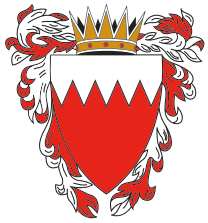
KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education



مَمْلَكَةُ البَحْرَيْن

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيم

فيز ٢١٨/فيز ٢١٩

الفيزياء ٣

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم

العبيكان
Obeikan

فيز ٢١٨/فيز ٢١٩

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الدليل لتدريس كتاب الفيزياء ٣ بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الفيزياء 3

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم

الطبعة الثانية
١٤٣٥ هـ - ٢٠١٤ م

منهاجي
متعة التعليم الهادف

العبيكان Obeikan

Mc Graw Hill Education

الفيزياء

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمراجعة والمواءمة

د.أحمد محمد رفيع
خلدون سليمان مصاروه
ربحي سعيد حميدي
زهير يوسف حداد

التعريب

موسى جابر عبابنة
هنادي لطفي القرعان
محي الدين جابر عبابنة

التحرير اللغوي

عمر الصاوي
أحمد عبدالمنعم عليان
حسن فرغلي

المواءمة المحلية لنسخة مملكة البحرين

يوسف عبدالسلام محفوظ
د. سمير عبد سالم الخريسات

مراجعة نسخة مملكة البحرين

فاطمة جاسم الأحمد
طه محمود صافي
فتحية عبدالرحمن المحميد

إعداد الصور

د. سعود بن عبدالعزيز الفراج

Original Title:
Physics
Principles and Problems
By:
Paul W. Zitzewitz
Todd George Elliott
David G. Haase
Kathleen A. Harper
Michael R. Herzog
Jane Bray Nelson
Jim Nelson
Charles A. Schuler
Margaret K. Zorn

التأليف والتطوير

فريق متخصّص من وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين.

www.macmillanmh.com

English Edition Copyright © 2009 the McGraw-Hill Companies. Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies. Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٩م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين و الاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المعظم

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

أخي المعلم/ أختي المعلمة

يأتي دليل المعلم لكتاب الفيزياء ٣ في إطار مشروع تطوير مناهج الفيزياء وتحديثها في مملكة البحرين، والذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم الفيزياء وتعلمها.

لقد وضع هذا الدليل بحيث يرتبط مباشرة بكتاب الطالب، ويتضمن كمًّا كبيرًا من المعلومات والإرشادات المتعلقة باستراتيجيات التدريس والتقويم والمعارف الإضافية، والعروض العملية بأشكالها المختلفة، فضلاً عن المصادر التقنية واستعمال الإنترنت، مما يوفر لك خيارات لا حصر لها في إنجاح عملية التعليم والتعلم، وتنفيذها وفق أحدث الأساليب التربوية. وإننا نرجو منك خلال تنفيذك للدروس التركيزَ على مشاركة الطلبة الفاعلة، ومنها التعلم الذاتي، والعمل في مجموعات، والمشاركة في النقاشات، والنشاطات العملية، والعروض الصفية، والمشاريع البحثية وغيرها.

ونحن إذ نضع بين يديك هذا الدليل، فإننا نأمل أن يكون لك مرشدًا، ومصدرًا مهمًّا في تخطيط الدروس، وتنفيذها، بما يتلاءم مع مستويات الطلبة، والبيئة الصفية، وأهداف المنهج، وفي الوقت نفسه نرجو ألا يقيدك هذا الدليل، بل يكون مساعدًا على تنمية مهاراتك التعليمية، وإبراز قدراتك الإبداعية في وضع البدائل، حيثما رأيت ذلك مناسبًا.

والله نسأل أن يحقق هذا الدليل الأهداف المتوخاة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالانسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، والبس قناعاً (كمامة) وقفازات.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتدي قناعًا (كمامة).	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، التماس الكهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، الصوف الفولاذي، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد القفازات وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي يمكن أن تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات، مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، والقواعد كالأمونيا، وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارات واقية، وقفازات، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم، إذا ابتلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الاسيتون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب المشتعل عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (للطالبات)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم طفاية الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارات واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز إلى التأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارات الواقية.

أدوات تدريس الفيزياء

جدول المحتويات

نسخة الطالب T1

نسخة دليل المعلم ..... T 5

مصادر المعلم في غرفة الصف ..... T 7

السلامة في المختبر ..... T 9

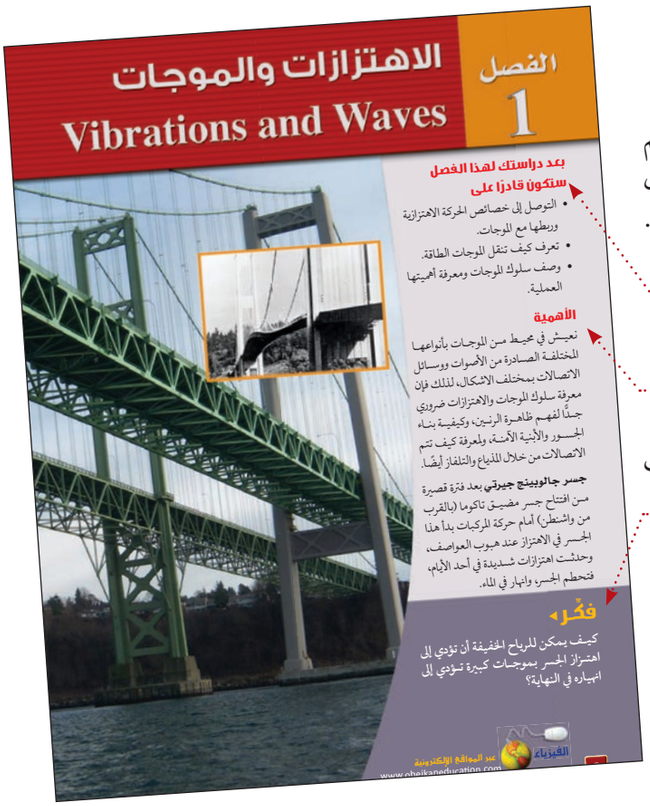
قائمة التجهيزات ..... T 11

جدول توزيع الحصص T15

جدول توزيع الموضوعات ..... T 16

قائمة المحتويات ..... T 17

التهيئة



كتاب الفيزياء: يوضح للطلبة كيفية ارتباط الفيزياء بحياتهم وبالعالم من حولهم، ولقد جاء التصميم جذابًا وسهل المتابعة، ومن خلال العرض سيتم مراجعة الرياضيات ومهارات حل المسائل وتعزيزها.

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على تقديم أهداف الفصل.

الأهمية توفر إجابة مقنعة للسؤال التالي: لماذا نتعلم هذا؟

فكّر يُطرح فيه سؤال يربط محتويات الفصل بالحياة اليومية بحسب ما جاء في صورة غلاف الفصل.

تطوير المهارات الرياضية

استراتيجية حل المسائل تُركز انتباه الطلبة على الأساليب التي تجعل حل المسائل أكثر سهولة.

الرياضيات في الفيزياء تُراجع أهم المبادئ الرياضية المرتبطة بمحتوى الفصل.

دليل الرياضيات تركز على المهارات الرياضية المستخدمة في حل المسائل الرياضية.

استراتيجيات حل المسألة

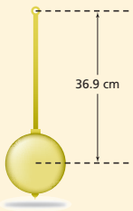
استخدام طريقة رسم الأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية

استخدم الاستراتيجيات التالية لحل مسائل المرايا الكروية. ارجع إلى **الشكل 10–4**:

1. استخدم ورقة مُسطّرة أو ورقة رسم بياني، وارسم المحور الرئيس للمرآة على صورة خط أفقي من يسار الصفحة إلى يمينها، تاركًا مسافة 6 أسطر فارغة أعلاه، و6 أسطر فارغة أسفله.
2. ضع نقاطًا أو علامات على المحور تمثّل كلًّا من الجسم و C و *F* على النحو الآتي:
   a. إذا كانت المرآة مقعرة وكان الجسم خلف مركز التكور C، بعيدًا عن المرآة فضع المرآة عن يمين الصفحة، والجسم عن يسارها، وضع C و *F* وفق مقياس الرسم.
   b. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم بين C و *F* فضع المرآة عن يمين الصفحة وC في وسطها و*F* في منتصف المسافة بين المرآة ومركز التكور C ، وضع الجسم وفق مقياس الرسم.
   c. لأي وضع آخر، ضع المرآة في وسط الصفحة، وضع الجسم أو البؤرة *F* [أيهما أبعد عن المرآة] على يسار الصفحة، وضع الآخر الأقرب وفق مقياس الرسم.
3. ارسم خطًّا رأسيًّا لتمثيل المرآة، يمر بقطبها وفي الفراغ المكوّن من الاثني عشر سطرًا. يمثل هذا الخط المستوى الأساسي للمرآة.

مثـال 2

استعمال البندول لحساب g إذا كان الزمن الدوري لبندول ساعة طوله 36.9 cm يساوي 1.22 s، فما مقدار تسارع الجاذبية الأرضية g في منطقة وجود البندول؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الوضع
- وضّح طول البندول على الرسم.

المعلوم	المجهول
$l = 36.9\ \text{cm}$	$g = ?$
$T = 1.22\ \text{s}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل المعادلة لحساب g.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$g = \frac{(2\pi)^2 l}{T^2}$$

بالتعويض عن $l = 0.369\ \text{m}$, $T = 1.22\ \text{s}$

$$= \frac{4\pi^2 (0.369\ \text{m})}{(1.22\ \text{s})^2}$$

$$= 9.78\ m/\text{s}^2$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- **هل الجواب منطقي؟** قيمة g المحسوبة كانت قريبة من القيمة المعيارية $9.80\ \text{m/s}^2$، ويكون البندول في منطقة أعلى من مستوى سطح البحر.

مسائل تدريبية

4. ما طول بندول موجود على سطح القمر حيث $g = 1.6\ \text{m/s}^2$ حتى يكون الزمن الدوري له 2.0 s؟
5. إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على سطح أحد الكواكب، فما مقدار g على هذا الكوكب؟

التدريب على حل المسائل

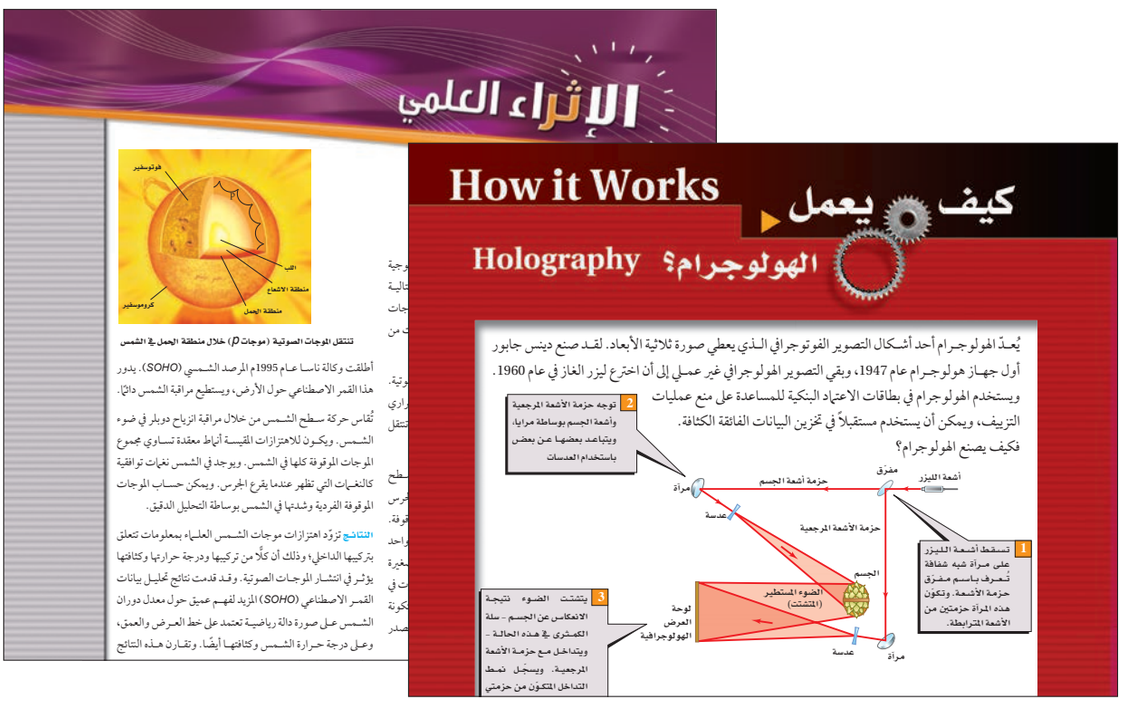
الأمثلة توفر للطالب نماذج لأمثلة محلولة على بعض المسائل الواردة في النص، وتوفر الاستراتيجيات باللون الأزرق أفكارًا مفيدة لحل المسائل.

المسائل التدريبية تعزز المفاهيم الواردة في النص بالإضافة إلى المفهوم في الأمثلة المحلولة.

مسائل التحدٍّ تزوّد الطالب بالفرصة لتطبيق المبادئ التي تعلّمها على أمثلة أكثر تعقيدًا.

ربط الفيزياء بالحياة الواقعية

الإثراء العلمي يتناول الموضوعات التي يراها الطالب مثيرة للاهتمام، وتحتوي مواد هذه الموضوعات على مفاهيم فيزيائية متقدمة.
كيف تعمل الأشياء نصوص توضح للطالب كيف تُستخدم مبادئ الفيزياء في الأدوات والأجهزة المألوفة.



التجارب العملية

يوفر كتاب الفيزياء خبرة عملية من خلال عدة تجارب مختارة، تعكس طبيعة العلم بصورة عامة، وتزداد معها ثقة طلابك وتنمو خبراتهم لاستكشاف تقدم العلم وتطبيق مبادئ الفيزياء التي تعلموها.

تجارب قصيرة

تجربة استهلالية توضع في بداية كل فصل، وهي طريقة فعالة وسهلة مهمتها تقديم محتويات الفصل للطالب.

تجربة توجد في كتاب الطالب وأخرى إضافية في كتاب المعلّم، وهي أنشطة سهلة العمل، وتساعد الطالب على فهم المبادئ الفيزيائية. ويمكن أن تجد تجربة واحدة على الأقل من هذا النوع في كل فصل.

تجارب متكاملة (مختبر الفيزياء)

يحتوي كل فصل على صفحتين من التجارب المتكاملة التي تستغرق حصة كاملة أو أكثر.

تجربة

تداخل الموجات

يمكنك باستعمال نابض حلزوني توليد موجة تضاغطية متغيرة في سعتها وسرعتها واتجاهها كما في الموجة المستعرضة.

1. **صمّم تجربة** لاختبار ما يحدث عند التقاء موجتين من اتجاهين مختلفين.
2. نفّذ التجربة وسجّل ملاحظاتك.

التحليل والاستنتاج

3. هل تغيّرت سرعة أي موجة منهما؟
4. هل ترتدّ هاتان الموجتان إحداهما عن الأخرى؟ أم تمر كل منهما خلال الأخرى؟

مختبر الفيزياء

سرعة الصوت Speed of Sound

إذا وضعت شوكة رنانة تهتز فوق عمود هوائي مغلق بطول مناسب فإن الهواء داخل العمود يهتز بالتردد نفسه، (f)، للشوكة الرنانة. وإذا وضع أنبوب زجاجي في مخبار كبير مملوء بالماء ومدرج فإنه يمكن تغيير طول الأنبوب الزجاجي من خلال رفعه أو إنزاله في الماء. ويكون طول أقصر عمود هواء يحدث رنينًا عندما يساوي طوله ربع الطول الموجي. وينتج هذا الرنين أعلى صوت، ويوصف الطول الموجي عند هذا الرنين بالعلاقة $\lambda = 4L$، حيث تمثل L المسافة من سطح الماء إلى الطرف المفتوح للعمود. وستحدّد في هذا المختبر الطول L، لكي تحسب λ، ثم تحسب سرعة الصوت.

سؤال التجربة

كيف تستطيع استعمال أنبوب مغلق في حالة رنين لكي تحدّد سرعة الصوت؟

الأهداف

- **تجمع البيانات وتنظمها** للحصول على نقاط رنين في أنبوب مغلق.
- **تقيس** طول أنبوب مغلق في حالة رنين.
- **تحلل** البيانات لتحدّد سرعة الصوت.

احتياطات السلامة

- اسح مباشرة أي سوائل منسكبة.
- تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هش.

المواد والأدوات

ثلاث شوكات رنانة معلومة التردد
مخبار مدرّج سعته 1000 mL
ماء
مطرقة خاصة بالشوكات الرنانة
مسطرة مترية
مقياس حرارة
أنبوب زجاجي طوله 40 cm وقطره 3.5 cm

الخطوات

1. ضع نظارات واقية على عينيك، واملأ المخبار المدرّج بالماء إلى قرابة ثلثيه تقريبًا.
2. قس درجة حرارة الغرفة، وسجلها في جدول البيانات 1.
3. اختر شوكة رنانة، وسجل ترددها في جدولي البيانات 2 و3.
4. قس قطر الأنبوب الزجاجي، وسجله في جدول البيانات 2.
5. ضع بحذر الأنبوب الزجاجي في المخبار المدرّج المملوء بالماء.
6. أمسك الشوكة الرنانة من قاعدتها، ثم اضربها بسرعة على أحد ذراعيها بمطرقة الشوكة الرنانة. ولا تضرب الشوكة الرنانة بطاولة المختبر أو أي سطح قاسٍ.
7. قرّب الشوكة الرنانة المهتزة لتصبح فوق الطرف المفتوح للأنبوب الزجاجي مباشرة، وارفع الأنبوب والشوكة ببطء حتى تسمع صوتًا عاليًا. ولحظة تعيينك هذه النقطة، حرّك الأنبوب الزجاجي إلى أعلى وإلى أسفل قليلاً لتحدّد نقطة الرنين تمامًا، ثم قس المسافة من الماء إلى أعلى الأنبوب الزجاجي، وسجل هذه المسافة في جدول البيانات 2.
8. كرّر الخطوات 3 و6 و7 لشوكتين رنانتين إضافيتين، وسجل نتائجك في المكان المخصص للمحاولتين 2 و3 في جداول البيانات. يجب أن تكون ترددات الرنين الثلاثة للشوكات الرنانة الثلاث مختلفة.
9. أفرغ المخبار المدرّج من الماء.

50

جدول البيانات 1

المحاولة	درجة الحرارة (°C)	السرعة بالثوانية للصوت (m/s)	السرعة التجريبية للصوت (m/s)
1			
2			
3			

جدول البيانات 2

المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	القطر (m)	طول الأنبوب فوق الماء (m)	الطول الموجي المحسوب (m)
1				
2				
3				

جدول البيانات 3

المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	السرعة بالثوانية للصوت (m/s)	الطول الموجي المحسوب للمخبر (m)	سرعة الصوت التجريبية للمخبر (m/s)
1				
2				
3				

التحليل

1. احسب السرعة المقبولة للصوت باستعمال العلاقة $v = 331\ m/s + 0.60T$، حيث v سرعة الصوت عند درجة الحرارة T، وT درجة حرارة الهواء بالسيليزية. سجل هذه النتيجة على أنها السرعة المقبولة للصوت في جدولي البيانات 1 و3 للمحاولات جميعها.
2. بما أن الرنين الأول عُيّن عندما كان جزء الأنبوب الذي فوق الماء يساوي ربع الطول الموجي، لذا استعمل الطول المقيس للأنبوب في تحديد الطول الموجي المحسوب لكل محاولة. وسجل الأطوال الموجية المحسوبة في جدول البيانات 2.
3. اضرب قيمتي الطول الموجي والتردد في جدول البيانات 2، لتحديد السرعة التجريبية للصوت، وسجل ذلك في جدول البيانات 1 لكل محاولة.
4. **تحليل الخطأ** حدّد الخطأ النسبي بين سرعة الصوت المقبولة والتجريبية لكل محاولة في جدول البيانات 1.

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

5. **انتقد** يجب أخذ قطر الأنبوب بعين الاعتبار لتحسين دقة الحسابات. وتبرز العلاقة التالية حسابات الطول الموجي بدقة أكثر: $\lambda = 4(L + 0.4d)$، حيث تمثل λ الطول الموجي، وL طول الأنبوب فوق الماء، وd القطر الداخلي للأنبوب. استعمل قيم الطول والقطر الواردة في جدول البيانات 2، وأعد حساب λ، وسجل القيمة في جدول البيانات 3 على أنها الطول الموجي المصحّح، ثم احسب سرعة الصوت التجريبية المصححة من خلال ضرب تردد الشوكة الرنانة في الطول الموجي المصحّح، ثم سجل القيمة الجديدة لسرعة الصوت التجريبية المصححة في جدول البيانات 3.
6. **تحليل الخطأ** حدّد لكل محاولة في جدول البيانات 3 الخطأ النسبي بين السرعة التجريبية المصححة والسرعة المقبولة للصوت، واستعمل الصيغة نفسها التي استعملتها في الفقرة 4 سابقًا.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** تحدث نقطة الرنين الأولى عندما يكون طول الأنبوب مساويًا $\lambda/4$. ما الطولان اللذان يحدث عندهما الرنينين اللاحقين؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن تعيين موقع آخر لحدوث الرنين إذا كان لديك أنبوب أطول؟ وضح إجابتك.

التوسع في البحث

أيّ النتائج تعطي دقة أكثر لسرعة الصوت؟

الفيزياء في الحياة

فسّر العلاقة بين حجم أنابيب الأرغن وترددات الرنين لها.

الفيزياء عبر البوابة الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول خصائص موجات الصوت ارجع إلى الموقع الإلكتروني، obeikaneducation.com

51

التقويم

يقدم لك **كتاب الفيزيـاء** الأدوات التي تحتاج إليها لتهيئ طلابك للنجاح في أي اختبار. وستجد مسائل وأنشطة تقويمية متنوعة في كل درس.

المراجعة

تشير مسائل المراجعة إلى مدى استعداد طلابك للانتقال إلى الدرس اللاحق.

دليل الدراسة

مراجعة سريعة تلخص المفردات والمفاهيم الأساسية، بالإضافة إلى أهم المعادلات في كل جزء من الفصل.

تقويم الفصل

يحتوي ثلاث إلى ست صفحات من المسائل والتمارين التي تتنوع بين تطوير المفاهيم وتطبيقها والتفكير الناقد والكتابة في الفيزياء .... إلخ. ويستطيع المعلم اختيار نوع المسائل ومستواها المناسب للطلاب.

اختبار مقنن

تقوّم مسائل الاختبار المقنن في نهاية كل فصل مدى تمكن الطالب من المفاهيم والمهارات. ويشتمل دليل المعلم على إجابات كل من أسئلة الاختيار من متعدد، وسلم التقدير لأسئلة الإجابات المفتوحة، وبقية المسائل.

لمحة عن مخطط الدروس

كتاب المعلم هو دليلك إلى مصادر التعليم في كتاب الفيزياء، بالإضافة إلى استراتيجيات التدريس وبعض الاقتراحات.

أدوات التخطيط

مخطط الفصل يوفر التخطيط للتجارب والعروض.

نظرة عامة إلى الفصل مقدمة توضع بجوار صورة الفصل بحيث تصف محتوياته.

فكّر الإجابة عن السؤال الموجود في كتاب الطالب وربطه بمادة الفصل.

المفردات الرئيسة قائمة بأهم المفاهيم والمصطلحات مرتبة كما سترد في الفصل.

الفصل 2

الصوت

نظرة عامة إلى الفصل

الصوت عبارة عن تغير في الضغط ينتقل في صورة موجة طولية. يعرض الفصل بعض خصائص الصوت مثل اتجاه الصوت، ودرجة الصوت، وسرعة الصوت. ثم يربط الفصل بين تلك الخصائص والرنين، من خلال مناقشة الرنين في أعمدة الهواء والأوتار. ويختتم الفصل بمناقشة الضربات.

فكّر

تولد الآلات والأجسام الصوت بطرائق متعددة، فإما يكون الصوت ناتجًا عن اهتزاز عمود هواء، أو عن سطح يهتز، أو من اهتزاز أوتار وسطح في حالة رنين. وترتبط الاختلافات في الأصوات الناتجة عن الآلات أو الأجسام بنمط موجات الصوت التي تشكلها.

المفردات الرئيسة

- الموجة الصوتية
- تأثير دوبلر
- الرنين
- التردد الأساسي
- الموجة الموقوفة
- الضربة

36

الفصل 2

الصوت

Sound

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- وصف الصوت بدلالة خصائص الموجات وسلوكها.
- اختبار بعض مصادر الصوت.

الأهمية

يُعدّ الصوت وسيلة مهمة للاتصال، وتأليف الموسيقى التي تُعبر عن ثقافة الشعوب. وحديثًا تعد موجاته إحدى وسائل المعالجة.

المجموعات الموسيقية تحتوي المجموعة الموسيقية الصغيرة على اثنين أو ثلاث، في حين قد تحتوي الفرقة الموسيقية على 100 أو أكثر من تلك الآلات أو غيرها التي تنتج نغمات بطرائق مختلفة، وينتج عنها مقطوعات موسيقية رائعة.

فكّر

كيف تُنتج الآلات الموسيقية الأصوات التي تسمعها من الفرقة الموسيقية؟ ولماذا تختلف أصوات الآلات المتنوعة حتى لو كانت تعزف النغمة الموسيقية نفسها؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية www.obeikaneducation.com

36

تجربة استهلالية

الهدف تقديم موضوع توليد موجات صوتية بوساطة حافة مهتزة.

المواد والأدوات كؤوس زجاجية ذات سيقان يختلف بعضها عن بعض في السمك والارتفاع، وأكواب زجاجية بدون سيقان، وماء.

استراتيجيات التدريس

- أتح للطلبة وقتًا كافيًا للتمرين؛ لن يتمكن جميع الطلبة في البداية من جعل الكأس تهتز.
- تأكد أن الطلبة يختبرون الكؤوس ذات السيقان بوجود كمية قليلة من الماء فيها، واطلب إليهم ملاحظة سطح الماء عند سماعهم أصوات الرنين التي تُصدرها الكؤوس.

***تحذير:** يجب التعامل مع الكؤوس الزجاجية بحذر لأنها قابلة للكسر.*

مستويات وأنماط التعلم

طرائق تدريس متنوعة

وُضعت رموز المستويات في دليل المعلم لمساعدتك على التعامل مع الطلبة من مختلف المستويات.

المستوى 1: م1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.

المستوى 2: م2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.

المستوى 3: م3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط)

وقد أُدرجت أنماط التعلم المناسبة بعد الرموز م1 ، م2 ، م3، وهي:

- **حسي – حركي**: يتعلم الطلبة من خلال اللمس والحركة واللعب بالأشياء.
- **بصري–مكاني**: يتعلم الطلبة من خلال الصور، والصور التوضيحية، والنماذج.
- **منطقي–رياضي**: يستوعب الطلبة الأرقام بسهولة ويمتلكون مهارات تفكير على درجة عالية من التطور.
- **لغوي**: يكتب الطلبة بوضوح ويستوعبون الكلمات المكتوبة بسهولة.
- **سمعي**: يتذكر الطلبة الكلمات المنطوقة، ويمكنهم عمل إيقاعات وألحان.
- **متفاعل**: يستوعب الطلبة ويتعلمون بشكل جيد من خلال العمل مع الآخرين.
- **ذاتي**: يفيد في تحليل مواطن القوة والضعف لدى الطلبة الذين يميلون إلى العمل بمفردهم.

نشاط — طرائق تدريس متنوعة

تحدّ جسدي أعط الطلبة مرشّحات استقطاب، واطلب إليهم أن يشاهدوا أجسامًا مختلفة من خلال المرشّحات، وأن يُدوّروا المرشّحات ويلاحظوا ما يحصل لما يشاهدونه.

نشاط — تحدٍّ

الفوتونات اطلب إلى الطلبة المهتمين استقصاء الضوء كمجموعة من الفوتونات تنتشر في الفضاء على شكل موجات كهرمغناطيسية.

نشاط — مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلم

قانون التربيع العكسي استخدم لوحًا خشبيًّا صغيرًا يحوي ثقوبًا عدة، ومصباحًا كهربائيًّا صغيرًا ذا شدة إضاءة كبيرة (ساطع).

دورة التعليم الفعّال

تم ترتيب عناصر نسخة المعلم بما يتناسب مع كل درس في نسخة الطالب وتنظيمها في ثلاث خطوات تشكّل دورة التعليم هي:

1. **التركيز** عناصر لتقديم الدرس.
2. **التدريس** عناصر تزودك بمقترحات للتعليم، وتساعدك على توصيل محتوى الدرس للطلبة.
3. **التقويم** عناصر تساعدك على مراقبة تطور معرفة الطلبة.

سوف تشتمل كل خطوة من دورة التعليم على بعض العناصر الموضحة أدناه أو جميعها:

1. التركيز

نشاط محفّز عرض قصير أو نشاط يوضح محتوى الدرس، ويجذب انتباه الطلاب.

الربط مع المعرفة السابقة يربط الدرس الحالي بالفصول أو الدروس السابقة.

2. التدريس

نشاط يعزز المفاهيم المهمة من خلال التجريب اليدوي.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة تناقش الأفكار غير الصحيحة التي تكونت لدى الطلبة حول بعض المفاهيم العلمية.

استخدام الشكل التركيز على الأشكال التي تتطلب مساعدة المعلم في تفسيرها، أو التي تصلح أن تكون موضوع للمناقشة، أو النشاط بين الطلبة.

مثال صفي مسائل تظهر دائمًا بجانب الأمثلة في نسخة الطالب. استخدم هذه المسائل لتعزيز المفاهيم الواردة في الفصل.

تطوير المفهوم استراتيجيات التدريس تزيد من فهم الطالب لموضوع ما.

التفكير الناقد أسئلة تشجع الطلبة على تحليل المفاهيم التي يعرفونها، أو يقرؤون عنها، واستخلاص نتائج جديدة حولها.

تعزيز الفهم أنشطة تؤكد على المفردات والمفاهيم والعلاقات التي ترد في الفصل.

1. التركيز

نشاط محفز

المزامير القصبية وزّع قصبة بلاستيكية على كل طالب. واطلب إلى الطلبة قطع أحد طرفي القصبة ثم تسطيحه بالضغط عليه برفق؛ بحيث يصبح كلسان المزمار. يستطيع الطلبة، مع قليل من التمرين، النفخ في القصبة وتوليد نغمات موسيقية. ثم اطلب إليهم قطع القصبات بحيث تكون أقصر ثم المقارنة بين النغمات التي يولّدونها. بعد ذلك اجعل الطلبة يناقشون كيف تعمل القصبة على توليد الصوت وكيف ترتبط درجة الصوت بطول القصبة. م ع **سمعي - موسيقي**

الربط مع المعرفة السابقة

الرنين يطبّق الطلبة فهمهم للموجات الصوتية على مفهوم الرنين وعلى خصائص الموجات الموقوفة في الأعمدة الهوائية والأوتار.

2. التدريس

المناقشة

سؤال اطلب إلى الطلبة التمييز بين انعكاس تضاغط موجة صوتية في عمود هوائي مغلق وبين انعكاسه في عمود هوائي مفتوح.

الإجابة في العمود الهوائي المغلق ينعكس التضاغط تخلخلًا. أما في العمود الهوائي المغلق فينعكس تضاغطًا. انظر **الشكل 6-2**. م

مصادر المعلم في غرفة الصف

استخدام النماذج نشاط يقوم الطالب من خلاله بعمل أو استخدام نموذج لتوضيح مفاهيم مجردة.

استخدام التشابه استخدام المقارنة مع أحداث شائعة لجعل المفاهيم المجردة أكثر رسوخًا لدى الطلاب.

المناقشة تشتمل على سؤال يمكن أن يناقش من قبل مجموعات صغيرة أو من طلبة الصف، وتحتاج الإجابة إلى التفكير الناقد وتطبيق المفاهيم التي وردت في الفصل.

تطبيق الفيزياء تقدم معلومات تشكل خلفية نظرية و/ أو استراتيجية تدريس، ترتبط بالموضوع الوارد في نسخة الطالب.

الفيزياء في الحياة تلقي الضوء على أمثلة تطبيقية للفيزياء من الحياة الواقعية.

مهن في الحياة تصف المهن التي تشتمل على الفيزياء.

من معلم لآخر تقدم أفكارًا تعليمية صحيحة ومجرّبة، واستراتيجيات تدريس أو أنشطة قام بها مدرسو الفيزياء وطبقوها بنجاح في غرف الصف.

الخلفية النظرية للمحتوى تقدم معلومات إضافية حول مفهوم لم يرد في نسخة الطالب. ربما تكون المعلومات ذات مستوى عالٍ لتقدمها للطلاب، لكنها تساعد على توضيح لماذا يحدث شيء ما؟

مشروع فيزياء نشاط يستمر لفترة طويلة نسبيًّا يقوم فيه الطالب بالبحث في موضوعات أو مفاهيم معينة.

3. التقويم

التحقق من الفهم سؤال أو نشاط يمكنك القيام به لإجراء تقويم سريع لاختبار مدى تعلم الطلبة لمفهوم معين.

إعادة التدريس يقترح استراتيجية لعرض المادة بطريقة مختلفة لمساعدة الطلبة على استيعاب محتوى الدرس.

التوسع يقدم سؤالاً أو نشاطًا ذا مستوى متقدم تتطلب معرفته التركيز بعمق أكبر على مفهوم معين.

عرض سريع

موقع الصورة 1-T

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات مرآة مقعرة، وجسم متوهج يعمل بوساطة بطارية أو بطاقة كيميائية.

الخطوات

1. اجعل الضوء خافتًا وأمسك الجسم بيد، والمرآة المقعرة باليد الأخرى.
2. وجِّه المرآة نحو لوح أبيض أو نحو الحائط. ثم احمل الجسم بحيث يقع على المحور الرئيس بين C، F، على أن يكون قريبًا من البؤرة. ستظهر صورة كبيرة مقلوبة للجسم على الحائط.
3. اجعل الجسم خلف C. ستضطر إلى إمالة وجه المرآة تدريجيًّا بعيدًا عن الحائط. ستتكون صورة مصغرة مقلوبة بين C و F على الحائط.
4. اجعل الجسم بين F والمرآة. لن تتكوّن صورة حقيقية.

3. التقويم

التحقق من الفهم

الضوء عند الحد الفاصل درس الطلبة كلًّا 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 الطلبة إكمال الرسم لتوضيح كل من الانكسار والانعكاس. ١٢ **بصري - مكاني**

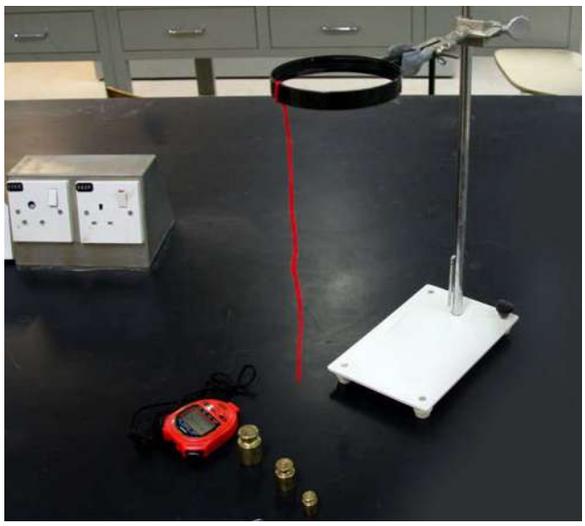
إعادة التدريس

درجة الانكسار اسأل الطلبة: 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 $v = c/n$ ٢٠

إدارة الأنشطة في مختبر الفيزياء



يُعد مختبر الفيزياء مكانًا آمنًا لإجراء التجارب إذا ما تم اتخاذ تدابير الحيطة والحذر. وعليك أن تتحمل مسؤولية سلامتك وسلامة طلابك، وتقدم لهم قواعد السلامة لتجنب وقوع أي حادثة في المختبر ومنها:

1. يجب أن يستخدم مختبر الفيزياء للعمل الجاد.
2. لا تقم بإجراء أي من التجارب غير المصرح بها، واحصل دائمًا على إذن من معلمك.
3. ادرس التجربة قبل مجيئك إلى المختبر، واسأل معلمك إذا كان لديك شك أو استفسار حول أي خطوة.
4. استخدم أدوات السلامة المقدمة لك، واعرف مكان طفاية الحريق، والبطانية المقاومة للحريق، وقواطع الكهرباء وقائمة بمواد السلامة، وموقع غسل العيون، وصندوق الإسعافات الأولية.
5. ارتد دائمًا أدوات السلامة المناسبة كالنظارات الواقية، ومعطف المختبر، وانتعل أحذية السلامة.
6. بلّغ معلمك على الفورعن أيّ حادث أو إصابة أو أي خطأ في الخطوات.
7. أخمد النيران باستخدام بطانية مقاومة للحريق، وإذا تعرضت الملابس للحريق فأخمدها بالبطانية أو بمعطف، أو ضعها تحت الدش، دون أن تركض على الإطلاق.
8. تعامل مع المواد السامة والقابلة للاشتعال أو المشعّة بإشراف مباشر من معلمك. وإذا سكبت حامضًا أو مادة كيميائية تسبب التآكل فأزلها حالًا باستخدام الماء. ولا تتذوق أي مادة كيميائية، ولا تسحب أي مادة سامة بوساطة أنبوب زجاجي باستخدام الفم، واحفظ المواد القابلة للاشتعال بعيدًا عن مصادر اللهب.
9. ضع الزجاج المكسور والمواد الصلبة في الحاويات المخصصة لها. واحتفظ بالمواد غير الذائبة في الماء خارج المغسلة.
10. استخدم الأدوات الكهربائية تحت إشراف معلمك فقط. وتأكد أن المعلم قد تفحص الدائرة الكهربائية قبل أن تُغلقها.
11. تأكد من إغلاق صنبور الماء وأسطوانة الغاز، وفصل التوصيلات الكهربائية بعد الانتهاء من التجربة، ونظّف مكان عملك، وأعد جميع المواد التي استخدمتها إلى أماكنها المناسبة.

الإسعافات الأولية في المختبر

إذا كان مختبر الفيزياء يتطلب احتياطات سلامة خاصة به فسوف يشار إلى ذلك من خلال رموز السلامة، انظر رموز السلامة في بداية الكتاب.

اطلب إلى الطلبة تقديم تقرير بالحوادث والجروح والمواد المسكوبة جميعها أينما لزم.

وعلى الطالب أن يعرف:

- أساليب السلامة في العمل المختبري.
- كيفية تقديم تقرير بحادث، أو إصابة أو جرح أو مادة مسكوبة؟ ومتى يقدمه؟
- مكان مواد الإسعافات الأولية ومستلزماتها، وإنذار الحريق، والهاتف، والمسؤول في إدارة المدرسة.

الموقف	الاستجابة الآمنة
الحروق	سكب الماء على الإصابة بشكل كثيف.
الجروح والكدمات	اتباع التعليمات والإرشادات الموجودة في صندوق الإسعافات الأولية.
الصدمة الكهربائية	تزويد المصاب بالهواء المنعش، ووضعه بشكل مائل بحيث يكون رأس المصاب منخفضًا عن باقي الجسم، وإجراء عملية التنفس الاصطناعي إذا كان ذلك ضروريًا، وتغطية المصاب ببطانية ليبقى دافئًا.
الإغماء أو الانهيار	استدعاء الإسعاف فورًا.
الحريق	إغلاق صنابير الغاز وإخماد ألسنة اللهب جميعها، ولف الشخص المحترق ببطانية الحريق، واستعمال طفاية الحريق لإخماد النار. واستدعاء رجال الاطفاء إن لزم. لا يجب استخدام الماء لإطفاء الحريق. لأن الماء ربما يتفاعل مع المواد المحترقة مما يتسبب في ازدياد الحريق.
وجود مادة مجهولة في العين	اغسلها بكمية كبيرة من الماء مدة 15 دقيقة على الأقل، وقم بإرسال المصاب إلى المستشفى.
التسمم	ملاحظة العامل السام المشتبه به، والاتصال بمركز مراقبة السموم للحصول على مضاد التسمم (الترياق).
النزف الشديد	استخدام قفازات مطاطية خاصة، والضغط باليد أو بمادة ضاغطة مباشرة على الجرح، وطلب المساعدة الطبية في الحال.
الحروق الناتجة عن انسكاب مواد حامضية	غسل المنطقة المصابة بالحمض بكمية كبيرة من الماء، واستخدام رشاش ماء آمن، واستخدام كربونات الصوديوم، أو صودا الخبيز (بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$)
حروق قاعدة (القلويات)	استخدام حمض البوريك H_3BO_3، وغسل المنطقة بكمية كافية من الماء.
أجسام حادة تخترق الجلد	لا تنزع الجسم المخترق، واحفظ المصاب ساكنًا، وسيطر على النزف واطلب المساعدة الطبية.

قائمة التجهيزات

هذه قوائم الأدوات التي يمكن أن تساعدك على إعداد مختبرات الفيزياء للسنة كاملة. والكميات المذكورة في الجدول أدناه لمختبر الفيزياء والتجربة والتجارب الصغيرة الإضافية، وهي الكميات القصوى اللازمة لمجموعة واحدة من الطلبة لعام كامل والكميات الخاصة بالتجارب الاستهلالية هي الكميات القصوى التي ستحتاج إليها لعمل كافة العروض. الأجزاء (البنود) التي يلزمك استخدام الأداة فيها موضوعة بين قوسين في القائمة. ارجع إلى مخطط الفصل قبل الحصول على قائمة بالأجهزة والأدوات لكل نشاط مختبري في كل فصل.

مواد غير مستهلكة

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
دورق سعته 400 ml (عدد 3)			ف (5)
وعاء قليل العمق وواسع		ف (6) (1–6)	
محلول فقاعات الصابون		ف (6) (1–6)	
مرشّحات ضوئية بألوان مختلفة		ف (6) (2–6)	ف (6)
أقراص مدمجة + DVD			ف (6)
محزوز حيود		ف (6) (2–6)	
جهاز العرض فوق الرأس		ف (6) (2–6)	
عمود هوائي مغلق		ف (2) (2–2)	
كرة فلين		ف (2) (1–2)	
جرس توقيت		ف (2) (1–2)	
بطاريات		ف (2) (1–2)	
شق مزدوج قابل للتعديل		ف (6) (2–6)	
مصدر ضوء أبيض مع شق		ف (6) (2–6)	
قضيب ألومنيوم يتراوح طوله بين 50 cm و200 cm وبقطر يتراوح بين 10 mm و15 mm		ف (2) (2–2)	
شاشة بيضاء	ف (4)	ف (3) (2–3) ف (4) (1 – 4)	
حامل شاشة	ف (4)		
جهاز عرض ضوئي أو جهاز عرض الشرائح			ف (6)
أنبوب زجاجي طوله (40 cm) وقطره (3.5 cm)	ف (2)		
أكواب (كأس زجاجي)			ف (2)

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
كؤوس زجاجية ذات سيقان مختلفة السمك والارتفاع، وحوافها رقيقة			ف (2)
مخبار مدرج سعته 1000 ml	ف (2)		
مصابيح كهربائية مزودة بمفتاح تحكم في شدة الضوء، وقواعدها		ف (3) (2-3)	
مصباح 15 W	ف (4)		
مصباح كهربائي صغير		ف (4) (2-4) ف (5) (2-5)	
مصباح يدوي		ف (3) (1-3) ف (4) (1-4) ف (5) (1-5)	ف (3) ف (4)
دورق كروي		ف (5) (1-5)	
أنبوب اختبار كبير		ف (5) (2-5)	
عدسة محدبة ذات بعد بؤري كبير		ف (6) (1-6)	
عدسات محدّبة رقيقة+ حواملها	ف (5)	ف (5) (2-5)	
مصدر ضوء فلورسنتي	ف (3)		
مصدر ضوئي متوهج أو ساطع	ف (3)	ف (6) (2-6)	
مصدر ضوئي يصدر شعاعًا ضوئيًّا ضيقًا		ف (3) (2-3)	
لوح زجاجي		ف (3) (2-3)	
مصباح كهربائي قدرته 25 W (أو شمعة) + قاعدة	ف (5)		
مساطر مترية وحواملها	ف (2) ف (4) ف (5) ف (6)		
آلة تصوير ذات قرص مسجل عليه المسافات		ف (4)(1-4)	
مرايا مقعرة ، وحواملها	ف (4)	ف (4)(2-4)	ف (4)
مرايا محدبة، وحواملها		ف (4)(2-4)	ف (4)
مرايا مستوية، وحواملها	ف (3)	ف (4)(1-4)	ف (3) ف (4)
مصدر ضوء ليزر بألوان مختلفة	ف(4) ف (6)	ف (3)(1-3)	

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
جسم متوهج يعمل بوساطة بطارية أو بطاقة كيميائية		ف (4) (2-4)	
مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر معلوم الطول الموجي	ف (6)	ف (4) (1-4) ف (6) (2-6)	
مسّاحة سبّورة		ف (3)(1-3)	
لوح زجاجي سميك مستوي		ف (6) (1-6)	
منشور زجاجي		ف (3)(2-3)	
منقلة بلاستيكية شفافة	ف (3)		
ثلاثة مصادر ضوء تصدر ألوان الضوء الأساسية (أحمر، وأزرق، وأخضر)		ف (3)(2-3)	
حامل حلقي	ف (1)		
آلة حاسبة مزودة بشاشة مصنوعة من البلورات السائلة	ف (3)		
شبكة سلكية		ف (6) (1-6)	
شق مزدوج	ف (6)		
أثقال رصاصية صغيرة ومختلفة	ف (1)		
نوابض زنبركية (حلزونية)		ف (1)(2-1) ف (1)(3-1)	ف (1)
ساعة وقف	ف (1)	ف (1) (2-1) ف (1) (3-1)	
قالب بلاستيكي مستطيل كبير وشفاف		ف (5) (1-5)	
خرطوم ماء مزوّد بمرش		ف (5) (1-5)	
مقياس حرارة (غير زئبقي)	ف (2)		
مجموعة شوكات رنّانة معلومة التردد	ف (2)		
مطرقة خاصة بالشوكات الرنانة	ف (2)		
مرشّحات استقطاب	ف (3)	ف (3) (2-3) ف (6) (2-6)	
حوض موجات مزوّد بنظام إسقاط الضوء		ف (6) (1-6) ف (1) (1-3)	
أقلام رصاص (عدد 3)		ف (5) (1-5)	ف (5)

مواد مستهلكة

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
صلصال	ف (6)	ف (4) (2–4) ف (5) (2–5)	ف (3)
200 ml من زيت الذرة			ف (5)
200 ml من زيت الطهي			ف (5)
دبابيس تثبيت			ف (3)
صمغ		ف (2) (2–2)	
مشبك غسيل	ف (6)		
بطاقات فهرسة	ف (5)	ف (6) (2–6)	ف (3) ف (4)
مشابك ورق	ف (1)		
مسامير صغيرة وبراغي صغيرة		ف (5) (2–5)	
ورق أسود	ف (3)		
ورق أبيض	ف (3)	ف (4) (1–4) ف (4) (2–4)	
ورق مقوّى فيه ثقب		ف (5) (1–5)	
خيوط	ف (1)		
شريحة مجهر مزودة بغطاء زجاجي		ف (6) (1–6)	
ماء	ف (2)	ف (5) (1–5)	ف (2) ف (5)

جدول توزيع الحصص لمقرر الفيزياء٣

الفصل	الدروس	عدد الحصص	المجموع
الفصل الأول الاهتزازات والموجات	1-1 الحركة الدورية	2	9
	1-2 خصائص الموجات	2	
	1-3 سلوك الوجات	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الثاني الصوت	2-1 خصائص الصوت	3	8
	2-2 الرنين	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الثالث أساسيات الضوء	3-1 الاستضاءة	3	8
	3-2 الطبيعة الموجية للضوء	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الرابع الانعكاس والمرايا	4-1 الإنعكاس عن المرايا المستوية	2	8
	4-2 المرايا الكروية	3	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الخامس الانكسار والعدسات	5-1 إنكسار الضوء	3	9
	5-2 العدسات المحدبة والمقعرة	2	
	5-3 تطبيقات العدسات	1	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل السادس التداخل والحيود	6-1 التداخل	3	8
	6-2 الحيود	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
المجموع			50

جدول توزيع الموضوعات لمساقي فيز ٢١٨ / فيز ٢١٩

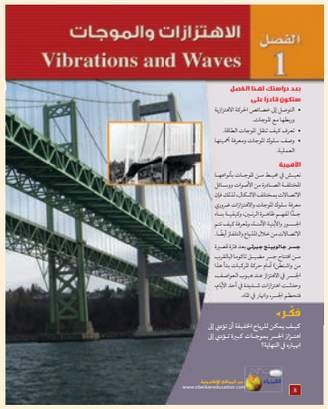
أولًا: فيز 218 **البديل: الأول** **عدد الساعات: 2**

الفصل	الموضوع
الأول	الاهتزازات والموجات
الثاني	الصوت
الثالث	أساسيات الضوء

ثانيًا: فيز 219 **البديل: الثاني** **عدد الساعات: 4**

الفصل	الموضوع
الأول	الاهتزازات والموجات
الثاني	الصوت
الثالث	أساسيات الضوء
الرابع	الانعكاس والمرايا
الخامس	الانكسار والعدسات
السادس	التداخل والحيود

قائمة المحتويات



الفصل 1

الاهتزازات والموجات 8

تجربة استهلالية 9

كيف تسلك الموجات في النابض الحلزوني؟

1-1 الحركة الدورية 9

1-2 خصائص الموجات 15

1-3 سلوك الموجات 21

مختبر الفيزياء 26

البندول البسيط

الفصل 2

الصوت 36

تجربة استهلالية 37

كيف يمكن لكأس زجاجية أن تصدر نغمات موسيقية؟

2-1 خصائص الصوت 37

2-2 الرنين 44

مختبر الفيزياء 50

سرعة الصوت

الفصل 3

أساسيات الضوء 58

تجربة استهلالية 59

كيف يمكنك تحديد مسار الضوء في الهواء؟

3-1 الاستضاءة 59

3-2 الطبيعة الموجية للضوء 66

مختبر الفيزياء 74

استقطاب الضوء

قائمة المحتويات

الفصل 4

الانعكاس والمرايا 82

تجربة استهلالية 83

كيف تظهر الصورة على شاشة؟

4-1 الانعكاس عن المرايا المستوية 83

4-2 المرايا الكروية 90

مختبر الفيزياء 100

صور المرايا المقعرة

الفصل 5

الانكسار والعدسات 110

تجربة استهلالية 111

كيف يبدو قلم رصاص في سائل عند النظر إليه جانبيًا؟

5-1 انكسار الضوء 111

5-2 العدسات المحدبة والمقعرة 119

5-3 تطبيقات العدسات 126

مختبر الفيزياء 130

العدسات المحدبة والبعد البؤري

الفصل 6

التداخل والحيود 138

تجربة استهلالية 139

لماذا يعكس القرص المدمج الضوء بألوان قوس المطر؟

6-1 التداخل 139

6-2 الحيود 148

مختبر الفيزياء 156

تداخل الضوء بوساطة الشق المزدوج

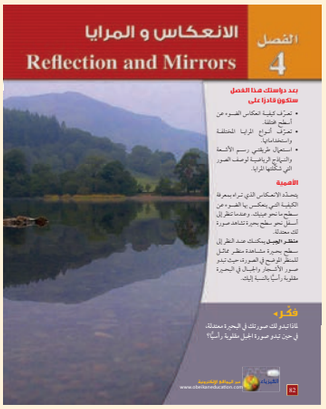
مصادر تعليمية 163

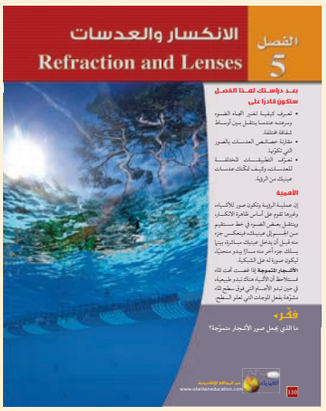
دليل الرياضيات 164

حلول بعض المسائل التدريبية 195

الجداول 199

المصطلحات 203





الفصل 1

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
1–1 الحركة الدورية 1. **تصف** القوة في نابض مرن. 2. **تحدّد** الطاقة المختزنة في نابض مرن. 3. **تقارن** بين الحركة التوافقية البسيطة وحركة بندول.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** نابض حلزوني
1–2 خصائص الموجات 4. **تستنتج** كيف تنقل الموجات الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط. 5. **تقارن** بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية. 6. **تربط** بين سرعة الموجة وطولها الموجي وترددها.	**تجارب الطالب** **عرض سريع** نابض، وساعة وقف. **عرض سريع** نابض.
1–3 سلوك الموجات 7. **تربط** بين سرعة الموجات وطبيعة الوسط الذي تتحرك فيه. 8. **تصف** كيفية انعكاس الموجات وانكسارها عند الحد الفاصل بين وسطين. 9. **تطبّق** مبدأ التراكُب على ظاهرة التداخل.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافيّة** حوض موجات مزوّد بنظام إسقاط الضوء، وساعة وقف. **تجربة** نابض حلزوني. **مختبر الفيزياء** خيط غير قابل للي طوله 1.5 m، وثلاثة أثقال رصاصية صغيرة، ومشبك ورق، وحامل حلقي، وساعة وقف.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الأول

الفصل 1

الاهتزازات والموجات

نظرة عامة إلى الفصل

يقدم هذا الفصل مفهوم الحركة الدورية، وطبيعة الموجات الميكانيكية وخصائصها، كما يناقش أنواعًا متعددة من سلوك الموجات وخصائصها كالانعكاس والانكسار والتداخل.

فكّر

تُطرح عادة ظاهرة الاهتزاز الذاتي الناتج عن الديناميكا الهوائية كمثال على الرنين الميكانيكي القسري وذلك لأهمية مراعاتها في تصميم الجسور وسواها. ولمزيد من التفاصيل حول الرنين وهذه الأنواع من الموجات ارجع إلى الصفحتين 14، و15.

المفردات الرئيسة

- الحركة الإهتزازية (الدورية)
- الحركة التوافقية البسيطة
- الزمن الدوري
- سعة الإهتزازة
- قانون هوك
- البندول البسيط
- الرنين
- الموجة
- نبضة موجية
- الموجة الدورية
- الموجة المستعرضة
- الموجة الطولية
- الموجة السطحية
- القاع – القمة
- الطول الموجي
- التردد
- الموجة الساقطة
- الموجة المنعكسة
- مبدأ التراكُب
- التداخل
- العقدة
- بطن الموجة
- الموجة الموقوفة
- صدر الموجة
- الشعاع
- العمود المقام
- قانون الانعكاس
- الانكسار

الفصل 1

الاهتزازات والموجات

Vibrations and Waves

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- التوصل إلى خصائص الحركة الاهتزازية وربطها مع الموجات.
- تعرف كيف تنقل الموجات الطاقة.
- وصف سلوك الموجات ومعرفة أهميتها العملية.

الأهمية

نعيش في محيط من الموجات بأنواعها المختلفة الصادرة من الأصوات ووسائل الاتصالات بمختلف الاشكال، لذلك فإن معرفة سلوك الموجات والاهتزازات ضروري جدًّا لفهم ظاهرة الرنين، وكيفية بناء الجسور والأبنية الآمنة، ولمعرفة كيف تتم الاتصالات من خلال المذياع والتلفاز أيضًا.

جسر جالوبينج جيرتي بعد فترة قصيرة من افتتاح جسر مضيق تاكوما (بالقرب من واشنطن) أمام حركة المركبات بدأ هذا الجسر في الاهتزاز عند هبوب العواصف، وحدثت اهتزازات شديدة في أحد الأيام، فتحطم الجسر، وانهار في الماء.

فكّر

كيف يمكن للرياح الخفيفة أن تؤدي إلى اهتزاز الجسر بموجات كبيرة تؤدي إلى انهياره في النهاية؟

تجربة استهلالية

الهدف استقصاء حركة النبضات في نابض حلزوني.

المواد والأدوات نابض حلزوني.

استراتيجيات التدريس

- اطلب إلى الطلبة شدّ النابض بالتعاون مع بعضهم بعضًا.
- ذكّر الطلبة ألّا يُفلتوا النوابض المشدودة بسرعة؛ لأنها قد تتشابك، وقد تسبّب إصابات.

النتائج المتوقعة يتولّد عند تنفيذ كل من الخطوتين 1 و 2 نبضة مستعرضة تنعكس عند الطرف المقابل. أما عند تنفيذ الخطوة 3 فتتولد موجة ضغط تبدو أنها تنتقل بسرعة أكبر من النبضة المستعرضة، كما أنها تنعكس. وعند تنفيذ الخطوة 4 تتولد نبضة دورانية تنعكس أيضًا.

تجربة استهلالية

كيف تسلك الموجات في النابض الحلزوني؟

سؤال التجربة كيف تسلك النبضات التي ترسل عبر نابض حلزوني عندما يكون طرفه الآخر ثابتًا؟

الخطوات

1. اطلب إلى أحد زملائك تثبيت أحد طرفي النابض، ثم شد الطرف الآخر للنابض على ألا تبالغ فيه، ثم حرك طرف النابض جانبًا مولّدًا نبضات فيه. راقب النبضات خلال انتقالها إلى أن تصل الطرف المثبت، وسجل ملاحظاتك.
2. كرّر الخطوة 1، بتوليد نبضات أكبر، وسجل ملاحظاتك.
3. ولّد نبضات مختلفة في النابض بضم عدد من لفاته بجوار بعضها بعضًا عند أحد طرفيه، ثم اتركه حرًّا، وسجل ملاحظاتك.
4. ولّد نوعًا ثالثًا من النبضات بوساطة يدٍ (لف) أحد طرفي النابض، ثم اتركه، وسجل ملاحظاتك.

التحليل

5. ماذا يحدث للنبضات في أثناء انتقالها خلال النابض؟ وماذا يحدث عندما ضربت النبضات الطرف الثابت من النابض؟ وكيف كانت النبضة المتولّدة في الخطوة 1 مقارنة بالنبضة التي ولّدت في الخطوة 2؟

التفكير الناقد اذكر بعض الخصائص التي تبدو أنها تتحكم في حركة النبضة خلال النابض.

الأهداف

- **تصف** القوة في نابض مرن.
- **تحدّد** الطاقة المختزنة في نابض مرن.
- **تقارن** بين الحركة التوافقية البسيطة وحركة بندول.

المفردات

الحركة الاهتزازية (الدورية)
الحركة التوافقية البسيطة
الزمن الدوري
سعة الاهتزازة
قانون هوك
البندول البسيط
الرنين

لعلك شاهدت تأرجح بندول ساعة حائط ذهابًا وإيابًا متّبعًا المسار نفسه، وتحتاج كل رحلة ذهاب وإياب إلى المقدار نفسه من الزمن. تعتبر هذه الحركة مثالاً على الحركة الاهتزازية. ومن الأمثلة الأخرى على ذلك تذبذب جسم فلزي مثبت بنابض إلى أعلى وأسفل، واهتزاز أوتار القيثارة. هذه الحركات كلها التي تكرر حركتها في دورة منتظمة أمثلة على **الحركة الاهتزازية (الدورية)**.

ويكون للجسم في تلك الأمثلة كلها موضع واحد، تكون عنده القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا، ويكون الجسم في ذلك الموضع في حالة اتزان. وعند سحب الجسم بعيدًا عن موضع اتزانه تصبح القوة المحصلة المؤثرة في النظام لا تساوي صفرًا، وتعمل هذه القوة المحصلة على إعادة الجسم إلى الخلف في اتجاه موضع الاتزان. وإذا كانت القوة التي تعيد الجسم إلى موضع اتزانه تتناسب طرديًّا مع إزاحة الجسم فإن الحركة الناتجة تُسمى **حركة توافقية بسيطة**.

هناك كميتان تصفان الحركة التوافقية البسيطة، هما: **الزمن الدوري** T؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم ليكمل اهتزازة (دورة) كاملة من الحركة ذهابًا وإيابًا، و**سعة الاهتزازة A** هي أقصى مسافة يتحركها الجسم مبتعدًا عن موضع الاتزان.

التحليل

تحتفظ النبضتان في الخطوتين 1 و2 بأشكالهما إلا أن سعتهما تقل. وتظهر النبضات جميعها أنها تنتقل بسرعة منتظمة عبر النابض وتنقلب النبضة عند انعكاسها في الخطوتين 1 و2. في الخطوة 4 تنعكس النبضة التي في اتجاه حركة عقارب الساعة في اتجاه معاكس لاتجاه حركة عقارب الساعة، وتنعكس أيضًا النبضة التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة لتصبح في اتجاه حركة عقارب الساعة. كما أن سعة النبضة في الخطوة 1 أقل منها في الخطوة 2، ويظهر أنهما تتحركان بالسرعة نفسها.

التفكير الناقد

اطلب إلى الطلبة مناقشة بعض الخصائص، مثل شد النابض واحتكاكه. سيؤدي الاحتكاك إلى تخامد (اضمحلال) النبضات، ولكنه لن يؤثر في الخصائص الموجية الأخرى.

1-1 الحركة الدورية

1. التركيز

نشاط محفز

الحركات الاهتزازية اطلب إلى الطلبة مراقبة أنواع مختلفة من الحركة الاهتزازية، مثل تأرجح مجموعة من البندولات، وطرق شوكة رنانة، وإفلات نابض مشدود، ومسطرة فلزية أو مسطرة مترية مثبتة على حافة سطح طاولة، ثم تحريك طرف المسطرة الحر إلى أعلى وإلى أسفل. ساعد الطلبة على تكوين أسئلة ومناقشتها، مثل: ما الشيء الضروري لبدء الحركة؟ وما الذي يعمل على استمرار الحركة؟ وما الذي يحدث للحركة في نهاية الأمر؟ وهل الحركة منتظمة بالنسبة للإزاحة والزمن؟ م **بصري-مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

يستعمل الطلبة مفاهيم الإزاحة (x)، والسرعة المتجهة (v)، والتسارع (a)، والزمن الدوري (T)، التي تعلموها سابقًا في تحليل الحركة التوافقية البسيطة.

2. التدريس

تعزيز الفهم

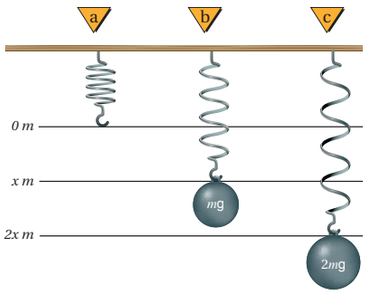
العلاقة البيانية *F*—*x* ذكّر الطلبة أن المساحة المحصورة تحت منحنى الرسم البياني بين القوة والإزاحة تمثل الشغل. وقانون مساحة المثلث هو: $A=\frac{1}{2}bh$ حيث A تمثل مساحة المثلث، b القاعدة، h الارتفاع، ولذلك فإن:

$$W=\frac{1}{2}\ x_1F_1=\frac{1}{2}\ x_1\ kx_1$$

$$W=\frac{1}{2}kx_1^2$$

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

القوة المتغيرة ربما يظن بعض الطلبة أن القوة الابتدائية الموثرة في جسم من نابض مشدود تبقى ثابتة في المقدار والاتجاه، وضّح للطلبة أنه إذا كان الأمر كذلك فإن الجسم سيكون خاضعًا لتأثير قوة محصلة ثابتة، ومن ثم يكون له تسارع ثابت؛ لذا فإنه لن يتباطأ، ولن يغير اتجاه حركته. ووضّح لهم أيضًا أن **الشكل 2–1** يبين كيف تتناقص القوة *F* إلى الصفر في أثناء عودة النابض إلى موضع اتزانه ($x = 0$)، ووضح لهم كيف تغير القوة *F* اتجاهها عندما تبدأ لفات النابض بالانضغاط.



الشكل 1–1 تتناسب القوة التي يؤثر بها نابض طرديًا مع المسافة التي يستطيلها.

الكتلة المعلقة بنابض

The Mass on a Spring

كيف يتفاعل النابض مع القوة المؤثرة فيه؟ يبين **الشكل 1a–1** دعامة معلقٌ بها نابض دون تعليق أي شيء في نهايته؛ وبذا فإنه لا يستطيل لأنه لا يوجد قوة خارجية تؤثر فيه. أما **الشكل 1b–1** فيبين النابض نفسه معلقًا في نهايته جسم وزنه mg، وقد استطال النابض مسافة x؛ بحيث تُوازِن القوةُ المؤثرةُ إلى أعلى قوةَ الجاذبية الأرضية المؤثرةَ إلى أسفل. ويبين **الشكل 1c–1** النابض نفسه مستطيلاً مسافة مقدارها $2x$؛ وذلك عند تعليق ضعفي الوزن السابق ($2\ mg$) في نهايته. وهذا ما يتفق مع **قانون هوك**، الذي ينص على أن: القوة التي يؤثر بها نابض تتناسب طرديًّا مع مقدار استطالته، والنوابض التي تنطبق عليها هذه الحالة تسمى نوابض مرنة وتحقق قانون هوك، المعبّر عنه بالعلاقة الآتية:

قانون هوك $F=-kx$

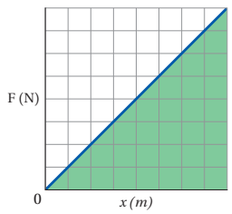
القوة التي يؤثر بها نابض تساوي حاصل ضرب ثابت النابض في المسافة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانه.

في هذه المعادلة تمثل k ثابت النابض الذي يعتمد على صلابة النابض، إضافة إلى خصائص أخرى له، وتمثّل x المسافة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانه.

طاقة الوضع عندما تطبق قوة ما للعمل على استطالة نابض، مثل تعليق جسم في نهايته، فسيكون هناك علاقة طردية خطية بين القوة المؤثرة وإزاحة النابض، كما يوضح **الشكل 2–1**، حيث يمثّل ميل الخط البياني ثابت النابض، مقاس بوحدة N/m، وتمثّل المساحة تحت المنحنى مقدار الشغل المبذول لإستطالة النابض، وهي تساوي طاقة الوضع المرونية المختزنة فيه بفعل هذا الشغل. وتمثّل قاعدة المثلث المسافة x، أما ارتفاع المثلث فيمثل مقدار القوة التي تساوي kx وفق قانون هوك، لذا يُعبر عن طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض بالمعادلة الآتية:

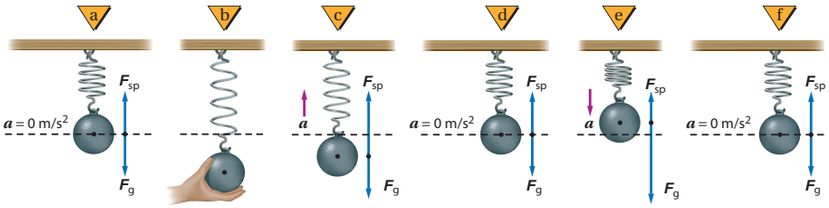
طاقة الوضع المرونية المختزنة في نابض $PE_{sp}=\frac{1}{2}kx^2$

طاقة الوضع المرونية في نابض تساوي نصف حاصل ضرب ثابت النابض في مربع إزاحته.



الشكل 2–1 يمكن تحديد ثابت النابض من العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة وإزاحة النابض.

وستكون وحدة طاقة الوضع المرونية N.m أو جول J. فكيف تعتمد القوة المحصلة على الموضع؟ عند تعليق جسم بنهاية نابض يستطيل النابض حتى تُوازِن القوة الرأسية إلى أعلى F_{sp} وزن الجسم F_g كما في **الشكل 3a–1**، وسيكون الجسم عندئذ في موضع اتزانه. وإذا سحبت الجسم المعلق إلى أسفل كما في **الشكل 3b–1** فستزداد قوة النابض، منتجةً قوة محصلة إلى أعلى تساوي قوة السحب بوساطة يدك إضافة إلى وزن الجسم. وعندما تترك الجسم حرًّا، فإنه يتسارع إلى أعلى كما في **الشكل 3c–1**.



■ **الشكل 3–1** توضيح الحركة التوافقية البسيطة من خلال اهتزاز جسم معلق بنابض.

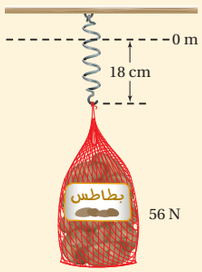
وعند حركة الجسم إلى أعلى تتناقص استطالة النابض، لذا تتناقص القوة المتجهة إلى أعلى. وفي **الشكل 3d–1** تتساوى قوة النابض إلى أعلى مع وزن الجسم وتصبح المحصلة صفرًا فلا يتسارع النظام، ويستمر في حركته إلى أعلى موضع الاتزان. وفي **الشكل 3e–1** تكون القوة المحصلة معاكسةً لاتجاه إزاحة الجسم، وتتناسب طرديًّا معها، لذا يتحرك الجسم حركة توافقية بسيطة، ويعود إلى موضع اتزانه كما في **الشكل 3f–1**.

مثال 1

ثابت النابض والطاقة المختزنة فيه استطال نابض مسافة 18 cm عندما عُلّق بنهايته كيس بطاطس وزنه 56 N، احسب:

a. مقدار ثابت النابض.

b. مقدار طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض والناتجة عن هذه الاستطالة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع
- بيّن المسافة التي استطالها النابض وموضع اتزانه، وحدّدهما.

المعلوم	المجهول
$x = 18\ cm$	$k = ?$
$F = 56\ N$	$PE_{sp} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم $F = -kx$، ثم أوجد قيمة k

يمكن حذف إشارة السالب؛ لأنها تعني أن القوةَ قوةٌ إرجاع فقط.

$$k = \frac{F}{x}$$

بالتعويض عن $F = 56\ N$ ، $x = 0.18\ m$

$$k = \frac{56\ N}{0.18\ m} = 310\ N/m$$

b.

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

بالتعويض عن $k = 310\ N/m$ ، $x = 0.18\ m$

$$= \frac{1}{2}(310\ N/m)(0.18\ m)^2 = 5.0\ J$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** N/m هي الوحدة الصحيحة لثابت النابض.
الوحدة الصحيحة للطاقة هي $(N/m)(m^2) = N.m = J$.
- **هل الجواب منطقي؟** ثابت النابض متناسق مع القيم المستخدمة في ميزان البقالة مثلاً. الطاقة 5.0 J تساوي القيمة التي نحصل عليها من $W = Fx = mgh$، عندما يكون متوسط القوة المؤثرة 28 N

11

نشاط تحدٍّ

$F_{محصلة}$ في الشكل 3b–1 إذا كان الطول الأصلي للنابض الموضّح في الشكل 3–1 يساوي x_0، وفي الشكل 3a–1 يساوي x_1، أما في الشكل 3b–1 فيساوي x_2. اطلب إلى الطلبة أن يثبتوا أن مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم لحظة تركه في الشكل 3b–1 تساوي:

$$F_{محصلة} = mg\left(\frac{x - x_1}{x_1 - x_0}\right).$$

في الشكل 3a–1 : $F_{محصلة} = 0$؛ لذا فإن $F_g = F_{نابض}$ ، وبالتالي فإن

$$k = mg\left(\frac{1}{x_1 - x_0}\right); k(x_1 - x_0) = mg.$$

وفي الشكل 3b–1: $F_{محصلة} = F_{نابض} - F_g$

$$F_{محصلة} = mg\left(\frac{1}{x_1 - x_0}\right)(x_2 - x_0) - mg = mg\left(\frac{x_2 - x_0 - (x_1 - x_0)}{x_1 - x_0}\right) = mg\left(\frac{x_2 - x_1}{x_1 - x_0}\right)$$

م3 منطقي - رياضي

استخدام الشكل 3–1

كون الجدول الآتي الخاص بالشكل **3a–1**، وحدّد عناوين الأعمدة:

	F_{sp}		$F_{محصلة}$	
	أعلى/أسفل	$\lvert F_{sp}\rvert$	أعلى/أسفل	$\lvert F_{محصلة}\rvert$
a	↑	$F_{sp} = F_g$	لا يوجد	0

اطلب إلى الطلبة إكمال الجدول الخاص بالجسم كما هو موضّح في الأشكال 1b–1e.

c	↑	$F_{sp} > F_g$	↑	$F_{sp} - F_g$
d	↑	$F_{sp} = F_g$		0
e	↓	$F_{sp} < F_g$	↓	$F_g - F_{sp}$
f	↑	$F_g = F_{sp}$		0

م2 منطقي - رياضي

مثال صفي

سؤال يجلس راكب دراجة هوائية وزنه 560 N على مقعد دراجته بحيث يضغط على النابضين الداعمين للمقعد. إذا علمت أن ثابت كل نابض يساوي $2.2\times10^4\ N/m$، فاحسب:

a. المسافة التي ينضغطها.

b. الزيادة في طاقة الوضع المرونية لكل نابض (PE) والناتجة عن هذا الانضغاط.

الإجابة

a.

$$F = kx$$

$$x = \frac{F}{k} = \frac{\frac{1}{2}F_w}{k}$$

$$x = \frac{\frac{1}{2}(560\ N)}{2.2 \times 10^4\ N/m}$$

$$= 1.3 \times 10^{-2}\ m$$

b.

$$PE_{نابض} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$= \frac{1}{2}(2.2\times10^4\ N/m)(1.3\times10^{-2}\ m)^2$$

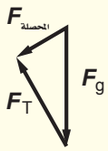
$$= 1.9\ J$$

مسائل تدريبية

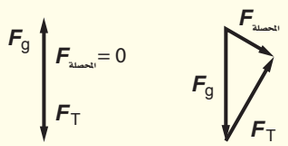
1. 0.32 m
2. 1.96 J
3. 0.61 m

تطوير المفهوم

اتجاه القوة وضّح للطلبة أن $F_{محصلة} = F_T + F_g$، كما هو موضّح في **الشكل 4–1**، وذلك برسم مخطّط الجسم الحر للبندول عند موضعه في الجهة اليمنى.



اطلب إلى الطلبة رسم مخطّط الجسم الحر عند موضع الجهة اليسرى وموضع التوازن (الوسط).



م2 بصري - مكاني

التفكير الناقد

الزمن الدوري للبندول البسيط اطلب إلى الطلبة أن ينظروا إلى **الشكل 4–1** وأن يفكروا في العوامل التي تعتمد عليها قوة الإرجاع $F_{محصلة}$ في البندول البسيط، ثم اطلب إليهم أن يفسروا لماذا لا يعتمد الزمن الدوري للبندول على كتلة كرة البندول المعلقة. تعتمد قوة الإرجاع على mg، وحيث إن $F_{محصلة} = m/ a_{محصلة}$، وبالتعويض عن $F_{محصلة}$ بـ mg فإن $a_{محصلة}$ لا تعتمد على الكتلة، وحيث إن الحركة توصف بـ $a_{محصلة}$ وتحت هذا الشرط فإن الزمن الدوري للبندول لا يعتمد على الكتلة.

م بصري - مكاني

مسائل تدريبية

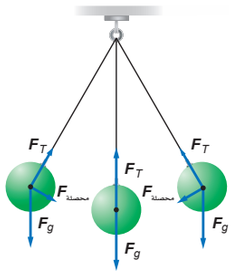
1. ما مقدار استطالة نابض عند تعليق جسم وزنه 18 N في نهايته إذا كان ثابت النابض له يساوي 56 N /m؟
2. ما مقدار طاقة الوضع المرونية المختزنة في نابض عند ضغطه مسافة 16.5 cm، إذا كان ثابت النابض له يساوي 144 N /m؟
3. ما المسافة التي يستطيلها نابض حتى يخزّن طاقة وضع مرونية مقدارها 48 J، إذا كان ثابت النابض له يساوي 256 N /m؟

عندما تُحرّر القوة الخارجية الجسم الذي كانت تُمسكه، كما في **الشكل 3c–1**، فإن القوة المحصلة المؤثرة في الجسم، والتسارع، تكونان أكبر ما يمكن، أما السرعة المتجهة فتساوي صفرًا. وعندما يمر الجسم بنقطة الاتزان ـ كما في **الشكل 3d–1** ـ تصبح القوة المحصلة المؤثرة فيه صفرًا، وكذلك التسارع. فهل يتوقف الجسم؟ لا؛ لأن الجسم يحتاج أن تؤثر فيه قوة محصلة إلى أسفل لإبطاء حركته، وهذا لن يحدث ما لم يرتفع الجسم فوق موضع الاتزان. وعندما يصل الجسم إلى أعلى نقطة في اهتزازته تعود القوة المحصلة والتسارع إلى قيمتيهما العُظميين، وتصبح السرعة المتجهة صفرًا، فيتحرك الجسم إلى أسفل مارًّا بموضع الاتزان إلى نقطة البداية، ويستمر في الحركة بهذه الطريقة الاهتزازية. ويعتمد الزمن الدوري للاهتزازة T على مقدار كلٍ من كتلة الجسم، ومرونة النابض.

السيارات تعد طاقة الوضع المرونية عاملاً مهمًّا في تصميم السيارات الحديثة وصناعتها، ففي كل سنة تختبر تصاميم جديدة للسيارات؛ لتحديد مدى تحملها للصدمات. وتعتمد مقدرة السيارة على تحمل الصدمات للاحتفاظ بهيئتها على مقدار الطاقة الحركية للسيارة قبل التصادم والتي تتحول إلى طاقة وضع مرونية في الهيكل بعد التصادم. وتحتوي معظم ماصّات الصدمات على نوابض خاصة تخزّن الطاقة عندما تصدم السياراتُ حاجزًا بسرعات قليلة. وبعد توقف السيارة وانضغاط النوابض، فإنها تعود إلى مواضع اتزانها، وترتد السيارة عن الحاجز.

البندول البسيط Simple Pendulum

يتكون **البندول البسيط** من جسم صلب كثافته عالية يُسمى ثقل البندول، معلق بوساطة خيط طوله l. وعند سحب ثقل البندول جانبًا وتركه فإنه يتأرجح جيئة وذهابًا، كما في **الشكل 4–1**، حيث يؤثر الخيط بقوة شد F_T في ثقل البندول وتؤثر الجاذبية الأرضية أيضًا في الثقل بقوة F_g، والجمع الاتجاهي لهاتين القوتين يمثل القوة المحصلة، وقد تم تمثيلها في ثلاثة مواضع مختلفة في **الشكل 4–1**. ففي الموضعين الأيمن والأيسر تكون القوة المحصلة والتسارع أكبر ما يمكن، بينما سرعته المتجهة صفر. وفي الموضع الوسط (الاتزان) في الشكل نفسه تكون القوة المحصلة والتسارع صفرًا، بينما السرعة المتجهة أكبر ما يمكن. وفي هذه الحالة يمكنك أن تلاحظ أن القوة المحصلة هي قوة إرجاع؛ وتكون دائمًا معاكسة لاتجاه إزاحة ثقل البندول، وتعمل على إرجاع الثقل إلى موضع



الشكل 4–1 ($F_{محصلة}$)، المجموع المتجه لـ F_T و F_g، هي قوة الارجاع في البندول.

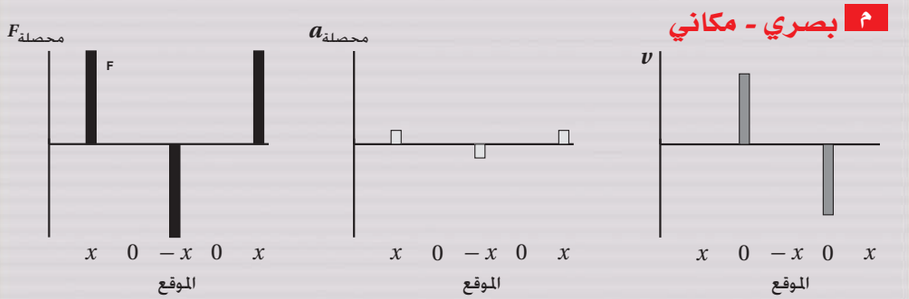
12

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

حركة البندول مثّل كلًّا من $F_{محصلة}$، a، v لحركة بندول بوساطة الرسوم التوضيحية التالية:

م بصري - مكاني



اتزانه. وعندما تكون زوايا الميل صغيرة (أقل من 15° تقريبًا)، فإن قوة الإرجاع تتناسب طرديًّا مع الإزاحة، ويطلق على هذه الحركة حينئذٍ حركة توافقية بسيطة. ويتم حساب الزمن الدوري للبندول باستعمال المعادلة التالية:

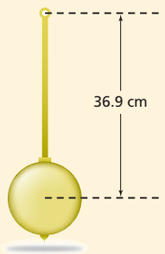
الزمن الدوري للبندول البسيط $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

الزمن الدوري للبندول البسيط يساوي 2π مضروبة في الجذر التربيعي لحاصل قسمة طول خيط البندول على تسارع الجاذبية الأرضية.

لاحظ أن الزمن الدوري للبندول البسيط يعتمد فقط على طول خيط البندول، وتسارع الجاذبية الأرضية، ولا يعتمد على كتلة ثقل البندول أو سعة الاهتزازة. ومن التطبيقات على البندول استعماله في حساب g التي تتغير قليلًا من موقع إلى آخر على سطح الأرض.

مثال 2

استعمال البندول لحساب g إذا كان الزمن الدوري لبندول ساعة طوله 36.9 cm يساوي 1.22 s، فما مقدار تسارع الجاذبية الأرضية g في منطقة وجود البندول؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الوضع
- وضّح طول البندول على الرسم.

المعلوم	المجهول
$l = 36.9\ \text{cm}$	$g = ?$
$T = 1.22\ \text{s}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل المعادلة لحساب g.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$g = \frac{(2\pi)^2 l}{T^2}$$

بالتعويض عن $l = 0.369\ \text{m}$, $T = 1.22\ \text{s}$

$$= \frac{4\pi^2 (0.369\ \text{m})}{(1.22\ \text{s})^2}$$

$$= 9.78\ m/s^2$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- **هل الجواب منطقي؟** قيمة g المحسوبة كانت قريبة من القيمة المعيارية $9.80\ \text{m/s}^2$، ويكون البندول في منطقة أعلى من مستوى سطح البحر.

مسائل تدريبية

4. ما طول بندول موجود على سطح القمر حيث $g = 1.6\ \text{m/s}^2$ حتى يكون الزمن الدوري له 2.0 s؟
5. إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على سطح أحد الكواكب، فما مقدار g على هذا الكوكب؟

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

الاهتزازات بزوايا صغيرة القوة المحصلة المؤثرة في ثقل البندول والتي تعيده إلى موضع اتزانه في الشكل (4-1) تساوي $-mg\sin\theta$، حيث تمثّل θ الزاوية المحصورة بين خيط البندول والرأسي. وتعد هذه المعادلة صحيحة بالنسبة لحركة بندول ضمن المدى $0 < \theta \leq 90°$، ولا تعد كل حركة للبندول حركة توافقية بسيطة. فعند حركة البندول بزوايا أقل من 15° فإن $\sin\theta \approx \theta$ عندما تكون θ مقاسة بالتقدير الدائري، وتكون الإزاحة الأفقية للثقل $s = \theta l$، ولذا فإن $F_{\text{محصلة}} = -\left(\frac{mg}{l}\right)s$. وتلاحظ أنه في حالة الحركة بزوايا صغيرة فإن قوة الإرجاع تتناسب طرديًّا مع الإزاحة، وهذا هو المطلوب للحصول على حركة توافقية بسيطة.

مثال صفي

سؤال ما الزمن الدوري لبندول طوله 0.25 m؟

الإجابة

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0.25\ m}{9.80\ \text{m/s}^2}}$$

$$= 1.0\ s$$

مسائل تدريبية

4. 0.16 m
5. $9.1\ \text{m/s}^2$

تطبيق الفيزياء

رُكّبت مجموعة من بندولات فوكو في أماكن متعدّدة في بعض الدول العربية والأجنبية. هل تتأرجح هذه البندولات دون توقف؟ قد يتوقف تأرجح بندول فوكو خلال بضع ساعات بسبب احتكاك سلك البندول بالتيارات الهوائية، واهتزازات السلك، بالإضافة إلى عوامل أخرى. ويجب تعويض الطاقة التي يفقدها البندول خلال كل اهتزازة؛ لتجنب تخامد حركة البندول، وللحفاظ على استمرار اهتزازه، يتم تركيب طوق من الحديد على السلك ثم يحاط بمغناطيس كهربائي حلقي الشكل؛ للتقليل من آثار المقاومات. وهناك جهاز إلكتروني يعمل على تشغيل المغناطيس الكهربائي عندما يتأرجح ثقل البندول مبتعدًا، أما عندما يتأرجح الثقل عائدًا في الاتجاه المعاكس فيعمل الجهاز الإلكتروني على إيقاف تشغيل المغناطيس الكهربائي. وتحافظ هذه العملية على استمرار تأرجح ثقل البندول، دون أن تؤثر في اتجاه التأرجح.

مسألة تحدٍّ

1. يشير مبدأ حفظ الطاقة إلى أن طاقة وضع الجاذبية للسيارة عند أعلى التل تساوي طاقة الوضع المرونية في النابض عندما يتسبب النابض في توقف السيارة. وبمساواة معادلتي هاتين الطاقتين وحلّهما بالنسبة للمتغير x:

$PE_g = PE_{\text{نابض}}$

$mgh = \frac{1}{2}kx^2$

وينتج أن

$x = \sqrt{\frac{2mgh}{k}}$

2. ستزداد قيمة x بمقدار $\sqrt{2}$

3. في حالة النابض المثالي سيدفع النابض السيارة إلى أعلى التل.

3. التقويم

التحقق من الفهم

موضع الاتزان اسأل الطلبة ما القوة المحصلة المؤثرة في جسم في أثناء حركته التوافقية البسيطة، وما مقدار تسارعه وسرعته لحظة مروره بموضع اتزانه؟ $F_{\text{محصلة}} = 0$ و $a = 0$ و $v = v_{\text{عظمى}}$ م2

التوسّع

حركة البندول ركّب بندولاً طوله 1.0 m ودعه يتحرك. ثم اطلب إلى الطلبة رسم مسار ثقل البندول باستخدام ورقة وقلم رصاص، بحيث يتحرك القلم إلى الأمام والخلف بالتوافق مع حركة ثقل البندول. بعد ذلك اطلب إليهم تكرار النشاط، على أن يبقوا في هذه المرة اليد التي ترسم ثابتة في مكانها ويحركوا الورقة باليد الأخرى بسرعة ثابتة، وبصورة متعامدة مع اتجاه حركة قلم الرصاص. ثم اطلب إليهم مناقشة مخطّطاتهم وتوضيح أنها تمثّل الرسم البياني لتغير السعة مع الزمن. ثم اسأل الطلبة: ما الذي يمثّل الزمن الدوري للبندول على الرسم البياني؟ المسافة بين نقطتين متتاليتين لهما السعة والطور نفسهما. م3 **حركي**

مسألة تحدٍّ

سيارة كتلتها m(kg)، تستقر على قمة تل ارتفاعه h(m)، ثم تهبط على طريق عديم الاحتكاك في اتجاه حاجز تصادم عند أسفل التل. فإذا احتوى حاجز التصادم على نابض مقدار ثابته يساوي k(N/m) مصمَّم على أن يوقف السيارة بأقل الأضرار.

1. بيّن أقصى مسافة x ينضغطها النابض عندما تصطدم به السيارة بدلالة m، h، k، g.
2. كم ينضغط النابض إذا هبطت السيارة من قمة تل ارتفاعه مثلي ارتفاع التل السابق؟
3. ماذا يحدث بعد أن تتوقف السيارة؟

تطبيق الفيزياء

بندول فوكو
Foucult Pendulum

يتكون بندول فوكو من سلك طوله 16 m معلق بنهايته كتلة كبيرة مقدارها 109 kg ووفق القانون الأول لنيوتن في الحركة يستمر البندول المتأرجح في الحركة في الاتجاه نفسه ما لم يُسحب أو يُدفع في اتجاه آخر. وبما أن الأرض تدور تحت البندول كل 24 ساعة، فإن اتجاه اهتزاز البندول يظهر متغيرًا بالنسبة للمشاهد. ولبيان ذلك قم بما يلي: رتّب أوتادًا خشبية في دائرة على الأرض تحت البندول المتأرجح على أن يضربها ثقل البندول ويوقعها مع دوران الأرض. ويدور البندول عند القطب الشمالي ظاهريًا بمعدل $15°/h$

الرنين Resonance

لكي تجعل الأرجوحة تتأرجح وأنت جالس عليها، فإنك تقوم بدفعها بالانحناء إلى الخلف وسحب الحبل (أو السلسلة) من النقطة نفسها في كل شوط، أو أن يدفعك زميلك دفعات متكرّرة في اللحظات المناسبة. ويحدث **الرنين** عندما تؤثر قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية منتظمة، بحيث تؤدي إلى زيادة سعة الاهتزازة، وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم المهتز مساويةً للزمن الدوري للاهتزازة ويعد الرنين شكلًا مميّزًا للحركة التوافقية البسيطة. ومن الأمثلة الشائعة على الرنين أرجحة السيارة إلى الأمام والخلف من أجل تحرير عجلاتها من الرمل أو الثلج، والقفز المتواتر عن لوح القفز أو الغوص. وقد ينجم عن السعة الكبيرة للاهتزازة الناتجة عن الرنين شعور بالإجهاد. فعلى سبيل المثال، قد يؤدي صوت الجمهور وحركته المنتظمة عند قفزهم في شُرفات المسرح الداخلية إلى تحطيم هيكل الشرفة عند قفزهم إلى أعلى وأسفل بزمن دوري مساوٍ للزمن الدوري الطبيعي لاهتزاز هذه الشرفة.

1-1 مراجعة

6. **قانون هوك** علقت أجسام مختلفة الوزن بنهاية شريط مطاطي مثبت بخطاف، ثم رسمت العلاقة البيانية بين وزن الأجسام المختلفة واستطالة الشريط المطاطي. كيف تستطيع الحكم ـ اعتمادًا على الرسم البياني ـ ما إذا كان الشريط المطاطي يحقق قانون هوك أم لا؟
7. **البندول** ما مقدار التغير اللازم في طول بندول حتى يتضاعف زمنه الدوري إلى المثلين؟ وما مقدار التغير اللازم في طوله حتى يقل زمنه الدوري إلى نصف زمنه الدوري الاصلي؟
8. **طاقة النابض** ما النسبة بين الطاقة المختزنة في نابض استطال 0.40 m والطاقة المختزنة في النابض نفسه عندما يستطيل 0.20 m؟
9. **الرنين** إذا كانت عجلات سيارة غير متوازنة فسوف تهتز السيارة بقوة عند سرعة محدّدة، ولا يحدث ذلك عند سرعات أقل أو أكبر من هذه السرعة. فسّر ذلك.
10. **التفكير الناقد** ما أوجه الشبه بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة؟ وما أوجه الاختلاف بينهما؟

1-1 مراجعة

6. إذا كانت العلاقة البيانية خطيّة، فإن الشريط المطاطي يحقق قانون هوك، أما إذا كانت العلاقة البيانية على شكل منحنى فإنه لا يحقق قانون هوك.
7. لمضاعفة الزمن الدوري للبندول ضاعف طوله أربع مرات، ولتقليل زمنه الدوري إلى النصف اضرب طوله في $\frac{1}{4}$.
8. تكون الطاقة المخزّنة أكبر أربع مرات عندما يستطيل النابض إلى 0.40 m
9. عند تلك السرعة يقترب تردد دوران الإطار من التردد الطبيعي للسيارة؛ مما يؤدي إلى حدوث الرنين.
10. الحركتان دوريتان إلّا أنه في الحركة الدائرية المنتظمة لا تتناسب القوة التي تُحدث التسارع مع الإزاحة، بالإضافة إلى أن الحركة التوافقية البسيطة تحدث في بعد واحد أما الحركة الدائرية المنتظمة فتحدث في بعدين.

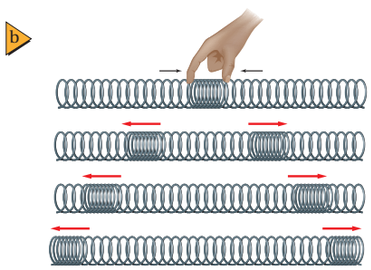
يحمل كل من الجسيمات المادية والموجات طاقة، ولكن هناك اختلافًا مهمًّا بينهما في كيفية حملهما لها، وعلى افتراض أن الكرة جسيم مادي، وقذفت بها نحو زميلك فسوف تنتقل منك إلى زميلك حاملة معها طاقة، وإن أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وحركت الطرف الذي تمسك به جانبًا أو رأسيًّا، فإن الطاقة تنتقل من يدك إلى يد زميلك عبر مادة الحبل دون أن ينتقل الحبل منك إلى زميلك، وبناءً على ذلك تعرف **الموجة** بأنها اضطراب يحمل الطاقة خلال الفراغ أو المادة دون أن تنتقل مادة الوسط.

الموجات الميكانيكية Mechanical Waves

تُعد موجات الماء، وموجات الصوت، والموجات التي تنتقل خلال حبل أو نابض أشكالاً للموجات الميكانيكية، وتحتاج الموجات الميكانيكية إلى وسط مادي ناقل مثل الماء أو الهواء أو الحبال أو النوابض، مما يمكننا من ملاحظتها بطرائق مباشرة، لذا تعد الموجات الميكانيكية نموذجًا مثاليًّا يعتمد عليه في دراسة الموجات.

الموجات المستعرضة يطلق على الاضطراب الذي يحدث من ضم عدد من لفات نابض بعد افلاتها اسم نبضات موجية؛ **فالنبضة الموجية** اضطراب (موجة) مفرد ينتقل خلال الوسط. وإذا انتشرت الموجة بالمعدل نفسه تتولّد **موجة دورية**. تسمى الموجة التي تهتز في اتجاه عمودي على اتجاه انتشارها **الموجة المستعرضة**، لاحظ **الشكل 5a–1** حيث يتحرك الحبل رأسيًّا، ولكن النبضة تنتقل أفقيًّا.

الموجات الطولية لاحظ **الشكل 5b–1**، إن الاضطراب الناتج عن إفلات عدد من لفات النابض بعد ضم بعضها إلى بعض يولد موجات تهتز في اتجاه – أو عكس– حركة لفات النابض نفسها، وتسمى الموجة التي تهتز في اتجاه –أو عكس– انتشار الموجة نفسها **الموجة الطولية**.



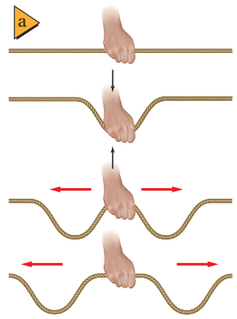
الأهداف

- **تستنتج** كيف تنقل الموجات الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- تقارن بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.
- **تربط** بين سرعة الموجة وطولها الموجي وتردّدها.

المفردات

الموجة
نبضة موجية
الموجة الدورية
الموجة المستعرضة
الموجة الطولية
الموجة السطحية
القاع – القمة
الطول الموجي
التردّد

الشكل 5–1 (a) يولّد الاهتزاز السريع بالاتجاه العمودي على محور حبل موجات مستعرضة في الاتجاهين. (b) يولّد ضمّ لفات نابض بعضها إلى بعض ثم تركها موجات طولية في الاتجاهين.



1-2 خصائص الموجات

1. التركيز

نشاط محفز

حركة الموجة *تحذير: على الطلبة جميعهم ارتداء نظارات واقية.* علّق نابضًا حلزونيًّا بسقف الغرفة الصفية، اربط قطعة خيط عند كل خمس لفات للنابض ثم اربط كلًّا من طرفي النابض بالجدار القريب منه.

اربط بالونًا صغيرًا باللفة القريبة من وسط النابض. ثم حفّز الطلبة لإيجاد طريقة لتحريك البالون في اتجاه عمودي على طول النابض. حرّك طرف النابض بسرعة إلى اليمين أو اليسار، وبعد استعراض الطرائق التي اقترحها الطلبة، ابدأ بمناقشة موضوع الموجات المستعرضة. م 2

بصري - مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

الحركة التوافقية البسيطة يوظّف الطلبة المفاهيم التي تعلّموها عن الحركة التوافقية البسيطة؛ مثل الزمن الدوري والسعة؛ ليصفوا النبضات والموجات.

2. التدريس

استخدام النماذج

"**الموجة**" اطلب إلى الطلبة تمثيل الموجات التي يؤديها جمهور المشجعين في الملاعب الرياضية الكبيرة، ثم أشر إلى أنهم يمثلون في هذه الحالة الموجات المستعرضة. م **حركي**

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

السعة وسرعة النبضة اسأل الطلبة عما إذا كانت سعة الموجة تؤثر في سرعتها، واطلب إليهم أن يكتبوا فقرة تدعم فكرتهم. وبعد ذلك نفذ العرض السريع الآتي. م2 **لغوي**

عرض سريع

السعة وسرعة النبضة

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات نابض ، وساعات وقف .

الخطوات علّق النابض كما هو موضّح في بند (النشاط المحفز) في هذا الفصل، أو نفّذ العرض في مدخل طويل، وذلك بمد النابض وتكليف أحد الطلبة تثبيت أحد طرفيه. ثم اطلب إلى طلبة آخرين استخدام ساعات وقف لقياس الزمن الذي يتطلبه انتقال نبضة ذات سعة قليلة، ثم نبضة أخرى ذات سعة كبيرة حتى تقطعا مسافة تعادل طول النابض. يستنتج الطلبة أن سرعتَي النبضتين متماثلتان؛ لأن قياسات الزمن والإزاحة متماثلة.

■ **الشكل 6–1** (a) مسارات الدقائق المادية المفردة تكون دائرية. (b) للموجات السطحية خصائص الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

الموجات السطحية (البحرية) تتحرك جزيئات الماء عند السطح حركة اهتزازية إلى اعلى وأسفل عموديًا على اتجاه انتشارها كما في **الشكل 6–1**، أي يحدث على سطح الماء موجات مستعرضة، وفي الوقت نفسه تتحرك الجزيئات نفسها حركة اهتزازية في اتجاه انتشار الموجه، فتعتبر حركتها موجة طولية. إن مصدر طاقة هذه الموجات يأتي عادة من العواصف التي بدورها استمدّت طاقتها من تسخين الأرض بوساطة الطاقة الشمسية. وهذه الطاقة انتقلت بدورها من الشمس إلى الأرض بوساطة الموجات الكهرومغناطيسية المستعرضة.

قياس الموجة Measuring a Wave

تعتمد بعض خصائص الموجة على كيفية توليدها؛ في حين تعتمد خصائصها الأخرى على الوسط الذي تنتقل خلاله، وهناك طرائق عديدة لوصف الموجة أو قياسها تتفق جميعها في وصف المصطلحات التي تتعلق بالموجة وحركتها.

السرعة ما السرعة التي تتحرك بها الموجة؟ يمكن إيجاد سرعة انتقال النبضة ـ الموضحة في **الشكل 7–1** ـ بالطريقة نفسها التي نحدّد بها سرعة سيارة. قس أولاً إزاحة قمة الموجة Δd، ثم اقسم الناتج على الفترة الزمنية Δt لتجد السرعة $v = \Delta d / \Delta t$. ويمكن إيجاد سرعة الموجة الدورية بالطريقة نفسها. وتعتمد سرعة الموجة في معظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على الوسط الذي تنتقل خلاله فقط.

السعة كيف تختلف النبضة المتولدة عند اهتزاز حبل برفق عن تلك النبضة الناتجة عن اهتزازه بعنف؟ يشبه الاختلاف بينهما الفرق بين موجات حوض السباحة الخفيفة وموجات المحيط القوية، وهو أن لها سعات مختلفة. وسعة الموجة أو الاهتزازة هي أقصى إزاحة للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها. ويوضح **الشكل 8–1** موجتين متشابهتين، إلا أنهما تختلفان في السعة.

تعتمد سعة الموجة على كيفية توليدها، ولا تعتمد على سرعتها. ويجب أن يُبذل شغل أكبر لتوليد موجة سعتها كبيرة. فمثلا، تولّد الرياح القوية موجات ماء سعتها أكبر من سعة الموجات الناتجة عن النسائم اللطيفة. وتنقل الموجة ذات السعة الكبيرة طاقة أكبر؛ فالموجة ذات السعة القليلة تحرك الرمل ستمترات عدة على الشاطئ، أما الموجة ذات السعة الكبيرة فيمكنها اقتلاع الأشجار وتحريكها من مكان إلى آخر. الموجات المتحركة

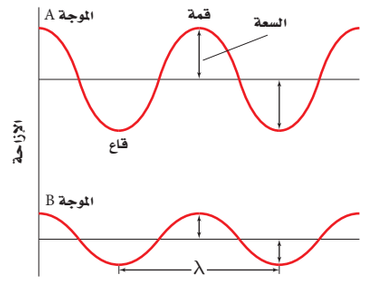
■ **الشكل 7–1** تم التقاط هاتين الصورتين بفارق زمني 0.20 s، وخلال هذه الفترة تحركت القمة 0.80 m، فتكون السرعة المتجهة للموجة 4.0 m/s.

نشاط مشروع فيزياء

الموجة المثالية اطلب إلى الطلبة إجراء بحث حول خصائص موجات المحيط، فيما يتعلق بسرعتها وسعاتها وأطوالها الموجية، وخصائصها الأخرى. يمكن أن يتضمن البحث وصف تعاقب الموجات، وتزايد نموها، وموجات المد والجزر، وتداخل الموجات، وسبب تكسر الموجات وكيفية ذلك، وأنواع الكواسر المختلفة، وكيف يحدّد راكب الموجات، الموجة المثالية. كذلك قد يهتم الطلبة بمعلومات مثل: الأدوات المستخدمة في قياس الموجات، وكيف تُقاس الموجة من قبل شخص ما موجود على ظهر سفينة، وما أكبر موجة تم تسجيلها. شجّع الطلبة على إنشاء رسوم بيانية لمُقارنة وصف هذه المفاهيم. م2 **لغوي**

بالسرعة نفسها يتناسب معدل نقلها للطاقة طرديًّا مع مربع السعة؛ لذا فمضاعفة سعة موجة ما مرتين، يضاعف الطاقة المنقولة بمعدل أربع مرات.

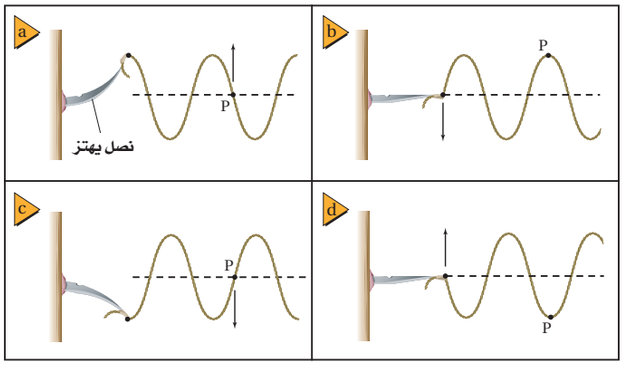
الطول الموجي تخيل أنك التقطت صورة فوتوغرافية للموجة بدلاً من التركيز على نقطة واحدة عليها بحيث ترى موجة كاملة في لحظة ما. يبين **الشكل 8–1** النقاط السفلية التي تُسمى **قاع** الموجة، والنقاط العلوية التي تسمى **قمة** الموجة. ويطلق على أقصر مسافة بين أي نقطتين بحيث يتكرّر نمط الموجة نفسه اسم **الطول الموجي**؛ فالمسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعيين متتاليين، تساوي الطول الموجي، ويرمز للطول الموجي لموجة ما بالرمز λ .



الشكل 8–1 سعة الموجة A أكبر من سعة الموجة B.

الطور إن أي نقطتين في الموجة تكونان في الطور نفسه إذا كانت المسافة بينهما تساوي طولًا موجيًّا واحدًا أو مضاعفاته. ويعد جسيمان في وسط ما في الطور نفسه أيضًا، إذا كان لهما الإزاحة نفسها عن موضع الاتزان ولهما السرعة المتجهة نفسها. أما إذا كان الجسيمان في الوسط متعاكسين في الإزاحة وفي السرعة المتجهة، فإنهما يكونان مختلفين في الطور بـ 180°. أي أن هناك اختلافًا في الطور بين القمة والقاع بـ 180° أحدهما بالنسبة إلى الآخر. وأي نقطتين في الموجة يمكن أن تكونا مختلفتين في الطور بين 0° و 180° إحداهما بالنسبة إلى الأخرى.

الزمن الدوري والتردد على الرغم من استعمال سرعة الموجة وسعتها لوصف أي موجة إلا أن الزمن الدوري T والتردد f يطبّقان فقط على الموجات الدورية. ولقد تعلمت سابقًا أن الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة، هو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم المهتز حتى يكمل دورة كاملة. وعادة ما يكون مثل هذا الجسم هو مصدر الموجة الدورية أو المسبِّب لها. ويكون الزمن الدوري للموجة مساويًا الزمن الدوري للمصدر. وتوضح الأشكال من **9a–1** إلى **9d–1** تغير موضع النقطة P مع الزمن، والزمن الدوري T يساوي 0.04 s، وهو الزمن الذي يحتاج إليه المصدر حتى يكمل دورة كاملة.



الشكل 9–1 يهتز أحد طرفي حبل متصل بنصل 25 اهتزازة في الثانية، وعليه قطعة من شريط لاصق عند النقطة P. لاحظ تغير موضع النقطة P مع الزمن.

التفكير الناقد

السعة والطاقة والوسط اسأل الطلبة هل الموجة ذات السعة الصغيرة المتولدة في نابض ثقيل الوزن تحمل طاقة أكبر من الموجة ذات السعة الكبيرة المتولدة في نابض خفيف الوزن؟ ولماذا؟

من الممكن، ولكن ليس ضروريًا. فقد تتضمن العوامل التي تؤثر في طاقة الموجة وفي سعتها بعض هذه الخصائص، كما قد تتضمن القوة المؤثرة في النابض، ومقاومة النابض، ومرونة المادة. كما أن التأثير بالقوة نفسها في نوابض مصنوعة من مواد مختلفة يؤدي إلى اختلاف سعاتها؛ حيث تقل السعة كلما زادت كتلة النابض. أما إذا كانت سعتا النابضين متساويتين فإنك تستنتج أن القوة التي أثرت في النابض الكبير أكبر من تلك التي أثرت في النابض الصغير؛ لأننا احتجنا إلى مزيد من الشغل للتغلب على قوى مقاومة النابض الأكبر.

م 3

عرض سريع

الموجات الطولية

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات نابض .

الخطوات علّق النابض كما هو موضح في بند "النشاط المحفز" في هذا الفصل، أو نفّذ العرض في مدخل طويل؛ وذلك بسحب النابض، واطلب إلى أحد الطلبة تثبيت أحد طرفيه، ثم اطلب إلى الطلبة مراقبة النابض وأنت تضغط عدة لفات منه عند أحد طرفيه وتُفلتها بالتناوب، ووصفِ ملاحظاتهم. سيلاحظ الطلبة سلسلة من التضاغطات والتخلخلات المتعاقبة تتحرك في النابض.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

الاختراع والفيزياء عاشت المخترعة الفيزيائية البريطانية هرتا أرتون Hertha Marks Ayrton بين عامي 1854–1923. وقد حصلت في بداية حياتها المهنية على براءة اختراع لجهاز يدعى مقسم الخطوط؛ إذ يمكن أن يقسم هذا الجهاز قطعة مستقيمة إلى أي عدد من الأجزاء المتساوية. وقد أجرت أرتون باعتبارها متخصصة في الفيزياء بحوثًا حول مصابيح قوس الكربون، ودرست كذلك دور الموجة في تشكيل الشواطئ المتموجة. ولأن أبحاثها تهتم بالموائع فقد اخترعت مروحة أرتون التي يمكنها إزالة الغازات من الغرف تحت الأرض بأمان، حيث استخدمت في مقاومة الهجوم بالغازات زمن الحرب. ولقد كانت أرتون أول امرأة تقدم بحثًا لصالح الجمعية الملكية البريطانية. وقد مُنحت لاحقًا وسام هيوز Hughes عن بحثها الأصيل.

استخدام الشكل 10–1

جهّز قائمة بخصائص الموجات، واطلب إلى الطلبة أن يحددوا الخصائص التي يوضحها كل رسم بياني أو التي يمكن تحديدها من خلال كل رسم. في الشكل 10a–1: السعة، والقمة، والقاع، والطول الموجي. في الشكل 10b–1: السعة، القمة، التردد، الزمن الدوري، القاع.

م2 بصري - مكاني

نشاط

ديناميكا الموجة اطلب إلى الطلبة استخدام الشكل 10–1 لرسم منحنى الإزاحة y بالنسبة للمتغير x، لموجة بعد أن تتحرك خلال الوسط مسافة تكافئ $\frac{1}{4}\lambda$ و$\frac{1}{2}\lambda$ و$\frac{3}{4}\lambda$ وλ. وبطريقة مماثلة اطلب إلى الطلبة استخدام الشكل 10–1 لرسم منحنى الإزاحة y بالنسبة للزمن t للموجة عند الزمن $t = \frac{1}{4}T$ و$t = \frac{1}{2}T$ و$t = \frac{3}{4}T$ و$t = T$. في الشكل 10a–1 تكون القمة الابتدائية عند 1.0 m و2.0 m و3.0 m و4.0 m على التوالي. أما في الشكل 10b–1، فتكون القمة الابتدائية عند 0.5 s و1.0 s و1.5 s و2.0 s على التوالي. م2 بصري - مكاني

تعزيز الفهم

الحركة التوافقية البسيطة اطلب إلى الطلبة الذين نفذوا النشاط السابق مقارنة رسومهم البيانية بالشكل 10b–1، وبين لهم أن حركة معظم الموجات الميكانيكية يمكن إظهارها كنموذج للحركة التوافقية البسيطة.

أمّا **تردّد** الموجة f فهو عدد الاهتزازات الكاملة التي يُتمّها الجسم المهتز في الثانية الواحدة. ويُقاس التردد بوحدة هرتز Hz، والهرتز يمثل اهتزازة واحدة في الثانية. وبناءً عليه فإن العلاقة التي تربط بين الزمن الدوري للموجة وترددها هي:

تردد الموجة $f = \frac{1}{T}$

تردد الموجة يساوي مقلوب زمنها الدوري.

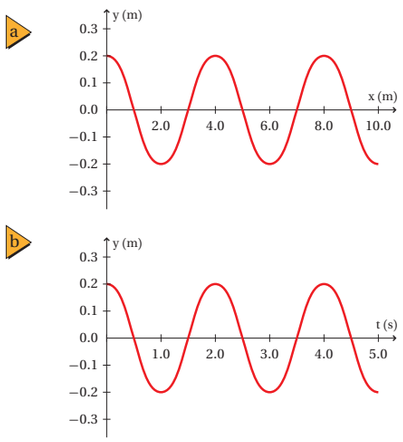
ويعتمد الزمن الدوري للموجة وترددها على مصدرها فقط، ولا يعتمدان على الوسط الذي تنتقل خلاله أو على سرعة الموجة.

وبناءً على ما سبق يمكنك قياس طول الموجة مباشرة؛ حيث إن طول الموجة يعتمد على كل من تردد المصدر وسرعة الموجة. تتحرك الموجة خلال فترة زمنية محددة تساوي زمنًا دوريًّا واحدًا مسافة تساوي طولاً موجيًّا واحدًا، لذا فالطول الموجي يساوي سرعة الموجة مضروبًا في الزمن الدوري، $\lambda = vT$. ولأن الحصول على التردد يكون عادة أسهل من الحصول على الزمن الدوري فإن هذه المعادلة تكتب على الشكل الآتي:

طول الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$

الطول الموجي للموجة يساوي سرعتها مقسومة على ترددها.

تمثيل الموجات إذا التقطت صورة فوتوغرافية لموجة مستعرضة في نابض، فستجدها مشابهة لإحدى الموجات الموضحة في الشكل 7–1. ويمكن وضع هذه الصورة على ورق رسم بياني لتعطي معلومات أكثر عن الموجة، كما في الشكل 10a–1. وبالمثل إذا رصدت حركة جسيم واحد، مثل حركة النقطة P في الشكل 9–1، أمكنك تمثيل هذه الحركة بيانيًّا على ورق رسم بياني، بحيث ترسم الإزاحة بوصفها متغيرًا مع الزمن، كما في الشكل 10b–1، والذي يمكن من خلاله إيجاد الزمن الدوري.



الشكل 10–1 يمكن تمثيل الموجات بيانيًا، فالطول الموجي لهذه الموجة 4.0 m (a)، والزمن الدوري 2.0 s (b) الإزاحة أو السعة في كلا الرسمين تساوي 0.2 m فإذا مثّل هذان الرسمان البيانيان الموجة نفسها، فما سرعتها؟

نشاط

إعاقة بصرية لتحضير عروض ملموسة للموجات اعمل نسخة للشكل 10–1 وألصقها على قطعة خشبية رقيقة. مثّل محور الإزاحة والمنحنى في كل رسم بياني بتتبّع دقيق للمحور الرأسي والمنحنى باستخدام إبرة رأسها مطلي بالصمغ. ثم رش رملًا أو مادة لامعة على الصمغ، ودعه بضع دقائق ليجف، ثم تخلص من أي كمية زائدة من الرمل أو المادة اللامعة بتحريك القطعة الخشبية. لتمثيل محور x ألصق أصابع معكرونة (غير مطبوخة) على المحور الأفقي في الشكل 10a–1. أعد الخطوة باستخدام ماصّة عصير ليمثل المحور t في الشكل 10b–1. اطلب إلى الطلبة استقصاء الرسم البياني في أثناء توضيحك ما يمثله كل محور ومنحنى في الرسم البياني. م2 حركي

طرائق تدريس متنوعة

مثال 3

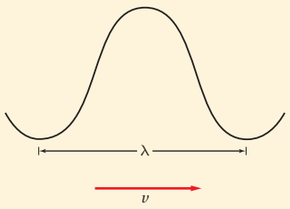
خصائص الموجة قطعت موجة صوتية ترددها 192 Hz ملعب كرة قدم طوله 91.4 m خلال 0.271 s، احسب:

a. سرعة الموجة؟ c. الزمن الدوري للموجة؟

b. الطول الموجي للموجة؟ d. الطول الموجي والزمن الدوري، إذا أصبح تردد الموجة 442 Hz؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نموذجًا لملعب كرة قدم.
- مثّل متجه السرعة.



المعلوم	المجهول
f=192 Hz	v = ?
d=91.4 m	λ = ?
t= 0.271 s	T = ?

2 ايجاد الكمية المجهولة

a. أوجد السرعة v.

$$v = \frac{d}{t}$$

بالتعويض عن t = 0.271 s، d = 91.4 m

$$= \frac{91.4\ \text{m}}{0.271\text{s}}$$

$$= 337\ \text{m/s}$$

b. أوجد طول الموجة λ.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

بالتعويض عن v = 337 m/s، f = 192 Hz

$$= \frac{337\ \text{m/s}}{192\ \text{Hz}}$$

$$= 1.76\ \text{m}$$

c. أوجد الزمن الدوري T.

$$T = \frac{1}{f}$$

بالتعويض عن f = 192 Hz

$$= \frac{1}{192\ \text{Hz}}$$

$$= 0.00521\ \text{s}$$

d. أوجد الطول الموجي والزمن الدوري الجديدين.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

بالتعويض عن v = 337 m/s، f = 442 Hz

$$= \frac{337\ \text{m/s}}{442\ \text{Hz}} = 0.762\ \text{m}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

بالتعويض عن f = 442 Hz

$$= \frac{1}{422\ \text{Hz}} = 0.00226\ \text{s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الهرتز Hz هو نفسه s^{-1}، لذا فإن $m = s$. $\frac{m/s}{Hz} = \frac{m}{s}$ وهذا صحيح.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة القياسية لموجات الصوت في الهواء 343 m/s تقريبًا، لذا فالجواب 337 m/s منطقي، وكذلك التردد والزمن الدوري منطقيان بالنسبة لموجات الصوت، فالتردد 442 Hz قريب من التردد 440 Hz، وهو التردد القياسي لموجات الصوت.

19

مثال صفي

سؤال تنتقل موجة صوتية ترددها 855 Hz خلال قضبان سكة حديد بسرعة 5130 m/s، احسب مقدار:

a. طولها الموجي.

b. زمنها الدوري.

الإجابة

a.

$$v = \lambda f$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{5130\ \text{m/s}}{855\ \text{Hz}} = 6.00\ \text{m}$$

b.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{855\ \text{Hz}} = 0.00117\ \text{s}$$

تطوير المفهوم

$v=\lambda f$ وضّح للطلبة أنهم سيستخدمون العلاقة $v=\lambda f$ عندما يدرسون الصوت، والضوء، ونظرية الكم.

استخدام التشابه

السجل الزمني للجسيم يمكن اعتبار **الشكل 10a–1** لقطة سريعة تصف سعات النقاط عند لحظة معينة خلال وسط ما، كما يمكن اعتبار **الشكل 10b–1** بوصفه سجلًا زمنيًا يمثّل سعات جسيم مفرد في موضع معين خلال الوسط.

المناقشة

سؤال ذكّر الطلبة أن الموجات المستعرضة يمكن تمثيلها بيانيًا كما في **الشكل 10–1**، ثم اسأل الطلبة كيف يمكنهم تمثيل الموجات الطولية بيانيًا؟

الإجابة ستختلف الإجابات، يمكن أن يرسم الطلبة التضاغطات والتخلخلات بصريًا حسب تغير كثافة الظل، أو رقميًا كعدد اللفات لكل وحدة طول كدالة رياضية مع الزمن والموقع. م2

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

الأوساط المشتّتة لا تعتمد سرعة موجة في بعض المواد على الوسط فقط، ولكن تعتمد أيضًا على تردد الموجة، ويسمى مثل هذا الوسط– الوسطَ المشتِّت. فالماء الضحل مثلاً يعد وسطًا مشتّتًا للموجات السطحية. وكذلك تعاني موجات الضوء من التشتّت أثناء انتقالها خلال الزجاج أو الماس. وعلى الرغم من أن تشتت الموجات المسموعة يكون قليلًا عند انتقالها في الهواء، إلا أن سرعة الموجات الصوتية فوق المسموعة (فوق الصوتية) ذات الترددات العالية في الهواء أكثر قابلية للقياس من سرعة الموجات الصوتية في المدى المسموع.

مسائل تدريبية

11.a. 338 m/s

b. 451 Hz

c. 2.22×10^{-3} s

12. 2.50 m

13. 0.600 m/s

3. التقويم

التحقق من الفهم

خصائص الموجات اطلب إلى الطلبة أن يرسموا بيانيًّا العلاقة بين الإزاحة y والموقع، والعلاقة بين الإزاحة y والزمن لموجة مستعرضة. حدّد أجزاء الموجة التي يوضحها كل رسم بياني، واطلب إلى الطلبة أن يبيّنوا كيفية تحديد الزمن الدوري للموجة أو طولها الموجي. م **بصري-مكاني**

إعادة التدريس

خصائص الموجات راجع الخصائص الأساسية للموجات، ثم صمّم قائمة بثلاثة أعمدة، وعنونها كما يأتي: الخاصية التي تعتمد على المصدر، والخاصية التي تعتمد على الوسط، والخاصية التي تعتمد على الوسط والمصدر معًا. ثم سجّل الخصائص تحت التصنيف المناسب. الزمن الدوري والتردد يعتمدان على المصدر، والسعة والسرعة تعتمدان على الوسط، والطول الموجي يعتمد عليهما معًا. اطلب إلى الطلبة مناقشة كيفية التحقق من هذه القوائم. م ١ **متفاعل**

1-2 مراجعة

14. تحتاج النبضة إلى فترة زمنية حتى تصل إلى الطرف الآخر في كل حالة ويكون انتقالها في الحبل أسرع منه في النابض، والنبضة في قضيب الحديد أسرع.

15. لا تتغير كل من السعة والسرعة، إلا أن التردد يزداد، في حين يقل كل من الزمن الدوري والطول الموجي.

16. اربط قطعة من الصوف في مكان ما بالقرب من منتصف حبل، ثم اطلب إلى زميلك أن يثبت أحد طرفي الحبل، ثم حرّك الحبل إلى أعلى و أسفل لتوليد موجة مستعرضة. لاحظ أنه عندما تتحرك الموجة خلال الحبل إلى أسفل فإن قطعة الصوف تتحرك إلى أسفل وإلى أعلى، ولكنها تبقى في المكان نفسه على الحبل.

17. في الموجات الطولية تهتز دقائق الوسط في اتجاه موازٍ لاتجاه حركة الموجة. وتسمح الأوساط جميعها تقريبًا للموجات الطولية بالانتقال خلالها سواءً كانت أوساطًا صلبة أو سائلة أو غازية.

18. تنتقل طاقة السبّاح إلى الموجة عبر مساحة صغيرة وخلال فترة زمنية قصيرة، في حين تنتشر طاقة حبات المطر على مساحة أوسع خلال فترة زمنية أكبر.

مسائل تدريبية

11. أطلق فادي صوتًا عاليًا في اتجاه جرف رأسي يبعد 465 m عنه، وسُمع الصدى بعد 2.75 s فإن:

a. سرعة صوت فادي في الهواء؟

b. تردّد موجة الصوت إذا كان طولها الموجي يساوي 0.750 m؟

c. الزمن الدوري للموجة؟

12. ولّد مصدرٌ في حبل اضطرابًا تردّده 6.00 Hz ، فإذا كانت سرعة الموجة المستعرضة في الحبل 15.0 m/s، فما طولها الموجي؟

13. تتولّد خمس نبضات في خزان ماء كل 0.100 s ، فإذا كان الطول الموجي للموجات السطحية 1.20 cm، فما سرعة انتشار الموجة؟

توصلت إلى أن الموجات تحمل طاقة مما يمكنها من إنجاز شغل، وربما شاهدت الأضرار الهائلة الناجمة عن العواصف الشديدة والأعاصير القوية أو التآكل البطيء للمنحدرات والشواطئ الناجم عن الموجات الضعيفة اليومية. ومن المهم أن تتذكّر أن سعة الموجة الميكانيكية هي ما تحدّد مقدار الطاقة التي تحملها الموجة، بينما يحدّد الوسط وحده سرعة الموجة.

1-2 مراجعة

14. السرعة في أوساط مختلفة إذا سحبت أحد طرفي ملف نابضي، فهل تصل النبضة الطرف الآخر للنابض في اللحظة نفسها؟ ماذا يحدث لو سحبت حبلاً؟ ماذا يحدث عند ضرب طرف قضيب حديد؟ قارن بين سرعة انتقال النبضات في المواد الثلاث.

15. خصائص الموجة إذا ولّدت موجة مستعرضة في حبل عن طريق هزّ يدك وتحريكها من جانب إلى آخر، ثم بدأت تهزّ الحبل أسرع وأسرع ولكن دون تغير المسافة التي تتحركها يدك، فماذا يحدث لكل من: السعة، والطول الموجي، والتردد، والزمن الدوري، وسرعة الموجة؟

16. الموجات تنقل الطاقة افترض أنه طُلب إليك أنت وزميلك في المختبر توضيح أن الموجة المستعرضة تنقل الطاقة دون انتقال مادة الوسط، فكيف توضح ذلك؟

17. الموجات الطولية صف الموجات الطولية. ما أنواع الأوساط المادية التي تنقل الموجات الطولية؟

18. التفكير الناقد إذا سقطت قطرة مطر في بركة فستولّد موجات ذات سعات صغيرة. أما إذا قفز سبّاح في البركة فسيولّد موجات ذات سعات كبيرة. فلماذا لا تولّد الأمطار الغزيرة في أثناء العواصف الرعدية موجات ذات سعات كبيرة؟

عندما تصل موجة إلى الحد الفاصل بين وسطين فإنها غالبًا تنعكس وترتد إلى الخلف داخل الوسط نفسه. وفي حالات أخرى تمر الموجة كلها أو جزء منها خلال الحد الفاصل إلى وسط آخر، ويتغير اتجاهها عند الحد الفاصل بين الوسطين. وبالإضافة إلى ذلك ينتج العديد من خصائص سلوك الموجة عن الحقيقة التي تنص على أنه: يمكن أن يكون هناك موجتان أو أكثر في الوسط نفسه خلال الزمن نفسه؛ بخلاف الجسيمات المادية؛ إذ لا يمكن لجسمين إشغال الحيز نفسه خلال الزمن نفسه.

الموجات عند الحواجز Waves at Boundaries

تذكر من البند السابق أن سرعة الموجة الميكانيكية تعتمد فقط على خصائص الوسط الذي تمر خلاله، ولا تعتمد على سعة الموجة أو ترددها. فمثلاً، يؤثر عمق الماء في سرعة موجات الماء المتكونة فيه، في حين تؤثر درجة حرارة الهواء في سرعة موجات الصوت التي تنتشر فيه، بينما تعتمد سرعة موجات النابض على مقدار قوة شدّه، وعلى كتلة وحدة أطواله.

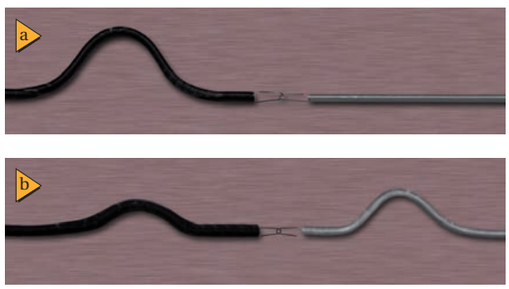
بيّن ماذا يحدث عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين وسطين كما هو الحال في نابضين أو حبلين مختلفي السمك أو الكثافة ومتصلي الطرفين. يبين **الشكل 11–1** نبضة تتحرك من النابض الأكبر سمكًا والأثقل إلى النابض الأقل سمكا، وعند وصول النبضة الحد الفاصل فإن جزءًا منها سوف ينعكس والجزء الآخر ينتقل إلى النابض الأقل سمكًا، ويكون للنبضة المنعكسة والنافذة اتجاه الموجة الساقطة. وتكون سعة النبضة المنعكسة أصغر لأن جزءًا من طاقة الموجة الساقطة ينتقل إلى النبضة النافذة، كما تكون سرعة النبضة في النابض الأقل سمكا أكبر. أما عندما تتحرك نبضة من النابض الأقل سمكا وثقلاً إلى النابض الأكبر سمكًا فتكون النبضة المنعكسة مقلوبة، والنبضة النافذة لها اتجاه الموجة الساقطة.

الأهداف

- **تربط** بين سرعة الموجات وطبيعة الوسط الذي تتحرك فيه.
- **تصف** كيفية انعكاس الموجات وانكسارها عند الحد الفاصل بين وسطين.
- **تطبّق** مبدأ التراكُب على ظاهرة التداخل.

المفردات

الموجة الساقطة
الموجة المنعكسة
مبدأ التراكب
التداخل
العقدة
بطن الموجة
الموجة الموقوفة
صدر الموجة
الشعاع
العمود المقام
قانون الانعكاس
الانكسار



الشكل 11–1 تمثل نقطة الاتصال بين طرفي النابضين الحد الفاصل بين الوسطين. فعندما تصل النبضة إلى الحد الفاصل (a) ينعكس جزء من النبضة وينفذ جزء آخر (b).

1-3 سلوك الموجات

1. التركيز

نشاط محفز

قمم الموجات وقيعانها دع الطلبة يستقصوا الصور المتكوّنة في حوض الموجات. واطلب إليهم ربط حزم الضوء الساطعة والحزم المعتمة المتعاقبة المتكوّنة على الشاشة بالخصائص الفيزيائية للموجة. الحزم المضيئة تُنتجها القمم (تعمل عمل عدسة محدبة) أما الحزم المعتمة فتُنتجها القيعان (تعمل عمل عدسة مقعرة)

م2 بصري - مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

خصائص الموجات يطبّق الطلبة مفاهيم القمة، والقاع، والطول الموجي، والمعادلة $v = \lambda f$ في تحليل ظاهرتي الانعكاس والانكسار.

2. التدريس

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

انعكاس الموجة اطلب إلى الطلبة– قبل تنفيذ التجربة الإضافية في الصفحة التالية– كتابة فقرة تؤكد إجاباتهم عن السؤال الآتي: هل تتباطأ الموجة بعد الانعكاس؟. م2 لغوي

تجربة إضافية

انعكاس الموجة

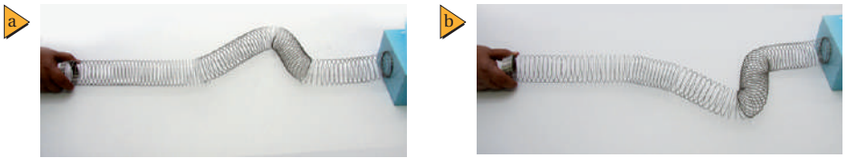
الهدف تعزيز مفهوم أن الانعكاس لا يغير سرعة الموجة.

المواد والأدوات حوض موجات مزود بنظام إسقاط الضوء، وساعة وقف.

الخطوات

1. املأ حوض الموجات إلى منتصفه.
2. انقر سطح الماء بالقرب من أحد طرفي الحوض برأس قلم رصاص؛ لكي تتكوّن موجة.
3. قس الزمن الذي تستغرقه الموجة الساقطة وانعكاسها بحيث تقطعان مسافة تساوي ضعفي طول حوض الموجات، ثم أربعة أضعاف طول الحوض. يكون الزمن اللازم للموجة لقطع مسافة تساوي أربعة أضعاف طول الحوض مساوياً تقريبًا ضعفي الزمن اللازم للموجة لقطع مسافة تساوي ضعفي طول الحوض.

التقويم وضّح ما إذا كانت بياناتك تتضمن أن سرعة الموجة تبقى كما هي. نعم؛ لأن الزمن اللازم لانتقال الموجة مسافة تساوي أربعة أضعاف طول الحوض يساوي ضعفي الزمن اللازم لانتقال الموجة مسافة تساوي ضعفي طول الحوض، وتتضمن البيانات أن سرعة كلّ من الموجة وانعكاسها متساويتان.

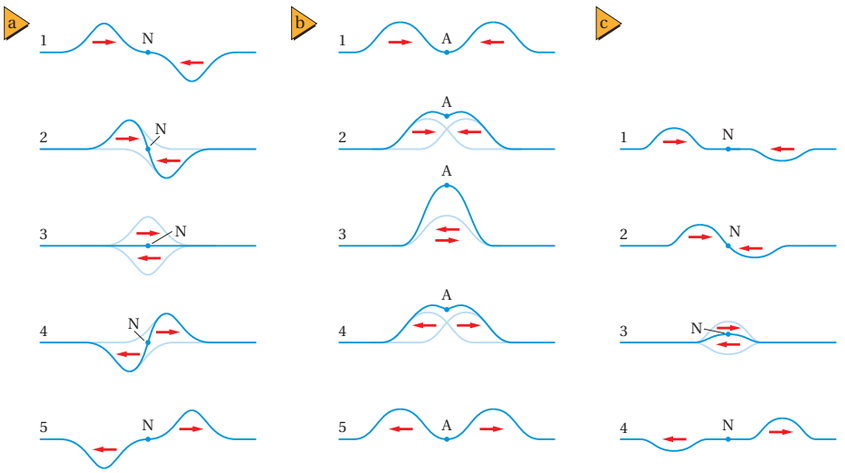


الشكل 12–1 تقترب النبضة من الحائط الصلب (a)، وتنعكس عنه مرتدة إلى الخلف (b). لاحظ أن سعة النبضة المنعكسة تساوي تقريبًا سعة النبضة الساقطة، إلا أنها مقلوبة.

ماذا يحدث لو كان الحد الفاصل حائطًا وليس نابضًا آخر؟ عندما تطلق نبضة (موجة) في نابض مثبت في حائط صلب مصقول تنعكس الطاقة المنقولة عن الحائط إلى الخلف كما في **الشكل 12–1**، ويكون الحائط في هذه الحالة هو الحد الفاصل لوسط جديد حاولت النبضة المرور خلاله، حيث تنعكس النبضة عن الحائط بدلاً من مرورها خلاله، وتكون سعة النبضة المرتدة مساويةً تقريبًا لسعة النبضة الساقطة. لذا تنعكس معظم طاقة النبضة إلى الخلف، والقليل منها ينتقل إلى الحائط. لاحظ أيضًا أن النبضة تنقلب إلى أسفل، أما لو كان النابض متصلاً بحلقة حرة الحركة حول قضيب ـ حد فاصل حر الحركة ـ فإن النبضة لن تنقلب.

تراكُب الموجات Superposition of Waves

افترض أن نبضة تنتقل في نابض ولاقت نبضة منعكسة، فما الذي يحدث في هذه الحالة؟ سيكون هناك نبضتان في الوسط في المكان والزمان نفسيهما، وتؤثر كل من النبضتين في الوسط بصورة مستقلة. وينص **مبدأ التراكب** على أن الإزاحة الحادثة في وسط والناتجة عن نبضتين أو أكثر تساوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل نبضة على حدة، أي أنه يمكن اتحاد نبضتين أو أكثر لتكوين نبضة واحدة جديدة. إذا انتقلت النبضتان في اتجاهين متعاكسين مثلاً فإما أن تلغي كل منهما تأثير الأخرى، أو تنتج نبضة لها سعة أكبر أو أصغر من سعة كل منهما. ويسمى الأثر الناتج عن تراكب نبضتين أو أكثر **التداخل**.



الشكل 13–1 عندما تلتقي نبضتان متساويتان تتكون نقطة تُسمى العقدة (N)؛ حيث يبقى الوسط دون اضطراب (a). وينتج التداخل البناء في أكبر صورة له عند تكون بطن الموجة (A) (b). وإذا كانت سعتا النبضتين المتعاكستين غير متساويتين فسيكون الهدم غير تام (c).

نشاط مشروع فيزياء

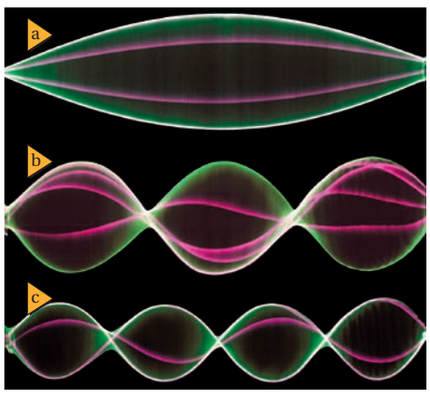
سلوك الموجة اطلب إلى مجموعات من الطلبة تحليل سلوك الموجة باستخدام كاميرات فيديو. وامنح كل مجموعة الوقت الكافي لمناقشة أفكارهم، ثم احصر التحليل لدراسة سلوك موجي محدّد (الانتشار، الانعكاس، الانكسار، والتداخل البنائي أو التداخل الهدمي الناتجان عن تراكُب الموجات)، في وسط محدّد (نابض، أو حبل، أو ماء)، وطريقة تصوير الفيديو لهذا السلوك الموجي. حثّ الطلبة على استغلال الإمكانات الفنية (التوقف- التشغيل) لجهاز الفيديو VCR وذلك لتحليل بياناتهم، ثم عرض التحليل في الغرفة الصفية. وإذا لم يتمكن الطلبة من استخدام كاميراتهم فاطلب إلى أعضاء قسم الوسائط التعليمية في المدرسة تنظيم لقاءات مع الطلبة حتى يتعلموا كيفية استخدام الأجهزة والمعدات والتسهيلات الفنية المتوافرة في المدرسة. م 2 متفاعل

تداخل الموجات يوجد التداخل على شكلين، فإما أن يكون تداخلاً بنائيًّا أو تداخلاً هدميًّا. فعندما تلتقي نبضتان إزاحتيهما في اتجاهين متعاكسين ـ أي قمة من الموجة الأولى مع قاع من الموجة الثانية ـ تقل إزاحة الوسط عند النقاط كلها في منطقة التداخل، ويكون التداخل هدميًّا. وإذا كانت سعتا الموجتين متساويتين كما في **الشكل 13a–1**، فإن مقدار الإزاحة سيساوي صفرًا. وتُسمى النقطة N التي لم تتحرك مطلقًا **العقدة**. وتستعيد النبضات شكلها الأصلي بعد التداخل وتواصل حركتها.

أما التداخل البنائي فينتج عندما تكون إزاحات الموجات في الاتجاه نفسه، وتكون النتيجة موجة لها سعة أكبر من سعة أي من الموجات كل على حدة. ويبين **الشكل 13b–1** تداخلًا بنائيًّا لنبضتين متساويتين، حيث تتكون نبضةٌ ذات سعة أكبر عندما تلتقي النبضتان، ويطلق على المنطقة التي تقابل أكبر سعة **البطن**. وتمر النبضتان بعد ذلك إحداهما خلال الأخرى، دون أي تغير في شكليهما أو حجميهما. وإذا كانت سعتا النبضتين غير متساويتين، فإن النبضة الناتجة من التداخل تساوي المجموع الجبري لإزاحتي النبضتين، كما في **الشكل 13c–1**.

الموجات الموقوفة (المستقرة) يمكنك تطبيق مفهوم تراكب الموجات للتحكم في تكوين موجات مختلفة السعة. فإذا ثُبّت أحد طرفي حبل أو نابض حلزوني في نقطة ثابتة مثل مقبض باب، ثم بدأتَ بهز الطرف الآخر فإن الموجات تنطلق من يدك متحركة في اتجاه الطرف الآخر الثابت، ثم ترتد عند هذه النهاية الثابتة وتنقلب، وتعود إلى يدك ثانية. وعندما تصل الموجة المرتدة إلى يدك تنعكس وتنقلب من جديد، وتتحرك إلى الخلف مرةً أخرى. وستكون إزاحة الموجة عندما تنطلق من يدك للمرة الثانية في الاتجاه نفسه الذي انطلقت منه أول مرة.

ماذا تفعل لو أردت زيادة سعة الموجة التي ولّدتها؟ افترض أنك ضبطت حركة يدك بحيث يكون الزمن الدوري لاهتزازها مساويًا للزمن الذي تحتاج إليه النبضة حتى تكمل دورة كاملة، من يدك إلى الباب ثم العودة. عندئذٍ سوف تضاف الإزاحة التي تولّدها يدك في كل مرة إلى إزاحة الموجة المنعكسة. والنتيجة أن اهتزاز الحبل كقطعة واحدة سيكون أكبر من حركة يدك، ويمكن توقع ذلك استنادًا إلى معرفتك بالتداخل البنائي. وتعد هذه الاهتزازة ذات السعة الكبيرة مثالاً على الرنين الميكانيكي. وتكون العقدتان عند طرفي الحبل، في حين يكون البطن في وسط النبضة، كما في **الشكل 14a–1**. وتبدو الموجة موقوفة ولذا تسمى **الموجة الموقوفة** أو **المستقرة**؛ أيْ أن الموجة الموقوفة هي تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين ومتساويتين في السعة. وإذا ضاعفت تردد الاهتزاز تتولد عقدة جديدة وبطن جديد في الحبل، ويظهر الحبل مهتزًا في قسمين. وعند زيادة التردد أكثر تتولد عقد وبطون أكثر، كما في **الشكل 14c–1، 14b–1**.



الشكل 14–1 يُنتج التداخل موجات موقوفة في الحبل، وبزيادة التردد يزداد عدد العقد والبطون، كما هو واضح من أعلى الشكل إلى أسفله.

تجربة

تداخل الموجات

يمكنك باستعمال نابض حلزوني توليد موجة تضاغطية متغيرة في سعتها وسرعتها واتجاهها كما في الموجة المستعرضة.

1. **صمّم تجربة** لاختبار ما يحدث عند التقاء موجتين من اتجاهين مختلفين.
2. نفّذ التجربة وسجّل ملاحظاتك.

التحليل والاستنتاج

3. هل تغيّرت سرعة أي موجة منهما؟
4. هل ترتدّ هاتان الموجتان إحداهما عن الأخرى؟ أم تمر كل منهما خلال الأخرى؟

تجربة

تداخل الموجات

الهدف استقصاء تداخل الموجات باستخدام نابض حلزوني.

المواد والأدوات نابض حلزوني.

النتائج المتوقعة ينبغي أن يلاحظ الطلبة أنه على الرغم من تداخل الموجتين إلا أن أيًّا منهما لا تغير الأخرى.

التحليل والاستنتاج

3. لا، لم تتغيّر سرعة أيّ موجة.
4. تمر الموجتان كل منهما خلال الأخرى.

تطوير المفهوم

الانعكاس عن الحواجز الصلبة أشر للطلبة إلى أن النبضة المنعكسة الموضحة في **الشكل 12b–1** في الصفحة السابقة قد انقلبت بالنسبة إلى النبضة الساقطة. ويفسر القانون الثالث لنيوتن هذا الانقلاب؛ حيث تؤثر النبضة التي تصل إلى الحاجز الثابت بقوة فيه في اتجاه إزاحتها، وبما أن الحاجز ثابت فإنه يؤثر في الوسط بقوة مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه. ولأن الوسط مرن فإنه يتشكل وينعكس كنبضة مقلوبة.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

أنواع الموجات الزلزالية تُنتج الزلازل أربعة أنواع من الموجات الزلزالية. فالموجات الزلزالية الأولية P، والموجات الزلزالية الثانوية S، تنتقل مبتعدة عن بؤرة الزلزال تحت سطح الأرض. وتعد موجات P من الموجات الطولية، أما موجات S فهي من الموجات المستعرضة. وعندما تصل طاقة هذه الموجات إلى سطح الأرض تولّد الموجات السطحية موجات Love وموجات Raleigh. تسبّب موجات Love اهتزاز سطح الأرض إلى الأمام والخلف. أما موجات Raleigh فتسبب الحركة المتموجة والإهليلجية التي تؤدي إلى صعود سطح الأرض وهبوطه. وتتسبّب هذه الموجات السطحية في معظم الأضرار التي تُنتجها الزلازل.

تعزيز الفهم

سرعة الموجة اطلب إلى الطلبة ملاحظة أن سرعة الموجة في الوسط الواحد لا تتغير بالانعكاس أو التداخل، ثم اطلب إليهم توقع سبب عدم تغير السرعة. قد يقترح الطلبة أن الموجة تستمر في حركتها خلال الوسط نفسه بعد أن تنعكس عن الحد الفاصل. وينبغي أن تؤكد المناقشة أن سرعة الموجة تتغير بتغير الوسط فقط. م 1

المناقشة

سؤال اطلب إلى الطلبة تذكّر أن "الموجة" التي يشكّلها الجمهور خلال الأحداث الرياضية تعد نموذجًا للنبضة المستعرضة. واسأل الطلبة كيف يمكن أن تتغير الموجة لتظهر تداخلاً بنّائيًّا وتداخلاً هدميًا لمجموعة من النبضات المفردة.

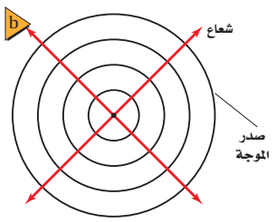
الإجابة يجب أن تقدم النماذج التي ينفذها الطلبة عرضًا لخمسة ارتفاعات ممكنة للنبضة (2، 1، 0، 1-، 2-) في موقع واحد. يمكن أن تمثّل ارتفاعات النبضة من خلال الوقوف مع رفع الأيدي، والوقوف، والجلوس، والقرفصاء، والقرفصاء مع خفض الأيدي، على التوالي، دع الطلبة يعرضوا نماذجهم الخاصة بالتداخل. م 2 **حركي**

استخدام الشكل 1–16

اطلب إلى الطلبة أن يوضحوا ما إذا كان الشكل **1–16b** يشير إلى أن الموجة المنعكسة مقلوبة. الموجة ليست مقلوبة لأن الشكل **1–16b** يبين أن القمة انعكست كقمة لاحقة. م 2

التفكير الناقد

الموجات الساقطة والمنعكسة اسأل الطلبة لماذا تبدو الموجات الساقطة المتوازية متكسرة بالقرب من الحاجز في الشكل **1–16a**. لأنها تتداخل تداخلاً هدميًا مع الموجات المنعكسة. م



الشكل 1–15 تنتشر الموجات الدائرية إلى الخارج بعيدًا عن مصدرها (a). ويمكن تمثيل الموجة بدوائر ترسم عند قمم الموجات الدائرية (b). لاحظ أن الأشعة متعامدة مع صدر الموجة.

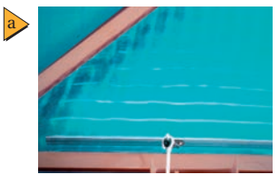
الموجات في بعدين Waves in Two Dimensions

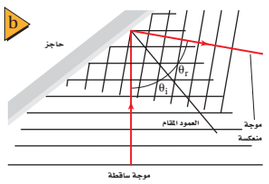
درست حتى الآن الموجات في حبل أو نابض، عندما تنعكس عن حاجز صلب، حيث تصبح السعة صفرًا نتيجة التداخل الهدمي. هذه الموجات الميكانيكية تتحرك في بُعد واحدٍ. أما الموجات على سطح الماء فتتحرك في بعدين، وستدرس لاحقًا الموجات الكهرومغناطيسية وموجات الصوت التي تتحرك في ثلاثة أبعاد، فكيف يمكن توضيح الموجات في بعدين؟

تمثيل الموجات في بعدين عندما ترمي حجرًا صغيرًا في بركة ماء ساكنة، ترى قمم وقيعان الموجات الدائرية الناتجة تنتشر إلى الخارج في جميع الاتجاهات. ويمكن تمثيل هذه الموجات برسم دوائر تُعبّر عن قمم الموجة. فعندما تضع رأس إصبعك في الماء الساكن وتحركه بتردد ثابت ستنتج دوائر متتابعة متحدة في مراكزها، ويكون إصبعك مركز تلك الدوائر التي تُسمى صدور الموجات. **فصدر الموجة** هو الخط الذي يمثل قمة الموجة في بعدين. ويمكن استعمال صدر الموجة لتوضيح الموجات بأي شكل كانت، ومن ذلك الموجات الدائرية والموجات المستقيمة. ويوضح **الشكل 1–15a** الموجات الدائرية في الماء، بينما يوضح **الشكل 1–15b** صدور الموجات التي تمثل موجات الماء هذه. وقد رسمت صدور الموجات بقيم تبين الطول الموجي لهذه الموجات، ولكن لا تبين سعتها.

ومهما يكن شكل الموجات التي تتحرك في بعدين فإنها تتحرك في اتجاه متعامد مع صدور هذه الموجات، ويُمثَّل هذا الاتجاه **بشعاع** على شكل خط يصنع زاوية قائمة مع صدر الموجة. وإذا أردت بيان اتجاه انتقال الموجة فقط فإنه من الملائم أن ترسم أشعة بدلاً من صدور الموجات.

انعكاس الموجات في بعدين يستعمل حوض الموجات لبيان خصائص الموجات المنتشرة في بعدين؛ إذ يحتوي حوض الموجات على طبقة ماء ضحلة، وألواح اهتزاز تولد نبضات موجية مستقيمة، أو تولد ـ كما موضح في **الشكل 1–16a** ـ موجات ماء تتحرك بتردد ثابت. وعند إضاءة المصباح الموجود فوق الحوض يتكون ظل تحت الحوض، يبين موقع قمم الموجات وقيعانها. وعندما تنتشر موجة نحو الحاجز، تنعكس عنه في اتجاه محدد.



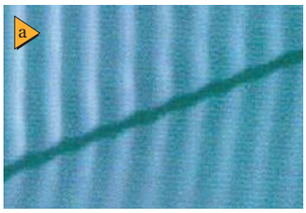


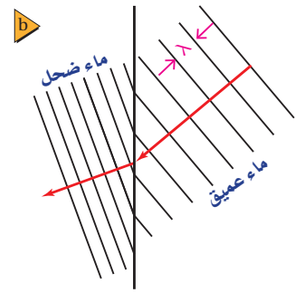
الشكل 1–16 نبضة موجة مرتدة عن حاجز في حوض الموجات (a). يوضح المخطط الشعاعي، التسلسل الزمني لاقتراب الموجة من الحاجز وانعكاسها عنه إلى اليمين (b).

معلومة للمعلم **الخلفية النظرية للمحتوى**

الموجات المستوية يمكن اعتبار مجموعة الأشعة التي تشير إلى اتجاه صدر الموجة عند مسافات بعيدة عن نقطة الاضطراب متوازية، وعند هذه المسافات يظهر صدر الموجة كقمة خطية أو موجة مستوية. كما يمكن أيضًا أن يعمل جسم مستقيم (مسطرة مثلًا) مهتز بوصفه مصدرًا للموجات المستوية؛ حيث تولّد كل نقطة مجاورة صدر موجة دائري. ولأن صدور الموجة القريبة تتداخل تداخلاً بنائيًّا بعضها مع بعض فإن صدر الموجة المحصلة هي موجة مستوية تكون موازية للمصدر وتتحرك مبتعدة عنه.

ويمكن تمثيل اتجاه انتشار الموجات بالمخطّط الشعاعي المبين في **الشكل 1–16b**. أما الحاجز فيمثل بخط مستقيم يفصل بين الوسطين، والخط المتعامد مع الحاجز عند نقطة السقوط يسمى **العمود المقام**. تسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام زاوية السقوط. أما الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام فتسمى زاوية الانعكاس. وينص **قانون الانعكاس** على أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.





الشكل 1–17 ■ عندما تتحرك موجات الماء فوق منطقة الماء الضحلة، حيث يوجد لوح الزجاج في حوض الموجات تتباطأ ويقل طولها الموجي (**a**). ويمكن تمثيل الانكسار بمخطّط صدور الموجات والأشعة (**b**).

انكسار الموجات في بعدين يمكن استعمال حوض الموجات كذلك لتمثيل سلوك الموجات عندما تنتقل من وسط إلى آخر. يوضّح **الشكل 1–17a** لوحًا زجاجيًّا موضوعًا في حوض الموجات، ويكون سمك طبقة الماء فوقه أقل من سمك طبقة الماء في بقية الحوض؛ حيث يعمل ذلك كوسط مختلف. وبانتقال الموجة من منطقة الماء العميق إلى منطقة الماء الضحل تقل سرعتها، ويتغير اتجاهها. ولأن الموجات في منطقة الماء الضحلة تولّدت من الموجات القادمة من منطقة الماء الأعمق، فإن ترددها لن يتغير. واستنادًا إلى المعادلة $\lambda = v/f$، فإن تناقص سرعة الموجات يعني أن الطول الموجي يكون أقصر في منطقة الماء الضحلة. ويعرف التغير في اتجاه انتشار الموجات عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين **بالانكسار**. ويبين **الشكل 1–17b** صدر الموجة ونموذج المخطّط الشعاعي للانكسار، وعندما تدرس انعكاس الضوء وانكساره في الفصول القادمة ستتعرف قانون الانكسار المعروف بقانون سنل.

قد تعلم أن سبب الصدى هو انعكاس الصوت عن سطح صلب مثل حائط مخزن كبير، أو انعكاسه عن جرف صخري بعيد، وأن الانكسار مسؤول جزئيًّا عن تكون قوس المطر. فعندما يمر الضوء الأبيض خلال قطرات المطر تعمل هذه القطرات على تحليل الضوء الأبيض إلى ألوانه (ألوان الطيف المرئي السبعة) بفعل الانكسار.

1-3 مراجعة

19. الموجات عند الحواجز أيّ خصائص الموجة الآتية لا تتغير، عندما تمر الموجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين: التردد، السعة، الطول الموجي، السرعة، الاتجاه؟

20. انكسار الموجات لاحظ **الشكل 1–17a**، وبين كيف يتغير اتجاه الموجة عندما تمر من وسط إلى آخر. وهل يمكن أن تعبر موجة في بعدين حدًّا فاصلًا بين وسطين دون أن يتغير اتجاهها؟ وضح ذلك.

21. التفكير الناقد هناك طريقة أخرى لفهم انعكاس الموجات، وهي أن تغطي الطرف الأيمن لكل رسم في **الشكل 1–13a** بقطعة ورق، على أن يكون طرف الورقة موجودًا عند النقطة N (العقدة). ثم تركز على الموجة الناتجة التي تظهر باللون الأزرق الغامق، وتلاحظ أنها تبدو مثل موجة منعكسة عن حد فاصل. فهل هذا الحد الفاصل حائط صلب أم ذو نهاية مفتوحة؟

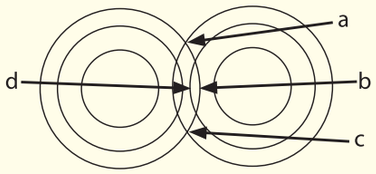
3. التقويم

التحقق من الفهم

تغيّر خصائص الموجة اسأل الطلبة: ما خصائص الموجة التي تتغير عند انكسارها؟ السرعة والطول الموجي. اسأل: ما الخاصية الثالثة للموجة التي تتغير أيضًا؟ الاتجاه م1

التوسع

مصدران نقطيان ارسم الشكل أدناه على السبورة. ووضّح للطلبة أن الشكل يبين موجات دائرية من مصدرين نقطيين. اطلب إليهم تحديد موضعين يحدث للوسط عندهما أقصى تداخل بنائي، وموضعين آخرين يحدث للوسط عندهما أقصى تداخل هدمي.



a و c أقصى تداخل بنائي

b و d أقصى تداخل هدمي

م2 بصري - حركي

1-3 مراجعة

19. لا يتغير التردد. بينما يتغير كل من السعة والطول الموجي والسرعة عندما تعبر الموجة وسطًا جديدًا. أما الاتجاه فيمكن أن يتغير أو لا يتغير وذلك اعتمادًا على الاتجاه الأصلي للموجة.

20. تنكسر ويتغير اتجاهها وفقًا للوسطين (معامل انكسارهما). نعم، إذا سقطت الموجة عموديًّا على الحد الفاصل، أو إذا كان لها السرعة نفسها في الوسطين.

21. الشكل 1–13a يسلك سلوك جدار صلب لأن الموجة المنعكسة منقلبة.

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة.

المهارات العملية استخدام التفسيرات العلمية، والملاحظة والاستنتاج، والمقارنة، وتشكيل النماذج، والتفكير الناقد، والقياس، واستخلاص النتائج، وجمع البيانات وتنظيمها.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الابتعاد عن المواقع التي يمكن أن يصلها ثقل البندول لكيلا يؤذيهم.

استراتيجيات التدريس

- **ذكّر الطلبة أن الدورة الواحدة هي حركة واحدة للجسم ذهابًا وإيابًا.**
- **اطلب إلى الطلبة تحديد المتغيرات المستقلة والمتغيرات الضابطة في كل خطوة يصمّمونها.**
- **يمكنك أن تشبك خيط البندول بحافة الطاولة إذا لم يكن الحامل الحلقي ثابتًا في أثناء حركة البندول.**
- **أطوال خيوط البندول المقترحة 25 cm (قصير)، 75 cm (وسط) و 1m (طويل).**

البندول البسيط Simple Pendulum

يمكن أن يوفر البندول نموذجًا لاستقصاء خصائص الموجات. وستصمّم في هذه التجربة طريقة لاستعمال البندول لإيجاد سعة موجة، وزمنها الدوري، وترددها. وستحدد أيضًا تسارع الجاذبية الأرضية باستعمال البندول البسيط.

سؤال التجربة

كيف يوضح البندول البسيط خصائص الموجات؟

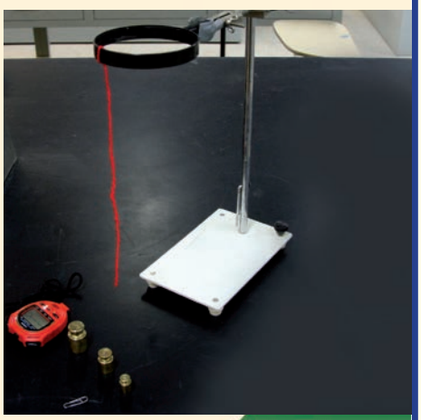
الأهداف

- **تحدّد** المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول.
- **تستقصي** تردّد البندول، وزمنه الدوري، وسعة اهتزازه.
- **تقيس** تسارع الجاذبية الأرضية g.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

- خيط غير قابل للي طوله 1.5 m
- مشبك ورق
- ثلاثة أثقال رصاصية صغيرة
- حامل حلقي
- ساعة وقف



الخطوات

1. صمّم بندولاً باستعمال المواد والادوات المتوفرة لديك. وتحقق من فحص المعلم لتصميمك ما إذا كان ملائمًا، وذلك قبل المضي قدمًا في إجراء التجربة.
2. يكون طول البندول في هذا الاستقصاء مساويًا لطول الخيط، مضافًا إليه نصف طول ثقل البندول. والسعة هي البعد بين النقطة التي سُحب إليها ثقل البندول ونقطة اتزانه. والتردد هو عدد دورات ثقل البندول في الثانية. أما الزمن الدوري فهو الزمن الذي يتطلبه ثقل البندول حتى يعمل دورة واحدة. وعند جمع البيانات حول الزمن الدوري يتعين عليك إيجاد الزمن الذي يحتاج إليه البندول حتى يكمل عشر دورات، ومنها تحدد الزمن الدوري بوحدة s /cycles (ثانية / دورة). كما يتعين عليك عدّ الدورات التي تحدث في 10 s، ومنها تحدد التردد بوحدة (cycles /s) (دورة/ ثانية).
3. صمّم طريقة بحيث تُبقي كلًّا من كتلة ثقل البندول وسعة حركته ثابتتين، في حين تغير طول البندول، ثم حدّد تردّده وزمنه الدوري. سجل نتائجك في جدول البيانات. وكرّر المحاولات مع أطوال مختلفة للبندول لجمع البيانات.
4. صمّم طريقة بحيث تُبقي كلًّا من طول البندول وسعته ثابتين، في حين تغير كتلة ثقل البندول، ثم حدد تردده وزمنه الدوري. سجل نتائجك في جدول البيانات. وكرّر المحاولات لجمع البيانات.
5. صمّم طريقة أخرى بحيث تبقي كلًّا من طول البندول وثقله ثابتين، في حين تغير سعة حركة البندول، ثم حدّد تردّده وزمنه الدوري. سجل نتائجك في جدول البيانات، وكرر المحاولات لجمع البيانات.

عينة بيانات

ستختلف الإجابات. عينة ملاحظات للخطوات 5-3:

3. T، و f تعتمدان على l.

4. T، و f لا تعتمدان على m.

5. T، و f لا تعتمدان على A ($A<15^\circ$)

	الزمن الذي تتطلبه 10 دورات (s)		
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3
الطول 1	25	25	25
	متوسط الزمن الذي تتطلبه 10 دورات (s)	الزمن الدوري (s /cycle)	طول الخيط (m)
الطول 1	25	2.5	1.5

جدول البيانات 1

جدول البيانات هذا مصمّم للخطوات 5–2

	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط	الزمن الدوري (s/cycle)	التردد (cycle/s)
الطول 1					ـــــ	
الطول 2						ـــــ
الطول 3						
الكتلة 1					ـــــ	
الكتلة 2						ـــــ
الكتلة 3						
السعة 1					ـــــ	
السعة 2						ـــــ
السعة 3						

جدول البيانات 2

جدول البيانات هذا مصمّم للخطوة 6، لإيجاد قيمة g

	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط	الزمن الدوري (s/cycle)	طول الخيط (m)
الطول 1						
الطول 2						
الطول 3						

6. صمِّم طريقة باستعمال البندول لحساب تسارع الجاذبية الأرضية g، مستخدمًا المعادلة التالية: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ حيث تمثل T الزمن الدوري، و l طول خيط البندول. وتذكّر تنفيذ عدّة محاولات لجمع البيانات.

التحليل

1. **لخّص** ما العلاقة بين سعة حركة البندول وزمنه الدوري؟
2. **لخّص** ما العلاقة بين كتلة ثقل البندول وزمنه الدوري؟
3. **قارن** كيف يرتبط الزمن الدوري للبندول مع طوله؟
4. **حلّل** أوجد مقدار g من البيانات في الخطوة 6.
5. **تحليل الخطأ** ما النسبة المئوية للخطأ في التجربة عند إيجاد قيمة g؟ وما الأسباب المحتملة لوجود فرق بين القيمة التجريبية لـ g والقيمة المقبولة لها؟

الاستنتاج والتطبيق

استنتج ما المتغير أو المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول؟

6. **حلّل** لماذا يفضل تكرار الخطوة ثلاث مرات أو أكثر لإيجاد التردد والزمن الدوري للبندول؟
7. **قارن** كيف تكون حركة البندول مشابهة لحركة الموجة؟
8. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة حركية؟
9. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة وضع؟

التوسع في البحث

افترض أن لديك بندولًا طويلًا جدًا، ما الملاحظات التي تتوقعها عن حركة هذا البندول مدة يوم كامل؟

الفيزياء في الحياة

يستعمل البندول في تشغيل بعض أنواع الساعات. استعن بملاحظاتك خلال هذه التجربة على تحديد مشكلات التصميم الموجودة في بندولك عند استعماله أداة لضبط الوقت؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول سلوك الموجات ارجع إلى الموقع الإلكتروني:
obeikaneducation.com

27

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية عزّز المفاهيم التي يستكشفها الطلبة، واطلب إليهم التفكير في التشابه بين الحركة الاهتزازية للموجات والبندول، ثم تحديد الكميات المشتركة التي تصف هذه الحركة في كل من الموجات والبندول. دع الطلبة يفكروا في العلاقات بين هذه الكميات. ودعهم يضعوا الفرضيات، واطلب إليهم تصميم تجربة لاختبار كل فرضية، واختيار الأدوات المناسبة، ثم راجع الخطوات مع الطلبة، وحدّد الزمن الكافي الذي ينفذ الطلبة فيه تجاربهم.

التحليل

1. التغير في السعة لا يغير الزمن الدوري.
2. تغير كتلة ثقل البندول لا يغير الزمن الدوري.
3. الزمن الدوري يتناسب طرديًا مع $\sqrt{l}$.
4. $g = 4\pi^2 l / T^2$، ستختلف الإجابات، عينة بيانات: $g = 9.6\ m/s^2$
5. ستختلف الإجابات، عينة بيانات: النسبة المئوية للخطأ (الخطأ النسبي)

$$\text{Error \%} = \frac{9.80\ m/s^2 - 9.6\ m/s^2}{9.80\ m/s^2} \times 100\% = 2.0\ \%$$

المصادر المحتملة للخطأ تتضمن دقة القياسات، والاحتكاك، وحركة الحامل الحلقي.

الاستنتاج والتطبيق

1. يؤثر الطول في الزمن الدوري، وتؤثر فيه g كذلك للأمكنة المختلفة.
2. يصبح تأثير خطأ القياس أقل.
3. يتحرك البندول حركة توافقية بسيطة، شبيهة جدًّا بحركة الموجة.
4. أكبر طاقة حركية (KE) لثقل البندول عند أسفل نقطة في مسار تأرجحه.
5. أكبر طاقة وضع (PE) لثقل البندول عند النقطة التي تمثل أكبر سعة.

التوسع في البحث

إجابة محتملة: يمكن أن يلاحظ الطلبة الدوران الظاهري لمستوى حركة البندول؛ بسبب دوران الأرض.

الفيزياء في الحياة

ستتوقف حركة البندول بعد زمن تحت تأثير الاحتكاك الميكانيكي. ويصعب الوصول إلى دقة عالية في حال حركة البندول بسعة كبيرة، بالإضافة إلى أنه يجب معايرة البندول لفترة زمنية منطقية، مثل دورة كاملة أو نصف دورة لكل ثانية.

الخلفيّة النظرية

إن تطوير الأبنية المقاومة للزلازل يرتبط مع عملية تقويم الخسائر الناجمة عنها أكثر من ارتباطه بعلم الزلازل نفسه؛ إذ إن الأساليب المستخدمة قد طوّرت من خلال دراسة الأضرار التي لحقت بالمباني بعد الزلازل، ثم تصميم مبان بديلة بحيث لا تحدث مثل تلك الأضرار مرة أخرى. ويعرف هذا النوع من التطوير بالنهج *الإرشادي*. وتكون عادة طرائق البناء التقليدية في المناطق المعرضة للزلازل مقاوِمة للزلازل.

استراتيجيات التدريس

- أحضر إلى غرفة الصف عينات من مواد البناء الشائعة (طوب، خشب، حديد تسليح، أسمنت، زجاج)، وناقش مع الطلبة كيف تستجيب هذه المواد لإجهادات الزلازل المختلفة. قد يرغب بعض الطلبة المهتمين في استقصاء مواضيع متقدمة ذات صلة بعلم المواد.
- اطلب إلى الطلبة إحضار مقالة حديثة حول الزلازل الأرضية لمناقشتها في الصف. اسألهم عن قوة الزلازل، والتصاميم المناسبة للمنشآت، ونوع طبقات الأرض تحت المنشآت. (سلسلة صخور أو حواف صخور أو عروق أو ردم)

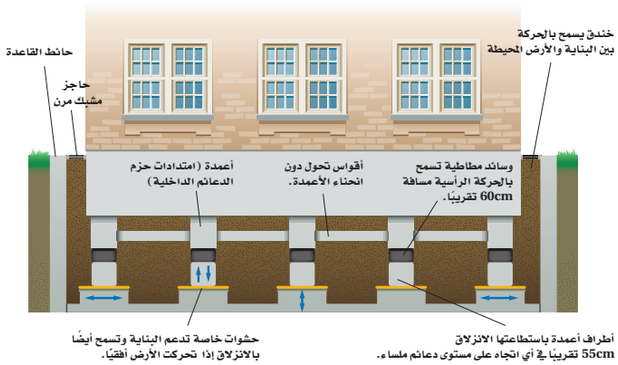
نشاط

النموذج اطلب إلى الطلبة البحث في تقنيات البناء التقليدي والحديث المقاوم للزلازل، ثم عمل نماذج أبنية مقاومة للزلازل.

البناء اطلب إلى الطلبة تصميم نماذج لأجهزة قياس الزلازل السيزمومتر، على أن يحتوي أحد الأنواع على ثقل معلّق بوساطة خيط مثبت فيه قلم رصاص، بحيث يترك أثرًا على شريط ورقي تحته.

الزلزال انفجار شديد وعنيف في مكان ما تحت سطح الأرض. تكون الموجات الميكانيكية المنتشرة من الزلازل موجات مستعرضة وموجات طولية. تعمل الموجات المستعرضة على هزّ المباني أفقيًّا، في حين تهز الموجات الطولية المباني رأسيًّا. ولا يمكن توقع حدوث الزلازل أو منع حدوثها حتى الآن، وما دام الأمر كذلك فكيف يمكن اتقاء أضرارها؟

ولتقليل الاهتزاز الرأسي للبناء توضع نوابض رأسية داخل الأجزاء الرأسية لهيكل البناء، وتصنع هذه النوابض من مركب مطاطي قوي مضغوط داخل أسطوانات مصنوعة من الفولاذ الثقيل والقوي. أما الاهتزاز الجانبي فيمكن التقليل منه بوضع دعائم انزلاقية تحت أعمدة البناء والتي تحفظ هيكل البناء ثابتًا إذا تحركت الأرض تحته إلى جانب من الجوانب.



تقلّل التصاميم الحديثة للأبنية الدمار الناتج عن الهزات الأرضية

نظرًا إلى المعرفة المتزايدة حول الزلازل، بعد الاكتشافات الحديثة للكيفية التي تسبّب بها الزلازل تدمير المنشآت المختلفة، يجب تصميم المباني بحيث تصمد في وجه الزلازل، وتكون قادرة على مقاومة آثارها التدميرية بالإضافة إلى تحديث المباني القائمة حاليًا وتعديلها بعد تلك الاكتشافات الحديثة.

تقليل الدمار تبنى معظم الجسور والممرات المنحدرة باستعمال طبقات خرسانية مدعومة بالفولاذ بعضها فوق بعض، وتحافظ قوة الجاذبية الأرضية عليها في مكانها. وتكون هذه التراكيب والمباني قوية جدًّا في ظل الظروف العادية. ولكنها تهتز جزئيًّا إذا تعرضت لزلازل قوية. لذا تتطلب قواعد البناء الحديثة أن تربط أجزاء البناء بعضها ببعض بوساطة قطع فولاذية ثقيلة وقوية.

ويمكن الحد من الأضرار التي يسببها الزلزال للمباني عن طريق السماح بحدوث كمية صغيرة من الحركة المسيطر عليها بين هيكل البناء وقواعده.

أما التراكيب البنائية الطويلة ومنها الأنفاق والجسور فيجب أن تبنى بحيث تبقى رأسية أو أفقية إذا حدث قص أو صدع في الأرض أسفلها. فالجسر الذي يربط مملكة البحرين بالمملكة العربية السعودية له وصلات وروابط مرنة تجعله ثابتًا.

التوسع

1. **ابحث** ما المواد التي يتركب منها بناء مدرستك؟ وكيف بُنيت قواعد هذا البناء؟
2. **لاحظ** ابحث عن بناء فيه تصدع أو تشقق في أحد جدرانه، وما سبب حدوثه؟ ولماذا اتخذ ذلك الشكل أو المسار؟ وماذا يحدث للبناء إذا تعرّض لزلزال؟

التوسع

1. ستختلف الإجابات. مديريات الهندسة في المدينة أو المحافظة تزودك بمعلومات حول الأبنية المدرسية.
2. تبدأ الصدوع عادة وتنتهي عند نقاط حادة؛ مثل زوايا النوافذ. وتتحرك الصدوع عادة على امتداد النقاط الضعيفة في البناء. وتتشكّل الصدوع التي تحدث في الطبقات الصخرية عادة بالطريقة نفسها.

1–1 الحركة الدورية Periodic Motion

المفردات

- الحركة الدورية
- الحركة التوافقية البسيطة
- الزمن الدوري
- السعة – الرنين
- قانون هوك
- البندول البسيط

الأفكار الرئيسة

- الحركة الدورية، أيّ حركة تتكرر في دورة منتظمة، وفي ازمنة متساوية.
- تنتج الحركة التوافقية البسيطة عندما تتناسب قوة الارجاع المؤثرة في الجسم طرديًّا مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان. وتحقق هذه القوة قانون هوك. $F = -kx$
- تحسب طاقة الوضع المرونية المختزنة في نابض يحقق قانون هوك بوساطة المعادلة التالية:

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

- يمكن حساب الزمن الدوري لبندول بسيط بوساطة المعادلة التالية: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

1–2 خصائص الموجات Wave Properties

المفردات

- الموجة
- نبضة موجية
- الموجة الدورية
- الموجة المستعرضة
- الموجة الطولية
- القاع – القمة
- الطول الموجي

الأفكار الرئيسة

- تنقل الموجة الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- تكون إزاحة الوسط في الموجة المستعرضة متعامدة مع اتجاه حركة الموجة. أمّا في الموجة الطولية فتكون الإزاحة موازية لاتجاه حركة الموجة.
- التردّد هو عدد الدورات في الثانية، ويرتبط التردد بالزمن الدوري من خلال المعادلة التالية:

$$f = \frac{1}{T}$$

- يمكن حساب طول موجة منتشرة باستعمال المعادلة التالية: $\lambda = \frac{v}{f}$

1-3 سلوك الموجات Wave Behavior

المفردات

- الموجة الساقطة
- الموجة المنعكسة
- مبدأ التراكب
- التداخل – العقدة
- بطن الموجة
- الموجة الموقوفة
- صدر الموجة
- قانون الانعكاس
- الانكسار

الأفكار الرئيسة

- عندما تعبر موجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين ينفذ جزء منها كما ينعكس الجزء الآخر.
- ينص مبدأ التراكب على أن الإزاحة الحادثة في الوسط والناتجة عن موجتين أو أكثر تساوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل موجة على حِدة.
- يحدث التداخل عندما تتحرك موجتان أو أكثر في الوسط نفسه وفي الوقت نفسه.
- إذا انعكست موجة في بُعدين عن حد فاصل بين وسطين فإن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.
- الانكسار هو تغير اتجاه الموجات عند حد فاصل بين وسطين مختلفين.

الأفكار الرئيسة

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

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

خريطة المفاهيم

22. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

إتقان المفاهيم

23. الحركة الدورية هي حركة تعيد نفسها بشكل دوري منتظم. ومن الأمثلة عليها: اهتزاز نابض معلّق في نهايته كتلة وتأرجح بندول بسيط والحركة الدائرية المنتظمة.

24. التردد هو عدد الدورات أو التكرارات في الثانية، والزمن الدوري هو الزمن الذي يتطلبه إكمال دورة واحدة. و التردد يساوي مقلوب الزمن الدوري.

25. ينضغط النابض أو يستطيل مسافة تتناسب طرديًّا مع القوة المؤثرة فيه.

26. ثابت النابض يساوي ميل المنحنى البياني لتغير F مع x.

27. طاقة الوضع تساوي المساحة تحت المنحنى البياني لتغير F مع x.

28. لا. نعم. يعتمد على تسارع الجاذبية الأرضية g.

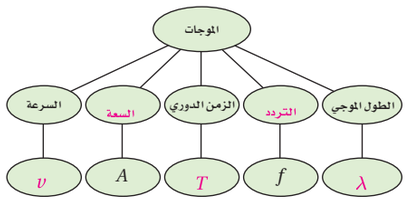
29. طريقتان. تُنقل الطاقة بانتقال الجسيمات والموجات. وهناك أكثر من مثال على كل منهما، البيسبول والرصاصة لانتقال الجسيمات. موجات الصوت والضوء لانتقال الموجات.

30. الاختلاف الرئيس هو أن الموجات الميكانيكية تحتاج إلى وسط ناقل لتنتقل خلاله، أما الموجات الكهرومغناطيسية فلا تحتاج إلى وسط ناقل.

31. تسبّب الموجات المستعرضة اهتزاز جسيمات الوسط الناقل في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة. أما الموجات الطولية فتسبّب اهتزاز جسيمات الوسط في اتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الموجة. أما الموجات السطحية فلها صفات الموجتين الطولية والمستعرضة.

خريطة المفاهيم

22. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستعمال المصطلحات والرموز التالية: السعة، التردد، T، λ، v.



إتقان المفاهيم

23. ما الحركة الدورية؟ أعط ثلاثة أمثلة عليها.

24. ما الفرق بين الزمن الدوري والتردد؟ وكيف يرتبطان؟

25. إذا حقق نابض قانون هوك؛ فكيف يكون سلوكه؟

26. كيف يمكن أن نستخلص من رسم بياني للقوة والإزاحة قيمةَ ثابت النابض لنابضٍ ما؟

27. كيف يمكن أن نستخلص من الرسم البياني للقوة والإزاحة طاقةَ الوضع في نابضٍ ما؟

28. هل يعتمد الزمن الدوري لبندول على كتلة ثقله؟ وهل يعتمد على طول خيطه؟ وعلامَ يعتمد الزمن الدوري للبندول أيضًا؟

29. ما الطرائق العامة لانتقال الطاقة؟ أعط مثالين على كل منها.

30. ما الفرق الرئيس بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية؟

31. ما الفروق بين الموجة المستعرضة، والموجة الطولية والموجة السطحية؟

32. انتقلت موجات خلال نابض طوله ثابت، اجب عن السؤالين التاليين:

a. هل تتغير سرعة الموجات في النابض؟ وضح ذلك.

b. هل يتغير تردد الموجة في النابض؟ وضح ذلك.

33. افترض أنك ولّدت نبضة خلال حبل، فكيف تقارن موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة مقارنة بموضع النقطة بعد مرور النبضة؟

34. ما الفرق بين نبضة الموجة والموجة الدورية؟

35. افترض أنك ولّدت موجة مستعرضة بهزّ أحد طرفي نابض جانبيًّا، فكيف يكون تردد يدك مقارنة بتردد الموجة؟

36. متى تكون النقاط في موجة في الطور نفسه؟ ومتى تكون في حالة اختلاف في الطور؟ أعط مثالاً على كل حالة.

37. صف العلاقة بين سعة موجة والطاقة التي تحملها.

38. عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين حبل رفيع وآخر سميك كما في **الشكل 18–1** ستتغير سرعتها وطولها الموجي، ولن يتغير ترددها. فسر لماذا يبقى التردد ثابتًا.

الشكل 18–1

32. a. لا تتغير سرعة الموجات لأنها تعتمد فقط على الوسط الناقل.

b. يمكن تغيير التردد عن طريق تغيير تردد مولد الموجات.

33. بمجرد مرور النبضة فإن هذه النقطة تعود تمامًا كما كانت قبل وصول النبضة.

34. النبضة عبارة عن اضطراب مفرد في الوسط، أما الموجة الدورية فتتكوّن من عدة اضطرابات متجاورة.

35. يكونان متساويين .

36. تكون النقاط في الطور نفسه إذا كان لها نفس الإزاحة والسرعة المتجهة نفسها. وخلاف ذلك تكون النقاط في حالة اختلاف في الطور. فمثلًا تكون قمتان في الموجة في الطور نفسه إحداهما بالنسبة إلى الأخرى. أما القمة والقاع فلا يكونان في الطور نفسه أحدهما بالنسبة إلى الآخر.

37. تتناسب الطاقة التي تحملها الموجة طرديًّا مع مربع سعتها.

38. يعتمد التردد فقط على معدل اهتزاز الحبل الرفيع، والذي بدوره يؤدي إلى اهتزاز الحبل السميك بالتردد نفسه.

التقويم

39. المساحات الخالية هي مناطق البطون؛ حيث يكـون فيها أكـبر اهتزاز. أما المسـاحات التي يتجمع فيها السـكر فهي مناطق العُقد والتي لا يكون عندها اهتزاز.

40. خمس نقاط.

41. يتغـير كل من الطول الموجي واتجاه صدور الموجات. أما التردد فلا يتغير.

تطبيق المفاهيم

42. لا، تكـون المحطة الفضائية في حالة سـقوط حـر، ولذلك تكـون القيمـة الظاهرية لثابت الجاذبية g صفرًا، ولا يتأرجح البندول.

43. تتولّـد في الحالة الأولى موجات طولية؛ أما في الحالة الثانية فتتولّد موجات مستعرضة.

44. يزداد تردد الموجات؛ وتبقى السرعة نفسـها؛ ويقل الطول الموجي.

45. تقريبًا أربعة أضعاف الطاقة.

46. يكون الحد الفاصـل A أكثر صلابة؛ أما الحد الفاصل B فيكـون أقل صلابة، ويكون الحد الفاصل C أقل صلابة، ويكون الحد الفاصل D أكثر صلابة.

إتقان حلّ المسائل

1–1 الحركة الدورية

47. 0.12 m

39. **الكمان** ثُبتـت شريحـة فلزيـة رقيقـة مـن مركزهـا، وتُنثَـرَ عليها سـكر. فإذا نقـر على قـوس الكمان فإن أحـد طرفي الشريحـة يبدأ في الاهتزاز، ويبدأ السـكر في التجمـع في مسـاحات محـددة، ويتحـرك مبتعـدًا عن مسـاحات أخـرى. صف هـذه المناطـق بدلالة الموجات الموقوفة.

40. إذا اهتـز حبل مشـكّلا أربعـة أجزاء أو أقسـام، فإنه يوجد عليـه نقاط يمكن أن تلمسـها دون أن تُحدث اضطرابًا في حركته. بيّن عدد هذه النقاط.

41. مـرّت صـدور موجات بزاويـة من وسـط إلى آخر، وتحركت فيه بسرعة مختلفة. صف تغيرين في صدور الموجات، وما الذي لم يتغير؟

تطبيق المفاهيم

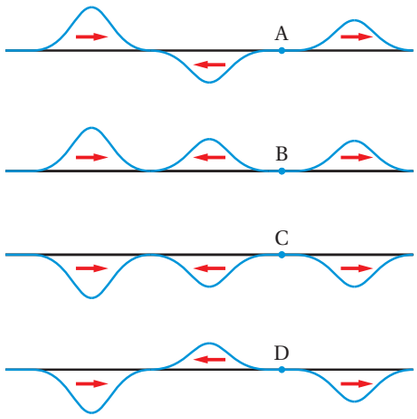
42. هـل يمكن اسـتعمال سـاعة بندول في محطـة فضائية دولية تتحرك في مدارها؟ وضح ذلك.

43. افـترض أنـك أمسـكت قضيبًـا فلزيًّـا طولـه 1 m، وضربت أحـد طرفيه بمطرقة، في اتجـاه موازٍ لطوله أولاً، ثـم في اتجاه يصنع زاوية قائمـة مع طوله ثانيًا. صف الموجات المتولّدة في الحالتين.

44. افـترض أنـك غمسـت إصبعك بشـكل متكـرّر في حـوض مملـوء بالمـاء لتوليد موجـات دائريـة، فماذا يحدث لطول الموجة إذا حركت إصبعك بسرعة؟

45. افـترض أنـك أحدثـت نبضـة واحـدة في نابـض مشـدود، فما الطاقة التـي يتطلبها إحـداث نبضة لها ضعفي السعة؟

46. تكـون النبضة اليـسرى في كل واحـدة من الموجات الموضحـة في **الشكل 19–1** أدنـاه هـي النبضـة الأصليـة، وتتحرك إلى اليمـين، وتكون النبضة التي في الوسـط هي النبضة المنعكسـة، بينما تكون النبضة عـن يمينك هـي النبضة النافذة. صـف صلابة الحد الفاصل عند النقاط A، B، C، D.



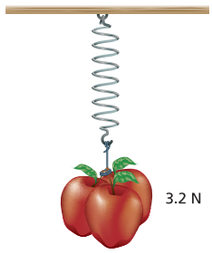
الشكل 19–1

إتقان حل المسائل

1–1 الحركة الدورية

47. **ماصّـات الصـدمات** إذا كان ثابـت كل نابـض مـن نوابـض سـيارة وزنهـا 12000 N يسـاوي 25000 N/m. فكـم ينضغـط كل نابـض إذا وقـع عليه ربع وزن السيارة؟

48. إذا استطال نابض مسافة 0.12 m عندما علق في أسفله عدد من التفاحات وزنها 3.2 N كما في **الشكل 20–1**. فما مقدار ثابت النابض؟



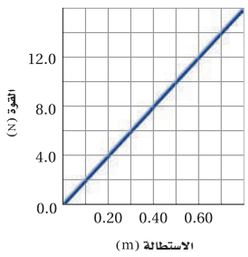
الشكل 20–1

49. **قاذفة الصواريخ** تحتوي لعبة قاذفة الصواريخ على نابض ثابته يساوي 35 N/m، ما المسافة التي يجب أن ينضغطها النابض حتى يختزن طاقة مقدارها 1.5 J؟

50. يبين **الشكل 21–1** العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة في نابض ومقدار استطالته. احسب:

a. ثابت النابض.

b. الطاقة المخزّنة في النابض عندما يستطيل ويصبح طوله 0.5 m



الشكل 21–1

1–2 خصائص الموجات

51. **موجات المحيط** إذا كان طول موجة محيطية 12.0 m، وتمر بموقع ثابت كل 3.0 s، فما سرعة الموجة؟

52. تنتقل موجة ماء في بركة مسافة 3.4 m في 1.8 s، فإذا كان الزمن الدوري للاهتزازة الواحدة يساوي 1.1 s، فما:

a. سرعة موجات الماء؟

b. الطول الموجي لهذه الموجات؟

53. **السونار** يرسل سونار (جهاز يكشف المواقع تحت سطح الماء عن طريق الصدى) في الماء إشارة ترددها 1.00×10^{6} Hz وطولها الموجي يساوي 1.50 mm، فما:

a. سرعة الإشارة في الماء؟

b. الزمن الدوري للإشارة في الماء؟

c. الزمن الدوري للإشارة في الهواء؟

54. جلس عمر وطارق بعد السباحة على شاطئ بركة، وقدّرا المسافة الأفقية بين قاع الموجة السطحية وقمتها بمقدار 3.0 m، فإذا عدّا 12 موجة مرت بالشاطئ خلال 20.0 s، فاحسب سرعة انتشار الموجات.

55. **الزلازل** إذا كانت سرعة الموجات المستعرضة الناتجة عن زلزال 8.9 km/s وسرعة الموجات الطولية 5.1 km/s، وسجّل جهاز السيزموجراف زمن وصول الموجات المستعرضة قبل وصول الموجات الطولية بـ 68 s، فكم يبعد مركز الزلازل؟

التقويم

48. 27 N/m

49. 0.29 m

50. **a.** 20 N/m

b. 2.50 J

1–2 خصائص الموجات

51. 4.0 m/s

52. **a.** 1.9 m/s

b. 2.1 m

53. **a.** 1.50×10^{3} m/s

b. 1.00×10^{-6} s

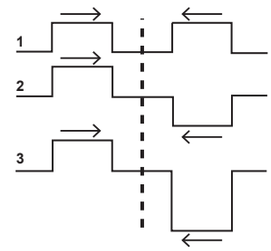
c. 1.00×10^{-6} s

54. 3.6 m/s

55. 8.1×10^{2} km

3–1 سلوك الموجات

56. ارسم الموجة المحصلة في كل من الأوضاع الثلاثة الموضحة في **الشكل 22–1** عندما يقع مركزا نبضتي الموجتين المتقاربتين على الخط المنقط، أيْ تكون النبضات في حالة تراكب.



الشكل 22–1

57. **القيثارة** إذا كانت سرعة الموجة في وتر قيثارة 265 m/s، وكان طول الوتر 63 cm، وقد حرّكته من مركزه بسحبه إلى أعلى ثم تركه، سوف تتحرك نبضة في اتجاهين، ثم تنعكسان عند نهايتي الوتر.

a. ما الزمن الذي تحتاج إليه النبضة حتى تصل طرف الوتر ثم تعود إلى مركزه؟

b. هل يكون الوتر أعلى موضع سكونه أم أسفله عندما تعود النبضتان؟

c. إذا حرّكت الوتر من نقطة تبعد 15 cm عن أحد طرفيه فأين تلتقي النبضتان؟

مراجعة عامة

58. **تأرجح جسر** يتأرجح طارق وحسن على جسر بالحبال فوق أحد الأنهار، حيث يربطان حبالهما عند إحدى نهايتي الجسر، ويتأرجحان عدة دورات جيئة وذهابًا، ثم يسقطان في النهر. اجب عن الاسئلة التالية:

a. إذا استخدم طارق حبلاً طوله 10.0 m، فما الزمن الذي يحتاج إليه حتى يصل قمة الدورة في الجانب الآخر من الجسر؟

b. إذا كانت كتلة حسن تزيد 20 kg على كتلة طارق، فكم تتوقع أن يختلف الزمن الدوري لحسن عما هو لطارق؟

59. **موجات الراديو** تبث إشارات راديو Am بترددات بين 550 kHz و1600 kHz وتنتقل بسرعة 3.00×10^8 m/s

a. ما مدى الطول الموجي لهذه الإشارات؟

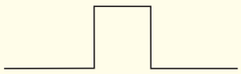
b. إذا كان مدى ترددات FM بين 88 MHz (ميجا Hz) و 108 MHz وتنتقل بالسرعة نفسها. فما مدى الطول الموجي لموجات FM؟

60. **القفز بالحبل المطاطي** قفز لاعب منطاد على ارتفاع عالٍ بوساطة حبل نجاة قابل للاستطالة طوله 540 m، وعند اكتمال القفزة كان اللاعب معلقًا بالحبل الذي أصبح طوله 1710 m، ما مقدار ثابت النابض لحبل النجاة إذا كانت كتلة اللاعب 68 kg؟

التقويم

3–1 سلوك الموجات

56.

.1 

.2

.3

57. a. 2.4×10^{-3} s

b. تنقلب النبضات عندما تنعكس عن وسط أكثر صلابة، لذلك يكون إتجاه النبضة المنعكسة إلى أسفل.

c. 15 cm من الطرف الآخر.

مراجعة عامة

58. a. 3.17 s

b. لن يكون هناك اختلاف.

59. a. المدى من 190 m إلى 550 m

b. المدى من 2.78 m إلى 3.4 m

60. 0.57 N/m

التقويم

التفكير الناقد

61. a. انظر دليل حلول المسائل.

b. 21 N/m

c. 2.5 J

الكتابة في الفيزياء

62. وضع هيجنز النظرية الموجية للضوء. أما نيوتن فقد وضع النظرية الجسيمية للضوء. ويمكن تفسير قانون الانعكاس باستخدام النظريتين، أما في تفسير قانون الانكسار فهما متناقضتان.

مراجعة تراكمية

63. a. 8.8×10^{6} J

b. أقل مقدار من الشغل يجب أن يساوي الطاقة الحركية (KE)؛ أي 8.8×10^{6} J، ويبذل المحرك شغلاً أكبر للتعويض عن الشغل الضائع ضد قوة الاحتكاك.

c. 11 m/s^2

64. تكون طاقة الوضع المرونية عند أسفل الحركة عند قيمتها العظمى، وطاقة وضع الجاذبية عند قيمتها الصغرى، والطاقة الحركية صفرًا. أما عند وضع الاتزان فتكون الطاقة الحركية (KE) عند قيمتها العظمى، وطاقة الوضع المرونية صفرًا. وعند أعلى نقطة في مسار الحركة – لحظة الارتداد إلى أسفل – تكون الطاقة الحركية (KE) صفرًا، وطاقة وضع الجاذبية عند قيمتها العظمى، وطاقة الوضع المرونية عند قيمتها العظمى. وتكون الطاقة الميكانيكية الكلية محفوظة.

التفكير الناقد

61. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها عُلّقت عدة كتل في نهاية نابض، وقيست الزيادة في طول النابض. ويبين **الجدول 1–1** البيانات التي تم الحصول عليها.

الجدول 1–1

الأوزان المعلقة في النابض	
القوة F (N)	الاستطالة x (m)
2.5	0.12
5.0	0.26
7.5	0.35
10.0	0.50
12.5	0.60
15.0	0.71

a. مثّل بيانيًّا القوة المؤثرة في النابض مقابل الاستطالة في النابض، على أن ترسم القوة على المحور الرأسي (y).

b. احسب ثابت النابض من الرسم البياني.

c. استخدم الرسم البياني في إيجاد طاقة الوضع المرونية (المخزّنة) في النابض عندما يستطيل النابض مسافة 0.50 m

الكتابة في الفيزياء

62. بحث درس العالم كرستيان هيجينز الموجات، وحدث خلاف بينه وبين نيوتن حول طبيعة الضوء. قارن بين تفسير كل منهما لظواهر الانعكاس والانكسار. أيّ النموذجين تؤيد؟ ولماذا؟

مراجعة تراكمية

63. تقطع سيارة سباق كتلتها 1400 kg مسافة 402 m خلال 9.8 s، فإذا كانت سرعتها النهائية 112 m/s، فما:

a. مقدار الطاقة الحركية النهائية للسيارة؟

b. أقل مقدار من الشغل بذله محرك السيارة؟ ولماذا لا يمكنك حساب مقدار الشغل الكلي المبذول؟

c. مقدار التسارع المتوسط للسيارة؟

64. تهتز كرة إلى أعلى وإلى أسفل عند طرف نابض مثبت رأسيًّا. صف تغيرات الطاقة التي تحدث خلال دورة كاملة. وهل تغيرت الطاقة الميكانيكية الكلية؟

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. ما قيمة ثابت نابض يخزّن طاقة وضع مقدارها 8.67 J عندما يستطيل مسافة 247 mm؟

(A) 70.2 N/m (C) 142 N/m
(B) 71.1 N/m (D) 284 N/m

2. ما مقدار القوة المؤثرة في نابض له ثابت مقداره 275 N/m ويستطيل مسافة 14.3 cm؟

(A) 2.81 N (C) 39.3 N
(B) 19.2 N (D) 3.93×10^{30} N

3. إذا عُلّقت كتلة في نهاية نابض كما في الشكل أدناه، فاستطال مسافة 0.85m، فما مقدار ثابت النابض؟

(A) 0.25 N/m (C) 26 N/m
(B) 0.35 N/m (D) 3.5×10^{2} N/m

4. يسحب نابض بابًا لكي يغلقه. ما مقدار الشغل المبذول عندما يسحب النابض الباب بسرعة ثابتة بحيث تتغيّر استطالة النابض من 85.0 cm إلى 5.0 cm، علمًا بأن ثابت النابض 350 N/m؟

(A) 112 N.m (C) 224 N.m
(B) 130 J (D) 1.12×10^{3} N/m

5. ما تردّد موجة زمنها الدوري 3 s؟

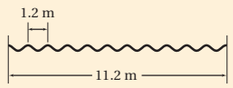
(A) 0.3 Hz (C) $\frac{\pi}{3}$ Hz
(B) 30 Hz (D) 3 Hz

6. أيّ الخيارات التالية يصف الموجة الموقوفة؟

	الموجات	الاتجاه	الوسط
(A)	متطابقة	نفسه	نفسه
(B)	غير متطابقة	متعاكس	مختلف
(C)	متطابقة	متعاكس	نفسه
(D)	غير متطابقة	نفسه	مختلف

7. تحركت موجة طولها 1.2 m مسافة 11.2 m في اتجاه جدار، ثم ارتدت عنه وعادت ثانية خلال 4 s ما تردّد الموجة؟

(A) 0.2 Hz (C) 5 Hz
(B) 2 Hz (D) 9 Hz



8. ما طول بندول بسيط زمنه الدوري 4.89 s؟

(A) 5.94 m (C) 24.0 m
(B) 11.9 m (D) 37.3 m

الأسئلة الممتدة

9. استخدم تحليل الوحدات للمعادلة $kx = mg$ لاشتقاق وحدة k.

إرشاد

تدرّب، تدرّب، تدرّب

تدرّب لتحسين أدائك في الاختبار المقنن، ولا تقارن نفسك بالآخرين.

اختبار مقنن الفصل 1–

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة اختيار من متعدد

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

الأسئلة الممتدة

9. $k = \frac{mg}{x}$

$k = \frac{\text{kg . m/s}^2}{\text{m}}$

ولأن $1\text{ N} = 1\frac{\text{kg . m}}{\text{s}^2}$ فإنه يمكنك تعويض 1 N في بسط المعادلة السابقة للتوصل إلى: $k = \frac{\text{N}}{\text{m}}$

الفصل 2

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
2–1 خصائص الصوت 1. **تبين** الخصائص المشتركة بين الموجات الصوتية والموجات الأخرى. 2. **تربط** بين الخصائص العامة للموجات والموجات الصوتية. 3. **توضّح** المقصود بتأثير دوبلر. 4. **تحدّد** بعض التطبيقات على تأثير دوبلر.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** كؤوس زجاجية ذات سيقان يختلف بعضها عن بعض في السمك والارتفاع، وأكواب (كؤوس زجاجية)، وماء. **عرض المعلم** **عرض سريع** كرة فلين ، وجرس توقيت ، وبطاريات.
2–2 الرنين 5. **توضح** مفهوم الرنين، وتطبيقاته على أعمدة الهواء والأوتار. 6. **توضّح** تطبيقات الرنين على أعمدة الهواء المفتوحة والمغلقة. 7. **توضّح** كيف يحدث الرنين في الأوتار.	**تجارب الطالب** **مختبر الفيزياء** ثلاث شوكات رنانة معلومة التردد، ومخبار مدرج سعته 1000 ml، وماء، ومطرقة خاصة بالشوكات الرنانة، ومسطرة مترية، ومقياس درجة حرارة (غير زئبقي)، وأنبوب زجاجي (طوله 40 cm تقريبًا وقطره 3.5 cm تقريبًا) **عرض المعلم** **عرض سريع** قضيب ألومنيوم يتراوح طوله بين 50 cm و 200 cm، وبقطر من 10 mm إلى 15 mm، وصمغ.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثاني

الفصل 2

الصوت

نظرة عامة إلى الفصل

الصوت عبارة عن تغير في الضغط ينتقل في صورة موجة طولية. يعرض الفصل بعض خصائص الصوت مثل اتجاه الصوت، ودرجة الصوت، وسرعة الصوت. ثم يربط الفصل بين تلك الخصائص والرنين، من خلال مناقشة الرنين في أعمدة الهواء والأوتار. ويختتم الفصل بمناقشة الضربات.

فكّر

تولد الآلات والأجسام الصوت بطرائق متعددة، فإما يكون الصوت ناتجًا عن اهتزاز عمود هواء، أو عن سطح يهتز، أو من اهتزاز أوتار وسطح في حالة رنين. وترتبط الاختلافات في الأصوات الناتجة عن الآلات أو الأجسام بنمط موجات الصوت التي تشكلها.

المفردات الرئيسة

- الموجة الصوتية
- تأثير دوبلر
- الرنين
- التردد الأساسي
- الموجة الموقوفة
- الضربة

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- وصف الصوت بدلالة خصائص الموجات وسلوكها.
- اختبار بعض مصادر الصوت.

الأهمية

يُعدّ الصوت وسيلة مهمة للاتصال، وتأليف الموسيقى التي تُعبر عن ثقافة الشعوب. وحديثًا تعد موجاته إحدى وسائل المعالجة.

المجموعات الموسيقية تحتوي المجموعة الموسيقية الصغيرة على آلتين أو ثلاث، في حين قد تحتوي الفرقة الموسيقية على 100 أو أكثر من تلك الآلات أو غيرها التي تنتج نغمات بطرائق مختلفة، وينتج عنها مقطوعات موسيقية رائعة.

فكّر

كيف تُنتج الآلات الموسيقية الأصوات التي تسمعها من الفرقة الموسيقية؟ ولماذا تختلف أصوات الآلات المتنوعة حتى لو كانت تعزف النغمة الموسيقية نفسها؟

تجربة استهلالية

الهدف تقديم موضوع توليد موجات صوتية بوساطة حافة مهتزة.

المواد والأدوات كؤوس زجاجية ذات سيقان يختلف بعضها عن بعض في السمك والارتفاع، وأكواب زجاجية بدون سيقان، وماء.

استراتيجيات التدريس

- أتح للطلبة وقتًا كافيًا للتمرين؛ لن يتمكن جميع الطلبة في البداية من جعل الكأس تهتز.
- تأكد أن الطلبة يختبرون الكؤوس ذات السيقان بوجود كمية قليلة من الماء فيها، واطلب إليهم ملاحظة سطح الماء عند سماعهم أصوات الرنين التي تُصدرها الكؤوس.

تحذير: يجب التعامل مع الكؤوس الزجاجية بحذر لأنها قابلة للكسر.

تجربة استهلالية

كيف يمكن لكأس زجاجية ان تصدر نغمات موسيقية؟

سؤال التجربة كيف يمكنك استعمال كؤوس زجاجية لإصدار نغمات موسيقية مختلفة؟ وكيف تختلف نغمات الكؤوس ذات السيقان عن نغمات الكؤوس التي لا سيقان لها؟

الخطوات

1. اختر كأسًا زجاجية ذات ساق، ولها حافة رقيقة.
2. **حضّر** تفحّص بحذر الحافة العلوية للكأس حتى لا يكون هناك حواف حادة، وأخبر معلمك إذا وجدت أي حواف حادة، وتحقق من تكرار الفحص في كل مرة تختار فيها كأسًا مختلفة.
3. ضع الكأس أمامك على الطاولة، وثبِّت قاعدة الكأس بإحدى يديك، ثم بلّل إصبعك وحكّه ببطء بالحافة العلوية للكأس من الخارج. **تحذير: تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هَشٌّ.**
4. سجّل مشاهداتك، ثم زِد أو قلّل سرعة إصبعك قليلاً. ماذا يحدث؟
5. اختر كأسًا ذات ساق أطول أو أقصر من الكأس الأولى، وكرّر الخطوات 4-2.
6. اختر كأسًا بلا ساق، وكرّر الخطوات 4-2.

التحليل

لخص مشاهداتك، وبيّن أي الكأسين أصدرت نغمات رنين: ذات السيقان، أم التي لا سيقان لها، أم كلا النوعين؟ وما العوامل التي تؤثر في النغمات الصادرة؟

التفكير الناقد اقترح طريقة لإصدار نغمات مختلفة من الكأس نفسها، واختبر طريقتك التي اقترحتها. ثم اقترح اختبارًا لاستقصاء خصائص الكؤوس التي يمكن استعمالها في إصدار نغمات رنين.

الأهداف

- **تبيّن** الخصائص المشتركة بين الموجات الصوتية والموجات الأخرى.
- **تربط** بين الخصائص العامة للموجات، والموجات الصوتية.
- **توضّح** المقصود بتأثير دوبلر.
- **تحدّد** بعض التطبيقات على تأثير دوبلر.

المفردات

الموجة الصوتية
تأثير دوبلر

الصوت جزء مهم في حياة الكثير من المخلوقات الحية ومنها الانسان؛ إذ تستعمل الحيوانات الصوت للصيد، واجتذاب الشريك، والتحذير من اقتراب الحيوانات المفترسة. يزيد صوت صفارة الإنذار من القلق لدى الناس، في حين تساعد الأصوات الموسيقية على التهدئة وإراحة النفس. لقد أصبح مألوفًا لديك من خلال خبرتك اليومية العديد من خصائص الصوت، بما فيها العلو، والنغمة، والدرجة. ويمكنك استعمال هذه الخصائص وغيرها لتصنيف الأصوات ووصفها، فعلى سبيل المثال، تعد بعض أنماط الصوت من مميزات الكلام، في حين يعد غيرها من ميزات المجموعات الموسيقية.

تعلمت في الفصل السابق وصف الموجات بدلالة السرعة والتردد والطول الموجي والسعة. كما استكشفت كيفية تفاعل الموجات بعضها مع بعض، ومع المادة. ولأن الصوت أحد أنواع الموجات فإنه يمكنك وصف بعض خصائصه وتفاعلاته. والسؤال الذي تحتاج إلى إجابته أولاً هو: ما نوع موجة الصوت؟

2-1 خصائص الصوت

1. التركيز

نشاط محفز

الصوت والطاقة استخدم شوكة رنّانة ودورقًا يحتوي على كمية قليلة من الماء لإثبات أنّ فرعي الشوكة الرنانة ينقلان الطاقة إلى المادة المحيطة بهما. اطرق الشوكة الرنانة ودع الطلبة يسمعون صوتها، واجعلهم يشاهدوا حركة فرعيها من خلال غمرها في ماء الدورق. ثم دعهم يستنتجوا أنّ فرع الشوكة المهتز ينقل طاقة حركية إلى المادة المحيطة به بنمط متكرّر. م 1 **سمعي - موسيقي**

الربط مع المعرفة السابقة

خصائص الموجات يوسّع الطلبة فهمهم لخصائص الموجات المستعرضة (التردد، والطول الموجي، والسعة) لفهم الخصائص المماثلة التي تصف الموجات الطولية، ومن ضمنها الموجات الصوتية.

النتائج المتوقعة تهتز الكؤوس ذات السيقان بصورة جيدة وتولد نغمات. بينما لا تولد الأكواب ذات القاع المسطح نغمات لأنها تستقر مباشرة على الطاولة، التي تمتص الطاقة الاهتزازية. سيلاحظ الطلبة أن أصابعهم تنزلق وتلتصق بالتناوب على محيط الحافة، مما يؤدي إلى توليد موجة موقوفة في الكأس.

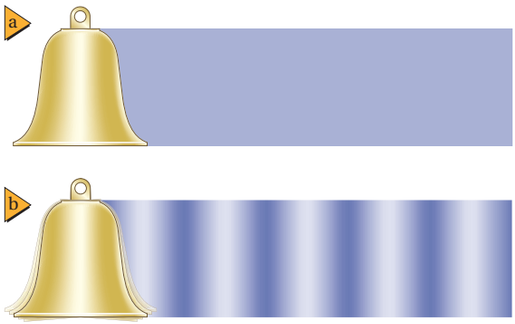
التحليل يجب أن يشير الطلبة إلى أنّ الكؤوس ذات السيقان تولّد نغمات. وتتحكم عوامل عدّة في النغمات الناتجة، منها: سرعة تحريك الأصابع حول الحافة، وقطر الكأس الزجاجية، وطول الساق، وكمية الماء في الكأس، كما ستؤثر نوعية الكأس في النغمة المتولّدة؛ حيث لا تصدر الكؤوس ذات الزجاج المضغوط نغمات.

التفكير الناقد سيجد الطلبة أنّ سكب القليل من الماء داخل الكؤوس يرفع من درجة الصوت قليلاً؛ لأنّ ذلك يغير من حجم المادة المهتزّة. وقد يقترح الطلبة تغيير سُمك الكؤوس الزجاجية، وشكلها، وارتفاع سيقانها.

2. التدريس

استخدام النماذج

موجة صوتية في ثلاثة أبعاد نمذج انتشار موجة صوت في ثلاثة أبعاد من خلال نفخ بالون كروي. أشر إلى أن حركة سطح البالون تمثّل نموذجًا لموجة صوت تتحرك بعيدًا عن مصدرها في الاتجاهات جميعها.

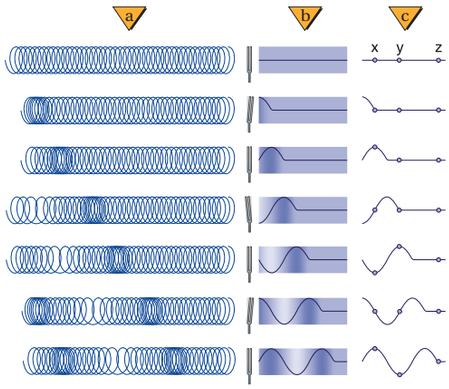


الشكل 1–2 يكون الهواء حول الجرس قبل قرعه متوسط الضغط (**a**). وعند قرعه تُحدث الحافة المهتزة مناطق ذات ضغط مرتفع وأخرى ذات ضغط منخفض. حيث تمثل المساحات الداكنة مناطق الضغط المرتفع، وتمثل المساحات الفاتحة مناطق الضغط المنخفض (**b**). ويبين الرسم التخطيطي تحرك المناطق في اتجاه واحد للتبسيط، في حين أن الموجات تتحرك فعليًا من الجرس في الاتجاهات جميعها.

الموجات الصوتية Sound Waves

ضع أصابعك على حنجرتك وأنت تتكلم أو تُدندن. هل تشعر بالاهتزازات؟ هل حاولت مرة وضع يدك على سمّاعة مسجل؟ يوضّح **الشكل 1–2** جرسًا يهتز، والذي قد يمثل أوتارك الصوتية أو سمّاعة أو أي مصدر للصوت. فعندما يهتز الجرس إلى الخلف وإلى الأمام فإن حافة الجرس تصدم جزيئات الهواء. وتتحرك جزيئات الهواء إلى الأمام عندما تتحرك الحافة إلى الأمام؛ أي أن جزيئات الهواء ترتد عن الجرس بسرعة كبيرة. وعندما تتحرك الحافة إلى الخلف ترتد جزيئات الهواء عن الجرس بسرعة أقل.

وينتج عن تغيرات سرعة اهتزاز الجرس ما يلي: تُؤدي حركة الجرس إلى الأمام إلى تشكّل منطقة يكون فيها ضغط الهواء أكبر قليلاً من المتوسط، في حين تؤدي حركته إلى الخلف إلى تشكّل منطقة يكون فيها ضغط الهواء أقل قليلاً من المتوسط. وتؤدي التصادمات بين جزيئات الهواء إلى انتقال تغيرات الضغط بعيدًا عن الجرس في الاتجاهات جميعها. وإذا ركّزت على بقعة واحدة فستشاهد ارتفاع ضغط الهواء وانخفاضه، على خلاف سلوك البندول. وبهذه الطريقة تنتقل تغيرات الضغط خلال المادة.



الشكل 2–2 نمذجة تضاغطات وتخلخلات موجة صوت باستعمال نابض (**a**). يرتفع ضغط الهواء وينخفض مع انتشار الموجة الصوتية خلال الهواء (**b**). ويمكنك استخدام منحنى الجيب وحده لتعبر عن تغيرات الضغط. لاحظ أن المواضع x، y، وz تبين أن الموجة هي التي تتحرك إلى الأمام وليست المادة (**c**).

وصف الصوت يسمى انتقال تغيرات الضغط خلال مادةٍ **موجة صوتية**. وتنتقل موجات الصوت خلال الهواء؛ لأن المصدر المهتز ينتج تغيرات أو اهتزازات منتظمة في ضغط الهواء. وتتصادم جزيئات الهواء، وتنقل تغيرات الضغط بعيدًا عن مصدر الصوت. ويتذبذب ضغط الهواء حول متوسط الضغط، كما في الشكل 2–2. أمّا تردد الموجة فهو عدد الاهتزازات (التغيرات) في قيمة الضغط في الثانية الواحدة. ويمثل الطول الموجي المسافة بين مركزي ضغط مرتفع أو منخفض متتاليين. ويُعد الصوت موجة طولية؛ لأن جزيئات الهواء تهتز موازية لاتجاه حركة الموجة.

تعتمد سرعة الصوت في الهواء على درجة الحرارة، حيث

تـزداد السرعـة في الهواء بزيـادة درجة الحرارة وبمقـدار 0.6 m/s لكل درجة سـيليزية واحـدة. فمثـلا؛ تتحرك موجـات الصوت خلال هـواء بدرجة حـرارة الغرفة، 20 °C، عند مستوى سطح البحر بسرعة 343 m/s ينتقل الصوت خلال المواد الصلبة والموائع أيضًا. وتكون سرعة الصوت عمومًا في المواد الصلبة أكبر منها في السائلة، وأكبر منها في الغـازات. ويبين **الجدول 1–2** سرعات موجات الصوت في أوسـاط متعددة. لا ينتقل الصوت في الفراغ؛ وذلك لعدم وجود جزيئات تتصادم وتنقل الموجة.

الجدول 1–2

سرعة الصوت في أوساط متعدِّدة

الوسط	m/s
الهواء (0 °C)	331
الهواء (20 °C)	343
الهيليوم (0 °C)	972
الماء (25 °C)	1493
ماء البحر (25 °C)	1533
النحاس (25 °C)	3560
الحديد (25 °C)	5130

تشـترك الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى في خصائصها العامة، ومنها انعكاسـها عن الأجسـام الصلبة، كجدران الغرفة مثلاً. وتُسـمى موجات الصوت المنعكسـة عند وصولها إلى مصدرها بالصدى. ويمكن اسـتعمال الزمن الذي يحتـاج إليه الصدى حتى يعود إلى مصدر الصوت في إيجاد المسافة بين مصدر الصوت والجسم الذي انعكس عنه. ويَستعمل هذا المبدأ الخفافيشُ وبعض الكاميرات وبعض السفن التي تستعمل السونار. وقد تتداخل موجتان صوتيتان، مما يؤدي إلى نشأة بقع تدعى البقع الميتة، ويكون موقعها عند العقد، حيث يكون الصوت عندها ضعيفًا جدًّا. ويرتبط تردد الموجة وطولها الموجي بسرعتها، كما تعلمت في الفصل السابق، من خلال المعادلة الآتية: $\lambda = v/f$

مسائل تدريبية

1. مـا الطول الموجي لموجـة صوتية ترددها 20 Hz تتحـرك في هواء درجة حرارته 20 °C؟ (يُعد هذا التردد من أقل الترددات التي يمكن للأذن البشرية سماعها).
2. إذا وقفت عند طرف وادٍ وصرخت، وسمعت الصدى بعد مرور 0.80 s، فما عرض هذا الوادي؟
3. تنتقـل موجة صوتيـة ترددها 2280 Hz وطولها الموجي 0.655 m، في وسـط غير معروف. حدّد نوع الوسط.

تعزيز الفهم

خصـائص الموجات الطولية اطلـب إلى الطلبة أن يرسـموا مخططًا توضيحيًّا، يوضّح كيف تشـير حركة جسيمات الوسط الذي تتحرك فيه موجات الصـوت إلى أنها موجة طولية. تتحرك الجسـيمات إلى الأمام وإلى الخلف، بشـكل موازٍ لاتجاه انتشار الموجة. م

مسائل تدريبية

1. 17.15 m
2. 140 m
3. 1490 m/s؛ تقابـل هـذه السرعـة سرعة الصوت في الماء عند 25°C

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

الرسوم البيانية لـ (الضغط – الزمن) أشر إلى أن موجة الصوت هي تغير في الضغط، وينتقل هذا التغير خلال المادة. وأن التعريف يتضمن أن الضغط يتغير مع الزمن. فسر ذلك من خلال رسم منحنى بياني يبين العلاقة بين الضغط والزمن، بحيث تُمثّل الموجة على صورة منحنى جيبيّ. أكد أن الرسـم البياني يُمثّل شريطًا سـينمائيًّا يُعبّر عن كيفية تغير الضغط عند نقطـة مفردة تقع في مسـار الموجة الصوتية. اسـأل الطلبة: ما المصطلح الـذي يصف الفترة الزمنية للشريط السـينمائي ليكرّر نفسـه؟ الزمن الدوري بين أن منحنى (الضغط – الزمن) يقدم توضيحًا للزمن الدوري للموجة الصوتية. م2

استخدام الشكل 3–2

اسأل الطلبة كيف يقارنون بين الطول الموجي لموجة الصوت التي يلتقطها المراقب A والطول الموجي لموجة الصوت التي يلتقطها المراقب B. إنها أقصر. دع الطلبة يربطوا بين الطول الموجي والتردد لموجة الصوت التي تصل إلى أذن كل مراقب. تردد موجة الصوت التي تصل إلى المراقب A أكبر من تلك التي تصل إلى المراقب B. كيف تقارن بين درجة الصوت التي يدركها المراقبان والدرجة التي يسمعانها إذا كان مصدر الصوت ثابتًا؟ تكون درجة الصوت التي يسمعها المراقب A أكبر من الدرجة التي يسمعها عندما يكون مصدر الصوت ساكنًا، وستكون درجة الصوت أقل للمراقب B. م2

تطوير المفهوم

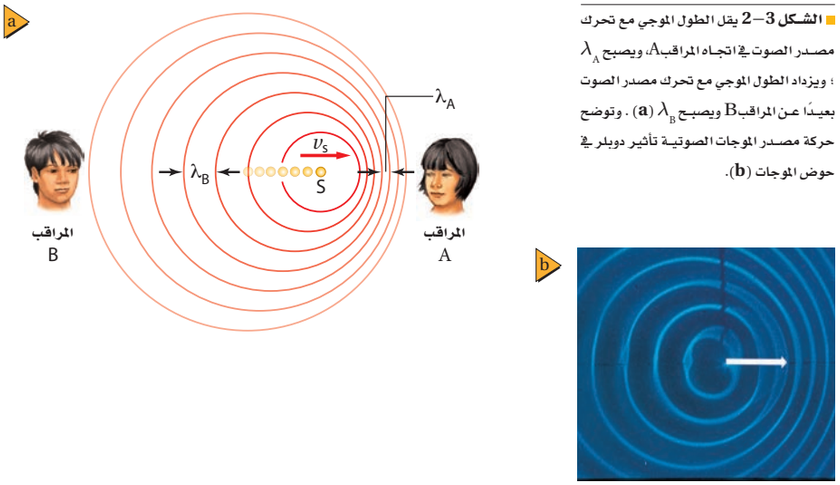
مدى تأثير دوبلر أكد أن تأثير دوبلر يُستخدم لقياس السرعة المتجهة لأجسام بحجوم مختلفة، تتراوح بين الذرة والمجرة، وذلك بقياس السرعة المتجهة للموجات الصادرة عن الجسم أو المرتدة عنه. ويمكن أن تكون هذه الموجات ميكانيكية مثل الصوت، أو كهرمغناطيسية مثل الضوء.

تأثير دوبلر The Doppler Effect

هل لاحظت أن درجة (حدّة) صوت سيارة الإسعاف أو الإطفاء أو صفارة الشرطة تتغير مع مرور المركبة بجانبك؟ تكون حدّة الصوت أعلى عندما تتحرك المركبة في اتجاهك، ثم تتناقص حدّة الصوت لتصبح أقل عند حركة المركبة مبتعدةً عنك. ويُسمى انزياح أو تغير التردد بالحركة **تأثير دوبلر**، كما موضح في **الشكل 3–2**. يتحرك مصدر الصوت S إلى اليمين بسرعة v_s، وتنتشر الموجات المنبعثة من المصدر في دوائر مركزها المصدر في الوقت الذي تنتج فيه هذه الموجات. ومع تحرك المصدر في اتجاه المراقب A (كاشف الصوت) في **الشكل 3a–2**، فإن العديد من الموجات تتقارب في المنطقة بين المصدر والمراقب، لذا يقل الطول الموجي ويصبح λ_A. ولأن سرعة الصوت ثابتة في الوسط الواحد فإن قممًا أكثر تصل أذن المراقب في كل ثانية، مما يعني أن تردد الصوت عند المراقب A قد ازداد. في حين يزداد الطول الموجي عند تحرك المصدر بعيدًا عن المراقب B في **الشكل 3a–2**. ويصبح λ_B، ويقل تردد الصوت عند المراقب B. ويبين **الشكل 3b–2** تأثير دوبلر لمصدر صوتي متحرك في موجات الماء داخل حوض الموجات.

ويحدث تأثير دوبلر أيضًا إذا كان المراقب متحركًا والمصدر ثابتًا. إذ ينتج تأثير دوبلر في هذه الحالة عن السرعة المتجهة النسبية لموجات الصوت والمراقب. فمع اقتراب المراقب من المصدر الثابت، تصبح السرعة المتجهة النسبية أكبر، مما يؤدي إلى زيادة في قمم الموجات التي تصل إلى المراقب في كل ثانية، ومع ابتعاد المراقب عن المصدر تقل السرعة المتجهة النسبية، مما يؤدي إلى نقصان في قمم الموجات التي تصل إليه في كل ثانية.

يمكن حساب التردد الذي يسمعه المراقب لكلتا الحالتين: مصدر متحرك ومراقب ثابت أو مراقب متحرك ومصدر ثابت أو كليهما متحركين، باستعمال المعادلة التالية:



الشكل 3–2 يقل الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت في اتجاه المراقب A، ويصبح λ_A؛ ويزداد الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت بعيدًا عن المراقب B ويصبح λ_B (**a**). وتوضح حركة مصدر الموجات الصوتية تأثير دوبلر في حوض الموجات (**b**).

نشاط — مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

الرسوم البيانية لعلاقة الضغط – الموقع أشر إلى أن تعريف الموجة الصوتية يتضمن أيضًا أن الضغط يتغير مع الموقع. فسر هذا المضمون من خلال إنشاء رسم بياني للعلاقة بين الضغط والموقع، بحيث تُرسم الموجة في صورة منحنى جيبيّ، وقد تبدأ بمقدار سعة غير الصفر، وأشر إلى أن هذا الشكل البياني عبارة عن "لقطة فوتوجرافية" للضغط في مسار الموجة عند لحظة معينة. اسأل الطلبة عن المصطلح الذي يصف المسافة بين المواقع التي لها لقطات متطابقة. الطول الموجي وبين أن الرسم البياني للضغط والموقع يوضح الطول الموجي للموجة الصوتية. م2

تأثير دوبلر $f_d = f_s\left(\frac{v-v_d}{v-v_s}\right)$

التردد الذي يدركه المراقب يساوي تردد موجة المصدر مضروبًا في القيمة الناتجة من السرعة المتجهة للمراقب مطروحًا منها السرعة المتجهة للموجة، مقسومًا على السرعة المتجهة للمصدر مطروحًا منها السرعة المتجهة للموجة.

في معادلة تأثير دوبلر تمثل v السرعة المتجهة لموجة الصوت، و v_d السرعة المتجهة للمراقب، و v_s السرعة المتجهة لمصدر الصوت، و f_s تردد موجة المصدر، و f_d التردد الذي يستقبله المراقب. وتطبق هذه المعادلة عند حركة المصدر، أو المراقب، أو كليهما معًا.

وعند حل المسائل باستعمال المعادلة السابقة، تأكد من تحديد نظام الإحداثيات؛ بحيث يكون الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب. ستصل الموجات الصوتية إلى المراقب من المصدر، لذا تكون السرعة المتجهة للصوت موجبة دائمًا. حاول رسم مخططات للتحقق من أن المقدار $(v-v_s)/(v-v_d)$ يعطي نتائج كما تتوقع، اعتمادًا على ما تعلمته حول تأثير دوبلر. لاحظ أنه بالنسبة لمصدر يتحرك في اتجاه المراقب (في الاتجاه الموجب؛ حيث ينتج مقامًا أصغر مقارنة بمصدر ثابت)، والمراقب يتحرك في اتجاه المصدر (في الاتجاه السالب؛ حيث ينتج زيادة البسط مقارنة بمراقب ثابت)، فإن التردد الذي يستقبله المراقب f_d يزداد. بالمثل إذا تحرك المصدر بعيدًا عن المراقب أو إذا تحرك المراقب بعيدًا عن المصدر فإن f_d تقل. اقرأ الرياضيات في الفيزياء أدناه لترى كيف تُختصر معادلة تأثير دوبلر عندما يكون المصدر أو المراقب ثابتًا.

الرياضيات في الفيزياء

اختصار المعادلات عندما يساوي عنصر ما صفرًا في معادلة معقدة فإن المعادلة قد تُختصر في صورة أكثر سهولة للاستعمال.

مراقب ثابت، المصدر متحرك: $v_d = 0$	مصدر ثابت، مراقب متحرك: $v_s = 0$
$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$	$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$
$= f_s\left(\frac{v}{v - v_s}\right)$	$= f_s\left(\frac{v - v_d}{v}\right)$
$= f_s\left(\frac{\frac{v}{v}}{\frac{v}{v} - \frac{v_s}{v}}\right)$	$= f_s\left(\frac{\frac{v}{v} - \frac{v_d}{v}}{\frac{v}{v}}\right)$
$= f_s\left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right)$	$= f_s\left(\frac{1 - \frac{v_d}{v}}{1}\right)$
	$= f_s\left(1 - \frac{v_d}{v}\right)$

عرض سريع

تأثير دوبلر

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات كرة فلين، وجرس توقيت، وبطاريات.

الخطوات ركّب الجرس والبطاريات قبل إجراء العرض، ثم جوّف كرة الفلين، بحيث يمكنك وضع الجرس والبطاريات داخلها بشكل مناسب. ثم شغل الجرس، وضعه داخل الكرة. ارمِ الكرة إلى طالب، واجعله يلاحظ أي تغير في درجة الصوت في أثناء التقاط الكرة، وكرّر ذلك مع طلبة آخرين. يجب أن يلاحظ الطلبة نقصان درجة الصوت بصورة قليلة في أثناء التقاطهم للكرة. أشر إلى أن الكرة تصبح ساكنة عند التقاطها. تكون درجة صوت الجرس عالية في أثناء انتقال الكرة نحو الطلبة؛ بينما تنخفض درجته لحظة التقاط الكرة، ثم وضّح للطلبة أن هذا الاختلاف في درجة الصوت كان نتيجة حركة مصدر الصوت، ويعد هذا مثالاً على تأثير دوبلر.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

نظام الإنذار المبكر استخدم الصينيون جِرارًا فخارية للكشف عن الأصوات التي تبيّن تقدم جيش العدو. حيث يتم شد أغشية جلدية على أفواه جِرار فخارية فارغة سعة كلّ منها 80 L، ثم توضع الجِرار في حفر على شكل أعمدة عميقة تفصل بينها مسافات قصيرة، ويتمركز الجنود ذوو السمع الجيد بالقرب من هذه الأعمدة المحفورة. لا تقتصر أهمية هذه الجِرار على سماع أصوات تقدم جيش العدو فقط، بل يتمكن الجنود أيضًا باستخدامها من تحديد الاتجاه الذي يأتي منه العدو ومدى بعده عنهم؛ وذلك من خلال الاستماع إلى الأصوات المختلفة من الأعمدة. ويتمكنون من فعل ذلك لأن اهتزازات أقدام الجنود في أثناء تحركهم تنتقل إلى الأرض، وتنتشر في الاتجاهات جميعها، بما في ذلك الجرار الفخارية، وأغطيتها الجلدية، والتي تهتز بدورها وتولّد صوتًا يمكنهم سماعه وتمييزه.

مثال صفي

سؤال أُطلقت صفارة إنذار ترددها 975 Hz في محطة إطفاء حريق. فإذا كنت تقود دراجتك الهوائية مبتعدًا عن المحطة بسرعة 6.00 m/s، فما تردد الموجات الصوتية التي تسمعها؟ افترض أن درجة حرارة الهواء 20 °C

الإجابة

استخدم المعادلة المبسطة لمصدر ثابت ومراقب متحرك.

$$f_d = f_s\left(1 - \frac{v_d}{v}\right)$$

وبالتعويض عن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s، ينتج

$$f_d = 975\ Hz\left(1 - \frac{6.00\ m/s}{343\ m/s}\right)$$

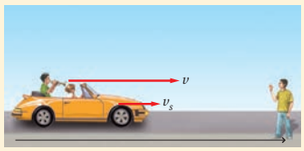
$$= 958\ Hz$$

مسائل تدريبية

4. 392 Hz
5. 548 Hz
6. 11.4 m/s

مثـــال 1

تأثير دوبلر يركب شخص سيارة تسير في اتجاهك بسرعة 24.6 m/s وينفخ في بوق منتجًا صوتًا تردده 524 Hz ما التردد الذي ستسمعه؟ على افتراض أن درجة الحرارة تساوي 20 °C



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الحالة.
- أسّس محاور إحداثيات، وتحقق أن الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب.
- بيّن السرعة المتجهة لكل من المصدر والمراقب.

المعلوم	المجهول
$v = +343\ m/s$	$f_d = ?$
$v_s = +24.6\ m/s$	
$v_d = 0\ m/s$	
$f_s = 524\ Hz$	

2 ايجاد الكمية المجهولة

استعمل المعادلة التالية، وعوّض القيمة $v_d = 0\ m/s$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$f_d = f_s\left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right)$$

بالتعويض عن $v = +343\ m/s,\ v_s = +24.6\ m/s,\ f_s = 524\ Hz$

$$= 524\ Hz\left(\frac{1}{1 - \frac{24.6\ m/s}{343\ m/s}}\right)$$

$$= 564\ Hz$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التردد بوحدة الهرتز.
- **هل الجواب منطقي؟** يتحرك المصدر في اتجاهك؛ لذا يجب أن يزداد التردد.

مسائل تدريبية

4. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 25.0 m/s في اتجاه صفارة إنذار. إذا كان تردد صوت الصفارة 365 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s
5. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 24.6 m/s، وتتحرك سيارة أخرى مقتربة منك بالسرعة نفسها. فإذا انطلق المنبه فيها بتردد 475 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s.
6. يرسل مصدر صوت موجات بتردد 262 Hz، ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها المصدر ليرتفع تردد الصوت إلى 271 Hz؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

دوي الصوت كما نلاحظ من خلال **الشكل 3–2**، فإن حركة مصدر الصوت تشوّه موجة الصوت التي تتحرك أمامه. فعندما يتحرك مصدر الصوت بسرعة أكبر من سرعة الصوت (سرعة فوق صوتية) تتولد موجة مخروطية تدعى موجة الصدمة، وتتركز طاقة موجة الصدمة على سطح المخروط، وهي التي تسبب دوي صوت الطائرة النفاثة. وعلى مقياس أصغر نسبيًّا فإن صوت فرقعة السوط هي أيضًا دوي صوتي؛ لأن رأس السوط يتحرك بسرعة أكبر من سرعة الصوت.

الشكل 4–2 تستعمل الخفافيش تأثير دوبلر لتعيين موقع الفريسة، بعملية تسمى تحديد الموقع باستعمال الصدى.

يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية؛ في الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية. ويوجد له تطبيقات عدّة؛ فمثلاً تستعمل كواشف الرادار تأثير دوبلر لقياس سرعة كرات البيسبول والمركبات. ويراقب علماء الفلك الضوء المنبعث من المجرات البعيدة، ويستعملون تأثير دوبلر لقياس سرعاتها، ويستنتجون بُعدها عن الأرض. كما يستعمل في الطب لقياس سرعة حركة جدار قلب الجنين بجهاز الموجات فوق الصوتية. وتستعمل الخفافيش تأثير دوبلر في الكشف عن الحشرات الطائرة وافتراسها؛ فعندما تطير الحشرة بسرعة أكبر من سرعة الخفاش، يكون تردد الموجة المنعكسة عنها أقل، أما عندما يلحق الخفاش بالحشرة ويقترب منها، يكون تردد الموجة المنعكسة أكبر، كما موضح في **الشكل 4–2**. لا تستعمل الخفافيش الموجات الصوتية فقط لتحديد موقع الفريسة والطيران، ولكن تستعملها أيضًا في حال وجود خفافيش أخرى. هذا يعني أنها تميز الأمواج الخاصة التي ترسلها وانعكاساتها من مجموعة كبيرة من الأصوات والترددات الموجودة. يستمر العلماء في دراسة الخفافيش وقدراتها المدهشة على استعمال الموجات.

2–1 مراجعة

7. **تأثير دوبلر** هل يحدث تأثير دوبلر لبعض انواع الموجات فقط أم لجميع انواع الموجات؟
8. **الخفافيش** يرسل الخفاش نبضات صوت قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى. وضح كيف يختلف الصدى المرتد عن:
   a. الحشرات الكبيرة والحشرات الصغيرة؟
   b. حشرة تطير مقتربة منه وحشرة تطير مبتعدة عنه؟
9. **الكشف المبكر** كان الناس في القرن التاسع عشر يضعون آذانهم على مسار سكة الحديد ليترقبوا وصول القطار. لماذا تُعد هذه الطريقة نافعة؟
10. **التفكير الناقد** هل يستطيع شرطي يقف على جانب الطريق استعمال الرادار لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ وضح ذلك.

المناقشة

مشاهدة تأثير دوبلر

سؤال استنتج كيف يستخدم علماء الفلك تأثير دوبلر؟

الإجابة يستطيع الفلكيون ملاحظة التغير في الطول الموجي للضوء المنبعث من مصدر بعيد متحرك؛ وذلك لأن تأثير دوبلر يحدث لموجات الضوء بالطريقة نفسها التي يحدث فيها لموجات الصوت. فعندما تتحرك مجرة مبتعدة عن الأرض يتناقص التردد الظاهري للضوء المنبعث منها، ويزداد طوله الموجي. حيث يشار إلى ذلك بالانزياح نحو الأحمر. ويكافئ ذلك في الصوت ظاهرة تناقص درجته التي يمكن ملاحظتها بشكل أكثر سهولة. م2

3. التقويم

التحقق من الفهم

نمذجة الموجات الصوتية مثّل موجة الصوت بمنحنى جيبيّ على الرسم البياني لعلاقتي الضغط مع الموقع والضغط مع الزمن، ثم اطلب إلى الطلبة وضع إشارة على أجزاء الرسم البياني التي تحدّد الطول الموجي، والزمن الدوري، والسعة. ثم اطلب إليهم ربط الإشارات بخصائص الصوت.

م بصري - مكاني

التوسّع

تأثير دوبلر اسأل الطلبة عن أمثلة اختبروا فيها تأثير دوبلر. واطلب إليهم تحليل هذه الحالات. وتأكد من ملاحظة الطلبة أن الانزياح هو تغير في الدرجة الظاهرية للصوت التي تحدث بسبب حركة المراقب و/ أو مصدر الصوت. م2

2-1 مراجعة

7. لجميع أنواع الموجات.
8. a. سيختلفان في الشدة، حيث تعكس الحشرات الأكبر طاقةً صوتية أكبر في اتجاه الخفاش.
   b. إن الحشرة التي تطير نحو الخفاش تعيد الصدى بتردد أكبر (تأثير دوبلر)، أما الحشرة التي تطير مبتعدة عن الخفاش فتعيد الصدى بتردد أقل.
9. إن سرعة الصوت في المواد الصلبة أكبر من سرعته في الغازات. لذلك تنتقل موجات الصوت بسرعة أكبر في القضبان الفولاذية مقارنة بسرعة انتقالها في الهواء. وتساعد القضبان على عدم انتشار طاقة الموجات الصوتية على مساحة أكبر؛ لذا لا تتلاشى موجات الصوت خلال مسافات قصيرة.
10. لا. يجب أن تتحرك السيارة مقتربة أو مبتعدة عن المراقب لملاحظة تأثير دوبلر؛ حيث لا تُنتج الحركة المستعرضة أي أثر لتأثير دوبلر.

2-2 الرنين

1. التركيز

نشاط محفز

المزامير القصبية وزّع قصبة بلاستيكية على كل طالب. واطلب إلى الطلبة قطع أحد طرفي القصبة ثم تسطيحه بالضغط عليه برفق؛ بحيث يصبح كلسان المزمار. يستطيع الطلبة، مع قليل من التمرين، النفخ في القصبة وتوليد نغمات موسيقية. ثم اطلب إليهم قطع القصبات بحيث تكون أقصر ثم المقارنة بين النغمات التي يولّدونها. بعد ذلك اجعل الطلبة يناقشون كيف تعمل القصبة على توليد الصوت وكيف ترتبط درجة الصوت بطول القصبة. م1 **سمعي - موسيقي**

الربط مع المعرفة السابقة

الرنين يطبّق الطلبة فهمهم للموجات الصوتية على مفهوم الرنين وعلى خصائص الموجات الموقوفة في الأعمدة الهوائية والأوتار.

2. التدريس

المناقشة

سؤال اطلب إلى الطلبة التمييز بين انعكاس تضاغط موجة صوتية في عمود هوائي مغلق وبين انعكاسه في عمود هوائي مفتوح.

الإجابة في العمود الهوائي المغلق ينعكس التضاغط تخلخلًا. أما في العمود الهوائي المغلق فينعكس تضاغطًا. انظر الشكل 6-2. م

الأهداف

- **توضّح** مفهوم الرنين، وتطبيقاته على أعمدة الهواء والأوتار.
- **توضّح** تطبيقات الرنين على أعمدة الهواء المفتوحة والمغلقة.
- **توضّح** كيف يحدث الرنين في الأوتار.

المفردات

الرنين
التردد الأساسي
الموجة الموقوفة
الضربة

ينتج الصوت عن اهتزاز الأجسام؛ إذ تؤدي اهتزازات الجسم إلى تحريك الجزيئات التي تتسبب في إحداث تغيرات سريعة في ضغط الهواء. فمثلاً يحتوي مكبر الصوت على مخروط مصمم ليهتز بوساطة التيارات الكهربائية. ويولد سطح المخروط الموجات الصوتية التي تنتقل إلى أذنك مما يسمح لك بسماع الموسيقى. وتعمل الكثير من الآلات الموسيقية على مبدأ (ظاهرة) الرنين، ومنها الآلات الهوائية والوترية. فما المقصود بالرنين وكيف ينشأ؟

الرنين في الأعمدة الهوائية

Resonance in Air Columns

إذا نفخت في آلة موسيقية نحاسية أو قصبية، فستجد أن اهتزاز شفتيك (مصدر الصوت) أو جزء الآلة وحده الذي يوضع داخل الفم لا يولّد صوتًا بأي درجة كانت. بل يجب أن يكون الأنبوب الطويل، الذي هو جزء من الآلة، متصلاً بها لكي تنتج الصوت الموسيقي. عند العزف على الآلة سيهتز الهواء داخل الأنبوب بالتردد نفسه، أو برنين يتوافق مع اهتزاز معين للشفاه. يحدد طول عمود الهواء ترددات الهواء المهتز التي ستكون في حالة رنين، في حين يؤدي تغيير طول عمود الهواء في العديد من الآلات الموسيقية ـ ومنها المزمار والساكسفون والترومبون ـ إلى تغيير درجة صوت الآلة. ينتج لسان المزمار للآلة (الجزء الذي يوضع داخل الفم) مزيجًا من الترددات المختلفة، ويعمل عمود الهواء في حالة الرنين على تضخيم نغمة منفردة من مجموعة من الترددات، وتحويل الأصوات العشوائية إلى موسيقى منتظمة.

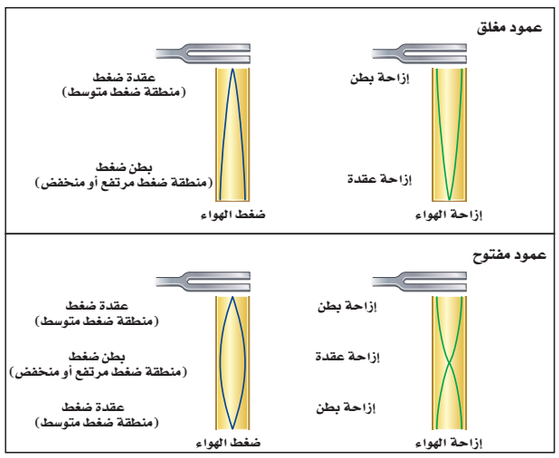
تحدث شوكة رنانة فوق أنبوب مجوف رنينًا في عمود الهواء، كما يبين **الشكل 5-2**. إذا تم وضع الأنبوب في الماء بحيث تصبح إحدى نهايتي الأنبوب أسفل سطح الماء، حيث يتكون أنبوب مغلق -بالنسبة للهواء- يكون في حالة رنين. ويتم ذلك بتغيير طول عمود الهواء من خلال التحكم في ارتفاع الأنبوب فوق سطح الماء. فإذا ضربت الشوكة الرنانة بمطرقة مطاطية، وتم تغيير طول عمود الهواء بتحريك الأنبوب إلى أعلى أو إلى أسفل في الماء فإن الصوت يصبح أعلى أو أخفض على التناوب. ويكون الصوت عاليًا عندما يكون عمود الهواء في وضع رنين مع الشوكة الرنانة. ويؤدي عمود الهواء عندما يكون في حالة رنين إلى تقوية صوت الشوكة الرنانة.

الشكل 5-2 يغير رفع الأنبوب أو إنزاله طول عمود الهواء، ويكون الصوت عالٍ عند حدوث رنين بين عمود الهواء والشوكة الرنانة.

موجات الضغط الموقوفة (المستقرة) كيف يحدث الرنين؟ تولّد الشوكة الرنانة موجات صوتية، تتكون من اهتزازات مرتفعة ومنخفضة الضغط، وتتحرك هذه الموجات إلى أسفل عمود الهواء المغلق. وعندما تصطدم هذه الموجات بسطح الماء تنعكس مرتدة إلى الشوكة الرنانة، كما في **الشكل 6a–2**. فإذا وصلت موجات الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تنتج فيها الشوكة الرنانة موجات ضغط مرتفع أخرى، فعندها تقوّي الموجة الصادرة عن الشوكة والموجة المنعكسة إحداهما الأخرى. وهذه التقوية أو التعزيز للموجات يولّد موجة مستقرة، ويحدث **الرنين**.

أما العمود الهوائي المفتوح فيمثّل بأنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجاته من طرف مفتوح. ويكون ضغط الموجة المنعكسة مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، إذا وصلت موجات ضغط مرتفع إلى الطرف المفتوح فسوف ترتد موجات ضغط منخفض، كما يبين **الشكل 6b–2**.

أطوال الرنين يمكن تمثيل موجة صوتية موقوفة (مستقرة) في عمود بموجة جيبية، كما يوضح **الشكل 7–2**. كما يمكن أن تمثّل الموجات الجيبية إما بتغير ضغط الهواء أو إزاحة جزيئاته. ولأن للموجات الموقوفة عقدًا وبطونًا، لذا فإنه عند التمثيل البياني لتغير الضغط تكون العقد هي مناطق الضغط الجوي المتوسط، أما مناطق البطون فيتذبذب الضغط عندها بين قيمتيه العظمى والصغرى. وفي حالة رسم الإزاحة فإن البطون هي مناطق الإزاحة الكبيرة، أما العقد فهي مناطق الإزاحة القليلة. وفي كلتا الحالتين تكون المسافة بين بطنين أو عقدتين متتاليتين مساوية لنصف الطول الموجي.



■ **الشكل 7–2** تمثّل موجات الجيب الموجات المستقرة في الأعمدة.

■ **الشكل 6–2** يمثّل الأنبوب الموضوع في ماء عمودًا مغلقًا. وتنعكس موجات الضغط المرتفع فيه موجات ضغط مرتفع (a). أما في الأعمدة المفتوحة فتكون الموجات المنعكسة مقلوبة(b).

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الأعمدة الهوائية ذكر الطلبة أن الموجات الموقوفة تحدث في عمود الهواء داخل الأنبوب وليس في المادة المصنوع منها الأنبوب. ووضّح لهم أن الصوت يتحرك خلال الهواء؛ لأن المصدر المهتز يولد تذبذبات منتظمة في ضغط الهواء. ويندفع الهواء في كل دورة للموجة إلى داخل طرفي الأنبوب وخارجه ليحدث التضاغط والتخلخل للموجة.

تطوير المفهوم

تمثيل الموجات الموقوفة يمكن تمثيل موجة موقوفة بيانيًّا في وتر أو داخل عمود هوائي. بالنسبة للوتر فإن تمثيل إزاحة الوتر مع الزمن يكون ذا معنى، ويمكن الاستفادة منه. أما في عمود الهواء فيمكن عرض كل من تغير الضغط وإزاحة جزيئات الهواء كدالة رياضية مع الزمن.

نشاط

■ **همس البيانو** اسمح للطلبة بالوقوف إلى جانب بيانو غطاؤه مفتوح، ورتبهم في مجموعات صغيرة. بينما يقوم طالب من المجموعة بإنزال دواسة البيانو، اطلب إلى طالب آخر من المجموعة أن يدندن نغمة لفترة قصيرة، ثم اطلب إليهم الاستماع بتركيز عندما يتوقف الطالب عن الدندنة. سيلاحظون أن وترًا في البيانو يولّد درجة صوت مماثلة لدرجة صوت الطالب. ثم اطلب إلى المجموعات الأخرى تكرار النشاط. اطلب إليهم الربط بين الرنين وبين تردد موجة الصوت التي يولدونها بفعل الدندنة والتردد الأساسي للوتر.

م 1 سمعي-موسيقي

نشاط تحدٍّ

تمثيل موجات الصوت بيانيًّا اقترح على الطلبة استخدام معدات عرض الصوت لتبين العلاقة بين الضغط والزمن لموجات صوتية لنغمات نقية. قد تحتوي هذه المعدات على آلة حاسبة راسمة، وراسم ذبذبات، أو لوحات إلكترونية توصل بالحاسوب. وقد تحتوي مصادر النغمات النقية على شوكات رنانة، ومولدات نغمات، أو دمى معينة. اطلب إلى الطلبة تحليل الرسوم البيانية بالنسبة للزمن الدوري والتردد. حث الطلبة على عرض الرسوم البيانية التي قاموا بتحليلها في الغرفة الصفية لكي يعاينها زملاؤهم. م 3 بصري - مكاني

تطبيق الفيزياء

تعمل قناة السمع البشرية مثل عمود هواء مغلق. فعندما يدخل الصوت إلى الأذن الخارجية يكون على شكل موجة ضغط. وعندما تصل موجة الضغط هذه إلى الأذن الوسطى أو الطرف المغلق من الأنبوب، فإنها تتحول إلى موجة ميكانيكية، حيث تبدأ طبلة الأذن وعظامها في الأذن الوسطى بالاهتزاز، وبالإضافة إلى عكسها موجات الصوت نحو الجزء الخارجي من الأنبوب المغلق، فإنها تعكس أيضًا الموجة نحو سائل الأذن الداخلية خلف طبلة الأذن. ولكي ندرك الصوت فإن حركة هذا السائل تنشط خلايا الشعر الموجودة في الأذن الداخلية؛ حيث إن كلًّا منها حساس لتردد معين من الاهتزاز. وتدفع هذه الخلايا بنبضات عصبية إلى الدماغ الذي يعمل على تفسير الصوت.

التفكير الناقد

الاختلاف في الموجات الموقوفة أشر إلى أن قضيب نحاس طوله 1.0 m محمول من وسطه، يمكن أن يولّد رنينًا مع موجة طولية موقوفة طولها الموجي 2 m وترددها الأساسي 1750 Hz. حيث يعمل القضيب كأنبوب مفتوح أو وتر بترددات رنين مساوية لمضاعفات صحيحة للتردد f، بحيث يكون $f = v/2L$ و $\lambda = 2L$، أما لأنبوب مغلق فإن $f = v/4L$، ويولّد أنبوب مغلق طوله 1.0 m موجة موقوفة بطول موجي مماثل ولكن بتردد أساسي يساوي 85.8 Hz فقط. اسأل الطلبة: ما الكميات الأخرى المختلفة بين الأنبوبين؟ تختلف سرعة الصوت، ويكون التردد الأساسي للموجة الموقوفة في القضيب النحاسي أكبر لأن سرعة الموجات الطولية في النحاس أكبر من سرعتها في الهواء. م **منطقي-رياضي**

تعزيز الفهم

موجات الضغط الموقوفة اطلب إلى الطلبة تفسير لماذا تعد الأشكال 9-2 و 10-2 رسومًا بيانيّة لعلاقة الضغط – الموقع. يبين كل منهما تغير الضغط من موقع إلى آخر خلال انتقاله في الوسط. م 2

تطبيق الفيزياء

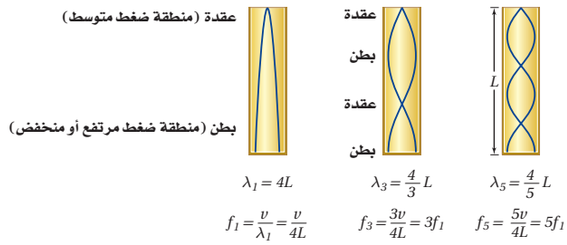
السمع والتردّد

تعمل القناة السمعية البشرية كأنها أنبوب مغلق في حالة رنين، يؤدي إلى زيادة حساسية الأذن للترددات بين 2000 و 5000 Hz، في حين يمتد المدى الكامل لترددات الصوت التي يسمعها البشر من 20 إلى 20000 Hz، ويمتد سمع الكلب لترددات مرتفعة تصل إلى 45000 Hz، أمّا القطّ فيمتد السمع لديه إلى ترددات تصل إلى 100000 Hz

الشكل 8-2 يكون الأنبوب المغلق في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا فرديًا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة يكون طول أقصر عمود هواء له بطن عند الطرف المغلق وعقدة عند الطرف المفتوح مساويًا ربع الطول الموجي كما يبين **الشكل 8-2**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال رنين إضافية عند فترات مساوية لنصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة التي أطوالها $\frac{\lambda}{4}$، و$\frac{3\lambda}{4}$، و$\frac{5\lambda}{4}$، و$\frac{7\lambda}{4}$ وهكذا، في حالة رنين مع الشوكة الرنانة.

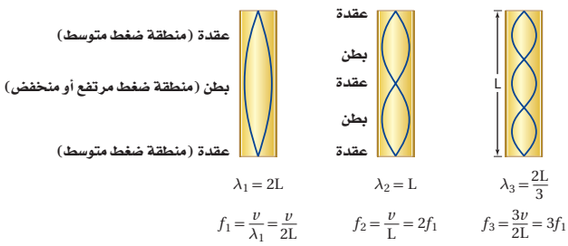
يكون طول الرنين الأول عمليًّا أطول قليلاً من ربع الطول الموجي؛ وذلك لأن تغيرات الضغط لا تنخفض إلى الصفر تمامًا عند الطرف المفتوح من الأنبوب. وتكون العقدة فعليًّا أبعد بمقدار 0.4 من قطر الأنبوب عن الطرف. وتفصل بين أطوال الرنين الإضافية مسافات بمقدار نصف الطول الموجي. ويستعمل قياس هذه المسافة بين كل رنينين في إيجاد سرعة الصوت في الهواء، كما يبين المثال 2.



الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة يكون طول أقصر عمود هواء يحتوي على عقدة عند كل من طرفيه مساويًا نصف الطول الموجي، كما يبين **الشكل 9-2**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال رنين إضافية عند فترات نصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة الهوائية التي اطوالها $\frac{\lambda}{2}$ و λ و $\frac{3}{2}\lambda$ ... وهكذا، في حالة رنين مع الشوكة الرنانة.

إذا استعملت عمودين أحدهما مفتوحًا والآخر مغلقًا، ولهما الطول نفسه، وكانا في حالة رنين فإن الطول الموجي لصوت الرنين في العمود المفتوح يكون نصف الطول الموجي الذي للعمود المغلق. لذا، يكون التردد في العمود المفتوح ضعفي التردد للعمود المغلق. وتكون أطوال الرنين لكلا العمودين مفصولة بفترات مقدارها نصف الطول الموجي.

الشكل 9-2 يكون العمود المفتوح في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا زوجيًا من مضاعفات ربع الطول الموجي.



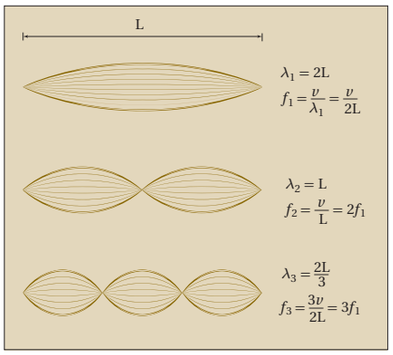
معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

الرسوم البيانية للضغط والإزاحة كما هو موضّح في **الشكل 7-2**، فإن عقد الإزاحة ترتبط مع بطون الضغط. وتحدث هذه العلاقة لأن الجزيئات على جانبي عقدة الإزاحة تتحرك مبتعدًا بعضها عن بعض، ثم يتحرك بعضها نحو بعض، حيث يزداد الضغط إلى قيمة عظمى عند تقارب الجزيئات، ثم ينقص إلى أقل قيمة عند تباعدها. لذلك فإن هذا الموقع هو بطن ضغط؛ لأن الضغط يتذبذب خلاله بين قيمتيه العظمى والصغرى. وفي بطون الإزاحة تتحرك الجزيئات بالطور نفسه؛ حيث يكون التغير في الضغط هنا صفرًا، لذا فإن موقع إزاحة البطن يرتبط بعقدة الضغط.

الرنين في الأوتار Resonance on Strings

تختلف أشكال الموجات في الأوتار المهتزة اعتمادًا على طريقة توليدها، ومن ذلك النقر والشد أو الضرب، إلَّا أن لها خصائص عديدة مشتركة مع الموجات الموقوفة في النوابض والحبال، كما درست في الفصل السابق. يكون الوتر في آلة ما مشدودًا من الطرفين، لذا فإنه عندما يهتز يكون له عقدة عند كل طرف من طرفيه. وتستطيع أن ترى في **الشكل 10–2** أن النمط الأول للاهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي. يحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مطابقًا لطول موجي واحد. تظهر موجات مستقرة إضافية عندما يكون طول الوتر $\frac{3\lambda}{2}$ و 2λ و $\frac{5\lambda}{2}$... وهكذا. كما هو الحال بالنسبة للعمود المفتوح فإن ترددات الرنين تساوي المضاعفات الصحيحة لأقل تردد.



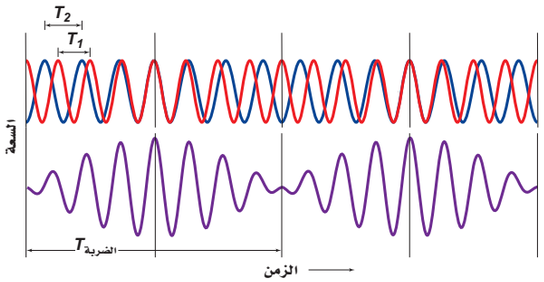
الشكل 10–2 وتر في حالة رنين مع موجة موقوفة عندما يكون طوله مساويًا لمضاعفات نصف الطول الموجي.

وتعتمد سرعة الموجة في الوتر على قوة الشد فيه، وعلى كتلة وحدة أطواله. لذا فإن الآلة الوترية تضبط بتغيير شد أوتارها. فكلما كان الوتر مشدودًا أكثر، كانت سرعة حركة الموجة أكبر، لذا تزداد قيمة تردد موجاته الموقوفة.

ولأن مساحة المقطع العرضي للأوتار قليلة فإنها تحرك القليل من الهواء حين تهتز؛ مما يتطلب ضرورة وصل الأوتار بصندوق الصوت (صندوق الآلة)؛ التي تنقل اهتزازاتها إلى الهواء مولّدة موجات صوتية أقوى.

الضربات Beats

عندما تكون النسبة بين ترددين أو أكثر نسبة عددية صحيحة وبسيطة(1:1، 1:2، 1:3، ...) يقال إن هناك تناغمًا في الأصوات، وعندما تصبح النسبة قريبة من 1:1، فإن الترددات تصبح متقاربة جدًّا. ويتداخل ترددان متقاربان جدًّا لينتجا مستويات صوت مرتفعة ومنخفضة، كما يبين **الشكل 11–2**. ويُسمى اهتزاز سعة الموجة هذه **الضربة**. وتردد الضربة يساوي مقدار الفرق بين ترددي موجتين، $f_{الضربة} = |f_A - f_B|$ وعندما يكون الفرق أقل من 7 Hz فإن الأذن تلتقط هذا على أنه نبضة صخب. وتضبط الآلات الموسيقية عادة بتعديل ترددتها حتى تختفي مثل هذه الضربات.



الشكل 11–2 تحدث الضربات نتيجة تراكب موجتين صوتيتين ترددهما مختلفان قليلًا (لاحظ الزمن الدوري لكل منهما T_1، T_2).

عرض سريع

الرنين في القضبان

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات قضيب ألومنيوم يتراوح طوله بين 50 cm و 200 cm وبقطر بين 10 mm و 15 mm، وصمغ.

الخطوات

أمسك القضيب بشكل آمن من منتصفه بوساطة الإبهام والسبابة، ثم ضع بعض الصمغ على إبهام وسبابة اليد الأخرى، ثم حرك الإبهام والسبابة بسرعة على امتداد القضيب حتى يبدأ في الاهتزاز. ثم عدل ضغط الأصابع على القضيب حتى يبدأ بالاهتزاز بعلوّ، واطلب إلى الطلبة أن يلاحظوا درجة الصوت. ثم كرّر العرض، وعندما يظهر صوت القضيب، أمسك منتصف الجزء المهتز باليد الحرة.

يتولّد في القضيب موجة موقوفة (مستقرة) طولية. ويعد مركز القضيب عقدة؛ لأنك تمسكه من منتصفه، وتكون $\lambda = 2L$. وعندما أمسكت منتصف الجزء المهتز للقضيب، فإنك تكون أزلت البطن، ويتوقف القضيب عن الاهتزاز.

التفكير الناقد

درجة الصوت ودرجة الحرارة اطلب إلى الطلبة أن يفسروا لماذا تزداد درجة صوت نغمات الآلات الموسيقية الهوائية الخشبية، في حين يقل تردد نغمات الآلات الموسيقية الوترية عندما ترتفع درجة الحرارة. تزداد سرعة الصوت مع ازدياد درجة الحرارة. ولكن طول الآلة الهوائية الخشبية – الذي يحدد الطول الموجي – يتغير بمقدار قليل؛ لذا، فإن التردد يتغير مع تغيّر سرعة الصوت فقط. أما الوتر – في الآلة الوترية – فيتمدّد مسبّبًا تناقصًا لقوة الشد فيه، ممّا يؤدي إلى نقصان التردد. م 3

الفيزياء في الحياة

معلومة للمعلم

الطيف السمعي إن المخططات البيانية الصوتية هي تمثيلات تخطيطية لسمع شخص، وهي مشابهة لطيف الصوت؛ لأنها تمثيل بياني للشدة مقابل التردد. وتستخدم المخططات البيانية الصوتية في القياس السمعي، وهو عبارة عن فحص طبي لضعف السمع، حيث يُعرّض المريض إلى أصوات عشوائية بترددات 250 Hz و 500 Hz و 750 Hz و 1000 Hz و 2000 Hz و 4000 Hz و 6000 Hz و 8000 Hz، على أذن واحدة في كل مرة من خلال سماعات الأذن. وتسجل أدنى شدة يُدرك عندها المريض الصوت. ثم يُحلّل المخطط البياني السمعي الناتج، مقارنة بالمخطط الطبيعي ليُحدّد بعد ذلك مدى الضعف في السمع.

مثال صفي

سؤال أنبوب هوائي مفتوح ارتفاع عمود هواء الرنين فيه يساوي 9.75 m، ما تردد أطول موجة صوتية يولدها هذا الأنبوب، بإهمال تصحيحات النهاية؟ وبافتراض أن سرعة الصوت تساوي 343 m/s

الإجابة

حدد طول عمود هواء الرنين لأخفض نغمة باستخدام $L = \lambda/2$، ثم استخدم $v = \lambda f$ لتجد قيمة f وهي 17.6 Hz

مسائل تدريبية

11. 0.19 m

12. 970 m/s

13. 859 Hz

استخدام النماذج

الزمن الدوري للضربة ركّب بندولين متماثلين أطوالهما 0.4 m و 0.6 m وعلّقهما بحيث يصطفان رأسيًّا، وتتحرك الكرتان معًا مباشرة الواحدة تلو الأخرى. اترك البندولين يتحركان من السكون، واطلب إلى الطلبة ملاحظة أن الكرتين تصلان إلى نقطة بداية واحدة خلف الأخرى كل 8 ثوانٍ تقريبًا، حيث تمثل هذه الفترة الزمنية الزمن الدوري للضربة $T_{\text{الضربة}}$. واطلب إليهم أن يحددوا تردد الضربة.

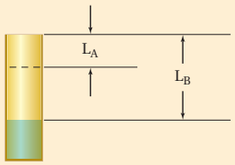
$f_{\text{الضربة}} = 1/T_{\text{الضربة}} = 0.1\ \text{Hz}$

م منطقي– رياضي

مثـــال 1

إيجاد سرعة الصوت باستعمال الرنين عند استعمال شوكة رنانة بتردد 392 Hz مع عمود مغلق سُمع أعلى صوت عندما كان طول عمود الهواء 21.0 cm و65.3 cm ما سرعة الصوت في هذه الحالة؟ وهل درجة الحرارة في الأنبوب أكبر أم أقل من درجة حرارة الغرفة، (20 °C)؟ وضّح إجابتك.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم العمود الهوائي المغلق في حالة رنين.
- حدد طول عمود الهواء لحالتي الرنين.

المعلوم	المجهول
$f = 392\ \text{Hz}$	$v = ?$
$L_A = 21.0\ \text{cm}$	
$L_B = 65.3\ \text{cm}$	

2 ايجاد الكمية المجهولة

حل لإيجاد طول الموجة باستعمال علاقة: الطول– الطول الموجي للعمود المغلق. $L_B - L_A = \frac{1}{2}\lambda$

بإعادة ترتيب المعادلة بالنسبة لِـ λ

$\lambda = 2(L_B - L_A)$

بالتعويض عن $L_B = 0.653\ \text{m}$، $L_A = 0.210\ \text{m}$

$= 2(0.653\ \text{m} - 0.210\ \text{m})$

$= 0.886\ \text{m}$

استعمل المعادلة التالية لإيجاد السرعة $\lambda = \frac{v}{f}$

بإعادة ترتيب المعادلة بالنسبة لِـ v $v = f\lambda$

بالتعويض عن $f = 392\ \text{Hz}$، $\lambda = 0.886\ \text{m}$

$= (392\ \text{Hz})(0.886\ \text{m}) = 347\ \text{m/s}$

السرعة أكبر قليلاً من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C، مما يشير إلى أن درجة الحرارة أعلى قليلاً من درجة حرارة الغرفة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات الجواب صحيحة $\text{m/s} = (\text{m})(\frac{1}{\text{s}}) = (\text{m})\ (\text{Hz})$.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة أكبر قليلاً من 343 m/s، التي هي سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C

مسائل تدريبية

11. تهتز شوكة رنانة بتردد 440 Hz فوق عمود مغلق. حدد البعد الذي يحدث عنده الرنين الأول عندما تكون درجة حرارة الهواء 20 °C

12. استعملت شوكة رنانة تهتز بتردد 440 Hz مع عمود رنين لتحديد سرعة الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كان البعد بين رنينين متتاليين 110 cm، فما سرعة الصوت في غاز الهيليوم؟

13. استعمل طالب عمود هواء عند درجة حرارة 27 °C، ووجد أن البعد بين رنينين متتاليين يساوي 20.2 cm ما تردد الشوكة الرنانة؟ سرعة الصوت في الهواء 347 m/s عند درجة الحرارة 27 °C

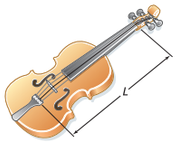
طرائق تدريس متنوعة

نشاط

إعاقة بصرية اسمح للطلبة الضعاف البصر تفحص آلات موسيقية. ثم اطلب إليهم أن يحددوا مصدر موجات الصوت (مثل الشفاه، الأوتار، لسان المزمار) ووسائل التحكم في التردد الأساسي (مثل طول عمود الهواء، والشد وطول الوتر). ثم اطلب إليهم اسقصاء كيفية التحكم في الصوت الناتج عن كل آلة موسيقية. م سمعي - بصري

مسألة تحدٍّ

1. حدّد قوة الشد، F_T، في وتر كتلته m، وطوله L، عندما يهتز بالتردد الأساسي، الذي يساوي التردد نفسه لعمود هوائي مغلق طوله L. عبّر عن إجابتك بدلالة L ،m، وسرعة الصوت في الهواء v. استعمل معادلة سرعة الموجة في وتر $\left(u=\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}\right)$، حيث تمثل F_T قوة الشد في الوتر، و μ كتلة وحدة الأطوال من الوتر، u سرعة الموجة في الوتر.



2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm يهتز بالتردد نفسه لعمود هوائي مغلق له الطول نفسه؟

2-2 مراجعة

14. **الرنين في أعمدة الهواء** لماذا يكون طول الأنبوب المصنوع منه البوق العادي أطول منه للأنبوب القمعي؟

15. **الرنين في الأعمدة المفتوحة** ما النسبة بين طول العمود المفتوح والطول الموجي للصوت لإنتاج الرنين الأول؟

16. **الرنين في الأعمدة المغلقة** يبلغ طول أنبوب أورغن مغلق 2.40 m

a. ما تردد النغمة المعزوفة بهذا الأنبوب؟

b. إذا عُزف على أنبوب ثانٍ في الوقت نفسه، فستسمع ضربة نغمة ترددها 1.40 Hz فما مقدار الزيادة في طول الأنبوب الثاني؟

17. **التفكير الناقد** اضرب شوكة رنانة بمطرقة مطاطية واحملها بحيث يكون ذراعك ممدودة، ثم اضغط بمقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وأجسام أخرى. ما الذي تسمعه؟ ولماذا؟

3. التقويم

التحقق من الفهم

الإيقاعات في الأعمدة الهوائية اطلب إلى الطلبة أن يرسموا تمثيلاً بيانيًّا لعلاقة الضغط والموقع للموجات الموقوفة في أنبوب مغلق وأنبوب مفتوح. واسألهم كيف ترتبط الأطوال الموجية للموجات الموقوفة مع طول كل أنبوب.

الأنبوب المغلق: $\lambda = 4L$ ،$4L/3$ ،$4L/5$

والأنبوب المفتوح: $\lambda = 2L$ ،L ،$2L/3$

م 2 **بصري - مكاني**

مسألة تحدٍّ

1. إن الطول الموجي الأساسي في الأنبوب المغلق يساوي 4L، لذلك فإن التردد $f=\frac{v}{4L}$. والطول الموجي الأساسي في الوتر يساوي 2L، لذلك فإن تردد الوتر $f=\frac{u}{2L}$ حيث u هي سرعة الموجة في الوتر؛

$$u=\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

والكتلة لكل وحدة طول للوتر هي $\mu = m/L$، وبتربيع الترددين وترتيبهما بعلاقة مساواة ينتج أن:

$$\frac{v^2}{16L^2}=\frac{u^2}{4L^2}$$
$$=\frac{F_T}{4L^2\mu}$$
$$=\frac{F_T L}{4L^2 m}$$
$$=\frac{F_T}{4Lm}$$

أخيرًا، بإعادة الترتيب بالنسبة لقوة الشد ينتج أن $F_T = \frac{mv^2}{4L}$.

2. بالنسبة لوتر كتلته 1.0 g وطوله 0.40 m، فإن قوة الشد تساوي

$$F_T=\frac{mv^2}{4L}=\frac{(0.0010\ kg)(343\ m/s)^2}{4(0.400\ m)}$$
$$=74\ N$$

2-2 مراجعة

14. كلما زاد طول الأنبوب قلّ تردد الرنين الذي ينتجه.

15. طول الأنبوب يساوي نصف الطول الموجي.

16. a. 35.7 Hz b. 0.10 m

17. يتضخم صوت الشوكة الرنانة كثيرًا عندما تضغط بمقبضها على الأجسام المختلفة؛ لأن هذه الأجسام تولد رنينًا كصندوق الصوت (صندوق الآلة). وتختلف الأصوات الناتجة من جسم إلى آخر؛ لأن كلًّا منها يولّد رنينًا مع ترددات وإيقاعات مختلفة؛ لذلك يكون لها طابع صوت مختلف.

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة .

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

احتياطات السلامة ضع النظارات الواقية، والبس معطف المختبر، واستخدم مقاييس درجة الحرارة غير الزئبقية فقط، ونبّه الطلبة إلى ضرورة مسح أي ماء ينسكب على الأرض، وذكّرهم أن الزجاج هش قابل للكسر، لذا يجب التعامل معه بحذر.

المواد البديلة أنابيب بلاستيكية قاسية، حيث يمكن استخدامها بدلاً من الأنابيب الزجاجية؛ إذ يمكن قطعها باستخدام منشار للحصول على الأطوال المطلوبة. اطلب إلى الطلبة طرق الشوكات الرنانة بوساطة جسم مطاطي قاسٍ إذا لم تتوافر المطرقة المناسبة.

استراتيجيات التدريس

- **ساعد الطلبة على تحديد طول عمود الهواء الذي يحدث عنده الرنين من خلال عرض توضّح فيه حدوث الرنين في أنبوب مفتوح قبل بدء الحصة الصفية، بحيث يستطيع الطلبة تمييز الصوت أكان عاليًا أو منخفضًا كلما اقترب أو ابتعد طول عمود الهواء من الطول المناسب لحدوث الرنين.**

عينة بيانات

الجدول 1

المحاولة	درجة الحرارة (°C)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	السرعة التجريبية للصوت (m/s)
1	24	345	320
2	24	345	316
3	24	345	326

الجدول 2

المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	القطر (m)	طول الأنبوب فوق الماء (m)	الطول الموجي المحسوب (m)
1	480	0.034	0.167	0.668
2	493.9	0.034	0.160	0.64
3	320	0.034	0.255	1.02

الجدول 3

المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	الطول الموجي المحسوب المُصحَّح (m)	سرعة الصوت التجريبية المُصحَّحة (m/s)
1	480	345	0.722	346
2	493.9	345	0.694	342
3	320	345	1.074	343

مختبر الفيزياء

سرعة الصوت Speed of Sound

إذا وضعت شوكة رنانة تهتز فوق عمود هوائي مغلق بطول مناسب فإن الهواء داخل العمود يهتز بالتردد نفسه، (f)، للشوكة الرنانة. وإذا وضع أنبوب زجاجي في مخبار كبير مملوء بالماء ومدرج فإنه يمكن تغيير طول الأنبوب الزجاجي من خلال رفعه أو إنزاله في الماء. ويكون طول أقصر عمود هواء يحدث رنينًا عندما يساوي طوله ربع الطول الموجي. وينتج هذا الرنين أعلى صوت، ويوصف الطول الموجي عند هذا الرنين بالعلاقة $\lambda = 4L$ ، حيث تمثل L المسافة من سطح الماء إلى الطرف المفتوح للعمود. وستحدّد في هذا المختبر الطول L، لكي تحسب λ ، ثم تحسب سرعة الصوت.

سؤال التجربة

كيف تستطيع استعمال أنبوب مغلق في حالة رنين لكي تحدّد سرعة الصوت؟

الأهداف

- **تجمع البيانات وتنظمها** للحصول على نقاط رنين في أنبوب مغلق.
- **تقيس** طول أنبوب مغلق في حالة رنين.
- **تحلل** البيانات لتحدِّد سرعة الصوت.

احتياطات السلامة

- **امسح مباشرة أي سوائل منسكبة.**
- **تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هش.**

المواد والأدوات

ثلاث شوكات رنانة معلومة التردد
مخبار مدرّج سعته 1000 mL
ماء
مطرقة خاصة بالشوكات الرنانة
مسطرة مترية
مقياس حرارة
انبوب زجاجي طوله 40 cm وقطره 3.5 cm

الخطوات

1. ضع نظارات واقية على عينيك، واملأ المخبار المدرّج بالماء إلى فوهته تقريبًا.
2. قس درجة حرارة الغرفة، وسجلها في جدول البيانات 1.
3. اختر شوكة رنانة، وسجل ترددها في جدولي البيانات 2 و 3.
4. قس قطر الأنبوب الزجاجي، وسجله في جدول البيانات 2.
5. ضع بحذر الأنبوب الزجاجي في المخبار المدرّج المملوء بالماء.
6. أمسك الشوكة الرنانة من قاعدتها، ثم اضرب بسرعة على أحد ذراعيها بمطرقة الشوكة الرنانة. ولا تضرب الشوكة الرنانة بطاولة المختبر أو أي سطح قاسٍ.
7. قرّب الشوكة الرنانة المهتزة لتصبح فوق الطرف المفتوح للأنبوب الزجاجي مباشرة، وارفع الأنبوب والشوكة ببطء حتى تسمع صوتًا عاليًا. ولحظة تعينك هذه النقطة، حرّك الأنبوب الزجاجي إلى أعلى وإلى أسفل قليلاً لتحدِّد نقطة الرنين تمامًا، ثم قس المسافة من الماء إلى أعلى الأنبوب الزجاجي، وسجل هذه المسافة في جدول البيانات 2.
8. كرّر الخطوات 3 و6 و7 لشوكتين رنانتين إضافيتين، وسجل نتائجك في المكان المخصّص للمحاولتين 2 و 3 في جداول البيانات. يجب أن تكون ترددات الرنين الثلاثة للشوكات الرنانة الثلاث مختلفة.
9. أفرغ المخبار المدرّج من الماء.

جدول البيانات 1			
المحاولة	درجة الحرارة (°C)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	السرعة التجريبية للصوت (m/s)
1			
2			
3			

جدول البيانات 2				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	القطر (m)	طول الأنبوب فوق الماء (m)	الطول الموجي المحسوب (m)
1				
2				
3				

جدول البيانات 3				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	الطول الموجي المحسوب المصحح (m)	سرعة الصوت التجريبية المصحّحة (m/s)
1				
2				
3				

التحليل

1. احسب السرعة المقبولة للصوت باستعمال العلاقة $v = 331\ \mathrm{m/s} + 0.60T$، حيث v سرعة الصوت عند درجة الحرارة T، و T درجة حرارة الهواء بالسيليزية. سجل هذه النتيجة على أنها السرعة المقبولة للصوت في جدولي البيانات 1 و3 للمحاولات جميعها.
2. بما أن الرنين الأول عُيّن عندما كان جزء الأنبوب الذي فوق الماء يساوي ربع الطول الموجي، لذا استعمل الطول المقيس للأنبوب في تحديد الطول الموجي المحسوب لكل محاولة. وسجل الأطوال الموجية المحسوبة في جدول البيانات 2.
3. اضرب قيمتي الطول الموجي والتردد في جدول البيانات 2، لتحديد السرعة التجريبية للصوت، وسجل ذلك في جدول البيانات 1 لكل محاولة.
4. **تحليل الخطأ** حدّد الخطأ النسبي بين سرعة الصوت المقبولة والتجريبية لكل محاولة في جدول البيانات 1.

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

5. **النقد** يجب أخذ قطر الأنبوب بعين الاعتبار لتحسين دقة الحسابات. وتزود العلاقة التالية حسابات الطول الموجي بدقة أكثر: $\lambda = 4(L + 0.4d)$، حيث تمثل λ الطول الموجي، و L طول الأنبوب فوق الماء، و d القطر الداخلي للأنبوب. استعمل قيم الطول والقطر الواردة في جدول البيانات 2، وأعد حساب λ، وسجل القيمة في جدول البيانات 3 على أنها الطول الموجي المصحّح، ثم احسب سرعة الصوت التجريبية المصحّحة من خلال ضرب تردد الشوكة الرنانة في الطول الموجي المصحّح، ثم سجل القيمة الجديدة لسرعة الصوت التجريبية المصحّحة في جدول البيانات 3.
6. **تحليل الخطأ** حدّد لكل محاولة في جدول البيانات 3 الخطأ النسبي بين السرعة التجريبية المصحّحة والسرعة المقبولة للصوت، واستعمل الصيغة نفسها التي استعملتها في الفقرة 4 سابقًا.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** تحدث نقطة الرنين الأولى عندما يكون طول الأنبوب مساويًا $\lambda/4$. ما الطولان اللذان يحدث عندهما الرنينين اللاحقين؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن تعيين موقع آخر لحدوث الرنين إذا كان لديك أنبوب أطول؟ وضح إجابتك.

التوسع في البحث

أيّ النتائج تعطي دقة أكثر لسرعة الصوت؟

الفيزياء في الحياة

فسّر العلاقة بين حجم أنابيب الأُرغن وترددات الرنين لها.

لمزيد من المعلومات حول خصائص موجات الصوت ارجع إلى الموقع الإلكتروني: obeikaneducation.com

التحليل

1. انظر إلى الجدولين 1 و 3
2. انظر إلى الجدول 2
3. انظر إلى الجدول 1
4. تعد الأخطاء 10–20% مقبولة.
5. انظر إلى الجدول 3
6. يجب أن تكون الأخطاء النسبية 5% أو أقل.

الاستنتاج والتطبيق

1. الأطوال: $\lambda/4$، $3\lambda/4$، $5\lambda/4$
2. نعم؛ بتوفير أنبوب طوله على الأقل $3\lambda/4$، يمكن الحصول على نقطة الرنين التالية.

التوسع في البحث

إن تقنية التحليل باستخدام القيم المُصحَّحة للطول الموجي يجب أن تكون أكثر دقة.

الفيزياء في الحياة

يتناقص تردد الرنين بزيادة طول الأنبوب.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اطلب إلى الطلبة استقصاء كيفية تغير الموقع الذي يحدث عنده الرنين في عمود هوائي مغلق مع تغير تردد الصوت. يمكن أن يحدّد الطلبة المواد والأدوات اللازمة للتجربة التي صمّموها. شجعهم على ملاحظة النتائج بدقة، وتسجيل الاستفسارات التي تظهر في أثناء تنفيذهم للتجربة. يمكن أن يساعد هذا النشاط الطلبة على استيعاب كيفية عمل الأذن البشرية كعمود هوائي مغلق.

الخلفيّة النظرية

في حين يمكن نمذجة الموجات الموقوفة في وتر بدلالة دوال الجيب وجيب التمام فإن موجات الصوت في الشمس تنسجم مع التوافقيات الكروية. وتستخدم هذه الدوال المتعامدة لمطابقة الموجات السطحية المقيسة، وتوقع سلوك موجات الصوت داخل الشمس.

استراتيجيات التدريس

- يبين الرسم جزءًا مقطعيًّا من الشمس، وأحد المسارات المحتملة لموجة صوتية في الشمس؛ حيث لا تخترق موجات الصوت منطقة الإشعاع أو القلب، حيث تبلغ كثافة هاتين المنطقتين عشرة أضعاف كثافة الرصاص. تتولد عدة موجات صوتية في منطقة الحمل، إلّا أن الموجات التي تتداخل تداخلًا بنائيًّا لتكوّن موجات موقوفة هي فقط موجات ذات تراكيب محدّدة للزمن الدوري والطول الموجي.
- حتى لو انتقلت الموجات الصوتية في الشمس إلى الأرض فإنه لا يمكننا سماعها؛ وذلك لأن ترددتها قليلة جدًّا. ومن الممكن سماع الموجات الصوتية التي في الشمس إذا صدرت بشكل معين؛ حيث يحتاج تردد الموجات إلى أن يُضخّم بمقدار 42,000 مرة لكي يتم سماعه. يستطيع الطلبة المهتمون البحث في مثل هذه الملفات الصوتية عن معلومات إضافية حول السيزمولوجية الشمسية (علم زلازل الشمس).

الإثراء العلمي

موجات الصوت في الشمس
Sound Waves in the Sun

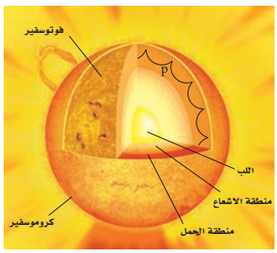
تُسمّى دراسة اهتزازات الموجات في الشمس بالسيزمولوجية الشمسية (علم زلازل الشمس)، حيث تحدث الموجات التالية طبيعيًّا في الشمس، وهي: الموجات الصوتية (موجات *p*)، وموجات الجاذبية، وموجات الجاذبية السطحية. وتتكون كل هذه الموجات من جزيئات مهتزة، ولكن قوى مختلفة تُسبّب هذه الاهتزازات.

وتسبب اختلافات الضغط اهتزاز الجزيئات في الموجات الصوتية. أما في الشمس فتنتقل موجات الصوت خلال منطقة الحمل الحراري التي تقع أسفل السطح مباشرة، أو أسفل الفوتوسفير. ولا تنتقل الموجات الصوتية في خط مستقيم، كما هو موضح في الصورة.

تقرع كالجرس تسبب موجات الصوت في الشمس اهتزاز السطح في الاتجاه القطري، مثل اهتزاز جرس يقرع. فعندما يقرع الجرس تضرب مطرقة الجرس في مكان واحد، وتنتج موجات موقوفة. ولسطح الشمس موجات موقوفة، لكنها لم تنتج عن حدث واحد كبير. يفترض العلماء بدلاً من ذلك أن العديد من العواتق الصغيرة في منطقة الحمل الحراري بدأت منها معظم موجات الصوت في الشمس، مثل ضجيج الماء المغلي في قدر، إلا أن حجم الفقاعة المتكونة عند سطح الشمس أكبر من مساحتي المغرب والعراق معًا، ويصدر عنها موجات صوتية.

ويكون الصوت القادم من الشمس منخفضًا جدًّا بالنسبة لنا؛ حيث أن متوسط اهتزاز الموجات في الشمس له زمن دوري 5 min، أيْ أن ($f = 0.003$ Hz).

لأننا لا نستطيع سماع موجات الصوت الصادرة من الشمس، فقد قاس العلماء حركة سطح الشمس لتعرّف موجاتها الصوتية. ويجب مراقبة الشمس فترات زمنية طويلة؛ لأن موجات الصوت تحتاج إلى ساعتين للانتقال من جانب إلى آخر في الشمس، وهذا يجعل المراقبة من الأرض صعبة لأنه لا يمكن رؤية الشمس في أثناء الليل. لذا فقد



تنتقل الموجات الصوتية (موجات *p*) خلال منطقة الحمل في الشمس

أطلقت وكالة ناسا عام 1995م المرصد الشمسي (*SOHO*). يدور هذا القمر الاصطناعي حول الأرض، ويستطيع مراقبة الشمس دائمًا.

تُقاس حركة سطح الشمس من خلال مراقبة انزياح دوبلر في ضوء الشمس. ويكون للاهتزازات المقيسة أنماط معقدة تساوي مجموع الموجات الموقوفة كلها في الشمس. ويوجد في الشمس نغمات توافقية كالنغمات التي تظهر عندما يقرع الجرس. ويمكن حساب الموجات الموقوفة الفردية وشدتها في الشمس بوساطة التحليل الدقيق.

النتائج تزوّد اهتزازات موجات الشمس العلماء بمعلومات تتعلق بتركيبها الداخلي؛ وذلك أن كلًّا من تركيبها ودرجة حرارتها وكثافتها يؤثر في انتشار الموجات الصوتية. وقد قدمت نتائج تحليل بيانات القمر الاصطناعي (*SOHO*) المزيد لفهم عميق حول معدل دوران الشمس على صورة دالة رياضية تعتمد على خط العرض والعمق، وعلى درجة حرارة الشمس وكثافتها أيضًا. وتقارن هذه النتائج بالحسابات النظرية لتحسين فهمنا للشمس.

التوسع

1. **كوّن فرضية** كيف يفرّق العلماء بين حركة سطح الشمس الناجمة عن الموجات الصوتية وحركته الناجمة عن دوران الشمس؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن أن يكون هناك موجات صوتية لها الطول الموجي نفسه الذي لموجات الشمس الصوتية، وتصدر عن نجم آخر مشابه للشمس، لكنه مختلف في حجمه؟

التوسع

1. يحصل العلماء على العديد من اللقطات التصويرية لسطح الشمس، ويقومون بحساب متوسط البيانات، حيث تلغي موجات الصوت بعضها بعضًا، وتبقى الحركة بسبب دوران الشمس فقط، ومن خلال اختزال الحركة الدورانية من لقطة واحدة، تبقى الحركة بسبب الموجات الصوتية فقط.
2. لا، تتداخل موجات صوتية مختلفة تداخلاً بنائيًّا إذا اختلف حجم النجم؛ وهذا يؤدي إلى تشكّل مجموعة مختلفة من الموجات الموقوفة.

2-1 خصائص الصوت Properties of Sound

المفردات

- الموجة الصوتية
- تأثير دوبلر

الأفكار الرئيسة

- الصوت تغيُّر في الضغط ينتقل خلال مادة على هيئة موجة طولية.
- لموجة الصوت تردد، وطول موجي، وسرعة، وسعة. كما تنعكس موجات الصوت وتتداخل.
- سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة الغرفة 20°C تساوي 343 m/s، تزداد سرعة الصوت بزيادة درجة الحرارة 0.6 m/s تقريبًا مع كل زيادة 1 °C في درجة الحرارة.
- يُعرّف تأثير دوبلر بأنه التغير في تردد موجات الصوت الناتج عن حركة المصدر أو المراقب أو كليهما. ويمكن حسابه بوساطة المعادلة التالية:

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

2-2 الرنين Resonance

المفردات

- الرنين
- التردد الأساسي
- الموجة الموقوفة
- الضربة

الأفكار الرئيسة

- ينتج الصوت عن اهتزاز جسم في وسط مادي.
- يمكن أن يحصل رنين لعمود هواء مع مصدر صوت، مما يزيد سعة تردد رنينه.
- يحصل رنين لعمود هوائي مغلق عندما يكون طوله $\frac{\lambda}{4}$ و $\frac{3\lambda}{4}$ و $\frac{5\lambda}{4}$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردّد الأساسي.
- يحصل رنين لعمود هوائي مفتوح عندما يكون طوله $\frac{\lambda}{2}$ و $\frac{2\lambda}{2}$ و $\frac{3\lambda}{2}$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردّد الأساسي.
- يكون للوتر المثبت عقدة عند كل طرف، ويحدث له رنين عندما يكون طوله مساويًا لـ $\frac{\lambda}{2}$ و $\frac{2\lambda}{2}$ و $\frac{3\lambda}{2}$ وهكذا، مثل العمود الهوائي المفتوح. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردّد الأساسي.
- تتداخل موجتان لهما التردد نفسه تقريبًا لتنتجا الضربات.

الأفكار الرئيسة

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

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

خريطة المفاهيم

18. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

إتقان المفاهيم

19. ينتقل الضوء بسرعة $3.00\times10^{8}\ m/s$ بينما ينتقل الصوت بسرعة $343\ m/s$، سيرى المراقبون الدخان قبل سماع صوت إطلاق المسدس. وسيكون الزمن أقل من الزمن الفعلي لو اعتمد على سماع الصوت.

20. ينشأ الصوت نتيجة توافر جسم يهتز ووسط مادي، وينتقل الصوت في الهواء نتيجة تغيرات الضغط فيه.

21. يجب أن يكون تردد النغمة مماثل للرنين الطبيعي للكأس الزجاجية، مما يؤدي إلى زيادة سعة اهتزازات جزيئات الكأس بانتقال الطاقة الصوتية إليها، ويعمل على تحطم الكأس الزجاجية.

22. عندما يسير الجنود بخطوات منتظمة ينشأ تردد معين يؤدي إلى اهتزاز الجسر بالتردد نفسه؛ أي يحدث رنين مع الجسر؛ مما يؤدي إلى زيادة سعة اهتزازه ومن ثم زيادة الطاقة الناجمة عنها ويؤدي إلى انهياره، ولا يكون هناك تضخيم لتردد معيّن عندما يسيرون بخطوات غير منتظمة.

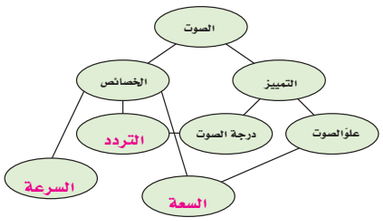
23. تولد الشوكات الرنانة موجات بسيطة ذات تردد مفرد، بينما تولد الآلات الموسيقية موجات معقدة تحتوي على ترددات عديدة مختلفة؛ وهذا ما يجعل لها طابع صوتي خاص.

تطبيق المفاهيم

24. إن سرعة الصوت في الهواء تساوي $343\ m/s = 0.343\ km/s = (1/2.92)\ km/s$؛ أو ينتقل الصوت تقريبًا $1\ km$ خلال $3\ s$، لذلك قسم عدد الثواني على 3

خريطة المفاهيم

18. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستعمال المصطلحات التالية: السعة، السرعة، التردد.



إتقان المفاهيم

19. عند قياس زمن الركض لمسافة 100 m، فإن المراقبين عند خط النهاية يبدؤون ساعات الوقف لديهم عند رؤيتهم دخانًا يتصاعد من المسدس الذي يشير إلى بدء السباق وليس عند سماعهم صوت الإطلاق. فسّر ذلك. وما الذي سيحدث لقياس زمن الركض إذا ابتدأ التوقيت عند سماع الصوت؟

20. كيف ينشأ الصوت، وينتقل في الهواء؟

21. **الغناء** كيف يمكن لنغمة معينة أن يغنيها مغني أوبرا، بحيث ينجم عنها تحطم كأس زجاجية؟

22. **المشاة** عند وصول جنود المشاة في الجيش إلى جسر فإنهم يسيرون على الجسر بخطوات غير منتظمة. فسّر ذلك.

23. **الآلات الموسيقية** لماذا لا يكون صوت معظم الآلات الموسيقية مثل صوت الشوكة الرنانة؟

تطبيق المفاهيم

24. **التقدير** لتقدير المسافة بينك وبين وميض برق بالكيلومترات، عُدّ الثواني بين رؤية الوميض وسماع صوت الرعد، واقسم على 3 وضح كيف تعمل هذه القاعدة؟

25. **الأفلام** انفجر قمر اصطناعي في فيلم خيال علمي؛ حيث سمع الطاقم في مركبة فضائية قريبة من الانفجار صوته وشاهدوه فورًا. إذا أُخترتَ مستشارًا فما الخطآن الفيزيائيان اللذان تلاحظهما ويتعين عليك تصحيحهما؟

26. **فرقة موسيقية** إذا كان مزماران في حالة رنين. وسمع قائد الفرقة تردد الضربة يزداد، فهل يتقارب تردد المزمارين أم يتباعد؟

إتقان حل المسائل

2–1 خصائص الصوت

27. إذا سمعت صوت إطلاق قذيفة من مدفع بعيد بعد 5.0 s من رؤيتك للوميض فما بُعد المدفع عنك؟

28. إذا انتقلت موجة صوت تردّدها 4700 Hz في قضيب فولاذي، وكانت المسافة بين الانضغاطات المتتالية هي 1.1 m، فما سرعة الموجة؟

29. **الخفافيش** يُرسل الخفاش موجات صوتية طولها الموجي 3.5 mm، ما تردد الصوت في الهواء؟

25. أولاً إذا سمعت صوتًا فإنك ستسمعه بعد رؤيتك للانفجار؛ فموجات الصوت تنتقل أبطأ كثيرًا من الموجات الكهرومغناطيسية. ثانيًا كثافة المادة في الفضاء قليلة جدًّا، بحيث لا تنتشر موجات الصوت، ولذلك لن يسمع أي صوت.

26. يتباعد تردد المزمارين.

إتقان حل المسائل

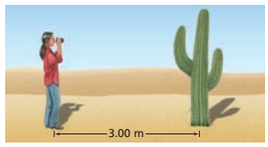
2–1 خصائص الصوت

27. $1.7\ km$

28. $5200\ m/s$

29. $9.8\times10^{4}\ Hz$

30. التصوير الفوتوجرافي تحدّد بعض الكاميرات بُعد الجسم عن طريق إرسال موجة صوت وقياس الزمن الذي يحتاج إليه الصدى للعودة إلى الكاميرا، كما يبين **الشكل 12–2**. ما الزمن الذي تحتاج إليه موجة الصوت حتى تعود إلى الكاميرا إذا كان بعد الجسم عنها يساوي 3.00 m؟



الشكل 12–2

31. يهتز ملف نابضي للعبة بتردد 4.0 Hz بحيث تظهر موجات موقوفة بطول موجي 0.50 m، ما سرعة انتشار الموجة؟

32. يجلس مشجع في مباراة كرة قدم على بُعد 152 m من حارس المرمى في يوم دافئ درجة حرارته 30 °C، فما:

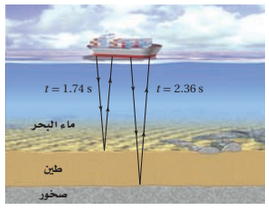
a. سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 30°C؟

b. الزمن الذي يحتاج إليه المشجع ليسمع صوت ضرب الكرة بعد مشاهدته لضرب الحارس لها؟

33. التصوير الطبي تستعمل موجات فوق صوتية بتردد 4.25 MHz للحصول على صور للجسم البشري. فإذا كانت سرعة الصوت في الجسم مماثلة لسرعته في الماء المالح وتساوي 1.50 km/s، فما الطول الموجي لموجة ضغط ترددها 4.25 MHz في الجسم؟

34. السونار تمسح سفينة قاع المحيط بإرسال موجات سونار مباشرة من السطح إلى أسفل في ماء البحر، كما يبين **الشكل 13–2**. وتستقبل السفينة الانعكاس الأول عن الطين عند قاع البحر بعد زمن مقداره 1.74 s من إرسال الموجات. ويصل الانعكاس الثاني عن الصخور تحت الطين بَعد 2.36 s فإذا كانت درجة حرارة ماء البحر 25 °C، وسرعة الصوت في الطين 1875 m/s، فأوجد ما يلي:

a. عمق الماء. **b.** سمك طبقة الطين.



الشكل 13–2

35. تتحرك شاحنة إطفاء بسرعة 35 m/s، وتتحرك سيارة أمام الشاحنة في الاتجاه نفسه بسرعة 15 m/s، فإذا انطلقت صفارة إنذار الشاحنة بتردد 327 Hz، فما التردد الذي يسمعه سائق السيارة؟

36. يتحرك قطار في اتجاه مراقب صوت، وعندما كانت سرعته 31 m/s انطلقت صفارته بتردد 305 Hz، ما التردد الذي يستقبله المراقب في كل حالة مما يلي:

a. المراقب ثابت.

b. المراقب يتحرك في اتجاه القطار بسرعة 21.0 m/s

التقويم

30. 0.0175 s

31. 2.0 m/s

32. a. 349 m/s

b. 0.436 s

33. 0.353 mm

34. a. 1300 m

b. 580 m

35. 350 Hz

36. a. 335 Hz

b. 356 Hz

الفصل 2

التقويم

2–2 الرنين

37. 540 Hz

38. 442 Hz و 448 Hz

39. a. 255 m /s

b. 392 Hz و 588 Hz

40. a. 10.5 m

b. 8.20 Hz

مراجعة عامة

41. 295 Hz

42. 2.3 m /s

التفكير الناقد

43. تستطيع تشغيل الساعة عندما ترى الضربة وإيقافها عندما يصل إليك الصوت. ويمكن حساب السرعة من خلال قسمة المسافة 200 m على الزمن المقيس. سيكون الزمن المقيس كبيرًا جدًّا لأنك تستطيع توقع الارتطام بالنظر، ولكنك لا تستطيع توقع الصوت ومن ثم تكون السرعة المحسوبة قليلة جدًّا.

44. قس كتلة الوتر وطوله لتحديد μ، ثم اشبك الوتر بالطاولة، وعلّق أحد طرفيه بحافة الطاولة، وشد الوتر بتعليق أوزان في طرفه الآخر للحصول على T. ثم احسب سرعة الموجة باستخدام الصيغة الرياضية المعطاة، ثم انقر الوتر من منتصفه وحدد التردد من خلال مطابقته مع مولد تردد، واستخدم الضربات لضبط المولد. ثم اضرب التردد في ضعفي طول الوتر– والذي يساوي الطول الموجي – وذلك للحصول على السرعة من معادلة الموجة، وقارن بين النتائج التي تحصل عليها. كرّر العملية لقيم شد مختلفة ولأوتار مختلفة أخرى لها كتل لكل وحدة طول مختلفة، مع مراعاة الأسباب المحتملة للأخطاء.

الكتابة في الفيزياء

45. ستختلف الإجابات. قد يتضمن تقرير بناء الكمان معلومات حول الجسر والربط بين الأوتار والجسم، ومعلومات حول دور الجسم في جعل جزيئات الهواء التي حول الكمان تهتز. وقد يناقش الطلبة أيضًا تأثير نوعية الخشب وطريقة الصنع في جودة الصوت الذي تولّده الآلة.

46. يجب أن يناقش الطلبة عمل إدوين هابل، والانزياح نحو الأحمر، وتمدد الكون، والتحليل الطيفي، واكتشاف التذبذبات في حركة أنظمة الكوكب– النجم.

مراجعة تراكمية

47. 530 m /s

2–2 الرنين

37. أنبوب في وضع رأسيّ مملوء بالماء وله صنبور عند قاعدته، وتهتز شوكة رنانة فوق طرفه العلوي. فإذا سُمع رنين عند تخفيض مستوى الماء في الأنبوب بمقدار 17 cm، وسُمع رنين مرة أخرى عند تخفيض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقدار 49 cm، فما تردد الشوكة الرنانة؟

38. شوكة رنانة ترددها 445 Hz، وعندما ضُربت شوكة ثانية نتجت ضربة نغمات بتردد 3 Hz، ما الترددان الممكنان للشوكة الثانية؟

39. **الآلات الوترية** ضبط وتر قيثارة طوله 65.0 cm ليصدر أقل تردد، ومقداره 196 Hz، فما:

a. سرعة الموجة في الوتر؟

b. ترددا الرنين التاليان لهذا الوتر؟

40. **الآلات الموسيقية** إن أخفض نغمة في الأورغن هي 16.4 Hz، أجب عن الأسئلة التالية:

a. ما طول أقصر عمود هوائي مفتوح للأورغن يحدث له رنين عند هذا التردد؟

b. كم يكون تردد أخفض نغمة إذا كان أنبوب الأورغن نفسه مغلقًا؟

مراجعة عامة

41. أنبوب أرغن مفتوح طوله 1.65 m، ما نغمة التردد الأساسي التي ينتجها في الهيليوم عند درجة حرارة 0 °C؟

42. **التاريخ العلمي** طوّر العالم الهولندي كريستوف بايز عام 1845 اختبارًا لتأثير دوبلر، فكان لديه عازف بوق يعزف نغمة A عند 440 Hz، بينما يركب سيارة مسطحة تجرّها قاطرة. ويعزف في الوقت نفسه عازف بوق ثابت النغمة نفسها، فسمع العالم 3.0 ضربات كل ثانية. ما سرعة القاطرة نحوه؟

التفكير الناقد

43. **حلّل واستنتج** صف كيف تستعمل ساعة وقف لتقدر سرعة الصوت إذا كنت على بعد 200 m من حفرة ملعب جولف، وكان مجموعة من اللاعبين يضربون كراتهم. هل يكون تقديرك لسرعة الصوت كبيرًا جدًّا أم صغيرًا جدًّا؟

44. **تصميم تجربة** صمّم تجربة تستطيع من خلالها اختبار معادلة سرعة موجة في وتر $\left(u=\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}\right)$، حيث تمثل u سرعة الموجة في الوتر، F_T قوة الشد فيه، وμ كتلة وحدة الأطوال للوتر. ووضح القياسات التي ستجريها، وكيف تحصل عليها؟ وكيف تستعملها في فحص المعادلة؟

الكتابة في الفيزياء

45. ابحث في تركيب آلة موسيقية، مثل الكمان أو البوق. ما العوامل التي ينبغي أخذها في الحسبان إضافةً إلى طول الأوتار أو طول الأنبوب؟ وما الفرق بين آلة ذات نوعية جيدة وأخرى رديئة؟ وكيف تُفحص جودة أنغامها؟

46. ابحث في استعمال تأثير دوبلر في دراسة الفلك. ما دوره في نظرية الانفجار الكبير أو العظيم؟ وكيف يستعمل في الكشف عن الكواكب حول النجوم، ودراسة حركة المجرّات؟

مراجعة تراكمية

47. يُنقر وتر قيثارة طوله 60.0 cm في منطقة الوسط، فيعزف نغمة ترددها 440 Hz، ما سرعة الموجات في الوتر؟

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. ينتقل الصوت من مصدره إلى الأذن بسبب:

(A) تغير ضغط الهواء.

(B) الاهتزاز في الأسلاك أو الأوتار.

(C) الموجات الكهرومغناطيسية.

(D) الموجات تحت الحمراء.

2. يستمع خالد إلى موسيقى كلاسيكية من السماعات في أثناء سباحته في بركة سباحة. فوصلت إلى أذنيه نغمة بتردد 327 Hz عندما كان تحت الماء. ما الطول الموجي للصوت الذي يسمعه؟ (افترض سرعة الصوت في الماء 1493 m/s).

(A) 2.19 nm (C) 2.19×10^{-1} m

(B) 4.88×10^{-5} m (D) 4.57 m

3. يجذب بوق سيارة انتباه مشاهد ثابت. فإذا كانت السيارة تقترب من المشاهد بسرعة 60.0 km/h، وتردد البوق 512 Hz، فما تردد الصوت الذي يسمعه المشاهد؟ (افترض سرعة الصوت في الهواء تساوي 343 m/s).

(A) 488 Hz (C) 538 Hz

(B) 512 Hz (D) 600 Hz

4. تبتعد سيارة بسرعة 72 km/h عن صفارة ثابتة، كما موضح في الشكل أدناه. فإذا انطلقت الصفارة بتردد 657 Hz فما تردد الصوت الذي يسمعه السائق؟ (افترض سرعة الصوت في الهواء 343 m/s).

(A) 543 Hz (C) 647 Hz

(B) 620 Hz (D) 698 Hz

5. ينتقل صوت بوق في الهواء بسرعة 351 m/s، منتجًا نغمةً بتردد 298 Hz، ما الطول الموجي لموجة الصوت؟

(A) 9.93×10^{-4} m (C) 1.18 m

(B) 0.849 m (D) 1.05×10^{5} m

6. تسمع سماح 20 ضربة في 5.0 s عندما تعزف نغمتين على البيانو. فإذا كان تردد إحدى النغمتين 262 Hz، فما الترددان المحتملان للنغمة الثانية؟

(A) 242 Hz أو 282 Hz

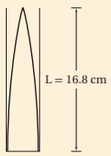
(B) 258 Hz أو 266 Hz

(C) 260 Hz أو 264 Hz

(D) 270 Hz أو 278 Hz

الأسئلة الممتدة

7. يبين الشكل أدناه طول عمود الهواء لأنبوب مغلق في حالة الرنين الأول، فإذا كان تردد الصوت 488 Hz فما سرعة الصوت؟



إرشاد

دوّن حساباتك

دوّن حساباتك وملاحظاتك حيثما كان ذلك ممكنًا. وأجر الحسابات كتابيًّا لا ذهنيًّا، ثم ضع خطًّا تحت الحقائق المهمة في العبارات والأشكال، وأعد قراءتها- ولا تحاول حفظها.

اختبار مقنن الفصل 2-

أسئلة اختيار من متعدد

1. A

2. D

3. C

4. B

5. C

6. B

الأسئلة الممتدة

7. 328 m/s

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

الفصل 3

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
3–1 الاستضاءة	
1. **تطوّر** نموذج الشعاع الضوئي. 2. **تتوقع** تأثير البعد في الاستضاءة. 3. **تحلّ** مسائل تتضمن سرعة الضوء.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** مصباح يدوي، ومرآة مستوية، وبطاقة فهرسة، ودبوس تثبيت، وصلصال. **عرض المعلم** **عرض سريع** مصدر ضوء ليزر، ومسّاحتا سبّورة. **عرض سريع** مصباح يدوي صغير.
3–2 الطبيعة الموجية للضوء	
4. **تصف** كيف يثبت الحيود عمليًّا أن الضوء عبارة عن موجات. 5. **تتوقع** تأثير ألوان الضوء المتراكبة والأصباغ الممزوجة. 6. **توضّح** ظاهرتي الاستقطاب وتأثير دوبلر.	**تجارب الطالب** **تجربة** منشور زجاجي، ومصباح كهربائي مزود بمفتاح تحكم في الشدة الضوئية. **تجربة إضافية** مصدر ضوئي يصدر شعاعًا ضيقًا، ولوح زجاجي، ومرشّح استقطاب. **مختبر الفيزياء** لوحا مرشّح استقطاب، ومصدر ضوء متوهج أو ساطع، ومصدر ضوء فلورسنتي، وقطع من الورق الأبيض والأسود، وآلة حاسبة مزودة بشاشة مصنوعة من البلورات السائلة، ومنقلة بلاستيكية شفافة، ومرآة. **عرض المعلم** **عرض سريع** شاشة بيضاء، وثلاثة مصادر ضوئية أساسية (أحمر، وأزرق، وأخضر).

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثالث

الفصل 3

أساسيات الضوء

نظرة عامة إلى الفصل

يقدم هذا الفصل الخصائص الأساسية للضوء، ويفسّرها بوساطة نموذجين مختلفين: نموذج الشعاع الضوئي، والنموذج الموجي. يصف البند الأول في هذا الفصل نموذج الشعاع الضوئي والاستضاءة وفق قانون التربيع العكسي. واستخدمت الموجة في البند الثاني لتوضيح الحيود، والألوان، والاستقطاب، وتأثير دوبلر.

فكّر

تمتص الأصباغ في قماش المنطاد ألوانًا محددة من ألوان الضوء الأبيض وتعكس الألوان المشابهة للونها. وينتج لونا الشمس والسماء بسبب الجسيمات الموجودة في الهواء؛ حيث تعمل هذه الجسيمات على تشتيت ترددات معينة للضوء أكثر من الأخرى. وترتبط هذه الألوان بالطبيعة الموجية للضوء.

المفردات الرئيسة

- نموذج الشعاع الضوئي
- الاستضاءة
- المصدر المضيء
- الحيود
- المصدر المستضيء (المُضَاء)
- اللون الأساسي
- الوسط المعتم (غير الشفاف)
- اللون الثانوي
- الوسط الشفّاف
- اللون المتمّم
- الوسط شبه الشفّاف
- الاستقطاب
- التدفق الضوئي
- قانون مالوس

الفصل 3

أساسيات الضوء

Fundamentals of Light

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تعرّف مصادر الضوء، وكيف ينير الضوء العالم من حولنا.
- وصف الطبيعة الموجية للضوء، وبعض الظواهر التي تتعلق به.

الأهمية

يُعدّ الضوء أساس حياتنا وإنارة كوكبنا والمصدر الرئيس الذي يزوّدنا بالمعلومات المتعلقة بسلوك الكون. وتُستخدم مجموعة من المعلومات كاللون، والحيود والظل وسواها باستمرار في تفسير الأحداث التي تحصل من حولنا.

سباق المناطيد يمكن التمييز بين المناطيد المشاركة في السباق نهارًا من خلال ألوانها، كما يمكن تمييز المناطيد من خلال الخلفيات التي تظهر في أثناء حركتها؛ بسبب اختلاف ألوان الأعشاب ولون السماء عن ألوان المناطيد.

فكّر

إلامَ تعود هذه الفروق في اللون؟ وما العلاقة بين هذه الألوان؟

تجربة استهلالية

الهدف ملاحظة مسارات الأشعة الضوئية في الهواء.

المواد والأدوات مصباح يدوي، ومرآة مستوية، وبطاقة فهرسة، ودبوس تثبيت، وصلصال.

استراتيجيات التدريس رتّب الطلبة بطريقة تمكّنهم جميعًا من مشاهدة شعاع الضوء المنعكس قبل تعتيم الغرفة.

النتائج المتوقّعة تظهر نقطة ضوء خلف البطاقة.

التحليل الصورة التي تظهر على البطاقة عبارة عن نقطة ضوئية لها حجم الثقب نفسه تقريبًا. ويبدو الضوء منتقلًا في خطوط مستقيمة وينحرف إذا انعكس عن شيء ما.

التفكير الناقد شعاع الضوء غير مرئي في الهواء؛ عندما لا يوجد غبار كاف في الهواء ليعكس الضوء نحو عينيك. وسيكون الشعاع الضوئي مرئيًّا في الهواء، إذا كان هناك كمية كافية من الغبار فيه.

3-1 الاستضاءة

1. التركيز

نشاط محفز

الاستضاءة ارفع كتلتين من شمع البارافين (سُمك كل منهما 1 cm تقريبًا)، وأمسكهما أفقيًّا، على أن تكون إحداهما فوق الأخرى، ثم اسأل الطلبة ماذا يشاهدون؟ تظهر الكتلة التي في الأسفل قاتمة اللون أكثر من تلك التي في الأعلى. اقلب الكتلتين، واسأل الطلبة ماذا يشاهدون؟ تظهر الكتلة التي في الأسفل قاتمة اللون أكثر. كرّر هذه الخطوة مرات عدة. تظهر الكتلة التي في الأسفل دائمًا قاتمة اللون. ثم اطلب إليهم تفسير ما شاهدوه. يسقط القليل من الضوء على الكتلة السفلية؛ لأن الكتلة العلوية تعكس وتمتص جزءًا من الضوء فتقل كمية الضوء التي تصل للكتلة السفلية. م2 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

علاقة التربيع العكسي درس الطلبة قانون التربيع العكسي ضمن سياق قانون الجذب العام، وسيتعلمون في هذا الفصل كيفية تطبيق قانون التربيع العكسي في الاستضاءة الناتجة عن مصدر ضوئي نقطي.

الأهداف

- **تطوّر** نموذج الشعاع الضوئي.
- **تتوقع** تأثير البعد في الاستضاءة.
- **تحل** مسائل تتضمن سرعة الضوء.

المفردات

نموذج الشعاع الضوئي
المصدر المضيء
المصدر المستضيء (المُضاء)
الوسط المعتم (غير الشفّاف)
الوسط الشفّاف
الوسط شبه الشفّاف
التدفق الضوئي
الاستضاءة

يُعد الضوء والصوت وسيلتين تتمكن عن طريقهما من التواصل مع بيئاتنا والحصول على المعلومات. ويبدو الضوء الوسيلة التي توفر أكبر مجموعة متنوعة من المعلومات، حيث تستطيع العين البشرية تحسّس التغيرات البسيطة جدًّا في حجم الجسم وموقعه وسطوعه، إضافة إلى لونه، كما تتمكن أعيننا في العادة من التمييز بين الظلال والأجسام الصلبة، وتستطيع أحيانًا التمييز بين انعكاسات الأجسام والأجسام نفسها.

تعلم أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة، فكيف تثبت ذلك؟ عندما تدخل حزمة ضوئية ضيقة ـ مثل ضوء المصباح الكهربائي أو ضوء الشمس ـ عبر النافذة فإن دقائق الغبار المنتشرة في الهواء تجعل الضوءَ مرئيًّا، وترى مسار الضوء على شكل خط مستقيم. وعندما يعترض جسمك ضوء الشمس ترى هيئة جسمك في صورة ظل. هذه الأشياء يمكن حدوثها فقط بسبب أن الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة. وقد طوّرت نماذج تصف سلوك الضوء؛ اعتمادًا على كيفية انتقال الضوء.

تجربة استهلالية

كيف يمكنك تحديد مسار الضوء في الهواء؟

سؤال التجربة ما المسار الذي يسلكه الضوء خلال انتقاله في الهواء؟

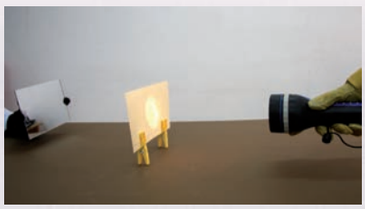
الخطوات

1. اثقب بطاقة فهرسة بالمثقب عند مركزها.
2. استخدم الصلصال في تثبيت البطاقة رأسيًّا، بحيث تكون حافتها الطويلة على سطح الطاولة.
3. أشعل المصباح ودع زميلك يحمله، مراعيًا مرور أشعة المصباح الضوئي من خلال الثقب الموجود في البطاقة. **تحذير: يسخن المصباح بمرور الوقت.**
4. احمل مرآة في الجانب المقابل للبطاقة، بحيث يصطدم الضوء المار من خلال الثقب بالمرآة، ثم عتّم الغرفة.
5. حرّك المرآة وأمِلْها بحيث تعكس الشعاع الضوئي وتسقطه على البطاقة. **تحذير: احذر من عكس الشعاع الضوئي في اتجاه عيون زملائك في المختبر.**
6. دوّن ملاحظاتك

التحليل

صف صورة الشعاع الضوئي المنعكس التي تشاهدها على بطاقة الفهرسة. وصف المسار الذي سلكه الشعاع الضوئي.

التفكير الناقد هل يمكنك رؤية الشعاع الضوئي في الهواء؟ لماذا؟



2. التدريس

المناقشة

سؤال كيف ترى جسمًا ما؟

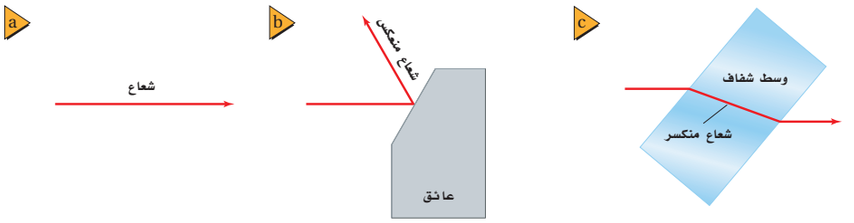
الإجابة يجب أن يكون هناك مصدرًا ضوئيًّا، حيث ينتقل هذا الضوء إلى الجسم فينعكس عنه أو يمر من خلاله، فيصل إلى عينيك فتراه. م 2

إستخدام الشكل 1–3

اطلب إلى الطلبة التفكير فيما يحدث عندما يمدون أيديهم ليلتقطوا شيئًا من الماء، كحجر في قاع بركة صافية، أو النظر إلى الزخرفة الموجودة في حوض سمك؛ حيث لا يكون الجسم دائمًا في المكان الذي نظن أنه موجود فيه. في أغلب الأحيان عند النظر باتجاه غير عمودي يجب أن نجري تعديلات حتى نعرف بالضبط كيفية الوصول إليه. فعندما تشاهد جسمًا صلبًا في الماء، فإن الأشعة الضوئية القادمة من الجسم، يجب أن تعبر سطح الماء. وعندما تصل هذه الأشعة إلى الحد الفاصل بين الماء والهواء فإن اتجاه انتشارها ينحرف عن مساره الأصلي؛ وهذا يعني أن الضوء ينكسر. لذا فسوف تشاهد الجسم في موقع ظاهري اعتمادًا على الضوء المنكسر الذي يصل إلى عينك، لا في موقعه الحقيقي. م

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

المصادر المضيئة اعتقد فلاسفة الإغريق القدماء أن أعيننا هي مصادر الأشعة الضوئية التي تُمكّننا من الرؤية. اطلب إلى الطلبة أن يفكروا في المشاهدات والاستدلالات التي تتناقض مع هذه النظرية. قد تتضمن الأمثلة أنه لا يمكننا الرؤية في غرفة معتمة، وعندما ننظر إلى ضوء ساطع فإنه سيؤذي أعيننا. ومن خلال هذه الأمثلة يجب أن يستنتج الطلبة أننا نرى هذه الأشياء لأن الضوء ينبعث من مصدر، كالمصباح الكهربائي مثلًا. م 2



الشكل 1–3 الشعاع الضوئي عبارة عن خط مستقيم يمثل المسار الخطي لحزمة ضيقة من الضوء (a). ويمكن أن يغيّر الشعاع الضوئي اتجاهه إذا انعكس (b) أو انكسر (c).

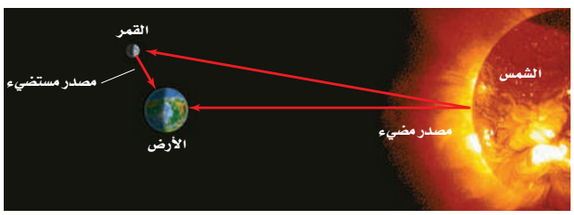
نموذج الشعاع الضوئي Ray Model of Light

اعتقد العالم إسحق نيوتن أن الضوء سيل من جسيمات متناهية في الصغر لا يمكن تخيلها، تتحرك بسرعة كبيرة جدًّا، أطلق عليها اسم كريات ضوئية أو جُسيمات ضوئية. ولم يستطع نموذج نيوتن تفسير خصائص الضوء جميعها؛ إذ بيّنت التجارب أن الضوء يسلك أيضًا سلوك الموجات. يُمثَّل الضوء في نموذج **الشعاع الضوئي** على شكل شعاع ينتقل في خط مستقيم ويتغير اتجاهه فقط إذا اعترض حاجزٌ مساره، كما يتضح من **الشكل 1–3**. لقد قُدّم نموذج الشعاع الضوئي بوصفه طريقة لدراسة كيفية تفاعل الضوء مع المادة، بغض النظر عما إذا كان الضوء جسيمًا أو موجة. وتسمى دراسة الضوء بهذه الطريقة البصريات أو البصريات الهندسية.

مصادر الضوء تنبعث أشعة الضوء من مصادرها، وتُعد الشمس المصدر الرئيس للضوء. وهناك بعض المصادر الطبيعية الأخرى للضوء، منها اللهب والشرر، وحتى بعض أنواع اليراع. وأنواع أخرى متعدّدة من مصادر الضوء، منها المصابيح المتوهّجة، والمصابيح الفلورسنتية، وشاشات التلفاز، وأشعة الليزر.

دلالة الألوان
الأشعة الضوئية باللون **الأحمر**.

ما الفرق بين ضوء الشمس وضوء القمر؟ ضوء الشمس أكثر سطوعًا من الضوء الذي يصلنا من القمر، والشمس **مصدر مضيء**؛ أيْ أنها جسم يبعث ضوءًا من ذاته، أمّا القمر فيُعدّ **مصدرًا مستضيئًا** (مُضاءً)، أيْ أنه جسم يصبح مرئيًّا نتيجة انعكاس الضوء عنه، كما يتضح من **الشكل 2–3**. فالمصابيح المتوهجة ـ ومنها المصابيح الكهربائية – مضيئة؛ لأن الطاقة الكهربائية تُسخّن سلك التنجستن الرفيع الموجود في المصباح، مما يؤدي إلى توهّجه. وتبعث المصابيح المتوهجة الضوء نتيجة درجة حرارتها العالية. ويعمل العاكس المثبت على الدراجة الهوائية عمل مصدر مستضيء؛ حيث صُمّم ليصبح مرئيًّا بشدة عندما يُضاء بوساطة أضواء السيارة الأمامية.



الشكل 2–3 تعمل الشمس عمل مصدر مضيء للأرض والقمر، ويعمل القمر عمل مصدر مُضاء يضيء الأرض.

عرض سريع

الرؤية

الزمن المقدر 5 دقائق

المواد والأدوات مصدر ضوء ليزر، ومسّاحتا سبورة.

الخطوات وجّه ضوء الليزر بصورة موازية للسبورة في اتجاه الجدار، ثم اطلب إلى الطلبة أن يصفوا ما يشاهدونه. يرى الطلبة بقعة ضوء على الجدار من مصدر الليزر، ولن يشاهدوا حزمة ضوء الليزر التي انتشرت من مصدر الليزر في اتجاه الجدار. الآن اضرب المساحتين إحداهما بالأخرى فوق مسار حزمة ضوء الليزر. واسأل الطلبة ماذا يشاهدون؟ يشاهد الطلبة حزمة ضوء الليزر؛ لأن ضوء الليزر ينعكس عن غبار الطباشير. ماذا يستنتجون من هذه الملاحظات؟ أنه يجب أن ينعكس الضوء عن سطح ما في اتجاه العين حتى نتمكن من مشاهدته.

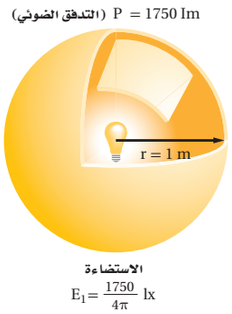
الشكل 3–3 يسمح الزجاج الشفاف للأجسام أن تُرى من خلاله (**a**). ويسمح غطاء المصباح شبه الشفاف للضوء بالمرور من خلاله، على الرغم من أن المصباح الضوئي نفسه غير مرئي (**b**). والقماش البلاستيكي المعتم (غير الشفّاف) الذي يغطي التمثال يَحُول دون رؤية التمثال (**c**).

تكون المصادر المستضيئة مرئية بالنسبة لك؛ لأن الضوء ينعكس عن الجسم أو ينفذ من خلاله ليصل إلى عينيك. ويُسمّى الوسط الذي لا يمر الضوء من خلاله ويعكس بعض الضوء **وسطًا معتمًا** (أي غير شفّاف)، في حين يُسمّى الوسط الذي يمر الضوء من خلاله مثل الهواء والزجاج **وسطًا شفّافًا**. أما الوسط الذي يمر الضوء من خلاله، ولا يسمح للأجسام أن تُرى بوضوح فيُسمّى **وسطًا شبه شفّاف**، فمظلة المصباح مثال على الأجسام المصنوعة من أوساط شبه شفافة. ويبين **الشكل 3–3** أنواع الأوساط الثلاثة. والأوساط الشفافة أو شبه الشفافة لا تمرّر الضوء فقط، بل يمكنها أن تعكس جزءًا منه أيضًا؛ فمثلاً تستطيع رؤية انعكاس صورة جسمك على نافذة الزجاج أحيانًا.

كمية الضوء معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر المضيء يُسمّى **التدفق الضوئي** P، ويُقاس التدفق الضوئي بوحدة لومن (lm)، فالمصباح الكهربائي المتوهج الذي قدرته 100 W يصدر 1750 lm تقريبًا. وتستطيع أن تفكر في التدفق الضوئي بوصفه مقياسًا لمعدل انبعاث الأشعة الضوئية من المصدر المضيء. تخيّل أنك وضعت هذا المصباح في مركز كرة نصف قطرها 1 m، كما في **الشكل 3–4**، سيبعث المصباح الضوء في الاتجاهات جميعها تقريبًا؛ أي أن تدفقًا ضوئيًا بمقدار 1750 lm يصف الضوء جميعه الذي يصطدم بالسطح الداخلي للكرة خلال وحدة الزمن. وحتى لو كان نصف قطر الكرة 2 m فإن التدفق الضوئي للمصباح الكهربائي على هذه الكرة سيساوي التدفق الضوئي نفسه على الكرة التي نصف قطرها 1 m؛ وذلك لأن العدد الكلي للأشعة الضوئية الصادرة عن المصباح لا يتغير.

وبمعرفة كمية الضوء المنبعثة من المصدر المضيء يمكنك تحديد مقدار الإضاءة التي يزودها المصدر المضيء لجسم، كالكتاب مثلًا. إن إضاءة سطح، أو بمعنى آخر معدل اصطدام الضوء بوحدة المساحات للسطح يُسمّى **الاستضاءة** E. ويمكنك أن تفكر في هذا الأمر بوصفه مقياسًا لعدد الأشعة الضوئية التي تصطدم بسطح ما. وتُقاس الاستضاءة بوحدة اللوكس lx التي تساوي لومن لكل متر مربع، lm/m^2.

الشكل 4–3 التدفق الضوئي يساوي معدل انبعاث الضوء من المصدر المضيء. في حين تساوي الاستضاءة معدل سقوط الضوء على السطح.



استخدام التشابه

قانون التربيع العكسي لمساعدة الطلبة على فهم كيفية اعتماد الاستضاءة على البعد عن المصدر، اعمل مقارنة مع قانون الجذب العام. حيث ينص هذا القانون على أنه كلما زادت المسافة بين الجسمين تقل قوة الجذب الكتلية المتبادلة بينهما. وبطريقة مماثلة كلما زادت المسافة بين الجسم المستضيء (المُضَاء) ومصدر الضوء تقل الاستضاءة على الجسم.

تعزيز الفهم

الوسط المعتم، والوسط شبه الشفّاف، والوسط الشفّاف اطلب إلى الطلبة إعداد قائمة بمواد مختلفة، وأن يصنّفوا هذه المواد إلى أوساط غير شفافة، أو أوساط شبه شفافة، أو أوساط شفافة. ثم ناقش الطلبة فيما يحدث عندما يصل الضوء إلى كل نوع من هذه المواد. ينفذ الضوء من الأوساط الشفافة؛ لذلك يمكن رؤية الأجسام بوضوح عند مروره من خلالها، أما الأوساط شبه الشفافة فتُشتّت (تُفرّق) جزءًا من الضوء، وينفذ جزء آخر من خلالها، ويمتص جزء ثالث؛ لذلك لا يمكن رؤية الأجسام بوضوح من خلالها، وترى نتيجة لانعكاس الضوء عنها، بينما لا يمرُّ الضوء من خلال الأوساط المعتمة وترى بإنعكاس الضوء عنها أيضًا. ناقش أيضًا الطرائق التي تُستخدم فيها الأوساط المختلفة الشفافية. على سبيل المثال يستخدم الزجاج الشفاف في ثلاجات العرض في المطاعم، وتستخدم الحواجز المعتمة في غرف تبديل الملابس، وتستخدم المواد شبه الشفافة لعمل ظلال للنوافذ.

م 2 **بصري-مكاني**

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

المصورون الفوتوجرافيون عندما يستخدم المصور الفوتوجرافي الوميض لإضاءة الجسم المراد تصويره، يجب أن يأخذ بعين الاعتبار المسافة بين مصدر الوميض والجسم المراد تصويره؛ وذلك للحصول على إضاءة مناسبة للجسم. فإذا تضاعفت المسافة بين مصدر الوميض والجسم، فإن الاستضاءة ستقل بمقدار أربعة أضعاف، وللتعويض عن نقصان الاستضاءة يزيد المصور مساحة فتحة آلة التصوير؛ وهي الفتحة التي يدخل من خلالها الضوء إلى آلة التصوير. فإذا ابتعد المصور عن الجسم المراد تصويره ضعفي المسافة التي كانت بينه وبين الجسم، عندئذٍ يجب مضاعفة قطر فتحة آلة التصوير. وبمضاعفة قطر الفتحة مرة تتضاعف مساحتها أربع مرات، ومن ثم تتضاعف كمية الضوء الداخله إلى آلة التصوير أربع مرات أيضًا.

تطوير المفهوم

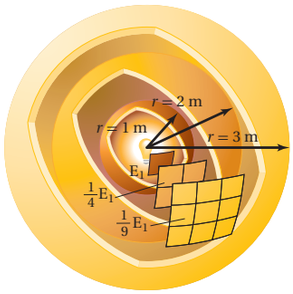
التدفق الضوئي وشدة الإضاءة اسأل الطلبة: ما المصدر الضوئي الأكثر فاعليّة: مصباح كهربائي 1000 lm أم مصباح كهربائي 100 cd؟ بتحويل cd إلى lm أو lm إلى cd، تجد أن المصباح الكهربائي 100 cd يُصدر ضوءًا أكثر. م2

التفكير الناقد

الاستضاءة والموقع اعرض على الطلبة السيناريو الآتي: افترضوا أنكم تخيّمون في الصحراء، ويوجد في المخيم مجموعة من المصابيح الكهربائية، تُمكّنكم من تحديد طريق العودة إلى المخيم في أثناء الليل؛ وذلك بالسير في اتجاه هذه المصابيح. ما المعلومات التي تحتاجون إلى معرفتها حتى تحسب كم يجب أن يبعد الشخص عن المخيم بحيث يبقى قادرًا على رؤية ضوء المصابيح؟ إذا لم يكن هناك ضوء من القمر أو النجوم فعليكم معرفة الاستضاءة التي تستطيع العين البشرية تحسّسها، ومعرفة التدفق الضوئي للمصابيح الكهربائية. أما إذا كان هناك ضوء من القمر أو النجوم فعليكم أيضًا – إضافة لما سبق – معرفة الفروقات بين الاستضاءة التي تستطيع العين البشرية تحسّسها والاستضاءة التي مصدرها البيئة المحيطة. م2 **منطقي- رياضي**

تعزيز الفهم

قانون التربيعي العكسي يصف قانون التربيع العكسي في الاستضاءة الحالة المثالية التي تتضمن مصدر ضوء نقطي . ناقش مع الطلبة الحالات القريبة من الحالة المثالية والحالات البعيدة عنها. فمثلاً، كلما زاد البُعد عن المصدر مقارنة بحجم المصدر، كانت نتائج القياسات الفعلية متوافقة بشكل كبير مع القياسات التي نحصل عليها من القانون. كما أن القانون يفرض أن الجسيمات الموجودة في الهواء بين المصدر والنقطة موضع الاهتمام بحيث لا تمتص أي كمية من الضوء. م2

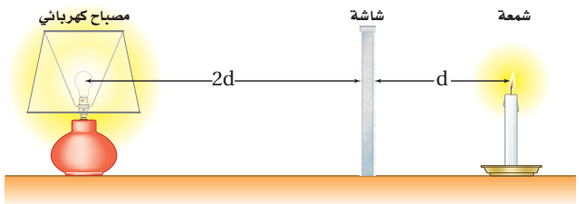


الشكل 5–3 تتغير الاستضاءة E الناتجة عن مصدر ضوء نقطي عكسيًا مع مربع البعد عنه.

ما مقدار استضاءة السطح الداخلي للكرة، مستعينًا بالتركيب الموضح في **الشكل 4–3**؟ تُحسب المساحة السطحية للكرة من خلال المعادلة $4\pi r^2$، لذا تكون المساحة السطحية لهذه الكرة $4\pi (1.00\ m)^2 = 4\pi\ m^2$ والتدفق الضوئي الذي يصطدم بكل متر مربع من الكرة يساوي $1750\ lm / (4\pi\ m^2) = 139\ lx$؛ أي يسقط على بعد 1.00 m من المصباح 139 lm على كل متر مربع، لذا تكون استضاءة السطح الداخلي للكرة 139 lx

قانون التربيع العكسي ماذا يحدث إذا أصبحت الكرة المحيطة بالمصباح الكهربائي أكبر؟ إذا كان نصف قطر الكرة 2.00 m فإن التدفق الضوئي الكلي سيبقى 1750 lm، في حين تصبح مساحة سطح الكرة $4\pi (2.00\ m)^2 = 16.0\pi\ m^2$، أيْ أكبر أربع مرات من مساحة سطح كرة نصف قطرها 1.00 m، كما يتضح من **الشكل 5–3**. وتكون الاستضاءة داخل الكرة التي نصف قطرها 2.00 m مساويةً $1750\ lm / (16.0\pi\ m^2) = 34.8\ lx$، لذا يسقط 34.8 lm على كل متر مربع.

إن الاستضاءة على السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 2.00 m تساوي ربع الاستضاءة على السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 1.00 m، وبالطريقة نفسها تجد أن الاستضاءة على السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 3.00 m تساوي $(1/3)^2$، أو 1/9، من الاستضاءة على السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 1.00 m. ويوضح **الشكل 5–3** أن الاستضاءة الناتجة بفعل مصدر ضوء نقطي تتناسب طرديًّا مع $1/r^2$، وتُسمى علاقة التربيع العكسي؛ أي أنه عندما تنتشر أشعة الضوء من مصدر نقطي في خطوط مستقيمة وفي الاتجاهات جميعها فإن عدد أشعة الضوء المتاحة لإضاءة وحدة المساحة تتناقص مع زيادة مربع البعد عن مصدر الضوء النقطي.



الشكل 6–3 الاستضاءة متساوية على جانبي الشاشة مع أنّ المصباح الكهربائي أكثر سطوعًا من الشمعة.

عرض سريع

مصادر الضوء

الزمن المقدر 5 دقائق

المواد والأدوات مصباح يدوي.

الخطوات أضئ المصباح في غرفة معتمة، واسأل الطلبة هل باستطاعتهم رؤية ضوء المصباح من أي مكان في الغرفة؟ وماذا يعني هذا بالنسبة للمسار الذي يسلكه الضوء من المصدر إلى أعينهم؟ ينتشر ضوء المصباح في الاتجاهات جميعها في الوقت نفسه.

شدة الإضاءة تُحدّد بعض المصادر المضيئة بوحدة الشمعة cd، والشمعة ليست مقياسًا للتدفق الضوئي؛ إنما هي مقياس لشدة الإضاءة. وشدة الإضاءة لمصدر ضوء نقطي تساوي التدفق الضوئي الذي يسقط على مساحة مقدارها $1\ m^2$ من مساحة السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1 m، ولذا فإن شدة الإضاءة تساوي التدفق الضوئي مقسومًا على 4π. والمصباح الكهربائي الذي تدفقه الضوئي يساوي 1750 lm تكون شدة إضاءته مساوية للمقدار التالي: $1750\ lm / 4\pi = 139\ cd$

في **الشكل 6–3**، يكون بُعد المصباح الكهربائي عن الشاشة مساويًا ضعفي بُعد الشمعة عنها. ولكي يولّد المصباح الكهربائي على الجانب المقابل له من الشاشة الاستضاءةَ نفسها التي تولّدها الشمعة على الجانب المقابل لها من الشاشة يجب أن يكون سطوع المصباح الكهربائي أكبر أربع مرات من سطوع الشمعة. لذا ينبغي أن تكون شدة إضاءة المصباح الكهربائي تعادل أربعة أضعاف شدة إضاءة الشمعة.

إضاءة السطوح Surface Illumination

كيف تتمكن من زيادة الاستضاءة على سطح مكتبك؟ يمكن أن تستخدم مصباحًا كهربائيًّا أكثر سطوعًا يؤدي إلى زيادة التدفق الضوئي، أو أن تحرك المصدر الضوئي إلى موقع أقرب لسطح مكتبك؛ أي أنّك تقلّل المسافة بين المصدر الضوئي والسطح الذي يُضيئه. ولتبسيط المسألة يمكنك اعتبار المصدر الضوئي مصدرًا ضوئيًّا نقطيًّا، ولذا فإن كلًّا من الاستضاءة والمسافة سيتبعان علاقة التربيع العكسي. ويمكنك أيضًا تبسيط المسألة أكثر إذا اعتبرت أن الضوء المنبعث من المصدر يسقط عموديًّا على سطح المكتب. وبعد هذا التبسيط يمكنك التعبير عن الاستضاءة الناتجة عن مصدر ضوء نقطي بالمعادلة التالية:

الاستضاءة بفعل مصدر نقطي $E = \frac{P}{4\pi r^2}$

الاستضاءة على الجسم بفعل مصدر نقطي تساوي التدفق الضوئي للمصدر الضوئي مقسومًا على المساحة السطحية لكرة نصف قطرها يساوي بُعد الجسم عن المصدر الضوئي.

تذكّر أن التدفق الضوئي لمصدر الضوء ينتشر بصورة كروية في الاتجاهات جميعها، لذا فإن جزءًا فقط من التدفق الضوئي يكون متاحًا لإضاءة سطح المكتب. ويكون استخدام هذه المعادلة صحيحًا، فقط إذا كان الضوء المنبعث من المصدر المضيء يسقط عموديًّا على السطح الذي يضيئه. كما أن استخدام هذه المعادلة يكون صحيحًا فقط للمصادر المضيئة التي تكون صغيرة، أو بعيدة بصورة كافية حتى يمكن اعتبارها مصادر نقطية. لذا فإن المعادلة لا تعطي قيمًا دقيقة للاستضاءة الناتجة بفعل المصابيح الكهربائية الفلورسنتية الطويلة، أو المصابيح الكهربائية المتوهجة التي تكون قريبة من السطح الذي تضيئه.

تطبيق الفيزياء

العقول المستنيرة

عند اتخاذ القرارات في كيفية تحقيق الاستضاءة الصحيحة على سطوح مقاعد الطلاب، يتعيّن على المهندسين المعماريين أن يأخذوا بعين الاعتبار التدفق الضوئي للضوء، وبُعد المصادر الضوئية عن سطوح المقاعد، كما تُعدّ كفاءة المصادر الضوئية عاملاً اقتصاديًا مهمًا.

تطبيق الفيزياء

يلجأ المهندسون المعماريون إلى توفير الطاقة من خلال الإفادة من ضوء النهار. حيث يهدف هذا التوجه إلى أن يدخل المباني أكبر كمية ممكنة من الضوء الطبيعي؛ وذلك لتخفيض كمية الطاقة الكهربائية اللازمة لإضاءة المساحات المأهولة خلال النهار. لذلك يجب استغلال ضوء النهار، على ألا يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة تلك المساحات، أو إلى سطوع الضوء فيها بدرجة كبيرة، أو إلى توزيع الضوء بصورة غير منتظمة. ولتصميم هذه المساحات بصورة صحيحة ومناسبة؛ فعلى المهندسين المعماريين حساب الزاوية التي يسقط فيها ضوء الشمس إلى داخل البناية خلال أوقات مختلفة من اليوم والسنة، واستخدام أنواع مختلفة من النوافذ، إضافة إلى قياسات أخرى. وتستخدم مظلات خارجية للنوافذ وستائر داخلية لتعكس الضوء؛ للتحكم في سطوع ضوء الشمس والضوء المنعكس عن الغيوم والأجسام المختلفة. ويستخدم الزجاج المعتم للحدّ من نفاذية الضوء القادم من الشمس، ومن ثم يحدّ من كمية الضوء المرئي النافذ إلى العين.

استخدام النماذج

الاستضاءة الناتجة عن مصدر ضوئي نقطي ليتصور الطلبة بشكل أفضل كيفية قياس الاستضاءة الناتجة عن مصدر نقطي، اطلب إليهم وضع لوحين مربعي الشكل مستويين بشكل رأسيّ على أن يكونا متقابلين، بحيث يوضع مصدر للضوء بين اللوحين على مسافة متساوية من كل لوح. ويكون المصدر الضوئي مصباحًا كهربائيًّا صغيرًا دون ظل؛ أي يصدر ضوءًا في الاتجاهات جميعها؛ لذا يستقبل كلا اللوحين كمية متساوية من الضوء. والآن اطلب إلى الطلبة وضع أربعة أو خمسة ألواح عند مسافات وزوايا مختلفة من المصباح الكهربائي. سيكون كل لوح من هذه الألواح مُضاءً بصورة مختلفة عن الآخر، إذ تكون الألواح الموضوعة بشكل رأسيّ والأكثر قربًا من مصدر الضوء لها استضاءة أكبر. م2 **حركي**

نشاط **تحدٍّ**

قانون الاستضاءة ركّب جهاز فوتومتر بنزن ذا بقعة الزيت a grease-spot Bunsen photometer، على أن يكون مزودًا بمصدر ضوئي شدة إضاءته غير معروفة عند أحد طرفيه، ومصباح كهربائي كمصدر ضوئي معروف شدة الإضاءة عند طرفه الآخر. اضبط الفوتومتر إلى أن تصبح الاستضاءة متماثلة وذلك عند اختفاء بقعة الزيت عند النظر إليها من الجانبين. ثم اطلب إلى الطلبة تحديد شدة إضاءة المصدر غير المعروف. يقيس الطلبة المسافة بين كل مصدر ضوئي وبقعة الزيت. إذا كان التدفق الضوئي للمصباح الكهربائي محددًا بوحدة لومن (lm) وجب تحويله إلى وحدة الشمعة، وذلك بقسمته على المعامل 4π. ثم باستخدام قانون التربيع العكسي، يستطيع الطلبة مساواة نسبتي شدة الاستضاءة على مربع البعد من كل جانب، وحل المعادلة بالنسبة لشدة الاستضاءة المجهولة. م3 **بصري - مكاني**

مثال صفي

سؤال سقط ضوء من مصباح كهربائي يدوي على جدار يبعد مسافة 2.0 m، فإذا كان التدفق الضوئي للمصباح 8.0×10^2 lm فما مقدار الاستضاءة على الجدار؟

الإجابة

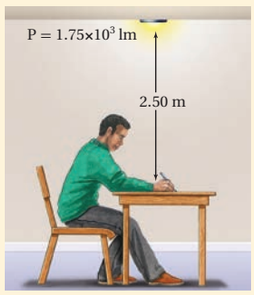
$$E=\frac{P}{4\pi r^2}=\frac{8.0\times10^2\ \text{lm}}{4\pi(2.0\ \text{m})^2}$$
$$=16\ \text{lx}$$

مسائل تدريبية

1. بعد تحرّك المصباح الكهربائي فإن الاستضاءة تعادل $\frac{1}{9}$ الاستضاءة الأصلية.
2. 3.2 m

مثـــال 1

استضاءة سطح ما الاستضاءة الواقعة على سطح المكتب في الصورة المجاورة إذا أُضيء بمصباح كهربائي تدفقه الضوئي 1.75×10^3 lm، علمًا بأنه موضوع على بُعد 2.50 m فوق سطح المكتب؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- افترض أن المصباح الكهربائي مصدر نقطي.
- ارسم موقع المصباح والمكتب، وعيّن r، P.

المعلوم	المجهول
$P = 1.75\times10^3$ lm	$E = ?$
$r = 2.50$ m	

2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن السطح متعامد مع اتجاه انتقال الشعاع الضوئي، لذا يمكنك أن تطبق معادلة الاستضاءة بفعل المصدر النقطي.

$$E=\frac{P}{4\pi r^2}$$

بالتعويض عن $P = 1.75\times10^3$ lm, $r = 2.50$ m

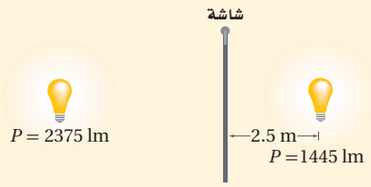
$$=\frac{1.75\times10^3\ \text{lm}}{4\pi(2.50\ \text{m})^2}$$
$$=22.3\ \text{lm/m}^2=22.3\ \text{lx}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن وحدات الاستضاءة $\text{lm/m}^2 = \text{lx}$ تتفق مع الإجابة.
- **هل تعبّر الإشارات عن معنى؟** المقادير كلها موجبة، كما يجب أن تكون.
- **هل الجواب منطقي؟** إن الاستضاءة أقل من التدفق الضوئي، والتي ينبغي أن تكون عند هذه المسافة.

مسائل تدريبية

1. تحرّك مصباح فوق صفحات كتاب بدءًا من مسافة 30 cm إلى 90 cm، قارن بين استضاءة الكتاب قبل الحركة وبعدها.
2. وضعت شاشة بين مصباحين كهربائيين يُضيئانها بالتساوي، كما في **الشكل 7–3**. فإذا كان التدفق الضوئي للمصباح الأول 1445 lm عندما كان يبعد مسافة 2.5 m عن الشاشة فما بُعد المصباح الثاني عن الشاشة إذا كان تدفقه الضوئي 2375 lm؟



الشكل 7–3

64

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلم

قانون التربيع العكسي استخدم لوحًا خشبيًّا صغيرًا يحوي ثقوبًا عدة، ومصباحًا كهربائيًّا صغيرًا ذا شدة إضاءة كبيرة (ساطع). أزل غطاء المصباح الكهربائي، ثم اطلب إلى الطلبة حمل المصباح واللوح، بحيث يمر ضوء المصباح من خلال الثقوب التي في اللوح ليسقط على السبورة. ثم ضع اللوح عند منتصف المسافة بين المصباح والسبورة، ثم عتم الغرفة، واطلب إلى أحد الطلبة رسم مربع على السبورة حول المساحة المضاءة نتيجة مرور الضوء من ثقوب اللوح. اطلب إلى الطلبة المقارنة بين المساحة المضاءة على السبورة والمساحة المضاءة على اللوح الخشبي. المساحة على السبورة تعادل أربعة أضعاف المساحة على اللوح. ضع اللوح عند ثلث المسافة بين المصباح والسبورة، ثم كرّر العملية. إن المساحة على السبورة تعادل تسعة أضعاف المساحة على اللوح. م ١ **حركي**

يتعين على المهندسين الذين يصمّمون أنظمة الإنارة معرفة كيف يستخدم الضوء. فإذا كان المطلوب هو الحصول على إضاءة منتظمة لتجنب المساحات المظلمة فإن التصميم المناسب هو توزيع مصادر الإضاءة على المساحة المطلوب إنارتها، بحيث تكون المسافات بينها متساوية، كما هو معمول به في إنارة غرفة الصف. ولأن بعض مصادر الإضاءة لا تولّد فعليًّا ضوءًا موزعًا بالتساوي فإن المهندسين يصمّمون مصادر ضوئية خاصة؛ وذلك للتحكم في توزيع الإضاءة وانتشارها؛ فمثلاً يُنفّذون أنظمة إنارة موزعة بانتظام على مساحات كبيرة. وقد بُذلت جهود كبيرة في هذا المجال، وخصوصًا للمصابيح الأمامية في السيارات.

3-1 مراجعة

3. **الخصائص الضوئية للمواد** غالبًا ما يتم اختيار ستائر النوافذ بحيث تكون شبه شفافة أو معتمة. ما أهمية ذلك في كل حالة؟

4. **الاستضاءة** هل يولّد مصباح كهربائي واحد استضاءة أكثر من مصباحين متماثلين يقعان على ضعفي بُعد مسافة المصباح الأول؟ وضّح إجابتك.

5. **شدة الإضاءة** يضيء مصباحان شاشة بالتساوي بحيث يقع المصباح A على بعد 5.0 m، ويقع المصباح B على بعد 3.0 m، فإذا كانت شدة إضاءة المصباح A 75 cd، فما شدة إضاءة المصباح B؟

6. **بُعد المصدر الضوئي** افترض أن مصباحًا كهربائيًّا يضيء سطح مكتبك ويولّد فقط نصف الاستضاءة المطلوبة. فإذا كان المصباح يبعد حاليًّا مسافة 1.0 m فكم ينبغي أن يكون بعده ليولّد الاستضاءة المطلوبة؟

7. ماذا يحدث لاستضاءة صفحات كتاب عند تحريك المصباح بعيداً عن الكتاب ؟

8. ماذا يحدث لشدّة إضاءة المصباح عند تحريكه بعيدًا عن كتاب؟

9. **التفكير الناقد** عمود إنارة يحوي مصباحين متماثلين يرتفعان 3.3 m عن سطح الأرض. فإذا أراد مهندسو البلدية توفير الطاقة الكهربائية وذلك بإزالة أحد المصباحين، فكم يجب أن يكون ارتفاع المصباح المتبقي عن الأرض لإعطاء الاستضاءة نفسها على الأرض؟

3-1 مراجعة

3. تستخدم ستائر شبة شفافة لأنه لا يمكن رؤية الأجسام بوضوح من خلالها ، فتمنع النظر إلى الأشخاص من الداخل أو الخارج ، في حين تسمح هذه الستائر لضوء النهار بالدخول. وتستخدم ستائر معتمة للحيلولة دون دخول الضوء .

4. يولّد مصباح واحد استضاءة أكبر مرتين من الاستضاءة التي يولّدها مصباحان مماثلان معًا يقعان عند ضعفي المسافة.

5. 27 cd

6. $d_f = \sqrt{\frac{1}{2}}\ m = 0.71\ m$

7. تتناقص الاستضاءة وتوصف بوساطة قانون التربيع العكسي .

8. لا يوجد تغيّر ، لا تؤثر المسافة في شدة الإضاءة .

9. 2.3 m

تعزيز الفهم

نموذج الشعاع الضوئي اطلب إلى الطلبة رسم خريطة مفاهيمية لنموذج الشعاع الضوئي تربط كلٍ من المفاهيم التالية: المصادر المضيئة، والمصادر المستضيئة (المُضاءة)، وأنواع الأوساط، وكمية الضوء، وسرعة الضوء، وقانون التربيع العكسي.

م2 بصري - مكاني

3. التقويم

التحقق من الفهم

الاستضاءة وشدة الإضاءة اطلب إلى الطلبة أن يميّزوا بين معنى ووحدات شدة الإضاءة والاستضاءة، وكيف يرتبطان معًا بقانون التربيع العكسي. إن شدة الإضاءة عبارة عن تدفق ضوئي (معدل انبعاث الطاقة الضوئية من المصدر الضوئي) مقسومًا على المعامل 4π، ويقاس بوحدة الشمعة. أما الاستضاءة فهي معدل سقوط الضوء على السطح، وتقاس بوحدة لوكس أو lm/m^2. والاستضاءة عند نقطة معينة تتناسب مع شدة الإضاءة مقسومة على مربع البعد عن مصدر الضوء. م1

التوسّع

الأشعة الضوئية اطلب إلى الطلبة تخيّل كيف يمكن أن تتأثر طريقة رؤيتنا للأشياء إذا انتقل الضوء في مسار منحنٍ بدلاً من انتقاله في خط مستقيم. واطلب إليهم أن يكتبوا نصًّا يصفون فيه التغير الذي يتصوّرونه. م2 لغوي

3-2 الطبيعة الموجية للضوء

1. التركيز

نشاط محفز

الحيود اسأل الطلبة: لماذا نستطيع سماع أحدهم يتحدث في الغرفة المجاورة، على الرغم من أننا لا نراه؟ إذا أجاب الطلبة إن الصوت ينتقل خلال الجدار، والضوء لا ينتقل من خلاله، فوضّح لهم أنك قادر على سماعهم حتى إذا لم ينتقل الصوت خلال الجدار. لكل من الصوت والضوء خصائص موجية، لذلك فإنهما يحيدان من خلال المداخل بشكل عام. ولأن الطول الموجي للصوت أكبر كثيرًا من الطول الموجي للضوء، فإن الصوت يحيد حول مداخل الحواف الواسعة في حين لا يحيد الضوء عندما يعبر من خلالها.

م2 منطقي– رياضي

الربط مع المعرفة السابقة

الموجات المستعرضة يطبّق الطلبة ما تعلموه عن الموجات المستعرضة، وعليهم تذكر العلاقة الآتية: $\lambda=\frac{v}{f}$.

تأثير دوبلر على الطلبة أن يكونوا على معرفة جيدة بتأثير دوبلر من خلال دراستهم السابقة للصوت.

الأهداف

- **تصف** كيف يثبت الحيود عمليًّا أن الضوء عبارة عن موجات.
- **تتوقع** تأثير ألوان الضوء المتراكبة والأصباغ الممزوجة.
- **توضّح** ظاهرتي الاستقطاب وتأثير دوبلر.

المفردات

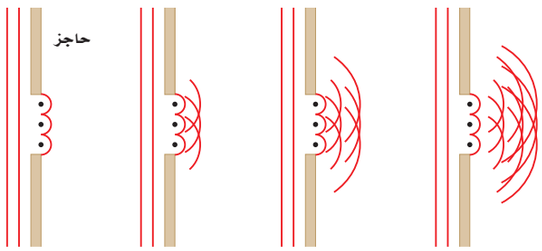
الحيود
اللون الأساسي
اللون الثانوي
اللون المتمِّم
الاستقطاب
قانون مالوس

لعلك تعرف أن الضوء مكوّن من موجات، ولكن ما الأدلة على صحة ذلك؟ افترض أنك تسير في اتجاه غرفة الموسيقى في المدرسة وباب الغرفة مفتوح، فتستمع بالتأكيد صوت الموسيقى وأنت تتحرك في اتجاه باب الغرفة قبل أن ترى أعضاء الفرقة الموسيقية من خلال الباب؛ وذلك لأن الصوت يصل إليك بانحرافه حول حافة الباب، في حين يسير الضوء الذي يجعلك ترى أعضاء الفرقة بخطوط مستقيمة فقط. فإذا كان الضوء مكوّنًا من موجات فلماذا لا يسلك الضوء الطريقة نفسها التي يسلكها الصوت؟ يسلك الضوء في الواقع سلوك الصوت نفسه، إلا أنه في حالة الضوء يكون أقل وضوحًا مقارنة بالصوت.

الحيود والنموذج الموجي للضوء
Diffraction and the Wave Model of Light

لاحظ العالم الإيطالي فرانسيسكو ماري جريمالدي في عام 1665 أن حواف الظلال ليست حادة تمامًا. فقد أدخل حزمة ضيقة من الضوء إلى داخل غرفة مظلمة، وأمسك بقضيب أمام الضوء حيث أسقط الظل على سطح أبيض. فكان ظل القضيب المتكون على السطح الأبيض أعرض من الظل الذي ينبغي أن يكون في حالة انتقال الضوء في خط مستقيم مرورًا بحواف القضيب، ولاحظ جريمالدي أيضًا أن الظل مُحاط بحزم ملونة. وعرّف جريمالدي هذه الظاهرة **بالحيود** وهي انحناء الضوء حول حواف الحواجز.

حاول العالم الدنماركي كريستيان هيجنز في عام 1678 برهنة النموذج الموجي؛ وذلك لتفسير ظاهرة الحيود. واعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار النقاط كلها على صدر الموجة الضوئية، وكأنها تمثل مصادر جديدة لموجات صغيرة. وتنتشر هذه الموجات الصغيرة في جميع الاتجاهات بعضها خلف بعض. يتكون صدر الموجة المستوية من عدد غير محدود من المصادر النقطية في خط واحد، وعندما يعبر صدر الموجة هذا حافة ما فإن الحافة تقطع صدر الموجة، حيث تنتشر كل موجة دائرية تولدت بوساطة أي نقطة من نقاط هيجنز على شكل موجة دائرية في الحيز الذي انحنى عنده صدر الموجة الأصلية، كما في **الشكل 8–3** . وهذا هو الحيود.



الشكل 8–3 اعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار قمة كل موجة سلسلةً من المصادر النقطية. وينشئ كل مصدر نقطي مويجة دائرية، وتتراكب المويجات لتكوين مقدمة موجة مستوية، ما عدا المناطق عند الحواف؛ حيث تتحرك المويجات الدائرية لنقاط هيجنز عندها بعيدًا عن صدر الموجة.

الألوان Colors

حثت نتائج العالم جريمالدي عام 1665 حول الحيود العالم نيوتن على إجراء تجارب على الألوان، وذلك عن طريق تمرير حزمة ضيقة من ضوء الشمس خلال منشور زجاجي، كما في **الشكل 9–3** . فلاحظ تكوّن ترتيب منظّم للألوان أطلق عليه نيوتن اسم الطيف. كما اعتقد نيوتن أن جسيمات الضوء تتفاعل بطريقة متفاوتة في الزجاج لتولّد الطيف؛ وذلك اعتمادًا على النموذج الجسيمي للضوء.

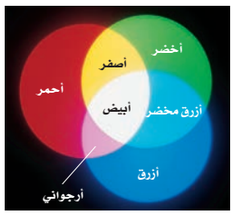
ولاختبار هذا الافتراض سمح نيوتن للطيف النافذ من المنشور الأول بالسقوط على منشور آخر، فإذا تولّد الطيف نتيجة التفاوت في تفاعل الزجاج مع جسيمات الضوء فإن المنشور الثاني سيزيد من انتشار الألوان، وبدلاً من ذلك فقد عكس المنشور الثاني انتشار الألوان وأعاد تراكبها لتكوّن اللون الأبيض. وبعد إجراء المزيد من التجارب، استنتج نيوتن أن اللون الأبيض مركّب من ألوان عدّة، وأن هناك خاصية أخرى للزجاج غير عدم انتظامه هي التي تؤدي إلى تحلّل الضوء إلى مجموعة من الألوان.

واعتمادًا على تجارب جريمالدي وهيجنز وغيرها، فإن للضوء خصائص موجية، وأن لكل لون من ألوان الضوء طولاً موجيًّا محدّدًا. وتقع منطقة الضوء المرئي ضمن نطاق من الأطوال الموجية، يتراوح بين 400 nm و700 nm تقريبًا، كما في **الشكل 10–3**. وأكبر هذه الأطوال الموجية هو طول موجة الضوء الأحمر، وكلما تناقص الطول الموجي تحوّل اللون إلى البرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق النيلي وأخيرًا البنفسجي.

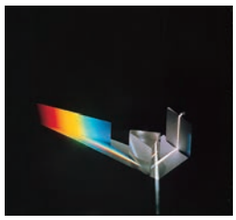
الشكل 10–3 يمتد الطيف الضوئي من الطول الموجي الكبير (اللون الأحمر) إلى الطول الموجي القصير (اللون البنفسجي).

عندما يعبر الضوء الأبيض الحد الفاصل من الهواء إلى داخل الزجاج ويعود مرة أخرى إلى الهواء كما في **الشكل 9–3**، فإن الطبيعة الموجية تؤدي إلى انحناء كل لون من ألوان الضوء، أو انكساره، بزاوية مختلفة، وهذا الانحناء غير المتساوي للألوان المختلفة يتسبب في انتشار الضوء الأبيض على شكل طيف. وهذا يعني أن الأطوال الموجية المختلفة للضوء تتفاعل مع المادة بطرائق مختلفة يمكن التنبؤ بها.

اللون بوساطة مزج أشعة الضوء يتشكّل الضوء الأبيض من الضوء الملوّن بطرائق مختلفة. فمثلاً عندما يُسلّط الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بشدة مناسبة على شاشة بيضاء كما في **الشكل 11–3**، تظهر المنطقة التي تتداخل فيها هذه الألوان على الشاشة باللون الأبيض. أي أن هذه الألوان (الأحمر والأخضر والأزرق) تُشكّل الضوء الأبيض عندما تتراكب، وتسمى عملية جمع ألوان الضوء. وهي تستخدم في أنابيب الألوان في التلفاز، حيث تحتوي هذه الأنابيب على مصادر نقطية متناهية في الصغر لكل من



الشكل 11–3 التراكيب المختلفة للضوء الأزرق والأخضر والأحمر يمكن أن تشكّل الضوء الأصفر، أو الأزرق مخضر، أو الأرجواني أو الضوء الأبيض.



الشكل 9–3 عندما يمر الضوء الأبيض خلال منشور فإنه يتحلّل إلى ألوان الطيف.

2. التدريس

تطوير المفهوم

اللون وسرعة الضوء اطلب إلى الطلبة تصور انفجار نجم عملاق، وتحوله إلى نجم مستعر في مكان ما في الفضاء الخارجي، وأن الضوء الصادر عن هذا الانفجار يقترب من الأرض. اسألهم ماذا يتوقعون أن يروا إذا كانت سرعة الضوء تختلف من لون إلى آخر؟ سيشاهدون الضوء من إحدى نهايتي الطيف يصل أولاً، وبعد ذلك تبدأ ألوان الطيف الأخرى في الظهور تدريجيًّا حتى نهاية الطيف. ولأن هذا ليس ما يمكن مشاهدته في الواقع، فإننا نستنتج أن سرعة الضوء في الفضاء هي نفسها لجميع ألوان الضوء.

م 2 **منطقي– رياضي**

نشاط

الألوان اعرض على الطلبة أجسامًا ذات ألوان مختلفة، ثم عتم الغرفة، ثم انظر إلى هذه الأجسام عندما تضيئها بضوء مصباح يدوي. ثم ضع مرشّحات ألوان مختلفة (مثل الأحمر والأزرق والأخضر) على المصباح، وشاهد الأجسام نفسها. اطلب إلى الطلبة التفكير في كيفية اختلاف هذه الخبرة عن خبرتهم السابقة حول الأصباغ. م 2 **بصري– مكاني**

عرض سريع

ألوان الضوء

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات شاشة بيضاء، وثلاثة مصادر ضوئية تصدر ألوان الضوء الأساسية (أحمر، وأزرق، وأخضر)

الخطوات أضِئ المصادر الضوئية الثلاثة ووجّهها نحو الشاشة، بحيث تظهر منطقة تتراكب فيها الألوان الثلاثة، ومناطق يتراكب فيها زوج من الألوان، ومناطق أخرى يظهر فيها كل لون أساسي واضحًا بشكل منفرد. اطلب إلى الطلبة أن يصفوا ما يشاهدونه. سيشاهد الطلبة أن الألوان الثلاثة معًا تكوّن الضوء الأبيض، وأن اللونين الأزرق والأخضر يكوّنان اللون الأزرق المخضر، وأن اللون الأحمر والأخضر يكونان اللون الأصفر، أما اللونان الأزرق والأحمر فسيكوّنان اللون الأرجواني.

تجربة

علاقة الألوان بدرجة الحرارة

الهدف ربط الألوان بدرجات الحرارة.

المواد والأدوات منشـــور زجاجي، ومصباح كهربائي مزود بمفتاح تحكم في الشـدة الضوئية.

النتائج المتوقعة عندما تـزداد شـدة إضاءة المصبـاح الكهربائـي، فـإن كل لـون مـن ألـوان الطيف سـيكون مرئيًّا، بحيث يظهر بداية اللون الأحمر، ويظهر أخيرًا اللون البنفسجي.

التحليل والاستنتاج

5. عندمـا يكـون الضـوء خافتًا يظهـر اللونان الأحمر والبرتقالي.
6. عند أقصى إضاءة ممكنة للمصباح الكهربائي يظهر اللونان الأزرق والبنفسجي.
7. يكـون المصبـاح الكهربائـي الخافت بـاردًا مقارنـة بالمصبـاح الكهربائي السـاطع؛ لذا يمكـن لمسـه. وتـزداد درجـة حـرارة فتيلة المصبـاح بزيادة سـطوع الضـوء. إن الطول الموجي الكبير للضوء يرتبط بدرجة الحرارة المنخفضـة، أمـا الطـول الموجـي القصـير للضوء فيرتبط بدرجة الحرارة المرتفعة.

التفكير الناقد

انعكاس الضوء اسأل الطلبة: ما لون الضوء الذي لا يفيد النبات؟ ولماذا؟ الضوء الأخضر؛ فالنباتات تظهر باللون الأخضر لأنها تعكس الضوء الأخضر وتمتص الألوان الأخرى. ولا يمكنها امتصاص الضوء الأخضر لتستخدمه في عملية البناء الضوئي.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الألوان الأساسية بيّن للطلبة أن ألوان الضوء الأساسية (الأزرق، والأحمر، والأخضر) هي ألوان ثانوية في الأصباغ، وأن ألوان الضوء الثانوية (الأصفر، والأزرق الداكن، والأرجواني) هي ألوان أساسية في الأصباغ.

تجربة

علاقة الألوان بدرجة الحرارة

يشير بعض الرسامين إلى اللونين الأحمر والبرتقالي على أنهما ألوان حارة، وإلى اللونين الأزرق والأخضر على أنهما ألوان باردة. فهل ترتبط الألوان فعليًا بدرجة الحرارة؟

1. احصل على منشور زجاجي من معلمك.
2. أحضر مصباحًا كهربائيًا مزوّدًا بمفتاح تحكم في الشدة الضوئية، وأشعله وعتّم الغرفة، واضبط مفتاح التحكم عند أقل سطوع للمصباح.
3. زد مقدار سطوع المصباح ببطء. تحذير: يمكن أن يسخن المصباح ويؤدي إلى حروق في الجلد.
4. راقب لون الضوء الناتج عن المنشور، وكيف يرتبط اللون مع سخونة المصباح الكهربائي التي تشعر بها في يدك؟

التحليل والاستنتاج

5. ما الألوان التي ظهرت أولاً عندما كان الضوء خافتًا؟
6. ما الألوان التي ظهرت عند أقصى إضاءة ممكنة؟
7. كيف ترتبط هذه الألوان مع درجة حرارة فتيلة المصباح؟

الضـوء الأحمـر والأخـضر والأزرق. وعندما يكون لـكل لون من ألـوان الضوء الثلاثة شـدة مناسـبة تظهر الشاشـة باللـون الأبيض. لذا فـإن كلًّا من اللـون الأحمر والأخضر والأزرق يُسـمى **لونًـا أساسـيًّا** أو أوليًّا. ويمكـن مـزج الألوان الأساسـية على شـكل أزواج لتشـكيل ثلاثـة ألـوان إضافيـة كـما يتضح مـن **الشـكل 11–3**. فالضـوء الأحمر والأخـضر يشـكّلان معًـا الضـوء الأصفر، في حـين يشـكّل الضـوء الأزرق والأخضر معًـا الضـوء الأزرق المخضر (الفـيروزي)، أمـا الضوء الأحمـر والأزرق فيشـكّلان معًا الضـوء الأرجـواني (الأحمر المزرق). ويُسـمى كل من اللون الأصفـر والأزرق المخضر (الفـيروزي) والأرجـواني **لونًـا ثانويًّا**؛ لأن كلًّا منهـا مركّـب مـن لونـين أساسـيين.

ويتضـح مـن **الشـكل 11–3**، أن الضـوء الأصفـر يتكون مـن الضوء الأحمـر والضوء الأخـضر، وإذا سُـلِّط اللونان الأصفر والأزرق على شاشـة بيضاء بشـدة مناسـبة يظهر سـطح الشاشـة باللون الأبيض. ويُسـمى اللونان الضوئيان اللذان يتراكبان معًا لإنتاج اللون الأبيض **الألوان المتتامة**. لذا فإن اللون الأصفر لون متمِّم للون الأزرق، والعكس صحيح؛ لأن اللونين يتراكبان معًا لينتجا اللون الأبيض. وبالطريقة نفسـها فإن الأزرق المخضر والأحمر لونان متتامان، وكذلك الأرجواني والأخضر. لذا يمكن تبييض الملابس المصفرّة باستخدام عامل أزرق اللون يضاف إلى محسوق الغسل.

اللون بوسـاطة اختزال أشـعة الضوء يمكن للأجسـام أن تعكس الضوء، وتمرّره، كـما يمكنهـا امتصاصـه. ولا يعتمـد لـون الجسـم فقـط عـلى الأطـوال الموجية للضوء الـذي يـضيء الجسـم، بـل يعتمـد أيضًا عـلى الأطـوال الموجيـة التـي امتصها الجسـم، وعـلى الأطـوال الموجيـة التـي عكسـها. إن وجـود المـواد الملوّنـة بصـورة طبيعيـة أو إضافتهـا اصطناعيًّـا إلى المـادة المكوّنة للجسـم أو إضافة أصباغ إليه يكسـبه لونًا خاصًّا.

إن المـواد الملوّنـة عبـارة عـن جزيئـات لهـا القدرة عـلى امتصاص أطـوال موجيـة معينة للضـوء، وتسـمح لأطـوال موجيـة أخـرى بالنفـاذ مـن خلالهـا أو تعكسـها. وعندمـا يُمتـص الضـوء فـإن طاقتـه تنتقـل إلى الجسـم الذي اصطـدم بـه، وتتحول إلى أشـكال أخـرى مـن الطاقـة. فالقميـص الأحمـر لونه أحمـر لأن المـواد الملوّنـة فيه تعكـس اللون الأحمـر إلى أعيننـا. فعندمـا يسـقط الضـوء الأبيض عـلى الجسـم الأحمر اللـون الموضح في **الشـكل 12–3** فـإن جزيئـات المـواد الملوّنـة في الجسـم تمتـص الضـوء الأزرق والأخـضر وتعكـس الضـوء الأحمـر. أمـا عندمـا يسـقط الضـوء الأزرق فقـط عـلى جسـم لونـه أحمر فـإن مقدارًا يسـيرًا مـن الضوء ينعكـس ويظهر الجسـم غالبًا أسـودًا.

الشكل 12–3 تمتص المواد الملوّنة في حجر النرد أطوالاً موجية مختلفة بشكل انتقائي وتعكسها. حجر النرد مُضاء بالضوء الأبيض (a)، والضوء الأحمر (b)، والضوء الأزرق (c).

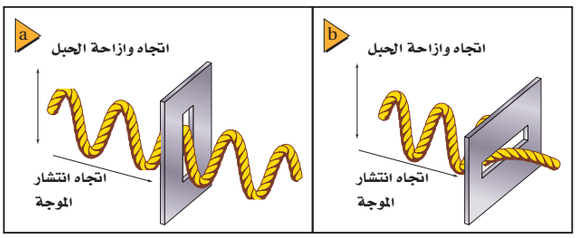
تظهر مكعبات النرد الأحمر والأصفر والأخضر بلون معتم، والمكعبات الأبيض والأزرق باللون الأزرق.

تظهر المكعبات الأصفر والأزرق والأخضر باللون المعتم، والأحمر والأبيض باللون الأحمر.

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

رؤية الألوان تعلم الطلبة سـابقًا أن هناك نوعين من الخلايا في شـبكية العين؛ ألا وهي القضبان والمخاريط. فعندما يسـقط الضوء على إحدى هذه الخلايا فإنه يسـبب حدوث تفاعـل كيميائـي ينتج عنه نبضة عصبية. وتدمج الأعصاب في شـبكية العين المعلومات القادمة من القضبان والمخاريط المتعددة، حيث تعمل كمعالج بيانات، ثم ترسل إشارة إلى الدماغ، حيث تتكون الصورة. ويتكوّن 95% من هذه الخلايا من القضبان، التي تعد حساسـة للضوء الخافت؛ ومن ثم تكون مسـؤولة عن الرؤيا في الليل أو الظلام. وهناك ثلاثة أنواع من المخاريط، متمركزة في مركز الشبكية؛ حيث يكون أحد أنواعها حسّاسًا للضوء المائل إلى الزرقة، ونوع آخر حسّـاس للضـوء المائل إلى الحمرة، أما ثالثها فيكون حسّاسًا للضوء المائل إلى الخضرة.



الشكل 13–3 في الحبل المستخدم كنموذج لموجات الضوء يُمثّل الضوء فيه بموجة واحدة تنتقل وتهتز في المستوى الرأسي (a). ولا تستطيع المرور من خلال المستقطب الأفقي (b).

استقطاب الضوء Polarization of Light

هل سبق أن نظرت إلى الضوء المنعكس عن طريق من خلال نظارات شمسية مستقطبة؟ ستلاحظ أنه عندما تُدير النظارات تبدو الطريق في البداية مظلمة، ثم مضيئة، ثم مظلمة مرة أخرى مع استمرار التدوير. أما عند تدوير النظارات في اتجاه ضوء منبعث من مصباح كهربائي فسيكون مقدار تغير الضوء ضئيلاً. فما سبب وجود هذا الفرق؟ إن ضوء المصباح العادي غير مستقطَب، في حين أن الضوء القادم من الطريق قد انعكس وأصبح مستقطبًا. **والاستقطاب** هو إنتاج ضوء يتذبذب في مستوى واحد.

الاستقطاب بالترشيح (الفلترة) يمكن فهم الاستقطاب من خلال الحبل المستخدم كنموذج لموجات الضوء الموضح في **الشكل 13–3**، حيث تمثّل الموجة الميكانيكية المستعرضة في الحبل الموجات الضوئية المستعرضة، أما الشق فيمثل ما يعرف بمحور الاستقطاب لوسط الاستقطاب. فعندما تكون موجات الحبل موازية للشق فإنها تعبر من خلاله، أما عندما تكون الموجات متعامدة مع الشق فلا تعبر من خلاله، بل تحجب. وتحتوي أوساط الاستقطاب جزيئات طويلة تتمكن خلالها الإلكترونات من التذبذب، أو الحركة إلى الأمام وإلى الخلف، جميعها في الاتجاه نفسه. فعندما ينتقل الضوء عابرًا الجزيئات تمتص الإلكترونات الموجات الضوئية التي تتذبذب في اتجاه تذبذب الإلكترونات نفسه. وتسمح هذه العملية للموجات الضوئية المهتزة في اتجاه معيّن بالعبور من خلالها، في حين تمتص الموجات المهتزة في الاتجاه الآخر. ويُسمى اتجاه وسط الاستقطاب المتعامد مع الجزيئات الطويلة بمحور الاستقطاب. والموجات التي تتمكن من العبور هي فقط تلك الموجات المهتزة بصورة موازية للمحور.

يحتوي الضوء العادي على موجات تهتز في كل اتجاه عموديّ على اتجاه انتقالها. فإذا وضع وسط الاستقطاب في طريق حزمة من الضوء العادي فإن مركّبات الموجات التي ستنفذ من خلاله هي فقط تلك المركّبات التي تكون في اتجاه محور الاستقطاب نفسه. وينفذ في المتوسط من خلال وسط الاستقطاب نصف كمية الضوء الكلي، لذا تنخفض شدة الضوء بمقدار النصف. وينتج وسط الاستقطاب ضوءًا مستقطبًا، ويُسمى مثل هذا الوسط مرشِّح (فلتر) الاستقطاب.

الاستقطاب بالانعكاس عندما تنظر من خلال مرشِّح استقطاب إلى الضوء المنعكس عن لوح زجاجيّ وتُدوّر المرشح ستلاحظ أن الضوء يسطع ثم يخفت. وهذا يعني أنه حدث استقطاب جزئيّ للضوء في اتجاه سطح الزجاج عندما انعكس؛ أي أن الأشعة

الشكل 14–3 التقطت هذه الصورة لمتجر ملابس دون استخدام فلتر استقطاب؛ ويظهر فيها توهج الضوء على سطح النافذة (a). والتقطت الصورة للمشهد نفسه باستخدام فلتر استقطاب (b).

عرض سريع

الألوان من لون

التلفاز اطلب إلى الطلبة النظر إلى جهاز التلفاز بوساطة عدسة مكبرة. سيلاحظون أن الصورة في الحقيقة مكونة من نقاط صغيرة جدًّا لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. وتسمى كل نقطة من هذه النقاط (البيكسل pixel)، وتحتوي كل منها على الضوء الأحمر والضوء الأخضر والضوء الأزرق. وعند تغيّر سطوع كل نقطة من نقاط الشاشة (بيكسل) ينتج مدى من الألوان والظلال الإضافية. وعندما تخفت ألوان نقاط الشاشة جميعها يظهر اللون الأسود. ويظهر اللون الأبيض عندما تسطع ألوان نقاط الشاشة جميعها. وعملية مزج ألوان الضوء هذه تُسمّى اللون بوساطة مزج أشعة الضوء أو اللون بالجمع أو اللون التجميعي. م2 بصري-مكاني

استخدام الشكل 13–3

لمساعدة الطلبة على فهم كيفية عمل مرشّحات الاستقطاب أدخل حبلًا صغيرًا خلال شقّ طويل في قطعة ورق كرتون مقوّى، ثم ولّد موجات مستعرضة في الحبل، ثم وضّح لهم أنه عندما تكون الموجات مستقطبة في اتجاه الشق نفسه، فإنها تنفذ من خلاله. أما إذا كانت الموجات مستقطبة في اتجاه متعامد مع الشقّ فإنها لن تنفذ من خلاله. ثم وضّح لهم أنه على الرغم من أن هذا النموذج يساعد الطلبة على فهم الاستقطاب، إلا أنه ليس دقيقًا تمامًا؛ حيث تمتص – في الواقع – مادة المرشّح الطاقة من الموجة الضوئية، ثم تنبعث منها هذه الموجة مرة أخرى بطريقة معينة اعتمادًا على الاتجاه بينهما. م2 بصري-مكاني

نشاط طرائق تدريس متنوعة

تحدٍّ جسدي أعط الطلبة مرشّحات استقطاب، واطلب إليهم أن يشاهدوا أجسامًا مختلفة من خلال المرشّحات، وأن يُدوّروا المرشّحات ويلاحظوا ما يحصل لهذه الأجسام. ولكي يتمكّن الطلبة المحدودي الحركة من إدراك التغير، وفّر مجموعة متنوعة من الأشياء المحمولة التي يمكن أن تُشاهد؛ كالآلة الحاسبة المزودة بشاشة LCD أو مقياس درجة حرارة مصنوع من البلورات السائلة. ينبغي أن يتوصل الطلبة إلى أن المرشّح لا يغير لون معظم الأجسام، وأن معظم الأجسام لا يتغيّر مظهرها عندما يُدار المرشّح، بينما تتغير السطوح العاكسة الملساء؛ كالنوافذ مثلاً، بصورة ملحوظة عند دورانه. كما تختفي الشاشات المصنوعة من البلورات السائلة عندما يُدار المرشّح بطريقة صحيحة.

م1 حركي

التفكير الناقد

الاستقطاب اطلب إلى الطلبة تخيل مصدر ضوء غير مستقطب ومرشّحي استقطاب، وقد رتّبت بطريقة بحيث لا ينفذ الضوء من خلال المرشّح الثاني. ثم اطلب إليهم تخيل أن أحد الطلبة يؤكد أنه يستطيع وضع مرشّح استقطاب ثالث بين المرشّحين السابقين، بحيث ينفذ الضوء من خلال مرشّحات الاستقطاب الثلاثة. اسأل الطلبة هل يمكنه فعلًا القيام بذلك؟ نعم. فوفق قانون مالوس، عندما يتم وضع مرشّح استقطاب ثالث على أن يصنع محور استقطابه زاوية مع محوري استقطاب المرشّحين السابقين فإن الضوء النافذ من مرشّح الاستقطاب الأول، سيكون مستقطبًا بالتوازي مع المرشّح الأوسط، ومع أن شدة الضوء النافذ من المرشّح الأول تنخفض بوساطة المرشّح الأوسط إلّا أن المرشّح الأوسط يعمل أيضًا على تغيير زاوية استقطاب الضوء، مما يجعل محور استقطاب الضوء النافذ منه موازيًا لمحور استقطاب المرشّح الأخير؛ مما يسمح لبعض الضوء بالنفاذ. م 2

■ **الشكل 15–3** عندما يتم ترتيب مرشّحي استقطاب بحيث يكون محورا استقطابهما متوازيين، تنفذ من خلالهما أكبر كمية من الضوء (**a**). ولن ينفذ الضوء من خلال مرشّحي الاستقطاب إذا تم ترتيبهما بحيث يكون محورا استقطابهما متعامدين (**b**).

الضوئية المنعكسة تحتوي على كمية كبيرة من الضوء المتذبذب بشكل موازٍ لسطح الزجاج. واستقطاب الضوء المنعكس عن الطرق هو السبب في تقليل التوهج عند استخدام النظارات الشمسية المستقطبة. ونستدل من حقيقة تغيّر شدة الضوء المنعكس عن الطرق نتيجة تدوير النظارات الشمسية المستقطبة على أن الضوء المنعكس مستقطب جزئيًّا. ويستطيع مصوّرو الفوتوجراف استخدام مرشّحات الاستقطاب وتثبيتها على عدسات الكاميرا لحجب الضوء المنعكس، كما هو موضح في **الشكل 14–3**.

تحليل الاستقطاب افترض أنك حصلت على ضوء مستقطب باستخدام مرشّح استقطاب، فإذا حدث إذا وضعت مرشّح استقطاب آخر في مسار الضوء المُستقطب؟ إذا كان محور الاستقطاب لمرشّح الاستقطاب الثاني موازيًا لمحور الاستقطاب لمرشّح الاستقطاب الأول فسينفذ الضوء من خلاله، كما في **الشكل 15a–3**. أما إذا كان محورا الاستقطاب لمرشّحي الاستقطاب متعامدين فلن ينفذ الضوء من خلاله، كما يتضح من **الشكل 15b–3**.

ويُسمّى القانون الذي يوضح مدى انخفاض شدة الضوء عندما يعبر من خلال مرشح استقطاب ثانٍ **قانون مالوس**. فإذا كانت شدة الضوء بعد مروره بمرشح الاستقطاب الأول هي I_1 فإن مرشّح الاستقطاب الثاني، الذي يصنع محور استقطابه زاوية مقدارها θ مع محور استقطاب المرشّح الأول، سينتج ضوءًا شدته I_2، بحيث تكون أقل من I_1 أو تساويها.

قانون مالوس $I_2 = I_1 \cos^2 \theta$

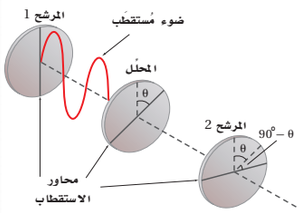
شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشّحين.

تستطيع باستخدام قانون مالوس أن تُقارن بين شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني وشدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول، ومن ثَم تستطيع تحديد الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشّحين. ويُسمى مرشّح الاستقطاب الذي يستخدم قانون مالوس لتحقيق ما تقدم بالمحلّل. وتستخدم المحلّلات لتحديد استقطاب الضوء المنبعث من أي مصدر ضوئي.

مسألة تحدٍّ

إذا وضعت مرشّحًا محلّلًا بين مرشّحين متقاطعين (محورا استقطابهما متعامدان)، بحيث لا يوازي محور استقطابه أيًّا من محوري استقطاب المرشّحين المتقاطعين، كما هو موضح في الشكل المجاور.

1. فإنك تلاحظ أن قسمًا من الضوء يمر من خلال المرشح 2، على الرغم من أنه لم يكن هناك ضوء يمر من خلال المرشح 2 قبل إدخال المرشّح المحلّل. فلمَ يحدث ذلك؟
2. إذا وضع المرشّح المحلّل بحيث يصنع محوره زاوية θ بالنسبة لمحور استقطاب المرشّح 1 فاشتق معادلة لحساب شدة الضوء الخارج من المرشّح 2 مقارنة بشدة الضوء الخارج من المرشّح 1.

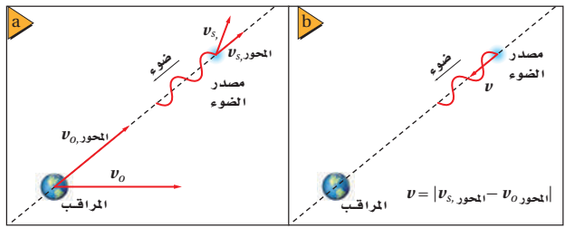


سرعة الموجات الضوئية The Speed of a Light Waves

تعلمت سابقًا أنّ الطول الموجي λ لموجة هو دالة رياضية في سرعة الموجة v للوسط الذي تنتقل فيه، وفي ترددها الثابت f. ويمكن وصف الضوء بوساطة النماذج الرياضية نفسها التي تستخدم في وصف الموجات عمومًا؛ لأن الضوء له خصائص موجية. ويكون الطول الموجي لضوء ذي تردد معلوم ينتقل في الفراغ عبارة عن دالة رياضية في سرعة الضوء c، حيث يمكن كتابتها على النحو التالي: $\lambda_0 = c/f$. ولقد زوّدنا تطور الليزر في ستينيات القرن الماضي بطرائق جديدة لقياس سرعة الضوء. كما يمكن قياس تردد الضوء بدقة متناهية؛ وذلك باستخدام أجهزة الليزر والزمن المعياري الذي تزودنا به الساعات الذرية. في حين يتم قياس الأطوال الموجية للضوء بدقة أقل كثيرًا، وتبلغ سرعة الضوء في الفراغ c=299792458 m/s، ويمكن استخدام القيمة $c=3\times10^8$ m/s في الحسابات الرياضية.

إن لألوان الضوء المختلفة ترددات وأطوالًا موجية مختلفة، ولكنها تنتقل جميعها في الفراغ بسرعة تساوي سرعة الضوء c. فإذا كان تردد موجة الضوء في الفراغ معروفًا أمكنك عندئذٍ حساب طولها الموجي، والعكس صحيح؛ وذلك لأن جميع الأطوال الموجية للضوء تنتقل في الفراغ بالسرعة نفسها. ويمكنك باستخدام القياسات الدقيقة لتردد الضوء وسرعته حساب قيمة دقيقة للطول الموجي للضوء.

الحركة النسبية والضوء ماذا يحدث إذا تحرك مصدر الضوء في اتجاهك أو تحركت أنت في اتجاه مصدر الضوء؟ تعلّمت سابقًا أنه إذا كان مصدر الصوت



الشكل 16–3 تختلف السرعة المتجهة للمراقب عن السرعة المتجهة لمصدر الضوء (a). مقدار الطرح لمركّبتي السرعة على امتداد المحور بين مصدر الضوء ومراقب الضوء يمثل السرعة النسبية على امتداد المحور بين المصدر والمراقب v (b).

تعزيز الفهم

شاشات LCD المستقطبة الأخرى تستخدم أجهزة الحاسوب شاشات LCD، كما تستخدم الساعات الرقمية والآلات الحاسبة أيضًا ألواح استقطاب والبلورات السائلة ونقاط الشاشة (البيكسل) لصنع شاشات العرض. إلا أن هذه الشاشات تُظهر نوعين من المساحات فقط: مساحات مضاءة (للخلفية عادة)، وأخرى غير مضاءة (للأرقام عادة). اطلب إلى الطلبة توضيح كيفية عمل هذه الأجهزة المستقطبة. لصنع مساحات الخلفية المضاءة، تُدار خلايا LCD وترتّب بحيث يكون استقطاب الضوء 90° تمامًا بين اللوحين المتعامدين، مما يسمح للضوء بالمرور خلال اللوح الثاني. وتصنع المساحات المعتمة أو المساحات المتعلقة بالأرقام عن طريق توليد مجالات كهربائية تعمل إشارة ترتب البلورات السائلة بحيث لا تدور بمقدار 90°، وتبقى البلورات متوازية مع المرشّحات، فيمنع الضوء من المرور من خلال اللوح الثاني والشاشة. م ع

المناقشة

سؤال اطلب إلى الطلبة تخيّل بطة تطفو على سطح بركة دون أن تسبح، ولكنها ترفرف بأجنحتها بتردد ثابت وتكوّن موجات دائرية متّحدة المركز تنتشر بعيدًا منطلقة من موقع البطة. افترض أن البطة بدأت العوم نحو الشاطئ، لذا فسوف تغيّر موقعها. ماذا يحدث للموجات الدائرية؟ وكيف تُثبت هذه الظاهرة تأثير دوبلر؟

الإجابة تستمر البطة في توليد موجات دائرية إلا أن الموجات لن تبقى متحدة المركز. ولو افترضنا أن سرعة البطة أقل من سرعة الموجات المائية، فإن الموجات الواقعة أمام البطة ستكون ذات طول موجي أقصر من الموجات الواقعة خلفها. م ع

مسألة تحدٍّ

1. يسمح المرشّح المحلّل لبعض الضوء بالمرور من خلاله؛ لأن محور استقطابه ليس متعامدًا مع محور استقطاب المرشّح الأول. ويستطيع الآن مرشّح الاستقطاب الثاني تمرير الضوء المار من المرشّح المحلّل لكون محور استقطاب المرشّح المحلّل غير متعامد مع محور استقطاب المرشّح الثاني.
2. I_1 تمثّل شدة الضوء الخارجة من المرشّح الأول، و$I_{\text{المحلل}}$ تمثّل شدة الضوء الخارجة من المرشّح المحلّل، و I_2 تمثّل شدة الضوء الخارجة من المرشّح الثاني.

$$I_{\text{المحلل}} = I_1 \cos^2\theta$$

$$I_2 = I_{\text{المحلل}} \cos^2(90° - \theta)$$

$$I_2 = I_1 \cos^2(\theta)\cos^2(90° - \theta)$$

تجربة إضافية

استقطاب الضوء المنعكس

الهدف مشاهدة استقطاب الضوء المنعكس.

المواد والأدوات مصدر ضوئي يُصدر حزمة ضوئية ضيقة، ولوح زجاجي، ومرشّح استقطاب.

الخطوات

1. شاهد مصدر الضوء من خلال مرشّح الاستقطاب، ثم دوّر مرشّح الاستقطاب. يجب ألّا يكون هناك تغير في شدة شعاع الضوء؛ لأن الضوء غير مُستقطَب.
2. رتّب مصدر الضوء، واللوح الزجاجي، ومرشّح الاستقطاب بحيث يُمكن مشاهدة ضوء المصدر المنعكس عن اللوح من خلال مرشّح الاستقطاب.
3. انظر إلى الضوء المنعكس من خلال مرشّح الاستقطاب، ثم دوّر المرشح. ستتغير شدة شعاع الضوء.
4. أعد التجربة مع تغيير زاوية سقوط الضوء على اللوح الزجاجي (ستعتمد التغيرات في شدة شعاع الضوء المنعكس عند ملاحظتها من خلال المرشّح على زاوية السقوط. وهناك زاوية سقوط معيّنة للشعاع تُسمّى زاوية الاستقطاب؛ بحيث يكون عندها الضوء المنعكس مُستَقطبًا كليًّا).

التقويم يستنتج الطلبة أن موجات الضوء هي موجات مستعرضة، وأن الضوء غير المُستقطَب له موجات تنتشر في الاتجاهات المستعرضة جميعها. اسأل الطلبة لماذا تتغيّر شدة الضوء المنعكس عندما يتم تدوير المرشّح؟ لأن الضوء مُستقطَب جزئيًّا. واسألهم: ماذا يحدث إذا كان الضوء مُستقطبًا كليًّا؟ ستنخفض شدة الضوء المُشاهدة إلى الصفر. وكيف يستطيعون تحديد اتجاه الاستقطاب؟ سيحتاجون إلى مرشّح استقطاب آخر لتحليل الضوء المنعكس.

أو المستمع متحركًا فسيتغير تردّد الصوت الذي يسمعه المستمع، وهذا صحيح أيضًا بالنسبة للضوء؛ فإذا أخذت بعين الاعتبار السرعة المتجهة لكلٍّ من مصدر الصوت والمراقب فإنك بذلك تكون قد راعيت السرعة المتجهة لكلٍّ منهما بالنسبة للوسط الذي ينتقل فيه الصوت.

ويتضمن تأثير دوبلر في الضوء السرعة المتجهة لكلٍّ من المصدر والمراقب إحداهما بالنسبة إلى الأخرى فقط؛ وذلك لأن موجات الضوء ليست اهتزازات لجسيمات الوسط الميكانيكي، كما هو الحال في الموجات الصوتية. ويُسمّى مقدار الفرق بين السرعتين المتجهتين لكلٍّ من المصدر والمراقب بالسرعة النسبية. وتذكّر أن العوامل المؤثرة في تأثير دوبلر هي فقط مركّبتا السرعتين المتجهتين على امتداد المحور بين المصدر والمراقب، كما في **الشكل 16–3**.

تأثير دوبلر لدراسة تأثير دوبلر في الضوء اعتبر أن السرعات النسبية المحورية أقل كثيرًا من سرعة الضوء ($v << c$). ويستخدم هذا التبسيط لتكوين معادلة حول تردد الضوء المراقَب $f_{\text{المراقب}}$؛ التي تمثل تردد الضوء كما يراه المراقِب.

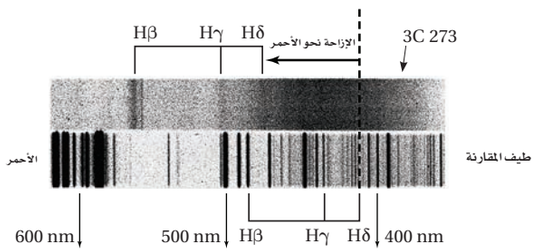
تردّد الضوء المُراقَب $f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$

تردّد الضوء المُراقَب من مصدر يساوي التردد الحقيقي لضوء المصدر، مضروبًا في حاصل جمع واحد إلى (السرعة النسبية على امتداد المحور بين المصدر والمراقب إذا تحرك كل منهما في اتجاه الآخر مقسومةً على سرعة الضوء)، أو حاصل طرح (السرعة النسبية مقسومةً على سرعة الضوء) من الواحد إذا تحركا مبتعدين.

لأن معظم المشاهدات حول تأثير دوبلر في الضوء قد تمت في سياق علم الفلك إن معادلة تأثير دوبلر للضوء قد صيغت بدلالة الطول الموجي بدلاً من التردد. ويمكن استعمال المعادلة التالية $\lambda = c/f$ والتبسيط $v << c$ لحساب إزاحة دوبلر $\Delta\lambda$، التي تمثل الفرق بين الطول الموجي المراقَب للضوء والطول الموجي الحقيقي له.

انزياح دوبلر $(\lambda_{\text{المراقب}} - \lambda) = \Delta\lambda = \pm \frac{v}{c}\lambda$

الفرق بين الطول الموجي المراقَب للضوء والطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولّده المصدر يساوي الطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولّده المصدر مضروبًا في السرعة النسبية للمصدر والمراقب مقسومًا على سرعة الضوء. وهذه الكمية تكون موجبة إذا تحرّكا مبتعدين أحدهما عن الآخر، وسالبة إذا تحرّكا في اتجاه أحدهما إلى الآخر.



الشكل 17–3 تبدو بوضوح ثلاثة خطوط انبعاث لعنصر الهيدروجين مزاحة نحو الأحمر في طيف الكوازار 3C 273 (النجم الزائف)، حيث أزيحت أطوالها الموجية 16% تقريبًا مقارنة بالظروف المختبرية.

نشاط تحدٍّ

الفوتونات اطلب إلى الطلبة المهتمين استقصاء الضوء كمجموعة من الفوتونات تنتشر في الفضاء على شكل موجات كهرمغناطيسية. يمكنهم مثلًا مناقشة كيفية إنتاج المصادر الضوئية للفوتونات، وكيفية انعكاس الفوتونات عن الأجسام، وكيف تمتص أعيننا الفوتونات وتدرك الصور، ومواضيع أخرى ذات صلة، ويمكن أن تتضمن المناقشة موضوع مصادر الضوء، كفوتونات الضوء الصادرة عن بخار الصوديوم، كما يمكن تضمينها تطبيقات عملية أخرى. اطلب إلى الطلبة كتابة مقال مختصر حول الموضوع الذي يختارونه. م 3 لغوي

مسائل تدريبية

10. ما تردّد خط طيف الأكسجين إذا كان طوله الموجي 513 nm؟

11. تتحرك ذرة هيدروجين في مجرة بسرعة 6.55×10^{6} m/s مبتعدة عن الأرض، وتبعث ضوءًا بتردّد 6.16×10^{14} Hz، ما التردّد الذي سيلاحظه فلكي على الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟

12. ينظر فلكي إلى طيف مجرة، فيجد أن هناك خطًّا لِطَيْف الأكسجين بالطول الموجي 525 nm، في حين أن القيمة المقيسة في المختبر تساوي 513 nm، احسب سرعة تحرك المجرة بالنسبة للأرض، ووضح ما إذا كانت المجرة تتحرك مقتربة من الأرض أو مبتعدة عنها. وكيف تعرف ذلك؟

إن التغير الموجب في الطول الموجي يعني أن الضوء مُزاح نحو الأحمر، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مبتعدًا عن المراقِب. والتغير السالب في الطول الموجي يعني أن الضوء مُزاح نحو الأزرق، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مقترب من المراقب. وعندما يزاح الطول الموجي نحو الأحمر فإن التردّد المراقَب يكون أقل، نتيجة للعلاقة العكسية بين هذين المتغيرين؛ لأن سرعة الضوء تبقى ثابتة. وعندما يُزاح الطول الموجي نحو الأزرق فإن التردد المراقَب يكون أكبر.

يستطيع الباحثون تحديد كيفية تحرك الأجسام الفلكية، مثل المجرات، بالنسبة للأرض، وذلك بمراقبة انزياح دوبلر للضوء. ويتم ذلك عن طريق مراقبة طيف الضوء المنبعث من النجوم في المجرة باستخدام جهاز يُسمّى المطياف، كما هو موضح في **الشكل 17–3**. حيث تبعث العناصر الموجودة في نجوم المجرات أطوالاً موجية محدّدة يمكن قياسها في المختبر. وللمطياف القدرة على قياس انزياح دوبلر لهذه الأطوال الموجية.

الربط مع الفلك

اقترح إدوين هابل في عام 1929 أن الكون يتمدد، وقد توصل هابل إلى هذه النتيجة بتحليل طيف الانبعاث القادم من عدة مجرات. ولاحظ هابل أن خطوط الطيف للعناصر المألوفة كانت ذات أطوال موجية أطول من المتوقع، حيث كانت خطوط الطيف مزاحة نحو نهاية الطيف ذي اللون الأحمر. وبغض النظر عن مساحة السماء التي راقبها، فقد كانت المجرات ترسل إلى الأرض ضوءًا مزاحًا نحو الأحمر. ترى، ما سبب انزياح خطوط الطيف نحو الأحمر؟ استنتج هابل من ذلك أن المجرات جميعها تتحرك مبتعدة عن الأرض.

3-2 مراجعة

13. مزج ألوان الضوء ما لون الضوء الذي يتّحد مع الضوء الأزرق للحصول على الضوء الأبيض؟

14. الخصائص الموجية للضوء سرعة الضوء الأحمر في الهواء والماء أقل من سرعته في الفراغ. فإذا علمت أن التردد لا يتغير عندما يدخل الضوء الأحمر في الماء، فهل يتغير الطول الموجي؟ إذا كان هناك تغير فكيف يكون؟

15. الاستقطاب صف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتحديد ما إذا كانت النظارات الشمسية المتوافرة في المتجر مستقطبة أم لا؟

16. التفكير الناقد توصّل الفلكيون إلى أن مجرّة الأندروميدا، وهي المجرّة القريبة من مجرتنا (مجرة درب التبانة)، تتحرك في اتجاه مجرتنا. وضح كيف تمكّن العلماء من تحديد ذلك. وهل يمكنك التفكير في دليل محتمل لاقتراب مجرة الأندروميدا من مجرتنا؟

مسائل تدريبية

10. 5.85×10^{14} Hz

11. 6.03×10^{14} Hz

12. 7.02×10^{6} m/s، ويبدو الطول الموجي المراقَب (الظاهري) أكبر من الطول الموجي الحقيقي لخط طيف الأكسجين. هذا يعني أن الفلكي والمجرة يتحركان مبتعدًا أحدهما عن الآخر.

تعزيز الفهم

تأثير دوبلر قد تود إعادة أحد العروض التي سبق أن استخدمتها عند تقديمك تأثير دوبلر للموجات الصوتية؛ لإظهار أوجه التشابه بين مظاهر التأثيرين، وكذلك مناقشة الاختلافات الرئيسة بوضوح؛ فسرعة الضوء دائمًا هي نفسها في وسط معين، كما أن سرعة الرياح لن تؤثر في إزاحة الضوء.

3. التقويم

التحقق من الفهم

الألوان اطلب إلى الطلبة تكوين مجموعات ثنائية، بحيث يقوم أحد الطالبين في المجموعة بمزج واختزال أشعة الضوء، بينما يقوم الطالب الآخر في المجموعة بتوضيح ما حصل، اطلب من كافة المجموعات أن يعرضوا توضيحاتهم على زملائهم باستخدام مخطّطات توضيحية أو أدلة مثل المرشّحات أو مواد شفافة ملونة للنظر من خلالها إذا تعذّر وجود المرشّحات.

م بصري– مكاني

التوسع

اطلب إلى الطلبة استكشاف طبيعة الرؤية استنادًا إلى طريقة رؤية اللون. ويمكن للطلبة التوسع في استكشافهم؛ وذلك بتضمين عمى الألوان فيها. م 3

3-2 مراجعة

13. الأصفر (مزيج من اللونين الأساسيين الآخرين؛ الأحمر والأخضر).

14. نعم؛ لأن $\lambda = v/f$ و $v = \lambda f$؛ لذا فعندما تقل v فإن λ تقل أيضًا.

15. تحقق ما إذا كانت النظارات تقلل من السطوع الصادر عن السطوح العاكسة، ومنها النوافذ والطرق المعبدة. ويستفيد المصورون الفوتوجرافيون من استقطاب الضوء المنعكس بتصوير الأجسام لحظة التخلص من السطوع.

16. خطوط طيف الانبعاث للذرات المعروفة مزاحة نحو الأزرق في الضوء الذي نراه قادمًا من مجرّة الأندروميدا. لذا، فإن مجرّة الأندروميدا تتحرك في اتجاه مجرتنا؛ وذلك بسبب قوة الجاذبية. وقد تكون المجرتان متحركتين في مدار متذبذب بعضهما حول بعض.

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة .

المهارات العملية استخدام التفسيرات العلمية، والملاحظة والاستنتاج، والمقارنة، وتشكيل النماذج، وجمع البيانات وتنظيمها، والتفكير الناقد، والقياس، واستخلاص النتائج.

احتياطات السلامة قلّل طول الفترة الزمنية التي تنظر فيها مباشرة إلى مصادر الضوء الساطعة. ولا تجرِ هذه التجربة باستخدام مصادر ضوء الليزر، ولا تنظر مباشرة إلى الشمس، حتى لو استخدمت مرشّحات استقطاب.

المواد البديلة يمكن استخدام أجسام مستوية بدلاً من المنقلة البلاستيكية، كما يمكن استخدام ساعة LCD أو جهاز حاسوب محمول بدلاً من شاشة الآلة الحاسبة.

استراتيجيات التدريس

- **نبّه الطلبة إلى الحرص على عدم خدش مرشّحات الاستقطاب؛ فقد تنخدش عند تنظيفها مثلاً.**
- **عندما يُقدّر الطلبة درجة الاستقطاب ذكّرهم بتطبيقات قانون مالوس المتعلق بشدة الضوء المار من المرشّحات.**

مختبر الفيزياء

استقطاب الضوء Polarization of Light

إن مصدر الضوء الذي يولّد موجات ضوئية مستعرضة تكون جميعها في المستوى الثابت نفسه يقال إنها مُستقطَبة في ذلك المستوى. ويمكن استخدام مرشّح الاستقطاب لإيجاد مصادر الضوء التي تنتج ضوءًا مستقطبًا. فبعض الأوساط تستطيع أن تُدوّر مستوى استقطاب الضوء في أثناء نفاذ الضوء من خلالها. ومثل هذه الأوساط يقال إنها فعّالة بصريًّا. ستستقصي في هذا النشاط هذه المفاهيم للضوء المستقطب.

سؤال التجربة

ما أنواع الإضاءة؟ وما مصادر الضوء التي تولّد ضوءًا مُستقطَبًا؟

الأهداف

- **تجرّب** مستخدمًا مصادر ضوء ومرشّحات استقطاب مختلفة.
- **تصف** نتائج تجربتك.
- **تميّز** الاستخدامات الممكنة لمرشّحات الاستقطاب في الحياة اليومية.

احتياطات السلامة

- **قلّل** فترة النظر مباشرة إلى مصادر الضوء الساطعة.
- **لا تجرِ** هذه التجربة باستخدام مصادر أشعة الليزر.
- **لا تنظر** إلى الشمس، حتى لو كنت تستخدم مرشّحات استقطاب.
- **راع** سخونة مصادر الضوء حتى لا تؤدي إلى حرق الجلد.

المواد والأدوات

لوحا مرشّح استقطاب
مصدر ضوء متوهج أو ساطع
مصدر ضوء فلورسنتي
قطع من الورق الأبيض والأسود
آلة حاسبة مزودة بشاشة مصنوعة من البلورات السائلة
منقلة بلاستيكية شفافة
مرآة

الخطوات

1. انظر من خلال مرشّح الاستقطاب إلى مصدر الضوء الساطع، ثم دوّر المرشح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
2. انظر من خلال مرشّح الاستقطاب إلى مصدر ضوء فلورسنتي، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
3. استخدم مرشّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن سطح المرآة، ثم دوّر المرشح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.

عينّة بيانات

مصدر الضوء	الملاحظة
1. ضوء متوهج	غير مستقطب
2. ضوء فلورسنتي	مستقطب قليلاً
3. سطح مرآة	مستقطب
4. ورقة بيضاء	غير مستقطب

عينّة بيانات

مصدر الضوء	الملاحظة
5. ورقة سوداء	مستقطب
6. شاشة مصنوعة من بلورات سائلة	مستقطب
7. مرشّحي استقطاب	لا شيء مرئي عند تعامد محوري استقطاب المرشّحين.
8. بلاستيك شفاف بين المرشّحين	يكون البلاستيك مرئيًّا عند تعامد محوري استقطاب المرشّحين.

جدول البيانات		
	مصدر الضوء	الملاحظات
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

4. استخدم مرشِّح الاستقطاب لملاحظة الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن قطعة ورق، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
5. استخدم مرشِّح الاستقطاب لملاحظة الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن قطعة ورق سوداء، ثم دوّر المرشح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
6. استخدم مرشِّح الاستقطاب لملاحظة الشاشة المصنوعة من البلورات السائلة، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
7. ضع مرشِّح استقطاب (محلّل) فوق مرشِّح الاستقطاب الآخر، ثم انظر إلى المصدر الضوئي المتوهج من خلال هذين المرشِّحين. ثم دوّر أحد المرشِّحين بالنسبة للآخر، وأكمل دورة كاملة، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
8. ضع منقلة بلاستيكية شفافة بين مرشِّحي الاستقطاب، ثم انظر إلى المصدر الضوئي المتوهج من خلال هذه المجموعة، وأكمل دورة كاملة لأحد المرشِّحين. ثم ضع المرشِّحين بالطريقة نفسها التي اتبعتها في الخطوة 7 والتي لم ينتج عندها الضوء، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسّر البيانات** هل ينتج الضوء المتوهج ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
2. **فسّر البيانات** هل ينتج الضوء الفلورسنتي ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
3. **فسّر البيانات** هل ينتج انعكاس الضوء عن سطح مرآة ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
4. **قارن** كيف يُقارَن الضوء المنعكس عن الورقة البيضاء بالضوء المنعكس عن الورقة السوداء بدلالة الضوء المستقطب؟ ولماذا يختلفان؟
5. **فسّر البيانات** هل الضوء المنبعث من شاشات البلورات السائلة مستقطب؟ كيف تعرف ذلك؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **حلّل واستنتج** كيف يمكن استخدام مرشِّحي استقطاب بحيث يمنعان عبور أي ضوء خلالهما؟
2. **حلّل واستنتج** لماذا يمكن رؤية المنقلة البلاستيكية الشفافة بين مرشِّحي الاستقطاب بينما لا يمكن رؤية أي شيء آخر من خلال مرشِّحي الاستقطاب؟
3. **استخلاص النتائج** أيّ نوع من الحالات تُنتج عمومًا ضوءًا مستقطبًا؟

التوسع في البحث

1. انظر في يوم مشمس، إلى استقطاب السماء الزرقاء القريبة من الشمس والبعيدة عنها مستخدمًا مرشِّح استقطاب. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الشمس. ما خصائص الضوء المستقطب التي تلاحظها؟**
2. هل الضوء المنعكس عن الغيوم مستقطب؟ أعط دليلاً على ذلك.

الفيزياء في الحياة

1. لماذا تصنع النظارات ذات الجودة العالية من عدسات مستقطبة؟
2. لماذا تمثل النظارات المستقطبة الخيار الأفضل من النظارات الملوّنة عندما تقود السيارة؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول الضوء ارجع إلى الموقع الإلكتروني:
obeikaneducation.com

75

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية دع الطلبة يختاروا مصادر الضوء التي سيستقصونها. ثم دعهم يستكشفوا أكبر عدد ممكن من المصادر الضوئية وأشعة الضوء المنعكسة. اطلب إليهم استقصاء المصادر الممكنة للضوء المستقطب في الطبيعة. سيستخدم الطلبة التفكير الناقد لاستخلاص النتائج حول الاستخدامات الممكنة للضوء المستقطب من قِبَل المخلوقات الحية.

التحليل

1. لا، الضوء المتوهج غير مستقطب. يولّد مصدر الضوء المتوهج ضوءًا ينتشر في جميع الاتجاهات المتعامدة مع اتجاه الانتشار.
2. الضوء الفلورسنتي مستقطب قليلاً. وعندما يُدوّر مرشّح الاستقطاب يخفت الضوء بعض الشيء.
3. نعم، تولّد السطوح اللامعة ضوءًا مستقطبًا.
4. يكون الضوء المنعكس عن الورقة البيضاء غير مستقطب، أما الضوء المنعكس عن الورقة السوداء فيكون مستقطبًا؛ لأن اللون الأسود يمتص معظم الضوء غير المستقطب.
5. تولّد شاشات البلورات السائلة ضوءًا مستقطبًا، فعندما يُدار المرشّح فإن الشاشة تصبح سوداء عند زاوية معينة.

الاستنتاج والتطبيق

1. لن يمر ضوء خلال مرشّحيّ الاستقطاب عندما يكون محورَا استقطابهما متعامدين.
2. تُدوّر المنقلة البلاستيكية مستوى استقطاب الضوء بعد مروره من مرشّح الاستقطاب الأول؛ لذا فإن كمية قليلة من الضوء يمكن أن تمر من خلال مرشّح الاستقطاب الثاني، كما تم توضيحه بوساطة قانون مالوس.
3. يكون معظم الضوء مستقطبًا عندما ينعكس عن السطوح اللامعة أو عندما يمر خلال وسط فعّال بصريًّا كشاشات البلورات السائلة.

التوسع في البحث

1. ضوء السماء الزرقاء مستقطب بشكل كبير.
2. الضوء المنعكس عن الغيوم غير مستقطب.

الفيزياء في الحياة

1. تُساعد العدسات المستقطبة على حجب الوهج أو السطوع الناشئ عن انعكاس الضوء عن السطوح العاكسة.
2. توجد في السيارات عدّة سطوح لامعة يمكنها استقطاب الضوء بسهولة.

الخلفيّة النظرية

يعد مصباح الهالوجين مصباحًا متوهجًا تم تحسينه عن طريق الحد من تبخر الفتيلة، وبذلك لا يترسب بخار الفتيلة – الذي يؤدي إلى تعتيم زجاج المصباح – على زجاج المصباح، كما تتجدّد فتيلته في أثناء إضاءته، مما يسمح بارتفاع درجة حرارة الفتيلة، بحيث تُصدر ضوءًا أبيض.

القوس الكهربائي الذي يتكون في وعاء مفرغ منه معظم الهواء، يعد أبسط أنواع المصابيح الغازية المخلخلة، ويعتمد لون السطوع في المصباح على تركيب الغاز الموجود فيه. وتعد المصابيح الفلورسنتية من أنواع مصابيح الغازات المخلخلة.

لم تُستعمل الصمامات الثنائية الباعثة للضوء الأبيض حتى الآن بوصفها مصادر إضاءة منزلية عملية، ولكنها قد تصبح كذلك إذا تم التوصل إلى حلول لبعض مشاكل استخدامها.

استراتيجيات التدريس

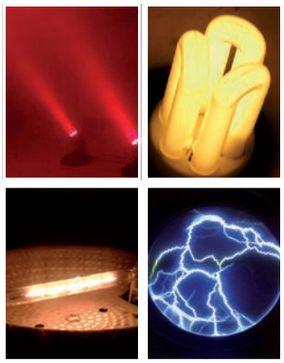
- شجّع الطلبة على البحث عن دور الضوء الذي مصدره الكهرباء في تطوير المجتمع.
- شجّع الطلبة أن يتعلموا أكثر عن الأنواع المتعددة لمصادر الضوء المستخدمة حاليًّا.

نشاط

صنع مصباح غاز مخلخل وضّح للطلبة كيفية استخدام مضخة تفريغ، وناقوس زجاجي، وملف كهربائي على شكل نموذج T يُنتج شرارة كهربائية – لصنع مصباح غاز مخلخل. على الرغم من أن المضخة ذات المقبض تعمل جيدًا، والتأثير الناتج مثير للدهشة، إلا أن الوهج لن يكون ساطعًا؛ وذلك بسبب طيف بخار الماء والهواء.

لقد سجّل التاريخ استخدام الزيت والشموع والغاز لتوفير الإضاءة في ساعات الليل المظلمة، فكان هناك دائمًا خطر كامن في استخدام اللهب المكشوف للحصول على الضوء. وجاء اختراع الإضاءة الكهربائية في القرن التاسع عشر، فزودنا بضوء أكثر سطوعًا، كما تحسنت وسائل الأمان والسلامة العامة للناس.

والمصابيح المتوهجة هي الشكل التقليدي للإضاءة الكهربائية التي لا تزال شائعة الاستعمال إلى الآن، حيث تُسخّن فتيلة التنجستن بالكهرباء حتى تتوهج باللون الأبيض. والتنجستن لا يحترق ولكنه يتبخر، مما يؤدي في نهاية الأمر إلى تلف فتيلة التنجستن، لذا فلن يكون الحصول على الضوء منه فعالًا جدًّا؛ بسبب تبخره. وقد نتج عن السعي المتواصل في تطوير الإضاءة الكهربائية إنتاج مصادر إضاءة أطول عمرًا وأقل إنتاجًا للحرارة.



تظهر الصور من أعلى اليسار وفي عكس اتجاه عقارب الساعة، الثنائيات الباعثة للضوء، وضوء الفلورسنت، وضوء الهالوجين، ومصابيح غاز—التفريغ الكهربائي في صورة مصابيح النيون.

مصابيح الكوارتز-الهالوجين لحماية الفتيلة من التلف يُصنع المصباح بحيث يكون صغيرًا جدًّا ومملوءًا بغاز البرومين أو اليود. حيث تتّحد أيونات التنجستن الموجودة في الفتيلة بجزيئات الغاز في الحيز البارد من المصباح لتكوين مركّب يدور خلال المصباح ويتحد ثانية بالفتيلة. ويكون الضوء الناتج ناصع البياض وساطعًا، إلا أنه ساخن جدًّا أيضًا، مما يؤدي إلى صهر المصباح الزجاجي العادي، لذا يستخدم الكوارتز المنصهر الذي له درجة انصهار عالية.

مصابيح الغازات المخلخلة يصنع هذا النوع من المصابيح من أنبوب زجاجي مع سلك كهربائي (قطب كهربائي) مثبت عند كل طرف من أطراف الأنبوب، ويستخرج الهواء جميعه من داخل الأنبوب ويوضع مكانه كمية قليلة جدًّا من غاز يُختار بصورة خاصة. وعند تطبيق فرق جهد بين طرفي الأنبوب، تؤين الكهرباء أو تنتزع بعض الإلكترونات من ذرات الغاز. ويُعدّ الغاز المؤيّن موصلاً جيدًا للكهرباء، لذا يسري التيار الكهربائي خلاله، ويتسبب في توهج الغاز.

يعتمد استخدام مصابيح الغازات المخلخلة على نوع الغاز: إذ يستخدم غاز النيون في الإعلان، ويستخدم غاز الزنون في الكشّافات وفي وامضات آلات التصوير، كما يستخدم غاز الصوديوم في مصابيح إنارة الشوارع. ويعطي كل غاز لونًا مختلفًا إلا أن تراكيب المصابيح تكون متشابهة إلى حدٍّ كبير.

المصابيح الفلورسنتية يكون التوهج الناتج عن بخار الزئبق غير مرئي؛ لأن معظم طيفه يكون في نطاق الضوء فوق البنفسجي، وهو غير مرئي. لذا يُصنع المصباح الفلورسنتي بطلاء السطح الداخلي لمصباح تخلخل الزئبق بالفوسفور، وهو عنصر كيميائي يتوهج بسطوع عندما يصطدم به الضوء فوق البنفسجي. ويمكن صناعة المصابيح الفلورسنتية بأي لون؛ وذلك بتغيير المزيج المتكوّن من الفوسفور الأحمر والأخضر والأزرق. ومن ميزات هذه المصابيح أنها اقتصادية، وتعمر طويلا؛ لأنها تنتج حرارة قليلة، إضافةً إلى إنتاجها كمية كبيرة من الضوء.

الصمامات الثنائية الباعثة للضوء يمكن أن تكون الصمامات الثنائية الباعثة للضوء مصادر الضوء في المستقبل. حيث ينتج الصمام الثنائي ضوءًا أبيض، وذلك بإضاءة شاشة فوسفورية صغيرة جدًّا داخله باستخدام ضوء أزرق. وتعطي هذه الصمامات إضاءة كافية لتقرأ بوساطتها، كما أنها تكاد لا تنتج الحرارة عندما تعمل. وتتميز بكفاءتها العالية حيث يمكن لبطارية سيارة تزويد هذه المصابيح بالطاقة الكهربائية لتعمل في المنزل أيامًا عدة دون الحاجة إلى إعادة شحن البطارية.

التوسع

1. **لاحظ** بمساعدة معلمك بعض الأجهزة التي تستخدم الأضواء، وافحص بعض هذه الأجهزة لترى أنواع التقنيات المستخدمة في المصابيح.
2. **ابحث** تعرّف التركيب الداخلي لبعض أنواع مصابيح تفريغ الغاز بالإضافة إلى خصائص لون الضوء لكل منها ومجالات استخدامها اليومية العادية.

التوسع

1. الأجهزة الغريبة (مثل كرات البلازما) عبارة عن مصابيح غازات مخلخلة لا تحتوي على أقطاب.
2. ستختلف الإجابات، ولكن يجب أن تتضمن ميكانيكية تقليل ضغط الغاز في الأنبوب لإمرار تيار كهربائي فيه.

3-1 الاستضاءة Illumination

المفردات

- نموذج الشعاع الضوئي
- المصدر المضيء
- المصدر المستضيء (المُضَاء)
- الوسط المعتم
- الوسط الشفاف
- الوسط شبه الشفاف
- التدفق الضوئي
- الاستضاءة

الأفكار الرئيسة

- ينتقل الضوء في خط مستقيم خلال أي وسط منتظم.
- يمكن تصنيف المواد على أنها شفافة، أو شبه شفافة أو غير شفافة (معتمة)، اعتمادًا على كمية الضوء التي تعكسها، أو تنفذها أو تمتصها.
- التدفق الضوئي لمصدر ضوئي هو المعدل الذي ينبعث به الضوء، ويقاس بوحدة لومن lm.
- الاستضاءة هي التدفق الضوئي لكل وحدة مساحة، وتقاس بوحدة لوكس lx، أو لومن لكل متر مربع lm/m^2.
- الاستضاءة بفعل مصدر ضوء نقطي تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة وطرديًّا مع التدفق الضوئي.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- سرعة الضوء في الفراغ ثابتة وتساوي $c = 3.00 \times 10^8\ m/s$.

3-2 الطبيعة الموجية للضوء The Wave Nature of Light

المفردات

- الحيود
- اللون الأساسي
- اللون الثانوي
- الألوان المتمِّمة
- الاستقطاب
- قانون مالوس

الأفكار الرئيسة

- للضوء المرئي أطوال موجية يتراوح طولها بين 400 nm و 700 nm.
- يتكوّن الضوء الأبيض من تراكب ألوان الطيف، ولكل لون طول موجي خاص به.
- تراكب الألوان الأساسية (الأحمر والأخضر والأزرق) يكوّن الضوء الأبيض. ويشكّل تراكب لونين أساسيين أحد الألوان الثانوية التالية: الأصفر، الأزرق المخضر، الأرجواني.
- يتكوّن الضوء المستقطَب من موجات تتذبذب في المستوى نفسه.
- عند استخدام مرشِّحي استقطاب لاستقطاب الضوء فإن شدة الضوء الخارج من المرشِّح الأخير تعتمد على الزاوية بين محوري الاستقطاب لمرشِّحي الاستقطاب.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

- يمكن تمييز موجات الضوء المنتقلة خلال الفراغ بدلالة كل من تردّدها وطولها الموجي وسرعتها.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

- تتعرّض موجات الضوء لإزاحة دوبلر، التي تعتمد على السرعة النسبية على امتداد المحور بين المراقب ومصدر الضوء.

$$f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

$$\Delta\lambda = (\lambda_{\text{المراقب}} - \lambda) = \pm \frac{v}{c}\lambda$$

الأفكار الرئيسة

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

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

خريطة المفاهيم

17. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

إتقان المفاهيم

18. يصل ضوء الشمس إلينا من خلال الفراغ.

19. يبعث الجسم المضيء الضوء أما الجسم المستضيء (المُضاء) فهو ذلك الجسم الذي يسقط عليه الضوء ثم ينعكس.

20. يمر الضوء من خلال الوسط الشفاف دون تشوّه ونرى الأجسام من خلاله، ويمرّ الوسط شبه الشفاف الضوء إلا أنه يشوّهه؛ لذلك لا يمكن تمييز الأجسام عند النظر إليها من خلاله، أما الوسط المعتم فلا يمرّر الضوء ولا نرى الأجسام من خلاله.

21. تتناسب الاستضاءة على سطح ما طرديًّا مع شدة إضاءة مصدر الضوء وتتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بين السطح ومصدر الضوء.

22. يكون الحيود أكثر وضوحًا حول العوائق التي تكون أبعادها مساويةً للطول الموجي للموجة تقريبًا. وأغلب العوائق التي حولنا ذات أبعاد تُحيد موجات الصوت ذات الطول الموجي الكبير.

23. الضوء البنفسجي.

24. 400 nm إلى 700 nm

25. يتركّب الضوء الأبيض من ألوان الضوء جميعها، أو من الألوان الضوئية الأساسية على الأقل.

26. يظهر الجسم باللون الأسود؛ لأن قليلاً من الضوء – إن وجِد– ينعكس عن الجسم.

27. لأن المجرة بعيدة فستبدو أنها تتحرك مبتعدة عن الأرض، وسُيزاح الطول الموجي في اتجاه اللون الأحمر ذي الطول الموجي الكبير.

تطبيق المفاهيم

28. الاستضاءة $E \propto \frac{1}{r^2}$، لذلك ستكون الاستضاءة عند الشاشة B ربع الاستضاءة عند الشاشة A.

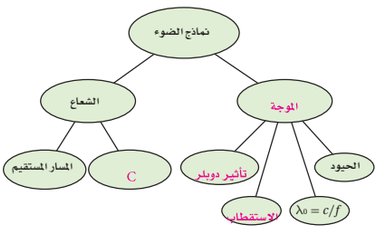
29. a. لا.

b. الاستضاءة على بعد 35 cm أكبر، وتكون الاستضاءة عند مضاعفة المسافة $\frac{1}{4}$ القيمة الأولى.

30. يجب أن تطلى سيارات الإطفاء والإسعاف باللون الأصفر والأخضر 550 nm ؛ لأن انعكاس كمية قليلة من الضوء في اتجاه العين تكفي لرؤية سيارات الإطفاء والإسعاف.

خريطة المفاهيم

17. أكمل خريطة المفاهيم التالية باستخدام المصطلحات التالية: الموجة، c، تأثير دوبلر، الاستقطاب.



إتقان المفاهيم

18. لا ينتقل الصوت خلال الفراغ، فكيف تعرف أن الضوء ينتقل في الفراغ؟

19. فرّق بين المصدر المضيء والمصدر المستضيء (المُضاء).

20. فرّق بين الأجسام الشفافة وشبه الشفافة والمعتمة.

21. ما الذي يتناسب طرديًّا مع استضاءة سطح بمصدر ضوئي؟ وما الذي يتناسب معه عكسيًّا؟

22. لماذا يعد حيود الموجات الصوتية أكثر شيوعًا في الحياة اليومية من حيود الموجات الضوئية؟

23. ما لون الضوء الذي له أقصر طول موجي؟

24. ما مدى الأطوال الموجية للضوء، بدءًا من الأقصر إلى الأطول؟

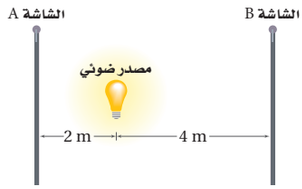
25. ما الألوان الضوئية التي يتكوّن منها الضوء الأبيض؟

26. لماذا يظهر جسم ما أسود اللون؟

27. تبعث مجرة بعيدة خطًّا طيفيًّا في منطقة اللون الأخضر من الطيف الضوئي، فهل ينزاح الطول الموجي المُراقَب على الأرض إلى الضوء الأحمر أو إلى الضوء الأزرق؟ وضح إجابتك.

تطبيق المفاهيم

28. يقع مصدر ضوء نقطي على بعد 2.0 m من الشاشة A، وعلى بعد 4.0 m من الشاشة B ، كما يتضح من **الشكل 18–3**. قارن بين الاستضاءة على الشاشة B والاستضاءة على الشاشة A؟



الشكل 18–3

29. **مصباح الدراسة** يبعد مصباح صغير مسافة 35 cm من صفحات الكتاب، فإذا ضاعفت المسافة مرتين:

a. فهل تبقى الاستضاءة على الكتاب هي نفسها دون تغيير؟

b. إذا لم تكن كذلك فكم تكون أكبر أو أصغر؟

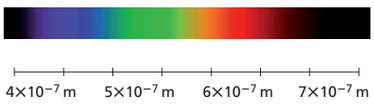
30. **حساسية العين** إن العين حساسة جدًّا للضوء الأصفر والأخضر، في حين أن حساسيتها للضوء الأحمر والأزرق أقل عشرة في المئة من حساسيتها القصوى. بناءً على هذه المعلومة، ما الألوان التي توصي بها لطلاء سيارات الإطفاء والإسعاف؟ ولماذا؟

31. لون إضاءة الشوارع تحتوي بعض مصابيح الشوارع الفعّالة جدًّا على بخار الصوديوم تحت ضغط عالٍ. وتنتج هذه المصابيح ضوءًا معظمه أصفر وجزء قليل منه أحمر. هل تستخدم المجتمعات التي فيها مثل هذه المصابيح سيارات شرطة ذات لون أزرق داكن؟ ولماذا؟

32. مخالفة السير هبْ أنك شرطي مرور، وأوقفت سائقًا تجاوز الإشارة الحمراء، وافترض أيضًا أن السائق وضّح لك من خلال رسم **الشكل 19–3** أن الضوء كان يبدو أخضر بسبب تأثير دوبلر عندما قطع الإشارة. وضّح له مستخدمًا معادلة إزاحة دوبلر، كم يجب أن تكون سرعته حتى يبدو الضوء الأحمر ($\lambda = 645\ nm$) على شكل ضوء أخضر ($\lambda = 545\ nm$). **مساعدة: افترض لحل هذه المسألة أن معادلة إزاحة دوبلر يمكن تطبيقها عند هذه السرعة.**

الشكل 19–3

33. الانزياح نحو الأحمر لاحظ الفلكيون أن الضوء القادم من المجرات البعيدة يبدو أكثر احمرارًا من الضوء القادم من المجرات القريبة. فسّر لماذا استنتج الفلكيون أن المجرات البعيدة تتحرك مبتعدة عن الأرض، اعتمادًا على **الشكل 20–3** للطيف المرئي.



الشكل 20–3

34. الصور المستقطبة يضع مصورو الفوتوجراف مرشِّحات استقطاب فوق عدسات الكاميرا لكي تبدو الغيوم أكثر وضوحًا، فتبقى الغيوم بيضاء في حين تبدو السماء داكنة بصورة أكبر. وضح ذلك معتمدًا على معرفتك بالضوء المستقطب.

إتقان حل المسائل

3–1 الاستضاءة

35. أوجد الاستضاءة على مسافة 4.0 m أسفل مصباح تدفقه الضوئي 405 lm

36. يستهلك مصباح كهربائي ثلاثي الضبط قدرة كهربائية 150 W، 100 W، 50 W لإنتاج تدفق ضوئي 2285 lm، 1620 lm، 665 lm في أزرار ضبطه الثلاثة. وضع المصباح على بعد 80 cm فوق ورقة. إذا كانت أقل استضاءة لازمة لإضاءة الورقة هي 175 lx، فما أقل زر ضبط ينبغي أن يُستخدم؟

37. يريد أحد الطلبة مقارنة التدفق الضوئي لمصباح ضوئي يدوي بمصباح آخر تدفقه الضوئي 1750 lm، وكان كل منهما يضيء ورقة بالتساوي. فإذا كان المصباح 1750 lm يقع على بُعد 1.25 m من الورقة، في حين كان المصباح الضوئي اليدوي يقع على بعد 1.08 m، فاحسب التدفق الضوئي للمصباح اليدوي.

التقويم

31. لن تكون سيارات الشرطة ذات اللون الأزرق المخضر مرئية؛ لأنها تمتص الضوء الأحمر والضوء الأصفر. ويتعين عليهم شراء سيارات صفراءأو طلاء سيارتهم باللون الأصفر ، حيث ستكون مرئية بدرجة كبيرة.

32. يجب أن تكون سرعة السيارة $4.65\times10^{7}\ m/s$

33. للضوء الأحمر طول موجي أكبر، ولذلك تردده أقل من تردد الألوان الأخرى. أما بالنسبة للضوء القادم من المجرات البعيدة، فيشير انزياح دوبلر للضوء القادم منها نحو الترددات المنخفضة (اللون الأحمر) إلى أن تلك المجرات تتحرك مبتعدة عنا.

34. يعد الضوء المُشتَّت من الغلاف الجوي ضوءًا مستقطبًا، إلا أن الضوء المُشتَّت عن الغيوم غير مستقطب. يقلّل المصّور كمية الضوء المستقطب الذي يصل إلى الفيلم عن طريق تدوير المرشّح.

إتقان حلّ المسائل

3–1 الاستضاءة

35. 2.0 lx

36. يجب ضبطه على (1620 lm) 100 W

37. $1.31\times10^{3}\ lm$

3–2 الطبيعة الموجية للضوء

38. $3.09\times10^{6}\ m/s$

39. يجب أن يتجه محور النفاذ رأسيًّا؛ لأن الضوء المنعكس عن الطريق يكون مستقطبًا جزئيًّا في الاتجاه الأفقي، فلا يمرّر محور النفاذ الرأسي الموجات الأفقية.

40. $1.95\times10^{7}\ m/s$

41. الضوء المنعكس مستقطب جزئيًّا في اتجاه موازٍ لسطح البحيرة، ومتعامد مع اتجاه انتشار الضوء من البحيرة إلى عينيك.

مراجعة عامة

42. 15 m

43. لا يحتاج الضوء إلى زمن يذكر (5.3 µs)، بينما يحتاج الصوت إلى 4.7 s

44. $\pm3.3\times10^{-12}\ m$

التفكير الناقد

45. نعم، الضوء المنعكس مستقطب جزئيًّا، لذلك ستقلل نظارات الاستقطاب من السطوع أو الوهج إذا رتّبت محاور استقطابها بصورة صحيحة.

الكتابة في الفيزياء

46. ستختلف الإجابات.

47. ستختلف الإجابات، تعرف الشمعة cd بأنها مقدار التدفق المنتظم لطاقة الضوء الذي ينبعث بوساطة الثوريوم المتوهج خلال فتحة مساحتها $(\frac{1}{60})\ cm^2$

مراجعة تراكمية

48.a $2.1\times10^{2}\ N$

b. $1.7\times10^{2}\ N$

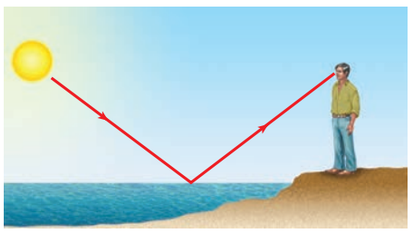
3–2 الطبيعة الموجية للضوء

38. حركة المجرة ما السرعة التي تتحرك بها مجرة بالنسبة للأرض، إذا كان خط طيف الهيدروجين 486 nm قد أزيح نحو الأحمر 491 nm؟

39. النظارات الشمسية المستقطبة في أي اتجاه يجب توجيه محور النفاذ للنظارات الشمسية المستقطبة للتخلّص من الوهج الصادر عن سطح الطريق: في الاتجاه الرأسيّ أم الأفقي؟ فسّر إجابتك.

40. حركة المجرة إذا كان خط طيف عنصر الهيدروجين المعروف بطول موجي 434 nm مزاحًا نحو الأحمر بنسبة 6.50 ٪ في الضوء القادم من مجرة بعيدة فما سرعة ابتعاد المجرة عن الأرض؟

41. افترض أنك كنت تتجه إلى الشرق عند شروق الشمس. وينعكس ضوء الشمس عن سطح بحيرة، كما في **الشكل 21–3**، فهل الضوء المنعكس مستقطَب؟ إذا كان كذلك ففي أي اتجاه؟



الشكل 21–3

مراجعة عامة

42. مصدر ضوء نقطي شدة إضاءته 10.0 cd ويبعد 6.0 m عن جدار. كم يبعد مصباح آخر شدة إضاءته 60.0 cd عن الحائط إذا كانت إستضاءة المصباحين متساوية عند الجدار؟

43. الرعد والبرق وضح لماذا تحتاج إلى 5 s لسماع الرعد عندما يبعد البرق مسافة 1.6 km

44. الدوران الشمسي لأن الشمس تدور حول محورها فإن أحد جوانب الشمس يتحرك في اتجاه الأرض، أما الجانب الآخر فيتحرك مبتعدًا عنها. وتكمل الشمس دورة كاملة كل 25 يومًا تقريبًا، ويبلغ قطر الشمس $1.4\times10^{9}\ m$، فإذا بعث عنصر الهيدروجين في الشمس ضوءًا بتردّد $6.16\times10^{14}\ Hz$ من كلا الجانبين فما التغير في الطول الموجي المراقَب؟

التفكير الناقد

45. حلّل واستنتج إذا كنت تقود سيارتك عند الغروب في مدينة مزدحمة ببنايات جدرانها مغطّاة بالزجاج، حيث يؤدي ضوء الشمس المنعكس عن الجدران إلى انعدام الرؤيا لديك مؤقتًا. فهل تحل النظارات المستقطبة هذه المشكلة؟

الكتابة في الفيزياء

46. اكتب مقالاً تصف فيه تاريخ المعرفة البشرية المتعلقة بسرعة الضوء، وضمّنه إنجازات العلماء المهمة في هذا المجال.

47. ابحث في معلومات النظام العالمي للوحدات SI المتعلقة بوحدة الشمعة cd، وعبّر بلغتك الخاصة عن المعيار الذي يستخدم في تحديد قيمة 1 cd.

مراجعة تراكمية

48. يتأرجح جسم كتلته 2.0 kg معلّق بخيط طوله 1.5 m في مسار على شكل دائرة رأسية وبسرعة ثابتة 12 m/s، احسب قوة الشد في الخيط عندما يكون الجسم عند:

a. أسفل المسار الدائري.

b. قمة المسار الدائري.

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. شوهد نجم مستعر في عام 1987 في مجرة قريبة، واعتقد العلماء أن المجرة تبعد 1.66×10^{21} m، ما عدد السنوات التي مضت على حدوث انفجار النجم فعليًّا قبل رؤيته؟

(A) 5.53×10^{3} yr (C) 5.53×10^{12} yr
(B) 1.75×10^{5} yr (D) 1.74×10^{20} yr

2. تتحرك مجرة مبتعدة بسرعة 5.8×10^{6} m/s، ويبدو تردد الضوء الصادر عنها 5.6×10^{14} Hz بالنسبة لمراقب. ما تردد الضوء المنبعث منها؟

(A) 1.1×10^{13} Hz (C) 5.7×10^{14} Hz
(B) 5.5×10^{14} Hz (D) 6.2×10^{14} Hz

3. إذا احتاج الضوء الصادر عن الشمس إلى 8.0 min للوصول إلى الأرض فكم تبعد الشمس؟

(A) 2.4×10^{9} m (C) 1.4×10^{8} km
(B) 1.4×10^{10} m (D) 2.4×10^{9} km

4. ما مقدار تردد ضوء طوله الموجي 404 nm في الفراغ؟

(A) 2.48×10^{-3} Hz (C) 2.48×10^{6} Hz
(B) 7.43×10^{5} Hz (D) 7.43×10^{14} Hz

5. إذا كانت الاستضاءة الناتجة بفعل مصباح ضوئي قدرته 60.0 W على بعد 3.0 m تساوي 9.35 lx، فما التدفق الضوئي الكلي للمصباح؟

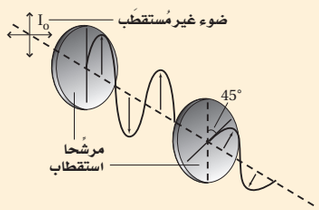
(A) 8.3×10^{-2} lm (C) 1.2×10^{2} lm
(B) 7.4×10^{-1} lm (D) 1.1×10^{3} lm

6. ماذا نعني بالعبارة "إنتاج اللون باختزال أشعة الضوء"؟

(A) مزج الضوء الأخضر والأحمر والأزرق ينتج عنه الضوء الأبيض.
(B) ينتج لون عن إثارة الفوسفور بالإلكترونات في جهاز التلفاز.
(C) يتغير لون الطلاء باختزال ألوان معينة، ومنها إنتاج الطلاء الأزرق من الأخضر بالتخلص من اللون الأصفر.
(D) يتكوّن اللون الذي يظهر به الجسم نتيجة امتصاص أطوال موجية محدّدة للضوء وانعكاس بعضها الآخر.

الأسئلة الممتدة

7. يسقط ضوء غير مستقطب شدته I_0 على مرشِّح استقطاب، ويصطدم الضوء النافذ بمرشِّح استقطاب ثانٍ، كما يتضح من الشكل أدناه. ما شدة الضوء النافذ من مرشح الاستقطاب الثاني؟



إرشاد

طرح الأسئلة

عندما يكون لديك استفسار حول الاختبار، مثل طريقة توزيع الدرجات، أو الزمن المخصص لكل جزء، أو أي شيء آخر فاسأل المعلم أو الشخص المشرف على الاختبار حول ذلك.

اختبار مقنن الفصل 3–

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة اختيار من متعدد

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

الأسئلة الممتدة

7. $I_2 = 0.25\ I_0$

الفصل 4

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
4–1 الانعكاس عن المرايا المستوية 1. **توضّح** قانون الانعكاس. 2. **تقارن** بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم. 3. **تحدّد** موقع الصور التي تكونها المرايا المستوية.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** بطاقة فهرسة، ومرآة مستوية، ومرآة مقعرة، ومرآة محدبة، ومصباح يدوي. **تجربة** آلة تصوير ذات قرص تركيز كُتبت عليه المسافات ويتم التحكم فيه يدويًّا، ومرآة مستوية. **عرض المعلم** **عرض سريع** مصباح يدوي، ومؤشر ليزر، وشاشة بيضاء، وورقة بيضاء، ومرآة مستوية.
4–2 المرايا الكروية 4. **توضّح** كيف تكوّن كل من المرايا المقعرة والمرايا المحدبة الصور. 5. **تصف** خصائص المرايا الكروية ، وتذكر استخداماتها. 6. **تذكر** استخدامات المرايا الكروية. 7. **تحدّد** مواقع وأطوال الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافية** مرآة محدبة صغيرة، ومرآة مقعرة صغيرة، وورقة، وصلصال. **مختبر الفيزياء** مرآة مقعرة، ومصباح، وحامل شاشة، وحامل مرآة، ومساطر مترية، و4 دعائم للمسطرة المترية، وشاشة، ومصباح كهربائي قدرته 15 W **عرض المعلم** **عرض سريع** مرآة مقعرة، وجسم متوهج يعمل بوساطة بطارية أو طاقة كيميائية.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الرابع

الفصل 4

الانعكاس والمرايا

نظرة عامة إلى الفصل

يقدم هذا الفصل قانون الانعكاس وتطبيقاته لتحليل كيفية تكون الصور في المرايا المستوية. كما يناقش خصائص تلك الصور التقديرية المتكونة. ويطبق قانون الانعكاس على الصور المتكونة في المرايا المحدبة والمرايا المقعرة. كما يناقش أيضًا تكون الصور الحقيقية وخصائصها. وأخيرًا، يوضح كيفية استعمال معادلة المرايا لتحديد العلاقات بين مواقع الأجسام، ومواقع صورها، وحساب أبعادها و صفاتها.

فكّر

تنعكس أشعة الشمس عن الجبل، فيسقط جزء من هذه الأشعة على سطح البحيرة ثم ينعكس عنها. فإذا كان هناك شخص عند البحيرة فسيشاهد صورته معتدلة، إلا أنه عند مشاهدة المنظر عبر البحيرة فإن الأشعة المنعكسة تتقاطع بحيث تبدو الصورة مقلوبة.

المفردات الرئيسة

- الانعكاس المنتظم
- المحور الرئيس
- الانعكاس غير المنتظم
- البؤرة
- البعد البؤري
- المرآة المستوية
- الصورة الحقيقية
- الجسم
- الزيغ (التشوه) الكروي
- الصورة التقديرية
- المرآة المقعرة
- التكبير
- المرآة المحدبة

الفصل 4

الانعكاس و المرايا

Reflection and Mirrors

بعد دراستك هذا الفصل ستكون قادرًا على

- تعرّف كيفية انعكاس الضوء عن أسطح مختلفة.
- تعرّف أنواع المرايا المختلفة واستخداماتها.
- استعمال طريقتي رسم الأشعة والنماذج الرياضية لوصف الصور التي شكّلتها المرايا.

الأهمية

يتحدّد الانعكاس الذي تراه بمعرفة الكيفية التي ينعكس بها الضوء عن سطح ما نحو عينيك. وعندما تنظر إلى أسفل نحو سطح بحيرة تشاهد صورة لك معتدلة.

منظر الجبل يمكنك عند النظر إلى سطح بحيرة مشاهدة منظر مماثل للمنظر الموضح في الصورة، حيث تبدو صور الأشجار والجبال في البحيرة مقلوبة رأسيًا بالنسبة إليك.

فكّر

لماذا تبدو لك صورتك في البحيرة معتدلة، في حين تبدو صورة الجبل مقلوبة رأسيًا؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

الهدف مشاهدة الصور الحقيقية، وتوضيح خصائصها، ومعرفة أي نوع من المرايا يكونها.

المواد والأدوات بطاقة فهرسة، ومرآة مستوية، ومرآة مقعرة، ومرآة محدبة، ومصباح يدوي.

استراتيجيات التدريس

تحذير: نبه الطلبة إلى التعامل مع المرايا بحذر؛ لأن حوافها حادة، وقد تؤذيهم.

- سيكون من الأفضل إجراء التجربة خلال النهار في الأيام المشمسة.
- تكون الشمعة أو المصباح اليدوي في الغرفة المظلمة بديلاً عن الضوء القادم عبر النافذة.

النتائج المتوقعة المرايا المقعرة تكوّن صورًا حقيقية، بينما لا تكون المرايا الأخرى هذا النوع من الصور.

التحليل المرايا المقعرة فقط هي التي تكوّن صورًا حقيقية. إذ تتكون الصورة على شاشة وتكون مقلوبة.

التفكير الناقد تعمل المرآيا المقعرة على تجميع الضوء المنبعث من المصباح، ويمكن أن يكوّن الضوء المتجمع صورة حقيقية.

4-1 الانعكاس عن المرايا المستوية

1. التركيز

نشاط محفز

الانعكاسات ضع مجموعة من الأجسام على سطح الطاولة، منها أجسام عاكسة مثل: علبة معدنية، ومرآة مستوية، وملعقة فلزية، وأجسام غير عاكسة مثل: الكرتون المقوى ، وكأس بلاستيكية شفافة، وقطعة ألومنيوم ذات سطح خشن. اطلب إلى الطلبة أن يلاحظوا ما إذا تمكنوا من مشاهدة انعكاسات صورهم عن هذه الأجسام. سيشاهد الطلبة انعكاسات واضحة عن السطوح اللامعة والمصقولة، وانعكاسات غير واضحة عن الأسطح اللامعة وغير المصقولة، وانعكاسات باهتة و غير واضحة عن السطوح المصقولة المعتمة، في حين لن يشاهدوا انعكاسات عن السطوح الخشنة المعتمة. اسأل الطلبة عما إذا كان الضوء ينعكس عن الأسطح الخشنة؟ ولماذا؟

م 1 حركي

الربط مع المعرفة السابقة

زوايا الانعكاس درس الطلبة انعكاس الموجات الميكانيكية عن الحواجز، وفي هذا الدرس سيتم تطبيق هذا المفهوم لتحديد زوايا الانعكاس للضوء عن كل من السطوح الملساء والسطوح الخشنة.

الأهداف

- **توضّح** قانون الانعكاس.
- **تقارن** بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم.
- **تحدّد** موقع الصور التي تكوّنها المرايا المستوية.

المفردات

الانعكاس المنتظم
الانعكاس غير المنتظم
المرآة المستوية
الجسم
الصورة التقديرية

لم يكن بالإمكان رؤية صور الأجسام الناتجة عن السطوح المصقولة بوضوح حتى عام 1857 عندما اكتشف العالم الفرنسي جان فوكولت طريقة لطلاء الزجاج بالفضة. فالمرايا الحديثة صُنعت بدقة متناهية لكي تكون ذات مقدرة كبيرة جدًّا على عكس الضوء، وذلك من خلال عملية تبخير الألومنيوم أو الفضة على زجاج مصقول بدرجة كبيرة من الانتظام. وتُعد نوعية السطوح العاكسة مهمة جدًّا في بعض التطبيقات العملية والأجهزة البصرية، ومنها الليزر، والمقراب (التلسكوب).

تجربة استهلالية

كيف تظهر الصورة على شاشة؟

سؤال التجربة ما نوع المرايا التي يمكنها تكوين صورة على شاشة؟

الخطوات

1. احصل من معلمك على بطاقة فهرسة (بطاقة كرتونية)، ومرآة مستوية، ومرآة مقعرة، ومرآة محدبة، ومصباح ضوئي يدوي.
2. أطفئ أضواء الغرفة، وقف بجانب النافذة.
3. أمسك البطاقة بيد والمرآة المستوية باليد الأخرى.
4. اعكس الضوء القادم من النافذة على البطاقة. **تحذير: "لا تنظر إلى الشمس مباشرة أو إلى ضوء الشمس المنعكس عن المرآة".** قرّب البطاقة نحو المرآة ببطء أو أبعدها عنها ببطء، وحاول تكوين صور واضحة للأجسام الموجودة في الخارج.
5. إذا استطعت تكوين صورة واضحة على البطاقة فإن هذه الصورة تكون حقيقية، أما إذا كان الضوء مشتتًا على البطاقة فلا تتكون صورة حقيقية. سجّل ملاحظاتك.
6. أعد الخطوات من 3 إلى 5 باستخدام مرآة مقعرة ثم مرآة محدبة.
7. كرر الخطوة 4 لكل مرآة بحيث تستخدم المصباح الضوئي، ولاحظ الانعكاس على البطاقة.

التحليل

أيّ مرآة كوّنت صورًا حقيقية (تكونت على حاجز)؟
ما ملاحظاتك حول الصورة أو الصور التي شاهدتها؟

التفكير الناقد وضح كيف تتكون الصور الحقيقية استنادًا إلى ملاحظاتك حول الصور الناتجة باستخدام المصباح الضوئي

2. التدريس

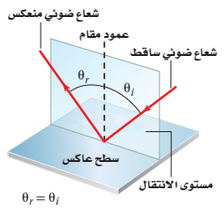
المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

رؤية الضوء قد يعتقد الطلبة أنه يمكنهم رؤية الضوء الذي لا يوجه نحو أعينهم مباشرة. وضّح أنه عندما ينعكس الضوء عن سطح ما فإنهم يشاهدون الضوء المنعكس عن السطح نحو أعينهم فقط. أثبت ذلك بجعل الطلبة يلاحظون حزمةً من الضوء تنبعث من مؤشر ليزر يشع ضوءًا عبر الغرفة. ***تحذير: حذر الطلبة من النظر مباشرة إلى شعاع الليزر.*** إذا سلطت الشعاع الضوئي في اتجاه باب مفتوح، فإنهم لن يتمكنوا من رؤية ذلك الشعاع، ولكنهم سيشاهدون الضوء المنعكس عن الحائط نحو أعينهم. وإذا قمت بنثر القليل من مسحوق الطباشير في مسار شعاع الليزر فإن الطلبة سيشاهدون الحزمة في هذه الحالة. اسألهم لماذا يمكنهم رؤية الحزمة الآن؟ ينعكس بعض ضوء الليزر عن مسحوق الطباشير نحو أعينهم.

م1 بصري - مكاني

استخدام النماذج

قانون الانعكاس ساعد الطلبة على عمل نموذج لقانون الانعكاس؛ وذلك من نشاط ارتداد كرة عن حائط. ارسم خطًّا على الأرض متعامدًا مع الحائط، ثم ارسم على الأرض خطين آخرين يمثلان كلًّا من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس على التوالي، يجب أن يصنع كل منهما زاوية تساوي الزاوية الأخرى بالنسبة للخط العمودي، كما يجب أن يتلامسا عند النقطة نفسها على الحائط. اطلب إلى أحد الطلبة دحرجة كرة على الأرض على طول أحد خطي الزاوية. سيلاحظ الطلبة أن الكرة ترتد على طول الخط الآخر للزاوية، بالطريقة نفسها التي ينعكس بها الشعاع الضوئي عن السطح. م1

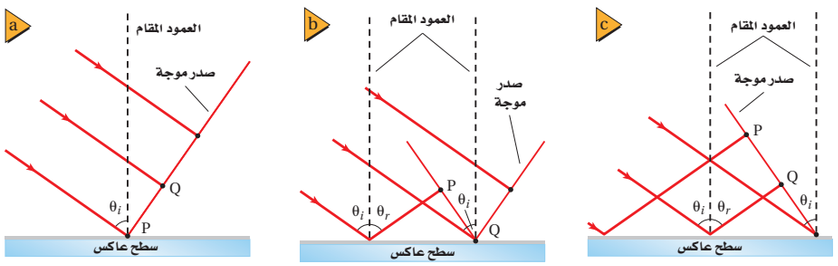


الشكل 1–4 يقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس ضمن مستوى الانتقال نفسه.

دلالة الألوان

- الأشعة الضوئية ومقدمات الموجة مرسومة وموضحة **باللون الأحمر**.
- المرايا مرسومة وموضحة باللون **الأزرق الفاتح**.

الشكل 2–4 يقترب صدر الموجة الضوئية من السطح العاكس. تصطدم النقطة P الموجودة على صدر الموجة بالسطح أولاً (**a**). وتصل النقطة Q إلى السطح بعد أن تكون النقطة P قد انعكست بزاوية مساوية لزاوية السقوط (**b**). وتستمر العملية وتُتابع النقاط جميعها الانعكاس بزوايا مساوية لزوايا سقوطها، مما يؤدي إلى تشكل صدر الموجة المنعكسة (**c**).



قانون الانعكاس The Law of Reflection

ماذا يحدث للضوء الساقط على هذا الكتاب؟ عندما تضع الكتاب بينك وبين مصدر الضوء فلن ترى أي ضوء ينفذ من خلاله. إن مثل هذا الجسم يُسمّى جسمًا معتمًا؛ إذ يحدث امتصاص لجزء من الضوء الساقط على الكتاب، ويتحول هذا الجزء إلى طاقة حرارية، كما ينعكس جزء آخر من الضوء الساقط على الكتاب. ويعتمد سلوك الضوء المنعكس على طبيعة السطح العاكس، وزاوية سقوط الضوء على السطح.

عندما تنتشر موجة في بعدين، وتصطدم بحاجز، فإن زاوية سقوطها على الحاجز تساوي زاوية انعكاسها. وينعكس الضوء بالطريقة نفسها التي ترتد بها كرة السلة بعد اصطدامها بالأرض. ويبين **الشكل 1–4** سقوط شعاع ضوئي على سطح مستوٍ عاكس. وتلاحظ أن هناك خطًّا وهميًّا عموديًّا على السطح العاكس عند نقطة سقوط الشعاع الضوئي على السطح. ويُسمّى هذا الخط بالعمود المقام. ويقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس من نقطة سقوط الشعاع الضوئي في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس. وعلى الرغم من أن الضوء ينتشر في ثلاثة أبعاد إلّا أن انعكاسه يكون في مستوى واحد. وتُعرف العلاقة بين زاويتي السقوط والانعكاس باسم قانون الانعكاس.

قانون الانعكاس $\theta_r = \theta_i$

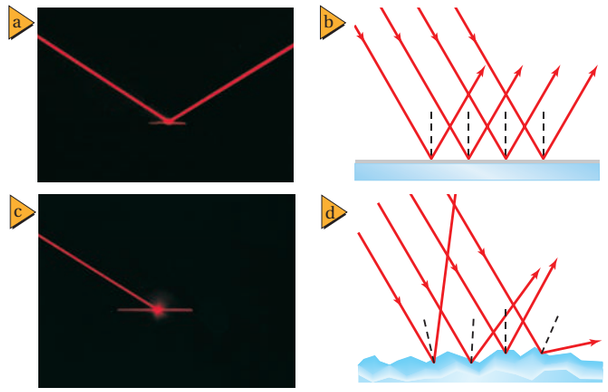
حيث تمثل θ_i زاوية السقوط، و θ_r زاوية الانعكاس.

الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود نفسه.

يمكن تفسير هذا القانون باستخدام النموذج الموجي للضوء؛ إذ يبين **الشكل 2–4** صدر موجة الضوء يقترب من السطح العاكس، وعندما تصل كل نقطة على امتداد صدر الموجة إلى السطح العاكس فإنها تنعكس بالزاوية نفسها كالنقطة السابقة لها. ولأن النقاط جميعها تنتشر بالسرعة نفسها فإنها ستقطع المسافة الكلية نفسها خلال الزمن نفسه، لذا ينعكس صدر الموجة كاملًا عن السطح بزاوية مساوية لزاوية سقوطها. لاحظ أن الطول الموجي للضوء لا يؤثر في هذه العملية؛ فألوان الضوء الأحمر والأخضر والأزرق جميعها تتبع هذا القانون.

نشاط **تحدٍّ**

الخداع البصري يستخدم استعراضيو الخدع البصرية عادة مرايا لعمل خداع بصري. وقد استخدم مخرجو الأفلام القديمة أحيانًا المرايا للحصول على مؤثرات خاصة لبعض المشاهد التصويرية. اطلب إلى الطلبة استقصاء الطرائق التي تستخدم فيها المرايا لعمل هذه المؤثرات، و العمل في مجموعات أو فرادى ليقدموا مسرحية مرحة، أو حيلة باستخدام المرايا. ويمكن لبعض الطلبة المهتمين محاولة زيارة محال تبيع أدوات تسلية تستخدم فيها الخدع البصرية أو إجراء مقابلات مع أحد المختصين في صناعة أو استخدام الخدع البصرية. م2 حركي



الشكل 3–4 عندما تسقط حزمة ضوئية على سطح مرآة (a) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة متوازيةً ومحافظةً على شكل الحزمة (b). وعندما تسقط حزمة الضوء على سطح خشن (c) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة عن سطوح مختلفة صغيرة جدًا، ممّا يؤدي إلى تشتت الأشعة (d).

السطوح الملساء والسطوح الخشنة تأمل حزمة الضوء الساقطة في **الشكل 3a–4** ولاحظ أن جميع الأشعة في الحزمة الضوئية قد انعكست عن السطح متوازية، كما في **الشكل 3b–4**. وهذا يحدث فقط إذا كان السطح العاكس أملس مقارنة بالطول الموجي للضوء. فالسطح الأملس أو المصقول، مثل المرآة، يسبب **انعكاسًا منتظمًا**؛ أي أن الأشعة الضوئية التي تسقط عليه متوازية تنعكس عنه متوازية أيضًا.

ماذا يحدث عندما يسقط الضوء على سطح يبدو أملس ولكنه في الواقع خشن، مثل صفحة هذا الكتاب أو جدار أبيض؟ يبين **الشكل 3c–4** حزمة ضوئية تنعكس عن صفيحة ورقية خشنة السطح، حيث سقطت أشعة الحزمة الضوئية جميعها متوازية، ولكنها انعكست غير متوازية، كما في **الشكل 3d–4**. ويُسمّى تشتّت الضوء عن سطح خشن **انعكاسًا غير منتظم**.

وعلى الرغم من أن قانون الانعكاس ينطبق على كل من السطوح المصقولة والخشنة؛ إذ تكون زاوية السقوط وزاوية الانعكاس لكل شعاع على حدة متساوية، إلا أن الأشعة المنعكسة عن السطوح الخشنة لا تكون متوازية، لأن الأعمدة المقامة على السطح الخشن عند مواقع السقوط لا تكون متوازية.

عرض سريع

السطوح العاكسة

الزمن المقدر 5 دقائق

المواد والأدوات مصباح يدوي، وشاشة بيضاء، وورقة بيضاء، ومرآة مستوية، ومؤشر ليزر.

الخطوات

1. في غرفة ذات إضاءة خافتة وجِّه ضوء المصباح اليدوي مباشرة على السبورة البيضاء. ينعكس بعض الضوء على امتداد السبورة بسبب الخدوش والنتوءات على اللوح.
2. ***تحذير: حذّر الطلبة من النظر مباشرة إلى مؤشر الليزر.***
ضع الورقة على طاولة أمام الحائط. ثم وجه شعاع الليزر في اتجاه الورقة بزاوية 45° تقريبًا. ثم اسأل: لماذا نشاهد انعكاسًا مشتتًا ومنتشرًا للضوء على الحائط؟ إن سطح الورقة خشن لذا يكون الضوء المنعكس مشتتًا ومنتشرًا.
3. ضع المرآة على الطاولة بالقرب من الحائط، ثم وجه شعاع الليزر بزاوية 45° تقريبًا في اتجاه المرآة، واسأل: لماذا نشاهد بقعة ضوئية منعكسة على الحائط؟ سيعكس سطح المرآة المصقول الضوء في صورة حزمة ضيقة، ولا يكون الضوء مشتتًا.

تطوير المفهوم

مرايا مطلية بالفضة معظم الانعكاسات عن المرايا العادية تحدث بسبب طبقة الطلاء الفضية، التي تغطي السطح السفلي للوح زجاجي؛ إذ ينعكس جزء قليل من الضوء عن السطح الأمامي فيكوّن أحيانًا صورة باهتة. السطوح المطلية بالفضة من الأمام أو المرايا التي تعكس الضوء عن سطحها الأمامي تكوّن صورًا واضحة وذات جودة عالية جدًّا؛ لأن الضوء ينعكس مباشرة عن الطبقة الفضية دون المرور خلال الزجاج؛ فينتج انعكاسا واحدا عن هذه المرايا، وهذا هو السبب الرئيس لاستخدامها.

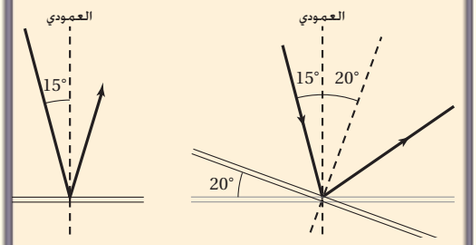
معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

طلاء المرايا كانت المرايا الأولى التي يعود تاريخها إلى العصور القديمة مصنوعة من معدن مصقول مثل البرونز أو القصدير أو الفضة. وكان أول ظهور للمرايا الزجاجية في القرن الرابع عشر في مدينة البندقية. وصنعت المرايا في القرنين السادس عشر والسابع عشر بضغط مزيج الزئبق والقصدير على قطعة من الزجاج، ثم التخلص من الزئبق الزائد. أما الطريقة التي تُطلى بها المرايا في الوقت الحاضر، فقد ابتكرها الكيميائي الألماني جوستوس فون ليبج عام 1835، وذلك بتحضير مزيج من الفضة والأمونيا، ثم سكبه على لوح من الزجاج، وبعد ذلك يُضاف عامل اختزال مثل الفورمالدهايد لكي يختزل المزيج إلى الفضة في حالتها الصلبة. والآن تتم صناعة المرايا برش مصهور الألومنيوم أو الفضة على لوح زجاجي في مكان مفرغ من الهواء.

مثال صفي

سؤال سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 15° مع العمودي. وبعد ذلك أديرت المرآة بزاوية 20° حول نقطة سقوط الشعاع عليها فزادت نتيجة لذلك زاوية سقوط الشعاع، فإذا كان محور الدوران عموديًّا بالنسبة لمستوى السقوط والأشعة المنعكسة فما مقدار زاوية الانعكاس النهائية للشعاع الضوئي؟



الإجابة

$\theta_{r,\text{نهائي}} = 35°$

مسائل تدريبية

1. السطوح تصبح ملساء أكثر .
2. 42.0°.a 48.0° .b 84.0°.c
3. 51.0°

المناقشة

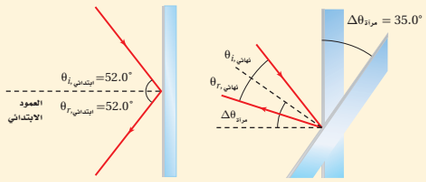
سؤال اسأل الطلبة: المرآة الجيدة يجب أن تكون مصقولة، كما يجب أن تعكس معظم الضوء الساقط عليها. ولكن هل هذا يكفي لتكون مرآة جيدة؟ ولماذا لا يعمل السطح الأملس الأبيض كمرآة جيدة؟

الإجابة المرآة النموذجية تعكس الضوء جيدًا بسبب تغطية خلفيتها بالفضة، ورغم أن السطح الأبيض يعكس الضوء جيدًا، إلا أنه يشتت الأشعة المنعكسة، لأنه ليس أملسًا مثل السطح المغطى بالفضة.

مثـــال 1

تغييرزاوية السقوط سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 52.0° بالنسبة للعمود المقام، فإذا دُوّرت المرآة بزاوية 35.0° حول نقطة سقوط الشعاع على سطحها بحيث نقصت زاوية سقوط الشعاع، وكان محور الدوران متعامدًا مع مستوى الشعاع الساقط والشعاع المنعكس، فما زاوية دوران الشعاع المنعكس؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل الحالة قبل دوران المرآة.
- ارسم شكلاً آخر بتطبيق زاوية الدوران على المرآة.

المعلوم	المجهول
$\theta_{i,\text{ابتدائي}} = 52°$	$\Delta\theta_r = ?$
$\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35°$	

2 ايجاد الكمية المجهولة

لتقليل زاوية السقوط دوّر المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة.

$\theta_{i,\text{نهائي}} = \theta_{i,\text{ابتدائي}} - \Delta\theta_{\text{مرآة}}$

عوّض مستخدمًا $\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35.0°$, $\theta_{i,\text{ابتدائي}} = 52.0°$

$= 52.0° - 35.0°$

$= 17.0°$ في اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

طبّق قانون الانعكاس $\theta_{r,\text{نهائي}} = \theta_{i,\text{نهائي}}$

عوّض مستخدمًا $\theta_{i,\text{نهائي}} = 17.0°$

$= 17.0°$ في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

أوجد الزاوية التي دار بها الشعاع المنعكس باستخدام الشكلين $\Delta\theta_r = 52.0° + 35.0° - 17.0°$

$= 70.0°$ في اتجاه حركة عقارب الساعة من الزاوية الأصلية

3 تقويم الجواب

- **هل الجواب واقعي؟** بمقارنة الرسم النهائي مع الرسم الابتدائي يتبين أن الزاوية التي يصنعها الشعاع الضوئي مع العمود المقام تقل عندما تدور المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة في اتجاه الشعاع الضوئي. ومن المنطقي أن يدور الشعاع المنعكس في اتجاه حركة عقارب الساعة أيضًا.

مسائل تدريبية

1. عند سكب كمية ماء فوق سطح زجاجي خشن يتحوّل انعكاس الضوء من انعكاس غير منتظم إلى انعكاس منتظم. وضح ذلك
2. إذا كانت زاوية سقوط شعاع ضوئي 42.0° فما مقدار كل مما يأتي:
   a. زاوية الانعكاس؟
   b. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والمرآة؟
   c. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس؟
3. سقطت حزمة ضوء ليزر على سطح مرآة مستوية بزاوية 38.0° بالنسبة للعمود المقام. فإذا حُرّك الليزر بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 13.0° فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

86

الفيزياء في الحياة

نشـــاط

المرايا المستوية المركبة اطلب إلى الطلبة استخدام ماتعلموه في هذا الدرس لتوضيح كيفية استخدام مجموعة من المرايا المستوية لتشكيل مرآة مركبة تكوِّن صور متعددة للجسم نفسه. يمكنهم مثلاً: دراسة المرآة المركبة المستوية ذات السطوح الثلاثة في بعض محلات الملابس، كما يمكنهم رسم مخطط توضيحي للأشعة ليتم بعد ذلك تحديد موقع كل صورة في المرآة ذات السطوح الثلاثة. دع الطلبة يبحثوا في استخدامات المرايا المركبة، ويرسموا مخططات توضيحية للأشعة في هذه المرايا. م2 **بصري - مكاني**

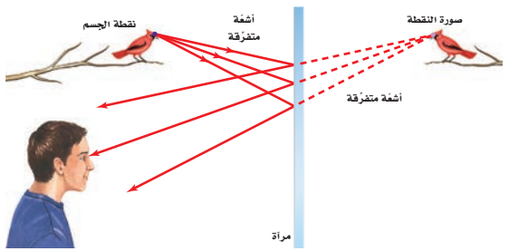
الأجسام والصور في المرايا المستوية
Objects and Plane–Mirror Images

عندما تنظر إلى نفسك بوساطة مرآة مستوية فإن ما تشاهده هو صورتك فيها. **فالمرآة المستوية** عبارة عن سطح مستوٍ أملس (مصقول) ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. ولفهم انعكاس الضوء عن المرايا يجب أن نحدّد الجسم ونوع الصورة المتكوّنة. وقد استخدمت كلمة جسم في الفصل السابق لتشير إلى مصدر الضوء، أما في موضوع المرايا فتستخدم كلمة جسم بالطريقة نفسها، لكن بتطبيق أكثر تحديدًا؛ **فالجسم** هو مصدر الأشعة الضوئية التي ستُعكَس عن سطح مرآة، ويمكن أن يكون الجسم مصدرًا مضيئًا مثل المصباح، أو مصدرًا مستضاءً مثل الشاب، كما في **الشكل 4–4**.

الشكل 4–4 المصباح الضوئي مصدر مضيء، ويشع الضوء في الاتجاهات جميعها. أما الشاب فيُعدّ مصدرًا مستضيئًا يشتّت ضوء المصباح الساقط على جسمه عن طريق الانعكاس غير المنتظم للضوء.

خذ نقطة مفردة على الطائر في **الشكل 5–4**، تلاحظ أن الضوء ينعكس انعكاسًا غير منتظم من نقطة الجسم (عُرف الطائر) فماذا يحدث للضوء المنعكس؟ يسقط الضوء من الطائر على المرآة وينعكس. سيصل الضوء المنعكس إلى عيني الصبي. ولأن دماغه يُعالج هذه الأشعة وكأنها سلكت مسارًا مستقيمًا، لذا سيبدو له أن الضوء يتّبع الخطوط المتقطعة على الشكل، أيْ كأنه قادم من نقطة خلف المرآة، والتي تمثل صورة النقطة.

وسيرى الصبي في **الشكل 5–4** الأشعة الضوئية القادمة من نقاط متعدّدة على جسم الطائر بالطريقة نفسها، وتتشكل بذلك صورة الطائر من اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة. وتعد هذه الصورة **صورة تقديرية**؛ وذلك لأنها تكوّنت من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وتقع الصور التقديرية دائمًا على الجانب الآخر من المرآة (خلف المرآة)، وهذا يعني أن صور الأجسام المتكوّنة في المرايا المستوية تكون دائمًا صورًا تقديرية؛ أي لا يمكن جمعها على حاجز.



الشكل 5–4 تبدو الأشعة المنعكسة التي تصل إلى العين وكأنها قادمة من نقطة خلف المرآة.

صفات الصور في المرايا المستوية
Properties of Plane–Mirror Images

إن اول ما تلاحظه عندما تنظر إلى نفسك في مرآة مستوية هو أن بعدك عن المرآة يساوي بعد صورتك عنها، وأن صورتك تقع خلف المرآة، وأنها معتدلة ومعكوسة جانبيًا، وإذا تحركت في اتجاه المرآة بسرعة ما فإن صورتك ستتحرك في الاتجاه المعاكس وبالسرعة نفسها.

المناقشة

سؤال اسأل الطلبة: لماذا يمكنهم مشاهدة صورهم عند النظر إلى النافذة ليلاً ولا يمكنهم ذلك في النهار؟ ولماذا يسهل مشاهدة أشياء خارج غرفة مظلمة عند النظر إليها من نافذة تلك الغرفة؟

الإجابة يُمرِّر زجاج النافذة معظم الضوء، وينعكس جزء من هذا الضوء، ففي النهار لا يكون الضوء المنعكس مرئيًّا؛ لأنه يكون باهتًا مقارنة بضوء الشمس القادم من الخارج. أما في الليل فيكون الضوء المنعكس مرئيًّا؛ لأن هناك ضوءاً قليلاً جدًّا في الخارج. م2

التفكير الناقد

الانعكاس ركب مرآتين صغيرتين مستويتين بحيث تقابل كل منهما الأخرى وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة 10 cm تقريبًا، اعمل ثقبًا في طبقة الطلاء خلف إحدى المرآتين على أن يقع الثقب على بعد يساوي ثلث طول المرآة نزولاً من أعلى المرآة. ثم ضع علبة مشروب غازي أو أي جسم آخر بين المرآتين. واطلب إلى الطلبة النظر من خلال الثقب ووصف الانعكاسات. سيجد الطلبة أن الانعكاسات لا نهائية وتبدو حجوم الصور المتكوّنة أصغر وأصغر. اطلب إليهم توضيح هذا التأثير. الصورة الأولى في كل مرآة هي صورة للعلبة الحقيقية، أما الصورة الثانية في كل مرآة فهي انعكاس للصورة الأولى في المرآة الأخرى، وتقع كل من الصور الأولى على بعد ثلاثة أمثال بُعْد العلبة الحقيقية عن المرآة المقابلة، لذا تظهر الصور الثانية خلف المرآتين على بعد يعادل ثلاثة أمثال بُعْد الصور الأولى. يتكرر هذا لكل صورة فتبدو أصغر لأنها تبتعد أكثر خلف المرآة. م2 **بصري - مكاني**

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

مهندسو البصريات قد يكون الطلبة الذين يحبون الفلك ويبدعون في علم البصريات مهتمين بمهنة مهندس البصريات في مرصد فلكي. مهندسو البصريات مسؤولون عن تصميم النظام البصري في المقراب الفلكي وتنسيقه وصيانته. بالإضافة إلى فهم أنظمة المرايا والعدسات، يجب أن يكون مهندسو البصريات قادرين على استخدام وصيانة الأجهزة التي تدعم النظام البصري (سيطرح موضوع العدسات في الفصل التالي). وعلى الطلبة المهتمين الذين يرغبون في الاستمرار في هذا المجال متابعة دراساتهم الجامعية ليحصلوا على درجة البكالوريوس في الهندسة ،أو في الفيزياء، كما عليهم أن يتعلموا أكبر قدر ممكن من الرياضيات.

تعزيز الفهم

عرض تجريبي تأكد من مدى فهم الطلبة بأن القدرة على رؤية الصورة المتكونة خلف المرآة المستوية، تعتمد على موقع الناظر الذي يمكِّنه من رؤية تلك الصورة. ولتأكيد ذلك ضع مرآة مستوية على حامل وسط غرفة الصف، واطلب إلى أحد الطلبة الوقوف أمام المرآة، واطلب إلى طالب آخر الوقوف بعيدًا عنها نحو الجهة اليمنى. ثم ضع جسمًا بعيدًا عنها نحو يسارها، بحيث لا يتمكن الطالب الأول من رؤية صورة الجسم، في الوقت الذي يمكن للطالب الثاني رؤيته. دع الطلبة في الصف يقفون في مواقع مختلفة لتترسخ لديهم فكرة كيف تؤثر زاوية نظر الطلبة فيما يمكن رؤيته باستخدام مرآة. م1 **حركي**

تجربة

موقع الصورة التقديرية

تحذير: *نبِّه الطلبة إلى الحذر عند حمل المرايا لأن حوافها قد تؤذيهم.*

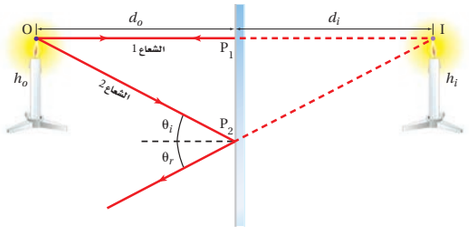
الهدف يُقدِّر بُعد الصورة عن المرآة المستوية.

المواد والأدوات آلة تصوير ذات قرص مُسجَّل عليه المسافات، ومرآة مستوية.

النتائج المتوقعة قراءة قرص التركيز تساوي 2.0 m

التحليل والاستنتاج

4. الصورة على بعد 1.0 m خلف المرآة.
5. تلتقط الكاميرا الضوء المتشتت عن سطح المرآة، كما لو كان الضوء قادمًا من نقطة خلف المرآة.



الشكل 6–4 تنبعث الأشعة الضوئية من نقطة على الجسم في الاتجاهات جميعها، حيث يسقط بعضها على سطح المرآة، فينعكس إلى العين. يبين الرسم شعاعين ضوئيين فقط. وتمتد خطوط الرؤية (الامتداد الخلفي) –الموضحة على هيئة خطوط متقطعة– إلى الخلف من مواقع انعكاس الأشعة على سطح المرآة إلى موقع التقائها، ويكون موقع الصورة في المكان الذي تلتقي فيه هذه الامتدادات: $d_i = -d_o$

موقع الصورة وطولها يوضح النموذج الهندسي في **الشكل 6–4** تساوي بُعد الجسم وبُعد الصورة عن المرآة وكذلك تساوي طول الجسم وطول الصورة. ويتبين ذلك برسم شعاعين صادرين من النقطة O على رأس الشمعة (أحدهما عمودي) يسقطان على المرآة في النقطتين P_1، P_2 على الترتيب. وينعكس الشعاعان وفق قانون الانعكاس، ويتقاطع امتدادا انعكاسيهما خلف المرآة على أنهما خطوط الرؤية (خط متقطع) في النقطة I التي تمثل صورة النقطة O. فالشعاع 1 يسقط على المرآة بزاوية سقوط $0°$، فينعكس مرتدًّا على نفسه؛ أي عموديًّا على المرآة. أما الشعاع 2 فينعكس بالزاوية نفسها التي سقط بها، لذا يصنع خط الرؤية (الامتداد الخلفي) مع المرآة زاوية مساوية للزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط نفسه مع المرآة.

ويبين النموذج الهندسي أن القطعتين المستقيمتين $\overline{OP_1}$، $\overline{IP_1}$ تمثّلان ضلعين متقابلين في مثلثين متطابقين OP_1P_2، IP_1P_2. وتمثل d_o بُعد الجسم عن المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{OP_1}$، أما d_i فتمثّل بُعد الصورة عن المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{IP_1}$. وباستخدام دلالة نظام الإشارات ـ حيث تشير الإشارة السالبة لموقع الصورة إلى أن الصورة تقديرية ـ تكون المعادلة التالية صحيحة:

موقع الصورة التي تُكوِّنها مرآة مستوية $d_i = -d_o$

بُعد الصورة عن المرآة المستوية يساوي سالب بُعد الجسم عنها، وإشارة السالب تدل على أن الصورة تقديرية.

ولإيجاد طول الصورة يمكنك رسم شعاعين من الجسم. فمثلًا يلتقي امتداد الشعاعين الصادرين من قمة الشمعة، كما في **الشكل 6–4**، في نقطة خلف المرآة تكوّن قمة الصورة. وسيكون طول الصورة h_i المتكوّنة – باستخدام قانون الانعكاس وهندسة تطابق المثلثات – مساويًا لطول الجسم h_o.

طول الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية $h_i = h_o$

في المرآة المستوية يكون طول الصورة مساويًا لطول الجسم.

تجربة

موقع الصورة التقديرية

افترض أنك تنظر إلى صورتك في مرآة مستوية، هل تستطيع قياس بعد الصورة؟

1. اطلب من معلمك آلة تصوير (كاميرا) على أن يكون لها قرص تركيز كُتبت عليه المسافات.
2. قف على بعد 1.0 m من المرآة، وركز الكاميرا على حافة المرآة، وتحقق من قراءة قرص التركيز. يجب أن تكون 1.0 m
3. قس بُعد صورتك من خلال تركيز الكاميرا عليها، وتحقق من قراءة قرص التركيز.

التحليل والاستنتاج

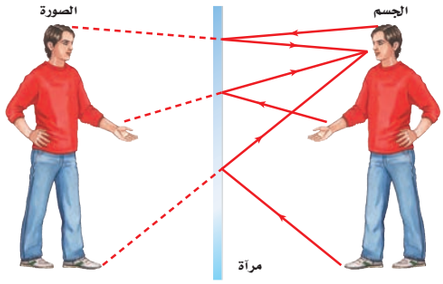
4. ما بُعد الصورة خلف المرآة؟
5. لماذا تكون الكاميرا قادرة على التقاط صورة للصورة التقديرية التي خلف المرآة، رغم عدم وجود جسم حقيقي في ذلك الموقع؟

88

نشاط

طرائق تدريس متنوعة

إعاقة بصرية اطلب إلى كل طالب ضعيف البصر، أن يعمل مع طالب آخر قادر على وصف أبعاد الصورة وخصائصها عند تنفيذ التجربة. يمكن للطلبة الذين يعانون من ضعف في البصر أن يدركوا مفهوم صور المرايا المستوية بشكل أفضل إذا سمحت لهم أن يسيروا من موقع الجسم في اتجاه المرآة المستوية. وضّح لهم أيضًا أنه لو كان بإمكانهم إكمال السير نحو المرآة فستكون الصورة خلف المرآة عند المسافة نفسها التي قطعوها. وعلى أي حال، فالصورة غير حقيقية؛ لأن المرآة المستوية تكوّن صوراً تقديرية. م1 **حركي**



الشكل 7–4 الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية لها حجم الجسم نفسه، وبُعد الجسم نفسه عن المرآة، وتقع خلف المرآة، وتكون معكوسة جانبيًا؛ فإذا حرك الشخص يده اليمنى تتحرك اليد اليسرى في الصورة.

وضع الصورة تُكوّن المرآة المستوية صورًا في اتجاه الجسم نفسه؛ أيْ تُكوّن صورًا معتدلة. فإذا كنت تقف على قدميك فإن الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية تظهر كذلك، وإذا كنت تقف على يديك تكون الصورة أيضًا بوضعية الوقوف على اليدين. غير أن هناك اختلافًا بينك وبين صورتك التي تكوّنها المرآة المستوية. تتبَّع خطوط الأشعة الموضحة في **الشكل 7–4**. فالأشعة المنتشرة من اليد اليمنى للشخص تبدو كأنها تتجمع في اليد اليسرى لصورته؛ أيْ تظهر اليد اليسرى، واليد اليمنى معكوستين في المرآة المستوية. فلماذا لا تنعكس قمة الجسم وقاعدته؟ هذا لا يحدث لأن المرآة المستوية في الحقيقة لا تعكس الجهة اليسرى واليمنى، بل تعمل المرآة في **الشكل 7–4** على عكس صورة الشخص فقط بحيث تقابله في الاتجاه المعاكس له؛ أي أن المرآة تكوّن صورًا معكوسة جانبيًّا.

4-1 مراجعة

4. **الانعكاس** سقط شعاع ضوئي على سطح مصقول عاكس بزاوية سقوط °80، ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع سطح المرآة؟
5. **قانون الانعكاس** وضح كيف يُطبّق قانون الانعكاس في حالة الانعكاس غير المنتظم.
6. **السطوح العاكسة** صنّف السطوح التالية إلى سطوح ملساء، وسطوح خشنة: ورقة، معدن مصقول، زجاج نافذة، معدن خشن، إبريق حليب بلاستيكي، سطح ماء ساكن، زجاج خشن (مصنفر).
7. **صفات الصورة** يقف طفل طوله 50 cm على بُعد 3 m من مرآة مستوية وينظر إلى صورته. ما بُعد الصورة وطولها؟ وما نوع الصورة المتكوّنة؟
8. **مخطّط الصور** إذا كانت سيارة تتبع سيارة أخرى على طريق أفقية، وكان الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية يميل بزاوية °45، فارسم مخطّطًا للأشعة يبين موقع الشمس الذي يجعل أشعتها تنعكس عن الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية، في اتجاه عيني سائق السيارة الخلفية.
9. **التفكير الناقد** وضح كيف يُمكّنك الانعكاس غير المنتظم للضوء عن جسم معين، من رؤية الجسم عند النظر إليه من أية زاوية.

89

4-1 مراجعة

4. °10.0
5. يطبق قانون الانعكاس على الأشعة المفردة للضوء. تؤدي السطوح الخشنة إلى انعكاس الأشعة الضوئية في اتجاهات مختلفة، لكن لكل شعاع ضوئي تكون زاوية سقوط الشعاع مساوية لزاوية انعكاسه.
6. سطوح ملساء: زجاج النافذة، سطح ماء ساكن، معدن مصقول. سطوح خشنة: ورقة، معدن خشن، زجاج خشن (مصنفر)، إبريق حليب بلاستيكي.
7. تبعد الصورة 3.0 m عن المرآة، وطولها يساوي 50.0cm، وتكون تقديرية.
8. المخططات التوضيحية يجب أن ترسم بحيث توضح أن موقع الشمس يقع تمامًا فوق الرأسي، وعلى الأغلب سينعكس الضوء في اتجاه عين السائق وفق قانون الانعكاس.
9. سينعكس الضوء الساقط عن سطح الجسم في الاتجاهات جميعها، مما يجعلك قادرًا على رؤية الجسم من أي موقع.

استخدام الشكل 7–4

اسأل الطلبة كم يجب أن يكون طول المرآة حتى يرى كل منهم انعكاسًا كاملاً لجسمه. للإجابة عن هذا السؤال، اطلب إلى أحد الطلبة الوقوف أمام مرآة طويلة على مسافة مناسبة. واطلب إلى طالب آخر أن يحدد النقطة التي يرى عندها كل من رأسه وقدميه في المرآة. أشر إلى أن أعلى نقطة في صورته في المرآة يجب أن تكون في مستوى طوله، وأسفل نقطة في صورته في المرآة يجب ألا تزيد على نصف طوله بالنسبة إلى الأرض. اطلب إلى الطلبة دراسة الزوايا المتكوِّنة بوساطة الأشعة الضوئية في **الشكل 6–4** لدراسة هذا التأثير. وبتطبيق قانون الانعكاس يجب أن يجد الطلبة أن الشخص سيرى صورته بحجمها الكامل إذا كان طول المرآة يعادل نصف طوله.

م2 **بصري-مكاني**

3. التقويم

التحقق من الفهم

موقع الصورة اسأل الطلبة عما إذا كانت النقطة الموجودة على سطح المرآة التي ينعكس عندها الضوء الصادر عن الجسم هي نفسها موقع الصورة المتكونة بوساطة الضوء المنعكس. الصورة خلف المرآة المستوية وليست على سطح المرآة أو في داخلها. هناك طريقة واحدة لإثبات ذلك، وهي جعل الطلبة يمسكون مرآة صغيرة ويضعون إبهامهم مباشرة على سطح المرآة، عندئذ يمكنهم ملاحظة أن الصورة خلف سطح المرآة.

م1 **بصري-مكاني**

إعادة التدريس

صورة المرآة ساعد الطلبة على قص قطع ورقية مطابقة لأيديهم. واطلب إليهم قلب هذه القصاصات ° 180 حول محور رأسي يمر في منتصفها. ثم اسألهم فيما إذا كانت عملية قلب هذه القطع تُنتج صورًا مماثلة لتلك التي تتكوّن في المرايا. إن عملية قلب هذه القطع تعكس اليسار إلى اليمين والأمام إلى الخلف، بعكس الصور التي تتكوّن في المرايا؛ حيث تنعكس صورة كل جزء فتكون مقابلة له. م1 **حركي**

4-2 المرايا الكروية

1. التركيز

نشاط محفز

الأنواع المختلفة للمرايا اطلب إلى الطلبة النظر إلى مرآة مستوية، ثم إلى ملعقة لامعة من الجانبين الأمامي والخلفي، وأشر إلى أن شكل السطح العاكس يؤثر في الصورة التي يكونها. م 1 **حركي**

الربط مع المعرفة السابقة

خصائص الصور لقد درس الطلبة في البند السابق خصائص الصور المتكونة بوساطة السطوح المستوية العاكسة، وفي هذا الدرس يوسعون مفاهيمهم لتشمل الأسطح العاكسة المنحنية، ويدرسون العلاقة بين البعد البؤري وبعد الجسم وبعد الصورة.

2. التدريس

تعزيز الفهم

البؤرة أكد على الفرق بين البؤرة F والبعد البؤري f. فالبعد البؤري هو المسافة بين قطب المرآة والبؤرة، بينما البؤرة F فهي النقطة التي تتجمع فيها انعكاسات الأشعة الساقطة متوازية وموازية للمحور الرئيس للمرايا المقعرة.

الأهداف

- **توضح** كيف تكوّن كل من المرايا المقعرة والمرايا المحدبة الصور.
- **تصف** خصائص المرايا الكروية
- **تذكر** استخدامات المرايا الكروية.
- **تحدد** مواقع وأطوال الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.

المفردات

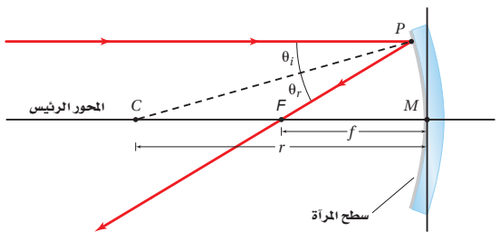
المرآة المقعرة
المحور الرئيس
البؤرة
البعد البؤري
الصورة الحقيقية
الزيغ (التشوه) الكروي
التكبير
المرآة المحدبة

عندما تنظر إلى سطح ملعقة لامعة تلاحظ أن انعكاس صورتك يختلف عن انعكاسها في مرآة مستوية. إذ تعمل الملعقة عمل مرآة كروية؛ حيث يكون أحد سطحيها منحنيًا إلى الداخل، والسطح الآخر منحنيًا إلى الخارج. وتعتمد خصائص المرايا الكروية والصور التي تكوّنها على شكل المرآة وموقع الجسم.

المرايا المقعّرة Concave Mirrors

يعمل السطح الداخلي للملعقة (السطح الذي يحمل الطعام) عمل مرآة مقعرة. **والمرآة المقعرة** سطح عاكس منحنٍ، حوافّه منحنية نحو المشاهد. وتعتمد خصائص المرآة المقعرة على مدى تقعرها، ويبين **الشكل 8–4** كيف تعمل المرآة الكروية المقعرة. ويبدو شكل المرآة الكروية المقعرة كأنه جزء مأخوذ من كرة جوفاء سطحها الداخلي عاكس للضوء. وللمرآة الكروية المقعرة المركز الهندسي نفسه، C، ونصف قطر التكوّر نفسه r، الخاصّين بالكرة المأخوذة منها. ويسمّى الخط الذي يحتوي على القطعة المستقيمة CM **المحور الرئيس**؛ وهو خط مستقيم متعامد مع سطح المرآة الذي يقسمها إلى نصفين. وتمثل النقطة M قطب المرآة؛ وهي نقطة تقاطع المحور الرئيس مع سطح المرآة.

عندما توجه المحور الرئيس للمرآة المقعرة نحو الشمس تنعكس الأشعة جميعها مارة بنقطة واحدة. ويمكنك تحديد هذه النقطة بتقريب وإبعاد قطعة ورق أمام المرآة حتى تحصل على أصغر وأوضح نقطة لأشعة الشمس المنعكسة على الورقة. وتُسمى هذه النقطة **بؤرة** المرآة الأصلية؛ وهي النقطة التي تتجمع فيها انعكاسات الأشعة الساقطة متوازية وموازية للمحور الرئيس.



الشكل 8–4 تقع بؤرة المرآة الكروية المقعرة في منتصف المسافة بين مركز التكوّر وسطح المرآة. وتنعكس الأشعة الساقطة موازية للمحور الرئيس مارة بالبؤرة F.

وعندما يسقط الشعاع على مرآة فإنه ينعكس وفق قانون الانعكاس. ويبين **الشكل 8–4** أن الأشعة الساقطة موازيةً للمحور الرئيس تنعكس عن المرآة وتقطع المحور في البؤرة F. وتقع البؤرة F في منتصف المسافة بين مركز التكور C والقطب M، أما **البعد البؤري** f، فيمثل المسافة بين قطب المرآة وبؤرتها الأصلية ويعبر عنه على النحو التالي: $f = \frac{r}{2}$، ويكون البعد البؤري للمرآة المقعرة موجبًا.

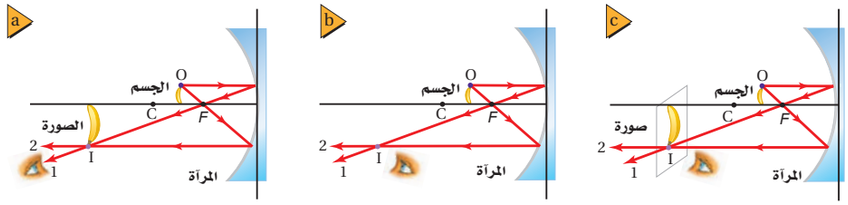
ونظرًا للبعد الكبير بين الشمس والأرض فإن جميع الأشعة التي تصل الأرض تُعد متوازية.

استخدام التشابه

البـؤرة اعرض مفهوم البـؤرة، وذلك بلف رباط مطاطي دون شده حول وسط مجموعة مكونة من عشرين سيخًا، أو من قطع المعكرونة غير المطبوخة. اسحب الأسياخ على جانبي رباط مطاطي، ثم اتركها، وأشر إلى أن هذه الأسياخ تتجمع عند نقطة من الرباط ثم تنتشر مبتعدة؛ تمامًا كما تنعكس الأشعة عن المرآة المقعرة؛ إذ تتجمع في البؤرة، ثم تعود وتتفرق عنها ثانية.

استخدام الشكل 9–4

قد يلاحظ الطلبة أن الأشعة في هذا الشكل رسمت حتى المستوى المتعامد مع المحور الرئيس بدلاً من سطح المرآة. بيِّن لهم أن ذلك التقريب متبع، كما سيدرسون سبب ذلك لاحقًا. والآن، اطلب إلى الطلبة أن يتأكدوا من رسم هذا المستوى على سطح المرآة في النقطة التي يتقاطع فيها المحور الرئيس مع سطح المرآة. م2



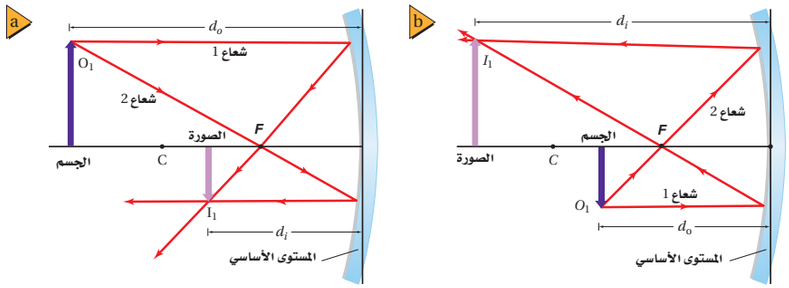
■ **الشكل 9–4** الصورة الحقيقية التي تُرى بالعين المجردة (**a**). لا ترى العين الصورة الحقيقية إذا كانت في موقع لا يلتقط الأشعة المنعكسة (**b**). الصورة الحقيقية كما ترى على شاشة معتمة بيضاء (**c**).

الطريقة الهندسية لتحديد موقع الصورة
Graphical Method of Finding the Image

تعد طريقة رسم مسارات الأشعة المنعكسة عن المرايا المقعرة مفيدة في تحديد موقع الصورة، ليس لأن موقع الصورة هو الذي يتغير فقط، بل لأن حجمها ووضعها أيضًا يتغيران. ويمكنك استخدام مخطّط الأشعة للكشف عن خصائص الصور التي تكوّنها المرايا المقعرة. ويبين **الشكل 9–4** عملية تكوين **صورة حقيقية**؛ وهي الصورة التي تتكون من التقاء الأشعة المنعكسة. ويمكن جمعها على الحاجز، وتلاحظ أن الصورة مقلوبة وأكبر حجمًا من الجسم، وأنّ الأشعة تلتقي فعليًّا في النقطة التي تتكون فيها الصورة. وتُحدِّد نقطة التقاطع، I، لشعاعين منعكسين موقع الصورة. ويمكنك رؤية الصورة في الفضاء عندما تسقط الأشعة المنعكسة التي كوَّنت الصورة على عينك، كما في **الشكل 9a–4**. يوضّح **الشكل 9b–4** أنه يجب أن يكون موقع عينك في الجهة التي تسقط عليها الأشعة المنعكسة المكوّنة للصورة، ولا يمكنك رؤية الصورة من الخلف. وإذا وضعت حاجزًا (شاشة) في موقع تكوّن الصورة فإن هذه الصورة ستظهر على الحاجز كما في **الشكل 2c–4**، وهذا غير ممكن في حالة الصور التقديرية التي تتكون من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة ولايمكن جمعها على حاجز.

ولتسهيل فهم كيفية سلوك الأشعة في المرايا المقعرة يمكنك استخدام أجسام أحادية البعد؛ سهم مثلا، كما في **الشكل 10a–4**. تكوِّن المرآة الكروية المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة للجسم؛ إذا كان بعد الجسم d_o أكبر من البعد البؤري f. أما إذا كان الجسم واقعًا بين البؤرة F ومركز التكور C كما في **الشكل 10b–4** فإن الصورة تكون مكبّرة. إذا كان الجسم واقعًا خلف مركز التكور C فإن الصورة ستكون مصغرة.

■ **الشكل 10–4** إذا كان بُعد الجسم عن المرآة أكبر من بُعد مركز التكوّر فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة مقارنة بالجسم (**a**). أما إذا كان الجسم بين البؤرة ومركز التكور فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومكبرة وموقعها خلف C (**b**).



91

نشاط **مشروع فيزياء**

استخدامات المرايا اطلب إلى الطلبة البحث في المجلات الفلكية. أو في الدوريات العلمية والتقنية ليجدوا بحثًا أو مقالاً حول تقنية حديثة تستخدم فيها المرايا المقعرة، مثل (مقراب هابل الفضائي)، وشجعهم على قراءة المقال، وتعلُّم كيفية استخدام هذه التقنية الحديثة للمرايا، وعلى إعداد عرض تقديمي لهذا الغرض، وقد يستطيعون كتابة إعلان لبيع تقنيات تتعلق بذلك. م2 **لغوي**

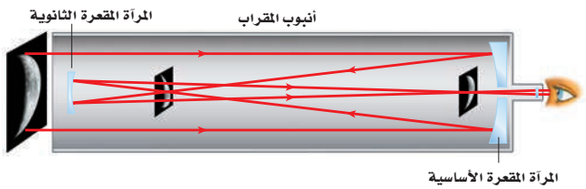
المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

مخطط الأشعة عند رسم مخططات توضيحية لمسارات الأشعة، سيجد الطلبة أحيانًا أن الأشعة لا تتقاطع مع الصورة المتكونة بوساطة المرآة على الورقة. وقد يعتقد الطلبة أن المخطط لا يمكن رسمه، أو أن المرآة لا تكوّن صورة كاملة للجسم. لذا وضح لهم كيف يمكنهم عمل امتداد للمستوى المتعامد مع المحور الرئيس إلى أعلى وإلى أسفل بمقدار ما يلزم. حيث يحدث انعكاس الأشعة على هذا المستوى كما لو كان يقطع المرآة. تظهر المرآة باستخدام هذا النموذج، على أنها تكوّن صورة كاملة للجسم، كما في الواقع. بيّن للطلبة أنه حتى في حالة الملعقة الفلزية، فإن الشخص يمكن أن يرى صورة الجزء العلوي كله من جسمه بالرغم من أن هذا الجزء أكبر من تجويف الملعقة.

التفكير الناقد

توضيح الصورة اسأل الطلبة عما إذا كانوا يعتقدون بأن المرآة عاكس مثالي. وعلى إفتراض أن المرآة قد تعكس 90% من الضوء الساقط عليها فقط. واطلب إلى الطلبة أن يتخيلوا الضوء الذي يرتد عن ثلاث مرايا كتلك المرآة، واحدة تلو الأخرى. ثم اسألهم عن نسبة الضوء المنعكس عن المرآة الثالثة بالنسبة إلى الضوء الأصلي الساقط.

لأن 90% من الضوء الساقط ينعكس عن كل مرآة، ستكون نسبة الضوء المنعكس بالنسبة للضوء الأصلي بعد الانعكاسات الثلاثة كما يأتي: $0.9 \times 0.9 \times 0.9 = 0.73$ أي سينعكس 37% من الضوء الأصلي الساقط. اسأل الطلبة كيف يمكن لمرآة كروية أن تستخدم لإعادة توضيح الصورة. يمكن لمرآة كروية كبيرة أن تجعل الصورة أكثر وضوحًا، وذلك بتركيز كمية الضوء نفسها على مساحة أصغر. م2



■ **الشكل 11–4** يكوّن مقراب جريجوريان Gregorian صورًا حقيقية ومعتدلة.

الربط مع الفلك

كيف يمكن تحويل الصورة الحقيقية والمقلوبة التي تكوّنها مرآة مقعرة إلى صورة معتدلة وحقيقية؟ لقد طوّر عالم الفلك الأسكتلندي جيمس جريجوري في عام 1663 المقراب المعروف باسمه، مقراب جريجوريان، المبين في **الشكل 11–4** لحل هذه المشكلة. ويتكوّن مقرابه من مرآتين مقعرتين إحداهما كبيرة والأخرى صغيرة. وتقع المرآة الصغيرة خلف بؤرة المرآة الكبيرة. وعندما تسقط الأشعة المتوازية القادمة من جسم بعيد على المرآة المقعرة الكبيرة فإنها تنعكس في اتجاه المرآة الصغيرة، التي تعكس بدورها هذه الأشعة مكوِّنة صورة حقيقية ومعتدلة تمامًا كالجسم.

استراتيجيات حل المسألة

استخدام طريقة رسم الأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية

استخدم الاستراتيجيات التالية لحل مسائل المرايا الكروية. ارجع إلى **الشكل 10–4**:

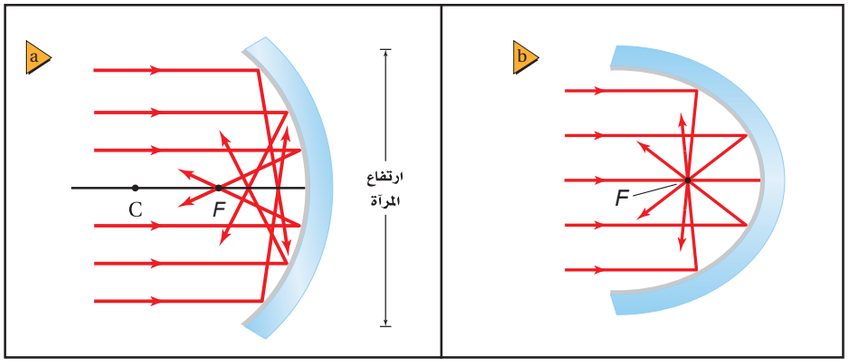
1. استخدم ورقة مُسطّرة أو ورقة رسم بياني، وارسم المحور الرئيس للمرآة على صورة خط أفقي من يسار الصفحة إلى يمينها، تاركًا مسافة 6 أسطر فارغة أعلاه، و6 أسطر فارغة أسفله.
2. ضع نقاطًا أو علامات على المحور تمثّل كلًّا من الجسم و C و *F* على النحو الآتي:
   a. إذا كانت المرآة مقعرة وكان الجسم خلف مركز التكور C، بعيدًا عن المرآة فضع المرآة عن يمين الصفحة، والجسم عن يسارها، وضع C و *F* وفق مقياس الرسم.
   b. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم بين C و *F* فضع المرآة عن يمين الصفحة وC في وسطها و *F* في منتصف المسافة بين المرآة ومركز التكور C ، وضع الجسم وفق مقياس الرسم.
   c. لأي وضع آخر، ضع المرآة في وسط الصفحة، وضع الجسم أو البؤرة *F* [أيهما أبعد عن المرآة] على يسار الصفحة، وضع الآخر الأقرب وفق مقياس الرسم.
3. ارسم خطًّا رأسيًّا لتمثيل المرآة، يمر بقطبها وفي الفراغ المكوّن من الاثني عشر سطرًا. يمثل هذا الخط المستوى الأساسي للمرآة.
4. ارسم الجسم على هيئة سهم، واكتب على رأسه O_1. للمرايا المقعرة، يجب ألا يزيد طول الأجسام الواقعة أمام C على 3 أسطر، وأمّا لسائر الأوضاع فاجعل طول الأجسام 6 أسطر. سيكون مقياس رسم طول الجسم مختلفًا عن مقياس الرسم المستخدم على المحور الرئيس.
5. ارسم الشعاع 1 بصورة موازية للمحور الرئيس، حيث ينعكس عن المستوى الأساسي مارًّا بالبؤرة.
6. ارسم الشعاع 2 مارًّا بالبؤرة. سينعكس هذا الشعاع عن المستوى الأساسي موازيًا للمحور الرئيس.
7. تتكون الصورة عند موقع التقاء الشعاعين المنعكسين 1 و 2 أو امتداديهما، وتكون الصورة ممثلة بسهم عمودي من المحور الرئيس إلى I_1 (نقطة التقاء الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما).

92

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

مخططات توضيحية للأشعة قد يكون رسم مخططات توضيحية للأشعة عملية مربكة للطلبة في المحاولة الأولى. إلا أن اكتساب هذه المهارة عملية مهمة جدًّا لحل مسائل الضوء. قسّم الطلبة في مجموعات صغيرة، وزود كل مجموعة بمسألتين أو ثلاث، على أن تتضمن المسائل مرايا مقعرة، ثم اطلب إلى كل مجموعة أن تطبق استراتيجيات حل المسألة السابقة خطوة خطوة لحل هذه المسائل. يجب على الطلبة رسم المخططات التوضيحية بصورة مستقلة، إلا أنهم قد يستفيدون من مناقشة كل خطوة في المجموعة. م1 **متفاعل**



الشكل 12–4 تعكس المرآة الكروية المقعرة جزءًا من الأشعة، بحيث تتجمع في نقاط غير البؤرة (**a**). تُجمّع مرآة القطع المكافئ الأشعة المنعكسة جميعها وتركّزها في نقطة واحدة (**b**).

عيوب الصور الحقيقية في المرايا المقعرة عند رسم الأشعة في المرايا الكروية يمكنك أن تعكس الأشعة عن المستوى الأساسي؛ وهو الخط الرأسي الذي يمثل المرآة، إلا أن الأشعة في حقيقة الأمر تنعكس عن المرآة نفسها، كما في **الشكل 12a–4**. لاحظ أن الأشعة المتوازية القريبة من المحور الرئيس (الأشعة المحورية) فقط هي التي تنعكس مارة بالبؤرة. أما الأشعة الأخرى فتلتقي في نقاط أقرب إلى المرآة. لذا فإنّ نتيجة انعكاس الأشعة التي تسقط متوازية على مرآة كروية ذات قطر كبير بانحناءٍ صغير، ستكون في صورة قرص، وليست نقطة. ويُسمى هذا العيب **الزيغ (التشوه) الكروي**، وهو ما يجعل الصورة تبدو غير واضحة.

والمرآة المقعرة التي تكون على شكل قطع مكافئ ـ كما في **الشكل 12b–4** ـ لا تعاني من الزيغ الكروي. ونظرًا لارتفاع تكلفة تصنيع المرايا الكبيرة التي تأخذ شكل القطع المكافئ تمامًا، فإن أغلب أجهزة المقراب الجديدة تستعمل مرايا كروية ومرايا ثانوية صغيرة مصمّمة على هيئة خاصة، أو عدسات صغيرة، لتصحيح الزيغ الكروي. ويمكن تقليل الزيغ الكروي كذلك بتقليل نسبة ارتفاع المرآة، الموضحة في **الشكل 12a–4**، إلى نصف قطر تكورها. وتُستخدم المرايا ذات التكلفة الأقل في التطبيقات التي لا تحتاج إلى دقة عالية.

تطبيق الفيزياء

مشكلة هابل

Hubble Trouble

أطلقت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في عام 1990 تلسكوب هابل الفضائي في مدار حول الأرض، وكان من المتوقع أن يُزوّد الوكالة بصور واضحة دون التشوه الحادث بوساطة الغلاف الجوي، إلّا أنه وجد بعد إطلاقه مباشرة زيغ كروي في الصور. وفي عام 1993 أجريت تصحيحات بصرية، سميت كوستار COSTAR، على تلسكوب هابل ليتمكن من إعطاء صور واضحة.

نشاط

الزيغ الكروي اطلب إلى الطلبة استقصاء الزيغ الكروي لصور حقيقية، على أن يستخدموا مرايا عرض مقعرة كبيرة. واطلب إليهم أيضًا تغطية محيط المرآة بالورق أو الكرتون. سيلاحظ الطلبة أن الصورة أقل وضوحاً ولكن الزيغ الكروي فيها قليل. ثم، اطلب إليهم تغطية وسط المرآة، سيلاحظون مرة أخرى أن الصورة أقل وضوحاً؛ إلا أن الزيغ الكروي يكون أكثر وضوحًا. كما سيكون ممتعًا استخدام ثقب قطره 5 cm تقريبًا في غطاء، وتحريكه على سطح المرآة كله. يجب أن يقارن الطلبة بين الصور المتكونة بوساطة مناطق مختلفة من سطح المرآة. م2 حركي

تطبيق الفيزياء

لقد حدث خلل في جهاز القياس في أثناء تلميع المرآة الأولية في مقراب هابل الفضائي، مما جعل الحوافّ الخارجية لها أكثر تسطحاً. وعلى الرغم من أن النقص في التحدب لم يتجاوز $\frac{1}{50}$ تقريبًا من قطر شعرة الإنسان، إلا أن ذلك كان كافيًا لجعل المشاهدة بوساطة مقراب هابل أفضل قليلاً فقط من المشاهدة بوساطة مقراب ثابت على الأرض. وركّزت التصحيحات البصرية التي سُميت كوستار COSTAR على خمسة أزواج من المرايا المصححة في مواقع معينة بحيث عوّضت وبنجاح الزيغ الكروي الحاصل في مقراب هابل. اطلب إلى الطلبة المهتمين أن يبحثوا حول مقراب (كوستار)، وأن يحضروا عرضًا تقديميًّا بخصوصه وحول أي تحسينات بصرية أخرى لمقراب هابل. م2

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

الزيغ الكروي يجب أن يفهم الطلبة أن الزيغ الكروي لا ينشأ عن خلل في صنع المرآة، بل هو خاصية ذاتية فيها، وهو يحدث حتى في المرايا الكروية الدقيقة الصنع. ويمكن تجنب الزيغ الكروي باستخدام مرايا سطوحها شبه كروية. ويعد انتاج مثل هذه المرايا اللازمة في المجالات الفلكية الدقيقة أمرًا صعبًا للغاية؛ لأن سطح الزجاج يجب أن يكون مصقولاً جدًّا. لبعض التطبيقات التي يكون فيها تكوّن الصور التي دقتها قليلة مقبولاً، يمكن انتاج مرايا كروية بلاستيكية مناسبة.

تطوير المفهوم

إختفاء الصورة ناقش مع الطلبة ما يحدث للصورة المتكونة لجسم بوساطة المرآة المقعرة في أثناء اقترابه من البؤرة من جهة المرآة، ومن مسافة بعيدة عن المرآة. يصبح طول الصورة أكبر وأكبر، ثم تختفي الصورة عندما يصبح الجسم قريبًا جدًّا من البؤرة؛ إذ تنعكس الأشعة عن المرآة بصورة متوازية بحيث لا يمكن أن يتقاطع بعضها مع بعض. توضح كل من معادلة المرآة ومعادلة التكبير أن الصورة المتكونة تتكون على بعد لا نهائي، وحجمها لا نهائي أيضًا. م2

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

موقع الجسم قد يعتقد الطلبة أنه من الضروري أن يقع الجسم على المحور الرئيس للمرآة المقعرة حتى تتكوّن صورة له. بالنسبة للمرآة المقعرة يمكن أن يكون الجسم على جانب المرآة طالما أن جزءًا من سطح المرآة يكون مرئيًّا للجسم. اطلب إلى الطلبة استعمال مرآة مقعرة مكبرة لاستقصاء هذا المفهوم. م1

الطريقة الرياضية لتحديد موقع الصورة
Mathmatical Method of Locating the Image

يمكن استعمال نموذج المرآة الكروية لإيجاد معادلة بسيطة خاصة بالمرايا الكروية. ويتعين عليك لتكوين الصورة مراعاة الاعتماد على الأشعة المحورية؛ وهي الأشعة القريبة من المحور الرئيس والمتوازية معه. واستعمال هذا التقريب إلى جانب استخدام قانون الانعكاس يقود إلى معادلة المرآة الكروية عن طريق ربط الكميات التالية بعضها مع بعض: البعد البؤري للمرآة الكروية f، وبعد الجسم d_o، وبعد الصورة d_i.

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

مقلوب البعد البؤري للمرآة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الجسم ومقلوب بُعد الصورة عن المرآة.

من المهم أن تتذكر عند استخدام هذه المعادلة في حل المسائل أنها صحيحة تقريبًا؛ حيث لا تتنبأ بالزيغ الكروي؛ لأنها تعتمد على الأشعة المحورية في تكوين الصور. وفي الحقيقة تكون الأشعة الصادرة عن الجسم مشتتة، لذا لا تكون جميع الأشعة موازية للمحور الرئيس أو قريبة منه. وتعطي هذه المعادلة صفات الصورة بدقة كبيرة، إذا كان ارتفاع المرآة صغيرًا مقارنة بنصف قطر تكوّرها، بحيث يحدّ من الزيغ الكروي.

التكبير للمرايا الكروية خاصية **التكبير** m؛ ويُقصد به كم مرّة تكون الصورة أكبر من الجسم أو أصغر منه. والتكبير عمليًّا هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم. ويمكن استخدام هندسة تطابق المثلثات لكتابة هذه النسبة بدلالة كلٍّ من بُعد الجسم وبعد الصورة.

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

يُعرّف تكبير مرآة كروية لجسم ما على أنه: طول الصورة مقسومًا على طول الجسم. ويساوي حاصل قسمة سالب بُعد الصورة عن المرآة على بعد الجسم عن المرآة.

إذا كان بُعد الصورة الحقيقية موجبًا، فإن التكبير يكون سالبًا، وهذا يعني أن الصورة مقلوبة مقارنة بالجسم. وإذا كان الجسم واقعًا خلف مركز التكور C كانت القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أقل من 1؛ وهذا يعني أن الصورة تكون أصغر من الجسم (مصغّرة). أما إذا وضع الجسم بين البؤرة F ومركز التكور C كانت القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أكبر من 1؛ أيْ أن الصورة أكبر من الجسم (مكبّرة).

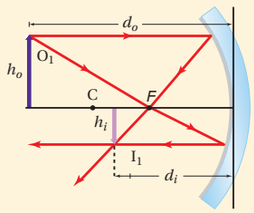
94

نشاط — مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

التكبير قد يحتاج بعض الطلبة إلى المساعدة ليتمكنوا من استيعاب مفهوم التكبير في المرايا الكروية. اقطع لوحا من الورق المقوى إلى مستطيلات مختلفة الأبعاد، وأعط مستطيلاً واحدًا لكل طالبين. ووضّح لهم كيف يمكنهم أن يستخدموا مسطرة لرسم جسم باستخدام نسبة تكبير كنسبة 2:5، ويتعين على الطلبة تضمين مقياس رسم مناسب في رسومهم. ثم اطلب إليهم تبادل الرسوم بين المجموعات المختلفة وتحديد الأبعاد للأجسام الحقيقية من خلال مقاييس الرسم. م2 **بصري-مكاني**

مثـــال 2

الصورة الحقيقية التي تكوّنها مرآة مقعرة وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 20.0 cm، وعلى بُعد 30 cm منها. فما بُعد الصورة؟ وما طولها؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططًا للجسم والمرآة.
- ارسم شعاعين أساسيّين لتحديد موقع الصورة على المخطّط.

المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0$ cm	$d_i = ?$
$d_o = 30.0$ cm	$h_i = ?$
$r = 20.0$ cm	

2 ايجاد الكمية المجهولة

نحسب البعد البؤري

بالتعويض عن $r = 20.0$ cm

$$f = \frac{r}{2}$$
$$f = \frac{20.0\text{ cm}}{2}$$
$$= 10.0\text{ cm}$$

استخدم معادلة المرآة، وحل لإيجاد بُعد الصورة:

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

بالتعويض عن $f = 10.0$ cm، و $d_o = 30.0$ cm

$$= \frac{(10.0\text{ cm})(30.0\text{ cm})}{30.0\text{ cm} - 10.0\text{ cm}}$$
$$= 15.0\text{ cm}$$ (صورة حقيقية أمام المرآة)

استخدم علاقة التكبير لحساب طول الصورة:

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

بالتعويض عن $d_i = 15.0$ cm، $h_o = 2.00$ cm، $d_o = 30.0$ cm

$$h_i = \frac{-d_i h_i}{d_o} = \frac{-(15.0\text{ cm})(2.0\text{ cm})}{30.0\text{ cm}}$$
$$= -1.0\text{ cm}$$ (صورة مقلوبة مصغرة)

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** جميع الوحدات بالسنتمتر cm.
- **هل هناك معنى للإشارة؟** الموقع الموجب والطول السالب متفقان مع الرسم.

مسائل تدريبية

10. وضع جسم على بُعد 36.0 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 16.0 cm، أوجد بُعد الصورة.
11. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 16.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 7.0 cm، أوجد طول الصورة.
12. وضع جسم بالقرب من مرآة مقعرة بعدها البؤري 10.0 cm، فتكوّن له صورة مقلوبة طولها 3.0 cm على بُعد 16.0 cm من المرآة. أوجد كلًّا من بعد الجسم عن المرآة وطول الجسم.

95

مثال صفي

سؤال وضع جسم طوله 6.4 cm على بعد 26.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطر تكورها 24.0 cm، أين تتكون الصورة؟ وما طولها؟

الإجابة

تتكون الصورة على بعد 22.3 cm أمام المرآة.

طول الصورة 5.5 cm وتكون حقيقية مقلوبة.

مسائل تدريبية

10. 28.8 cm
11. −1.9 cm
12. بُعد الجسم: 26.7 cm،
طول الجسم: 5.0 cm

تطوير المفهوم

أهمية مخطط الأشعة تأكد من الإشارة إلى أن تقنيات رسم الأشعة تصلح كاختبار للطريقة الجبرية (الحسابية) والعكس صحيح؛ إذ يجب أن تكون الطريقتان متوافقتين.

معادلة طول الصورة

تستخدم المعادلة $h_i = -d_i h_o / d_o$ كثيرًا في حل مسائل المرايا المقعرة.

قد يستفيد الطلبة من اشتقاق هذه المعادلة من معادلة التكبير. لحل المعادلة بالنسبة لطول الصورة h_i، يجب أن يضرب الطلبة النسب الموجودة في معادلة التكبير بطول الجسم h_o

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

م 2

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

المرايا السائلة اطلب إلى الطلبة تخيل كمية من الحليب تدار في وعاء إلى أن يصبح سطح الحليب على شكل قطع مكافئ. وضح للطلبة أن العلماء يستخدمون هذا المفهوم لصناعة مقاريب ذات مرايا سائلة. إذ يستخدمون فلز الزئبق الذي له قدرة عكس كبيرة؛ حيث يكون سائلا عند درجة حرارة الغرفة. يوضع الزئبق في إناء كبير، وعند تدويره بسرعة كبيرة يشكل الزئبق مرآة قطع مكافئ مقعرة. ولحماية الزئبق من الاهتزازات الخارجية يوضع في وعاء من الهواء المضغوط، يعمل كوسائد تحميه من الاهتزازات، كما توضع شريحة ملساء من البلاستيك الناعم على سطح الزئبق لحمايته من الاضطرابات الهوائية أيضًا. وعلى الرغم من أن المقراب ذا المرآة السائلة أقل تكلفة من المقراب الذي يستخدم المرايا الصلبة، إلا أن لهذا المقراب مساحة رؤية محدودة، لأنه يجب أن يوضع بحيث يكون متجهًا إلى أعلى تمامًا.

عرض سريع

موقع الصورة

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات مرآة مقعرة، وجسم متوهج يعمل بوساطة بطارية أو بطاقة كيميائية.

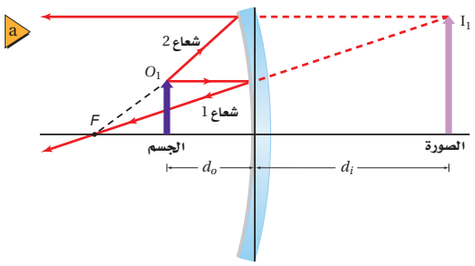
الخطوات

1. اجعل الضوء خافتًا وأمسك الجسم بيد، والمرآة المقعرة باليد الأخرى.
2. وجِّه المرآة نحو لوح أبيض أو نحو الحائط. ثم احمل الجسم بحيث يقع على المحور الرئيس بين F، C، على أن يكون قريبًا من البؤرة. ستظهر صورة كبيرة مقلوبة للجسم على الحائط.
3. اجعل الجسم خلف C. ستضطر إلى إمالة وجه المرآة تدريجيًّا بعيدًا عن الحائط. ستتكون صورة مصغرة مقلوبة بين C و F على الحائط.
4. اجعل الجسم بين F والمرآة. لن تتكوّن صورة حقيقية.

المناقشة

سؤال اسأل الطلبة عما إذا كانوا يتوقعون وجود فرق بين وضوح كل من الصور المكبرة والصور المصغرة.

الإجابة نعم، كلما تشتت الضوء انتشر على مساحة أوسع، وأصبحت الصور غير واضحة (مشوهة). وكلما تجمع الضوء يتركز على مساحة أصغر، ونتيجة لذلك تكون الصور المكبرة خافتة ومشوهة، أما الصور المصغرة فتكون أكثر وضوحًا (غير مشوهة). وهذا يوضّح لماذا يمكن تحديد موقع بؤرة المرآة المقعرة بإيجاد النقطة الأكثر وضوحًا للأشعة المنعكسة. توجد البؤرة للمرآة المقعرة في نقطة تجمع الأشعة المنعكسة التي كانت متوازية قبل اصطدامها بالمرآة. ف1



الشكل 13–4 عند وضع جسم بين البؤرة والمرآة الكروية المقعرة تتكون له صورة مكبّرة ومعتدلة وتقديرية خلف المرآة (a)، كما هو موضّح في الشكل (b). ما الصفات الأخرى التي تراها للصورة أيضًا في هذا الشكل؟

الصور التقديرية في المرايا المقعرة
Virtual Images with Concave Mirrors

لاحظت أنه كلّما اقترب الجسم من بؤرة المرآة المقعرة f ابتعدت الصورة عن المرآة. وإذا وضع الجسم في البؤرة تمامًا كانت الأشعة المنعكسة جميعها متوازية، ومن ثم لا تتقاطع، لذا نقول إن الصورة تكوّنت في ما لا نهاية، ولا تُرى صورة للجسم في هذه الحالة. ماذا يحدث إذا اقترب الجسم من المرآة أكثر؟

ماذا تلاحظ عندما تقرّب وجهك من مرآة مقعرة أكثر فأكثر؟ تكون صورة وجهك معتدلة وخلف المرآة. فالمرآة المقعرة تكوّن صورةً تقديرية إذا وضع الجسم بين المرآة والبؤرة، كما في **الشكل 13a–4**. ولتحديد صورة نقطة من نقاط الجسم يُرسم مرة أخرى شعاعان، وكما ذُكر سابقًا يُرسم الشعاع 1 ساقطًا بموازاة المحور الرئيس وينعكس مارًّا بالبؤرة. أمّا الشعاع 2 فيُرسم من نقطة على الجسم ليصل إلى المرآة، بحيث يمر امتداد هذا الشعاع في البؤرة، وينعكس هذا الشعاع موازيًا المحور الرئيس. تلاحظ أن الشعاعين 1 و2 يتشتّتان عندما ينعكسان عن المرآة، لذا لا يمكن أن يكوّنا صورة حقيقية، في حين يلتقي امتدادا الشعاعين المنعكسين خلف المرآة مكوّنين صورة تقديرية.

وعندما تستخدم معادلة المرآة المقعرة لتحديد بُعد صورة جسم يقع بين البؤرة والمرآة تجد أن بُعد الصورة يكون سالبًا. وستعطي معادلة التكبير تكبيرًا موجبًا أكبر من 1، وهذا يعني أن الصورة معتدلة ومكبّرة، مقارنة بالجسم، كما في الصورة الموضحة في **الشكل 13b–4**.

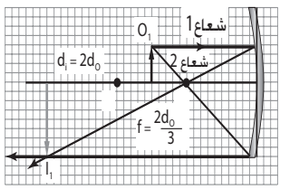
مسألة تحدٍّ

وضع جسم طوله h_o على بعد d_o من مرآة مقعرة بعدها البؤري f.

1. ارسم شكلاً لمخطّط أشعة يوضح البعد البؤري وموقع الجسم إذا كان بُعد الصورة الناتجة يساوي ضعفي بُعد الجسم عن المرآة، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا. واحسب البعد البؤري كدالّة رياضية في بُعد الجسم في هذه الحالة.
2. ارسم شكلاً لمخطّط أشعة يوضح بُعد الجسم إذا كان بُعد الصورة عن المرآة يساوي ضعفي البعد البؤري، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا، واحسب طول الصورة كدالّة رياضية في طول الجسم في هذه الحالة.
3. أين يجب وضع الجسم بحيث لا تتكوّن له صورة؟

مسألة تحدٍّ

.1



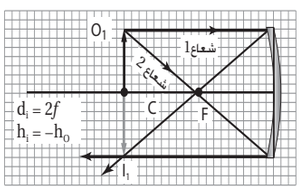
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

$$f = \frac{(d_o d_i)}{(d_o + d_i)}$$

$$f = \frac{(d_o (2d_o))}{(d_o + 2d_o)}$$

$$f = \frac{2d_o}{3}$$

.2

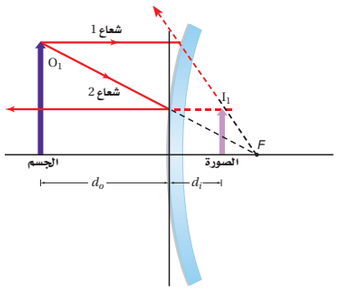


$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

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

$$d_o = \frac{f(2f)}{(2f - f)}$$

$$d_o = 2f$$



الشكل 14–4 تكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورًا تقديرية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

المرايا المحدبة Convex Mirrors

تعلمت في بداية هذا الفصل أن السطح الداخلي للمعلقة مصقولة يعمل عمل مرآة مقعرة. وإذا قلبت المعلقة فإن السطح الخارجي سيعمل عمل مرآة محدبة. والمرآة المحدبة سطح عاكس حوافه منحنية بعيدًا عن المشاهد. ماذا ترى عندما تنظر إلى ظهر ملعقة؟ سترى صورتك معتدلة ومصغرة.

وخصائص المرآة الكروية المحدبة موضحة في **الشكل 14–4**. فالأشعة المنعكسة عن المرآة المحدبة مشتّتة دائمًا. لذا تكوّن المرايا المحدبة صورًا تقديرية. وتكون النقطتان C و F واقعتين خلف المرآة. وعند تطبيق معادلة المرآة ستكون قيمتا d_i، f سالبتين دائمًا؛ لأنهما خلف المرآة.

ويبيّن مخطّط الأشعة في **الشكل 14–4** كيفية تكوّن الصورة بوساطة المرآة الكروية المحدبة، فعند أخذ شعاعين من العدد اللانهائي من الأشعة الصادرة عن الجسم فإن الشعاع 1 يسقط على المرآة موازيًا المحور الرئيس، وينعكس عنها، بحيث يمرّ امتداد الشعاع المنعكس في البؤرة F خلف المرآة. ويسقط الشعاع 2 على المرآة بحيث يمرّ امتداده في البؤرة F خلف المرآة، لماذا؟ وسيكون كلّ من الجزء المنعكس من الشعاع 2 وامتداد الشعاع 2 المنعكس خلف المرآة موازيين للمحور الرئيس، وسيتشتّت الشعاعان المنعكسان، في حين يلتقي امتداداهما خلف المرآة ليكوّنا صورة تقديرية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

تكون معادلة التكبير مفيدة لتحديد الأبعاد الظاهرية للجسم كما سيرى في المرآة الكروية المحدبة. فإذا علمت قطر جسم فاضربه في مقدار التكبير لمعرفة مدى تغير القطر عندئذٍ. وستجد أن القطر صغير، مثله مثل باقي الأبعاد، وهذا يفسّر لماذا يبدو بُعد الصور المتكونة لأجسام في مرآة محدبة أقل من بعدها الحقيقي.

مجال الرؤية قد يبدو أن استعمالات المرايا المحدبة محدودة بسبب الصور المصغّرة التي تكوّنها للأجسام، إلا أنّ هذه الخاصية جعلت للمرايا المحدبة استخدامات عملية؛ فمن خلال تكوينها صورًا مصغّرة للأجسام تؤدي المرايا المحدبة إلى توسيع المساحة، أو مجال الرؤية، التي يراها المراقب، كما في **الشكل 15–4**. كما أن مركز مجال الرؤية مشاهد من أي زاوية للناظر بالنسبة للمحور الرئيس للمرآة، ومن ثم يكون مجال الرؤية واضحًا بمشهدٍ أوسع. ولذا تُستخدم المرايا المحدبة على نحوٍ واسع على جوانب السيارات للرؤية الخلفية.

الشكل 15–4 تكوّن المرايا المحدبة صورًا أصغر من الأجسام، وهذا يزيد من مجال الرؤية للمراقب.

تجربة إضافية

إيجاد البؤرة

الهدف تحديد البؤرة لمرآة كروية .

المواد والأدوات مرآة محدبة صغيرة، ومرآة مقعرة صغيرة، وورقة، وصلصال.

تحذير: حذر الطلبة عند استخدام المرايا، إذ يمكن أن تؤذيهم حوافها الحادة.

الخطوات

1. استخدم صلصال لتثبيت مرآة مقعرة على سطح مستوٍ في منطقة بحيث تسقط عليها أشعة الشمس المباشرة وبشكل مائل بزاوية. ***تحذير: لا تنظر مباشرة إلى المرآة التي تعكس ضوء الشمس.***
2. اطلب إلى كل طالب على الترتيب أن يحمل ورقة و يُقرِّبها من المرآة ويبعدها عنها في منطقة الأشعة المنعكسة؛ وذلك لإيجاد البقعة الأكثر سطوعًا. ***تحذير: لا تُبقِ الورقة في البؤرة فترة طويلة لأنها قد تحترق.*** تمثل هذه البقعة بؤرة المرآة.
3. استبدل المرآة المقعرة بمرآة محدبة، ثم اطلب إلى الطلبة تكرار الخطوة 2 باستخدام المرآة المحدبة. لا يمكن إيجاد بقعة مضيئة (بؤرة) لهذه المرآة.

التقويم

1. لماذا تكوّن المرآة المقعرة بقعة مضيئة (بؤرة) بينما لا تكوّن المرآة المحدبة هذه البقعة؟ تُجمِّع المرآة المقعرة الأشعة الضوئية المنعكسة في بقعة واحدة (بؤرة)، بينما تُشتّت المرآة المحدبة الأشعة الضوئية المنعكسة، لذلك لا تتكون نقطة مضيئة.
2. كيف يرتبط ذلك ببؤرة كل مرآة؟ تقع البؤرة أمام المرآة المقعرة في البقعة المضيئة التي تجمعت فيها الأشعة المنعكسة، بينما تقع بؤرة المرآة المحدبة خلفها، لذلك لا يمكن إيجادها باستخدام الورقة و الأشعة المنعكسة.

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

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

$$h_i = \frac{(-(2f)h_o)}{2f}$$

$$h_i = -h_o$$

3. يجب أن يوضع الجسم في البؤرة.

مثال صفي

سؤال قلم طوله 16 cm وضع على بعد 23.5 cm من مرآة محدبة نصف قطر تكورها 28.4 cm، ما بعد الصورة عن المرآة؟ وما طولها؟

الإجابة

$$\frac{1}{23.5}+\frac{1}{d_i}=-\frac{1}{14.2}$$

$$d_i=-8.85\ \text{cm}$$

$$m=\frac{h_i}{h_o}=\frac{d_i}{d_o}\Rightarrow\frac{h_i}{16}=\frac{8.85}{23.5}$$

$$h_i=6\ \text{cm}$$

مسائل تدريبية

13. $-8.57\ \text{cm}$

14. $-0.60\ \text{m}$

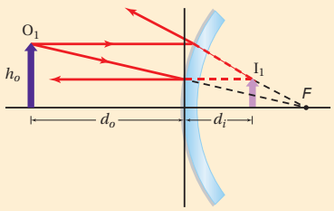
نشاط

استخدامات المرايا اطلب إلى الطلبة البحث في استخدامات المرايا وذلك بعمل قائمة لكل المرايا التي يشاهدونها في حياتهم اليومية، واصفين استخدامات كل منها. يمكن للطلبة أن يرسموا رسومًا توضيحية تساعدهم على شرح كيفية استخدام كل مرآة. واسمح لهم إذا أمكن إحضار بعض المرايا التي استخدموها إلى الغرفة الصفية. م1 **متفاعل**

مثـــال 3

الصورة في مرآة المراقبة تُستخدم مرآة محدبة بعدها البؤري 0.50 m من أجل الأمن في المستودعات، فإذا كان هناك رافعة شوكية طولها 2.0 m على بُعد 5.0 m من المرآة فما بُعد الصورة المتكوّنة وما طولها؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطّطًا للمرآة والجسم.
- ارسم شعاعين أساسيّين لتحديد موقع الصورة على المخطّط.

المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0\ \text{m}$	$d_i = ?$
$d_o = 5.0\ \text{m}$	$h_i = ?$
$f = -0.5\ \text{m}$	

2 ايجاد الكمية المجهولة

استخدم قانون المرآة، وأوجد بُعد الصورة.

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

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

بالتعويض عن $d_o = 5.0\ m,\ f = -0.50\ m$

$$=\frac{(-0.50\ \text{m})(5.0\ \text{m})}{5.0\ \text{m}+0.5\ \text{m}}$$

$$=-0.45\ \text{m}$$ (صورة تقديرية وخلف المرآة)

استخدم معادلة المرآة، وحل لإيجاد طول الصورة:

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

$$h_i=\frac{-d_ih_o}{d_o}$$

بالتعويض عن $d_o = 5.0\ \text{m}, h_o = 2.0\ \text{m}, d_i = -0.45\ \text{m}$

$$=\frac{-(-0.45\ m)(2.0\ m)}{(5.0\ m)}$$

$$=0.18\ \text{m}$$ (الصورة معتدلة ومصغرة)

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** جميع الوحدات بالمتر m.
- **هل هناك معنى للإشارة؟** تدل الإشارة السالبة في بُعد الصورة على أنها تقديرية، وتدل الإشارة الموجبة في طول الصورة على أنها معتدلة. وهذا يتفق مع المخطّط.

مسائل تدريبية

13. إذا وضع جسم على بعد 20.0 cm أمام مرآة محدبة بعدها البؤري 15.0 cm ، فأوجد بُعد الصورة المتكوّنة عن المرآة باستخدام الرسم التخطيطي وفق مقياس رسم، وباستخدام معادلة المرآة.

14. تقف فتاة طولها 1.8 m على بُعد 2.4 m من مرآة أمان خاصة بمستودع، فتكونت لها صورة طولها 0.36 m، ما البعد البؤري للمرآة؟

98

نشاط مشروع فيزياء

أنظمة المرايا بعض الأجهزة البصرية تستخدم أنظمة مرايا للحصول على صور ذات مواصفات محددة. اطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات ثنائية لتصميم نظام بصري لسطح المكتب باستخدام مرآتين أو أكثر، على أن تستخدم المرايا المستوية والمرايا الكروية. كما يجب أن يكون الطلبة قادرين على شرح نظامهم، بالإضافة إلى المعلومات المتعلقة بالأبعاد البؤرية، ومواقع الأجسام وخصائص الصور المتكونة. حث الطلبة على تصميم نظام مكون من مرآتين مستويتين، يُمكِّنهم من معالجة انقلاب الأحرف عند استخدام مرآة مستوية مفردة. م2 **حركي**

تعزيز الفهم

خصائص المرايا قسم الطلبة إلى مجموعات صغيرة، واطلب إلى كل مجموعة كتابة أسئلة من نوع (صح/ خطأ) حول خصائص المرايا على أحد وجهي بطاقات فهرسة، وكتابة الإجابات مرفقة بتوضيحاتها على الوجه الآخر لها. يمكن للمجموعات تبادل هذه البطاقات فيما بينها، ويمكن للطلبة أن يستخدموا هذه البطاقات في اختبار بعضهم بعضًا. م 1 متفاعل

3. التقويم

التحقق من الفهم

الصور الحقيقية والصور التقديرية اطلب إلى كل طالب أن يكتب ويعرض فقرة، يقارن من خلالها بين الصورة الحقيقية والصورة التقديرية المتكونة بوساطة المرايا المقعرة. م 1 لغوي

التوسع

المرايا المحدبة في الفن يمكن للطلبة أن يبحثوا في لوحات فنية تتضمن صورًا لمرايا محدبة. اطلب إلى كل طالب كتابة نص يصف فيه كيف يستخدم الفنانون المرايا في الرسم، ويتعين على الطلبة أيضًا وصف التأثيرات البصرية الناتجة عن استخدام المرايا المحدبة. م 2 لغوي

الجدول 1-4

خصائص الصور في مرآة مفردة

نوع المرآة	f	d_o	d_i	m	الصورة
مستوية		$d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert = d_o$ (سالب)	الحجم نفسه	تقديرية
مقعرة	+	$d_o > r$	$r > d_i > f$	مصغرة ومقلوبة	حقيقية
		$r > d_o > f$	$d_i > r$	مكبرة ومقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert > d_o$ (سالب)	مكبرة	تقديرية
محدبة	-	$d_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ (سالب)	مصغرة	تقديرية

مقارنة المرايا Mirror comparison

كيف تقارن بين الأنواع المختلفة من المرايا؟ يوضح **الجدول 1-4** مقارنة بين خصائص أنظمة مرآة مفردة (أحادية) لأجسام موضوعة على المحور الرئيس للمرآة. وتلاحظ من الجدول أنّ بُعد الصورة التقديرية دائمًا سالب؛ لأنها تقع دائمًا خلف المرآة. وعندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر و 1 تكون الصورة أصغر من الجسم. والتكبير السالب يعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. لاحظ أيضًا أن المرآة المستوية والمرآة المحدبة تكوّنان دائمًا صورًا تقديرية، في حين تكوّن المرآة المقعرة صورًا تقديرية وصورًا حقيقية. وتعطي المرايا المستوية انعكاسًا واقعيًّا للأشياء، أمّا المرايا المحدبة فتعمل على توسيع مجال الرؤية. وتعمل المرآة المقعرة على تكبير الصورة إذا كان الجسم واقعًا بين المرآة وبعدها البؤري.

4-2 مراجعة

15. **صفات الصورة** إذا كنت تعرف البعد البؤري لمرآة مقعرة فأين يجب أن تضع جسمًا بحيث تكون صورته مكبّرة ومعتدلة بالنسبة للجسم؟ وهل تكون هذه الصورة حقيقية أم تقديرية؟
16. **التكبير** وضع جسم على بُعد 20.0 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 9.0 cm، ما تكبير الصورة؟
17. **بعد الجسم** عند وضع جسم أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري 12.0 cm، تكوّنت له صورة على بُعد 22.3 cm من المرآة، فما بُعد الجسم عن المرآة؟
18. **بعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 22.0 cm من مرآة مقعرة بُعدها البؤري 12.0 cm، ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتي المرآة والتكبير.
19. **مخطّط الأشعة** وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 14.0 cm من مرآة محدبة بعدها البؤري 12.0 cm، ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتي المرآة والتكبير.
20. **نصف قطر التكوّر** وضع جسم طوله 6.0 cm على بعد 16.4 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول الصورة المتكوّنة 2.8 cm فما نصف قطر التكور للمرآة؟
21. **البعد البؤري** استخدمت مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها يساوي $\frac{2}{3}$ حجم الجسم على بُعد 12.0 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟
22. **التفكير الناقد** هل يكون الزيغ الكروي للمرآة أقل إذا كان ارتفاعها أكبر من نصف قطر تكورها أم إذا كان ارتفاعها أقل من نصف قطر تكورها؟ وضّح ذلك.

4-2 مراجعة

15. ضع الجسم بين المرآة والبؤرة. ستكون الصورة المتكونة تقديرية.
16. 0.82 -
17. 26.0 cm
18. بُعد الصورة: 26.4 cm
    الطول: 3.6 cm-
19. بُعد الصورة: 6.46 cm-
    الطول: 1.8 cm
20. 29 cm
21. 36 cm-
22. سيكون أقل بالنسبة لمرآة ارتفاعها أصغر نسبيًّا مقارنة بنصف قطر تكورها. تكون الأشعة المتشتتة والقادمة من الجسم التي تسقط على المرآة قريبة أكثر من المحور الرئيس عندما يكون ارتفاع المرآة قليلًا، لذلك ستتجمع تلك الأشعة في مكان قريب من المرآة فتتكوّن صورة واضحة باهتة.

صور المرايا المقعرة Concave Mirror Images

تعكس المرآة المقعرة الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس للمرآة مارّةً ببؤرتها. وتتكوّن أنواع مختلفة من الصور في المرآة المقعرة حسب بُعد الجسم عن المرآة، وتتكوّن الصور الحقيقية على حاجز، في حين لا تتكوّن الصور التقديرية على حاجز. ستستقصي في هذه التجربة أثر تغيير موقع الجسم في موقع الصورة ونوعها.

سؤال التجربة

ما الشروط الواجب توافرها لتكوين صور حقيقية وأخرى تقديرية باستخدام مرآة مقعرة؟

الأهداف

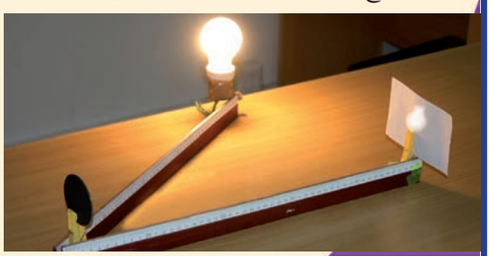
- **تجمع وتنظّم البيانات** الخاصة بموقعي الجسم والصورة.
- **تلاحظ** الصور الحقيقية والتقديرية.
- **تلخص** شروط تكوّن الصور الحقيقية والتقديرية في المرايا المقعرة.

احتياطات السلامة

- **لا تنظر إلى انعكاس الشمس في المرآة، ولا تستعمل مرآة مقعرة لتجميع ضوء الشمس وتركيزه.**

المواد والأدوات

مرآة مقعرة	مصباح ضوئي
حامل شاشة	حامل مرآة
مسطرتان مترتيان	شاشة
مصباح 15 W	4 دعامات للمساطر المترية



الخطوات

1. حدّد البعد البؤري للمرآة المقعرة المستخدمة باتباع الخطوات التالية: ضع المصباح على مسافة بعيدة ثم اعكس ضوءه عليها مع تحريك الشاشة ببطء نحو المرآة أو بعيدًا عنها حتى تحصل على أصغر صورة واضحة له، ثم قس المسافة بين الشاشة والمرآة على امتداد المحور الرئيس، وسجّل هذه القيمة على أنها البعد البؤري للمرآة f.
2. ثبّت المسطرتين المترتين على شكل حرف V، واجعل صفري المسطرتين عند نقطة التقائهما.
3. ضع المرآة على حاملها عند نقطة التقاء المسطرتين.
4. ضع المصباح (الجسم) على طرف إحدى المسطرتين البعيد عن نقطة التقاء المسطرتين، وضع الشاشة على دعامتها على الطرف البعيد الآخر للمسطرة الثانية.
5. أطفئ أنوار الغرفة.
6. أضئ المصباح. **تحذير: لا تلمس زجاجة المصباح الساخنة.** قس بعد الجسم، d_o، وسجّله في المحاولة 1. وقس طول الجسم، h_o، وسجّله أيضًا في المحاولة 1، ويمثّل هذا القياس طول المصباح أو طول فتيلته إذا كان المصباح شفافًا.
7. عدّل المرآة أو المسطرتين، كلّما تطلّب الأمر ذلك، بحيث تسقط الأشعة المنعكسة على الشاشة، وحرّك الشاشة ببطء إلى الأمام أو الخلف حتى تتكوّن صورة واضحة على الشاشة، ثم قس بعد الصورة d_i وطولها h_i وسجّلهما في المحاولة 1.
8. حرّك المصباح في اتجاه المرآة بحيث يصبح على بُعدٍ يساوي ضعفي البعد البؤري $d_o = 2f$، وسجّل قيمة d_o

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة.

المهارات العملية التجربة، الملاحظة والقياس، جمع البيانات وتنظيمها.

احتياطات السلامة ذكر الطلبة بما يأتي: التعامل مع المرايا بعناية؛ لأن حوافها الحادة قد تؤذيهم. وأن زجاجة المصباح قد تسخن جدًّا وقد تحرق الجلد، وعدم النظر مباشرة إلى أشعة الشمس المنعكسة عن المرآة، وعدم استخدام مرآة مقعرة كبيرة لتركيز ضوء الشمس، وأن يكونوا حذرين أيضاً إذا تم استخدام شمعة.

المواد البديلة يمكن أن تحل الشمعة محل المصباح.

استراتيجيات التدريس

- **ذكر الطلبة بعدم النظر مباشرة إلى أشعة الشمس أو انعكاس ضوء الشمس في اتجاه عيون الآخرين.**
- **يمكن أن نضطر لتحريك المرايا إلى الأمام والخلف عدة مرات بهدف تحديد أفضل موقع ممكن للصورة d_i.**

التحليل

تعتمد الإجابات المحتملة على عينة البيانات مثل:

f=40 cm ، d_i=65 cm ، d_o=95 cm.

1. $\frac{1}{d_o} = \frac{1}{95}\ \text{cm}^{-1} = 1.1\times10^{-2}\ \text{cm}^{-1}$

$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{65}\ \text{cm}^{-1} = 1.5\times10^{-2}\ \text{cm}^{-1}$

2. $\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = 2.6\times10^{-2}\ \text{cm}^{-1}$

$f_{\text{محدبة}} = \frac{1}{2.6\times10^{-2}\ \text{cm}^{-1}} = 39\ \text{cm}$

3. النسبة المئوية للخطأ

$\%\ \text{error} = \frac{40-39}{40}\times100\% = 2.5\%$

عينة بيانات

f= 40 cm

خطوة 7– لا تتكون صورة.

خطوة 8– تتكون صورة تقديرية في المرأة.

المحاولة	d_o (cm)	d_i (cm)	h_o (cm)	h_i (cm)
1	95	65	1	0.7
2	85	76	1	0.9
3	50	185	1	3.7
4	40	لا تقاس	1	لا يقاس
5	30	لا تقاس	1	لا يقاس

جدول البيانات				
المحاولة	d_o (cm)	d_i (cm)	h_o (cm)	h_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})	$f_{\text{محسوب}}$ (cm)	النسبة المئوية للخطأ (%)
1					
2					
3					
4					
5					

في المحاولة 2. ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، ثم قس d_i ، h_i وسجّلها في المحاولة 2.

9. حرّك المصباح في اتجاه المرآة بحيث يكون بعده عن المرآة d_o أكبر عدة سنتمترات من البعد البؤري f، وسجّل ذلك في المحاولة 3، ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، وقس d_i، h_i وسجّلها في المحاولة 3.
10. حرّك المصباح بحيث تصبح $d_o = f$، وسجّل ذلك في المحاولة 4، ثم حرّك الشاشة إلى الأمام والخلف محاولًا الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟
11. حرّك المصباح بحيث تصبح $d_o < f$، وسجّل ذلك في المحاولة 5، ثم حرّك الشاشة إلى الأمام والخلف محاولا الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟

التحليل

1. **استعمل الأرقام** احسب $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$ ، وسجّلها في جدول الحسابات.
2. **استعمل الأرقام** احسب مجموع $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّل النتيجة في جدول الحسابات. ثم احسب مقلوب كل نتيجة من هذه النتائج، وسجّله في جدول الحسابات في عمود $f_{\text{محسوب}}$.
3. **حلّل الخطأ** قارن البعد البؤري التجريبي، $f_{\text{محسوب}}$، بالبعد البؤري المقبول بإيجاد الخطأ النسبي.

الخطأ النسبي = $\frac{|f - f_{\text{محسوب}}|}{f} \times 100\%$

الاستنتاج والتطبيق

1. **صنّف** ما نوع الصورة التي شوهدت في كل محاولة؟
2. **حلّل** ما الشروط التي تطلّبها تكوين صور حقيقية؟
3. **حلّل** ما الشروط التي تطلبها تكوين صور تقديرية؟

التوسع في البحث

1. ما الشروط اللّازم تحقيقها حتى تكون الصورة أكبر من الجسم؟
2. راجع طرائق جمع البيانات، وحدّد مصادر الخطأ، وما الذي يتعين عليك عمله حتى يكون القياس أكثر دقة؟

الفيزياء في الحياة

ما الميزة التي تكمن في استخدام المقراب (التلسكوب) ذي المرآة المقعرة؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول الانعكاس ارجع إلى الموقع الإلكتروني:
obeikaneducation.com

الاستنتاج والتطبيق

1. في المحاولات من 3 -1 تتكوّن صورة حقيقية. أما في المحاولة 4 فلا تتكوّن صورة. في حين في المحاولة 5 تتكوّن صورة تقديرية.
2. تتكوّن صورًا حقيقية عندما يكون بعد الجسم عن المرآة أكبر من البعد البؤري.
3. تتكوّن صورًا تقديرية عندما يكون بعد الجسم عن المرآة أقل من البعد البؤري.

التوسع في البحث

1. تتكوّن صورًا أكبر من الجسم، عندما يقع الجسم بين المرآة ومركز تكورها.
2. قد تختلف الإجابات. ولكن من مصادر الخطأ تحديد البعد البؤري للمرآة بدقة. قد يذكر الطلبة أنه سيكون مفيدًا الحصول على مرآة أكبر، ونظيفة، أو خالية من أية خدوش. والمرآة ذات السطح الأمامي الفضي تكون ذات جودة عالية. وسيكون من الصعب أيضًا تحديد أين تقع الصورة الأكثر وضوحًا والأكثر حدّة بدقة.

الفيزياء في الحياة

الأشعة الضوئية القادمة من النجوم أو الكواكب البعيدة جدًّا ستصل متوازية، وستكون موازية للمحور الرئيس لذلك ستكون الصورة المتكوّنة حادة وواضحة.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اطلب إلى الطلبة تطوير إجراءاتهم الخاصة لتحديد البعد البؤري واستقصاء الصور المتكوّنة بوساطة المرايا الكروية. واطلب إليهم استخدام مواد وأدوات متوافرة مثل: مرآة مقعرة بعدها البؤري 10 cm، ومرآة محدبة بعدها البؤري 10 cm، وحاملات مرايا، وشمعة أو مصدر ضوء، وشاشة، ومسمار مثبت في قاعدة فيها شق؛ لتطبيق ما يعرفونه في تكون صور بوساطة العدسات.

الخلفيّة النظرية

تغلّب مقراب هابل الفضائي على مشكلة التشوه الناتج عن الغلاف الجوي. ويمكن لمقراب مزود بنظام بصري على سطح الأرض أن يزودنا بصور تماثل جودة الصور التي يزودنا بها مقراب هابل أو أفضل منها.

تكون موجات الضوء القادمة من مصدر ضوئي نقطي بعيد جدًّا متوازية، ولكن الغلاف الجوي يحدث تشوهًا للصورة بسبب الانحراف القليل للموجات؛ بحيث تبدو أنها غير متوازية. وبتغيير شكل المرآة تصبح الموجات متوازية مرة أخرى.

استراتيجيات التدريس

- تسبب تيارات الحمل للهواء الساخن تلألؤ النجوم، مما يجعل الصورة تتموج. يمكن توضيح ذلك في المختبر بوساطة إشعال مصدر لهب، والسماح للطلبة بالنظر عبر سطح اللهب.
- هناك عدة أماكن على الأرض لا تظهر فيها السماء معتمة لفترة طويلة، لذا قد لا يستطيع الطلبة هناك رؤية النجوم المتلألئة أبدًا. نظّم رحلة مسائية قصيرة إلى إحدى المناطق المفتوحة في ليلة صافية خلال أشهر الشتاء. وينصح باستخدام مقراب صغير أو منظار ميدان (ثنائي العين). ويمكن الحصول على المساعدة اللازمة من الجمعية الفلكية البحرينية.

نشاط

نظام بصري قابل للتكيف محلي الصنع

ركب مرآة قابلة للتكيف باستخدام طوق تطريز وشريحة مطلية بالمعدن أو بالون من رقائق معدنية رقيقة. ثم شتت حزمة أشعة ليزر بتسليطه في اتجاه سطح لامع. ثم وجّه أشعة الليزر المشتتة في اتجاه شاشة مستخدمًا مرآة مرنة. ثم عدل المرآة بلطف حتى تقلل من مقدار تشتت الأشعة.

التوسع

1. تطلق المراصد الفلكية شعاع ليزر قويًّا نحو الفضاء ليبدو كأنه نجم اصطناعي.
2. تنعكس حزمة الليزر الخافتة عن الجزء الحساس في العين (شبكية العين). يمكن استخدام كل من جهازي كاشف الموجة والحاسب الآلي لتحديد كيف تعمل العين على تشويه الحزمة. قد يتمكن علماء البصريات يوما ما من صنع نظارات لتصحيح التشويه.

الأنظمة البصرية المتكيفة Adaptive Optical Systems

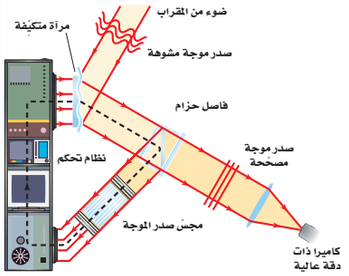
يصعب ملاحظة الأجسام الموجودة في الفضاء من الأرض لأنها برّاقة ومتلألئة؛ حيث تؤدي حركة الغلاف الجوي والتسخين غير المتساوي له، إلى انكسار الضوء القادم من تلك الأجسام بصورة فوضوية، ويمكن تشبيه ذلك بمحاولة النظر إلى جسم صغير من خلال الجزء السفلي لبطرمان فارغ مصنوع من الزجاج الشفاف في أثناء تدويره.

المرآة المتكيّفة المرنة يعوّض النظام البصري المتكيّف AOS باستمرار التشوهات الناجمة عن الغلاف الجوي من خلال إزالة اللمعان من صور النجوم؛ حتى يتمكن الفلكيون من مشاهدة صور ثابتة لأبعد الأجسام في الكون المرئي وتصويرها.

ينقل النظام البصري المتكيّف AOS صورة النجم المكبّرة من المقراب إلى مرآة متكيّفة مرنة مصنوعة من زجاج رقيق، وتشد هذه المرآة بوساطة 20–30 مكبسًا متحركًا؛ إذ تؤدي تلك المكابس إلى دفع سطح المرآة أو سحبه إلى أي شكل مهما كان معقدًا أو صعبًا. ويعمل كل مكبس بوساطة محرك سريع، يتم التحكم فيه آليًّا عن طريق حاسوب. وعندما يصبح سطح المرآة مطابقًا تمامًا للنمط المحدد في الوقت المحدد فإنها تُعوِّض عن حركة الحمل الحراري في الغلاف الجوي بين المقراب والنجم، وستعكس صورة واضحة نحو المراقب أو الكاميرا.

مجس صدر الموجة يُوجَّه مجس صدر الموجة نحو نجم واحد خلال المقراب للكشف عن التشوه الناجم بفعل الغلاف الجوي في كل لحظة؛ إذ تحتوي هذه الأداة على مجموعة مرتبة من العدسات الرقيقة في صفوف متعدّدة، وتكوّن كل مجموعة عدسات صورة للنجم على شاشة حساسة خلفها، ويمكن أن يُقرأ موقع كل صورة بوساطة الحاسوب.

إذا كانت الصورة لا تقع خلف مجموعة العدسات الخاصة بها تمامًا فإن برمجيّات الحاسوب تميّز أن موجات النجم الضوئية تكون مشتتة بفعل الغلاف الجوي. لاحظ أن النجم يمثّل مصدرًا ضوئيًّا نقطيًّا بعيدًا، لذا فإنه يُنتج موجات مستوية.



يلقي النظام البصري المتكيّف التشويه في صورة تيتان-أكبر أقمار زحل.

والصورة المشوهة للنجم ناتجة عن موجات ضوء غير مستوية، وهذه الموجات غير المستوية تؤدي إلى إزاحة صور النجم خلف بعض مجموعات العدسات فتختفي الصورة.

وتعالج برمجيّة الحاسوب هذا الخطأ، من خلال تقانة محددة، تعمل على تكيف المرآة لإعادة الصور المختفية جميعها إلى مكانها؛ إذ تنعكس صورة النجم نحو المشاهد (المراقب) ثم تُصحّح، ولذا سترى صورة جميع الأجسام (مثل المجرات والكواكب) القريبة بوضوح. ونستطيع تغيير شكل المرآة المتكيّفة 1000 مرة تقريبًا في الثانية.

التوسع

1. **ابحث** ما الإجراء المتّبع إذا لم يكن هناك نجم مناسب لتحليله أو دراسته باستخدام مجس صدر الموجة وذلك في منطقة من الفضاء تحت المراقبة؟
2. **طبّق** ابحث في كيفية استخدام المتكيّف البصري في المستقبل لتصحيح الرؤية.

4–1 الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from Plane Mirrors

المفردات

- انعكاس منتظم
- انعكاس غير منتظم
- مرآة مستوية
- جسم
- صورة تقديرية

الأفكار الرئيسة

- وفق قانون الانعكاس، فإن الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام على السطح عند النقطة نفسها.

$$\theta_r = \theta_i$$

- يُطبّق قانون الانعكاس على السطوح الخشنة والسطوح المصقولة، حيث يكون العمود المقام على السطح الخشن في اتجاهات كثيرة مختلفة، وهذا يعني أن الأشعة المتوازية الساقطة تنعكس مشتّتة. (انعكاس غير منتظم)، بينما تنعكس الأشعة الساقطة على السطح المصقول متوازية (انعاس منتظم).
- يُنتج السطح المصقول انعكاسًا منتظمًا، في حين يُنتج السطح الخشن انعكاسًا غير منتظم.
- يُسبّب الانعكاس المنتظم تكوّن الصور التي تظهر كأنها خلف المرايا المستوية.
- الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية تقديرية دائمًا، وحجمها يساوي حجم الجسم نفسه، ولها اتجاه الجسم نفسه، وبعدها عن المرآة يساوي بُعد الجسم عن المرآة.

$$d_i = -d_o \quad h_i = h_o$$

4–2 المرايا الكروية Curved Mirrors

المفردات

- المرآة المقعّرة
- المحور الرئيس
- البؤرة
- البعد البؤري
- الصورة الحقيقية
- الزيغ الكروي
- التكبير
- المرآة المحدّبة

الأفكار الرئيسة

- يمكنك تحديد موقع الصورة التي تكوّنها مرآة كرويّة من خلال رسم شعاعين من نقطة على الجسم إلى المرآة، وتكون نقطة تقاطع الشعاعين المنعكسين أو امتدادها صورة نقطة الجسم.
- تُعبّر معادلة المرآة عن العلاقة بين بعد الصورة، وبعد الجسم، والبعد البؤري للمرآة الكروية:

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

- تُعبّر النسبة بين بُعد الصورة وبُعد الجسم، أو النسبة بين طول الصورة، وطول الجسم عن تكبير الصورة في المرآة.

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

- تكوّن المرآة المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة عندما يكون بعد الجسم أكبر من البعد البؤري.
- تكوّن المرآة المقعرة صورة تقديرية ومعتدلة عندما يكون بعد الجسم أقل من البعد البؤري.
- تكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورة تقديرية ومعتدلة ومصغرة.
- تبدو الصور التي تكوّنها المرايا المحدبة أبعد، كما تنتج مجال رؤية واسعًا؛ لأنها تكوّن صورًا مصغرة.
- يمكن استخدام المرايا في مجموعات أو ضمن تراكيب لإنتاج صور بحجوم وأوضاع ومواقع مختلفة، حسب الحاجة أو الرغبة. ويُعدّ المقراب (التلسكوب) الاستخدام الأكثر شيوعًا لمثل هذه التراكيب.

الأفكار الرئيسة

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

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

خريطة المفاهيم

23. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

إتقان المفاهيم

24. الأشعة الضوئية المتوازية والموازية للمحور الرئيس والتي تسقط على حواف المرآة المقعرة الكروية لا تنعكس مارة بالبؤرة. ويسمى هذا التأثير بالزيغ الكروي.

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

26. $C=2f$

27. التكبير يساوي سالب بُعد الصورة مقسومًا على بُعد الجسم عن المرآة.

28. تستخدم المرايا المحدبة للنظر إلى الخلف في السيارات؛ لأنها توفر مدى واسعاً للرؤية، مما يساعد السائق على رؤية مساحة أكبر من التي توفرها المرايا العادية للمشاهد الخلفية بالنسبة للسائق.

29. لأنها تشتت الأشعة الضوئية دائمًا.

تطبيق المفاهيم

30. ستتكون الصورة عند مركز التكور C، وستكون مقلوبة وحقيقية ومساوية لحجم الجسم نفسه.

31. ستتكون الصورة بين C و F وستكون مقلوبة وحقيقية وأصغر من الجسم.

32. استخدم مرآة قطع مكافئ للتخلص من الزيغ الكروي.

33. توفر المرآة المحدبة صورا مصغرة تقديرية ومعتدلة وأقرب إلى المرآة من الجسم.

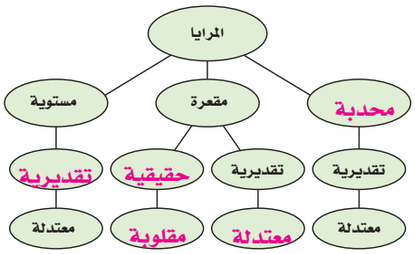
34. يوضع الجسم على بُعد أكبر من البعد البؤري للمرآة.

35. تستخدم مرآة مقعرة بحيث يوضع الجسم خلف مركز التكور، أو أن تستخدم مرآة محدبة ويوضع الجسم في أية نقطة أمامها.

36. مرايا محدبة، وتوفر مدى أوسع للرؤية.

خريطة المفاهيم

23. أكمل خريطة المفاهيم باستخدام المصطلحات التالية: محدبة، معتدلة، مقلوبة، حقيقية، تقديرية.



إتقان المفاهيم

24. ما الخلل أو العيب الموجود في جميع المرايا الكروية المقعرة؟ وما سببه؟

25. ما المعادلة التي تربط بين كلٍّ من بعد الجسم وبعد الصورة والبعد البؤري؟

26. ما العلاقة بين مركز تكور المرآة المقعرة وبعدها البؤري؟

27. إذا عرفت بعد الصورة وبعد الجسم عن مرآة كروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير هذه المرآة؟

28. لماذا تستخدم المرايا المحدّبة على أنها مرايا مخصّصة للنظر إلى الخلف في السيارات؟

29. لماذا يستحيل تكوين صور حقيقية بوساطة المرآة المحدبة؟

تطبيق المفاهيم

30. اذكر الصفات الفيزيائية للصورة التي تكوّنها مرآة مقعرة إذا كان الجسم موضوعًا عند مركز تكوّرها، وحدّد موقعها.

31. إذا وضع جسم خلف مركز تكور مرآة مقعرة فحدّد موقع الصورة، واذكر صفاتها الفيزيائية.

32. **المقراب (التلسكوب)** إذا احتجت إلى مرآة مقعرة كبيرة لصنع مقراب يكوّن صورًا ذات جودة عالية فهل تستخدم مرآة كروية أم مرآة قطع مكافئ؟ وضّح ذلك.

33. صف خصائص الصورة التي كوّنتها المرآة المحدبة الموضّحة في **الشكل 16–4** .

الشكل 16–4

34. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة حقيقية بوساطة مرآة كروية مقعرة؟

35. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة مصغرة بوساطة مرآة كروية محدبة أو مقعرة؟

36. **المرايا المستخدمة للرؤية الخلفية** يُكتب على مرايا السيارة الجانبية المستخدمة في النظر إلى الخلف التحذير التالي: "الأجسام في المرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرايا؟ وبمَ تمتاز من غيرها؟

إتقان حل المسائل

4–1 الانعكاس عن المرايا المستوية

37. سقط شعاع ضوئي بزاوية 38° مع العمود المقام عند نقطة السقوط. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام؟

38. إذا سقط شعاع ضوئي بزاوية 53° مع سطح المرآة؛ فأوجد ما يلي:

a. مقدار زاوية الانعكاس.

b. مقدار الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

39. سقط شعاع على مرآة مستوية وصنع زاوية 36° مع المرآة. ما مقدار الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس؟

40. ارسم مخطّط أشعة لمرآة مستوية تبين فيه أنه إذا أردت رؤية نفسك من قدميك حتى قمة رأسك فإنه يجب أن يكون طول المرآة المستخدمة على الأقل يساوي نصف طولك.

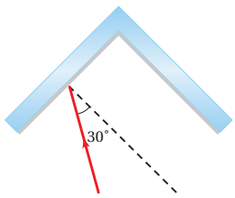
41. **الصورة في المرآة** أراد طالب أن يلتقط صورة بكاميرا لصورته في مرآة مستوية كما في **الشكل 17–4**. فإذا كانت الكاميرا على بعد 1.2 m أمام المرآة. فعلى أي بعد يجب أن تضبط عدسة الكاميرا لالتقاط صورة واضحة له؟

الشكل 17–4

42. يبين **الشكل 18–4** مرآتين مستويتين متجاورتين بينهما زاوية 90°، فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30°، فأجب عما يلي:

a. ما زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الأخرى؟

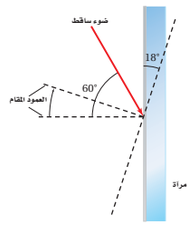
b. البريسكوب العاكس هو أداة تعكس الأشعة الضوئية في الاتجاه المعاكس لاتجاه الأشعة الضوئية الساقطة. ارسم مخطّطًا يبين زاوية السقوط على إحدى المرآتين بحيث يعمل نظام المرآتين عمل عاكس.



الشكل 18–4

43. وضِعت مرآتان مستويتان بحيث كانت الزاوية بينهما 45°. فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30° وانعكس عن المرآة الثانية، فاحسب زاوية انعكاسه عن المرآة الثانية.

44. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية سقوط 60°. فإذا أديرت المرآة بزاوية 18° في اتجاه حركة عقارب الساعة كما في **الشكل 19–4**، فما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع المرآة؟



الشكل 19–4

التقويم

إتقان حلّ المسائل

4–1 الانعكاس عن المرايا المستوية

37. 38.0°

38. **a.** 37.0°

b. 74.0°

39. 108°

40. الشعاع القادم من قمة الرأس يسقط على المرآة عند نقطة تساوي منتصف المسافة بين قمة الرأس والعينين، والشعاع القادم من القدمين يسقط على المرآة عند نقطة تساوي منتصف المسافة بين القدمين والعينين، وتساوي المسافة بين النقطتين على المرآة نصف الطول الكلي.

41. الصورة على بُعد 1.2 m خلف المرآة، لذلك يجب أن توضع عدسة الكاميرا على بُعد 2.4 m

42. **a.** الانعكاس عن المرآة الأولى: 30°، وعن المرآة الثانية: 60°

b. تكون زاوية السقوط على المرآة الأولى 45°

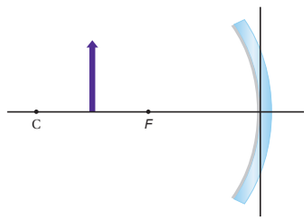
43. 15.0°

44. 48.0°

4–2 المرايا الكروية

45. **بيت الألعاب** يقف طالب بالقرب من مرآة محدبة في بيت الألعاب، فلاحظ أن صورته تظهر بطول 0.60 m، فإذا كان تكبير المرآة $\frac{1}{3}$ فما طول الطالب؟

46. صف الصورة المتكوّنة للجسم في **الشكل 20–4**. مبيناً هل هي حقيقية أم تقديرية، مقلوبة أم معتدلة، وهل هي أصغر من الجسم أم أطول منه؟

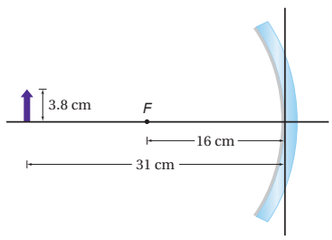


الشكل 20–4

47. **صورة نجم** جُمع الضوء القادم من نجم بوساطة مرآة مقعرة. ما بُعد صورة النجم عن المرآة إذا كان نصف قطر تكوّر المرآة 150 cm؟

48. **المرآة المستخدمة للرؤية الخلفية** على أيّ بُعد تظهر صورة سيارة خلف مرآة محدبة بعدها البؤري 6.0 cm، عندما تكون السيارة على بعد 10.0 m من المرآة؟

49. احسب بعد الصورة وارتفاعها للجسم الموضح في **الشكل 21–4**.



الشكل 21–4

50. **المرآة المستخدمة لرؤية الأسنان** يستخدم طبيب أسنان مرآة مقعرة صغيرة نصف قطرها 40 mm لتحديد نخر في أحد أسنان مريض، فإذا كانت المرآة على بُعد 16 mm من السن، فما تكبير الصورة الناتجة؟

51. وضع جسم طوله 3 cm على بُعد 22.4 cm من مرآة مقعرة، فإذا كان نصف قطر تكوّر المرآة 34.0 cm، فما بُعد الصورة عن المرآة؟ وما طولها؟

52. **مرآة تاجر مجوهرات** يفحص تاجر مجوهرات ساعة قطرها 3.0 cm بوضعها على بُعد 8.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 12 cm فما:

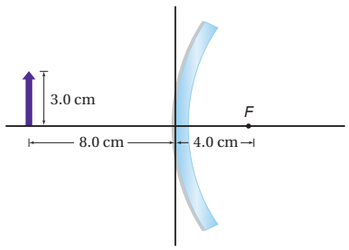
a. البعد الذي ستظهر عليه صورة الساعة؟

b. قطر الصورة؟

53. تُعدّ الكرات المعدنية اللامعة الموضوعة على قواعد في حديقة مرايا محدبة. فإذا كان قطر إحداها 40.0 cm، وقد وقف طائر طوله 12 cm على شجرة تبعد 1.5 m عن الكرة، فأوجد بُعد صورة الطائر عن المرآة، وما طولها؟

مراجعة عامة

54. انقل **الشكل 22–4** إلى دفترك، ثم ارسم أشعة على الشكل لتحديد طول الصورة المتكوّنة وموقعها.



الشكل 22–4

الفصل 4

التقويم

4–2 المرايا الكروية

45. 1.8 m

46. حقيقية؛ ومقلوبة؛ وأطول من الجسم.

47. 75 cm

48. −3.8 m

49. بُعد الصورة: 33 cm

ارتفاع الصورة: −4.1 cm

50. 5 مرات

51. بُعد الصورة: 70.5 cm

طول الصورة: −9.4 cm

52. **a.** −24 cm

b. 9.0 cm

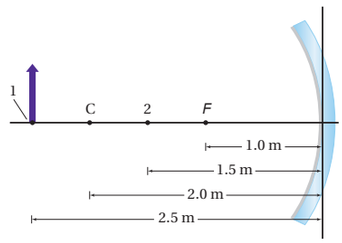
53. بُعد الصورة: −9.4 cm

طول الصورة: 0.75 cm

54. طول الصورة : 1.0 cm

بُعد الصورة : 2.7 cm

55. وضع جسم طوله 2.4 cm على بعد 30.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطر تكوّرها 26.0 cm فما:
   a. بعد الصورة المتكوّنة؟
   b. طول الصورة المتكوّنة؟
56. تُستخدم مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها نصف حجم الجسم على بعد 36 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟
57. ما نصف قطر تكوّر مرآة مقعرة تكبر صورة الجسم 3.2+ مرة عندما يوضع على بُعد 20.0 cm من المرآة؟
58. **مرآة المراقبة** تستخدم المحال الكبيرة مرايا المراقبة في الممرات، وكل مرآة لها نصف قطر تكوّر مقداره 3.8 m فما:
   a. بُعد الصورة لزبون يقف أمام المرآة على بعد 6.5 m منها؟
   b. طول صورة زبون طوله 1.7 m؟
59. **مرآة الفحص والمعاينة** يريد مراقب خط إنتاج في مصنع تركيب مرآة تكوّن صورًا معتدلة تكبيرها 7.5 مرات عندما توضع على بُعد 14.0 mm من طرف الآلة فما:
   a. نوع المرآة التي يحتاج إليها المراقب لعمله؟
   b. نصف قطر تكوّر المرآة؟
60. تحرّك الجسم في **الشكل 23–4** من الموقع 1 إلى الموقع 2. انقل الشكل إلى دفترك، ثم ارسم أشعة تبين كيف تتغير الصورة.

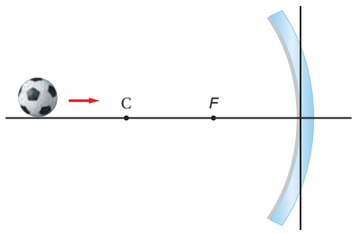


الشكل 23–4

61. وضعت كرة على بُعد 22 cm أمام مرآة كروية وتكوّنت لها صورة تقديرية، فإذا استبدل بالمرآة الكروية مرآة مستوية فظهرت الصورة أقرب إلى المرآة بمقدار 12 cm، فما نوع المرآة الكروية التي استخدمت؟ وما بُعدها البؤري؟
62. تقف فتاة طولها 1.6 m على بعد 3.2 m من مرآة محدّبة، فإذا كان طول صورة الفتاة 0.28 m، فما البعد البؤري للمرآة؟
63. **خدعة سحرية** يستخدم بهلوان مرآة مقعرة بعدها البؤري 8.0 m ليخفي جسمًا طوله 3.0 m موضوعًا على بُعد 18.0 m من المرآة، فيبدو كصورة حقيقية يراها الجمهور. أنشئ مخطّط الأشعة بمقياس رسم لحساب بعد الصورة وطولها.
64. وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 12.0 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول صورة الجسم 2.0 cm وبعدها 6.0 cm، فما البعد البؤري للمرآة؟ ارسم مخطّط الأشعة للإجابة عن السؤال، واستخدم معادلتي المرآة والتكبير للتحقق من إجابتك.

التفكير الناقد

65. **تطبيق المفاهيم** تتدحرج الكرة في **الشكل 24–4** ببطء إلى اليمين نحو المرآة المقعرة. صف كيف يتغيّر حجم صورة الكرة في أثناء تدحرجها نحو المرآة.



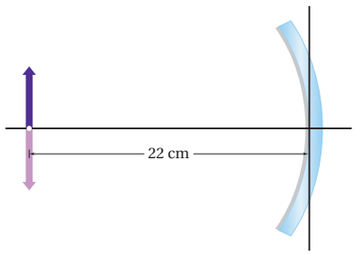
الشكل 24–4

التقويم

55. a. 22.9 cm
    b. −1.8 cm
56. −72.0 cm
57. 58.0 cm
58. a. −1.5 m
    b. 0.38 m
59. a. الصورة المكبرة المعتدلة تتكون فقط في المرآة المقعرة والجسم موضوع على بعد أقل من البعد البؤري.
    b. 32 mm
60. انظر إلى دليل حلول المسائل.
61. f = 62 cm لأن البعد البؤري موجب فالمرآة مقعرة.
62. −0.68 m
63. طول الصورة 2.4 m، وتبعد عن المرآة 14 m
64. −12 cm
65. عندما تكون الكرة خلف النقطة C، تكون الصورة أصغر من الكرة وحقيقية، وعندما تكون الكرة في مركز التكور C يكون حجم صورة الكرة مساويًا لحجم الكرة. و كلما تدحرجت الكرة نحو المرآة سيزداد حجم صورة الكرة. ويستمر حجم الصورة في الازدياد حتى تختفي صورة الكرة وعندها تكون الكرة في البؤرة F. وبعد تعدي F تصبح الصورة تقديرية ومكبرة ومعتدلة.

66. **استخدام المعادلات** أثبت أنه مع ازدياد نصف قطر تكوّر مرآة مقعرة إلى مالانهاية تُصبح معادلة المرآة مماثلة للعلاقة بين بُعد الصورة وبُعد الجسم في المرآة المستوية.

67. **التحليل والاستنتاج** وضع جسم على بُعد 22 cm من مرآة مقعرة، كما في **الشكل 25–4**. ما البعد البؤري للمرآة؟



الشكل 25–4

68. **التحليل والاستنتاج** وضع جسم على بُعد 6.0 cm من مرآة مستوية، فإذا وضعنا مرآة مقعرة مكان المرآة المستوية، فإنّ بُعد الصورة الناتجة خلف المرآة سيزداد 8.0 cm عما كان عليه. احسب البعد البؤري للمرآة المقعرة على افتراض أن الجسم موضوع بين البؤرة والمرآة.

الكتابة في الفيزياء

69. تعكس المرايا الأشعة لأنها مطلية بالفلزات. ابحث في واحد مما يأتي، واكتب ملخصًا حوله.

a. الأنواع المختلفة للطلاء المستخدم، ومزايا كل نوع وسلبياته.

b. صقل الألومنيوم بدرجة دقيقة من النعومة، بحيث لا تحتاج إلى زجاج لعمل المرآة.

70. ابحث في طريقة صقل وتلميع وفحص المرايا المستخدمة في المقراب العاكس. ويمكنك الكتابة في الطرائق التي يستخدمها الفلكي المبتدئ الذي يصنع مقرابه الخاص بيده، أو الطريقة التي تُستخدم في المختبر الوطني، وأعدّ تقريرًا في ورقة واحدة تصف فيه الطريقة، ثم اعرضه على طلاب الصف.

مراجعة تراكمية

71. ما الزمن الدوري لبندول طوله 2.0 m على سطح القمر؟ علمًا بأن كتلة القمر 7.34×10^{22} kg ونصف قطره 1.74×10^{6} m؟ وما الزمن الدوري لهذا البندول على سطح الأرض؟

72. وضِع مرشِّحان ضوئيان على مصباحين يدويين بحيث يُنفِذ إحدهما ضوءًا أحمر، وينفذ الآخر ضوءًا أخضر. فإذا تقاطعت الحزمتان الضوئيتان فلماذا يبدو لون الضوء في منطقة التقاطع أصفر، وتعود كل حزمة إلى لونها الأصلي بعد التقاطع؟ فسّر ذلك بدلالة الموجات.

التقويم

66. عندم $f \to \infty$ فإن $\frac{1}{f} = 0$ وتصبح معادلة المرآة: $d_o = -d_i$ أو $\frac{1}{d_o} = -\frac{1}{d_i}$

67. 11 cm

68. 1.0×10^{1} cm

69. ستختلف الإجابات

70. ستختلف الإجابات

71. $T_{\text{قمر}} = 7.0$ s ، $T_{\text{أرض}} = 2.8$ s

72. يمكن أن تتداخل الموجات، وتُجمع ثم يقطع بعضها بعضًا دون أن تتأثر. وفي هذه الحالة ستحتفظ الموجات بالمعلومات الخاصة بألوانها عندما يعبر بعضها بعضًا.

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. أين يجب وضع الجسم بحيث تكوّن له مرآة مقعرة صورة مصغّرة؟

(A) في بؤرة المرآة
(B) بين البؤرة والمرآة
(C) بين البؤرة ومركز التكوّر
(D) خلف مركز التكوّر

2. ما البعد البؤري لمرآة مقعرة، إذا كبّرت جسمًا موضوعًا على بعد 30 cm منها بمقدار 3.2+ مرة؟

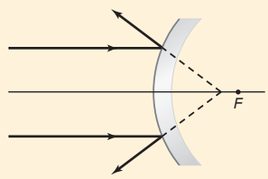
(A) 23 cm (C) 44 cm
(B) 32 cm (D) 46 cm

3. وضع جسم على بُعد 21cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 14 cm. ما بُعد الصورة؟

(A) −42 cm (C) 8.4 cm
(B) −8.4 cm (D) 42 cm

4. لا تتجمع امتدادات الأشعة الضوئية بدقة في البؤرة في الشكل أدناه. وهذه المشكلة تحدث في:

(A) جميع المرايا الكروية
(B) جميع مرايا القطع المكافئ
(C) المرايا الكروية المعيبة فقط
(D) مرايا القطع المكافئ المعيبة فقط



5. تكوّنت صورة مقلوبة طولها 8.5 cm أمام مرآة مقعرة على بعد 34.5 cm منها، فإذا كان البعد البؤري للمرآة 24.0 cm، فما طول الجسم الذي مثّلته هذه الصورة؟

(A) 2.3 cm (C) 14 cm
(B) 3.5 cm (D) 19 cm

6. كوّنت مرآة مقعرة بعدها البؤري 16 cm صورة على بعد 38.6 cm منها. ما بعد الجسم عن المرآة؟

(A) 2.4 cm (C) 22.6 cm
(B) 11.3 cm (D) 27.3 cm

7. كوّنت مرآة محدبة صورة لجسم حجمها $\frac{3}{4}$ حجم الجسم وعلى بعد 8.4 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

(A) −34 cm (C) −6.3 cm
(B) −11 cm (D) −4.8 cm

8. وُضعت كأس على بعد 17 cm من مرآة مقعرة، فتكوّنت لها صورة على بعد 34 cm أمام المرآة. ما تكبير الصورة؟ وما اتجاهها؟

(A) 0.5، (مقلوبة) (C) 2.0، (مقلوبة)
(B) 0.5، (معتدلة) (D) 2.0، (معتدلة)

الأسئلة الممتدة

9. وضع جسم طوله 5.0 cm على بعد 20.0 cm من مرآة محدّبة بعدها البؤري 14.0 cm. ارسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم مناسب لتبيّن طول الصورة.

إرشاد

إجاباتك أفضل من إجابات الاختبار

عندما تعرف طريقة حل المسألة فحلّها قبل أن تنظر إلى خيارات الإجابة، ويكون هناك على الأغلب أكثر من خيار يبدو جيدًا، لذا أجرِ الحسابات أولاً، وزوّد نفسك بالإجابة قبل النظر إلى الخيارات.

اختبار مقنن الفصل 4

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة.

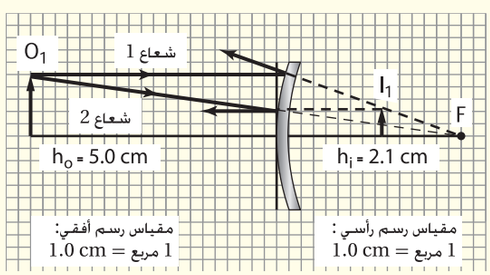
العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة اختيار من متعدد

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

الأسئلة الممتدة

9. $h_i = 2.1$ cm



الفصل 5

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
5–1 انكسار الضوء 1. **تحلّ** مسائل تتضمن مفهوم الانكسار. 2. **توضّح** مفهوم الانعكاس الكلي الداخلي. 3. **توضّح** بعض التطبيقات البصرية المبنية على الانكسار.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** ثلاثة دوارق سعة كل منها 400 ml ، و 200 ml من زيت الطهي، و 200 ml شراب الذرة، و600 ml ماء، وثلاثة أقلام. **تجربة إضافيّة** خرطوم ماء مزود بمرش. **عرض المعلم** **عرض سريع** قلم رصاص، وقالب بلاستيكي مستطيل كبير وشفاف. **عرض سريع** قارورة بلاستيكية سعتها 1 لتر، ومؤشر ليزر، ووعاء بلاستيكي، وماء. **عرض سريع** ماء، ودورق كروي، ومصباح يدوي، وورقة مقواة بها ثقب.
5–2 العدسات المحدّبة والمقعّرة 4. **تصف** كيف تتكوّن الصور الحقيقية والتقديرية بوساطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة على الترتيب. 5. **تعين** موقع الصور المتكوّنة بوساطة العدسات بكل من الطريقتين الهندسية والرياضية. 6. **توضّح** كيف يمكن تقليل الزيغ اللوني.	**تجارب الطالب** **تجربة** عدسة محدبة، وصلصال، ومصباح صغير. **تجربة إضافيّة** أنبوب اختبار كبير، وبرغي صغير.
5–3 تطبيقات العدسات 7. **تصف** كيف تركز العين الضوء لتكوّن الصور. 8. **توضّح** المقصود بكل من قصر النظر وطول النظر. 9. **توضّح** كيف تُصحِّح عدسات النظارات عيوب الإبصار. 10. **تصف** الأنظمة البصرية في بعض الأدوات البصرية الشائعة.	**تجارب الطالب** **مختبر الفيزياء** مصباح ذو فتيلة خطية 25 w أو شمعة، وقاعدة مصباح، وعدسة محدبة رقيقة، ومسطرة مترية، وحامل عدسات، وبطاقة فهرسة (لوح كرتون).

طرائق تدريس متنوعة

م أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.

م أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.

م أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الخامس

الفصل 5

الانكسار والعدسات

نظرة عامة إلى الفصل

تتغيّر سرعة الضوء عندما ينتقل من وسط إلى وسط آخر يختلف معامل انكساره. وعندما يسقط الضوء على الحدّ الفاصل بين الوسطين بزاوية فإنه يغير إتجاهه أيضاً. ويمكن للضوء المارّ عبر عدسة أن يكوِّن 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 لا يكون هناك ماء، سينتقل الضوء من الأشجار إلى عينك بخط مستقيم وستبدو الأشجار بهيئتها الطبيعية. أما إذا كان هناك ماء فإنّ اتجاه الضوء سيتغير عند سطح الماء الذي يفصل بين الأشجار وعينيك. سيدرس الطلبة 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
- المعادلة العامة للعدسة الرقيقة
- الزيغ اللوني
- العدسة اللالونية
- قصر النظر
- طول النظر

الفصل 5

الانكسار والعدسات
Refraction and Lenses

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

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

الأهمية

إن عملية الرؤية وتكون صور للأشياء، وغيرها تقوم على أساس ظاهرة الانكسار، وينتقل بعض الضوء في خط مستقيم من الجسم إلى عينيك، فينعكس جزء منه قبل أن يدخل عينيك مباشرة، بينما يسلك جزء آخر منه مسارًا يبدو منحنيًا، ليكون صورة له على الشبكية.

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

فكّر

ما الذي يجعل صور الأشجار متموّجة؟

تجربة استهلالية

الهدف ملاحظة انحناء الضوء بمقادير مختلفة عندما ينتقل عبر موادّ مختلفة الكثافة.

المواد والأدوات ثلاثة دوارق سعة كل منها 400 ml، و 200 ml زيت الطهي، و200 ml شراب الذرة، 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 طول القلم.

تجربة استهلالية

كيف يبدو قلم رصاص في سائل عند النظر إليه جانبيًا؟

سؤال التجربة هل يبدو القلم مختلفًا عندما يشاهد خلال الماء، أو زيت الطهي، أو شراب الذرة؟

الخطوات

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

التحليل

أي الدوارق يبدو فيها القلم كأنه مكسور؟ وهل مقادير الكسر متساوية في الدوارق 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 لمدى الانكسار.

الأهداف

- **تحل** مسائل تتضمن الانكسار.
- **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 بعدها الحقيقي، كما تبدو قدمَا 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.

كما تعلمت سابقًا، ينحني مسار الضوء، 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.

5-1 انكسار الضوء

1. التركيز

نشاط محفز

انكسار قلم الرصاص ضع قلم رصاص في كأس شفافة تحوي ماء. والفت انتباه الطلبة 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 الطلبة كيف يتغير عرض القلم. ثم وضِّح لهم أنّ هذه الصور تقديرية ،وتتكون بسبب تغير سرعة الضوء عندما ينتقل من مادة إلى أخرى. سيدرس الطلبة في هذا الفصل كيف أنّ هذا التغير في سرعة الضوء يسبب تغيّرًا في اتجاهه. م **بصري–مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

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

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

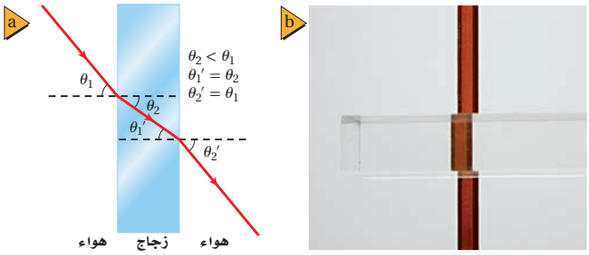
الأبعاد الثلاثية ينتقل الضوء المنكسر في مستوى معين. اسأل الطلبة كيف يمكنهم تحديد مستوى انتقال الضوء في المسائل التي تتضمن الأبعاد الثلاثة؟ يُعرف مستوى الانتقال من خلال تحديد كل من الشعاع الضوئي الساقط والعمود المقام على السطح. وينتقل الشعاع الضوئي المنكسر في المستوى نفسه. م

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اتجاه الانكسار قد يعتقد الطلبة 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 وكأنّها تحوي عصيرًا أكثر مما تحوي في الواقع. اطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات ثنائية لإنشاء رسوم تبين لماذا تبدو الكؤوس على هذا النحو. م2 بصري–مكاني



الشكل 1–5 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 ضوءًا على سطح قطعة زجاج بصورة غير متعامدة؟ سينحرف الضوء عن مساره عند مروره بالحد الفاصل بين الهواء والزجاج كما في **الشكل 1–5**. ويُسمى انحراف الضوء الانكسار، وقد درس هذه الظاهرة رينيه ديكارت وويلبرورد سنل في زمن كبلر وجاليليو.

دلالة الألوان

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

ولمناقشة نتائج هذه الدراسات، فإنه ينبغي عليك أن تتعرف 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 الضوئي المنكسر. وقد وجد سنل في عام 1621 أنه عند مرور الضوء من الفراغ إلى وسط شفاف فإن جيب كل زاوية يرتبط مع المعادلة $\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n$ ؛ حيث تمثل n مقدارًا ثابتًا يعتمد على المادة، ولا يعتمد على الزوايا، يُسمّى **معامل الانكسار**. ويبين **الجدول 1–5** معاملات انكسار بعض المواد. ويمكن تعميم معادلة سنل عندما يمر الضوء خلال الحد الفاصل بين أي مادتين شفافتين مختلفتين. وتُعرف هذه المعادلة العامة **بقانون سنل في الانكسار**.

الجدول 1-5

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

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

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 1–5** كيفية تطبيق قانون سنل عندما ينتقل الضوء خلال قطعة زجاج سطوحها متوازية، مثل زجاج النافذة. وينكسر 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.

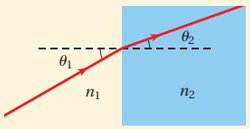
وعندما ينتقل الضوء من الزجاج إلى الهواء فإنه يمر من مادة ذات معامل انكسار كبير إلى مادة معامل انكسارها أقل. أيْ أن $n_2 > n_1$ ، وفي هذه الحالة يجب أن يكون $\sin \theta_1' < \sin \theta_2'$ حتى تكون المعادلة متساوية الطرفين. أيْ أن الضوء ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. لاحظ أيضًا أن اتجاه الشعاع عند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

مثال 1

زاوية الانكسار تسقط حزمة ضوء من الهواء على قطعة من الزجاج التاجي بزاوية 30.0°، ما مقدار زاوية الانكسار؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الحد الفاصل بين الهواء والزجاج التاجي.
- ارسم مخطّط الأشعة.



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

2 ايجاد الكمية المجهولة

استخدم قانون سنل لإيجاد زاوية الانكسار:

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

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

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

بالتعويض عن $n_1 = 1.00,\ n_2 = 1.52,\ \theta_1 = 30.0°$

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

$$= 19.2°$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يعبر 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 من 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، وأسقط ضوء من الماء على القالب بزاوية سقوط 31°، فكانت زاوية انكسار الضوء في القالب 27°، ما معامل الانكسار للمادة المصنوع منها القالب؟

الربط مع الفلك

يرجع اللون الأحمر للقمر خلال مرحلة خسوفه إلى الانكسار؛ إذ يحدث خسوف القمر عندما تحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر. ونتيجة لهذا، فقد تتوقع أن يصبح القمر معتمًا تمامًا، ولكن ما يحدث هو أن الضوء ينكسر خلال الغلاف الجوي للأرض، وينحرف حول الأرض في اتجاه القمر. ولأن الغلاف الجوي للأرض يشتت معظم الضوء الأزرق والأخضر لذا ينير اللون الأحمر أغلب القمر. ولأن القمر يعكس معظم ألوان الضوء بالدرجة نفسها فإنه يعكس الضوء الأحمر إلى الأرض، فيظهر القمر باللون الأحمر.

113

مثال صفي

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

الإجابة

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 الطلبة 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

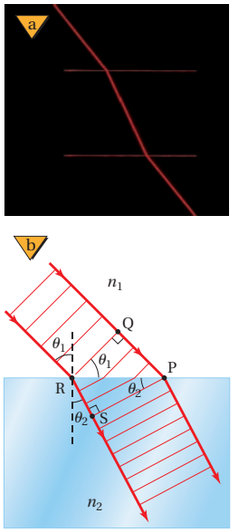
الانكسار في الغلاف الجوي اكتشف عالم الرياضيات العربي الحسن بن الهيثم (965 – 1039) العديد من المبادئ الأساسية للمرايا الكروية والمرايا التي على شكل قطع مكافئ والعدسات. فقد درس الضوء المنعكس والمنكسر من المرايا والعدسات، وحدّد تقوس العدسة أو المرآة الذي يسهم في تركيز الأشعة، وقد طور معادلات هندسية لتكوّن 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 بـ19°، ثانيًا سمك الغلاف الجوي يساوي 16 km تقريبًا، وهو أول تسجيل تقديري دقيق.

استخدام التشابه

انكسار الضوء قد يساعد التشابه الطلبة على استيعاب مفهوم تغير اتجاه الضوء عندما ينتقل من وسط إلى آخر. اطلب إلى الطلبة تدقيق النظر إلى **الشكل 2–5**، ثم وضّح لهم أنه عندما يصل صدر 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 الطلبة 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.



الشكل 2–5 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**).

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 العلاقة التي تخص انتقال موجة الضوء في الفراغ على النحو التالي: $\lambda = c/f$، ولأي وسط فإنه يمكن كتابة هذه العلاقة على النحو $\lambda = v/f$، حيث تمثل v سرعة الضوء في أي وسط، و λ تمثل 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–5**؟ للإجابة عن ذلك انظر إلى **الشكل 2b–5** الذي يبيّن حزمة ضوئية مكوّنة من سلسلة متوازية من صدور الموجات المستقيمة، حيث يكون صدر كل موجة متعامدًا مع اتجاه الحزمة الضوئية التي تسقط على السطح بالزاوية θ_1. في المثلث PQR تكون ∠PQR قائمة، لأن صدور الموجات تعامد اتجاه الحزمة؛ و ∠QRP تساوي θ_1. لذا فإن $\sin\theta_1$ تساوي المسافة $\overline{PQ}$ مقسومة على المسافة $\overline{PR}$.

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

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–5** 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 وإلغاء 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 $\lambda = v/f$ 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.

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

نشاط **من معلم لآخر**

يمكنك استخدام الكرسي المتحرك لتمثيل الانكسار في الصف. اطلب إلى أحد الطلبة 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، $v = c$، $n = 1$. 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".

ويمكن استخدام تعريف معامل الانكسار 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 $v = c/n$ فيها، ستجد 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

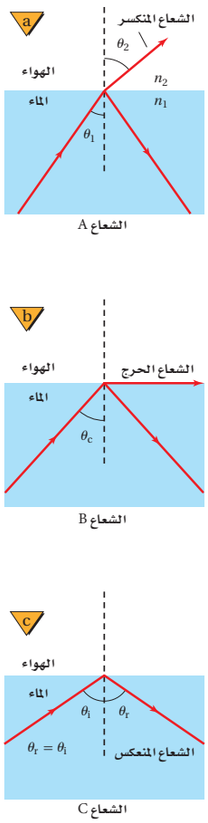
عندما ينتقل الضوء إلى وسط معامل انكساره أقل تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، كما يبين **الشكل 3a–5**. وهذا يؤدي إلى ظاهرة طبيعية؛ إذ إنه مع زيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار، إلا أنه عند زاوية سقوط معينة تُسمى **الزاوية الحرجة** θ_c، ينكسر الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين، وتكون زاوية الانكسار 90.0° كما يبين **الشكل 3b–5**.

يحدث **الانعكاس الكلي الداخلي** عندما يسقط الضوء على الحد الفاصل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، إن أهم ما يميز الانعكاس الكلي الداخلي عن انعكاس الضوء أن الضوء ينعكس بصورة كاملة إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر، كما يبين **الشكل 3c–5**. وتستطيع استخدام قانون سنل لإيجاد معادلة للزاوية الحرجة لأي حد فاصل، وذلك بتعويض $\theta_1 = \theta_c$ و $\theta_2 = 90.0^\circ$.

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

"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 أيضًا، أو قد ترى انعكاسًا لقاع البركة نفسها؛ إذ يعمل سطح الماء عمل المرآة.



الشكل 3–5 انكسر الشعاع A جزئيًا، وكذلك انعكس جزئيًا (a). انكسر الشعاع B على امتداد الحدّ 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 تحدٍّ

الانعكاس الكلي الداخلي اطلب إلى الطلبة 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. بعد أن يأخذوا عدة قياسات ابتدائية، سيقومون بعرض متتابع يزيدون من خلاله زاوية السقوط تدريجيًّا، ابتداءً من زاوية صغيرة إلى أن يصلوا إلى زاوية 90° تقريبًا. ربما يودون أن يستكشفوا كيف ينكسر شعاع الضوء، عند زاوية سقوط 180°. حذّر الطلبة من النظر إلى الشعاع عند أي نقطة خلال تنفيذ النشاط.

م 3 حركي

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

مسارات الضوء اسأل الطلبة عما إذا كان الضوء يسلك أكثر من مسار بعد سقوطه على الحد الفاصل بين وسطين. قد يعتقد الكثير من الطلبة 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 الطلبة 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 الطلبة النظر إلى القالب والقلم، ليروا القلم من خلال القالب ثم من فوقه.
2. اطلب إلى الطلبة أن يتحركوا قليلًا من جانب إلى جانبٍ آخر، ليشاهدوا القالب والقلم من زوايا عدة.
3. اسأل الطلبة 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 الهواء والقالب والسطح الفاصل بين القالب والهواء، وينزاح الضوء عن مساره الأصلي بسبب الانكسار عندما يغادر القالب نحو اليمين أو اليسار. إذا شاهدت القلم من زوايا مختلفة سترى الضوء ينزاح مسافات مختلفة لأنّه 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 باللون الأحمر، وذلك بسبب الانعكاس الكلي الداخلي.

التفكير الناقد

الأنابيب الضوئية اطلب إلى الطلبة 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 مستحيلًا. م3

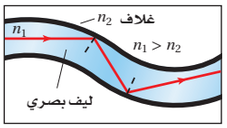
عرض سريع

اصنع طيفاً

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات ماء، ودورق كروي، ومصباح 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.



الشكل 4–5 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.

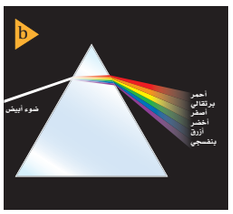
وكذلك عندما تقف بجانب بركة فإنه يمكن ألا ترى الأشياء الموجودة أسفل سطح الماء. فعندما يسبح شخص تحت الماء بالقرب من السطح وفي الجهة المقابلة لك من البركة، فإنك قد لا تراه؛ وذلك لأن الضوء القادم من جسمه ينعكس إلى الأسفل ليرتد إلى داخل البركة. تعد الألياف البصرية تطبيقًا تقنيًا مهمًا للانعكاس الكلي الداخلي. فكما يبين **الشكل 4–5**، يصطدم الضوء الذي ينتقل خلال الليف الشفاف بالسطح الداخلي لليف البصري دائمًا بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، لذا ينعكس الضوء انعكاسًا داخليًا فلا ينفذ أي جزء منه خلال الحد الفاصل. ولذلك فإن الضوء يحافظ على شدته على طول المسافة التي يمتدّها الليف البصري مهما بلغت، وبهذا يمكن نقل الضوء من منطقة إلى أخرى.

تفريق (تحليل) الضوء Dispersion of Light

تتحدّد سرعة الضوء في وسط ما من خلال التفاعلات بين الضوء، وذرات الوسط. فإذا علمت 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 5a–5**، حيث تُسمى هذه الظاهرة **بالتفريق (التحليل)**. وإذا نظرت بدقة إلى الضوء الذي يمر خلال المنشور فستلاحظ أن لون الضوء البنفسجي ينكسر أكثر من لون الضوء الأحمر، كما يبين **الشكل 5b–5**. وهذا يحدث لأن سرعة الضوء البنفسجي خلال الزجاج أقل منها للضوء الأحمر. وللضوء البنفسجي تردد 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.

الشكل 5–5 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).



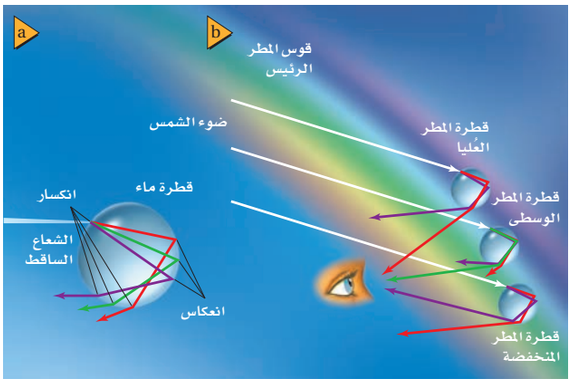
قوس المطر المنشور ليس الوسيلة الوحيدة لتفريق الضوء الابيض ثم تحليله إلى ألوانه؛ فقوس المطر طيف يتشكّل عندما يتفرق (يتحلّل) ضوء الشمس بفعل قطرات الماء في الغلاف الجوي. وينكسر ضوء الشمس الساقط على قطرات الماء؛ حيث ينكسر كل لون بزاوية انكسار مختلفة قليلاً؛ بسبب التفريق كما هو موضّح في **الشكل 6a–5**. ويحدث انعكاس داخلي لجزء من 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 6b–5**. 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°.

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

الألياف البصرية قد يواجه الطلبة 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 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**



الشكل 6–5 يتشكّل قوس المطر بسبب تفرق (تحلّل) 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**).

قد ترى أحيانًا قوس مطرٍ ثانٍ باهت، كما في **الشكل 7–5**. 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؟

الشكل 7–5 يسمح وجود الضباب خلال رؤيتك للضوء المشتمل على الطيف الكامل للألوان بأن يصل إلى عينيك على صورة قوس مطر. وقد يمكنك الانعكاس عن قطرات المطر أحيانًا من رؤية قوس مطر آخر بألوان معكوسة الترتيب.

استخدام الشكل 6–5

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 الطلبة إنشاء رسوم توضح الشعاع الساقط على النصف العلوي للقطرة، وعلى منتصف القطرة، وعلى النصف السفلي لها.

م **بصري - مكاني**

تجربة إضافية

قوس المطر الشخصي

الهدف يتعلم الطلبة 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. كرّر 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 الطلبة أن يكون مصدر الضوء خلفك، وأن يكون رذاذ الماء أمامك، حتى ينكسر الضوء القادم من الشمس، وينعكس إلى عينيك.

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°، يشكّل 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.

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.

3. التقويم

التحقق من الفهم

الضوء عند الحد الفاصل درس الطلبة كلًّا 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 الطلبة إكمال الرسم لتوضيح كل من الانكسار والانعكاس. م1 **بصري - مكاني**

إعادة التدريس

درجة الانكسار اسأل الطلبة: 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 $v = c/n$ م2

5-1 مراجعة

4. **معامل الانكسار** عند نفاذ الضوء من الماء إلى سائل معين فإنه ينحرف مقتربًا من العمود المقام، ولكن عند نفاذ الضوء من الزجاج التاجي 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 والزجاج التاجي لتصنع ليفًا بصريًّا، فأيّها تستخدم لطبقة الغلاف؟ ولماذا؟
9. **زاوية الانكسار** تعبر حزمة ضوئية الماء إلى داخل البولي إيثيلين (معامل انكساره $n=1.50$). فإذا كانت $\theta_i = 57.5°$ 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.

5-1 مراجعة

4. يجب أن يكون بين 1.33 (معامل انكسار الماء) و 1.52 (معامل انكسار الزجاج التاجي).
5. 1.46
6. لا؛ فهذا يعني أنّ سرعة الضوء في الوسط أكبر من سرعة الضوء في الفراغ، وهذا غير متحقق حتى الآن.
7. 1.99×10^8 m/s
8. الزجاج التاجي؛ لأنّ معامل انكساره أقلّ لذا ينتج انعكاس كلي داخلي.
9. $48.4°$
10. نعم، لأنّ $n_{\text{الماء}} < n_{\text{الزجاج}}$ 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، وتسطع أشعة الشمس من خلفك حتى تتمكّن من رؤية قوس المطر.

في الوقت الذي نشعر فيه بجمال قوس المطر والخسوف الأحمر للقمر، الناتجين عن انكسار الضوء، فإن للانكسار فوائد جمة في حياتنا؛ فقد كتب الفيزيائي الفرنسي برنارد أوف جوردون عام 1303 حول استخدام العدسات لتصحيح النظر. واستخدم جاليليو عام 1610 عدستين لصنع المقراب الذي اكتشف بوساطته أقمار المشتري. واستخدمت العدسات منذ زمن جاليليو في أجهزة عديدة، منها المجاهر (الميكروسكوبات) وآلات التصوير. وقد تكون العدسات أكثر الأدوات البصرية فائدة.

الأهداف

- **تصف** كيف تتكون الصور الحقيقية والتقديرية بوساطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة على الترتيب.
- **تعيّن** موقع الصور المتكوّنة بوساطة العدسات بكل من الطريقتين الهندسية والرياضية.
- **توضّح** كيف يمكن تقليل الزيغ اللّوني.

المفردات

العدسة
العدسة المحدّبة
العدسة المقعّرة
المعادلة العامة للعدسة الرقيقة
الزيغ اللّوني
العدسة اللّالونية

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 8a–5 عدسة محدبة**؛ لأنها أكثر سمكًا عند الوسط مما عند الطرفين. وتُسمّى العدسة المحدبة العدسة المجمّعة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادةٍ معامل انكسارها أقل فإنها تعمل على كسر الأشعة الضوئية المتوازية والموازية للمحور الرئيس بحيث تتجمع الأشعة المنكسرة في نقطة واحدة. وتُسمّى العدسة التي في **الشكل 8b–5 عدسة مقعرة**؛ لأنها أدقّ وأرقّ عند الوسط مما عند الطرفين. وتُسمّى العدسة المقعرة العدسة المفرِّقة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر أشعة الضوء المتوازية بحيث تتفرق.

عندما يمر الضوء خلال عدسة يحدث الانكسار عند سطحيها، وباستخدام قانون سنل وقوانين الهندسة فإنه يمكنك التنبؤ بمسار الأشعة المارة خلال العدسات. 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.

معادلتا العدسة ستتضمن المسائل التي تحلها عدسات كروية رقيقة، أي أن لكل عدسة وجهين متناظرين من الكرة نفسها بنصف قطر تكور صغير. واعتمادًا على نموذج العدسة الرقيقة، والتبسيطات نفسها التي استعملتها في حل مسائل المرايا الكروية، والتي طورت منها معادلات للعدسات مشابهة تمامًا لمعادلات المرايا الكروية؛ إذ تربط **المعادلة العامة للعدسة الرقيقة** بين البعد البؤري للعدسة الكروية الرقيقة وبعد الجسم وبعد الصورة.

المعادلة العامة للعدسة الرقيقة

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

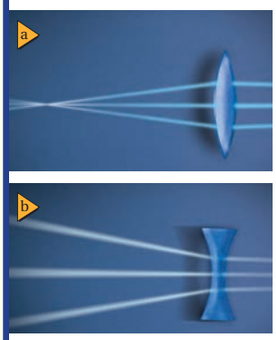
مقلوب البعد البؤري للعدسة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بعد الصورة ومقلوب بعد الجسم عن العدسة.

ويمكن استخدام معادلة التكبير في العدسات الكروية الرقيقة كتلك التي استخدمت للمرايا الكروية.

التكبير

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

يعرف تكبير عدسة كروية لجسم ما بأنه النسبة بين طول الصورة إلى طول الجسم. ويساوي سالب بعد الصورة عن العدسة مقسومًا على بعد الجسم عن العدسة.



الشكل 8–5 تعمل العدسة المحدبة على تجميع أشعة الضوء (a). أمّا العدسة المقعرة فتفرّق أشعة الضوء (b).

5-2 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، قُص دائرة في الجزء العلوي من جداري الورق المقوى أصغر 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، حتى تتكون صورة مقلوبة للشمعة على الصندوق. ثم قس بُعد الجسم وبُعد الشاشة، وارسم مخططًا للتجربة، ناقش كيفية تشكّل الصورة. م 2 بصري - مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

الانكسار خلال العدسات يطبق الطلبة 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 وبعد الصورة وبعد الجسم، على الرغم من أنّ الطريقة التي اشتقّ بها العلماء معادلة العدسة الرقيقة مختلفة.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الصور الكاملة يعتقد بعض الطلبة 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. اطلب إليهم تغطية جزء من العدسة، فإذا تم تغطية الجزء الأيمن منها فستلتقي الأشعة عند نقطة مفردة. بعد ذلك يمكنك أن تستخدم عدسة أكبر ليلاحظ الطلبة أنها تجمّع أشعة 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 الطلبة 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 الطلبة 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**

نشاط

تجميع الصورة أعطِ الطلبة 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**

الجدول 2-5

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	تقديرية
مقعرة	−	$d_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ سالب	مصغرة	تقديرية

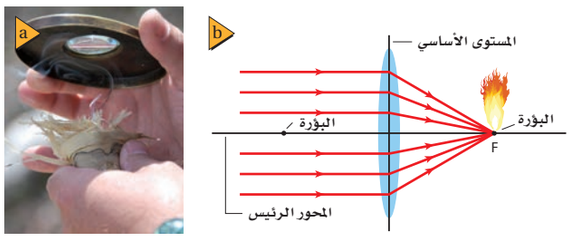
استخدام معادلتي العدسات من المهم استخدام نظام إشارات مناسب عند استخدام هاتين المعادلتين. ويبين **الجدول 2-5** مقارنة بين بُعد الصورة، والتكبير، ونوع الصورة المتكوّنة بوساطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة عند وضع الجسم في مواقع متعددة d_o بالنسبة للعدسة. ولاحظ التشابه بين هذا الجدول **والجدول 1-4** الخاص بالمرايا. وكما في المرايا، فإن المسافة بين المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة هي البعد البؤري f. ويعتمد البعد البؤري على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها. ويمكن أن تكون الأبعاد البؤرية وأبعاد الصورة سالبة.

تكون الصورة التقديرية للعدسات دائمًا في الجانب نفسه الموجود فيه الجسم، مما يعني أن بُعد الصورة سالب. وتكون الصورة أصغر من الجسم عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير $0 < |m| < 1$. 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 تقديرية فقط، في حين تنتج العدسة المحدبة صورًا حقيقية أو تقديرية.

العدسات المحدّبة والصور الحقيقية

Convex Lenses and Real Images

يمكن إشعال أعشاب جافة ـ كما في **الشكل 9a-5** ـ بتكوين صورة للشمس على الأعشاب. تذكر من خلال دراستك السابقة أن أشعة الشمس تصل إلى الأرض بصورة متوازية تقريبًا. وتتجمّع الأشعة بعد انكسارها بوساطة العدسة عند البؤرة للعدسة. و**الشكل 9b-5** يبين نقطتين بؤريتين، واحدة في كل جانب من جوانب العدسة، وإذا دوّرت العدسة حول نفسها، فإنها ستعمل بالطريقة نفسها.

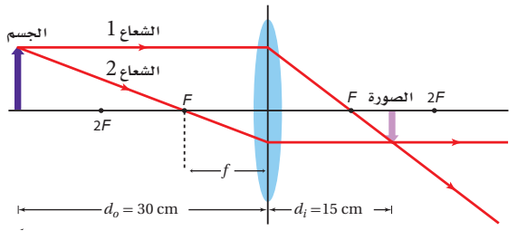


الشكل 9-5 يمكن استخدام عدسة محدبة (مجمّعة) لحرق أعشاب جافة (a). يسقط الضوء الداخل بصورة موازية للمحور الرئيس ويتجمع عند بؤرة العدسة، ولذا تتركز الطاقة الشمسية (b).

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 الطلبة البحث في تاريخ التطبيقات العلمية والفنية الخاصة وإعداد تقرير أو عرض حول بحثهم. قد يختار الطلبة 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**

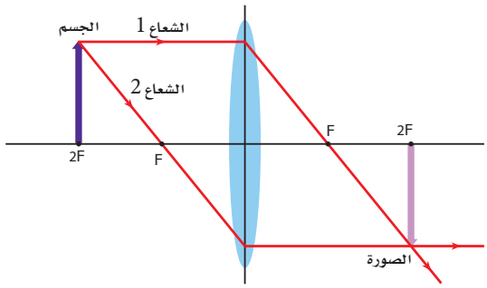


مخطط الأشعة وفقًا لمخطط الأشعة ستحتاج إلى استخدام شعاعين فقط لتحديد موقع صورة نقطة على جسم؛ إذ يكون الشعاع 1 موازيًا للمحور الرئيس، وينكسر مارًّا بالبؤرة F في الجانب الآخر للعدسة. ويمر الشعاع 2 بالبؤرة F في طريقه إلى العدسة، ويكون مساره بعد الانكسار موازيًا للمحور الرئيس، حيث يتقاطع الشعاعان عند نقطةٍ 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 10–5** لتعيين موقع الصورة لجسم قريب من العدسة أكثر من الجسم الذي في الشكل. فإذا عُكِس اتجاه شعاع منكسر 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 11–5**، 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 و2F ، فإن الصورة ستكون مكبرة.

الشكل 11–5 عندما يوضع جسم على بُعد مساوٍ لضعفي البعد البؤري عن العدسة فإن الصورة تكون مساوية لأبعاد الجسم.



الشكل 10–5 إذا وضع جسم على بُعد أكبر من ضعفي البعد البؤري للعدسة تكونت 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.

تجربة

تأثير 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؟ وهذا ما يُسمّى التغطية.
4. **لاحظ** تأثيرات التغطية لأكبر وأقل مساحة من العدسة.

التحليل والاستنتاج

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

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 إضاءة الصورة فقط، ولكن تتكون صورة كاملة.

التحليل والاستنتاج

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

التفكير الناقد

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

مثال صفي

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

الإجابة

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

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 cm

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

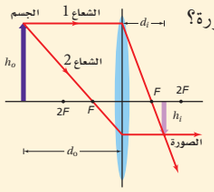
15. بُعد الصورة: 6.25 cm
طول الصورة: 0.50 cm− مقلوبة

مثـــال 2

الصورة التي تكونها عدسة محدبة وضع جسم على بعد 32.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8.0 cm، أجب عن الأسئلة التالية:

a. أين تتكوّن الصورة؟ **b.** إذا كان طول الجسم 3.0 cm فما طول الصورة؟

c. هل الصورة معتدلة أم مقلوبة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم 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 ايجاد الكمية المجهولة

a. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لتحديد d_i

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

بالتعويض عن $d_o = 32.0\ cm$ ، $f = 8.0\ cm$

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f} = \frac{(8.0\ \text{cm})(32.0\ \text{cm})}{32.0\ \text{cm} - 8.0\ \text{cm}}$$
$$= 11\ \text{cm}$$

(11 cm بعيدًا عن العدسة في الجانب المعاكس للجسم)

b. استخدم معادلة التكبير وأوجد طول الصورة.

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

بالتعويض عن $d_i = 11\ cm, h_o = 3.0\ cm, d_o = 32.0\ cm$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = \frac{-(11\ \text{cm})(3.0\ \text{cm})}{32.0\ \text{cm}}$$
$$= -1.0\ \text{cm}$$

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؟** موضع 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 بعد الجسم؟ وما طوله؟

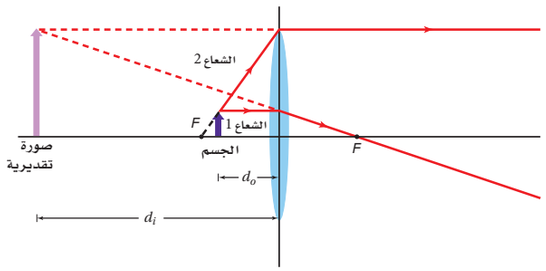
14. وضع جسم عن يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 25 mm، فتكوّنت له صورة حجمها يساوي حجم الجسم. ما بُعد كل من الجسم والصورة؟

15. حدّد بُعد الصورة وطولها لجسم طوله 2.0 cm موضوع على بُعد 25 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 5.0 cm، هل الصورة معتدلة أم مقلوبة؟

مهن في الحياة اليومية

معلومة للمعلم

فاحص النظر الطالب الذي يهتم بالفيزياء البصرية والذي يستمتع بالعمل مع الناس، قد يكون مهتمًّا بمهنة فحص النظر. ففاحص النظر شخص يمتلك مهارات تتعلق بعيوب النظر وتشخيصها، ويعمل على تصويب 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 12–5** يبيّن مخطط الأشعة، أن العدسة المحدّبة تكوّن صورة تقديرية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالجسم عندما يكون الجسم بين العدسة والبؤرة.

العدسات المحدّبة والصور التقديرية

Convex Lenses and Virtual Images

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

يبين **الشكل 12–5** كيف تكوّن العدسة المحدّبة صورة تقديرية. 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. يبيّن الخط المتقطع من F إلى الجسم كيف ترسم الشعاع 2، حيث يخرج الشعاع 2 من العدسة موازيًا المحور الرئيس. ويتباعد الشعاعان 1 و 2 عندما يخرجان من العدسة. لذا لا يمكن تكوين صورة حقيقية. إن رسم الامتداد الخلفي للشعاعين المنكسرين لتعيين مكان تقاطعها الظاهري يحدّد موضع الصورة التقديرية، 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 التقديرية بوساطة رسم امتدادات الأشعة التي لا تمرّ فعلًا من خلال العدسة.

مسائل تدريبية

16. إذا وضعت صحيفة على بُعد 6.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 20.0 cm فأوجد بُعد الصورة المتكوِّنة لها.

17. إذا وضعت عملة معدنية قطرها 2.0 cm على بُعد 3.4 cm من عدسة مكبّرة بعدها البؤري 12.0 cm فحدّد موقع صورة العملة المعدنية، وقطر الصورة.

18. 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؟

نشاط

طرائق تدريس متنوعة

إعاقة بصرية عند إجراء التجربة الإضافية، قد لا يستطيع بعض الطلبة رؤية تقوّس سطح الماء، لذا زود الطلبة بنموذج من الصلصال موضوع في كوب بلاستيكي، وشكّل سطح الصلصال ليصبح على شكل عدسة مقعرة. ثم اطلب إلى الطلبة تحسّس التقوس، وبين لهم أنّ الماء الملتصق بجوانب أنبوب الاختبار يسبب هذا النمط للسطح المقوّس المقعر. بعد ذلك أضف صلصالاً أكثر إلى الكأس لتشكل سطحًا محدبًا فوق الحافة. ثم اطلب إلى الطلبة تحسّس التقوس مرة أخرى، وبين لهم أنّ التوتر السطحي للماء يسبب هذا النمط للسطح المقوّس المحدب. ١م **حركي**

تجربة إضافية

عدسات الماء

الهدف أن يلاحظ الطلبة تجميع الضوء وتفريقه 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 يُكوِّن صورة مصغرة. أما السطح المحدب فيعمل عمل عدسة محدبة ويكوِّن صورة مكبرة.

مسائل تدريبية

16. 8.6 cm –

17. موقع الصورة: 4.7 cm –
قطر الصورة: 2.8 cm

18. 4.7 cm

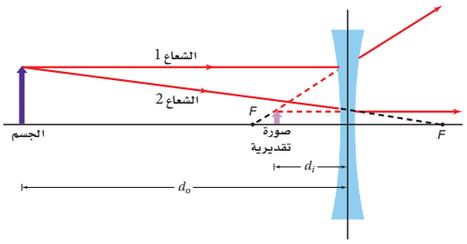
تعزيز الفهم

كتابة المسائل تحقق أنّ الطلبة 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 للطلبة كيف نجعل المنشورين يعملان كعدسة محدبة من خلال تلامس قاعدتيهما. ضع قطعة بيضاء من الورق المقوى على بعد 10 cm من الجانب الآخر للمنشورين. اطلب إلى أحد الطلبة توجيه ضوء مؤشر الليزر خلال المنشورين مبتدئًا بالجانب الضيق لأحد المنشورين، مرورًا بالجزء العريض لهما، وانتهاءً بالجانب الضيّق للمنشور الآخر. سيشاهد الطلبة 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. اطلب إلى أحدهما تحريك ضوء مؤشر الليزر من أحد نهايتي المنشورين حتى يصل إلى النهاية الأخرى، سيشاهد الطلبة كيف ينحرف الضوء إلى الخارج كما يحدث في العدسة المقعرة.

م 2 حركي



الشكل 13–5 تنتج العدسات المقعرة صورًا تقديرية ومعتدلة ومصغرة فقط مقارنة بالأجسام.

العدسات المقعرة Concave Lenses

تفرّق العدسة المقعرة الأشعة كلّها. والشكل **13–5** يبيّن كيف تكوّن مثل هذه العدسة صورة تقديرية، حيث يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس. ويخرج من العدسة على شكل شعاع يمر امتداده في البؤرة. أما الشعاع 2 فَيصِل 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 تقديرية. ويكون موضع الصورة عند النقطة التي يظهر عندها أن الأشعة تتفرّق منها. وتكون الصورة أيضًا معتدلة وأصغر من الجسم (مصغرة). وهذا صحيح بغض النظر عن بعد الجسم عن العدسة، كما يكون البعد البؤري للعدسة المقعرة سالبًا.

عند استخدام معادلة العدسة الرقيقة لحل مسائل على العدسات المقعرة فإن نظام الإشارات للبعد البؤري مختلف عنه للعدسة المحدّبة. إذ يكون البُعد البؤري للعدسة المقعرة سالبًا.

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 زيغًا متعلقًا بتصميمها الكروي، مثل المرايا تمامًا. وإضافة إلى ذلك، فإن تشتّت الضوء خلال العدسة الكروية يسبّب زيغًا لا تسبّبه المرايا.

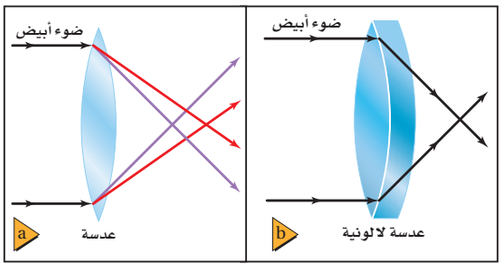
الزيغ الكروي يقترح النموذج الذي استخدمته لرسم الأشعة خلال العدسات الكروية أن الأشعة التي تسقط متوازية تتجمّع في الموضع نفسه، وهذا مجرد تقريب. وفي الحقيقة، تتجمّع الأشعة المتوازية التي تمر خلال أطراف العدسة الكروية في مواضع مختلفة عن المواضع التي تتجمّع فيها الأشعة المتوازية والقريبة من المحور الرئيس. ويُسمى عدم قدرة العدسة الكروية على تجميع الأشعة المتوازية جميعها في نقطة واحدة **الزيغ الكروي**، وسببه اتساع سطح العدسة بالنسبة لبعدها البؤري. ويعالج الزيغ 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.

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

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

الزيغ اللوني هناك عيب آخر في العدسات لا يوجد في المرايا. فالعدسة تعمل عمل عدد لانهائي من المناشير الرقيقة. لذا تنكسر فيها الأطوال الموجية المختلفة للضوء بزوايا مختلفة، كما يبين **الشكل 5–14a**. ولذلك يتجمع الضوء أو يتفرق عند مروره خلال العدسة المحدبة أو المقعرة على الترتيب في بؤر متعددة، وتظهر صورة الجسم محاطة بالألوان. ويُسمّى هذا التأثير **الزيغ اللوني**.

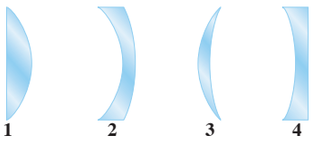


الشكل 5–14 للعدسات البسيطة جميعها زيغ لوني، حيث يتركز الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة في نقاط مختلفة (**a**). العدسة اللّالونية نظام من العدسات يؤدي إلى تقليل الزيغ اللوني (**b**).

ويحدث الزيغ 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، لها معاملا انكسار مختلفين. ويبيّن **الشكل 5–14b** مثل هذا التركيب للعدسات. فكلتا العدستين في الشكل تحرف الضوء، ولكن الانحراف الذي تسببه العدسة المحدبة يُلغى أثره تقريبًا بوساطة الانحراف الذي تسبّبه العدسة المقعرة. ويُختار معامل انكسار العدسة المحدبة على أن يؤدي النظام المكوّن من العدسات إلى تجميع الضوء.

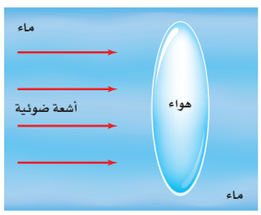
5-2 مراجعة

19. **التكبير** تُستخدم العدسات المكبّرة عادة لتكوين صور أكبر من الأجسام، ولكنها أيضًا يمكن أن تكوّن صورًا أصغر من الأجسام. وضّح ذلك.
20. **أنواع العدسات** يبيّن **الشكل 5–15** المقطع العرضي لأربع عدسات رقيقة. أي هذه العدسات محدبة أو مقعرة؟



الشكل 5–15

21. **الزيغ اللوني** للعدسات البسيطة كلها زيغ لوني. فسر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر خلال المجهر؟
22. **الزيغ 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 لتركز الضوء الأزرق؟
23. **التفكير الناقد** تتكون عدسة هوائية، موضوعة في خزان ماء من زجاجتي ساعة. انقل **الشكل 5–16** إلى دفترك، وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة على العدسة.



الشكل 5–16

5-2 مراجعة

19. إذا كان موقع الجسم على بعد أكبر من ضعفي البعد البؤري من العدسة، يكون حجم الصورة أصغر من حجم الجسم.
20. 1 و 3 محدبة، بينما 2 و 4 مقعرة.
21. تستخدم الأدوات البصرية الدقيقة جميعها مجموعة من العدسات تسمى العدسات اللالونية لتقليل الزيغ اللوني.
22. أقرب إلى العدسة
23. 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. م 1 **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 الطلبة استعمال معادلة العدسة الرقيقة، ليستنتجوا أنّ بعد الصورة عن العدسة يمكن أن يحسب باستعمال قوة العدسة حسب المعادلة $d_i = d_0 /(Pd_0 -1)$ 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

م 3 $P = \frac{1}{f} = -2.0$ ديوبتر

5-3 تطبيقات العدسات

1. التركيز

نشاط محفز

التركيز بالعيون اطلب إلى الطلبة 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. م حركي

الربط مع المعرفة السابقة

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

2. التدريس

استخدام النماذج

كيف تُجمِّع العين البشرية الضوء اصنع نموذجًا للعين البشرية باستعمال دورق زجاجي كبير ومدوّر مملوء بالماء، وصبغة لجعل 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 الطلبة مشاهدة مخروط الضوء يتجمّع خلف الدورق. يجب أن يبين 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 تجمّع العين الضوء، ثم وضّح الأسباب التي تؤدي إلى قصر النظر وطول النظر.

م2 بصري-مكاني

الأهداف
- تصف كيف تركّز العين الضوء لتكوّن الصور.
- توضّح المقصود بكل من قصر النظر وطول النظر.
- توضّح كيف تصحّح عدسات النظارات عيوب الابصار.
- تصف الأنظمة البصرية في بعض الأدوات البصرية الشائعة.

المفردات
قصر النظر
طول النظر

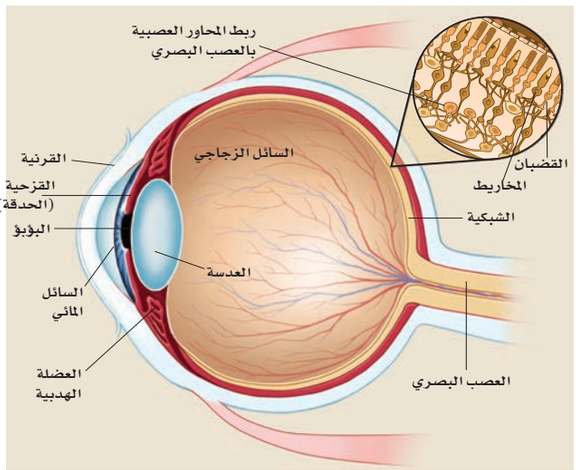
إن الخصائص التي تعلّمتها عن انكسار الضوء خلال العدسات تستخدم في أغلب الآلات البصرية. وتستخدم في حالات عديدة مجموعة من العدسات والمرايا لتكوين صورة واضحة لأجسام صغيرة أو بعيدة. إذ يحتوي كل من المقراب (التلسكوب)، والمنظار، وآلة التصوير، والمجهر (الميكروسكوب)، وحتى العين ـ على عدسات.

العدسات في العينين Lenses in Eyes

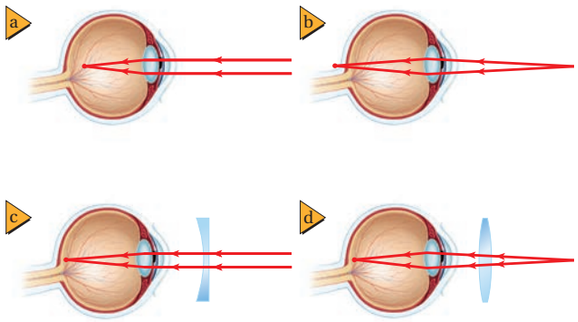
العين البشرية أداة بصرية جديرة بالملاحظة، مملوءة بسائل. وهي على هيئة وعاء كروي كما يبين **الشكل 17–5**. ينتقل الضوء المنبعث أو المنعكس عن الجسم إلى داخل العين خلال القرنية، ثم يمر الضوء بعدها خلال العدسة ويتركز على الشبكية الموجودة في مؤخرة العين. وتمتص خلايا متخصّصة في الشبكية الضوء وترسل المعلومات المتعلّقة بالصورة بوساطة العصب البصري إلى الدماغ.

تكوين الصور قد تعتقد ـ بسبب التسمية ـ أن عدسة العين هي المسؤولة عن تجميع الضوء على الشبكية. ولكن في الحقيقة، يتجمع الضوء الداخل إلى العين أساسًا بوساطة القرنية؛ لأن الفرق بين معامل انكسار الضوء ومادة القرنية كبير نسبيًا. 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 تتركز على الشبكية.

الربط مع الأحياء



الشكل 17–5 العين البشرية معقدة، وتتركب من أجزاء متعددة تعمل معًا.



الشكل 18–5 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). وتصحّح العدسة المحدبة هذا العيب (d).

قصر النظر وطول النظر لا تكون عيون الكثير من الناس صورًا واضحة على الشبكية. إذ تتكون 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 18a–5** حالة **قصر النظر**؛ حيث يكون البعد البؤري للعين أقل من البعد البؤري للعين السلمية، فتتكون الصور أمام الشبكية. وتُستخدم عدسات مقعرة لتصحيح ذلك بتفريق الضوء كما يبين **الشكل 18c–5**، لذا يؤدي ذلك إلى زيادة بعد الصور عن العدسة، وتكوين الصور على الشبكية.

ويبين **الشكل 18b–5** حالة **طول النظر**، حيث يكون البعد البؤري للعين أكبر منه للعين السليمة، فتتشكّل الصور خلف الشبكية، وتحدث حالة مماثلة أيضًا للأشخاص فوق عمر 45 عامًا، حيث لا يعود لعدسات العينين وعضلاتها المقدرة على تقليل البعد البؤري إلى الحدّ الذي يكفي لتكوين الصور للأجسام القريبة على الشبكية. وتُستخدم عدسات محدبة لتصحيح هذا العيب؛ إذ تكوّن صورًا تقديرية أبعد عن العين من أجسامها، كما يبين **الشكل 18d–5**، فتصبح الصور عندئذ هي الأجسام بالنسبة لعدسة العين، فتتكون على الشبكية.

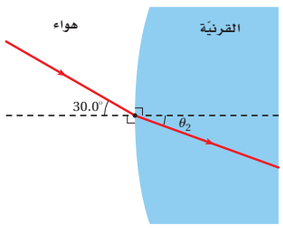
تطبيق الفيزياء

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 تحدٍّ

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

الفيزياء في الحياة

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، 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 18–5

وضّح للطلبة أنّ الشكلين 18–5 a و18–5 c قد رُسما بأشعة متوازية قادمة من جسم بعيد، وأنّ الشكلين 18–5b و 18–5d قد رُسما بأشعة قادمة من جسم قريب. اسأل الطلبة 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 تحدٍّ

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 في الماء أقرب للناظر من الهواء.

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

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

$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{(1.4)(\sin 21^\circ)}{1.33}\right)$

$\theta_2 = 22^\circ$

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

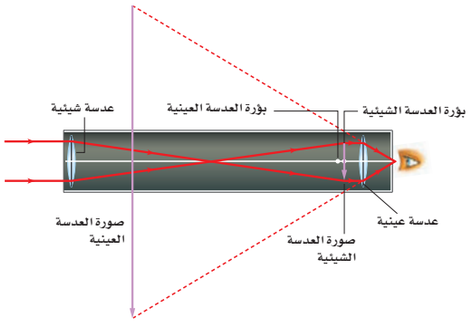
صور شديدة الوضوح من المقراب يعتقد الطلبة غالبًا أنّ الفائدة العظمى من استخدام المقراب هي تكبير الصورة. وضح لهم أنّ الأجسام الموجودة في الفضاء بعيدة جدًّا، لذا تبدو لنا أنها صغيرة الحجم. والفائدة الرئيسة من استخدام المقراب تكوين صور قريبة منا لتلك الأجسام إضافة إلى زيادة كمية الضوء المتجمّع من الجسم البعيد، ومن ثمَ زيادة إضاءة الصورة لتصبح أكثر وضوحا. اطلب إلى الطلبة أن يبينوا لماذا لا تكوّن المقاريب البسيطة والرخيصة التي تباع في المتاجر صورًا واضحة للأجسام البعيدة، على الرغم من أنّ تكبيرها كبير. قد يقترح الطلبة أنّ العدسات الشيئية صغيرة جدًا بحيث لا تستطيع تجميع ضوء كافٍ لإنتاج صور واضحة، إضافةً أنه على الأرجح ينتج عن العدسات الرخيصة زيغ كروي. م 2

تطوير المفهوم

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

تعزيز الفهم

مقارنة المفاهيم وزع الطلبة في مجموعات صغيرة، واطلب إليهم إجراء مقارنة بين التطبيقات المختلفة للعدسات التي وردت في هذا البند. م 1 متفاعل

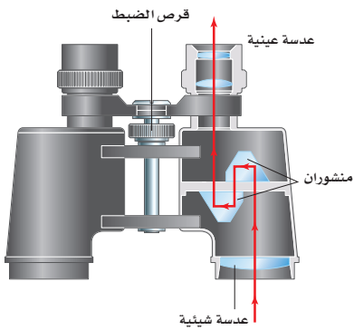


الشكل 19–5 يكوّن المقراب الفلكي الكاسر صورة تقديرية ومقلوبة مقارنة بالجسم.

المقراب (التلسكوب) الكاسر Refracting Telescopes

تستخدم العدسات في المقراب الفلكي الكاسر لتقريب الأجسام البعيدة وتكبير صورها. ويبين **الشكل 19–5** النظام البصري للمقراب 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، وتتركّز 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 تقديرية معتدلة وأكبر من الصورة الأولى عن طريق العدسة العينية. ولأن الصورة الأولى كانت مقلوبة فإن الصورة النهائية تبقى مقلوبة. ويعد انقلاب الصورة مقبولاً لمشاهدة الأجسام الفلكية.

وتستخدم عدسات عينية محدبة لالونية في المقراب دائمًا. وتعمل مجموعة العدسات هذه على إزالة الألوان المحيطة، أو التخلّص من الزيغ اللّوني، المتشكّل مع الصورة.



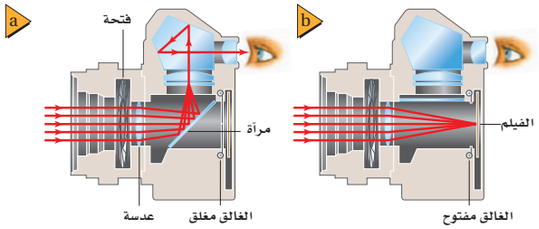
الشكل 20–5 المنظار عبارة عن مقرابين متجاورين.

المنظار Binoculars

يكوّن المنظار ـ مثل المقراب ـ صورًا مكبّرة للأجسام البعيدة. ويبين **الشكل 20–5** تصميمًا لمنظار نموذجي. ويشبه كل جانب من المنظار مقرابًا صغيرًا؛ حيث يدخل الضوء العدسة الشيئية المحدّبة وتكوّن صورة مقلوبة، ثم ينتقل الضوء خلال منشورين يَستخدمان ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي ليقلبا الصورة مرة أخرى، حيث يرى المشاهد صورة معتدلة للجسم الأصلي المراقب. ويؤدي المنشوران كذلك إلى إطالة مسار انتقال الضوء وتوجيهه إلى العدسة العينية للمنظار. وكما تزوّدك 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 تحدٍّ

أوائل المقاريب اخترع هانس ليبرشي في عام 1608 المقراب. و في عام 1609 بنى جاليليو مقرابًا معتمدًا على عمل ليبرشي. ومن خلال التعديلات الدقيقة استطاع جاليليو الحصول على تكبير مقداره 30 مرة. حُثَّ الطلبة على عمل نموذج مقراب مثل ذاك الذي بناه جاليليو، وزوِّدهم 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. م 3 حركي

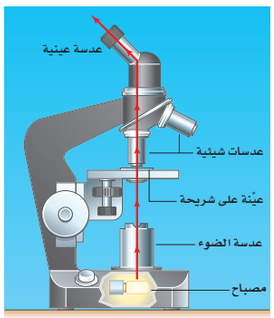


الشكل 21–5 يبين الشكل آلة التصوير ذات العدسة المفردة العاكسة، والتي تعكس الصورة المتكوّنة بالعدسة من خلال المنشور لمشاهدتها (a)، أو توجيهها في اتجاه الفيلم (b).

آلات التصوير Cameras

يبين **الشكل 21a–5** 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 انكسار الضوء، بطريقة تُشبه إلى حد كبير عمل عدسة محدبة مفردة، ويكوّن صورة مقلوبة على المرآة العاكسة. تنعكس 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 21b–5**. وبدل أن يتجه الضوء إلى المنشور فإنه ينتقل في خط مستقيم ليكوّن صورة على الفيلم.

الشكل 22–5 تنتج العدسة الشيئية والعدسة العينية في هذا المجهر صورة مقلوبة ومكبرة مقارنة بالجسم.



المجهر (الميكروسكوب) Microscopes

للمجهر عدستان محدبتان مثل المقراب، إحداهما شيئية والأخرى عينية. ويستخدم المجهر في مشاهدة الأجسام الصغيرة. ويبين **الشكل 22–5** النظام البصري المستخدم في المجهر المركّب، حيث يوضع الجسم في المنطقة ما بين بؤرة العدسة الشيئية وضعفي البُعد البؤري. فتتكوّن صورة حقيقية مقلوبة وأكبر من الجسم. ثم تصبح هذه الصورة بمثابة جسم للعدسة العينية؛ إذ يكون هذا الجسم بين العدسة العينية وبؤرتها، فتتكوّن صورة تقديرية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالصورة التي كوّنتها العدسة الشيئية. لذا يرى المشاهد صورة مقلوبة مكبَّرة جدًا.

5-3 مراجعة

24. **الانكسار** فسّر لماذا تعدّ القرنية عنصر التجميع الرئيس للاشعة 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 المقراب مقلوبة؟
27. **المنشور** ما المزايا الثلاث لاستخدام المنشورين في المنظار؟
28. **البعد البؤري** افترض أن آلة التصوير التي لديك وجهت على شخص يبعد 2 m، ثم أردت أن توجه هذه آلة 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؟

129

التفكير الناقد

العدسات الشيئية للمجهر تمتلك المجاهر النموذجية قطعة (رأس) دوّارة تحمل عدستين أو أكثر من العدسات الشيئية. اسأل الطلبة كم يتغير تكبير المجهر إذا استبدلت بالعدسة التي بعدها البؤري 16 mm عدسة بعدها البؤري 4 mm؟ ستتجمّع صورة الجسم عند مسافة أقرب أربع مرات. لذا، يزداد التكبير أربع مرات حيث يضرب التكبير في معامل مقداره 4. م 2

3. التقويم

إعادة التدريس

عدسات المجهر أحضر مجهرًا، واطلب إلى الطلبة 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.

التوسع

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

م 3 لغوي

5-3 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 يمر الضوء من خلال العدسة الشيئية، تتقاطع الأشعة مشكّلةً صورة مقلوبة. وتحتفظ العدسة العينية بهذا الاتجاه عندما تستخدم الصورة كجسم لها.
27. يعمل المنشور 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 لكي يبقى مجموع مقلوبي بعد الجسم وبعد الصورة ثابتين.
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 الطلبة أن يبقوا حذرين من اللهب.

المواد البديلة قد تستخدم شمعة بدلاً من المصباح.

استراتيجيات التدريس

- ستكوِّن العدسة صورة حقيقية، أو صورة تقديرية، أو لن تكوِّن صورًا، وذلك اعتمادًا على موقع الجسم أمام العدسة. ولتنفيذ الخطوتين 2 و 7 يجب أن تزوّد الطلبة بعدسة محدبة.

مختبر الفيزياء

العدسات المحدّبة والبعد البؤري Convex Lenses And Focal Length

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

سؤال التجربة

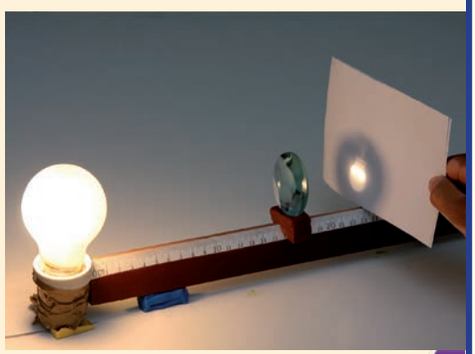
كيف يرتبط بعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدّبة مع كلٍّ من بعد الجسم والبعد البؤري؟

الأهداف

- **الرسوم البيانية واستخدامها** لوصف العلاقة بين بعد 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 ذو فتيلة خطية 25 w أو (شمعة)
قاعدة مصباح
عدسة محدبة رقيقة
مسطرة مترية
حامل عدسات
بطاقة 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 1		
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. **تنظيم الرسوم البيانية واستخدامها** مثّل العلاقة بيانيًا بين بعد الصورة (على المحور الرأسي) وبعد الجسم (المحور الأفقي). استخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لإنشاء رسم بياني إذا أمكن ذلك.
2. **استخدام الأرقام** احسب $1/d_i$ و $1/d_o$، وسجّل القيم في جدول الحسابات.
3. **استخدام الأرقام** احسب مجموع $1/d_i$ و $1/d_o$، 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. ما الفرقان بين الصورة التي تتكوّن على شبكية عينك والجسم الذي تنظر إليه؟ (تذكر أن العدسة في عينك محدبة).

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن الانكسار والعدسات ارجع الى الموقع الالكتروني
obeikaneducation.com

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اسأل الطلبة 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 الطلبة 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 الطلبة 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. هناك تقريبًا نسبة 3% خطأ بين القيمة المحسوبة والقيمة الحقيقية وهذه الدقة مقبولة نوعًا ما.
3. ستتفاوت الإجابات: 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 تقديرية. 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 الطلبة أن يفهموا العلاقة بين التقنيات المناسبة والنتائج الدقيقة، وتتحدّد الدقة عادةً بوساطة الزيغ 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 كوازار من (quasi-stellar object) ويقصد به الجسم شبه النجمي. ويعتقد أن الكوازرات تنتمي إلى الأجسام الأكثر بعدًا، لذا يعتقد بأنها الأقدم في الكون؛ ويستدل 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. 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.

نشاط

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

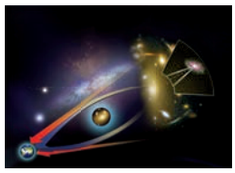
الإثراء العلمي

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 يتغيران 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.

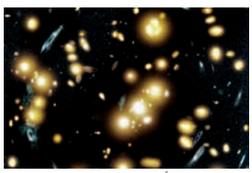
يبين الرسم أدناه كيف أن الضوء القادم من مجرة بعيدة ينحني حول تجمع مجرات قبل أن يصل إلى الأرض.



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. وأثّرت 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 تقديرية عندما يكون هناك جسم ضخم بين الأرض والجسم المراقَب. ولم يشاهد أينشتاين أبدًا مثل هذه الظاهرة، ولكن نظريته في النسبية دعمت إمكانية وجود عدسات الجاذبية هذه.



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

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؟

التوسع في البحث

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).

5–1 انكسار الضوء Refraction of Light

المفردات

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

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

5-2 العدسات المحدبة والمقعرة Convex and Concave Lenses

المفردات

- العدسة
- العدسة المحدبة
- العدسة المقعرة
- المعادلة العامة للعدسة الرقيقة
- الزيغ اللونيّ
- العدسة اللالونيّة

الأفكار الرئيسة

- يرتبط كلٌّ من البعد البؤري f، وبعد الجسم d_o، وبعد 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. $m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$
- تكوّن العدسة المحدبة المفردة صورة حقيقية مقلوبة عندما يكون بعد الجسم أكبر من البعد البؤري، وتكون الصورة مصغّرة أو مكبّرة وفقًا لبعد الجسم.
- تكوّن العدسة المحدبة المفردة صورة تقديرية معتدلة ومكبّرة عندما يوضع الجسم بين العدسة والبؤرة.
- تكوّن العدسة المقعرة صورًا تقديرية دائمًا، وتكون معتدلة ومصغّرة.
- جميع العدسات لها زيغ لونيّ، وجميع العدسات التي لها سطوح كروية لها زيغ كروي.

5-3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

المفردات

- قصر النظر
- طول النظر

الأفكار الرئيسة

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

الأفكار الرئيسة

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

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

خريطة المفاهيم

30. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

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 الحيوي للأرض يُسبِّب انكسار أشعة الشمس، ويغيّر مسارها لتسقط في اتجاه القمر، ولأنّ الطول الموجي للضوء الأزرق يتشتت أكثر، فإن الضوء الأحمر يصل إلى القمر وينعكس عنه نحو الأرض.

34. يحدّد معامل انكسار المادة التي صنعت منها العدسة ومعامل انكسار الوسط المحيط بالعدسة وتكور سطحيها 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 زيغ 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 مشاهدة ثلاثية 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.

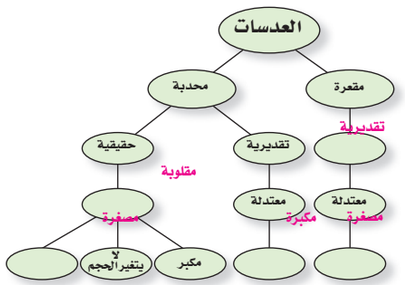
42. كلما زاد معامل انكسار المادة قلت الزاوية الحرجة.

43. 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°

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

خريطة المفاهيم

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



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 العوامل التي تحدّد موقع البؤرة للعدسة؟

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

36. وضّح لماذا تستخدم الأدوات البصرية الدقيقة العدسات اللّالونية؟

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

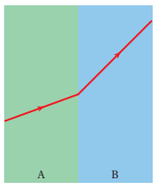
38. ما طبيعة الصورة المتكوّنة بوساطة العدسة الشيئية في المقراب؟

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

40. ما الغرض من المرآة العاكسة في آلة التصوير؟

تطبيق المفاهيم

41. أي المادتين A أم B، في **الشكل 23–5** لها معامل انكسار أكبر؟ وضّح ذلك.



الشكل 23–5

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

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

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

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

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

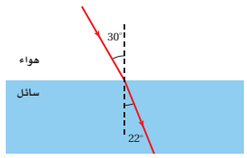
إتقان حل المسائل

5–1 انكسار الضوء

47. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائل ما، كما في **الشكل 24–5**، 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 1–5**، وماذا يمكن أن يكون هذا السائل؟



الشكل 24–5

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

a. زاوية انكسار الضوء في الزجاج؟

b. زاوية انكسار الضوء في الماء؟

49. ارجع إلى الجدول 1–5، واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء فيه.

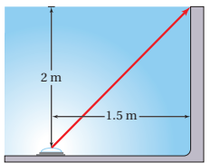
50. ارجع إلى الجدول 1–5، وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

51. **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 الزاوية التي سيخرج فيها الضوء إلى الهواء؟

52. 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 25–5**. وكان الحوض مملوءًا بالماء إلى قمته.

a. ما 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 25–5

53. إذا كانت سرعة الضوء في بلاستيك شفاف $1.90 \times 10^8\ m/s$، وسقط شعاع ضوء على البلاستيك بزاوية 22°، فما الزاوية التي ينكسر بها الشعاع؟

5–2 العدسات المحدبة والمقعرة

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

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

56. 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، ووضع مكانها عدسة أخرى لها ضعفا البعد البؤري، فحدّد موقع الصورة وطولها واتجاهها.

الفصل 5

التقويم

45. يعزى الزيغ 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.

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

إتقان حلّ المسائل

5–1 انكسار الضوء

47. a. 1.33

b. الماء

48. a. 25.4°

b. 28.9°

49. $1.24 \times 10^8\ m/s$

50. 24.4°

51. 49.7°

52. a. 53°

b. 1.1m، أقل عمقًا.

53. 13.7°

5–2 العدسات المحدبة والمقعرة

54. 10.0 cm

55. 14 cm

56. a. 6.0 cm

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

مقلوبة

التقويم

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

b. بُعد الصورة: 15 cm

طول الصورة: 6.0 cm، وتكون الصورة معتدلة مقارنةً بالجسم وتقديرية.

5–3 تطبيقات العدسات

58. 56 cm

59. a. 6.0×10^{1} mm

b. – 5.0

c. – 20.0 mm

d. -1.0×10^{1}

مراجعة عامة

60. 7 cm

61. 2.7 دقيقة

التفكير الناقد

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

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

الكتابة في الفيزياء

64. ستختلف الإجابات .

65. ستختلف الإجابات .

57. 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 استبدلت العدسة المفرّقة، ووضع مكانها عدسة مجمّعة لها البعد البؤري نفسه فما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟ وهل هي تقديرية أم حقيقية؟

5–3 تطبيقات العدسات

58. 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؟

59. المجهر (الميكروسكوب) 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؟

مراجعة عامة

60. 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؟

61. 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

التفكير الناقد

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

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

الكتابة في الفيزياء

64. 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 التكيف في عيونها لرؤية الأشياء.

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

مراجعة تراكمية

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

67. 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 المرآة والتكبير.

مراجعة تراكمية

66. إنّ درجة صوت منبه السيارة الذي يسمعه الشخص سيقل عندما تقف السيارة.

67. a. انظر إلى دليل حلول المسائل

b. موقع الصورة: –10.5cm

طول الصورة: 5.25 cm

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

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 $1.24 \times 10^8\ m/s$، فما معامل انكسار الألماس؟

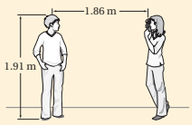
(A) 0.0422 (C) 1.24
(B) 0.413 (D) 2.42

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

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

4. التقطت سارة صورة لأسامة 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

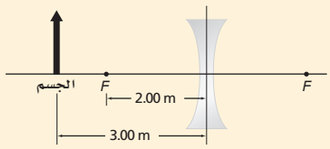


5. ماذا يحدث للصورة المتكوّنة من عدسة محدبة عندما يُغطَّى نصفها؟

(A) تختفي نصف الصورة (C) تصبح الصورة ضبابية
(B) لا تتكون صورة (D) تنعكس الصورة

6. ما بعد 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 $n = 1.52$ إلى الماء الذي معامل انكساره $n = 1.33$؟

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

الأسئلة الممتدة

8. 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°؟

9. 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 لعدم الانتباه الذي يمكن أن يحدث عندما تريد إنهاء الاختبار بسرعة.

أسئلة اختيار من متعدد

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

الأسئلة الممتدة

8. 55.9°

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

اختبار مقنن الفصل 5–

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 6

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
6–1 التداخل	
1. **تفسر** تكوّن نمط تداخل باسقاط 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، ومرشحات ضوئية. **تجربة إضافيّة** شبكة سلكية، ووعاء قليل العمق وواسع يحوي محلول فقاقيع الصابون. **عرض المعلم** **عرض سريع** حوض الموجات. **عرض سريع** عدسة محدبة ذات بعد بؤري كبير، ولوح زجاج سميك مستوي، وشريحة مجهر مزودة بغطاء زجاجي.
6–2 الحيود	
4. **توضّح** كيف تتشكّل أنماط الحيود بوساطة محزوزات الحيود. 5. **تصف** كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافية** محزوز حيود هولوجرافي (من 2 cm × 2 cm لغاية 10 cm × 10 cm) وجهاز العرض فوق الرأس، ومرشحات ضوء 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، شريحة فيها شق قابل للتعديل أو بطاقتا فهرسة. **عرض سريع** مصدر ضوء أبيض مع شق، ومرشح أزرق، ومحزوز حيود.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل السادس

الفصل 6

التداخل والحيود

نظرة عامة إلى الفصل

يستكشف هذا الفصل ظاهرتي تداخل وحيود الشق المفرد. حيث يحدث التداخل عندما يتراكب صدرا موجتين مترابطتين أو أكثر؛ فتتكون مناطق مضيئة وأخرى معتمة. أما حيود الشق المفرد فيحدث عندما يسقط ضوء على شق مفرد؛ بحيث تتداخل مويجات هيجنز للضوء الساقط تداخلاً بنائيًّا وهدميًّا؛ 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 بنائيًّا لبعض الأطوال الموجية ، بينما تسبب تداخلاً هدميًّا 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

الفصل 6

التداخل والحيود

Interference and Diffraction

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تفسير أنماط التداخل والحيود وفقًا للطبيعة الموجية للضوء.
- توضيح كيفية حدوث أنماط التداخل والحيود في الطبيعة، وكيفية استخدامها.

الأهمية

يمكن ملاحظة كل من ظاهرتي التداخل والحيود في الأشياء المحيطة بك؛ إذ تُظهر الأقراص المدمجة الحيود بوضوح، كما يظهر التداخل في الفقاقيع، في حين تُظهر أجنحة الفراشة الزرقاء كلًّا من التداخل والحيود معًا.

محلول الفقاقيع يكون محلول فقاقيع الصابون في الإناء شفافًا، ومع ذلك إذا علّقت فقاقيع المحلول على شبكة بلاستيكية أمكنك رؤية مجموعة من الألوان ولم تنتج هذه الألوان بسبب وجود الأصباغ أو الملوّنات في الصابون، ولكن بسبب الطبيعة الموجية للضوء.

فكّر

كيف يُظهر محلول فقاقيع الصابون ألوان قوس المطر؟

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

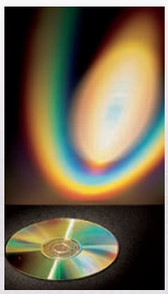
لماذا يعكس القرص المدمج الضوء بألوان قوس المطر؟

سؤال التجربة كيف يتأثر الضوء عندما ينعكس عن القرص المدمج؟

الخطوات

1. احصل على قرص مدمج CD أو DVD، وجهاز عرض الضوء، ومرشّحات ضوئية.
2. ضع القرص المدمج على سطح الطاولة على أن يكون سطحه العاكس إلى أعلى.
3. ضع مرشح اللون على جهاز عرض الضوء.
4. شغل جهاز عرض الضوء، وأسقط الضوء الصادر على سطح القرص المدمج، على أن يسقط الضوء المنعكس عنه على سطح أبيض. ***تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الضوء الصادر عن جهاز عرض الضوء.***
5. دوّن ملاحظاتك حول الضوء الذي تشاهده على الشاشة.
6. أطفئ جهاز عرض الضوء وغيّر مرشح اللون مستعملًا مرشح لون آخر.
7. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستعمال مرشح لون جديد.
8. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستعمال ضوء أبيض.

التحليل



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

التفكير الناقد تأمّل في ملاحظاتك حول الضوء الأبيض المنعكس عن القرص، واقترح مصادر أخرى ممكنة تُظهر حزمًا من الألوان.

الأهداف

- تفسر تكوّن نمط تداخل باسقاط الضوء على شقين.
- تحسب الأطوال الموجية للضوء من أنماط التداخل.
- تطبق النمذجة على تداخل الأغشية الرقيقة.

المفردات

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

لقد تعلمت أن الضوء يسلك سلوك الموجات أحيانًا، كما يحدث لموجات الماء والموجات الصوتية تمامًا، وقد أمكن بذلك تفسير كل من ظاهرتي الانعكاس والانكسار للضوء وفقًا للنموذج الموجي، واللتين فسرهما أيضًا نموذج الشعاع الضوئي. فما الذي قاد العلماء للاعتقاد بأن للضوء خصائص موجية؟ لقد اكتشف العلماء أن للضوء سلوكات ترتبط بالطبيعة الموجية نفسها؛ فالضوء يحيد عندما يمر بالحواف، وترى ضوءًا غير مترابط ذا صدور موجية غير متزامنة عندما تستضيء الأجسام بمصدر ضوئي أبيض، وهو ما تلاحظه من عدم انتظام الصدور الموجية للماء عندما تسقط الأمطار بغزارة على سطح بركة.

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 الطلبة 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.

6-1 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 الطلبة رفع أيديهم إذا سمعوا الصوت بوضوح. إذا لم تكن الجدران عاكسة بمقدار كبير فإن أنماط التداخل الهدمي ستكون واضحة بالنسبة لمجموعة الطلبة الذين يرفعون أيديهم والذين لا يرفعون. كرّر النشاط بإجراء تغيرات قليلة في التردد أو المسافة الفاصلة بين مصدري الصوت. كما يمكنك السماح للطلبة بالتجول في الغرفة وسماع نمط التداخل. م ا

سمعي- موسيقي

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

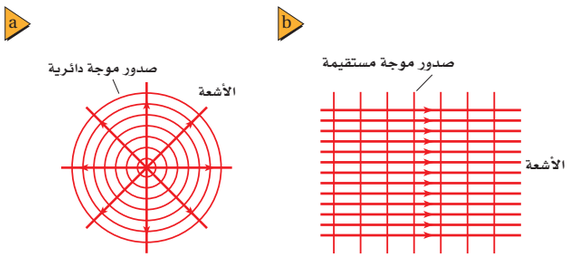
1. صف كيفية تكوّن الموجات بوساطة مصدر ضوئي مفرد.
2. صف المصادر المترابطة من خلال إضافة مصدر آخر يتذبذب بتردد المصدر الأول نفسه.
3. صف المصادر غير المترابطة من خلال إضافة مصادر إضافية تتذبذب بترددات مختلفة عن تذبذب المصدر الأول.

في الخطوة 2 سيشاهد كل من التداخل الهدمي والتداخل البنائي، في 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 تتكون 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 معاً، 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.

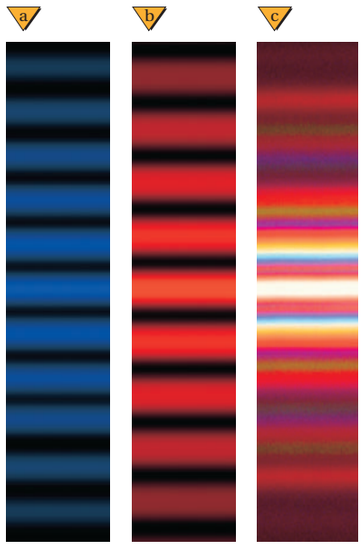
■ **الشكل 1–6** تتولد صدور موجات الضوء المنتظمة بوساطة المصادر النقطية (a)، وأشعة الليزر (b).



تداخل الضوء المترابط (المتزامن)
Interference of Coherent Light

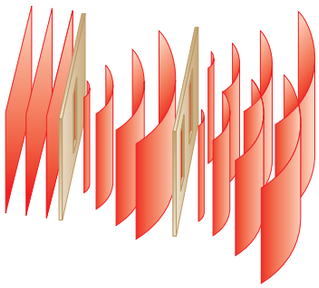
الضوء المترابط هو الضوء الناتج من مصدرين أو أكثر؛ حيث يشكل الضوءان تراكبًا لتشكيل صدور موجات منتظمة. ويمكن توليد صدر الموجة المنتظمة بوساطة مصدر نقطي، كما يتضح من **الشكل 1a–6**، كما يمكن توليدها أيضًا بوساطة عدة مصادر نقطية عندما تتزامن هذه المصادر النقطية جميعها كما في أشعة الليزر، كما هو موضح في **الشكل 1b–6** وتحدث ظاهرة التداخل بوساطة تراكب الموجات الضوئية الناتجة عن المصادر الضوئية المترابطة.

■ **الشكل 2–6** هذه أنماط تداخل الشق المزدوج للضوء الأزرق (a)، وللضوء الأحمر (b)، وللضوء الأبيض (c).



أثبت الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج أنه يكون للضوء خصائص موجية عندما أنتج نمط تداخل، من إسقاط ضوء من مصدر نقطي أحادي منتظم خلال شقين، وقد وجه يونج ضوءًا مترابطًا على شقين قريبين وضيّقين في حاجز. وعندما يتداخل الضوء المنبعث من الشقين ويسقط على الشاشة، فإن التراكب لا يحدث استضاءة منتظمة، وبدلاً من ذلك يتولد نمط مكوّن من حزم مضيئة وأخرى معتمة، سمّاها يونج أهداب التداخل. وقد فسّر يونج ذلك بأن هذه الحزم تتكون نتيجة التداخل البنّائي والتداخل الهدمي للموجات الضوئية من الشقين في الحاجز.

في تجربة تداخل الشق المزدوج (تجربة يونج)، حيث تم استعمال **ضوء أحادي اللون**، وهو ضوء له طول موجي واحد فقط، أنتج التداخل البنّائي حزمة ضوئية مركزية مضيئة (هدبًا مضيئًا) بلون معين على الشاشة، كما أنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية تقريبًا، وعرضها متساوٍ تقريبًا، كما يتضح من **الشكلين 6 2a – و2b – 6**. وتتناقص شدة إضاءة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي، ويمكنك ملاحظتها بسهولة في **الشكل 2a–6**. وتوجد بين الأهداب المضيئة مساحات معتمة (أهداب معتمة)، حيث يحدث التداخل الهدمي. وتعتمد مواقع حزم التداخل البنائي والهدمي على الطول الموجي للضوء الساقط. وعندما يُستعمل الضوء الأبيض في تجربة شقي يونج فإن التداخل يسبب ظهور أطياف ملوّنة بدلاً من

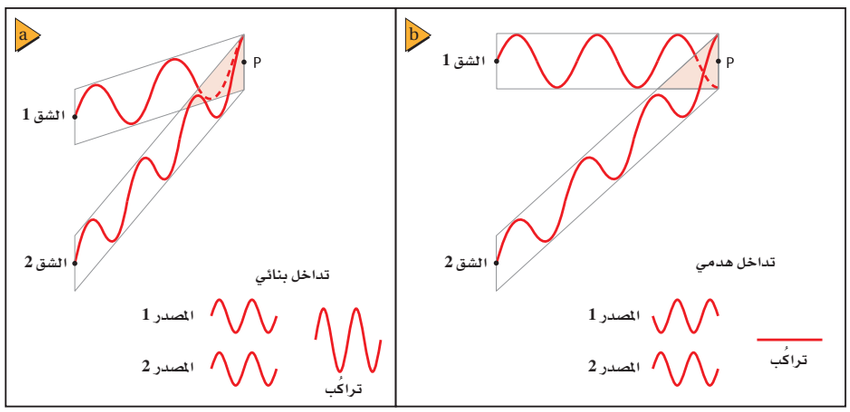


الشكل 3–6 مصدر الضوء المترابط الذي يتكوّن بواسطة الشق الأحادي الضيّق، يُنتج موجات مترابطة أسطوانية الشكل تقريبًا، تنتقل إلى شقين في الحاجز الثاني. وتغادر موجتان مترابطتان أسطوانيتا الشكل تقريبًا الشق المزدوج.

الأهداب المضيئة والمعتمة، كما يتضح من **الشكل 2c–6**. وتتداخل الأطوال الموجية جميعها تداخلاً بنائيًا في الهدب المركزي المضيء، لذا يكون هذا الهدب أبيض دائمًا. وتنتج مواقع الأهداب الأخرى الملوّنة عن تراكب أهداب التداخل التي تحدث، حيث تتداخل الأطوال الموجية لكل لون منفصل تداخلاً بنائيًا.

تداخل الشق المزدوج لتوليد ضوء مترابط من ضوء غير مترابط، وضع يونج حاجزًا ضوئيًا ذا شق ضيّق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون، فنفذ الجزء المترابط من الضوء فقط، ثم حاد هذا الجزء بوساطة الشق؛ وذلك لأن عرض الشق كان اصغر من الطول الموجي للضوء الساقط، فتولّدت صدور موجات أسطوانية تقريبًا بسبب حيودها، كما في **الشكل 3–6**، وعندما وصل جزءا صدر الموجة المتفقان في الطور إلى الحاجز الثاني ذي الشقين، فإنهما تكونان صدور موجات مترابطة، وأسطوانية الشكل تقريبًا، يمكنهما أن تتداخلا بعد ذلك، كما في **الشكل 3–6**. تداخلاً بنائيًا أو هدميًا اعتمادًا على العلاقة بين طوريهما كما في **الشكل 4 – 6**.

الشكل 4–6 تولّد عند الشقين زوج من الموجات المتفقة بالطور. ويحدث تداخلاً بنائيًا لتشكيل أهداب مضيئة (**a**)، أو تداخلاً هدميًا لتشكيل أهداب معتمة (**b**).



141

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

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

استخدام التشابه

تداخل الزبدية (صحن صغير عميق) 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 الطلبة التفكير فيها كأن قمة موجة أفرغت محتوياتها في قاع الموجة، وملأتها حتى استوى سطحها العلوي، ولم يعد لها شكل الموجة.

نشاط — طرائق تدريس متنوعة

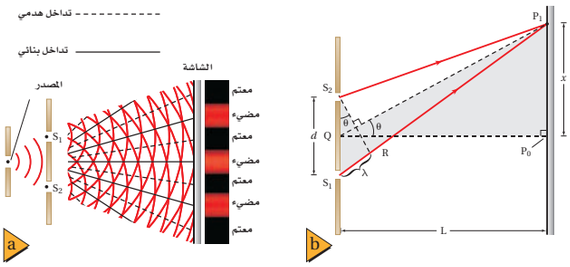
إعاقة بصرية يمكن للطلبة أن يشعروا بانحناء موجات الورق المستعرضة، عند المشاركة في تنفيذ نموذج الشق المزدوج للموجة الورقية في الصفحة السابقة، ليدركوا كيف أن موجتين في تجربة الشق المزدوج، يمكن أن تكونا في الطور نفسه، أو في طورين مختلفين عند مواقع مختلفة، حيث تتقاطع الموجات. رتّب الموجتين الورقيتين بحيث تكونان في الطور نفسه (القمة فوق القمة)، ثم اسأل الطلبة: ماذا يحدث إذا جمع الطولان الموجيان؟ ثم رتب الموجتين الورقيتين بحيث تكونان مختلفتين في الطور (القمة فوق القاع)، ثم اسأل الطلبة ماذا يحدث إذا جمع الطولان الموجيان؟ م ١ حركي

استخدام الشكل 5–6

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 طول الخطوط المستقيمة المتصلة (غير المتقطعة) فتتداخل تداخلاً بنائيًّا محدثةً شدة إضاءة عالية. أما على طول الخطوط المتقطعة فتتراكب الموجات النافذة من الشقين؛ قمة إلى قاع، فتتداخل تداخلاً هدميًّا محدثةً شدة إضاءة منخفضة. ولا تبقى صدور الموجات ثابتة في أماكنها، وإنما تتحرك من الشقين في اتجاه الشاشة، في حين تبقى المناطق ذات الإضاءة العالية والمنخفضة ثابتة حتى عندما تستمر صدور 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 تقدم نموذجًا مناسبًا لحساب المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء الذي يليه. اسأل الطلبة 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 ضعفي 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 ضروري وهو بقاء الزاوية صغيرة. م3



الشكل 5–6 يولّد تداخل الضوء الأحادي اللون الذي يمر خلال الشق المزدوج أهدابًا مضيئة وأخرى معتمة على الشاشة (**a**). يمثّل هذا الشكل (**b**) تحليلاً للهدبة المضيئة الأولى؛ حيث تكون المسافة بين الشقين والشاشة L أكبر 10^5 مرة من المسافة الفاصلة بين الشقين تقريبًا.

قياس الطول الموجي للضوء بنظرة علوية عن قرب، لصدور موجات أسطوانية الشكل وتجربة الشق المزدوج ليونج الموضحة في **الشكل 5a–6**، نجد أن صدور الموجات تتداخل تداخلاً بنائيًّا، وآخر هدميًّا؛ لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة. والرسم التخطيطي النموذجي الموضح في **الشكل 5b–6** يستخدم لتحليل تجربة يونج؛ إذ يقطع الضوء الذي يصل إلى النقطة P_0 المسافة نفسها من كل شق. وتتداخل الموجات تداخلاً بنائيًّا على الشاشة لتكوين الهدب المركزي المضيء عند النقطة P_0؛ لأن الموجات لها الطور نفسه، كما يوجد أيضًا تداخل بنائي عند الهدب المضيء P_1 على كلا جانبي الهدب المركزي؛ لأن القطعة المستقيمة P_1S_1 أطول من القطعة المستقيمة P_1S_2 بمقدار طول موجي واحد λ، لذا تصل الموجات عند النقطة P_1 بالطور نفسه.

ويمكن ايجاد الطول الموجي باستخدام المعادلة التالية:

الطول الموجي من تجربة الشق المزدوج ليونج $\lambda = \frac{xd}{L}$

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

يحدث التداخل البنائي من الشقين عند الموقع x_m، على جانبي الهدب المركزي المضيء التي تم تحديدها باستخدام المعادلة $m\lambda = \frac{x_m d}{L}$؛ حيث m = 0, 1, 2, ...، والمحدّدة بوساطة استخدام التبسيطات الناجمة عن كون الزاوية صغيرة. وتتولّد الأهداب المركزية المضيئة عند m = 0، ويسمّى الهدب الناتج عند m = 1 عادة هدب الرتبة الأولى، وهكذا لسائر المواقع.

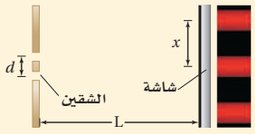
من معلم لآخر

نشاط

استكشاف أوجه الشبه والاختلاف بين الأنماط أحضر مصدري ليزر مختلفين في الطول الموجي ، وضع أمام كلٍّ منهما 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.

مثـــــال 1

الطول الموجي للضوء طبقت تجربة يونج لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر عندما كان الشقان يبتعد أحدهما عن الآخر مسافة 0.0190 mm، ووضعت الشاشة على بعد 0.600 m عنهما. فوجد الهدب المضيء ذا الرتبة الأولى على بُعد 21.1 mm من الهدب المركزي المضيء. ما الطول الموجي للضوء الأحمر؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسما تخطيطيًا تبين فيه كلًّا من الشقين والشاشة.
- ارسم نمط التداخل مع الأهداب في مواقعها المناسبة على الشاشة.

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

2 ايجاد الكمية المجهولة

$$\lambda = xd/L$$

بالتعويض عن $x = 2.11\times10^{-2}\ \text{m}, d = 1.90\times10^{-5}\ \text{m}, L = 0.600\ \text{m}$

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

$$= 6.68\times10^{-7}\ \text{m} = 668\ \text{nm}$$

1 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة الطول، والتي تعد صحيحة بالنسبة للطول الموجي.
- **هل الجواب منطقي؟** الطول الموجي للون الأحمر 700 nm تقريبًا، وللون الأزرق 400 nm تقريبًا، لذا فإن الإجابة منطقية.

مسائل تدريبية

1. ينبعث ضوء برتقالي مصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm على شقين يبعد أحدهما عن الآخر $1.90\times10^{-5}\ \text{m}$، ما مقدار المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب الأصفر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشة تبعد مسافة 0.600 m عن الشقين؟
2. في تجربة يونج، استخدم الطلاب أشعة ليزر طولها الموجي $\lambda = 632.8\ \text{nm}$، ووضعوا الشاشة على بعد 1.00 m من الشقين، فوجد أن الهدب الضوئي ذا الرتبة الأولى يبعد 65.5 mm عن الخط المركزي. ما مقدار المسافة الفاصلة بين الشقين؟

نشاط

تحدٍّ

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 الطلبة إجراء تجربة الشق المزدوج باستخدام مصدر ليزر HeNe ($\lambda = 632.8\ \text{nm}$)، 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 الطلبة ما الذي يحدد دقة القياس؟ القدرة على إيجاد مركز كل هدب، وبدء القياس منه ستحدد الدقة. م 3 حركي

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؟

الإجابة

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

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

$$= 618\ \text{nm}$$

مسائل تدريبية

1. $1.88\times10^{-2}\ \text{m}$ أو 18.8 mm
2. $9.66\times10^{-6}\ \text{m}$ أو 9.66 μm

تعزيز المفهوم

أثر زيادة المسافة الفاصلة بين الشقين

يمكنك توضيح أثر المسافة الفاصلة بين الشقين في تداخل الشق المزدوج باستخدام شفافيتين تعرضان على جهاز العرض العلوي، 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 الطلبة مناقشة كيف تتغير الأنماط المضيئة والمعتمة. م 1 بصري - مكاني

تجربة إضافية

غشاء الصابون

الهدف مشاهدة التداخل في الغشاء الرقيق الذي يُسبِّبه غشاء الصابون.

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

الخطوات

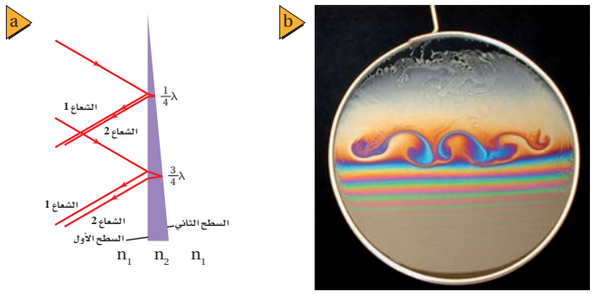
تحذير: خطر الانزلاق: جفِّف ما ينسكب على الأرض من المحلول.

1. اغمر الإطار السلكي في محلول فقاقيع الصابون.
2. أمسك الإطار السلكي رأسيًّا. ماذا تشاهد؟ ستشاهد الأهداب اللونية 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 الدائرية لعمل فقاقيع الصابون في الهواء، وانظر إلى الأهداب الملونة التي تظهر على سطوح الفقاقيع. 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 6–6 يزداد الطول الموجي عندما يكون سُمك غشاء الصابون $\frac{\lambda}{4}$ و $\frac{3\lambda}{4}$ و $\frac{5\lambda}{4}$ (a) ولأن كل طول موجي له لون 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 الناجمة عن فقاقيع الصابون أو عن الغشاء الزيتي العائم على سطح التجمعات المائية الصغيرة في ساحة مواقف السيارات؟ هذه الألوان لم تكن ناجمة عن تحليل الضوء الأبيض بوساطة منشور أو ناجمة عن امتصاص الألوان بوساطة الأصباغ، بل كان طيف الألوان هذا نتيجة للتداخل البنائي والهدمي للموجات الضوئية؛ بسبب انعكاسها عن الغشاء الرقيق، وهذه الظاهرة تسمى **التداخل في الأغشية الرقيقة**.

إذا عُمِلَ غشاء الصابون رأسيًّا كما في **الشكل 6–6**، فإن وزنه يجعله أكثر سمكًا عند القاع منه عند القمة، ويتغير السمك تدريجيًّا من أعلى إلى القاع. وعندما تسقط موجات الضوء على الغشاء ينعكس جزء منها، كما يوضح الشعاع 1، بينما ينفذ جزء آخر منها أيضًا. ويكون للموجات المنعكسة والموجات النافذة تردد الموجات 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 هو ضوء مترابط.

ولان سمك الغشاء الرقيق **d** يكون مقاربا أو اقل من الأطوال الموجية للضوء المرئي، لذلك إذا أضيء الغشاء بلون ابيض عند سمك مناسب؛ فإن التداخل البنائي قد يحدث لأحد الأطوال الموجية الصادرة عن المصدر، ويرى الغشاء بوساطة الضوء المنعكس ملونًا نتيجة لذلك.

تحسين (تعزيز) اللون كيف يمكن زيادة شدة لون ضوء أحادي بالانعكاس؟ يعتمد كون التداخل بنائي أو هدمي على حقيقتين، أولهما: أن الموجة المنعكسة عن السطح الأول من وسط معامل انكساره n_1 إلى وسط معامل انكساره n_2 تخضع لفرق في الطور مقداره $180°$ عند الإنعكاس عندما يكون $n_2 > n_1$. وتخضع الموجة المنعكسة عن السطح الثاني لفرق في الطور مقداره $0°$ عندما يكون $n_2 > n_1$، وفي الحالة الممثلة في **الشكل 6a–6** فإن الشعاع 1 يخضع لفرق في الطور مقداره $180°$ والذي يعادل فرق مسار مقداره $\lambda/2$ حيث تنقلب القمة قاعًا، وينقلب القاع قمة. بينما لا يحدث هذا للشعاع 2، والحقيقة الثانية أن الذي يحدث للشعاع 2 عندما يكون سمك غشاء الصابون مساويًا ربع الطول الموجي $\lambda/4$ هو قطعه مسافة مقدارها $\lambda/2$ أكثر من الشعاع 1 وتغير الطول الموجي في الوسط n_2 حسب العلاقة $\lambda_n = \lambda/n$ قبل أن تتراكب الموجتان في الهواء.

تطبيق الفيزياء

النظارات غير العاكسة

يمكن وضع غشاء رقيق على عدسات النظارات لتمنع الأطوال الموجية المنعكسة للضوء والتي تراها العين البشرية بمقدار كبير؛ ممّا يمنع وهج الضوء المنعكس.

144

الفيزياء في الحياة

معلومة للمعلم

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 بنائي أو هدمي.

وتتداخل تداخلاً بنائيًا إذا كان سُمك الغشاء يحقق الشرط $d = \frac{\lambda}{4}$ ويكون الفرق في المسافة $2dn=(m+\frac{1}{2})\lambda$، فينعكس لون الضوء عند ذلك الطول الموجي بشدة أعلى فيتحسن اللون نتيجة ذلك؛ لاحظ أن ذلك يحدث لأن الطول الموجي للضوء في الغشاء أقصر من الطول الموجي للضوء في الهواء $d=\frac{\lambda_{\text{غشاء}}}{4}$، وتتداخل تداخلاً هدميًا إذا كان سُمك الغشاء أقل أو أكثر من $\frac{\lambda}{4}$، ويكون الفرق في المسافة $2dn = m\lambda$، حيث $m = 0,1,2,3, \ldots\ldots$، وكما تعلم فإن للألوان المختلفة أطوالًا موجية مختلفة. وأما الغشاء المتباين السمك ـ ومنه الغشاء الموضح في **الشكل 6–6ـ** فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند سمك مختلف للون مختلف. والنتيجة هي تكوّن ألوان قوس المطر. لاحظ تكرار الطيف في **الشكل 6b–6**. وعندما يكون سمك الغشاء $3\lambda/4$ تكون مسافة الذهاب والإياب $3\lambda/2$، ويحدث التداخل البنائي مرة أخرى. أي أنه إذا كان سمك الغشاء مساويًا 1λ و $\frac{3\lambda}{4}$ و $\frac{5\lambda}{4}$ ...إلخ فإنه سيحقق شروط التداخل البنائي لطول موجيّ محدّد.

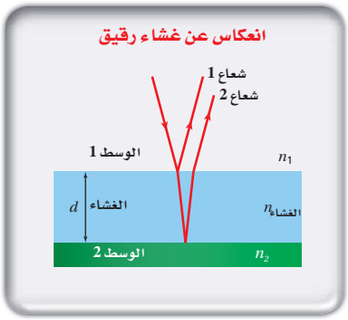
استراتيجيات حل المسألة

الرياضيات في الفيزياء

التداخل في الأغشية الرقيقة

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

1. ارسم رسمًا توضيحيًا للغشاء الرقيق وللموجتين المترابطتين. وللتسهيل ارسم الموجات على صورة أشعة.
2. اقرأ المسألة، وحدّد هل حدث تقوية أم إضعاف للضوء المنعكس؟ فإذا حدثت تقوية للضوء المنعكس تكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا بنائيًا، أما إذا ضعف فستكون الموجات قد تداخلت تداخلًا هدميًا.
3. هل تنقلب إحدى الموجتين أو كلتاهما عند الانعكاس؟ إذا تغير معامل الانكسار من قيمة أقل إلى قيمة أعلى تنقلب الموجة، أما إذا تغير معامل الانكسار من قيمة أعلى إلى قيمة أقل فلن تنقلب الموجة.
4. أوجد المسافة الإضافية التي يجب أن تقطعها الموجة الثانية خلال الغشاء الرقيق لتوليد التداخل المطلوب.



   a. إذا أردت تداخلاً بنائيًا وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدميًا وكانت كلتاهما مقلوبتين أو غير مقلوبتين فإن الفرق في المسافة يكون عددًا فرديًا من أنصاف الطول الموجي: $(m+1/2)\lambda_{\text{غشاء}}$ حيث $m = 0, 1, 2, \ldots$.
   b. إذا أردت تداخلاً بنائيًا على أن تكون كلتا الموجتين مقلوبتين أو غير مقلوبتين، أو أردت تداخلاً هدميًا وكانت إحدى الموجتين مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا صحيحًا من الأطوال الموجية: $m\lambda_{\text{غشاء}}$، حيث $m = 1, 2, \ldots$.
5. عيّن المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع الثاني بمضاعفة سمك الغشاء ليصبح $2d$.
6. تذكّر مما درسته سابقًا أن $n_{\text{غشاء}} / \lambda_{\text{الفراغ}} = \lambda_{\text{غشاء}}$.

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

العدسات المطلية في الكاميرا 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. في عام 1930 طوّر عالم البصريات الألماني أ. سماكولا عمليًا 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 زجاج سميك مستوي، وشريحة مجهر مزودة 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 الطلبة 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 صفي

سؤال في المثال 2 إذا تكوّن غشاء الزيت على سطح زجاج معامل انكساره 1.55 بدلاً من الماء، فكم يجب أن يكون أقل سمك له ؟

الإجابة

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

$d = \lambda / 2n_{\text{زيت}}$، وهكذا فإن:

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

مسائل تدريبية

3. 101 nm
4. 97.9 nm

نشاط

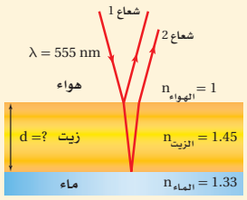
الأغشية الرقيقة الطبيعية

اطلب إلى الطلبة إجراء بحث عن التداخل في الأغشية الرقيقة في الطبيعة. ستختلف أبحاث الطلبة. إن أصداف بلح البحر والمحار أو اللؤلؤ لها أغشية رقيقة عديدة ومعقدة. وتظهر بعض الطيور والخنافس والفراشات ألوانًا قزحية 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. م 2 **لغوي**

مثـــال 2

الزيت والماء لاحظت الحلقات الملوّنة في بركة ماء صغيرة، واستنتجت أنه لا بدّ من وجود طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء. ونظرت 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 التي تسبب هذا اللون؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للغشاء الرقيق وللطبقات فوقه وتحته.
- ارسم الأشعة مبينًا الانعكاس عن سطح الغشاء العلوي وعن سطحه السفلي كذلك.

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

2 ايجاد الكمية المجهولة

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

طبّق استراتيجية حل المسألة لتكوين المعادلة: $2d = [m + \frac{1}{2}] \frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}}$

ولأنك تريد أقل سمك، فإن m = 0

بالتعويض عن m = 0

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

بالتعويض عن $\lambda = 555\ \text{nm}, n_{\text{الزيت}} = 1.45$

$$= \frac{555\ \text{nm}}{(4)(1.45)} = 95.7\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

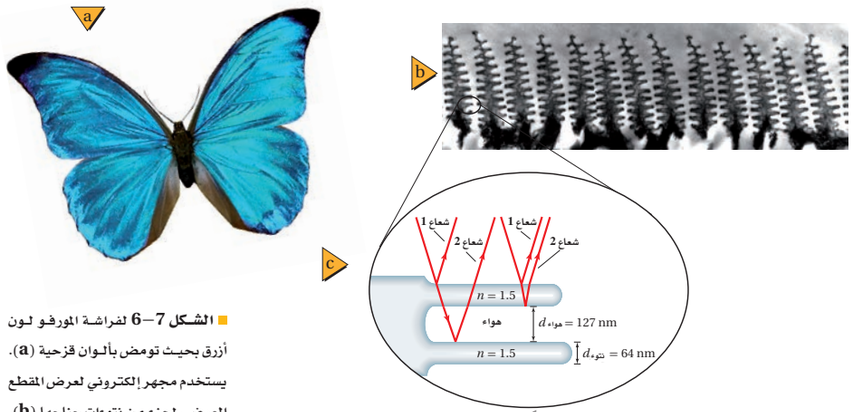
3. وضع غشاء من فلوريد الماغنسيوم معامل انكساره n=1.38 على عدسة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة معامل انكسارها n=1.52. كم يجب أن يكون سمك الطبقة الضرورية لمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر ؟
4. ما أقل سمك لغشاء صابون معامل انكساره n=1.33 ليتداخل عنده الضوء ذو الطول الموجي λ = 521 nm تداخلاً بنائيًّا مع نفسه؟

146

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.



■ **الشكل 7–6** لفراشة المورفو لون أزرق بحيث تومض بألوان قزحية (**a**). يستخدم مجهر إلكتروني لعرض المقطع العرضي لجزء من نتوءات جناحها (**b**). للنتوءات البارزة تركيب مشابه للدرج، ويمكن أن تتداخل الأزواج المتماثلة من الأشعة الضوئية المنبعثة من نتوء مفرد والأشعة المنبعثة من نتوءات متعددة (**c**).

كذلك يحدث تداخل الغشاء الرقيق طبيعيًّا في جناحي فراشة المورفو، كما في **الشكل 7a–6**، والضوء الأزرق المتلألئ المنبعث من الفراشة بسبب النتوءات التي تبرز خارجة من القشور الداخلية لجناح الفراشة كما في **الشكل 7b – 6**. وينعكس الضوء وينكسر خلال سلسلة من التراكيب التي تشبه الدرج، كما في **الشكل 7c – 6**، مما يؤدي إلى تكوين نمط تداخل أزرق اللون؛ حيث يبدو أن الفراشة تصدر وميضًا يمكن ملاحظته عند النظر إليها.

6-1 مراجعة

5. **سمك الغشاء** غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره $n = 1.83$، ثبت على نافذة زجاجية، فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج $n=1.52$.
   - **a.** فما أقل سمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟
   - **b.** إذا كان سمك هذا الغشاء لا يمكن صناعته، فما السمك التالي الذي يحدث التأثير نفسه؟
6. **سمك الغشاء** ينفخ خالد في محلول الصابون مكوّنًا فقاقيع ويمسك بأنبوب الفقاقيع على أن يبقى غشاء الصابون معلّقًا رأسيًّا في الهواء. فما 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 الانكسار لمحلول الصابون 1.33.
7. **الأنماط المضيئة والمعتمة** تم تكوين شقين متقاربين جدًّا في قطعة كبيرة من الكرتون، وأضيء الشقان بضوء أحمر أحادي اللون. فإذا وضعت ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقين، فشوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة، فصف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقًّا، وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة.
8. **أنماط التداخل** وضّح بالرسم النمط الذي وصِف في المسألة 7.
9. **أنماط التداخل** ارسم رسمًا تخطيطيًّا يبين ما يحدث لنمط التداخل في المسألة 7 عندما يستبدل بالضوء الأحمر ضوءًا أزرق.
10. **التفكير الناقد** تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة من تجربة يونج عندما تكون الزاوية θ صغيرة جدًّا، وعندها فإن $\sin\theta \cong \tan\theta$ إلى أي زاوية يبقى التقريب جيدًا؟

3. التقويم

إعادة التدريس

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

التوسع

زاوية الشق المزدوج ثبِّت مصدر ضوء ليزر مقابل شق مزوج، ثم اعرض النمط المتكون على الشاشة. واسأل الطلبة: 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: $\frac{x}{L} = \frac{\lambda}{d}$ فإن نقصان d سيؤدي إلى زيادة تباعد الأهداب المضيئة والممثلة بالمتغير x.

6-1 مراجعة

5. **a.** 75.8 nm
   b. 227 nm
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 بنائيًّا فسيتكون هدب مضيء، أما إذا كان التداخل هدميًّا فإن الهدب سيكون معتمًا.
8. ستكون شبيهة بالنمط الذي تشاهده للضوء الأحمر.
9. تصبح أهداب الضوء بعضها أقرب إلى بعض.
10. $\sin\theta = \tan\theta$ لزاوية تتكوّن من رقمين معنويين لغاية $9.9°$، ولزيادة دقة القياس تقلل هذه الزاوية إلى $2.99°$

6-2 الحيود

1. التركيز

نشاط محفز

محزوزات الحيود احصل على عدد من محزوزات الحيود. ثم اطلب إلى الطلبة النظر من خلالها إلى مصادر ضوئية مختلفة مثل مصابيح الغازات المخلخلة والمصابيح الفلورسنتية الصغيرة. واطلب إلى الطلبة وصف ما يشاهدونه. ستكوِّن محزوزات الحيود خطوطًا مضيئة لألوان محدّدة من مصابيح الغازات المخلخلة وذلك وفق نوع الغازات المستخدمة. م1 **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
- **توضّح** كيف تتشكّل أنماط الحيود بوساطة محزوزات الحيود.
- **تصف** كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف.

المفردات
نمط الحيود
محزوز الحيود

تعلمت سابقًا أن لصدور الموجات الضوئية المنتظمة حيودًا عند الحواف. وقد أمكن تفسير ذلك وفقًا لمبدأ هيجنز الذي يبين أن جميع النقاط على صدور الموجات تمثل مصادر ضوئية نقطية؛ فإذا عبر الضوء المترابط بين حافتين متقاربتين ينتج **نمط حيود** يتكون من تداخلات بنائية أو هدمية يمكن جمعه على شاشة.

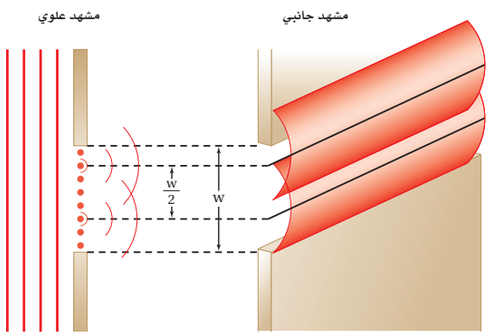
حيود الشق الأحادي Single-Slit Diffraction

عندما يمر الضوء الأزرق المترابط خلال شق أحادي اتساعه أقل من أو يساوي الطول الموجي للضوء فإن الضوء يحيد عن كلتا الحافتين، وتتكون سلسلة من الأهداب المضيئة والمعتمة على شاشة بعيدة، كما في **الشكل 8–6**. وبدلاً من الأنماط التي تفصلها مسافات متساوية والتي تتكوّن من مصدرين ضوئيين متوافقين في تجربة يونج فإن هذا النمط عبارة عن هدب مركزي عريض ومضيء مع أهداب أكثر ضيقًا وأقل إضاءة على كلا الجانبين. ويزداد عرض الهدب المركزي المضيء عندما نستخدم الضوء الأحمر بدلاً من الضوء الأزرق، وعند استخدام الضوء الأبيض يكون النمط مزيجًا من أنماط ألوان الطيف.

ولملاحظة كيف تُنتج مويجات هيجنز نمط الحيود، تخيّل شقًّا عرضه w مُجزّأ إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، كما في **الشكل 9–6**، على أن تعمل كل نقطة من نقاط هيجنز بوصفها مصدرًا نقطيًّا لمويجات هيجنز. جزّئ الشق إلى جزأين متساويين، واختر مصدرًا واحدًا من كل جزء، على أن يفصل كل زوج مسافة w/2 عن الآخر. وهذا الزوج من المصادر سيُنتج الموجات الأسطوانية المترابطة التي ستتداخل.

أي مويجات هيجنز تتكون في النصف العلوي يتكون مقابلها مويجات هيجنز أخرى في النصف السفلي، تفصلها مسافة w/2 والتي تتداخل

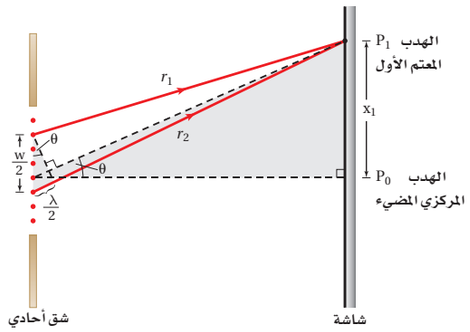
الشكل 8–6 لاحظ الهدب المركزي العريض والأهداب الضيّقة على كلا الجانبين. إن نمط حيود الشق المفرد للضوء الأحمر يكون له هدب مركزي أكثر عرضًا من الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستعمل شق له الحجم نفسه لكلا اللونين.



الشكل 9–6 شق عرضه w جُزّئ إلى زوج من الخطوط التي تشكّل مويجات هيجنز، ويفصل بين كل زوج مسافة مقدارها w/2.

تداخلاً هدميًا لتكوين هدب معتم على الشاشة، وكل زوج متماثل من موجات هيجنز يتداخل تداخلاً هدميًّا عند الأهداب المعتمة، وعلى العكس من ذلك فإن الأهداب المضيئة على الشاشة – حيث توجد موجات هيجنز – تداخل تداخلاً بنائيًّا. وفي المنطقة ذات الإضاءة الخافتة التي تتوسّط الأهداب المضيئة والمعتمة يحدث تداخل هدمي جزئي.

نمط الحيود عندما يُضاء الشق الأحادي يظهر الهدب المركزي المضيء عند الموقع P_0 على الشاشة، كما في **الشكل 10–6**. ويظهر الهدب المعتم الأول عند الموقع P_1. أما في هذا الموقع فإن أطوال المسارات r_1، r_2 لموجات هيجنز الاثنتين يختلف بعضها عن بعض بمقدار نصف طول موجي، لذا ينتج هدب معتم نتيجة للتداخل الهدمي. وهذا النموذج متماثل رياضيًّا مع تداخل الشق المزدوج. إن مقارنة نمط حيود الشق الأحادي بنمط تداخل الشق المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه، تُظهر أن جميع أهداب التداخل المضيئة لنمط تداخل الشق المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية المضيئة، لنمط حيود الشق الأحادي. وتداخل الشق المزدوج يكون نتيجة لتداخل الشق الأحادي للموجات الناتجة عن نمط الحيود للشقين.



الشكل 10–6 يمثل هذا الرسم تحليلًا للهدب المعتم الأول؛ حيث إن البعد عن الشاشة L أكبر كثيرًا من عرض الشق w.

والآن يمكن تطوير معادلة لنمط الحيود الذي ينتج بوساطة الشق الأحادي مستخدمًا التبسيط نفسه الذي استخدم في حالة تداخل الشق المزدوج، بافتراض أن البعد عن الشاشة أكبر كثيرًا من w، والمسافة الفاصلة بين مصادر الموجتين المتداخلتين تساوي $w/2$. ولإيجاد المسافة المقيسة على الشاشة للهدب المعتم الأول x_1 فإن فرق المسار الآن يساوي $\lambda/2$ لأنه يحدث تداخل هدمي عند الهدب المعتم، لذا فإن $x_1/L = \lambda/w$. من **الشكل 10–6** يمكنك ملاحظة أنه من الصعب قياس المسافة من مركز الهدب المركزي المضيء إلى الهدب المعتم الأول، والطريقة المثلى لحساب x_1 أن تقيس عرض الهدب المركزي المضيء $2x_1$. والمعادلة التالية توضح عرض الحزمة المركزية المضيئة في حيود الشق الأحادي.

عرض الهدب المركزي المضيء في حيود الشق المفرد $2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$

عرض الهدب المركزي المضيء يساوي حاصل ضرب ضعفي الطول الموجي في البعد عن الشاشة مقسومًا على عرض الشق.

اختصر العدد 2 من طرفي المعادلة أعلاه لتحصل على البعد بين مركز الهدب المركزي المضيء إلى حيث يتكون الهدب المعتم الأول. ويمكن إيجاد موقع الأهداب المعتمة الإضافية عن طريق دراسة اختلاف أطوال المسارات بالمقادير $\frac{3\lambda}{2}$ و $\frac{5\lambda}{2}$ وهكذا. ويُعبَّر عنها بالمعادلة $x_m = m\lambda L/w$، حيث $m = 1, 2, 3 \ldots$، مع مراعاة أن تكون الزوايا صغيرة وفقًا للتبسيط الذي تم تناوله، وعند $m=1$ تحدد هذه المعادلة موقع الهدب المعتم ذي الرتبة الأولى، أمّا الهدب المعتم ذو الرتبة الثانية فإنه يحدث عند $m=2$، وهكذا لسائر الأهداب.

عرض سريع

نمط الحيود

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات مؤشر ليزر، شريحة فيها 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 الشريحة التي تحوي الشق القابل للتعديل في مسار حزمة الضوء، ثم أغلق الشق بالتدريج. سيشاهد الطلبة 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.

2. التدريس

تطوير المفهوم

تداخل موجات هيجنز اعمل نموذجاً لشق مفرد، ثم كون منه شقين. استكشف مع الطلبة نوع النموذج الذي يمكن استخدامه إذا قسّم الشق إلى أربعة شقوق. إن الشقين الأول والثالث سيتداخلان تداخلاً هدميًّا مكوّنَين على الأقل (هدبًا معتمًا)، كما يحدث عند الشقين الثاني والرابع. حاول ثانية تقسيم الشق إلى ثمانية شقوق. سيتداخل كل من الأول والخامس، والثاني والسادس، والثالث والسابع، والرابع والثامن تداخلاً هدميًّا. وأخيرًا وضّح ما ينتج عن النموذج إذا قسمت الشق إلى 1000 أو حتى مليون شق صغير جدًّا. **م1 حركي**

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

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

سيختلط الأمر على الطلبة عندما ينظرون من خلال الشق المزدوج نحو مصدر ضوئي خطي. يُمثّل الشكل 5–6 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 عند عرض محدّد بين الشقوق لتعديل تداخل الشق المزدوج.

تعزيز الفهم

نمط الحيود اسأل الطلبة 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. **م2**

مسائل تدريبية

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

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

13. سقط ضوء أبيض على شق مفرد عرضه 0.050 mm، فإذا وضعت شاشة على بعد 1.00 m منه، ووضع طالب مرشحًا أزرق- بنفسجيًّا (λ=441 nm) على الشق، ثم وضع مرشحًا أحمر (λ=622 nm)، ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء؛ أجب عن السؤالين التاليين:

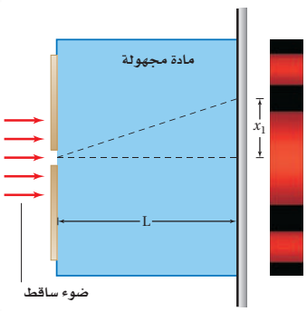
a. أيّ المرشحين ينتج هدبًا ضوئيًّا أكثر عرضًا.

b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشحين.

يقدم حيود الشق الأحادي تصورًا واضحًا للطبيعة الموجية للضوء، فعندما يتراوح عرض الشق بين (10 – 100) ضعفًا للطول الموجي للضوء فإن الفتحات الأكبر تكوّن ظلالاً حادة، وكان العالم إسحق نيوتن أول من لاحظ ذلك. وحيث إن الشق الاحادي يعتمد على الطول الموجي للضوء، في حالة وجود عدد كبير من الشقوق بعضها بجانب بعض فإن الحيود يعد أداة فعّالة لقياس الطول الموجي للضوء.

مسألة تحدٍّ

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



1. اكتب الصيغة العامة لمعامل الانكسار للمواد المجهولة بدلالة الطول الموجي للضوء في الفراغ λ، وعرض الشق w، والمسافة بين الشق والشاشة L، والمسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1.
2. إذا كان الطول الموجي للمصدر الذي تستخدمه 634 nm، وكان عرض الشق يساوي 0.10 mm، وكان البعد بين الشق والشاشة 1.15 m، ثم غمرت الأداة التي تستخدمها في الماء، حيث معامل الانكسار له $n_{\text{المادة}}$ = 1.33، فكم تتوقع أن يكون مقدار عرض الهدب المركزي؟

مسائل تدريبية

11. 8.6 mm

12. 5.90×10^{2} nm

13. **a.** الأحمر . لأن عرض الهدب يتناسب طردياً مع الطول الموجي

b. للأزرق : 18.0 mm

للأحمر : 25 mm

مسألة تحدٍّ

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

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

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

من دمج (2) و(3) فإن

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

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

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.

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

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

$$= \frac{(634\times10^{-9}\text{ m})(1.15\text{ m})}{(1.33)(0.10\times10^{-3}\text{m})}$$

$$= 5.5\times10^{-3}\text{ m}$$

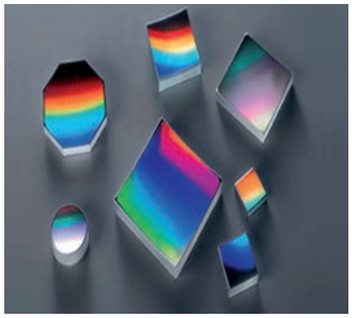
نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

التداخل والحيود لمساعدة الطلبة على فهم حيود الشق المفرد، استخدم النماذج الورقية للموجات التي استخدمت لتوضيح أنماط تداخل الشق المزدوج. بدلاً من رسم خطين على قطعة الكرتون، ارسم شقًّا عريضًا يحوي عدداً زوجيًّا من الخطوط. واطلب إلى الطلبة 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 هدميًّا. وعندما يحركون النماذج بالنسبة إلى أزواج الشقوق، تنزاح نقطة التداخل الهدمي قليلاً. أشر إلى أن كلاً من الحجم الصغير المعطى للشق والبعد الكبير عن الشاشة والإزاحة غير ملاحظ في النمط.

م 2 حركي

محزوزات الحيود Diffraction Gratings



على الرغم من أن تداخل الشق المزدوج وحيود الشق المفرد يعتمدان على الطول الموجي للضوء؛ فإن محزوزات الحيود الموضحة في **الشكل 11–6** تُستخدم لجعل قياسات الطول الموجي أكثر دقة. **ومحزوز الحيود** عبارة عن أداة مكوّنة من شقوق عدة مفردة، تسبب حيود الضوء، وتكوّن نمط حيود ناتجًا عن تراكب لأنماط ناتجة عن حيود شق احادي. ويمكن أن يتكوّن جهاز محزور الحيود من 10000 شق لكل سنتمتر. لذا فإن المسافة بين الشقوق يمكن أن تكون صغيرة جدًّا تصل إلى $10^{-6}\,m$ أو 1000 nm.

أحد أنواع محزوزات الحيود يُسمّى محزوز النفاذ. ويصنع هذا المحزوز بعمل خدوش على الزجاج المنفذ 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. وتصنع المجوهرات أحيانًا على صورة محزوزات نفاذ تنتج أطيافًا ضوئية كما في **الشكل 12a–6**.

الشكل 11–6 تستخدم محزوزات الحيود لتكوين أنماط الحيود من أجل تحليل مصادر الضوء.

وهناك نوع آخر من محزوزات الحيود يُسمّى محزوزات الانعكاس. ويُصنّع هذا النوع بوساطة حفر خطوط رفيعة جدًّا على طبقة معدنية أو على سطوح الزجاج العاكس. وطيف الألوان الناتج عندما ينعكس الضوء الأبيض عن سطح القرص المدمج CD أو DVD ينتج عن محزوزات الانعكاس، كما في **الشكل 12b–6**. فإذا وجّهت ضوءًا أحاديَّ اللون إلى DVD، فسيكوّن الضوء المنعكس نمط حيود على الشاشة. وتنتج كل من محزوزات النفاذ ومحزوزات الانعكاس أنماط حيود متشابهة، ويمكن تحليلها بالطريقة نفسها.

الشكل 12–6 جوهرة مصنوعة في صورة محزوز نفاذ تنتج أطيافًا ضوئية (a). تُعدّ الأقراص المدمجة محزوزة 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 العرض فوق الرأس، ومرشحات ضوئية.

الخطوات

تحذير: ينبغي استخدام النظارات الواقية.

1. ثبّت محزوز الحيود على مرآة جهاز العرض فوق الرأس، 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 للطلبة موقع كل لون في النمط الأفقي. ثم ضع مؤشر الليزر أعلى كل حزمة لونية ووجه الشعاع الموجّه خلال مرآة جهاز العرض العلوي، وبذلك سيكون موقعه في النمط واضحًا للطلبة.

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

نشاط — مشروع فيزياء

الأطوال الموجية للدايودات المشعة للضوء (LEDs) اطلب إلى الطلبة استخدام المطياف الضوئي (إذا كان متوافرًا)، أو محزوز حيود، ومسطرة مترية لتحديد الأطوال الموجية لعدد من الدايودات المشعة للضوء (LEDs). يمكن الحصول على ألوان متعددة من الدايودات المشعة للضوء (الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق) من محلات بيع الإلكترونيات. ستحصل في المقررات اللاحقة على إرشادات متعلقة بالدوائر الكهربائية التي تجعل تلك الدايودات تعمل. تستطيع كاميرا الفيديو كشف الأطوال الموجية القريبة من الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء، لذلك فالدايودات المشعة للأشعة تحت الحمراء بالإضافة إلى تلك المستخدمة في جهاز التحكم عن بعد، يمكن تضمينها في هذا النشاط. كما يمكن استقصاء الدايودات المشعة للضوء الأبيض لتحديد كيف يُنتج ضوؤها الأبيض. م 2 حركي

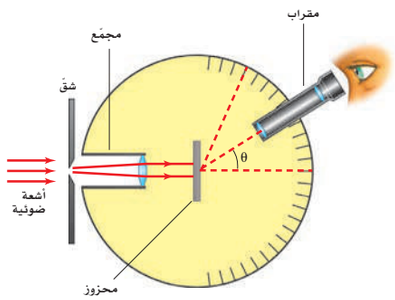
المناقشة

سؤال ما عدد الأطياف التي ينتجها محزوز الحيود؟

الإجابة يحدث التداخل البنائي 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. يُعطى الطول الموجي بالعلاقة $\lambda = (d/m)\sin\theta$، حيث $m = 1, 2, 3 \ldots$؛ وغالبًا يستخدم العاملون على جهاز المطياف $m = 2$ أو $m = 3$، لأن التحليل والتمييز عند هذه القيم عال ويمكن إجراء القياسات بدقة أكبر. م2

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 الطلبة 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. م3



الشكل 13–6 يستخدم المطياف لقياس الأطوال الموجية للضوء المنبعث من المصدر الضوئي.

قياس الطول الموجي يُسمّى الجهاز الذي تُقاس به الأطوال الموجية للضوء ويستعمل محزوز الحيود المطيافَ، كما هو موضح في **الشكل 13–6**. حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءًا يوجّه نحو الشق، وينفذ الضوء عبر الشق ليسقط على محزوز الحيود، فينتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بمقراب المطياف.

إن نمط الحيود المتكوّن بوساطة محزوز الحيود عبارة عن أهداب مضيئة ضيّقة تفصلها مسافات متساوية، كما في **الشكل 14–6**. ويُنتج العدد الأكبر من الشقوق لكل وحدة طول للمحزوز أهدابًا أكثر ضيقًا في نمط الحيود، ولذا يمكن قياس المسافة بين الخطوط المضيئة باستخدام المطياف بدقة أكبر، مقارنة باستعمال الشق المزدوج.

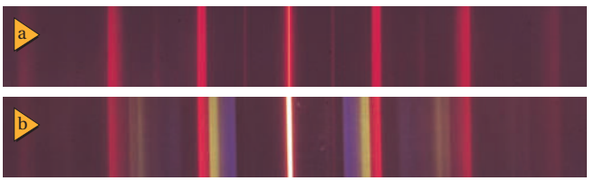
لقد وجدت سابقًا في هذا الفصل أنه يمكن استعمال نمط التداخل الناتج بوساطة الشق المزدوج لحساب الطول الموجي. ويمكن الحصول على معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتبعت للحصول على معادلة الشق المزدوج.

وتكون الزاوية في محزوز الحيود θ كبيرة، ولذا 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، حيث يتكوّن الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى.

ويحدث التداخل البنائي بوساطة محزوز الحيود عند زوايا على كلا الجانبين للخط 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 14–6 يستعمل المحزوز لإنتاج أنماط الحيود للضوء الأحمر (a) وللضوء الأبيض (b).

نشاط تحدٍّ

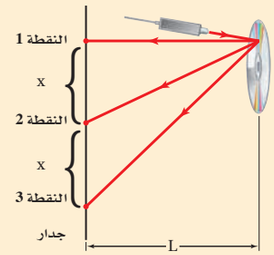
عرض شعرة الإنسان استعمل مصدر ليزر HeNe. واطلب إلى الطلبة قياس قُطر الشعرة. سلط شعاع الليزر على شعرة موضوعة رأسيًّا على حامل الشريحة أو بطاقة صلبة مساحتها $2\ cm^2$. اعرض النمط الناتج على الشاشة؛ وخذ قياسات المسافة من الشعرة إلى الشاشة والمسافة بين الهدب المعتم الأول على جانب الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول على الجانب الآخر للهدب المركزي المضيء. اسأل الطلبة عن كيفية تطبيق مفاهيم الحيود والتداخل في قياس عرض الشعرة. زوّد الطلبة 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.

مثـــــال 3

استخدام قرص DVD على صورة محزوز حيود لاحظ طالب أن طيفًا جميلاً ينعكس عن قرص DVD، فعندما أسقط شعاع ضوئي من مصدر ضوئي أخضر اللون على قرص الـ DVD وجد ثلاث بقع مضيئة تنعكس على الحائط. وتشير المعلومات الملصقة على المصدر الضوئي أن الطول الموجي للضوء الذي يصدره 532 nm، وقد وجد الطالب أن الفراغات بين النقاط تساوي 1.29 m على الحائط الذي يبعد عنها مسافة 1.25 m، ما مقدار التباعد بين الفراغات بين الصفوف على قرص الـ DVD؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للتجربة، على أن تبين قرص الـ DVD على أنه محزوز، وتبين البقع على الحائط.



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

2 ايجاد الكمية المجهولة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

14. يُضاء محزوز حيود تفصل بين شقوقه مسافة $8.60\times10^{-7}\ \text{m}$ 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؟

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

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 الطلبة السير بمحاذاة الجدار بينما ينظرون إلى الشق. سيرى الطلبة الضوء أكثر عندما يكونون أمام الشق. بعد ذلك ضع محزوز الحيود مقابل الشق من الجهة البعيدة عن مصدر الضوء، واطلب إلى الطلبة السير بمحاذاة الجدار بينما ينظرون إلى محزوز الحيود. سيشاهدون ضوءًا أزرق يتلألأ.

مثال صفي

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

الإجابة

استخدم $L = 1.25\ \text{m}$ ، $d = 0.74\times10^{-6}\ \text{m}$ ثم أوجد:

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{(670\times10^{-9}\ \text{m})}{(0.74\times10^{-6}\ \text{m})}$$

$$= 0.91$$

الزاوية التي جيبها يساوي 0.91 هي 66° تقريبا.

ولإيجاد البعد على الجدار استخدم

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

$$= 2.81\ \text{m}$$

مسائل تدريبية

14. 0.449 m

15. 490 nm

المناقشة

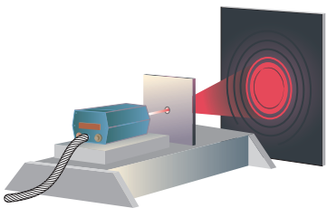
سؤال لماذا تكون الأهداب المضيئة لنمط حيود المحزوز أكثر ضيقًا من أهداب نمط حيود الشق المفرد؟

الإجابة المساحات المظلمة بين الأهداب المضيئة لكل من محزوز الحيود والشق المفرد هي مناطق تداخل هدمي. ولأن كمية التداخل الهدمي بوساطة محزوز الحيود أكبر منها للشق المفرد فستكون المساحات المعتمة أكبر، لذا تكون الخطوط المضيئة أكثر ضيقًا. م2

3. التقويم

التحقق من الفهم

مقارنة بين الحيود والتداخل اطلب إلى الطلبة 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 بنائيًّا أو تداخلاً هدميًّا. 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 هيجنز من أجزاء مختلفة للشق. فيكون النمط المتكوّن على الشاشة: قمة مركزية مضيئة وعريضة، بالإضافة إلى قمم خافتة ومتباعدة جانبيًّا بصورة غير متساوية. م2 **لغوي**



الشكل 15–6 نمط الحيود للثقب الدائري الذي ينتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة.

في الأغشية الرقيقة، يمكن رؤية نمط التداخل ضمن زاوية نظر صغيرة، عند النظر رأسيًّا من فوق الغشاء. وهذا هو الحال بالنسبة لفراشة المورفو الزرقاء، ذات نمط التداخل المتلألئ، ولن يحدث ذلك ما لم تكن طبقة القشور الداخلية تشبه طبقة الزجاج؛ إذ تعمل طبقة القشور الداخلية عمل مخزوز الحيود، وتسبِّب انتشار نمط تداخل الضوء الأزرق المتلألئ؛ لينتج نمط حيود بزاوية نظر أوسع. ويعتقد العلماء أن ذلك يجعل فراشة المورفو أكثر وضوحًا للزوج المحتمل.

6-2 مراجعة

16. المسافة بين الأهداب المعتمة ذات الرتبة الأولى يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طول موجته 546 nm على شق مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشق على بعد 68.0 cm من شاشة. ما المسافات الفاصلة بين الأهداب المعتمة على جانبي الهدب المركزي المضيء؟

17. أنماط الحيود قطعة كرتون تحتوي شقوقًا ضيّقة قريب بعضها من بعض وتفصلها مسافات متساوية، أضيئت الشقوق بضوء أحمر أحادي اللون، وعند وضع قطعة من الورق الأبيض بعيدًا عن الشقوق ظهرت أهداب مضيئة ومعتمة على الورقة. وضّح بالرسم النمط الممكن رؤيته على الشاشة.

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

6-2 مراجعة

16. 9.3 mm

17. البعد بين الأهداب مساوياً لنمط الشق المزدوج، لكن الخطوط أرفع، وتفصلها مسافات معتمة أكبر.

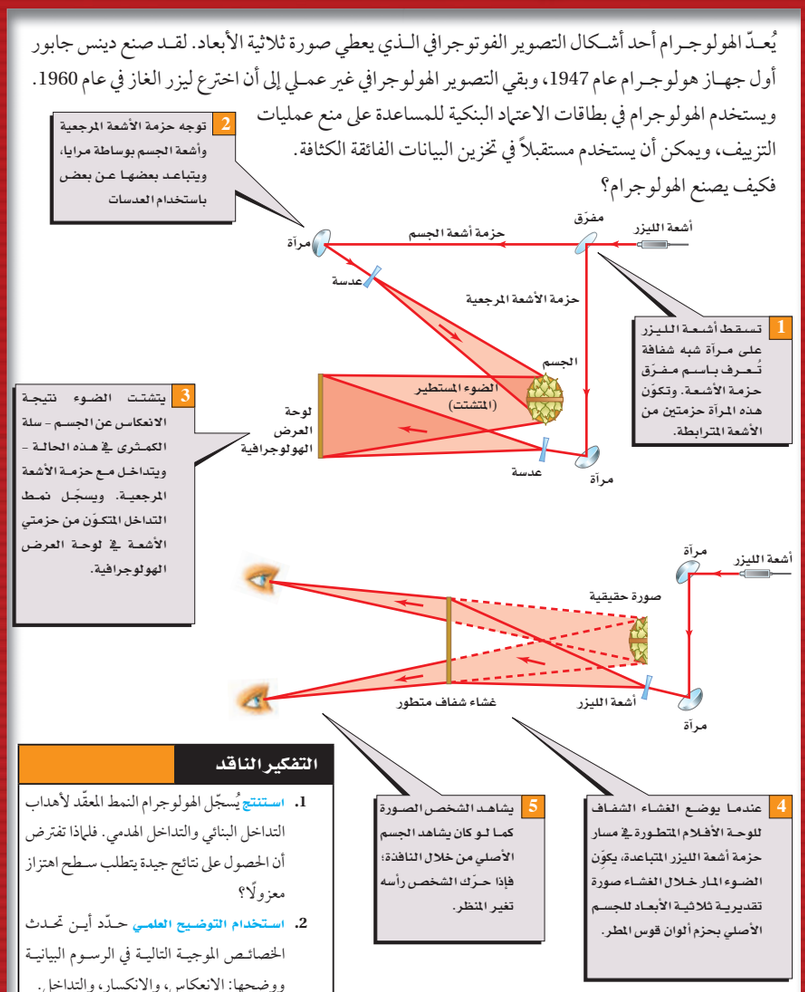
18. حدّد ما إذا كان اللون البنفسجي أم الأحمر في نهاية الطيف يصنع زاوية أكبر مع اتجاه حزمة الضوء الأبيض الساقط. يكسر المنشور اللون البنفسجي الذي يقع في نهاية الطيف بدرجة أكبر، بينما يحيد المخزوز الأطوال الموجية للضوء الأحمر بمقدار أكبر.

How it Works كيف يعمل

Holography الهولوجرام؟

يُعدّ الهولوجرام أحد أشكال التصوير الفوتوجرافي الذي يعطي صورة ثلاثية الأبعاد. لقد صنع دينس جابور أول جهاز هولوجرام عام 1947، وبقي التصوير الهولوجرافي غير عملي إلى أن اخترع ليزر الغاز في عام 1960. ويستخدم الهولوجرام في بطاقات الاعتماد البنكية للمساعدة على منع عمليات التزييف، ويمكن أن يستخدم مستقبلاً في تخزين البيانات الفائقة الكثافة.

فكيف يصنع الهولوجرام؟



التفكير الناقد

1. استنتج يُسجّل الهولوجرام النمط المعقّد لأهداب التداخل البنائي والتداخل الهدمي. فلماذا تفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولًا؟
2. استخدام التوضيح العلمي حدّد أين تحدث الخصائص الموجية التالية في الرسوم البيانية ووضحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.

155

التفكير الناقد

1. المقياس الذي يُسجل عنده نمط التداخل صغير جدًّا. يجب أن يبقى كل من المصدر والجسم ولوحة العرض الهولوجرافية ثابتًا لثوانٍ عدة، وإلا فستحطم الاهتزازات نمط التداخل ولن يكون هناك هولوجرام.
2. يحدث الانعكاس في المرايا. ويحدث الانكسار في العدسات. يحدث التداخل على سطح الفيلم عند صناعة الهولوجرام. يحدث الحيود عندما يسلط الضوء من خلال أهداب واضحة أو ينعكس عن الأهداب العاكسة لجهاز الهولوجرام.

الهدف

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

الخلفيّة النظرية

يعد جهاز الهولوجرام 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 الهولوجرام خاصية النفاذية والانعكاس، بالإضافة إلى تكوين الصور التقديرية، ويمكن للهولوجرام تكوين صور حقيقية تظهر بحيث تتذبذب في مقدمة الشاشة.

التعليم البصري

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

التوسع

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

مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة.

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

احتياطات السلامة يجب ألا ينظر الطلبة 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 مرشح 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 كراسة التجارب العملية في بند المواد والأدوات.**
- **إذا كانت قيمة d غير معلومة فيمكن أن يستخدم الطلبة 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 عموديًّا 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 الضوء المترابط على شقين أحدهما قريب إلى الآخر يكوّن الضوء النافذ خلال الشقين نمطًا من التداخل البنائي والتداخل الهدمي على الشاشة. ستطوّر في هذا الاستقصاء إجراءات وخطوات قياس الطول الموجي لمصدر ضوء أحادي اللون باستعمال الشقين.

سؤال التجربة

كيف يمكن استعمال نمط التداخل للشق المزدوج في قياس الطول الموجي للضوء الاحادي؟

الأهداف

- **تلاحظ** نمط التداخل للشق المزدوج للضوء الأحادي اللون.
- **تحسب** الطول الموجي للضوء مستعملًا نمط التداخل للشق المزدوج.

احتياطات السلامة

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

المواد والأدوات

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

الخطوات

1. حدّد المعادلة التي تطبّق على تداخل الشق المزدوج.
2. استعمل شقًّا مزدوجًا على أن تكون المسافة الفاصلة بين الشقين معلومة d، أو طوّر طريقة لتحديد d.
3. وضّح بالرسم التخطيطي كيف ينفذ الضوء خلال الشق المزدوج حتى يساعدك على تحديد كيفية قياس كل من L، x.
4. استعمال الرسم من الخطوة 3 وقائمة المواد والأدوات المذكورة في هذه التجربة، ثم صمّم التجربة، ودوّن خطوات تنفيذها.
5. حدّد قيم m غير الصحيحة بالنسبة للمعادلة.
6. **تحذير: النظر مباشرة إلى أشعة الليزر قد يلحق الأذى بعينيك.**
7. تأكد أن معلمك قد تفحّص تجربتك، كما يتعين عليك الحصول على موافقته قبل البدء في تنفيذ التصميم.
8. نفّذ تجربتك، ودوّن 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 الشقين والشاشة. هل توجد مسافة معينة تسمح لك بجمع أغلب البيانات بدقة كبيرة؟
2. احسب الطول الموجي λ لمصدر الضوء مستعملًا m وقياسات كل من L، d، x.
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 استعمال نمط التداخل للشق المزدوج لحساب الطول الموجي للضوء؟ وضّح إجابتك.
2. **قدّر** ما النتائج التي ستحصل عليها إذا استعملت لوحة، على أن تكون المسافة الفاصلة d بين الشقين فيها أقل، مقارنة بالحالة الأولى، وذلك إذا أجريت التجربة مرة أخرى وبالطريقة نفسها تمامًا؟
3. **استنتج** ما التغيرات التي تطرأ على ملاحظاتك إذا استعملت ضوءًا أخضر، إذا كانت لوحة الشق المزدوج هي نفسها التي استخدمتها سابقًا، كما كانت المسافة بين الشقين والشاشة هي نفسها كذلك؟

التوسع في البحث

1. **استعمال التوضيح العلمي** صف لماذا يخفت نمط التداخل للشق المزدوج، ثم يضيء، 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 استعملتها، وحدّد أيّ الأدوات قللت من دقة حساباتك؟ وأيّها حققت لك دقة أكبر مما تحتاج إليه؟
4. **تقنيات المختبر** كيف يمكنك أن تعدل في إعدادات التجربة حتى تستعمل الضوء الأبيض من مصباح كهربائي عادي لتوليد نمط تداخل الشق المزدوج؟

الفيزياء في الحياة

1. إذا سقط الضوء الأبيض على شقوق باب شبكي يمنع دخول الحشرات فلماذا لا يُرى النمط على الحائط في الظل؟
2. إذا كان جميع الضوء الذي ينير العالم مترابطًا، فهل يمكنك رؤية الأشياء مختلفة؟ وضح ذلك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول انماط التداخل ارجع إلى الموقع الالكتروني:
obeikaneducation.com

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 الطلبة تحديد الطول الموجي لمرشحات مختلفة اللون. إن معالجة عرض الشق والأطوال الموجية للون ستساعد الطلبة على تطوير مهارات التفكير الناقد. شجّع الطلبة 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 إجابة

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

3. عينة إجابة: 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 إجابة: 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 شقًا مفردًا ذا عرض ضيق بين المصباح الكهربائي والشق المزدوج.

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 الأهداب 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.

6–1 التداخل Interference

المفردات

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

الأفكار الرئيسة

- يضيء الضوء غير المترابط الجسم بالتساوي، كما يضيء المصباح الكهربائي سطح مكتبك.
- ينتج نمط التداخل من تراكب الموجات الضوئية الناتجة عن مصادر الضوء المترابط فقط.
- يبرهن التداخل أن للضوء خصائص موجيّة.
- ينتج الضوء المار خلال شقين ضيقين متقاربين ـ نمطًا من الأهداب المعتمة والمضيئة على الشاشة تُسمّى أهداب التداخل.
- يمكن استخدام أنماط التداخل لقياس الطول الموجي للضوء.

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

- يمكن أن تنتج أنماط التداخل عندما ينتج الضوء المترابط عند حدّ الانكسار للغشاء الرقيق.

6–2 الحيود Diffraction

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود

الأفكار الرئيسة

- يحيد الضوء المار خلال شق ضيّق، أو ينتشر بعيدًا عن مسار الخط المستقيم، ويُنتج نمط حيود على الشاشة.
- نمط الحيود من الشق المفرد يمثّل 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 تراكب أنماط التداخل للشق المفرد ولشقوق المحزوز جميعها.
- يمكن أن تستخدم محزوزات الحيود لقياس الطول الموجي للضوء وبدقة كبيرة، أو أن تُستخدم لتحليل الضوء المتكوّن من أطوال موجية مختلفة.

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

الفصل 6
دليل الدراسة

الأفكار الرئيسة

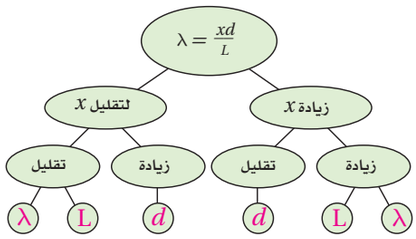
يمكن أن يستخدم الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

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

التقويم

خريطة المفاهيم

19. ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ يضيء شقين في تجربة يونج. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقين d. وتكوّن النمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقين. أكمل خريطة المفاهيم التالية مستخدمًا الرموز λ و L و d.



إتقان المفاهيم

20. لماذا يُعدّ استعمال الضوء الأحادي اللون مهمًّا في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟

21. وضّح لماذا لا يمكن استعمال موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشق المزدوج لحساب الطول الموجي للموجات الضوئية؟

22. صف كيف يمكنك استعمال الضوء ذي الطول الموجي المعلوم لإيجاد المسافة بين الشقين؟

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

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

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

تطبيق المفاهيم

26. حدّد لكل من الأمثلة التالية ما إذا كان اللون ناتجًا عن التداخل في الأغشية الرقيقة، أم عن الانكسار، أم نتيجة وجود الأصباغ.

a. فقاقيع الصابون **c.** غشاء زيتي
b. بتلة الوردة **d.** قوس المطر

27. صف التغيرات في نمط حيود الشق المفرد عندما يتناقص عرض الشق.

28. **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، ويظهر السطح كاملاً تقريبًا على صورة ظل جميل أرجواني اللون. فإذا تشاهد في الحالات التالية؟

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

29. **تحدي مؤشر الليزر** إذا كان لديك مؤشرا ليزر، أحدهما أحمر والآخر أخضر، واختلف أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، ويصرّ أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجي أكبر. فإذا كان لديك محزوز حيود فصف الدليل الذي يمكن إثباته بوساطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصّلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما.

خريطة المفاهيم

19. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

إتقان المفاهيم

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

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

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

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

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

25. الضوء البنفسجي هو اللون ذو الطول الموجي الأقصر.

تطبيق المفاهيم

26. a. التداخل
b. الأصباغ
c. التداخل
d. الانكسار

27. تأخذ الأهداب في الاتساع والخفوت.

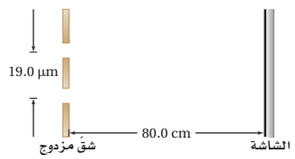
28. a. تداخل هدمي كامل.
b. تداخل بنائي كامل.
c. تداخل هدمي كامل.

29. سلط كل مؤشر ليزر خلال المحزوز على جدار قريب. سينتج الضوء ذو الطول الموجي الأطول نقاطًا تفصلها مسافات كبيرة على الجدار لأن المسافة بينها تتناسب طرديًّا مع الطول الموجي. (الصحيح: الطول الموجي للضوء الأحمر أطول من الطول الموجي للضوء الأخضر).

إتقان حل المسائل

6–1 التداخل

30. يسقط ضوء على شقين متباعدين بمسافة 19.0 μm، ويبعدان عن الشاشة 80.0 cm، كما في **الشكل 15–6**. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



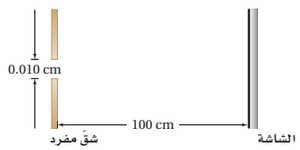
الشكل 15–6

31. **البقع النفطية** خرج أسامة وعمر في نزهة قصيرة بعد المطر، ولاحظا طبقة نفطية رقيقة معامل انكسارها $n=1.45$ على سطح بركة صغيرة، تنتج ألوانًا مختلفة. ما أقل سمك لطبقة النفط، عندما تكوّن تداخلاً بنائيًّا لضوء طوله الموجي 545 nm؟

32. وجّه علي مؤشر ليزر أحمر على ثلاث مجموعات من الشقوق المزدوجة المختلفة. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقين في المجموعة A 0.150 mm وبعد الشاشة عن الشقين 0.60 m، أما في المجموعة B فكانت المسافة الفاصلة بين الشقين 0.175 mm وبعد الشاشة عنهما 0.80 m، وفي المجموعة C كانت المسافة الفاصلة بين الشقين 0.150 mm وبعد الشاشة عنهما 0.80 m، فصنّف المجموعات الثلاث اعتمادًا على المسافة الفاصلة بين الأهداب المركزية المضيئة والأهداب المضيئة ذات الرتبة الأولى، وذلك من المسافة الفاصلة الأقل إلى الأكبر.

6–2 الحيود

33. يعبر ضوء أحادي اللون خلال شق مفرد عرضه 0.010 cm، ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة 100 cm، كما في **الشكل 16–6**. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 16–6

34. 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؟

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

36. **المطياف** يستعمل في جهاز المطياف محزوز حيود يحوي 12,000/cm خط، أوجد الزوايا التي توجد فيها الأهداب المضيئة ذات الرتبة الأولى لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي 632 nm، وللضوء الأزرق الذي طوله الموجي 421 nm.

مراجعة عامة

37. يوضع طلاء مانع للانعكاس معامل انكساره $n=1.2$ على عدسة، فإذا كان سمك الطلاء 125 nm، فما لون/ ألوان الضوء الناتج عندما يحدث تداخل هدّام بصورة كاملة؟ *مساعدة: افترض أن العدسة مصنوعة من الزجاج.*

الفصل 6

التقويم

إتقان حلّ المسائل

6–1 التداخل

30. 451 nm

31. 94.0 nm

32. $x_C > x_B > x_A$

6–2 الحيود

33. 600 nm

34. 0.3 cm

35. 1.1×10^{-2} cm

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

مراجعة عامة

37. 6.0×10^{2} nm، لذلك فإن الضوء برتقالي محمر.

التفكير الناقد

38. **تطبيق المفاهيم** سقط ضوء أصفر على محزوز حيود، فأصبح بمقدورك أن ترى ثلاث بقع على الشاشة خلف المحزوز: إحداها عند الدرجة صفر حيث لا يحدث الحيود، والثانية عند $30^\circ+$، والثالثة عند $30^\circ-$، إذا أسقطت الآن ضوءًا أزرق متماثل الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسه، فما نمط البقع التي سترها على الشاشة الآن؟

39. **تطبيق المفاهيم** يمر ضوء أزرق طوله الموجي λ عبر شق مفرد عرضه w ، حيث يظهر نمط الحيود على شاشة. فإذا استبدلت الآن بالضوء الأزرق ضوءًا أخضر طوله الموجي $1.5\,\lambda$، فكم يجب أن يكون عرض الشق حتى تسترجع النمط الأصلي؟

الكتابة في الفيزياء

40. ابحث، ثم صف مساهمات العالم توماس يونج في الفيزياء. وقوم تأثير أبحاثه على الفكر العلمي حول طبيعة الضوء.

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

مراجعة تراكمية

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

43. مرآة مقعرة نصف قطرها 48.0 cm، وضع جسم طوله 2.0 cm على بعد 12.0 cm من المرآة. احسب بُعد الصورة وطولها.

44. وضعت شمعة طولها 2.00 cm على بُعد 7.50 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 21.0 cm، استخدم المعادلة العامة للعدسات الرقيقة لحساب بُعد الصورة وطولها.

التقويم

التفكير الناقد

38. البقعة الخضراء عند 0°، البقع الصفراء عند $30^\circ+$ و $30^\circ-$، وبقعتان زرقاوان متقاربتان إلى حد ما.

39. تعتمد زاوية الحيود على نسبة عرض الشق بالنسبة للطول الموجي، ولذلك يزيد العرض ليصبح $1.5\,w$

الكتابة في الفيزياء

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

41. قد تختلف إجابات الطلبة. يجب أن تتضمن الإجابات الحيود في المقاريب والمجاهر والمطياف.

مراجعة تراكمية

42. 0.12 m

43. بُعد الصورة: 24.0 cm−
طول الصورة: 4.0 cm

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

اختبار مقنن الفصل 6–

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.

أسئلة اختيار من متعدد

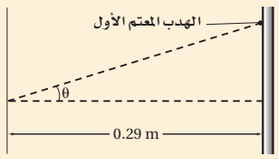
اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. تبدو ألوان الغشاء الرقيق مثل فقاقيع الصابون أو الزيت على الماء كأنها تتغير وتتحرك؛ لأن:

(A) موجات الحمل الحراري في 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 شق، ثم يسقط على شاشة مسطحة ومستوية، كما في الشكل أدناه. فإذا كان عرض الشق 3.8×10^{-6} m، فما مقدار عرض الهدب المركزي المضيء؟

(A) 0.024 m (C) 0.048 m
(B) 0.031 m (D) 0.063 m



3. ما مقدار الزاوية θ للأهداب المعتمة الأولى في السؤال 2؟

(A) 3.1° (C) 12.4°
(B) 6.2° (D) 17°

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

(A) 0.012° (C) 1.0°
(B) 0.68° (D) 11 °

5. شعاع ليزر طوله الموجي 638 nm، يضيء شقين ضيقين. فإذا كانت الهدبة ذات الرتبة الثالثة من النمط الناتج تبعد 7.5 cm عن الهدب المركزي المضيء، وكان بعد الشاشة عنهما 2.475 m، فما المسافة التي تفصل بين الشقين؟

(A) 5.8×10^{-8} m (C) 2.1×10^{-5} m
(B) 6.3×10^{-7} m (D) 6.3×10^{-5} m

6. وضعت شاشة مسطّحة على بعد 4.200 m من زوج من الشقوق، وأُضيء الشقان بحزمة ضوء أحادي اللون. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الثانية 0.082 m، وكانت المسافة الفاصلة بين الشقوق 5.3×10^{-5} m ، فحدّد الطول الموجي للضوء.

(A) 2.6×10^{-7} m (C) 6.2×10^{-7} m
(B) 5.2×10^{-7} m (D) 1.0×10^{-6} m

الأسئلة الممتدة

7. لمحزوز حيود 6000 شق في كل cm، وينتج 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. B
5. D
6. B

الأسئلة الممتدة

7. 570 nm

مصادر تعليمية

- دليل الرياضيات
- حلول بعض المسائل التدريبية
- الجداول
- المصطلحات

I. الرموز symbols

Δ التغير في الكمية		$a \times b$	a مضروبة في b
$\pm$ زائد أو ناقص الكمية		ab	
$\propto$ يتناسب مع		$a(b)$	
$=$ يساوي		$a \div b$	a مقسومة على b
$\approx$ تقريبًا يساوي		a/b	
$\cong$ تقريبًا يساوي		$\frac{a}{b}$	
$\leq$ أقل من أو يساوي		$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$\geq$ أكبر من أو يساوي		$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$<<$ أقل جدًّا من		$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\equiv$ يعرف كـ			

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

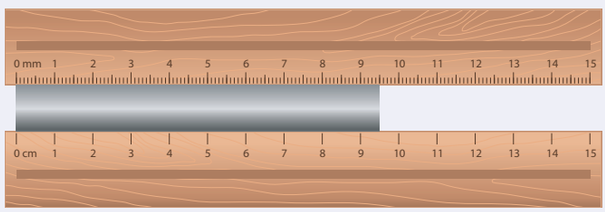
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعتبر الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الأصغر في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدَّرًا.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مسطرة قياس موضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟

باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

وعند استعمال أداة القياس العليا. فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm، فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm



كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية.

استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استعمال القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استعمال القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استعمال القواعد 1و2و3
5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استعمال القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استعمال القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m	**d.** 12.007 kg
b. 2.50 km	**e.** 5.8×10^{6} kg
c. 0.0034 m	**f.** 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

165

1. **a.** 4
b. 3
c. 2
d. 5
e. 2
f. 3

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثَم يبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري، فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرَّب بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى، فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تزده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استعمال القاعدة 1
8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استعمال القاعدة 2
8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استعمال القاعدة 3
92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استعمال القاعدة 4
92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استعمال القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. (2)1405 m **c.** (1) 0.0034 m

b. (2) 2.50 km **d.** (3)12.007 kg

2.
a. 1400 m
b. 2.5 km
c. 0.003 m
d. 12.0 kg

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كليهما يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \text{m} \\ +20.3\ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1\ \text{m})(3.6\ \text{m}) = 72.36\ \text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. 2.33 km + 3.4 km + 5.012 km

b. 45 g - 8.3 g

c. 3.40 cm × 7.125 cm

d. 54 m ÷ 6.5 s

3. a. 10.7 km

b. 24.2 cm

c. 37 g

d. 8.3 m/s

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d = 19\ m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}(-10.0\ m/s^2)(2.50)^2$$

$$= 5.0 \times 10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m\ (\text{الميل}) = \frac{70.0\ m - 10.0\ m}{29\ s - 11\ s}$$

$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل فعليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

مثال:

$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$

لا تجر التقريب إلى $580N^2$ و $1300N^2$

$$= \sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$

لا تجر التقريب إلى $1800N^2$

$$= \sqrt{1872\ N^2}$$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

$$= 43\ N$$

III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions, Ratios, Rates, and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبّر الكسر أيضًا عن النسبة.

ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكليّ}}$$

التبسيط من السهل أحيانًا تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وغالبًا تُختصر المتغيرات من التعبير الرياضي.

مثال: بسّط $\frac{pn}{pw}$

افصل المتغير P في البسط والمقام، وجزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين.

$$\left(\frac{pn}{pw}\right) = \left(\frac{p}{p}\right)\left(\frac{n}{w}\right)$$

بالتعويض عن $\left(\frac{p}{p}\right) = 1$

$$= (1)\left(\frac{n}{w}\right)$$

$$= \frac{n}{w}$$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم الممثلة للبسط، واضرب القيم الممثلة للمقام.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ *في الكسر* $\frac{t}{b}$.

نفّذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام

$$\left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{t}{b}\right) = \frac{st}{ab}$$

ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر، اعكس الكسر بحيث يحل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ *على الكسر* $\frac{t}{b}$.

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني.

$$\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{b}{t}\right)$$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام.

$$= \frac{sb}{at}$$

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه. ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما واستعمل بعد ذلك المقام المشترك.

مثال: أوجد حاصل جمع $\frac{1}{a}$ *و* $\frac{2}{b}$.

اضرب كلّ كسر في كسر يساوي 1.

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a}\right)\left(\frac{b}{b}\right) + \left(\frac{2}{b}\right)\left(\frac{a}{a}\right)$$

اضرب كلًّا من قيم البسط وكلًّا من قيم المقام.

$$= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$$

اكتب كسرًا مفردًا مقامه المقام المشترك.

$$= \frac{b+2a}{ab}$$

مسائل تدريبية

4. نفّذ العمليات التالية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.

a. $\frac{y}{3} + \frac{1}{x}$ **c.** $\left(\frac{1}{y}\right)\left(\frac{3}{x}\right)$

b. $\frac{3}{b} - \frac{a}{2b}$ **d.** $\frac{1}{2} \div \frac{2a}{5}$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة للعددين 2، 3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 2:3 أو $\frac{2}{3}$

المعدّلات Rates

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 *ساعة كمعدل وحدة.*

$98km$ في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة $\frac{98km}{2.0h}$

جزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات

$$\frac{98km}{2.0h} = \left(\frac{98}{2.0}\right)\left(\frac{km}{h}\right)$$

بسّط الكسر العددي

$$= (49)\left(\frac{km}{h}\right)$$

$$= 49 \text{ km per h أو } \text{km/h}$$

التناسبات Proportions التناسب عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d} = \frac{c}{b}$ ، بشرط أن b ، d لا تساويان صفر. تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيرًا واحدًا. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل التناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$ *بالنسبة للمتغير* a.

بإجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$

اكتب المعادلة الناتجة من الضرب التبادلي $ad = bc$

حل المعادلة بالنسبة للمتغير a $a = \frac{bc}{d}$

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات التالية:

a. $\frac{2}{3} = \frac{4}{x}$ **c.** $\frac{s}{16} = \frac{36}{12}$

b. $\frac{n}{75} = \frac{13}{15}$ **d.** $\frac{7.5}{w} = \frac{2.5}{5.0}$

4. a. $\frac{3+xy}{3x}$

b. $\frac{a-6}{2b}$

c. $\frac{3}{xy}$

d. $\frac{4a}{5}$

5. a. 6

b. 65

c. 48

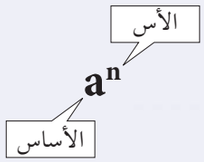
d. 15

5.
a. 10.7 km
b. 24.2 cm
c. 37 g
d. 8.3 m/s

IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي، ففي الحد a^n، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.
ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير.
فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\dots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10{,}000$$
$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$
$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} \qquad 2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2}$$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)\,(a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)\,(3)} = 3$

$\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)\,(8.0)} = 8.0$ تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين.

$\sqrt{38.44} = 6.200$ ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية.

$\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$ قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين.

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

6. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ **c.** $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ **d.** $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ **b.** $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ **b.** $\frac{1}{\sqrt{a}}$

6. a. 4.7 **b.** 9.00 **c.** 26.0 **d.** 3.6000

7. a. $4ab^2$ **b.** $3t^3$

8. a. $n^{\frac{3}{2}}$ **b.** $\frac{1}{a^{\frac{1}{2}}} = a^{-\frac{1}{2}}$

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$a^m / a^n = a^{m-n}$$

القوة مرفوعة لقوة: لايجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس في بعضها، كما هو موضح في الصفحة التالية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة التالية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

a. $x^2 t / x^3$ b. $\sqrt{t^3}$ c. $(d^2n)^2$ d. $x^2\sqrt{x}$

10. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

9.
a. $x^{-1}t$
b. $t^{\frac{3}{2}}$
c. d^4n^2
d. $x^{\frac{5}{2}}$

10. $\sqrt{\frac{2vm}{9}} = (2vm)^{\frac{1}{2}} 9^{\frac{-1}{2}}$

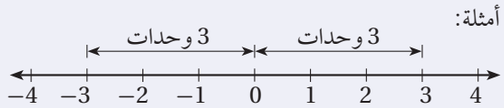
القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة |n|، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

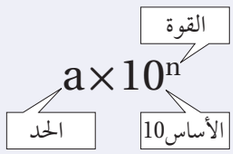
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



V. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a\times10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m^3 وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في 2.4×10^{11} = 2.4 e+11 وبعض الآلات الحاسبة تستخدم Exp لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 *بدلالته العلمية.*

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية

$2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238{,}900$

الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 **b.** 0.000020

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} **b.** 9.7×10^{10}

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0\times10^{-8})\ (1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\ (10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

11. a. 4.56×10^{8}

b. 2.0×10^{-5}

12. a. 0.000000303

b. 97,000,000,000

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5) + (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعابير التالية، وعبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(4.0\times10^8)\ (5.2\times10^{-4})$ **b.** $(2.4\times10^3) + (8.0\times10^4)$

VI. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

ترتيب العمليات: الخطوة 1 $4+3\ (4-1)-2^3 = 4+3\ (3)-2^3$

ترتيب العمليات: الخطوة 2 $=4+3\ (3)-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 3 $=4+9-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 4 $= 5$

13. a. 2.1×10^4

b. 8.2×10^4

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$a\,(b+c) = ab+ac$ $\qquad$ $a\,(b-c) = ab-ac$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير التالي:

$$3\,(x+2) = 3x + (3)\,(2)$$
$$= 3x + 6$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x - 3 = 7$ *مستعملًا خاصية الجمع*

$$x-3 = 7$$
$$x-3+3 = 7+3$$
$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ *مستعملًا خاصية الجمع*

$$t+2 = -5$$
$$t+2-2 = -5-2$$
$$t = -7$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$ac = bc$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}a = 3$$
$$\left(\frac{1}{4}a\right)(4) = 3\,(4)$$
$$a = 12$$

177

مثال: حل المعادلة $6n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6n = 18$$
$$\frac{6n}{6} = \frac{18}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2t + 8 = 5t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$2t + 8 = 5t - 4$$
$$8 + 4 = 5t - 2t$$
$$12 = 3t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating aVariable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير– أيْ لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير– اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.

ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على V
$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $(\frac{V}{V})$
$$P(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$
$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a ، n أعدادًا حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm \sqrt{n}$.

14. a. 5

b. $\frac{3}{2}$

c. $3t-7$

d. $ac-b$

e. $\frac{3}{4}$

f. $\frac{d-c}{a+d}$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة على m .

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2} = \pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه للمتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضًا للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بوساطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًّا. إذا كانت $b = 0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى من خلال المعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s . أوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5\ m)}{(5.00\ s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

$a = \frac{1.64\ m}{s^2}$ مثل

أو مثل $a = 1.64\ m/s^2$

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$.

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67\ m}{s}\left(\frac{5.0\ min}{1}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطين ودقيقين، لذلك لن يؤثرا في حساب الأرقام المعنوية.

$$\Delta x = 20100\ m = 2.0 \times 10^4\ m$$

15. a. ± 3

b. ± 2.65

c. 6أو4-

d. 0.9أو0.3-

مسائل تدريبية

16. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times10^{2}\ \text{m}}{16\ \text{m/s}}$

17. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل $a = -9.80\ \text{m/s}^2$ و $v = a\,\Delta t$.

18. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{60\ \text{min}}{1\text{h}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)\left(\frac{32\ \text{cm}}{1\text{s}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)$

19. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}\,at^2$ وحدتها m

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير $d_f = \text{m} + (\frac{\text{m}}{\text{s}})(\text{s}) + \frac{1}{2}(\frac{\text{m}}{\text{s}^2})(\text{s})^2$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية $= \text{m} + (\text{m})(\frac{\text{s}}{\text{s}}) + \frac{1}{2}(\text{m})(\frac{\text{s}^2}{\text{s}^2})$

بالتعويض عن $\text{s/s} = 1, \text{s}^2/\text{s}^2 = 1$ $= \text{m} + (\text{m})(1) + \frac{1}{2}(\text{m})(1)$

جميع الحدود أعطت الوحدة m لذلك فإن d_f بوحدة m $= \text{m} + \text{m} + \frac{1}{2}\,\text{m}$

لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

16. 25s

17. −49 m/s

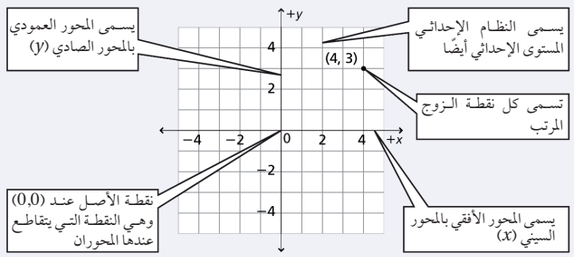
18. 22 mph

19. 36.5 km/h

VII. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، و يسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x،y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0,0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.

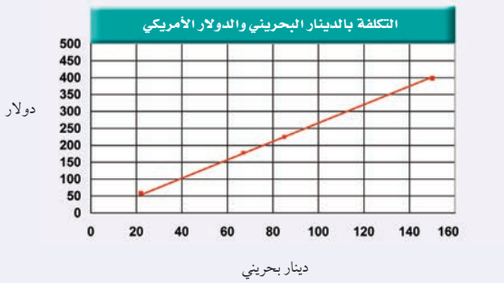


استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

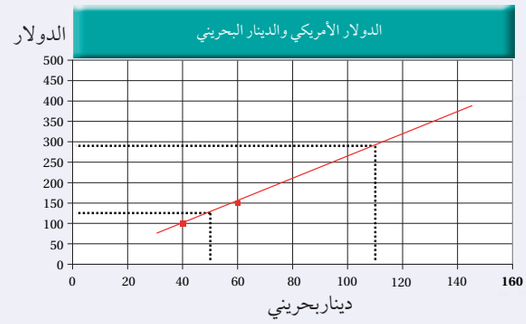
استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.

نوع الخدمة	دينار	دولار
الفندق (الإقامة)	150	398
الوجبات	85	225
الترفيه	67	178
المواصلات	22	58



الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating



تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 50 دينارًا.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 50 (40 دينارًا، 60 دينارًا)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.

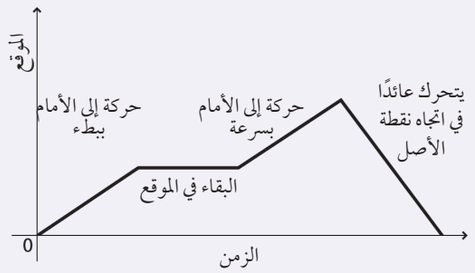
ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (50 دينارًا) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 دينار.

ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 دينار) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

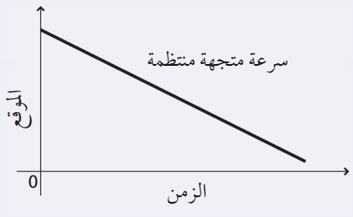
يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركةتستخدم عادة في الفيزياء.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

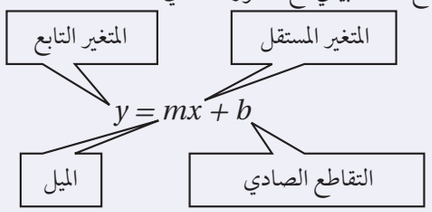
a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).

b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث m ، b أعداد حقيقية، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



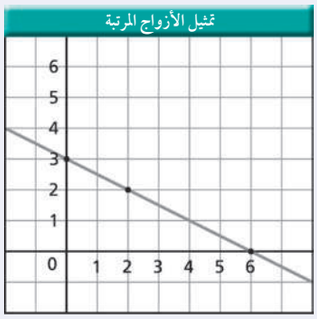
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x, y)، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

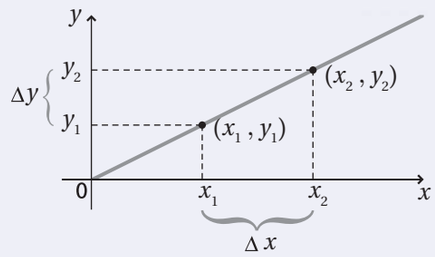
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين $(x_1 ، y_1)$ ، $(x_2 ، y_2)$، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم جد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المُرجعة) للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -kx$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المُرجعة، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

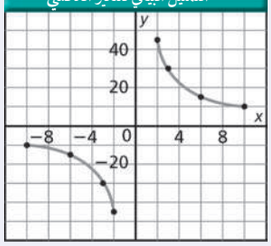
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

التمثيل البياني للتغير العكسي



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

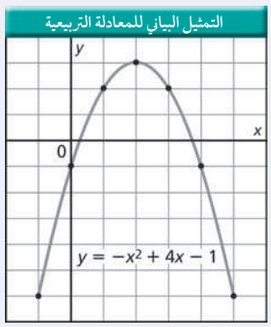
$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

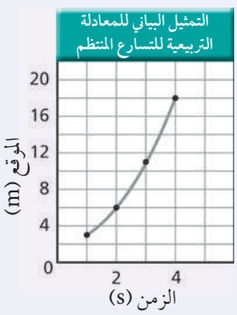
مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$

الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18



VIII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

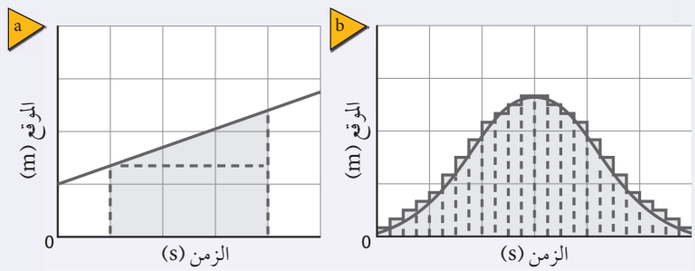
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = (\frac{1}{2})\, bh$		
المكعب الضلع a			$SA = 6a^2$	$V = a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA = 4\pi r^2$	$V = (\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

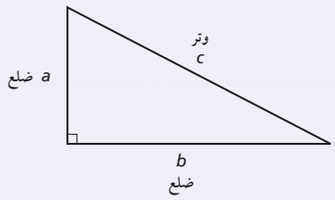
لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

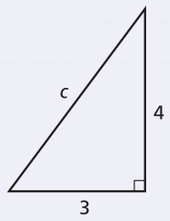
المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من a، b يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

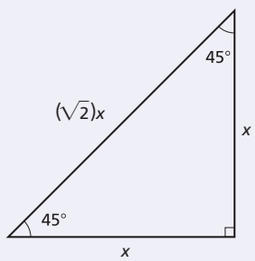
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4\ cm$ و $b = 3\ cm$

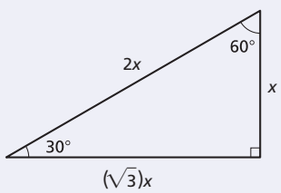


$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4\ cm)^2 + (3\ cm)^2} \\ &= \sqrt{16\ cm^2 + 9\ cm^2} \\ &= \sqrt{25\ cm^2} \\ &= 5\ cm \end{aligned}$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية ´45، ´45، ´90 فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية ´90، ´60، ´30 فإن طول الوتر يساوي ضعفي طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مضروبًا في طول الضلع الأصغر.



النسب المثلثية Trigonometric Ratios

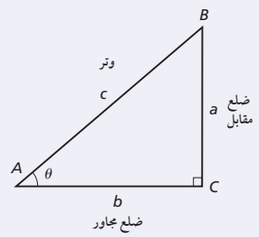
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin\theta$، جيب التمام $\cos\theta$ والظل $\tan\theta$. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات التالية SOH–CAH–TOA. حيث ترمز SOH إلى جيب ، مقابل، الوتر، في حين ترمز CAH إلى جيب تمام، مجاور، الوتر. أما TOA فترمز إلى ظل تمام، مقابل، المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC. إذا كانت $a = 3\text{ cm}$ ، $b = 4\text{ cm}$ ، $c = 5\text{ cm}$ ، فأوجد كلًّا من $\cos\theta$ و $\sin\theta$

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0^\circ$ ، $c = 20.0\text{ cm}$، فأوجد a و b .

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

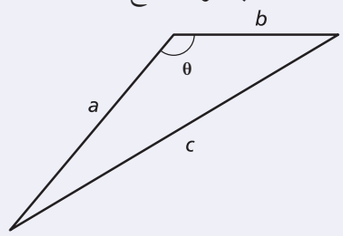
يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس باستثناء الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع c. فإذا كان قياس الزاوية $\theta = 90^\circ$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفرًا.

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا θ يُصبح عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0\text{ cm}$ ، $b = 12.0\text{ cm}$ ، $\theta = 110.0°$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\text{ cm})^2 + (12.0\text{ cm})^2 - 2(10.0\text{ cm})(12.0\text{ cm})(\cos 110.0°)}$$

$$= \sqrt{1.00 \times 10^2\text{ cm}^2 + 144\text{ cm}^2 - (2.40 \times 10^2\text{ cm}^2)(\cos 110.0°)}$$

$$= 18.1\text{ cm}$$

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب، حيث c، b، a الأضلاع المقابلة للزوايا C، B، A بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

مثال: في المثلث ABC إذا كان $C = 60.0°$ ، $a = 4.0\text{ cm}$، $c = 4.6\text{ cm}$، احسب قياس الزاوية A.

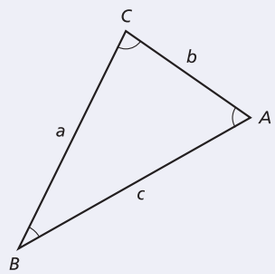
$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a\sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0\text{ cm})(\sin 60.0°)}{4.6\text{ cm}}$$

$$= 0.75$$

$$A = 49°$$



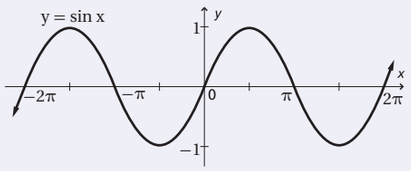
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

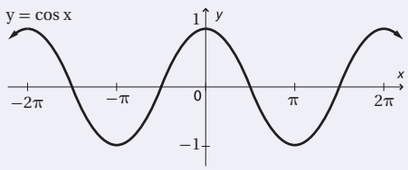
إن معكوس كل من الجيب، وجيب التمام، وظل التمام يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية. والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس
$y = \sin x$	$x = \sin^{-1} y$ أو معكوس $x = \sin y$
$y = \cos x$	$x = \cos^{-1} y$ أو معكوس $x = \cos y$
$y = \tan x$	$x = \tan^{-1} y$ أو معكوس $x = \tan y$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. والزمن الدوري لكل اقتران يساوي 2π، وتكون قيمة x أي عدد حقيقي، أما قيمة y فتكون أي عدد حقيقي بين -1 و 1.





IX. اللوغاريتميات Logarithms

اللوغاريتميات للأساس b

افترض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = b^y$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b يساوي العدد الأسي (y) الذي ترفع إليه العدد b للحصول على x.

$\log_b x = y$ إذا وفقط إذا $b^y = x$

مثال: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات التالية:

لأن $2^{-4} = \frac{1}{16}$ $\log_2 \frac{1}{16} = -4$

لأن $10^3 = 1000$ $\log_{10} 1000 = 3$

عندما تريد إيجاد لوغاريتم عددٍ ما يمكنك استعمال الآلة الحاسبة.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون اللوغاريتمات للعمل بقياسات تمتد إلى مقادير متعددة القيمة أو القوة للعدد 10، ويستعمل الجيوفيزيائيون مقياس ريختر وهو مقياس لوغاريتمي يوفر لهم القدرة على تقدير معدل الزلازل من 5 إلى 7 أو أكبر، وتختلف قوة الزلازل بمقدار 7 أو بقوى أكبر للأساس 10.

اللوغاريتمات الطبيعية Common Logarithms

تسمى اللوغاريتمات للأساس 10 اللوغاريتمات الطبيعية، وتكتب غالبًا بدون الرقم الدليل 10.

$$\log_{10} x = \log x \quad x > 0$$

المقابلات اللوغاريتيمة أو معكوس اللوغاريتمات Antilogarithms or Inverse Logarithms

المقابل اللوغاريتمي هو معكوس اللوغاريتم، ويمثل العدد الذي له لوغاريتم.

مثال: حل $\log x = 4$ بالنسبة للمتغير x

$$\log x = 4$$

$x = 10^4$ 10^4 هي المقابل اللوغاريتمي للعدد 4

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة مستوى الصوت L، بوحدة الديسبل، هي $L = 10 \log_{10} R$. حيث R الشدة النسبية للصوت. احسب R لشوكة رنانة تصدر صوتًا بمستوى صوت مقداره 130 ديسيبل.

$130 = 10 \log_{10} R$ قسّم طرفي المعادلة على العدد 10

$13 = \log_{10} R$ استعمل قاعدة اللوغاريتم

$R = 10^{13}$

عندما تعلم قيمة اللوغاريتم لعدد وتريد معرفة العدد نفسه يمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد معكوس اللوغاريتم.

مسائل تدريبية

20. اكتب الصيغة الأسية للمعادلة $\log_3 81 = 4$

21. اكتب الصيغة اللوغاريتمية للمعادلة $10^{-3} = 0.001$

22. إذا كان $\log x = 3.125$، فأوجد قيمة x.

20. $3^4 = 81$

21. $\log_{10} 0.001 = -3$

22. $x \approx 1.334 \times 10^3$

أو 1334

الفصل الأول:

.3

$$PE_{\text{نابض}} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$x = \sqrt{\frac{2PE_{\text{نابض}}}{k}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(48\ \text{J})}{256\ \text{N/m}}}$$

$$= 0.61\ \text{m}$$

.4

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$l = g\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

$$= (1.6\ \text{m/s}^2)\left(\frac{2.0\ \text{s}}{2\pi}\right)^2$$

$$= 0.16\ \text{m}$$

.12

$$v = \lambda f$$

لذا فإن

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$= (15.0\ \text{m/s})/(6.00\ \text{Hz})$$

$$= 2.50\ \text{m}$$

الفصل الثاني

.1

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$= (343\ \text{m/s})/(18\ \text{Hz})$$

$$= 19\ \text{m}$$

.3

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$v = \lambda f = (0.655\ \text{m})\ (2280\ \text{Hz})$$

$$= 1490\ \text{m/s}$$

وهي مماثلة لسرعة الصوت في ماء درجة حرارته 25 °C

.4

$$v = 343\ \text{m/s},\quad f_s = 365\ \text{Hz}$$

$$v_s = 0\ \text{m/s},\ v_d = -25.0\ \text{m/s}$$

$$f_d = f_s(v - v_d)/(v - v_s)$$

$$f_d = \frac{3.50\ \text{MHz}\ (1482\ \text{m/s})}{1482\ \text{m/s} - 9.20\ \text{m/s}}$$

$$= 392\ \text{Hz}$$

.12 فواصل الرنين = $\frac{\lambda}{2} = 1.1\ \text{m}$ ، لذا فإن $\lambda = 2.2\ \text{m}$

$$v = \lambda f = (2.2\ \text{m})(440\ \text{Hz}) = 970\ \text{m/s}$$

الفصل الثالث:

.1

$$E_{\text{بعد}}/E_{\text{قبل}} = \frac{\left(\frac{P}{4\pi d^2_{\text{بعد}}}\right)}{\left(\frac{P}{4\pi d^2_{\text{قبل}}}\right)}$$

$$= \frac{d^2_{\text{قبل}}}{d^2_{\text{بعد}}}$$

$$= \frac{(30\ \text{cm})^2}{(90\ \text{cm})^2} = \frac{1}{9}$$

لذا تكون استضاءة الكتاب بعد تحريك المصباح مساوية لتُسع استضاءته الابتدائية(قبل تحريك المصباح).

.11 السرعة النسبية المحورية أقل بكثير من سرعة الضوء؛ لذا يمكنك استخدام معادلة تردد الضوء المراقَب. ونستخدم إشارة الطرح في معادلة تردد الضوء المراقَب؛ لأن الفلكي والمجرة يتحركان مبتعدين بعضهما عن بعض.

$$f_{\text{المراقَب}} = f\left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

$$= (6.16\times10^{14}\ \text{Hz})\left(1 - \frac{6.55\times10^6\ \text{m/s}}{3.00\times10^8\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 6.03\times10^{14}\ \text{Hz}$$

12. بافتراض أن السرعة النسبية المحورية اقل بكثير من سرعة الضوء؛ لذا يمكنك استخدام معادلة انزياح دوبلر.

$$(\lambda_{\text{المراقَب}} - \lambda) = \pm \frac{v}{c}$$

ويظهر الطول الموجي المراقَب لخط طيف الأكسجين أكبر من الطول الموجي الحقيقي له؛ وهذا يعني أن الفلكي والمجرة يتحركان مبتعدين أحدهما عن الآخر؛ لذا نستخدم الإشارة الموجبة في معادلة انزياح دوبلر.

$$(\lambda_{\text{المراقَب}} - \lambda) = + \frac{v}{c}\lambda$$

وبحل المعادلة بالنسبة لـ v

$$v = c\frac{(\lambda_{\text{المراقَب}} - \lambda)}{\lambda}$$

$$= (3.00\times10^{8}\ \text{m/s})\frac{(525\ \text{nm} - 513\ \text{nm})}{513\ \text{nm}}$$

$$= 7.02\times10^{6}\ \text{m/s}$$

الفصل الرابع:

1. لأن الضوء ينعكس عن سطح الماء الذي هو أملس أكثر من سطح الزجاج.

10.

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

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

$$= \frac{(36.0\ \text{cm})(16.0\ \text{cm})}{36.0\ \text{cm} - 16.0\ \text{cm}}$$

$$= 28.0\ \text{cm}$$

11. نحسب بُعد الصورة:

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

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

$$= \frac{(16.0\ \text{cm})(7.0\ \text{cm})}{16.0\ \text{cm} - 7.0\ \text{cm}}$$

$$= 12.4\ \text{cm}$$

نستخدم معادلة التكبير لإيجاد طول الصورة:

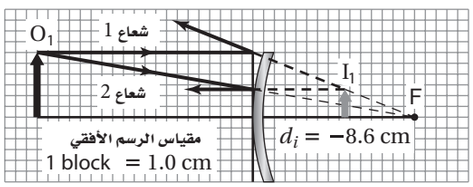
$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

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

$$= \frac{-(12.4\ \text{cm})(2.4\ \text{cm})}{16.0\ \text{cm}}$$

$$= -1.9\ \text{cm}$$

13.



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

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

$$= \frac{(-15.0\ \text{cm})(20.0\ \text{cm})}{20.0\ \text{cm} - (-15.0\ \text{cm})}$$

$$= -8.57\ \text{cm}$$

14. تستخدم معادلة التكبير لإيجاد طول الصورة

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

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

$$= \frac{-(2.4\ \text{cm})(0.36\ \text{m})}{1.8\ \text{m}}$$

$$= -0.48\ \text{m}$$

نجد البعد البؤري

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

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

$$= \frac{(-0.48\ \text{m})(2.4\ \text{m})}{-0.48\ \text{m} + 2.4\ \text{m}}$$

$$= -0.60\ \text{m}$$

الفصل الخامس:

.1

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

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

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.00)(\sin 37.0^\circ)}{1.36}\right)$$

$$= 26.3^\circ$$

.2

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

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

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.00)(\sin 30.0^\circ)}{1.33}\right)$$

$$= 22.1^\circ$$

.3

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

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

$$= \frac{(1.33)(\sin 31^\circ)}{\sin 27^\circ}$$

$$= 1.5$$

.14

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

وبتعويض $d_i = d_o$ لأن $m = \frac{-d_i}{d_o}$، و $m = 1$، ينتج:

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{d_i}$$

$$d_i = 2f = 2(25\text{ cm}) = 5.0\times10^1\text{ mm}$$

$$d_o = d_i = 5.0 \times 10^1\text{ mm}$$

.15 نجد بُعد الصورة

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

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

$$= \frac{(5.0\text{ cm})(25\text{ cm})}{25\text{ cm} - 5.0\text{ cm}}$$

$$= 6.2\text{ cm}$$

نستخدم معادلة التكبير لإيجاد طول الصورة

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

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

$$= \frac{-(6.2\text{ cm})(2.0\text{ cm})}{25\text{ cm}}$$

$$= -0.50\text{ cm}$$ الصورة مقلوبة

.17 بما أن

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

لذا فإن

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

$$= \frac{(3.4\text{ cm})(12.0\text{ cm})}{3.4\text{ cm} - 12.0\text{ cm}}$$

$$= -4.7\text{ cm}$$

ولإيجاد طول الصورة نستخدم المعادلة:

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

$$= \frac{-(2.0\text{ cm})(-4.7\text{ cm})}{3.4\text{ cm}}$$

$$= 2.8\text{ cm}$$

18. بما أن

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

لذا فإن

$$d_i = m\,d_o = -(4.0)(3.5\text{ cm})$$

$$= -14\text{ cm}$$

وباستخدام المعادلة العامة للعدسة الرقيقة $\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$، والحل بالنسبة للبعد البؤري، ينتج:

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

$$= \frac{(3.5\text{ cm})(-14\text{ cm})}{3.5\text{ cm} + (-14\text{ cm})}$$

$$= 4.7\text{ cm}$$

الفصل السادس:

2. $\lambda = \frac{xd}{L}$ ، ومنها:

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

$$= \frac{(632.8 \times 10^{-9}\text{ m})(1.000\text{ m})}{65.5 \times 10^{-3}\text{ m}}$$

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

$$= 9.66\ \mu\text{m}$$

4. للتداخل البنائي:

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

وللفلم ذي الكثافة الأكبر، نعوّض $m = 0$، فينتج:

$$d = \frac{\lambda}{(4n_{\text{الفيلم}})} = \frac{521\text{ nm}}{(4)(1.33)} = 97.9\text{ nm}$$

12.

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

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

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

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

14.

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

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

$$\theta = \sin^{-1}(\frac{\lambda}{d})$$

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

$$x = L\tan\theta$$

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

$$= (0.800\text{ m})(\tan(\sin^{-1}(\frac{(421 \times 10^{-9}\text{ m})}{(8.60 \times 10^{-2}\text{ m})})))$$

$$= 0.449\text{ m}$$

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	bascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz = 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg = 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1 m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	$1 mol = 6.022 \times 10^{23}$

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
البادئة	الرمز	الدلالة العلمية
femto	f	10^{-15}
baico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
mile	m	10^{-3}
cm	c	10^{-2}
disa	d	10^{-1}
dica	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
terra	T	10^{12}
beta	P	10^{15}

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (c°)	درجة الغليان (c°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار وحرارة التبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	حرارة الانصهار (J/kg)	حرارة التبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء الأزرق النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
m/s	الوسط
331	هواء (0°)
343	هواء (20°)
972	هيليوم (0°)
1286	هيدروجين (0°)
1493	ماء (25°)
1533	ماء البحر (0°)
1600	مطاط
3560	نحاس (25°)
5130	حديد (25°)
5640	زجاج التنور
12000	ألماس

المصطلحات

أ

الاستضاءة illuminance: معدل اصطدام الضوء بسطح أو معدل الضوء الساقط على وحدة المساحة، وتُقاس بوحدة اللومن لكل متر مربع، lm/m^2 أو لوكس **lx**.

الاستقطاب polarization: الضوء الذي تتذبذب موجاته في مستوى واحد فقط.

انزياح دوبلر Doppler shift: الفرق بين الطول الموجي المُلاحظ للضوء والطول الموجي الأصلي للضوء، والذي يعتمد على السرعة النسبية للملاحظ، أو المراقب، وسرعة مصدر الضوء.

الانعكاس غير المنتظم diffuse reflection: انعكاس مضطرب متشتّت ناتج عن سطح خشن.

الانعكاس الكلي الداخلي total internal reflection: يحدث عندما يسقط الشعاع الضوئي في وسطٍ معاملُ انكساره كبيرٌ إلى وسطٍ معاملُ انكساره أقلّ، على أن يصطدم بالحد الفاصل (الحاجز) بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى انعكاس الضوء جميعه وارتداده إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر.

الانعكاس المنتظم specular reflection: انعكاس ناتج عن سطح أملس، بحيث تنعكس الأشعة متوازية عندما تسقط متوازية.

الانكسار refraction: التغير في اتجاه الموجة عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين.

أهداب الحيود fringes interference: نمط من حزم مضيئة ومعتمة يتكوّن على شاشة، نتيجة التداخل الهدّام والتداخل البنّاء لموجات الضوء المارة خلال شقين – في حاجز – متقاربين.

ب

البؤرة focal point: النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الضوئية الساقطة بصورة موازية للمحور الرئيس بعد أن تنعكس عن المرآة.

بطن الموجة antinode: النقطة ذات الإزاحة الكبرى عند التقاء نبضتي موجة.

البعد البؤري focal length: بعد البؤرة عن سطح المرآة على امتداد المحور الرئيس.

البندول pendulum: أداة توضح الحركة التوافقية البسيطة، ويتكوّن من جسم ثقيل يُسمَّى ثقل البندول، يُعلّق بوساطة خيط أو قضيب خفيف، ثم يسحب ثقل البندول إلى أحد الجانبين ويترك ليتأرجح جيئةً وذهابًا.

المصطلحات

ت

تأثير دوبلر Doppler effect: التغير في تردد الصوت الناتج عن تحرك مصدر الصوت أو المراقب أو كليهما.

التداخل interference: نتيجة تراكب موجتين أو أكثر، ويمكن أن يكون التداخل بنائيًا (إزاحات الموجة في الاتجاه نفسه)، ويمكن أن يكون التداخل هدميًا (اتساعات الموجات متساوية ولكن متعاكسة).

التداخل في الأغشية الرقيقة thin-film interference: الظاهرة التي ينتج عنها طيف الألوان بسبب التداخل البنائي والتداخل الهدمي لموجات الضوء المنعكسة عن الغشاء الرقيق.

التدفق الضوئي luminous flux: المعدل الذي تُبعث فيه الطاقة الضوئية من المصدر الضوئي، وتُقاس بوحدة اللومن **lm**.

التردّد frequency: عدد الذبذبات الكاملة التي تحدثها الموجة في الثانية الواحدة، وتُقاس بوحدة الهرتز **Hz**.

التردّد الأساسي fundamental: أقل تردّد للصوت الذي يحدث الرنين في الآلات الموسيقية.

تردّد الضوء المُلاحظ observed light frequency: تردّد الضوء كما يراه مراقب.

التفريق dispersion: فصل الضوء الأبيض وتحليله إلى ألوان الطيف باستخدام منشور زجاجي أو قطرات الماء في الغلاف الجوي.

التكبير magnification: مقدار الزيادة أو النقصان في حجم الصورة بالنسبة إلى حجم الجسم.

ج

الجسم object: مصدر أشعة ضوئية مضيء ذاتيًّا أو مُضاء.

الجسم شبه الشفاف translucent: وسط يُنفذ جزءًا من الضوء ويعكس الجزء الآخر، ولا يمكنك رؤية الأجسام بوضوح من خلاله.

الجسم الشفاف transparent: وسط ينفذ الضوء ويعكس أيضًا جزءًا منه، ويسمح برؤية الأجسام بوضوح من خلاله.

الجسم غير الشفاف (المعتم) opaque: الوسط الذي يمتص الضوء ويعكس جزءًا منه بدل أن ينفذه، ولا يمكن الرؤية من خلاله أو رؤية الأجسام الأخرى.

ح

الحركة التوافقية البسيطة simple harmonic motion: الحركة التي تحدث عندما تتناسب قوة الإرجاع المؤثرة في جسم طرديًّا مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان.

الحركة الدورية periodic motion: أي حركة تتكرر في دورة منتظمة.

الحيود diffraction: انحناء الموجات الضوئية أو الصوتية حول حاجز.

المصطلحات

المصطلحات

ر

الرنين resonance: حالة خاصة في الحركة التوافقية البسيطة تحدث عندما تُطبّق قوى صغيرة في فترات منتظمة على جسم مهتز، مما يؤدي إلى زيادة اتساع الاهتزاز.

ز

الزاوية الحرجة critical angle: هي زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين.

الزمن الدوري periode: مقدار الزمن الذي يحتاج إليه الجسم حتى يكمل دورة واحدة من الحركة.

الزيغ الكروي spherical aberration: عيب في المرآة الكروية، بحيث لا يسمح للأشعة الضوئية المتوازية البعيدة عن المحور الرئيس بالتجمع في البؤرة، فتكوّن المرآة نتيجة لذلك صورة مشوشة غير تامة.

الزيغ اللّوني chromatic aberration: عيب في العدسات الكروية يؤدي إلى تركيز الضوء المار خلال العدسات في نقاط مختلفة، مما يؤدي إلى ظهور الجسم المرئي خلال العدسة محاطًا بحزم ملونة.

س

سعة الموجة amplitude: أقصى مسافة يتحركها الجسم عن موضع اتزانه في أي حركة دورية.

ش

الشعاع ray: الخط الذي يبين اتجاه الموجة المنتقلة، ويُرسم عموديًّا على قمة الموجة.

ص

صدر الموجة wave front: الخط الذي يمثّل قمة الموجة في بعدين، والذي يبيّن طولها الموجي ولا يبيّن سعتها عند رسمها ضمن مقياس رسم.

الصورة الحقيقية real image: صورة مقلوبة مصغرة أو مكبرة، وتتكوّن نتيجة تجمّع الأشعة الضوئية.

الصورة التقديرية virtual image: الصورة المتكوّنة من تباعد الأشعة الضوئية، وتتكوّن عادة في الجهة المعاكسة للمرآة من الجسم.

المصطلحات

ض

الضربة beat: اهتزاز سعة الموجة الناتجة عن تراكب موجتي صوت لهما تردّدان متماثلان تقريبًا.

الضوء الأحادي اللون monochromatic light: الضوء الذي له طول موجي واحد فقط.

الضوء غير المترابط incoherent light: ضوء بصدور موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم، أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور؛ قِممُها وقيعانها غير متوافقة.

الضوء المترابط coherent light: ضوء من مصدرين أو أكثر، يولّد تراكبه موجة ذات صدور منتظمة، أو هو موجات ضوء تكون في درجات متطابقة في القمم والقيعان.

ط

الطول الموجي wavelength: أقصر مسافة بين النقاط التي يعيد نمط الموجة نفسه فيها، كالمسافة بين قمة وقمة، أو المسافة بين قاع وقاع.

طول النظر farsightendness: عيب في الرؤية، حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم القريب بوضوح؛ بسبب تكوّن الصورة خلف الشبكيّة، ويمكن تصحيحه بعدسة محدبة.

ع

العدسة lens: قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تستخدم في تجميع الضوء وتكوين الصور.

العدسة اللالونية achromatic lens: تراكب يتكوّن من عدستين أو أكثر مختلفتين في معاملي الانكسار (عدسة مقعرة مع عدسة محدبة مثلاً) والتي تستخدم لتقليل الزيغ اللّوني.

العدسة المحدّبة convex lens: عدسة مجمّعة، سميكة في وسطها وأقل سمكًا عند أطرافها، تجعل الأشعة المتوازية الساقطة عليها تتجمّع في نقطة عندما تكون محاطة بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار العدسة، وتكوّن صورًا مصغّرة ومقلوبة وحقيقية أو مكبرة ومعتدلة وتقديرية.

العدسة المقعّرة concave lens: عدسة مفرّقة، وسطها أقل سمكًا من أطرافها، تشتّت الضوء الساقط عليها والمار بها عندما يكون معامل انكسار الوسط المحيط بها أقل من معامل انكسارها، وتكوّن صورًا تقديرية ومعتدلة.

العقدة node: النقطة الثابتة التي تلتقي فيها نبضتان موجيتان في الموقع نفسه، حيث تصبح الإزاحة الناتجة صفرًا.

ق

قانون الانعكاس law of reflection: ينصّ على أن زاوية انعكاس الشعاع المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنعكس تساوي زاوية السقوط المحصورة بين العمود المقام والشعاع الساقط.

المصطلحات

قانون سنل في الانكسار Snell's law of refraction: ينص على أن حاصل ضرب معامل انكسار وسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار وسط الانكسار في جيب زاوية الانكسار.

قانون مالوس Malus's law: ينصّ على أن شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء المستقطَب الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري الاستقطاب للمرشِّحين.

قانون هوك Hooke's law: ينصّ على أن القوة المؤثرة في نابض تتناسب طرديًّا مع مقدار الاستطالة الحادثة فيه.

قصر النظر nearsightedness: عيب في الرؤية؛ حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم البعيد بوضوح؛ لأن الصورة تتكوّن أمام الشبكية، ويُصحّح باستخدام عدسة مقعرة.

القمة crest: أعلى نقطة في الموجة.

ل

اللّون الأساسي (الأساس) primary color: الألوان الأحمر والأخضر والأزرق، التي تكوّن اللون الأبيض عندما تتحد معًا، كما تُنتج الألوان الثانوية، وهي الأصفر، والأزرق المخضر، والأرجواني، عند مزجها في أزواج.

اللّون الثانوي secondary color: ينتج كلّ من اللّون الأصفر واللّون المخضر واللّون الأرجواني عن اتحاد لونين أساسيّين.

اللون المتمّم complementary color: لون الضوء الذي يعطي ضوءًا أبيض عند تراكبه مع ضوء آخر.

م

مبدأ التراكب principle of superposition: ينصّ على أن إزاحة الوسط الناتجة عن موجتين أو أكثر هي المجموع الجبري لإزاحات الموجات، وهي منفردة.

محزوز الحيود diffraction grating: أداة تتكوّن من عدد كبير من الشقوق المفردة المتقاربة جدًّا. ويؤدي المحزوز إلى حيود الضوء، وتكوين نمط الحيود الذي يتكوّن نتيجة تراكب أنماط حيود الشق المفرد، ويستخدم الحيود في قياس الطول الموجي للضوء بدقة أو لفصل الضوء وفق الأطوال الموجة المختلفة.

المحور الرئيس principle axis: خط مستقيم عمودي على سطح المرآة حيث يقسمها إلى نصفين.

المرآة المحدّبة convex mirror: مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الخارج، وتكوّن صورًا معتدلة ومصغّرة وتقديرية.

المرآة المستوية plane mirror: سطح أملس ناعم يعكس الضوء انعكاسًا منتظمًا، ويكوّن صورة تقديرية ومعتدلة لها حجم الجسم نفسه وهيئته، ولها أيضًا البعد نفسه الذي يبعده الجسم عن المرآة.

المرآة المقعّرة concave mirror: مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الداخل، وتكوّن صورًا معتدلة وهميّة أو مقلوبة وحقيقية.

معادلة العدسة الرقيقة thin lens equation: تنصّ على أن مقلوب البعد البؤري لعدسة كروية يساوي مجموع مقلوب كلٍّ من بعد الصورة وبعد الجسم.

المصدر المستضيء (المُضاء) illuminated source: جسم، مثل القمر، يظهر مضيئًا نتيجة انعكاس الضوء عنه.

المصطلحات

المصدر المضيء luminous source: جسم يبعث الضوء، كالشمس أو المصباح.

معادلة المرآة mirror equation: علاقة تربط بين البعد البؤري، وموقع الجسم، وموقع الصورة في المرآة الكروية.

معامل الانكسار index of refraction بالنسبة لوسط ما: هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في ذلك الوسط.

الموجة wave: اضطراب ينقل الطاقة خلال وسط ناقل أو في الفراغ، كما أنه ينقل الطاقة ولا ينقل جزيئات الوسط الناقل.

الموجة الدورية periodic wave: موجة ميكانيكية تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه.

الموجة الساقطة incident wave: الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين وسطين.

الموجة السطحية surface wave: موجة ميكانيكية ناتجة عن تحرك دقائق الوسط في كلا الاتجاهين: في اتجاه حركة الموجة نفسه، وفي الاتجاه المتعامد مع اتجاه حركتها.

الموجة الصوتية sound wave: انتقال تغيرات الضغط خلال مادةٍ على شكل موجة طولية، ويحدث لها انعكاس وتداخل، كما أن لها ترددًا، وطول موجة، وسرعة، وسعة.

الموجة الطولية longitudinal wave: موجة ميكانيكية ينتقل الاضطراب فيها في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازيًا لها.

الموجة المستعرضة transverse wave: موجة ميكانيكية تتذبذب عموديًّا على اتجاه حركة الموجة

الموجة المنعكسة reflected wave: الموجة المرتدة الناتجة عن انعكاس بعض طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف.

الموجة الموقوفة (المستقرة) standing wave: الموجة التي تظهر واقفة وساكنة، وتتولّد نتيجة تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين.

ن

نبضة الموجة wave pulse: اضطراب مفرد أو نبضة مفردة تنتقل خلال وسط.

نمط الحيود diffraction pattern: نمط يتكوّن على الشاشة، ينتج عن التداخل البنائي والتداخل الهدمي لموجات هيجنز.

www.obeikaneducation.com
طبع في مطبعة اربيان امبريشنز
مملكة البحرين لصالح وزارة التربية والتعليم

Mc Graw Hill Education

التعليم محتقبل البحرين