الفصل 11

الانكسار والعدسات

نظرة عامة إلى الفصل

تتغيّر سرعة الضوء عندما ينتقل من وسط إلى وسط آخر معامل انكساره مختلف. وعندما يسقط الضوء على الحدّ الفاصل بين الوسطين بزاوية فإنه يغير إتجاهه أيضاً. ويمكن للضوء المارّ عبر عدسة أن يكوّن صور بحجوم وصفات مختلفة عن حجم وصفات الجسم الأصلي. وتستطيع العين والأجهزة البصريّة الحصول على صور واضحة للأجسام الصغيرة أو البعيدة وذلك بفعل انكسار الضوء.

فكّر

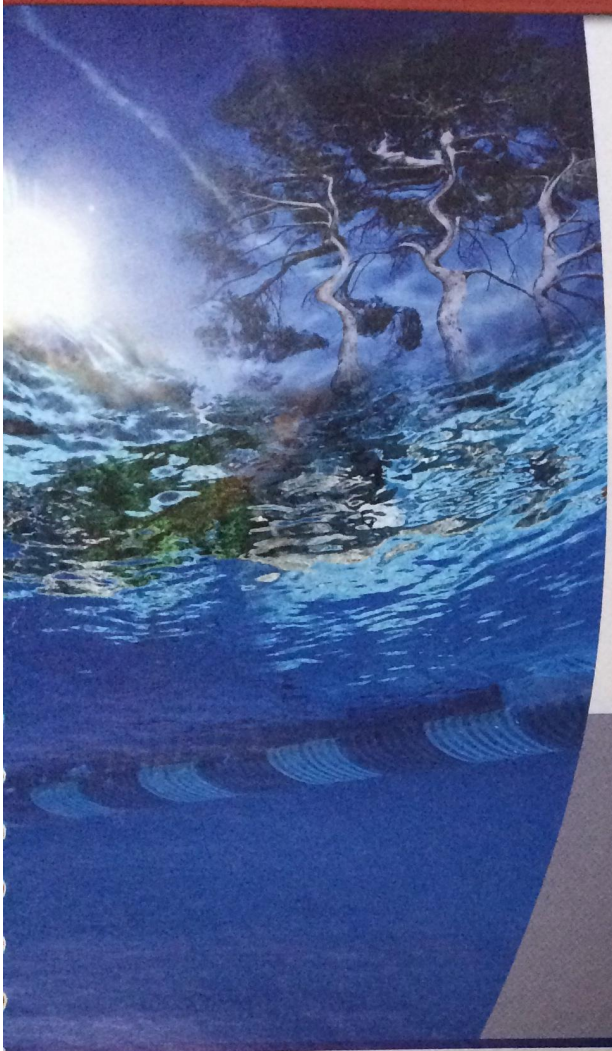
عندما يكون المسبح فارغاً من الماء، فسينتقل الضوء من الأشجار إلى عينك بخط مستقيم وستبدو الأشجار بهيئتها الطبيعية. أما إذا كان المسبح مملوءاً بالماء فإنّ اتجاه الضوء سيتغير عند سطح الماء الذي يفصل بين الأشجار وعينيك. سيدرس الطلاب هذا التغير الذي يطرأ على مسار الضوء في هذا الفصل.

المفردات الرئيسة

- معامل الانكسار
- قانون سنل في الانكسار
- الزاوية الحرجة
- الانعكاس الكلي الداخلي
- التفريق (التحليل)
- العدسة
- العدسة المحدبة
- العدسة المقعرة
- معادلة العدسة الرقيقة
- الزوغان اللوني
- العدسة اللالونية
- قصر النظر
- طول النظر

الفصل 11

الانكسار والعدسات
Refraction and Lenses



بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تعرّف كيفية تغير اتجاه الضوء وسرعته عندما ينتقل خلال مواد مختلفة.
- مقارنة خصائص العدسات بالصور التي تكوّنها.
- تعرّف التطبيقات المختلفة للعدسات، وكيف تمكّنك عدسات عينيك من الرؤية.

الأهمية

تقوم عملية الرؤية وتكوُّن صور للأشياء على أساس ظاهرة الانكسار؛ حيث ينتقل بعض الضوء في خط مستقيم من الجسم إلى عينيك، وينعكس جزء منه قبل أن يصل إليك، بينما يسلك جزء آخر منه مسارًا يبدو منحنيًا، ليكوّن صورة له على الشبكية.

الأشجار المتموجة إذا غصت تحت الماء فستلاحظ أن الأشياء هناك تبدو طبيعية، في حين تبدو الأجسام التي فوق الماء مشوّهة بفعل الموجات التي تعلو سطحه.

فكّر ◄

ما الذي يجعل صور الأشجار متموّجة؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

الهدف يلاحظ الطلاب انحناء الضوء بمقادير مختلفة عندما ينتقل عبر موادّ مختلفة الكثافة.

المواد والأدوات ثلاثة دوارق سعة كل منها 400 ml، و200 ml زيت الطهي، و 200 ml شراب الذرة المركز، و600 ml ماء، وثلاثة أقلام.

استراتيجيات التدريس

- من طرائق ضمان عدم اختلاط السوائل بعضها ببعض أن تحمل الملعقة مقلوبة فوق المخلوط ، ثم يسكب السائل على ظهرها ببطء.
- يجب إفراغ الدورق المحتوي على شراب الذرة المركز وزيت الطهي بطريقة تضمن عدم انسداد المجرى.

النتائج المتوقعة تبين السوائل الثلاثة انكسارًا للقلم عند الحدّ الفاصل بين السوائل. وعند تدوير الدورق سيختفي الانكسار الذي يبدو على القلم عندما ينظر المشاهد إلى الدورق بخط مستقيم على امتداد القلم.

11-1 انكسار الضوء

1. التركيز

نشاط محفز

انكسار قلم الرصاص ضع قلم رصاص في كأس شفافة تحوي ماء. والفت انتباه الطلاب إلى أنّ القلم سيبدو وكأنه مكسور عند النظر إليه بصورة غير عمودية. حرّك القلم من جهة إلى جهة، ثم حرّكه إلى الأمام والخلف في الماء. يجب أن يلاحظ الطلاب كيف يتغير عرض القلم. ثم وضِّح لهم أنّ هذه الصور وهمية، وتتكون بسبب تغير سرعة الضوء عندما ينتقل من مادة إلى أخرى. سيدرس الطلاب في هذا الفصل كيف أنّ هذا التغير في سرعة الضوء يسبب تغيّرًا في اتجاهه.

م ١ بصري-مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

الضوء عند السطح الفاصل درس الطلاب أنّ الضّوء يمكن أن يمتص، أو ينعكس، أو ينفذ عند السطح الفاصل بين وسطين. سيلاحظ الطلاب في هذا البند أنّ الضوء النافذ سيغيّر اتجاهه عند سقوطه بزاوية على السطح الفاصل. وسيحتاج الطلاب إلى فهم معنى جيب الزاوية ومعكوس جيب الزاوية.

تجربة استهلالية

كيف يبدو قلم رصاص موضوع في سائل عند النظر إليه جانبيًا؟

سؤال التجربة هل يبدو قلم الرصاص مختلفًا عندما يشاهد خلال الماء، أو الزيت، أو شراب الذرة؟

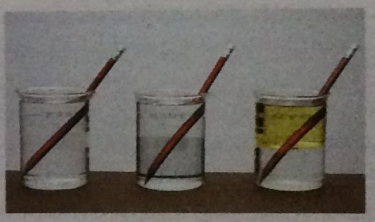
الخطوات

1. املأ دورقًا سعته 400 ml بالماء.
2. املأ دورقًا آخر سعته 400 ml بشراب الذرة إلى منتصفه، والنصف الآخر بالماء (اسكب ببطء لتجنب امتزاج السائلين).
3. املأ دورقًا ثالثًا سعته 400 ml بالماء إلى منتصفه، والنصف الآخر بزيت طهي (اسكب ببطء لتجنب امتزاج السائلين).
4. ضع قلم رصاص في كل دورق بصورة مائلة.
5. لاحظ كل قلم من جانب الدورق مع تدويره ببطء.
6. أنشئ جدولًا بيانات لتتمكن من تسجيل وصف حول شكل قلم الرصاص في كل محلول.

التحليل

أي الدوراق يبدو فيها القلم كأنه مكسور؟ وهل مقادير الكسر متساوية في الدوراق جميعها؟ ومتى لا يظهر القلم مكسورًا؟ وضح ذلك.

التفكير الناقد ضع فرضية حول متى تبدو الأجسام الصلبة كأنها مكسورة، ومتى لا تبدو كذلك، وتأكد من أن تتضمن تفسيرًا لمقدار الانكسار.



11-1 انكسار الضوء Refraction of Light

الأهداف

- **تحل** مسائل تتضمن مفهوم الانكسار في السطوح المستوية والعدسات.
- **توضح** مفهوم الانعكاس الكلي الداخلي.
- **توضح** بعض التطبيقات البصرية المبنية على الانكسار.

المفردات

معامل الانكسار
قانون سنل في الانكسار
الزاوية الحرجة
الانعكاس الكلي الداخلي
التفريق (التحليل)

يمكنك رؤية انعكاس ضوء الشمس عن الماء عند النظر إلى سطح الماء في بركة سباحة في يوم صيفي. كما يمكنك رؤية الأجسام الموجودة داخل البركة؛ لأن جزءًا من ضوء الشمس يمر إلى داخل الماء، وينعكس عن الأجسام. وعندما تمعن النظر في الأجسام الموجودة داخل الماء تلاحظ أنها تبدو مشوّهة. فعلى سبيل المثال، تبدو الأشياء التي تحت سطح الماء أقرب من البعد الحقيقي لها، كما تبدو قَدَمَا الشخص الواقف في البركة أنهما تتحركان إلى الخلف وإلى الأمام، وتبدو الخطوط التي في قاع البركة تتمايل مع حركة الماء. وتحدث هذه التأثيرات لأن الضوء يغيّر اتجاهه عند مروره من الماء إلى الهواء أو العكس.

ينحني مسار الضوء، كما تعلمت سابقًا، عند عبوره الحد الفاصل بين وسطين بسبب الانكسار. ويعتمد مقدار الانكسار على خصائص الوسطين الشفافين، وعلى الزاوية التي يسقط بها الضوء على الحد الفاصل. ويتحرك الحد الفاصل بين الهواء والماء إلى أعلى وإلى أسفل، ويميل إلى الخلف والأمام أيضًا، عند انتقال الموجات على سطح الماء. وينحرف مسار الضوء الخارج من الماء مع حركة الحد الفاصل، مما يؤدي إلى ظهور الأجسام متموجة تحت سطح الماء.

التحليل ستختلف الإجابات. سيبدو القلم مكسورًا عند كل حد فاصل بين السوائل، وسيبدو مكسورًا أكثر عند الحد الفاصل مع الهواء. وعند تدوير الدورق سيقل الانكسار حتى يتلاشى، وعند النظر إلى الدورق بخط مستقيم على امتداد طول القلم ستحني السوائل مسار الضوء، كما يفعل المنشور الزجاجي. تغير أشعة الضوء اتجاهها عندما ينتقل الضوء بين كل سائل وآخر، وتكون درجة انكسار الضوء في كل حالة معتمدة على زاوية سقوطه على السائل الموجود في الدورق. وهذه الملاحظة تستعمل لوصف الانكسار وتنوع معاملات الانكسار.

التفكير الناقد يبدو الجسم مكسورًا عندما يكون موضوعاً في وسطين مختلفي الكثافة والنظر إليه بصورة غير عمودية. ولا يبدو الجسم مكسورًا عندما يكون في وسط واحد أو النظر إليه خلال وسطين ولكن بصورة عمودية، وتعتمد درجة انكسار الجسم على زيادة الفرق بين كثافتي الوسطين.

2. التدريس

تطوير المفهوم

زاوية الانكسار لعلك تذكر من دراستك لقانون الانعكاس أن الزوايا تقاس من العمودي على السطح، وهذا ينطبق على الانكسار أيضًا؛ إذ تكون زاوية الانكسار محصورة بين الشعاع المنكسر و العمودي على السطح للجهة المعاكسة التي سقط منها الشعاع.

التفكير الناقد

الأبعاد الثلاثية ينتقل الضوء المنكسر في مستوى معيّن. اسأل الطلاب كيف يمكنهم تحديد مستوى انتقال الضوء في المسائل التي تتضمن الأبعاد الثلاثة؟ يُعرف مستوى الانتقال من خلال تحديد كل من الشعاع الضوئي الساقط والعمودي على السطح. كما فينتقل الشعاع الضوئي المنكسر في المستوى نفسه. م 2

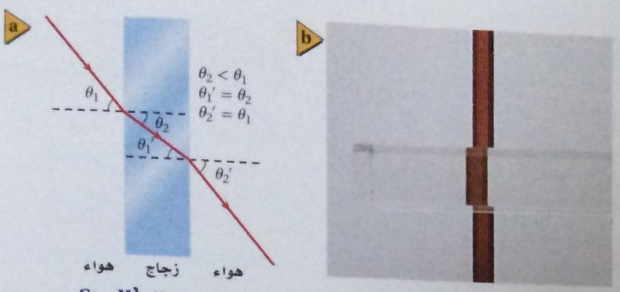
المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اتجاه الانكسار قد يعتقد الطلاب أنّ الضوء ينكسر دائمًا في اتجاه العمودي عندما يدخل المادة، وأنه ينكسر بعيدًا عن العمودي عندما يخرج من المادة. وضح لهم أنّ اتجاه انكسار الضوء يعتمد على معاملي انكسار الوسطين. وينكسر الضوء في اتجاه العمودي فقط إذا كان الوسط الذي يدخل فيه الضوء ذا معامل انكسار أكبر من الوسط الذي سقط منه.

نشاط

الخداع البصري تصنع بعض كؤوس العصير من زجاج سميك، لذا تبدو وكأنها تحوي عصيرًا أكثر مما تحوي في الواقع. اطلب إلى الطلاب العمل في مجموعات ثنائية لإنشاء رسوم تبين لماذا تبدو الكؤوس على هذا النحو. م 2

بصري-مكاني



الشكل 1-11 ينحرف الضوء مقتربًا من العمود المقام على نقطة السقوط عند انتقاله من الهواء إلى الزجاج، وينحرف مبتعدًا عن العمود المقام عند انتقاله من الزجاج إلى الهواء (a). انحراف الضوء يجعل الأجسام وكأنها مزاحة عن مواقعها الحقيقية (b).

قانون سنل في الانكسار Snell's Law of Refraction

ما الذي يحدث عندما تُسقط حزمة ضوء بشكل مائل على سطح قطعة زجاج؟ سينحرف الضوء عن مساره عند مروره بالحد الفاصل بين الهواء والزجاج كما في الشكل 1-11. ويُسمى انحراف الضوء الانكسار، وقد درس هذه الظاهرة رينيه ديكارت وويلبرورد سنل في زمن كبلر وجاليليو.

ولمناقشة نتائج هذه الدراسات ينبغي عليك أن تتعرّف زاويتين، وهما: زاوية السقوط، θ_1، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع الساقط. وزاوية الانكسار، θ_2، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع المنكسر. وقد وجد سنل في عام 1621 أنه عند مرور الضوء من الهواء إلى وسط شفاف فإن جيب كل زاوية يرتبط مع المعادلة $n = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$؛ حيث تُمثّل n مقدارًا ثابتًا يعتمد على المادة، ولا يعتمد على الزوايا، يُسمّى **معامل الانكسار**. ويبين **الجدول 1-11** معاملات انكسار بعض المواد. ويمكن تعميم معادلة سنل عندما يمر الضوء خلال حدٍّ فاصلٍ بين أي مادتين شفافتين مختلفتين. وتُعرف هذه المعادلة العامة **بقانون سنل في الانكسار**.

قانون سنل في الانكسار $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار.

يبين **الشكل 1-11** كيفية تطبيق قانون سنل عندما ينتقل الضوء خلال قطعة زجاج سطوحها متوازية، مثل زجاج النافذة، حيث ينكسر الضوء مرتين؛ مرة عند دخوله إلى الزجاج، ومرة أخرى عند خروجه منه. وعندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج فإنه ينتقل من مادة ذات معامل انكسار قليل إلى مادة معامل انكسارها أكبر، أيْ أن $n_1 < n_2$. ولكي تكون المعادلة متساوية الطرفين فإنه يجب أن يكون $\sin\theta_1 > \sin\theta_2$، أيْ أن حزمة الضوء تنحرف مقتربة من العمود المقام على السطح.

ويحدث العكس عندما ينتقل الضوء من الزجاج إلى الهواء، حيث إنه يمر من مادة ذات معامل انكسار كبير إلى مادة معامل انكسارها أقل، أيْ أن $n_1 > n_2$. وفي هذه الحالة تكون $\sin\theta_1' < \sin\theta_2'$، أيْ أن الضوء ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. لاحظ أيضًا أن اتجاه الشعاع عند خروجه من الزجاج هو نفسه كما كان قبل أن يسقط على الزجاج، ولكنه انزاح عن موضعه الأصلي.

دلالة الألوان

- يكون وسط الانكسار والعدسات باللون **الأزرق الفاتح**.

الجدول 1-11

معاملات الانكسار للضوء الأصفر (في الفراغ $\lambda = 589\ nm$)

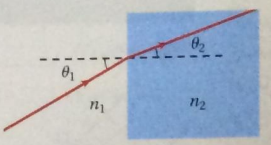
الوسط	n
الفراغ	1.00
الهواء	1.0003
الماء	1.33
الإيثانول	1.36
زجاج العدسات	1.52
الكوارتز	1.54
الزجاج الصوّاني	1.62
الألماس	2.42

مثـــال 1

زاوية الانكسار تسقط حزمة ضوء من الهواء على قطعة من زجاج العدسات بزاوية 30.0 °C. ما مقدار زاوية الانكسار؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحد الفاصل بين الهواء وزجاج العدسات.
- ارسم مخطّط الأشعة.



المعلوم	المجهول
$\theta_1 = 30.0°$	$\theta_2 = ?$
$n_1 = 1.00$	
$n_2 = 1.52$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم قانون سنل لإيجاد زاوية الانكسار:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1\right)$$

عوّض مستخدمًا $n_1 = 1.00$ ، $n_2 = 1.52$ ، $\theta_1 = 30.0°$

$$= \sin^{-1}\left(\left(\frac{1.00}{1.52}\right)\sin 30.0°\right)$$

$$= 19.2°$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُعبَّر عن الزوايا بالدرجات.
- **هل الجواب منطقي؟** إن معامل الانكسار n_2 أكبر من معامل الانكسار n_1، لذا، تكون زاوية الانكسار θ_2 أقل من زاوية السقوط θ_1.

مسائل تدريبية

1. أُسقطت حزمة ليزر في الهواء على إيثانول بزاوية سقوط 37.0°. ما مقدار زاوية الانكسار؟
2. ينتقل ضوء في الهواء إلى داخل الماء بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام. أوجد مقدار زاوية الانكسار.
3. غمر قالب من مادة غير معروفة في الماء. أُسقط عليه ضوء بزاوية 31°، فكانت زاوية انكساره في القالب 27°. ما معامل الانكسار للمادة المصنوع منها القالب؟

الربط مع الفلك

جع اللون الأحمر للقمر خلال مرحلة خسوفه إلى الانكسار؛ إذ يحدث خسوف القمر دما تحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر. ونتيجة لهذا، فقد تتوقع أن يصبح القمر تمًا تمامًا، ولكن ما يحدث هو أن الضوء ينكسر خلال الغلاف الجوي للأرض، وينحرف ول الأرض في اتجاه القمر. ولأن الغلاف الجوي للأرض يشتّت معظم الضوء الأزرق لأخضر لذا ينير اللون الأحمر أغلب القمر. وبما أن القمر يعكس معظم ألوان الضوء درجة نفسها فإنه يعكس الضوء الأحمر إلى الأرض، فيظهر القمر باللون الأحمر.

مثال صفي

سؤال سقط شعاع ضوء من الهواء على طبقة من الزجاج الصواني بزاوية سقوط مقدارها 19°. ما مقدار زاوية الانكسار؟

الجواب

بما أنّ زاوية السقوط ومعاملات انكسار الوسطين كميات معروفة، لذا استخدم قانون سنل لإيجاد زاوية الانكسار.

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1$$

$$\sin\theta_2 = \left(\frac{1.00}{1.61}\right)(0.33)$$

$$\theta_2 = 11.7°$$

تعزيز الفهم

استيعاب مفاهيم النشاط في أثناء عمل الطلاب خلال هذا الجزء، اطلب إليهم إعداد ملخص يحتوي على المواضيع الرئيسة وملخصاً قصيراً لكل موضوع بلغتهم الخاصة، وقد يرغبون أيضًا في رسم مخططات لتفسير المواضيع، ثم خصص حصة دراسية لقراءة ملخصاتهم ومناقشتها. م2

لغوي

مسائل تدريبية

1. 26.3°
2. 22.1°
3. 1.5

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

الانكسار في الغلاف الجوي اكتشف عالم الرياضيات العربي الحسن بن الهيثم 1039 – 965 العديد من المبادئ الأساسية للمرايا الكروية والمرايا التي على شكل قطع مكافئ والعدسات. فقد درس الضوء المنعكس والمنكسر من المرايا والعدسات، وحدّد تقوس العدسة أو المرآة الذي يسهم في تركيز الأشعة، وقد طور معادلات هندسية لتكوّن الصور في المرايا الكروية ومرايا القطع المكافئ. واستطاع قياس الانكسار في الغلاف الجوي من خلال معرفته بالانكسار. وقاد ذلك إلى استنتاجين هما: أولاً عندما ينتهي الشفق (الغروب) تكون الشمس قد أصبحت أسفل الأفق بـ 19°. ثانيًا، سمك الغلاف الجوي يساوي 16 km تقريبًا، وهو أول تسجيل تقديري دقيق.

استخدام التشابه

انكسار الضوء قد يساعد التشابه الطلاب على استيعاب مفهوم تغير اتجاه الضوء عندما ينتقل من وسط إلى آخر. اطلب إلى الطلاب تدقيق النظر إلى **الشكل 2–11**، ثم وضّح لهم أنه عندما تصل مقدمة الموجة إلى المنطقة التي لها معامل انكسار أكبر يمكن تشبيهها بدولابين مرتبطين معًا بمحور، ويتحركان على سطح أملس، ثم يصلان إلى أرضٍ عشبية، فعندما يلمس الدولاب الأول العشب يتباطأ. ولأن الدولاب الآخر ما زال متحركًا بسرعة فإنّ اتجاه الدولابين والمحور ينحرف في اتجاه الأرض العشبية.

تطوير المفهوم

تفاعل الضوء لقد درس الطلاب أنّ سرعة الضوء تقل عندما يدخل الضوء إلى وسط معامل انكساره أكبر من الوسط الذي كان فيه، إلا أنهم قد لا يدركون خاصية المادة التي تجعل معامل انكسارها أكبر أو أقل، لذا ساعدهم على فهم ذلك بتفسير ما يحدث للضوء عندما ينتقل عبر المادة. فعندما ينتقل الضوء عبر المادة تمتص الذرات الضوء، وغالبًا ما تعيد الذرات إشعاعه. وهذا التفاعل بين الذرات والضوء يؤدي إلى تحرك الضوء بسرعة أقل خلال المادة من سرعته عبر فضاء فارغ. أما الزمن الذي يتطلبه امتصاص الضوء وإعادة إشعاعه فيتفاوت وفق الأنواع المختلفة للذرات، وهذا يعني أنّ المواد المختلفة لها معاملات انكسار مختلفة.

النموذج الموجي في الانكسار Wave Model of Refraction

طُوّر النموذج الموجي للضوء بعد 200 عام تقريبًا من نشر سنل لبحثه. وتم التوصل بعد 300 عام من عمل سنل إلى فهم أن الضوء يتفاعل مع الذرات عند انتقاله خلال الوسط، كأن يتحرك بسرعة أقل مما هو في الفراغ. ويمكن كتابة علاقة الموجة $\lambda = c/f$ التي درستها سابقًا التي تخص انتقال موجة الضوء في الفراغ على النحو التالي: $\lambda = v/f$، حيث تمثل v سرعة الضوء في أي وسط، و تمثل λ الطول الموجي. ولا يتغير تردد الضوء f عندما يعبر الحد الفاصل؛ أيْ أن عدد الاهتزازات لكل ثانية التي تصل الحد الفاصل هي نفسها التي تخرج من الحد الفاصل وتنتقل خلال وسط الانكسار. لذا يجب أن يقل الطول الموجي للضوء λ عندما تقل سرعة الضوء؛ فيكون الطول الموجي للضوء في أي وسط أقصر من الطول الموجي له في الفراغ.

ما الذي يحدث عندما ينتقل الضوء من وسط يتحرك فيه بسرعة أكبر إلى وسط يتحرك فيه بسرعة أقل كما في **الشكل 2a–11**؟ للإجابة عن ذلك انظر إلى **الشكل 2b–11** الذي يبيّن حزمة ضوئية مكوّنة من سلسلة متوازية من مقدمات الموجات المستقيمة، حيث تمثّل كل مقدمة موجة قمة الموجة وتكون متعامدة مع اتجاه الحزمة الضوئية التي تسقط على السطح بالزاوية θ_1. وبما أن مقدمات الموجة تعامد اتجاه الحزمة، فإن $\angle PQR$ في المثلث PQR تكون زاوية قائمة، و $\angle QRP$ تساوي θ_1. لذا فإن $\sin\theta_1$ تساوي المسافة بين P و Q مقسومة على المسافة بين P و R.

$$\sin\theta_1 = \frac{\overline{PQ}}{\overline{PR}}$$

وترتبط زاوية الانكسار θ_2 بالطريقة نفسها مع المثلث PSR، وفي هذه الحالة:

$$\sin\theta_2 = \frac{\overline{RS}}{\overline{PR}}$$

ومن خلال حساب نسبة الجيب للمثلثين فإن $\overline{PR}$ تُلغى وتبقى المعادلة التالية:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{\overline{RS}}{\overline{PQ}}$$

رُسم **الشكل 2b–11** بحيث كانت المسافة بين P و Q مساوية لطول ثلاثة أطوال موجية للضوء في الوسط 1؛ أي أن $\overline{PQ} = 3\lambda_1$. وبالطريقة نفسها فإن $\overline{RS} = 3\lambda_2$. وبتعويض هاتين القيمتين في المعادلة السابقة واختصار العامل المشترك، الرقم 3، تنتج معادلة تربط زاويتي السقوط والانكسار بالطول الموجي للضوء في كل وسط.

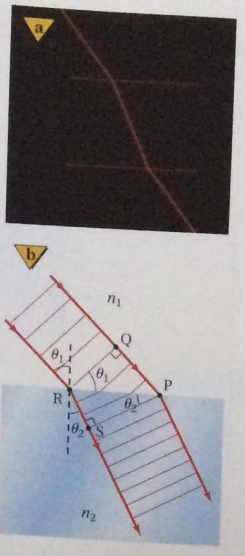
$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{3\lambda_2}{3\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

وبالتعويض عن الطول الموجي بـ $\lambda = v/f$ في المعادلة أعلاه وإلغاء العامل المشترك f، فإنه يُمكننا إعادة كتابة المعادلة على الشكل التالي:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

كما يمكن أيضًا كتابة قانون سنل في صورة نسبة لمعاملي انكسار الوسطين.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$$



الشكل 2–11 ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج ثم إلى الهواء مرة أخرى (a). يتباطأ الضوء وينحرف مقتربًا من العمود المقام عندما يدخل منطقة معامل انكسارها أكبر (b).

من معلم لآخر

نشاط

يمكنك استخدام الكرسي المتحرك لتمثيل الانكسار في الصف. اطلب إلى أحد الطلاب إمساك أحد الدواليب وتثبيته قدر المستطاع. وفي أثناء ذلك تعمل أنت على تحريك الكرسي إلى الأمام. أشر إلى الاتجاه الذي انعطف نحوه الكرسي. أعد العرض على أن تقوم بتثبيت الدولاب الآخر بدلا من الدولاب الأول، ثم حدد الاتجاه الذي انعطف نحوه الكرسي. اربط ذلك بالطريقة التي يغير بها الضوء اتجاهه عندما ينتقل إلى وسط يعمل على إبطاء سرعته. م 1 **بصري–مكاني**

معامل الانكسار باستخدام خاصية التعدي للمساواة، فإن المعادلتين السابقتين تؤديان إلى المعادلة التالية:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

وبالنسبة للفراغ فإن $n = 1$ و $v = c$. فإذا كان أحد الوسطين فراغًا فإن المعادلة تبسّط إلى معادلة تربط معامل انكسار الوسط بسرعة الضوء فيه.

معامل الانكسار $n = \frac{c}{v}$

معامل انكسار الوسط يساوي سرعة الضوء في الفراغ مقسومة على سرعة الضوء في الوسط.

ويستخدم هذا التعريف لإيجاد الطول الموجي للضوء في وسط ما مقارنة بالطول الموجي للضوء في الفراغ، حيث يعبَّر عن سرعة الضوء في وسط معامل انكساره n بالعلاقة $v = c/n$، وعن الطول الموجي للضوء في الفراغ بـ $\lambda_0 = c/f$. وبحل المعادلة $\lambda = v/f$ بالنسبة للتردد، وتعويض كل من المعادلتين $f = c/\lambda_0$ و $v = c/n$ فيهما، تجد أن $\lambda = (c/n)/(c/\lambda_0) = \lambda_0/n$، لذا يكون الطول الموجي للضوء في الوسط أقل من الطول الموجي له في الفراغ.

الانعكاس الكلي الداخلي Total Internal Reflection

عندما ينتقل الضوء إلى وسط معامل انكساره أقل تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، كما يبين **الشكل 11–3a**. وهذا يؤدي إلى ظاهرة طبيعية؛ إذ إنه مع زيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار، إلا أنه عند زاوية سقوط معينة تُسمى **الزاوية الحرجة** θ_c، ينكسر الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين، وتكون زاوية الإنكسار $90.0°$ كما يبين **الشكل 11–3b**.

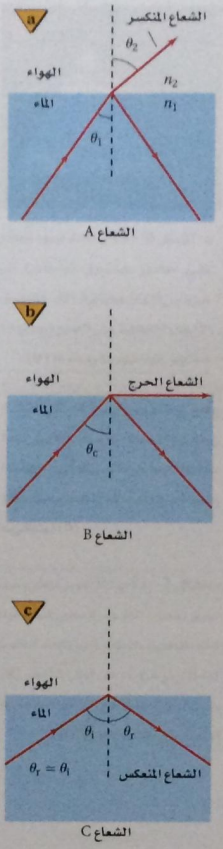
عندما يسقط ضوء على حد فاصل شفاف فإن معظم الضوء ينفذ، بينما ينعكس جزء منه، في حين يمتص الوسط جزءًا آخر منه. ويحدث **الانعكاس الكلي الداخلي** عندما ينتقل الضوء من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره أقل ويسقط الضوء على الحد الفاصل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، إن أهم ما يميز الانعكاس الكلي الداخلي هو أن الضوء ينعكس بصورة كاملة إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر، كما يبين **الشكل 11–3c**. وتستطيع استخدام قانون سنل لإيجاد معادلة للزاوية الحرجة لأي حد فاصل، وذلك بتعويض $\theta_1 = \theta_c$ و $\theta_2 = 90.0°$.

الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$

جيب الزاوية الحرجة يساوي معامل انكسار وسط الانكسار مقسومًا على معامل انكسار وسط السقوط.

يؤدي الانعكاس الكلي الداخلي إلى بعض التأثيرات الغريبة. افترض أنك تغوص في بركة ماء ساكن، وتنظر إلى أعلى سطح الماء، فإنك قد ترى انعكاسًا مقلوبًا لجسم آخر قريب موجود أسفل الماء، أو قد ترى انعكاسًا لقاع البركة نفسها؛ إذ يعمل سطح الماء عمل المرآة. وكذلك عندما تقف بجانب بركة فإنه يمكن ألا ترى الأشياء الموجودة أسفل سطح الماء. فعندما يسبح شخص تحت الماء بالقرب من السطح وفي الجهة المقابلة لك من البركة، فإنك قد لا تراه؛ وذلك لأن الضوء القادم من جسمه ينعكس إلى الأسفل ليرتد إلى داخل البركة.

الشكل 11–3 انكسر الشعاع A جزئيًا، وكذلك انعكس جزئيًا (a). انكسر الشعاع B على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين عندما سقط بزاوية تساوي الزاوية الحرجة (b). زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى حدوث انعكاس كلي داخلي للشعاع C، والذي يتبع قانون الانعكاس (c).



نشاط تحفيز

الانعكاس الكلي الداخلي اطلب إلى الطلاب إعداد عرض يبين الانعكاس الكلي الداخلي في منشور. ويمكنهم تغيير زاوية سقوط الضوء باستخدام مؤشر الليزر حتى يختفي الضوء المنكسر. وحثهم على قياس زوايا السقوط، والانكسار، والانعكاس لأشعة الضوء، باتباع أسلوب منظم. وبعد أن يأخذوا عدة قياسات ابتدائية، سيقومون بعرض متتابع يزيدون من خلاله زاوية السقوط تدريجيًا، ابتداءً من زاوية صغيرة إلى أن يصلوا إلى زاوية $90°$ تقريبًا. ربما يودون أن يستكشفوا كيف ينكسر شعاع الضوء عند زاوية سقوط $180°$. حذّر الطلاب من النظر إلى الشعاع عند أي نقطة خلال تنفيذ النشاط.

م 3 حركي

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

مسارات الضوء اسأل الطلاب عما إذا كان الضوء يسلك أكثر من مسار بعد سقوطه على الحد الفاصل بين وسطين. قد يعتقد الكثير من الطلاب أن الضوء يسلك مسارًا واحدًا فقط. لذا وضح لهم أنّ الضوء مثل الموجات يمكن أن ينعكس جزئيًا ويمكن أن ينتقل جزئيًا عند الحد الفاصل بين وسطين، فمثلاً اطلب إلى الطلاب النظر إلى زجاج النافذة أو إلى نظارات يستخدمها طالب في الصف. سيرون من خلالها بالطبع، إلا أنهم سيرون أيضًا انعكاسًا باهتًا. م 1

عرض سريع

قلم الرصاص المكسور

الزمن المقدر 5 دقائق

المواد والأدوات قلم رصاص، وقالب بلاستيكي مستطيل كبير وشفاف.

الخطوات

1. أمسك القلم خلف القالب البلاستيكي، ثم اطلب إلى الطلاب النظر إلى القالب والقلم، ليروا القلم من خلال القالب ثم من فوقه.
2. اطلب إلى الطلاب أن يتحركوا قليلاً من جانب إلى جانب آخر ليشاهدوا القالب والقلم من زوايا عدة.
3. اسأل الطلاب أن يوضحوا لماذا يبدو القلم مكسورًا ولماذا يتغير الفراغ أو الفجوة التي تظهر عندما يُشاهدون القلم من خلال القالب أو من فوقه أي عندما يتم النظر إليه من زوايا مختلفة.

ينكسر الضوء القادم من القلم مرتين؛ عند السطح الفاصل بين القالب والسطح الفاصل بين القالب والهواء، وينزاح الضوء عن مساره الأصلي بسبب الانكسار عندما يُغادر القالب نحو اليمين أو اليسار. إذا شاهدت القلم من زوايا مختلفة سترى الضوء ينزاح مسافات مختلفة لأنه ينتقل عبر سماكات مختلفة من البلاستيك.

عرض سريع

الانعكاس الكلي الداخلي في الماء

الزمن المقدر 5 دقائق

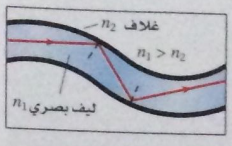
المواد والأدوات قارورة بلاستيكية سعتها 1 لتر، ومؤشر ليزر، ووعاء بلاستيكي، وماء.

الخطوات اعمل ثقبًا صغيرًا في جانب القارورة البلاستيكية، واملأ القارورة بالماء، ثم عتّم الغرفة ومرر ضوء مؤشر ليزر عبر القارورة من الجانب المعاكس للثقب. ثم ضع القارورة على حافة الطاولة ليتدفق الماء إلى الوعاء البلاستيكي. سيعمل ضوء الليزر على إظهار الماء المتدفق وذلك بسبب الانعكاس الكلي الداخلي.

التفكير الناقد

الأنابيب الضوئية اطلب إلى الطلاب التفكير في الانعكاس الكلي الداخلي الذي شاهدوه في العرض السريع. ثم وضّح لهم أنّ حدوث الانعكاس الكلي الداخلي سيكون مستحيلاً إذا سلط ضوء الليزر عبر أنبوب مملوء بالماء عند استخدامه بدلا من القارورة البلاستيكية، ثم اطلب إليهم أن يوضحوا سبب ذلك. إنّ معامل انكسار أنبوب الماء المصنوع من البلاستيك أكبر من معامل انكسار الماء. لذا يكون حدوث الانعكاس الكلي الداخلي مستحيلاً. م3

تعد الألياف البصرية تطبيقًا تقنيًّا مهمًّا للانعكاس الكلي الداخلي. فكما يبين الشكل 4–11 يصطدم الضوء الذي ينتقل خلال الليف الشفاف بالسطح الداخلي لليف البصري دا بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، لذا ينعكس الضوء انعكاسًا كليًّا داخليًّا فلا ينفذ أي جز منه خلال الحد الفاصل. ولذلك فإن الضوء يحافظ على شدته على طول المسافة التي يمتدّه الليف البصري مهما بلغت وبهذا يمكن نقل الضوء من منطقة إلى أخرى.

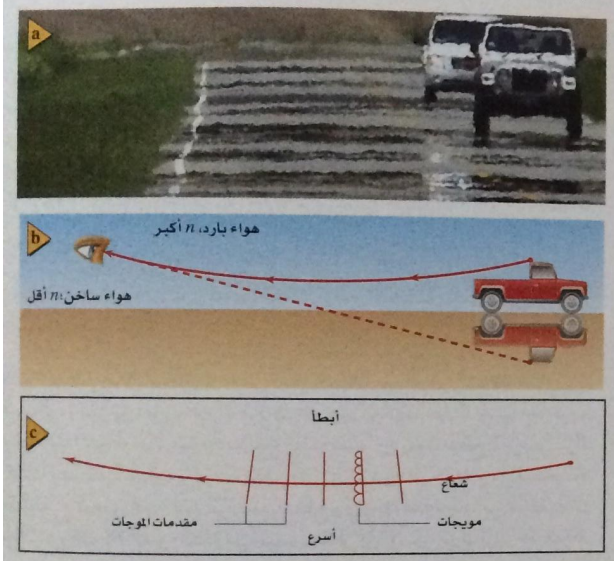


■ **الشكل 4–11** تدخل نبضات الضوء من مصدر ضوء إلى أحد طرفي الليف البصري. وفي كل مرة يصطدم فيها الضوء بالسطح، تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، ولذا يبقى الضوء داخل الليف البصري.

السراب Mirages

ترى أحيانًا في يوم صيفي حار تأثير السراب المبين في الشكل 5a–11. فعندما تقو سيارتك على طريق فإنك ترى ما يبدو كأنه انعكاس للسيارة القادمة في بركة ماء، وتختف البركة عندما تصل إليها، لماذا؟ يتكون السراب نتيجة تسخين الشمس للطريق؛ إذ تُسخّ الطريق الحارة الهواء فوقها وتنتج طبقة حرارية من الهواء تؤدي إلى انحراف الضوء المنتق في اتجاه الطريق تدريجيًّا إلى أعلى؛ مما يجعل الضوء يبدو قادمًا من انعكاس في بركة، كما ف الشكل 5b–11.

ويبين الشكل 5c–11 كيف يحدث هذا؛ فعندما ينتقل الضوء من جسم بعيد إلى أسفل نح الطريق، فإن معامل انكسار الهواء يقل بسبب سخونة الهواء، ويكون تغير درجة الحرار تدريجيًّا. تذكر من الفصول السابقة أن مقدمات موجات الضوء التي درستها تتألف م موجات هيجنز. وفي السراب تنتقل موجات هيجنز القريبة من سطح الأرض أسرع من تلك الموجات التي في الأعلى، مما يؤدي إلى انحراف مقدمات الموجات تدريجيًّا إلى أعلى. وتحدث ظاهرة مشابهة تُسمّى السراب القطبي؛ عندما يبدو انعكاس قارب بعيد فوق القارب نفسه، حيث يُبقي الماء الهواء القريب من سطحه باردًا.



■ **الشكل 5–11** سراب يُرى على سطح الطريق (a). ينحرف الضوء القادم من السيارة إلى أعلى في اتجاه عين المشاهد (b). يتحرك قاع مقدمة الموجة أسرع من قمتها (c).

نشاط

مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم

الألياف البصرية قد يواجه الطلاب صعوبة في فهم عدم نفاذ الضوء من جوانب الألياف البصرية. كن متأكدًا أنهم يفهمون أنّ غلاف الليف البصري يجب أن يكون له معامل انكسار أقل من معامل انكسار قلب الليف. ارسم الليف على السبورة، وبين لهم أنّ الضوء الساقط على غلاف الليف البصري بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فقط هو الذي سينتقل على طول الليف البصري، ويمكن أن تعرض لهم هذا باستخدام ألياف بصرية حقيقية. إذا أسقطت ضوءًا على جانب الألياف فإنّ القليل جدًّا من أشعة الضوء ستنتقل إلى نهاية الليف. أمّا إذا أسقطت ضوءًا عند نهاية الألياف فإنّ أغلب أشعة الضوء ستصطدم بها بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، وأغلبها سينتقل إلى الطرف الآخر. م1 **بصري - مكاني**

تفريق (تحليل) الضوء Dispersion of Light

تتحدّد سرعة الضوء في وسط ما من خلال التفاعلات بين الضوء وذرات الوسط. وتعرف من دراستك السابقة أن درجة الحرارة والضغط يرتبطان بطاقة الجسيمات على المستوى الذري، لذا فإن سرعة الضوء تتغير ويتغير تبعًا لذلك معامل الانكسار للوسط الغازي قليلاً مع تغيّر درجة الحرارة. وبالإضافة إلى ذلك فإن سرعة الضوء ومعامل الانكسار تتغير للأطوال الموجية المختلفة للضوء في الوسط السائل أو الصلب نفسه.

يتحلل الضوء الأبيض إلى طيف من الألوان عند مروره خلال منشور زجاجي، كما يبين **الشكل 6a–11**، حيث تُسمى هذه الظاهرة **بالتفريق**. وإذا نظرت بدقة إلى الضوء الذي يمر خلال المنشور فستلاحظ أن اللون البنفسجي ينكسر أكثر من اللون الأحمر، كما يبين **الشكل 6b–11**. وهذا يحدث لأن سرعة الضوء البنفسجي خلال الزجاج أقل من منها للضوء الأحمر؛ حيث إن تردّد الضوء البنفسجي أكبر من تردد الضوء الأحمر، مما يجعله يتفاعل بصورة مختلفة مع ذرات الزجاج، وهذا يؤدي إلى جعل معامل انكسار الزجاج للضوء البنفسجي أكبر منه للضوء الأحمر.

قوس المطر المنشور ليس الوسيلة الوحيدة لتفريق الضوء الأبيض ثم تحليله إلى ألوانه؛ فقوس المطر طيف يتشكّل عندما يتفرق ضوء الشمس بفعل قطرات الماء في الغلاف الجوي. وينكسر ضوء الشمس الساقط على قطرات الماء، حيث ينكسر كل لون بزاوية انكسار مختلفة قليلاً؛ بسبب التفريق كما هو موضّح في **الشكل 7a–11**. ويحدث انعكاس داخلي لبعض الضوء على السطح الخلفي للقطرة. وعند خروج الضوء من القطرة يحدث له انكسار مرة أخرى ويزداد التفريق.

وعلى الرغم من أن كل قطرة تنتج طيفًا كاملاً إلا أن المراقب الموجود بين الشمس والمطر سيرى من كل قطرة طولاً موجيًا معينًا للضوء فقط؛ حيث يعتمد الطول الموجي على المواقع النسبية للشمس، والقطرة، والمراقب، كما يبين **الشكل 7b–11**. وسيظهر طيف كامل؛ لأنه يوجد الكثير من القطرات في السماء. وستصنع القطرات التي تعكس الضوء الأحمر زاوية °42 بالنسبة لأشعة الشمس؛ في حين تصنع القطرات التي تعكس الضوء الأزرق زاوية °40.

الشكل 7–11 يتشكل قوس المطر بسبب تفرق (تحلل) الضوء الأبيض عند دخوله الحد الفاصل وانعكاسه عن الحد الفاصل الداخلي، وخروجه من قطرات المطر (a). يصل لون واحد فقط إلى المراقب من كل قطرة مطر بسبب التفريق (b).

الشكل 6–11 يسقط ضوء أبيض على منشور فيتفرق (يتحلل) إلى حزم من ألوان مختلفة (a). وتنحرف الألوان المختلفة من الضوء بدرجات مختلفة عند عبورها وسط ما (b).

عرض سريع

اصنع طيفاً

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات ماء، دورق كروي، مصباح يدوي، ورقة مقواة بها ثقب.

الخطوات غطِّ المصباح اليدوي بالورق المقوى بحيث تسمح لحزمة ضيقة من الضوء بالخروج من خلال الثقب. ثم املأ الدورق بالماء. سلط ضوء المصباح في اتجاه الدورق، سينعكس الضوء بألوانه إلى الخلف في اتجاه الحائط. يجب أن يشكل الضوء المنعكس طيفًا على الحائط.

استخدام الشكل 7–11

ألفت الانتباه إلى أنّ الشعاع الساقط من ضوء الشمس المبين في الشكل سيسقط على الجزء العلوي من القطرة. والضوء الذي يسقط على منتصف القطرة فقط ينتقل دون انكسار أو انعكاس. اطلب إلى الطلاب إنشاء رسوم توضح الشعاع الساقط على النصف العلوي للقطرة، وعلى منتصف القطرة، وعلى النصف السفلي لها.

م2 **بصري - مكاني**

تجربة إضافية

قوس المطر الشخصي

الهدف يتعلم الطلاب الظروف التي يتطلبها صنع قوس المطر.

المواد والأدوات خرطوم ماء مزود بمرش.

الخطوات قف في حديقة في يوم مشمس على أن تكون الشمس خلفك، ورش الماء من الخرطوم على صورة رذاذ. وشاهد قوس المطر الذي ينتج. كرِّر التجربة ولكن قف بمواجهة الشمس واحذر أن تنظر إليها مباشرة. هل يظهر قوس المطر؟

التقويم لخص الظروف التي يتطلبها ظهور قوس المطر. يجب أن تتضمن إجابات الطلاب أن يكون مصدر الضوء خلفك وأن يكون رذاذ الماء أمامك حتى ينكسر الضوء القادم من الشمس وينعكس إلى عينيك.

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

زاوية قوس المطر إضافة إلى تعريف زاوية قوس المطر بالنسبة إلى اتجاه الشعاع الضوئي القادم من الشمس، يمكنك كذلك تعريفها بأنها زاوية تساوي °42 فوق الأفق، وحتى يمكنك رؤية قوس المطر يجب أن تنظر بزاوية °42 فوق سطح الأرض، حيث ينبعث الضوء المنعكس والمنكسر في قطرات المطر الساقطة بزوايا مختلفة. يوجد هناك قمة عظمى للشدة عند الزاوية °42 تقريبًا للضوء الأحمر، وقمة عظمى للشدة عند الزاوية °40 للضوء الأزرق، لذلك يمكنك رؤية قوس من الألوان.

تطوير المفهوم

إضاءة قوس المطر الفت الانتباه إلى أنّ السماء تكون أكثر سطوعًا داخل قوس المطر الرئيس؛ لأنّ أغلب أشعة الضوء القادمة من الشمس تنعكس بزوايا أقل من 42°. ويشكّل الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة المنطقة الساطعة التي توجد داخل القوس. وينعكس القليل من الضوء بزاوية 42° تقريبًا مشكلاً منطقة معتمة عند أطراف القوس، تعرف بحزمة ألكسندر المعتمة، وتكون بين القوس الرئيس والثانوي.

3. التقويم

التحقق من الفهم

نشاط الضوء عند الحد الفاصل درس الطلاب كلاً من ظاهرتي الانعكاس والانكسار على حدة، ولكن هاتين الظاهرتين تحدثان معًا عادةً. ارسم مخططًا بسيطًا لشعاع ضوء يسقط على الحد الفاصل لوسط آخر. واطلب إلى الطلاب إكمال الرسم لتوضيح كل من الانكسار والانعكاس. م1 بصري - مكاني

إعادة التدريس

درجة الانكسار اسأل الطلاب: كيف تعتمد درجة انكسار الضوء على معامل انكسار المادة ومتوسط سرعة الضوء فيها عندما يدخل تلك المادة ثم يخرج منها؟ يصف قانون سنل هذه العلاقة:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

ووفق تعريف معامل الانكسار فإنّ سرعة الضوء في المادة هي $v = c/n_2$ م2

الشكل 8–11 يسمح وجود الضباب خلال رؤيتك للضوء المشتمل على الطيف الكامل للألوان بأن يصل إلى عينيك على صورة قوس مطر. وقد يمكّنك الانعكاس عن قطرات المطر أحيانًا من رؤية قوس مطر آخر بألوان معكوسة الترتيب.

قد ترى أحيانًا قوس مطر ثانٍ باهتٍ، كما في **الشكل 8–11**. ويقع قوس المطر الثاني خارج الأول، كما يكون باهتًا، وله ترتيب ألوان معكوس. وينتج هذا التأثير بسبب انعكاس أشعة الضوء مرتين في داخل قطرة الماء. وقد يظهر قوس مطر ثالث خارج الاثنين، ولكن بصورة نادرة جدًّا. ما توقعك حول عدد مرات انعكاس الضوء في قطرة الماء وترتيب ظهور الألوان لقوس المطر الثالث؟

11–1 مراجعة

4. **معامل الانكسار** عند نفاذ الضوء من الماء إلى سائل معين فإنه ينحرف مقتربًا من العمود المقام، ولكن عند نفاذ الضوء من زجاج العدسات إلى السائل نفسه فإنه ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. ما الذي تستنتجه عن معامل انكسار السائل؟
5. **معامل الانكسار** سقط شعاع ضوئي في الهواء بزاوية 30.0° على قالب من مادة غير معروفة، فانكسر فيها بزاوية 20.0°. ما معامل انكسار المادة؟
6. **سرعة الضوء** هل يمكن أن يكون معامل الانكسار أقل من 1؟ وما الذي يعنيه هذا بالنسبة لسرعة الضوء في ذلك الوسط؟
7. **سرعة الضوء** ما سرعة الضوء في الكلوروفورم $(n=1.51)$؟
8. **الانعكاس الكلي الداخلي** إذا توافر لديك الكوارتز وزجاج العدسات لتصنع ليفًا بصريًّا، فأيهما تستخدم لطبقة الغلاف؟ ولماذا؟
9. **زاوية الانكسار** تعبر حزمة ضوئية الماء إلى داخل البولي إيثيلين (معامل انكساره $n=1.50$). فإذا كانت $\theta_1 = 57.5°$ فما زاوية الانكسار في البولي إيثيلين؟
10. **الزاوية الحرجة** هل هناك زاوية حرجة للضوء المنتقل من الزجاج إلى الماء، وللضوء المنتقل من الماء إلى الزجاج؟
11. **التفريق** لماذا تستطيع رؤية صورة الشمس فوق الأفق تمامًا عندما تكون الشمس نفسها قد غابت فعلاً؟
12. **التفكير الناقد** في أي اتجاه تستطيع رؤية قوس المطر في مساء يوم ماطر؟ وضّح إجابتك.

11-1 مراجعة

4. يجب أن يكون بين 1.33 (معامل انكسار الماء) و 1.52 (معامل انكسار زجاج العدسات)
5. 1.46
6. لا؛ فهذا يعني أنّ سرعة الضوء في الوسط أكبر من سرعة الضوء في الفراغ.
7. 1.99×10^8 m/s
8. زجاج العدسات؛ لأنّ معامل انكساره أقلّ لذا ينتج انعكاس كلي داخلي.
9. 48.4°
10. نعم، لأنّ الماء $n_{\text{الماء}} <$ الزجاج $n_{\text{الزجاج}}$ ولكن لا يوجد زاوية حرجة عندما ينتقل الضوء من الماء إلى الزجاج.
11. وذلك بسبب انحراف أشعة الضوء في الغلاف الجوي؛ وانكسارها.
12. في الشرق، لأنّ الشمس تكون في الغرب، ويجب أن تسطع أشعة الشمس من خلفك حتى تتمكن من رؤية قوس المطر.

11-2 العدسات المحدّبة والمقعّرة

1. التركيز

نشاط محفز

تكون الصور من خلال العدسات احصل على عدسة محدبة صغيرة بعدها البؤري بين (10–30)cm، وشمعة طولها 15 cm (مع حامل لها)، وصندوق أبيض صغير ومسطرة. اصنع حاملاً للعدسة ذي جدار مزدوج من الورق المقوى بقص دائرة في الجزء العلوي من جداري الورق المقوى أصغر قليلاً من العدسة، وثبت العدسة بينهما، ثم اثن الجزء السفلي من قطعة الورق المقوى حتى تستقر على سطح الطاولة. اضبط موقع العدسة بتحريكها بين الشمعة والصندوق، تتكون صورة مقلوبة للشمعة على الصندوق. قس بُعد الجسم وبُعد الشاشة، وارسم مخططًا للتجربة، ثم ناقش كيفية تشكّل الصورة. م2 بصري - مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

الانكسار خلال العدسات يطبق الطلاب مفهوم انكسار الضوء على حالة خاصة وهي مروره خلال عدسات كروية رقيقة محدبة أو مقعرة. ومعادلة العدسات تشبه معادلة المرايا التي تربط بين البعد البؤري وبُعد الصورة وبُعد الجسم، على الرغم من أنّ الطريقة التي اشتقّ بها العلماء معادلة العدسة الرقيقة مختلفة.

2. التدريس

نشاط

تجميع الصورة أعطِ الطلاب فرصةً لمشاهدة تكوّن صورة حقيقية بوساطة عدسة محدبة، ثم كرّر ذلك باستخدام عدسات محدبة مختلفة. ثم اطلب إليهم استخدام تلك العدسات المحدبة لتجميع الضوء الساقط من مصدر الضوء في جهاز العرض العلوي على قطعة من الورق الأبيض. م1 حركي

الأهداف
- **تصف** كيف تتكون الصور الحقيقية والوهمية بوساطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة على الترتيب.
- **تعين** موقع الصور المتكوّنة بوساطة العدسات بالطريقتين الهندسية والرياضية.
- **توضح** كيف يمكن تقليل الزوغان اللوني.

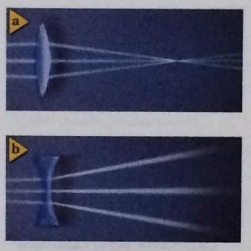
المفردات
العدسة
العدسة المحدّبة
العدسة المقعّرة
معادلة العدسة الرقيقة
الزوغان اللوني
العدسة اللّالونية

يكون انكسار الضوء في الطبيعة جميلاً؛ إذ ينتج عنه قوس المطر والخسوف الأحمر للقمر. وهناك فوائد كثيرة للانكسار في حياتنا؛ فقد كتب الفيزيائي الفرنسي برنارد أوف جوردون عام 1303 حول استخدام العدسات لتصحيح النظر. واستخدم جاليليو عام 1610 عدستين لصنع التلسكوب الذي اكتشف بوساطته أقمار المشتري. واستخدمت العدسات منذ زمن جاليليو في أجهزة عديدة، منها الميكروسكوبات وآلات التصوير. وقد تكون العدسات أكثر الأدوات البصرية فائدة.

أنواع العدسات Types of Lenses

العدسة قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور. ويمكن أن يكون أي سطح من سطحي العدسة منحنيًا أو مستويًا. وتُسمّى العدسة في **الشكل 9a–11 عدسة محدبة**؛ لأنها أكثر سمكًا عند الوسط مما عند الأطراف. وتُسمّى العدسة المحدبة العدسة المجمّعة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادةٍ معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر الأشعة الضوئية المتوازية والموازية للمحور الرئيس بحيث تتجمّع الأشعة المنكسرة في نقطة واحدة. وتُسمّى العدسة التي في **الشكل 9b–11 عدسة مقعرة**؛ لأنها أدقّ وأرقّ عند الوسط مما عند الطرفين. وتُسمّى العدسة المقعرة العدسة المفرّقة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر أشعة الضوء المتوازية بحيث تتفرّق.

عندما يمر الضوء خلال عدسة يحدث الانكسار عند سطحيها. ويمكنك التنبؤ بمسار الأشعة المارة خلال العدسات باستخدام قانون سنل والهندسة. ولتسهيل مثل هذه المسائل افترض أن الانكسار يحدث كاملاً في مستوى يُسمّى المستوى الأساسي، يمر في مركز العدسة وطرفيها. ويُسمّى هذا التقريب نموذج العدسة الرقيقة، والذي سيطبق على العدسات جميعها التي تدرسها في هذا البند.



الشكل 9–11 تعمل العدسة المحدبة على تجميع أشعة الضوء (a). أما العدسة المقعرة فتفرّق أشعة الضوء (b).

معادلتا العدسة تتضمن المسائل التي تحلها عدسات كروية رقيقة، أيْ عدسات لها وجوه مقوّسة بتقوّس الكرة نفسه. واعتمادًا على نموذج العدسة الرقيقة، والتبسيطات المستخدمة في حل مسائل المرايا الكروية، طوّرت معادلتان للعدسات؛ إذ تربط **معادلة العدسة الرقيقة** بين البعد البؤري للعدسة الكروية الرقيقة وبُعد الجسم وبُعد الصورة.

معادلة العدسة الرقيقة

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

مقلوب البعد البؤري للعدسة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الصورة ومقلوب بُعد الجسم عن العدسة.

وتستخدم معادلة التكبير في العدسات الكروية الرقيقة كالتي استخدمت في المرايا الكروية.

التكبير

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

يعرف تكبير عدسة كروية لجسم ما بأنه نسبة طول الصورة إلى طول الجسم، ويساوي سالب بُعد الصورة عن العدسة مقسومًا على بُعد الجسم عن العدسة.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

نشاط الصور الكاملة يعتقد بعض الطلاب أنّ حجم العدسة يحدّد ما إذا كانت الصورة المتكونة للجسم كاملة أم لا. وقد يعتقدون أيضًا أنّ جزءًا من الصورة يتكون إذا غُطي جزء من العدسة. وضح لهم أنّه مهما كان حجم العدسة فإنها ستعطي صورة كاملة. ويمكن للطلبة أن يلاحظوا ذلك بالنظر من خلال عدسة محدبة ومشاهدة الصورة. ابدأ بنقطة مفردة على الجسم، وبين الأشعة التي تنبعث من النقطة في الاتجاهات جميعها، حيث يصل بعض هذه الأشعة إلى العدسة فتنكسر. ثم اطلب إليهم تغطية جزء من العدسة. إذا تم تغطية الجزء الأيمن منها فستلتقي الأشعة عند نقطة مفردة. بعد ذلك يمكنك أن تستخدم عدسة أكبر ليلاحظ الطلاب أنها تجمّع أشعّة أكثر، بينما تجمّع العدسة الصغرى أو جزء العدسة أشعة أقل. ثم ارسم الأشعة القادمة من موقع آخر على الجسم، وكرّر التجربة. لاحظ أنّه لا يوجد أهمية لصغر العدسة فكلتا النقطتين على الجسم ترتبطان مع نقطتين على الصورة. وتغطية العدسة تقلل فقط من عدد الأشعة الساقطة عليها. م1 **بصري-مكاني**

تطوير المفهوم

معادلة العدسة الرقيقة ساعد الطلاب على فهم العلاقة بين البعد البؤري وبُعد الجسم وبُعد الصورة باستخدام معادلة العدسة الرقيقة. أولاً اختر قيمًا لـ d_o و f وحلّ المعادلة بالنسبة لـ d_i على السبورة. واطلب إلى الطلاب أن يتوقعوا كيف يتغير d_i إذا تغيرت d_o أو f زيادةً أو نقصانًا. يجب أن يختبروا توقعاتهم، وذلك بحلّ المعادلة لقيم مختلفة. م2 **منطقي-رياضي**

الجدول 2-11

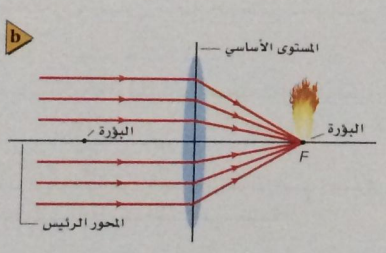
خصائص العدسات الكروية					
نوع العدسة	f	d_o	d_i	m	الصورة
محدبة	+	$d_o > 2f$	$2f > d_i > f$	مصغرة مقلوبة	حقيقية
		$2f > d_o > f$	$d_i > 2f$	مكبرة مقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert > d_o$ سالب	مكبرة	وهمية
مقعرة	−	$d > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ سالب	مصغرة	وهمية

استخدام معادلتي العدسات من المهم استخدام نظام إشارات مناسب عند استخدام هاتين المعادلتين. ويبين الجدول 2-11 مقارنة بين بُعد الصورة، والتكبير، ونوع الصورة المتكوّنة بوساطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة عند وضع الجسم في مواقع متعددة d_o بالنسبة للعدسة. ولاحظ التشابه بين هذا الجدول والجدول 1-10 الخاص بالمرايا. وكما في المرايا، فإن المسافة بين المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة هي البعد البوري f. ويعتمد البعد البؤري على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها. ويمكن أن تكون الأبعاد البؤرية وأبعاد الصورة سالبة.

تكون الصورة الوهمية للعدسات دائمًا في الجانب نفسه الموجود فيه الجسم، مما يعني أن بُعد الصورة سالب. وتكون الصورة أصغر من الجسم عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر وواحد. في حين تمثّل القيمة المطلقة للتكبير التي تكون أكبر من واحد، الصور الأكبر من الأجسام. أما التكبير السالب فيعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. لاحظ أيضًا أن العدسة المقعرة تنتج صورًا وهمية فقط، في حين تنتج العدسة المحدبة صورًا حقيقية أو وهمية.

العدسات المحدّبة والصور الحقيقية
Convex Lenses and Real Images

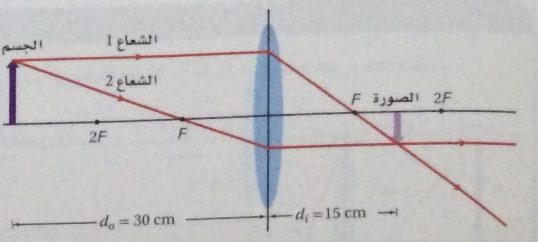
يمكن إشعال ورقة أو ألياف خشبية - كما في الشكل 10a-11 - بتكوين صورة للشمس عليها. تذكر من خلال دراستك السابقة أن أشعة الشمس تصل إلى الأرض بصورة متوازية تقريبًا. وتتجمّع الأشعة بعد انكسارها بوساطة العدسة عند البؤرة F للعدسة. والشكل 10b-11 يبين نقطتين بؤريتين، واحدة في كل جانب من جوانب العدسة، وإذا دوّرت العدسة حول نفسها، فإنها ستعمل بالطريقة نفسها.



■ **الشكل 10-11** يمكن استخدام عدسة مجمّعة لحرق ورقة (a). يتجمّع الضوء الداخل بصورة موازية للمحور الرئيس عند بؤرة العدسة، ولذا تتركز الطاقة الشمسية (b).

نشاط **مشروع فيزياء**

الكاميرا ذات الثقب (المظلمة) يرجع تاريخ مبدأ عمل الكاميرا ذات الثقب إلى ما قبل زمن أرسطو، إلا أن أول تحسين ذي أهمية في عالم إنتاج الصور كان بعد إضافة العدسة المحدبة في القرن السادس عشر. وضح كيف تعمل الكاميرا ذات الثقب أو اعمل عرضًا في غرفة معتمة باستخدام ثقب صغير لتبين كيف تعمل الكاميرا ذات الثقب. ثم اطلب إلى الطلاب البحث في تاريخ التطبيقات العلمية والفنية الخاصة وإعداد تقرير أو عرض حول بحثهم. قد يختار الطلاب أن تكون أبحاثهم حول الأشخاص الذين قدّموا استخدامات مهمة لهذه الأدوات، مثل يوهانس كبلر وجان فيرمر، أو قد يركزون على تصاميم متنوعة، وكيف تطورت مع الزمن إلى الآن، والتطورات التي حدثت للكاميرا الفوتوجرافية. م2 **لغوي**



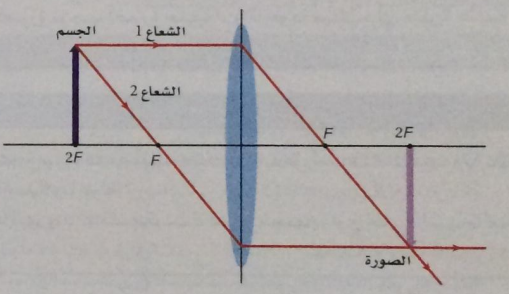
مخطط الأشعة وفقًا لمخطّط الأشعة، الموضح في الشكل 11–11، ستحتاج إلى استخدام شعاعين فقط لتحديد موقع صورة نقطة على جسم؛ إذ يكون الشعاع 1 موازيًا للمحور الرئيس، وينكسر مارًّا بالنقطة F في الجانب الآخر للعدسة. ويمر الشعاع 2 بالنقطة F في طريقه إلى العدسة، ويكون مساره بعد الانكسار موازيًا للمحور الرئيس، حيث يتقاطع الشعاعان عند نقطةٍ ما بعد F، فيحدّدان موقع الصورة. وتتقاطع الأشعة المختارة من نقاط أخرى على الجسم عند نقاط مماثلة لتكوين الصورة على نحوٍ كامل. لاحظ أن الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم.

تستطيع استخدام الشكل 11–11 لتعيين موقع الصورة لجسم يكون قريبًا من العدسة أكثر من الجسم الذي في الشكل. فإذا عُكِس اتجاه الشعاع المنكسر فإنه سيتبع مساره الأصلي في الاتجاه المعاكس، وهذا يعني أنه يمكن تبادل المواقع بين الجسم والصورة بوساطة تغيير اتجاه الأشعة.

أما إذا وضع الجسم على بعد يساوي ضعفي البعد البؤري من العدسة عند نقطة $2F$، كما في الشكل 12–11، فإن الصورة تتكون عند $2F$، ويكون للصورة والجسم البعدين نفسيهما بسبب التماثل. لذا تستطيع استنتاج أنه إذا كان بُعد الجسم عن العدسة أكبر من ضعفي البعد البؤري للعدسة فسوف تكون الصورة مصغرة. وإذا كان الجسم بين F و $2F$، فإن الصورة ستكون مكبّرة.

■ **الشكل 11–11** إذا وضع جسم على بُعد أكبر من ضعفي البعد البؤري للعدسة تتكون صورة حقيقية مقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم. وإذا وضع الجسم في مكان الصورة أمكنك تعيين موقع الصورة الجديدة من خلال رسم الأشعة نفسها في الاتجاه المعاكس.

■ **الشكل 12–11** عندما يوضع جسم على بعد مساوٍ لضعفي البعد البؤري عن العدسة فإن أبعاد الصورة تكون مساوية لأبعاد الجسم.



تجربة

تأثيرات تغطية العدسات

ما الذي يحدث عندما تغطي جزءًا من العدسة؟ هل يؤدي ذلك إلى تكون جزء من الصورة الحقيقية فقط بوساطة العدسة؟

1. ألصق طرف العدسة المحدبة بكرة من الصلصال، وضع العدسة فوق الطاولة. ***تحذير: للعدسات أطراف حادة. لذا تعامل معها بحذر.***
2. ضع مصباحًا صغيرًا عند أحد طرفي الطاولة، وشاشة عند الطرف الآخر للحصول على صورة واضحة للمصباح الضوئي. ***تحذير: قد يسخن المصباح فيحرق يدك.***
3. **توقع** ماذا يحدث للصورة إذا وضعت يدك على النصف العلوي للعدسة؟ هذا ما يُسمّى التغطية.
4. **لاحظ** تأثيرات التغطية لأكبر وأقل مساحة من العدسة.

التحليل والاستنتاج

5. ما الحجم الكافي من العدسة الذي يتطلبه الحصول على صورة كاملة؟
6. ما تأثير تغطية العدسة؟

التفكير الناقد

تغير موضع الجسم اطلب إلى الطلاب أن يصفوا كيف تتغير صورة جسم بعيد عن عدسة محدبة، عندما يتحرك مقتربًا ببطء منها. عندما يكون الجسم بعيدًا عن العدسة تكون صورته مقلوبة ومصغرة. وعندما يصل الجسم إلى بعد يساوي ضعف البعد البؤري يكون حجم الصورة مساويًا لحجم الجسم، كما أن الصورة تكبر كلما تحرك الجسم في اتجاه العدسة نحو بؤرتها. وعند نقطة البؤرة لا تتكون أيّة صورة. وعندما يقترب الجسم أكثر من العدسة ويصبح بعده عن العدسة أقل من البعد البؤري لا تتكون صورة حقيقية ولكن يتكون للجسم صورة وهمية معتدلة ومكبرة. ويمكن أن يرسم الطلاب مخططات للأشعة حتى تساعدهم على مشاهدة هذه العلاقات. م 2

تجربة

تأثير تغطية العدسات

الهدف استقصاء أثر تغطية العدسة.

المواد والأدوات عدسة محدبة، وصلصال، ومصباح صغير.

النتائج المتوقعة وضع طبقة رقيقة من الصلصال على العدسة يؤثر في سطوع الصورة فقط؛ أي تُصبح إضاءتها خافتة، إلا أنه تتكون صورة كاملة.

التحليل والاستنتاج

5. أيّ جزء من العدسة سيكوّن صورة كاملة.
6. كلما غطيت العدسة أكثر، كانت الصورة أقل وضوحًا.

الفيزياء في الحياة

نشاط

عدسات تصحيح الرؤية قد يستخدم بعض الطلاب نظارات ذات عدسات مقعرة لتصحيح قصر النظر أو عدسات محدبة لتصحيح طول النظر. أحضر عددًا من النظارات القديمة ذات العدسات المحدبة والعدسات المقعرة. اطلب إلى الطلاب المقارنة بين ما يرونه بوساطة العدسات المحدبة والمقعرة، ثم رسم مخططات يربطون بوساطتها بين التغيرات التي يشاهدونها لنفس الجسم باستخدام عدسات بسماكات وأشكال مختلفة. آخذًا في الاعتبار عوامل أخرى غير الحجم، مثل أي تغيرات في سطوع الصورة. م 2 **بصري - مكاني**

مثال صفي

سؤال وضع قالب طوله 5.0 cm على بعد 25.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 14.0 cm. ما بُعد صورة القالب المتكونة؟ وما طولها؟ وما اتجاهها؟

الجواب

$$d_i = fd_o/(d_o - f)$$
$$= \frac{(14.0\text{ cm})(25.0\text{ cm})}{(25.0\text{ cm} - 14.0\text{ cm})}$$
$$= 31.8\text{ cm}$$

تكون الصورة على بُعد 31.8 cm أمام العدسة

$$h_i = -d_i h_o/d_o$$
$$= -\frac{(31.8\text{ cm})(5.0\text{ cm})}{(25.0\text{ cm})}$$
$$= -6.4\text{ cm}$$

تكون الصورة مقلوبة وطولها 6.4 cm.

المناقشة

سؤال لماذا يجب وضع الشرائح في جهاز عرض الشرائح مقلوبة؟

الإجابة يستخدم جهاز عرض الشرائح عدسة محدبة. وتوضع الشرائح بين f و $2f$ للعدسة. وتكون الصورة مقلوبة بالنسبة لوضع الشريحة ومكبرة. م 2

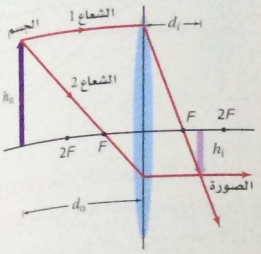
مسائل تدريبية

13. بُعد الجسم: 2×10^1 cm،
طول الجسم: 3.4 mm

14. $d_o = 5 \times 10^1$ mm، $d_i = 5 \times 10^1$ mm

مثال 2

الصورة المتكونة بوساطة عدسة محدبة وضع جسم على بعد 32.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8.0 cm.



a. أين تتكوّن الصورة؟

b. إذا كان طول الجسم 3.0 cm فما طول الصورة؟

c. ما اتجاه الصورة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحالة، وعيّن موقع كلٍّ من الجسم والعدسة.
- ارسم الشعاعين الأساسيّين.

المعلوم	المجهول
$d_o = 32.0$ cm	$d_i = ?$
$h_o = 3.0$ cm	$h_i = ?$
$f = 8.0$ cm	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لتحديد d_i.

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

عوّض مستخدمًا $f = 8.0$ cm، $d_o = 32.0$ cm.

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f} = \frac{(8.0\text{ cm})(32.0\text{ cm})}{32.0\text{ cm} - 8.0\text{ cm}}$$
$$= 11\text{ cm}$$ (11 cm بعيدًا عن العدسة في الجانب المعاكس للجسم)

b. استخدم معادلة التكبير وحل لإيجاد طول الصورة.

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

عوّض مستخدمًا $d_i = 11$ cm، $h_o = 3.0$ cm، $d_o = 32.0$ cm.

$$= \frac{-(11\text{ cm})(3.0\text{ cm})}{32.0\text{ cm}}$$
$$= -1.0\text{ cm}$$ (1.0 cm طول الصورة)

c. إن الإشارة السالبة في الفرع **b** تعني أن الصورة مقلوبة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الأبعاد كلها بالسنتمتر cm.
- **هل تعني الوحدات أي شيء؟** بُعد الصورة موجب (صورة حقيقية)، وأمّا طولها فسالب؛ أيْ مقلوبة بالنسبة للجسم، مما يدل على أن العدسة محدبة.

مسائل تدريبية

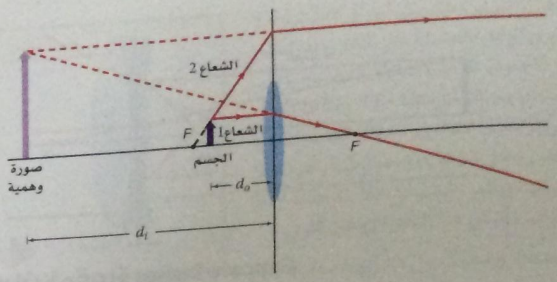
13. تكوَّن لجسم موجود بالقرب من عدسة محدبة صورة حقيقية مقلوبة طولها 1.8 cm على بُعد 10.4 cm منها. فإذا كان البعد البؤري للعدسة 6.8 cm فما بُعد الجسم؟ وما طوله؟

14. وضع جسم عن يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 25 mm، فتكوّنت له صورة حجمها يساوي حجم الجسم. ما بُعد كل من الجسم والصورة؟

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

فاحص النظر الطالب الذي يهتم بالفيزياء البصرية والذي يستمتع بالعمل مع الناس، قد يكون مهتمًّا بمهنة فحص النظر. ففاحص النظر شخص يمتلك مهارات تتعلق بتشخيص عيوب النظر، ويعمل على معالجة وتصويب بعض هذه العيوب. ويكون فاحص النظر عمومًا حاصلًا على الثانوية العامة، ثم يدرس بعدها في معهد أو مؤسسة متخصصة لفحص النظر. الطالب الذي يرغب أن يصبح فاحص نظر يجب أن يكون تخصصه علميًا، ويكون قد درس مواد الكيمياء والفيزياء والأحياء.



■ **الشكل 13–11** يبيّن مخطط الأشعة أن العدسة المحدّبة تكوّن صورة وهمية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالجسم عندما يكون الجسم بين العدسة والبؤرة. ولأن الأشعة الرئيسة جزء من نموذج يساعد على تعيين موقع الصورة فإنهما يجب ألا يمرّا خلال صورة العدسة في مخطط الأشعة. وتتكون الصورة في الواقع فقط بوساطة الضوء الذي يمرّ خلال العدسة.

العدسات المحدّبة والصور الوهمية
Convex Lenses and Virtual Images

عندما يوضع جسم في بؤرة عدسة محدبة فإن الأشعة ستنكسر في حزمة متوازية ولا تتكوّن صورة له. وعندما يقترب الجسم من المستوى الأساسي للعدسة تنحرف الأشعة وتتشتّت في اتجاه الجانب المعاكس للعدسة، وتظهر هذه الأشعة للمشاهد كأنها قادمة من بقعة في جانب العدسة نفسه الذي فيه الجسم، وتكون الصورة وهمية، ومعتدلة ومكبّرة.

يبين **الشكل 13–11** كيف تكوّن العدسة المحدّبة صورة وهمية. فعندما يكون الجسم بين F والعدسة يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس، وينكسر مارًّا في البؤرة F. أمّا الشعاع 2 فينتقل من قمة الجسم، وفي اتجاه مماثل إلى الاتجاه الذي يسلكه إذا بدأ من F في جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ويبيّن الخط المتقطع من F إلى الجسم كيف ترسم الشعاع 2، حيث يخرج الشعاع 2 من العدسة موازيًا للمحور الرئيس. ويتباعد الشعاعان 1 و 2 عندما يخرجان من العدسة. لذا لا يمكن تكوين صورة حقيقية. إن رسم الامتداد الخلفي للشعاعين المنكسرين لتعيين مكان تقاطعهما الظاهري يحدّد موضع الصورة الوهمية، ويكون موضعها في جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم، وتكون الصورة معتدلة ومكبّرة. لاحظ أن الصورة الحقيقية تتكوّن بفعل الضوء الذي يمرّ خلال العدسة، ولكن بإمكانك تحديد الصورة الوهمية بوساطة رسم امتدادات الأشعة التي لا تمرّ فعلًا من خلال العدسة.

مسائل تدريبية

15. إذا وضعت صحيفة على بُعد 6.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 20.0 cm فأوجد بُعد الصورة المتكوّنة لها.
16. إذا وضعت عملة معدنية قطرها 2.0 cm على بُعد 3.4 cm من عدسة مُكبرّة بعدها البؤري 12.0 cm فحدّد موقع صورة العملة المعدنية، وقطر الصورة.
17. يريد أحد هواة جمع الطوابع تكبير طابع بمقدار 4.0 مرات عندما يكون الطابع على بُعد 3.5 cm من العدسة. ما البعد البؤري للعدسة اللّازمة؟

تجربة إضافية

عدسات الماء

الهدف يلاحظ الطلاب تقارب الضوء وتباعده بسبب سطح الماء المقوس.

المواد والأدوات أنبوب اختبار كبير، وبرغي صغير.

الخطوات

تحذير: ينبغي استخدام النظارات الواقية.

1. ضع البرغي أو أيّ جسم آخر صغير وثقيل في أنبوب الاختبار برفق، وانظر من خلال فوهة الأنبوب لتشاهد حجم البرغي.
2. اسكب الماء ببطء داخل أنبوب الاختبار إلى أن تملأ ثلاثة أرباعه، ولاحظ سطح الماء المقوّس والحجم الظاهري للبرغي كما تراه.
3. أضف مزيدًا من الماء ببطء داخل الأنبوب حتى يصل الماء إلى الحافة، ثم شاهد الحجم الظاهري للبرغي. يقل حجم صورة البرغي عندما نملأ الأنبوب إلى ثلاثة أرباعه. بينما يكبر حجم الصورة عندما نملأ الأنبوب إلى حافته.

التقويم لماذا يتغيّر حجم صورة البرغي؟ ارسم مخططًا يدعم إجابتك. يجب أن يوضّح الرسم التخطيطي أنّ الماء يكون له سطح مقعر عندما يكون الأنبوب مملوءًا إلى ثلاثة أرباعه، وسطح محدب عندما يكون الأنبوب مملوءًا تمامًا. ويعمل السطح المقعر عمل عدسة مقعرة؛ حيث يكوِّن صورة مصغرة، أما السطح المحدب فيعمل عمل عدسة محدبة ويكوِّن صورة مكبرة.

مسائل تدريبية

15. 8.6 cm –
16. موقع الصورة: 4.7 cm–، قطر الصورة: 2.8 cm
17. 4.7 cm

نشاط — طرائق تدريس متنوعة

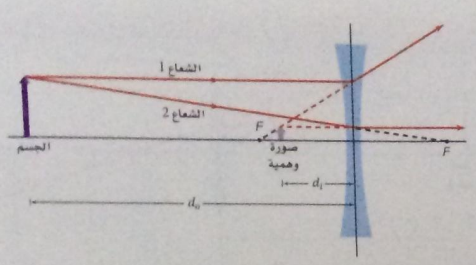
إعاقة بصرية عند إجراء التجربة الإضافية، قد لا يستطيع بعض الطلاب رؤية تقوّس سطح الماء، لذا زود الطلاب بنموذج من الصلصال موضوع في كوب بلاستيكي، وشكّل سطح الصلصال ليصبح على شكل عدسة مقعرة. ثم اطلب إلى الطلاب تحسّس التقوّس، وبين لهم أنّ الماء الملتصق بجوانب أنبوب الاختبار يسبب هذا النمط للسطح المقوس المقعر. بعد ذلك أضف صلصالاً أكثر إلى الكأس لتشكل سطحًا محدبًا فوق الحافة. ثم اطلب إلى الطلاب تحسّس التقوّس مرة أخرى، وبين لهم أنّ التوتر السطحي للماء يسبب هذا النمط للسطح المقوس المحدب. **ل ح حركي**

تعزيز الفهم

كتابة المسائل تحقق أنّ الطلاب يدركون كيف تعمل العدسات على تجميع الضوء وتفريقه؛ وذلك بأن تطلب إليهم كتابة مسائل مشابهة لتلك الموجودة في المسائل التدريبية، واطلب إليهم العمل ضمن مجموعات ثنائية لكتابة المسائل ليتمكنوا من مناقشة المفاهيم. م 2

استخدام النماذج

العدسات استخدم منشورين متساويي الأضلاع لعمل نموذج لعدسة محدبة وعدسة مقعرة. وضح للطلاب كيف نجعل المنشورين يعملان كعدسة محدبة من خلال تلامس قاعدتيهما. ضع قطعة بيضاء من الورق المقوى على بُعد 10 cm من الجانب الآخر للمنشورين. اطلب إلى أحد الطلاب توجيه ضوء مؤشر الليزر خلال المنشورين مبتدئًا بالجانب الضيق لأحد المنشورين، مرورًا بالجزء العريض لهما، وانتهاءً بالجانب الضيّق للمنشور الآخر. سيشاهد الطلاب كيف عمل هذان المنشوران على كسر الضوء للداخل كما يحدث في العدسة المحدبة. وضح لهم كيف نجعل المنشورين يعملان كعدسة مقعرة من خلال تلامس رأسيهما. ثم اطلب إلى أحدهما تحريك ضوء مؤشر الليزر من أحد نهايتي المنشورين حتى يصل إلى النهاية الأخرى، سيشاهد الطلاب كيف ينحرف الضوء إلى الخارج كما يحدث في العدسة المقعرة. م 2 **حركي**



■ **الشكل 14–11** تكوّن العدسات المقعرة صورًا وهمية ومعتدلة ومصغرة فقط مقارنة بالأجسام.

العدسات المقعرة Concave Lenses

تفرّق العدسة المقعرة الأشعة كلّها. والشكل **14–11** يبيّن كيف تكوّن مثل هذه العدسة صورة وهمية، حيث يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس. ويخرج من العدسة على شكل شعاع يمرّ امتداده في البؤرة. أما الشعاع 2 فيَصل إلى العدسة كما لو كان سيمر خلال البؤرة في الجانب المعاكس، ويبتعد عن العدسة موازيًا المحور الرئيس. وتتقاطع الامتدادات الخلفية للشعاعين 1 و 2 في الجانب نفسه من العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ولأن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة، فإنها تكوّن صورة وهمية. ويكون موضع الصورة عند النقطة التي يظهر عندها أن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة منها. وتكون الصورة أيضًا معتدلة وأصغر من الجسم (مصغّرة). وهذا صحيح بغض النظر عن بُعد الجسم عن العدسة، كما يكون البعد البؤري للعدسة المقعرة سالبًا.

يجب أن تتذكّر عند استخدام معادلة العدسة الرقيقة لحل مسائل على العدسات المقعرة أن نظام الإشارات للبعد البؤري مختلف عنه للعدسة المحدّبة. فإذا كان البعد البؤري للعدسة المقعرة 24 cm فإن عليك أن تستخدم القيمة $f = -24\ \text{cm}$ في معادلة العدسة الرقيقة. وتكون الصور المتكوّنة بوساطة العدسة المقعرة جميعها وهمية، لذا فإذا كان بُعد الصورة 20 cm عن العدسة فإن عليك أن تستخدم القيمة $d_i = -20\ \text{cm}$. أما بُعد الجسم فيكون موجبًا دائمًا.

عيوب العدسات الكروية Defects of Spherical Lenses

درست خلال هذا الفصل العدسات التي تكوّن صورة كاملة عند مواضع محدّدة. وفي الواقع، فإن للعدسات الكروية عيوبًا جوهرية ـ مثل المرايا الكروية ـ ينجم عنها مشاكل في وضوح الصورة وألوانها. حيث تواجه العدسات الكروية تشتّتًا (زوغانًا) متعلقًا بتصميمها الكروي، مثل المرايا تمامًا. وإضافة إلى ذلك، فإن تشتّت الضوء خلال العدسة الكروية يسبّب زوغانًا لا تسبّبه المرايا.

الزوغان الكروي يقترح النموذج الذي استخدمته لرسم الأشعة خلال العدسات الكروية أن الأشعة التي تسقط متوازية تتجمّع في الموضع نفسه، وهذا مجرد تقريب. وفي الحقيقة، تتجمّع الأشعة المتوازية التي تمر خلال أطراف العدسة الكروية في مواضع مختلفة عن المواضع التي تتجمّع فيها الأشعة المتوازية والقريبة من المحور الرئيس. ويُسمى عدم قدرة العدسة الكروية على تجميع الأشعة المتوازية جميعها في نقطة واحدة الزوغان الكروي، وسببه اتساع سطح العدسة. ويعالج الزوغان الكروي بمراعاة أن تكون الأشعة الضوئية التي تسقط على العدسة قريبة من المحور الرئيس، وتستخدم العديد من العدسات في الأدوات العالية الدقة، حيث تستخدم غالبًا خمس عدسات أو أكثر لتكوين صور واضحة ودقيقة.

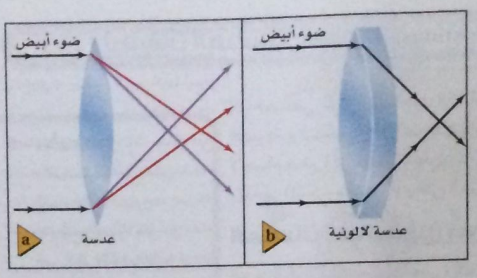
معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

الزوغان الكروي تعتمد قيمة الزوغان الكروي في العدسة على شكل كل من جانبي العدسة. وللعدسة التي تكون على شكل هلال (أحد جوانبها محدب والآخر مقعر) أكبر زوغان كروي. بينما للعدسة التي لها وجهان محدبان أقل زوغان كروي. وعلى أي حال، فإنّ الزوغان الكروي ينتج لأنّ الأشعة تتجمّع ضمن مدًى من النقاط بدلاً من نقطة واحد. حيث تتجمّع الأشعة التي تخترق مركز العدسة في نقطة واحدة، بينما تتجمّع الأشعة التي تمر من طرف العدسة في نقطة أخرى. وسيظهر الرسم التخطيطي كيف تكوّن الأشعة بين هاتين النقطتين دائرة تسمى "دائرة أقل تشويه" حيث يبدأ الضوء خارج هذه الدائرة في التباعد.

الزوغان اللوني هناك عيب آخر في العدسات لا يوجد في المرايا. فالعدسة مثل المنشور، لذا تنكسر فيها الأطوال الموجية المختلفة للضوء بزوايا مختلفة، كما يبين **الشكل 15a–11**. ولذلك يتجمّع الضوء أو يتفرق عند مروره خلال العدسة المحدبة أو المقعرة على الترتيب، وخصوصًا بالقرب من الأطراف، ويظهر الجسم من خلال العدسة محاطًا بالألوان. ويُسمّى هذا التأثير **الزوغان اللوني**.

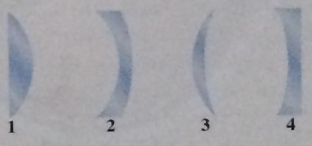
ويحدث الزوغان اللوني دائمًا عندما تستخدم عدسة مفردة. ويمكن تخفيض أثر هذا العيب كثيرًا بوساطة **العدسات اللّالونية**، وهي نظام مكون من عدستين أو أكثر، كعدسة محدبة مع عدسة مقعرة، لهما معاملا انكسار مختلفين. ويبيّن **الشكل 15b–11** مثل هذا التركيب للعدسات. فكلتا العدستين في الشكل تشتّت الضوء، ولكن التشتّت الذي تُسبّبه العدسة المحدبة يُلغى تقريبًا بوساطة التشتّت الذي تُسبّبه العدسة المقعرة. ويُختار معامل انكسار العدسة المحدبة على أن يؤدي النظام المكوّن من العدسات إلى تجميع الضوء.



الشكل 15–11 للعدسات البسيطة جميعها زوغان لوني، حيث يتركز الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة في نقاط مختلفة (a). العدسة اللّالونية نظام من العدسات يؤدي إلى تقليل العيب اللوني (b).

11–2 مراجعة

18. **التكبير** تُستخدم العدسات المكبّرة عادة لتكوين صور أكبر من الأجسام، ولكنها أيضًا يمكن أن تكوّن صورًا أصغر من الأجسام. وضّح ذلك.
19. **بُعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 2.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 6.0 cm. ارسم مخطّط الأشعة لتحديد موقع الصورة وطولها، واستخدم معادلة العدسة الرقيقة ومعادلة التكبير للتحقق من إجابتك.
20. **أنواع العدسات** يبيّن **الشكل 16–11** المقطع العرضي لأربع عدسات رقيقة. أيّ هذه العدسات:
a . محدبة؟
b . مقعرة؟



الشكل 16–11

21. **الزوغان اللوني** للعدسات البسيطة كلها زوغان لوني. فسر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر خلال الميكروسكوب (المجهر)؟
22. **الزوغان اللوني** إذا سمحت لضوء أبيض بالمرور من خلال عدسة محدبة إلى شاشة، وضبطت المسافة بين الشاشة والعدسة لتجمّع اللون الأحمر، ففي أي اتجاه يجب أن تحرّك الشاشة لتُجمّع الضوء الأزرق؟
23. **التفكير الناقد** تتكون عدسة هوائية، موضوعة في خزان ماء من زجاجتي ساعة. انقل **الشكل 17–11** إلى دفترك، وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة عليها.

الشكل 17–11

11-2 مراجعة

18. إذا كان موقع الجسم على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري من العدسة، يكون حجم الصورة أصغر من حجم الجسم.
19. انظر إلى دليل حلول المسائل.
الموقع: 3.0 cm–، الطول: 4.5 cm
20. a. العدستان 1 و 3
b. العدستان 2 و 4
21. تستخدم الأدوات البصرية الدقيقة جميعها مجموعة من العدسات تسمى العدسات اللالونية لتقليل الزوغان اللوني.
22. أقرب إلى العدسة
23. انظر إلى دليل حلول المسائل. ستتباعد أشعة الضوء.

3. التقويم

إعادة التدريس

تميز العدسات اطلب إلى كل طالب النظر من خلال عدسة محدبة، ثم من خلال عدسة مقعرة. واسمح لهم بتحريك العدسات ولكن لاتبين لهم نوع كل عدسة، ولا تسمح لهم بأن ينظروا إلى العدسة من جوانبها. ثم اطلب إليهم أن يميزوا نوع العدسة وأن يبينوا ما إذا كانت العدسة تعمل على تجميع الضوء أو تفريقه. م1 **بصري – مكاني**

التوسع

قوة العدسة يستخدم فاحصو النظر مقلوب البعد البؤري (بالمتر). $P = \frac{1}{f}$، ليصفوا قوة العدسة والتي تعرف على أنها عدد الديوبترات للعدسة. اطلب إلى الطلاب استعمال معادلة العدسة الرقيقة ليستنتجوا أنّ بُعد الصورة عن العدسة يمكن أن يحسب باستعمال قوة العدسة حسب المعادلة $d_i = \frac{d_o}{(Pd_o - 1)}$ ثم اطلب إليهم حساب قوة عدسة بعدها البؤري 2.0 m ، وقوة عدسة أخرى بعدها البؤري 0.5 m–. للعدسة التي بعدها البؤري 2.0 m تكون $P = \frac{1}{f}$ =0.5 ديوبتر و للعدسة التي بعدها البؤري 0.5 m– فإن $P = \frac{1}{f}$ =2.0– ديوبتر م3

11-3 تطبيقات العدسات

1. التركيز

نشاط محفز

التركيز بالعيون اطلب إلى الطلاب حمل قلم رصاص على بعد 10 cm أمام أعينهم، وأن يركزوا عليه، ثم النظر ببطء إلى نقطة تبعد مترًا على الأقل. إذا كرروا ذلك، فسيلاحظون أنّ أعينهم أصبحت متعبة جدًّا. وضح لهم أنّ العضلات الموجودة في أعينهم تساعدهم على التركيز على مسافات مختلفة. م1 حركي

الربط مع المعرفة السابقة

استخدام العدسات دَرَس الطلاب كيف ينكسر الضوء عندما يمرّ خلال العدسات المحدبة والمقعرة. وسيتعرفون استخدام العدسات في الحياة اليومية.

2. التدريس

استخدام النماذج

كيف تُجمّع العين البشرية الضوء اصنع نموذجًا للعين البشرية باستعمال دورق زجاجي كبير وكروي مملوء بالماء وصبغة تجعل شعاع الضوء مرئيًّا، وجهاز عرض الشرائح، وورقة بيضاء، وعدسات عيون *(مثل عدسة عادية، وعدسة تسبب طول نظر، وعدسة تصحيح طول النظر، وعدسة تسبب قصر النظر، وعدسة تصحيح قصر النظر)*. ضع جهاز عرض الشرائح على بعد 70 cm تقريبًا من الدورق وشغله. ثم ضع عدسة النظر الطبيعي أمام الدورق في مسار الضوء. اضبط جهاز عرض الشرائح إلى أن تتقاطع الأشعة الضوئية على شكل مخروط عند نهاية الدورق، ثم ضع الورقة البيضاء خلف الدورق. استعمل العدسة التي تسبب طول النظر واطلب إلى الطلاب مشاهدة مخروط الضوء

11-3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

الأهداف
- تصف كيف تُجمّع العين الضوء لتكوّن الصور.
- توضّح المقصود بكل من قصر النظر وطول النظر، وكيف تُصحّح عدسات النظارات هذه العيوب.
- تصف الأنظمة البصرية في بعض الأدوات البصرية الشائعة.

المفردات
قصر النظر
طول النظر

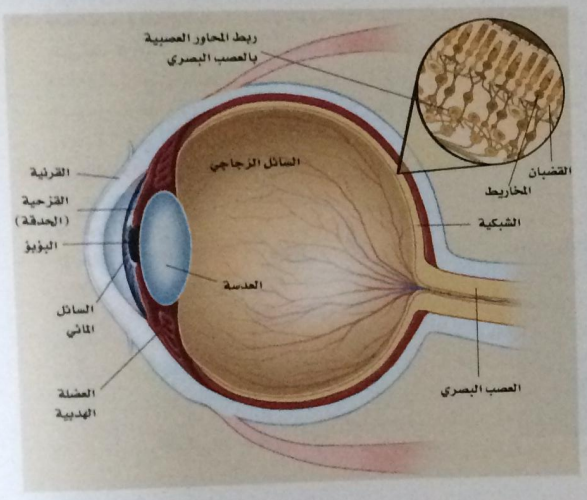
إن الخصائص التي تعلّمتها حول انكسار الضوء خلال العدسات تستخدم في أغلب الآلات البصرية. وتستخدم في حالات عديدة مجموعة من العدسات والمرايا لتكوين صورة واضحة لأجسام صغيرة أو بعيدة. إذ يحتوي كل من المقراب (التلسكوب)، والمنظار، وآلة التصوير، والمجهر (الميكروسكوب)، وحتى العين ـ على عدسات.

العدسات في العينين Lenses in Eyes

العين البشرية أداة بصرية جديرة بالملاحظة، مملوءة بسائل. وهي على هيئة وعاء كروي تقريبًا كما يبين الشكل 18–11. ينتقل الضوء المنبعث أو المنعكس عن الجسم إلى داخل العين خلال القرنية، ثم يمر الضوء بعدها خلال العدسة ويتجمّع على الشبكية الموجودة في مؤخرة العين. وتمتص خلايا متخصّصة في الشبكية الضوء وترسل المعلومات المتعلّقة بالصورة بوساطة العصب البصري إلى الدماغ.

تكوُّن الصور قد تعتقد ـ بسبب التسمية ـ أن عدسة العين هي المسؤولة عن تجميع الضوء على الشبكية. ولكن في الحقيقة، يتجمّع الضوء الداخل إلى العين أساسًا بوساطة القرنية؛ لأن الفرق بين معاملي انكسار الهواء ومادة القرنية كبير نسبيًّا. أما العدسة فهي المسؤولة عن التجميع الدقيق الذي يسمح لك برؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح تام. وتستطيع العضلات المحيطة بالعين من خلال عملية تسمى التكيّف أن تجعل العدسة تنقبض أو تنبسط، مما يغيّر من شكلها، فيؤدي بدوره إلى تغيير البعد البؤري لعدسة العين. فعندما ترتخي العضلات تتركز صورة الجسم البعيد على الشبكية. وعندما تنقبض العضلات يقل البعد البؤري للعدسة، مما يسمح لصور الأجسام القريبة بأن تتجمّع على الشبكية.

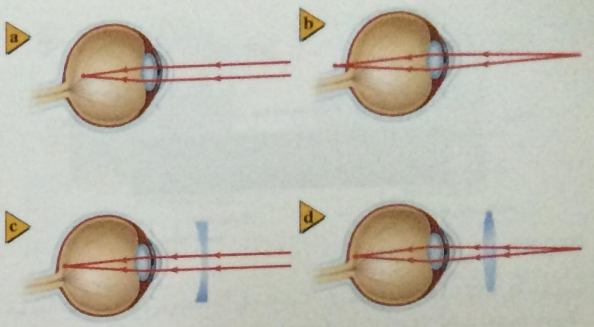
الربط مع الأحياء



الشكل 18–11 العين البشرية معقدة، وتتركّب من أجزاء متعدّدة.

يتجمع خلف الدورق. يجب أن يبيّن وضع عدسة تصحيح طول النظر أمام عدسة طول النظر كيف تعمل العدسة على إعادة تجميع مخروط الضوء على مؤخرة الدورق. كرّر العرض باستخدام عدسات قصر النظر وعدسات تصحيح قصر النظر. وصف كيف تُجمّع العين الضوء ثم وضّح الأسباب التي تؤدي إلى قصر النظر وطول النظر.

م2 بصري-مكاني



■ الشكل 19–11 لا يستطيع شخص مصاب بقصر النظر رؤية الأجسام البعيدة بوضوح؛ لأن الصور تتركز أمام الشبكية (a). وتُصحّح العدسة المقعرة هذا العيب (c). ولا يستطيع شخص مصاب بطول النظر رؤية الأجسام القريبة بوضوح؛ لأن الصور تتركز خلف الشبكية (b). وتصحح العدسة المحدبة هذا العيب (d).

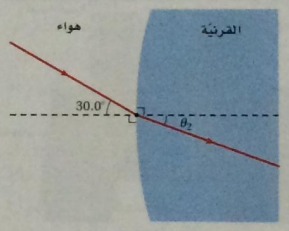
قصر النظر وطول النظر لا تُكوّن عيون بعض الناس صورًا واضحة على الشبكية؛ إذ تتكوّن الصور إما أمام الشبكية أو خلفها. فتصبح هناك حاجة إلى العدسات الخارجية على هيئة نظارات أو عدسات لاصقة؛ لضبط الصور لتقع على الشبكية. ويبين **الشكل 19a–11** حالة **قصر النظر**؛ حيث يكون البعد البؤري للعين أقل من البعد البؤري للعين السليمة، مما لا يمكّنها من تجميع الضوء على الشبكية، فتتكون الصور أمام الشبكية. وتُستخدم عدسات مقعرة لتصحيح ذلك بتفريق الضوء كما يبين **الشكل 19c–11**، لذا يؤدي ذلك إلى زيادة بعد الصور عن العدسة، وتكوين الصور على الشبكية.

ويبين **الشكل 19b–11** حالة **طول النظر**، حيث يكون البعد البؤري للعين أكبر من البعد البؤري للعين السليمة، فتتشكّل الصور خلف الشبكية، وتحدث حالة مماثلة أيضًا للأشخاص فوق عمر 45 عامًا، حيث تزداد صلابة عدسات العينين، ولا تستطيع العضلات تقصير البعد البؤري إلى الحدّ الذي يكفي لتكوين صور الأجسام القريبة على الشبكية. وتُستخدم عدسات محدبة لتصحيح هذا العيب؛ إذ تكوّن صورًا وهمية أبعد عن العين من أجسامها، كما يبين **الشكل 19d–11**، فتصبح الصور عندئذ هي الأجسام بالنسبة لعدسة العين، ومن ثَم تتكوّن على الشبكية.

تطبيق الفيزياء

العدسات اللاصقة تعمل العدسات اللاصقة عمل النظارات الزجاجية؛ حيث توضع هذه العدسات الصغيرة الرقيقة مباشرة على القرنية. وتعمل طبقة رقيقة من الدمع بين القرنية والعدسة على ثبات العدسة في مكانها، ويحدث أغلب الانكسار عند سطح الهواء والعدسة، حيث يكون الفرق بين معاملي الانكسار كبيرًا.

مسألة تحفيز



عندما يدخل الضوء إلى العين فإنه يواجه الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. فإذا دخل شعاع ضوء الحد الفاصل بين الهواء والقرنية لعين شخص بزاوية 30° بالنسبة للعمود المقام، وكان معامل انكسار القرنية 1.4 تقريبًا، أجب عن الأسئلة التالية:

1. استخدم قانون سنل لحساب زاوية الانكسار.
2. ما مقدار زاوية الانكسار إذا كان الشخص يسبح أسفل الماء؟
3. أيهما أكبر: الانكسار في الهواء أم في الماء؟ وهل يعني هذا أن الأجسام التي تحت الماء تبدو أقرب أم أبعد مما لو كانت في الهواء؟
4. لو أردت أن تكون زاوية الانكسار لشعاع الضوء في الماء مساوية لها كما في الهواء فكم يجب أن تكون زاوية السقوط الجديدة؟

معلومة للمعلم

تصحيح قصر النظر للأطباء طرائق متعددة لتصحيح قصر النظر دون استخدام عدسات التصحيح. ولأنَّ معظم حالات قصر النظر تنتج عن زيادة في تحدب عدسة العين عن الحد الطبيعي إلى الخارج كثيرًا، تصمم هذه الطرائق لبسط القرنية وجعلها مسطحة. ففي إحدى عمليات تصحيح قصر النظر يقوم الجراح بعمل شقوق صغيرة في القرنية على نمط أسلاك دعامة دولاب الدراجة الهوائية. وفي تقنية أخرى تزال الطبقة العلوية من القرنية، وكذلك الشريحة الرقيقة الموجودة تحتها، ثم تعاد الطبقة العلوية وتخاط. وأخيرًا تستخدم تقنية الليزر العالي القدرة لتبخير الخلايا الموجودة في مركز القرنية، وتنحت القرنية لتصحيح شكلها.

■ استخدام الشكل 19–11

وضّح للطلاب أنّ الشكلين 19a–11 و19c–11 قد رُسما بأشعة متوازية قادمة من جسم بعيد، وأنّ الشكلين 19b–11 و 19d–11 قد رُسما بأشعة قادمة من جسم قريب. اسأل الطلاب لماذا رسمت هذه الرسوم بهذه الطريقة؟ لا تستطيع العين المصابة بقصر النظر رؤية الأجسام البعيدة بوضوح، وكذلك لا تستطيع العين المصابة بطول النظر رؤية الأجسام القريبة بوضوح.

تطبيق الفيزياء

وضّح للطلبة أنّ هناك اختلافات صغيرة في السمك بالقرب من مركز العدسات اللاصقة تحدد ما إذا كانت العدسة مفرقة أو مجمعة للضوء. اطلب إليهم رسم مخطط للعين يبين الأشعة التي تمر عبر العدسة اللاصقة، يجب أن يلاحظوا أنّ سمك مركز العدسة يحدد كيفية انكسار الضوء. م 2 بصري– مكاني

مسألة تحفيز

1. $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{n_1 \sin\theta_1}{n_2}\right)$

$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{(1.0)(\sin 30.0^\circ)}{1.4}\right)$

$\theta_2 = 21^\circ$

2. $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{n_1 \sin\theta_1}{n_2}\right)$

$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{(1.3)(\sin 30.0^\circ)}{1.4}\right)$

$\theta_2 = 28^\circ$

3. تكون زاوية الانكسار في الهواء أكبر؛ لأن الشعاع الضوئي سقط من وسط معامل انكساره كبير (الماء) إلى وسط معامل انكساره أقل (الهواء)، فتبدو الأجسام التي في الماء أقرب للناظر من الهواء.

4. $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{n_2 \sin\theta_2}{n_1}\right)$

$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.4)(\sin 21^\circ)}{1.33}\right)$

$= 22^\circ$

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

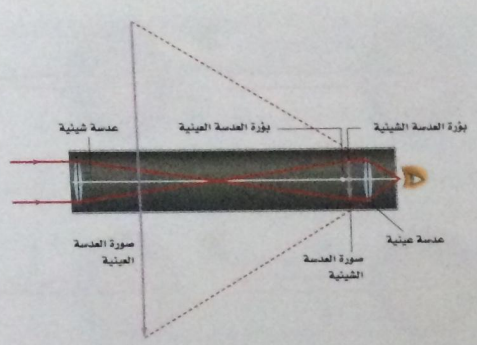
صور شديدة الوضوح من التلسكوب يعتقد الطلاب غالبًا أنّ الفائدة العظمى من استخدام التلسكوب هي تكبير الصورة. وضح لهم أنّ الأجسام الموجودة في الفضاء بعيدة جدًّا، لذا تبدو لنا أنها صغيرة الحجم. والفائدة الرئيسة من استخدام التلسكوب، هي تكوين صور قريبة منا لتلك الأجسام إضافة إلى زيادة كمية الضوء المتجمّع من الجسم البعيد ومن ثمّ زيادة إضاءة الصورة لتصبح أكثر وضوحا. اطلب إلى الطلاب أن يبينوا لماذا لا تكوّن التلسكوبات البسيطة والرخيصة التي تباع في المتاجر صورًا واضحة للأجسام البعيدة، على الرغم من أنّ تكبيرها كبير. قد يقترح الطلاب أنّ العدسات الشيئية صغيرة جدًا بحيث لا تستطيع تجميع ضوء كافٍ لإنتاج صور واضحة، إضافة إلى أنه على الأرجح ينتج عن العدسات الرخيصة زوغان كروي. م2

تطوير المفهوم

اختلاف التلسكوبات قارن بين الخصائص البصرية لكل من تلسكوب كبلر وتلسكوب جاليليو. ففي تلسكوب كبلر يكون تجميع صورة الجسم بين العدستين وخلف مركز التكور للعدسة العينية، لذا تكون الصورة النهائية مقلوبة. أما في تلسكوب جاليليو فإنّ الصورة النهائية لا تكون مقلوبة لأنّ الأشعة الساقطة من أعلى الجسم وأسفله لا تلتقي في البؤرة، لذا تكون الصورة معتدلة. ولكن لتلسكوب كبلر ميزة ليست في تلسكوب جاليليو، وهي أنّ مجال العرض فيه أكبر، كما يمكن تصحيح انقلاب الصورة بسهولة.

تعزيز الفهم

نشاط مقارنة المفاهيم وزع الطلاب في مجموعات صغيرة، واطلب إليهم إجراء مقارنة بين التطبيقات المختلفة للعدسات التي وردت في هذا البند. م1 متفاعل



■ الشكل 20–11 يكوّن المنظار الفلكي الكاسر صورة وهمية ومقلوبة مقارنة بالجسم.

التلسكوب (المنظار الفلكي) الكاسر
Refracting Telescopes

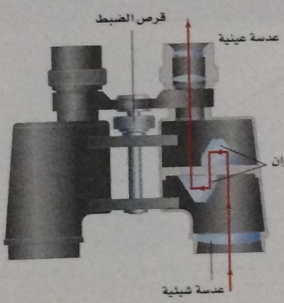
يستخدم المنظار الفلكي الكاسر العدسات لتقريب الأجسام البعيدة وتكبير صورها. ويبين **الشكل 20–11** النظام البصري للمنظار الكبلري؛ حيث يكون الضوء القادم من النجوم والأجسام الفلكية الأخرى عادة بعيدًا جدًّا؛ لذا يمكن اعتبار الأشعة متوازية. وتدخل أشعة الضوء المتوازية العدسة الشيئية المحدبة، وتتجمّع بوصفها صورة حقيقية عند بؤرة العدسة الشيئية، وتكون الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. ثم تصبح هذه الصورة بمنزلة الجسم بالنسبة للعدسة العينية المحدبة. لاحظ أن العدسة العينية موضوعة بحيث تقع بؤرة العدسة الشيئية بين العدسة العينية وبؤرتها. وذلك يعني أنه تتكوّن صورة وهمية معتدلة وأكبر من الصورة الأولى عن طريق العدسة العينية. ولأن الصورة الأولى كانت مقلوبة فإن الصورة النهائية تبقى مقلوبة. ويعد انعكاس الصورة مقبولاً لمشاهدة الأجسام الفلكية.

وتستخدم عدسات عينية محدبة لالونية في المنظار دائمًا. وتعمل مجموعة العدسات هذه على إزالة الألوان المحيطة، أو التخلّص من الزوغان اللوني المتشكّل مع الصورة.

■ الشكل 21–11 المنظار عبارة عن تلسكوبين كاسرين متجاورين.

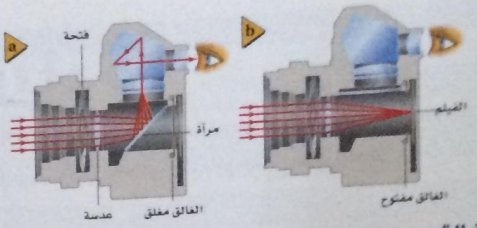
المنظار Binoculars

يكوّن المنظار ـ مثل المنظار الفلكي الكاسر ـ صورًا مكبّرة للأجسام البعيدة. ويبين **الشكل 21–11** تصميمًا لمنظار نموذجي. ويشبه كل جانب من المنظار تلسكوبًا صغيرًا؛ حيث يدخل الضوء العدسة الشيئية المحدّبة فتكون صورة مقلوبة، ثم ينتقل الضوء خلال منشورين يَستخدمان ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي ليقلبا الصورة مرة أخرى، حيث يرى المشاهد صورة معتدلة للجسم. ويؤدي المنشوران كذلك إلى إطالة مسار انتقال الضوء وتوجيهه إلى العدسة العينية للمنظار. وكما تزوِّدك المسافة الفاصلة بين عينيك بإحساس الأبعاد الثلاثية والعمق، فإن المنشورين يؤديان إلى زيادة المسافة الفاصلة بين العدستين الشيئيتين، ممّا يحسّن من الرؤية الثلاثية الأبعاد للجسم البعيد عن المنظار.



نشاط **تحفيز**

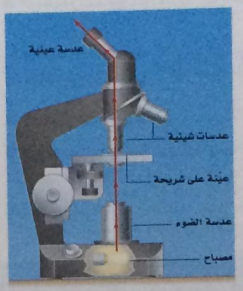
أوائل التلسكوبات اخترع هانس ليبرشي في عام 1608 التلسكوب. و في عام 1609 بنى جاليليو تلسكوبًا معتمدًا على عمل ليبرشي. ومن خلال التعديلات الدقيقة استطاع جاليليو الحصول على تكبير مقداره 30 مرة. حُثَّ الطلاب على عمل نموذج تلسكوب مثل ذاك الذي بناه جاليليو، وزوّدهم بعدسة محدبة وأخرى مقعرة، وأنبوبين، ومواد أخرى لتثبيت الأنابيب والعدسات. يستخدم منظار جاليليو أنبوبًا طوله مساوٍ للفرق بين البعد البؤري للعدستين المركبتين في الداخل، يجب أن تكون العدسة المقعرة هي العدسة العينية والمحدبة هي العدسة الشيئية في النموذج الذي سيصنعونه. م3 حركي



الشكل 22–11 يبين الشكل آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة، والتي تعكس الصورة المتكوّنة بوساطة العدسة من خلال المنشور لمشاهدتها (a)، أو توجيهها إلى اتجاه الفيلم (b).

آلات التصوير Cameras

يبين **الشكل 22a–11** النظام البصري المستخدم في آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة. فعندما يدخل الضوء إلى آلة التصوير، فإنه يمر خلال عدسة لالونية. ويعمل نظام العدسة هذا على كسر الضوء، بطريقة تُشبه إلى حد كبير عمل عدسة محدبة مفردة، ويكوّن صورة مقلوبة على المرآة العاكسة. وتنعكس هذه الصورة إلى أعلى في اتجاه المنشور، والذي يؤدي بدوره إلى عكس الضوء وتوجيهه إلى عين المشاهد. وعندما يحمل الشخص آلة التصوير لالتقاط صورة فإنه يضغط زر الغالق، الذي يرفع المرآة لفترة وجيزة، كما في **الشكل 22b–11**. وبدل أن يتجه الضوء إلى المنشور فإنه ينتقل في خط مستقيم ليكوّن صورة على الفيلم.



الشكل 23–11 تكوّن العدسة الشيئية والعدسة العينية في هذا المجهر صورة مقلوبة ومكبرة مقارنة بالجسم.

المجهر (الميكروسكوب) Microscopes

للمجهر عدستان محدبتان مثل المنظار الفلكي، إحداهما شيئية والأخرى عينية. ويستخدم المجهر في مشاهدة الأجسام الصغيرة. ويبين **الشكل 23–11** النظام البصري المستخدم في المجهر المركّب، حيث يوضع الجسم في المنطقة ما بين بؤرة العدسة الشيئية ومركز تكوّرها، فتتكوّن صورة حقيقية مقلوبة ومكبّرة. ثم تصبح هذه الصورة بمثابة جسم للعدسة العينية؛ إذ يكون هذا الجسم بين العدسة العينية وبؤرتها، فتتكوّن له صورة وهمية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالصورة التي كوّنتها العدسة الشيئية. لذا يرى المشاهد صورة مقلوبة مكبَّرة جدًّا.

3–11 مراجعة

24. **الانكسار** فسّر لماذا تعدّ القرنية عنصر التجميع الرئيس للأشعة في العين؟
25. **أنواع العدسات** أيّ العدسات ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بقصر النظر: العدسة المحدبة أم المقعرة؟ وأيها ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بطول النظر؟
26. **الصورة** لماذا تكون الصورة المُشاهَدةُ في التلسكوب مقلوبة؟
27. **المنشور** ما المزايا الثلاث لاستخدام المنشورين في المنظار؟
28. **البعد البؤري** افترض أن آلة التصوير التي لديك رُكِّزت على شخص يبعد 2 m، ثم أردت أن تُركِّز آلة التصوير هذه على شجرة أبعد من ذلك، فهل يتعين عليك أن تحرك العدسة قريبًا من الفيلم أم بعيدًا عنه؟
29. **التفكير الناقد** عندما تستخدم التكبير الأقصى في المجهر فإن الصورة تكون معتمة أكثر منها في حالة التكبير الأقل. ما الأسباب المحتملة لتكوّن الصورة المعتمة؟ وما الذي يمكن أن تفعله للحصول على صورة أوضح؟

التفكير الناقد

العدسات الشيئية للمجهر تمتلك المجاهر النموذجية قطعة رأس دوّارة تحمل عدستين أو أكثر من العدسات الشيئية. اسأل الطلاب كم يتغير تكبير المجهر إذا استبدلت بالعدسة التي بعدها البؤري 16 mm عدسة بعدها البؤري 4 mm؟ ستتجمع صورة الجسم عند مسافة أقرب أربع مرات. لذا، يزداد التكبير أربع مرات حيث يضرب التكبير في معامل مقداره 4. م2

3. التقويم

إعادة التدريس

عرض عدسات المجهر أحضر مجهرًا، واطلب إلى الطلاب دراسة النظام البصري فيه. ثم اطلب إليهم مشاهدة جسم صغير باستعمال عدسات شيئية مختلفة. وضح للطلاب أهمية الحاجب الحدقي والزيت الخاص بالعدسة الزيتية عندما يشاهدون أجسامًا بعدسة تكبيرها 100 مرة. م2

التوسع

نشاط تطبيقات العدسات اطلب إلى الطلاب البحث حول التطبيقات الأخرى للعدسات، مثل آلات التصوير الرقمية، وعدسات التكبير، والعدسات ذات الزاوية الواسعة، والمناظير، وجهاز عرض الشفافيات، كما يتعين عليهم أن يرسموا مخططًا أو يصفوا النظام البصري.

م3 لغوي

3-11 مراجعة

24. إن الفرق بين معاملي انكسار الهواء والقرنية أكبر من أيّ فرق تواجهه أشعة الضوء عندما تنتقل نحو الشبكية.
25. يجب أن يستخدم الشخص المصاب بقصر النظر عدسة مقعرة، أما الشخص المصاب بطول النظر فيستخدم عدسة محدبة.
26. بعد أن يمرّ الضوء من خلال العدسة الشيئية، تتقاطع الأشعة مشكّلةً صورة مقلوبة. وتحتفظ العدسة العينية بهذا الاتجاه عندما تستخدم الصورة كجسم لها.
27. يعمل المنشورين على زيادة طول مسار الضوء لجعل المنظار مضغوطًا أكثر (أقصر)، وانقلاب أشعة الضوء بحيث يرى المشاهد صورة معتدلة، وزيادة المسافة الفاصلة بين العدستين الشيئيتين ممّا يحسّن من الرؤية ثلاثية الأبعاد للجسم.
28. أقرب إلى الفيلم؛ تكون الصور الحقيقية دائمًا أبعد من البعد البؤري. كلما زاد بُعد الجسم عن العدسة تكون الصورة أقرب للبؤرة.
29. لقد استخدمت عدسة شيئية لها تكبير عالٍ ومساحة صغيرة، أي أن كمية الضوء الساقطة من الجسم تكون قليلة، ويمكن استخدام مصباح أكثر سطوعًا.

مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة .

المهارات العملية الملاحظة والاستنتاج، والتجربة، والقياس، وجمع البيانات وتنظيمها.

احتياطات السلامة تأكد أنّ المصباح الكهربائي مغلق قبل وصله بالتيار الكهربائي وبعد وصله. إذا استعملت شمعة فذكّر الطلاب أن يبقوا حذرين من اللهب.

المواد البديلة قد تستخدم شمعة بدلاً من المصباح.

استراتيجيات التدريس

ستكوّن العدسة صورة حقيقية، أو صورة وهمية، أو لن تكوّن صورًا، وذلك اعتمادًا على بعدها البؤري. ولتنفيذ الخطوتين 2 و 7 يجب أن تزوّد الطلاب بعدسة بعدها البؤري أقل من 10 cm.

مختبر الفيزياء

العدسات المحدّبة والبعد البؤري Convex Lenses and Focal Length

تنصّ معادلة العدسة الرقيقة على أن مقلوب البعد البؤري يساوي مجموع مقلوب بُعد الصورة عن العدسة ومقلوب بعد الجسم عن العدسة.

سؤال التجربة

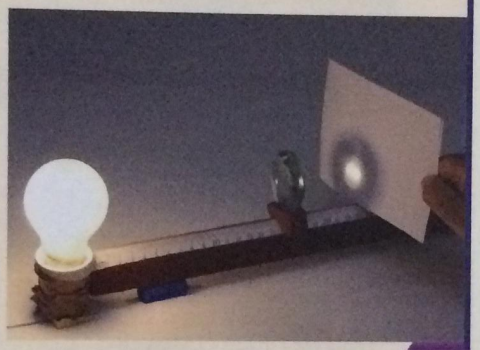
كيف يرتبط بُعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدّبة مع كلٍّ من بُعد الجسم والبعد البؤري؟

الأهداف

- **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** لوصف العلاقة بين بُعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدبة وبُعد الجسم.
- **استخدام النماذج** لتبيّن عدم أهمية بُعد الصورة عندما يكون البعد البؤري ثابتًا.

احتياطات السلامة

- تأكد أن المصباح مطفأ قبل وصله بالكهرباء وبعد فصله.
- كن حذرًا عند التعامل مع المصابيح، فهي ساخنة وقد تحرق الجلد.
- للعدسات أطراف حادة، لذا تعامل معها بحذر.



المواد والأدوات

- مصباح كهربائي 25 W (أو شمعة)
- قاعدة مصباح (أو قاعدة شمعة)
- عدسة محدبة رقيقة
- مسطرة مترية
- حامل عدسات
- طاقة فهرسة (لوح كرتون)

الخطوات

1. ضع مسطرة مترية على طاولة المختبر حتى تتزن على حافتها، وتظهر الأرقام معتدلة على أحد جانبيها.
2. ضع عدسة محدبة على حامل العدسة، وثبتها على المسطرة المترية بين التدريجين 10 cm و 40 cm. (ستتفاوت المسافات اعتمادًا على البعد البؤري للعدسة المستخدمة).
3. أضئ المصباح، وضعه بجانب طرف المسطرة المترية على أن يكون مركزه عند التدريج 0 cm للمسطرة المترية.
4. احمل بطاقة الفهرسة، بحيث تكون العدسة بين المصباح والبطاقة.
5. حرّك بطاقة الفهرسة إلى الأمام وإلى الخلف حتى تظهر صورة مقلوبة واضحة للمصباح بأطراف حادة قدر الإمكان.
6. سجّل بُعد المصباح عن العدسة d_o، وبُعد الصورة عن العدسة d_i.
7. حرّك العدسة إلى موقع آخر بين 10 cm و 40 cm، وكرّر الخطوتين 5 و 6. (ستتفاوت المسافات اعتمادًا على البعد البؤري للعدسة المستخدمة).
8. كرّر الخطوة 7 ثلاث مرات أخرى.

عينة بيانات

المحاولة	d_o (cm)	d_i (cm)
1	40.0	20.5
2	30.0	25.0
3	20.0	41.7
4	25.0	29.2
5	35.0	22.1

المحاولة	$\frac{1}{d_o}$ (cm^{-1})	$\frac{1}{d_i}$ (cm^{-1})	$\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}$ (cm^{-1})	f (cm)
1	0.025	0.049	0.074	13.6
2	0.033	0.040	0.073	13.6
3	0.050	0.024	0.074	13.5
4	0.040	0.034	0.074	13.5
5	0.029	0.045	0.074	13.5

جدول البيانات		
المحاولة	$d_o\,(cm)$	$d_i\,(cm)$
1		
2		
3		
4		
5		

جدول الحسابات				
المحاولة	$\frac{1}{d_o}\,(cm^{-1})$	$\frac{1}{d_i}\,(cm^{-1})$	$\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}\,(cm^{-1})$	$f(cm)$
1				
2				
3				
4				
5				

التحليل

1. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** مثّل العلاقة بيانيًّا بين بُعد الصورة (على المحور الرأسي) وبُعد الجسم (على المحور الأفقي). استخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لإنشاء رسم بياني إذا أمكن ذلك.
2. **استخدام الأرقام** احسب $\frac{1}{d_i}$ و $\frac{1}{d_o}$، وسجّل القيم في جدول الحسابات.
3. **استخدام الأرقام** احسب مجموع $\frac{1}{d_i}$ و $\frac{1}{d_o}$، وسجّل القيم في جدول الحسابات. واحسب مقلوب هذا الرقم، وسجّله في جدول الحسابات على أنه القيمة f.

الاستنتاج والتطبيق

1. **تفسير البيانات** انظر إلى الرسم البياني، وصف العلاقة بين d_i و d_o.
2. **تفسير البيانات** احصل على مقدار البعد البؤري الفعلي للعدسة من معلمك. ما مدى دقة حساباتك لِـ f؟
3. **تفسير البيانات** قارن بين نتائج حسابات البعد البؤري للمحاولات الخمس. هل نتائجك متماثلة؟
4. **تقنيات المختبر** لماذا تعتقد أنه كان عليك ألا تضع العدسة عند نقطة أقرب من 10 cm أو أكثر من 40 cm؟

التوسع في البحث

1. أيّ القياسات أكثر دقة: d_i أم d_o؟ ولماذا تعتقد ذلك؟
2. ما الذي يمكنك أن تفعله لجعل أحد الحسابين أو كليهما أكثر دقة؟

الفيزياء في الحياة

1. إذا أردت التقاط صورة بآلة التصوير، أولاً لجسم بعيد، ثم لجسم آخر يبعد أقل من متر، فكيف يجب تغيير المسافة بين العدسة والفيلم؟
2. هناك فرقان بين الصورة التي تتكوّن على شبكية عينك والجسم الذي تنظر إليه، ما هما؟ (تذكر أن العدسة في عينك محدبة).

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اسأل الطلاب الأسئلة التالية: هل تستطيع أن تعرض صورة لجسم ما على بطاقة ملاحظات باستخدام عدسة؟ إذا أردت تغيير حجم الصورة محافظًا على موقعها، فأيّ العوامل يجب أن تأخذها بعين الاعتبار؟ دعِ الطلاب يختاروا موادهم الخاصة ويطوروا الإجراءات. إذا احتاجوا إلى إرشاد فدعهم يبدؤوا بإيجاد بعد صورة لجسم بعيد نسبيًا (خلف النافذة مثلا)، ثم يجدوا البعد اللازم لجسم حتى تظهر صورته على حائط بعيد. وهذا يعطيهم نقاطًا قصوى في رسم المنحنى البياني، ويمكنهم من قياس المسافات المطلوبة.

التحليل

1. على الطلاب أن يمثلوا بيانيًّا العلاقة بين d_o و d_i. ستختلف الرسوم البيانية.
2. انظر إلى جدول الحسابات
3. انظر إلى جدول الحسابات

الاستنتاج والتطبيق

1. عندما تزداد قيمة إحداهما ستقل قيمة الأخرى.
2. ستتفاوت الإجابات. عينة إجابات: هناك تقريبًا نسبة 3% خطأ بين القيمة المحسوبة والقيمة الحقيقية وهذه الدقة مقبولة نوعًا ما.
3. ستتفاوت الإجابات: عينة إجابات: كانت الحسابات للبعد البؤري دقيقة جدًّا. فقيم البعد البؤري جميعها كانت تختلف بعضها عن بعض بمقدار 0.1 cm.
4. إذا كان بُعد العدسة أقرب من البعد البؤري فلن تتكون صورة على البطاقة (الشاشة) لأنها ستكون وهمية. وكذلك عند وضع العدسة على مسافة أبعد من نقطة معينة سيصبح بُعد الصورة على الأغلب ثابتًا.

التوسع في البحث

1. تكون d_o أكثر دقة لأنّ موضع العدسة مثبت على المسطرة المترية، بينما d_i ستتغير للحصول على أفضل تركيز للصورة.
2. يأتي الخطأ في القياس من الأدوات المستخدمة والأشخاص الذين يقومون بعمل هذه القياسات. ولتكون d_i أكثر دقة، على الطلاب أن يفهموا العلاقة بين التقنيات المناسبة والنتائج الدقيقة، وتتحدّد الدقة عادةً بوساطة الزوغان الكروي.

الفيزياء في الحياة

1. ستكون العدسة أبعد عن الفيلم، لذا سيكون الفيلم عند موضع تكوُّن الصورة التي تحركت بعيدًا عن العدسة.
2. تكون الصورة في شبكية العين أصغر كثيرًا من الجسم الحقيقي وتكون مقلوبة أيضًا.

الخلفيّة النظرية

اشتق مصطلح كوازر من (quasi-stellar object) ويقصد به الجسم شبه النجمي. ويعتقد أن الكوازرات تنتمي إلى الأجسام الأكثر بعدًا، لذا يُعتقد أنها الأقدم في الكون؛ ويُستدل على ذلك بسبب شدة الانزياح نحو اللون الأحمر في العديد من أطيافها. ولقد وصف أينشتاين مجال الجاذبية حول الجسم العظيم الكتلة بأنّه انحناء الفضاء. فإذا انتقل الضوء عبر الفضاء دون أن يواجهه أي عائق فإنّه سينتقل في خط مستقيم. وإذا أمكن تشبيه ذلك بنموذج لفضاء مسطح يحتوي على الجسم العظيم الكتلة في مركزه فسينحني ليصبح على شكل قمع. ومن ثم سيتبع الضوء سطحًا يشبه القمع عند مروره به، ونتيجة لذلك سيبدو مسار الضوء منحنيًا.

استراتيجيات التدريس

- اصنع قمعًا كبيرًا من قصاصات أوراق ملصقات بقطر 20 cm عند القاع الكبير وبقطر 1 cm عند القمة الضيقة. مثل حركة الأجسام من خلال دحرجة كرات تنس حول القمع في مدارات إهليلجية. ومثّل الضوء الذي يعبر الجسم ذو الكتلة الكبيرة بإطلاق كرة بسرعة كبيرة عبر القمع بحيث تطير وتفلت من الحافة. ثمّ حدّد كيف ينحني مسار الضوء.
- إبحث عن صور تم الحصول عليها من خلال الأبحاث الفلكية بوساطة عدسات الجاذبية. اطلب إلى الطلاب تحديد الصور المتعددة أو حلقات أينشتاين.

نشاط

نمذجة عدسة الجاذبية ضع جسمًا خلف حاجز بالنسبة إلى نقطة مشاهدة. ثم اطلب إلى الطلاب استخدام المناشير والعدسات ليحاولوا مشاهدة صورتين مختلفتين للجسم حول طرفي الحاجز من نقطة المشاهدة نفسها.

الإثراء العلمي

عدسات الجاذبية Gravitational Lenses

اكتشف الفلكيون عام 1979 في مرصد جودرل Jodrell Bank في بريطانيا نجمين من النجوم البعيدة (quasars) تفصل بينهما مسافة 7 ثوانٍ قوسية.

وبيّنت القياسات أنّ النجمين يبعد أحدهما عن الآخر 500,000 سنة ضوئية. وبدا أن النجمين يتذبذبان في السطوع وفي الإيقاع معًا، ولكنّ المدهش أنّه كان للنجمين أطياف متماثلة. فقد ظهرا وكأنهما جسمان مختلفان، ولكن في الحقيقة كان الجسمان عبارة عن جسم واحد.

الأشكال الزرقاء صور متعددة للمجرة نفسها ناتجة عن عدسة الجاذبية القادمة من مجرة عنقودية 1654 + 0024 في مركز الصورة.

وأكدّت دراسات أخرى لفلكيّين من مختلف أنحاء العالم أنّه لا يوجد إلاّ نجم واحد فقط، انحنى ضوؤه بفعل تجمّع من المجرّات تسيطر عليها مجرة إهليلجية ضخمة تقع على الخط البصري بين النجم والأرض. فأدرك الفلكيون أنّهم شاهدوا صورتين لنجم واحد. وأثرت المجرة كأنها عدسة محدبة ناقصة، تركّز الضوء المنحرف بطريقة ما، بحيث تتكوّن صورتان لجسم واحد. ولكن ما الذي دفعهم إلى الاعتقاد بأنّ الضوء قد انحنى؟

الجاذبية والضوء تذكّر الفلكيون أبحاث ألبرت أينشتاين ونظريته النسبية. فقد اقترح أينشتاين أن الضوء ينحني بفعل مجال الجاذبية للأجسام الضخمة. ففي نظرية الفضاء الكلاسيكية المعروفة بالفضاء الإقليدي، ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة. واستنادًا إلى أينشتاين فإنّ الضوء ينحني عندما يمر بجانب الأجسام الضخمة.

وفي عام 1919 أثبتت مقارنة لضوء نجم قبل كسوف الشمس وفي أثنائه صحة نظرية أينشتاين. فاقترح أينشتاين في عام 1936 ظاهرة عدسة الجاذبية. ولأنّ الضوء يمكنه أن ينحني بفعل مجالات الجاذبية للأجسام الضخمة، لذا على المراقبين أن يروا صور حلقات وهمية عندما يكون هناك جسم ضخم بين الأرض والجسم المراقب. ولم يشاهد أينشتاين أبدًا مثل هذه الظاهرة، ولكن نظريته في النسبية دعمت إمكانية وجود عدسات الجاذبية هذه.

يبين الرسم أدناه كيف أن الضوء القادم من مجرة بعيدة ينحني حول تجمع مجرات قبل أن يصل إلى الأرض.

الدليل عندما يكتشف شخصٌ شيئًا ما للمرة الأولى فإنّ العديد من الاكتشافات الداعمة تعقُب ذلك. فمنذ قدّم أينشتاين اقتراحاته إلى أن اكتشفت الصورة المزدوجة للنجم البعيد (الكوازار) عام 1979، اكتشفت العديد من عدسات الجاذبية، كما شوهدت كل من حلقات أينشتاين والصور المتعدّدة. ونتجت حلقات أينشتاين عندما أصبحت عدسة الجاذبية والضوء القادم من الجسم على استقامة واحدة تقريبًا. وتتشكّل الصور المتعدّدة عندما لا تكون عدسة الجاذبية والضوء على استقامة واحدة. وحتى الآن اكتشف أكثر من 50 عدسة جاذبية.

التوسع في البحث

1. **استنتج** لماذا كان اكتشاف عدسات الجاذبية مهمًّا؟
2. **قارن وميّز** فيمَ تتشابه عدسات الجاذبية والعدسات المحدبة؟ وفيمَ تختلفان؟

التفكير الناقد

1. تقدم عدسات الجاذبية برهانًا آخر على النظرية النسبية.
2. تستخدم العدسات المحدبة وسطين لحني الضوء. بينما تستخدم عدسة الجاذبية انجذاب الأجسام لبعضها بعضًا (الجاذبية).

دليل الدراسة

11-1 انكسار الضوء Refraction of Light

المفردات

- معامل الانكسار
- قانون سنل في الانكسار
- الزاوية الحرجة
- الانعكاس الكلي الداخلي
- التفريق (التحلل)

المفاهيم الرئيسة

- ينحرف مسار الضوء عندما ينتقل من وسط ذي معامل انكسار n_1 إلى وسط آخر معامل انكساره مختلف n_2.

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

- النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ c إلى سرعته في أيّ وسط آخر تساوي معامل انكسار الوسط n.

$$n = \frac{c}{v}$$

- عندما ينتقل الضوء من وسط لوسط آخر معامل انكساره أقل وبزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة θ_c فإن الضوء ينعكس انعكاسًا كليًّا داخليًّا في الوسط نفسه الذي هو فيه، ولا ينفذ إلى الوسط الآخر.

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

11-2 العدسات المحدبة والمقعرة Convex and Concave Lenses

المفردات

- العدسة
- العدسة المحدبة
- العدسة المقعرة
- معادلة العدسة الرقيقة
- الزوغان اللونيّ
- العدسة اللالونيّة

المفاهيم الرئيسة

- يرتبط كلٌّ من البعد البؤري f، وبُعد الجسم d_o، وبُعد الصورة d_i للعدسة الرقيقة بالمعادلة التالية:

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

- يُعرَّف التكبير m للصورة الناتجة عن عدسة بالطريقة نفسها التي عُرِّف بها التكبير للصورة الناتجة عن مرآة.

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

- تُكوِّن العدسة المحدبة المفردة صورة حقيقية مقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري، وتكون الصورة مصغّرة أو مكبّرة وفقًا لبعد الجسم.
- تُكوِّن العدسة المحدبة المفردة صورة وهمية معتدلة ومكبّرة عندما يوضع الجسم بين العدسة والبؤرة.
- تُكوِّن العدسة المقعرة صورًا وهمية دائمًا، وتكون معتدلة ومصغّرة.
- جميع العدسات لها زوغان لونيّ، وجميع العدسات التي لها سطوح كروية لها زوغان كرويّ.

11-3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

المفردات

- قصر النظر
- طول النظر

المفاهيم الرئيسة

- يُعدّ الفرق بين معاملي انكسار الهواء والقرنية المسؤول الرئيس عن تجميع الضوء في العين.
- تستخدم الآلات البصرية مجموعة من العدسات للحصول على صور واضحة للأجسام الصغيرة أو البعيدة.

الفصل 11

دليل الدراسة

المفاهيم الرئيسة

يمكن أن يستخدم الطلاب العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

قم بزيارة الموقع الإلكتروني:
www.obeikaneducation.com

التقويم

خريطة المفاهيم

30. انظر إلى دليل حلول المسائل.

إتقان المفاهيم

31. تكون زاوية السقوط في الزجاج أقل من زاوية الانكسار في الهواء لأنّ معامل انكسار الهواء أقل.

32. ينتقل الضوء ذو الألوان المختلفة في الهواء بالسرعة نفسها.

33. تحجب الأرض أشعة الشمس عن القمر في أثناء خسوف القمر، إلا أن الغلاف الجوي للأرض يُسبب انكسار أشعة الشمس ويغير مسارها لتسقط في اتجاه القمر. ولأنّ الطول الموجي للضوء الأزرق يتشتت أكثر، فإن الضوء الأحمر يصل إلى القمر وينعكس عنه في اتجاه الأرض.

34. يحدد أيضًا معامل انكسار المادة التي صنعت منها العدسة موقع بؤرتها.

35. يحتوي النظام البصري لآلة العرض على عدسة أخرى لقلب الصورة مجددًا فتصبح الصورة معتدلة نتيجة ذلك مقارنة بالجسم الأصلي. أو توضع الشرائح بصورة مقلوبة بالنسبة لوضعها الأصلي.

36. للعدسات جميعها زوغان لوني، مما يعني انحراف أطوال موجية مختلفة من الضوء بزوايا مختلفة قليلاً عند أطرافها، وتكون العدسة اللالونية مكونة من عدستين أو أكثر ولها معاملات انكسار بقيم مختلفة لتعمل على تقليل هذا الأثر.

37. قصر النظر

38. صورة حقيقية، مقلوبة.

39. يعمل ذلك على تحسين المشاهدة الثلاثية الأبعاد.

40. تعمل المرآة العاكسة على انحراف الصورة في اتجاه المنشور بحيث يمكن مشاهدتها قبل التقاط الصورة الفوتوجرافية. عند الضغط على مفتاح نافذة آلة التصوير فإنّ المرآة العاكسة تبتعد لتركّز العدسة الصورة على سطح الفيلم أو على كاشف تصويري آخر.

تطبيق المفاهيم

41. الزاوية في المادة A أقل، لذا يكون معامل انكسارها أكبر.

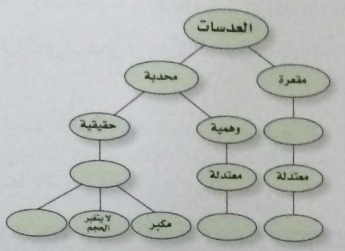
42. كلما زاد معامل انكسار المادة قلّت الزاوية الحرجة.

43. يبين هذا انكسار الضوء عند زوايا أكبر من الزاوية الحرجة؛ أي حدوث انعكاس كلي داخلي.

44. تستطيع رؤية قوس المطر عندما تأتي أشعة الشمس من خلفك بزاوية لا تزيد على 42° مع الأفقي فقط. وعندما تواجه الجنوب في نصف الكرة الشمالي فإنّ الشمس لا تكون خلفك مطلقًا عند زاوية 42° أو أقل. ولن ترى مطلقًا قوس المطر في السماء شمالاً عند وجودك في النصف الجنوبي للكرة، حيث يمكنك رؤية قوس المطر عندما تكون الشمس خلفك عند الزاوية 42°.

خريطة المفاهيم

30. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: مقلوبة، مكبرة، مصغّرة، وهميّة.



إتقان المفاهيم

31. قارن زاوية السقوط بزاوية الانكسار عندما ينتقل شعاع الضوء من الزجاج إلى الهواء بزاوية لا تساوي صفرًا؟

32. على الرغم من أنّ الضوء القادم من الشمس ينكسر في أثناء مروره في الغلاف الجويّ للأرض، إلّا أنّ الضوء لا يتحلّل إلى طيفه. فلِمَ يشير هذا بالنسبة لسرعات الألوان المختلفة للضوء المنتقلة في الهواء؟

33. فسّر لماذا يبدو القمر أحمر اللون في أثناء الخسوف؟

34. ما العامل الذي يحدّد موقع البؤرة للعدسة، غير تقوّس سطح العدسة؟

35. عند عرض صورة بوساطة آلة عرض الأفلام على شاشة فإنّ الفيلم يوضع بين F و 2F لعدسة مجمّعة. ويُنتج هذا الترتيب صورة مقلوبة، فلماذا يظهر مشهد الفيلم معتدلاً عندما يعرض الفيلم؟

36. وضّح لماذا تستخدم الآلات البصرية الدقيقة العدسات اللّالونية؟

37. ما الحالة التي يكون عندها البعد البؤري للعين قصيرًا جدًّا بحيث لا يمكنه تجميع الضوء على الشبكية؟

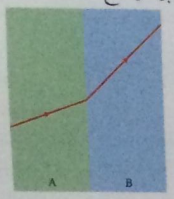
38. ما طبيعة الصورة المتكوّنة بوساطة العدسة الشيئية في المنظار الفلكي الكاسر؟

39. لماذا تعد زيادة المسافة بين العدستين الشيئيتين في المنظار أمرًا نافعًا؟

40. ما الغرض من المرآة العاكسة في آلة التصوير؟

تطبيق المفاهيم

41. أي المادتين، A، أم B، في الشكل 24-11 لها معامل انكسار أكبر؟ وضّح ذلك.



الشكل 24-11

42. كيف يتغير مقدار الزاوية الحرجة مع زيادة معامل الانكسار؟

43. **الزجاج الأمامي المتشقق** إذا نظرت خلال زجاج سيارة متشقّق فإنك ترى خطًّا فضيًّا على امتداد الشق، حيث يكون الزجاج منفصلاً عنده، وهناك هواء في الشق. ويشير هذا الخط الفضي إلى أن الضوء ينعكس عن الشق. ارسم مخطّط أشعة لتفسير سبب حدوث هذا. وما الظاهرة التي يمثّلها؟

44. **قوس المطر** لماذا لا تستطيع رؤية قوس المطر في السماء جنوبًا إذا كنت في نصف الكرة الأرضية الشمالي؟ وإذا كنت في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فإلى أي اتجاه يجب أن تنظر لترى قوس المطر؟

تقويم الفصل 11

45. يستخدم سبّاح عدسة مكبِّرة لمشاهدة جسم صغير في قاع بركة سباحة، واكتشف أنها لا تُكبِّر الجسم بشكل جيد، فسّر لماذا لا تعمل العدسة المكبّرة في الماء كما كانت تعمل في الهواء.

46. لماذا يكون هنالك زوغان لوني للضوء المار خلال عدسة، في حين لا يكون للضوء الذي ينعكس عن مرآة زوغان لوني؟

47. يكون بؤبؤ العينين صغيرًا عندما تتعرض لضوء الشمس الساطع مقارنة بالتعرض لضوء أخفت، وضّح لماذا تستطيع عيناك تجميع الضوء بشكل أفضل في الضوء الساطع؟

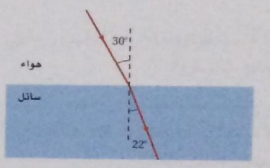
إتقان حل المسائل

11–1 انكسار الضوء

48. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائل ما، كما في **الشكل 25–11**، حيث يسقط الشعاع على السائل بزاوية 30°، وينكسر بزاوية 22°.

a. احسب معامل انكسار السائل باستخدام قانون سنل.

b. قارن معامل الانكسار الذي حسبته بالقيم الموجودة في الجدول 1–11، وماذا يمكن أن يكون هذا السائل؟



الشكل 25–11

49. يسقط شعاع ضوئي على زجاج مسطح لأحد جوانب حوض سمك، بزاوية مقدارها 40° بالنسبة للعمود المقام. فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج $n = 1.5$، فاحسب مقدار:

a. زاوية انكسار الضوء في الزجاج.

b. زاوية انكسار الضوء في الماء.

50. ارجع إلى الجدول 1–11، واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء فيه.

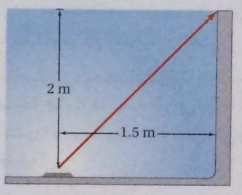
51. ارجع إلى الجدول 1–11، وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

52. حوض سمك استخدمت صفيحة سميكة من البلاستيك $n = 1.50$، في صنع حوض سمك، فإذا انعكس ضوء عن سمكة موجودة في الماء وسقط على صفيحة البلاستيك بزاوية 35°، فما مقدار الزاوية التي سيخرج فيها الضوء إلى الهواء؟

53. وضع مصدر ضوء في قاع حوض سباحة على عمق 2.0 m من سطح الماء ويبعد عن طرف الحوض 1.5 m كما في **الشكل 26–11**. وكان الحوض مملوءًا بالماء إلى قمته.

a. ما مقدار الزاوية التي يصل فيها الضوء طرف المسبح خارجًا من الماء؟

b. هل تؤدي رؤية الضوء بهذه الزاوية إلى ظهوره بشكل أعمق أم أقل عمقًا مما هو عليه في الواقع؟



الشكل 26–11

الفصل 11

التقويم

45. يكون التكبير في الماء أقل كثيرًا من التكبير في الهواء. ويكون الاختلاف معاملي انكسار الماء والزجاج أقل كثيرًا من الاختلاف بين معاملي انكسار الهواء والزجاج.

46. يعزى الزوغان اللوني للعدسات إلى تشتت الضوء (للأطوال الموجية المختلفة للضوء سرعات مختلفة في العدسة، وتنكسر بزوايا مختلفة بدرجات قليلة)، ولا يعتمد الانعكاس في المرايا على الطول الموجي.

47. تعمل العيون على تجميع الضوء الساطع بشكل أفضل لأنّ الأشعة المنكسرة بزوايا أكبر تزال بوساطة القزحية. لذا تتجمع الأشعة عند مدى زوايا صغير، ويكون الزوغان الكروي أقل.

إتقان حلّ المسائل

11–1 انكسار الضوء

48. a. 1.33

b. الماء

49. a. 25.4°

b. 28.9°

50. $1.24 \times 10^8\ m/s$

51. 24.4°

52. 49.7°

53. a. 53°

b. 1.1m، أقل عمقًا.

التقويم

54. 13.7°

11–2 العدسات المحدبة والمقعرة

55. 10.0 cm

56. 14 cm

57. a. 6.0 cm

b. $d_{i\text{الجديدة}} = 60\text{ cm}$، $h_{i\text{الجديدة}} = -12\text{ cm}$ مقلوبة

58. a. بُعد الجسم: 7.5 cm،
طول الجسم: 3.0 cm

b. موقع الصورة: 15 cm، طول الصورة: 6.0 cm، وتكون الصورة معتدلة مقارنةً بالجسم ووهمية.

11–3 تطبيقات العدسات

59. 56 cm

60. a. 66.7 cm

b. $1.67\ h_o$؛ تكون الورقة المنسوخة مكبرة ومقلوبة.

61. a. 6.0×10^{1} mm

b. – 5.0

c. – 20.0 mm

d. -1.0×10^{1}

54. إذا كانت سرعة الضوء في بلاستيك شفاف 1.90×10^{8} m/s. وسقط شعاع ضوء على البلاستيك بزاوية 22°، فما مقدار الزاوية التي ينكسر بها الشعاع؟

11–2 العدسات المحدبة والمقعرة

55. إذا وضع جسم على بُعد 10 cm من عدسة مجمّعة بعدها البؤري 5.0 cm، فعلى أيّ بُعد من العدسة تتكوَّن الصورة؟

56. إذا أردنا استخدام عدسة محدبة لتكوّن صورة حجمها يساوي 0.75 من حجم الجسم، وأن تكون الصورة على بُعد 24 cm من الجانب الآخر للعدسة، فما البعد البؤري للعدسة الذي يحقق ذلك؟

57. وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 15 cm أمام عدسة مجمّعة، فتكوّنت له صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة.

a. ما البعد البؤري للعدسة؟

b. إذا استُبدِلت العدسة الأصلية، ووُضِع مكانها عدسة أخرى لها ضعفا البعد البؤري، فحدّد موقع الصورة وطولها واتجاهها.

58. وضع جسم بالقرب من عدسة مفرّقة بعدها البؤري 15 cm، فتكوّنت له صورة طولها 2.0 cm على بُعد 5.0 cm من العدسة.

a. ما بُعد الجسم عن العدسة؟ وما طوله؟

b. إذا استُبدِلت العدسة المفرِّقة، ووُضِع مكانها عدسة مجمّعة لها البعد البؤري نفسه فما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟ وهل هي وهمية أم حقيقية؟

11–3 تطبيقات العدسات

59. النظارات يجب أن يكون الكتاب على بُعد 25 cm من العين لقراءته بوضوح. فإذا كان هناك فتاة تعاني من طول النظر، وتحتاج أن يكون الكتاب على بُعد 45 cm من عينيها لقراءته بوضوح، فما البعد البؤري اللازم لعدستي نظارتها؟

60. آلة نسخ البعد البؤري للعدسة المحدبة الخاصة بآلة نسخ يساوي 25.0 cm. فإذا وضعت رسالة على بُعد 40.0 cm من العدسة لنسخها

a. فعلى أي بُعد من العدسة يجب أن تكون ورقة النسخ؟

b. ما تكبير ورقة النسخ؟

61. الميكروسكوب (المجهر) وضعت شريحة من خلايا البصل على بُعد 12 mm من عدسة المجهر الشيئية، فإذا كان البعد البؤري لهذه العدسة 10 mm:

a. فما بُعد الصورة المتكوّنة عن العدسة؟

b. ما تكبير هذه الصورة؟

c. تتكوّن الصورة الحقيقية على بُعد 10 mm تحت العدسة العينية. فإذا كان بعدها البؤري 20.0 mm فما موقع الصورة النهائية؟

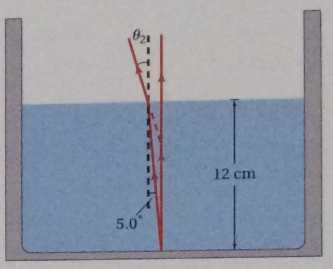
d. ما التكبير النهائي لهذا النظام المركّب؟

مراجعة عامة

62. العمق الظاهري ينعكس ضوء الشمس من قاع حوض سمك ويتشتر في جميع الاتجاهات. ويوضّح الشكل 27–11 شعاعين من هذه الأشعة المنعكسة من نقطة في قاع الحوض ينتقلان إلى السطح، فتنكسر الأشعة في الهواء كما هو مبين. إنّ امتداد الخط الأحمر المتقطع إلى الخلف، من شعاع الضوء المنكسر هو خط النظر الذي يتقاطع مع الشعاع الرأسي عند الموقع الذي سيرى فيه المشاهد صورة قاع الحوض.

a. أوجد زاوية انكسار الشعاع في الهواء.

b. على أيّ عمق سيبدو قاع الحوض عندما تنظر إلى الماء؟ اقسم العمق الظاهري على العمق الحقيقي وقارن هذه النسبة بمعامل الانكسار.



الشكل 27–11

63. إذا كانت الزاوية الحرجة لقالب زجاجي 45° فما معامل انكساره؟

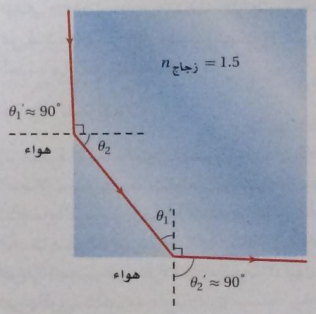
64. أوجد سرعة الضوء في حجر ثالث أوكسيد الأنتيموني (antimony trioxide)، إذا كان معامل انكساره 2.35.

65. وضع جسم طوله 3 cm على بُعد 20 cm أمام عدسة مجمّعة. فتكوّنت له صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة. ما البعد البؤري للعدسة؟

66. اشتق العلاقة $n = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$ من الصيغة العامة لقانون سنل في الانكسار $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$. واذكر الافتراضات والمحدّدات.

67. الفلك كم دقيقة إضافية يستغرق وصول الضوء من الشمس إلى الأرض إذا امتلأ الفضاء بينهما بالماء بدلاً من الفراغ؟ علمًا بأن بُعد الشمس عن الأرض 1.5×10^8 km.

68. من غير الممكن الرؤية من خلال الجوانب المتجاورة لقوالب مربعة الشكل من زجاج معامل انكساره 1.5. حيث يؤثّر الجانب المجاور للجانب الذي يَنظر من خلاله مراقبٌ كأنّه مرآة. ويمثل الشكل 28–11 الحالة المحدّدة لجانب مجاور لا يؤثر كأنه مرآة. استخدم معلوماتك في الهندسة، والزوايا الحرجة، لتثبت أنّ هيئة هذا الشعاع لا يمكن تحقيقها عندما تكون $n_{\text{زجاج}} = 1.5$.



الشكل 28–11

الفصل 11

التقويم

مراجعة عامة

62. a. 6.7°

b. تتلاقى الأشعة المنكسرة على عمق 8.9 cm أسفل سطح الماء، وهذا هو العمق الظاهري. وبقسمة العمق الظاهري على العمق الحقيقي نحصل على:

$$\frac{\text{العمق الظاهري}}{\text{العمق الحقيقي}} = \frac{8.9\text{ cm}}{12\text{ cm}} = 0.74$$

وبقسمة معاملي انكسار الوسطين نحصل على:

$$\frac{n_{\text{الهواء}}}{n_{\text{الماء}}} = \frac{1}{1.33} = 0.75$$

أي أن:

$$\frac{n_{\text{الهواء}}}{n_{\text{الماء}}} = \frac{\text{العمق الظاهري}}{\text{العمق الحقيقي}}$$

63. 1.41

64. 1.28×10^8 m/s

65. 7 cm

66. يجب أن تكون زاوية السقوط في الهواء، فإذا اعتبرنا أنّ المادة الأولى هي الهواء فعندها تكون $n_1 = 1.0$، دع $n_2 = n$، لذا، فإنّ:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_1 = n \sin\theta_2$$

$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

67. 2.7 دقيقة

68. يدخل شعاع الضوء الزجاج بزاوية θ_1 وينكسر بالزاوية θ_2

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{n_a \sin\theta_a}{-n_g}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.00)(\sin 90°)}{1.5}\right)$$

$$= 42°$$

لذا، فإنّ $\theta'_1 = 48°$، ولكن الزاوية الحرجة للزجاج هي:

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_a}{n_g}\right) = \sin^{-1}(1.00/1.5) = 42°$$

وحيث أنّ $\theta'_1 > \theta_c$، فإنّ الضوء ينعكس داخل الزجاج، ولا يمكن للمرء رؤية الخارج من الجانب المجاور.

التفكير الناقد

التقويم

69. للضوء الأحمر: 24.173°؛ للضوء الأزرق: 23.543°، الفرق = 0.630°

70. الزاوية الحرجة 49.8° وعند المقارنة فإنّ الزاوية الحرجة للزجاج الذي معامل انكساره 1.54، تساوي 40.5° والزاوية الحرجة الكبيرة تعني أنّه سيحدث انعكاس كلي داخلي لكمية أقل من الأشعة في قلب الجليد مقارنة بتلك التي سيحدث انعكاس كلي داخلي في قلب الزجاج؛ لذا فإنّها لن تكون قادرة على نقل كمية ضوء أكبر. ومن ثم فإنّ الألياف البصرية المصنوعة من الزجاج ستعمل بشكل أفضل.

71. ستصبح خافتة لأنّ عددًا أقل من الأشعة سيتجمّع، ولكن سترى صورة كاملة.

الكتابة في الفيزياء

72. ستختلف الإجابات.

73. ستختلف الإجابات.

مراجعة تراكمية

74. إنّ حدّة صوت منبه السيارة الذي يسمعه الشخص سيقل عندما تقل سرعة السيارة.

75. a. انظر إلى دليل حلول المسائل

b. موقع الصورة: 10.5 cm-،
طول الصورة: 5.25 cm

التفكير الناقد

69. إدراك العلاقة المكانية ينتقل ضوء أبيض في هواء معامل انكساره 1.0003، ويدخل شريحة زجاجية بزاوية سقوط 45°. فإذا كان معامل انكسار الزجاج الصواني الكثيف يساوي 1.7708 للضوء الأزرق، ويساوي 1.7273 للضوء الأحمر، فما مقدار زاوية الانكسار (التشتت) التي ينحصر فيها الطيف المرئي؟ علمًا بأن الطول الموجي للضوء الأزرق 435.8 nm، والطول الموجي للضوء الأحمر 643.8 nm.

70. قارن أوجد الزاوية الحرجة للجليد الذي معامل انكساره 1.31. في المناطق الباردة جدًّا، هل تكون أسلاك الألياف الضوئية المصنوعة من الجليد أفضل من تلك المصنوعة من الزجاج لحفظ الضوء داخل السلك؟ وضح ذلك.

71. التفكير الناقد تستخدم عدسة لعرض صورة جسم على شاشة. افترض أنك غطيت النصف الأيمن من العدسة فما الذي يحدث للصورة؟

الكتابة في الفيزياء

72. إنّ عملية تكيّف العين - وهي عملية انقباض العضلات المحيطة بعدسة العين أو انبساطها لرؤية الأجسام القريبة أو البعيدة - تختلف من كائن لآخر. ابحث هذه الظاهرة في حيوانات مختلفة، وأعدّ تقريرًا للصف تبين من خلاله كيفية التكيّف في عيونها لرؤية الأشياء.

73. ابحث في نظام العدسات المستخدم في الآلات البصرية، ومنها جهاز عرض الشفافيات أو آلات التصوير الخاصة أو التلسكوب، وحضر عرضًا تصويريًّا للصف تبين من خلاله كيف تكوّن هذه الآلات الصور.

مراجعة تراكمية

74. تطلق سيارة صوت منبّهها عندما تقترب من شخص يمشي على ممر المشاة. ما الذي يسمعه الشخص عندما توقف السيارة لتسمح للشخص بعبور الشارع؟

75. مرآة التجميل وضعت شمعة طولها 3.0 cm على بُعد 6.0 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 14.0 cm. أوجد موقع صورة الشمعة وطولها بوساطة ما يلي:

a. رسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم.

b. معادلتي المرايا والتكبير.

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. وُجِّه شعاع من مصباح يدوي على بركة سباحة في الظلام بزاوية 46° بالنسبة للعمود المقام على سطح الماء. ما مقدار زاوية انكسار الشعاع في الماء؟ (معامل انكسار الماء 1.33)

(A) 18° (C) 33° (B) 30° (D) 44°

2. إذا كانت سرعة الضوء في الألماس 1.24×10^8 m/s فما معامل انكسار الألماس؟

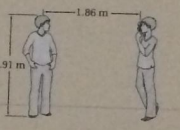
(A) 0.0422 (C) 1.24 (B) 0.413 (D) 2.42

3. أيّ مما يأتي لا يؤثر في تشكيل قوس المطر؟

(A) الحيود (C) الانعكاس (B) التشتّت (D) الانكسار

4. التقط أحمد صورة لأخيه أسامة كما في الشكل مستخدمة كاميرا بعدسة محدبة بعدها البؤري 0.0470 m حدّد موضع صورة أسامة.

(A) 1.86 cm (C) 4.82 cm (B) 4.70 cm (D) 20.7 cm

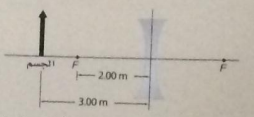


5. أيّ مما يأتي لا يؤثر في تشكيل السراب؟

(A) تسخين الهواء القريب من الأرض
(B) موجات هيجنز
(C) الانعكاس
(D) الانكسار

6. ما بُعد الصورة للحالة الموضحة في الشكل؟

(A) -6.00 m (C) 0.167 m (B) -1.20 m (D) 0.833 m



7. ما الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي، عندما ينتقل الضوء من زجاج معامل انكساره 1.52 إلى الماء الذي معامل انكساره 1.33؟

(A) 29.0° (C) 48.8° (B) 41.2° (D) 61.0°

8. ماذا يحدث للصورة المتكوّنة من عدسة محدبة عندما يُغطّى نصفها؟

(A) تختفي نصف الصورة (C) تصبح الصورة ضبابية
(B) تعتم الصورة (D) تنعكس الصورة

الأسئلة الممتدة

9. إذا كانت الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي عند الحدّ الفاصل بين الألماس والهواء 24.4°، فما زاوية الانكسار في الهواء إذا كانت زاوية سقوط الشعاع على الحد الفاصل 20°؟

10. يتكوّن لجسم يبعد 6.98 cm عن عدسةٍ صورةٌ تبعد 2.95 cm عن العدسة في الجانب نفسه. حدّد نوع العدسة، ووضّح كيف عرفت ذلك؟

√ إرشاد

استخدم الوقت الذي يلزمك

لن تحصل على نقاط إضافية إذا أنهيت الاختبار مبكرًا. لذا اعمل ببطء وبحذر؛ تجنّبًا للوقوع في أخطاء عدم الانتباه الذي يمكن أن يحدث عندما تريد إنهاء الاختبار بسرعة.

أسئلة اختيار من متعدد

1. C
2. D
3. A
4. C
5. D
6. B
7. D
8. B

الأسئلة الممتدة

9. 55.9°

10. $m = -(-2.95\text{ cm})/(6.98\text{ cm}) = 0.423$؛ وتكوّن صورة مصغرة للجسم على بعد سالب مما يعني أنّ العدسة مقعرة.

اختبار مقنن الفصل 11-

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة:

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا شاملاً لمواضيع الفيزياء التي درسها وقد تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا لمواضيع الفيزياء التي درسها، الاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، ولكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا فقط لمواضيع الفيزياء، وقد يكون قد استخدم الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحل، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يعوزه استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا لمواضيع الفيزياء، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

الفصل 12 مخطط الفصل

الأهداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
12–1 التداخل 1. **تفسر** تكون نمط تداخل بإسقاط الضوء على شقين. 2. **تحسب** الأطوال الموجية للضوء من أنماط التداخل. 3. **تطبّق** النمذجة على تداخل الأغشية الرقيقة.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** قرص مدمج، وجهاز عرض ضوئي أو جهاز عرض الشرائح، مرشحات ضوئية. **تجربة إضافيّة** شبكة سلكية، ووعاء قليل العمق وواسع يحوي محلول فقاعات الصابون. **عرض المعلم** **عرض سريع** حوض الموجات. **عرض سريع** عدسة محدبة ذات بعد بؤري كبير، ولوح زجاج سميك ومستوي، وشريحة مجهر مزودة بغطاء زجاجي.
12–2 الحيود 4. **توضّح** كيف تتشكّل أنماط الحيود بوساطة محزوزات الحيود. 5. **تصف** كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف. 6. **تناقش** كيف يحد الحيود من المقدرة على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا بوساطة عدسة.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافية** محزوز حيود هولوجرافي (من 2 cm × 2 cm لغاية 10 cm × 10 cm)، وجهاز عرض الشفافيات، ومرشحات ضوء ملونة. **تجربة** مصباح متوهج وشفاف ذو فتيلة مستقيمة، ومحزوز حيود، وأقلام ملونة. **مختبر الفيزياء** مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر لاختباره، وشق مزدوج، ومؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر معلوم الطول الموجي، ومشبك غسيل لحمل مؤشر الليزر، وكرة من الصلصال لتثبيت لوحة الشق المزدوج، ومسطرة. **عرض المعلم** **عرض سريع** مؤشر ليزر، ومحزوز فيه شق قابل للتعديل أو بطاقتا فهرسة. **عرض سريع** مصدر ضوء أبيض مع شق، ومرشح أزرق، ومحزوز حيود.

طرائق تدريس متنوعة

م1 أنشطة مناسبة للطلاب ذوي صعوبات التعلّم.	م2 أنشطة مناسبة للطلاب ذوي المستوى المتوسط.	م3 أنشطة مناسبة للطلاب المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثاني عشر

الفصل 12

التداخل والحيود

نظرة عامة إلى الفصل

يستكشف هذا الفصل ظاهرتي تداخل وحيود الشق المفرد. حيث يحدث التداخل عندما تتراكب مقدمتا موجتين مترابطتين أو أكثر؛ فتتكون مناطق مضيئة وأخرى معتمة. أما حيود الشق المفرد فيحدث عندما يسقط ضوء على شق مفرد؛ بحيث تتداخل مويجات هويجنز للضوء الساقط تداخلاً بناءً وهدامًا؛ فتتولد مناطق مضيئة وأخرى معتمة.

فكّر

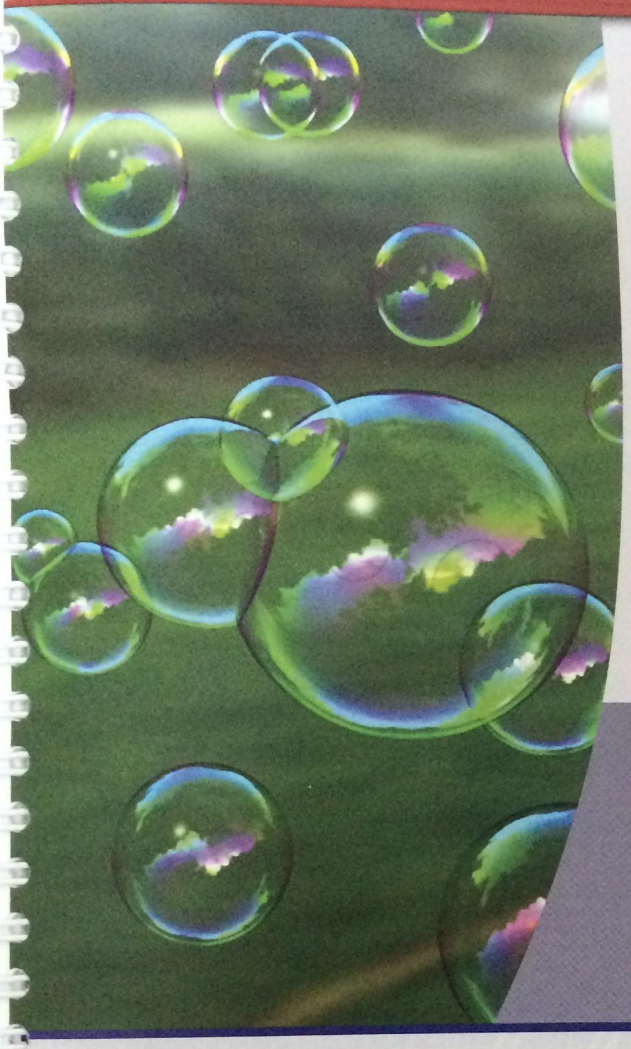
عندما يُضاء سطح غشاء رقيق، كغشاء فقاعة صابون، فإن جزءًا من موجات الضوء ينعكس عن السطح الخارجي للغشاء، بينما ينفذ الجزء الآخر إلى داخل الغشاء، فينعكس عن السطح المقابل لذلك الغشاء. تتداخل هذه الموجات المنعكسة مسببة تداخلاً بناءً لبعض الأطوال الموجية، بينما تسبب تداخلاً هدامًا لبعضها الآخر، وذلك وفق سمك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

المفردات الرئيسة

- الضوء غير المترابط
- الضوء المترابط
- أهداب التداخل
- الضوء الأحادي اللون
- التداخل في الأغشية الرقيقة
- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معيار ريليه

الفصل 12

التداخل والحيود
Interference and Diffraction



بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- 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؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

الهدف ملاحظة أثر حيود الضوء.

المواد والأدوات قرص مدمج، وجهاز عرض ضوئي أو جهاز عرض الشرائح، ومرشحات ضوئية.

استراتيجيات التدريس

- يجب أن يكون عرض الحزمة الضوئية المستخدمة كافيًا للحصول على الحلقات الملونة، وإذا لم يتوافر جهاز العرض فيمكن استخدام مصدر ضوئي لذلك.

النتائج المتوقعة تتشكل الحلقات الملونة على الشاشة.

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، 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 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 مُمكنة تُظهر حزمًا من الألوان.

12–1 التداخل Interference

الأهداف

- تفسر تكون نمط تداخل بإسقاط الضوء على شقّين.
- تحسب الأطوال الموجية للضوء من أنماط التداخل.
- تطبق النمذجة على التداخل في الأغشية الرقيقة.

المفردات

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

تعلمت إن الضوء يسلك سلوك الموجات أحيانًا؛ إذ يمكن للضوء أن يحيد عندما يمرّ بحافة، كما تفعل موجات الماء والموجات الصوتية تمامًا. وتعلمت أيضًا أنه يمكن تفسير كل من ظاهرتي الانعكاس والانكسار بناءً على النموذج الموجي للضوء، واللتين يفسرهما أيضًا نموذج الشعاع الضوئي. ما الذي دفع العلماء للاعتقاد بأن للضوء خصائص موجية؟ لقد اكتشف العلماء أن للضوء سلوكات ترتبط بالطبيعة الموجية نفسها؛ فالضوء يحيد ويتداخل.

فعندما تنظر إلى الأجسام التي أُضيئت بمصدر ضوء أبيض – مثل مصباح ضوئي قريب – فإنك ترى **ضوءًا غير مترابط**؛ وهو ضوء ذو مقدمات موجية غير متزامنة. ويمكن مشاهدة تأثير عدم الترابط في الموجات عند سقوط مطر بغزارة على بركة سباحة؛ حيث يكون سطح الماء مائجًا ومتقلّبًا، 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.

التحليل 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 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 يُكوِّن محزوز الانعكاس الدائري نمط حيود، وسوف تناقش محزوزات الحيود لاحقًا.

12-1 التداخل

1. التركيز

نشاط محفز

تداخل ناتج عن مصدرين ضوئيين مترابطين

باستخدام مصدر ذبذبات صوتي (مولد موجة جيبية)، ثبت مصدري صوت في واجهة الغرفة بحيث يبعد أحدهما عن الآخر مسافة 34 cm. اضبط مصدر الذبذبات على تردد مقداره 1 kHz ثم شغله. اطلب إلى الطلاب رفع أيديهم إذا سمعوا الصوت بوضوح. إذا لم تكن الجدران عاكسة بمقدار كبير فإن أنماط التداخل الهدّام ستكون واضحة بالنسبة لمجموعة الطلاب الذين يرفعون أيديهم والذين لا يرفعون. كرّر النشاط بإجراء تغيرات قليلة في التردد أو المسافة الفاصلة بين مصدري الصوت. كما يمكنك أيضًا السماح للطلاب بالتجول في الغرفة وسماع نمط التداخل.

م ع سمعي

الربط مع المعرفة السابقة

الموجات، وعلم الهندسة، وعلم المثلثات

سيستخدم سلوك الموجات التي تم تقديمها سابقًا في تفسير أنماط التداخل والحيود. أما علم الهندسة وعلم المثلثات فسيستخدمان في تحليل مثل هذه الأنماط رياضيًّا.

2. التدريس

عرض سريع

الترابط وعدم الترابط

الزمن المقدر 15 دقيقة

المواد والأدوات حوض الموجات

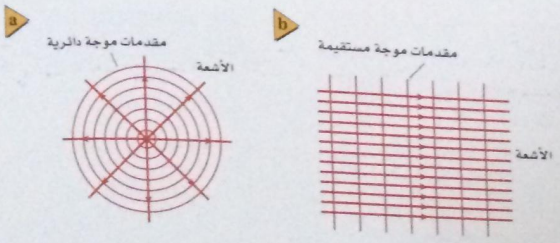
الخطوات

1. صف كيفية تكوّن الموجات بوساطة مصدر ضوئي مفرد.
2. صف المصادر المترابطة من خلال إضافة مصدر آخر يتذبذب بتردد المصدر الأول نفسه.
3. صف المصادر غير المترابطة من خلال إضافة مصادر إضافية تتذبذب بترددات مختلفة عن تذبذب المصدر الأول.

في الخطوة 2 سيشاهد كل من التداخل الهدّام والتداخل البنّاء، وفي الخطوة 3 سيحدث اضطراب في الماء عند التنفيذ.

استخدام النماذج

تجربة الشق المزدوج ارسم موجة جيبية على ورقة مقواة أو على ورقة كرتون طولها 2 m تقريبًا. وتأكد أن الموجة تتكوّن من أطوال موجية كاملة. قص الورقة المقواة على طول الموجة حتى يصبح لديك قطعتان من الورق تمثلان موجتين، ثم ألصق طرف كلتا الموجتين الورقيتين الناتجتين على السبورة (يبقى الطرفان الآخران لهما حرَّين) على أن يبعد أحدهما عن الآخر مسافة قصيرة، ويكون جزء الموجة لكل منهما إلى أعلى والموجتان في الطور نفسه. اسحب نهايتي الموجتين الورقيتين إحداهما في اتجاه الأخرى، إلى أن تتصل نهايتاهما معًا، وتكون الموجتان في الطور نفسه. ثم اسحب نهاية إحدى الموجتين الورقيتين إلى أسفل الموجة الأخرى حتى تصبحا في طورين مختلفين. إن مواقع التلاقي لهما تشكل نمط الأهداب المعتمة والمضيئة.



الشكل 1–12 تتولد مقدمات موجات الضوء المنتظمة من المصادر النقطية (a)، وأشعة الليزرات (b).

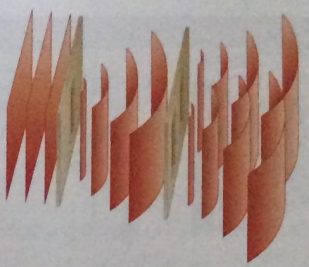
تداخل الضوء المترابط (المتزامن)
Interference of Coherent Light

إن نقيض الضوء غير المترابط هو **الضوء المترابط**؛ وهو الضوء الناتج عن تراكب ضوأيْ مصدرين أو أكثر، مُشكّلًا مقدمات موجات منتظمة. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة من مصدر نقطي، كما يتضح من **الشكل 1a–12**، كما يمكن توليدها أيضًا من مصادر نقطية عدّة عندما تتزامن هذه المصادر النقطية جميعها، كما في أشعة الليزر، وكما هو موضح في **الشكل 1b–12**. 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 شقّين. فقد وجه 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.

الشكل 2–12 أنماط تداخل الشق المزدوج للضوء الأزرق (a)، وللضوء الأحمر (b)، وللضوء الأبيض (c).

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–12 و 2b–12**. وتتناقص شدة إضاءة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي. ويمكنك ملاحظتها بسهولة في **الشكل 2a–12**. وتوجد بين الأهداب المضيئة مساحات معتمة (أهداب معتمة)؛ بسبب حدوث تداخل هدّام. وتعتمد مواقع حزم التداخل البناء والهدّام على 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–12**. وتتداخل الأطوال الموجية جميعها تداخلًا

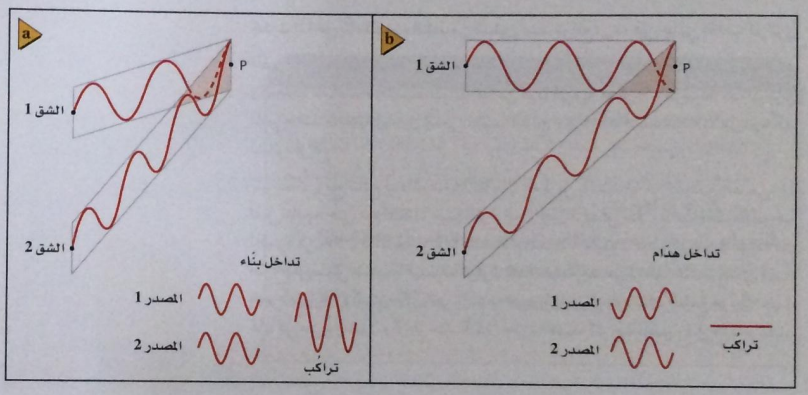


■ **الشكل 3–12** مصدر الضوء المتوافق الذي يتكوّن بوساطة الشقّ الأحادي الضيّق يُنتج موجات متوافقة أسطوانية الشكل تقريبًا، تنتقل إلى شقّين في الحاجز الثاني. وتغادر موجتان متوافقتان أسطوانيتا الشكل تقريبًا الشقّ المزدوج.

بنّاءً في الهدب المركزي المضيء؛ لذا يكون هذا الهدب أبيض دائمًا. وتنتج مواقع الأهداب الأخرى الملوّنة عن تراكب أهداب التداخل التي تحدث، حيث تداخل 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 بوساطة الشقّ، فتولّدت مقدمات موجات أسطوانية تقريبًا بسبب حيودها، كما في **الشكل 3–12**. 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 3–12**، تداخلًا بنّاءً أو هدّامًا؛ اعتمادًا على العلاقة بين طوريهما، كما موضّح في **الشكل 4–12**.

■ **الشكل 4–12** 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).



المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

طبيعة موجات الضوء عند مشاهدة أهداب تداخل الشق المزدوج، قد يعتقد بعض الطلاب أن الأهداب المعتمة شبيهة بالظلال. بيّن لهم أن الظلال معتمة لعدم سقوط ضوء على تلك المساحات المعتمة. ووضح للطلاب أن الضوء موجود في أهداب التداخل المعتمة. ثم استنبط من الطلاب الفروقات بين الظل والهدب المعتم.

استخدام التشابه

تداخل الزبدية يمثل الجزء الداخلي للزبدية قاع موجة، أما الجزء الخارجي للزبدية المقلوبة فيمثل قمة الموجة، عندما توضع زبدية داخل أخرى وهما معتدلتان أو مقلوبتان فإنهما تحافظان على شكل الزبدية، مثلما يحافظ قاعا أو قمتا موجتين ضوئيتين عند تراكبهما على القاع أو القمة. وعند ملء الزبدية إلى حافتها فإن سطحها العلوي يصبح مستويًا وهذا يشبه تراكب قمة موجة مع قاع موجة. يستطيع الطلاب التفكير فيها كأن قمة موجة أفرغت محتوياتها في قاع الموجة، وملأتها حتى استوى سطحها العلوي، ولم يعد لها شكل الموجة.

طرائق تدريس متنوعة

نشاط

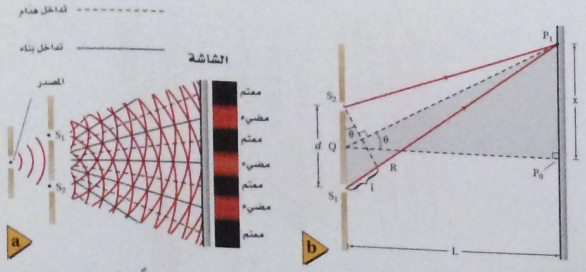
إعاقة بصرية يمكن للطلاب أن يشعروا بانحناء موجات الورق المستعرضة عند المشاركة في تنفيذ نموذج الشق المزدوج للموجة الورقية في الصفحة السابقة، ليدركوا كيف أن موجتين في تجربة الشق المزدوج يمكن أن تكونا في الطور نفسه، أو في طورين مختلفين عند مواقع مختلفة، حيث تتقاطع الموجات. رتّب الموجتين الورقيتين بحيث تكونان في الطور نفسه (القمة فوق القمة)، ثم اسأل الطلاب: ماذا يحدث إذا جمع الطولان الموجيان؟ ثم رتب الموجتين الورقيتين بحيث تكونان مختلفتين في الطور (القمة فوق القاع)، ثم اسأل الطلاب ماذا يحدث إذا جمع الطولان الموجيان؟ م1 **حركي**

استخدام الشكل 5–12

تمثّل الأقواس قمم الموجات النافذة من الشقين، وتقع القيعان عند منتصف المسافات بين تلك القمم. تتراكب الموجات النافذة من الشقين؛ قمة إلى قمة، أو قاع إلى قاع على امتداد الخطوط المستقيمة المتصلة (غير المتقطعة)؛ حيث تتداخل تداخلاً بناءً محدثةً شدة إضاءة عالية. أما على امتداد الخطوط المتقطعة فتتراكب الموجات النافذة من الشقين؛ قمة إلى قاع، فتتداخل تداخلاً هدّامًا محدثةً شدة إضاءة منخفضة. ولا تبقى مقدمات الموجات ثابتة في أماكنها، وإنما تتحرك من الشقين في اتجاه الشاشة، في حين تبقى المناطق ذات الإضاءة العالية والمنخفضة ثابتة حتى عندما تستمر مقدمات الموجات في العبور من خلالها في اتجاه الشاشة. م2 **بصري - مكاني**

التفكير الناقد

الأهداب ذات الرتب الأعلى إن معادلة الطول الموجي المشتقة من تجربة الشق المزدوج تقدّم نموذجًا مناسبًا لحساب المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء الذي يليه. اسأل الطلاب الأسئلة الآتية: كيف يمكن توسيع هذا النموذج لإيجاد المسافة بين الهدب المضيء الأول والهدب المضيء الثاني؟ وهل من الممكن توسيع هذا النموذج ليشمل أي أهداب إضافية؟ يتكون الهدب المضيء الثاني عندما تكون $S_1R = 2\lambda$. وباستخدام علم الهندسة نجد أن طول المسافة P_0P_2 يساوي ضعف طول المسافة P_0P_1. لذلك فإن الفرق بين موقعي الهدبين الأول والثاني مرة أخرى يساوي x. وبذلك؛ يستطيع الطالب مشاهدة أن الأهداب الإضافية تفصلها مسافات متساوية، بشرط بقاء الزاوية صغيرة. م3



الشكل 5–12 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 10^5 مرة تقريبًا من المسافة الفاصلة بين الشقّين d. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قياس الطول الموجي للضوء يوضّح **الشكل 5a–12** منظرًا علويًّا لمقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريبا وتجربة شقّي يونج، حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بنّاءة وهدّامة لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة. ويوضّح **الشكل 5b–12** 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.

يمكن ايجاد الطول الموجي باستخدام المعادلة التالية:

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 $x_m = \frac{m\lambda L}{d}$؛ حيث $m = 0, 1, 2...$، 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.

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 حلاًّ 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 - اسمه جين آرجو - وجودَ تلك البقعة تجريبيًّا؛ حيث كان كل من بويسون وآرجو متشكّكين حول الطبيعة الموجية للضوء قبل هذا الإثبات.

نشاط

من معلم لآخر

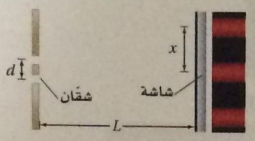
استكشاف أوجه الشبه والاختلاف بين الأنماط أحضر مصدري ليزر مختلفين في الطول الموجي، وضع أمام كلٍّ منها حاجزًا فيه شقان، على أن تكون المسافتان بين كل من الشقين مختلفتين. وجه النمطين المتكونين على الشاشة واضبطهما بحيث يكون أحدهما فوق الآخر. تلاحظ أنه كلما كانت المسافة بين الشاشة والشقين أكبر زادت سهولة مشاهدة النمطين. استخدم ذلك لتكتشف كيف تؤثر متغيرات تجربة الشق المزدوج في النمط المتكون.

مثـــال 1

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

1 تحليل المسألة ورسمها

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



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

2 إيجاد الكمية المجهولة

$\lambda = xd/L$

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

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

= 668 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.

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؟
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؟

مثال صفي

سؤال عند استخدام مصدر ضوئي مختلف في المثال 1 فإن المسافة الفاصلة بين الأهداب تقل إلى 19.5 mm؛ فما مقدار الطول الموجي للمصدر الجديد؟

الجواب

$\lambda = xd/L$

$= \frac{(19.5\times10^{-3}\text{ m})(1.90\times10^{-5}\text{ m})}{(0.600\text{ m})}$

$= 618$ nm

مسائل تدريبية

1. 1.88×10^{-2} m أو 18.8 mm
2. 9.66×10^{-6} m أو 9.66 μm

تعزيز المفهوم

نشاط أثر زيادة المسافة الفاصلة بين الشقين يمكنك توضيح أثر المسافة الفاصلة بين الشقين في تداخل الشق المزدوج باستخدام شفافيتين تُعرضان على جهاز عرض الشفافيات، حيث يمكنك رسم حلقات شفافة ومعتمة متعاقبة ومتحدة في المركز. وتعمل هذه المجموعة جيدًا عندما تكون الحلقات المعتمة أكثر ضيقًا من الحلقات الشفافة. ضع الشفافيتين على جهاز العرض، واستخدم ورقة لتغطية الأنصاف السفلية للدوائر في كلتا الشفافيتين، ثم أبعد ببطء الشفافيتين إحداهما عن الأخرى؛ لتمثيل عملية زيادة المسافة الفاصلة بين الشقين. واطلب إلى الطلاب مناقشة كيف تتغير الأنماط المضيئة والمعتمة. م1 بصري - مكاني

نشاط تحفيز

الطول الموجي والمسافة الفاصلة بين الشقين كيف يقاس الطول الموجي بدقة باستخدام شقين؟ و هل يمكن قياسه إذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقين مجهولة؟ اقترح على الطلاب إجراء تجربة الشق المزدوج باستخدام مصدر ليزر HeNe ($\lambda = 632.8$ nm) لإيجاد المسافة الفاصلة بين الشقين، ثم استخدم التركيب نفسه لتحديد الطول الموجي للضوء الصادر عن مؤشر الليزر. أشر إلى أنه إذا لم يستطع الطالب قياس المسافة الفاصلة بين الأهداب المتجاورة، ولكنه استطاع قياس المسافة بين الهدب العاشر على أحد الجوانب والهدب العاشر على الجانب الآخر على سبيل المثال فعندها يمكنه تحقيق دقة عالية. اسأل الطلاب ما الذي يحدد دقة القياس؟ إن القدرة على إيجاد مركز كل هدب وبدء القياس منه ستحدد الدقة. م3 حركي

تجربة إضافية

غشاء الصابون

الهدف مشاهدة التداخل في الغشاء الرقيق الذي يسبِّبه غشاء الصابون.

المواد والأدوات إطار سلكي، ووعاء قليل العمق وواسع يحوي محلول فقاعات الصابون.

الخطوات

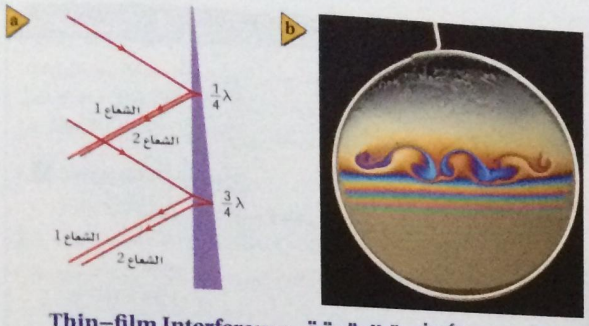
تحذير: خطر الانزلاق: جفِّف ما ينسكب على الأرض من المحلول.

1. اغمر الإطار السلكي في محلول فقاعات الصابون.
2. أمسك الإطار السلكي رأسيًّا. ماذا تشاهد؟ ستشاهد أهداب ملوّنة على غشاء الصابون.
3. استمر في الإمساك بالإطار السلكي رأسيًّا إلى أن يتحطم الغشاء. ماذا يحدث؟ تتحرك الأهداب الملونة إلى أسفل. ويتحطم الغشاء عند اللحظة التي يبدو الجزء العلوي منه أسود.

التقويم هل ترى الأهداب الملونة عند النظر من أي زاوية؟ استخدم الإطار السلكي الدائري لعمل فقاعات صابون في الهواء، وانظر إلى الأهداب الملونة التي تظهر على سطوح الفقاعات. ماذا ترى؟ كل طالب يشاهد الفقاعة يكون قادرًا على رؤية الأهداب الملونة على الجانب الأقرب له فقط.

تطبيق الفيزياء

يُحدث الانعكاس وهجًا يمنع مشاهدي التلفاز من رؤية عيون مقدم النشرة الإخبارية إذا كان يضع على عينيه نظارات من النوع الذي لا يحوي غشاء غير عاكس. تقلل النظارات غير العاكسة من انعكاس أضواء الأستوديو عن عدسات النظارة وكاميرات التلفاز.



الشكل 6–12 يحدث تقوية لكل طول موجي عندما يكون سُمك غشاء الصابون (a) $5\lambda/4, 3\lambda/4, \lambda/4$. 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 بوساطة منشور، أو عن امتصاص الألوان بوساطة 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 حُمِّل غشاء الصابون رأسيًّا ـ كما في **الشكل 6–12** 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 معزّزا (شدة إضاءته أكبر)؟ يحدث هذا عندما يكون للموجتين المنعكستين الطّور نفسه بالنسبة لطول موجي محدّد. فإذا كان سمك غشاء الصابون في **الشكل 6–12** 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 التراكب. 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 يكون الشعاعان 1 و 2 متّفقين 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 لكي يمنع عكس الأطوال الموجية للضوء التي تكون حساسية العين البشرية لها عالية جدًا، ممّا يمنع وهج الضوء المنعكس.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

الأغشية الرقيقة كم يجب أن يكون سمك الغشاء الرقيق؟ هناك سببان لعدم رؤية التداخل في الأغشية الرقيقة في زجاج النافذة. لحدوث هذه الظاهرة يجب أن يتداخل الضوء المنعكس عن السطح الخلفي للنافذة مع الضوء المنعكس عن سطحها الأمامي، ولأن سمك زجاج النافذة يتراوح بين 2 mm و 3 mm فإنه أكثر سمكًا عدة مرات من الغشاء الرقيق. إضافة إلى أن سطحي الغشاء الرقيق متوازيان نسبيًّا ومسطحان أيضًا، مقارنة بسطحي زجاج النافذة. أي أن الاختلافات في سمك الزجاج وقلة استوائه يعني أن الموجتين المنعكستين لا تخضعان لتداخل بناء أو هدّام.

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

وكما تعلم فإن ألوان الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة. وأما الغشاء المتغيّر السمك -ومنه الغشاء الموضح في الشكل 6–12- فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند سماكات مختلفة للألوان المختلفة. والنتيجة هي تكوّن ألوان قوس المطر. وعندما يكون الغشاء رقيقًا جدًّا بحيث لا يُنتج تداخلًا بنّاءً لأيّ طول موجي من ألوان الضوء فإن الغشاء يبدو معتمًا. لاحظ تكرار الطيف في الشكل 6b–12؛ 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.

استراتيجيات حل المسألة

الرياضيات في الفيزياء

التداخل في الأغشية الرقيقة

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

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 خلال الغشاء الرقيق لتوليد التداخل المطلوب.
   a. إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت كلتاهما مقلوبتين أو غير مقلوبتين فإن الفرق في المسافة يكون عددًا فرديًّا من أنصاف الطول الموجي: $(m + \frac{1}{2})\lambda_{\text{الغشاء}}$ حيث $m = 1, 2, 3...$.
   b. إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت كلتا الموجتين مقلوبتين أو غير مقلوبتين، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت إحدى الموجتين مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا صحيحًا من الأطوال الموجية: $m\lambda_{\text{الغشاء}}$، حيث $m = 1, 2, 3,...$.
5. حدّد المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع الثاني بحيث تساوي ضعف سمك الغشاء، $2d$.
6. تذكّر مما درسته سابقًا أن $n_{\text{الغشاء}} / \lambda_{\text{الفراغ}} = \lambda_{\text{الغشاء}}$.

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

عدسات الكاميرا المطلية بمانع الانعكاس لو كان سطح عدسة نظيفًا تمامًا فإن 96% فقط من الضوء الساقط عليها سينفذ من خلالها، وقد تحتوي الكاميرا الحساسة على 12 سطحًا من سطوح العدسات، مما يعني أن 61% فقط من الضوء الساقط على العدسات سيصل إلى الفيلم الحساس. وفي عام 1930 طوّر عالم البصريات الألماني أ. سماكولا عمليًّا طلاء مانعًا للانعكاس. حيث استخدمت طبقات متعددة من بعض المواد مثل MgF_2، و TiO_2، و SiO_2 وفلزات مثل Au، و Cu لتحسين نفاذية الضوء خلال الطيف المرئي جميعه. ونتيجة لذلك، فإن أكثر من 99.5% من الضوء يستطيع النفاذ خلال كل سطح، وهذه الطريقة تستخدم غالبًا في صناعة النظارات الطبية، دون زيادة كبيرة على تكلفتها.

تطوير المفهوم

التداخل في الأغشية الرقيقة تعتمد ظاهرة التداخل هذه على خصائص الموجات المنعكسة. راجع الموضوع الذي درسته في الفصل الأول والذي يتعلق بانقلاب الموجات المنعكسة بالنسبة للموجة الساقطة، ثم اربط بين الضوء ومعامل الانكسار.

والطريقة الجيدة لتذكر قاعدة انقلاب الموجة هي، "من الأقل إلى الأكبر يتغير الطور بمقدار π، أما من الأكبر إلى الأقل فلا تغير في الطور".

عرض سريع

أغشية الهواء الرقيقة

الزمن المقدر 5 دقائق

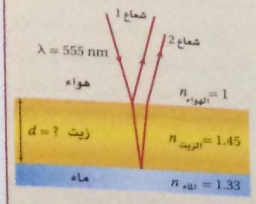
المواد والأدوات عدسة محدبة ذات بعد بؤري كبير، ولوح زجاجي سميك مستوي، وشريحة مجهر مزوّدة بغطاء زجاجي.

الخطوات

1. ضع العدسة المحدبة على اللوح الزجاجي في مكان معتم على سطح غير عاكس، ثم ضع بجانبها شريحة ميكروسكوب مغطاة بغطاء زجاجي.
2. أضئ كليهما من أعلى بوساطة مصدر ضوء أبيض متشتت أو بوساطة ضوء أحادي اللون.
3. اطلب إلى الطلاب ملاحظة كل من العدسة المحدبة وشريحة الميكروسكوب المغطاة لرؤية أنماط التداخل. ستكوّن العدسة حلقات متحدة المركز تسمى حلقات نيوتن وهي تتشكل نتيجة التداخل في الغشاء الرقيق المكون من الهواء الموجود بين قطعتي الزجاج، والضغط إلى أسفل على العدسة يغيّر الحلقات. أما الأنماط المتكونة بوساطة شريحة الميكروسكوب والغطاء الزجاجي فتكون أقل انتظامًا، ولكنها ستتغير بمقدار أكبر بالضغط القليل على الغطاء الزجاجي.

مثال 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؟



1 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
$n_{ماء} = 1.33$	$d = ?$
$n_{زيت} = 1.45$	
$\lambda = 555\ nm$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لأن $n_{هواء} < n_{زيت}$ فسيؤدي ذلك إلى اختلاف في الطور بمقدار 180° (انقلاب في الطور) في الانعكاس الأول، ولأن $n_{زيت} > n_{ماء}$ 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:

$$2d = [m + \tfrac{1}{2}]\frac{\lambda}{n_{زيت}}$$

ولأنك تريد أقل سمك، فإن m=0.

عوّض مستخدمًا $m = 0$

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

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

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 ($\lambda = 635\ nm$).
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؟
5. ما أقل سمك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلاً بنّاءً مع نفسه؟

مثال صفي

سؤال إذا تكوّن غشاء الزيت على سطح زجاج معامل انكساره 1.55 بدلاً من الماء، فكم يجب أن يكون أقل سمك له ؟

الجواب

في هذه الحالة هناك تغيران في الطور. ولكي يكون التداخل بنّاء فإن أقل سمك للغشاء يعطى بالمعادلة $2d = \lambda / n_{زيت}$ والتي تقودنا إلى المعادلة.

$d = \lambda / 2n_{زيت}$، وهكذا فإن:

$$d = \frac{(555\ nm)}{(2)\,(1.45)}$$
$$= 191\ nm$$

مسائل تدريبية

3. 109 nm
4. 101 nm
5. 97.9 nm

نشاط

الأغشية الرقيقة الطبيعية اطلب إلى الطلاب إجراء بحث عن التداخل في الأغشية الرقيقة في الطبيعة. ستختلف أبحاث الطلاب. إن أصداف بلح البحر والمحار أو اللؤلؤ لها أغشية رقيقة عديدة ومعقدة. وتظهر بعض الطيور والخنافس والفراشات ألوانًا مشابهة لألوان قوس المطر تنتج عن كل من الأغشية الرقيقة ومحزوزات الحيود. كذلك فإن طبقة الزيت على سطح الماء تُظهر ألوانًا. وكذلك فإن لبعض المعادن طبقات رقيقة من مادة شفافة، فعلى سبيل المثال تنتج مادة المايكا تداخلاً. ع ٢ لغوي

معلومة للمعلم

مهن من الحياة اليومية

فيزياء الفراشة لم تدرس العالمة أليسون سويني وزملاؤها في جامعة دوك فيزياء أجنحة الفراشة فقط، ولكنهم بحثوا أيضًا في الأسباب البيولوجية لتركيبها، فتوصلوا إلى أن استقطاب الضوء الذي يحدث نتيجة التداخل في الأغشية الرقيقة في أجنحة فراشة الهيليكونيوس هو عامل مساعد للتزاوج لتلك الأنواع من الفراشات. وقد واصلوا بحثهم حول أجنحة الأنواع الأخرى من الفراشات لتحديد التراكيب الخاصة في الأجنحة التي تكوّن نمط التداخل. وعندما يتوصلون إلى فهم لفيزيائيتها سيكون باستطاعتهم إجراء التجارب لاستكشاف الآثار الحيوية لهذه الظواهر الفيزيائية.

3. التقويم

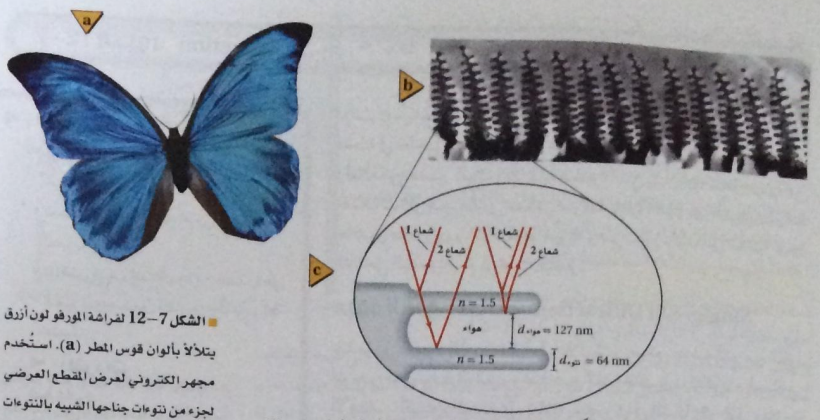
إعادة التدريس

عرض لبطون الموجات والأهداب المضيئة

استخدم حوض الموجات (أو أي شيء مشابه لحوض الموجات) لتوضيح أثر تداخلات تشبه تلك التي تنتج عن تداخل الشق المزدوج. اسأل الطلاب: كيف يمكن زيادة الطول الموجي؟ وما أثر ذلك على نمط التداخل؟ وما الذي يماثل الأهداب المضيئة لنمط تداخل الضوء في حوض الموجات؟ يزداد الطول الموجي بنقصان تردد المصدر. فإذا تم ذلك فسيزداد تباعد الخطوط العقدية للتداخل الهدّام. وهذه الخطوط العقدية في حوض الموجات تماثل الأهداب المعتمة في التداخل الهدام الناتج عن تداخل الشق المزدوج للضوء. أما الخطوط العقدية للتداخل البناء فتقابل الأهداب المضيئة.

التوسع

عرض زاوية الشق المزدوج ثبِّت مصدر ضوء ليزر مقابل شق مزوج، ثم اعرض النمط المتكون على الشاشة. واسأل الطلاب: ماذا يحدث إذا كان الشقان مائلين بزاوية بالنسبة للشاشة بحيث يكون أحدهما أكثر قربًا إلى الشاشة من الآخر؟ إذا كان الشق المزدوج مائلاً بهذه الطريقة فلن يؤثر ذلك في L؛ لأن L كبيرة جدًّا بالنسبة للبعد بين الشقين. إلا أن ذلك سينقص المسافة الفاصلة بين الشقين (d)؛ لأن هذه المسافة يجب أن تكون عمودية على اتجاه الحزمة الضوئية. وبالنظر للمعادلة: $x/L = \lambda/d$ فإن نقصان d سيؤدي إلى زيادة تباعد الأهداب المضيئة والممثلة بالمتغير x.



الشكل 7–12 لفراشة 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 متعددة (c).

ويحدث تداخل الغشاء الرقيق طبيعيًّا في جناحي فراشة المورفو، كما في **الشكل 12–7a**. فاللون الأزرق المتلألئ للفراشة هو نتيجة للنتوءات التي تبرز خارجة من القشور الداخلية لجناح الفراشة، كما في **الشكل 12–7b**؛ حيث ينعكس الضوء وينكسر خلال سلسلة من التراكيب التي تشبه الدرج، كما في **الشكل 12–7c**، مما يؤدي إلى تكوين نمط تداخل أزرق اللون؛ يؤدي بدوره إلى ظهور الفراشة كأنها تصدر وميضًا يمكن ملاحظته عند النظر إليها.

12–1 مراجعة

6. **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 المسألة7 عند استخدام ضوء أزرق بدلًا من الضوء الأحمر.

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 سمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

b. إذا علمت أن هذا الغشاء لا يمكن صناعته بهذا السمك، فما السمك التالي 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؟

12-1 مراجعة

6. 324 nm

7. عندما تواجه الموجة شقًّا فإنها تنحني. فالضوء يحيد بوساطة الشقوق، والضوء النافذ من أحد الشقوق يتداخل مع الضوء النافذ من الشق الآخر، فإذا كان التداخل بناءً فسيتكون هدب مضيء، أما إذا كان التداخل هدامًا فإن الهدب سيكون معتمًا.

8. ستكون شبيهة بالنمط الذي تشاهده للضوء الأحمر. انظر إلى دليل حلول المسائل.

9. تصبح أهداب الضوء بعضها أقرب إلى بعض. انظر إلى دليل حلول المسائل.

10. a. 75.8 nm

b. 227 nm

11. $\sin\theta = \tan\theta$ لزاوية تتكون من رقمين معنويين لغاية $9.9°$، وزيادة دقة القياس يقلل هذه الزاوية إلى $2.99°$.

12-2 الحيود

1. التركيز

نشاط محفز

محزوزات الحيود احصل على عدد من محزوزات الحيود. ثم اطلب إلى الطلاب النظر من خلالها إلى مصادر ضوئية مختلفة مثل مصابيح الغازات المخلخلة والمصابيح الفلورسنتية الصغيرة. واطلب إلى الطلاب وصف ما يشاهدونه. ستكوّن محزوزات الحيود خطوطًا مضيئة لألوان محدّدة من مصابيح الغازات المخلخلة وذلك وفق نوع الغازات المستخدمة. م ا **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

حيود الضوء ستستخدم موضوع حيود الضوء وتداخل الشق المزدوج لتوضيح ظاهرة نمط الحيود في هذا البند. تعد العدسات فتحات تنتج أنماط حيود حلقية.

الأهداف

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

المفردات

نمط الحيود
محزوز الحيود
معيار ريليه

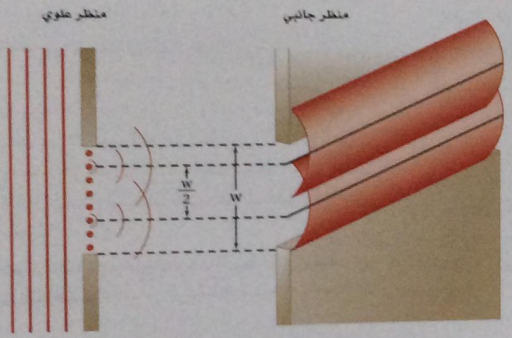
درست سابقًا أن مقدمات الموجات الضوئية المنتظمة تنحني حول حواف فتحة في حاجز في أثناء نفاذها خلال هذه الفتحة، أي تحدث لها حيود. وقد أمكن تفسير ذلك وفقًا لمبدأ هيجنز، الذي يبين أن النقاط جميعها على مقدمات الموجات تُمثّل مصادر ضوئية نقطية؛ فإذا عبر الضوء المترابط حافتين متقاربتين يتكوّن نمط حيود؛ وهو نمط يتكوّن على شاشة نتيجة التداخل البنّاء والهدّام لموجات 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 8–12**. ونلاحظ 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.

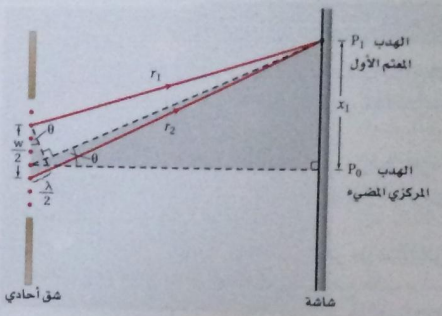
الشكل 8–12 لاحظ الهدب المركزي العريض والأهداب الضيقة على كلا الجانبين. إن نمط حيود الشق المفرد للضوء الأحمر له هدب مركزي أكثر عرضًا من الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستخدم شق له الحجم نفسه لكلا اللونين.

ولملاحظة كيف تُنتج موجات هيجنز نمط الحيود، تخيّل شقًّا عرضه w مُجزّأ إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، كما في **الشكل 9–12**، حيث تعمل كل نقطة من هذه النقاط بوصفها مصدرًا نقطيًّا لموجات هيجنز. جزّئ الشقّ 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.



الشكل 9–12 شقّ عرضه w جُزّئ إلى أزواج من الخطوط التي تشكّل مويجات هيجنز، ويفصل بين كل زوج مسافة مقدارها w/2.

ويقابل كل موجة هيجنز تتكوّن في النصف العلوي من الشقّ موجة هيجنز أخرى تتكوّن في النصف السفلي منه، وتفصلهما مسافة w/2 ممّا يؤدي إلى تداخلهما تداخلاً هدّامًا وتكوين هدب معتم على الشاشة، وتتداخل كل الأزواج المماثلة من موجات هيجنز تداخلاً هدّامًا عند الأهداب المعتمة. أما الأهداب المضيئة على الشاشة فهي نتيجة تداخل أزواج من موجات هيجنز تداخلاً بنّاءً، في حين يحدث تداخل هدّام جزئيًّا في المنطقة ذات الإضاءة الخافتة التي تقع بين الأهداب المضيئة والمعتمة.



الشكل 10–12 يمثل هذا الرسم تحليلًا للهدب المعتم الأول. ويكون بعد الشقّ من 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 10–12**. ويظهر الهدب المعتم 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 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 بوساطة 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 $x_1/L = \lambda/w$.

تلاحظ من **الشكل 10–12** 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 التالية 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 ضعفي 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 $\lambda/2$، $3\lambda/2$، $5\lambda/2$ 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.

عرض سريع

نمط الحيود

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات مؤشر ليزر، ومحزوز فيه شق قابل للتعديل أو بطاقتا فهرسة.

الخطوات عتّم الغرفة، ثم أسقط شعاع الليزر على جدار أبيض أو قطعة من الكرتون الأبيض. يمكن حساب حجم الليزر وانتشار الضوء الذي ينتقل في خط مستقيم من خلال حجم البقعة على الحائط. أدخل المحزوز الذي يحوي الشق القابل للتعديل في مسار حزمة الضوء، ثم أغلق الشق بالتدريج. سيشاهد الطلاب في البداية أن البقعة تصبح أصغر فأصغر عندما يبدأ الشق في قطع الشعاع. لكن قبل اختفاء الضوء تمامًا ستنتشر الحزمة في نمط حيود. ويمكنك تنفيذ النشاط باستخدام بطاقتي الفهرسة لتنفيذ ذلك.

2. التدريس

تطوير المفهوم

تداخل موجات هيجنز اعمل نموذجاً لشق مفرد، وكأنه مكون من شقين. استكشف مع الطلاب نوع النموذج الذي يمكن استخدامه إذا قسّم الشق إلى أربعة شقوق. إن الشقين الأول والثالث سيتداخلان تداخلاً هدامًا مكوّنَين الهدب المعتم الأول، ويحدث الشيء نفسه بالنسبة للشقين الثاني والرابع. حاول ثانية تقسيم الشق إلى ثمانية شقوق. سيتداخل كل من الأول والخامس، والثاني والسادس، والثالث والسابع، والرابع والثامن تداخلاً هدامًا. وأخيرًا وضّح ما ينتج عن النموذج إذا قسمت الشق إلى 1000 أو حتى مليون شق صغير جدًّا. **م 1 حركي**

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

حيود أم تداخل قد يعتقد بعض الطلاب أن نمط تداخل الشق المزدوج يتكون فقط من أهداب مضيئة وأخرى معتمة متعاقبة، وأنه لا يوجد له نمط آخر.

سيختلط الأمر على الطلاب عندما ينظرون من خلال الشق المزدوج نحو مصدر ضوئي خطي. يمثل الشكل 5–12 الحالة المثالية لتداخل الشق المزدوج، حيث إن كل شق يمثّل مصدرًا ضوئيًّا خطيًّا. وللحصول على هذه الحالة المثالية يجب أن يكون عرض الشق من مرتبة 1 µm. أما إذا كانت الشقوق المستخدمة من مرتبة 10 µm إلى 100 µm، فسيستمر إنتاج أنماط تداخل الشق المزدوج؛ إلا أن هذه الأهداب تصبح خافتةً، ثم تصبح ساطعة وبعد ذلك تخفت مرة أخرى نسبة إلى أهداب حيود الشق المفرد. يستخدم حيود الشق المفرد عندما يكون عرض الشقوق محدّدًا لتعديل تداخل الشق المزدوج.

تعزيز الفهم

نمط الحيود اسأل الطلاب كيف يعتمد عرض الهدب المركزي $2x_1$ في نمط حيود الشق المفرد على عرض الشق w، والطول الموجي λ، والبعد عن الشاشة L. إن أكبر عرض للهدب المركزي يزداد بزيادة كل من L أو λ، ويقل بزيادة w. **م 2**

مسائل تدريبية

12. 8.6 mm
13. 5.90×10^{2} nm
14. a. الأحمر . لأن عرض الهدب يتناسب طردياً مع الطول الموجي
    b. للأزرق : 18.0 mm
    للأحمر : 25 mm

مسألة تحفيز

1. استخدم $\lambda = x_{\text{أقل}}\, w / L$ (1)

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

وكذلك

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

من دمج (2) و(3) ينتج أن

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

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

تم اختصار التردد من البسط والمقام لأنه يبقى ثابتًا عندما يقطع الضوء الحد الفاصل. أعد صياغة المعادلة (1) بدلالة المادة الموجودة في الفراغ بين الشق والشاشة.

$$\lambda_{\text{المادة}} = (x_{\text{أقل}}\, w) / L \quad (5)$$

من دمج (4) و (5) وحل المعادلة الناتجة بالنسبة للمتغير (x) نحصل على:

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

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

2.

$$x = \lambda_{\text{الفراغ}} L / n_{\text{المادة}} w$$

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

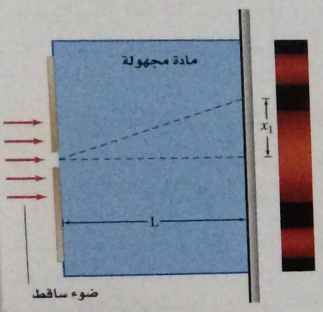
$$= 5.5 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

مسائل تدريبية

12. يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.095 nm. 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 (λ = 441 nm) على الشقّ، ثم أزاله ووضع مرشّحًا أحمر (λ = 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.

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، وأردت أن تتعرف نوع هذه المواد 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؟

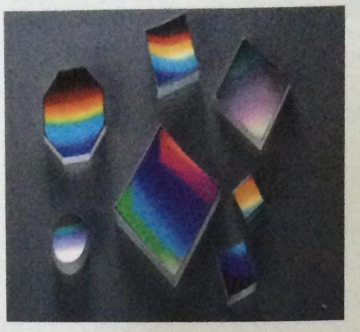
نشاط

مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم

الارتباط بين التداخل والحيود لمساعدة الطلاب على فهم حيود الشق المفرد، استخدم النماذج الورقية للموجات التي استخدمت لتوضيح أنماط تداخل الشق المزدوج. وبدلاً من رسم خطين على قطعة الكرتون، ارسم شقًّا عريضًا يحوي عدداً زوجيًّا من الخطوط. واطلب إلى الطلاب تثبيت نماذج الموجة على اللوحة عند مواقع تقاطع الخطوط في الشق المفرد. كما يجب أن يعدّلوا من الزاوية بين الخطوط حتى تتداخل نهاية الموجات الورقية تداخلاً هدّامًا. وعندما يحركون النماذج بالنسبة إلى أزواج الشقوق، تنزاح نقطة التداخل الهدّام قليلاً. أشر إلى أن كلاً من الحجم الصغير المعطى للشق والبعد الكبير عن الشاشة والإزاحة غير ملاحظ في النمط. م ع حركي

محزوزات الحيود Diffraction Gratings

درست أن تداخل الشقّ المزدوج وحيود الشقّ المفرد يعتمدان على الطول الموجي للضوء المستخدم، لذا فإنّنا بحاجة إلى قياسات دقيقة للطول للموجي. ومن أجل ذلك تُستخدم محزوزات الحيود الموضّحة في الشكل 11–12. 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 شقّ لكل سنتمتر. لذا فإن المسافة بين الشقوق تكون صغيرة جدًّا تصل إلى 10^{-6} m أو 1000 nm.



الشكل 11–12 تستخدم محزوزات الحيود لتكوين أنماط الحيود من أجل تحليل مصادر الضوء.

من أنواع محزوزات الحيود ما يُسمّى محزوز النفاذ. ويصنع هذا المحزوز بعمل خدوش على زجاج منفذ للضوء في صورة خطوط رفيعة جدًّا بوساطة 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 أحيانًا على صورة محزوزات نفاذ تنتج أطيافًا ضوئية، كما هو موضح في الشكل 12a–12.

وهناك نوع آخر من محزوزات الحيود تُسمّى محزوزات الانعكاس. ويُصنع هذا النوع بوساطة 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 محزوز انعكاس، كما هو موضح في الشكل 12b–12. فإذا وجّهت ضوءًا أحاديَّ اللون إلى DVD فسيُكوّن الضوء المنعكس نمط حيود على شاشة. وتُنتج محزوزات النفاذ ومحزوزات الانعكاس أنماطَ حيود متشابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفسها.

الشكل 12–12 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).

تجربة إضافية

محزوزات الحيود

الهدف توضيح أثر الطول الموجي في الحيود.

المواد والأدوات محزوز حيود هولوجرافي (من 2 cm × 2 cm لغاية 10 cm × 10 cm)، وجهاز عرض الشفافيات، ومرشحات ضوئية.

الخطوات

تحذير: ينبغي استخدام النظارات الواقية.

1. ثبّت محزوز الحيود على مرآة جهاز عرض الشفافيات، بحيث ينتشر النمط في اتجاه أفقي.
2. ضع ملفين على السطح العلوي لجهاز العرض، ثم افصل الملفين أحدهما عن الآخر مسافة 1 cm إلى 2 cm لتضييق انتشار النمط رأسيًّا أسفل الشق الأفقي.
3. استخدم المرشحات الملونة لحجب جزء من الضوء الأبيض؛ وتحديد اللون الذي تريد استخدامه، وبيِّن للطلاب موقع كل لون في النمط الأفقي. ثم ضع مؤشر الليزر أعلى كل حزمة لونية ووجه الشعاع الموجّه خلال مرآة جهاز عرض الشفافيات، وبذلك سيكون موقعه في النمط واضحًا للطلاب.

التقويم قارن بين النمط الناتج بوساطة محزوز الحيود والطيف الناتج بوساطة المنشور. محزوز الحيود: متعدد الأطياف، والمنشور: طيف واحد. اسأل الطلاب: ما اللون الأبعد عن الهدب المركزي الأبيض؟ محزوز الحيود: الأحمر، المنشور: البنفسجي.

مشروع فيزياء

معلومة للمعلم

الأطوال الموجية للثنائيات الباعثة للضوء (LEDs) اطلب إلى الطلاب استخدام المطياف الضوئي (إذا كان متوافرًا) أو محزوز حيود ومسطرة مترية لتحديد الأطوال الموجية لعدد من الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs). يمكن الحصول على ألوان متعددة من الثنائيات الباعثة للضوء (الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق) من محلات بيع الإلكترونيات. ستحصل في المقررات اللاحقة على إرشادات متعلقة بالدوائر الكهربائية التي تجعل تلك الثنائيات تعمل. تستطيع كاميرا الفيديو كشف الأطوال الموجية القريبة من الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء، لذلك فالثنائيات الباعثة للأشعة تحت الحمراء IR LEDs بالإضافة إلى تلك المستخدمة في جهاز التحكم عن بعد، يمكن تضمينها في هذا النشاط. كما يمكن استقصاء الثنائيات الباعثة للضوء الأبيض لتحديد كيف يُنتج ضوؤها الأبيض. م2 حركي

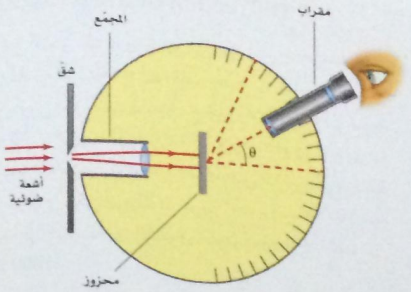
المناقشة

سؤال ما عدد الأطياف التي ينتجها محزوز الحيود؟

الإجابة يحدث التداخل البنّاء إذا حاد الضوء سواءً إلى اليمين أو إلى اليسار، لذلك يكون هناك دائمًا طيف واحد في كل جانب من جوانب الهدب المركزي ($x = 0$ أو $\sin\theta = 0$). ومع ذلك واعتمادًا على قيم كل من d و λ يمكن أن يكون هناك أكثر من طيف واحد على كل جانب. يعطى الطول الموجي بالعلاقة $\lambda = (d/m)\sin\theta$، حيث $m = 1, 2, 3 \ldots\ldots$؛ وغالبًا يستخدم العاملون $m = 2$، أو $m = 3$؛ لأن التحليل والتمييز عند هذه القيم عال ويمكن إجراء القياسات بدقة أكبر. م 2

التفكير الناقد

اختيار المحزوز تتضمن معادلة الطول الموجي المحسوب بوساطة مطياف محزوز الحيود $\sin\theta$، ومقدار $\sin\theta$ لا يمكن أبدًا أن تكون أكبر من 1. اسأل الطلاب السؤال التالي: عندما تستعمل مصدر ضوء أطواله الموجية معلومة لديك، فكيف يمكنك تحديد قيمة d لاختيار محزوز الحيود الذي ستستخدمه، معتبرا أنك تريد استعمال طيف $m = 2$؟ لأن $\lambda \le d$، $\sin\theta \le 1$، اختر d بحيث تكون قيمتها أكبر من أكبر طول موجي يتم استقصاؤه. عندما تكون $m = 2$ فإن $\lambda \le \frac{d}{2}$؛ أي أن d أكبر من ضعفي أكبر طول موجي. م 3



الشكل 13–12 يستخدم المطياف لقياس الأطوال الموجية للضوء المنبعث من مصدر ضوئي.

قياس الطول الموجي يُسمّى الجهاز الذي تُقاس به الأطوال الموجية للضوء باستخدام محزوز الحيود المطياف، كما هو موضح في **الشكل 13–12**. حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءًا يوجّه نحو شقّ، وينفذ الضوء عبر الشقّ ليسقط على محزوز الحيود، فينتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بتلسكوب المطياف.

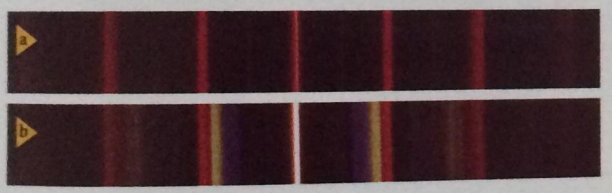
ويكون نمط الحيود المتكوّن بوساطة محزوز حيود عبارة عن أهداب مضيئة ضيّقة تفصلها مسافات متساوية، كما في **الشكل 14–12**. وكلّما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز تكوّنت أهداب أكثر ضِيقًا في نمط الحيود. لذا يمكن قياس المسافة بين الأهداب المضيئة باستخدام المطياف بدقة أكبر، مقارنة باستخدام الشقّ المزدوج.

درست سابقًا في هذا الفصل أنه يمكن استخدام نمط التداخل الناتج بوساطة شقّ مزدوج لحساب الطول الموجي للضوء المستخدم. ويمكن الحصول على معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتبعت للحصول على معادلة الشقّ المزدوج. ولكن الزاوية θ في محزوز الحيود تكون كبيرة؛ لذا لا يُطبّق التبسيط الخاص بالزاوية الصغيرة. 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.

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



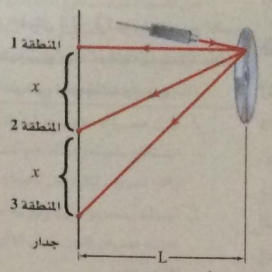
الشكل 14–12 استُخدم محزوز لإنتاج أنماط الحيود للضوء الأحمر (a) وللضوء الأبيض (b).

نشاط تحفيز

عرض شعرة الإنسان استعمل مصدر ليزر HeNe. واطلب إلى الطلاب قياس قُطر الشعرة. سلط شعاع الليزر على شعرة موضوعة رأسيًّا على حامل الشريحة أو بطاقة صلبة مساحتها $2\ cm^2$. اعرض النمط الناتج على الشاشة؛ وخذ قياسات المسافة من الشعرة إلى الشاشة والمسافة بين الهدب المعتم الأول على جانب الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول على الجانب الآخر للهدب المركزي المضيء. اسأل الطلاب عن كيفية تطبيق مفاهيم الحيود والتداخل في قياس عرض الشعرة. زوّد الطلاب بالطول الموجي لحزمة شعاع HeNe لحساب الطول الموجي λ بوساطة المعادلة $\lambda = d\sin\theta$. ووضح أيضًا أن حاجزاً ضيقاً كالشعرة مثلاً سينتج نمط الحيود نفسه للشق ذي الأبعاد نفسها، لذلك فإنه يمكننا استعمال معادلة الهدب المفرد المضيء.

مثال 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	المجهول
$x = 1.29\ m$	$d = ?$
$L = 1.25\ m$	
$\lambda = 532\ nm$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

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

عوّض مستخدمًا $x = 1.29\ m$، $L = 1.25\ m$

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

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

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

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

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

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة m، وهي وحدة صحيحة للمسافة الفاصلة.
- **هل الجواب منطقي؟** عندما يكون لـ x و L 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. فإذا كانت الفراغات بين هذه الأهداب 0.55 m، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في محزوز الحيود؟
17. يُضاء محزوز حيود تفصل بين شقوقه مسافة $8.60 \times 10^{-7}\ m$ بوساطة ضوء 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؟

مثال صفي

سؤال في المثال 3 إذا سُلِّط ضوء مؤشر ليزر أحمر $\lambda = 670\ nm$ على قرص مدمج CD فكم تبعد البقعة المتكونة على الجدار عن العمودي؟

الجواب

استخدم $L = 1.25\ m$، $d = 0.74 \times 10^{-6}\ m$ ثم أوجد:

$$\sin\theta = \lambda/d = \frac{(670 \times 10^{-9}\ m)}{(0.74 \times 10^{-6}\ m)}$$

$$= 0.91$$

الزاوية التي جيبها يساوي 0.91 هي 66° تقريبا.

ولإيجاد البعد على الجدار استخدم

$$x = L \tan\theta = (1.25\ m)(2.25)$$

$$= 2.81\ m$$

مسائل تدريبية

15. يُشاهد طيف ضوئي كامل للألوان جميعها. وبسبب اختلاف الأطوال الموجية فإن الأهداب المعتمة لأحد الأطوال الموجية ستسقط عليها أهداب مضيئة لطول موجي آخر.
16. $9.4 \times 10^{-7}\ m$
17. 0.449 m
18. 490 nm
19. 1.6×10^{3} شق /cm

عرض سريع

الضوء الأزرق المتلألئ

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات مصدر ضوء أبيض مع شق، ومرشح ضوئي أزرق، ومحزوز حيود.

الخطوات عتّم الغرفة. وضع المرشح بين مصدر الضوء والشق، ثم سلط الضوء الأزرق على الجدار تاركاً مسافة كافية في المنطقة أمامه. اطلب إلى الطلاب السير بمحاذاة الجدار بينما ينظرون إلى الشق. سيرى الطلاب الضوء أكثر عندما يكونون أمام الشق. بعد ذلك ضع محزوز الحيود مقابل الشق من الجهة البعيدة عن مصدر الضوء، واطلب إلى الطلاب السير بمحاذاة الجدار بينما ينظرون إلى محزوز الحيود. سيشاهدون ضوءًا أزرق يتلألأ.

المناقشة

سؤال لماذا تكون الأهداب المضيئة لنمط حيود المحزوز أكثر ضيقًا من أهداب نمط حيود الشق المفرد؟

الإجابة المساحات المظلمة بين الأهداب المضيئة لكل من محزوز الحيود والشق المفرد هي مناطق تداخل هدّام. ولأن كمية التداخل الهدّام بوساطة محزوز الحيود أكبر من تلك الكمية للشق المفرد فستكون المساحات المعتمة أكبر، لذا تكون الخطوط المضيئة أكثر ضيقًا. م ع

تجربة

شاشة عرض الشبكية

الهدف وصف طيف ضوء مصباح متوهج كما يُشاهد خلال محزوز الحيود.

المواد والأدوات مصباح متوهج وشفاف ذو فتيلة مستقيمة، ومحزوز حيود، وأقلام ملونة.

النتائج المتوقعة ملاحظة الطيف بسهولة باستخدام محزوز الحيود. يأخذ الطيف شكل ألوان قوس المطر حيث إن الألوان البنفسجي والأزرق تكون أقرب إلى الهدب المركزي المضيء، واللون الأحمر هو الأكثر بعدًا عنه. يتكرر الطيف مرات عدة على كلا جانبي الخط المركزي المضيء.

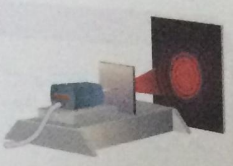
التحليل والاستنتاج

4. بنفسجي/ أزرق؛ وأحمر.
5. ستختلف الإجابات، ينبغي مشاهدة اثنين.
6. نعم، الطول الموجي للضوء الأحمر يساوي $\lambda = 650\ nm$، وللضوء البنفسجي يساوي $\lambda = 425\ nm$، لذلك ينبغي أن يكون اللون الأحمر أكثر بعدًا عن الخط المركزي المضيء من البنفسجي/ الأزرق بالنسبة للطيف الناتج.

استخدام الشكل 16–12

في هذا الشكل تُكوّن أشعة الضوء المنبعثة من مصدرين ضوئيين مثلثين متماثلين تمامًا وتتقاطع عند مركز الفتحة، ثم تنفصل هذه الأشعة حتى تصل إلى مواقع صور المصدرين على الشاشة. وباستخدام تشابه المثلثات، نجد أن النسبة بين طولي قاعدتي المثلثين المقابلتين لفتحة المقراب تساوي النسبة بين ارتفاعيهما. ويمكن إعادة ترتيب علاقة المساواة هذه للحصول على $x_{\text{جسم}}/L_{\text{جسم}} = x_1/L$. ١٩

يمكن رؤية نمط التداخل في الأغشية الرقيقة ضمن زاوية نظر صغيرة، عند النظر رأسيًا 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.



الشكل 15–12 نمط الحيود لثقب دائري ينتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قوة التمييز للعدسات Resolving Power of lenses

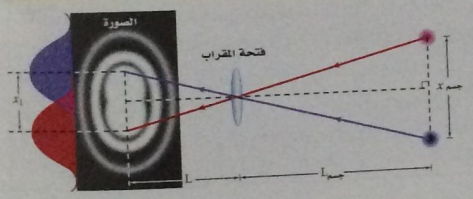
تعمل العدسة المستديرة في المنظار الفلكي والمجهر – وحتى في عينك – عمل ثقب أو فتحة تسمح للضوء بالمرور من خلالها. وتسبب الفتحة حيود الضوء تمامًا كما يفعل الشقّ الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بوساطتها، كما في **الشكل 15–12**. وتكون معادلة الفتحة مماثلة لمعادلة الشقّ المفرد، إلا أن للفتحة حافة 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 التالي: $x_1 = 1.22\lambda L / D$.

عندما يُرى الضوء المنبعث من نجم بعيد بوساطة فتحة المنظار الفلكي فإن الصورة تنتشر بسبب الحيود. وإذا كان هناك نجمان قريبان جدًّا أحدهما إلى الآخر فإن صورتيهما تتداخلان معًا، كما في **الشكل 16–12**. وفي عام 1879 حدّد 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 أن المُشاهد يكون قادرًا على تحديد أن هناك 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 16–12** أنه يمكن استخدام تشابه المثلثات لإيجاد أن $x_1/L = x_{\text{جسم}}/L_{\text{جسم}}$. 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 $x_{\text{جسم}}$، يمكن التوصل إلى المعادلة التالية:

معيار ريليه $$x_{\text{جسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{جسم}}}{D}$$

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.



الشكل 16–12 تسمح لك هندسة المثلثات المتماثلة بحساب المسافة الفعلية التي تفصل بين جسمين. تم استخدام اللونين الأزرق والأحمر فقط بغرض التوضيح. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

اختلاف زاوية النظر اهتم العلماء دائمًا منذ زمن العالم كوبرنيكوس (1543 – 1473) بفكرة أن الشمس ثابتة، وأن الأرض تدور حولها مرة واحدة في السنة. ومع ذلك فإن التلسكوبات التي صنعت قبل منتصف القرن الثامن عشر لم تكن قادرة على توضيح تلك الحركة. وفي القرن الثامن عشر تم اكتشاف حركة الأرض حول الشمس من خلال تحديد موقع نجوم معينة بدقة من نقطة واحدة على الأرض في زمن محدد من السنة، وتحديد موقعها بدقة مرة أخرى من النقطة نفسها بعد مرور ستة أشهر. وفي الوقت الحاضر تطورت دقة التلسكوبات بحيث تمكّننا من ملاحظة الإزاحة الظاهرية لمواقع النجوم بالنسبة إلى مدار الأرض حول الشمس.

الحيود في العين البشرية عندما يكون الضوء ساطعًا يكون قطر بؤبؤ العين 3 mm تقريبًا. و حساسيّة العين البشرية كبيرة للون الأصفر- المخضر؛ حيث الطول الموجي يساوي 550 nm. وبتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{\text{جسم}} = 2 \times 10^{-4}\,L_{\text{جسم}}$. 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 قريبة جدًّا بعضها من بعض فإنها سترى تفاصيل نمط الحيود لا المصادر. أما إذا كانت المخاريط متباعدة فلن يكون باستطاعتها تمييز التفاصيل الممكنة كلها.

إن تطبيق معيار ريليه لإيجاد قدرة العين على التمييز بين مصدرين متباعدين يدل على أن العين لها القدرة على التمييز بين الضوأين 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.

تجربة

شاشة عرض الشبكية

هل تعلم أنك تستطيع اتخاذ شبكية عينك شاشة؟ **تحذير: لا تنفذ الخطوات التالية 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 أفقيًا.
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؟

12-2 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 الشِّعرى- 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 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؟

3. التقويم

التحقق من الفهم

مقارنة بين الحيود والتداخل اطلب إلى الطلاب وصف أوجه التشابه والاختلاف بين تداخل الشق المزدوج وحيود الشق المفرد.

أوجه التشابه: كلاهما ناتجان عن تراكب موجات الضوء المترابطة التي تنتقل مسافات مختلفة وتتداخل تداخلاً بناءً أو تداخلاً هدّامًا.

أوجه الاختلاف: باستخدام الشق المزدوج؛ تتداخل موجات المصدرين، ويظهر النمط الساقط على الشاشة على صورة أهداب مضيئة وأخرى معتمة على أبعاد متساوية بعضها من بعض. أما باستخدام الشق المفرد فيتداخل العديد من مويجات هويجنز من أجزاء مختلفة للشق. فيكون النمط المتكوّن على الشاشة: قمة مركزية مضيئة وعريضة، بالإضافة إلى قمم خافتة ومتباعدة جانبيًّا بصورة غير متساوية. م 2 **لغوي**

التوسع

الدقة اطلب إلى الطلاب استكشاف مفهوم التحليل للموجات الكهرومغناطيسية غير المرئية، والتي سيدرسونها في المقررات اللاحقة. فمثلاً الطول الموجي المستخدم لالتقاط بث الفضائيات في المنازل يساوي 4 cm تقريبًا. إذا اعتبرنا أن طبق استقبال إشارات الأقمار الاصطناعية يعمل عمل فتحة بقطر 40 cm. اسأل الطلاب ما البعد الذي يجب أن يكون بين قمرين اصطناعيين متزامنين لكي يستطيع هوائي التقاط تمييز الإشارات المتزامنة القادمة منهما؟

تقع الأقمار الاصطناعية على بعد 3.6×10^{8} m فوق سطح الأرض، لذلك فإن المسافة

$$x_{\text{جسم}} = 1.22\,\lambda\,L_{\text{جسم}}/D$$

$$= \frac{(1.22)(4\text{ cm})(3.6\times10^{8}\text{ m})}{(40\text{ cm})}$$

$$= 4.4\times10^{7}\text{ m}$$ م 2

12-2 مراجعة

20. 9.3 mm

21. 2.2×10^{10} m

22. 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، بينما يحيد المحزوز الأطوال الموجية للضوء الأحمر بمقدار أكبر.

مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة.

المهارات العملية الملاحظة والاستنتاج، والتجربة، والقياس، وجمع البيانات وتنظيمها.

احتياطات السلامة يجب ألا ينظر الطلاب مباشرة إلى ضوء الليزر أو مؤشر الليزر الساطع. كما يتعين عليهم استعمال النظارات الواقية والمخصصة لحماية العين من الليزر.

المواد البديلة مصدر ضوء ذو فتيل مستقيم قدرته 25 W أو 40 W مع مرشّح ملون يوضع فوقه بحيث يمكن مشاهدته من خلال غشاء الشق المزدوج.

استراتيجيات التدريس

- **إذا لم تكن مصادر الليزر ساطعة بمقدار كافٍ لإنتاج نمط يمكن مشاهدته، استخدم التركيب الذي تم وصفه في المواد البديلة.**
- **لعمل الرسوم البيانية استخدم المواد البديلة الموجودة في دليل التجارب العملية في بند المواد والأدوات.**
- **إذا كانت قيمة d غير معلومة فيمكن أن يستخدم الطلاب مصدر ليزر معلوم الطول الموجي λ لجمع البيانات عن نمط التداخل وحساب d.**
- **إذا استعملت مؤشر الليزر فعليك استعمال مشبك غسيل ليضغط على الزر حتى يبقى المؤشر مضاء.**
- **يمكن تثبيت لوح الشق المزدوج بوساطة الصلصال.**
- **سلط ضوء الليزر على لوح الشق المزدوج بحيث يسقط عموديًا على اللوح، واستخدم شاشة تبعد عنه عدة أمتار.**

مختبر الفيزياء

تداخل الضوء بوساطة 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. ستطوّر في هذا الاستقصاء 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

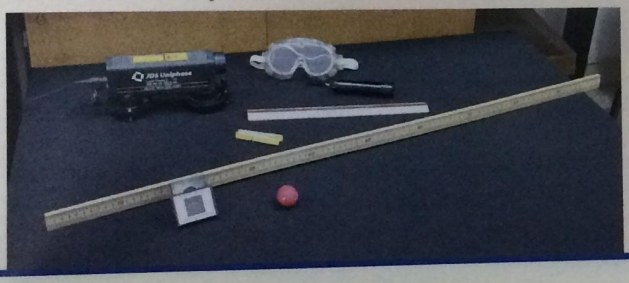
- استخدم واقي العين من أشعة الليزر الذي أقرّته منظمة ANSI.
- لا تنظر مباشرة إلى ضوء الليزر.

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 طوّر 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 أن معلمك قد تفحّص تجربتك، كما يتعين عليك الحصول على موافقته قبل البدء في تنفيذ التصميم.
8. نفّذ تجربتك، وسجّل بياناتك في جدول بيانات مماثل للجدول الموجود في الصفحة التالية.



عينة بيانات

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		

جدول البيانات						
المصدر	اللون	λ المقبولة (m)	d (m)	m	x (m)	L (m)
				1		
				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 و d و L.
3. **تحليل الخطأ** قارن بين الطول الموجي الذي حسبته والقيمة المقبولة، وذلك بحساب النسبة المئوية للخطأ.

الاستنتاج والتطبيق

1. **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

1. **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؟ وأيها 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.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن أنماط التداخل ارجع إلى الموقع الإلكتروني:
obeikaneducation.com

الفيزياء في الحياة

1. يكون الضوء النافذ من الباب الشبكي غير مترابط، لكونه يصدر عن عدة مصادر. وحتى لو كان الضوء مترابطًا، 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 على الجدار.
2. ستبدو الأشياء أقل تحديدًا ورفيعة (أقرب إلى رسم خط ناعم وفاتح اللون). الضوء غير المترابط هو الذي يأتي من الاتجاهات جميعها.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اعمل على تبديل السؤال إلى: ما تأثير عرض الشق على نمط التداخل الناتج عن الضوء الأحادي اللون؟ استخدم المواد البديلة المقترحة، واطلب إلى الطلاب تحديد الطول الموجي لمرشحات مختلفة اللون. إن معالجة عرض الشق والأطوال الموجية للون ستساعد الطلاب على تطوير مهارات التفكير الناقد. شجّع الطلاب على تسجيل الأسئلة التي تظهر لتتبع تفاصيل تجاربهم.

التحليل

1. 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 أهدابًا حادة وواضحة ويتباعد بعضها عن بعض مسافات متساوية.
2. عينة إجابات

$$\lambda = \frac{xd}{mL} = \frac{(5.5\times10^{-3}\ \text{m})\ (2.0\times10^{-4}\ \text{m})}{(1)\ (1.83\ \text{m})} = 601\ \text{nm}$$

3. عينة إجابات: النسبة المئوية للخطأ تساوي

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

الاستنتاج والتطبيق

1. نعم.
2. إنقاص قيمة d يزيد من قيمة x.
3. للضوء الأخضر طول موجي أقصر منه للضوء الأحمر؛ لذلك ستكون x أصغر مقارنة مع الضوء الأحمر.

التوسع في البحث

1. هذا هو حيود الشق المفرد الذي يتراكب مع أهداب تداخل الشق المزدوج. إنه ينتج من استعمال الشقوق التي يزيد عرضها على 1 μm.
2. عينة إجابات: زد L لزيادة x. واستعمل الغرفة المعتمة لتكون الأنماط أكثر وضوحًا.
3. 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. ضع شقًّا مفردًا ذا عرض ضيق بين المصباح الكهربائي والشق المزدوج.

كيف يعمل

الهدف

طبّق مفاهيم انعكاس الموجات، وانكسارها، وتداخلها، وحيودها في تفسير كيفية صنع جهاز التصوير التجسيمي (الهولوغرام) وعرضه.

الخلفيّة النظرية

يعد جهاز الهولوغرام مسجلاً لنمط التداخل بين الموجة المرجعية والموجة المنعكسة عن الجسم. هناك متطلبان أساسيان لهذا الجهاز، هما:

1. يجب أن يكون المصدر الضوئي مترابطًا. ففي الضوء المترابط هناك علاقات محددة بين النقاط في الشعاع الضوئي تنتج أهداب تداخل دقيقة الوضوح على سطح الشاشة. بينما لشعاع الضوء غير المترابط علاقات عشوائية وسريعة التغير للطور، والتي تلغي أي نمط تداخل.
2. بسبب حركة العناصر البصرية التي تحدث ضمن بضعة ميكرونات تتغير علاقة الطور النسبية بين الجسم وأشعة الضوء المرجعية على السطح الفوتوجرافي خلال العرض وتلغي أهداب التداخل.

يمكن أن يكون لجهاز الهولوغرام خاصية النفاذية والانعكاس، بالإضافة إلى تكوين الصور الوهمية، ويمكن للهولوغرام تكوين صور حقيقية تظهر بحيث تتذبذب في مقدمة الشاشة.

التعليم البصري

تحرك حول الهولوغرام العاكس، واسأل: لماذا ينتج الهولوغرام المضاء باللون الأبيض صورًا بألوان قوس المطر؟ لأن الهولوغرام يكوّن أنماط تداخل. وتنتج الأطياف عندما يحيد الضوء الأبيض.

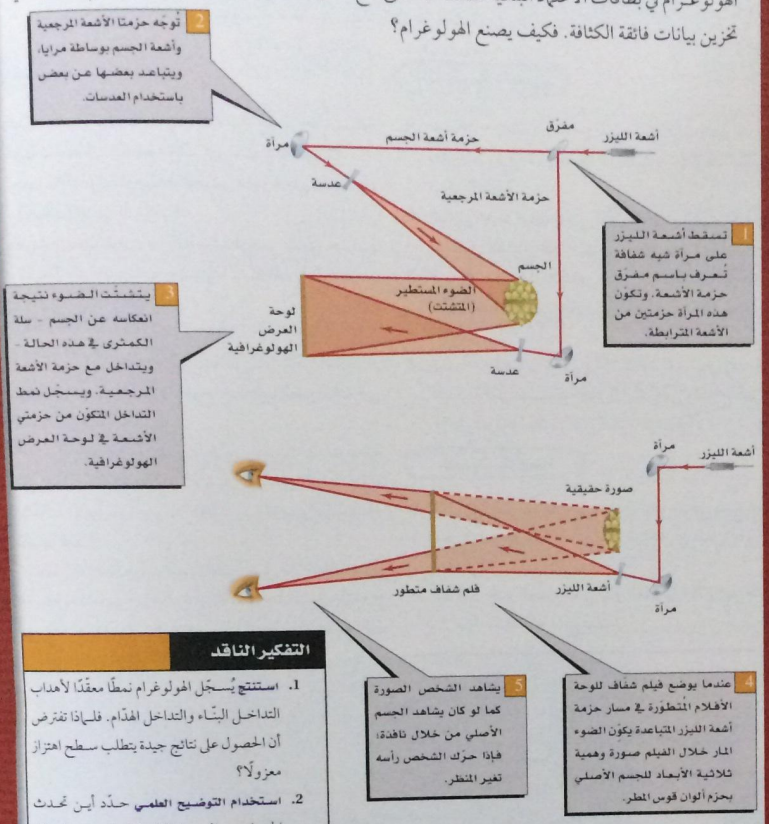
التوسع

يمكن أن يُصنع الهولوغرام في الغرفة الصفية باستخدام أدوات قليلة التكلفة. يمكن الحصول على معلومات عن جهاز الهولوغرام من مصادر مختلفة.

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؟



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 التالية في الرسوم البيانية ووضّحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.

التفكير الناقد

1. المقياس الذي يُسجل عنده نمط التداخل صغير جدًّا. يجب أن يبقى كل من المصدر والجسم ولوحة العرض الهولوغرافية ثابتًا لثوانٍ عدة، وإلا فستحطم الاهتزازات نمط التداخل ولن يكون هناك هولوغرام.
2. 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.

12-1 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.

12-2 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.

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

- تتكوّن محزوزات الحيود من عدد كبير من الشقوق القريبة جدًّا بعضها من بعض، 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 إليها من خلال فتحة أو ثقب.

$$x_{\text{جسم}} = \frac{1.22\lambda L}{D_{\text{جسم}}}$$

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

المفاهيم الرئيسة

يمكن أن يستخدم الطلاب العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
قم بزيارة الموقع الإلكتروني:
www.obeikaneducation.com

التقويم

خريطة المفاهيم

23. انظر إلى دليل حلول المسائل.

إتقان المفاهيم

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

25. الأطوال الموجية جميعها تنتج الهدب المركزي في الموقع نفسه.

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

27. تتناسب المسافة طرديًّا مع الطول الموجي. ولأن للضوء الأحمر طولًا موجيًّا أطول منه للضوء البنفسجي فإن الخطوط الحمراء ستفصلها مسافات أكبر من الخطوط البنفسجية.

28. الضوء البنفسجي هو اللون ذو الطول الموجي الأقصر.

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

تطبيق المفاهيم

30. a. التداخل

b. الأصباغ

c. التداخل

d. الانكسار

31. تأخذ الأهداب في الاتساع وتأخذ إضاءتها في الخفوت.

32. a. تداخل هدام كامل.

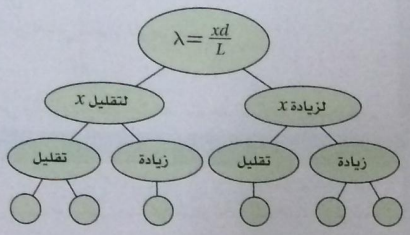
b. تداخل بناء كامل.

c. تداخل هدام كامل.

33. سلط كل مؤشر ليزر خلال المحزوز على جدار قريب. سيُنتج الضوء ذو الطول الموجي الأكبر نقاطًا تفصلها مسافات كبيرة على الجدار لأن المسافة بينها تتناسب طرديًّا مع الطول الموجي. (الصحيح هو أحمد: الطول الموجي للضوء الأحمر أكبر من الطول الموجي للضوء الأخضر).

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 التالية 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؟

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

26. صف كيف يمكنك استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقّين؟

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

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

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

تطبيق المفاهيم

30. حدّد في كل من الأمثلة التالية 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** أحد المعروضات في معرض العلوم عبارة عن غشاء كبير جدًّا من الصابون ذي عرض ثابت تقريبًا، ويُضاء بوساطة ضوء طوله الموجي 432 nm، فيظهر السطح كاملاً تقريبًا على شكل ظل أرجواني اللون. فماذا ستشاهد في الحالات التالية؟

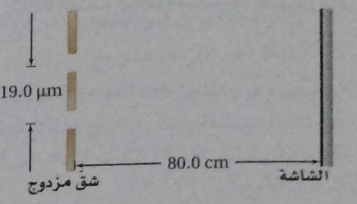
a. عندما يتضاعف سمك الغشاء.
b. عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط.
c. عندما يتناقص سمك الغشاء بمقدار ربع الطول الموجي للضوء الساقط.

33. **تحدّي مؤشر الليزر** إذا كان لديك مؤشرا ليزر، أحدهما ضوؤه أحمر والآخر ضوؤه 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 العرض الذي ستنفّذه بوساطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصّلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما؟

إتقان حل المسائل

12–1 التداخل

34. يسقط ضوء على شقّين متباعدين بمقدار 19.0 μm، ويبعدان عن شاشة 80.0 cm، كما في الشكل 12–17. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



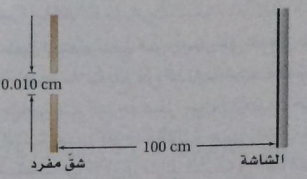
الشكل 12–17

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 على ثلاث مجموعات من الشقوق 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 عنهما 0.80 m، وفي المجموعة C كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين 0.150 mm وبُعد الشاشة عنهما 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.

12–2 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 12–18. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 12–18

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 cm/ خط. 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.

التقويم

إتقان حلّ المسائل

12–1 التداخل

34. 451 nm

35. 94.0 nm

36. $x_C > x_B > x_A$

12–2 الحيود

37. 600 nm

38. 0.3 cm

39. 1.1×10^{-2} cm

40. للضوء الأحمر: 49.3°
للضوء الأزرق: 30.3°

التقويم

مراجعة عامة

41. 6.0×10^2 nm، لذلك فإن الضوء محمر-برتقالي.

التفكير الناقد

42. البقعة الخضراء عند 0°، البقع الصفراء عند 30° + و 30°−، وبقعتان زرقاوان متقاربتان إلى حد ما.

43. تعتمد زاوية الحيود على نسبة عرض الشق بالنسبة للطول الموجي، ولذلك يزيد العرض ليصبح 1.5 w.

الكتابة في الفيزياء

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

45. قد تختلف إجابات الطلاب. يجب أن تتضمن الإجابات الحيود في التليسكوبات والميكروسكوبات والمطياف.

مراجعة تراكمية

46. 0.12 m

47. بُعد الصورة: 44.0 cm−
طول الصورة: 4.0 cm

48. بُعد الصورة: 11.7 cm−
طول الصورة: 3.11 cm

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 هدّام بصورة كاملة؟ **تلميح: افترض أن العدسة مصنوعة من الزجاج.**

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°+، والثالثة عند 30°−. فإذا أسقطتَ ضوءًا أزرق متماثل الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسه، فما نمط البقع التي ستراها على الشاشة الآن؟

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

الكتابة في الفيزياء

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

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

مراجعة تراكمية

46. ما الأطوال الموجية لموجات الميكروويف في فرن إذا كان تردّدها 2.4 GHz؟

47. وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 48.0 cm، وعلى بُعد 12.0 cm منها. احسب بُعد الصورة وطولها.

48. 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.

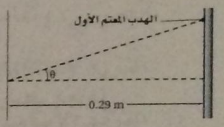
اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

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 تشوّه 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 3.8×10^{-6} 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 تلزمنا للتمييز بينهما باستخدام ضوء طوله الموجي 610 nm؟
   - (A) 5.0×10^{-5} m
   - (B) 6.1×10^{-5} m
   - (C) 1.5×10^{-2} m
   - (D) 1.5×10^{7} 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 شقّين ضيقين. فإذا كان بُعد الهدب ذي الرتبة الثالثة من النمط الناتج عن الهدب المركزي المضيء يساوي 7.5 cm، وبُعد الشاشة عن الشقّين 2.475 m، فما المسافة بين الشقّين؟
   - (A) 5.8×10^{-8} m
   - (B) 6.3×10^{-7} m
   - (C) 2.1×10^{-5} m
   - (D) 6.3×10^{-5} m

7. وضعت شاشة مسطّحة على بعد 4.200 m من زوج من الشقوق، وأُضيء الشقّان بحزمة ضوء أحادي اللون. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الثانية 0.082 m، والمسافة الفاصلة بين الشقّين 5.3×10^{-5} m، فحدّد الطول الموجي للضوء.
   - (A) 2.6×10^{-7} m
   - (B) 5.2×10^{-7} m
   - (C) 6.2×10^{-7} m
   - (D) 1.0×10^{-6} 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؟

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.

أسئلة اختيار من متعدد

1. B
2. D
3. B
4. C
5. B
6. D
7. B

الأسئلة الممتدة

8. 570 nm

اختبار مقنن الفصل 12-

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة:

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا شاملاً لمواضيع الفيزياء الذي درسها. يمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا لمواضيع الفيزياء التي درسها، الاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، ولكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا فقط لمواضيع الفيزياء، وقد يكون قد استخدم الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحل، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يعوزه استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا لمواضيع الفيزياء، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا. أو لا يستجيب على الإطلاق.