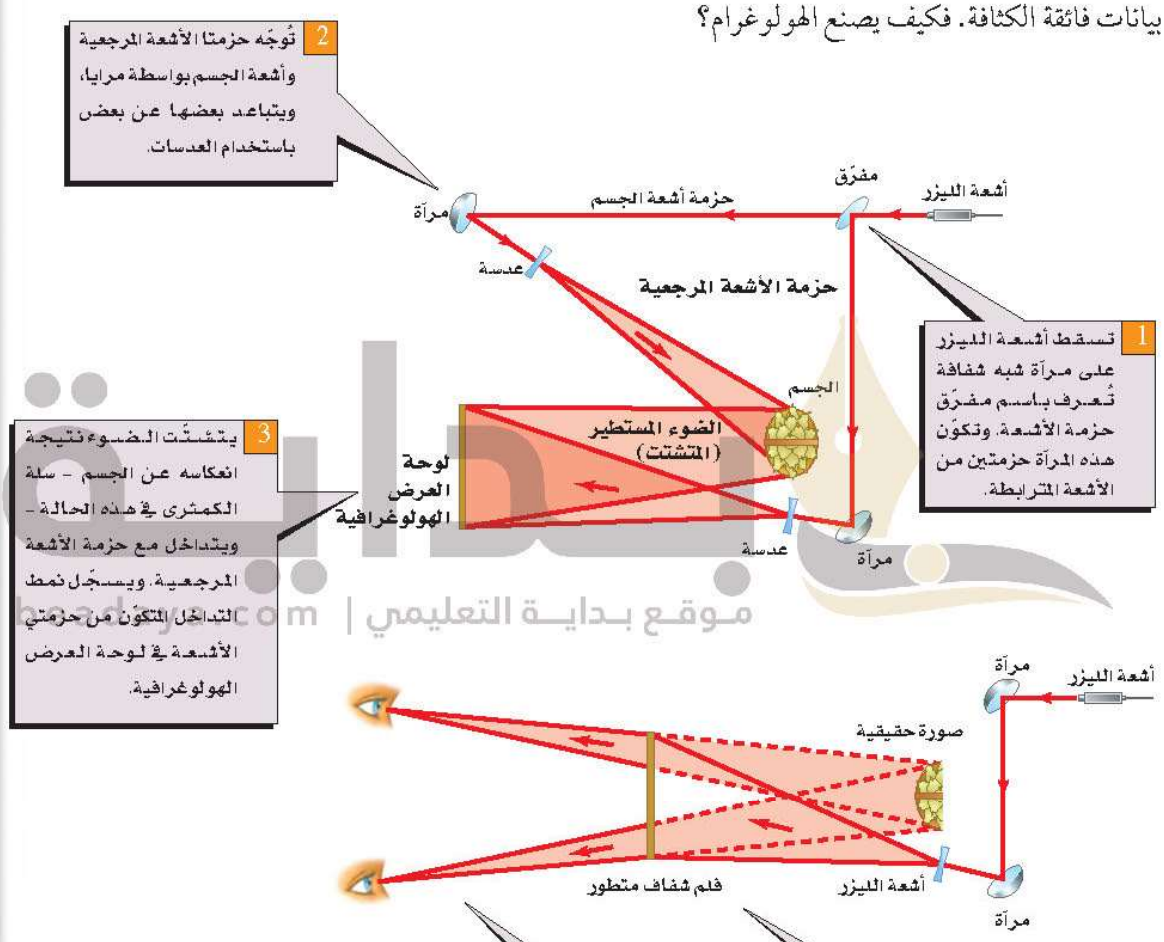
ستبدو الأشياء أقل تحديدا ورفيعة (أقرب إلى رسم خط ناعم وفاتح اللون). الضوء غير المترابط هو الذي يأي من الاتجاهات جميعها.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

كيف يعمل

الهولوغرافي؟
How it works Holography

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



موقع بداية التعليمي | bedaya.com

التفكير الناقد

1. **استنتج** يُسجّل الهولوغرام نمطًا معقّدًا لأهداب التداخل البنّاء والتداخل الهدّام. فلماذا تفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولًا؟
2. **استخدام التوضيح العلمي** حدّد أين تحدث الخصائص الموجية الآتية في الرسوم البيانيّة ووضّحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.

الإجابات في الصفحة التالية

التفكير الناقد

1. **استنتج** يُسجّل الهولوغرام نمطًا معقّدًا لأهداب التداخل البنّاء والتداخل الهدّام. فلماذا تفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولًا؟

المقياس الذي يسجل عنده نمط التداخل صغير جدا. يجب أن يبقى كل من المصدر والجسم ولوحة العرض الهولوغرافية ثابتا لثوان عدة، وإلا فستحطم الاهتزازات نمط التداخل ولن يكون هناك هولوغرام.

2. **استخدام التوضيح العلمي** حدّد أين تحدث الخصائص الموجية الآتية في الرسوم البيانيّة وضّحها: 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.

beadaya.com

الفصل 1
دليل مراجعة الفصل

1-1 التداخل Interference

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

- يضيء الضوء غير المترابط الجسم بالتساوي، كما يضيء المصباح الكهربائي سطح مكتبك.
- ينتج نمط التداخل من تراكُب موجات ضوئية ناتجة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط.
- يبرهن التداخل أن للضوء خصائص موجيّة.
- يُنتج الضوء المار خلال شقّين ضيقين متقاربين نمطًا من أهداب معتمة ومضيئة على شاشة تُسمّى أهداب التداخل.
- يمكن استخدام أنماط التداخل لقياس الطول الموجي للضوء.

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

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

1-2 الحيود Diffraction

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معيار ريليه

المفاهيم الرئيسة

- يحيد الضوء المار خلال شقّ ضيّق، أو ينتشر بعيدًا عن مسار الخط المستقيم، ويُنتج نمط حيود على شاشة.
- يكوّن نمط الحيود من شقّ مفرد حزمة مركزية مضيئة عرضها يساوي المسافة بين الحزمة المعتمة الأولى على كلا جانبي الحزمة المركزية المضيئة.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

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

- تتكوّن محزوزات الحيود من عدد كبير من الشقوق المتقاربة جدًّا، وتنتج خطوطًا ضيقة ناتجة عن تراكُب أنماط التداخل للشقّ المفرد لجميع الشقوق في المحزوز.
- تُستخدم محزوزات الحيود لقياس الطول الموجي للضوء بدقة كبيرة، أو تُستخدم لتحليل الضوء المتكوّن من أطوال موجية مختلفة.

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

- يحدّ الحيود من قدرتنا على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا عند النظر إليهما من خلال فتحة أو ثقب.

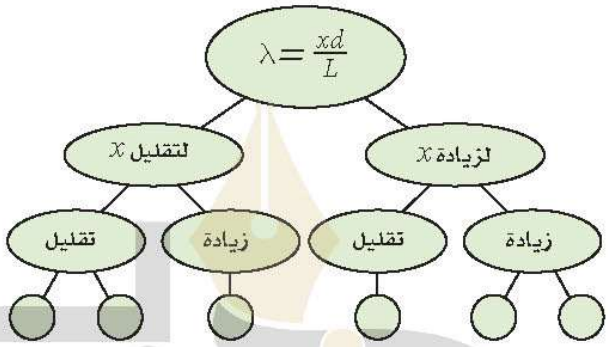
$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

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

الفصل 1 التقويم

خريطة المفاهيم

23. يضيء ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ شقّين في تجربة يونج. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين d، وتكوّن نمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقّين، فأكمل خريطة المفاهيم الآتية مستخدمًا λ وL وd لتبيّن كيف يمكنك تغييرها لتحصل على التغير المشار إليه في الفراغ بين الأهداب المضيئة المتجاورة x.



إتقان المفاهيم

24. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهمًّا في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟ (1-1)

25. وضّح لماذا لا يمكن استخدام موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي لموجات الضوء؟ (1-1)

26. اقترح طريقة تمكنك من استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقّين. (1-1)

27. يشع ضوء أبيض خلال محزوز حيود. هل تكون الفراغات بين الخطوط الحمراء الناتجة متقاربة أم متباعدة أكثر مقارنة بالخطوط البنفسجية الناتجة؟ ولماذا؟ (2-1)

28. ما لون الضوء المرئي الذي ينتج خطًّا ساطعًا قريبًا جدًّا من الهدب المركزي المضيء بالنسبة لمحزوز حيود معين؟ (2-1)

29. لماذا يكون التلسكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمين متقاربين جدًّا؟ (2-1)

تطبيق المفاهيم

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

a. فقاعات الصابون
b. بتلات الوردة
c. غشاء زيتي
d. قوس المطر

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

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

a. عندما يتضاعف سمك الغشاء.
b. عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط.
c. عندما يتناقص سمك الغشاء بمقدار ربع الطول الموجي للضوء الساقط.

33. **تحدّي مؤشر الليزر** إذا كان لديك مؤشرا ليزر؛ أحدهما ضوءه أحمر والآخر ضوءه أخضر، واختلف زميلاك أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، وأصرّ أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجي أكبر. فإذا كان لديك محزوز حيود فَصِف

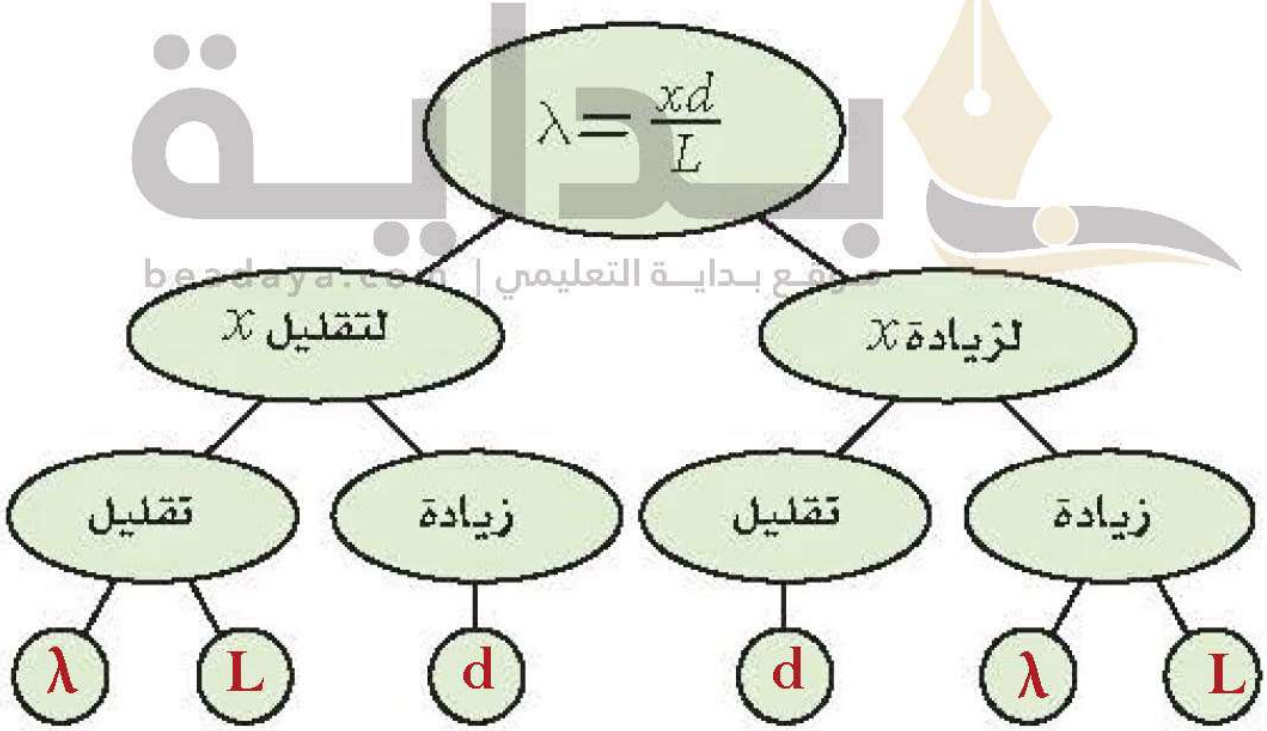
بداية
موقع بداية التعليمي | bedaya.com

الإجابات في الصفحة التالية

الفصل 1
التقويم

خريطة المفاهيم

23. يضيء ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ شقّين في تجربة يونج. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين d، وتكوّن نمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقّين، فأكمل خريطة المفاهيم الآتية مستخدمًا λ وL وd لتبيّن كيف يمكنك تغييرها لتحصل على التغير المشار إليه في الفراغ بين الأهداب المضيئة المتجاورة x.



بداية
beadaya.com | مجتمع بداية التعليمي

تابع إلى الصفحة التالية

إتقان المفاهيم

24. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهمًّا في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟ (1-1)

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

25. وضّح لماذا لا يمكن استخدام موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي لموجات الضوء؟ (1-1)

الأطوال الموجية جميعها تنتج الهدب المركزي في الموقع نفسه

26. اقترح طريقة تمكنك من استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقّين. (1-1)

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؟

تتناسب المسافة طرديا 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 خطًّا ساطعًا قريبًا جدًّا من الهدب المركزي المضيء بالنسبة لمحزوز حيود معين؟(2-1)

الضوء البنفسجي هو اللون ذو الطول الموجي الأقصر.

29. لماذا يكون التلسكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمين متقاربين جدًّا؟ (2-1)

للفتحات الصغيرة أنماط حيوية كبيرة تُحدّ من القدرة على التمييز بين الصورتين.

تطبيق المفاهيم

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

a- فقاعات الصابون: التداخل

b- بتلات الوردة: الأصباغ

c- غشاء زيتي: التداخل

d- قوس المطر: الانكسار

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

تأخذ الأهداب في الاتساع وتأخذ إضاءتها في الخفوت.

تابع إلى الصفحة التالية

32. **معرض العلوم** إحدى المعروضات في معرض العلوم عبارة عن غشـــاء كبير جدًّا من الصابون ذي عرض ثابت تقريبًا، ويُضاء بواســطة ضـــوء طوله الموجي 432 nm، فيظهر الســـطح كاملاً تقريبًا على شكل ظل أرجواني اللـــون. فماذا ستشـــاهد في الحالات الآتية؟

a- عندما يتضاعف سمك الغشاء: تداخل هدّ ام كامل

b- عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط: تداخل بنّاء كامل .

c- عندما يتناقص سمك الغشاء بمقدار ربع الطول االموجي للضوء الساقط: تداخل هدّام كامل

33. **تحـدّي مؤشـر الليـزر** إذا كان لديـــك مؤشرا ليزر؛ أحدهما ضوءه أحمر والأخر ضوءه أخضر، واختلف زميلاك أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، وأصرّ أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجـــي أكبر. فإذا كان لديك محـــزوز حيود فصِف العرض الذي ســـتنفّذه بواسطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصّلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما؟

سلط كل مؤشر ليزر خلال المحزوز على جدار قريب، فسينتج الضوء ذو الطول الموجي الأكبر نقاطا تفصلها مسافات كبيرة على الجدار: لأن السافة بينها تتناسب طرديا مع الطول الموجي. (الصحيح هو قول أحمد، الطول الموجي للضوء الأحمر أكبر من الطول الموجي للضوء الأخضر).

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

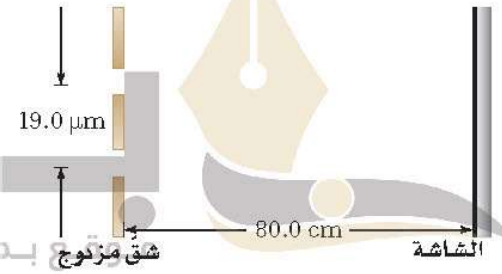
تقويم الفصل 1

العرض الذي ستنفّذه بواسطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصّلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما؟

إتقان حل المسائل

1– التداخل

34. يسقط ضوء على شقّين متباعدين بمقدار 19.0 μm، ويبعدان عن شاشة 80.0 cm، كما في **الشكل 18–1**. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



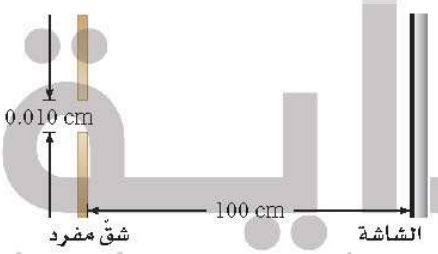
الشكل 18–

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 ألوانًا مختلفة. ما أقل سمك لطبقة النفط، عندما تُكوّن تداخلاً بنّاءً لضوء طوله الموجي 545 nm؟

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

1– الحيود

37. يعبر ضوء أحادي اللون خلال شقّ مفرد عرضه 0.010 cm، ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة 100 cm، كما في **الشكل 19–1**. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 19–

38. يمرّ ضوء طوله الموجي 4.5×10^{-5} 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؟

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

40. المطياف يستخدم في جهاز المطياف محزوز حيود يحوي 12000 خط/cm. 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.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

الإجابات في الصفحة التالية