



الإمارات العربية المتحدة
وزارة التربية والتعليم



2025-2026

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة



الصف
10
متقدم

Mc
Graw
Hill

McGraw-Hill Education

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة

للسف 10 المتقدّم



Project: McGraw-Hill Education United Arab Emirates Edition Physics Grade 10 Advanced

FM. Front Matter, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

1. Vibrations and Waves, Chapter 14, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017
 2. Sound, Chapter 15, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017
 3. Fundamentals of Light, Chapter 16, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017
 4. Reflection and Mirrors, Chapter 17, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017
 5. Refraction and Lenses, Chapter 18, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017
 6. Interference and Diffraction, Chapter 19, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017
 7. Motion in Two Dimensions, Chapter 6, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017
- EM. End Matter, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

mheducation.com/prek-12



جميع الحقوق محفوظة © للعام 2025 لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز إعادة إنتاج أي جزء من هذا المنشور أو توزيعه في أي صورة أو بأي وسيلة كانت أو تخزينه في قاعدة بيانات أو نظام استرداد من دون موافقة خطية مسبقة من McGraw-Hill Education. بما في ذلك، على سبيل المثال لا الحصر، التخزين على الشبكة أو الإرسال عبرها أو البث لأغراض التعليم عن بُعد.

الحقوق الحصرية للتصنيع والتصدير عائدة لمؤسسة McGraw-Hill Education. لا يمكن إعادة تصدير هذا الكتاب من البلد الذي باعت له McGraw-Hill Education. هذه النسخة الإقليمية غير متاحة خارج أوروبا والشرق الأوسط وإفريقيا.

النسخة الإلكترونية

طُبِعَ في دولة الإمارات العربية المتحدة.

رقم النشر الدولي: 978-1-39-896363-4 (نسخة الطالب)
MHID: 1-39-896363-1 (نسخة الطالب)

رقم النشر الدولي: 978-1-39-896279-8 (نسخة الطالب)
MHID: 1-39-896279-1 (نسخة الطالب)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 XXX 22 21 20 19 18 17

موجز المحتويات

- 1 الاهتزازات والموجات
- 2 الصوت
- 3 أساسيات الضوء
- 4 الانعكاس والمرآيا
- 5 الانكسار والعدسات
- 6 التداخل والحيود
- 7 الحركة في بُعدين

يتم تعريف المحتوى على تطبيق التعلم الذكي

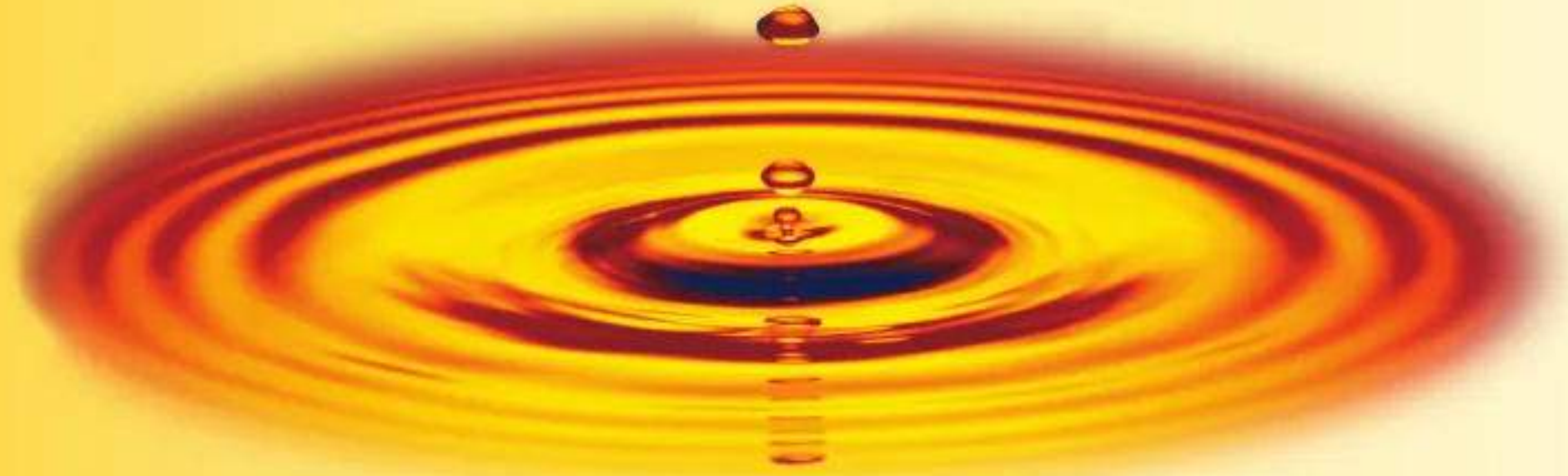


تبدأ كل وحدة بتجربة استهلالية، وهي تحقيق مختبري تمهيدي مصمّم لتقديم المفاهيم التي تشتمل عليها تلك الوحدة. التجارب المصغرة تحقيقات قصيرة يمكنها تحسين فهمك لمحتوى الفيزياء. وستجد أيضًا مختبر فيزياء أو أكثر في كل وحدة يوفر فرصًا للمزيد من التحقيقات المتعمقة.

الوحدة 1

2	الاهتزازات والموجات
4	القسم 1 الحركة الدورية
10	القسم 2 خصائص الموجات
16	القسم 3 سلوك الموجات
22	المباني المقاومة للزلازل

تجربة استهلالية: تفاعل الموجات
تجارب مصغرة: انعكاس الموجة
تفاعل الموجات
مختبرات الفيزياء: اهتزازات البندول
التداخل والحيود
الانعكاس والانكسار



الوحدة

2

30	 الصوت
32	 القسم 1 خصائص الصوت والكشف عنه
40	 القسم 2 الفيزياء والموسيقى
50	 الترفيه في الفيزياء الصوتيات في المسرح

التجربة الاستهلاكية إنتاج النغمات الموسيقية
تجارب مصفرة خصائص الصوت
جودة الأصوات
مختبرات الفيزياء ينتقل الصوت عبر الفراغ
ما الديسبل؟
سرعة الصوت
ما سرعة انتقال الصوت؟

الوحدة

3

58	 أساسيات الضوء
60	 القسم 1 الاستضاءة
69	 القسم 2 الطبيعة الموجية للضوء
79	 الترفيه في الفيزياء التعرف على البعد الثالث

تجربة استهلاكية مسار الضوء
تجارب مصفرة سرعة الضوء
اللون عن طريق درجة الحرارة
استقطاب الضوء المنعكس
مختبرات الفيزياء قياس ضوء الأشعة فوق البنفسجية
شدة الضوء والمسافة
طيف كامل من الاحتمالات
الاستقطاب
تقليل الوهج

الوحدة

4

84..... الانعكاس و المرايا

القسم 1 المرايا المستوية 86

القسم 2 المرايا الكروية 93

البحث عن الكواكب خارج النظام الشمسي 104

تجربة استهلاكية الصور المنعكسة من المرايا

تجارب مصفرة موقع الصورة الخيالية

إيجاد البؤرة

مختبرات الفيزياء موقع الصورة التي تعكسها المرآة

القليل من الوقت للتفكير

صور المرآة المقعرة

الوحدة

5

112..... الانكسار والعدسات

القسم 1 انكسار الضوء 114

القسم 2 العدسات المحدبة والمقعرة 122

القسم 3 تطبيقات العدسات 130

عدسات الجاذبية 134

تجربة استهلاكية شكل الماصة المكسورة

تجارب مصفرة عمل قوس المطر شخصياً

تأثيرات تغطية العدسة

العدسات المائية

كيف ينكسر الضوء؟

طيف يشتمل جميع الاحتمالات

الصور المتكونة من العدسة المحدبة

العدسات المحدبة والبعد البؤري

الوحدة

6

التداخل والحيود 142

- 144 القسم 1 التداخل
153 القسم 2 الحيود
162 التفرقة في الفيزياء

التجربة الاستهلاكية أنماط الضوء
تجارب مصفرة غشاء الصابون
محزوزات الحيود
شاشة عرض شبكية
مختبرات الفيزياء الهولوغرامات
ما الطول الموجي؟
تداخل الشق المزدوج

الوحدة

7

الحركة في بُعدين 168

- 170 القسم 1 حركة المقذوف
177 القسم 2 الحركة الدائرية
182 القسم 3 السرعة المتجهة النسبية
184 في العمل

تجربة استهلاكية حركة المقذوف
تجارب مصفرة كتلة المقذوف
مسار المقذوف
مختبرات الفيزياء إجراء تحقيق
بلوغ الهدف
قوة الجذب المركزي
مناطق الإسناد المتحرك

الوحدة 1

الاهتزازات والموجات

الفكرة الرئيسية الموجات والحركة التوافقية البسيطة من أمثلة الحركة الدورية.

الأقسام

1 الحركة الدورية

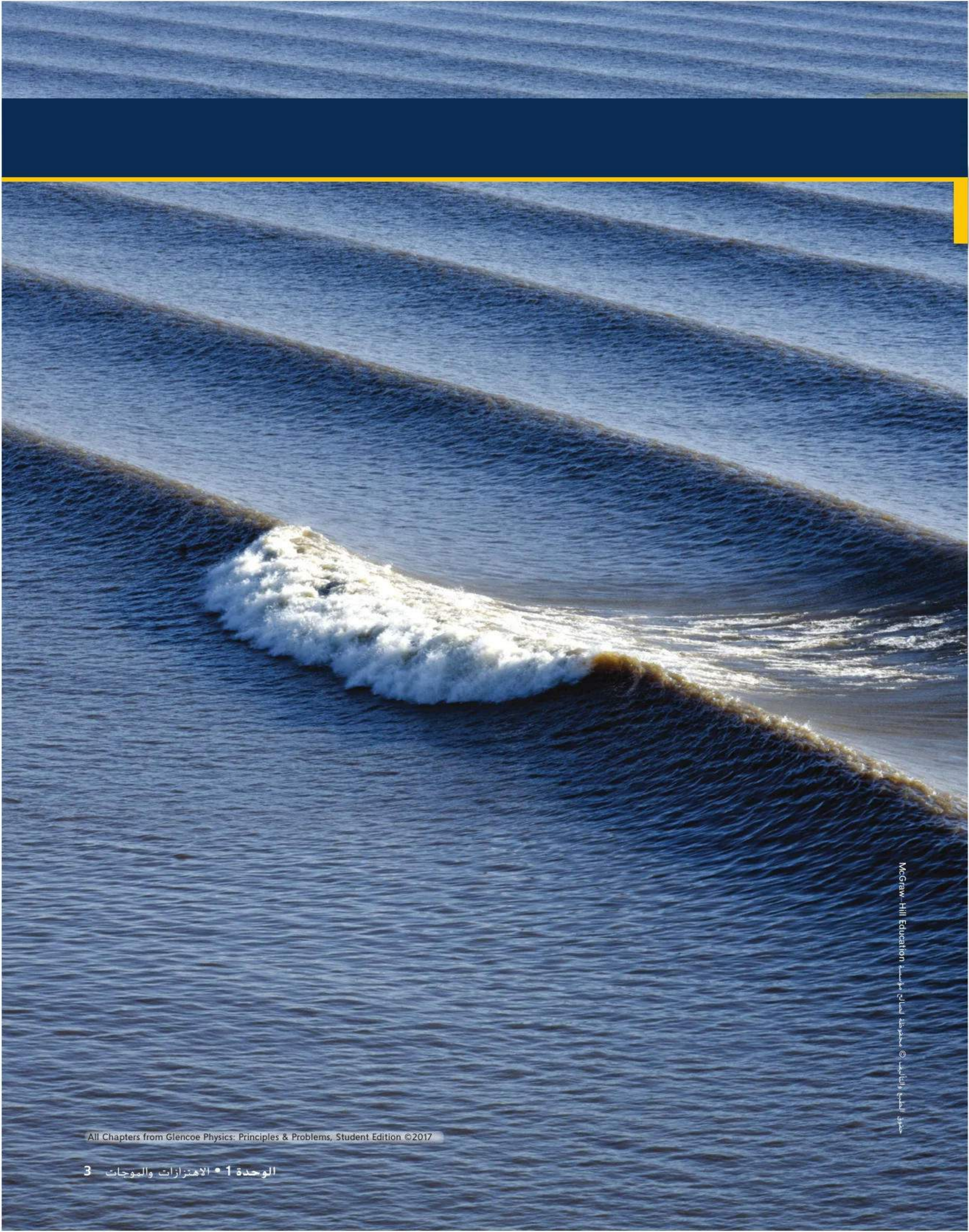
2 خصائص الموجات

3 سلوك الموجات

التجربة الاستهلالية

تفاعل الموجات

ما أنواع الموجات التي يمكن أن تُرسل عبر الزنبرك؟



الحركة الدورية

القسم 1

الفيزياء
في
حياتك
.....

لعلك شاهدت تنويماً مغناطيسياً باستخدام ساعة جيب قديمة، حيث كانت الساعة تعلق بواسطة خيط طويل نسبياً ثم تُسحب جانبياً بزاوية معينة وتترك لتتحرك ذهاباً وإياباً بإيقاع منتظم يشبه حركة البندول البسيط المستخدم في ساعات الحائط الكبيرة. إن حركة ساعة الجيب المعلقة أثناء اهتزازها وحركة البندول داخلها تسمى حركات دورية.

الكتلة المعلقة في الزنبرك

إن حركة جسم فلزي مثبت في الطرف الحر لزنبرك معلق رأسياً إلى أعلى وإلى أسفل وحركة أوتار الغيثارة المهتزة وحركة أغصان الشجر المتمايلة في مهب الريح تشبه إلى حد ما حركة البندول البسيط. وهذا النوع من حركة هذه الأجسام وغيرها تعد من الأمثلة على **الحركة الدورية**.

في الأمثلة السابقة وفي جميع الأجسام التي تتحرك حركة دورية منتظمة تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم صفراً عند موضع ما، ويكون الجسم عندها في حالة اتزان. وعند سحب الجسم المهتز بعيداً من موضع الاتزان تصبح محصلة القوى المؤثرة فيه لا تساوي صفراً، وتعمل محصلة القوى هذه على إعادة الجسم المهتز إلى موضع اتزانه. يُعرف **الزمن الدوري** (T) بأنه الزمن الذي يستغرقه جسم لعمل دورة كاملة من الحركة. تُعرف **سعة اهتزاز الحركة** A بأنها الحد الأقصى للمسافة لإزاحة الجسم على أحد جانبي موضع الاتزان.

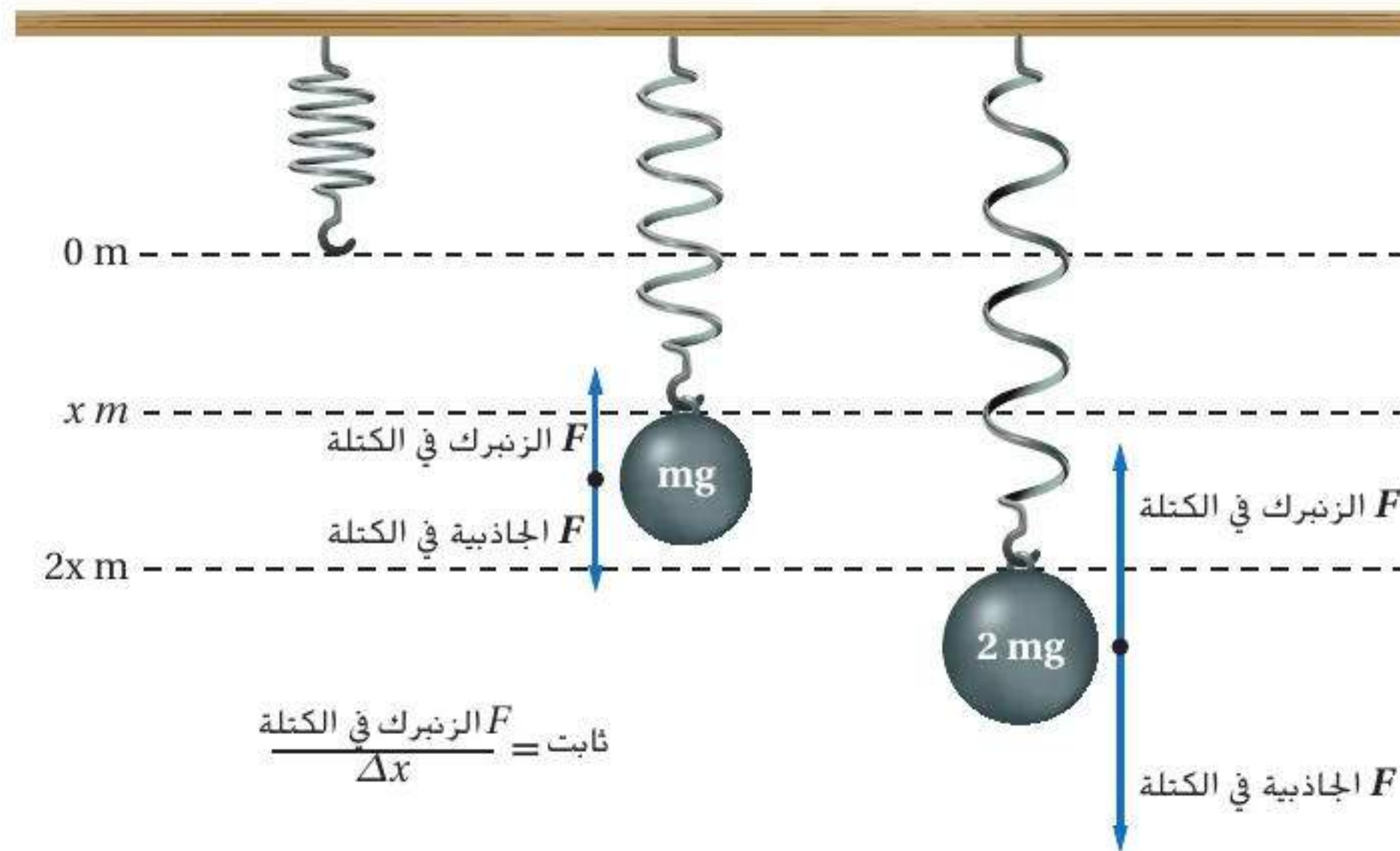
الحركة التوافقية البسيطة في الشكل 1، تتناسب القوة التي يؤثر بها زنبرك طردياً مع استطالته، فإذا سحبنا الكتلة إلى أسفل وتركتها، فإنها سترتد صعوداً وهبوطاً حول موضع الاتزان. وإذا كانت القوة المحصلة التي تعيد الجسم المهتز إلى موضع اتزانه تتناسب طردياً مع إزاحة الجسم ويتجه معاكس فإن الحركة الناتجة تسمى **الحركة التوافقية البسيطة**.

✓ **التأكد من فهم النص** متى تكون حركة الجسم المهتز حركة توافقية بسيطة؟

■ الكتلة المعلقة في زنبرك

الشكل 1 تتناسب القوة التي يؤثر بها الزنبرك في الكتلة المعلقة به طردياً مع إزاحتها.

حدّد الإزاحة إذا كانت الكتلة تساوي 0.5 mg .



الفكرة الرئيسية

تتكرر الحركة الدورية في فترات زمنية متساوية.

الأسئلة الرئيسية

- ما الحركة التوافقية البسيطة؟
- ما مقدار الطاقة المخزنة في الزنبرك؟
- ما العوامل المؤثرة في النظام الدوري لبندول؟

مراجعة المفردات

مجال الجاذبية gravitational

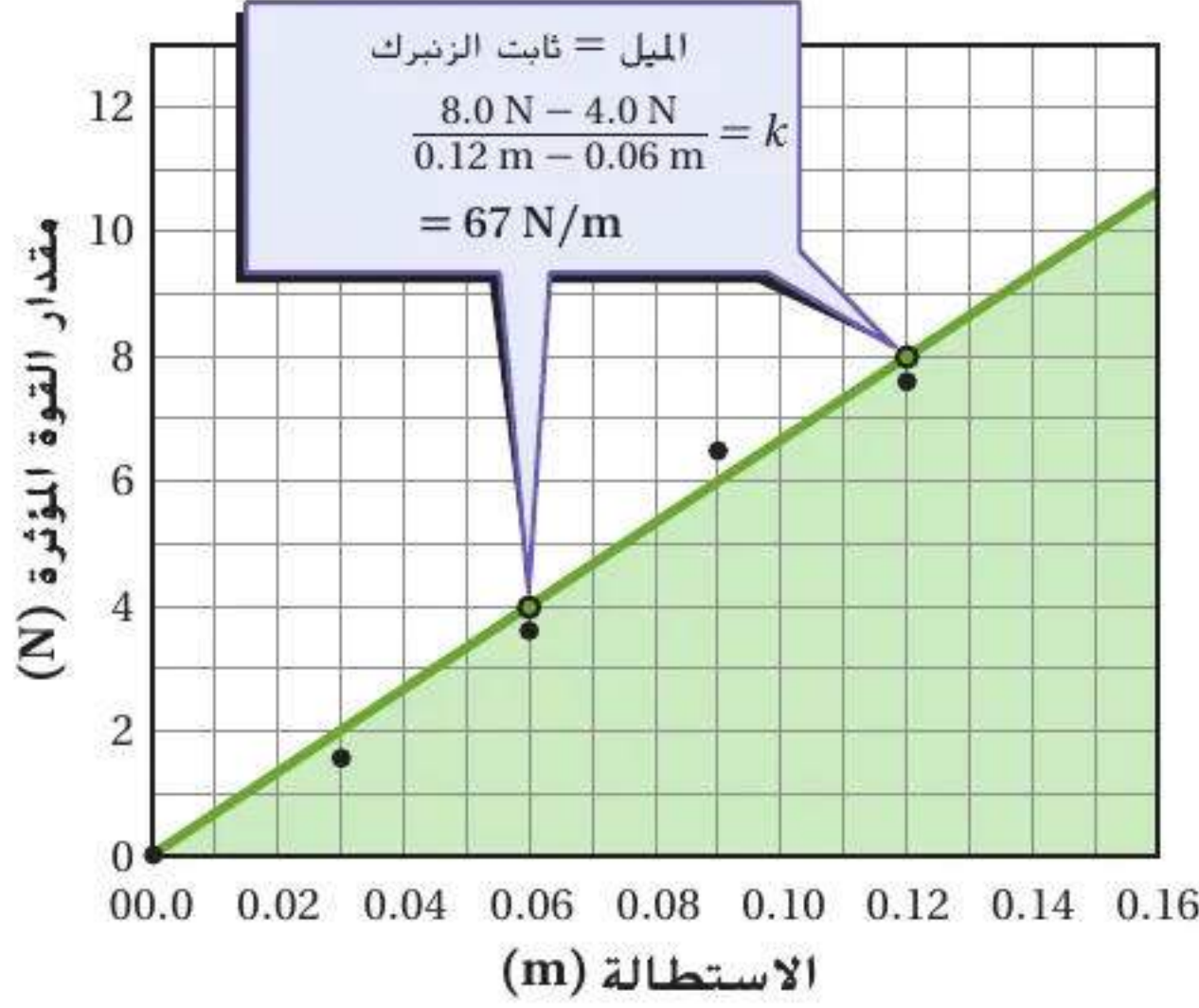
g field: هي القوة التي تؤثر بها الأرض في وحدة الكتل من الأجسام القريبة منها. وتساوي 9.8 N/kg تقريباً بالقرب من سطح الأرض. واتجاهها في اتجاه مركز الأرض.

المفردات الجديدة

periodic motion	حركة دورية
period	الزمن الدوري
amplitude	سعة
simple harmonic motion	حركة توافقية بسيطة
hooke's law	قانون هوك
simple pendulum	بندول بسيط
resonance	رنين



إيجاد ثابت الزنبرك



الجدول 1 مقدار القوة والاستطالة في الزنبرك	
الاستطالة (m)	مقدار القوة المؤثرة في الزنبرك (N)
0.0	0.0
0.030	1.9
0.060	3.7
0.090	6.3
0.12	7.8

الشكل 2 يمكن إيجاد ثابت الزنبرك من حساب ميل المنحنى بين القوة والاستطالة، حيث إن المساحة المحصورة أسفل المنحنى تساوي طاقة الوضع المخزنة في الزنبرك.

قانون هوك

يوضح الجدول 1 نتائج تجريبية للعلاقة بين مقدار القوة التي تؤثر في زنبرك واستطالته. يبين الشكل 2 المستقيم الأفضل تمثيلاً للبيانات. وتشير العلاقة الخطية المبينة في التمثيل إلى العلاقة الطردية بين مقدار القوة المؤثرة في الزنبرك، واستطالته. ويخضع الزنبرك الذي تؤثر فيه قوة تتناسب طردياً مع استطالته **لقانون هوك**.

قانون هوك

القوة المؤثرة في زنبرك تساوي حاصل ضرب ثابت الزنبرك في استطالته أو انضغاطه من موضع اتزانه.

$$F = -kx$$

حيث k ثابت الزنبرك الذي يعتمد على الصلابة وخصائص أخرى للزنبرك و x استطالة الزنبرك من موضع اتزانه. لاحظ أن k هو ميل المستقيم للخط البياني للعلاقة بين مقدار القوة والاستطالة للزنبرك. ويشير الميل الحاد إلى أن قيمة k تكون كبيرة. ويقاس ثابت هوك باستخدام وحدات القياس الدولية بالوحدة (N/m).

تشير الإشارة السالبة في قانون هوك إلى أن اتجاه القوة التي يؤثر بها الزنبرك تكون معاكسة لاتجاه الاستطالة أو الانضغاط للزنبرك، بينما يكون اتجاه القوة التي يؤثر بها الزنبرك باتجاه موضع الاتزان دائماً.

التأكد من فهم النص اشرح دلالة الإشارة السالبة في قانون هوك.

قانون هوك و الزنبرك المرن ينطبق قانون هوك على زنبركات بشرط أن يبقى التناسب ثابتاً بين القوة المؤثرة والاستطالة، أما إذا أصبح التناسب غير ثابت فإنه لا يمكن تطبيق قانون هوك. فهو لا ينطبق على الأشرطة المطاطية، لأن التناسب بين القوة والاستطالة غير ثابت. وبشكل عام فإن الزنبركات التي ينطبق عليها قانون هوك تُسمى زنبركات مرنة، بينما الزنبركات التي لا ينطبق عليها قانون هوك تسمى زنبركات غير مرنة. وفي الزنبرك الواحد نطبق قانون هوك عليه في حدود ثبات التناسب بين القوة والاستطالة، لكن عندما تزيد القوة على حد معين فإن استطالة الزنبرك تزداد بشكل كبير. عندها لا تكون الاستطالة متناسبة مع القوة فلا يمكن تطبيق قانون هوك. وعندها نقول إن الزنبرك قد تجاوز حد المرونة.

طاقة الوضع المرونية للزنبرك

عندما يستطيل زنبرك فإنه يكتسب طاقة وضع مرونية، والشغل الذي تبذله القوة المؤثرة يساوي المساحة تحت المنحنى البياني للعلاقة بين القوة والاستطالة. ما مقدار الشغل المبذول لاستطالة الزنبرك؟ في الشكل 2، تمثل المساحة تحت المنحنى الشغل المبذول لاستطالة الزنبرك، ويساوي هذا الشغل طاقة الوضع المرونية المخزنة في الزنبرك. ولحساب طاقة الوضع المرونية في الزنبرك، أوجد مساحة المثلث، حيث تمثل قاعدته الإزاحة x وارتفاعه يساوي مقدار القوة kx وفق قانون هوك. لذا يعبر عن طاقة الوضع المرونية المخزنة في الزنبرك من العلاقة التالية:

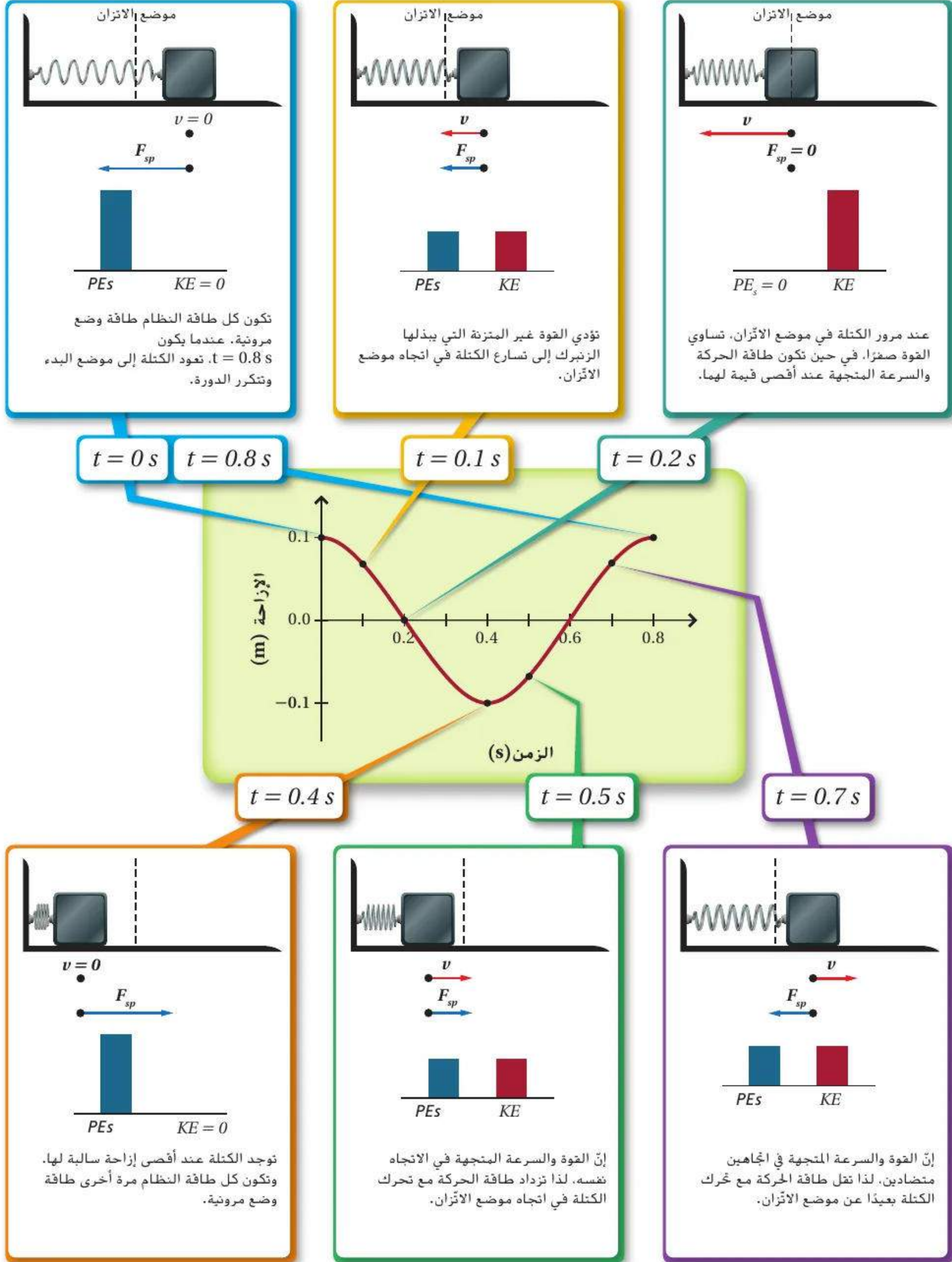
طاقة الوضع المرونية في الزنبرك

طاقة الوضع المرونية في الزنبرك تساوي نصف حاصل ضرب ثابت الزنبرك في مربع الإزاحة.

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

وكما يبين الشكل 3 فإنه أثناء الحركة التوافقية البسيطة تتحول طاقة الوضع المرونية للزنبرك إلى طاقة حركة، ثم إلى طاقة وضع وهكذا.

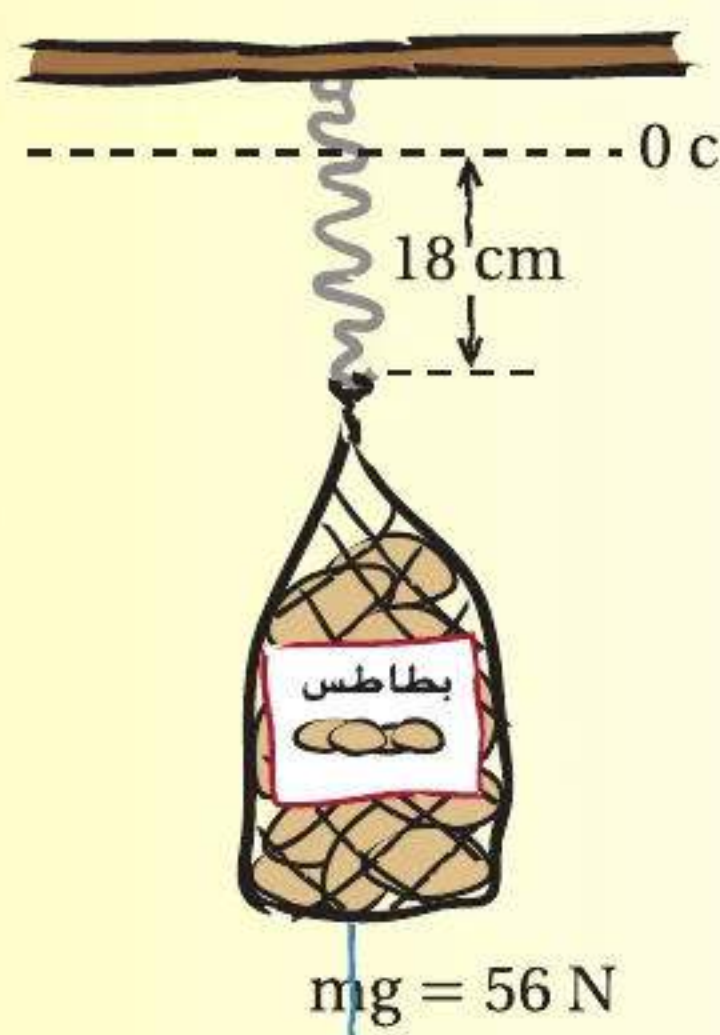
■ الحركة التوافقية البسيطة



الشكل 3 تبقى الطاقة الميكانيكية للنظام ثابتة أثناء الاهتزاز.

حدد في أي موضع تصبح طاقة الوضع في نظام الكتلة والزنبرك عند أقصى قيمة لها؟

مثال 1



ثابت الزنبرك والطاقة المخزنة فيه يستطيل زنبرك بمقدار 18 cm عندما يُعلّق كيس من البطاطس يزن 56 N من طرفه.

a. احسب ثابت الزنبرك.

b. ما مقدار طاقة الوضع المرونية الكامنة في الزنبرك عندما يستطيل بمقدار هذه المسافة؟

1 تحليل المسألة

• ارسم رسماً تخطيطياً.

• وضح مسافة استطالة الزنبرك وموضع اتزانه وحددهما.

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

2 حساب المجهول

a. استخدم قانون هوك واكتبه بالصورة الآتية:

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

$$= -\frac{-56 \text{ N}}{0.18 \text{ m}}$$

$$= 310 \text{ N/m}$$

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

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

$$= 5.0 \text{ J}$$

3 تقييم الإجابة

• هل الوحدات صحيحة؟ تُعدّ N/m الوحدة الصحيحة لثابت الزنبرك. والوحدة الصحيحة للطاقة المخزنة هي: $(\text{N/m})(\text{m}^2) = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$.

• هل المقدار حقيقي؟ يساوي متوسط مقدار القوة التي يؤثر بها الزنبرك 0 و 56 N. ويساوي الشغل المبذول $W = Fx = (28 \text{ N})(0.18 \text{ m}) = 5.0 \text{ J}$.

▶ بالتعويض عن $x = 0.18 \text{ m}$, $F = -56 \text{ N}$. تصبح القوة بالسالب لأنها في الاتجاه المعاكس لـ x .

▶ بالتعويض عن $x = 0.18 \text{ m}$, $k = 310 \text{ N/m}$.

تطبيقات

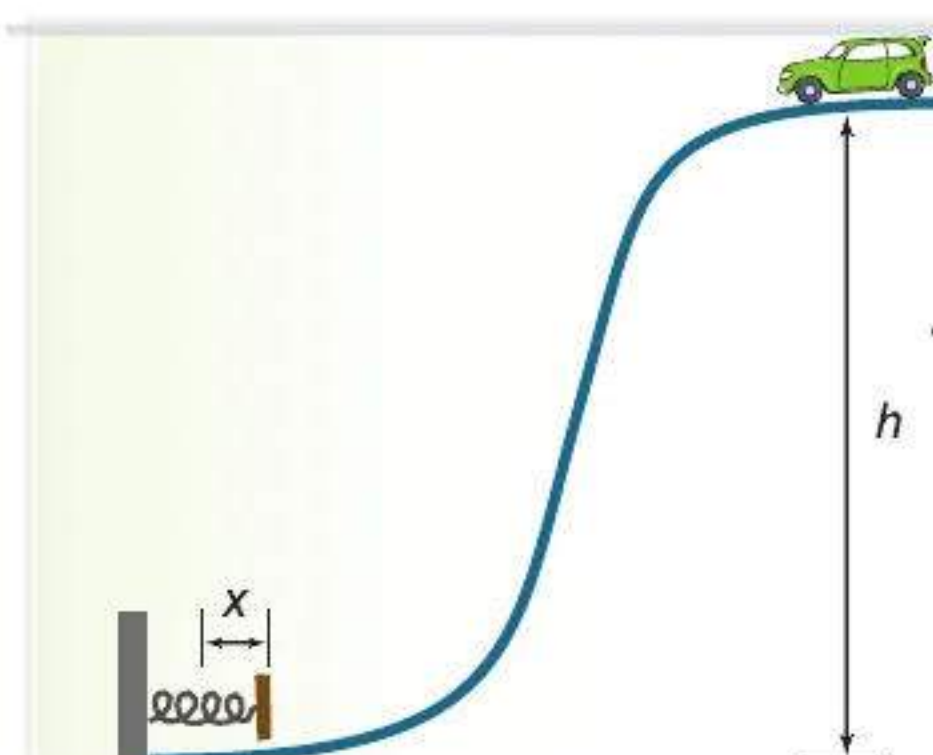
3. إذا كان ثابت زنبرك 56 N/m. ما مقدار استطالته عندما تُعلّق كتلة تزن 18 N من طرفه؟

4. تحدّ زنبرك ثابتته 256 N/m. ما مقدار المسافة التي يجب أن يستطيلها ليخزن طاقة وضع مرونية تساوي 48 J؟

1. ما مقدار ثابت زنبرك يستطيل بمقدار 12 cm عندما يُعلّق به جسم يزن 24 N؟

2. ينضغط زنبرك ثابتته $k = 144 \text{ N/m}$ بمقدار 16.5 cm. كم تبلغ طاقة الوضع المرونية للزنبرك؟

مسألة تحفيزية

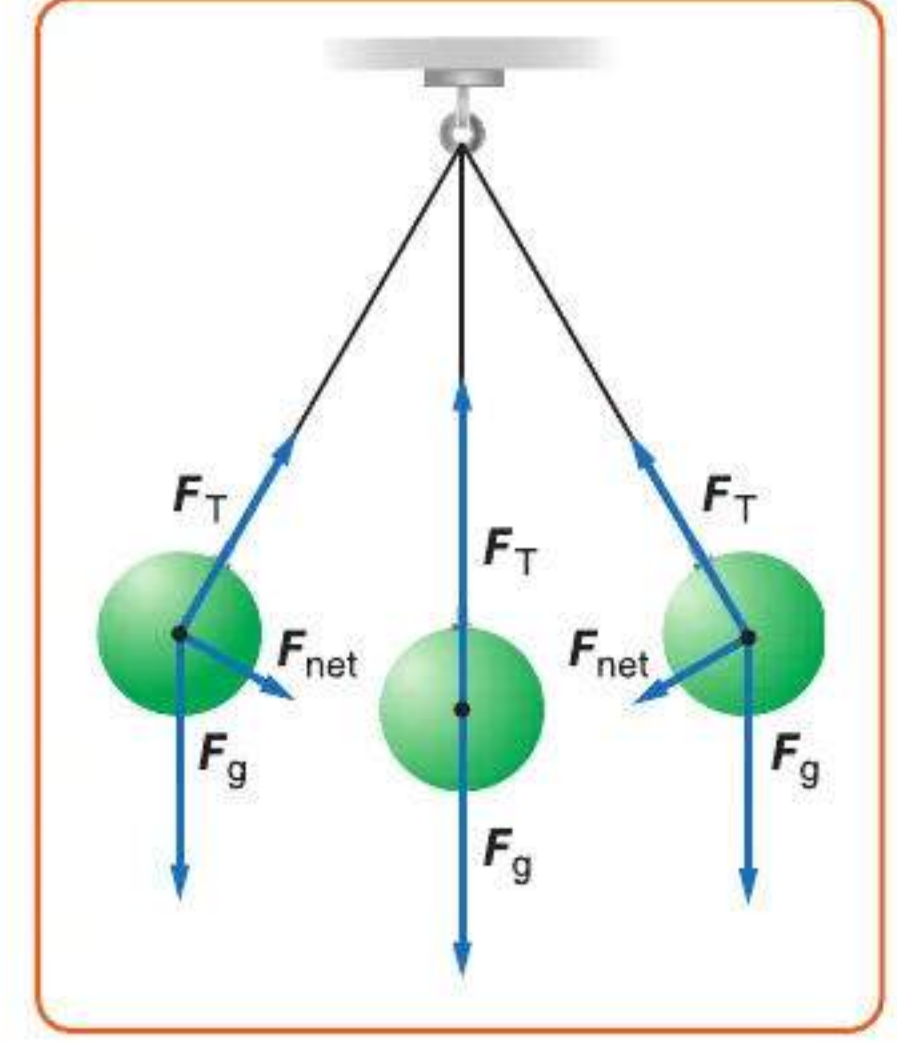


تقف سيارة كتلتها m أعلى تل ارتفاعه h قبل أن تهبط من دون احتكاك باتجاه حاجز اصطدام أسفل التل. يحتوي على زنبرك ثابتته k . مصمم بحيث يوقف السيارة بأقل ضرر.

1. أوجد بدلالة m و h و k و g . أقصى مسافة (x) لانضغاط الزنبرك عند اصطدامه بالسيارة.
2. إذا هبطت السيارة من تل يزيد ارتفاعه بمقدار الضعف، فما مقدار الزيادة في انضغاط الزنبرك؟
3. ماذا سيحدث بعد وقوف السيارة؟

البندول البسيط

من خلال حركة البندول البسيط فإنه يمكننا توضيح مفهوم الحركة التوافقية البسيطة، وذلك من خلال تأرجح الثقل المعلق بخيطه، **فالبندول** يتكوّن من جسم صلب مصمت ذي كثافة عالية يسمى ثقل البندول ويعلق في الطرف الحر لخيط أو سلك طوله l . وعند سحب الثقل مبتعدًا عن موضع الاتزان، وتركه ليتحرك بحرية، فإنه يتأرجح ذهابًا وإيابًا في اتجاهين متعاكسين حول موضع الاتزان كما في **الشكل 4**. يؤثر الخيط بقوة شد مقدارها (F_T) في ثقل البندول، وتؤثر الجاذبية الأرضية أيضًا بقوة (F_g) ويتحرك الثقل بتأثير محصلة القوتين، وقد تم التعبير عنها في الرسم بثلاث مراحل. ففي الموضعين الأيمن والأيسر في **الشكل 4** تكون القوة المحصلة المؤثرة في ثقل البندول وتسارعه أكبر ما يمكن والسرعة المتجهة صفرًا. بينما تكون القوة المحصلة ثم التسارع صفرًا عند موضع الاتزان وتكون السرعة المتجهة أكبر ما يمكن، ويمكنك ملاحظة أن القوة المحصلة تمثل قوة إرجاع، فتحاول إعادة الجسم المهتز إلى موضع الاتزان، وتكون دائمًا معاكسة لاتجاه الإزاحة. عندما تكون زاوية الإزاحة صغيرة (أقل من 15° تقريبًا)، فإن قوة الإرجاع تتناسب طرديًا مع الإزاحة، وعندها يطلق على هذه الحركة، حركة توافقية بسيطة. ويسمى الزمن المستغرق لعمل اهتزازة كاملة بالزمن الدوري للحركة، ويحسب من خلال المعادلة التالية:



الشكل 4 تُعدّ حركة البندول مثالًا للحركة التوافقية البسيطة لأنّ قوة الإرجاع تتناسب طرديًا مع الإزاحة من موضع الاتزان.

الزمن الدوري للبندول

يساوي الزمن الدوري للبندول حاصل ضرب 2π في الجذر التربيعي لطول البندول مقسومًا على عجلة الجاذبية الأرضية.

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

لاحظ أنّ الزمن الدوري لا يعتمد إلا على طول البندول وعجلة الجاذبية الجاذبية وليس على كتلة الثقل أو سعة الاهتزازة. وثمة استخدام علمي للبندول وهو قياس g ، الذي يمكن أن يختلف إلى حد ما في مواقع مختلفة على الأرض.

✓ **التأكد من فهم النص** وضح العلاقة بين الزمن الدوري للبندول البسيط وكتلة ثقل البندول.

مختبر الفيزياء

اهتزازات البندول

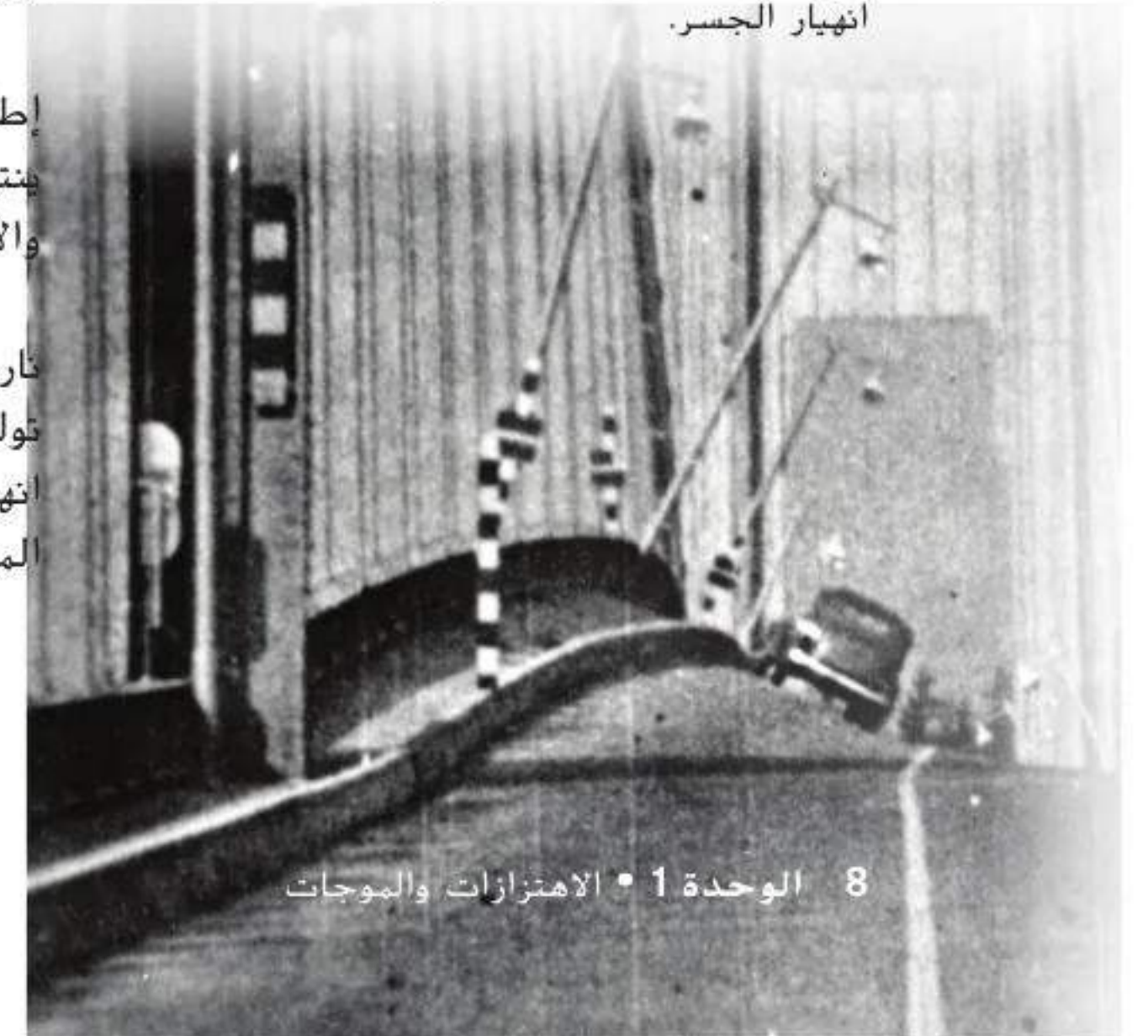
صمّم التجربة بنفسك كيف يمكن أن يوضّح البندول خصائص الموجات؟

الرنين

لكي تستطيع التأرجح على أرجوحة وأنت جالس عليها، فلا بد من أن تقوم بدفعها عن طريق الانحناء إلى الخلف وسحب حبلها من النقطة نفسها في كل اهتزازة من الحركة، أو تطلب المساعدة من أحد الأشخاص ليدفعك دفعات متكررة وفي اللحظات المناسبة. يحدث **الرنين** عندما تؤثر قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية متساوية (منتظمة)، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة اهتزاز الحركة أو الذبذبة وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم مساوية للزمن الدوري للحركة (للذبذبة).

ومن الأمثلة الشائعة على الرنين تأرجح سيارة إلى الأمام والخلف من أجل تحرير إطاراتها المغروزة في الرمل، والقفز المتواتر عن منصات السباحة أو الغوص، وقد ينتج من السعة الكبيرة الناتجة من الرنين شعورًا بالإجهاد. وكذلك يستخدم في الآلات والأدوات الموسيقية لتضخيم الأصوات، وفي الساعات لزيادة دقتها. في حالة شهيرة ومثيرة جدًا، أدّت القوى التي تولّدها الرياح إلى انهيار جسر تكوما ناروس الموضّح في **الشكل 5**. حيث أضافت القوى المتتالية والمتكررة بانتظام والتي تولّدها الرياح، طاقة إلى تذبذب الجسر مما زاد من سعة اهتزازه بشكل كبير وأدى إلى انهياره. ولهذا فإنه يجب أن يهتم المهندسون والمهندسون اهتمامًا بالغًا عند تصميم المباني وإنشائها لضمان عدم تأثرها بالرنين.

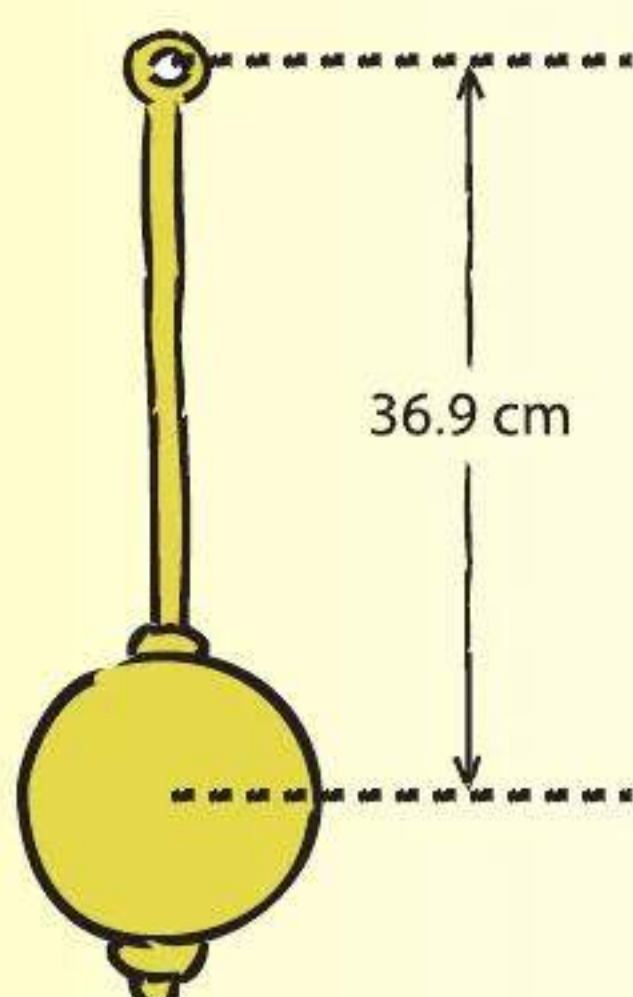
الشكل 5 ساعدت الرياح الموجودة حول جسر تكوما ناروس على تحريك الجسر. عندما تحرك، أدى تفاعل معقد بين القوى الموجودة في هيكل الجسر والقوى التي تولّدها الرياح إلى انهيار الجسر.



8 الوحدة 1 • الاهتزازات والموجات

مثال 2

إيجاد g باستخدام البندول الزمن الدوري لبندول طوله 36.9 cm هو 1.22 s. فما تسارع الجاذبية الأرضية عند موضع البندول البسيط؟



1 تحليل المسألة

- ارسم رسماً تخطيطياً.
- حدد طول البندول.

المجهول
 $g = ?$

المعلوم
 $\ell = 36.9 \text{ cm}$
 $T = 1.22 \text{ s}$

2 حساب المجهول

▶ أوجد قيمة g .

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

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

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

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

3 تقييم الإجابة

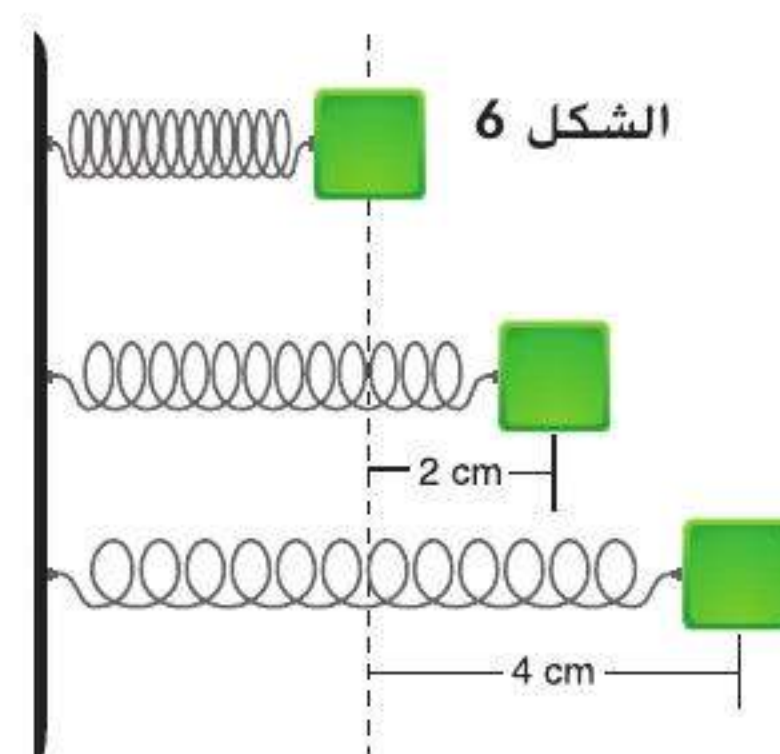
- هل الوحدات صحيحة؟ تعد الوحدة N/kg صحيحة لمجال الجاذبية.
- هل المقدار حقيقي؟ تقترب قيمة g المحسوبة من القيمة المعيارية 9.8 N/kg المقبولة. يمكن أن يكون هذا البندول على ارتفاع عالٍ فوق مستوى سطح البحر.

تطبيقات

5. ما مقدار الزمن الدوري لبندول يبلغ طوله 1.0 m؟
6. ما الطول المناسب لبندول على سطح القمر عندما يكون $g = 1.6 \text{ N/kg}$ حتى يكون زمنه الدوري 2.0 s؟
7. تحد إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على أحد الكواكب، فما مقدار g لهذا الكوكب؟

القسم 1 مراجعة

8. الفكرة الرئيسية اشرح لماذا يُعدّ البندول مثالاً للحركة الدورية.
9. طاقة الزنبرك إنَّ الزنبركات الموضحة في الشكل 6 متطابقة. قارن بين طاقات الوضع في الزنبركين السفليين.
10. قانون هوك قد يتشابه زنبركان ولكن يكون ثابت الزنبرك لكل منهما مختلفاً عن الآخر. كيف يمكنك تمييز الزنبرك الذي ثابتته أكبر؟
11. قانون هوك تعلق أوزان مختلفة في شريط مطاطي بواسطة خطاف، فإذا كانت العلاقة ما بين هذه الأوزان واستطالة الشريط المطاطي عكسية، كيف يمكنك أن توضح من خلال التمثيل البياني إذا كان الشريط المطاطي يخضع لقانون هوك؟
12. البندول إلى أي مدى يجب أن يتغير طول البندول حتى يتضاعف زمنه الدوري؟ كيف يجب أن يتغير الطول حتى يقل الزمن الدوري بمقدار النصف؟
13. الرنين إذا اختل توازن إطار سيارة، فإنها ستتهتز بقوة عند سرعة محددة ولكن ليس بسرعة أكبر أو أقل. فسر ذلك.
14. التفكير الناقد قارن بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة.



خصائص الموجات

القسم 2

الفيزياء في حياتك

عندما ترمي كرة إلى أحد أصدقائك، وهي جسيم مادي، فسوف تنتقل إلى يده حاملة معها طاقة. أما إذا أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وهزّزت الطرف الذي تمسكه بسرعة، فسيبقى الحبل في يدك ولا تنتقل مادته إلى زميلك، ولكن الطاقة تنتقل إليه عبر الحبل.

الموجات الميكانيكية

تُعرف **الموجة** أنها اضطراب ينقل الطاقة خلال المادة أو الفراغ من دون نقل المادة. درست كيف تحكم قوانين نيوتن للحركة وقانون بقاء الطاقة سلوك الجسيمات. تحكم هذه القوانين أيضًا سلوك الموجات. وتُعدّ موجات الماء والموجات الصوتية والموجات التي تنتقل على طول حبل أو زنبرك موجات ميكانيكية. وكما يمكن أن تنتقل الموجات الميكانيكية عبر وسط مادي مثل الماء أو الهواء أو الحبل.

الموجات المستعرضة إنّ **الموجة** هي اهتزازة مفردة أو اضطراب ينتقل عبر وسط ما. في الجزء الأيمن من الشكل 7، تُحدث الموجة اضطرابًا في الحبل في الاتجاه العمودي، ولكن تنتقل الموجة أفقيًا. تُسمى الموجة التي تُحدث اضطرابًا في الجسيمات الموجودة في الوسط عموديًا على اتجاه حركتها **الموجة المستعرضة**. وإذا استمرت الاهتزاز بمعدل ثابت، فستنشأ **موجة دورية**.

الموجات الطولية عندما تضغط لفات زنبرك بشكل متراص ثم تتركها فجأة، تتشكل موجة أو نبضة تنتشر في اتجاه اهتزاز حلقات زنبرك نفسه، في كلا الاتجاهين. وتسمى الموجات التي تنتشر بهذه الطريقة **الموجات الطولية** لأن الاضطراب ينتشر في اتجاه حركة الموجة نفسها. ومن الأمثلة الأخرى عليها موجات الصوت. حيث تنضغط الجسيمات وتمدد بالتناوب على طول مسار الموجة.



الفكرة الرئيسية

تنقل الموجات الطاقة من دون نقل المادة.

الأسئلة الرئيسية

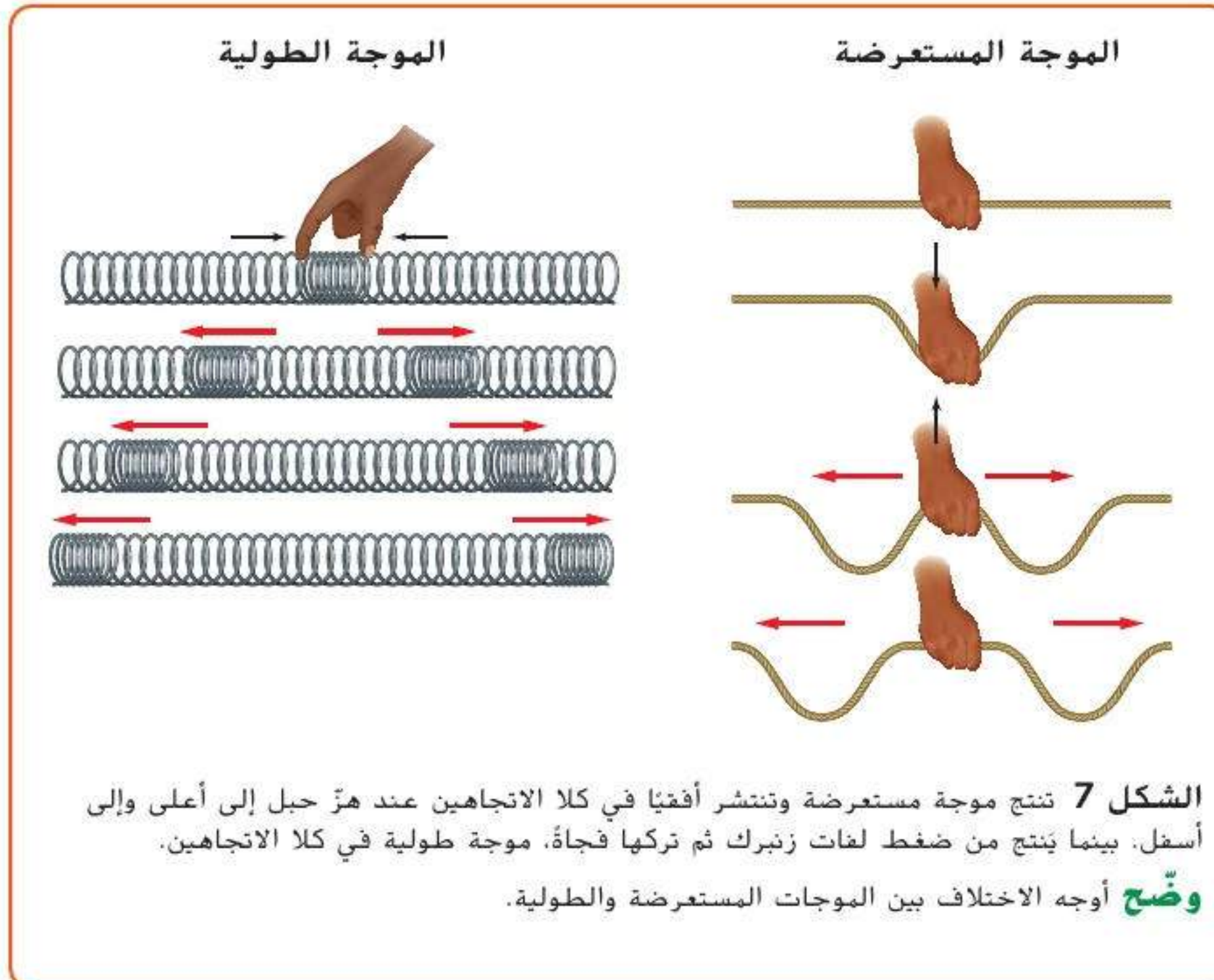
- ما الموجات؟
- ما وجه المقارنة بين الموجات المستعرضة والطولية؟
- ما العلاقة بين سرعة الموجة وطول الموجة والتردد؟

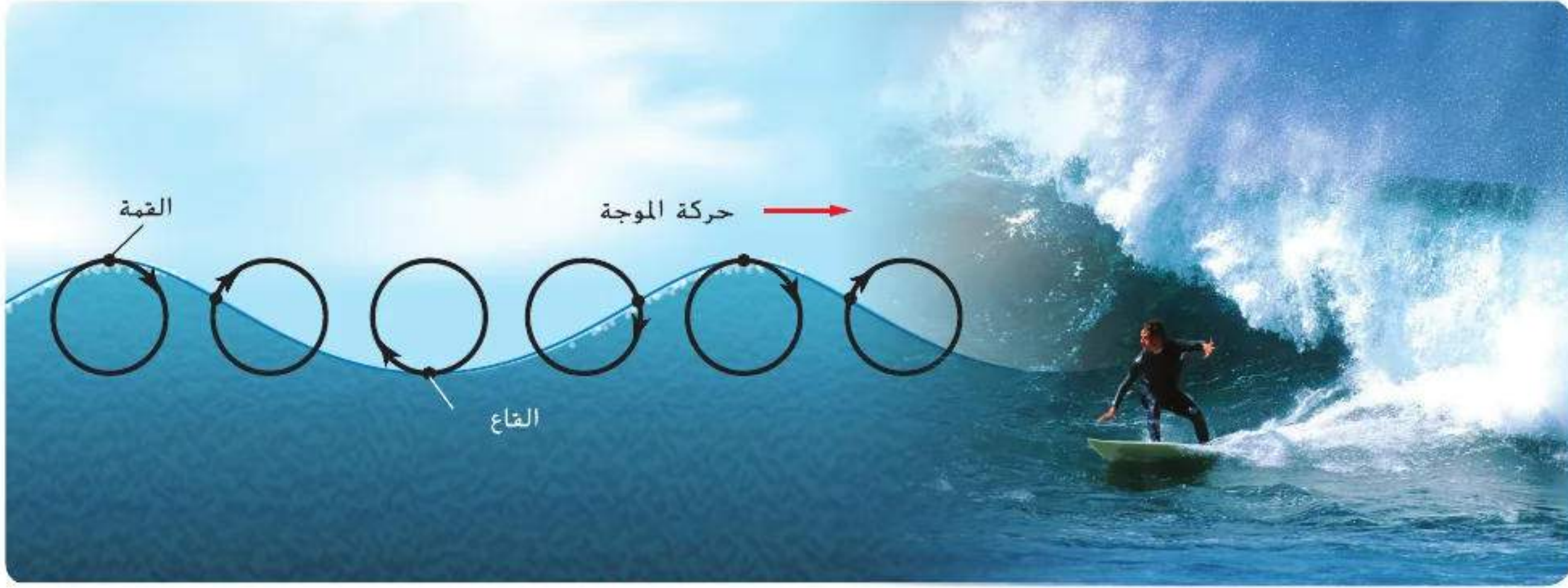
مراجعة المفردات

الزمن الدوري **period**: في الحركة الدورية، يُعدّ مقدار الزمن اللازم لجسم لتكرار دورة واحدة كاملة من الحركة

المفردات الجديدة

wave	موجة
pulse	نبضة
موجة مستعرضة	
transverse wave	
periodic wave	موجة دورية
longitudinal wave	موجة طولية
surface wave	موجة سطحية
trough	قاع
crest	قمة
wavelength	طول موجة
frequency	تردد



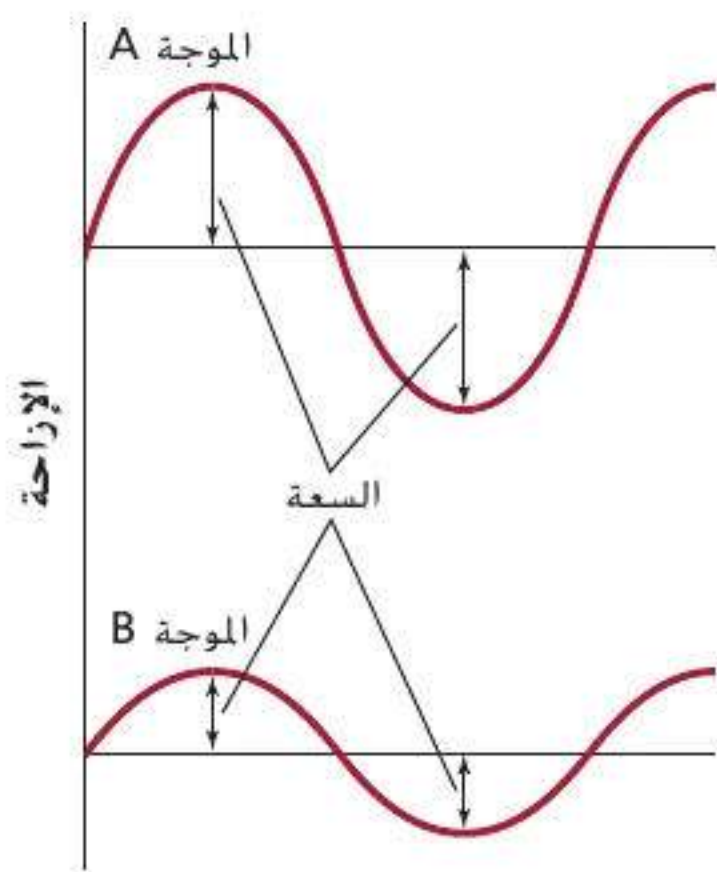


الشكل 8 تُحدث الموجات السطحية في الماء حركة موازية لاتجاه حركة الموجة وعمودية عليها. وعندما تتفاعل هذه الموجات مع الشاطئ، تتوقف الحركة الدائرية المنتظمة وتنكسر الموجات على الشاطئ.

الفيزياء في الحياة اليومية

تسونامي ضرب حاجز مائي يبلغ ارتفاعه عشرة أمتار مناطق في الساحل الشرقي من اليابان في 11 مارس 2011 إنَّ التسونامي عبارة عن سلسلة من موجات المحيطات التي يمكن أن يزيد طول موجتها على 100 km وزمنها الدوري على ساعة واحدة وتتراوح سرعتها الموجية بين 500 و 1000 km/h.

الشكل 9 تُقاس سعة الموجة من موضع الاتزان إلى أبعد نقطة على جانبي موضع اتزان.



الموجات السطحية تُعدّ الموجات التي تنشأ في أعماق البحيرات أو المحيطات موجات طولية. بينما تتبع جسيمات الماء عند السطح مسارًا دائريًا موازيًا لاتجاه حركة الموجة أحيانًا وعموديًا على اتجاه حركة الموجة في أحيان أخرى، تسمى كل منها **موجة سطحية**. كما هو مبين في **الشكل 8**. تنتقل جسيمات الوسط المهتز (الماء في هذه الحالة) بالتوازي مع اتجاه حركة الموجة أعلى المسار الدائري وأسفله، وهذا ينطبق على الموجات الطولية. أما عند الجانبين الأيمن والأيسر للمسار الدائري فتتحرك الجسيمات إلى أعلى وأسفل، وهذه الحركة الصاعدة والهابطة تكون عمودية على اتجاه الموجة، كما يحدث في الموجة المستعرضة. لذا فإن كل موجة من هذه الموجات هي موجة سطحية لها خصائص كل من الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

خصائص الموجة

تتشارك الموجات في مجموعة من الخصائص، وتعتمد بعض الخصائص على كيفية تكوّن الموجة، بينما تعتمد خصائص أخرى على طبيعة الوسط الذي تنتقل الموجة من خلاله.

السعة ما وجه الاختلاف بين الموجة الناجمة عن هزّ حبل بلطف والموجة الناجمة عن هزّه بعنف؟ إنَّ هذا الاختلاف يشبه الاختلاف بين موجة تنشأ في بركة وموجة تنشأ في محيط حيث تكون سعاتهما مختلفتين. درست سابقًا أنَّ سعة الحركة الدورية هي أقصى مسافة من موضع الاتزان. وبالمثل فكما هو موضّح في **الشكل 9**، إنَّ سعة الموجة المستعرضة هي أقصى إزاحة للموجة من موضع الاتزان. ونظرًا إلى أنَّ السعة عبارة عن مسافة، فهي دائمًا موجبة. ستعرف المزيد عن قياس سعة الموجات الطولية عند دراسة الصوت.

طاقة الموجة تتوقف سعة الموجة على طريقة حدوث الموجة. إذ يجب إضافة المزيد من الطاقة إلى النظام لإنتاج موجة ذات سعة أكبر. فعلى سبيل المثال، تنتج الرياح الشديدة موجات سعاتها أكبر من سعات الموجات التي تنتجها النسائم اللطيفة. فالموجات ذات السعات الكبيرة تنقل قدرًا كبيرًا من الطاقة، في حين تنقل الموجات ذات السعات الصغيرة قدرًا قليلًا من الطاقة. قد تحرك الموجة ذات السعة الصغيرة الرمال على الشاطئ بضعة سنتيمترات، بينما قد تقتلع الموجة العملاقة شجرة وتحركها.

في ما يتعلق بالموجات التي تتحرّك بالسرعة نفسها، يتناسب معدل نقل الطاقة طرديًا مع مربع السعة. بالتالي، تؤدي مضاعفة سعة الموجة إلى زيادة مقدار الطاقة التي تنقلها الموجة في الثانية الواحدة بمقدار أربعة أضعاف.

✓ **التأكد من فهم النص** توقّع مقدار زيادة معدل نقل الطاقة في وحدة الزمن إذا زادت سعة الموجة إلى ثلاثة أمثال.

■ الموجة الميكانيكية

طول الموجة بدلاً من التركيز على نقطة واحدة على الموجة، تخيل أنك تأخذ لقطة للموجة بحيث يمكنك رؤية الموجة بأكملها في لحظة واحدة من الزمن. توضّح الصورة الموجودة في الجزء العلوي من الشكل 10 أنّ كل نقطة في أسفل الموجة المستعرضة تسمى **القاع** وأنّ كل نقطة في أعلى الموجة المستعرضة تسمى **قمة** الموجة. وتُسمى أقصر مسافة بين نقطتين يتكرر فيها نمط الموجة نفسه **طول الموجة**. فالمسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين تساوي الطول الموجي (λ).

السرعة ما مقدار سرعة انتقال الموجة؟ يمكن إيجاد سرعة الموجة بالطريقة نفسها التي تستخدمها لتحديد سرعة سيارة متحركة. أولاً، قم بقياس مسافة حركة إحدى القمم أو القيعان خلال فترة زمنية معينة (Δd). ثم اقسّم الناتج على الفترة الزمنية (Δt) لإيجاد السرعة.

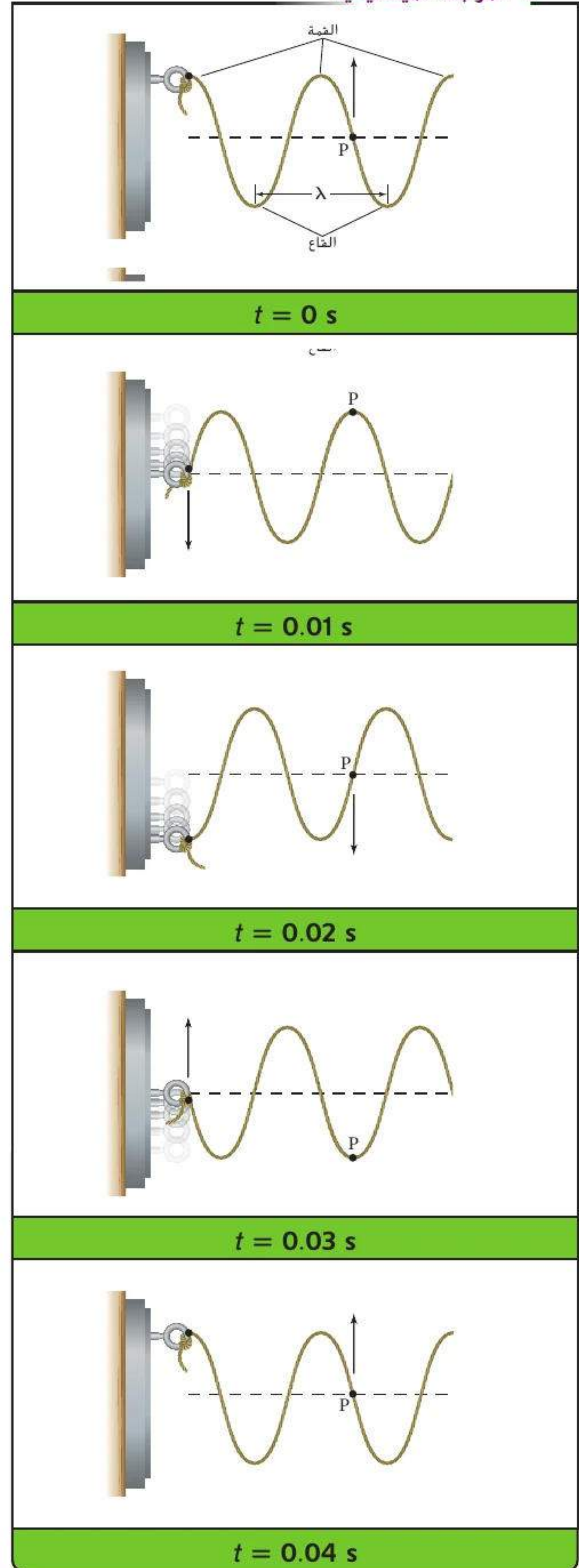
$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

في ما يتعلق بمعظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على حد سواء باستثناء موجات الماء السطحية لا تتوقف سرعة الموجة على السعة أو التردد أو طول الموجة، لكنها تعتمد على الوسط الذي تنتقل الموجات من خلاله فقط.

✓ **التأكد من فهم النص** لخص مدى تأثير تغيير سعة الموجة أو ترددها أو طول موجتها في سرعتها.

طور الموجة يُطلق على نقطتين على الموجة يفصل بينهما طول موجي واحد أو مضاعفاته أنهما في الطور نفسه. والجسيمان الموجودان في الوسط نفسه يُعدان في طور واحد إذا كان لهما الإزاحة نفسها عن موضع الاتزان، ولهما السرعة نفسها. أما إذا كان الجسيمان في الوسط متعاكسين في الإزاحة وفي السرعة، فإنهما يكونان متعاكسين في الطور حيث يكون فرق الطور بينهما 180° . إن فرق الطور بين القمة والقاع للموجة يساوي 180° . وبناءً عليه فإن فرق الطور بين أي نقطتين على الموجة ينحصر بين 0° و 180° إحداهما بالنسبة إلى الأخرى. وبالتالي فإن فرق الطور يمكن أن ينحصر بين 0° و 360° درجة بين نقطتين في الوسط نفسه.

الزمن الدوري والتردد على الرغم من أنّ سرعة الموجة والسعة يمكنهما وصف أي موجة، إلا أن الزمن الدوري (T) والتردد ينطبقان فقط على الموجات الدورية. درست سابقاً أنّ الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة، مثل حركة البندول البسيط، هو الزمن الذي الجسم لإتمام دورة واحدة كاملة. وهذا الجسم عادة يكون هو مصدر الموجة الدورية أو المسبب لها، ويكون الزمن الدوري للموجة مساوياً للزمن الدوري للمصدر. يوضح الشكل 10 أنّ الزمن الدوري (T) يساوي 0.04 s وهو الزمن الذي يستغرقه المصدر لصنع دورة واحدة كاملة. وهو كذلك الزمن الذي تتطلبه النقطة P الموجودة على الحبل حتى تعود إلى موضعها الأول وسرعتها المتجهة الأولى.



الشكل 10 يحرك مولد الذبذبات الميكانيكي الطرف الأيسر من الحبل إلى أعلى وإلى أسفل لاستكمال اهتزازة في غضون 0.04 s .

حساب التردد إنّ **تردد** الموجة (f) هو عدد الذبذبات الكاملة التي تُحدثها نقطة على هذه الموجة كل ثانية. يُقاس التردد بالهرتز (Hz). ويمثل الهرتز الواحد ذبذبة واحدة في الثانية ويساوي $1/s$ أو s^{-1} . يرتبط التردد والزمن الدوري للموجة بالمعادلة التالية.

تردد الموجة

يساوي تردد الموجة مقلوب الزمن الدوري.

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

يعتمد كلّ من الزمن الدوري والتردد للموجة على مصدر الموجة فقط. ولا يعتمد كلّ منهما على سرعة الموجة أو الوسط.

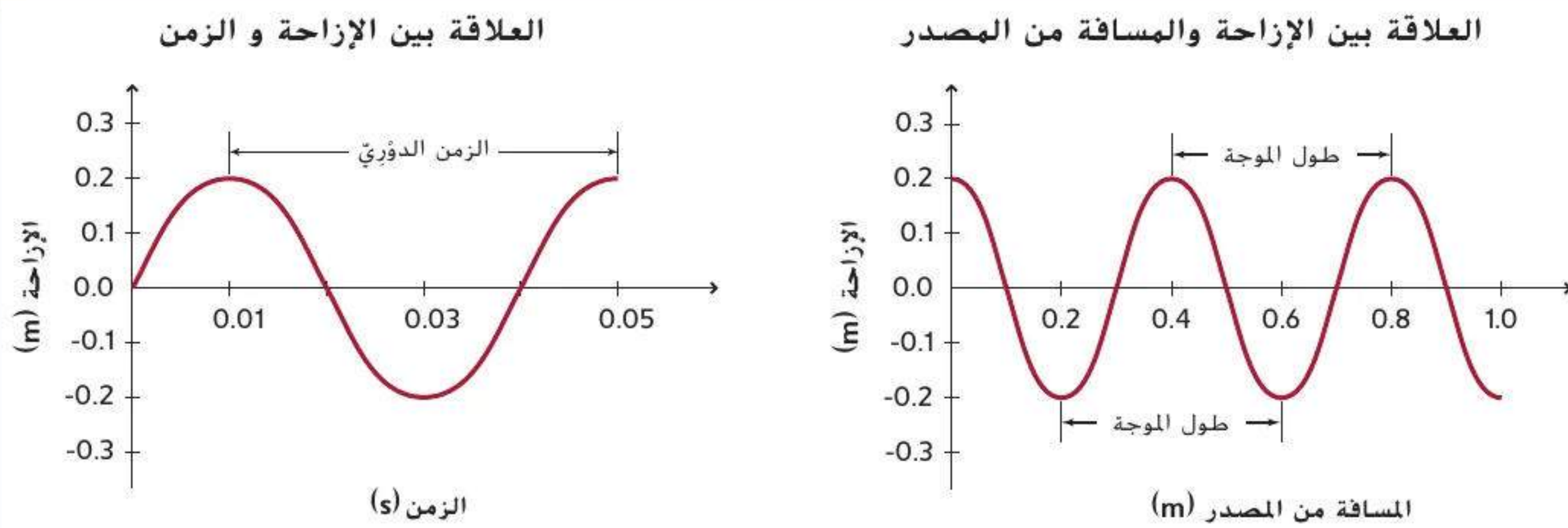
حساب طول الموجة يمكنك قياس طول الموجة مباشرة عن طريق قياس المسافة بين القمم أو القيعان المتجاورة. ويمكنك كذلك حسابه من معرفة كل من تردد الموجة وسرعتها، حيث إنّ الموجة تتحرك خلال فترة زمنية تساوي الزمن الدوري طولاً موجياً واحداً. لذا فإنّ الطول الموجي يساوي سرعة الموجة مضروباً في زمنها الدوري، $\lambda = vT$ وحيث إنّ $f = \frac{1}{T}$ ، فإن:

طول الموجة

يساوي طول الموجة ناتج قسمة السرعة على التردد.

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

تمثيل الموجات بيانياً إذا أخذت صورة فوتوغرافية لموجة مستعرضة في حبل، فربما تجدها تشبه إحدى الموجات الموضّحة في الشكل 10. يمكن وضع هذه الصورة على ورقة تمثيل بياني لتوضيح المزيد من المعلومات عن الموجة، كما في الجزء الأيسر من الشكل 11. حيث يؤدي القياس من القمة إلى القمة المجاورة أو من القاع إلى القاع المجاور على هذه اللقطة إلى معرفة طول الموجة. وبالمثل لو أنك رصدت حركة جسم واحد، مثل حركة النقطة P في الشكل 10 فإنه يمكنك تمثيل هذه الحركة بيانياً على ورقة رسم بياني، بحيث ترسم الإزاحة بوصفها متغيراً مع الزمن كما في الشكل 11 والذي من خلاله يمكن إيجاد الزمن الدوري، بقياس المسافة من القمة إلى القمة أو من القاع إلى القاع.

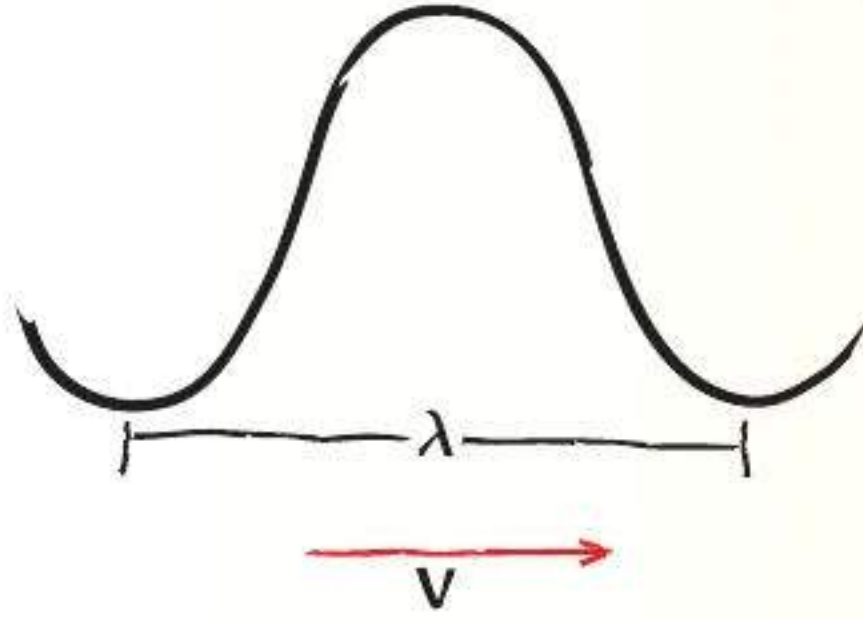


الشكل 11 يمكن تمثيل الموجات بيانياً للحصول على المعلومات المختلفة.

حدّد الزمن الدوري للموجة الموضّحة في الرسم البياني للعلاقة بين الإزاحة والزمن.

خصائص الموجة يبلغ تردد موجة صوتية 192 Hz وتقطع مسافة بطول ملعب كرة قدم يصل إلى 91.4 m خلال 0.271 s.

- ما سرعة الموجة؟
- ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
- ما الزمن الدوري للموجة؟
- إذا تغيّر التردد إلى 442 Hz، فكم سيبلغ طول الموجة الجديد والزمن الدوري الجديد؟



1 تحليل المسألة

- ارسم مخططاً للموجة.
- ارسم متجه السرعة.

المعلوم	المجهول
$f = 192 \text{ Hz}$	$v = ?$
$\Delta d = 91.4 \text{ m}$	$\lambda = ?$
$\Delta t = 0.271 \text{ s}$	$T = ?$

2 حساب المجهول

- استخدم تعريف المتجهة.

▶ بالتعويض عن $\Delta d = 91.4 \text{ m}$, $\Delta t = 0.271 \text{ s}$

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{91.4 \text{ m}}{0.271 \text{ s}} = 337 \text{ m/s}$$

- استخدم العلاقة بين السرعة المتجهة للموجة وطول الموجة والتردد.

▶ بالتعويض عن $v = 337 \text{ m/s}$, $f = 192 \text{ Hz}$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{337 \text{ m/s}}{192 \text{ Hz}} = 1.76 \text{ m}$$

- استخدم العلاقة بين الزمن الدوري والتردد.

▶ بالتعويض عن $f = 192 \text{ Hz}$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{192 \text{ Hz}} = 0.00521 \text{ s}$$

▶ بالتعويض عن $v = 337 \text{ m/s}$, $f = 442 \text{ Hz}$

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

▶ بالتعويض عن $f = 442 \text{ Hz}$

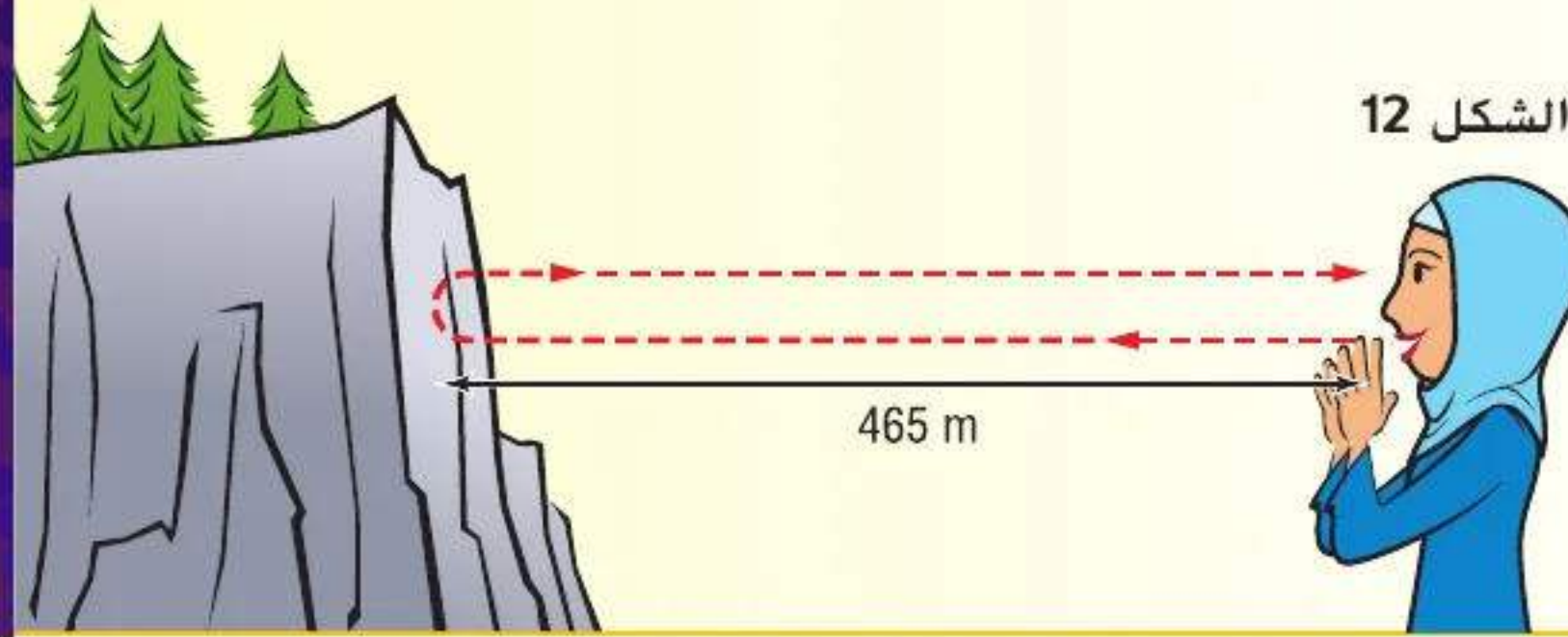
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{442 \text{ Hz}} = 0.00226 \text{ s}$$

3 تقييم الإجابة

هل الوحدات صحيحة؟ بما أن Hz يتضمن وحدة s^{-1} ، إذاً $(\frac{m}{s}) \cdot s = m$ ، وهي الوحدة الصحيحة لـ λ .

هل القيم حقيقية؟ بما أن الموجة الصوتية النموذجية تنقل بسرعة 340 m/s في الهواء تقريباً، إذاً فإن 337 m/s هي قيمة مناسبة. تُعدّ الترددات والأزمنة الدورية مناسبة للموجات الصوتية. يقترب التردد 442 Hz من A 440 Hz، وتقع A أعلى C المتوسطة في البيانو.

15. يُسمع صوت الموجة الصوتية الذي تصدره دقات الساعة على بُعد 515 m بعد مرور 1.50 s.
- a. بناءً على هذه القياسات، ما سرعة الصوت في الهواء؟
- b. يبلغ تردد الموجة الصوتية 436 Hz. فكم يبلغ الزمن الدوري لهذه الموجة؟
- c. ما طول موجة صوت دقات الساعة؟
16. إذا كنت تريد زيادة أطول الموجات في الحبل، فهل ينبغي أن تهزّه بأعلى تردد أم بأقل تردد؟
17. كم تبلغ سرعة الموجة الدورية التي يبلغ ترددها 3.50 Hz وطول موجتها 0.700 m؟
18. كيف تؤثر زيادة طول الموجة بنسبة 50 % في تردد موجة على حبل؟
19. تبلغ سرعة موجة مستعرضة في وتر 15.0 m/s. إذا أحدث المصدر اهتزازاً يبلغ تردده 6.00 Hz، فكم يبلغ طول موجته؟
20. تنشأ خمسة أطوال موجة كل 0.100 s في خزان ماء. كم تبلغ سرعة الموجة إذا كان طول الموجة السطحية 1.20 cm؟
21. تنتقل موجة طولية دورية يبلغ ترددها 20.0 Hz على طول لعبة بها زنبرك حلزوني. إذا كانت المسافة بين الانضغاطات المتتالية 0.600 m، فكم تبلغ سرعة الموجة؟
22. كيف يتغير تردد الموجة عندما يتضاعف زمنها الدوري؟
23. وضح التغير الذي يطرأ على طول الموجة عندما يقل زمنها الدوري إلى نصف ما كان عليه.
24. إذا زادت سرعة الموجة بمقدار 1.5 مرة على سرعتها الأصلية وظل التردد ثابتاً، فما التغير الذي يطرأ على طولها الموجي؟
25. تحدي أصدرت مريم صراخاً باتجاه منحدر رأسي كما هو موضح في الشكل 12. فسمعت صدى الصوت بعد مرور 2.75 s.
- a. فما سرعة صوت مريم في الهواء؟
- b. يبلغ طول موجة الصوت 0.750 m. فما تردده؟
- c. ما الزمن الدوري للموجة؟



القسم 2 مراجعة

26. الفكرة الرئيسية لنفترض أنه طلب منك وزميلك في المختبر توضيح أن الموجة المستعرضة تنقل الطاقة من دون نقل المادة. كيف يمكنكما فعل ذلك؟
27. خصائص الموجة إذا أردت إحداث موجات مستعرضة على حبل عن طريق هزّ يدك من طرف إلى آخر. وبدأت بهز الحبل أسرع من دون تغيير المسافة التي تتحرك فيها يدك، ماذا يحدث لسعة الموجة وطول الموجة والتردد والزمن الدوري والسرعة المتجهة؟
28. الموجات الطولية صف الموجات الطولية. ما أنواع الأوساط التي تنتقل من خلالها الموجات الطولية؟
29. السرعة في الأوساط المختلفة إذا سحبك طرفاً واحداً من زنبرك، فهل ستصل الموجة إلى الطرف الآخر على الفور؟ ماذا يحدث عند سحب حبل؟ ماذا يحدث عند طرق نهاية ساق فلزية؟ قارن بين الموجات التي تنتقل من خلال هذه المواد الثلاث.
30. التفكير الناقد إذا سقطت قطرة مطر في بركة مياه، فإنها تُحدث موجات سعتها صغيرة. بينما إذا قفز سباح في بركة ماء، فسُجِدَتْ موجات سعتها كبيرة. لماذا لا تُحدث الأمطار الغزيرة أثناء العواصف الرعدية موجات كبيرة؟

سلوك الموجات

القسم 3

الفيزياء
في
حياتك

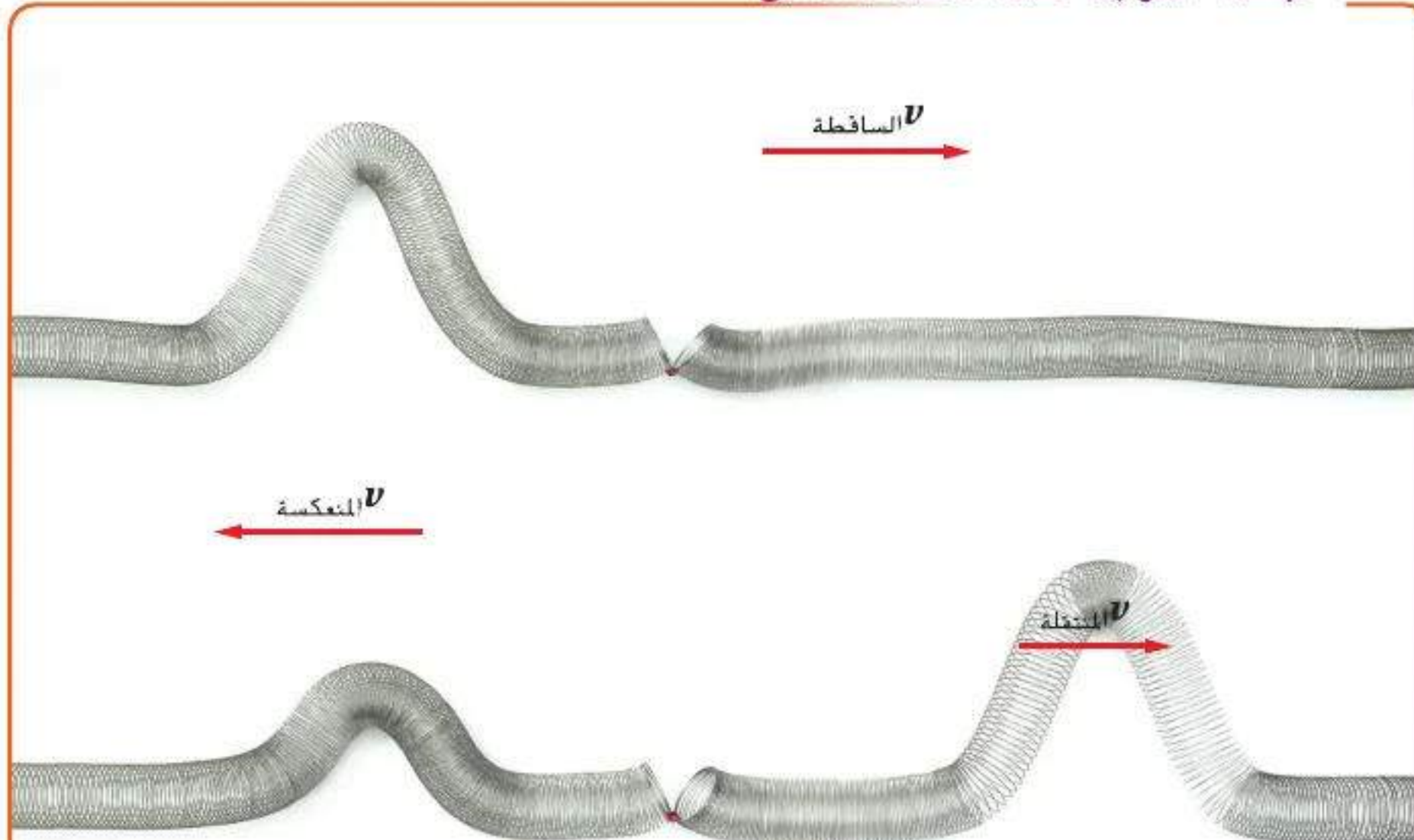
لعلك لاحظت الموجات الناتجة على سطح بحيرة عند رمي حجر فيها. ماذا سيحدث عند رمي حجرين في مكانين قريبين أحدهما من الآخر في اللحظة نفسها في البحيرة؟ كيف سيكون شكل هذه الموجات؟ وكيف ستتفاعل الموجات الناتجة من هاتين الصخرتين؟

الموجات عند الحدود

عرفت سابقاً أنّ سرعة الموجة الميكانيكية تعتمد على خصائص الوسط الذي تنتقل من خلاله فقط، ولا تعتمد على سعة الموجة أو ترددها. فعلى سبيل المثال، يؤثر عمق الماء في سرعة موجات الماء المتكونة فيه، في حين تؤثر درجة حرارة الهواء في سرعة موجات الصوت التي تنتشر فيه. أما بالنسبة إلى موجات الزنبرك فتعتمد سرعتها على مقدار قوة شدّه، وعلى كتلة وحدة أطواله. يبين ما الذي يحدث عند مرور نبضة من خلال حد فاصل يفصل بين وسطين كما هو الحال في زنبركين مختلفين في سماكتيهما ومتصلين من طرفيهما. يوضح الشكل 13 النبضة التي تنتقل من الزنبرك الأكثر سماكة إلى الزنبرك الأقل سماكة، حيث تسمى نبضة الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين الزنبركين **الموجة الساقطة**. ستلاحظ أن هنالك اختلافاً في سرعة النبضة التي تنتقل من الزنبرك الأكثر سماكة إلى الزنبرك الأقل سماكة، حيث تستمر هذه النبضة المنتقلة، وتبقى متجهة نحو الأعلى.

ينعكس جزء من طاقة الموجة الساقطة نحو الخلف باتجاه الزنبرك الأكثر سماكة في صورة نبضة مرتدة تسمى **الموجة المنعكسة**. وتعتمد النبضة المنعكسة سواء أكانت معتدلة أم مقلوبة على خصائص الزنبركين. فعلى سبيل المثال، ستعكس نبضة الموجة المنعكسة إذا كانت سرعة الموجات في الزنبرك الأقل سماكة أكبر، لأنه أثقل وأكثر صلابة.

■ نبضة الموجة عند الحد الفاصل



الشكل 13 عندما تصطدم النبضة بالحد الفاصل بين زنبركين، تتكوّن نبضة موجة منتقلة وموجة منعكسة.

قارن بين طاقة النبضة الساقطة وطاقة النبضة المنعكسة.

الفكرة الرئيسية

يمكن أن تتداخل الموجات بعضها مع بعض عند وجود أكثر من موجة في الوسط نفسه.

الأسئلة الرئيسية

- كيف تنعكس الموجات وتنعكس عند الحد الفاصل بين وسطين؟
- كيف يُطبق مبدأ التراكب على ظاهرة التداخل؟

مراجعة المفردات

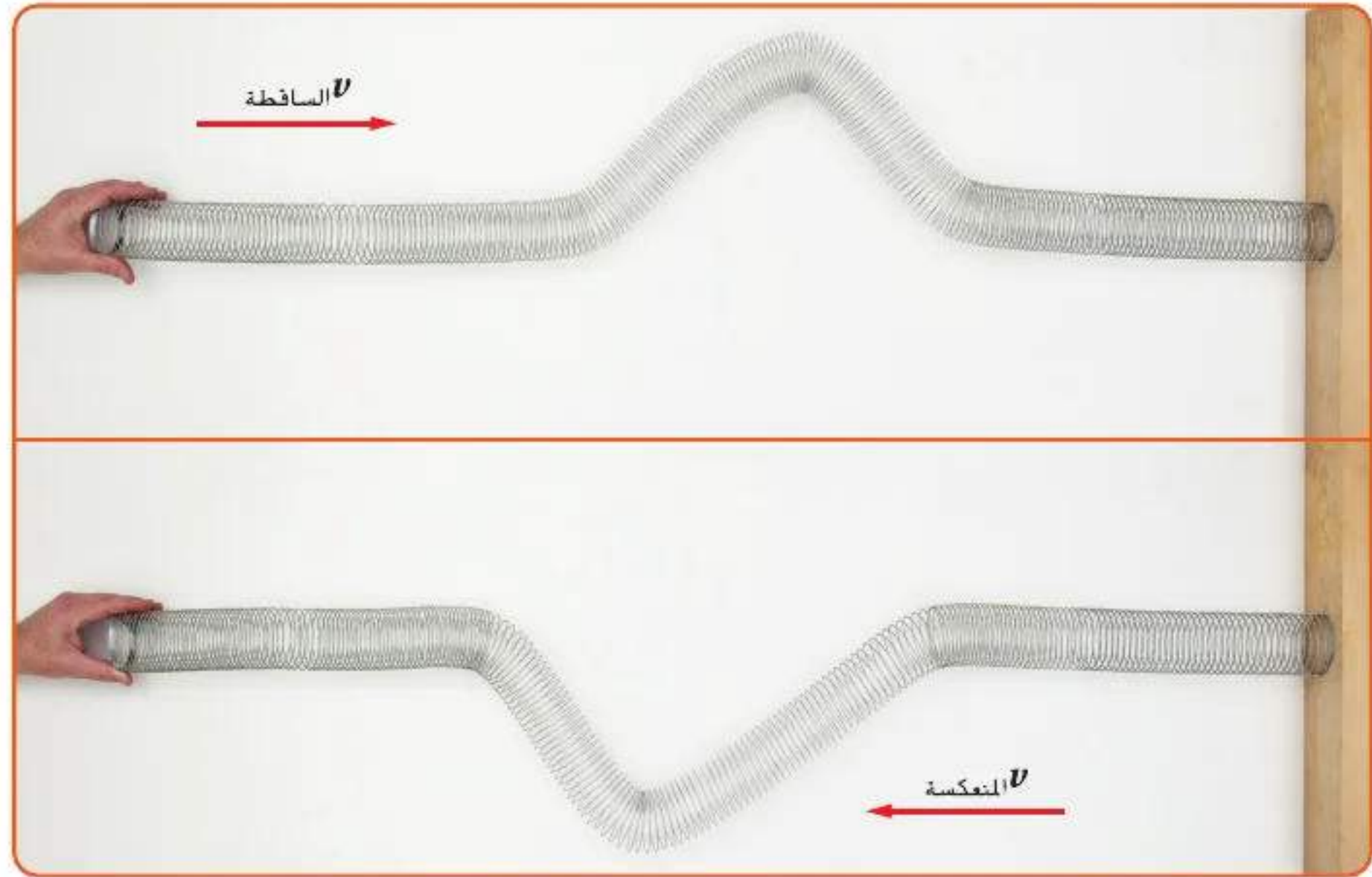
قوة الشد $tension$: القوة التي يبذلها خيط أو حبل

المفردات الجديدة

incident wave	موجة ساقطة
reflected wave	موجة منعكسة
	مبدأ التراكب
principle of superposition	
interference	تداخل
node	عقدة
antinode	بطن
standing wave	موجة مستقرة
wavefront	مقدمة الموجة
ray	شعاع
normal	عمود مقام
law of reflection	قانون الانعكاس
refraction	انكسار



الشكل 14 عندما تصطدم الموجة بحد فاصل ثابت، تنعكس الموجة. لاحظ أن السعة لا تتغير. طرف الزنبرك ثابت بالحاجز.



تجربة مصغرة

انعكاس الموجة هل يغير الانعكاس سرعة الموجة؟

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

التداخل interference

• الاستخدام العلمي

نتيجة تراكب موجتين أو أكثر كانت سعة تداخل عدة موجات أكبر بكثير من سعة الموجات المنفردة.

• الاستخدام العام

التدخل بطريقة مائعة أو معيقة طُرد مازن من المهاراة بسبب ارتكابه مخالفة عند تداخله.

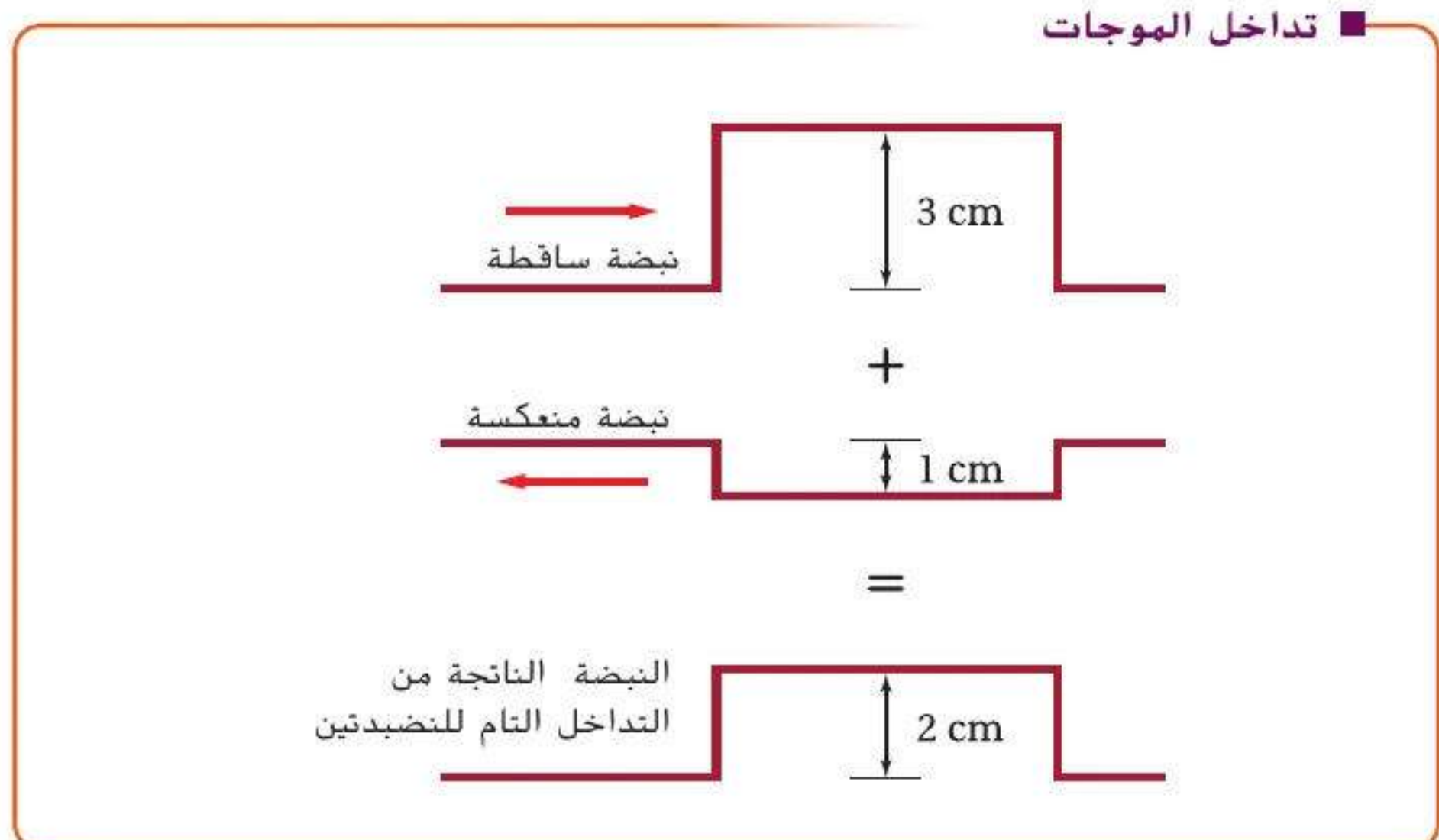
الحدود الثابتة عندما تصطدم موجة أو نبضة بحد فاصل صلب، تنعكس هذه الموجة أو النبضة عنه إلى الخلف، كما هو موضح في الشكل 14. إذ يمثل الحائط هنا الحد الفاصل لوسط جديد تحاول الموجة المرور من خلاله، حيث تنعكس عن الحائط عوضاً عن مرورها من خلاله، وتكون سعة الموجة المرتدة مساوية لسعة الموجة الساقطة. لذا، تنعكس معظم طاقة الموجة نحو الخلف، في حين ينتقل القليل منها إلى الحائط. يمكنك ملاحظة أن الموجة قد انقلبت نحو الأسفل.

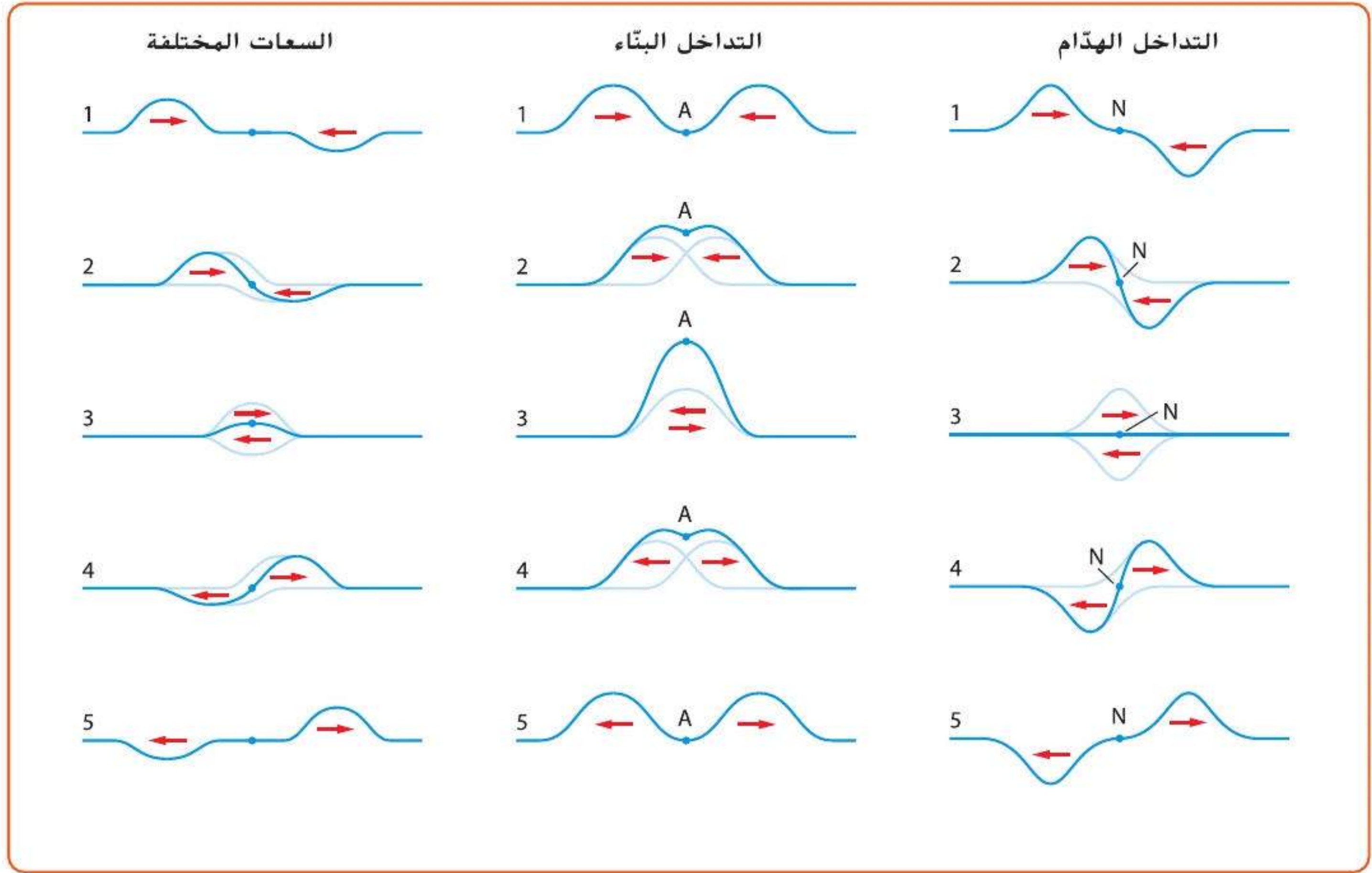
تداخل الموجات

لنفترض أن نبضة تنتقل على طول نابض تلاقت مع نبضة منعكسة من الحد الفاصل، كما هو موضح في الشكل 15. ما الذي سيحدث في هذه الحالة؟ ستوجد هنالك نبضتان في الوسط في المكان والزمان نفسيهما. حيث ستؤثر كل نبضة منهما في الوسط بشكل مستقل عن الأخرى. يوضح **مبدأ التراكب** أن إزاحة الوسط الناتجة من موجتين أو أكثر هي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة من كل موجة على حدة. بمعنى آخر، يمكن أن تتحد موجتان أو أكثر لتكوين واحدة جديدة. وإذا انتقلت الموجتان باتجاهين متعاكسين، فمن المحتمل أن تلغي كل منهما تأثير الأخرى، أو أن تنتج موجة لها سعة أكبر أو أصغر من سعة كل منهما. ويسمى الأثر الناتج من تراكب موجتين أو أكثر **التداخل**.



الشكل 15 تجمع الموجات أو النبضات جبرياً أثناء التراكب.





الشكل 16 عند جمع الموجات جبريًا، قد تكون الموجات المترابطة الناتجة مختلفة إلى حد ما عن الموجات المنفردة.

تداخل الموجات يوجد التداخل في هيتين، إما بناءً أو هدام. يوضح الجزء الأيمن من الشكل 16 التقاء موجتين متساويتين في السعة ومختلفتين في الاتجاه. حيث تقل إزاحة الوسط عند النقاط جميعها في منطقة التداخل، مما يسبب التداخل الهدام. فعندما تكون سعتا الموجتين متساويتين، سيساوي مقدار الإزاحة صفرًا. تُسمى النقطة N التي لا تتحرك على الإطلاق **العقدة**. حيث تنتقل النبضات أفقيًا وتعود إلى صورتها الأصلية في نهاية الأمر.

يحدث التداخل البناء عندما تكون إزاحات الموجات في الاتجاه نفسه. وينتج من ذلك موجة سعتها أكبر من سعة الموجات المنفردة. يوضح الجزء الأوسط من الشكل 16 ظهور نبضة أكبر عند النقطة A عند التقاء موجتين متساويتين. أي إن إزاحة النقطة A هي الأكبر وتُسمى **البطن**. تنتقل النبضتان إحداهما من خلال الأخرى من دون تغييرهما في الشكل أو الحجم. إذا كانت النبضتان سعتاهما غير متساويتين، فإن النبضة الناتجة عند التداخل ستساوي المجموع الجبري لإزاحتي النبضتين، كما هو موضح في الجزء الأيسر من الشكل 16.

التأكد من فهم النص قارن بين إزاحة وسط الموجة عند العقدة وعند البطن.

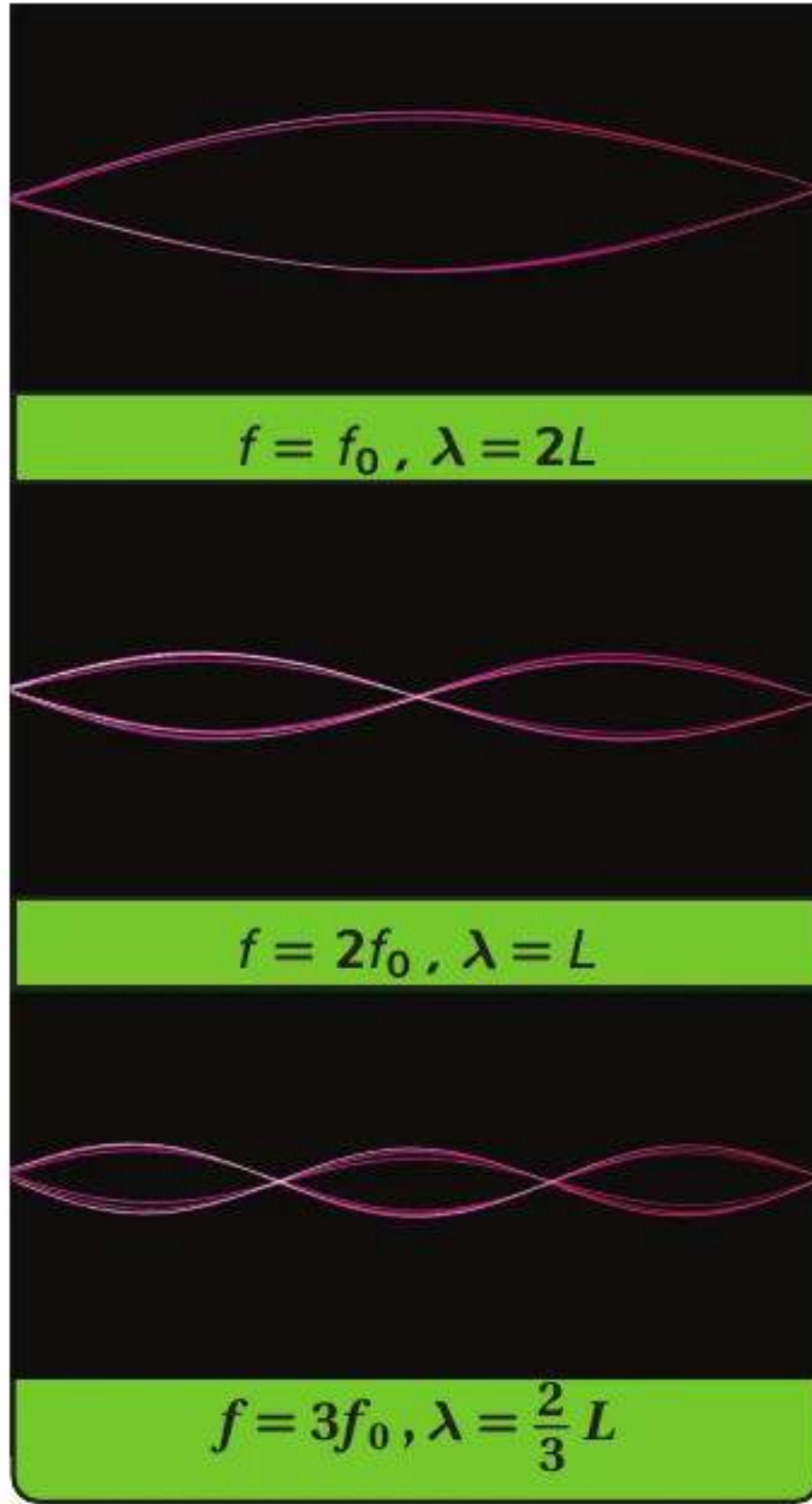
الانعكاس يمكنك تطبيق مفهوم تراكب الموجات للتحكم في تكوين الموجات ذات السعات الكبيرة. تخيل أنك ربطت أحد طرفي حبل أو زنبرك في نقطة ثابتة، مثل مقبض الباب، وابتعدت مسافة مقدارها L . ثم بدأت تهز الطرف الحر، ستنتقل موجة وتنتقل على طول الحبل إلى الطرف الثابت ثم تنعكس وترتد عند الطرف الثابت وتعود إلى يدك. وعندما تصل إلى يدك، ترتد الموجة المنعكسة وتنتقل مرة أخرى إلى أسفل الحبل. بالتالي، عندما تترك الموجة يدك في المرة الثانية، تصبح إزاحتها في اتجاه الإزاحة نفسه الذي كانت فيه عندما تركت يدك في المرة الأولى.

مختبر الفيزياء

التداخل والحيود كيف تتداخل الموجات بعضها مع بعض؟

تجربة مصفرة

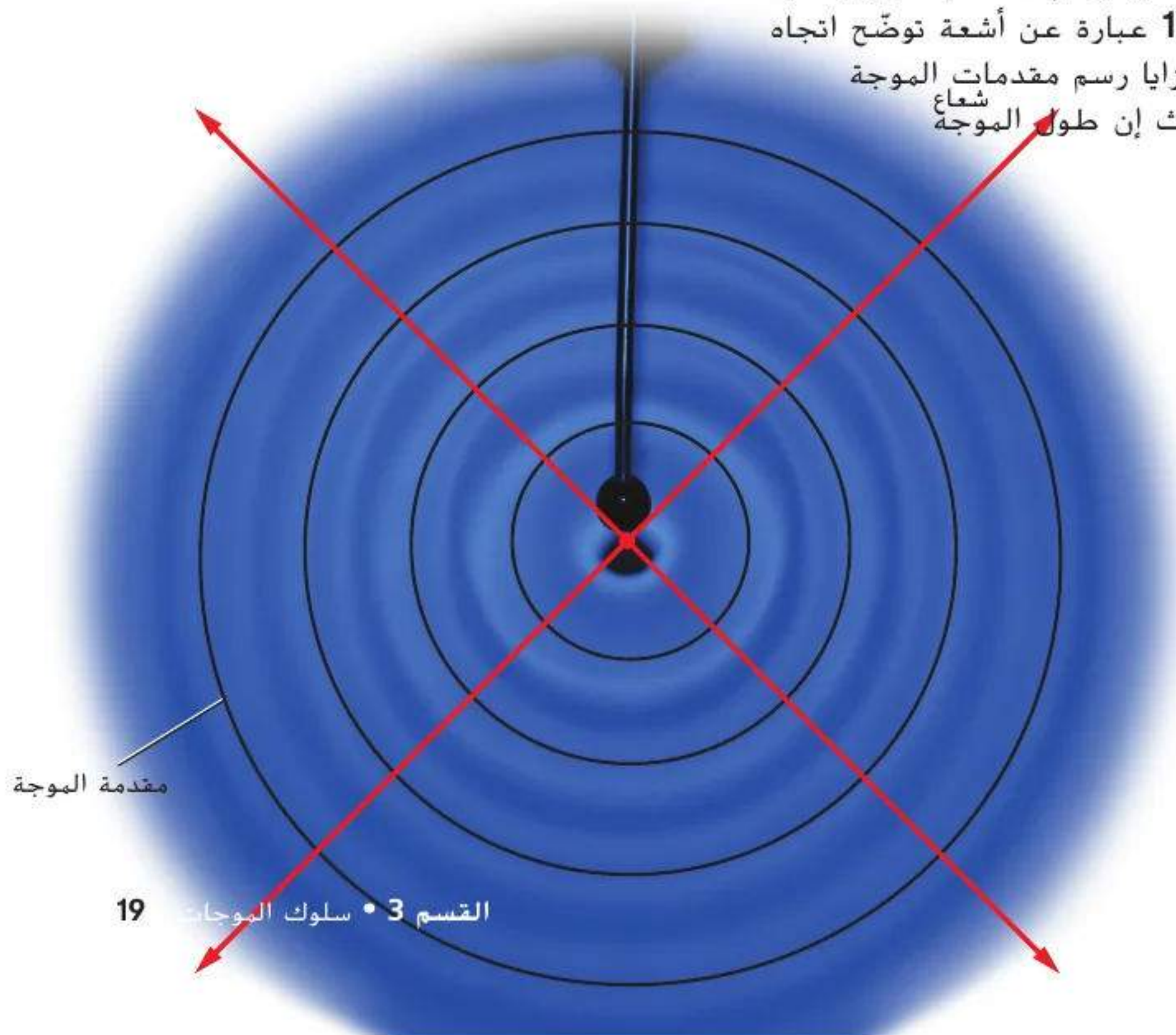
تفاعل الموجات ماذا يحدث عند التقاء الموجات التي تنتقل في اتجاهات مختلفة؟



الشكل 17 ينتج عن التداخل موجات مستقرة عند ترددات معينة فقط.

توقع طول الموجة إذا كان التردد أربعة أضعاف أقل تردد.

الشكل 18 تنتشر الموجات بنمط دائري من مصدر التذبذب.



الموجات المستقرة لنفترض أنك ضبطت حركة يدك بحيث يساوي الزمن الدوري للاهتزاز الزمن الذي تستغرقه الموجة إكمال اهتزازة واحدة من يدك إلى الباب ذهاباً وإياباً. عندها ستُجمع الإزاحة التي تولدها يدك إلى الحبل كل مرة مع إزاحة الموجة المنعكسة. نتيجة لذلك، سيكون اهتزاز الحبل أكبر بكثير من حركة يدك. تُعدّ هذه الاهتزازات ذات السعة الكبيرة مثالاً للرنين الميكانيكي.

يمثل طرفا الحبل العقدتين وتوجد البطن في منتصف النبضة، كما هو موضح في الصورة العلوية في **الشكل 17**. حيث تُسمى الموجة التي تبدو أنها لا تزال ساكنة **الموجة المستقرة**. وينبغي أن تلاحظ أن الموجة المستقرة عبارة عن تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين. إذا ضاعفت تردد الاهتزاز، فيمكنك الحصول على عقدة أخرى وبطن آخر في الحبل، ويظهر أن الموجة تهتز في قسمين. عند زيادة تردد الاهتزاز أكثر، تحصل على عقد وبطون أكثر كما هو موضح في الصورة السفلية في **الشكل 17**.

الموجات التي تنتقل في بُعدين

درست سابقاً الموجات التي تنتقل عبر حبل أو زنبرك، عندما تنعكس عن الحواجز ثابت حيث تصبح سعة الموجات صفراً بسبب التداخل الهدّام. تتحرك هذه الموجات الميكانيكية في بُعد واحد فقط. أما موجات سطح الماء فتتحرك في بُعدين، وسوف تدرس لاحقاً أن الموجات الصوتية والموجات الكهرومغناطيسية تتحرك في ثلاثة أبعاد. كيف يمكن تمثيل الموجات في بُعدين؟

تمثيل الموجات التي تنتقل في بُعدين عندما تلقي حجراً صغيراً في بركة

ماء ساكنة، ترى القمم والقيعان للموجات الدائرية الناتجة تنتشر نحو الخارج في جميع الاتجاهات. يمكن تمثيل هذه الموجات عن طريق رسم دوائر يصل بين قمم الموجات الواصلة في الفترة الزمنية نفسها. فعندما تضع رأس إصبعك في الماء عدة مرات وتحركه بتردد ثابت، فإنّ الرسم التخطيطي الناتج سيكون عبارة عن سلسلة من دوائر متحدة في مراكزها، وتكون إصبعك مركز تلك الدوائر التي تُسمى مقدمات الموجات. إنّ **مقدمة الموجة** عبارة عن خط يصل بين قمم الموجات الواصلة في الفترة الزمنية نفسها في بُعدين. يمكن استخدام مقدمات الموجات لتوضيح الموجات بأي شكل كانت، بما في ذلك الموجات المستقيمة والدائرية. توضّح الصورة الموجودة في **الشكل 18** الموجات الدائرية في الماء، كما توضّح الدوائر المرسومة على الرسم التخطيطي مقدمات هذه الموجات التي تمثل موجات الماء هذه.

تتحرك الموجات في بُعدين دائرياً في اتجاه متعاكس مع مقدماتها أيّاً كان شكلها. يُمكن تمثيل هذا الاتجاه **بشعاع** على شكل خط يصنع زاوية قائمة مع الموجة. وإذا أردت توضيح اتجاه انتقال الموجة فقط، فمن الأنسب أن ترسم أشعة بدلاً من مقدمات الموجات. إنّ الأسهم الحمراء الموجودة في **الشكل 18** عبارة عن أشعة توضّح اتجاه حركة موجات الماء. يُعدّ توضيح طول الموجة أحد مزايا رسم مقدمات الموجة عند رسمها وفقاً لمقياس الرسم. في **الشكل 18**، حيث إنّ طول الموجة شعاع يساوي المسافة من الدائرة إلى الدائرة التي تليها.

✓ **التأكد من فهم النص** حدد العلاقة بين مقدمات الموجات والأشعة.

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

العمود المقام normal

• الاستخدام العلمي

خط على الرسم التخطيطي يُرسم عموديًا على السطح
زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس عند قياسهما من العمود المقام.

• الاستخدام العام

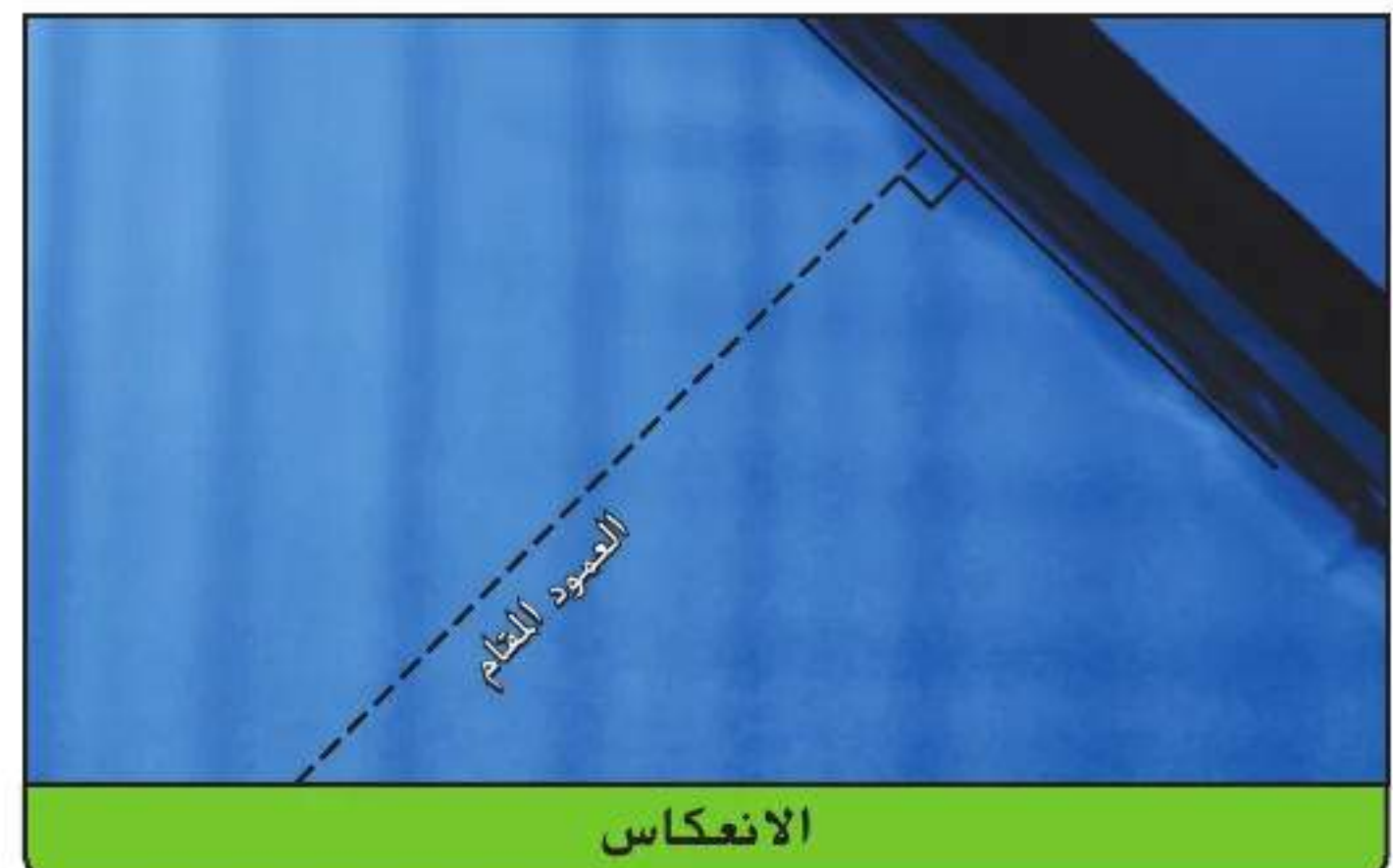
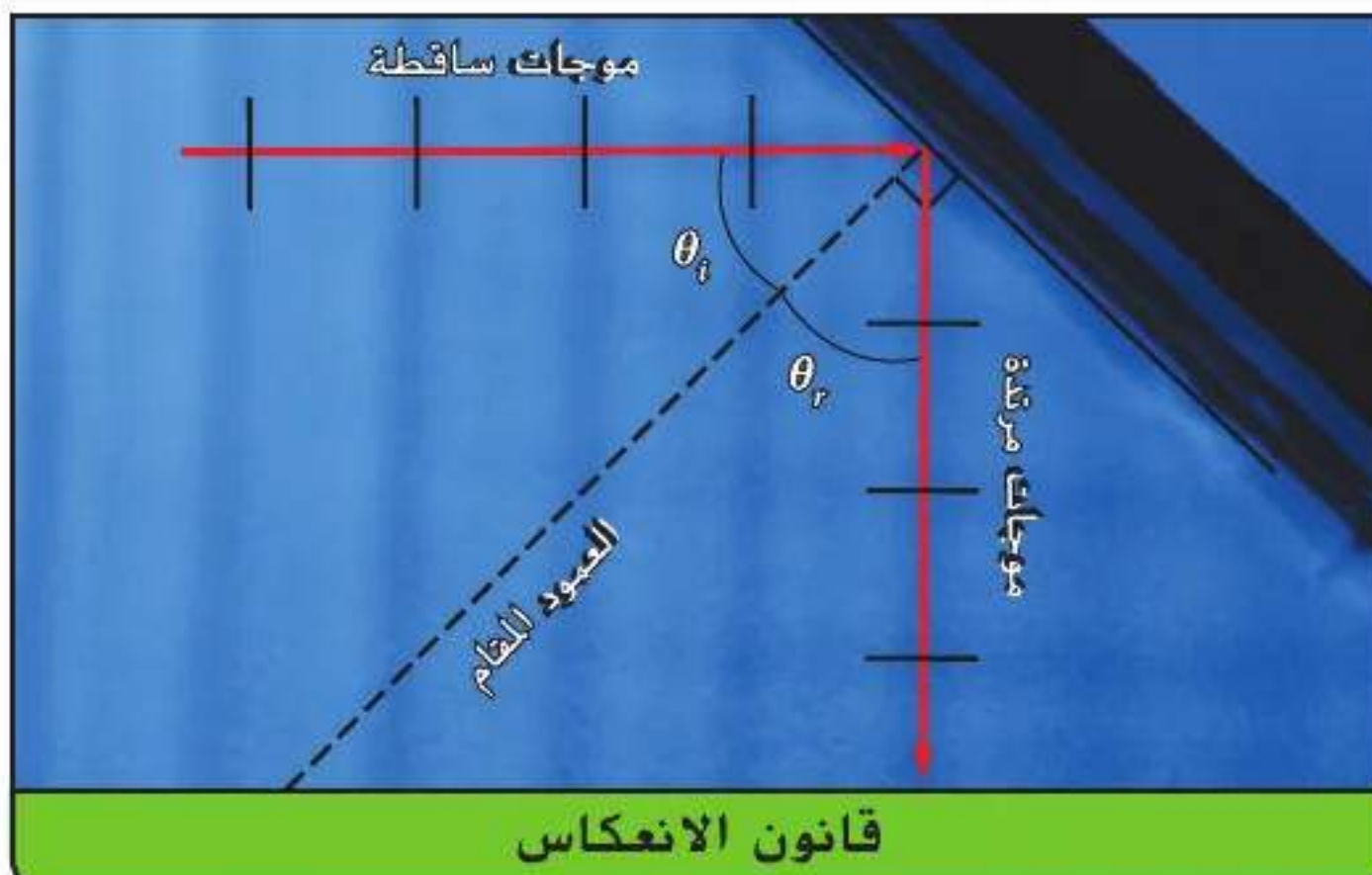
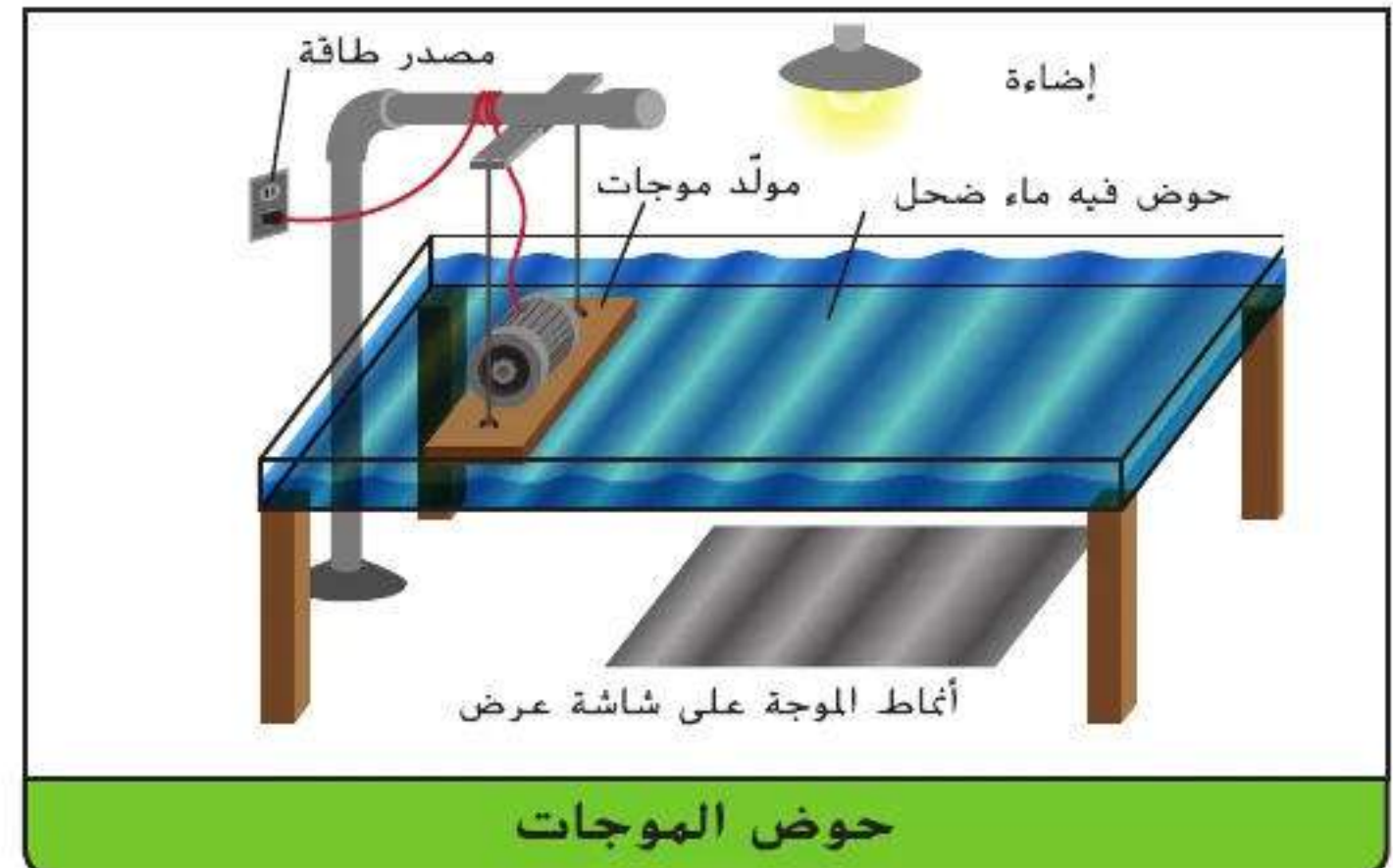
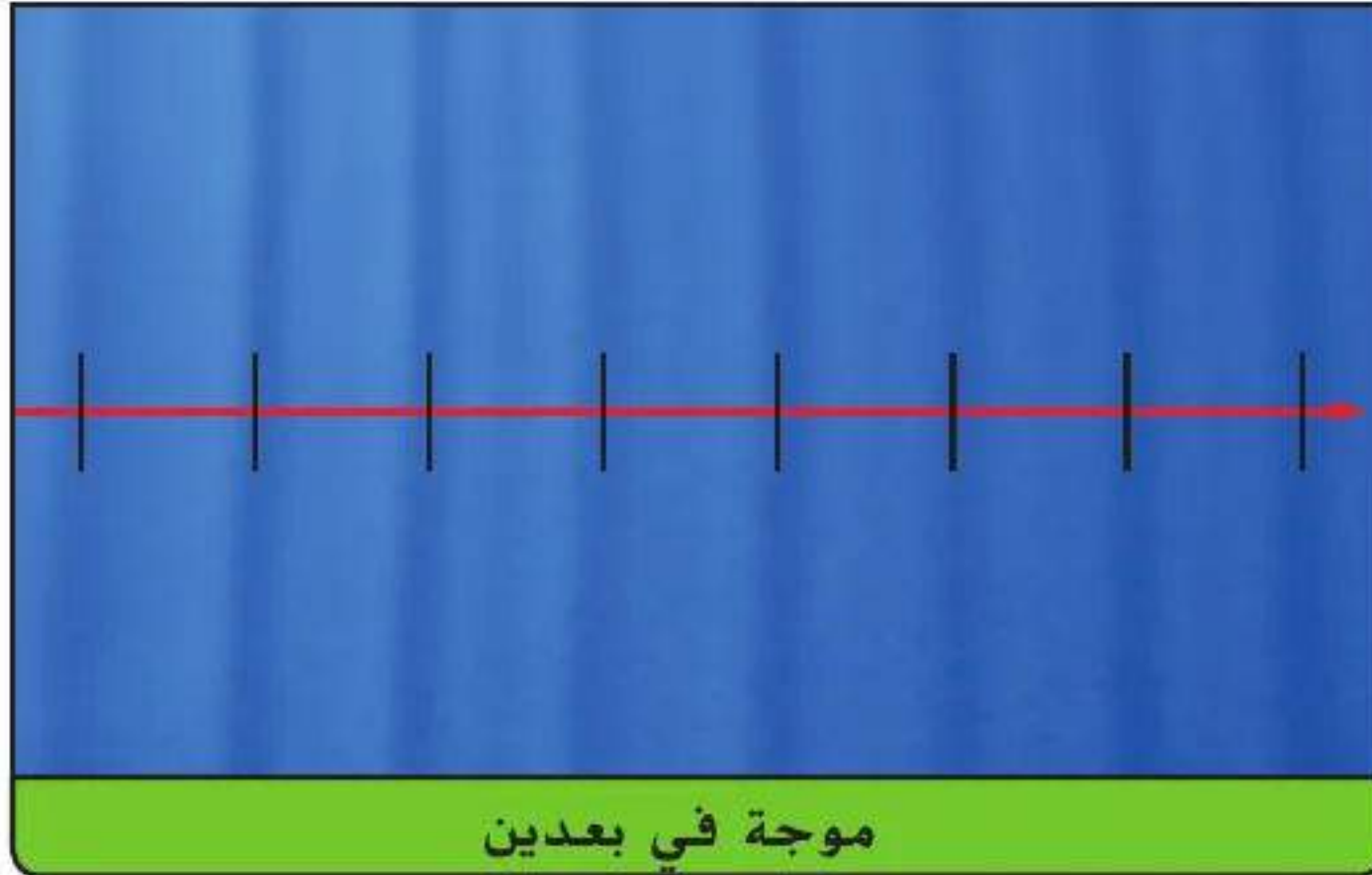
التوافق مع نوع أو معيار أو نمط منتظم
درجات الحرارة الباردة هذه غير معتادة في يوليو.

إنشاء الموجات في بعدين يُعدّ حوض الموجات جزءًا من معدات المختبر التي تستخدم للتحقق من خصائص الموجات التي تنتشر في بعدين. وكما يبين الشكل 19 أنه يحتوي على طبقة ماء ضحلة، وألواح اهتزاز تولد موجات ذات مقدمات موجية مستقيمة. يوجد مصباح فوق الحوض ينتج ظلًا لا تتكون أسفل الحوض توضّح مواقع قمم الموجات وقيعانها. توضّح الصورة العلوية في الشكل 19 موجة تنتقل عبر حوض الموجات. يُمثّل اتجاه انتشار الموجة برسم مخطط شعاعي. حيث يمثل الشعاع المتجه الموجة الساقطة، في حين يمثل الشعاع المتجه الموجة المنعكسة.

انعكاس الموجات في بعدين يوضّح الجزء السفلي في الشكل 19 شعاعًا ساقطًا يعترض مساره حد فاصل ثابت عند زاوية على مسار الشعاع. ويوضّح اتجاه الحد بخط يُسمى **العمود المقام** يُرسم عموديًا على الحد. تُسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام زاوية السقوط ويُرمز إليها بالرمز θ_i في الرسم التخطيطي. وتُسمى الزاوية المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنعكس زاوية الانعكاس ويُرمز لها بالرمز θ_r . ينص **قانون الانعكاس** على أنّ زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس. ينطبق قانون الانعكاس على أنواع مختلفة من الموجات، وليس على الموجات الموجودة في حوض الموجات فحسب.

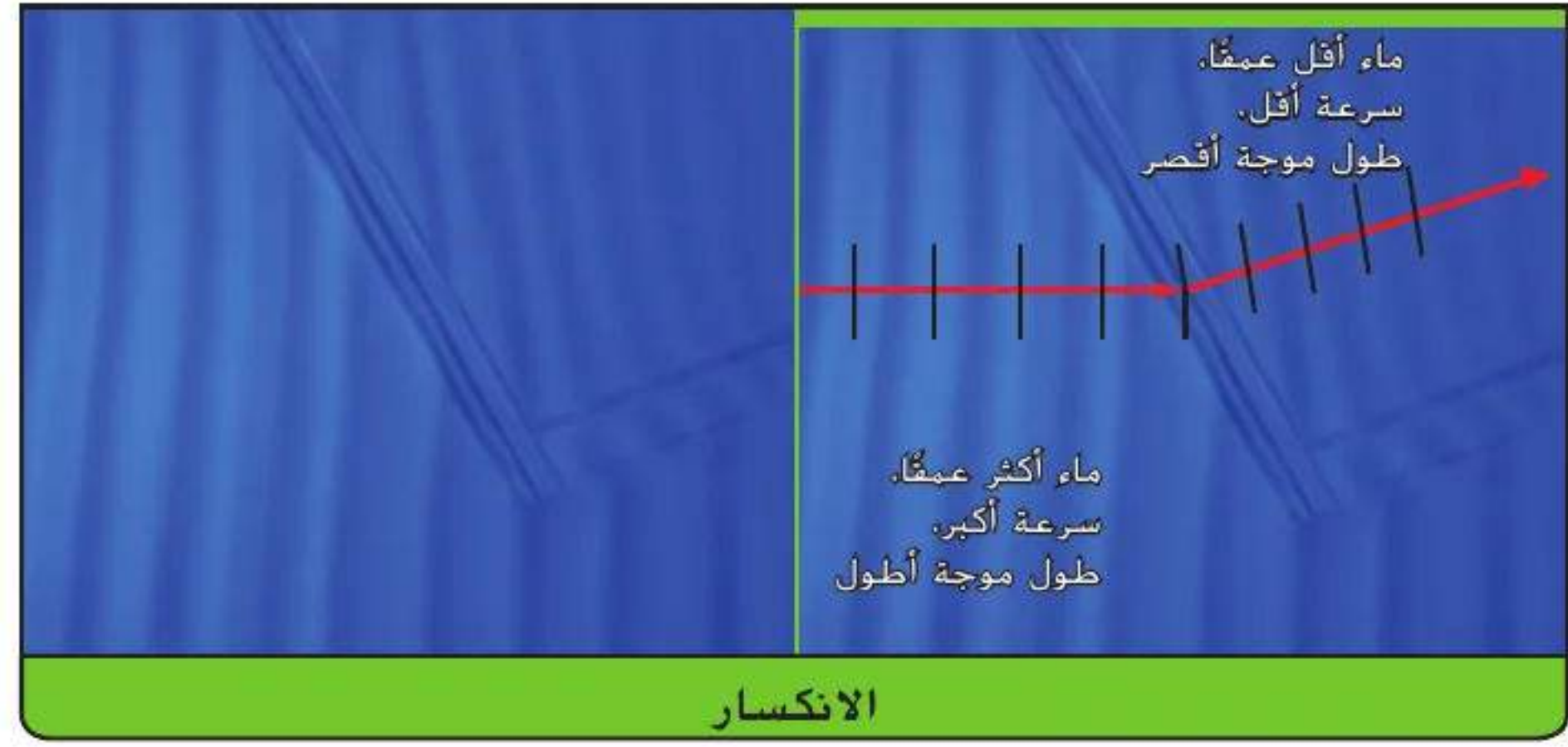
✓ **التأكد من فهم النص** اشرح كيف تُقاس كل من زاوية السقوط وزاوية الانعكاس.

الشكل 19 يُحدث حوض الموجات، موجات منتظمة تفيد في تمثيل سلوك الموجة.



الشكل 20 تُغيّر الموجات الموجودة في حوض الموجات اتجاهها عندما تدخل الماء الضحل.

وضّح طريقة تغيّر طول الموجة عندما تنتقل الموجة إلى المياه الضحلة.



انكسار الموجات التي تنتقل في بُعدين يُمكن أن يُمثّل حوض الموجات سلوك الموجات أيضًا عندما تنتقل من وسط إلى آخر. يوضّح الشكل 20 لوحًا زجاجيًا موضوعًا أسفل الماء في حوض الموجات. وسُمك طبقة الماء الموجودة فوق اللوح الزجاجي أقل من سمك الماء الموجود في باقي الحوض. عندما تنتقل الموجات من الماء العميق إلى الماء الضحل، تقل سرعتها ويتغيّر اتجاهها. حيث تُعدّ هذه التغيّرات التي تحدث في السرعة عندما تنتقل الموجات من وسط إلى آخر. ترتبط الموجات الموجودة في الماء الضحل بالموجات الموجودة في الماء العميق. نتيجةً لذلك، يتساوى تردد الموجات في كلا الوسطين. وفقًا للمعادلة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، ويعني الانخفاض في سرعة الموجات، أنّ طول الموجة يكون أقصر في الماء الضحل. يُسمى التغيّر الذي يحدث في اتجاه الموجات عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين **الانكسار**. يوضّح الشكل 20 مقدمة الموجة ونموذج المخطط الشعاعي للانكسار. إذ سينكسر جزء من الموجة عند الحد الفاصل وينعكس جزء آخر.

✓ **التأكد من فهم النص** ما العامل الذي يتغير فيه طول الموجة إذا كانت سرعة الموجة المنكسرة تساوي نصف سرعة الموجة الساقطة.

مختبر الفيزياء

الانعكاس والانكسار كيف يكون سلوك الموجات عند الحد الفاصل؟

يحدث الانعكاس والانكسار لعدة أنواع مختلفة من الموجات. ويعد صدى الأصوات مثالًا لانعكاس الموجات الصوتية عن السطوح الثابتة، مثل جدران صالة الألعاب الرياضية الكبيرة أو سطح جرف صخري بعيد. وتتكون أقواس المطر نتيجة لانعكاس الضوء وانكساره. فعندما يمرّ ضوء الشمس عبر قطرات المطر، يحلل الانعكاس والانكسار الضوء إلى ألوانه المفردة وينتج قوس المطر. سيُناقش سلوك الصوت والضوء بمزيد من التفصيل في وحدات أخرى.

القسم 3 مراجعة

31. **الفكرة الرئيسية** ما الخصائص التي تبقى ثابتة من دون تغيير عندما تعبر موجة من خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين: التردد والسعة وطول الموجة والسرعة والاتجاه أم أي منها؟
32. **تراكب الموجات** ممثّل بالرسم موجتين تنتج من تداخلهما موجة سعتها أكبر من سعة الموجتين المنفردتين.
33. **انكسار الموجات** في الشكل 20، تُغيّر الموجة اتجاهها عندما تنتقل من وسط إلى آخر. هل يُمكن أن تعبر الموجة في بعدين حدًا يفصل بين وسطين من دون أن يتغير اتجاهها؟ وضّح ذلك.
34. **الموجات المستقرة** ما العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة مستقرة في زنبرك مثبت من الطرفين؟
35. **التفكير الناقد** لفهم انعكاس الموجات بطريقة أخرى، غطّ الجانب الأيمن من كل رسم في الجزء الأيمن في الشكل 16 بقطعة من الورق، على أن تكون حافة الورقة موضوعة على النقطة N التي تمثل العقدة. الآن، ركّز على الموجة الناتجة التي تظهر باللون الأزرق الداكن. لاحظ أنّها تنتقل كموجة منعكسة من أحد الحدود الفاصلة. هل هذا الحد الفاصل جدار ثابت؟ كرّر هذا التمرين مع الجزء الأوسط من الشكل 16.

الفكرة الرئيسية تُعدّ الموجات والحركة التوافقية البسيطة مثالين للحركة الدورية.

القسم 1 الحركة الدورية

الفكرة الرئيسية تتكرر الحركة الدورية في فترات زمنية منتظمة.

- تنشأ الحركة التوافقية البسيطة عندما تتناسب قوة الإرجاع المؤثرة في جسم طرديًا مع إزاحة الجسم من موضع الاتزان وفي اتجاه معاكس.
- تمثل المعادلة التالية طاقة الوضع المرونية المختزنة في زنبرك يحقق قانون هوك:

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

- يتوقف الزمن الدوري للبندول على طول البندول وعجلة الجاذبية الأرضية المؤثرة في موضع البندول. يمكن معرفة الزمن الدوري باستخدام المعادلة التالية:

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

المفردات

- حركة دورية periodic motion
- زمن دوري period
- سعة الموجة amplitude
- حركة توافقية بسيطة simple harmonic motion
- قانون هوك Hooke's law
- بندول بسيط simple pendulum
- رنين resonance

القسم 2 خصائص الموجات

الفكرة الرئيسية تنقل الموجات الطاقة دون نقل لجزيئات المادة المسببة لتلك الموجات.

- تُعدّ الموجات اضطرابات تنقل الطاقة من دون نقل جزيئات المادة المسببة للموجات.
- في الموجات المستعرضة، تكون إزاحة الوسط عمودية على اتجاه حركة الموجة. أما في الموجات الطولية، فتكون إزاحة الوسط موازية لاتجاه حركة الموجة.
- تساوي السرعة للموجة تردد الموجة مضروباً في طول الموجة.

$$v = f\lambda$$

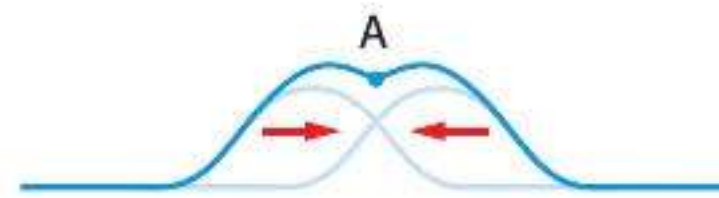
المفردات

- موجة wave
- نبضة pulse
- موجة مستعرضة transverse wave
- موجة دورية periodic wave
- موجة طولية longitudinal wave
- موجة سطحية surface wave
- قاع trough
- قمة crest
- طول موجة wavelength
- تردد frequency

القسم 3 سلوك الموجات

الفكرة الرئيسية يمكن أن تتداخل الموجات بعضها مع بعض عند وجود أكثر من موجة في الوسط نفسه.

- عندما تنعكس الموجات الثنائية الأبعاد من الحدود، تكون زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس. يُسمى التغير الذي يحدث في اتجاه الموجات عند الحدود بين وسطين مختلفين الانكسار.
- يحدث التداخل عندما تنتقل موجتان أو أكثر عبر الوسط نفسه في الزمن نفسه. ينص مبدأ التراكب على أنّ إزاحة الوسط التي تنشأ من موجتين أو أكثر تساوي المجموع الجبري لإزاحات الموجات الفردية.



المفردات

- موجة ساقطة incident wave
- موجة منعكسة reflected wave
- مبدأ التراكب principle of superposition
- تداخل interference
- عقدة node
- بطن antinode
- موجة مستقرة standing wave
- مقدمة موجة wavefront
- شعاع ray
- عمود مقام normal
- قانون الانعكاس law of reflection
- انكسار refraction

الوحدة 1 التقويم

القسم 1 الحركة الدورية

إتقان المفاهيم

36. **الفكرة الرئيسية** ما الحركة الدورية؟ اذكر ثلاثة أمثلة للحركة الدورية.

37. ما الفرق بين التردد والزمن الدوري؟ كيف يرتبط كل منهما بالآخر؟

38. ما الحركة التوافقية البسيطة؟ اذكر مثالاً عليها.

39. إذا كان الزنبرك يخضع لقانون هوك، فما العلاقة التي تربط القوة المؤثرة مع استطالته؟

40. كيف يمكن تحديد ثابت الزنبرك من الرسم البياني للعلاقة بين مقدار القوة والاستطالة؟

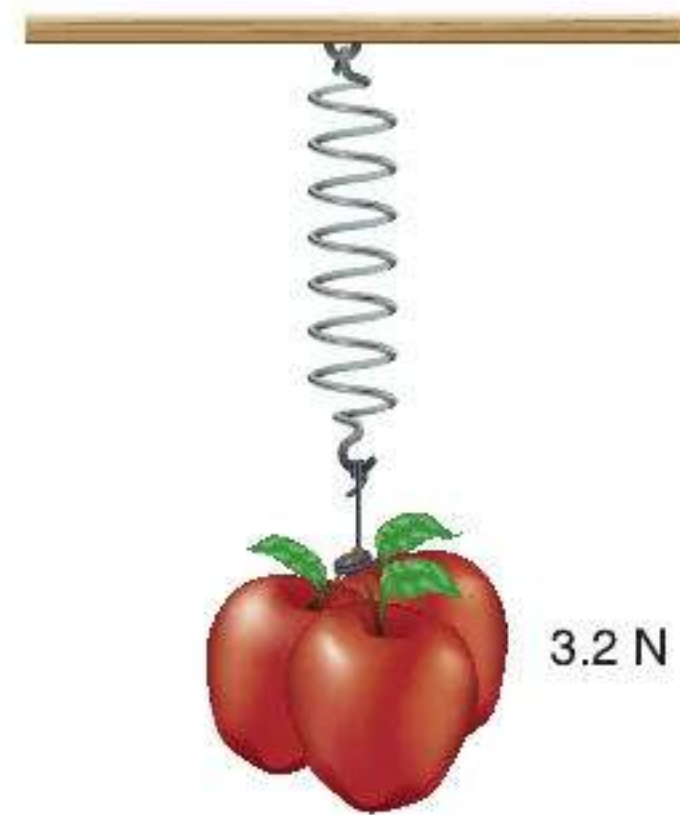
41. كيف يمكن تحديد طاقة الوضع المرونية المخزنة في الزنبرك من الرسم البياني للقوة والاستطالة؟

42. هل يعتمد الزمن الدوري للبندول على كتلة الثقل؟ أم طول البندول؟ أم سعة الذبذبة؟ ما الذي يعتمد عليه أيضًا الزمن الدوري؟

43. ما الشروط اللازمة لحدوث الرنين؟

إتقان حل المسائل

44. إذا استطال زنبرك مسافة 0.12 m عندما عُلق في أسفله عدد من التفاحات وزنها 3.2 N كما في الشكل 21. فما مقدار ثابت الزنبرك؟



الشكل 21

45. **صدّات السيارات** تتضمن كل الزنبركات اللولبية لسيارة ثابت زنبرك يبلغ 25,000 N/m. ما مقدار انضغاط كل زنبرك عندما يحمل ربع سيارة وزنها 25,000 N؟

46. يستطيل زنبرك يبلغ ثابتته 27 N/m لمسافة مقدارها 16 cm. كم تبلغ طاقة الوضع المرونية للزنبرك؟

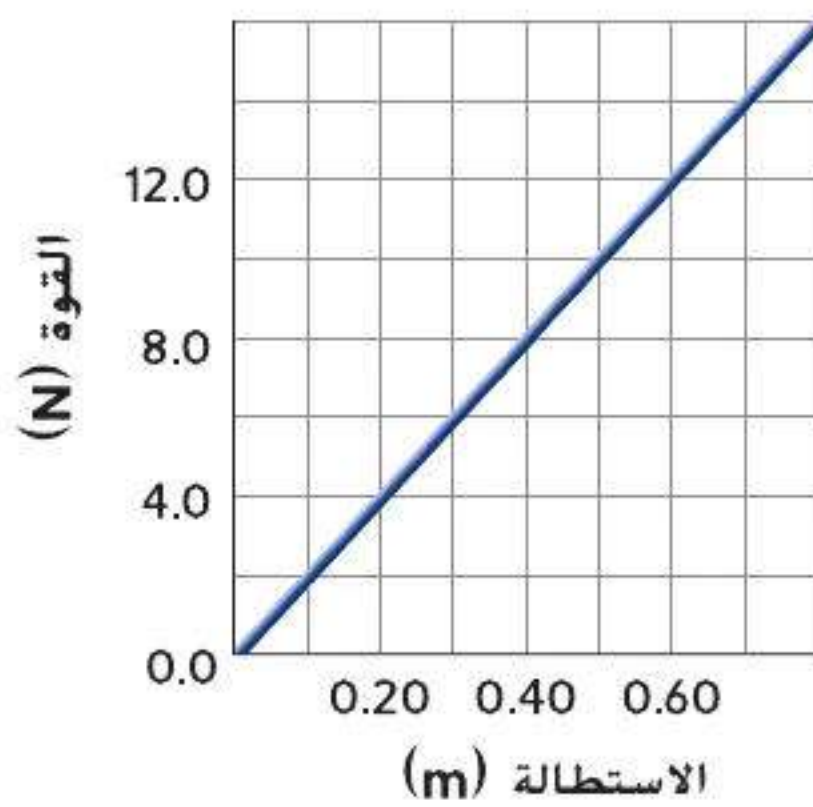
47. **قاذفة الصواريخ** تتضمن لعبة قاذفة الصواريخ زنبرك يبلغ ثابتته 35 N/m. ما المسافة التي يجب أن ينضغطها الزنبرك لتخزين 1.5 J من الطاقة؟

48. مُثّلت بيانات مقدار القوة والاستطالة للزنبرك في الرسم البياني الوارد في الشكل 22.

a. أوجد ثابت الزنبرك؟

b. أوجد طاقة الوضع المرونية للزنبرك عندما يستطيل 0.50 m؟

تغيرات القوة والاستطالة للزنبرك



الشكل 22

49. ما مقدار الطول اللازم للبندول ليصبح زمنه الدوري 2.3 s على سطح القمر إذا كانت $g = 1.6 \text{ N/kg}$ ؟

50. **مهمة الترتيب** رتّب البندولات التالية وفقًا للزمن الدوري من الأصغر إلى الأكبر.

A. الطول 10 cm، الكتلة = 0.25 kg

B. الطول 10 cm، الكتلة = 0.35 kg

C. الطول 20 cm، الكتلة = 0.25 kg

D. الطول 20 cm، الكتلة = 0.35 kg

القسم 2 خصائص الموجات

إتقان المفاهيم

51. اشرح كيف تختلف عملية نقل الطاقة المرتبطة بقذف كرة عن عملية نقل الطاقة المرتبطة بموجة ميكانيكية.

52. ما أوجه الاختلاف بين الموجات المستعرضة والطولية والسطحية؟

53. إذا انتقلت الموجات عبر زنبرك ثابت الطول، أجب عما يلي:

a. هل يمكن تغيير سرعة الموجات التي تنتقل عبر الزنبرك؟ اشرح.

b. هل يمكن تغيير تردد موجة تنتقل عبر الزنبرك؟ وضح ذلك.

54. ما الطول الموجي لموجة؟

55. لنفترض أنك أحدثت نبضة عبر حبل. ما وجه المقارنة بين موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة وموضع النقطة بعد مرور النبضة؟

56. ما وجه الاختلاف بين الموجة والموجة الدورية؟

57. وضح الاختلاف بين تردد الموجة والسرعة للموجة.

58. لنفترض أنك أحدثت موجة مستعرضة عن طريق هز أحد طرفي زنبرك من جانب إلى آخر. ما وجه المقارنة بين تردد حركة يدك وتردد الموجة؟

59. متي تكون نقطتان على الموجة في الطور نفسه. ومتي تصبح النقطتان متعاكستين في الطور؟ اذكر مثالاً لكل منهما.

60. وضح العلاقة بين سعة الموجة والطاقة التي تنقلها.

67. تحدث موجة صوتية طول موجتها 0.60 m وسرعتها 330 m/s خلال 0.50 s.

a. ما تردد الموجة؟

b. كم عدد الموجات الكاملة المُرسلة في هذه الفترة الزمنية؟

c. بعد مرور 0.50 s، كم تبعد مقدمة الموجة عن مصدر الصوت؟

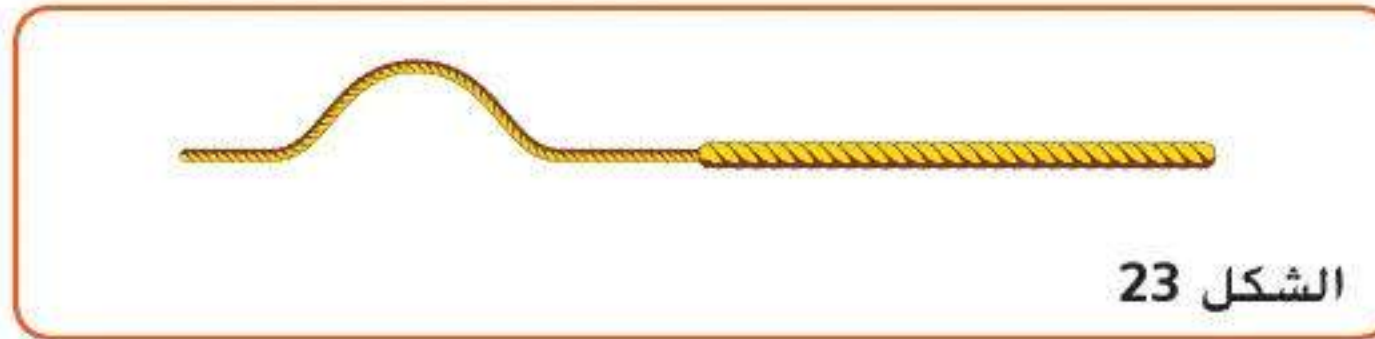
68. يستريح مازن وعبدالله على منصة بحرية بعد السباحة. قدّر كلاهما أنّ المسافة التي تفصل بين القاع والقمة المجاورة لكل موجة سطحية في البحيرة 3.0 m. عدّ كلاهما 12 قمة خلال 20.0 s. احسب مقدار السرعة التي تنتقل بها الموجات.

69. الزلازل تبلغ السرعة للموجات المستعرضة التي يحدثها زلزال 8.9 km/s وتبلغ السرعة للموجات الطولية 5.1 km/s. يسجل جهاز قياس الزلازل وصول الموجات المستعرضة قبل الموجات الطولية بمقدار 68 s. ما مقدار المسافة التي يبعدها الزلازل؟

القسم 3 سلوك الموجات

إتقان المفاهيم

70. عندما تعبر موجة حذاء فاصلاً بين حبل رفيع وحبل سميك كما هو موضح في الشكل 23، يتغير طولها الموجي وسرعتها ولا يتغير ترددها. اشرح لماذا يبقى التردد ثابتاً.



71. ما وجه الاختلاف بين نبضة موجة منعكسة من جدار ثابت والنبضة الساقطة؟

72. صف حركة جسيمات وسط يقع عند عُقد موجات مستقرة.

73. الموجات المستقرة تُبَيّن لوحة من منتصفها، وتُثَرّت عليها كمية من السكر. عند النقر على وتر كمان بالقرب منها، تهتز حافة اللوحة، ويتجمع السكر في مناطق معينة ويبتعد عن مناطق أخرى. صف هذه المناطق في ضوء الموجات المستقرة.

74. إذا اهتز وتر مشكلاً أربعة أقسام، ستستطيع لمس بعض النقاط عليه من دون أن تحدث اضطراباً في حركته. ما عدد هذه النقاط؟

75. عبرت مقدمات موجات بزاوية من وسط إلى آخر وتحركت فيه بسرعة مختلفة. صف التغيرات اللذين حدثا في مقدمات الموجات. ما الذي لم يتغير؟

إتقان حل المسائل

61. حركة بناية يتأرجح برج ويليس في مدينة شيكاغو ذهاباً وإياباً في مهب الريح بتردد 0.12 Hz تقريباً. كم يبلغ الزمن الدوري للاهتزاز؟

62. موجات المحيط يبلغ طول موجة محيط 12.0 m. وتمر موجة بموقع ثابت كل 3.0 s. كم تبلغ سرعة الموجة؟

63. يبلغ طول الموجة لموجات الماء في طبق مسطح 6.0 cm. يتحرك الماء صعوداً وهبوطاً بمعدل 4.8 ترددات في الثانية.

a. كم تبلغ سرعة الموجات؟

b. كم يبلغ الزمن الدوري لهذه الموجات؟

64. تنتقل موجات الماء في بحيرة بمعدل 3.4 m خلال 1.8 s. يبلغ الزمن الدوري للذبذبة 1.1 s.

a. كم تبلغ سرعة موجات الماء؟

b. كم يبلغ طول موجتها؟

65. السونار يبلغ طول موجة إشارة سونار ترددها 1.00×10^6 Hz نحو 1.50 mm في الماء.

a. كم تبلغ سرعة الإشارة في الماء؟

b. كم يبلغ الزمن الدوري لها في الماء؟

66. تبلغ سرعة الصوت في الماء 1498 m/s. تُرسل إشارة سونار من سفينة مباشرة إلى أسفل عند نقطة تحت سطح الماء مباشرة وكُشفت الإشارة المنعكسة بعد مرور 1.80 s. كم يبلغ عمق الماء؟

تطبيق المفاهيم

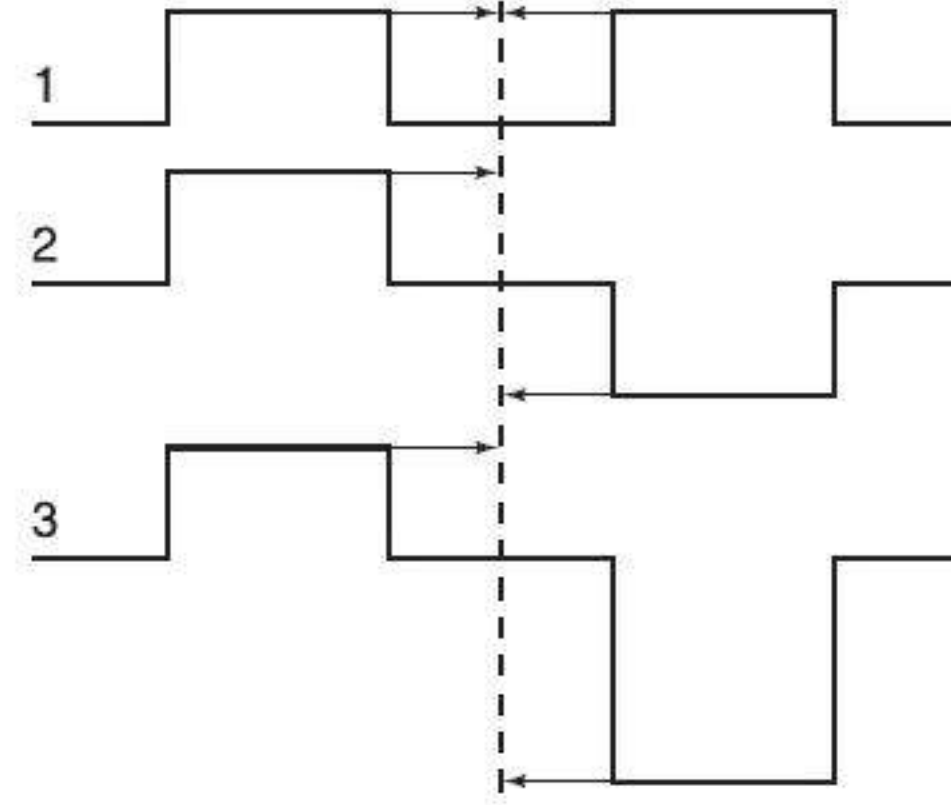
79. تهتز كرة إلى أعلى وإلى أسفل معلقة بطرف زنبرك. وضح تغيرات الطاقة التي تحدث خلال اهتزازة واحدة كاملة. هل تتغير الطاقة الميكانيكية الكلية؟
80. هل يمكن استخدام ساعة بندولية في محطة الفضاء الدولية الدوارة؟ وضح ذلك.
81. لنفترض أنك تمسك ساقاً فلزياً طوله 1 m بيدك وطرفك أحد طرفيه بمطرقة في اتجاه مواز لطوله في المرة الأولى وفي اتجاه عمودي على طوله في المرة الثانية. صف الموجات الناتجة في كلتا الحالتين.
82. لنفترض أنك وضعت إصبعك عدة مرات في حوض ممتلئ بالماء لصنع موجات دائرية. ماذا يحدث لطول الموجة عندما تحرك إصبعك بوتيرة أسرع؟
83. ماذا يحدث للزمن الدوري لموجة عندما يزداد ترددها؟
84. ماذا يحدث لطول الموجة عندما يزداد ترددها؟
85. لنفترض أنك أحدثت نبضة واحدة في زنبرك ممتد، ما مقدار الطاقة اللازمة لإحداث نبضة ثانية لها. سعتها مثلي السعة الأصلية؟
86. لا يمكنك أن تجعل الماء يتدفق ذهاباً وإياباً في وعاء مسطح إلا إذا جعلت الوعاء يهتز بالتردد المناسب. وضح ذلك.

مراجعة عامة

87. احسب الزمن الدوري لبندول طوله 1.4 m؟
88. موجات الراديو بُثَّت إشارات راديو AM بترددات تتراوح بين 550 kHz (كيلوهرتز) و 1600 kHz بسرعة 3.0×10^8 m/s.
- a. ما مدى أطوال موجات الإشارات؟
- b. تتراوح ترددات FM بين 88 MHz (ميجاهرتز) و 108 MHz بالسرعة نفسها. ما مدى أطوال الموجة لموجات FM؟
89. إذا كان الزمن اللازم لتغيير موجة الماء من مستوى الاتزان إلى القمة 0.18 s. احسب:
- a. طول الموجة
- b. الزمن الدوري للموجة
- c. تردد الموجة
90. عندما تُعلق كتلة 225 g في زنبرك، يستطيل الزنبرك مسافة مقدارها 9.4 cm. إذا سُحب الزنبرك والكتلة مسافة مقدارها 8.0 cm من موضع الاتزان الجديد هذا ثم تُركا، أوجد قيمة ثابت الزنبرك.

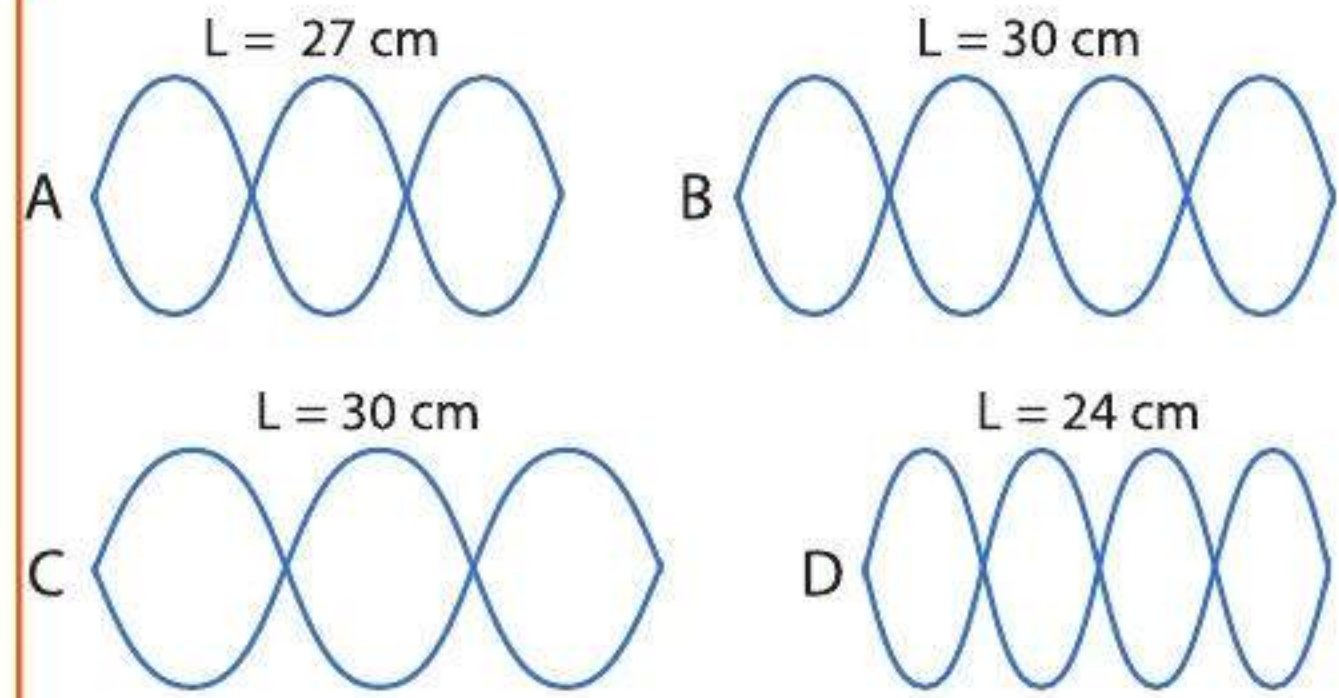
إتقان حل المسائل

76. مثل بالرسم نتيجة كل حالة من الحالات الثلاث (1 و 2 و 3) الموضحة في الشكل 24، عندما يقع مركزا النبضتين المتقاربتين على الخط المنقط بحيث تتداخل النبضتان تمامًا.



الشكل 24

77. أجهزة الجيتار تبلغ سرعة الموجة في وتر الجيتار 265 m/s. ويبلغ طول الوتر 63 cm. وعندما حُرِّك منتصف الوتر بسحبه إلى أعلى وتركه، انتقلت الموجات في كلا الاتجاهين وانعكست بعيداً من طرفي الوتر.
- a. ما المدة الزمنية التي تستغرقها الموجة لتنتقل إلى الوتر وتعود إلى المنتصف؟
- b. عندما تعود الموجات، هل يوجد الوتر فوق موقعه المستقر أم أسفله؟
- c. إذا حُرِّك الوتر مسافة 15 cm من أحد طرفيه، فأين ستلتقي النبضتان؟
78. تنشأ موجات مستقرة في الأوتار الأربعة الموضحة في الشكل 25. إن كتلة كل الأوتار هي نفسها لكل وحدة طول وتتأثر جميعها بقوة الشد نفسها.
- إذا كانت أطوال الأوتار (L) معلومة. رتب ترددات الموجات من الأكبر إلى الأصغر.

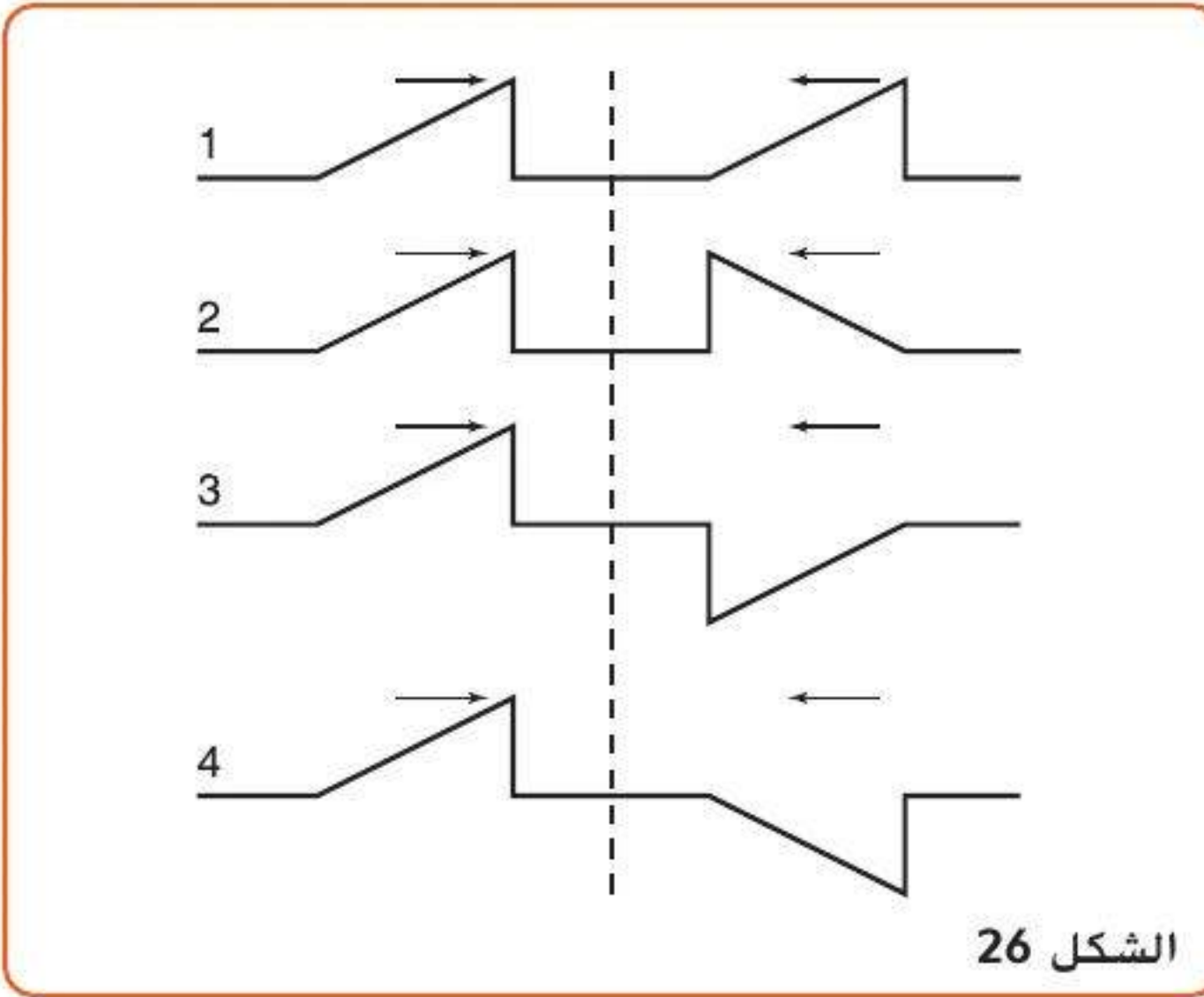


الشكل 25

96. مدينة الألعاب إذا كانت لعبتك المفضلة في مدينة الألعاب هي عربة مثبتة في هيكل بحيث تتأرجح مثل البندول. وإذا كانت العربة تتأرجح من موضع إلى آخر ثماني مرات في 1 min بالضبط. أصبحت الآن تتأرجح ست مرات فقط في 1 min. أجب عن الأسئلة التالية.

- ما الزمن الدوري الأصلي للعبة؟
- ما الزمن الدوري الجديد للعبة؟
- احسب التردد الجديد.
- ما طول الساق الذي يحمل العربة في اللعبة؟
- إذا أراد أصحاب مدينة الألعاب مضاعفة الزمن الدوري للعبة، فما النسبة المئوية للزيادة التي يلزم إضافتها إلى طول الساق؟

97. مثل بالرسم نتيجة كل من الحالات الأربع الموضحة في الشكل 26، عندما يقع مركزا كل من النبضتين على الخط المنقط بحيث تتداخل النبضتان تمامًا.



الشكل 26

98. الساعات يتحكم البندول المتأرجح في السرعة التي تعمل بها الساعة البندولية.

- إذا وجدت أنّ الساعة تؤخر الوقت يوميًا، فما التعديل الذي يلزم إجراؤه على البندول لضبط الوقت؟
- إذا كان طول البندول حاليًا 15.0 cm، فما مقدار الطول اللازم تغييره حتى يكون الزمن الدوري أقل بمقدار 0.0400 s؟
- يبلغ طول بندول ساعة أخرى 77.5 cm. تؤخر الساعة على مدار اليوم 5.00 min. ما مقدار الطول الذي ينبغي تغييره لضبط الوقت؟

91. إذا كنت تسبح بعيدًا من الشاطئ، بالرغم من أن نبضات الموجة تنتقل نحو الشاطئ، فإنها لا تنقلك بالقرب منه.

- ما نوع الموجة التي تواجهها عندما تسبح في الماء؟
- اشرح لماذا لا تنقلك الموجة بالقرب من الشاطئ.
- إذا مرت عليك 10 موجات في غضون 15 s، كم يبلغ الزمن الدوري لهذه الموجات؟
- احسب كم يبلغ تردد هذه الموجات؟
- إذا قدرت أنّ قمم الموجة تبعد إحداها من الأخرى مسافة 3 m، فما السرعة المتجهة للموجات؟
- بعد العودة إلى الشاطئ، تعرف أنّ الموجات تنتقل بسرعة 1.8 m/s. كم يبلغ طول الموجة الفعلي لهذه الموجات؟

92. لاعب القفز بالحبال قفز أحد لاعبي القفز بالحبال كتلته 68 kg من منطاد هواء ساخن باستخدام حبل مطاطي طوله 540 m قابل للاستطالة. وعند اكتمال القفز كان اللاعب معلقًا بالحبل الذي أصبح طوله 1710 m. كم يبلغ ثابت المرونة للحبل المطاطي؟

93. لديك ميزان ميكانيكي لوزن السمك مزود بزبرك ينضغط عند إضافة وزن إلى خطاف مثبت أسفل الميزان. لسوء الحظ، أتلقت معايرة الميزان تمامًا. بالرغم من ذلك، لديك كتلة واحدة معلومة 500.0 g تجعل الزبرك ينضغط مسافة مقدارها 2.0 cm.

- ما ثابت الزبرك؟
- إذا تسببت سمكة بأن ينضغط الزبرك مسافة مقدارها 4.5 cm، ما كتلة السمكة؟

94. تأرجح الجسر في الصيف فوق نهر نيو ريفر في فرجينيا الغربية، يتأرجح العديد من الأولاد باستخدام الحبال ثم يسقطون في النهر بعد بضعة تأرجحات ذهابًا وإيابًا.

- إذا استخدم "حسام" حبلًا طوله 10.0 m، فما الزمن الذي يحتاج إليه ليعمل اهتزازة كاملة؟
- إذا كانت كتلة "فهد" أكبر من كتلة "حسام" بمقدار 20 kg، فما توقعك لاختلاف الزمن الدوري لحركة تأرجحه عن حركة تأرجح "حسام"؟
- عند أي نقطة في حركة التأرجح تبلغ طاقة الحركة أقصى مقدار لها؟
- عند أي نقطة في حركة التأرجح تبلغ طاقة الوضع أقصى مقدار لها؟
- عند أي نقطة في حركة التأرجح تبلغ طاقة الحركة أدنى مقدار لها؟
- عند أي نقطة في حركة التأرجح تبلغ طاقة الوضع أدنى مقدار لها؟

95. زنبركات السيارات عندما تضيف حمولة مقدار 45 kg إلى صندوق سيارة صغيرة جديدة، ينضغط الزنبركان الخلفيان مسافة إضافية مقدارها 1.0 cm.

- احسب الثابت لكل من الزنبركان.
- ما مقدار الزيادة في طاقة الوضع المرونية المخزنة لكل من الزنبركين بعد إضافة الحمولة إلى صندوق السيارة؟

103. التحليل والاستنتاج إذا لزمتم قوة مقدارها 20 N لإحداث استطالة في الزنبرك مقدارها 0.5 m.

- احسب ثابت الزنبرك
- ما مقدار الطاقة الكامنة في الزنبرك؟
- لماذا لا يساوي الشغل المبذول لتمدد الزنبرك القوة مضروبة في المسافة أو 10 J؟

104. تطبيق المفاهيم تتكون تموجات ترابية في الغالب على الطرق الترابية، ويكون بعضها متباعدًا عن بعض بصورة منتظمة، كما تكون هذه التموجات عمودية على الطريق كما في الشكل 27. وينتج هذا التموج بسبب حركة معظم السيارات بالسرعة نفسها واهتزاز الزنبركات المتصلة بعجلات السيارة بالتردد نفسه. فإذا كان بعد التموجات بعضها من بعض 1.5 m، وتتحرك السيارات على هذا الطريق بسرعة 5 m/s، فما تردد اهتزاز زنبركات السيارة؟



الكتابة في الفيزياء

105. أجر بحثًا عن أعمال كريستيان هيجينز المتعلقة بالتموجات والخلاف بينه وبين نيوتن حول طبيعة الضوء. قارن وقابل بين تفسيراتهما لظواهر مثل الانعكاس والانكسار. أي النموذجين تؤيد؟ لماذا؟

مراجعة تراكمية

106. تقطع سيارة كتلتها 1400 kg مسافة 402 m خلال زمن مقداره 9.8 s. فإذا كانت سرعتها النهائية 112 m/s، فأجب عما يلي:

- ما طاقة الحركة النهائية لهذه السيارة؟
 - ما مقدار الحد الأدنى للشغل الذي بذله محركها؟ لماذا لا يمكنك حساب مقدار الشغل الكلي المبذول؟
 - كم يبلغ متوسط التسارع لهذه السيارة؟
107. ما مقدار كمية الماء التي يجب أن تتبخّر من محرك بخاري خلال 1 s لإنتاج 1 kW من الطاقة؟ لنفترض أنّ كفاءة المحرك تصل إلى 20%.

99. تتوقف السرعة للموجة التي تنتقل عبر وتر على قوة الشد في الوتر والكتلة لكل وحدة طول للوتر. إذا كانت F_T هي قوة الشد في الوتر و μ هي الكتلة لكل وحدة طول، فيمكن تحديد السرعة (v) من خلال المعادلة التالية.

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

تبلغ كتلة جزء من الوتر طوله 5.30 m نحو 15.0 g. فكم يجب أن تكون قوة الشد في الوتر حتى يصبح طول موجة ترددها 125 Hz يساوي 120.0 cm؟

التفكير الناقد

100. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من واقع الحياة وتُمثّل المعادلة التالية جزءًا من الحل المطلوب لها:

$$(9.8 \text{ N/kg})(1.65 \text{ kg}) = k (0.15 \text{ m})$$

101. طرح مسألة أكمل هذه المسألة بحيث يجب حلها باستخدام المفهوم الوارد أدناه: "عُلقت كتلة رأسيا في زنبرك يبلغ ثابتته 200 N/m ..."

- بقاء الطاقة
- التردد

102. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها عُلقت عدة أوزان في زنبرك وقيست استطالات الزنبرك. يوضّح الجدول 2 البيانات التي تم الحصول عليها.

الجدول 2 الأوزان المؤثرة في الزنبرك	
مقدار 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

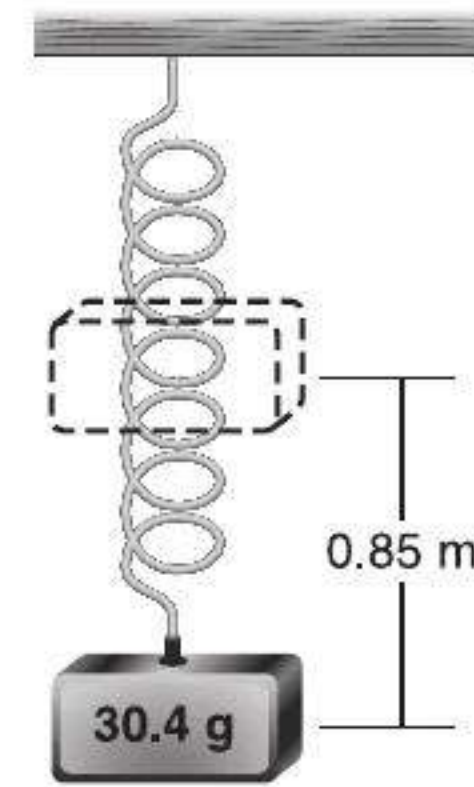
- مثّل بيانيًا العلاقة بين مقدار القوة المبذولة على الزنبرك مقابل الاستطالة فيه، على أن ترسم القوة على محور الصادات y .
- أوجد ثابت الزنبرك من التمثيل البياني.
- باستخدام الرسم البياني، أوجد قيمة طاقة الوضع المرونية الكامنة في الزنبرك عندما يستطيل إلى 0.50 m.

تدريب على الاختبار المعياري

الوحدة 1

الاختبار من متعدد

1. ما قيمة ثابت زنبرك تبلغ طاقة وضعه المرونية 8.67 J عندما يستطيل بمقدار 247 mm؟
A. 70.2 N/m .C. 142 N/m
B. 71.1 N/m .D. 284 N/m
2. ما مقدار القوة التي تؤثر في زنبرك يبلغ ثابتته 275 N/m ويستطيل بمقدار 14.3 cm؟
A. 2.81 N .C. 39.3 N
B. 19.2 N .D. 3.93×10^{30} N
3. إذا علقت كتلة في النهاية الطرف لزنبرك فاستطال بمقدار 0.85 m كما هو موضح في الشكل التالي. كم يبلغ ثابت الزنبرك؟
A. 0.25 N/m .C. 26 N/m
B. 0.35 N/m .D. 3.5×10^2 N/m



4. زنبرك ثابتته يساوي 350 N/m يسحب بابًا لكي يغلقه. ما مقدار الشغل المبذول عندما يسحب الزنبرك الباب بسرعة ثابتة من استطالة 85.0 cm إلى استطالة مقدارها 5.0 cm؟
A. 110 N · m .C. 220 N · m
B. 130 J .D. 1.1×10^3 J
5. ما طول بندول يبلغ زمنه الدوري 4.89 s؟
A. 5.94 m .C. 24.0 m
B. 11.9 m .D. 37.3 m
6. ما تردد موجة يبلغ زمنها الدوري 3 s؟
A. 0.3 Hz .C. $\frac{\pi}{3}$ Hz
B. 30 Hz .D. 3 Hz

7. اعتمادًا على معادلة الزمن الدوري للبندول. أي الآتية معادلة صحيحة لطول بندول؟

A. $\ell = \frac{4\pi^2 g}{T^2}$ C. $\ell = \frac{T^2 g}{(2\pi)^2}$
B. $\ell = \frac{gT}{4\pi^2}$ D. $\ell = \frac{Tg}{2\pi}$

8. أي صفوف الجدول يمثل موجة مستقرة؟

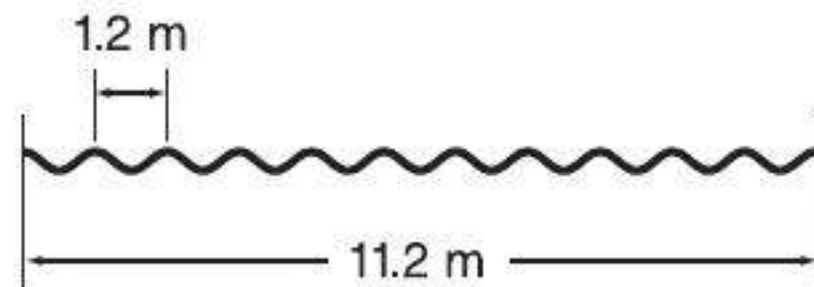
الموجات	الاتجاه	الوسط
a	متماثلة	نفسه
b	غير متماثلة	متعاكس
c	متماثلة	متعاكس
d	غير متماثلة	نفسه

9. ما اسم الظاهرة الذي يُطلق على سلوك الموجة التي يتغير فيها اتجاه الموجة عند انتقالها من وسط إلى آخر؟

A. التداخل .C. الانعكاس
B. التخلخل .D. الانكسار

10. قطعت الموجة الموضحة في الشكل التالي مسافة 11.2 m إلى جدار وانعكست مرة أخرى في 4 s. كم يبلغ تردد الموجة؟

A. 0.2 Hz .C. 5 Hz
B. 2 Hz .D. 9 Hz



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

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

هل تحتاج إلى مساعدة؟

إذا أخطأت في السؤال	1	2	3	4	5	6	7	8	9
راجع القسم	1	1	2	2	3	3	1	2	1

الوحدة 2

الصوت

الفكرة الرئيسية إنّ الموجات الصوتية عبارة عن تغيّرات في الضغط تنتقل في صورة موجات طولية ويمكن أن تستشعر أذن الإنسان الكثير منها.

الأقسام

1 خصائص الصوت والكشف عنه

2 الفيزياء والموسيقى

التجربة الاستهلاكية

إنتاج النغمات الموسيقية

كيف يمكن إنتاج نغمات موسيقية باستخدام أكواب عصير زجاجية ذات سيقان؟



Chapters sourced from Sound and Sound Chapters 15 from G. J. McMurtry, Principles of Acoustics, 2nd Edition, McGraw-Hill Education

حقوق الطبع والنشر © محفوظة لصالح مؤسسة مكارثي-هيل للتعليم



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة مـجـرـوـو

خصائص الصوت والكشف عنه

القسم 1

الفيزياء في حياتك

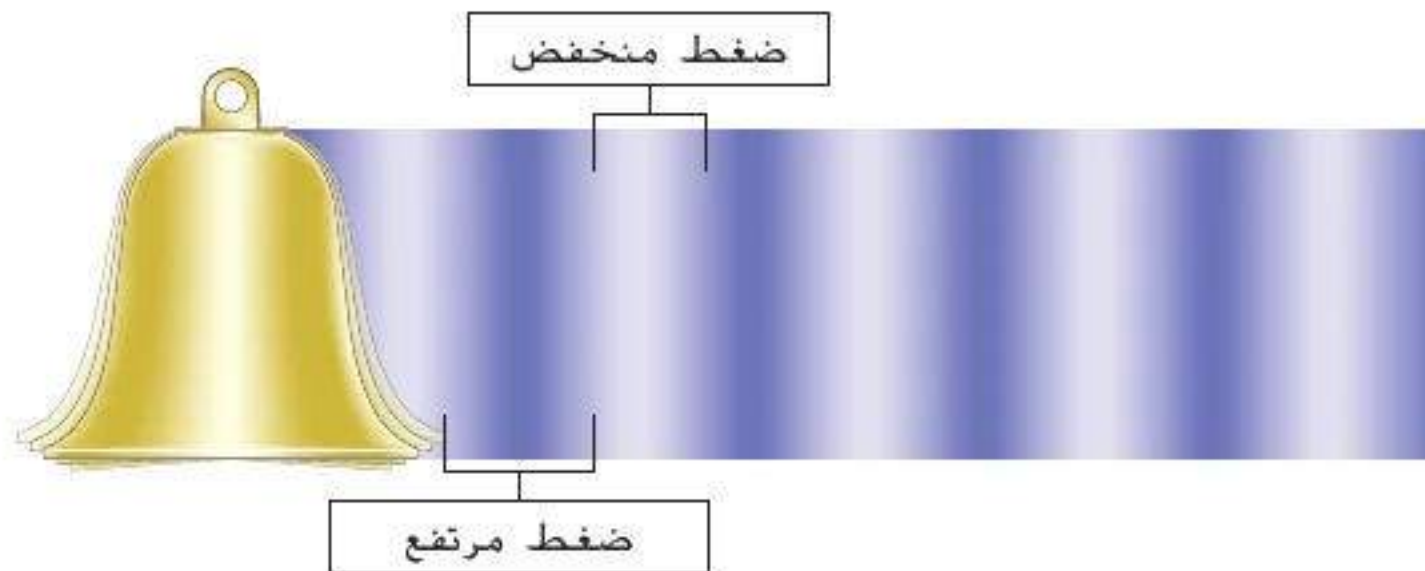
لعلك لاحظت أنّ صوت شاحنة ما قريبة منك مختلف عن صوت الشاحنة نفسها عندما تتحرّك مبتعدة عنك. يُطلق على هذا التأثير "تأثير دوبلر" وتمت دراسته أول مرة في العام 1845. لاحظ العالم الهولندي سي إتش دي بويز بالوت تغيّرات في الصوت أثناء مرور أحد القطارات الذي يقلّ عازفي البوق.

الموجات الصوتية

يعتبر الصوت شيئاً أساسياً في حياة الإنسان والعديد من المخلوقات الحية الأخرى. إذ ينبّهنا صوت صافرة الإنذار بوجود خطرٍ ما وينبغي الوعي بالأشياء المحيطة بنا. بينما يجعلنا صوت الموسيقى نشعر بالهدوء والاسترخاء. ثمة العديد من خصائص الصوت المألوفة لديك في حياتك اليومية ومنها مستوى الصوت ونغمته وطبقته. يمكنك استخدام هذه الخصائص وغيرها لتصنيف العديد من الأصوات التي تسمعها. على سبيل المثال، تُعدّ بعض أنماط الصوت من ميزات الكلام. في حين يُعتبر بعضها من ميزات فرقة موسيقية معينة. ستدرس في هذه الوحدة المبادئ الفيزيائية للصوت كأحد أنواع الموجات. وستستعين بما درست سابقاً عن الموجات لوصف بعض خصائص الصوت وتفاعلاته.

تغيّرات الضغط ضع أصابعك على حنجرتك وأنت تهمهم أو تتكلم. هل تشعر بالاهتزازات؟ يوضّح الشكل 1 جرسًا يهتز وهو يشبه أحبالك الصوتية أو مكبر صوت (مسجل) أو أي مصدر آخر للصوت. وعندما يهتز الجرس إلى الخلف والأمام، تصطدم حافة الجرس بجزيئات الهواء، فتدفع جزيئات الهواء إلى الأمام عندما تتحرّك الحافة إلى الأمام. بمعنى أنّ جزيئات الهواء ترتد عن الجرس بسرعة متجهة أكبر من السرعة المتجهة لارتدادها في حالة عدم تحرك الجرس. وعندما تتحرك الحافة إلى الخلف، ترتد جزيئات الهواء عن الجرس بسرعة متجهة أقل.

الشكل 1 عندما يكون الجرس في وضع سكون كما في الصورة العليا من الشكل. يكون ضغط الهواء المحيط متوسطًا. وعند قرع الجرس كما يظهر في الصورة السفلى، تُشكّل الحافة المهتزة مناطق ذات ضغط مرتفع ومنخفض. ولتسهيل الفهم يوضح الرسم التخطيطي تحرك مناطق الضغط في اتجاه واحد، لكن في الواقع تتحرك الموجات المنبعثة عن الجرس في الاتجاهات جميعها.



الفكرة الرئيسية

يعتمد إدراكنا للموجة الصوتية على الخصائص الفيزيائية للموجة.

الأسئلة الرئيسية

- ما الخصائص التي تشترك فيها الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى؟
- ما الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية التي ترتبط بإدراكنا للصوت؟
- ما المقصود بتأثير دوبلر؟
- ما أهم تطبيقات تأثير دوبلر؟

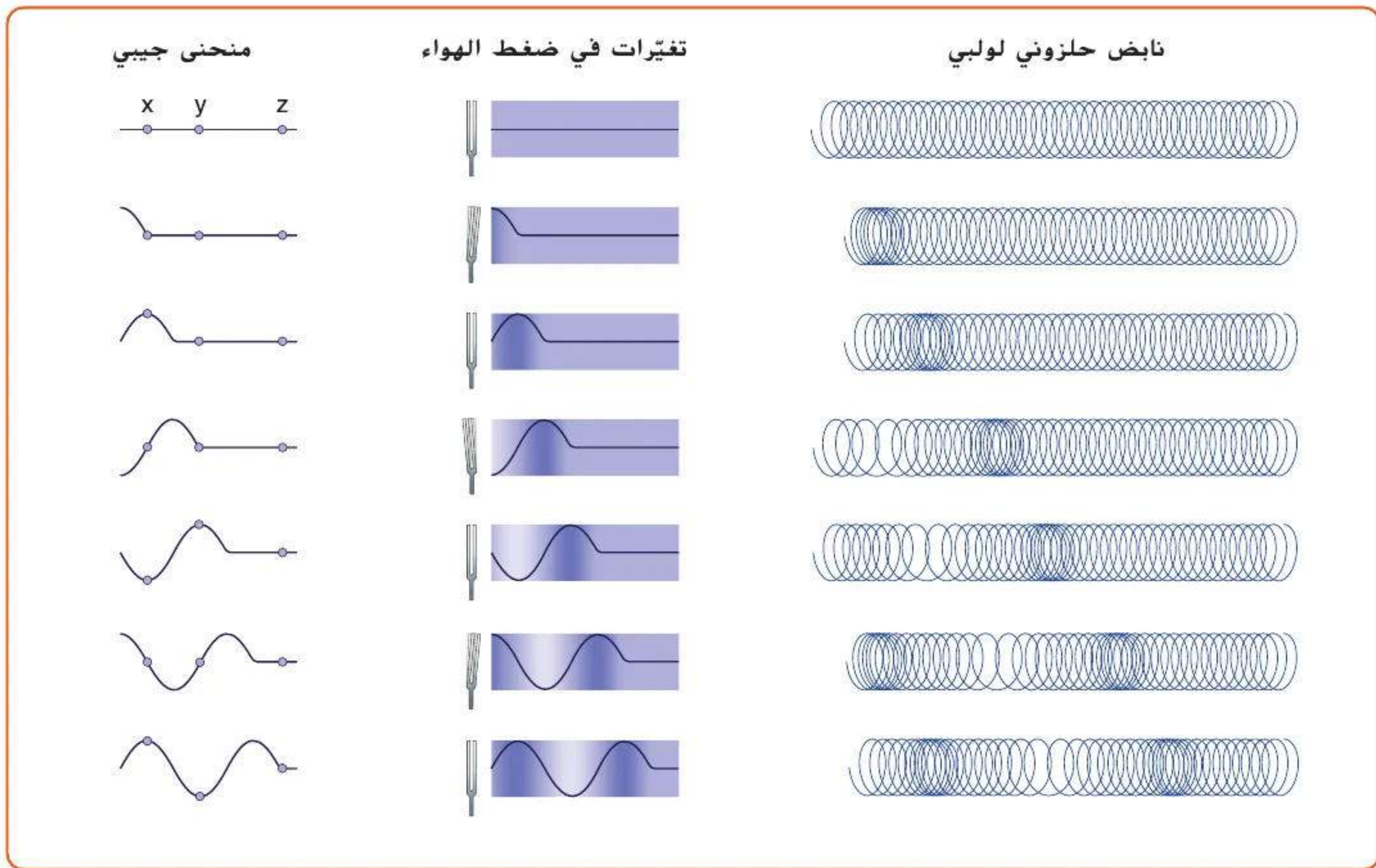
مفردات للمراجعة

الموجة wave: اضطراب ينقل الطاقة عبر المادة أو الفضاء دون أن ينقل المادة

مفردات جديدة

sound wave	موجة صوتية
pitch	جِدَّة (أو درجة) الصوت
loudness	شِدَّة الصوت
sound level	مستوى الصوت
decibel	ديسبل
doppler effect	تأثير دوبلر





الشكل 2 يمثل نابض حلزوني لولبي التذبذبات التي تحدثها موجة صوتية. وبينما تنتقل الموجة الصوتية عبر الهواء، يرتفع ضغط الهواء وينخفض، ويمكن استخدام منحنيات الجيبية للتعبير عن تغيرات الضغط. لاحظ أن المواقع x و y و z تبين أن الموجة هي التي تنتقل وليست المادة.

تُشكّل حركة الجرس إلى الأمام منطقة يكون فيها ضغط الهواء أعلى قليلاً من المتوسط، كما هو موضح في الشكل 1. وتُشكّل الحركة إلى الخلف منطقة ذات ضغط أقل قليلاً من المتوسط. كما تؤدي التصادمات بين جزيئات الهواء إلى انتقال تغيرات الضغط بعيداً عن الجرس في الاتجاهات كلها. وإذا ركزت على بقعة واحدة، فستجد أن مستوى ضغط الهواء يرتفع وينخفض وبهذه الطريقة، تنتقل تغيرات الضغط عبر المادة.

وصف الصوت يُطلق على انتقال التذبذبات الناتجة عن تغيرات الضغط عبر المادة اسم **الموجة الصوتية**. تنتقل الموجات الصوتية عبر الهواء لأن مصدر الاهتزاز يُنتج اهتزازات أو تذبذبات منتظمة في ضغط الهواء، فتتصادم جزيئات الهواء وتنتقل تغير الضغط بعيداً عن مصدر الصوت. يبين الشكل 2 تذبذب ضغط الهواء حول متوسط الضغط، فيساوي تردد الموجة عدد التذبذبات في الضغط في كل ثانية، بينما يمثل طول الموجة المسافة بين المناطق المتتالية للضغط المرتفع أو المنخفض. ويُعدّ الصوت موجة طولية لأن حركة الجزيئات في الهواء موازية لاتجاه حركة الموجة.

وكما في الموجات الأخرى، تعتمد سرعة الصوت على الوسط الذي ينتقل خلاله؛ وتغير سرعة الصوت في الهواء باختلاف درجة حرارته، حيث تزداد بمعدل 0.6 m/s لكل زيادة في درجة حرارة الهواء مقدارها 1°C . وسرعة الصوت في الهواء الذي له درجة حرارة الغرفة (20°C) وضغط مساو للضغط الجوي عند مستوى سطح البحر، تساوي 343 m/s . وسنستخدم على هذه الظروف في حل المسائل الواردة في الكتاب، ما لم يذكر خلاف ذلك.

✓ **التأكد من فهم النص** قدّر سرعة الصوت عبر الهواء عند مستوى سطح البحر إذا كانت درجة الحرارة تصل إلى 25°C .

مختبر الفيزياء

ينتقل الصوت عبر الهواء
ما السرعة التي ينتقل بها الصوت في الهواء؟

الجدول 1 سرعة الصوت في أوساط متعددة	
الوسط (عند درجة حرارة معينة)	m/s
الهواء (0°)	331
الهواء (20°)	343
الهيليوم (0°)	965
الماء (25°)	1497
ماء البحر (25°)	1535
النحاس (20°)	4760
الحديد (20°)	4994

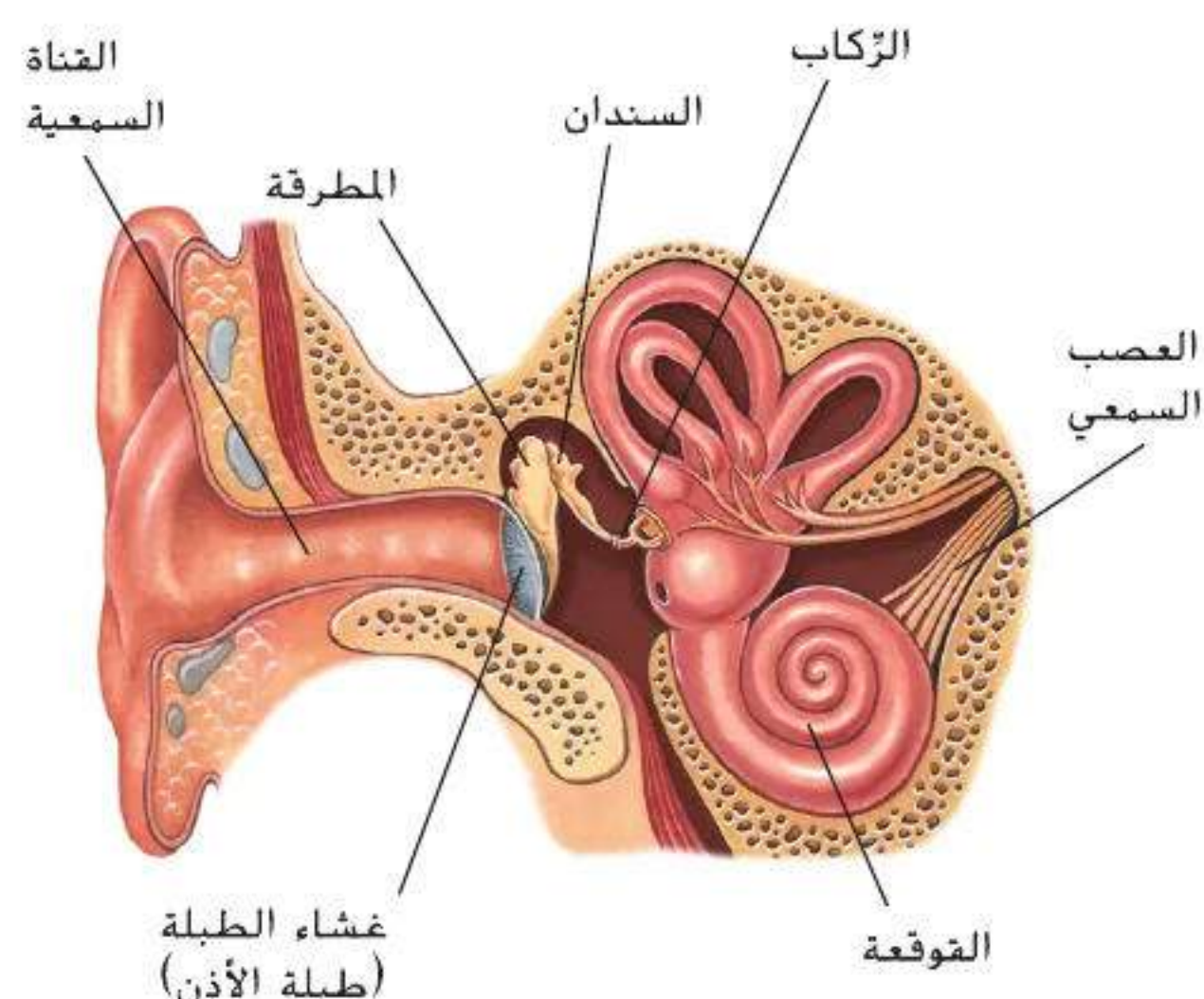
تكون سرعة الصوت عمومًا في الأجسام الصلبة والسوائل أكبر منها في الغازات. يبين الجدول 1 سرعات الموجات الصوتية في أوساط متعددة. لاحظ أنه لا يمكن للصوت أن ينتقل في الفراغ لأنه لا توجد جسيمات لكي تتصادم وتنقل الموجات الصوتية. تشترك الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى في خصائصها العامة. فعلى سبيل المثال، تنعكس الموجات الصوتية عن الأجسام الصلبة كجدران الغرفة مثلًا، وتسمى الموجات الصوتية المنعكسة بالصدى. ويمكننا الاستفادة من معرفة الوقت اللازم لعودة الصدى إلى مصدر الصوت في إيجاد المسافة بين المصدر والجسم الذي انعكس عنه. تستفيد الخفافيش وبعض الكاميرات وبعض السفن التي تستخدم السونار من هذا المبدأ. يمكن أن تتداخل موجتان صوتيتان مما يتسبب في تكوين مناطق تُدعى مناطق الخفوت عند العقد حيث يكون الصوت عندها ضعيفًا جدًا. وكما عرفت سابقًا فإن تردد الموجة وطولها يرتبطان بسرعتها من خلال المعادلة التالية $\lambda = v/f$.

الكشف عن موجات الضغط

تُحوّل مراقبات الصوت الطاقة الصوتية - طاقة حركة الجزيئات المهتزة للوسط الذي ينتقل خلاله - إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. يُعدّ الميكروفون أحد المراقبات الشائعة حيث يحوّل الطاقة الصوتية إلى طاقة كهربائية. ويتكوّن الميكروفون من قرص رقيق يهتز استجابة للموجات الصوتية، فينشأ عن ذلك إشارة كهربائية.

أذن الإنسان كما هو موضّح في الشكل 3، تُعدّ أذن الإنسان مراقبًا صوتيًا يستقبل موجات الضغط ويحوّلها إلى نبضات كهربائية. عندما تدخل الموجات الصوتية القناة السمعية، يهتز الغشاء الطبلي الذي يُطلق عليه طبلة الأذن. ثم تنقل ثلاث عظام صغيرة في الأذن الوسطى هذه الاهتزازات إلى سائل في القوقعة. تلتقط شعيرات صغيرة تُبطّن القوقعة الحلزونية ترددات معينة في السائل المتذبذب. وتُنشّط هذه الشعيرات الخلايا العصبية التي ترسل بدورها نبضات إلى المخ وتولّد الإحساس بالصوت. تستشعر الأذن الموجات الصوتية لمدى واسع من الترددات وهي حساسة لمدى كبير جدًا من السعات. بالإضافة إلى ذلك، تستطيع حاسة السمع لدى الإنسان التمييز بين العديد من الأنواع المختلفة للصوت. لذا يتطلب فهم آلية عمل الأذن وتعقيدها معرفة بعلم الفيزياء والأحياء. ويُعدّ تفسير الأصوات في الدماغ أمرًا معقدًا ولم يفهم تمامًا.

■ أذن الإنسان



الشكل 3 إنّ أذن الإنسان هي أحد الأعضاء الحسية التي تترجم اهتزازات الصوت من البيئة الخارجية إلى سيالات عصبية تُرسل إلى الدماغ لتفسيرها. عندما تدخل الموجات الصوتية القناة السمعية، تهتز طبلة الأذن. يوجد ثلاث عظام في الأذن الوسطى هي المطرقة والسندان والركاب وتحرك هذه العظام نتيجة للاهتزازات. وبعد ذلك تُنقل الاهتزازات إلى الأذن الداخلية حيث تتسبب في حدوث سيالات عصبية في الدماغ.

المفردات

حدة (درجة) الصوت pitch

• الاستخدام العلمي

ارتفاع الصوت أو انخفاضه الذي يعتمد على تردد الاهتزاز
يُصدّر الناي والتوبا طبقات صوتية مختلفة جدًا.

إدراك الصوت

تعتمد الطريقة التي يدرك بها الإنسان الصوت جزئيًا على الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية مثل التردد والسعة.

درجة (حدة) الصوت كان مارين ميرسن وجاليليو أول من توصلوا إلى أنّ طبقة الصوت التي نسمعها تعتمد على تردد الاهتزاز. تُعرف **حدة الصوت** بأنها ارتفاع الصوت أو انخفاضه. تستخدم طبقة الصوت في الموسيقى بالسلم الموسيقي، فمثلاً يبلغ تردد النغمة المعروفة بـ C، وهي الطبقة الوسطى، 262 Hz. ويبلغ تردد أعلى نغمة على البيانو 4186 Hz. وأذن الإنسان ليست حساسة بالتساوي للترددات كلها. فلا يستطيع أغلب الأشخاص أن يسمعوا أصواتًا تقل تردداتها عن 20 Hz أو تزيد عن 16,000 Hz. كما أن معظم الحيوانات مثل القطط والفيلة والخفافيش تستطيع سماع الأصوات عند ترددات لا يستطيع الإنسان سماعها.

شدة الصوت يُعدّ التردد وطول الموجة من الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية. وتُعتبر السعة خاصية فيزيائية أخرى للموجات الصوتية، والسعة هي مقياس لتغيّر الضغط في الموجة. **وشدة الصوت** هي خاصية الصوت التي تدركها الأذن ويفسرها الدماغ. وتعتمد شدة الصوت بشكل أساسي على سعة موجة الضغط.

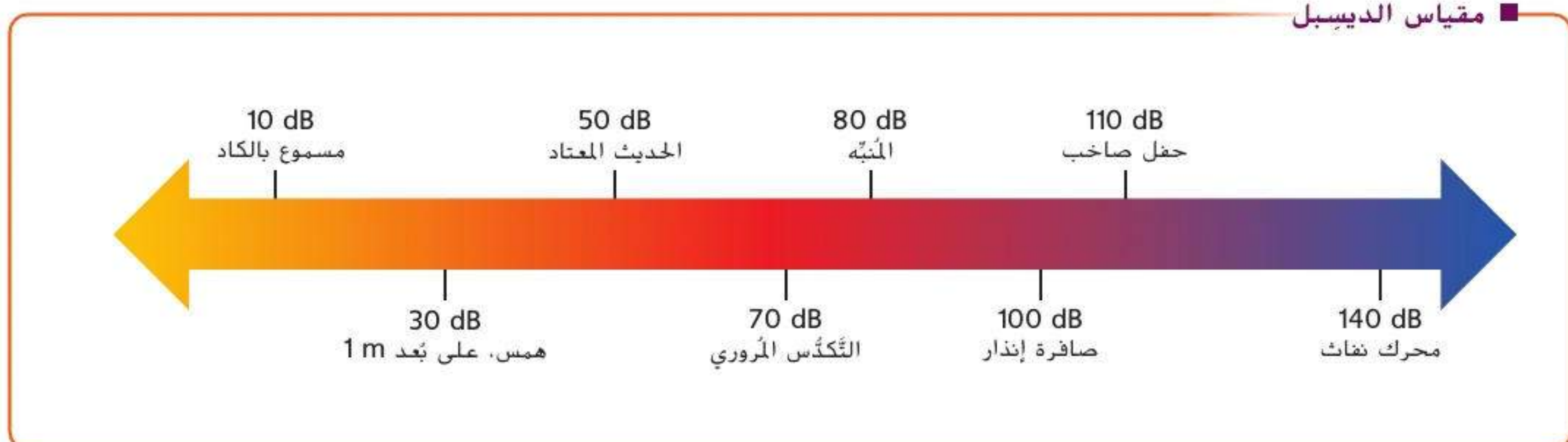
تُعدّ أذن الإنسان شديدة الحساسية للتغيرات في شدة الموجات الصوتية. فأنت تعرف أنّ الضغط الجوي الذي مقداره 1 atm يساوي 1.01×10^5 Pa، ولكن تستطيع الأذن تحسس ساعات موجات الضغط التي تقل عن واحد من المليار من الغلاف الجوي أو 2×10^{-5} Pa. وبالمقابل تسبب تغيرات الضغط المقاربة من 20 Pa ألهاً للأذن، ومن المهم أن تعلم أن الأذن تتحسس تغيرات الضغط عن ترددات معينة فقط، فالصعود إلى الجبل يغيّر من مقدار الضغط الواقع على أذنك بمقدار الآلاف من الباسكال، ولكن لا يؤثر في الترددات المسموعة.

نظرًا إلى أنّ الإنسان يستطيع تحسس مدى واسع من درجات شدة الصوت، لذا فإنها تقاس على مقياس لوغاريتمي يسمى **مستوى الصوت**، ووحدة قياس مستوى الصوت الأكثر شيوعًا هي **ديسبل (dB)**. يعتمد مستوى الصوت على نسبة شدة موجة صوتية معينة إلى نسبة أضعف الأصوات المسموعة، ويقاس أضعف صوت عند 0 dB. ويكون مستوى الصوت الذي تزيد شدته بمقدار بمعامل 100 مساويًا 20 dB، ومستوى الصوت الذي تزيد شدته بمقدار بمعامل 100 أخرى مساويًا 40 dB. يدرك معظم الأشخاص زيادة قدرها 10 dB في مستوى الصوت وهو ما يعادل مثلي شدة الصوت الأصلي. يوضّح الشكل 4 مستوى الصوت لعدة أصوات مختلفة. بالإضافة إلى شدة الصوت، يمكن وصف التغيرات في الضغط وقدرة الموجات الصوتية بمقاييس الديسبل.

الشكل 4 يوضّح مقياس الديسبل هذا

مستوى الصوت لعدة أصوات مختلفة.

استدّل كم مرة تزيد شدة الصوت الصادر من منبه سيارة عن الصوت الصادر من شاحنة كبيرة؟

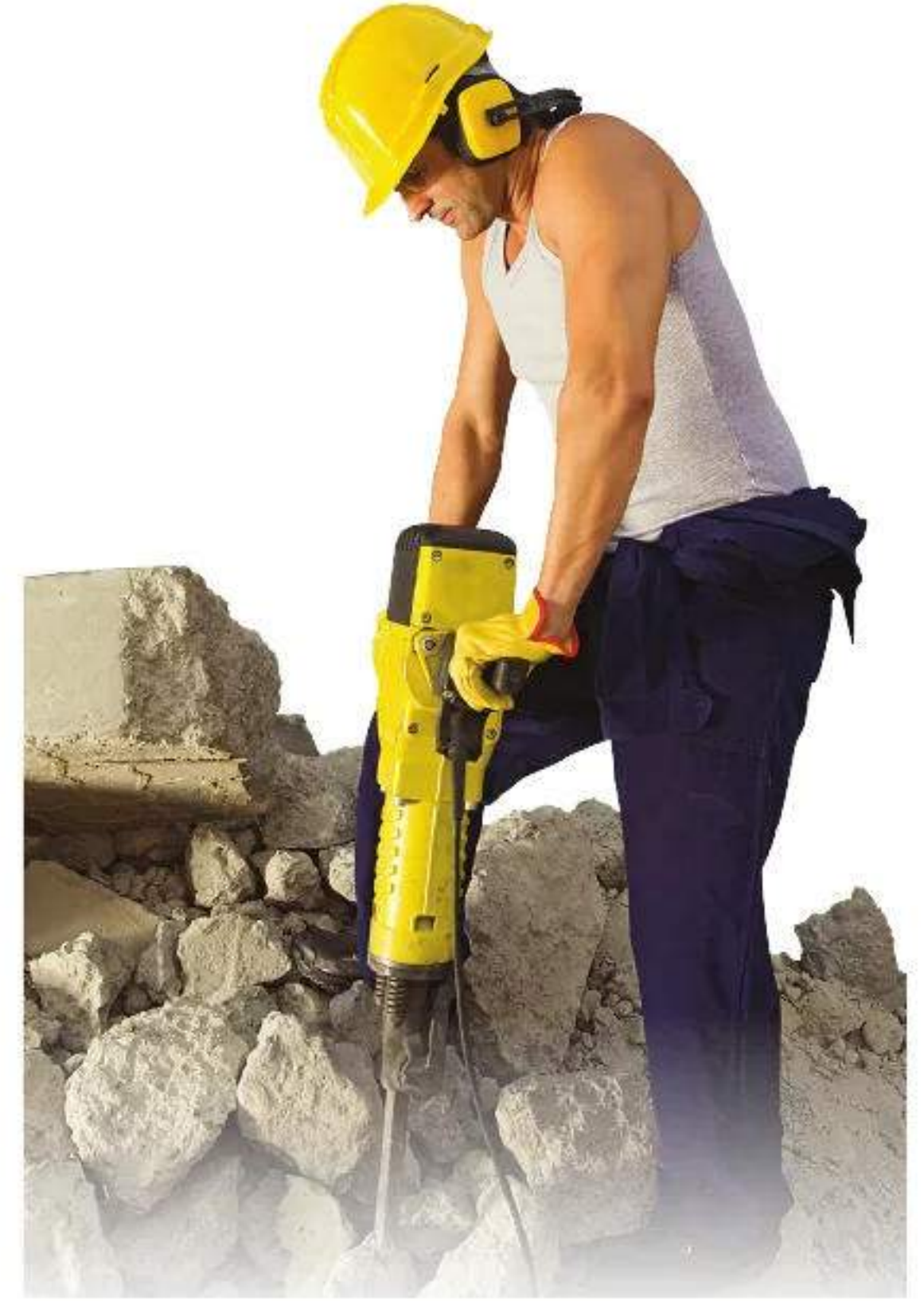


بعد التعرض لأصوات صاخبة في شكل ضوضاء أو موسيقى، يمكن للأذن أن تفقد قدرتها على السمع خاصة للأصوات ذات الترددات العالية. كلما تعرض الشخص لأصوات عالية لفترة أطول، ازداد تأثير الأذن. يستطيع الشخص التعافي من أثر التعرض لفترة قصيرة خلال ساعات، ولكن يؤدي التعرض لفترة طويلة إلى مستويات الصوت التي تصل إلى 100 dB أو أكبر إلى تلف دائم في خلايا السمع. قد ينتج فقدان السمع أيضًا عن الموسيقى الصاخبة التي تُنقل عن طريق سماعات رأس الستيريو المتصلة بأجهزة الراديو الشخصية ومشغلات الأقراص المضغوطة. في بعض الحالات، يغفل المستمعون عن مستويات الصوت العالية. وللتقليل من أثر الأصوات الصاخبة، يمكن استخدام سدادات الأذن القطنية لخفض مستوى الصوت بمقدار 10 dB فقط. كما يمكن أن تخفّض ملحقات معينة للأذن مستوى الصوت بمقدار 25 dB. وكذلك تخفّض واقبات الأذن والملحقات التي صُممت خصيصًا. كما هو مبين في الشكل 5، مستوى الصوت بمقدار يصل إلى 45 dB.

تأثير دوبلر

هل لاحظت أنّ حدة الصوت الصادر من سيارة سريعة تغيّرت عند مرور السيارة بجانبك؟ كانت طبقة الصوت أعلى عندما كانت السيارة تتحرّك تجاهك، ثم انخفضت حدة الصوت عندما تحركت السيارة بعيدًا عنك. يُطلق على التغيّر في تردد الصوت الذي تحدّثه حركة مصدر الصوت أو المراقب أو كلاهما اسم **تأثير دوبلر** الموضّح في الشكل 6. يتحرّك مصدر الصوت (S) إلى اليمين بسرعة V_s . وتنتشر الموجات المنبعثة من المصدر في دوائر مركزها المصدر في الوقت الذي تُنتج فيه الموجات. كلما تحرك المصدر تجاه مراقب الصوت، وهو المراقب A في الشكل 6، تقاربت موجات عديدة في المنطقة التي تقع بين المصدر والمراقب. فيقل طول الموجة ويصبح λ_A . ونظرًا إلى عدم تغيّر سرعة الصوت، تصل قمم أكثر إلى أذن المراقب كل ثانية، وهذا يعني زيادة تردد الصوت الذي كُشف عنه. عندما يتحرّك المصدر بعيدًا عن المراقب، وهو المراقب B في الشكل 6، يزداد طول الموجة ويصبح λ_B . وتصل قمم أقل إلى أذن المراقب B كل ثانية ويقل تردد الصوت الذي كُشف عنه.

يحدث تغيّر دوبلر أيضًا إذا كان المراقب متحرّكًا والمصدر ثابتًا. وكلما اقترب المراقب من مصدر ثابت، واجه العديد من قمم الموجات كل ثانية أكثر مما لو كان ساكنًا. ويتم سماع صوت بتردد أكبر. أما إذا ابتعد المراقب عن المصدر، فستقل القمم التي تصل إليه كل ثانية مما يؤدي إلى انخفاض تردد الصوت المسموع.

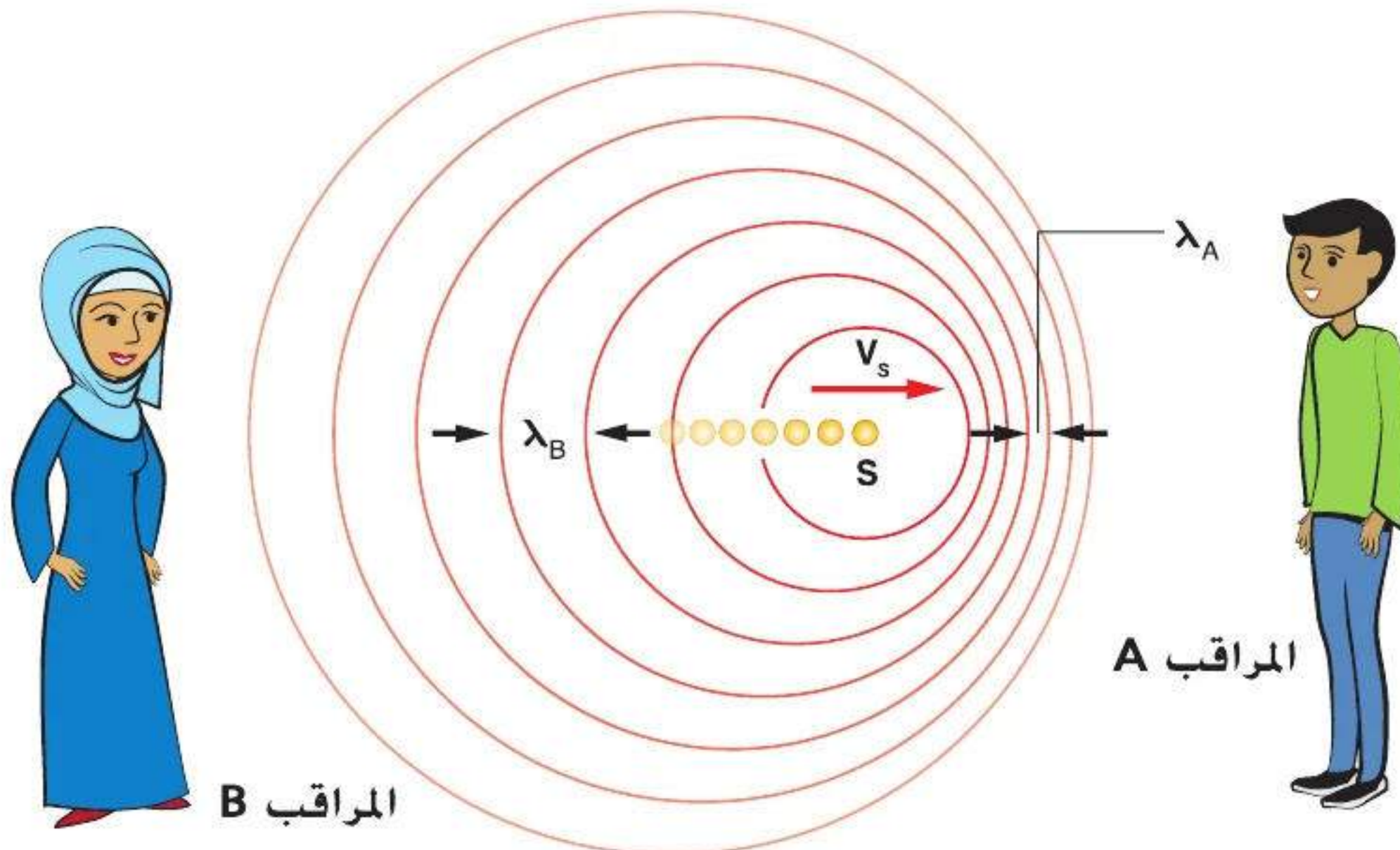


الشكل 5 يسبب التعرض المستمر للأصوات الصاخبة إلى فقدان السمع. لذا يرتدي العمال في العديد من المهن، مثل التشييد، أدوات لحماية الأذن. يبلغ مستوى الصوت الصادر من الهمر الذي يستخدمه هذا العامل 130 dB.

مختبر الفيزياء

ما الديسبل؟

كيف يمكنك قياس مستوى الصوت؟



الشكل 6 عند تحرك مصدر الصوت في اتجاه المراقب A، يقل طول الموجة ويصبح λ_A . أما إذا تحرك المصدر بعيدًا عن المراقب B، ازداد طول الموجة وأصبح λ_B .

صِف ما الاختلاف النسبي في تردد الصوت الذي يسمعه لكل مراقب؟

عند وجود مصدر متحرك ومراقب متحرك، يمكن حساب التردد الذي يسمعه المراقب باستخدام العلاقة الواردة أدناه.

تأثير دوبلر

يساوي التردد الذي يسمعه مراقب معين السرعة المتجهة للمراقب بالنسبة إلى السرعة للموجة مقسومة على السرعة للمصدر بالنسبة إلى السرعة للموجة، والمقدار كله مضروباً في تردد الموجة.

$$f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$$

يمثل v في معادلة تأثير دوبلر السرعة للموجة الصوتية ويمثل v_s السرعة المتجهة لمصدر الصوت ويمثل v_d السرعة للمراقب الذي يسمع الصوت. يمثل f_s تردد الموجة المنبعثة من المصدر و f_d التردد الذي يسمعه المراقب. يستخدم الرمز السفلي d بدلاً من الحرف o لمنع الخلط بينه وبين العدد صفر. وتستخدم الرموز السفلية للإشارة إلى الترددات التي تمثلها.

تعريف النظام الإحداثي

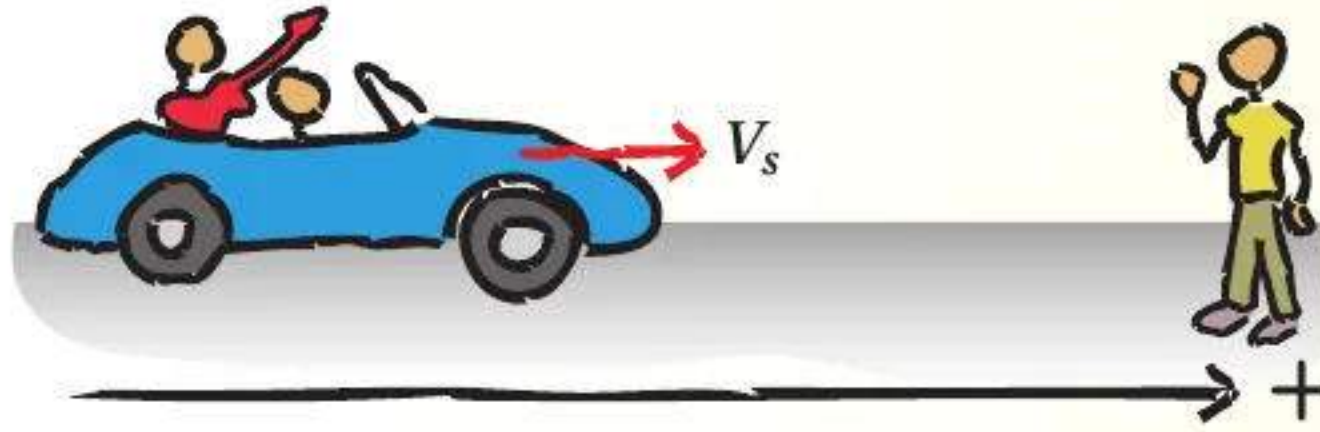
تعريف النظام الإحداثي بحيث يكون الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب. وستصل الموجات الصوتية إلى المراقب من المصدر، بحيث تكون السرعة المتجهة للصوت موجبة دائماً. حاول أن ترسم رسوماً تخطيطية لكي تتحقق من أن المقدار $\frac{v - v_d}{v - v_s}$ يعطي النتائج التي تتوقعها في ضوء ما تعلمته عن تأثير دوبلر. لاحظ أنه بالنسبة إلى مصدر يتحرك باتجاه المراقب (الاتجاه الموجب الذي يؤدي إلى مقام أصغر مقارنة بمصدر ثابت) وبالنسبة إلى مراقب يتحرك باتجاه المصدر (الاتجاه السالب الذي يؤدي إلى زيادة قيمة البسط مقارنة بمراقب ثابت)، فإن التردد الذي يستقبله المراقب (f_d) يزداد. بالمثل، إذا تحرك المصدر بعيداً عن المراقب أو إذا تحرك المراقب بعيداً عن المصدر، يقل f_d . "اقرأ ربط الرياضيات بالفيزياء" الموضح أدناه لتعرف كيفية اختصار معادلة تأثير دوبلر عندما يكون المصدر أو المراقب ثابتاً.

ربط الرياضيات	بالفيزياء
اختصار المعادلات عندما يساوي عنصر صفراً في معادلة، قد تختصر المعادلة في صورة أكثر سهولة لاستخدامها.	
مراقب ثابت، مصدر متحرك: $v_d = 0$	مصدر ثابت، مراقب متحرك: $v_s = 0$
$f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$	$f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$
$= f_s \frac{v}{v - v_s}$	$= f_s \frac{v - v_d}{v}$
$= f_s \frac{\frac{v}{v}}{\frac{v}{v} - \frac{v_s}{v}}$	$= f_s \frac{\frac{v}{v} - \frac{v_d}{v}}{\frac{v}{v}}$
$= f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$	$= f_s \frac{1 - \frac{v_d}{v}}{1}$
	$= f_s \left(1 - \frac{v_d}{v}\right)$

مثال 1

تأثير دوبلر يصدر الجيتار الذي يستخدمه العازف النغمة C التي تقع فوق النغمة C الوسطى (523 Hz) وذلك في أثناء ركوب هذا العازف بسيارة مكشوفة سرعتها 24.6 m/s. ما التردد الذي ستسمعه إذا كانت السيارة تتحرك تجاهك؟ افترض أن درجة الحرارة تساوي 20°C.

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثل الموقف.
- حدّد محور الإحداثيات. تأكد من أن الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب.
- وضح السرعات المتجهة للمصدر والمراقب.

المعلوم	المجهول
$v = +343 \text{ m/s}$	$f_d = ?$
$v_s = +24.6 \text{ m/s}$	
$v_d = 0 \text{ m/s}$	
$f_s = 523 \text{ Hz}$	

2 حساب المجهول

استخدم $f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$ مع $v_d = 0 \text{ m/s}$.

$$f_d = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

$$= 523 \text{ Hz} \left(\frac{1}{1 - \frac{24.6 \text{ m/s}}{343 \text{ m/s}}} \right)$$

$$= 564 \text{ Hz}$$

► عوض عن $v = +343 \text{ m/s}$ و $v_s = +24.6 \text{ m/s}$ و $f_s = 523 \text{ Hz}$

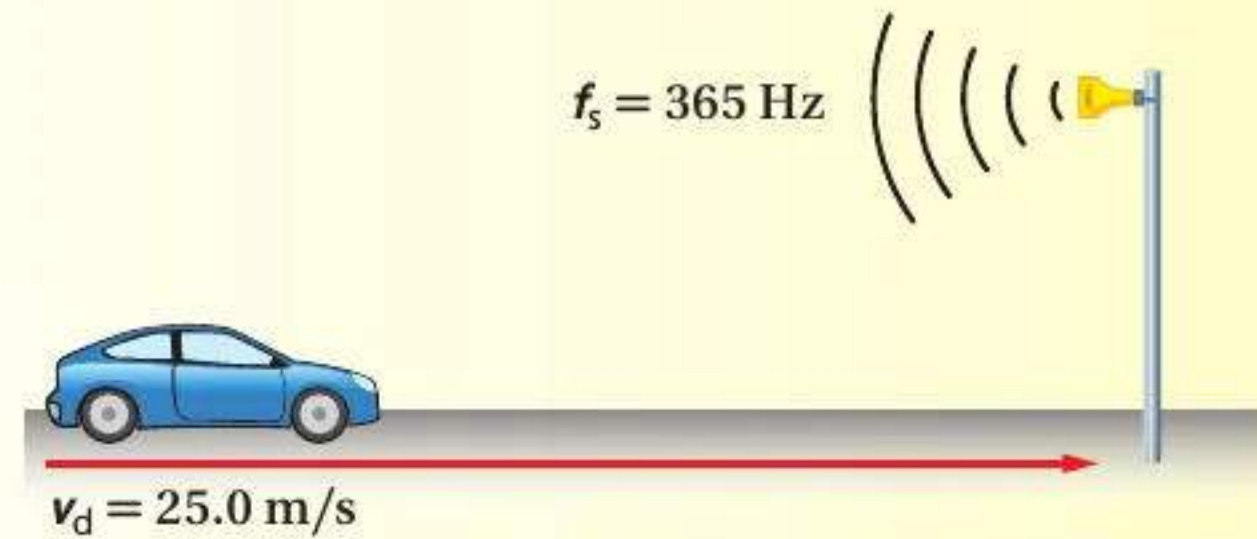
3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يقاس التردد بوحدة الهرتز.
- هل المقدار منطقي؟ يتحرك المصدر تجاهك، لذا ينبغي أن يزداد التردد.

تطبيقات

3. افترض أنك تركب سيارة تسير بسرعة قدرها (24.6 m/s). وتتحرّك سيارة ثانية في اتجاهك بالسرعة نفسها ويصدر بوقها صوتاً تردده 475 Hz. ما التردد الذي تسمعه؟ علماً بأن سرعة الصوت تساوي 343 m/s.
4. تتحرّك غواصة في اتجاه غواصة أخرى بسرعة 9.20 m/s. وتصدر موجات فوق صوتية ترددها يساوي 3.50 MHz. ما التردد الذي ستلتقطه الغواصة الثانية وهي ساكنة؟ علماً بأن سرعة الصوت في عمق الماء الذي تتحرّك فيه الغواصتان تساوي 1482 m/s.
5. تحفيز يصدر بوق نغمة C الوسطى (262 Hz). ما السرعة التي يجب أن يتحرّك بها لتزيد درجة الصوت إلى النغمة C المرتفعة (277 Hz)؟ علماً بأن سرعة الصوت تساوي 343 m/s.

1. أعد حل المسألة أعلاه مع تحرك السيارة مبتعدة عنك.
2. افترض أنك تركب السيارة الموجودة في الشكل 7. وتتحرّك في اتجاه صافرة إنذار المثبتة على السارية. إذا كان تردد صوت الصافرة يساوي 365 Hz، فما التردد الذي تسمعه؟ علماً بأن سرعة الصوت تساوي 343 m/s.



الشكل 7

الشكل 8 تستخدم الخفافيش تأثير دوبلر لتحديد موقع الحشرات الطائرة والتقاطها بعملية تسمى تحديد الموقع باستخدام الصدى مثل العثة الموضحة هنا. عندما يمسك الخفاش العثة، يزداد تردد موجات الصوت المنعكسة.



تطبيقات تأثير دوبلر يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية في الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية وله عدة تطبيقات، فمثلاً تستخدم كواشف الرادار تأثير دوبلر لقياس سرعة كرات البيسبول والمركبات. ويراقب علماء الفلك الضوء المنبعث من المجرات البعيدة ويستخدمون تأثير دوبلر لقياس سرعاتها. وكما يتحقق الأطباء من سرعة حركة جدار قلب الجنين باستخدام تأثير دوبلر عن طريق الموجات فوق الصوتية.

الربط بعلم الأحياء تستخدم الخفافيش تأثير دوبلر لاكتشاف الحشرات الطائرة والتقاطها. عندما تطير الحشرة بسرعة أكبر من الخفاش، يقل تردد الموجة المنعكسة عنها. ولكن عندما يمسك الخفاش الحشرة، كما هو مبين في الشكل 8، يزداد تردد الموجة المنعكسة عنها. لا تستخدم الخفافيش الموجات الصوتية فقط للانتقال وتحديد موقع فريستها ولكنها تستخدمها غالباً لاكتشاف وجود خفافيش أخرى. هذا يعني أنها تميز موجاتها التي تُرسلها وانعكاساتها عن أصوات الترددات الأخرى. يستمر العلماء في دراسة الخفافيش وقدرتها المدهشة على استخدام الموجات الصوتية.

القسم 1 مراجعة

6. **الفكرة الرئيسية** ما الخاصية الفيزيائية التي ينبغي تغييرها لموجة صوتية لتغيير حدة (درجة) الصوت؟ ولتغيير شدة الصوت؟
7. **رسم بياني** تتحرك طبقة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيرات ضغط موجة صوتية. مثل بياناً العلاقة بين إزاحة طبلة الأذن والزمن لاهتزازتين لنغمة ترددها 1.0 kHz ولاهتزازتين لنغمة ترددها 2.0 kHz.
8. **تأثير الوسط** اذكر خاصيتين من خصائص الصوت تتأثران بالوسط الذي ينتقل فيه، وخاصيتين لا تتأثران بالوسط الذي ينتقل فيه.
9. **مقياس الديسبل** كم عدد المرات التي يزيد بها مستوى ضغط الصوت المسموع في حفل صاخب (110 dB) عن محادثة عادية (50 dB)؟
10. **الكشف المبكر** في القرن التاسع عشر، كان الأشخاص يضعون آذانهم على مسار السكة الحديدية ليسمعوا صوت القطار. لماذا كانت هذه الطريقة مجدية؟
11. **الخفافيش** يُرسل الخفاش نبضات صوتية قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى.
 - a. ما الطريقة التي يقارن بها الصدى المرتد عن الحشرات الكبيرة والصدى المرتد عن الحشرات الصغيرة إذا كانت تبعد المسافة نفسها عنه؟
 - b. ما الطريقة التي يميز بها بين الصدى المرتد من الحشرة الطائرة في اتجاهه عن الحشرة التي تطير بعيداً عنه؟
12. **التفكير الناقد** هل يستطيع شرطي استخدام مراقب رادار على أحد جانبي الطريق لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ اشرح ذلك.

الفيزياء والموسيقى

القسم 2

فكر في العديد من الآلات الموسيقية التي تشاهدها يوميًا أو تستمتع بالنغمات الصادرة عنها، كالكمّان والمزامير والطبول والعديد من الآلات الأخرى. كيف يؤثر شكل الآلة أو حجمها أو المواد المصنوعة منها في الأصوات والنغمات التي تصدر عنها؟

الفيزياء
في
حياتك
.....

مصادر الصوت

في منتصف القرن التاسع عشر، درس عالم الفيزياء الألماني هيرمان هيلمهولتز تكوّن الصوت في الآلات الموسيقية وصوت الإنسان. وفي القرن العشرين، طوّر العلماء والمهندسون أدوات إلكترونية لا تسمح بدراسة مفصلة للصوت فحسب، بل تسمح أيضًا بابتكار آلات موسيقية إلكترونية وأجهزة تسجيل تتيح لنا الاستماع إلى الموسيقى في الوقت وفي المكان الذي نريده.

عرفت أنّ الصوت يصدر من الجسم المهتز، وتؤدي اهتزازات الجسم إلى تحريك الجسيمات التي بدورها تسبب تذبذب في ضغط الهواء. ويوجد مخروط في مكبر الصوت مصمم ليهتز بواسطة التيارات الكهربائية، فيولد سطح المخروط الموجات الصوتية التي تنتقل إلى أذنك وتمكّنك من سماع الموسيقى. كما تُعدّ الآلات الموسيقية مثل الصنوج والطبول أمثلة أخرى على الأسطح المهتزة التي تمثّل مصادر للصوت. ينتج صوت الإنسان عن اهتزاز الأحبال الصوتية وهما غشاءان موجودان في الحنجرة. عندما يندفع الهواء من الرئتين ماژا بالحنجرة، تبدأ الأحبال الصوتية في الاهتزاز، وتتحكم عضلات الشد الموجودة على الأحبال الصوتية بتردد الاهتزاز.

كلما زاد الشد على الأحبال الصوتية، زادت سرعة اهتزازها مما ينتج عنه صوت طبخته أعلى. أما إذا كانت الأحبال الصوتية مرتخية بصورة أكبر، فإنها تهتز بدرجة أبطأ وتُصدر أصواتًا طبقتها منخفضة.

عند العزف على الآلات النحاسية مثل البوق والتوبا والنفير، تهتز شفتا العازف كما هو مبين في الشكل 9. أما في آلات النفخ الخشبية كالكلارينيت والساكسوفون يوجد شريط رفيع يسمى القصبه تهتز نتيجة للهواء الذي نُفخ عبرها، كما هو موضّح في الشكل 9. في المزامير وأنابيب الأرغن يُدفع الهواء عبر فتحة في أنبوب ويتسبب الهواء الذي ينتقل بسرعة عبر فتحات الأنبوب في اهتزاز عمود الهواء الموجود داخل الآلة.



الفكرة الرئيسية

تنتج الموسيقى من موجات صوتية معقدة تُصدر عن الأجسام المهتزة.

الأسئلة الرئيسية

- ما أصل كلمة الصوت؟
- ما خصائص الرنين في أعمدة الهواء؟
- ما خصائص الرنين في الأوتار؟
- ما سبب وجود اختلافات في جودة الصوت بين الآلات؟
- كيف تصدر الضربات؟

مراجعة المفردات

التردد frequency: عدد الذبذبات الكاملة التي تصدرها موجة معينة كل ثانية ويقاس بوحدة الهرتز

المفردات

أنبوب رنين مغلق الطرف
closed-pipe resonator
أنبوب رنين مفتوح الطرفين
open-pipe resonator
التردد الأساسي
fundamental frequency
التوافقيات
harmonics
نشاز
dissonance
تناغم
consonance
الضربة
beat

آلة نفخ نحاسية



آلة نفخ خشبية



الشكل 9 يحدّد الصوت الذي تصدره آلة ما جزئيًا من خلال جزء الآلة الخاص بالفم.

تُصدر الآلات الوترية مثل البيانو والجيتار والكمان أصواتًا عن طريق اهتزاز الأسلاك أو الأوتار الموجودة فيها. ويولد الاهتزاز من خلال الضرب على الأوتار في البيانو والنقر عليها في الجيتار، أما في الكمان، فإن احتكاك القوس يتسبب في اهتزاز الأوتار. وترتبط الأوتار في لوحة صوتية تهتز مع الأوتار، وينتج عن اهتزازات لوحة الصوت ذبذبات الضغط في الهواء التي نسمعها على هيئة صوت. فضلًا عن ذلك، تُستخدم آلات الجيتار الكهربائي أجهزة إلكترونية للكشف عن اهتزازات أوتار الجيتار وتضخيمها.

الرنين في أنابيب الهواء

إذا سبق لك أن استخدمت آلة نحاسية أو آلة نفخ، فستكون على علم بأنه عندما يصدر صوت نتيجة لاهتزاز شفتيك أو اهتزاز القصبة، يصبح من الصعب التحكم بطبقة الصوت. لذا يجب وصل الأنبوب الطويل الموجود في الآلة لكي ينتج صوت موسيقي. عندما يُعزف بالآلة، يهتز الهواء داخل هذا الأنبوب بالتردد نفسه أو برنين يتوافق مع اهتزاز الشفتين أو القصبة. تذكر أنّ الرنين يزيد سعة الاهتزاز من خلال بذل قوة خارجية صغيرة بصورة متكررة على جزيئات الهواء المهتزة بالتردد الطبيعي لأنبوب الهواء. كما يُحدد طول أنبوب الهواء ترددات الهواء المهتز التي ستُصدر رنينًا. بالنسبة إلى آلات النفخ والآلات النحاسية مثل المزامير والأبواق وآلات الترمبون، يتسبب تغيير طول أنبوب الهواء المهتز في تغيير طبقة الصوت الصادر من الآلة. يُنتج مبسم الآلة ببساطة خليطًا من الترددات المختلفة، ويعمل عمود الهواء في حالة الرنين على تضخيم مجموعة من الترددات لتضخيم نغمة منفردة، وتحويل الضجيج إلى موسيقى.

يُمكن للشوكة الرنانة الموجودة أعلى الأنبوب المجوف أن تحدث رنينًا. في عمود الهواء كما هو موضح في الشكل 10. وعند وضع الأنبوب في الماء بحيث يكون الطرف السفلي منه تحت سطح الماء. ويُسمى الأنبوب الذي في حالة رنين والذي يُغلق أحد طرفيه بالنسبة إلى الهواء **أنبوب رنين مغلق الطرف**. كما يمكن تغيير طول أنبوب الهواء عن طريق ضبط ارتفاع الجزء العلوي من الأنبوب فوق سطح الماء. وإذا طُرق على شوكة رنانة بمطرقة مطاطية، فسيعلو الصوت وينخفض بالتناوب، نتيجة لتغير طول عمود الهواء من خلال تحريك الأنبوب إلى أعلى وأسفل في الماء. يكون الصوت عاليًا عندما يُحدث أنبوب الهواء رنينًا مع الشوكة الرنانة. لأنّ أنبوب الهواء في حالة الرنين يزيد من شدة صوت الشوكة الرنانة.

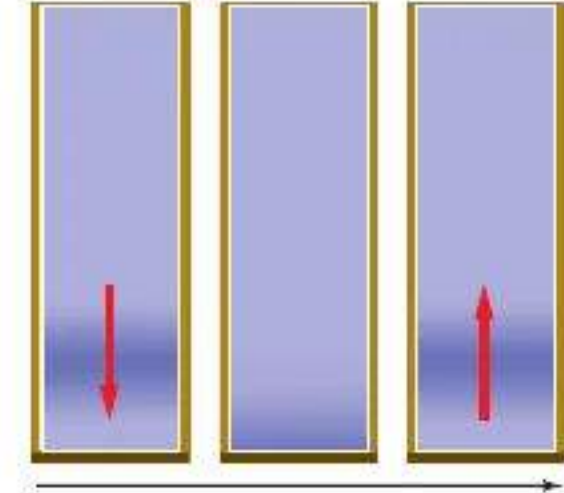
مختبر الفيزياء

سرعة الصوت
كيف يمكنك تحديد سرعة الصوت؟



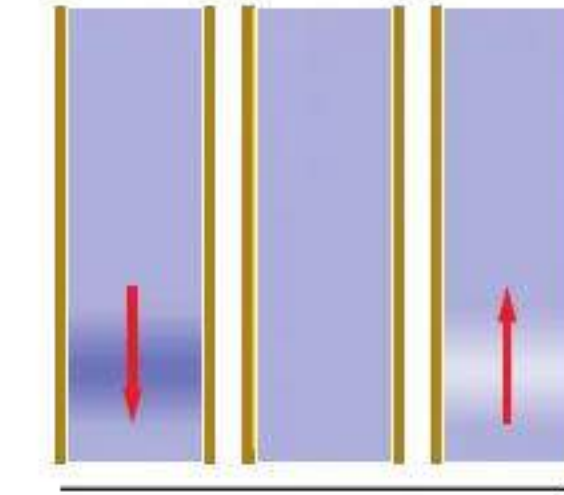
الشكل 10 أثناء رفع الأنبوب أو خفضه، يتغير طول عمود الهواء ما يسبب تغييرًا في ارتفاع الصوت.

أنبوب مغلق الطرف



الوقت
الأنابيب المغلقة: ينعكس الضغط المرتفع على هيئة ضغط عالٍ.

أنبوب مفتوح الطرفين



الوقت
الأنابيب المفتوحة: ينعكس الضغط المرتفع على هيئة ضغط منخفض.

موجة الضغط المستقرة كيف يحدث الرنين؟ تُصدر الشوكة الرنانة المهتزة موجة صوتية، وتتحرك هذه الموجة ذات الذبذبات منخفضة ومرتفعة الضغط أسفل أنبوب الهواء. عندما تصطدم الموجة بسطح الماء، تنعكس إلى أعلى مرة أخرى نحو الشوكة الرنانة، كما هو موضح في الشكل 11. فإذا وصلت موجة الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تُنتج فيها الشوكة الرنانة موجة أخرى ذات ضغط مرتفع، ففي ذلك الحين تعزز الموجتان المنبعثة والمرتدة كل منهما الأخرى، وتنشأ موجة مستقرة عن تعزيز الموجات هذا، ويحدث رنين.

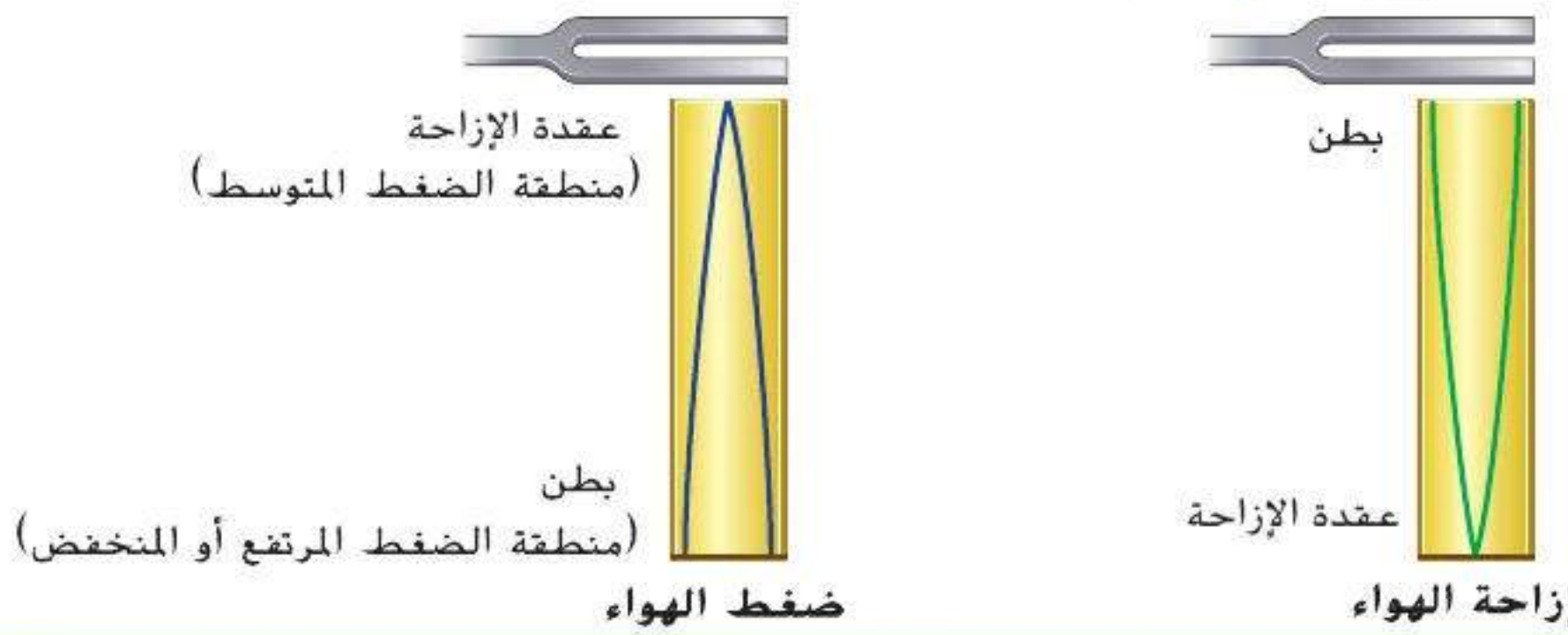
إنَّ أنبوب رنين مفتوح الطرفين عبارة عن أنبوب مفتوح الطرفين ويكون في حالة رنين مع مصدر الصوت. وفي هذه الحالة، لا تنعكس موجة الصوت من الطرف المغلق بل من الطرف المفتوح. فإذا اصطدم جزء مرتفع الضغط من الموجة بالطرف المفتوح، فسيكون ضغط الموجة المرتدة منخفضاً عند تلك النقطة، كما هو موضح في الشكل 11.

طول عمود هواء الرنين يوضح الشكل 12 موجة صوتية مستقرة في أنبوب وممثلة بموجة جيبية. يمكن أن تُمثل الموجات الجيبية ضغط الهواء أو إزاحة جزيئات الهواء. تذكر أنَّ الموجات المستقرة لها عُقد وبطنون. إنَّ العقدة هي النقطة الثابتة التي تلتقي عندها نبضتان موجيتان متساويتان وتكونان في الموقع نفسه. والبطن هي مكان أكبر إزاحة عند التقاء نبضتين موجيتين. لذا في التمثيل البياني للضغط، تمثل العقدة مناطق الضغط الجوي المتوسط، بينما يتأرجح الضغط عند البطنون بين قيمته العظمى والصغرى. في حالة التمثيل البياني للإزاحة، تمثل البطنون مناطق الإزاحة الأعلى وتمثل العقد مناطق الإزاحة الأقل. في كلتا الحالتين، تكون المسافة بين بطنين (أو عقدتين) متجاورتين مساوية لنصف طول الموجة.

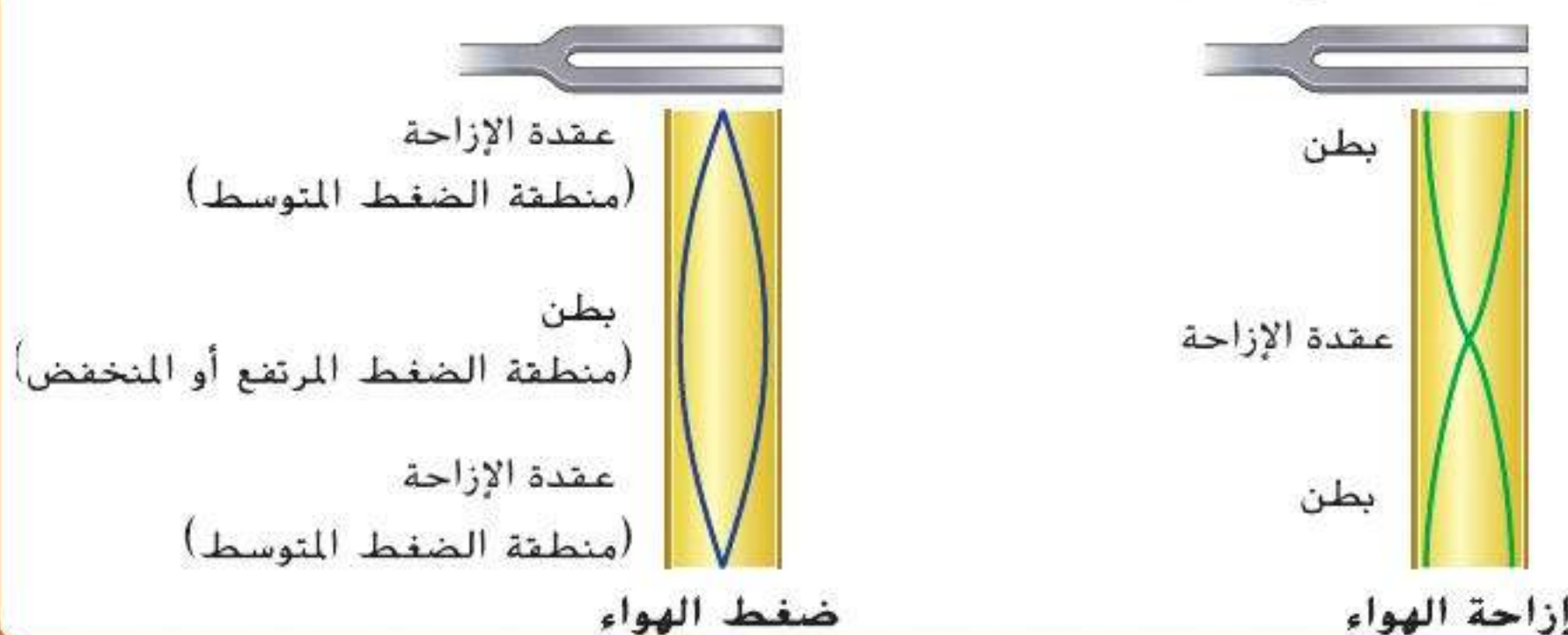
✓ **التأكد من فهم النص** وضح أوجه الاختلاف بين عقدة وبطن على التمثيل البياني للإزاحة.

الشكل 11 في الأنابيب المغلقة، تنعكس الموجة الصوتية من الطرف المغلق، وتنعكس الموجات مرتفعة الضغط على هيئة ضغط مرتفع. أما في الأنابيب المفتوحة، تنعكس الموجة الصوتية من الطرف المفتوح، إذ تنعكس الموجات مرتفعة الضغط على هيئة ضغط منخفض.

■ أنبوب مغلق الطرف

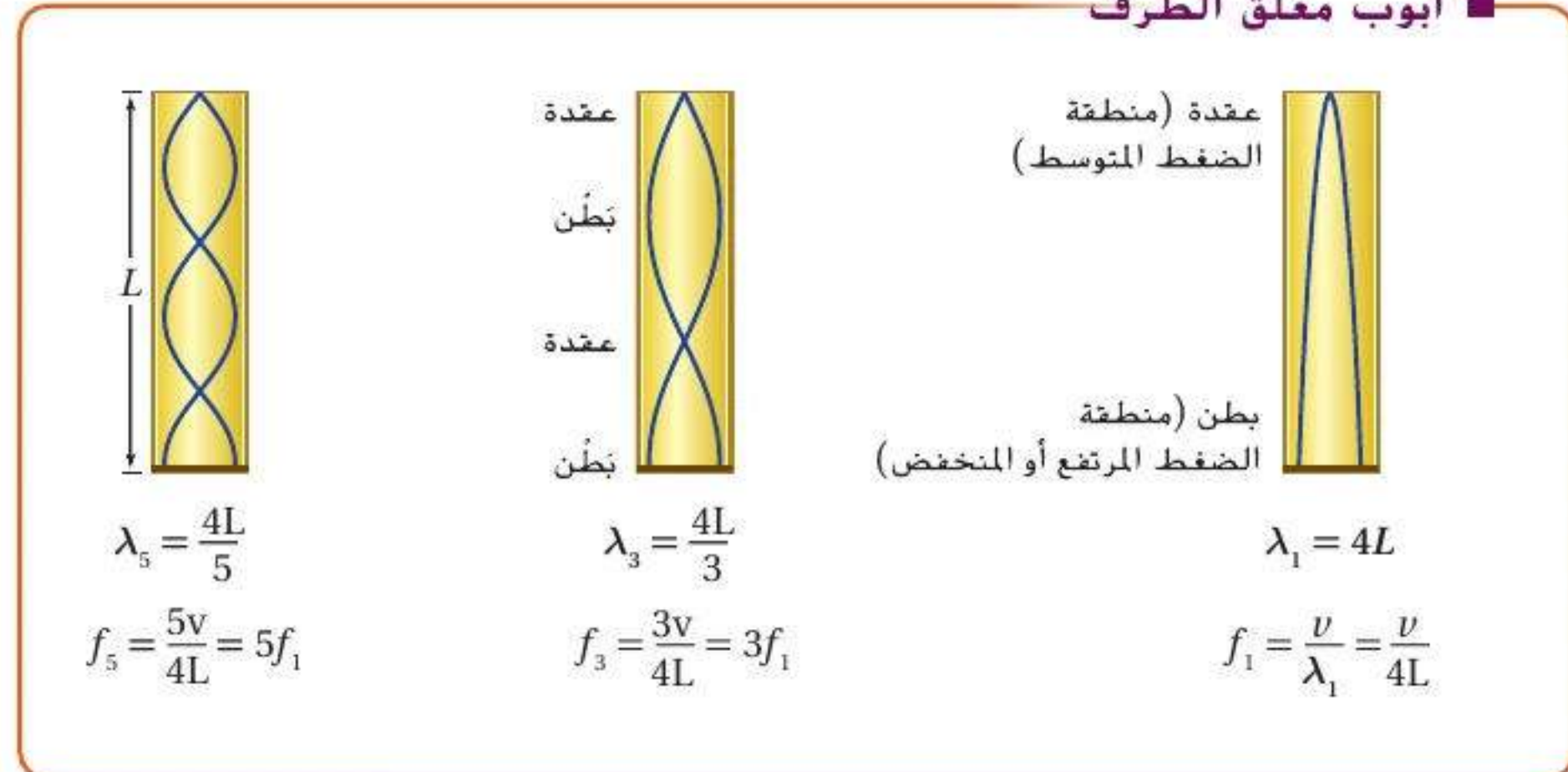


■ أنبوب مفتوح الطرفين



12 يمكن تمثيل الموجات المستقرة في الأنابيب بمنحنى جيبى. **حدد** مناطق الضغط الجوي في الرسوم البيانية لضغط الهواء.

الشكل 13 يُحْدِث الأنتوب المغلق الطرف
رئيئاً عندما يساوي طوله عدداً فردياً من
مضاعفات ربع الطول الموجي.



بالتالي، ستكون الأعمدة ذات الأطوال $\frac{\lambda}{4}$ و $\frac{3\lambda}{4}$ و $\frac{5\lambda}{4}$ و $\frac{7\lambda}{4}$... وهكذا، جميعاً في حالة رنين مع شوكة رنانة تُصدر صوتاً طول موجته λ .

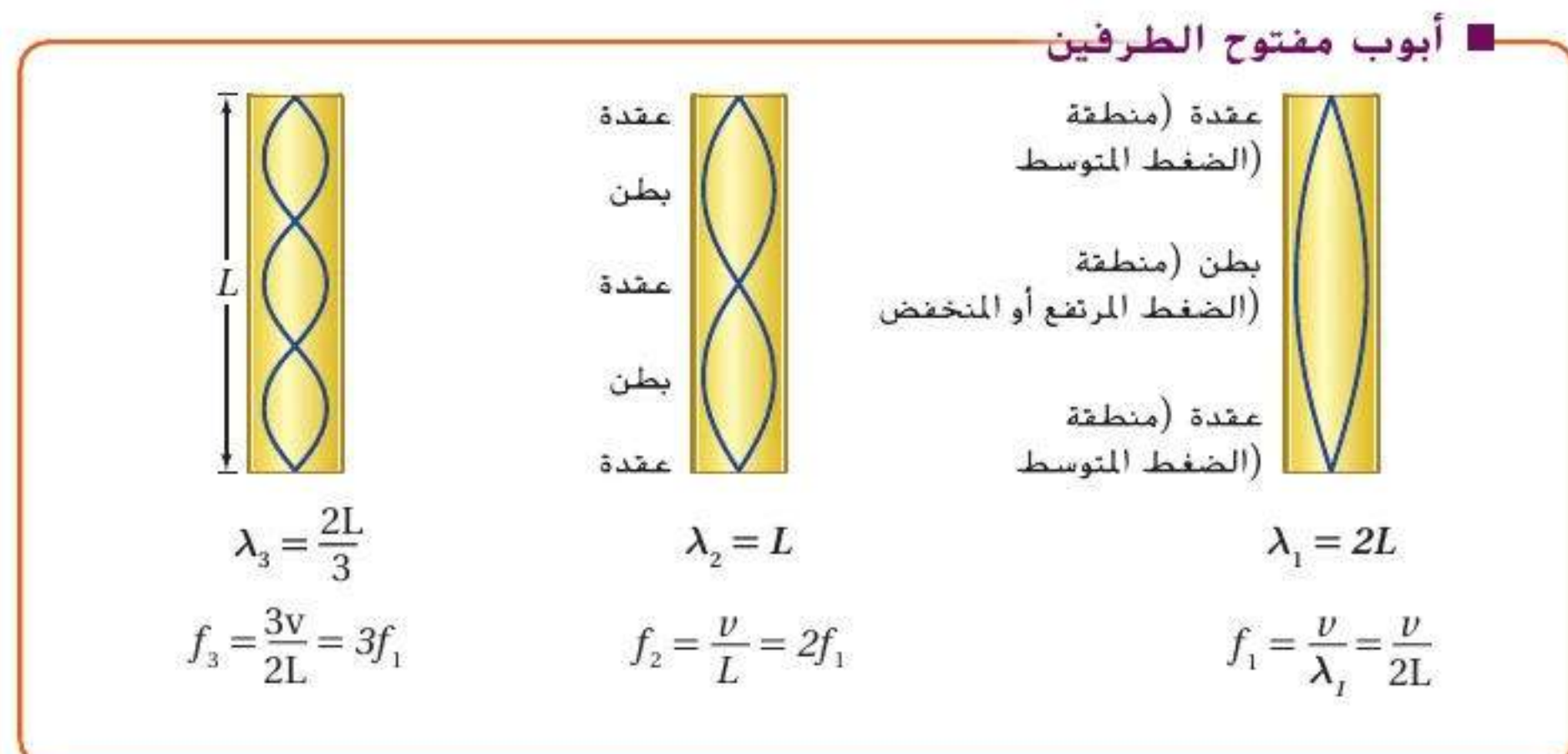
وعمليًا، يكون طول الرنين الأول أطول قليلاً من ربع طول الموجة وذلك لأنّ التغيرات في الضغط لا تنخفض إلى الصفر تمامًا عند طرف الأنبوب المفتوح. في الواقع، تبعد العقدة عن الطرف 0.4 قطر الأنبوب. وتتباين أطوال الرنين الإضافية عن بعضها بمقدار نصف طول الموجة بالضبط. يمكن استخدام قياسات التباعد بين أطوال الرنين لإيجاد السرعة المتجهة للصوت في الهواء، كما في "مثال المسألة 2".

ترددات الرنين في الأنبوب المفتوح يبلغ طول أقصر عمود هواء يمكن أن يكون له عقد عند طرفيه نصف طول الموجة. كما هو موضح في الشكل 14. وكلما زاد التردد، تواجدت أطوال رنين إضافية عند فترات تساوي نصف طول الموجة. وبالتالي ستكون أطوال الأعمدة $\frac{\lambda}{2}$ و λ و $\frac{3\lambda}{2}$ و 2λ ... وهكذا. في حالة رنين مع شوكة رنانة.

في حال استخدام أنبوبين متساويين في الطول، أحدهما مفتوح والآخر مغلق كمصادر رنين، سيكون الطول الموجي لصوت الرنين في الأنبوب المفتوح نصف الطول الموجي لصوت الرنين في الأنبوب المغلق. وبالتالي، سيساوي تردد الأنبوب المفتوح ضعف تردد الأنبوب المغلق. تتباعد أطوال الرنين في كلا الأنبوبين بفترة مقدارها نصف طول الموجة.

الشكل 14 يُحدِّث الأنبوب مخفتوح الطرفين
رئيئنا عندما يساوي طوله عدداً زوجيئاً من
مضاعفات ربع الطول الموجي.

وَصَحَّ كيف يختلف الطول الذي يُحدث عنده الأنبوب مفتوح الطرفين رنينًا عن الطول الذي يُحدث عنده الأنبوب مغلق الطرف رنينًا؟





أنبوب مغلق الطرف (الصدفة)



أنبوب مفتوح الطرفين (المزمار)



أنبوب مغلق الطرف (الماريا)

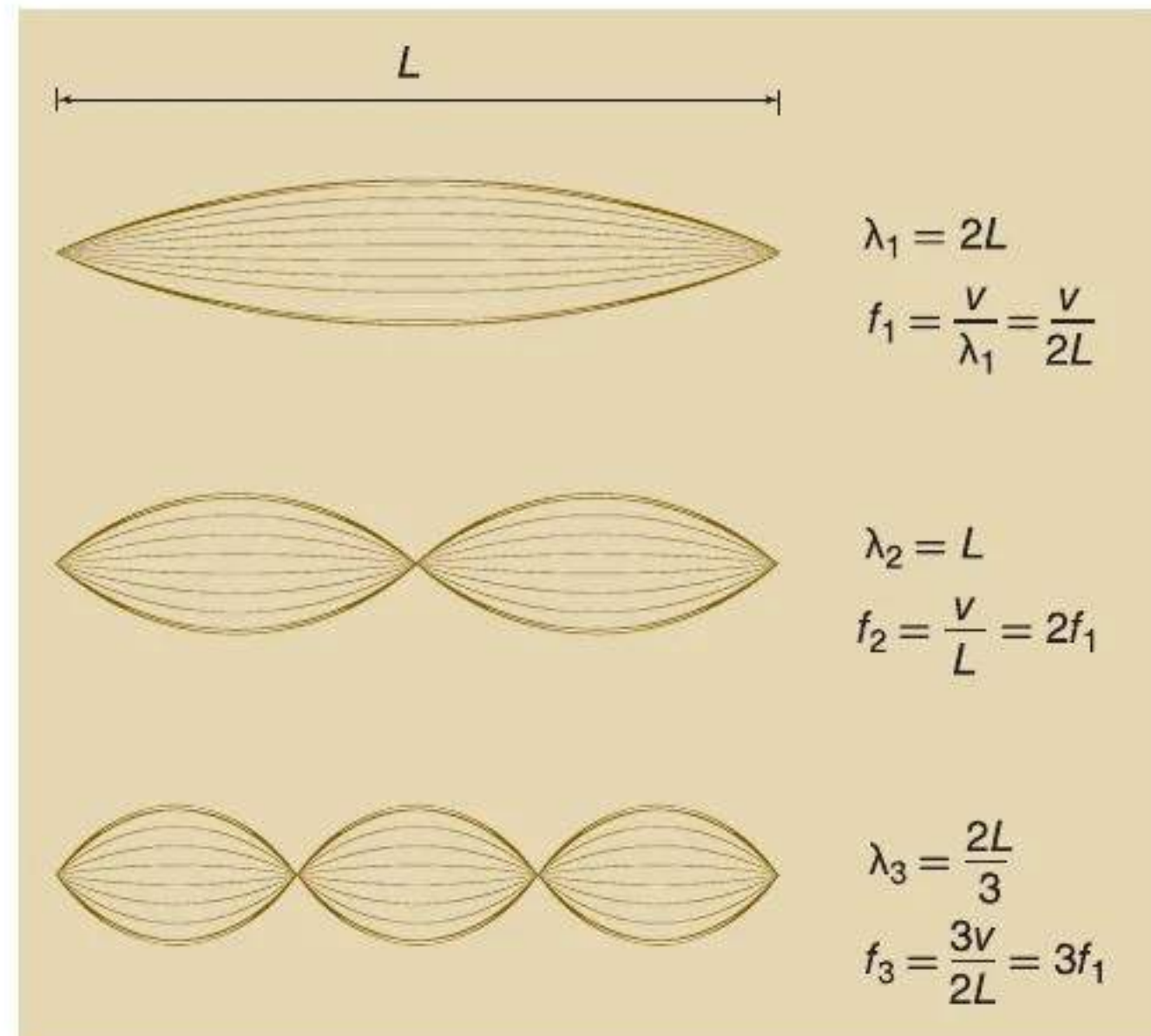
سماع الرنين تُستخدم الآلات الموسيقية الرنين لزيادة شدة صوت نغمات موسيقية معينة. وتوجد مزامير في مصادر الرنين ذات الأنابيب المفتوحة كما هو مبين في الشكل 15. تُعدّ آلات المزمار والأنابيب المعلقة في الجزء السفلي من آلات الماريا وآلات الإكسليفون أمثلة على مصادر الرنين ذات الأنابيب المغلقة. إذا صرخت داخل نفق طويل، فإن الصوت المدوّي الذي تسمعه يصدر بسبب قيام النفق بدور مصدر رنين. وتُمثّل الصدفة في الشكل 15 أيضًا مصدر رنين ذا أنبوب مغلق.

الرنين في الأوتار

بالرغم من أن الضرب على الأوتار أو شدّها يسبب اختلافًا في أشكال الموجات، إلا أن لها خصائص عديدة مشتركة مع الموجات المستقرة المتكونة في النوايض والحبال. ويكون الوتر في آلة مشدودًا من الطرفين، لذا فإنه عندما يهتز يكون له عقدة عند كل طرف من طرفيه. ويمكنك أن تلاحظ من الشكل 16، أن النمط الأول للاهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي. ويحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مساويًا لطول موجي واحد. وتظهر موجات مستقرة إضافية عندما يبلغ طول الوتر $\frac{3\lambda}{2}$ و 2λ و $\frac{5\lambda}{2}$... وهكذا. كما في حالة الأنابيب مفتوح الطرفين، تساوي ترددات الرنين مضاعفات العدد الكلي لأقل تردد.

الشكل 15 يُعدّ المزمار مثالًا على مصدر رنين ذي أنبوب مفتوح، وتُعتبر أنابيب الماريا المعلقة والأصداغ أمثلة على مصادر الرنين ذات الأنابيب المغلقة.

الشكل 16 يُحدث الوتر رنينًا مع الأمواج المستقرة عندما يساوي طوله عددًا صحيحًا من مضاعفات نصف طول الموجة.



تجربة مصفرة

جودة الأصوات

كيف يمكنك تحديد ما إذا كانت الآلة تمثل مصدر رنين ذا أنبوب مفتوح الطرفين أم مصدر رنين ذا أنبوب مغلق الطرف؟

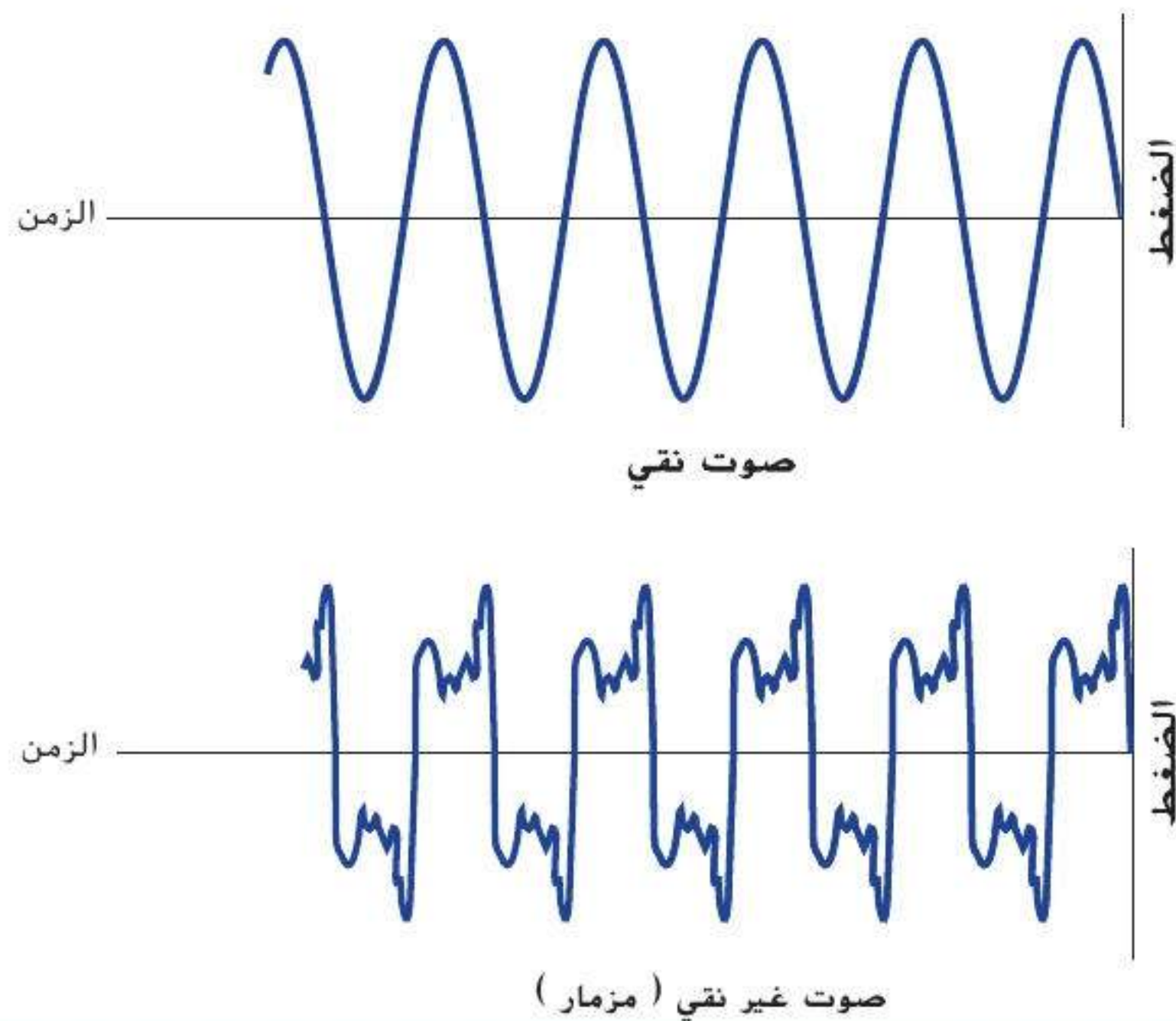
تذكر أنّ سرعة الموجة تعتمد على الوسط، أما بالنسبة إلى الوتر، تعتمد سرعة الموجة على قوة الشد فيه، وكتلة وحدة طوله. لذا، كلما كان الوتر مشدوداً أكثر، تكون سرعة حركة الموجه عليه أكبر، ما يؤدي إلى ازدياد تردد موجاته المستقرة. وهذا يجعل من الممكن ضبط نغمة الآلات الوترية عن طريق تغيير درجة شد أوتارها. بسبب صغر مساحة المقطع العرضي للأوتار إلى حد كبير، فإنها تُحرّك كمية قليلة جداً من الهواء عند اهتزازها. لذلك من الضروري ربطها في لوحة الصوت التي تنقل اهتزازها إلى الهواء مما ينتج عنه موجة صوتية أقوى. على عكس الأوتار نفسها، إذ لا ينبغي للوحة الصوت أن تُحدث رنيناً عند تردد أحادي، لأن الغرض منها هو نقل اهتزازات كل الأوتار إلى الهواء. ولهذا ينبغي أن تهتز جيداً عند كل الترددات التي تُصدرها الآلة. وبسبب التفاعلات المعقدة بين الأوتار ولوحة الصوت والهواء، يُعدّ تصميم الآلات الوترية وتركيبها عمليتين معقدتين، يراها الكثيرون فناً بقدر ما هو علم.

✓ **تأكد من فهمك** صف العلاقة بين قوة شدّ الوتر وسرعة الموجة أثناء انتقالها على طول الوتر.

جودة الصوت

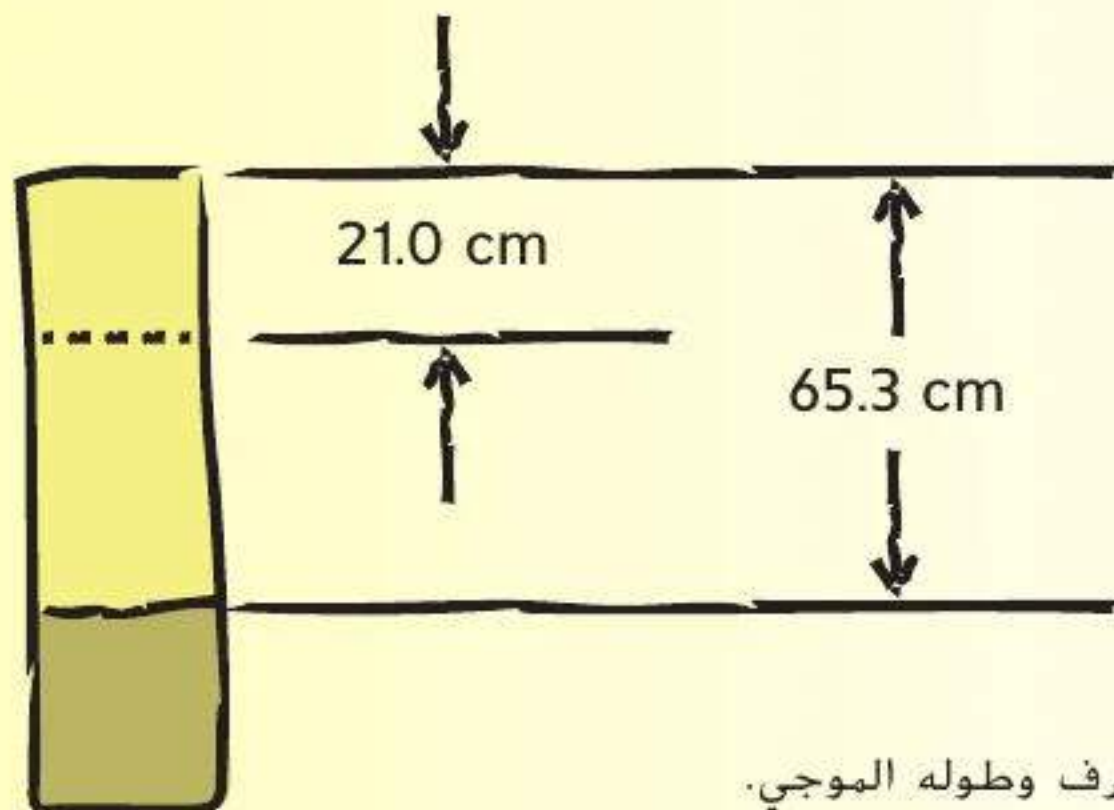
تُصدر الشوكة الرنانة صوتاً ناعماً ومنتجانساً لأنّ طرفها يهتز بحركة توافقية بسيطة ويُنتج موجة جيبية كالموضحة في الجزء العلوي من التمثيل البياني في الشكل 17. وتُعدّ الأصوات التي يصدرها الإنسان والآلات الموسيقية أكثر تعقيداً، كالموجة في الجزء السفلي من التمثيل البياني في الشكل 17. وقد تشابه كلتا الموجتين في التردد وطبقة الصوت، ولكن الصوتين مختلفين إلى حد كبير. وفي الحقيقة، تُعدّ موجة الصوت المعقدة تركيباً من موجات ذات ترددات مختلفة. يعتمد شكل الموجة على السعات النسبية لهذه الترددات، وتُكوّن مصادر الصوت المختلفة تراكيب ترددات مختلفة، ويُطلق على الاختلاف بين موجات الآلات الموسيقية اسم طابع الصوت أو جودة النغمة أو لونها.

الضغط مقابل الزمن



الشكل 17 يبين موجة جيبية بسيطة تمثل صوتاً نقياً تُصدره شوكة رنانة، والجزء السفلي من التمثيل البياني يمثل صوتاً أكثر تعقيداً تنتجه آلة مزمّار.

إيجاد سرعة الصوت باستخدام الرنين عند استخدام شوكة رنانة ترددها 392 Hz مع مصدر رنين ذي أنبوب مغلق الطرف، يُسمع أعلى صوت عندما يكون طول العمود 21.0 cm و 65.3 cm. كم تبلغ سرعة الصوت في هذه الحالة؟ هل درجة الحرارة أعلى أم أقل من درجة الحرارة العادية للغرفة والتي تساوي 20°C؟ وضح إجابتك.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مصدر رنين ذا أنبوب مغلق الطرف.
- حدّد أطوال عمود هواء الرنين.

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

2 حساب المجهول

أوجد قيمة الطول الموجي باستخدام المعادلة التي تربط بين طول أنبوب مغلق الطرف وطوله الموجي.

$$L_B - L_A = \frac{1}{2}\lambda$$

$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$

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

$$= 0.886 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \text{ علمًا بأنَّ}$$

$$v = f \cdot \lambda$$

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

$$= 347 \text{ m/s}$$

تكون السرعة أكبر قليلًا من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20°C. وهذا يشير إلى أنّ درجة الحرارة أعلى قليلًا من درجة الحرارة العادية للغرفة.

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ $(\frac{1}{s})(m) = m/s$. وحدات الإجابة صحيحة.
- هل المقدار منطقي؟ تكون السرعة أعلى قليلًا من 343 m/s التي تمثّل سرعة الصوت عندما تكون درجة الحرارة 20°C.

تطبيقات

15. وُضعت شوكة رنانة ترددها 440 Hz فوق أنبوب مغلق الطرف. أوجد المسافات بين أطوال الرنين عندما تساوي درجة حرارة الهواء 20°C.

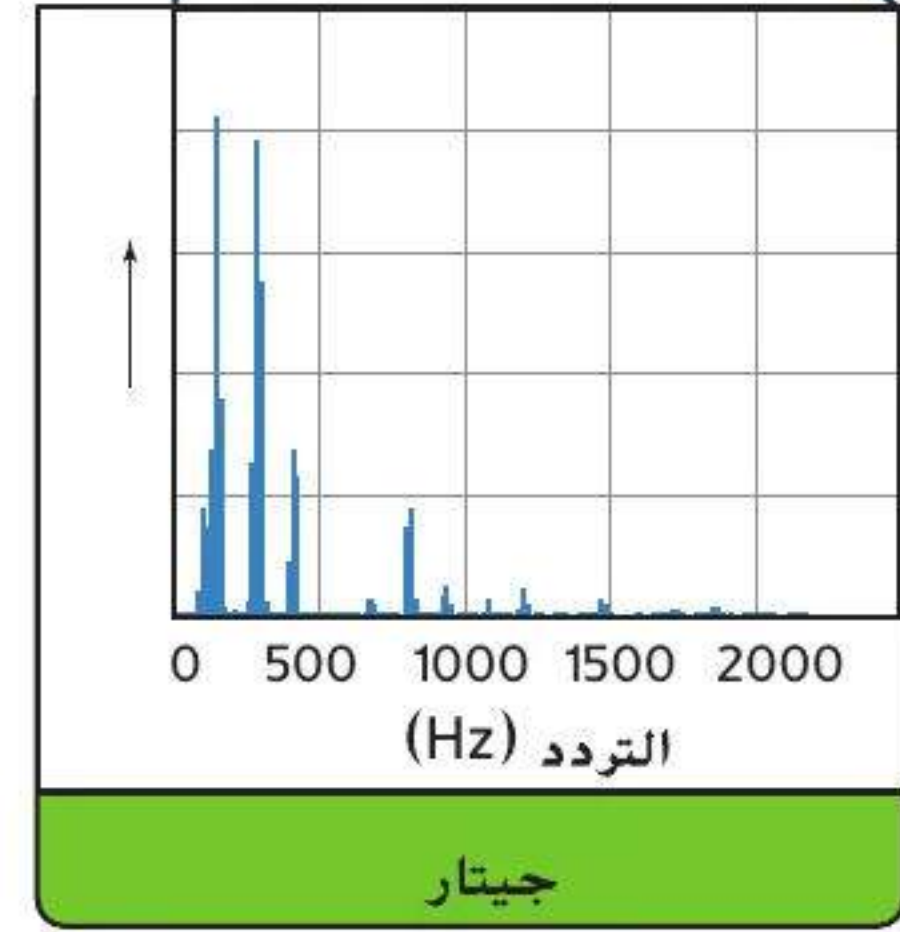
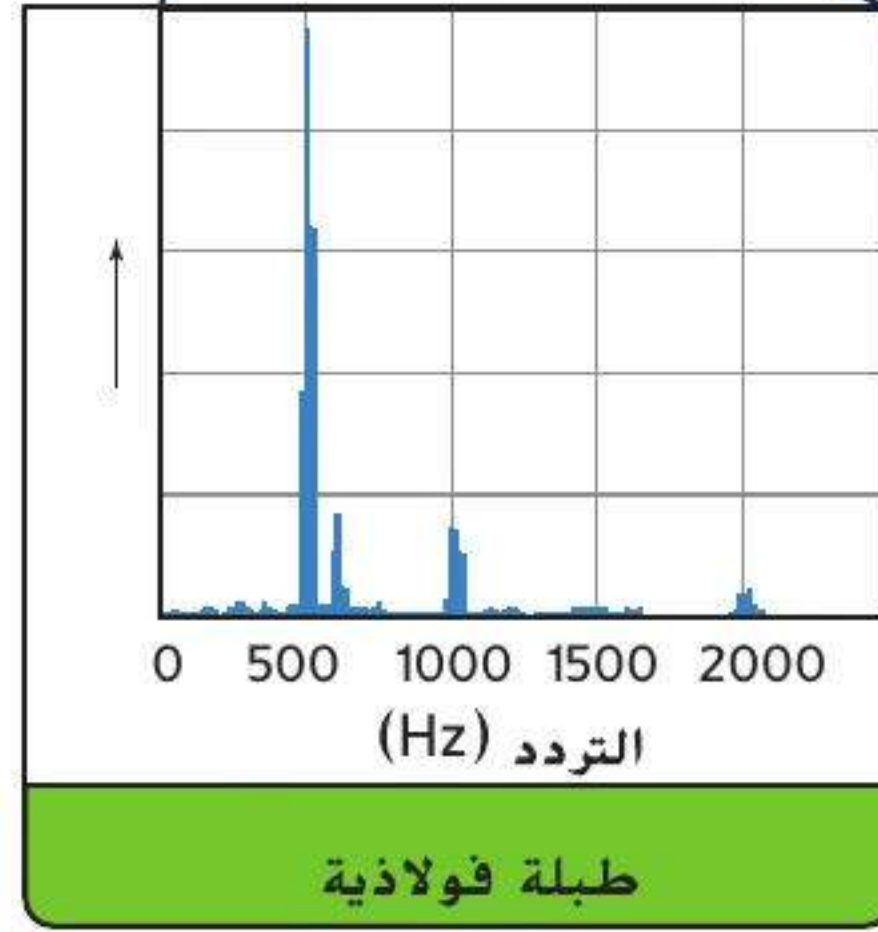
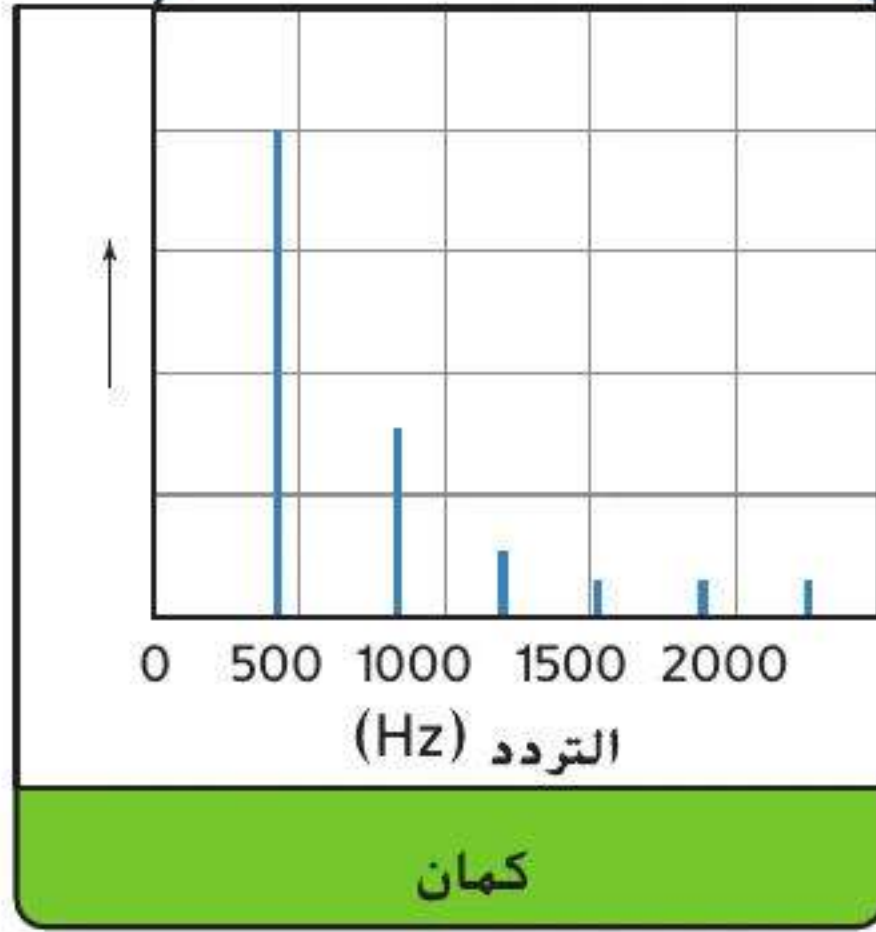
16. تحفيز يمكن اعتبار البوق أنبوبًا مفتوح الطرفين، إذا تم وضعه بشكل رأسي، سيكون طوله 2.65 m.

a. إذا كانت سرعة الصوت تساوي 343 m/s، أوجد أقل تردد لرنين البوق (تجاهل الأطراف).

b. أوجد ترددي الرنين التاليين للبوق.

13. تُستخدم شوكة رنانة ترددها 440 Hz مع عمود رنين لتحديد السرعة للصوت في غاز الهيليوم. إذا كان التباعد بين أطوال الرنين يساوي 110 cm، فكم تبلغ السرعة للصوت في غاز الهيليوم؟

14. إذا كان تردد شوكة رنانة غير معلوم، ولمعرفته استعمال طالب أنبوب هواء في درجة حرارة تصل إلى 27°C ووجد أنّ مقدار التباعد بين أطوال الرنين يساوي 20.2 cm. فما تردد هذه الشوكة الرنانة؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء، في درجة الحرارة 27°C، المحسوبة في مثال "المسألة 2".

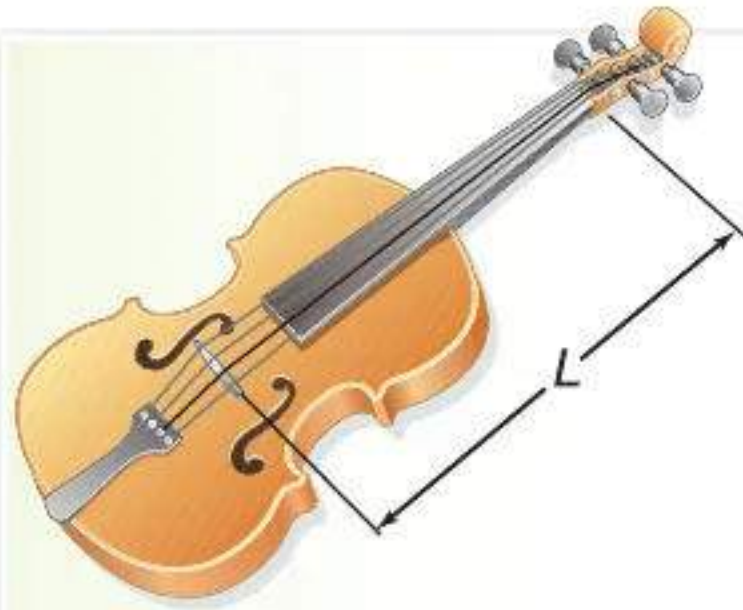


الشكل 18 تُصدر آلات الجيتار والطبله الفولاذية والكمان أطباقاً صوتية مميزة. ويكون كل طيف فريداً من نوعه كما هو الحال في نغمة الآلة.

الطيف الصوتي: التردد الأساسي والتوافقيات تنتج الموجة الصوتية المعقدة الموضحة في الشكل 17 عن آلة المزمار. لماذا يُنتج المزمار مثل هذه الموجة الصوتية؟ يعمل أنبوب الهواء في المزمار كأنبوب مغلق الطرف. انظر مرة أخرى إلى الشكل 13، الذي يوضح ثلاثة ترددات لرنين أنبوب مغلق الطرف. يعمل المزمار كأنبوب مغلق الطرف، لذا المزمار الذي طوله L ، يكون أقل تردد للرنين (f_1) يساوي $\frac{v}{4L}$. وبالنسبة إلى الآلة الموسيقية، يُطلق على أقل تردد للصوت يُحدث رنيناً اسم **التردد الأساسي**. سيحدث الأنبوب المغلق الطرف رنيناً عند $3f_1$ و $5f_1$... وهكذا. وهذه الترددات المرتفعة، هي مضاعفات فردية من التردد الأساسي، وتسمى **التوافقيات**. وإضافة هذه الإقاعات معاً يعطي الصوت طابعاً مميزاً يسمى الجرس (نوع الصوت) Timber.

تعمل بعض الآلات مثل المزمار كمصادر رنين ذات أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون ترددها الأساسي الذي يمثل أيضاً التوافقية الأولى هو $f_1 = \frac{v}{2L}$ مع توافقيات لاحقة عند $2f_1$ و $3f_1$ و $4f_1$... وهكذا. وتعطي التشكيلات المختلفة لهذه التوافقيات صوتاً مميزاً لكل آلة. يسمى الجرس (نوع الصوت) Timber ويكون لكل توافقية سعة مختلفة، ويُسمى التمثيل البياني لتغيرات سعة الموجة والتردد بالطيف الصوتي (النغمة الموسيقية). يوضح الشكل 18 الطيف (النغمة الموسيقية) للآلات الثلاث.

التحدي في الفيزياء



1. أوجد مقدار الشد، F_T ، في وتر كمان كتلته m وطوله L ويصدر التردد الأساسي عند التردد نفسه الذي يصدره أنبوب مغلق الطرف طوله L . عبّر عن إجابتك بدلالة L و m وسرعة الصوت في الهواء، v . استخدم معادلة سرعة موجة في وتر الآنية:

$$v_{\text{وتر}} = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

حيث F_T هي قوة الشد في الوتر و μ هي الكتلة لكل وحدة طول للوتر.

2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm ويصدر النغمة نفسها كأنبوب مغلق الطرف له الطول نفسه؟

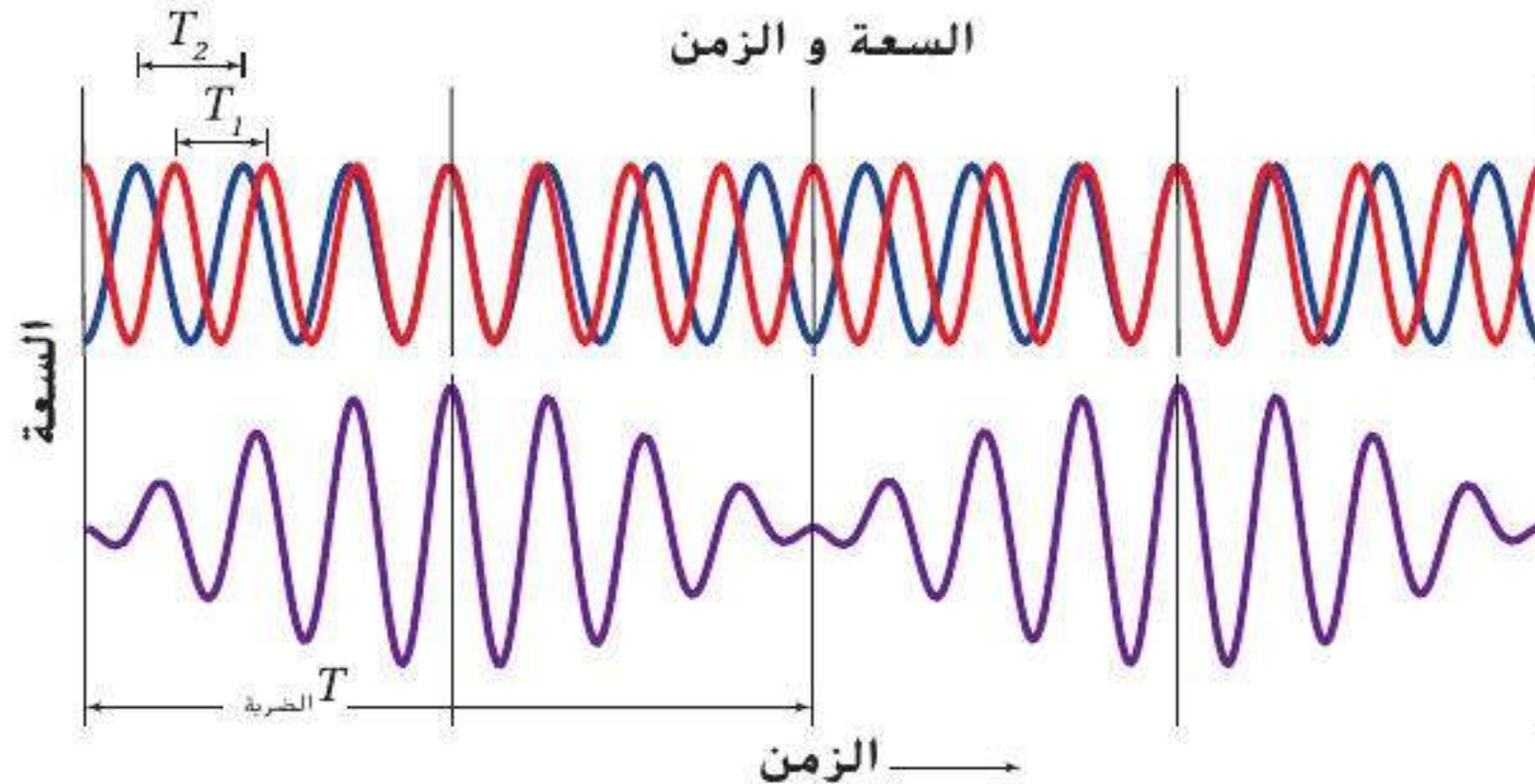
التناغم والنشاز عندما تُعرّف طبقتا صوت مختلفتان في الوقت نفسه، يكون الصوت الناتج ممتعاً أو منفراً. وفي الموسيقى يطلق على طبقات الصوت التي تُعرّف معاً اسم النغمات المتألّفة. وتسمى مجموعة طبقات الصوت المزججة **بالنشاز**. إذا كان المزج بين طبقات الأصوات ممتعاً، يقال إنّ الأصوات في حالة **تناغم**. يختلف مدى الإعجاب بالأصوات بين الثقافات، ولكن تستند معظم الموسيقى الغربية إلى ملاحظات فيثاغورس في الحضارة اليونانية القديمة. حيث لاحظ أنّ الأصوات الممتعة تُنتج عندما تكون أطوال الأوتار بنسب صغيرة لأعداد صحيحة، مثل 1:2 أو 2:3 أو 3:4. ويعني هذا أنّ طبقات أصواتها (تردداتها) ستكون أيضاً بنسب صغيرة لأعداد صحيحة.

الفواصل الموسيقية يقال عن النغمتين التي ترتبط تردداتهما بنسبة 1:2 أنهما تختلفان بمقدار جواب (ثامن درجة في السلم الموسيقي). على سبيل المثال، إذا كان تردد نغمة موسيقية يساوي 440 Hz، فسيكون تردد النغمة الموسيقية الأعلى بمقدار جواب واحد يساوي 880 Hz. يرتبط التردد الأساسي وتوافياته بالجوابات، حيث تكون التوافقية الأولى أعلى من التردد الأساسي بمقدار جواب واحد، بينما تكون التوافقية الثانية أعلى بمقدار جوابين وما إلى ذلك. ويُحدّد الفاصل الموسيقي بنسبة ترددين وليس بحجم الفاصل (التباعد) بينهما.

قد تقترب نغمة من أخرى في فواصل موسيقية أخرى. فعلى سبيل المثال، تكون نسبة ترددات "الثالثة إلى الأساسية" 4:5. ومن الأمثلة على ذلك، النغمتان الموسيقيتان C و E. بما أنّ تردد النغمة الموسيقية C هو 262 Hz، إذا سيكون تردد E هو $(\frac{5}{4})(262 \text{ Hz}) = 327 \text{ Hz}$. وبالطريقة نفسها، تكون نسبة تردد النغمات في "النغمة الرابعة" (C و F) هي 3:4. ونسبة التردد في "النغمة الخامسة" (C و G) هي 2:3. كما يمكن لأكثر من نغمتين تصدران صوتاً معاً أن تُحدثا تناغماً. فمثلاً تُنتج النغمات الموسيقية الثلاث التي تُسمى "دو" و"مي" و"صول" نغمة رئيسة متألّفة. ومنذ 2500 سنة على الأقل، أقرت الموسيقى الغربية بأنّ هذه النغمة أجمل النغمات الموسيقية الثلاث، حيث تبلغ نسبة تردداتها 4:5:6.

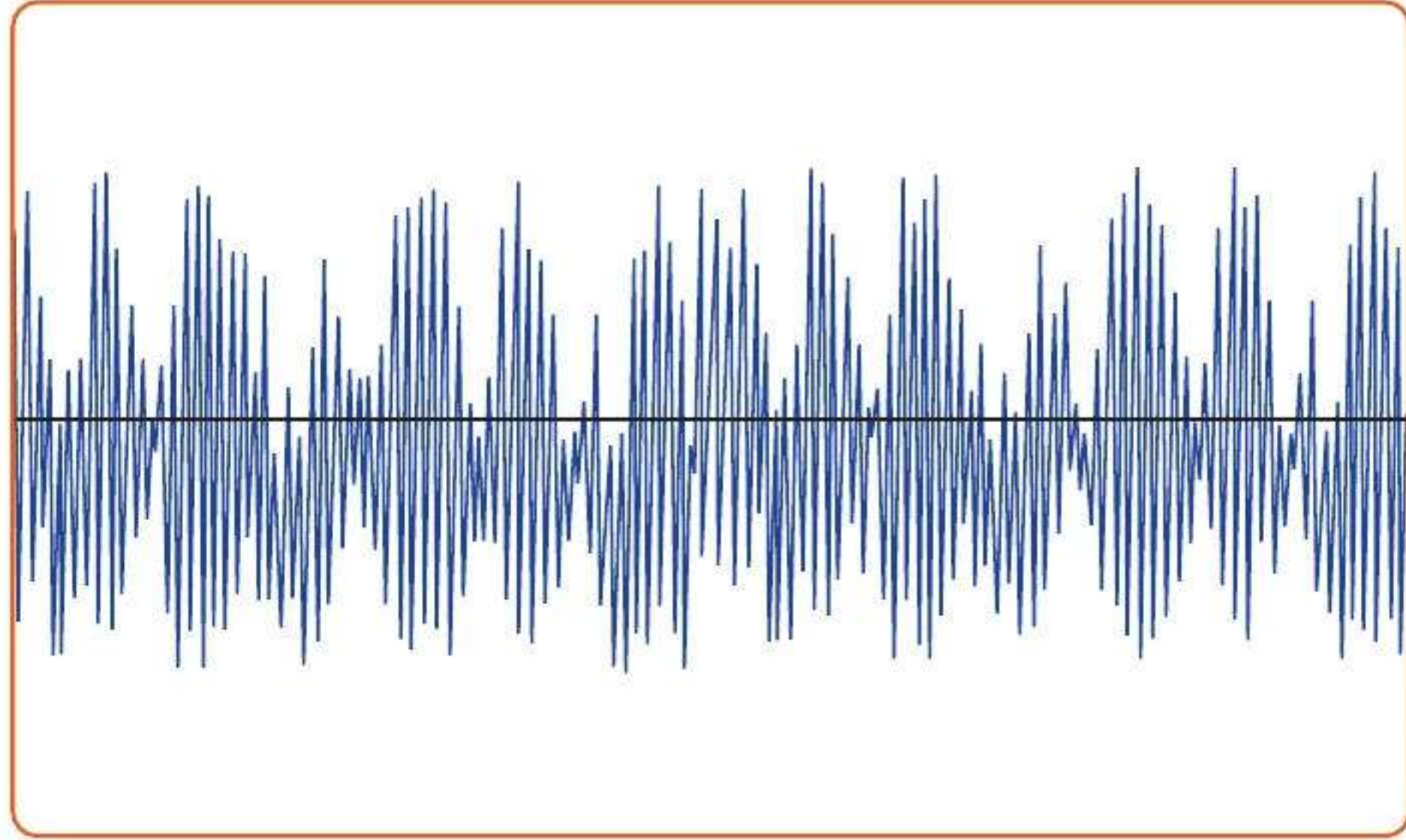
الضربات

لاحظت أنّ التناغم يُحدد من حيث نسبة الترددات. فعندما تكون النسبة 1:1 تقريباً، تصبح الترددات قريبة جداً بعضها من بعض. وإذا كان هنالك ترددان متماثلان تقريباً، فإنهما يتداخلان لإنتاج مستويات صوتية مرتفعة ومنخفضة تسمى **الضربة**. تتضح هذه الظاهرة في الشكل 19. إذ أن تردد الضربة هو مقدار الفرق بين ترددات الموجتين، $f_{\text{ضربة}} = |f_A - f_B|$ وعندما يكون الفرق أقل من 7 Hz، تستشعر الأذن هذا الصوت على هيئة نبض لشدة الصوت. وغالباً ما تُضبط نغمات الآلات الموسيقية عن طريق تشغيل صوت آلة مقابل الأخرى وضبط تردد واحدة منهما لحين اختفاء الضربة.



الشكل 19 تحدث الضربات نتيجة لتراكب موجتين صوتيتين لهما ترددات مختلفة قليلاً.

الشكل 20 تتكوّن موجة الضجيج من العديد من الترددات المختلفة وتكون جميعها بالسعة نفسها تقريبًا.



مونتاج الصوت والضجيج

عندما تستمع إلى فرقة موسيقية بصورة مباشرة تسمع موسيقى تصدر مباشرة من صوت إنسان أو آلات موسيقية. وربما أنك ترغب في سماع الموسيقى في صورة مباشرة في كل مرة تريد أن تستمع فيها إلى الموسيقى. ولكنك في أغلب الأحيان تستمع إلى الموسيقى التي تم تسجيلها ويتم تشغيلها عبر أنظمة إلكترونية. ولإعادة إنتاج الصوت المسجل بصورة واضحة، يجب أن يلائم النظام الترددات كلها بالتساوي. ويحافظ نظام الستيريو الجيد على سعات الترددات التي تتراوح بين 20 و 20,000 Hz وضمن مدى مقداره 3 dB.

أما نظام الهاتف فيحتاج إلى نقل المعلومات باللغة المنطوقة فقط. وتكون الترددات التي تتراوح بين 300 و 3000 Hz كافية. ويساعد تقليل عدد الترددات الموجودة على الحد من الضجيج. ويوضح الشكل 20 موجة ضجيج، يظهر فيها العديد من الترددات بالسعة نفسها تقريبًا. على الرغم من أن الضجيج في نظام الهاتف غير مضر، يدّعي بعض الأشخاص أن الضجيج الأبيض له تأثير مهدئ. ولهذا السبب، يستخدم بعض أطباء الأسنان الضجيج لمساعدة مرضاهم على الاسترخاء.

✓ **التأكد من فهم النص** صف موجة الضجيج.

القسم 2 مراجعة

17. **الفكرة الرئيسية** أي الآنية يهتز ويصدر أصواتًا؟
 - a. صوت الإنسان
 - b. المزمار
 - c. الناي
 - d. الكمان
18. **الرنين في أعمدة الهواء** ما السبب في أن الأنبوب المصنوع منه آلة الناي أطول بكثير من أنبوب آلة البوق؟
19. **الرنين في الأنابيب المفتوحة** كم ينبغي أن يكون طول أنبوب مفتوح الطرفين بالمقارنة مع الطول الموجي للصوت، لحدوث الرنين الأول؟
20. **الرنين في الأوتار** يُصدر الكمان نغمة F ترددها 370 Hz. ما ترددات التوافقيات الثلاثة اللاحقة التي تُنتج في هذه النغمة الموسيقية؟
21. **الرنين في الأنابيب مغلقة الطرف** يبلغ طول أحد الأنابيب مغلقة الطرف في آلة الأرغن 2.40 m.
- a. ما تردد النغمة الموسيقية المعزوفة بواسطة هذا الأنبوب؟
- b. عندما يُستخدم أنبوب ثانٍ في العزف في الوقت نفسه، تُسمع نغمة موسيقية ترددها 1.40 Hz. ما مقدار في طول الأنبوب الثاني في فترة العزف؟
22. **النغمة** لماذا تُصدر الآلات المتنوعة أصواتًا مختلفة حتى عندما تعزف النغمة الموسيقية نفسها؟
23. **الضربات** تُنتج شوكة رنانة ثلاث ضربات في الثانية مع شوكة رنانة ثانية ترددها 392 Hz. ما تردد الشوكة الرنانة الأولى؟
24. **التفكير الناقد** اطرق شوكة رنانة بمطرقة مطاطية ثم أمسك الشوكة وذراعك ممدودة، اضغط بها من خلال مقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وغيرها من الأجسام الأخرى. ماذا تسمع؟ لماذا؟

الصوتيات في المسرح

يتكوّن المسرح اليوناني القديم في إبيدوراس، الظاهر في الشكل 1، من 55 صفًا منحنياً من المقاعد المصنوعة من الحجر الجيري ويمكنه استيعاب 14,000 شخص. حيث شُيد في القرن الرابع قبل الميلاد، وأثار لغز كبير اهتمام علماء الصوتيات: كيف يمكن سماع أصوات الممثلين بدرجة واضحة جدًا في مقاعد الصف الخلفي للمسرح بدون الاستعانة بمكبرات الصوت؟

يكمن اللغز بأكمله في المقاعد. افترض البعض أنّ الموسيقى والأصوات كانت تُنقل إلى مسافة بعيدة مقارنة بالمسارح الأخرى نظرًا إلى الرياح السائدة المحلية. اعتقد آخرون أنّ اليونانيين استخدموا أفتحة خاصة ساعدت على إبراز أصوات الممثلين. وفكّر الكثيرون أيضًا في أنّ ميل مقاعد المسرح ساهم بطريقة ما في الصوتيات المذهلة الصادرة من المسرح.

الأبحاث الحديثة تبين أنّ المقاعد تؤدي دورًا كبيرًا في ذلك، واكتشف الباحثون أنّ شكل المقاعد ووضعها والمواد التي صنعت منها تتمتع كلها بخصائص صوتية مفيدة. تمتص المقاعد الموجودة في هذا المسرح الترددات الصوتية الصادرة من لفظ الجمهور والأصوات الأخرى كصوت الرياح. وفي الوقت نفسه، تعكس مقاعد الصف الأمامي أصوات الممثلين في اتجاه مقاعد الصف الخلفي. إن هذا الجمع بين طرح الأصوات غير المرغوب فيها وإبراز الأصوات المرغوب فيها يعني أنه بإمكانك الاستمتاع بالمسرحية حتى في المقاعد "الأقل تكلفة".

الشكل 1 لا يزال بإمكان أفراد الجمهور الذين يجلسون في الصفوف الخلفية الأكثر بُعْدًا عن المسرح سماع أصوات الممثلين على خشبة المسرح، بدون الاستعانة بميكروفونات، ويرجع ذلك إلى الصوتيات المميزة في المسرح.

اكسبو 2020

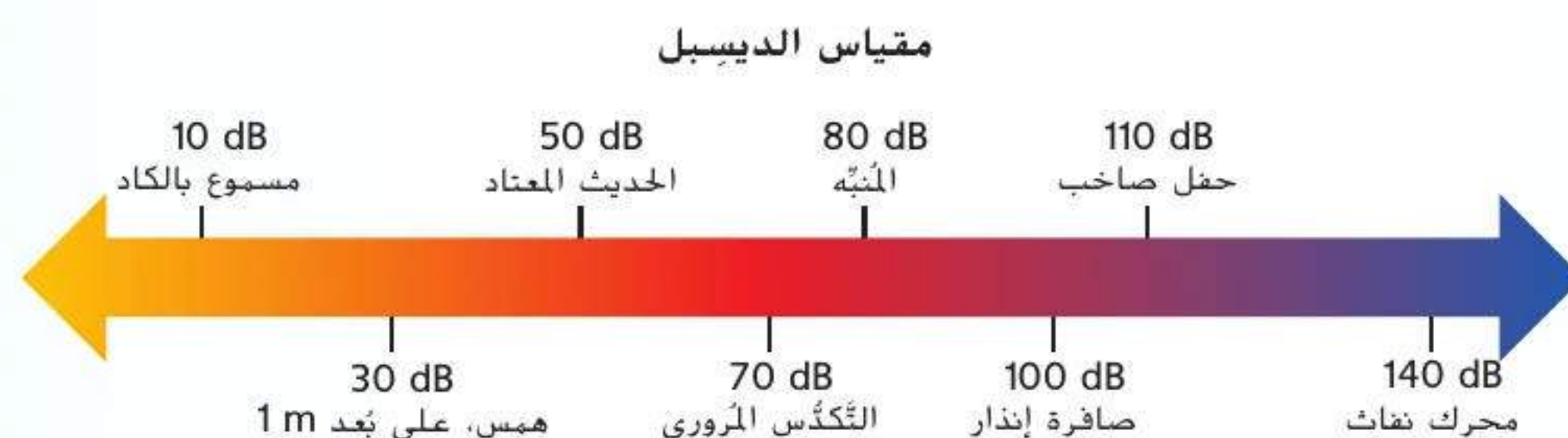
الابتكارات المتقاربة هل يمكنك التفكير في أمثلة أخرى من الأفكار أو المشاريع أو الحلول التي تستخدم أنواعًا مختلفة من الابتكارات معًا؟

الفكرة الرئيسية إنّ الموجات الصوتية عبارة عن تغيّرات في الضغط ويمكن أن تستشعر أذن الإنسان الكثير منها.

القسم 1 خصائص الصوت والكشف عنه

الفكرة الرئيسية يعتمد إدراكنا للموجة الصوتية على الخصائص الفيزيائية للموجة.

- إنّ الصوت عبارة عن تغيّرات في الضغط تنتقل عبر المادة في هيئة موجة طولية. يكون لموجة الصوت تردد وطول موجي وسرعة وسعة. تنعكس الموجات الصوتية وتتداخل مع بعضها.
- تُحوّل كاشفات الصوت الطاقة التي تحملها موجة صوتية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. تُعدّ أذن الإنسان كاشفًا ذا كفاءة عالية وحساسية شديدة للموجات الصوتية. تعتمد حدة الصوت على تردد الموجة الصوتية. وتعتمد شدة الصوت بصورة أساسية عندما يدركها كل من الأذن والدماغ على سعتها. يمكن قياس سعة ضغط الموجة الصوتية بوحدة الديسيبل (dB).



- يُعرف تأثير دوبلر بأنه تغيّر في تردد الصوت الناتج عن حركة المصدر أو المراقب.
- يُستخدم تأثير دوبلر في الرادار والأجهزة الطبية للموجات فوق الصوتية ومن قبل علماء الفلك. تُستخدم الخفافيش أيضًا تأثير دوبلر للكشف عن الحشرات الطائرة والتقاطها.

المفردات

- الموجة الصوتية sound wave
- درجة (حدة) الصوت pitch
- ارتفاع الصوت loudness
- مستوى الصوت sound level
- ديسيبل decibel
- تأثير دوبلر doppler effect

القسم 2 الفيزياء والموسيقى

الفكرة الرئيسية تتكوّن الموسيقى من موجات صوتية وتُصدّر عن الأجسام المهتزة.

- يُصدّر الصوت عن جسم مهتز في وسط ما.
- يمكن لعمود الهواء أن يُحدّث رنينًا مع مصدر صوت مما يزيد من سعة الصوت. يُصدّر الأنبوب مغلق الطرف رنينًا عندما يبلغ طوله $\frac{\lambda}{4}$ و $\frac{3\lambda}{4}$ و $\frac{5\lambda}{4}$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردد الأساسي. يُصدّر الأنبوب مفتوح الطرفين رنينًا عندما يبلغ طوله $\frac{\lambda}{2}$ و $\frac{3\lambda}{2}$ و $\frac{5\lambda}{2}$... وهكذا. تكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.
- يكون للوتر المُثَبّت عقدة عند كل طرف ويُصدّر رنينًا عندما يبلغ طوله $\frac{\lambda}{2}$ و $\frac{3\lambda}{2}$ و $\frac{5\lambda}{2}$... وهكذا. كما يحدث مع الأنبوب مفتوح الطرفين. تكون ترددات رنين الوتر مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.
- تُحدّد ترددات الموجات المعقدة الناتجة من آلة موسيقية ودرجات شدتها الجرس (نوع الصوت) الذي يُعدّ أحد خصائص هذه الآلة.
- تتداخل موجتان لهما التردد نفسه تقريبًا لتكوين الضربات.

المفردات

- الرنين في أنبوب مغلق الطرف closed-pipe resonator
- الرنين في أنبوب مفتوح الطرفين open-pipe resonator
- التردد الأساسي fundamental
- التوافقيات harmonics
- النشاز dissonance
- تناغم consonance
- الضربة beat

القسم 1

خصائص الصوت والكشف عنه

إتقان المفاهيم

25. ما الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية؟

26. عند قياس زمن الجري لمسافة مقدارها 100 m، يُطلب من المراقبين عند خط النهاية تشغيل ساعات الإيقاف في اللحظة التي يرون فيها دخاناً منبعثاً من المسدس الذي يُطلق إشارة الانطلاق لا في اللحظة التي يسمعون فيها صوت الإطلاق منه. فسر ذلك. ماذا سيحدث للأزمة التي يجري خلالها العدّاءون في حال البدء في قياسها عند سماع الصوت المنطلق من المسدس؟

27. **الفكرة الرئيسية** اذكر نوعين من أنواع إدراك الصوت والخصائص الفيزيائية المرتبطة معها.

28. هل يحدث انزياح دوبلر لبعض أنواع الموجات فقط أم لأنواع الموجات كلها؟

29. الموجات فوق السمعية ذات ترددات أعلى من الترددات التي تسمعها أذن الإنسان، وينقلها جسم الإنسان. كيف يمكن استخدام الموجات فوق السمعية لقياس سرعة تدفق الدم في الشرايين والأوردة؟ بيّن كيف تتغير الموجات لتجعل هذا القياس ممكناً.

إتقان حل المسائل

30. إذا سمعت صوت إطلاق النار من مدفع بعيد بعد رؤية الوميض المنبعث منه بفترة قدرها 5.0 s. فكم يبعد عنك المدفع؟

31. إذا صرخت في وادٍ وسمعت صدى الصوت بعد مرور 3.0 s. فما مقدار بعد حافة الوادي عنك؟

32. موجة صوتية ترددها 4700 Hz. إذا انتقلت عبر ساق فولاذي، وكانت المسافة بين التضامطات المتتالية 1.1 m. كم تبلغ سرعة الموجة؟

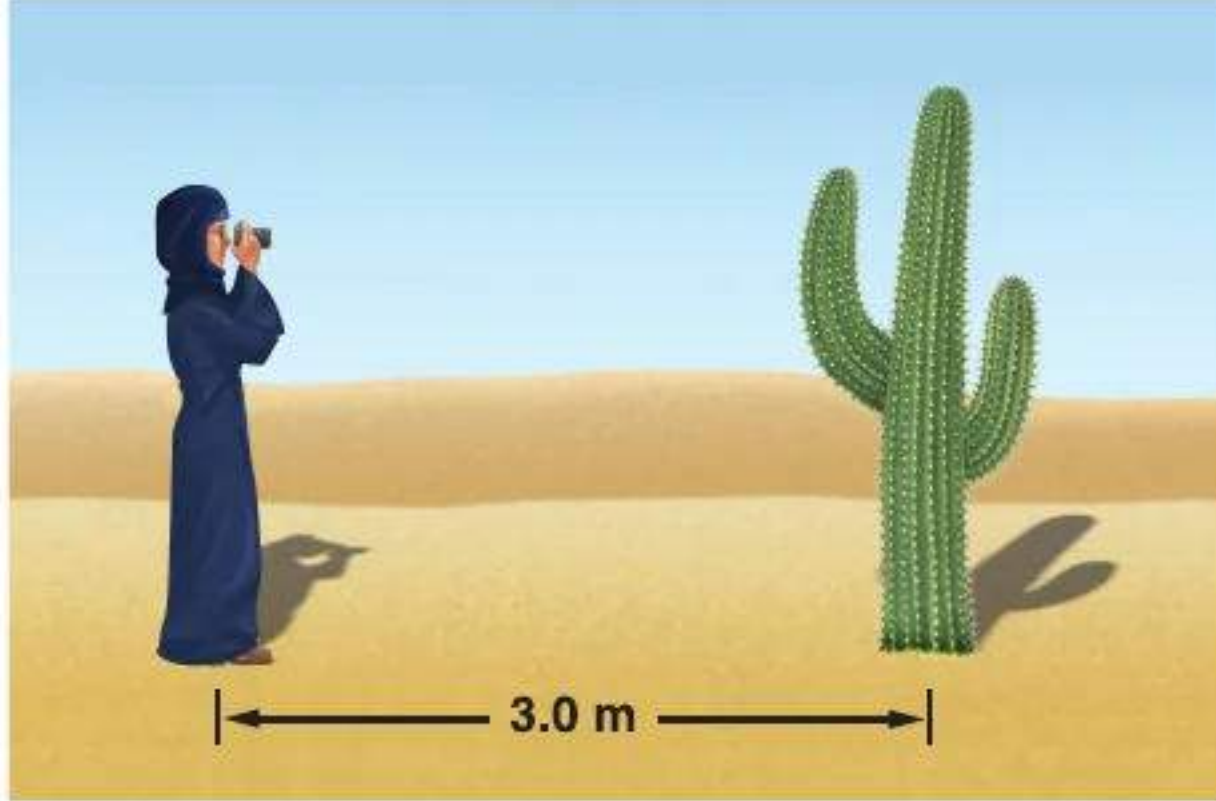
33. **الخفافيش** إذا كان الطول الموجي للموجات الصوتية التي تُطلقها الخفافيش يساوي 3.5 mm. فكم يبلغ تردد الصوت في الهواء؟

34. صوت تردده 261.6 Hz ينتقل في ماء درجة حرارته 25°C. أوجد الطول الموجي للموجات الصوتية في الماء. لا تخلط بين الموجات الصوتية التي تتحرك في الماء والموجات السطحية التي تتحرك فيه.

35. الطول الموجي لصوت تردده $4.40 \times 10^2 \text{ Hz}$ يساوي 3.30 m. فكم تبلغ سرعة الصوت في الماء العذب؟

36. سيارة إطفاء تتحرك بسرعة 35 m/s وتتحرك سيارة أخرى أمام سيارة الإطفاء في الاتجاه نفسه بسرعة 15 m/s. إذا انطلق صوت صافرة سيارة الإطفاء بتردد 327 Hz، فما التردد الذي يسمعه سائق السيارة التي أمامها؟

37. **التصوير الفوتوغرافي** تستطيع بعض الكاميرات أن تحدد بعد الجسم عن طريق إرسال موجة صوتية وقياس الزمن اللازم لعودة الصدى إلى الكاميرا، كما هو مبين في الشكل 21. فما الزمن الذي استغرقت به الموجة الصوتية للعودة إلى مثل هذه الكاميرا إذا كان الجسم يبعد 3.00 m؟



الشكل 21

38. ينتقل صوت تردده 442 Hz عبر ساق حديدية. أوجد الطول الموجي للموجات الصوتية في الحديد.

39. **الطائرة** مازن هو أحد الموظفين الذين يعملون في المطار بالقرب من طائرة نفاثة على وشك الإقلاع. تعرّض لمستوى صوت مقداره 150 dB.

a. إذا كان مازن يرتدي أدوات حماية للأذن لتقليل مستوى الصوت إلى مستوى الصوت 110 dB؟

b. إذا سمع مازن بعد ذلك صوتاً ما مثل الهمس الذي يكاد يُسمع بصعوبة. فما الصوت الذي سيسمعه شخص لا يرتدي أدوات لحماية الأذن؟

40. **الموسيقى** فرقة موسيقية تُنشِد بصوت مستواه 80 dB. ما مقدار الزيادة في ضغط الصوت الصادر من فرقة موسيقية أخرى تعزف عند كل من مستويات الصوت التالية؟

a. 100 dB

b. 120 dB

41. يهتز نابض حلزوني للعبة بتردد مقداره 4.0 Hz بحيث تتم ملاحظة موجات مستقرة طولها الموجي 0.50 m. ما سرعة انتشار الموجة؟

42. **سرعة الصوت** يجلس أحد مشجعي مباراة كرة البيسبول في يوم صيف دافئ درجة حرارته (30°C) على المدرجات بعيداً عن دائرة وسط الملعب بمسافة 152 m.

a. ما سرعة الصوت في الهواء عندما تبلغ درجة الحرارة 30°C؟

b. ما الفترة الزمنية التي يحتاج إليها المشجع لسمع صوت الضربة بعد مشاهدة ضرب اللاعب لها؟

47. تحرك قطار في اتجاه مراقب بسرعة 31.0 m/s وأطلق صافرة ترددتها 305 Hz . فما التردد الذي يستقبله المراقب في كل من الحالات التالية؟

- قطار ثابت
 - قطار يتحرك في اتجاه القطار الأول بسرعة 21.0 m/s
48. إذا تحرك القطار في المسألة السابقة بعيداً عن المراقب. فما التردد الذي يستقبله في كل من الحالات التالية؟
- قطار ثابت
 - قطار يتحرك بعيداً عن القطار الأول بسرعة 21.0 m/s

القسم 2 الفيزياء والموسيقى

إتقان المفاهيم

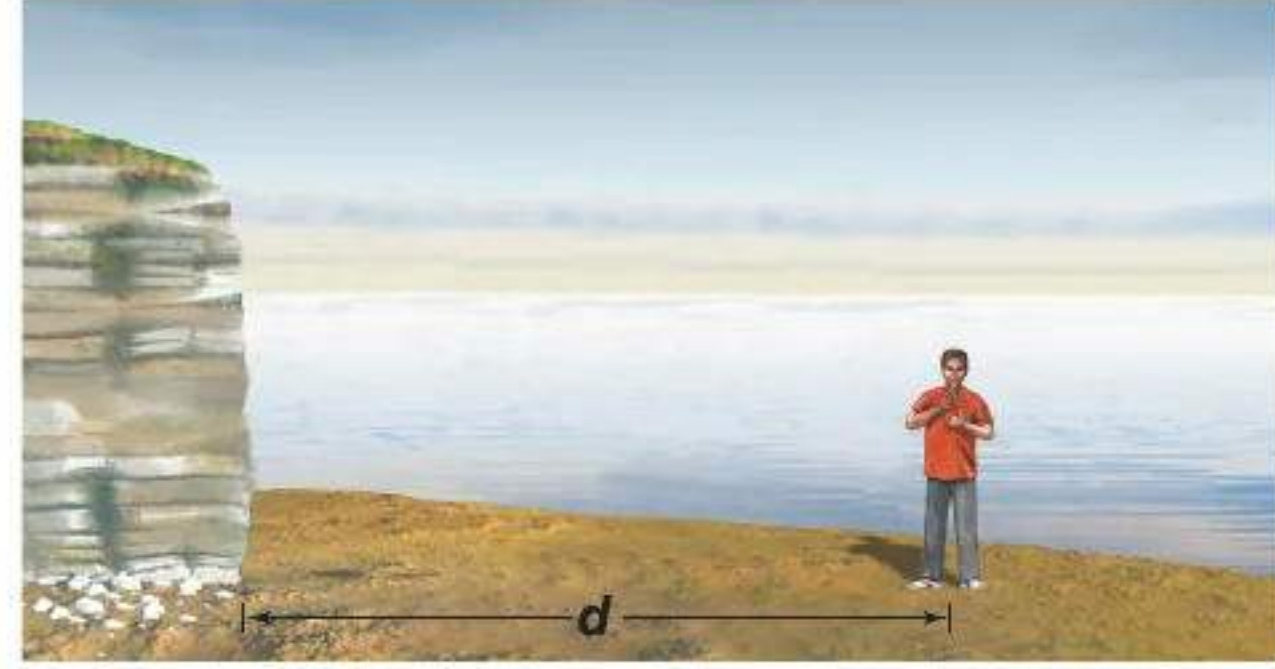
49. ماذا يلزم لإنتاج الصوت وانتقاله؟
50. الصوت كيف يُمكن لنغمة موسيقية معينة في حفل أن تتسبب في تحطيم زجاج كريستال؟
51. المشاة في الجيش، عندما يقترب جنود المشاة من الجسر، يُصدر أمر ينيح لهم "السير". بحركات غير منتظمة بينما يعبرون الجسر. اشرح سبب ذلك.
52. الآلات الموسيقية لماذا لا تبدو معظم الآلات الموسيقية مثل الشوكات الرنانة؟
53. الآلات الموسيقية ما الخاصية التي تميّز النوتات الموسيقية التي تُعزف على البوق ومزمار بعضهما عن بعض إذا كانت درجة الصوت وشدته واحدة بالنسبة إليهما؟
54. آلات الترومبون اشرح طريقة تغيير انزلاق الترومبون، كما هو موضح في الشكل 24، درجة الصوت في أنبوب الرنين في آلة الترومبون.



إتقان حل المسائل

55. إذا كان تردد صوت شوكة رنانة يساوي 445 Hz . وعند النقر على شوكة ثانية، تُصدر نغمات ترددتها 3 Hz . فما الترددان المحتملان للشوكة الثانية؟

43. وقف شخص على بُعد d من جرف صخري، كما هو موضح في الشكل 22، وكانت درجة الحرارة 15°C وصفق بيديه، فسمع صدى صوته بعد 2.0 s . كم يبعد عن الجرف؟

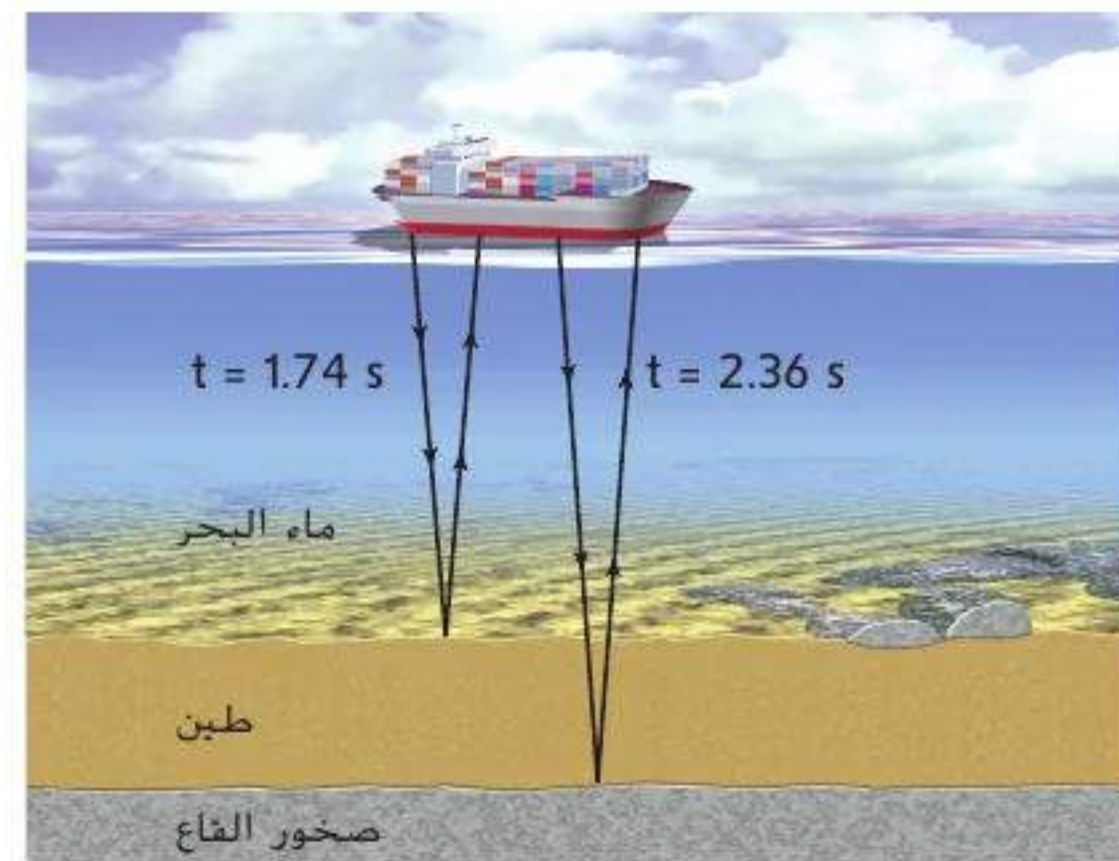


الشكل 22 (الرسم ليس مقياساً)

44. التصوير الطبي يمكن استخدام الموجات فوق السمعية ذات التردد 4.25 MHz لالتقاط صور لجسم الإنسان. إذا كانت سرعة الصوت في الجسم هي نفسها في الماء المالح، وتساوي 1.50 km/s . فما الطول الموجي لموجة ترددها 4.25 MHz في الجسم؟

45. السونار تسمح سفينة قاع المحيط وترسل موجات سونار مباشرة من السطح إلى قاع البحر. وكما هو موضح في الشكل 23، تستقبل السفينة الانعكاس الأول عن الطين عند قاع البحر بعد زمن 1.74 s من إرسال الموجات. ويصل الانعكاس الثاني عن الصخور تحت الطين بعد زمن 2.36 s . إذا كانت درجة حرارة ماء البحر 25°C . وتبلغ سرعة الصوت في الطين 1875 m/s .

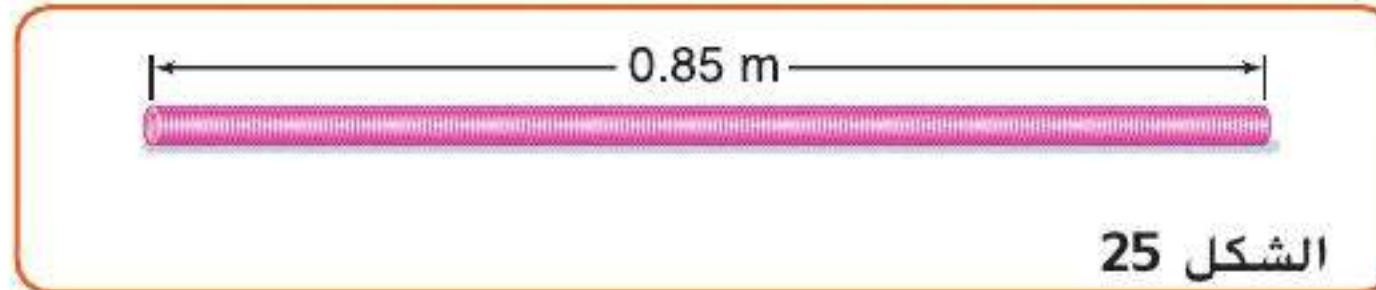
- ما عمق الماء؟
- ما سمك طبقة الطين؟



الشكل 23 (الرسم ليس مقياساً)

46. حدد مقدار الزيادة في ضغط الصوت في محادثة تُجرى عند مستوى صوت يصل إلى 60 dB مقارنة بأرق صوت مسموع.

65. يوضح الشكل 25 أنبوبًا بلاستيكيًا مرئياً طوله 0.85 m. عندما يهتز، ينتج نغمة درجة صوتها أقل من درجة صوت أنبوب مفتوح الطرفين بهذا الطول. ما تردد النغمة؟



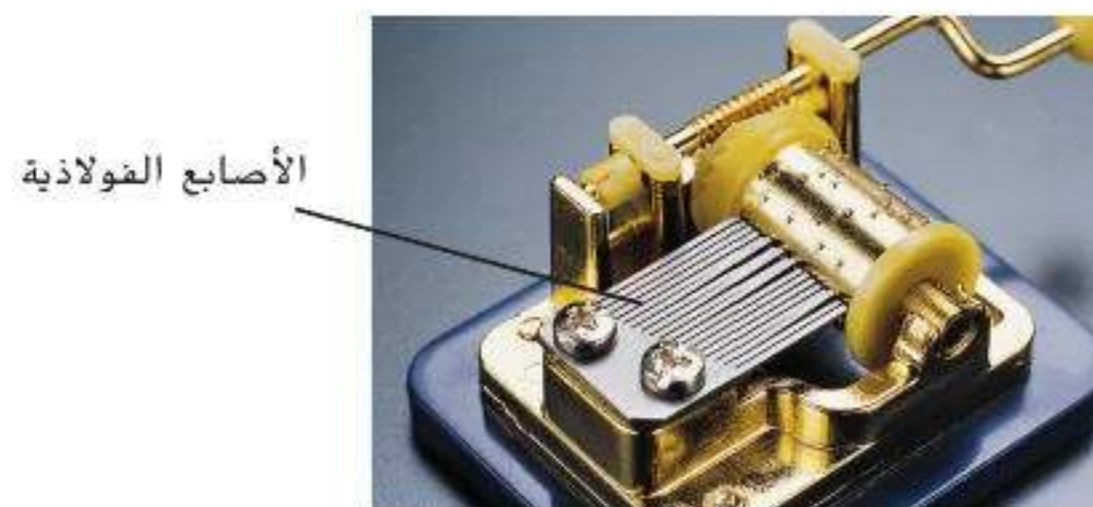
66. إذا اهتز الأنبوب في المسألة السابقة بسرعة أكبر وأنتج درجة صوت أعلى. فما التردد الجديد للنغمة؟

67. سعة موجة ضغط أثناء محادثة عادية هي 0.020 Pa. a. إذا كانت مساحة طبلة الأذن تساوي 0.52 cm^2 . فما القوة المؤثرة في الطبلة؟

b. إذا كانت الفائدة الميكانيكية للعظام الثلاث الموجودة في الأذن الوسطى تساوي 1.5. إذا انتقلت القوة في الفقرة السابقة a كاملة إلى العظام. فما القوة التي تؤثر بها العظام في الفتحة البيضاوية التي تمثل الغشاء الذي ترتبط به العظمة الثالثة؟

c. إذا كانت مساحة الفتحة البيضاوية تساوي 0.026 cm^2 . فما مقدار الزيادة في الضغط الذي يُنقل إلى السائل في القوقعة؟

68. يوضح الشكل 26 صندوقاً موسيقياً يحتوي على مجموعة من الأصابع الفولاذية المربوطة عند أحد الطرفين ويتم النقر عليها من الطرف الآخر بدبابيس على أسطوانة دوارة. ما سرعة الموجة على إصبع طوله 2.4 cm ويصدر نغمة ترددها 1760 Hz؟



الشكل 26

تطبيق المفاهيم

69. تزداد سرعة الصوت بمقدار 0.6 m/s لكل درجة سيليزية عندما ترتفع درجة حرارة الهواء. ماذا يحدث لكل مما يلي بالنسبة إلى صوت معين عندما تزداد درجة الحرارة؟

a. التردد

b. طول الموجة

70. لصوت مستوى يبلغ 40 dB هل معامل التغير في ضغطه 100 أم 40 مقارنة في ضغط صوت عند عتبة السمع؟

56. أنبوب في وضع رأسي مملوء بالماء وله صنبور عند قاعدته. تهتز شوكة رنانة فوق فوهته. إذا سُمع صوت رنين عندما انخفض مستوى الماء بمقدار 17 cm وإذا سُمع صوت رنين مرة أخرى عندما انخفض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقدار 49 cm. فما تردد الشوكة الرنانة؟

57. السمع لدى الإنسان تعد القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة الأذن أنبوباً مغلقاً طوله 3.0 cm. أوجد القيمة التقريبية لأقل تردد للرنين.

58. إذا أمسكت ساقاً من الألمنيوم طوله 1.2 m من المنتصف ونقرت على أحد طرفيه بمطرقة، فتهتز كأنه أنبوب مفتوح الطرفين. ونظراً إلى توافق بطون الضغط مع عقد الحركة الجزيئية، يتكون بطن عند منتصف الساق، وإذا كانت سرعة الصوت في الألمنيوم تساوي 6420 m/s. ما أقل تردد لتذبذب الساق؟

59. مهمة التصنيف صنف النغمات التالية وفقاً للطول الموجي من الأصغر إلى الأكبر.

35 Hz.A	100 Hz.D
50 Hz.B	140 Hz.E
83 Hz.C	

60. آلات المزمار يشبه المزمار أنبوباً مغلق الطرف. إذا أصدرت آلة المزمار نغمة بدرجة صوت ترددها 370 Hz. فما ترددات التوافقيات الثلاث الأولى التي تُنتجها هذه الآلة؟

61. الآلات الوترية إذا كان طول وتر جيتار يساوي 65.0 cm ويتم ضبطه ليصدر أقل تردد 196 Hz.

a. فما سرعة الموجة على الوتر؟

b. ما أعلى ترددين متتاليين للرنين الذي يُنتجه هذا الوتر؟

62. الآلات الموسيقية إذا كان تردد أقل نغمة على آلة الأرغن يساوي 16.4 Hz.

a. ما أقصر أنبوب مفتوح الطرفين في الأرغن سيحدث هذا التردد؟

b. ما درجة الصوت التي ستنتج إذا كان أنبوب الأرغن نفسه مغلقاً؟

63. الآلات الموسيقية تُصدر آلتان موسيقيتان النغمة A (440.0 Hz). عند العزف عليهما، يُسمع صوت تردده 2.5 Hz. إذا افترضنا أن آلة واحدة تُصدر درجة الصوت الصحيحة، فما تردد درجة الصوت التي تُصدرها الآلة الثانية؟

64. الآلات الموسيقية يبلغ طول أنبوب مفتوح الطرفين في آلة الأرغن 836 mm. إذا كانت درجة صوت الأنبوب الثاني المفتوح إحدى نغمات النغمة الثالثة العليا، كم سيبلغ طول الأنبوب الثاني؟

79. الآلات الوترية يوضح الشكل 28 قيثارة فيه أوتار طويلة تُصدر نغمات منخفضة، وأوتارًا قصيرة تُصدر نغمات مرتفعة. ويوضح الشكل 28 أيضًا جيتارًا أوتاره متساوية في الطول. كيف يمكن أن تُصدر هاتان الآلتان ألحانًا بدرجات صوت مختلفة؟



الشكل 28

مراجعة عامة

80. طرح المسألة أكمل هذه المسألة بحيث تُحل باستخدام تأثير دوبلر: "ظل بوق سيارة يُصدر صوتًا تردده 500 Hz لفترة طويلة. . . ."

81. إذا ألقيت حجرًا في بئر عمقها 122.5 m كما هو موضح في الشكل 29، فما الفترة الزمنية التي ستسمع بعدها ارتطام الحجر بقاع البئر؟



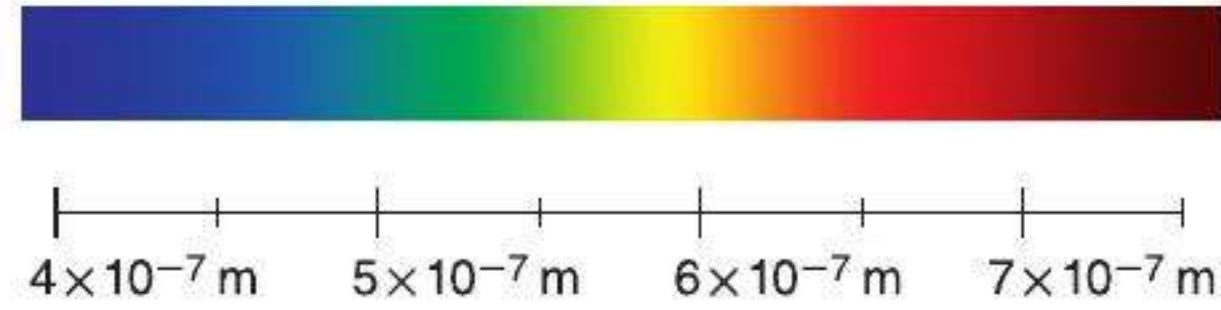
الشكل 29

82. في أمريكا الشمالية، إذا كانت إحدى درجات الحرارة المرتفعة التي سُجلت في الخارج هي 57°C وكانت درجة الحرارة المنخفضة هي -62°C . فما سرعات الصوت في درجات الحرارة هذه؟
83. تستخدم سفينة موجات سونار بتردد 22.5 kHz. إذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر تساوي 1533 m/s. فما مقدار التردد الذي يصل إلى السفينة بعد انعكاسه من حوت يتحرك مبتعدًا عن السفينة بسرعة 4.15 m/s؟ افترض أن السفينة ساكنة.

71. التقدير لتقدير المسافة بينك وبين وميض البرق بالكيلومترات، قم بعدّ الثواني بين وميض البرق الذي تشاهده والبرق الذي تسمعه واقسمها على 3. اشرح كيف تُعدّ هذه القاعدة مجدية. ابتكر قاعدة أخرى للأميال.

72. الأفلام انفجر قمر صناعي في فيلم خيال علمي. سمع طاقم سفينة فضائية قريبة صوت الانفجار وشاهدوه على الفور. في حال تم تعيينك مستشار، ما الخطآن الفيزيائيان اللذان تلاحظهما وتعيّن عليك تصحيحهما؟

73. الانزياح نحو الأحمر لاحظ علماء الفلك أن الضوء المنبعث من المجرات البعيدة يبدو أكثر احمرارًا عن الضوء المنبعث من المجرات القريبة. يمكنك الاستعانة بالشكل 27 الذي يوضح الطيف المرئي لتفسير السبب وراء استنتاج العلماء أن المجرات البعيدة تتحرك مبتعدة عن الأرض.



الصورة 27

74. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من واقع الحياة. وعلى أن تمثل المعادلة التالية جزءًا من الحل المطلوب لها:

$$440 \text{ Hz} = \frac{442 \text{ Hz} (343 \text{ m/s} - v_d)}{343 \text{ m/s}}$$

75. إذا زادت درجة الصوت، فما التغير الذي يحدث لكل مما يلي؟
- التردد
 - طول الموجة
 - السرعة للموجة
 - السعة

76. تغيّرات في درجة الحرارة إذا كانت سرعة الصوت تزداد بزيادة درجة الحرارة. فهل ستزداد درجة صوت أنبوب مغلق الطرف أم ستقل عندما ترتفع درجة الحرارة في الهواء؟ افترض أن طول الأنبوب لم يتغير.

77. الفرق الموسيقية العسكرية يُلحّن عازفان على مزامرين. إذا كنت تسمع تردد النبضة يزداد، فهل تردد المزامرين سيتقارب أم سيتباعد؟

78. الآلات الموسيقية تُصدر آلة أرغن مغطاة نغمة معينة. في حال إزالة الغطاء ليصبح الأنبوب مفتوح الطرفين، هل ستزداد درجة الصوت أم ستقل؟

84. في العام 1845، اختبر العالم الهولندي كرسstof بويز بالوت تأثير دوبلر. ووجد شخصاً يعزف على بوق وأصدر الصوت A (440 Hz) أثناء ركوبه في عربة مكشوفة يجرها قطار. وفي الوقت نفسه، كان هناك شخص آخر ثابت في مكانه يعزف على بوق النغمة نفسها التي عزفها الشخص الراكب. إذا كان بويز بالوت قد سمع 3.0 ضربات كل ثانية. فما السرعة التي كان يتحرك بها القطار المتجه إليه؟

85. حاول أن تكرر تجربة بويز بالوت الواردة في المسألة السابقة. خطط للتجربة، بحيث يكون لديك بوق يعمل في سيارة تسير بسرعة، بدلاً من الاستماع إلى نغمات الضربات، كما يجب أن تسير السيارة بسرعة تجعل صوت البوق المتحرك يزيد بمعامل الثلث عن البوق الثابت.

- a. ما السرعة التي يجب أن تسير بها السيارة؟
b. هل ستحاول إجراء هذه التجربة؟ وضح إجابتك.

86. أوتار الجيتار تقاس سرعة موجة على وتر بالمعادلة التالية:

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$
 حيث F_T تمثل الشد في الوتر و μ هي الكتلة لكل وحدة طول في الوتر. إذا كانت كتلة الجيتار 3.2 g وطوله 65 cm. ما مقدار الشد الذي يجب بذله في الوتر لإنتاج نغمة ترددها الأساسي يساوي 147 Hz؟

التفكير الناقد

87. بيّن الجدول 2 أدناه الأطوال الموجية للموجات الصوتية التي تُصدرها مجموعة من الشوكات الرنانة.

a. مثلّ بيانياً العلاقة بين الطول الموجي والتردد (متغير مستقل). ما نوع العلاقة التي يوضحها هذا التمثيل البياني؟

b. مثلّ بيانياً الطول الموجي ومقلوب التردد $\left(\frac{1}{f}\right)$. ما نوع العلاقة التي يوضحها هذا الرسم البياني؟ حدد سرعة الصوت من هذا الرسم البياني.

الجدول 2 الشوكات الرنانة	
التردد (Hz)	طول الموجة (m)
262	1.31
294	1.17
330	1.04
349	0.98
392	0.87

88. افترض أنّ تردد بوق السيارة يساوي 300 Hz عندما تكون ثابتة. هل يمكنك إعداد رسم تقريبي توضح فيه كيف ستبدو العلاقة بين التردد والزمن عندما تقترب السيارة منك ثم تتحرك مبتعدة عنك؟

89. حلل واستنتج صيف كيف تستخدم ساعة إيقاف لتقدير سرعة الصوت إذا كنت على بُعد 200 m من حفرة كرة جولف، حيث تقوم مجموعة من اللاعبين بتسديد كراتهم. هل سيكون تقديرك لسرعة الصوت كبيراً أم صغيراً؟

90. طبّق المفاهيم وجد علماء الفلك أنّ الضوء القادم من نقطة على الحافة اليسرى للشمس تردده أعلى قليلاً من الضوء القادم من الحافة اليمنى. ما الذي تخبرك به هذه القياسات عن حركة الشمس؟

91. صمم تجربة صمم تجربة تختبر فيها معادلة سرعة موجة على وتر. ووضح عمليات القياس التي ستقوم بها، وطريقة القيام بها وطريقة استخدامها لاختبار هذه المعادلة.

الكتابة في الفيزياء

92. ابحث في طريقة تصمّم من خلالها آلة موسيقية مثل الكمان أو البوق الفرنسي. ما العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار بالإضافة إلى طول الأوتار أو الأنبوب؟ ما الفرق بين آلة عالية الجودة وآلة أقل تكلفة؟ كيف تُختبر جودة النغمة التي تُصدرها هاتان الآلتان؟

93. ابحث في استخدام تأثير دوبلر في دراسة علم الفلك. ما دوره في نظرية الانفجار العظيم؟ كيف يستخدم في الكشف عن الكواكب حول النجوم الأخرى، ودراسة حركات المجرات؟

مراجعة تراكمية

94. إذا كانت كتلة الكرة A تساوي 1.0 kg وتتدحرج نحو الغرب بسرعة 3.0 m/s بينما الكرة B كتلتها 2.0 kg وثابتة في مكانها. وبعدما اصطدمت الكرة A بالكرة B، تحركت الكرة A نحو الجنوب بسرعة مقدارها 2.0 m/s.

a. مثلّ برسم تخطيطي يوضح السرعات المتجهة وكميات الزخم قبل التصادم وبعده.

b. احسب الزخم والسرعة المتجهة للكرة B بعد التصادم.

95. يحمل أيوب علبة من الحليب ووزنها 10 N إذا كان يسير بسرعة متجهة ثابتة على امتداد مسافة أفقية 3.5 m. فما مقدار الشغل الذي يبذله أيوب على العلبة؟

96. قفزت ممثلة في فيلم من مبنى مألّف من خمسة طوابق (ارتفاعه 22 m) على وسادة كبيرة في الطابق الأرضي. فخففت الوسادة من وطأة سقوطها بحيث لا يزيد تسارعها عن 3.0 m/s^2 .

a. إذا كان وزنها يساوي 480 N، فما مقدار الطاقة التي يجب أن تمتصها الوسادة؟

b. ما مقدار القوة الذي تبذله الوسادة عليها؟

6. تسمع ربما 20 ضربة في 5.0 s في أثناء عزفها نغمتين على البيانو. كما أنها على يقين بأن تردد النغمة الأولى يساوي 262 Hz. ما الترددات المحتملة للنغمة الثانية؟

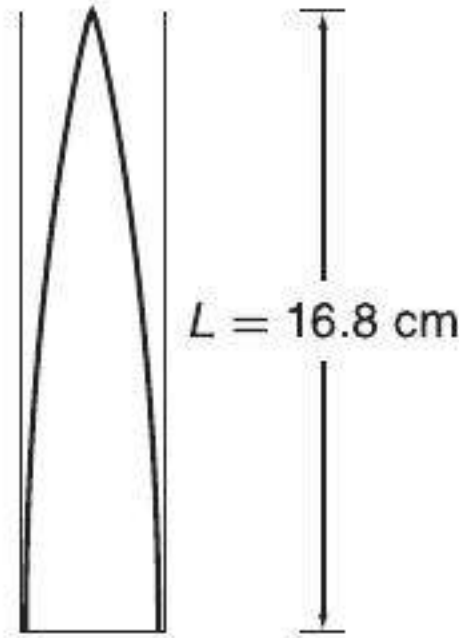
- A. 242 Hz أو 282 Hz
- B. 258 Hz أو 266 Hz
- C. 260 Hz أو 264 Hz
- D. 270 Hz أو 278 Hz

7. أي من أزواج الآلات التالية لها ترددات رنانة عند ضرب أقل تردد لها في عدد صحيح؟

- A. وتر مثبت وأنبوب مغلق
- B. وتر مثبت وأنبوب مفتوح
- C. أنبوب مفتوح وأنبوب مغلق
- D. أنبوب مفتوح وآلة نفخ خشبية

أسئلة ذات إجابات طويلة

8. يوضح الشكل أدناه الرنين الأول لأنبوب هوائي مغلق الطرف. إذا كان تردد الصوت 488 Hz، فما سرعة الصوت؟



الاختبار من متعدد

1. كيف ينتقل الصوت من مصدره إلى أذنك؟

- A. عن طريق التغيرات في ضغط الهواء
- B. عن طريق الاهتزازات في الأسلاك أو الأوتار
- C. عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية
- D. عن طريق موجات الأشعة تحت الحمراء

2. يستمع أحمد إلى موسيقى كلاسيكية تصدر من مكبرات الصوت المثبتة في بركة السباحة الخاصة به. إذا وصلت إلى أذنه نغمة موسيقية ترددها 330 Hz أثناء تواجده تحت الماء. ما الطول الموجي للموجة الصوتية التي تصل إلى أذن أحمد؟ علماً بأن سرعة الصوت في الماء تساوي 1493 m/s.

- A. 2.19 nm
- B. $4.88 \times 10^{-5} \text{ m}$
- C. $2.19 \times 10^{-1} \text{ m}$
- D. 4.52 m

3. ينتقل الصوت الصادر من بوق بسرعة 351 m/s في الهواء. إذا كان تردد النغمة 294 Hz، فما الطول الموجي للموجة الصوتية؟

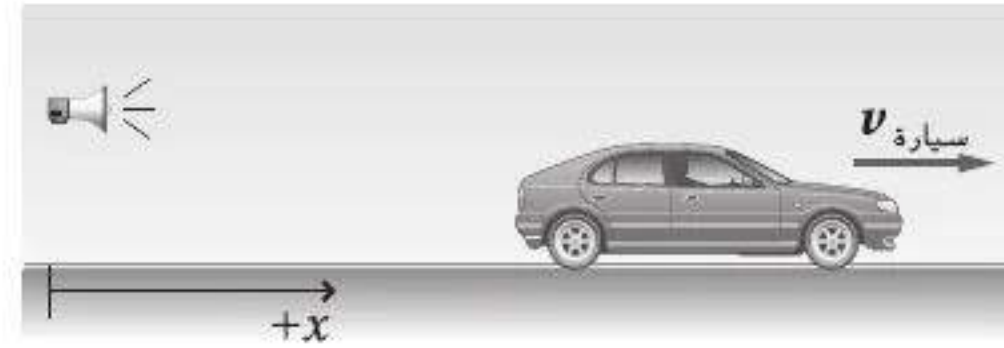
- A. $9.93 \times 10^{-4} \text{ m}$
- B. 0.849 m
- C. 1.19 m
- D. $1.05 \times 10^5 \text{ m}$

4. يجذب صوت بوق سيارة ما انتباه مراقب ثابت. إذا كانت السيارة تقترب من المراقب بسرعة 60.0 km/h ويصدر البوق صوتاً تردده 512 Hz، فما تردد الصوت الذي يصل المراقب؟ علماً بأن سرعة الصوت في الهواء تساوي 343 m/s.

- A. 488 Hz
- B. 512 Hz
- C. 538 Hz
- D. 600 Hz

5. كما هو موضح في الرسم أدناه، تبتعد سيارة بسرعة 72 km/h عن صافرة إنذار ثابتة. إذا كان تردد صوت صافرة الإنذار 657 Hz، فما تردد الصوت الذي يصل السائق؟ علماً بأن سرعة الصوت تساوي 343 m/s.

- A. 543 Hz
- B. 620 Hz
- C. 647 Hz
- D. 698 Hz



أساسيات الضوء

الفكرة الرئيسية يسلك الضوء سلوك الأمواج ويمكن استكشافه بالعين المجردة.

الأقسام

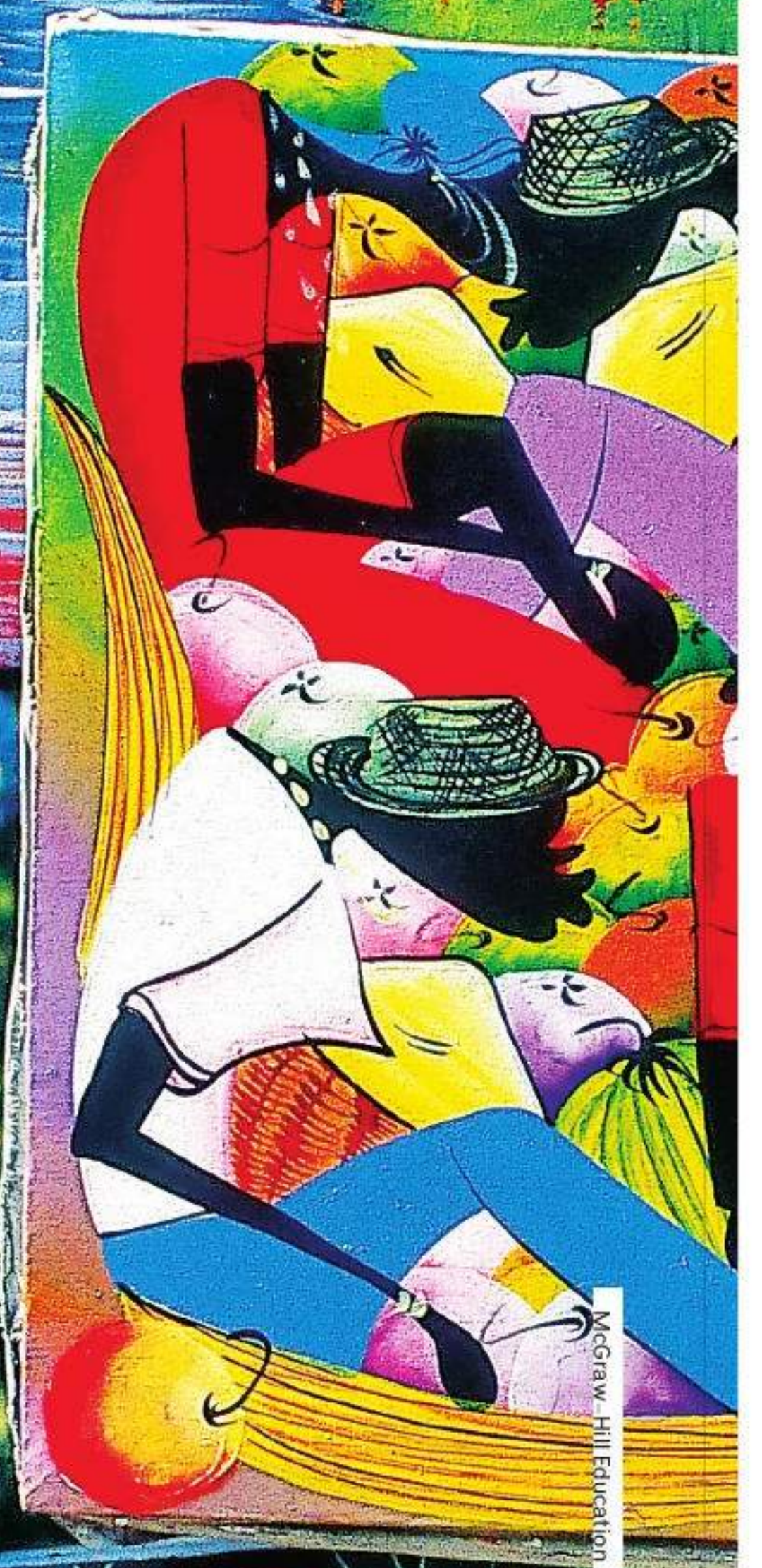
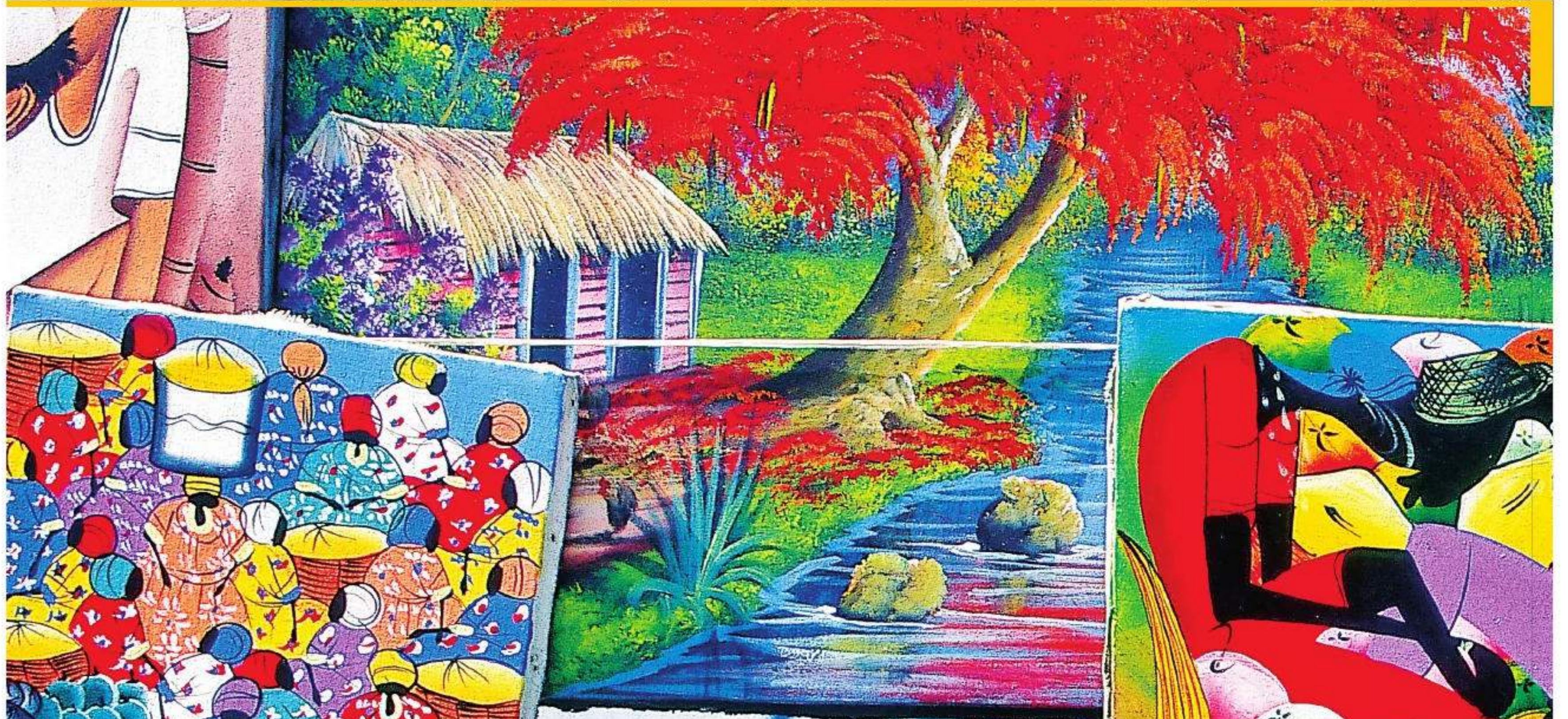
1 الاستضاءة

2 الطبيعة الموجية للضوء

التجربة الاستهلالية

مسار الضوء

هل يمكن تحديد مسار الضوء في الهواء؟ استعن بمواد من البيئة المحيطة لكي تجيب عن ذلك.



الاستضاءة

القسم 1

لا يصل ضوء الشمس إلى المناطق الأكثر عمقاً في البحر، إلا أنّ الأسماك المتألّبة بيولوجياً التي تعيش فيها تضيئها. وتعتبر أسماك أبي الشص مثلاً على ذلك؛ إذ يتصل برأسها شيء مضيء يشبه صنارة الصيد، يساعدها في جذب الفرائس.

الفيزياء في حياتك

مسار الضوء

كيف تستقبل أجسامنا المعلومات؟ يجيب معظم الناس عن هذا السؤال بأنّ الجسم يستقبل المعلومات عن طريق الحواس الخمس، فالضوء والصوت وسيلتان يمكننا أن نحصل منهما على المعلومات، إذ تستطيع العين البشرية تحسّس التغيرات البسيطة في حجم الجسم وموقعه ووسطوعه، إضافة إلى لونه، كما تميز أعيننا عادةً بين الأجسام والظلال، وتستطيع أن تميز أحياناً بين الأجسام وانعكاساتها. ستتعلم في هذا القسم عن مصادر الضوء وكيف تضيء الكون من حولنا.

الخط المستقيم كيف ينتقل الضوء؟ عندما تدخل حزمة ضوئية ضيقة، مثل تلك الخاصة بضوء المصباح اليدوي أو ضوء الشمس. لعلك لاحظت أنه عند مرور شعاع ضوئي من أشعة الشمس أو مصباح ضوء عبر الهواء، فإن دقائق الغبار الموجودة في الهواء تجعلك تشاهد هذا الشعاع على هيئة خط مستقيم. وعندما يعترض جسمك ضوء الشمس يتكون له ظل، ويرجع السبب في ذلك أن الضوء يسير في خط مستقيم، انظر الشكل 1.

وعندما تتحرك باتجاه جسم أمام عينيك، فإنك تسير في مسار مستقيم. لأن الضوء المنعكس عنه يسير في خط مستقيم؛ ولكي ترى الأشياء ينبغي أن ينتقل الضوء منها إلى عينك في خط مستقيم. وقد طورت النماذج التي تصف سلوك الضوء بناءً على هذه المعلومة المتعلقة بانتقال الضوء.

✓ **تأكد من فهمك** اذكر أدلة من تجاربك اليومية تثبت أنّ الضوء يسير في خط مستقيم.

الشكل 1 يتّضح سير أشعة الضوء في خطوط مستقيمة في حالات عديدة.



الفكرة الرئيسية

تسير أشعة الضوء في خطوط مستقيمة، ويمكن أن تغيّر اتجاهها فقط عندما تنتقل من وسط إلى آخر.

الأسئلة الرئيسية

- ما نموذج الشعاع الضوئي؟
- ما العلاقة بين المسافة والإضاءة؟
- كيف حُدّدت سرعة الضوء؟

مراجعة المفردات

الدقة precision: تعبر عن مدى دقة قياس خاصية معينة

مفردات جديدة

نموذج الشعاع الضوئي

ray model of light

المصدر المضيء

luminous source

opaque

وسط معتم

translucent

وسط شبه شفاف

transparent

وسط شفاف

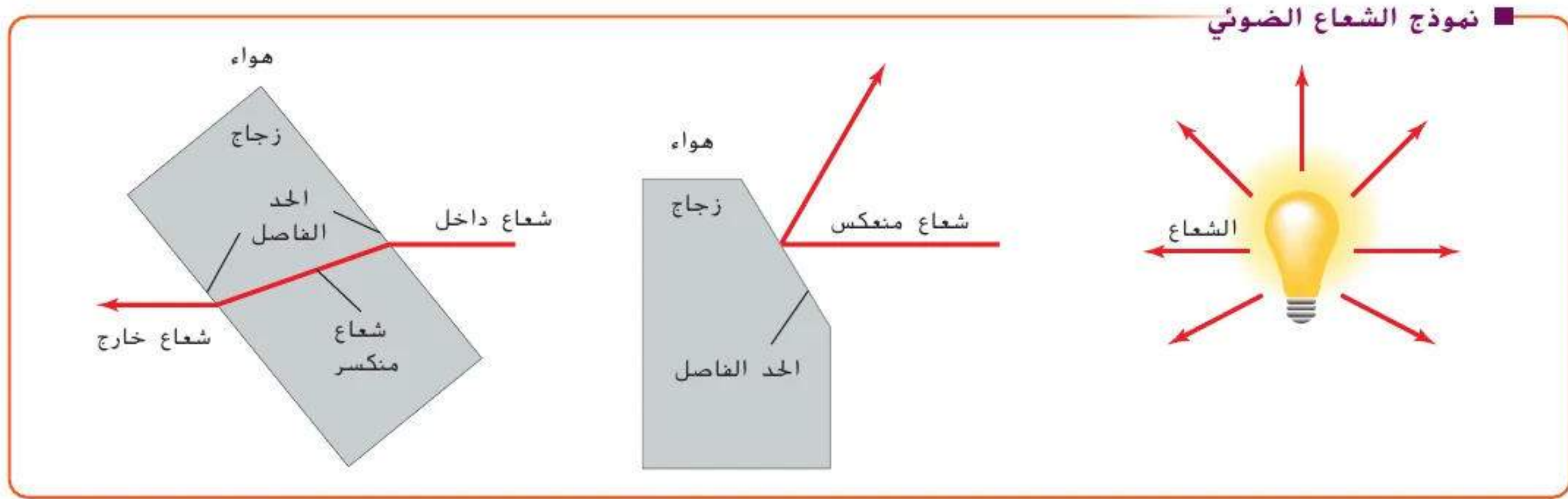
luminous flux

التدفق الضوئي

illuminance

الاستضاءة





الشكل 2 يوضح المسار الخطي المستقيم للضوء بنموذج الشعاع الضوئي. يتغير اتجاه أشعة الضوء عند انعكاسها أو انكسارها بواسطة حاجز ما. وفي كلتا الحالتين، تواصل أشعة الضوء السير في مسار مستقيم.

دلالة الألوان

الأشعة الضوئية ← باللون الأحمر

نموذج الشعاع الضوئي

تخيل أنك موجود في غرفة فارغة ومظلمة، ثم أضيء مصباح صغير في وسط الغرفة. ستتمكن من رؤية جميع أنحاء الغرفة ورؤية المصباح عند النظر إليه. وهذا يدل على أن المصباح يبعث الضوء في جميع الاتجاهات. يمكنك أن تتصور أن الضوء المنبعث من المصباح عبارة عن عدد لا نهائي من الأسهم التي تتحرك بعيداً منه في خطوط مستقيمة في جميع الاتجاهات. ويمثل كل سهم شعاعاً ضوئياً يسير في خط مستقيم حتى يصل إلى حاجز، كما هو موضح في الشكل 2.

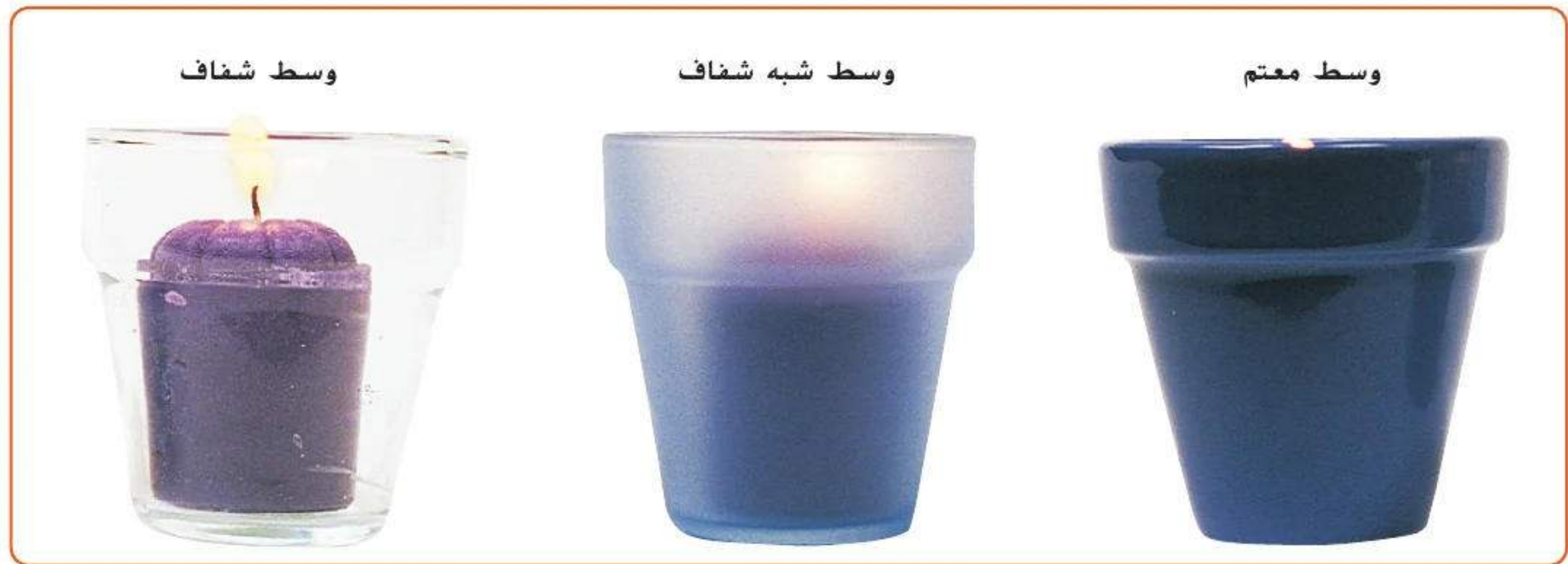
بعد أن يصل الشعاع الضوئي إلى حاجز، فإنه يتفاعل معه ويغير اتجاهه إلا أنه يبقى يسير في خط مستقيم. وتشكل هذه المبادئ الأساسية **نموذج الشعاع الضوئي**. تُسمى دراسة تفاعل الضوء مع المادة ببصريات الأشعة أو البصريات الهندسية.

مصادر الضوء ما الفرق بين ضوء الشمس وضوء القمر؟ ضوء الشمس أكثر سطوعاً من الضوء الذي يصلنا من القمر، كما يوجد فارق أساسي آخر بينهما؛ وهو أن الشمس مصدر مضيء يبعث الضوء من ذاته؛ أما القمر فجسم مرئي يعكس ضوء الشمس. وتصنف جميع الأشياء من حولنا على أنها أجسام تبعث ضوءاً من ذاتها كالشمس، **مصادر مضيئة** أو أجسام مرئية تعكس الضوء الساقط عليها، مصادر مستضيئة.

تشمل المصادر المضيئة مصادر طبيعية مثل الشمس واللمب والشرر وبعض أنواع الحشرات مثل اليراع. وتعتبر الأجهزة المصنعة من قبل الإنسان مصادر أخرى للضوء، مثل شاشات التلفاز وشاشات الحاسوب وأجهزة الليزر والصمامات الثنائية المتناهية الصغر الباعثة للضوء. ويظهر في الشكل 3 أحد المصادر المضيئة وهو المصابيح الفلوريسنتية التي تنتج الضوء من الطاقة الكهربائية. أما الأشياء الأخرى في الغرفة فهي أجسام مستضيئة لانعكاس ضوء المصابيح عنها. ولا يمكنك على الإطلاق رؤية أي شيء في غرفة لا يوجد فيها ضوء.



الشكل 3 إن الأجسام الموجودة في الغرفة مرئية بسبب انعكاس الضوء عنها. **توقع** إن لم يكن هنالك مصدر مضيء في الغرفة، ما الأشياء المستضيئة فيها؟



الشكل 4 ينتقل الضوء عبر حاملتي الشمع الشفافة وشبه الشفافة. لا يمكن رؤية الشمعة بوضوح في حاملة الشمع المعتمة بسبب امتصاصها للضوء.

الضوء والمادة يمكن أن تمتص الأجسام الضوء أو تعكسه أو تمرره من خلالها. وتُسمى الأجسام التي تعكس الضوء وتمتصه ولكن لا ينفذ منها **الوسط المعتم**. ومنها: الكتب والأشخاص وحقائب الظهر. وكما تُسمى الأوساط التي تنقل الضوء وتعكسه ولكن لا تسمح برؤية الأجسام بوضوح من خلالها **الأوساط شبه الشفافة**. ويعتبر الزجاج المصنفر المبين في **الشكل 4** مثالاً عليها. أما **الوسط الشفاف** كالهواء أو الزجاج، فينفذ معظم الضوء منه. يوضح **الشكل 4** أمثلة للأوساط المعتمة وشبه الشفافة والشفافة. على الرغم من أن الأوساط الشفافة ينفذ معظم الضوء عبرها، فإنها تعكس بعض أشعة الضوء أيضاً. فعندما تضع شمعة ضوء على حاملة زجاجية فإنك تشاهدها، وهذا يعني أنها تعكس الضوء.

عادةً تمتص الأوساط الثلاثة بعض أشعة الضوء. إلا أن هنالك عوامل مختلفة تحدد مقدار امتصاصها للضوء، ولكن غالباً ما تمتص الأجسام المعتمة القدر الأكبر من الضوء.

✓ **تأكد من فهمك** اشرح لماذا يمكن رؤية كل من حوض السمك الزجاجي والسمكة الموجودة في داخله.

كمية الضوء

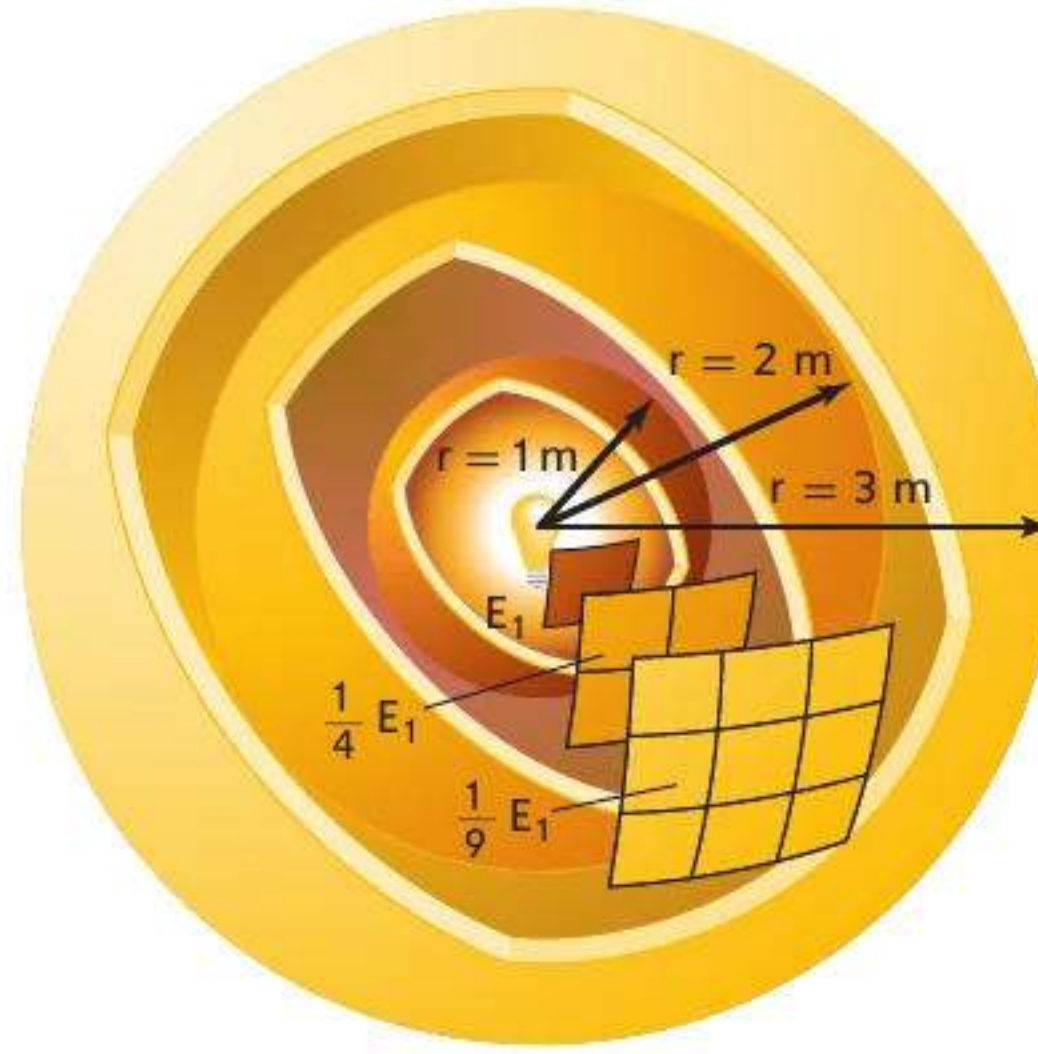
تخيل أنك في غرفة مظلمة وسلط ضوء مصباح يدوي نحوك؛ ما العوامل التي تؤثر في مدى سطوع الضوء الذي يصلك؟ توجد ثلاثة عوامل تحدد مدى سطوع الضوء وهي: كمية الضوء التي ينتجها المصباح اليدوي والمسافة بين المصباح وعينيك والزوايا التي يسقط فيها الضوء على عينيك. سنتناول في هذا القسم أول عاملين فقط.

التدفق الضوئي يوضح نموذج الشعاع الضوئي أن مصدر الضوء الأكثر سطوعاً ينتج كمية أكبر من أشعة الضوء. عرفت أن المصباح الضوئي ينبعث منه أشعة في جميع الاتجاهات. كيف يمكنك تجميع كل هذه الأشعة؟ لا بد من أنك ستحتاج إلى إنشاء سطح يحيط بالمصباح بالكامل، كما في **الشكل 5**. يُسمى معدل انبعاث الضوء من المصدر المضيء، أي المصباح، **التدفق الضوئي** (P) ويُقاس بوحدة اللومن (lm). يعتمد المقدار الكلي للضوء الساقط على السطح في فترة معينة من الزمن على التدفق الضوئي للمصدر فقط.

الشكل 5 يساوي التدفق الضوئي معدل انبعاث الأشعة الضوئية من المصدر المضيء.



الشكل 6 الاستضاءة (E) تساوي كمية الضوء الساقط على السطح، وتقل كلما ازدادت المسافة (r) بين السطح والمصدر المضيء، أي إن E تتناسب عكسيًا مع مربع r .



$$E = P / 4\pi r^2$$

الاستضاءة

$$E_1 = \frac{1750}{4\pi} \text{ lx}$$

$$E_2 = \frac{1750}{4\pi 2^2} \text{ lx}$$

$$E_3 = \frac{1750}{4\pi 3^2} \text{ lx}$$

الاستضاءة بمجرد معرفة كمية الضوء المنبعثة من مصدر مضيء، يمكن تحديد كمية الإضاءة التي يوفرها المصدر لجسم، كالكتاب مثلاً. إن إضاءة سطح، أو بمعنى آخر معدل اصطدام الضوء بوحدة المساحات للسطح يسمى **الاستضاءة (E)**. ونُقاس بوحدة اللوكس (lx) التي تساوي لومن لكل متر مربع (lm/m^2). وللتبسيط سنفترض في هذه الوحدة أن كل مصادر الضوء مصادر نقطية.

انظر إلى **الشكل 6**. إذا كان التدفق الضوئي للمصدر 1750 lm (ما يعادل إضاءة مصباح فلوريسنتي صغير قدرته 26 W). كم تبلغ استضاءة السطح الداخلي للكرة عندما تكون $r = 1 \text{ m}$ ؟ تحسب المساحة السطحية للكرة من خلال المعادلة $4\pi r^2$.

لذا تكون المساحة السطحية للكرة $4\pi (1.00 \text{ m})^2 = 4\pi \text{ m}^2$. والتدفق الضوئي الذي يصطدم في كل متر مربع من الكرة يساوي $\frac{1750 \text{ lm}}{4\pi \text{ m}^2} = 139 \text{ lx}$. تعني هذه العلاقة الرياضية أنه يسقط على بعد 1 m من المصباح 139 lm على كل متر مربع، لذا تكون استضاءة السطح الداخلي للكرة 139 lx .

علاقة التربيع العكسي ماذا سيحدث إذا كانت الكرة المحيطة بالمصباح أكبر؟ إذا كان نصف قطر الكرة 2.00 m ، فسيبقى التدفق الضوئي الكلي 1750 lm . لأنه يعتمد على المصباح فقط. في حين تصبح مساحة سطح الكرة $4\pi (2.00 \text{ m})^2 = 16.0\pi \text{ m}^2$. أي إن مساحة سطح الكرة الآن أكبر أربع مرات من مساحة سطح كرة نصف قطرها 1.00 m . كما هو موضح في **الشكل 6**. وتكون استضاءة الكرة التي نصف قطرها 2.00 m مساوية 34.8 lx ، أي يسقط 34.8 lm على كل متر مربع.

إن استضاءة السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 2.00 m تساوي ربع استضاءة السطح الداخلي للكرة التي يبلغ نصف قطرها 1.00 m . وبالمطابقة نفسها إن استضاءة السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 3.00 m تساوي $(1/3)^2$ أو $1/9$ استضاءة السطح الداخلي للكرة التي يبلغ نصف قطرها 1.00 m .

ويبين **الشكل 6** أن الاستضاءة الناتجة من مصدر نقطي تتناسب طرديًا مع $\frac{1}{r^2}$. وتُسمى علاقة التربيع العكسي. فنجد أنه عندما يكون نصف قطر الكرة 3.00 m .

فإن مقدار الاستضاءة لكل متر مربع من السطح الداخلي للكرة يساوي 15.5 lm . أي إنه 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 من مصدر الضوء النقطي.

مختبر الفيزياء

قياس ضوء الأشعة فوق البنفسجية

ما مدى فعالية المواد المختلفة في حجب ضوء الأشعة فوق البنفسجية؟

ربط الرياضيات بالفيزياء

العلاقات الطردية والعكسية تخضع الاستضاءة المتولدة بواسطة مصدر ضوئي لعلاقة طردية وعكسية.

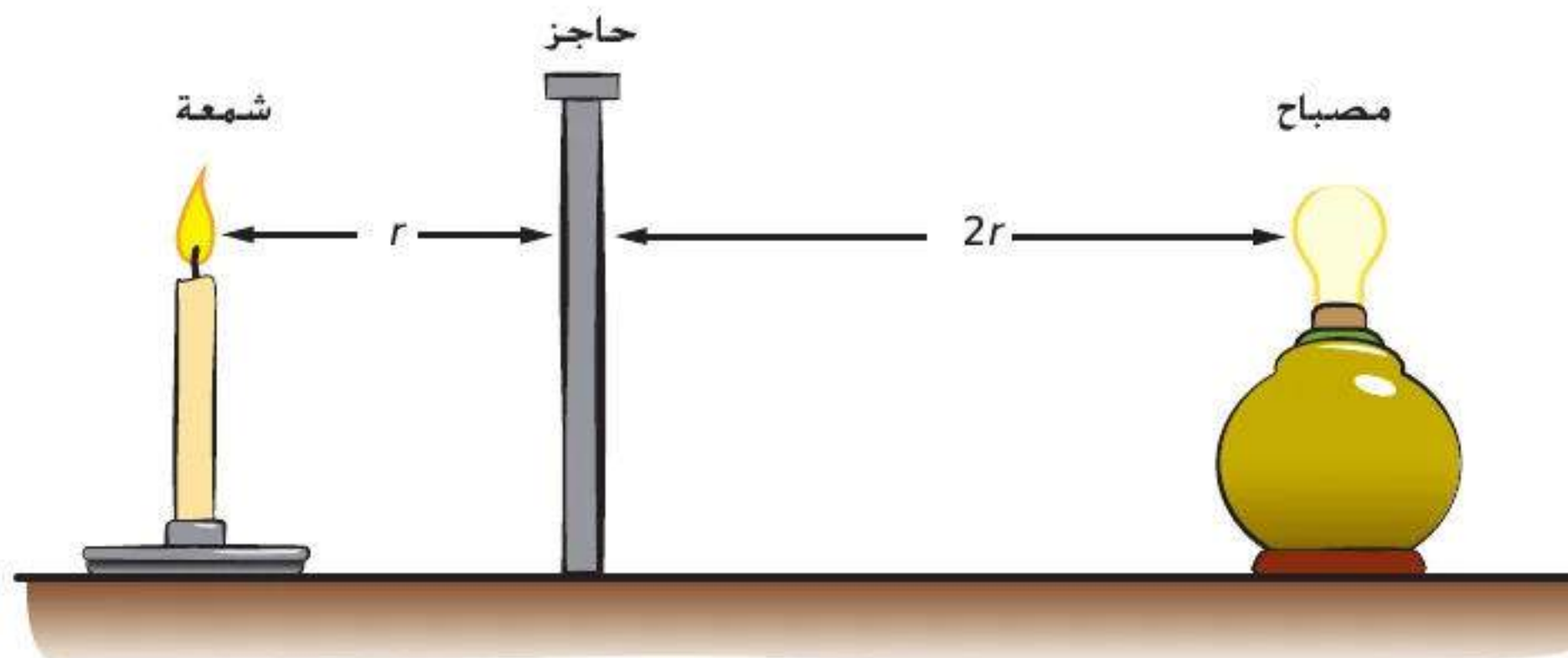
الرياضيات	الفيزياء
$y = \frac{x}{az^2}$	$E = \frac{P}{4\pi r^2}$
إذا كانت Z ثابتة، فإن y تتناسب طرديًا مع x . • عندما تزداد x ، تزداد y . • عندما تقل x ، تقل y .	إذا كانت r ثابتة، فإن E تتناسب طرديًا مع P . • عندما تزداد P ، تزداد E . • عندما تقل P ، تقل E .
إذا كانت x ثابتة، فإن y تتناسب عكسيًا مع z^2 . • عندما تزداد z^2 ، تقل y . • عندما تقل z^2 ، تزداد y .	إذا كانت P ثابتة، فإن E تتناسب عكسيًا مع r^2 . • عندما تزداد r^2 ، تقل E . • عندما تقل r^2 ، تزداد E .

شدة الإضاءة تُحدّد بعض المصادر المضيئة بوحدة الشمعة (cd). والشمعة ليست مقياسًا للتدفق الضوئي، بل هي مقياس لشدة الإضاءة. وشدة الإضاءة لمصدر نقطي تساوي التدفق الضوئي الساقط على 1 m^2 من السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1 m . لذلك فإن شدة الإضاءة تساوي التدفق الضوئي مقسومًا على 4π . فشمعة المصباح الضوئي الذي تدفقه 1750 lm تساوي $1750 \text{ lm} / 4\pi = 139 \text{ cd}$.
في الشكل 7، بُعد المصباح من الحاجز يساوي مثلي بُعد الشمعة منه. لكي تكون استضاءة سطح الحاجز المواجه للمصباح مساوية لاستضاءة سطح الحاجز المواجه للشمعة، يجب أن تكون إضاءة المصباح أقوى من إضاءة الشمعة أربع مرات. بالتالي يجب أن تكون شدة الإضاءة للمصباح أربعة أضعاف شدة الإضاءة للشمعة. أما إذا كان للمصدرين الموجودين في الشكل 7 شدة الإضاءة نفسها، فستكون استضاءة سطح الحاجز المواجه للمصباح الذي يبعد من الحاجز مسافة $2r$ ربع استضاءة سطح الحاجز المواجه للشمعة؛ وهذا يتفق مع علاقة التربيع العكسي التي ذكرناها سابقًا.

✓ **تأكد من فهمك** وضح ما المقصود بشدة الإضاءة، وما علاقتها بالاستضاءة؟

مختبر الفيزياء

شدة الضوء والمسافة
ما العلاقة بين شدة الضوء والمسافة؟



الشكل 7 لكي تكون استضاءة سطح الحاجز المواجه للمصباح مساوية لاستضاءة سطح الحاجز المواجه للشمعة، يجب أن تكون شدة الإضاءة للمصباح أربعة أضعاف شدة الإضاءة للشمعة.

الفيزياء في حياتك

العقول المستنيرة عند اتخاذ القرارات حول طريقة تحقيق الاستضاءة الصحيحة على سطوح المكاتب ينبغي أن يأخذ التدفق الضوئي لمصادر الضوء وبعدها عن أسطح المكاتب. إضافة إلى ذلك، تُعدّ كفاءة المصادر الضوئية عاملاً اقتصادياً مهماً.

إضاءة الأسطح

تخيل مرة أخرى ضوء المصباح المصوب ناحيتك في غرفة مظلمة. إذا كانت شدة الإضاءة للمصباح صغيرة، فيعني هذا أنّ إضاءة المصباح ستكون ضعيفة. ولكي تحصل على إضاءة قوية، يمكنك أن تستخدم مصباحاً ذا إضاءة أقوى، أي زيادة التدفق الضوئي، أو يمكنك أن تقترب من المصباح بحيث تكون عينك أقرب إلى الضوء، مما يعني تقليل المسافة بين مصدر الضوء وعينك. ولتبسيط المسألة يمكنك اعتبار المصدر الضوئي مصدرًا ضوئيًا نقطيًا. ولذا فإن الاستضاءة والمسافة ستتبعان علاقة التربيع العكسي. وبعد هذا التبسيط يمكنك التعبير عن الاستضاءة الناتجة من مصدر ضوء نقطي بالمعادلة التالية:

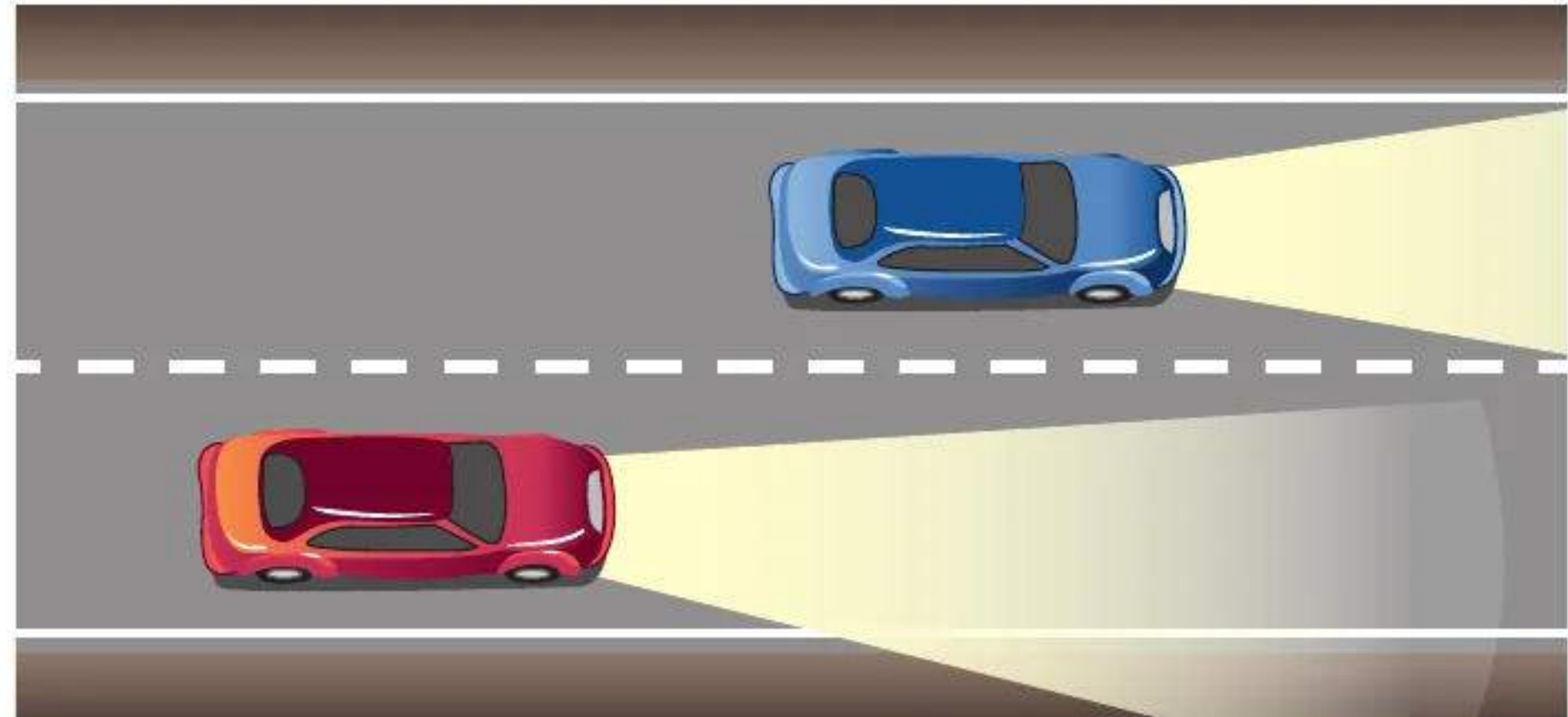
الاستضاءة بفعل مصدر نقطي

إذا أُضيء جسم بفعل مصدر ضوئي نقطي، فإنّ الاستضاءة على الجسم تساوي ناتج قسمة التدفق الضوئي للمصدر الضوئي على المساحة السطحية لكرة نصف قطرها يساوي بُعد الجسم من مصدر الضوء.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

تذكر أنّ التدفق الضوئي للمصدر الضوئي يتوزع في كل الاتجاهات، لذا فإن جزءاً بسيطاً منه يكون متاحاً لإضاءة الجسم. وبالتالي يكون استخدام هذه المعادلة صحيحاً فقط إذا كان الضوء المنبعث من المصدر الضوئي يسقط عمودياً على السطح الذي يضيئه. كما أنّ استخدام المعادلة يكون صحيحاً فقط للمصادر المضيئة التي تكون صغيرة أو بعيدة بصورة كافية حتى يمكن اعتبارها مصادر نقطية. لذلك، فإنّ المعادلة لا تعطي قيماً دقيقة للاستضاءة الناتجة بفعل المصابيح الفلوريسنتية الطويلة أو المصابيح القريبة من الأسطح التي تضيئها.

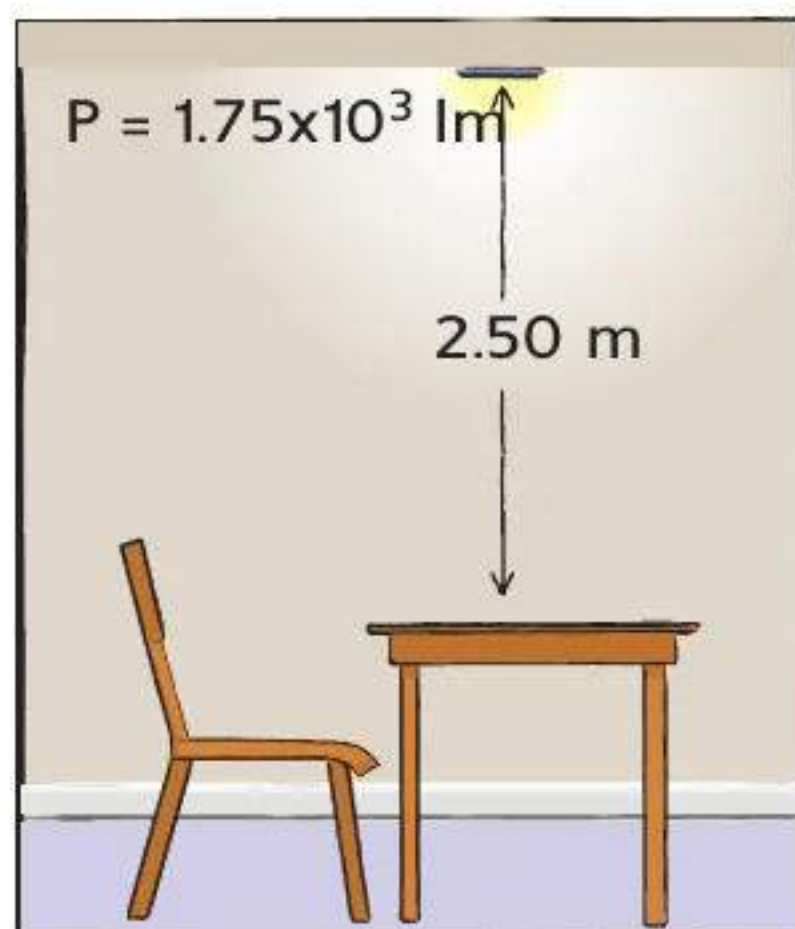
ينبغي أن يفهم المهندسون الذين يصممون أنظمة الإنارة الطريقة التي سيستخدم بها الضوء. إذا كان المطلوب هو توزيع الإضاءة بالتساوي على منطقة لتجنب وجود مناطق مظلمة فيها، فإنّ التصميم المناسب هو توزيع مصادر الضوء على المساحة المطلوب إنارتها بحيث تكون المسافات بينه متساوية، كما في إنارة غرف الصف. وبسبب عدم قدرة مصادر الإضاءة هذه على توزيع الإضاءة بالتساوي، يصمم المهندسون أيضاً مصادر إضاءة خاصة تتحكّم في توزيع الضوء. كأنظمة الإنارة الموزعة بانتظام على مساحات كبيرة. وقد بُذلت جهود كبيرة في هذا المجال، وخصوصاً للمصابيح الأمامية للسيارات، انظر الشكل 8.



الشكل 8 قد توجد مناطق مظلمة في الطريق أمام السيارة إذا لم يتم ضبط المصابيح الأمامية للسيارة على الزوايا المناسبة لإضاءة الطريق إضاءة كافية.

مثال 1

إضاءة سطح ما الاستضاءة الواقعة على سطح مكتب إذا أضيء بمصباح تدفقه الضوئي 1750 lm ويبعد 2.50 m عنه. بحيث تسقط أشعة الضوء عمودية على سطح المكتب؟



1 تحليل المسألة

- افترض أن المصباح هو المصدر النقطي.
- ارسم موقع كل من المصباح والمكتب. عيّن P و r .

المجهول	المعلوم
$E = ?$	$P = 1.75 \times 10^3 \text{ lm}$
	$r = 2.50 \text{ m}$

2 حساب المجهول

بما أن السطح عمودي على اتجاه الشعاع الضوئي، يمكن استخدام معادلة الاستضاءة بفعل المصدر النقطي.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$\begin{aligned} \text{عوض } P = 1.75 \times 10^3 \text{ lm}, r = 2.50 \text{ m} &= \frac{1.75 \times 10^3 \text{ lm}}{4\pi (2.50 \text{ m})^2} \\ &= 22.3 \text{ lm/m}^2 \\ &= 22.3 \text{ lx} \end{aligned}$$

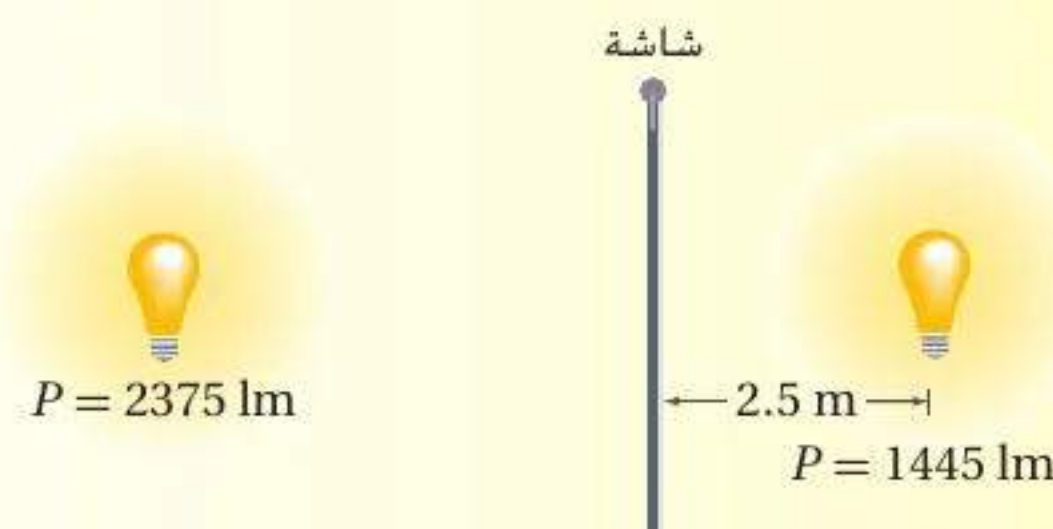
3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ تتفق وحدات الاستضاءة $\text{lm/m}^2 = \text{lx}$ مع الإجابة.
- هل للإشارات مدلول؟ المقادير كلها موجبة، كما يجب أن تكون.
- هل الجواب منطقي؟ إن الاستضاءة من مصباح تدفقه الضوئي 1800 lm على بعد 2 m تساوي 20 lx تقريبًا.

تطبيقات

5. كم تبلغ الاستضاءة على سطح يبعد 3.0 m أسفل مصباح متوهج قدرته 150 W وتدفعه الضوئي 2275 lm؟
6. يتطلب أحد قوانين المؤسسات الحكومية أن تكون الاستضاءة الصغرى 160 lx على سطح كل مكتب. وتقتضي المواصفات التي يوصي بها أن تكون المصابيح على بُعد 2.0 m فوق المقاعد. ما مقدار أقل تدفق ضوئي يجب أن تولده المصابيح؟
7. **تحفيز** تخطط المكتبة العامة المحلية في منطقتك لتجديد مختبر الحاسوب. وقد اشترى المقاولون مصابيح فلوريسنتية معدل تدفقها الضوئي 1750 lm. وكانت الإضاءة المطلوبة على أسطح لوحات المفاتيح 175 lx. افترض أن لكل حاسوب مصباحًا يضيئه. ما ارتفاع المصابيح المطلوب فوق أسطح لوحات المفاتيح لتوفير الإضاءة المطلوبة؟ وإذا كان المقاولون قد اشترى مسبقًا وحدات لتثبيت المصابيح بحيث يكون ارتفاع هذه المصابيح 1.5 m فوق لوحات المفاتيح، فهل ستتحقق الاستضاءة المطلوبة؟ إذا كانت الإجابة لا، فهل ستكون الاستضاءة أكبر أم أقل من الاستضاءة المطلوبة؟ وما التغيير المطلوب في التدفق الضوئي للمصابيح لتوفير الاستضاءة المطلوبة؟

1. إذا سُلط مصباح بشكل عمودي فوق كتاب من ارتفاع 30 cm، ثم رفع المصباح إلى ارتفاع 90 cm. قارن بين استضاءة الكتاب قبل الحركة وبعدها.
2. ارسم منحني بيانيًا يمثل الاستضاءة الناتجة عن مصباح تدفقه الضوئي 2275 lm بين 0.50 m و 5.0 m.
3. مصدر ضوئي نقطي شدة إضاءته 64 cd يقع على ارتفاع 3.0 m فوق لوحة. ما مقدار إضاءة اللوحة بوحدة اللوكس؟
4. وضعت شاشة بين مصباحين يضيئانه بالتساوي، كما هو موضح في الشكل 9. إذا كان التدفق الضوئي للمصباح الأول 1445 lm ويبعد مسافة 2.5 m من الحاجز. كم يبلغ بُعد المصباح الثاني من الحاجز إذا كان تدفقه الضوئي 2375 lm؟



الشكل 9

سرعة الضوء

لأكثر من 2400 عام، كانت هناك فرضيات تجزم بأنّ الضوء ينتقل بسرعة غير محددة. وبحلول القرن السابع عشر، أجرى العديد من العلماء التجارب التي أيدت الرأي الذي يميل إلى أنّ الضوء ينتقل بسرعة محددة، وأنّ هذه السرعة أكبر بكثير من سرعة الصوت.

في الواقع، لم يكن قياس سرعة الضوء عملاً سهلاً في القرن السابع عشر. فكما تعرف من دراستك للحركة، أنه إذا أمكن قياس الزمن الذي يستغرقه الضوء ليقطع مسافة معيّنة، فإنه يمكن حساب سرعة الضوء. لكن الزمن الذي يستغرقه الضوء للانتقال بين الأجسام الموجودة على سطح الأرض أقصر بكثير من الزمن الذي يستغرقه رد فعل الإنسان. فكيف تمكن أحد علماء القرن السابع عشر من حل هذه المسألة؟

دلالات من القمر آيو كان الفلكي الدانماركي "أولي رومر" أول من قاس الزمن الذي يستغرقه الضوء للانتقال بين نقطتين بنجاح. وبين عامي 1668 و 1674، أجرى رومر 70 قياساً حول الزمن الدوري للقمر آيو، أحد أقمار كوكب المشتري، والذي يساوي 1.8 يوماً. فرصد الأزمنة عندما كان القمر آيو يخرج من منطقة ظل كوكب المشتري، كما هو موضح في الشكل 10. وقد أجرى قياساته بوصفها جزءاً من مشروع يهدف إلى تحسين الخرائط من خلال احتساب خطوط الطول للمواقع على سطح الأرض. وكان هذا مثلاً مبكراً لأهمية التكنولوجيا في دفع عجلة التقدم العلمي.

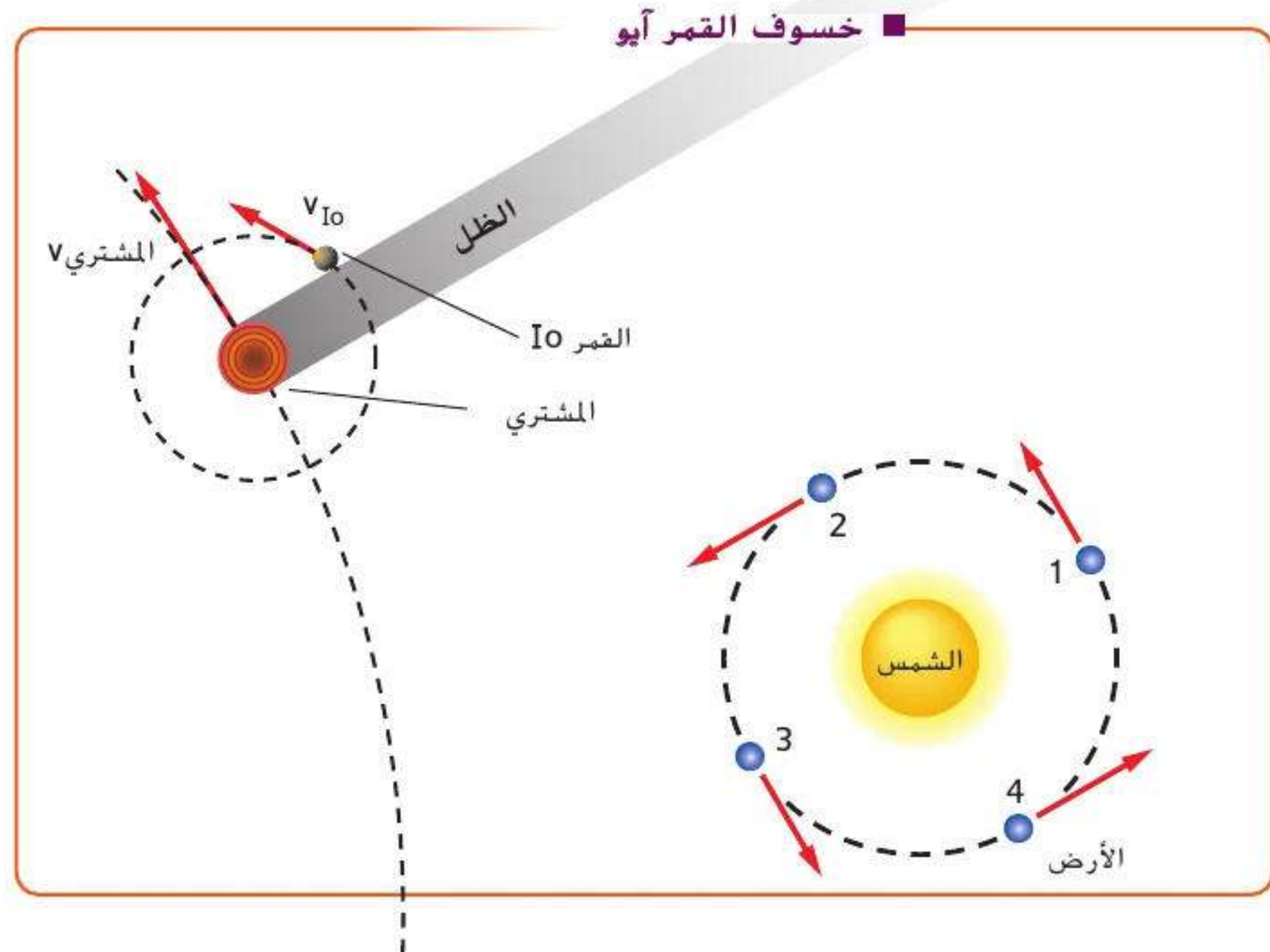
بعد إجراء قياسات كثيرة، استطاع رومر أن يتوقع وقت حدوث الخسوف المقبل للقمر آيو، وقارن توقعاته بالأزمنة التي تم قياسها فعلياً. وتوصل إلى أن زمن دوران القمر آيو يزداد بمتوسط 13 s لكل دورة تقريباً عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن المشتري. ويقل بمتوسط 13 s لكل دورة تقريباً عندما تتحرك الأرض مقترية من المشتري. اعتقد رومر أنّ أقمار كوكب المشتري منتظمة الحركة في مداراتها كقمر الأرض تماماً، لذا أخذ يبحث عن السبب الذي يؤدي إلى هذا التباين في قياسات الزمن الدوري للقمر آيو. ووجد أن هنالك متغيراً آخر ضمن النظام، وهو حركة الأرض وموقعها بالنسبة إلى المشتري.

✓ **تأكد من فهمك** اشرح لماذا كان يُجري رومر عمليات حسابية للزمن الدوري للقمر آيو.

تجربة مصفرة

سرعة الضوء

كيف يمكن قياس سرعة الضوء؟



الشكل 10 عندما تتحرك الأرض مقترية من المشتري، يستغرق الضوء المنعكس عن سطح القمر آيو للوصول إلى الأرض زمناً أقل مما يستغرقه عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن المشتري. (الرسم التوضيحي ليس مقياساً).



الشكل 11 آيو، أحد أقمار كوكب المشتري، وهو الجرم السماوي الذي يحمل أكبر نشاط بركاني في النظام الشمسي، فالبقع السوداء الموجودة على سطحه براكين نشطة.

قياس سرعة الضوء استنتج رومر أنه عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن المشتري، يستغرق الضوء القادم عند كل ظهور للقمر آيو وقتًا أطول حتى يصل إلى الأرض لأنه يقطع مسافة أطول، وأنه عندما تتحرك الأرض مقتربة من المشتري يبدو الزمن الدوري للقمر آيو متناقصًا. وخلال 182.5 يومًا، وهو الزمن الذي يستغرقه انتقال الأرض من الموقع 1 إلى الموقع 3، كما هو موضح في الشكل 10، حدث 100 خسوف للقمر آيو (بمعدل خسوف واحد كل 1.8 يوم).

لذلك، فقد أجرى رومر حسابات متعلقة بانتقال الضوء مسافة تعادل قطر مدار الأرض، فوجد أن الخسوف الواحد يتأخر بمقدار 13 ثانية. وبذلك فإن المئة خسوف تحتاج إلى 1.3×10^3 s أو 22 min. ونظرًا إلى أن المسافات في الفضاء شاسعة جدًا، كان قياس رومر للفروق في الأزمنة التي يستغرقها الضوء للانتقال أسهل بكثير من القياسات الحديثة التي أجراها علماء آخرون لسرعة الضوء. وأحيانًا يبعد القمر آيو الموضح في الشكل 11 عن الأرض بما يعادل 9.3×10^{11} m.

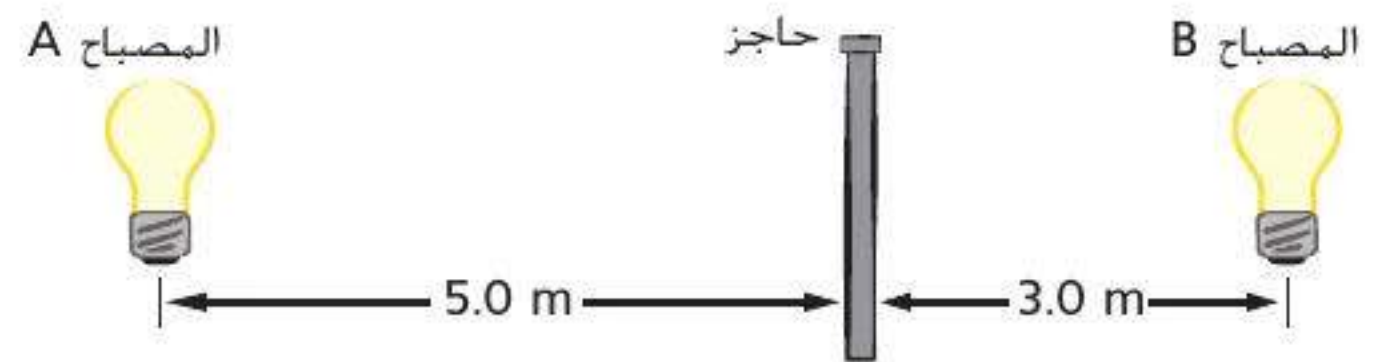
باستخدام القيمة المعروفة حاليًا لقطر مدار الأرض (2.93×10^{11} m) فإن قيمة رومر 22 min تعطي سرعة الضوء التالية $2.9 \times 10^{11} \text{ m} / ((22 \text{ min})(60 \text{ s/min})) = 2.2 \times 10^8 \text{ m/s}$. وتُعرف سرعة الضوء في الوقت الحاضر بأنها تساوي $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ تقريبًا، لذا يحتاج الضوء إلى 16.5 min، وليس إلى 22 min، لعبور مدار الأرض. وبغض النظر عن هذه القيمة، فقد نجح رومر في إثبات انتقال الضوء بسرعة محددة.

قياسات ميكلسون على الرغم من إجراء العديد من القياسات لسرعة الضوء، إلا أن أبرزها تلك التي أجراها الفيزيائي الأمريكي ألبرت أبراهام ميكلسون. ففي الفترة بين عام 1880 وعشرينيات القرن العشرين، طوّر ميكلسون تقنيات حديثة لقياس سرعة الضوء. وفي العام 1926، قاس ميكلسون الزمن الذي يستغرقه الضوء للانتقال ذهابًا وإيابًا بين جبلين يبعدان أحدهما عن الآخر مسافة 35 km. حيث استخدم ميكلسون مجموعة من المرايا الدوّارة لقياس مثل هذه الفترات الزمنية القصيرة، وكانت أفضل نتيجة توصل إليها ميكلسون $2.99796 \pm 0.00004 \times 10^8 \text{ m/s}$. ولهذا الإنجاز، كان ميكلسون أول عالم أمريكي يحصل على جائزة نوبل في العلوم.

إنّ قيمة سرعة الضوء في الفراغ قيمة عالمية ومهمة جدًا، لذا فإن لها رمزًا خاصًا بها وهو c. وقد قامت اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس بقياس سرعة الضوء فكانت $c = 299,792,458 \text{ m/s}$. وبالنسبة إلى الكثير من العمليات الحسابية، تكون القيمة $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ دقيقة بشكل كافٍ. وبهذه السرعة، ينتقل الضوء مسافة $9.46 \times 10^{12} \text{ km}$ في السنة. إذ تُسمى هذه المسافة السنة الضوئية.

القسم 1 مراجعة

8. **الفكرة الرئيسية** ما الدليل الذي لاحظته على سير الضوء في خط مستقيم؟
9. **استخدام خصائص الضوء المادية** لماذا قد تختار ستارة شبه شفافة لنافذة غرفتك؟ ولماذا قد تختار ستارة معتمة؟
10. **الاستضاءة** هل يولّد مصباح واحد إضاءة أكبر من مصباحين متماثلين يقعان على ضعف بُعد مسافة المصباح الأول؟ وضح إجابتك.
11. **شدة الإضاءة** يضيء مصباحان حاجزًا بالتساوي ويبعدان عنه المسافة الموضحة في الشكل 12. إذا كانت شدة إضاءة المصباح A تبلغ 75 cd، فكم تبلغ شدة إضاءة المصباح B؟
12. **بُعد المصدر الضوئي** افترض أنّ مصباحًا كهربائيًا يضيء سطح مكتبك وإضاءته نصف الاستضاءة المطلوبة، فإذا كان المصباح يبعد حاليًا 1 m فكم ينبغي أن يكون بعده ليعطي الاستضاءة المطلوبة؟
13. **المسافة التي يقطعها الضوء** ما المسافة التي يقطعها الضوء في الزمن الذي يستغرقه الصوت للانتقال مسافة 1 cm في الهواء عند درجة حرارة 20°C ؟
14. **المسافة التي يقطعها الضوء** يمكن إيجاد بُعد القمر باستخدام مرايا يحملها رواد الفضاء على سطح القمر. إذا تم إرسال نبضة ضوء إلى القمر وعادت إلى الأرض خلال 2.562 s، فاحسب المسافة بين الأرض وسطح القمر مستخدمًا القيمة المحددة لسرعة الضوء.
15. **التفكير الناقد** إذا كان الزمن الصحيح الذي يستغرقه الضوء لعبور مدار الأرض يساوي 16.5 min، وكان قطر مدار الأرض $2.98 \times 10^{11} \text{ m}$ ، فاحسب سرعة الضوء بطريقة رومر. هل تبدو هذه الطريقة دقيقة؟ لماذا أو لِمَ لا؟



الشكل 12

الطبيعة الموجية للضوء

القسم 2

الفيزياء في حياتك
ألق نظرة على ظلك، وستلاحظ أنّ حواف الظل ليست واضحة المعالم. ويرجع السبب في ذلك إلى أنّ الضوء عبارة عن موجة تلتف حول الأجسام.

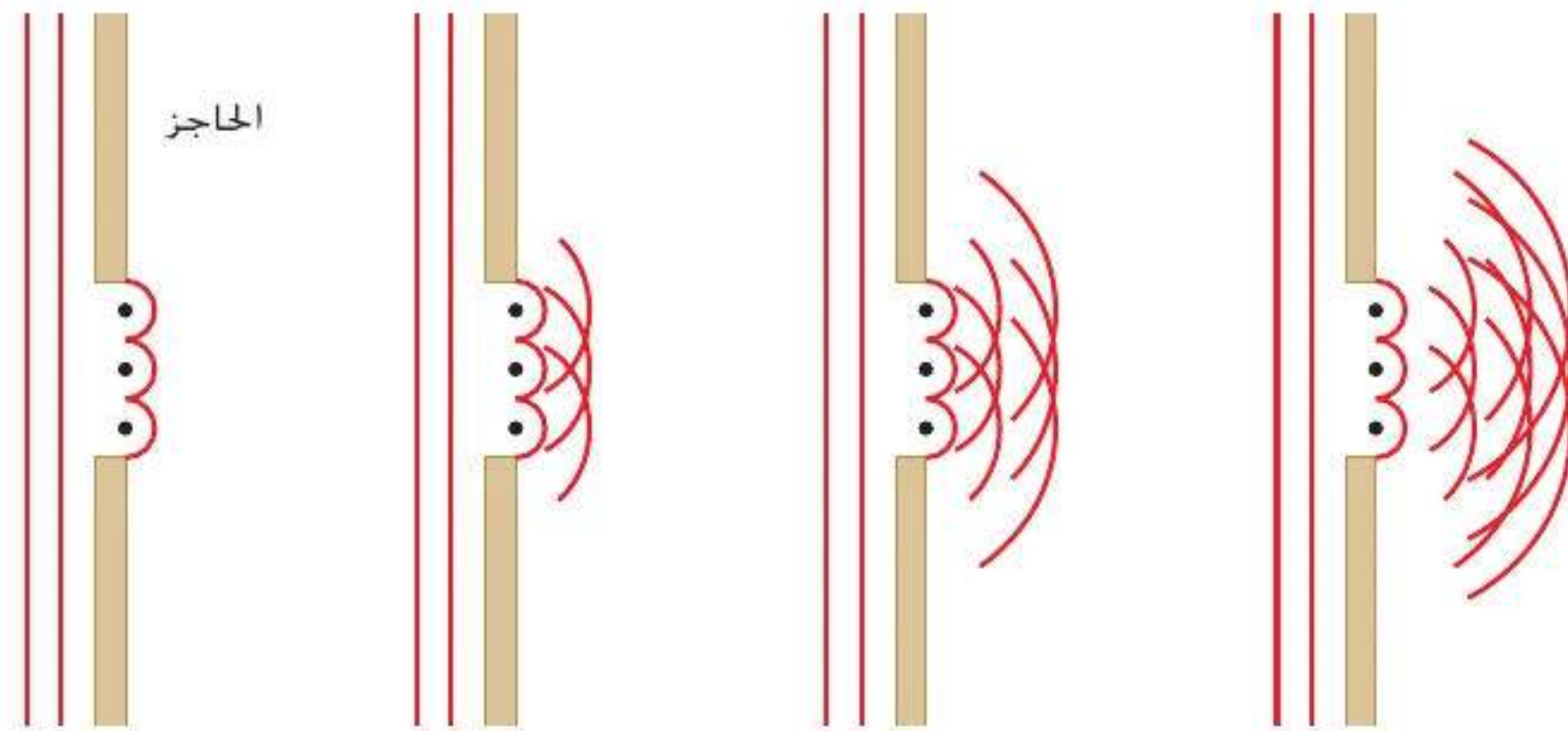
الحيود ونموذج الموجة

عندما تكون بالقرب من غرفة الموسيقى فإنك تسمع أصوات الآلات الموسيقية، وذلك لأن موجات الصوت تنحني، ولكنك لا ترى الموسيقيين، لأن الضوء المنعكس عنهم لا يصل إلى عينيك. ألا تنحني موجات الضوء على الإطلاق أم هي لا تنحني بقدر موجات الصوت؟

في العام 1665، لاحظ العالم الإيطالي فرانشيسكو ماريا جريمالدي أنّ حواف الظلال ليست واضحة تمامًا. وقام بتمرير شعاع ضيق من الضوء في غرفة مظلمة، وأمسك بساق أمام الضوء بحيث يلقي بظلاله على سطح أبيض. فلاحظ أنّ ظل الساق الذي تكوّن أعرض من الظل المتوقع تكوّنه في حال استمرار سير الشعاع الضوئي بخط مستقيم، وكما لاحظ جريمالدي أنّ الظل تحده حزم ملونة. وقد فسّر ذلك بأن الضوء ينحني قليلاً عند حافات الأشياء، وأطلق على هذا الانحناء **الحيود**.

مبدأ هيجنز حاول العالم الدنماركي كريستيان هيجنز في العام 1678 إثبات النموذج الموجي للضوء، وذلك لكي يفسر ظاهرة الحيود. واعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار النقاط التي على مقدمة الموجة الضوئية أنها مصادر لموجات صغيرة، وتنتشر هذه الموجة الصغيرة (المويجات) في جميع الاتجاهات بعضها خلف بعض، وتتكون مقدمة الموجة المستوية من عدد غير محدود من المصادر النقطية في خط واحد، وعندما تعبر مقدمة الموجة حافة ما فإنها تتجاوزها، حيث تنتشر كل موجة كروية تولدت بواسطة أي نقطة من نقاط هيجنز على شكل موجة كروية في الحيز الذي انحنت عنده مقدمة الموجة الأصلية كما هو موضح في الشكل 13. وهذه الظاهرة تسمى الحيود وهي ظاهرة موجية.

■ مبدأ هيجنز



الشكل 13 ينشئ كل مصدر نقطي موجة ثانوية كروية، وتتركب المويجات لتكوين مقدمة موجة مستوية، ما عدا عند حواف الفتحة في الحاجز، حيث تتحرك المويجات الكروية لنقاط هيجنز عندها بعيدًا من مقدمة الموجة.

الفكرة الرئيسية

تشبه موجات الضوء بقية الموجات، فالضوء يحيد عن الأجسام وله طول موجي وتردد، وتنزاح موجات الضوء كما في الموجات الأخرى، مثلما يحدث في ظاهرة دوبلر..

الأسئلة الرئيسية

- كيف يبين الحيود أنّ الضوء عبارة عن موجات؟
- ما تأثيرات خلط ألوان الضوء ومزج الأصباغ؟
- كيف تحدث ظاهرتا الاستقطاب وتأثير دوبلر؟

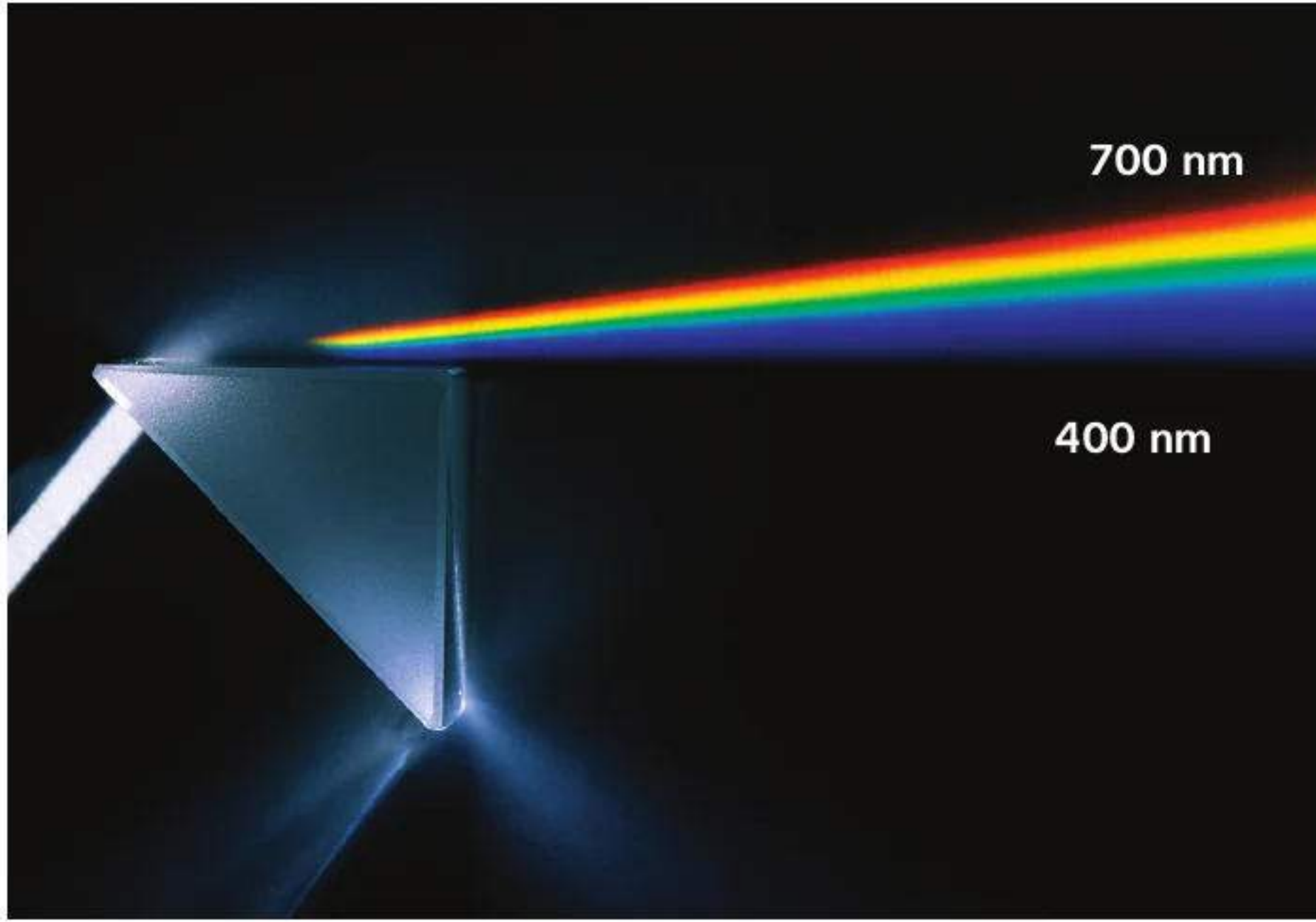
مراجعة المفردات

طول الموجة أقصر مسافة بين نقاط الموجة التي يعيد نمط الموجة نفسه فيها، كالمسافة بين قمة وقمة أو قاع وقاع

مفردات جديدة

diffraction	حيود
primary color	لون أساسي
secondary color	لون ثانوي
complementary color	لون متمم
primary pigment	صبغة أساسية
secondary pigment	صبغة ثانوية
polarization	استقطاب
malus's law	قانون مالوس

الشكل 14 عندما يسقط الضوء الأبيض على منشور، فإنه يتحلل إلى ألوان الطيف، ولكل لون طول موجي معين.



مختبر الفيزياء

طيف كامل من الاحتمالات

المختبر الجنائي كيف يمكن أن يساعد طيف من زجاج مكسور في مسرح الحادث في تحديد مركبة المشتبه فيه؟

اللون

أجرى العالم نيوتن في العام 1666 تجارب على الألوان وذلك بتمرير شعاع ضيق من الضوء من خلال منشور زجاجي. كما يظهر في **الشكل 14**. فلاحظ تكوّن ترتيب منتظم للألوان أطلق عليه اسم الطيف. كما ظهر أن جسيمات الضوء تتفاعل بصورة متفاوتة في الزجاج لتكوّن الطيف، وذلك اعتمادًا على النموذج الجسيمي للضوء الذي رفض لاحقًا. ولاختبار هذا الفرض سمح نيوتن بإسقاط الطيف النافذ من المنشور الأول على منشور ثانٍ، فإذا تكوّن طيف نتيجة تفاوت تفاعل الزجاج مع جسيمات الضوء، فإن المنشور الثاني سيزيد من انتشار الألوان، وبدلاً من ذلك فقد عكس المنشور الثاني الألوان وأعاد تراكبها لتكوين اللون الأبيض. واستنتج العالم نيوتن أن اللون الأبيض مكوّن من عدة ألوان، وأنه توجد خاصية أخرى للضوء غير عدم انتظامه، وهي التي تسبب تحليل الضوء إلى مجموعة من الألوان.

أطوال مختلفة للموجة هل يستطيع النموذج الموجي للضوء تفسير ملاحظات العالم نيوتن؟ لكي يكون الضوء موجيًا يجب أن يكون له طول موجي وتردد. واعتمادًا على تجارب جريمالدي وهيجنز ونيوتن وغيرهم فإن للضوء خصائص موجية، ويقع الضوء المرئي ضمن نطاق من الأطوال الموجية يتراوح من 400 nm (4.00×10^{-7} m) إلى 700 nm (7.00×10^{-7} m). كما في **الشكل 14**. وأطول هذه الأطوال الموجية هي موجة الضوء الأحمر وأقصرها طول موجة الضوء البنفسجي.

بينما يعبر الضوء الأبيض الحد الفاصل من الهواء إلى الزجاج ويعود مرة أخرى إلى الزجاج، كما يبين **الشكل 14**، فإن الطبيعة الموجية للضوء تتسبب بانحراف كل لون من الألوان أو انكساره، بزاوية مختلفة. ونتيجة الانحراف غير المتساوي للألوان المختلفة يتحلل اللون الأبيض ويتكوّن طيف.

اللون عن طريق إضافة الضوء يمكن للضوء الأبيض أن يتشكل من الضوء الملون بطرق متنوعة. على سبيل المثال، عندما يسقط الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بشدة مناسبة على شاشة بيضاء، كما في **الشكل 15**، تظهر المنطقة التي تتراكب فيها هذه الألوان باللون الأبيض. وعندما تتراكب هذه الألوان الثلاثة تشكل اللون الأبيض، وتسمى عملية جمع الألوان. وتستعمل هذه الألوان في عمل شاشة التلفاز.

الشكل 15 ألوان الضوء الأخضر والأزرق والأحمر يمكن أن تتراكب وتكوّن اللون الأصفر أو الأرجواني أو الأزرق الفاتح. وتظهر المنطقة التي تتراكب فيها هذه الألوان باللون الأبيض.



لكل لون من الألوان الثلاثة شدة مناسبة وعندما تتراكب معًا تظهر الشاشة باللون الأبيض؛ لذا يطلق عليها **الألوان الأساسية** للضوء. وينتج من مزج الألوان الأساسية في صورة أزواج ثلاثة ألوان إضافية. كما يظهر في الشكل 15. ينتج من مزج الضوء الأحمر والأخضر اللون الأصفر. إذ ينتج من مزج الضوء الأزرق والأخضر اللون الأزرق السماوي. وينتج من مزج الضوء الأحمر والأزرق اللون الأرجواني. يطلق على اللون الأصفر والأزرق السماوي والأرجواني اسم الألوان الثانوية. إن **اللون الثانوي** هو مزيج من لونين أساسيين. لاحظ أن هذه الألوان مختلفة قليلًا عن الألوان الأساسية والثانوية التي ربما تكون قد تعلمتها في السابق. وسيتم شرح أسباب هذا في ما بعد.

وبتضح من الشكل 15 أن الضوء الأصفر يتشكل من الضوء الأحمر والأخضر. وإذا سلط اللونان الأصفر والأزرق على شاشة بيضاء بشدة مناسبة. فستظهر باللون الأبيض. ويسمى اللونان الضوئيان اللذان يختلطان معًا لتشكيل اللون الأبيض، **الألوان المتكاملة (المتكاملة)**. وبذلك يكون اللون الأصفر متممًا للون الأزرق والعكس صحيح. لأنهما يشكلان الضوء الأبيض عندما يمتزجان. كما أن اللون الأزرق الفاتح واللون الأحمر لوان متتامان. واللون الأرجواني والأخضر أيضًا لوان متتامان. لذا يمكن تبييض الملابس باستعمال صبغة زرقاء تُضاف إلى مسحوق الغسيل.

اللون عن طريق اختزال أشعة الضوء كما تعلمت في القسم الأول من هذه الوحدة. يمكن للأجسام أن تعكس الضوء أو تمرره أو تمتصه. ولا يعتمد لون الجسم فقط على الطول الموجي للضوء الذي يضيء الجسم. بل يعتمد أيضًا على الأطوال الموجية التي يمتصها الجسم وعلى الأطوال الموجية التي يعكسها. إن وجود المواد الملونة بصورة طبيعية أو إضافتها صناعيًا للمادة المكونة للجسم أو إضافة أصباغ إليه يكسبه لونًا مميزًا.

المواد الملونة لعلك تعلم أنه تستعمل على نطاق واسع في تلوين الملابس. فهي تستخلص من النباتات أو الحشرات. فعلى سبيل المثال المادة الملونة الأرجوانية تستخلص من توت شجرة التوت الأسود. ويعتبر الزعفران مصدرًا للمادة الملونة الصفراء. وتستخلص المادة الملونة الحمراء من حشرة تدعى الدودة القرمزية. إن المادة الملونة تتكون من جزيئات لها القدرة على امتصاص أطوال موجية معينة للضوء. وتسمح لأطوال موجية أخرى بالنفاذ من خلالها أو تعكسها. وعندما يمتص الضوء فإن طاقته تنتقل إلى الجسم الذي سقط عليه وتتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة. فالقميص الأحمر لونه أحمر لأن المواد الملونة فيه تعكس اللون الأحمر إلى أعيننا. وعندما يسقط اللون الأبيض على الجسم الأحمر. اللون المبيّن في الشكل 16، فإن جزيئات المادة الملونة تمتص اللون الأزرق والأخضر وتعكس اللون الأحمر. أما عندما يسقط الضوء الأزرق فقط على جسم لون أحمر فإن مقدارًا بسيطًا من الضوء ينعكس ويظهر الجسم غالبًا باللون الأسود.

الأصباغ يكمن الفرق ما بين المادة الملونة والصبغة. أن الأصباغ عادةً تُصنع من المعادن المطحونة وليست مستخلصة من النباتات أو الحشرات. فالصبغة الحمراء تُصنع من الهيماتيت. ويمكن الحصول على الصبغة الزرقاء من الأزوريت. يمكن رؤية جسيمات الصبغة في المجهر. وتسمى الصبغة التي لها القدرة على امتصاص لون أساسي واحد وتقوم بعكس اللونين الآخرين من اللون الأبيض **الصبغ الأساسية**. فالصبغة الصفراء تمتص الضوء الأزرق وتعكس الضوء الأحمر والأخضر. وتعتبر الألوان الأصفر والأزرق الفاتح والأرجواني ألوانًا أساسية للأصباغ.

✓ **تأكد من فهمك** مَيِّز الفرق بين اللون عن طريق اختزال الضوء واللون عن طريق إضافة الضوء.

الشكل 16 تتحدد ألوان الأجسام التي نراها على حسب ما يمتص من أطوال الموجة الضوئية وما ينعكس منها.

اشرح لماذا يظهر الجسم الأصفر في الضوء الأبيض باللون الأحمر في الضوء الأحمر.



الضوء الأبيض يضيء أحجار النرد هذه.



الضوء الأزرق يضيء أحجار النرد هذه.



الضوء الأحمر يضيء أحجار النرد هذه.

الشكل 17 الألوان الأساسية للأصباغ هي: الأرجواني والأزرق الفاتح والأصفر. وينتج من مزج هذه الأصباغ في صورة أزواج الألوان الثانوية للأصباغ، وهي: الأحمر والأخضر والأزرق.



تجارب مصفرة

اللون عن طريق درجة الحرارة
ما العلاقة بين الألوان ودرجة الحرارة؟

استقطاب الضوء المنعكس
كيف يمكن ملاحظة الضوء المستقطب (المنعكس)؟

إن الصبغة التي تمتص لونين أساسيين وتعكس لوناً واحداً تسمى **الصبغة الثانوية**. وألوان الصبغات الثانوية هي الأحمر (الذي يمتص الضوء الأخضر والأزرق)، والأخضر (الذي يمتص الضوء الأحمر والأزرق)، والأزرق (الذي يمتص الضوء الأحمر والأخضر). لاحظ أن الألوان الأساسية للأصباغ هي الألوان الثانوية للضوء والعكس صحيح.

الألوان الأساسية والثانوية للأصباغ تظهر في **الشكل 17**. فعند خلط صبغة صفراء مع صبغة زرقاء فاتحة، فإن اللون الأصفر يمتص الضوء الأزرق، ويمتص اللون الأزرق الفاتح اللون الأحمر. ويوضح **الشكل 17** مزج اللونين الأصفر والأزرق الفاتح لتشكيل الصبغة الخضراء. وعند مزج الصبغة الصفراء مع الصبغة الثانوية الزرقاء التي تمتص الضوء الأخضر والأحمر فإن الألوان الأساسية كلها تمتص، وينتج اللون الأسود. لذا فإن الصبغة الصفراء والصبغة الزرقاء صبغتان متتامتان، والصبغتان الحمراء والزرقاء الفاتحة صبغتان متتامتان، وكذلك الصبغتان الأرجوانية والخضراء متتامتان أيضاً.

◀ **الربط بالكيمياء** تستعمل الطباعة الملونة نقاطاً من صبغة الألوان الأصفر والأرجواني والأزرق الداكن لعمل صورة ملونة على الورقة. وتكون الأصباغ المستخدمة في الغالب مركبات مسحوقية بصورة دقيقة، مثل أكسيد التيتانيوم الرباعي (أبيض)، وأكسيد الكروميوم الثلاثي (الأخضر)، وكبريتيد الكادميوم (الأصفر). وتخلط الأصباغ لتشكيل محاليل معلقة بدلاً من المحاليل الحقيقية، وتستمر هذه المركبات في عكس وامتصاص الأطوال الموجية نفسها، إلا أن كلاً منها يحافظ على تركيبها الكيميائي في المزيج دون تغيير.

◀ **الربط بعلم الأحياء** يمكنك فهم الألوان التي تشاهدها في **الشكل 18**. إذ تبدو النباتات على الجبل باللون الأخضر بسبب وجود صبغة الكلوروفيل فيها، فهناك أحد أنواع الكلوروفيل يمتص اللون الأحمر، ويمتص النوع الآخر اللون الأزرق، في حين يعكس كلاهما الضوء الأخضر. وتستعمل طاقة الضوء الأحمر وطاقة الضوء الأزرق الممتصين من قبل النبات في عملية البناء الضوئي، وهي العملية التي تصنع فيها النباتات الخضراء غذاءها.

الشكل 18 في الغالب يعكس الكلوروفيل الموجود في الأوراق الخضراء الضوء الأخضر، مما يمنح الأوراق هذا اللون.

اشرح لماذا تظهر الأوراق باللون الأخضر بدرجات متفاوتة؟



الشكل 19 تهتز موجات الضوء غير المستقطبة بشكل عشوائي في كل اتجاه عموديًا على اتجاه تنقلها. يقوم وسط الاستقطاب بحجز الضوء الذي لا يوازي محور الاستقطاب.

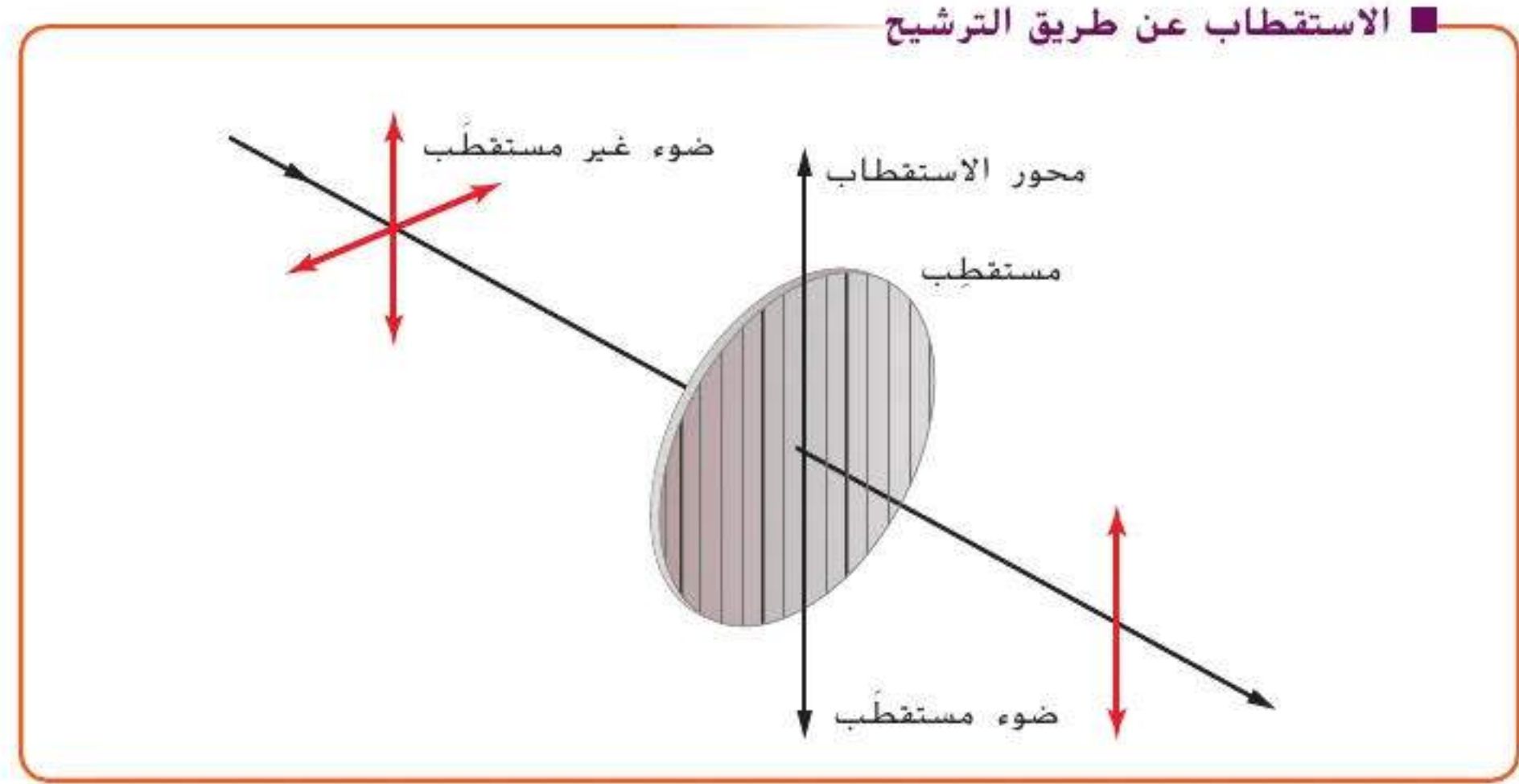
مختبر الفيزياء

الاستقطاب

ما أنواع المصادر الضوئية أو المضيفة التي تنتج الضوء المستقطب؟

تقليل الوهج

كيف تعمل مرشحات الاستقطاب لتقليل الوهج؟



استقطاب الضوء

هل سبق أن نظرت إلى الضوء المنعكس على جانب الطريق عبر نظارة شمسية مستقطبة؟ إذا أدت النظارة، فسيظهر الطريق في البداية مظللاً، ثم مضاءً، ثم مظللاً مرة أخرى إلا أن الضوء الصادر عن المصباح يتغير بشكل ضئيل جدًا عند تدوير النظارة. فما سبب هذا الفرق؟ إن مصابيح الإضاءة العادية غير مستقطبة. أما الضوء الصادر عن الطريق، فينعكس ثم يصبح مستقطباً. إن **الاستقطاب** هو إنتاج ضوء بنمط تذبذب معين.

تذكر أن الضوء يعمل كموجة مستعرضة. إذا كانت الموجات على حبل، فوسط التذبذب هو الحبل. أما الموجات الضوئية، فإن التذبذب هو المجال الكهربائي. حيث أن المجال الكهربائي في الموجة الكهرومغناطيسية هو وحده من دون المجال المغناطيسي المسؤول عن الظواهر الضوئية. عند تذبذب هذا المجال الكهربائي في اتجاهات عشوائية، يكون الضوء غير مستقطب. كيف يمكنك ترشيح الضوء غير المستقطب بحيث لا يمر من المرشح سوى الضوء المستقطب؟

الاستقطاب عن طريق الترشيح تمثل الخطوط الموجودة في المستقطب المعروف في الشكل 19 محور الاستقطاب. وإن الضوء الذي موجاته تذبذب بصورة موازية مع محور الاستقطاب يمر، أما الضوء الذي موجاته تذبذب بشكل متعامد مع محور الاستقطاب فلا يمر. في حال وضع المستقطب في شعاع من الضوء غير المستقطب، لن تمر سوى الموجات الموجودة في اتجاه محور الاستقطاب نفسه. ونتيجة لهذا، لا يمر سوى نصف إجمالي الضوء مما يقلل من شدة الضوء إلى النصف.

الربط بالكيمياء تحتوي أوساط الاستقطاب جزيئات طويلة تتمكن من خلالها الإلكترونات من التذبذب، أو الحركة إلى الأمام وإلى الخلف وجميعها في الاتجاه نفسه. وعندما ينتقل الضوء عابراً الجزيئات تمتص الإلكترونات الموجات الضوئية التي تذبذب في اتجاه تذبذب الإلكترونات نفسه. وتسمح هذه العملية للموجات الضوئية المتذبذبة في اتجاه معين بالعبور من خلالها، في حين تمتص الموجات المتذبذبة في الاتجاه الآخر. ويسمى اتجاه وسط الاستقطاب المتعامد مع الجزيئات الطويلة محور الاستقطاب. والموجات التي تتمكن من العبور هي فقط الموجات المتذبذبة بصورة موازية للمحور.

الاستقطاب عن طريق الانعكاس عندما تنظر من خلال مرشح استقطاب إلى الضوء المنعكس عن لوح زجاجي وتدور المرشح ستلاحظ أن الضوء يسطع ثم يخفت. وهذا يعني أنه حدث استقطاب جزئي للضوء في اتجاه سطح الزجاج عندما انعكس، أي إن الأشعة الضوئية المنعكسة تحوي كمية كبيرة من الضوء المتذبذب بشكل مواز لسطح الزجاج. واستقطاب الضوء المنعكس هو السبب في تقليل الوهج عند استخدام النظارة الشمسية المستقطبة. ونستدل من حقيقة تغير شدة الضوء المنعكس نتيجة تدوير النظارات الشمسية المستقطبة، على أن الضوء المنعكس مستقطب جزئياً. ويثبت الفوتوجراف مرشحات الاستقطاب على عدسات الكاميرا لحجب الضوء المنعكس، كما هو مبين في الشكل 20.

الشكل 20 إن التوهج هو ضوء تم استقطابه عن طريق الانعكاس. يستخدم المصورون مرشحات الاستقطاب لتقليل الوهج.



استقطاب بدون مرشح



استقطاب بمرشح



قانون مالوس افترض أنك حصلت على ضوءٍ مستقطب بواسطة مرشح استقطاب. ماذا سيحدث إذا وضعت مرشح استقطاب ثانيًا في مسار الضوء المستقطب؟ إن كان محور الاستقطاب في المرشح الثاني موازيًا لمحور المرشح الأول، فسيمر الضوء. وإن كان محور الاستقطاب في المرشح الثاني متعامدًا على محور المرشح الأول، فلن يمر الضوء. كما هو مبين في الشكل 21.

ويسمى القانون الذي يوضح مدى انخفاض شدة الضوء عندما يعبر من خلال مرشح استقطاب ثانٍ **قانون مالوس**. إذا كانت شدة الضوء بعد مروره في مرشح الاستقطاب الأول I_1 فإن مرشح الاستقطاب الثاني الذي يصنع محور استقطابه زاوية مقدارها θ مع محور استقطاب المرشح الأول، سينتج ضوءًا شدته I_2 بحيث تكون أقل من I_1 أو تساويها.

قانون مالوس

تساوي شدة الضوء الصادر من مرشح الاستقطاب الثاني شدة الضوء المستقطب الصادر من مرشح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب التمام للزاوية بين محوري استقطاب المرشحين.

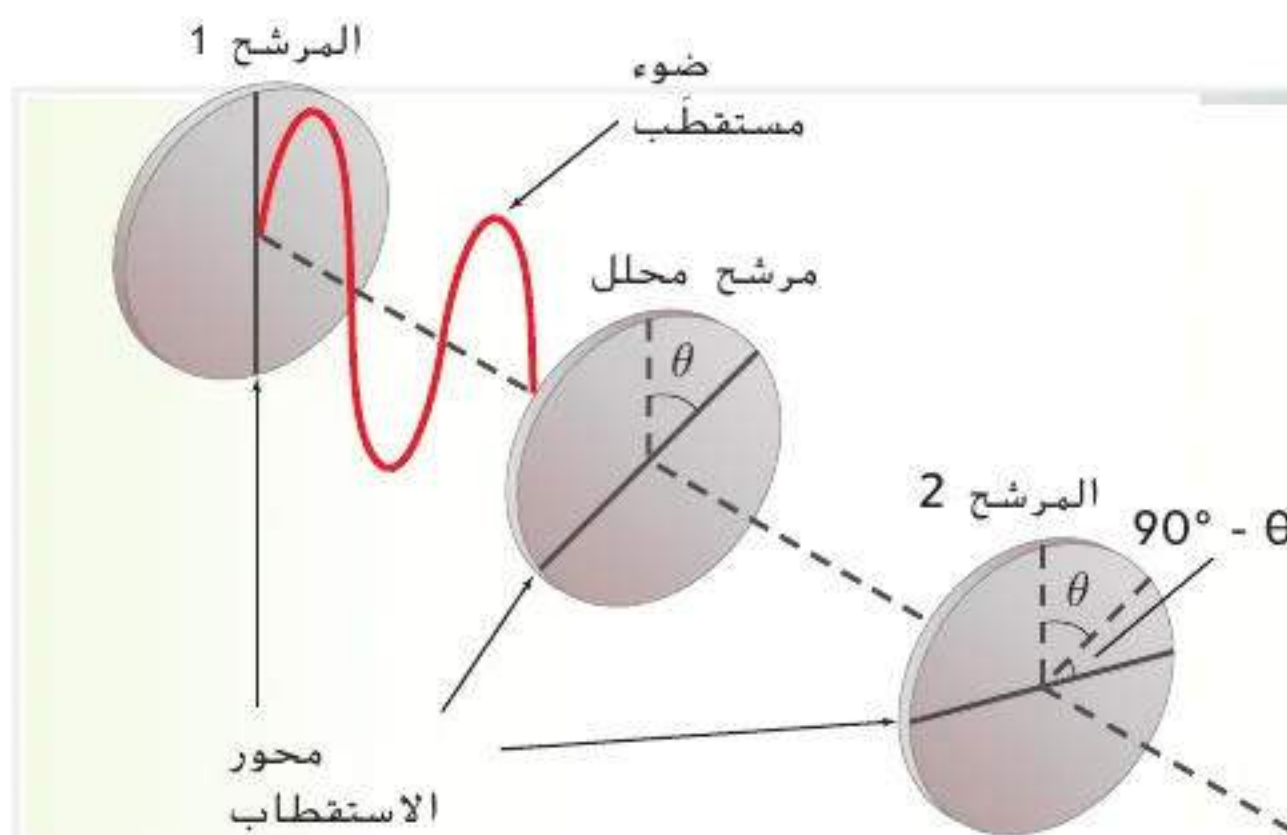
$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

الشكل 21 تسمح مرشحات الاستقطاب ذات المحور الموازي بمرور الضوء من خلالها. أما إن كانت محاور الاستقطاب تصنع زاوية مقدارها 45° ، فتسمح المرشحات بمرور بعض الضوء. وإن كانت متعامدة، فسيحجب المرشح الثاني الضوء الذي قد مر عبر المرشح الأول.

أسئلة تحفيزية

إذا وضعت مرشحًا محليًا بين مرشحين متقاطعين (محورًا استقطابيهما متعامدان)، بحيث لا يوازي محور استقطابه أيًا من محوري المرشحين المتقاطعين، كما هو موضح في الشكل.

1. ستلاحظ مرور بعض الضوء عبر المرشح 2، على الرغم من عدم مرور ضوء عبر المرشح 2 قبل إدخال المرشح المحلي. لماذا يحدث ذلك؟
2. إذا وضعت مرشحًا محليًا بزاوية θ بالنسبة إلى محور استقطاب المرشح 1، اشتق معادلة لحساب شدة الضوء الصادر من المرشح 2 مقارنة بشدة الضوء الصادر من المرشح 1.



سرعة الضوء وطول موجته وتردده

كما تعلمت، يحدد مصدر الموجة تردد تلك الموجة (f)، ويحدد الوسط والتردد معًا طول الموجة (λ) للموجة. ويمكن وصف الضوء بالنماذج الرياضية نفسها المستخدمة في وصف الموجات، لأن الضوء له خصائص موجية. ويكون الطول الموجي لضوء ذي تردد معلوم ينتقل في الفراغ عبارة عن دالة رياضية في سرعة الضوء (c)، والتي يمكن كتابتها على النحو التالي $\lambda_0 = c/f$. ولقد زودنا تطور الليزر في ستينيات القرن الماضي بطرائق جديدة لقياس سرعة الضوء. كما يمكن قياس تردد الضوء بدقة متناهية. وذلك باستخدام أجهزة الليزر والزمن المعياري والذي تزودنا به الساعات الذرية. في حين يتم قياس الأطوال الموجية للضوء بدقة أقل جدًا.

ألوان الضوء المختلفة ترددات وأطوال موجية مختلفة، ولكنها تنتقل جميعها في الفراغ بسرعة تساوي سرعة الضوء. فإذا كان تردد موجة الضوء في الفراغ معروفًا أمكنك عندئذ حساب طولها الموجي، والعكس صحيح، وذلك لأن جميع الأطوال الموجية للضوء تنتقل في الفراغ بالسرعة نفسها. ويمكنك باستخدام القياسات الدقيقة لسرعة الضوء وتردده حساب قيمة دقيقة لطوله الموجي.

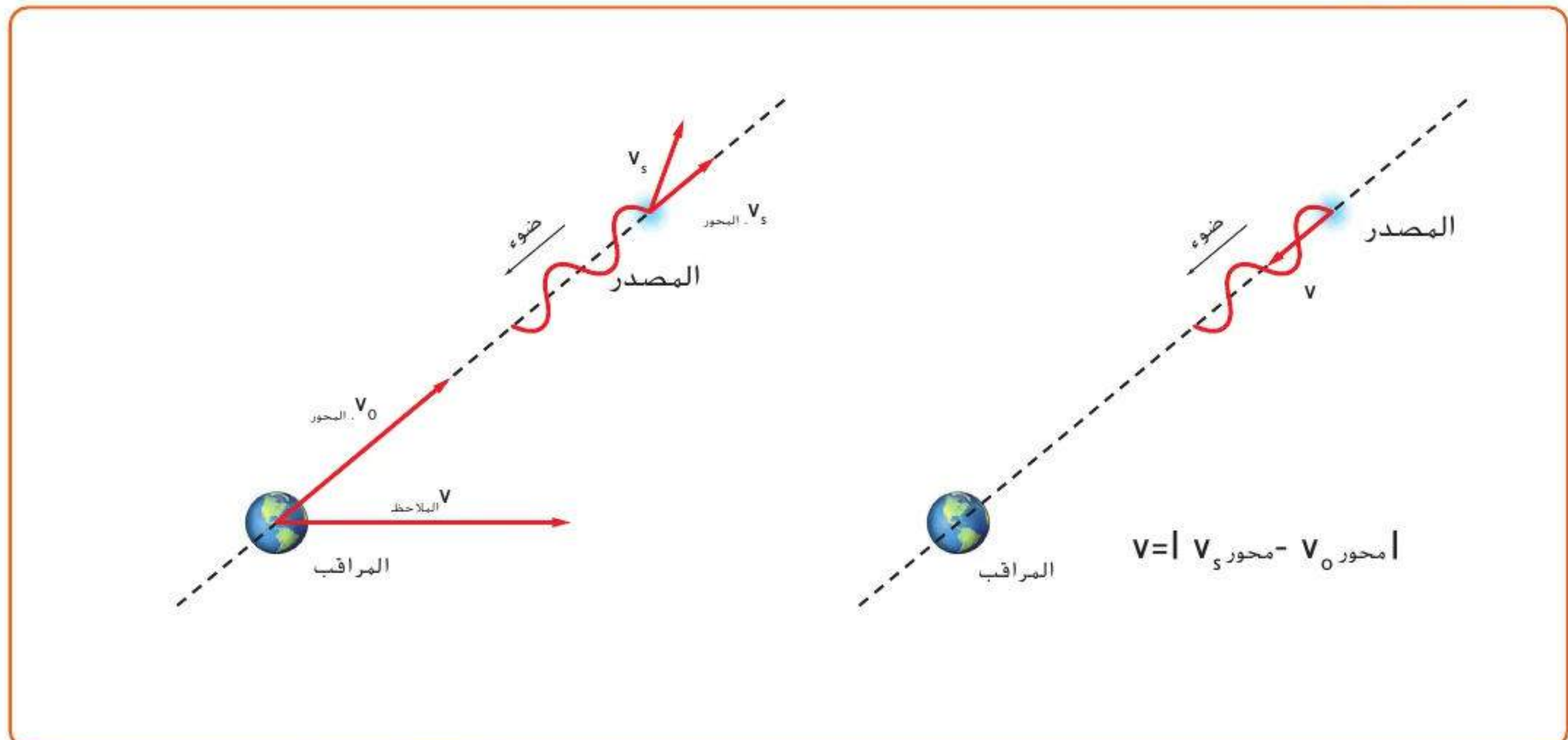
الحركة النسبية والضوء ماذا يحدث إن تحرك مصدر الضوء باتجاهك أو تحركت أنت في اتجاه المصدر؟ تعلمت سابقًا أنه إذا كان مصدر الصوت أو المستمع متحركًا فإنه يتغير تردد الصوت الذي يسمعه المستمع، وهذا صحيح أيضًا بالنسبة إلى الضوء. فإذا أخذت بعين الاعتبار السرعة المتجهة لكل من مصدر الصوت والمراقب فإنك تكون أخذت بعين الاعتبار السرعة المتجهة لكل منهما بالنسبة إلى الوسط الذي ينتقل فيه الصوت.

تأثير دوبلر طبيعة الموجات الضوئية هي أنها ليست اهتزازات لجسيمات الوسط. يتضمن تأثير دوبلر في الضوء السرعة المتجهة لكل من المصدر والمراقب أحدهما بالنسبة إلى الآخر فقط، وذلك لأن اهتزازات الضوء ليست اهتزازًا لجسيمات الوسط الميكانيكي، كما هو الحال في الموجات الصوتية. ويسمى مقدار الفرق في سرعتين المتجهتين لكل من المصدر والمراقب بالسرعة النسبية. والعاملان المؤثران في تأثير دوبلر هما فقط مَزْجَتَا السرعتين المتجهتين على امتداد المحور بين المصدر والمراقب، كما في الشكل 22.

لدراسة تأثير دوبلر في الضوء يمكن تبسيط المسألة باعتبار أن السرعات النسبية المحورية أقل جدًا من سرعة الضوء ($v \ll c$). يستخدم هذا التبسيط لتطوير معادلة حول الضوء المراقب (f_{obs})، التي تمثل الضوء كما يراه المراقب.

الشكل 22 يصف تأثير دوبلر طريقة تغير تردد الضوء عند اقتراب المراقب ومصدر الضوء أحدهما من الآخر أو عند ابتعادهما أحدهما عن الآخر.

■ تأثير دوبلر



تردد الضوء المراقب

تردد الضوء المراقب من مصدر يساوي التردد الحقيقي للضوء المتولد من المصدر، مضروباً في ناتج جمع واحد إلى (السرعة النسبية على امتداد المحور ما بين المصدر والمراقب مقسومة على سرعة الضوء) إذا تحرك كل منهما في اتجاه الآخر، أو ناتج طرح (السرعة النسبية مقسومة على سرعة الضوء) من الواحد إذا تحركا مبتعدين.

$$f_{\text{obs}} = f \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$$

الاستخدامات لأن معظم المشاهدات حول تأثير دوبلر في الضوء تمت في نطاق علم الفلك، فإن معادلة تأثير دوبلر للضوء كتبت بدلالة الطول الموجي بدلاً من التردد. ويمكن استعمال المعادلة التالية $\lambda = c/f$ والتبسيط $v \ll c$ ، لحساب إزاحة دوبلر ($\Delta\lambda$)، التي تمثل الفرق بين الطول الموجي المراقب للضوء والطول الموجي الحقيقي له.

انزياح دوبلر

الفرق بين الطول الموجي المراقب للضوء والطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولده المصدر مضروباً في السرعة النسبية للمصدر والمراقب مقسوماً على سرعة الضوء. وتكون هذه الكمية موجبة إذا تحركا مبتعدين أحدهما عن الآخر، وسالبة إذا تحركا مقتربين أحدهما من الآخر.

$$(\lambda_{\text{obs}} - \lambda) = \Delta\lambda = \pm \left(\frac{v}{c} \right) \lambda$$

إن التغير الموجب في الطول الموجي يعني أن الضوء مزاح نحو اللون الأحمر، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مبتعد عن المراقب. والتغير السالب في الطول الموجي يعني أن الضوء مزاح نحو اللون الأزرق. وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مقرب من المراقب. وعندما يزاح الطول الموجي نحو الأحمر يكون التردد المراقب أقل، نتيجة للعلاقة العكسية بين هذين المتغيرين، لأن سرعة الضوء تبقى ثابتة. وعندما يزاح الطول الموجي نحو الأزرق يكون التردد المراقب أكبر.

◀ **الربط بعلم الفلك** يستطيع علماء الفلك تحديد كيفية تحرك الأجسام مثل المجرات نسبة إلى الأرض عن طريق ملاحظة تأثير دوبلر في ضوءها. ويتم ذلك من خلال مراقبة الطيف الضوئي المنبعث من النجوم في المجرة بواسطة جهاز يسمى المطياف، انظر الشكل 23. حيث تبعث العناصر الموجودة في نجوم المجرات أطوالاً موجية محددة يمكن قياسها في المختبر. وللمطياف القدرة على قياس مقدار انزياح دوبلر لهذه الأطوال الموجية.



الشكل 23 ينزاح طيف انبعاث الهيدروجين نحو الأحمر مقارنة بطيف المختبر، مما يدل على تحرك مصدر الضوء بعيداً من كوكب الأرض.

16. يبعث الأكسجين ضوءًا بطول موجة 513 nm. فما تردد هذا الضوء؟
17. تتحرك ذرة هيدروجين في إحدى المجرات بسرعة 6.55×10^6 m/s مبتعدة عن كوكب الأرض وتبعث ضوءًا بتردد 6.16×10^{14} Hz. ما التردد الذي سيلاحظه عالم فلك على الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟
18. تتحرك ذرة هيدروجينية في إحدى المجرات بسرعة 6.55×10^6 m/s مبتعدة عن كوكب الأرض وتبعث ضوءًا بطول موجة 486 nm. ما طول الموجة الذي سيتم ملاحظته على كوكب الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟
19. تحدي ينظر أحد علماء الفلك إلى طيف إحدى المجرات ويجد أن خط طيف الأكسجين فيها بطول 525 nm. في حين أن القيمة المقاسة في المختبر 513 nm. احسب سرعة تحرك المجرة بالنسبة إلى الأرض. ووضح ما إذا كانت المجرة تتحرك مقتربة من الأرض أو مبتعدة عنها، وكيف تعرف ذلك.

اقترح ادوين هابل في العام 1929، أن الكون يتمدد، وتوصل إلى هذه النتيجة بتحليل طيف الانبعاث القادم من عدة مجرات، ولاحظ أن خطوط الطيف للعناصر المألوفة كانت ذات أطوال موجية أطول من المتوقع، حيث كانت خطوط الطيف مزاحة نحو اللون الأحمر، وبغض النظر عن مساحة السماء التي راقبها فقد كانت المجرات ترسل ضوءًا مزاحًا نحو اللون الأحمر. فما سبب انزياح خطوط الطيف نحو اللون الأحمر؟ استنتج هابل من ذلك أن المجرات جميعها تتحرك مبتعدة عن الأرض.

القسم 2 مراجعة

26. النظارات الشمسية المستقطبة استخدم الشكل 24 لتحديد الاتجاه الذي ينبغي توجيه محور الاستقطاب إليه في النظارات الشمسية المستقطبة لتقليل التوهج من سطح الطريق؛ رأسياً أم أفقياً؟ فسر ذلك.



الشكل 24

27. سرعة الضوء الأحمر في الهواء والماء أقل منها في الفراغ. فإذا علمت أن التردد لا يتغير عندما يدخل الضوء الأحمر في الماء، فهل يتغير الطول الموجي؟ وإذا تغير فكيف يكون؟
28. التفكير الناقد توصل الفلكيون إلى أن مجرة الأندروميديا، وهي المجرة القريبة من مجرتنا (درب التبانة) تتحرك باتجاه مجرتنا. وضح كيف تمكنوا من تحديد ذلك. وهل يمكنك التفكير في دليل محتمل لاقتراب مجرة الأندروميديا من مجرتنا؟

20. الفكرة الرئيسية صف الحركات النسبية للأجسام عندما ينزاح الضوء نحو الأحمر وعندما ينزاح الضوء نحو الأزرق. أجب باستخدام المصطلح تأثير دوبلر.
21. مزج ألوان الضوء ما لون الضوء الذي يجب مزجه مع الضوء الأزرق للحصول على ضوء أبيض؟
22. تفاعل الضوء مع الأصباغ ما اللون الذي ستظهر فيه موزة صفراء عند إضاءتها بكل مما يلي؟
a. الضوء الأبيض
b. الضوء الأخضر والأحمر
c. الضوء الأزرق
23. ما ألوان الأصباغ الثانوية ولماذا تمنح الأجسام مظهر هذه الألوان؟
24. مزج الأصباغ ما الألوان الأساسية للأصباغ التي يجب أن تمزج لتشكيل اللون الأحمر؟ وضح كيف ينتج اللون الأحمر باختزال لون من ألوان الصبغة؟
25. الاستقطاب صف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتحديد ما إذا كانت النظارة الشمسية المتوافرة في المتجر مستقطبة أم لا.

التعرف على البعد الثالث

هل سبق لك أن شاهدت فيلمًا ثلاثي الأبعاد؟ على الرغم من عرض الفيلم على شاشة مستوية، تظهر الصور ثلاثية الأبعاد فتظهر الأجسام الأمامية وكأنها تقفز خارج الشاشة وتظهر الخلفية وكأنها بعيدة. فالأفلام الثلاثية الأبعاد تستخدم خدعة العمق. لكن كيف نلاحظ الفرق بين الأجسام القريبة والبعيدة؟

مرشحات الاستقطاب يستخدم منتجو الأفلام كاميرات موضوعة جنبًا إلى جنب لتصوير المشاهد، فينتجون تأثير الرؤية المنظرية نفسه. ثم يُعرض الفيلم على الشاشة نفسها من خلال مرشحي استقطاب مختلفين.

يسمح مرشح الاستقطاب بعبور الموجات الضوئية التي تتذبذب في اتجاه واحد معين. تحتوي النظارة الثلاثية الأبعاد على مرشحي استقطاب يتعامد أحدهما على الآخر. كما هو موضح في الشكل 1، يمنع كل من المرشحين صورة واحدة من الصورتين المعروضتين على الشاشة، فيرسلان صورة مختلفة إلى كل عين.

أغض عينًا واحدة وانظر إلى جسم بعيد، ثم ضع إصبع الإبهام أمام عينك لتحول دون رؤية هذا الجسم. من دون أن تحرك إصبع الإبهام، أغض عينك المفتوحة وافتح عينك المغلقة. ما الذي حدث؟

عينان، صورة واحدة يتمتع الإنسان برؤية منظرية، حيث يجمع الدماغ الصور المنفصلة التي تراها كل عين على حدة. تكون الفروق بين هذه الصور أكثر وضوحًا مع الأجسام القريبة جدًا من العين، لكن لا تكون ملحوظة تقريبًا مع الأجسام البعيدة. لهذا، تبدو إصبع الإبهام القريبة من العين كأنها يتحرك، بينما يبقى الجسم البعيد الذي كنت تحجبه عن عينك في المكان نفسه. يُعدّ هذا المفهوم البسيط الذي اكتُشف منذ 150 سنة تقريبًا أساس تكنولوجيا الأفلام الثلاثية الأبعاد.

الشكل 1 ترسل مرشحات الاستقطاب صورًا مختلفة إلى كل عين فتنتجان تأثيرًا ثلاثي الأبعاد.

لمزيد من التعمق <<<

بحث يمكن أن تنتج بعض أجهزة التلفاز والأجهزة المحمولة باليد تأثيرًا ثلاثي الأبعاد من دون الحاجة إلى استخدام نظارة. قم بعمل بحث عن التكنولوجيا التي يرجع إليها هذا التقدم. ثم أنشئ رسمًا تخطيطيًا يوضح أوجه الفرق بين هذا النوع الثلاثي الأبعاد والتقنيات الأكثر تقليدية.

الفكرة الرئيسية يسلك الضوء سلوك الأمواج ويمكن استكشافه بالعين المجردة.

القسم 1 الإضاءة

الفكرة الرئيسية تنتقل أشعة الضوء في خطوط مستقيمة ولا يمكن أن تغير مسارها إلا عند مواجهة حاجز فقط.

- يمكن رسم نموذج الضوء كشعاع ينتقل في مسار مستقيم حتى يواجه حاجزًا. يمكن وصف الأوساط بأنها شفافة أو شبه شفافة أو معتمة بناءً على تفاعل الضوء معها.
- تدفق الضوء من مصدر ضوء هو معدل انبعاث الضوء، ويقاس بوحدة اللومن (lm). إن الاستضاءة هي تدفق الضوء لكل وحدة مساحة، وتقاس بوحدة اللكس (lx) أو لومن لكل متر مربع (lm/m²). بالنسبة إلى المصدر النقطي، تتناسب الاستضاءة عكسيًا مع مربع المسافة وتتناسب طرديًا مع تدفق الضوء.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- تضمنت القياسات الأولية لسرعة الضوء قياس الزمن الذي يستغرقه الضوء في قطع المسافة من قمر المشتري Io حتى يصل إلى الأرض. استخدم ميكلسون تقنية تقوم على أساس أرضي وتتضمن المسافة بين جبلين ومجموعة من المرايا الدوارة. في الفراغ، تكون سرعة الضوء ثابتة $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$.

المفردات

- النموذج الشعاعي للضوء
ray model of light
- مصدر مضيء
luminous source
- معتم
opaque
- شبه شفاف
translucent
- شفاف
transparent
- تدفق الضوء
luminous flux
- الاستضاءة
illuminance

القسم 2 الطبيعة الموجية للضوء

الفكرة الرئيسية مثل كل الموجات، يحيد الضوء عن الأجسام، ويتمتع بطول موجة وتردد كما يمكن إزاحته بانزياح دوبلر.

- في النموذج الموجي للضوء، يمكن اعتبار كل النقاط في صدر الموجة مصادر لموجات أصغر. عندما يتجاوز الضوء حافة ينقطع صدر الموجة وتكون كل موجة صغيرة موجة دائرية جديدة.
- يمكن أن يتراوح الطول الموجي للضوء المرئي بين 400 nm و 700 nm. يتكون الضوء الأبيض من مجموعة من طيف الألوان، ولكل لون طول موجي مختلف. يؤدي الجمع بين الألوان الأساسية، الأحمر والأزرق والأخضر، إلى تكون الضوء الأبيض. وتكون المجموعات المكونة من لونين أساسيين الألوان الثانوية، الأصفر والأزرق السماوي والأرجواني.



تستخدم الأصباغ الأساسية، السماوي والأرجواني والأصفر، في مجموعات من صبغتين لإنتاج صبغات ثانوية، الأحمر والأزرق والأخضر.

- يتكون الضوء المستقطب من موجات تتذبذب مجالاتها الكهربائية بنمط معين. وغالبًا ما يكون التذبذب في مستوى واحد. يمكن استقطاب الضوء باستخدام مرشح استقطاب أو بالانعكاس. ويمكن تمييز موجات الضوء المنتقلة عبر الفراغ من حيث التردد والطول الموجي وسرعة الضوء. تتغير موجات الضوء بتأثير دوبلر بناءً على السرعة النسبية للمراقب ومصدر الضوء على طول محور المراقب ومصدر الضوء.

المفردات

- الحيود
diffraction
- لون أساسي
primary color
- لون ثانوي
secondary color
- لون مكمل
complementary color
- صبغة أساسية
primary pigment
- صبغة ثانوية
secondary pigment
- الاستقطاب
polarization
- قانون مالوس
malus's law

القسم 1 الاستضاءة

إتقان المفاهيم

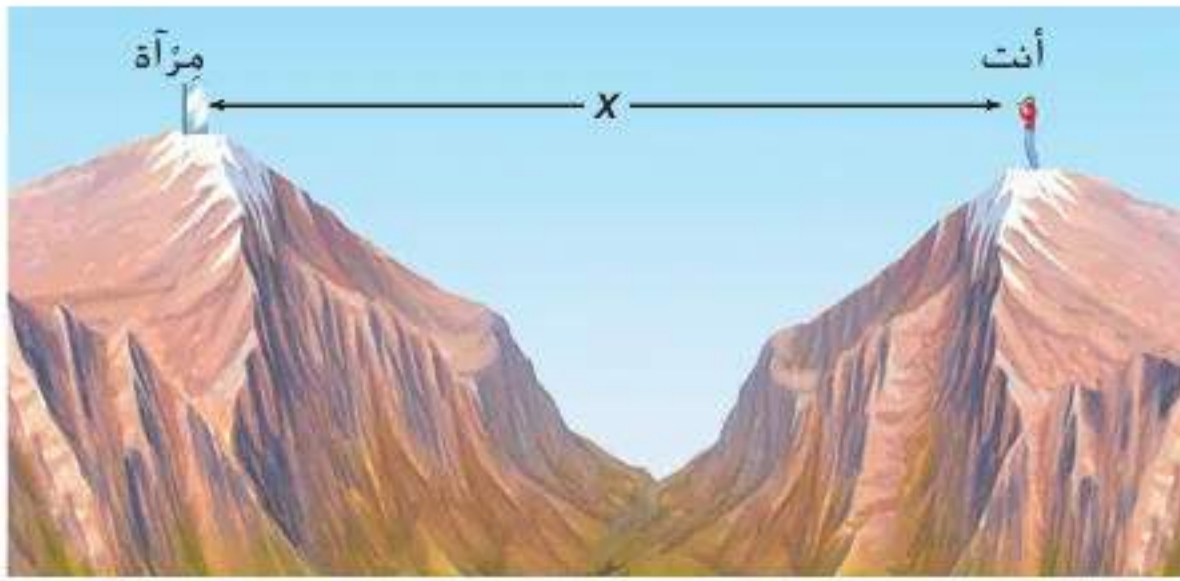
29. ما بعض التطبيقات المفيدة لقياس الضوء؟
30. مَيِّز بين المصدر المضيء والجسم المستضيء.
31. انظر بعناية إلى مصباح ضوء أبيض عادي متوهج. هل هو مصدر مضيء أم جسم مستضيء؟
32. اشرح كيف يمكنك رؤية الأجسام غير المضيئة في غرفة الصف.
33. مَيِّز بين الأجسام الشفافة وشبه الشفافة والمعتمة.
34. ما الذي يتناسب طرديًا مع استضاءة سطح بمصدر ضوئي؟ وما الذي يتناسب معه عكسيًا؟
35. ما الخاصية المتعلقة بانتقال الضوء الذي كان للعالم أولي رومر الأسبقية في قياسها؟

إتقان حل المسائل

36. أوجد مقدار الاستضاءة على مسافة 4.0 m أسفل مصباح تدفقه الضوئي 405 lm.
37. يستغرق الضوء زمنًا مقداره 1.28 s لينتقل من القمر إلى الأرض. فما مقدار المسافة بينهما؟
38. يستهلك مصباح كهربائي ثلاثي الضبط قدرة كهربائية تبلغ 50 W أو 100 W أو 150 W لإنتاج تدفق ضوئي يبلغ 665 lm أو 1620 lm أو 2285 lm من خلال أزرار ضبطه الثلاثة. إذا وُضع المصباح على بعد 80 cm فوق صفحة، وكانت أقل استضاءة لازمة لإضاءة الورقة هي 175 lx، فما أقل قدرة ينبغي استخدامها؟
39. سرعة الأرض وجد العالم أولي رومر أنّ متوسط زيادة التأخير في اختفاء قمر آيو من دورة واحدة حول كوكب المشتري إلى الدورة التي تليها هو 13 s.
- a. ما المسافة التي يقطعها الضوء في 13 s؟
- b. تستغرق كل دورة للقمر آيو زمنًا قدره 42.5 h. وتتحرك الأرض المسافة المحسوبة في الفرع a من السؤال في زمن 42.5 h. أوجد سرعة الأرض بوحدة الكيلومتر في الساعة.
- c. تحقق أنّ إجابتك للفرع b منطقية. واحتسب سرعة الأرض في المدار مستخدمًا نصف قطر المدار، 1.5×10^8 km، والفترة y 1.0.
40. يريد طالب أن يقارن التدفق الضوئي لمصباح ضوئي بمصباح آخر تدفقه الضوئي 1750 lm. وكان كل منهما يضيء ورقة بالتساوي، وكان المصباح الذي تدفقه الضوئي 1750 lm يبعد 1.25 m عن الورقة؛ في حين يقع المصباح الآخر على بعد 1.08 m. فما التدفق الضوئي للمصباح الضوئي؟

41. عكس المسألة اكتب مسألة في الفيزياء عن أجسام في الحياة اليومية تمثل المعادلة التالية جزءًا من حلها: $95 \text{ lx} = 1100 \text{ lm}/(4\pi r^2)$

42. افترض أنك حاولت قياس سرعة الضوء بوضع مرآة أعلى جبل بعيد، ثم ضغطت على زر وميض الكاميرا وقيمت بقياس الزمن الذي استغرقه الوميض لينعكس عن المرآة ويعود إليك. كما هو موضح في الشكل 25. وتمكن شخص من تحديد فترة زمنية مقدارها 0.10 s تقريبًا من دون استخدام أجهزة. فما بعد المرآة بوحدة الكيلومتر؟ قارن بين هذه المسافة وبعض المسافات المعروفة.



الشكل 25

القسم 2 الطبيعة الموجية للضوء

إتقان المفاهيم

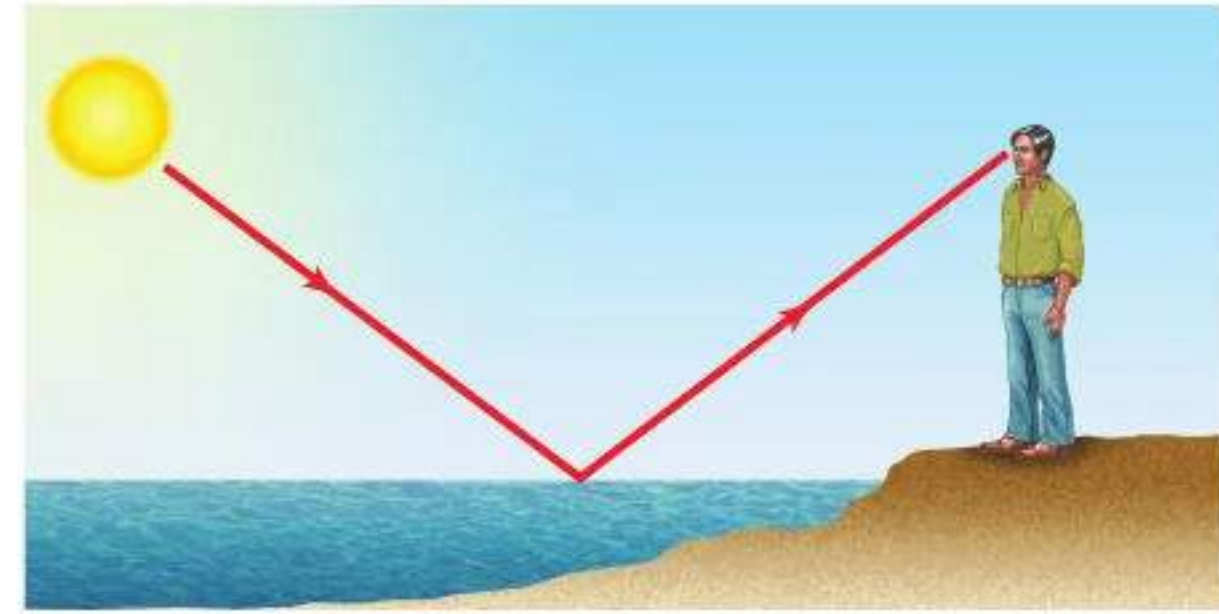
43. لماذا يُعدّ حيود الموجات الصوتية أكثر شيوعًا في الحياة اليومية من حيود الموجات الضوئية؟
44. الفكرة الرئيسية ما لون الضوء المرئي الذي له أقصر طول موجي؟
45. ترتيب رتّب ألوان الضوء التالية على حسب تردددها من الأصغر إلى الأكبر: أزرق، أخضر، أحمر، أحمر بنفسجي، أصفر. قم بالإشارة إلى أي روابط بصفة خاصة.
46. ما مدى الأطوال الموجية للضوء المرئي، بدءًا من الأقصر إلى الأطول؟
47. ترتيب رتّب ألوان الضوء التالية على حسب مقدار حيودها حول حافة ورقة، بدءًا من الأكثر حيودًا إلى الأقل انكسارًا: أزرق، أخضر، أحمر، أحمر بنفسجي، أصفر. قم بالإشارة إلى أي روابط بصفة خاصة. تلميح: يزيد الحيود كلما زادت الأطوال الموجية.
48. ما الألوان التي يتكوّن منها الضوء الأبيض؟
49. هل يمكن أن تكون الموجات الطولية مستقطبة؟ وضح إجابتك.
50. إذا كانت مجرة بعيدة تبعث ضوءًا في منطقة اللون الأخضر من الطيف الضوئي، فهل ينزاح الطول الموجي الملاحظ إلى الضوء الأحمر أم إلى الضوء الأزرق؟ فسر ذلك.

إتقان حل المسائل

51. حوّل الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm إلى وحدة الأمتار.

52. حركة المجرة ما السرعة التي تتحرك بها المجرة بالنسبة إلى الأرض إذا أزيح خط طيف الهيدروجين 486 nm نحو الأحمر 491 nm؟

53. افترض أنك كنت تتجه إلى الشرق عند شروق الشمس. وانعكس ضوء الشمس عن سطح بحيرة، كما هو موضح في الشكل 26. فهل الضوء المنعكس مستقطب؟ إذا كان كذلك ففي أي اتجاه؟



الشكل 26

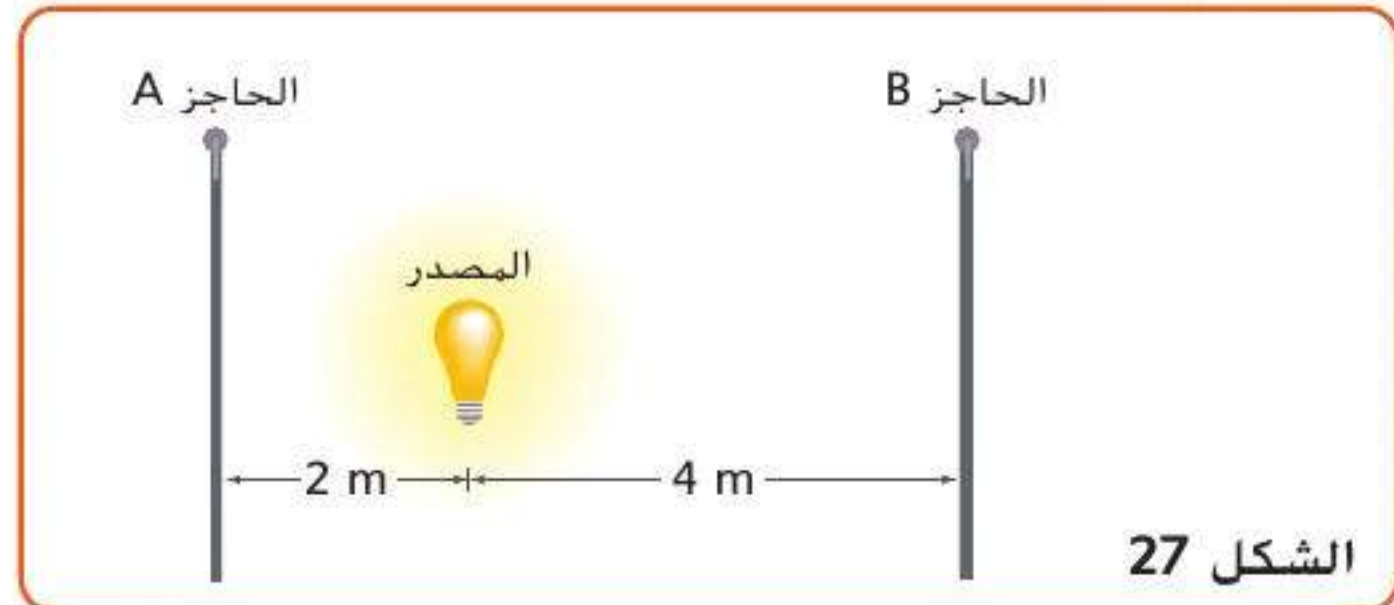
54. حركة المجرة إذا كان خط طيف الهيدروجين المعروف بطول موجي 434 nm مزاحاً إلى اللون الأحمر بنسبة 6.50% في الضوء القادم من مجرة بعيدة. ما سرعة ابتعاد المجرة عن الأرض؟

55. طرح المسائل أكمل هذه المسألة بحيث يجب حلها باستخدام سرعة الضوء: "يضيء شعاع ليزر طوله الموجي 655 nm..."

56. أعط مثالاً على انزياح دوبلر غير واقعي بدلالة الطول الموجي للضوء القادم من مجرة تبتعد عن الأرض. لماذا يُعدّ هذا الانزياح غير معقول؟

تطبيق المفاهيم

57. يقع مصدر ضوء نقطي على بُعد 2.0 m من الحاجز A وعلى بُعد 4.0 m من الحاجز B. كما هو موضح في الشكل 27. قارن بين الاستضاءة على الحاجز B والاستضاءة على الحاجز A؟



الشكل 27

58. لماذا يُطلَى السطح الداخلي للمناظير والكاميرات باللون الأسود؟

59. مصباح الدراسة يبعد مصباح دراسة 35 cm عن صفحات الكتاب. فإذا ضاعفت المسافة:

- هل تبقى الاستضاءة على الكتاب كما هي؟
- إذا تغيّرت، فكم تكون أكبر أو أصغر؟

60. حساسية العين تكون حساسية العين أكبر ما يكون للضوء الأصفر المخضر. وتكون هذه الحساسية أقل بنسبة 10 بالمئة للضوء الأحمر المزرق مقارنة بالنسبة المثالية. بناءً على هذه المعرفة، ما اللون الذي توصي به لطلاء سيارات الإطفاء والإسعاف؟ لماذا؟

61. لون إنارة الشوارع تحتوي بعض مصابيح إنارة الشوارع الفعالة جداً على بخار الصوديوم تحت ضغط عالٍ. وتنتج هذه المصابيح ضوءاً معظمه أصفر وجزء قليل منه أحمر. هل ينبغي أن يشتري المجتمع الذي فيه هذه المصابيح سيارات شرطة ذات لون أزرق داكن؟ لماذا أو لم لا؟

انظر إلى الشكل 28 عند حل المسألتين 62 و 63.



الشكل 28

62. ماذا يحدث للاستضاءة على الكتاب عند إبعاد المصباح عن الكتاب؟

63. ماذا يحدث لشدة اضاءة المصباح عند إبعاده عن الكتاب؟

64. الصور المستقطبة غالباً ما يضع مصورو الفوتوجراف مرشحات استقطاب فوق عدسات الكاميرا لكي تبدو السحب في السماء أكثر وضوحاً. فتبقى السحب بيضاء، في حين تبدو السماء داكنة بدرجة أكبر. اشرح ذلك استناداً إلى معرفتك بالضوء المستقطب.

65. تبدو التفاحة حمراء لأنها تعكس الضوء الأحمر وتمتص الضوء الأزرق والضوء الأخضر.

- لماذا يظهر السلوفان الأحمر أحمر في الضوء المنعكس؟
- لماذا يظهر مصباح الضوء الأبيض أحمر اللون عند النظر إليه من خلال السلوفان الأحمر؟
- ماذا يحدث للضوء الأزرق والضوء الأخضر؟

66. إذا كان لديك الصبغات التالية: الصفراء والزرقاء الفاتحة والأرجوانية، فكيف يمكنك عمل صبغة زرقاء؟ اشرح.

التفكير الناقد

74. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبعد مصدر ضوئي شدة إضاءته 110 cd مسافة 1.0 m عن حاجز ثم ازدادت المسافة ببطء. حدد الاستضاءة على الحاجز في البداية وعند كل متر تزداد فيه المسافة حتى 7.0 m. ومثل البيانات بيانياً.
- a. ما شكل المنحنى البياني؟
- b. ما العلاقة التي يوضحها المنحنى البياني بين الاستضاءة والمسافة؟

75. ابحث لماذا فشل العالم غاليلو في قياس سرعة الضوء؟

الكتابة في الفيزياء

76. اكتب مقالاً يصف تاريخ فهم الإنسان لسرعة الضوء. ثم اذكر فيه مساهمات العلماء المهمة.
77. ابحث في معلومات عن النظام الدولي للوحدات المتعلقة بوحدة الشمعة (cd) وشرح بكلمات من عندك المعيار الذي يُستخدم في تحديد قيمة 1 cd.

مراجعة تراكمية

78. يتحرك جسم كتلته 2.0 kg متصل بخيط طوله 1.5 m في دائرة رأسية بسرعة ثابتة 12 m/s.
- a. ما مقدار الشد في الخيط عندما يكون الجسم عند أسفل نقطة في مساره؟
- b. ما مقدار الشد في الخيط عندما يكون الجسم عند أعلى نقطة في مساره؟
79. يتحرك مسبار فضائي كتلته 7.600×10^3 kg في الفضاء بسرعة 125 m/s. فحددت المجموعة المراقبة لرحلته أنه يجب تصحيح المسار 30.0° وأعطت المسبار أمراً بإطلاق صواريخ عمودية على اتجاه حركته الحالي. إذا كانت سرعة الغاز الخارج من الصواريخ 3.200 km/s، فما كتلة الغاز التي يجب إطلاقها؟
80. إذا تم تسخين 250 mL من الماء في وعاء زجاجي من درجة حرارة الغرفة إلى 65°C ، فما مستوى الماء النهائي؟ إذا تم تبريد الماء بعد ذلك إلى 5°C ، فما مستوى الماء الناتج؟
81. أنتج وتر جيتار طوله 60.0 cm، نغمة ترددها 440 Hz عندما نُقر في منطقة الوسط. ما سرعة الموجات في الوتر؟
82. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددها 17,000 Hz في ماء درجة حرارته 25°C ؟

67. وضعت قطعة سلوفان حمراء على مصباح يدوي وقطعة خضراء على مصباح آخر. وسلطت حزمًا ضوئية من كل منهما حائط أبيض. ما اللون الذي ستراه عندما تتجمع الحزم الضوئية للمصباحين؟

68. ضع قطعتي السلوفان الحمراء والخضراء على أحد المصباحين في المسألة السابقة. إذا سلطت حزمة ضوئية من المصباح على حائط أبيض، فما اللون الذي ستراه؟ وضح ذلك.

69. مخالفة السير افترض أنك شرطي مرور وأوقفت سائقًا لتجاوز الإشارة الحمراء. وافترض أيضًا أنك السائق وضح لك بالرسم (الشكل 29) أن الضوء كان يبدو أخضر بسبب تأثير دوبلر عندما قطع الإشارة. اشرح له، مستخدمًا معادلة إزاحة دوبلر، كم يجب أن تكون سرعته حتى يبدو الضوء الأحمر $(\lambda = 645 \text{ nm})$ أخضر $(\lambda = 545 \text{ nm})$.



الشكل 29

مراجعة عامة

70. إضاءة مصابيح إنارة الشوارع يحتوي عمود إنارة على مصباحين متماثلين يرتفعان 3.3 m عن سطح الأرض. إذا أرادت البلدية توفير الطاقة الكهربائية بإزالة أحد المصباحين، فكم يجب أن يكون ارتفاع المصباح المتبقي عن الأرض لإعطاء الاستضاءة نفسها على الأرض؟
71. يُعتبر الثماني (الأوكتاف) في الموسيقى مضاعفة للتردد. قارن بين عدد الثمانيات التي تتوافق مع مدى السمع البشري وعدد الثمانيات في مدى الرؤية البشرية. تلميح: يوجد أكثر من سبعة ثمانيات على البيانو.
72. الرعد والبرق وضح لماذا تحتاج إلى 5 s لسماع الرعد عندما يبعد البرق مسافة 1.6 km.
73. الدوران الشمسي نظراً إلى أن الشمس تدور حول محورها، فإن أحد جوانبها يتحرك في اتجاه الأرض. بينما يتحرك الجانب الآخر مبتعداً عنه. تكمل الشمس دورة واحد كاملة كل 25 يوماً تقريباً، وبلغ قطرها 1.4×10^9 m. فإذا بعث عنصر الهيدروجين بشكل طبيعي ضوءاً بتردد 6.16×10^{14} Hz من كلا الجانبين فما التغير في الطول الموجي المراقب؟

الاختبار من متعدد

1. في العام 1987، لوحظ مستعر أعظم في مجرة مجاورة. اعتقد العلماء أن المجرة على بُعد 1.66×10^{21} m. كم عدد السنوات التي مرت على انفجار المستعر الأعظم قبل هذه الملاحظة؟
 A. 5.53×10^3 y C. 5.53×10^{12} y
 B. 1.75×10^5 y D. 1.74×10^{20} y
2. تبتعد مجرة بسرعة 5.8×10^6 m/s. ويظهر ضوءها للملاحظين بتردد 5.6×10^{14} Hz. كم يبلغ تردد الضوء المنبعث؟
 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. إنَّ الاستضاءة الناتجة عن مصباح قدرته 60.0 W على بُعد 3.0 m قدرها 9.35 lx. ما المقدار الكلي لتدفق الضوء من المصباح؟
 A. 8.3×10^{22} lm C. 1.2×10^2 lm
 B. 7.4×10^{21} lm D. 1.1×10^3 lm
4. يستغرق ضوء الشمس نحو 8.0 min ليصل إلى الأرض. كم تبعد الشمس عن الأرض تقريباً؟
 A. 2.4×10^9 m C. 1.4×10^8 km
 B. 1.4×10^{10} m D. 2.4×10^9 km
5. ما المقصود بالعبارة: اللون مطروح من الضوء؟
 A. إضافة الضوء الأخضر والأحمر والأزرق تنتج الضوء الأبيض.
 B. الفوسفور المثار الذي يحتوي على إلكترونات في التلفزيون ينتج اللون.
 C. بتغيير لون الطلاء من خلال طرح ألوان معينة، مثل إنتاج الطلاء الأزرق من الأخضر بإزالة اللون الأصفر.
 D. اللون الذي يظهر فيه الجسم ناتج من امتصاص المادة لأطوال موجية معينة من الضوء وعكس باقي الأطوال الموجية.

6. ما تردد ضوء طوله الموجي في الفراغ 404 nm؟
 A. 2.48×10^{23} Hz C. 2.48×10^6 Hz
 B. 7.43×10^5 Hz D. 7.43×10^{14} Hz

7. أي العبارات الآتية ليس صحيحاً لألوان الضوء؟

- الأحمر مع الأخضر ينتج الأصفر.
- الأحمر مع الأصفر ينتج الأرجواني.
- الأزرق مع الأخضر ينتج السماوي.
- الأزرق مع الأصفر ينتج الأبيض.

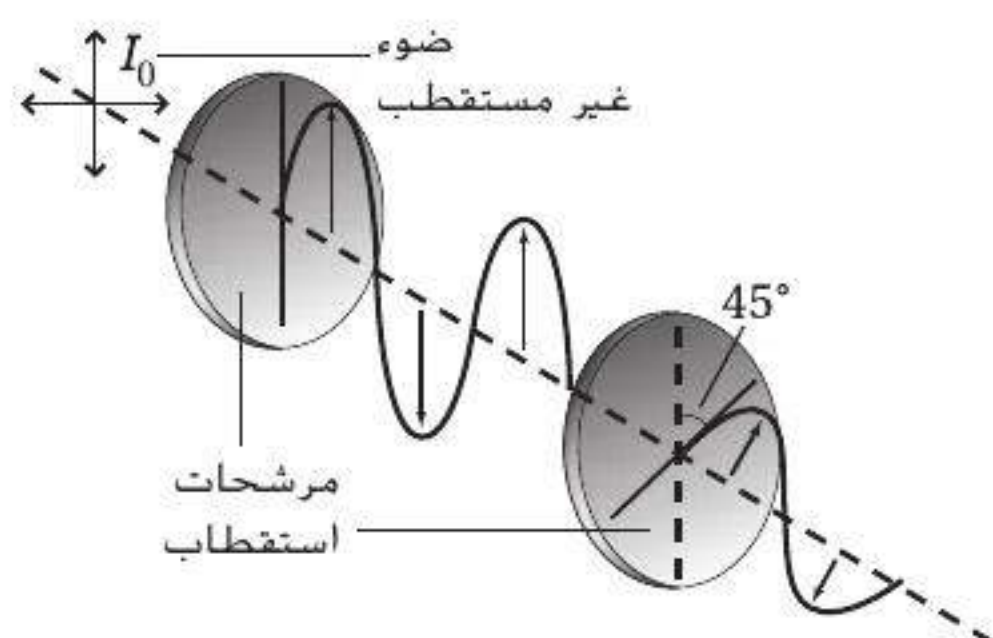
8. تبلغ استضاءة ضوء الشمس المباشر على الأرض نحو 1×10^5 lx. تبلغ شدة الضوء على مسرح في اتجاه معين 5×10^6 cd. عند أي مسافة من المسرح يشاهد عدد من الجمهور استضاءة مساوية لضوء الشمس؟

- 1.4×10^{-1} m C. 10 m
- 7 m D. 5×10^1 m

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

9. ينبعث من جسم سماوي يتضمن عنصراً معلوماً ضوء بطول موجي قدره 525 nm. ويبلغ الطول الموجي الملاحظ للخط الطيفي لهذا العنصر 473 nm. هل الجسم يتقرب أم يبتعد، وبأي سرعة؟

10. يسقط ضوء غير مستقطب تبلغ شدته I_0 على مرشح استقطاب، ويسقط الضوء الناتج على مرشح استقطاب ثانٍ، كما هو موضح في الشكل. ما شدة الضوء الناتج من مرشح الاستقطاب الثاني؟



الانعكاس والمرايا

الفكرة الرئيسية تعكس كل الأسطح الضوء، إلا أن الأسطح الملساء تكوّن صورًا للأجسام.

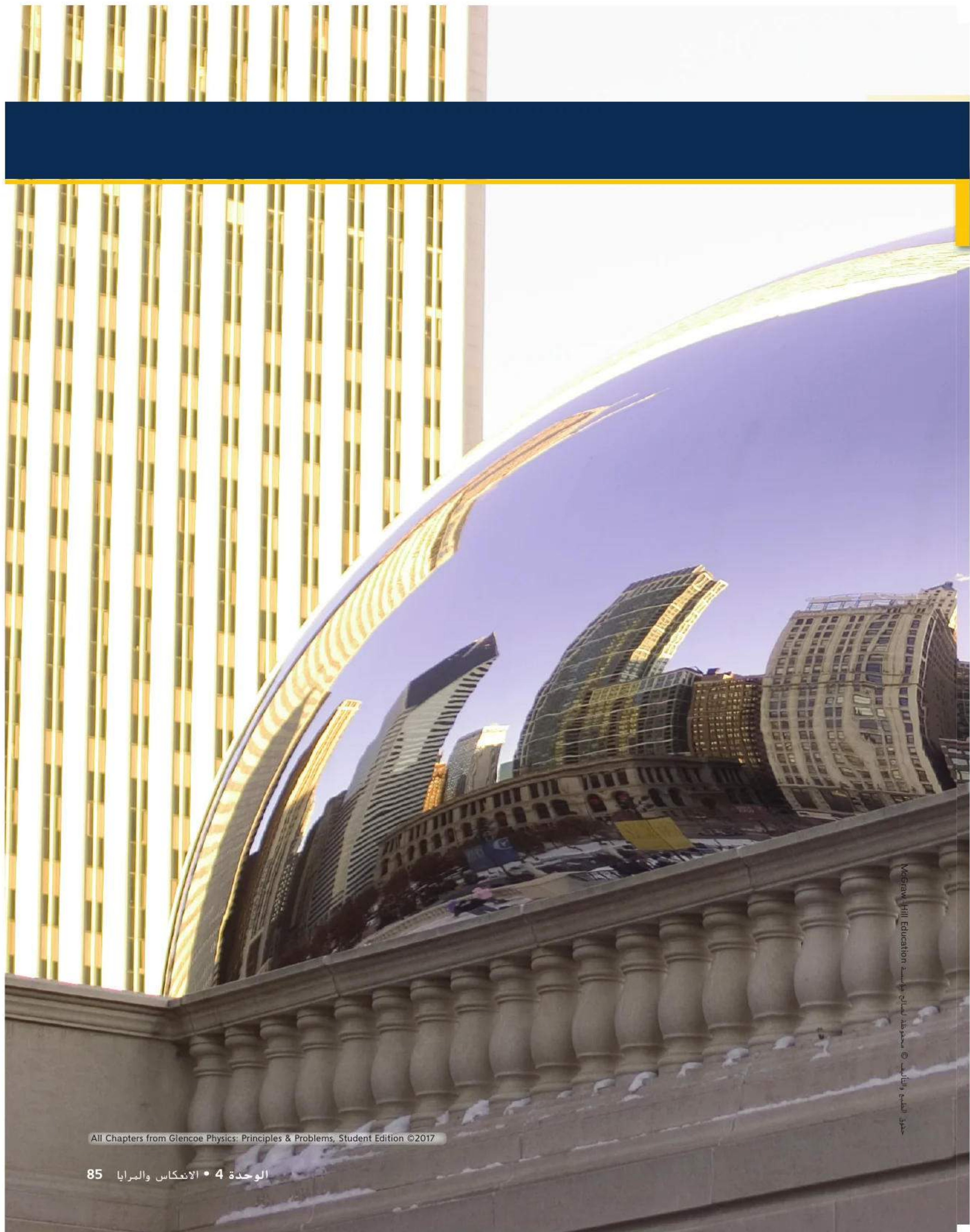
الأقسام

1 المرايا المستوية

2 المرايا الكروية

التجربة الاستهلالية

الصور المنعكسة من المرايا
تحت أي ظروف تعكس المرآة صورة
واضحة لجسم ما على الشاشة؟



المرايا المستوية

القسم 1

الفيزياء
في
حياتك
.....

عندما تفكر في الانعكاسات، فإن المرايا أول شيء يخطر في ذهنك على الأرجح. تُصنع المرايا عادةً من الزجاج المدعوم بطبقة رقيقة من الألمنيوم. كما تشاهد نفسك في المرآة، فإنك قد ترى نفسك أيضًا في النوافذ والماء الهادئ والفلات البراقة.

الصور المنعكسة

شاهد الناس انعكاس وجوههم في ماء البحيرات والبرك الهادئة منذ آلاف السنين. ولا يكون هذا الانعكاس دائمًا واضحًا، انظر الشكل 1. فأحيانًا تتسبب الرياح والقوارب المارة في الماء بإحداث موجات صغيرة في الماء، ما يحول دون تكون انعكاس واضح للضوء. منذ ما يقارب 4000 عام، فهم المصريون أنّ الانعكاس يتطلب سطحًا مصقولاً كما في برك الماء الهادئة، لذا استخدموا مرايا فلزية مصقولة لرؤية صورهم. في القرن السادس عشر ابتكر الحرفيون في مدينة البندقية المرايا، وذلك بوضع لوح فلزي رقيق على أحد أوجه قطعة مستوية من الزجاج. ولم يكن بالإمكان رؤية الصور بوضوح حتى العام 1857. عندما اكتشف العالم الفرنسي "جان فوكو" طريقة لطلي الزجاج بالفضة. وتصنع المرايا الحديثة بدقة متناهية لكي يكون لها مقدرة كبيرة على عكس الضوء، وذلك بتبخير الألمنيوم أو الفضة على زجاج مصقول. وأصبحت من المكونات الرئيسية لبعض الأجهزة البصرية، كالليزر والتلسكوب. إلا أن المبادئ الفيزيائية نفسها تُطبق للحصول على الصور من سطح ماء البرك الهادئة، والمرآة المبتكرة في القرن السادس عشر، والمرآة الصغيرة الموجودة داخل أجهزة الليزر الحديثة.

الشكل 1 تُظهر الاضطرابات الموجودة على سطح البركة أو البحيرة صورة منعكسة مشوهة.



الفكرة الرئيسية

زاوية سقوط الشعاع الضوئي تساوي زاوية انعكاسه.

الأسئلة الرئيسية

- ماذا يقصد بقانون الانعكاس؟
- ما وجه الاختلاف بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم؟
- كيف يمكن تحديد أماكن الصور التي تتكوّن في المرايا المستوية؟

مراجعة المفردات

العمود المقام normal: مستقيم متعامد على حافة المرآة أو سطحها

مفردات جديدة

انعكاس منتظم

specular reflection

انعكاس غير منتظم

diffuse reflection

plane mirror

مرآة مستوية

object

جسم

image

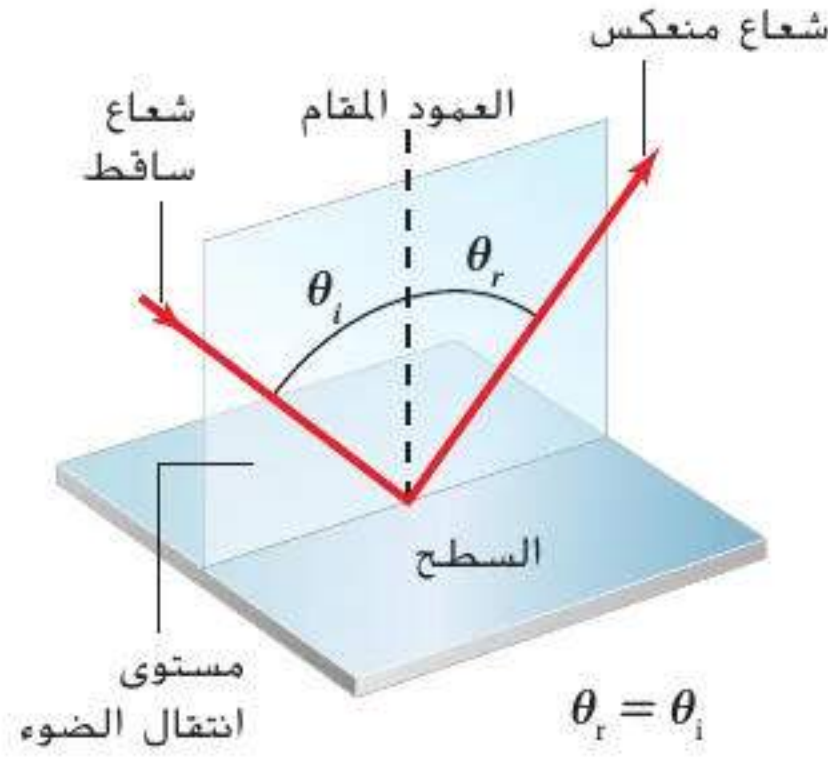
صورة

virtual image

صورة خيالية



قانون الانعكاس



الشكل 2 تكون زاوية انعكاس الشعاع الضوئي تساوي زاوية سقوطه ويقعان في المستوى نفسه.

دلالة الألوان

أشعة الضوء ← حمر ← حمر

لكي تفهم طريقة عمل المرايا، عليك أن تفهم ماهية الانعكاس أولاً. ماذا يحدث للضوء الساقط على الكتاب؟ إن كنت تمسك بكتاب ووجهته إلى مسار الضوء، فستلاحظ أن الضوء لن يخترق الكتاب. عرفت سابقاً أن مثل هذه الأجسام يُسمّى بالأجسام المعتمة التي لا ينفذ منها الضوء. حيث يعكس الكتاب جزءاً من الضوء الساقط عليه، ويمتص جزءاً منه. ويتحول هذا الضوء الممتص إلى طاقة حرارية ترفع من درجة حرارة الكتاب. ويعتمد سلوك الضوء على السطح العاكس، وزاوية سقوط الضوء عليه. تدفع كرة السلة على الأرض، سيلاحظ المراقب من الأعلى أن الكرة ترتد في خط مستقيم إلى لاعب آخر. تذكر من دراستك عن الموجات أنه عندما تنتشر موجة في بُعدين وتصلبم بحاجز فإن زاوية سقوطها عليه تساوي زاوية انعكاسها عنه. وينطبق ذلك أيضاً على موجات الضوء.

ينعكس الضوء كما حدث في موجات الماء وكرة السلة. يوضح الشكل 2 شعاعاً من الضوء ساقطاً على سطح عاكس مستوٍ، وهناك خط وهمي عمودي على السطح. يسمّى العمود المقام. ويقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس. بالرغم من أن الضوء ينتشر في ثلاثة أبعاد، فإن انعكاسه يكون في مستوى واحد. أي بُعدين. وتُسمّى العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانعكاس بقانون الانعكاس.

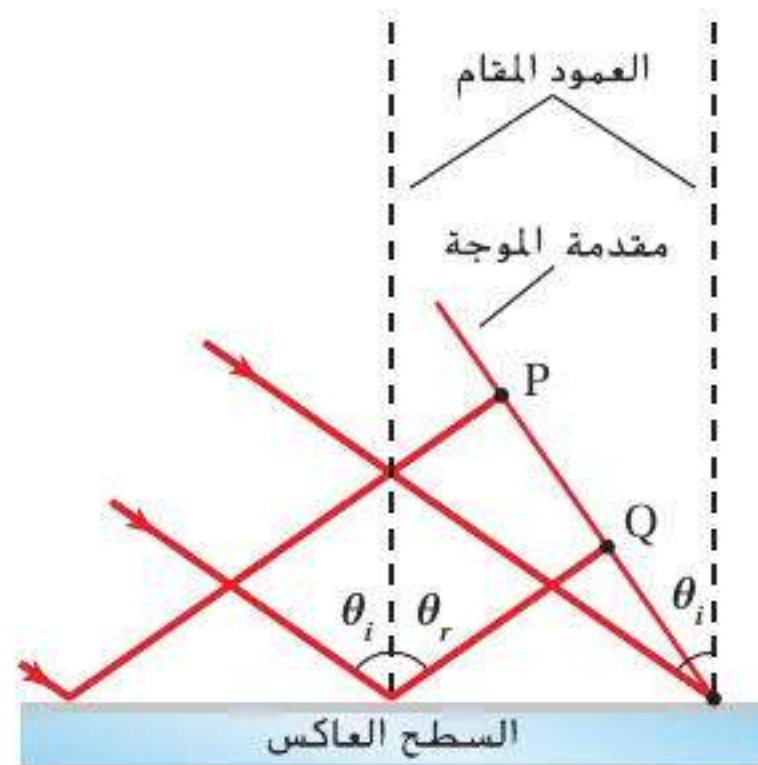
قانون الانعكاس

الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط. تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام نفسه.

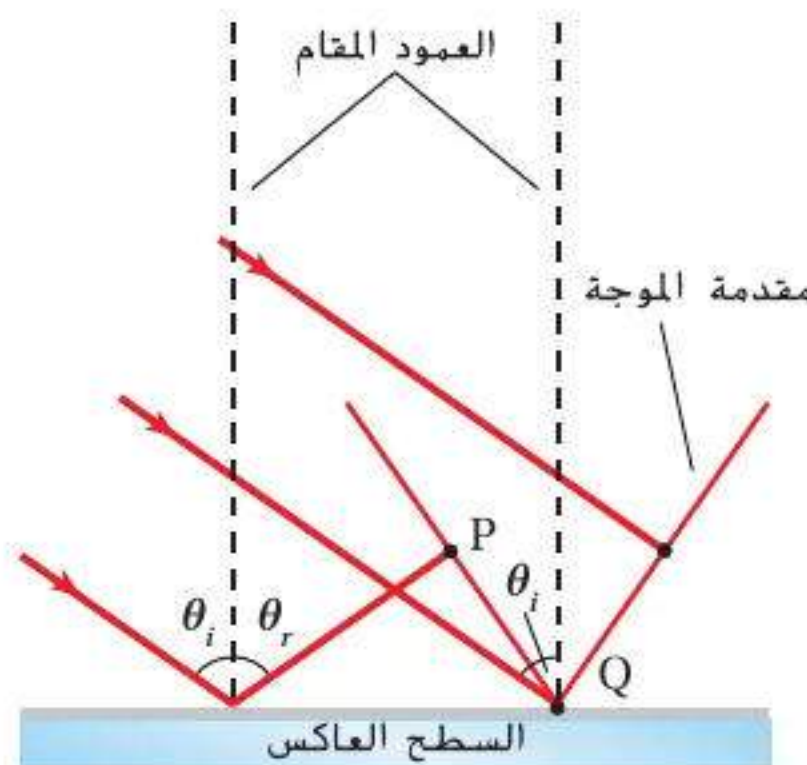
$$\theta_r = \theta_i$$

النموذج الموجي يمكننا تفسير هذا القانون من خلال النموذج الموجي للضوء. يوضح الشكل 3 مقدمة موجة ضوء تقترب من سطح عاكس. فعندما تصل كل نقطة على امتداد مقدمة الموجة إلى السطح العاكس تنعكس بزاوية مماثلة لزاوية انعكاس النقطة السابقة لها. وكون النقاط جميعها تنتشر بالسرعة نفسها، فإنها تقطع المسافة الكلية نفسها خلال الزمن نفسه. لذا تنعكس مقدمة الموجة كاملة عن السطح بزاوية مساوية لزاوية سقوطها. لاحظ أن الطول الموجي للضوء ليس له تأثير في ذلك، فكل من الضوء الأحمر والأخضر والأزرق يتبع قانون الانعكاس هذا.

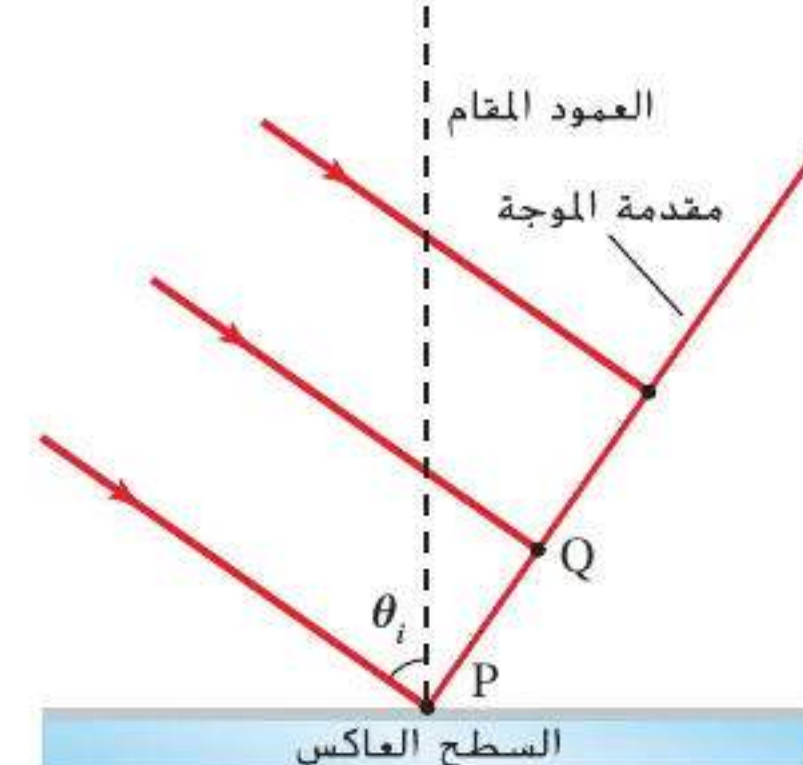
الشكل 3 تنعكس مقدمة الموجة كاملة عن السطح بالزاوية نفسها. وتساوي زاوية السقوط زاوية الانعكاس.



تنعكس كل نقاط مقدمة الموجة بالزاوية نفسها.

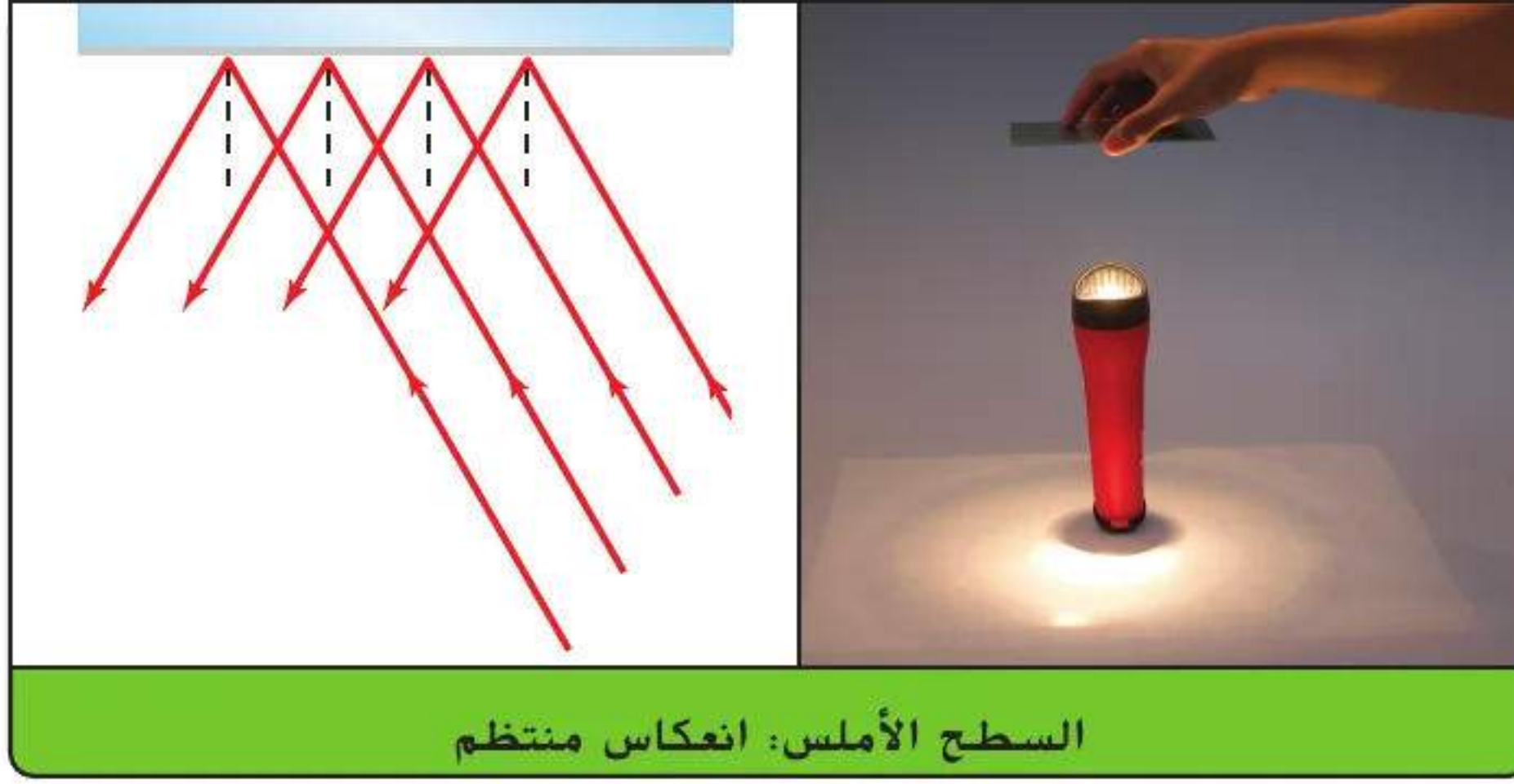


تشكل مقدمة الموجة المنعكسة عندما تنعكس أشعة الضوء عن السطح.

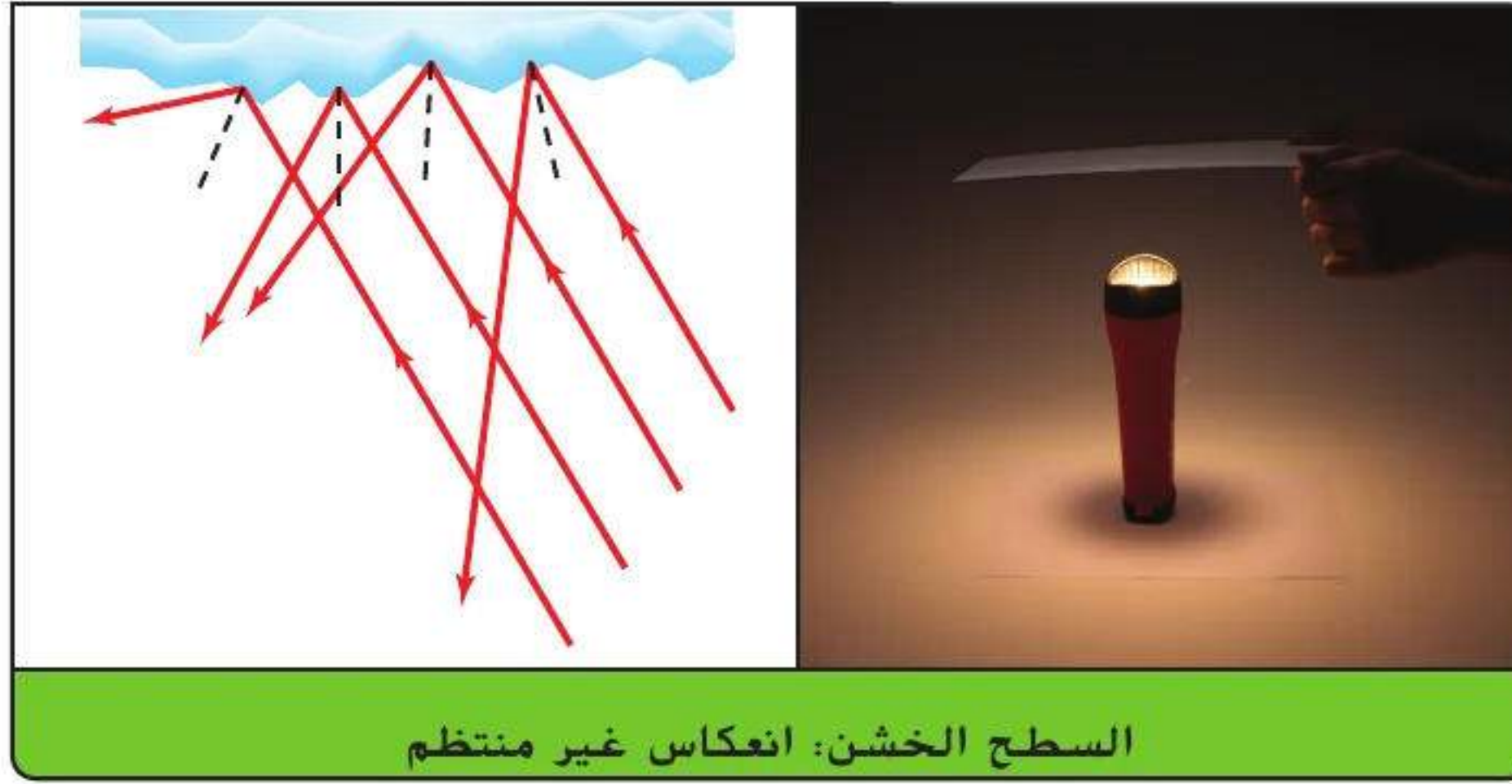


تصلبم النقطة P الموجودة في مقدمة الموجة في السطح أولاً.

الشكل 4 لاحظ صورة المصباح الكهربائي المنعكسة على الطاولة بواسطة مرآة ملساء. بينما يعكس سطح الورقة صورة غير واضحة لضوء المصباح.



السطح الأملس: انعكاس منتظم



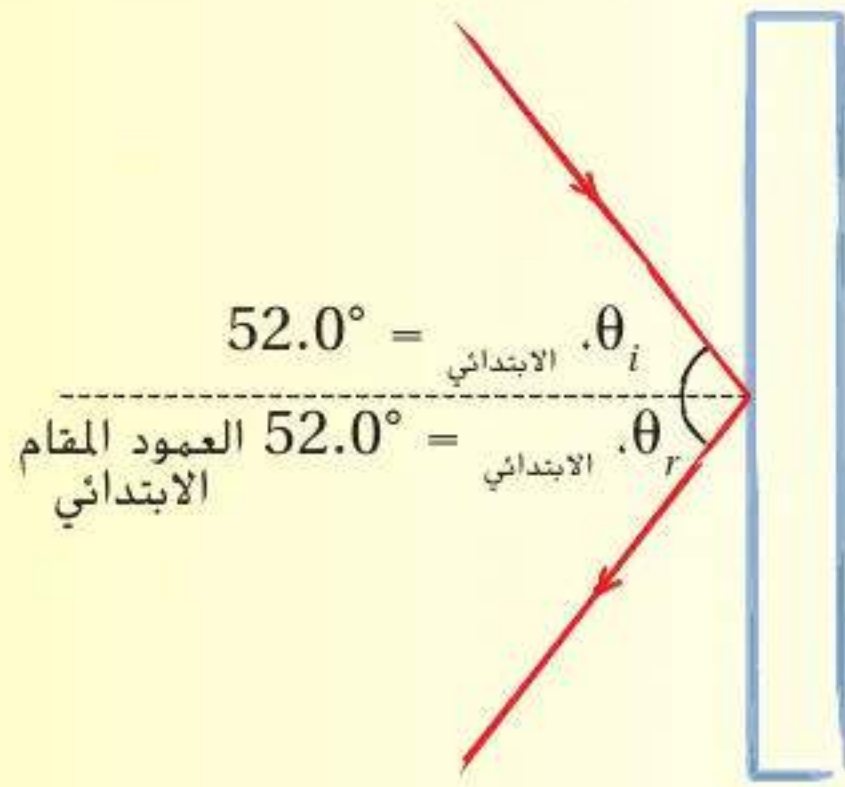
السطح الخشن: انعكاس غير منتظم

الأسطح الملساء تأمل أشعة الضوء الموضحة في الشكل 4. لاحظ أن جميعها انعكست عن السطح بصورة متوازية، يحدث هذا فقط إن كان السطح العاكس أملس، وفق مقياس الطول الموجي للضوء. وتسبب الأسطح الملساء أو المصقولة كالمرآة **انعكاسًا منتظمًا**. أي تنعكس الأشعة الضوئية الساقطة بشكل متوازٍ في اتجاه متوازٍ.

الأسطح الخشنة ماذا يحدث عندما يصطدم الضوء بورقة؟ قد تبدو هذه الورقة ملساء، لكن وفقًا لمقياس الطول الموجي الضوئي، تكون الورقة في الواقع خشنة تمامًا. هل ينعكس الضوء؟ كيف يمكنك إثبات ذلك؟ يبين الشكل 4 أشعة الضوء منعكسة عن الورقة، إذ سقطت هذه الأشعة جميعها متوازية على سطح الورقة ولكنها انعكست غير متوازية. ويسمى تشتت الضوء عن سطح خشن **انعكاسًا غير منتظمًا**. ويساعدك هذا النوع من الانعكاس في قراءة الورقة من زوايا مختلفة.

الجدير بالذكر أنّ قانون الانعكاس ينطبق على كل من الأسطح الملساء والخشنة. ولكن في حالة السطح الخشن تكون زاوية سقوط كل شعاع مساوية لزاوية انعكاسه، وتكون الأعمدة المقامة على السطح عند مواقع سقوط الأشعة غير متوازية، لذا لا تكون الأشعة المنعكسة متوازية. لأن السطح الخشن سبب عدم توازيها. وبالتالي لا يمكن في هذه الحالة رؤية حزمة الضوء المنعكسة، لأن الأشعة الضوئية المنعكسة تشتتت في اتجاهات مختلفة. أما في الانعكاس المنتظم، كما هو الحال في المرآة، فيمكنك رؤية وجهك. وبغض النظر عن مقدار الضوء المنعكس عن الورقة أو الحائط، فلا يمكن استعمال أي منهما كمرآة، لأنهما يشتتان الأشعة المنعكسة.

تغيير زاوية السقوط اصطدم شعاع ضوئي بمرآة مستوية بزاوية مقدارها 52.0° بالنسبة للعمود المقام. إذا أدركت المرآة بزاوية مقدارها 35.0° حول النقطة التي اصطدم عندها الشعاع بالمرآة بحيث قلت زاوية سقوط شعاع الضوء، وكان محور الدوران متعامداً مع الشعاع الساقط والشعاع المنعكس، ما مقدار زاوية دوران الشعاع المنعكس؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ضع رسماً تخطيطياً للموقف قبل دوران المرآة.
- ارسم رسماً تخطيطياً مطبقاً زاوية الدوران على المرآة.
- ارسم رسماً تخطيطياً ثالثاً للأشعة المنعكسة.

المجهول	المعلوم
$\Delta\theta_r = ?$	$\theta_i = 52.0^\circ$ الابتدائي
	$\Delta\theta = 35.0^\circ$ مرآة

2 حساب المجهول

لكي تقل زاوية السقوط، أدر في اتجاه عقارب الساعة.

$$\theta_i = \theta_r - \Delta\theta$$

$$52.0^\circ = \theta_i - \Delta\theta \quad \text{عوض مستخدماً } \theta_i = 52.0^\circ$$

$$35.0^\circ = \Delta\theta$$

17.0° في اتجاه عقارب الساعة من العمود المقام الجديد

تطبيق قانون الانعكاس.

$$\theta_i = \theta_r$$

17.0° في عكس اتجاه عقارب الساعة من العمود المقام الجديد

$$17.0^\circ = \theta_i$$

استخدم الرسومات التخطيطية لتساعدك في إيجاد الزاوية من خلال دوران الشعاع المنعكس.

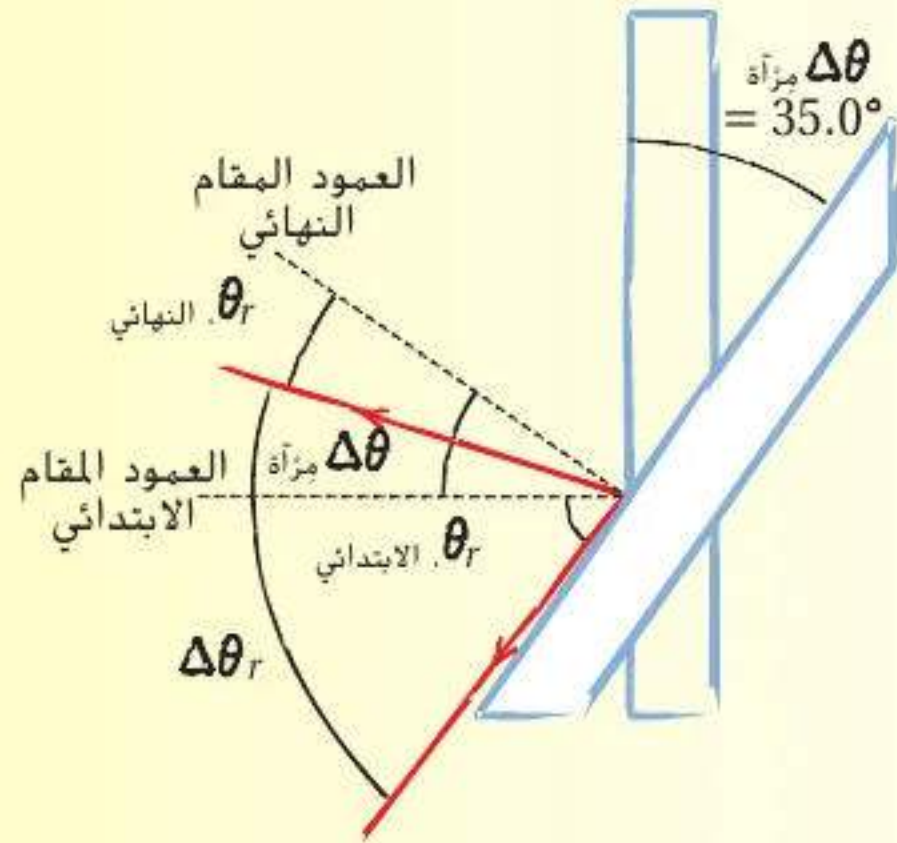
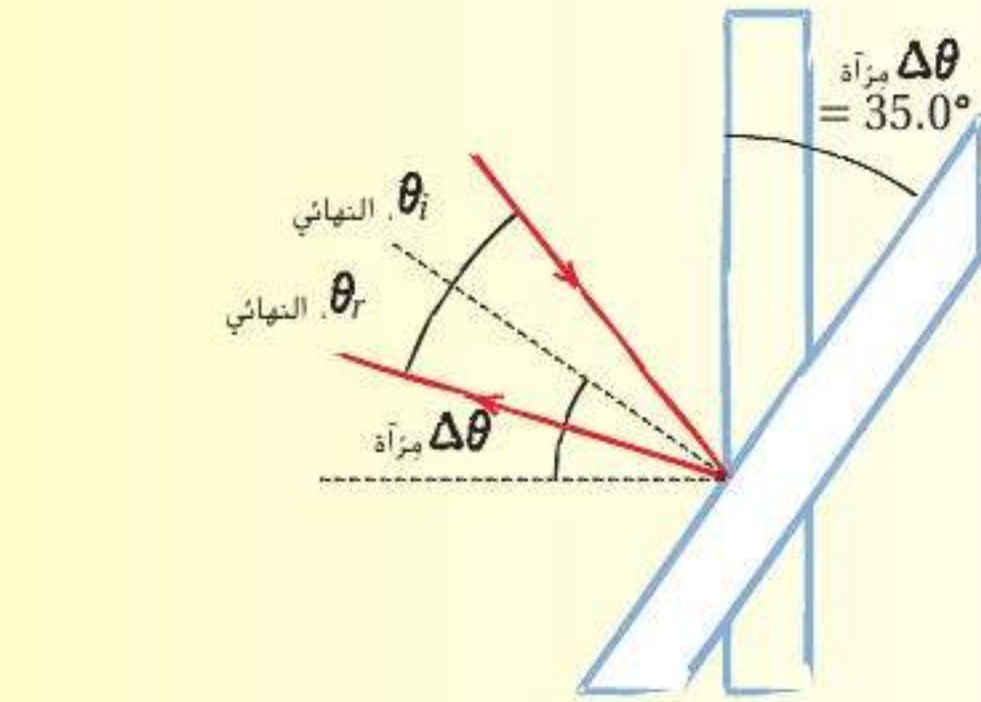
$$\theta_r = \theta_i + \Delta\theta - \Delta\theta_r$$

$$52.0^\circ + 35.0^\circ - 17.0^\circ =$$

70.0° في اتجاه عقارب الساعة من الزاوية الأصلية

3 تقييم الإجابة

هل القيمة واقعية؟ توضّح المقارنة بين الرسم النهائي والرسم الأولي أنّ الزاوية التي يصنعها شعاع الضوء مع العمود المقام تقل عندما تدور المرآة في اتجاه عقارب الساعة. وبالتالي من المنطقي أن يدور أيضاً الشعاع المنعكس في اتجاه عقارب الساعة بزاوية أكبر مرتين من زاوية دوران المرآة.



تطبيقات

4. سقط شعاع ضوء ليزر على مرآة مستوية بزاوية مقدارها 38° بالنسبة للعمود المقام. إن زادت زاوية السقوط بمقدار 13° ، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟
5. وضعت مرآتان مستويتان إحداها عمودية على الأخرى. فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداها بزاوية مقدارها 60° بالنسبة للعمود المقام وانعكس باتجاه المرآة الثانية. فما مقدار زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الثانية؟
6. **تحفيز** إذا طُلب إليك تصميم جهاز عاكس من مرآتين مستويتين، بحيث يعكس أشعة ليزر بزاوية مقدارها 180° بغض النظر عن زاوية السقوط. ماذا ينبغي أن تكون الزاوية بين المرآتين؟

1. فسّر سبب تغير انعكاس الضوء على الزجاج الخشن من انعكاس غير منتظم إلى انعكاس منتظم إذا شكّب عليه ماء.
2. كم تبلغ زاوية سقوط شعاع الضوء المنعكس عن مرآة مستوية بزاوية مقدارها 35° بالنسبة للعمود المقام؟
3. افترض أنّ زاوية سقوط شعاع ضوئي تساوي 42° ، فما مقدار كل مما يلي؟
 - a. زاوية الانعكاس
 - b. الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع المرآة
 - c. الزاوية الواقعة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس

الأجسام والصور في المرايا المستوية

عندما ننظر إلى مرآة مستوية، فإنك تشاهد صورتك فيها. **المرآة المستوية** هي عبارة عن سطح مستو وأملس ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. ولفهم كيف تكوّن صورتك التي شاهدها في المرآة ينبغي أن تعرف مصدر أشعة الضوء وكيف انعكست. لقد استخدمت كلمة جسم في الوحدة السابقة لتشير إلى مصدر الضوء. أما في هذا القسم، فستستخدم بالطريقة نفسها ولكن بصورة محددة أكثر. **فالجسم** هو مصدر الأشعة التي تنعكس عن سطح المرآة. ويمكن أن يكون الجسم مصدرًا مضيئًا مثل المصباح، أو مصدرًا مستضيئًا مثل أحمد، كما أن جميع مصادر الضوء التي ستعرفها في هذا القسم ينبعث منها ضوء وينتشر في جميع الاتجاهات، وعند انعكاس أشعة الضوء عن المرآة الملساء تتكون صورة مرئية، كما في الشكل 5.

الطائر الذي تشاهده في الشكل 6، عبارة عن جسم، وينعكس الضوء عن جسم الطائر انعكاسًا غير منتظم. انظر إلى نقطة محددة في جسم الطائر، ماذا يحدث للضوء المنعكس عنها؟ يسقط الضوء من الطائر على المرآة وينعكس. ماذا ستشاهد مريم؟ سيصل الضوء المنعكس إلى عينيها، وسيعالج الدماغ هذه المعلومات كما لو كانت هذه الأشعة سلكت مسارًا مستقيمًا، وسيظهر له الضوء كما في الخطوط المتقطعة الموضحة في الشكل، أي كأنه قادم من نقطة خلف المرآة، وهي تمثل صورة النقطة. أنت نظرت إلى نقطة واحدة على جسم الطائر، لكن مريم في الشكل 6 سترى أشعة الضوء القادمة من جسم الطائر بالطريقة نفسها، وبذلك تتكون **صورة** الطائر من اتحاد صور النقاط الناتجة من الأشعة الضوئية المنعكسة، وتعد هذه الصورة **صورة خيالية**. ويتكون هذا النوع من الصور من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وتقع الصور الخيالية دائمًا على الجانب الآخر من المرآة، وهذا يعني أن صور الأجسام الحقيقية المتكونة في المرايا المستوية هي دائمًا خيالية، لأنه لا يمكن جمعها على حاجز.

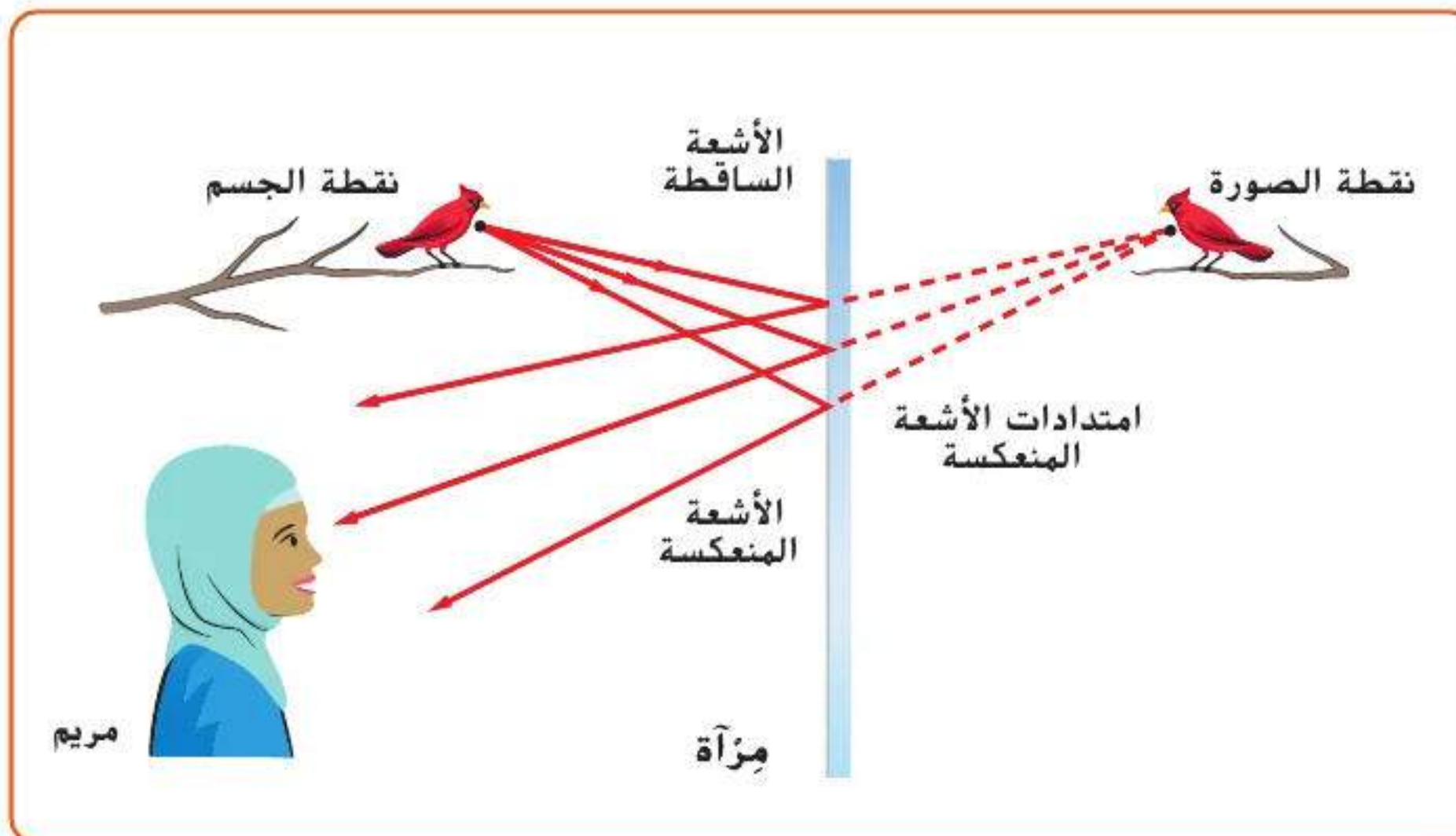
خصائص الصور في المرايا المستوية

عندما ننظر إلى نفسك في المرآة، ستظهر صورتك كأنها خلف المرآة وعلى بعد يساوي بعدك من المرآة. كيف نتحقق من ذلك؟ ضع مسطرة مترية بينك وبين المرآة، أين ستلامس المسطرة الصورة؟ وستلاحظ أيضًا أن الصورة معتدلة، وأنها مقلوبة جانبياً، حجمها يساوي حجم جسمك. وهذا أساس المقولة "صورة طبق الأصل".



الشكل 5 الضوء المنبعث من المصباح ينعكس عن جسم أحمد باتجاه المرآة، وبعد هذا انعكاسًا غير منتظم. وتنعكس المرآة أشعة الضوء إلى عيني أحمد، ما يجعل أحمد يشاهد صورته، وانعكاس الضوء عن المرآة بعد انعكاسًا منتظمًا.

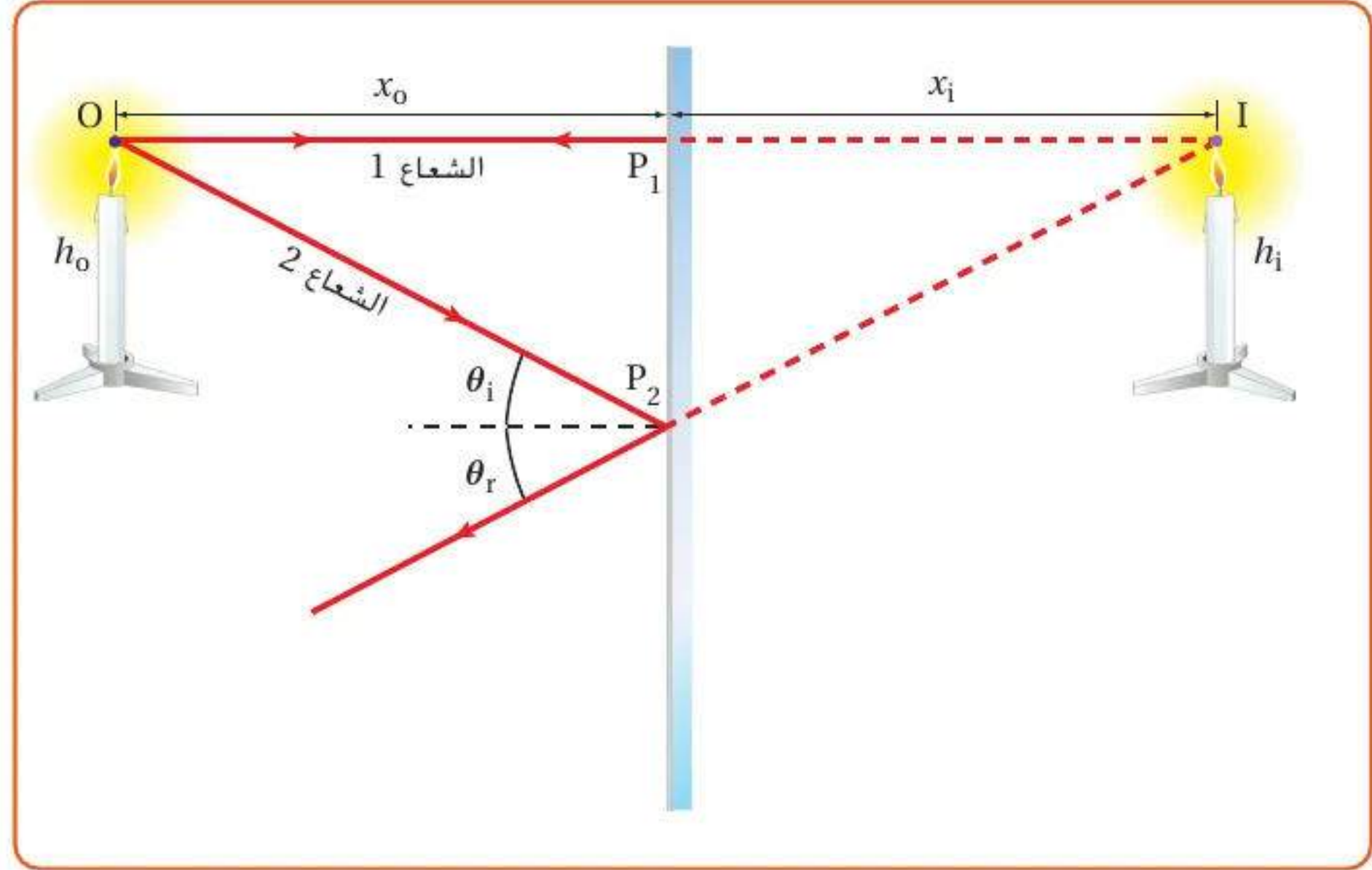
صف كيف يكون الولد مصدرًا مستضاءً.



الشكل 6 ستتشتت الأشعة المنعكسة عن الطائر في جميع الاتجاهات، وكما عرفت القليل منها يتجه نحو المرآة، وتتكون الصورة في مكان التقاء امتدادات الأشعة الضوئية القادمة من جسم الطائر.

الشكل 7 تصطدم أشعة الضوء المنبعثة من الشمعة (يظهر شعاعان) بالمرآة. ويصل بعض هذه الأشعة إلى عيني المراقب. تُرسم امتدادات الأشعة المنعكسة الرؤية (الخطوط المتقطعة) من مكان انعكاس الأشعة عن المرآة إلى مكان تجمعها. وتقع الصورة في مكان تجمع امتدادات الأشعة المنعكسة.

اشرح لماذا $x_i = -x_o$.



مختبر الفيزياء

موقع الصورة التي تعكسها المرآة

هل يمكنك تقدير موقع صورة ما من مرآة مستوية؟

القليل من الوقت للتفكير

المختبر الجانبي كيف يمكنك إيجاد مسار أشعة الضوء الساقطة على سطح عاكس، مثل زجاج أو مرآة؟

موقع الصورة وطولها يوضح النموذج الهندسي في الشكل 7 سبب مساواة بُعد الجسم من المرآة وبُعد الصورة منها. ولماذا يتساوى طول الجسم مع طول صورته. يمكننا توضيح ذلك برسم شعاعين من النقطة O يسقطان على المرآة عند النقطتين P_1 و P_2 على الترتيب، وينعكسان وفق قانون الانعكاس. ويلتقي امتداد انعكاسهما (الخطوط المتقطعة) خلف المرآة في النقطة التي تمثل صورة النقطة O. إذ إنّ الشعاع الضوئي 1 يسقط على المرآة بزاوية سقوط مقدارها 0° فيرتد على نفسه، أي عمودياً على سطح المرآة. أما الشعاع الضوئي 2 فيسقط على المرآة وينعكس عنها بزاوية السقوط نفسها. لذا يصنع الامتداد مع المرآة زاوية مساوية للزاوية التي يصنعها الشعاع الأصلي مع المرآة. يوضح هذا النموذج الهندسي أنّ القطعتين المستقيمتين OP_1 و IP_1 عبارة عن ضلعين متقابلين للمثلثين المتطابقين $\triangle OP_1P_2$ و $\triangle IP_1P_2$. وتمثل (x_o) بُعد الجسم من المرآة، والذي يساوي طول القطعة OP_1 . أما (x_i) تمثل بُعد الصورة من المرآة وتساوي طول القطعة IP_1 . وباستخدام الافتراض الاصطلاحي، حيث تشير الإشارة السالبة إلى أن الصورة خيالية، فإن المعادلة أدناه تكون صحيحة.

موقع الصورة في المرآة المستوية

بُعد الجسم من المرآة يساوي سالب بُعد الصورة من المرآة، وإشارة السالب تشير إلى أن الصورة خيالية.

$$x_i = -x_o$$

تجربة مصفرة

موقع الصورة الافتراضية

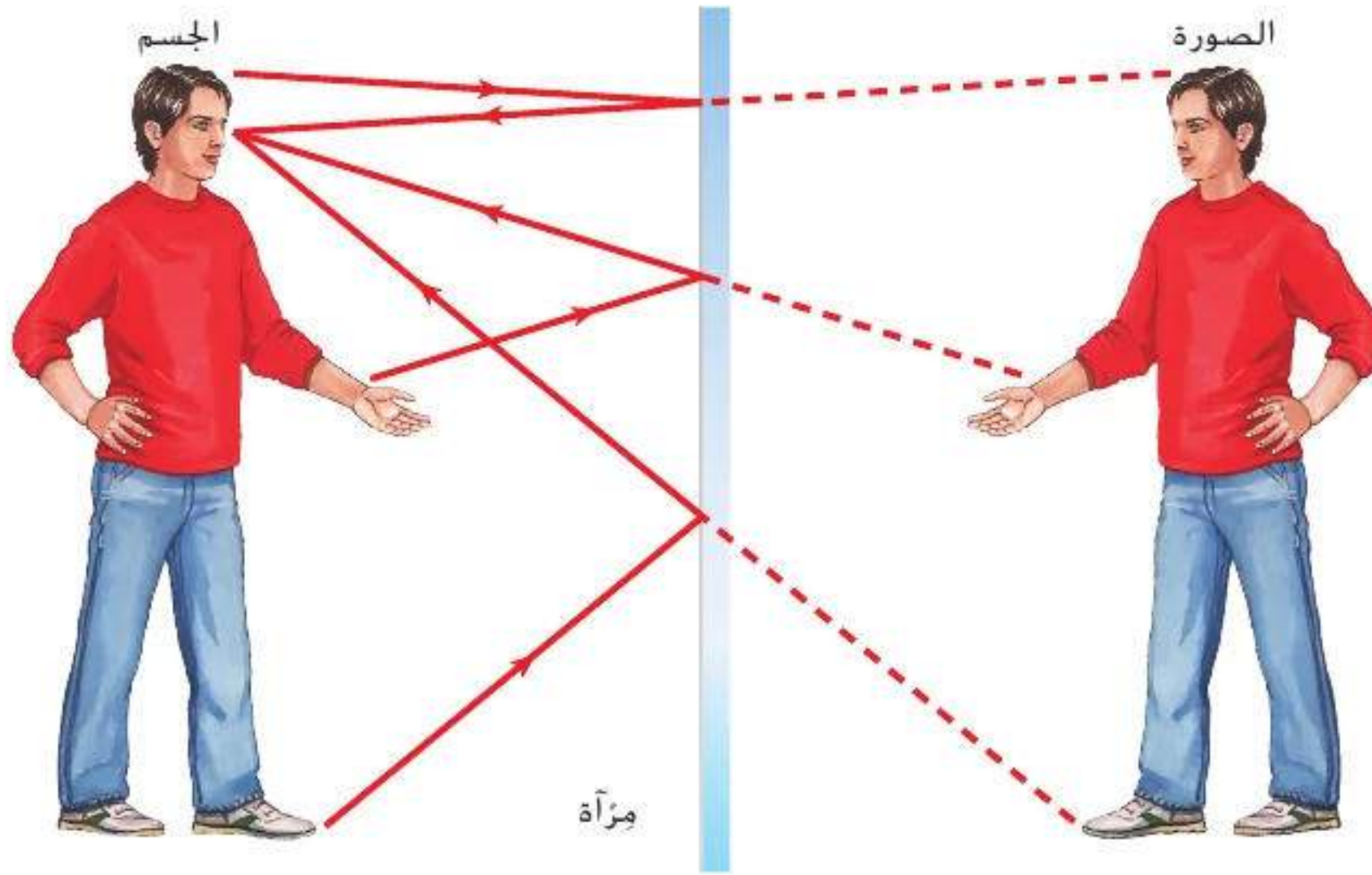
هل يمكنك أن تحدد صورة خيالية باستخدام كاميرا رقمية؟

يمكن إيجاد طول الصورة برسم شعاعين ضوئيين من الجسم. وكما يظهر في الشكل 7، يلتقي امتداد الشعاعين المنبعثين من قاعدة الشمعة في نقطة خلف المرآة، حيث تشكل صورة القاعدة. وبحسب قانون الانعكاس وتطابق المثلثات، سيكون طول الجسم (h_o) مساوياً لطول الصورة (h_i) .

طول الصورة في المرآة المستوية

يكون طول الصورة مساوياً لطول الجسم في المرآة المستوية.

$$h_i = h_o$$



الشكل 8 عند النظر في مرآة، يكون ارتفاعك هو نفسه والمسافة التي تبعدك من المرآة هي نفسها. إلا أن هناك اختلافًا، وهو أنك تواجه الاتجاه المعاكس.

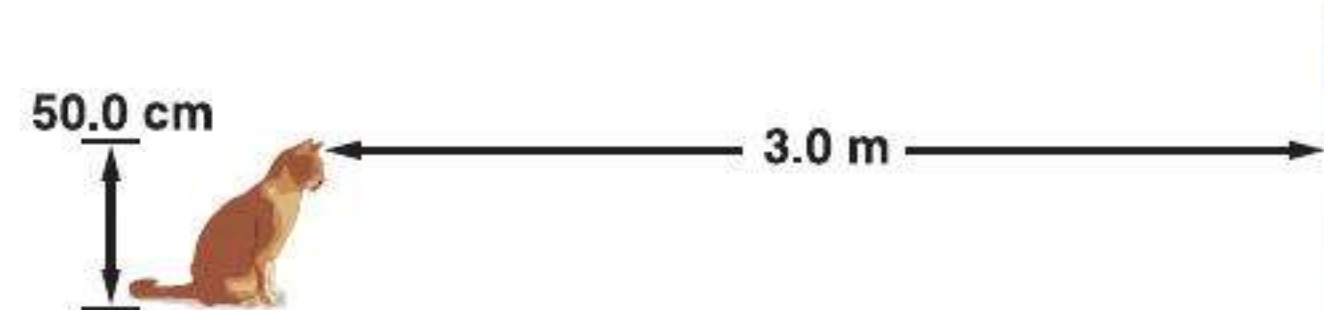
اتجاه الصورة تظهر في المرآة المستوية صورة للجسم في اتجاه الجسم نفسه، أي معتدلة. وإن كنت واقفًا على قدميك، فستظهر في المرآة المستوية صورة لك وأنت واقف على قدميك. وإن كنت واقفًا على يديك ورأسك للأسفل، فستظهر بهذه الصورة في المرآة.

انظر إلى خطوط الأشعة وامتداداتها المبينة في **الشكل 8**. فالمرآة تعكس صورة للجسم وتبدو وكأنها خلفها، مثلما يبدو الشاب وجهًا لوجه مع صورته. فعندما يرفع الشاب يده اليمنى يبدو الأمر في المرآة كأنه يرفع يده اليسرى، وهذا يعني أن المرآة لا تعكس الجهة اليمنى واليسرى للجسم بصورة حقيقية. فالمرآة المبينة في **الشكل 8** تعكس صورة الشخص بحيث تظهر كأنها تقابله في الجهة المقابلة.

تأمل في صورة الجبل في **الشكل 1**. يمكن وصفها بأنها مقلوبة رأسياً، لكنها في الواقع عبارة عن انعكاس من الأمام إلى الخلف لمنظر الجبل الفعلي. فلأن ماء البحيرة يعمل كأنه مرآة أفقية بدلاً من رأسية، تبدو الصورة من منظور كأنها مقلوبة رأسياً. اقلب **الشكل 8** بزاوية مقدارها 90° في اتجاه عكس عقارب الساعة، ستلاحظ أن جسم الولد الأصلي اتجه نحو الأسفل بينما صورته اتجهت للأعلى، بالرغم من أن الشيء الوحيد الذي تغير هو منظورك.

القسم 1 مراجعة

7. **الفكرة الأساسية** اصطدم شعاع ضوئي بسطح مستو عاكس بزاوية مقدارها 80° مع العمود المقام. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع سطح المرآة؟
8. **خصائص الصورة** ينظر القط إلى صورته، كما هو موضح في **الشكل 9**. ما موقع الصورة وطولها ونوعها؟
9. **قانون الانعكاس** وضح كيف يطبق قانون الانعكاس على الانعكاس غير المنتظم.
10. **الأسطح العاكسة** صنف كلاً مما يلي كأسطح انعكاس منتظم أو غير منتظم: الورقة والفيلز المصقول وزجاج النافذة والفيلز الخشن وإبريق الحليب البلاستيكي وسطح الماء الراكد والزجاج الخشن.
11. **رسم تخطيطي للصورة** تسير سيارة خلف سيارة أخرى على طريق أفقي. إذا كانت النافذة الخلفية في السيارة الأمامية تميل بزاوية مقدارها 45° على المستوى الأفقي. ارسم رسماً تخطيطياً للأشعة بين موقع الشمس الذي ينبعث منه الضوء لينعكس في عيني سائق السيارة الخلفية.
12. **التفكير الناقد** اشرح كيف يساعدك الانعكاس غير المنتظم للضوء عن جسم ما في رؤية ذلك الجسم من أي زاوية.



الشكل 9

المرايا الكروية

القسم 2

لعلك شاهدت صورتك يومًا في ملعقة فلزية، ووجدت أنها تكون مقلوبة على سطحها المنحني للداخل، بينما تكون معتدلة على سطحها المنحني للخارج. لماذا يحدث ذلك؟

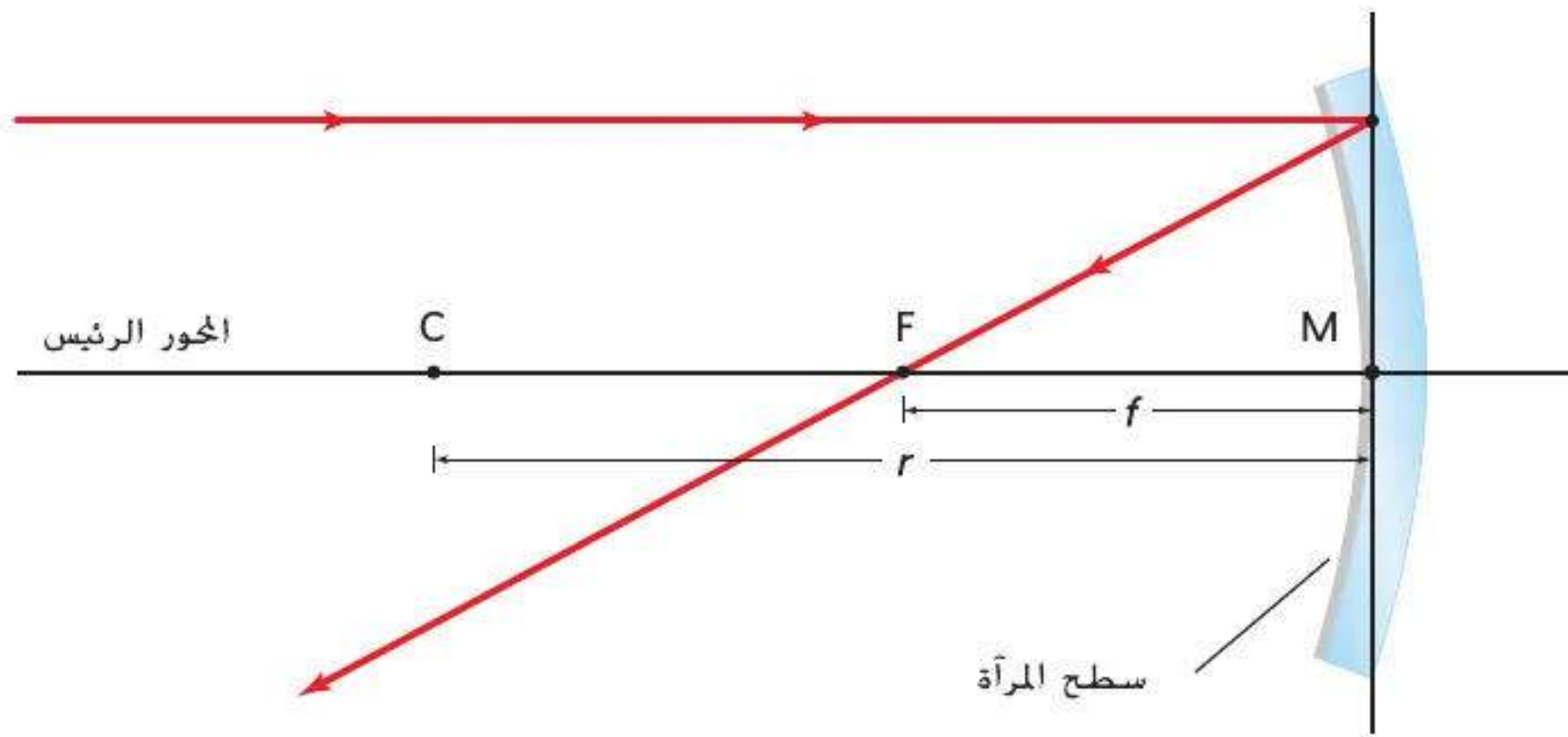
الفيزياء
في
حياتك
.....

خصائص المرايا الكروية

تعمل الملعقة الفلزية كمرآة كروية، وإحدى جهتيها منحنية إلى الداخل والأخرى إلى الخارج. أمسك الملعقة وقربها من وجهك ثم أبعداها عنه، وفي أثناء ذلك انظر إلى صورتك على جهتي الملعقة. قد تبدو صورتك أكبر أو أصغر أو قد تكون حتى معكوسة. تعتمد خصائص المرايا الكروية والصور التي تكونها على شكل المرآة وموقع الجسم.

المرايا المقعرة يعمل السطح الداخلي للملعقة الفلزية اللامعة، وهو السطح الذي يحمل الطعام، كمرآة مقعرة. والمرآة المقعرة، كذلك الموضحة في الشكل 10، هي سطح عاكس منحني إلى الداخل، وحافاته منحنية باتجاه المشاهد. توضع المرايا المقعرة خلف مصابيح الإضاءة في كشافات الضوء وفي الأضواء الأمامية في السيارات. فالمرايا المقعرة تسمح بتركيز الضوء المنبعث من المصباح في بقعة معينة. ما الذي يؤثر في سلوك المرآة المقعرة؟

تعتمد الطريقة التي تعكس بها المرآة المقعرة الضوء على كيفية انحناء المرآة. يوضح الشكل 10 رسمًا تخطيطيًا لمرآة كروية مقعرة، ويشتمل على مسافات ومعلومات مهمة في فهم طريقة تكوّن الصور فيها. تبدو المرآة الكروية المقعرة كما لو كانت جزءًا من كرة مجوفة وسطحها الداخلي عاكس للضوء. ويوجد للمرآة المقعرة مركز التكوّن (C) مشابه للمركز الهندسي لكرة نصف قطرها r . يُطلق على المسافة r في المرايا الكروية، نصف قطر التكوّن. أما الخط المستقيم المتضمن القطعة CM، فيدعى **المحور الأساسي**. وهو خط متعامد مع سطح المرآة، ويقسمها إلى نصفين. الأشعة الضوئية الساقطة بشكل مواز للمحور الأساسي، تنعكس وتتقاطع معه عند نقطة منتصف المسافة ما بين C و M.



الشكل 10 المسافة من M إلى البؤرة (F) تساوي نصف المسافة من M إلى C. وتجميع أشعة الضوء التي تسقط بشكل مواز للمحور الأساسي في البؤرة بعد انعكاسها عن المرآة المقعرة.

الفكرة الرئيسية

يمكن للمرايا الكروية أن تكوّن صورًا حقيقية وصورًا خيالية، كما يمكنها تكبير حجم الصور أو تصغيره.

الأسئلة الرئيسية

- اذكر بعض خواص المرايا المقعرة واستخداماتها.
- كيف تُستخدم الرسومات التخطيطية للأشعة لوصف الصورة التي تكوّنها المرايا الكروية؟
- كيف تُستخدم المرايا المحدبة وتركيبات المرايا؟
- كيف تجري الحسابات المتعلقة بخواص الصور التي تكونها المرايا الكروية؟

مراجعة المفردات

الشعاع ray: خط يوضح اتجاه انتقال الموجة، ويُرسم على الزاوية اليمنى من مقدمة الموجة

مفردات جديدة

مرآة مقعرة	concave mirror
محور أساسي	principal axis
بؤرة	focal point
بعد بؤري	focal length
صورة حقيقية	real image
زيب كروي	spherical aberration
مرآة محدبة	convex mirror
تكبير	magnification

البؤرة ستلاحظ في كثير من الرسومات الواردة في هذا القسم نقطة يرمز إليها بالحرف F . فما هي النقطة F ؟ لكي تجيب عن هذا السؤال، ففكر في ما يحدث عندما تنعكس مرآة مقعرة الضوء القادم من الشمس. نظرًا إلى بُعد الشمس، فإن الأشعة القادمة إلى الأرض منها تكون متوازية تقريبًا. وعندما توجّه المحور الأساسي لمرآة مقعرة نحو الشمس، تنعكس كل الأشعة في نقطة صغيرة جدًا، ويمكن تحديد موقع هذه النقطة عن طريق تقريب وإبعاد ورقة عن المرآة حتى تحصل على أصغر وأوضح نقطة من الضوء. وتُسمّى هذه النقطة **البؤرة**، وهي النقطة التي تتجمع فيها أشعة الضوء الساقطة بموازاة المحور بعد انعكاسها عن المرآة، وهذه هي النقطة F .

يبين الشكل 11 أن الأشعة الضوئية المتوازية للمحور الأساسي بعد انعكاسها عن المرآة تقطع المحور عند النقطة F (البؤرة). لاحظ أن المسافة من M إلى F تساوي نصف المسافة من M إلى C . أما **البعد البؤري** (f) فهو المسافة بين المرآة والبؤرة، ويمكن التعبير عنه بالمعادلة $f = \frac{r}{2}$ ، ويكون موجبًا في المرآة المقعرة. و r تمثل نصف قطر تكور المرآة.

إذا وضعت مصدرًا للضوء عند بؤرة مرآة مقعرة فستنعكس الأشعة عن المرآة بالتوازي وتكوّن حزمة ضوئية، ويمكنك رؤية هذا التأثير في المصباح اليدوي الموضح في الشكل 11.

الرسومات التخطيطية للمرايا المقعرة

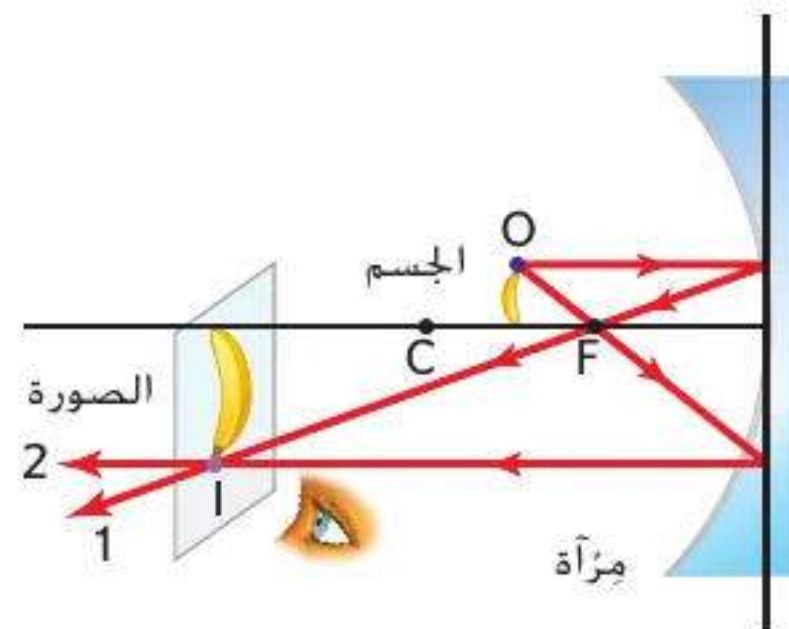
لقد رسمت سابقًا أشعة الضوء الساقط على مرآة مستوية لكي تتبع مسار انعكاسها، وشاهدت بعض الرسومات التخطيطية للأشعة في المرآة المقعرة كما في الشكل 10 والشكل 11. ستتعلم في هذا القسم استخدامهما في إيجاد موقع وطول واتجاه كل من الصور التي تكوّنها المرايا المقعرة.

يبين الشكل 12 أشعة منعكسة تتجمع في النقطة I التي تتكون عندها الصورة، وتكون أشعة الضوء المتجمعة **صورة حقيقية** مكبرة ومقلوبة للجسم. يمكن أن ترى الصورة كأنها عائمة في الفضاء، وذلك إن جعلت الأشعة الضوئية المنعكسة التي كوّنّت الصورة تسقط على عينيك كما هو مبين في الشكل 12. ينبغي أن تجعل عينيك بالاتجاه الذي يسمح لأشعة الضوء المنعكسة من الصور بالدخول إليها، فلا تستطيع النظر إلى الصورة من الخلف. وإذا وضعت ورقة أو شاشة في هذه النقطة، ستظهر الصورة على الشاشة كما في الشكل 12. وبعد هذا غير ممكن في الصورة الخيالية لأنها تتكون من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة وليس من التقاء الأشعة المنعكسة نفسها.

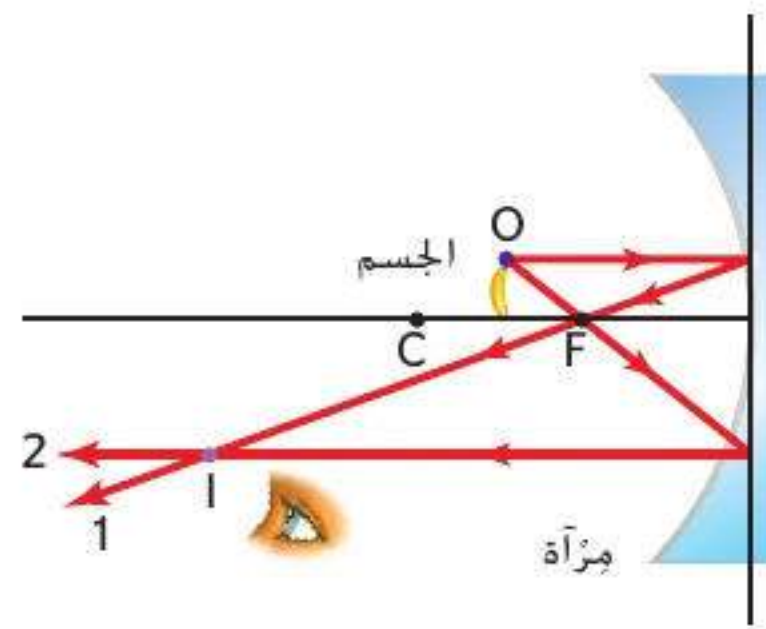


الشكل 11 في حال تتبع مسار الأشعة الضوئية من البؤرة إلى المرآة، ستنعكس عن السطح كأشعة متوازية.

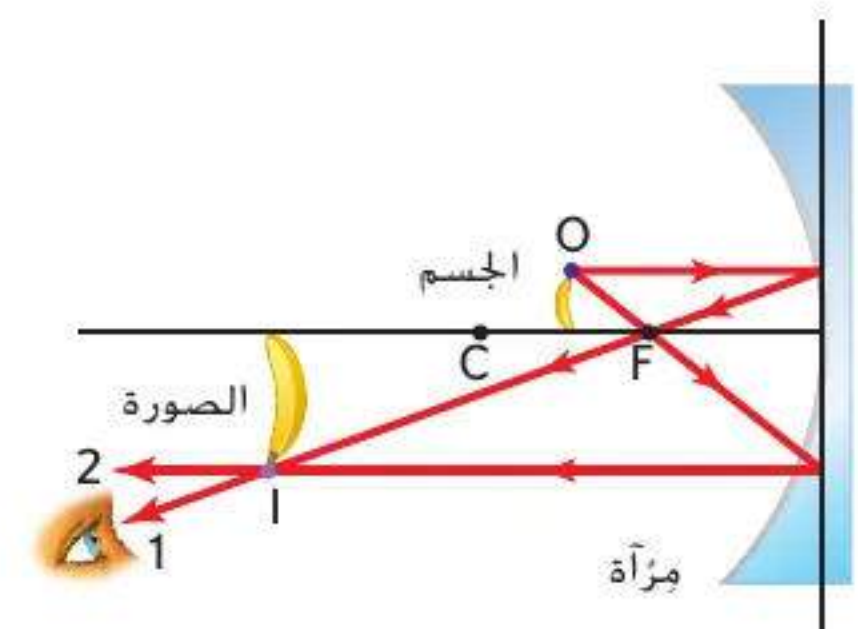
الشكل 12 الرسومات التخطيطية للأشعة لتحديد موقع الصورة المنعكسة عن مرآة كروية مقعرة.



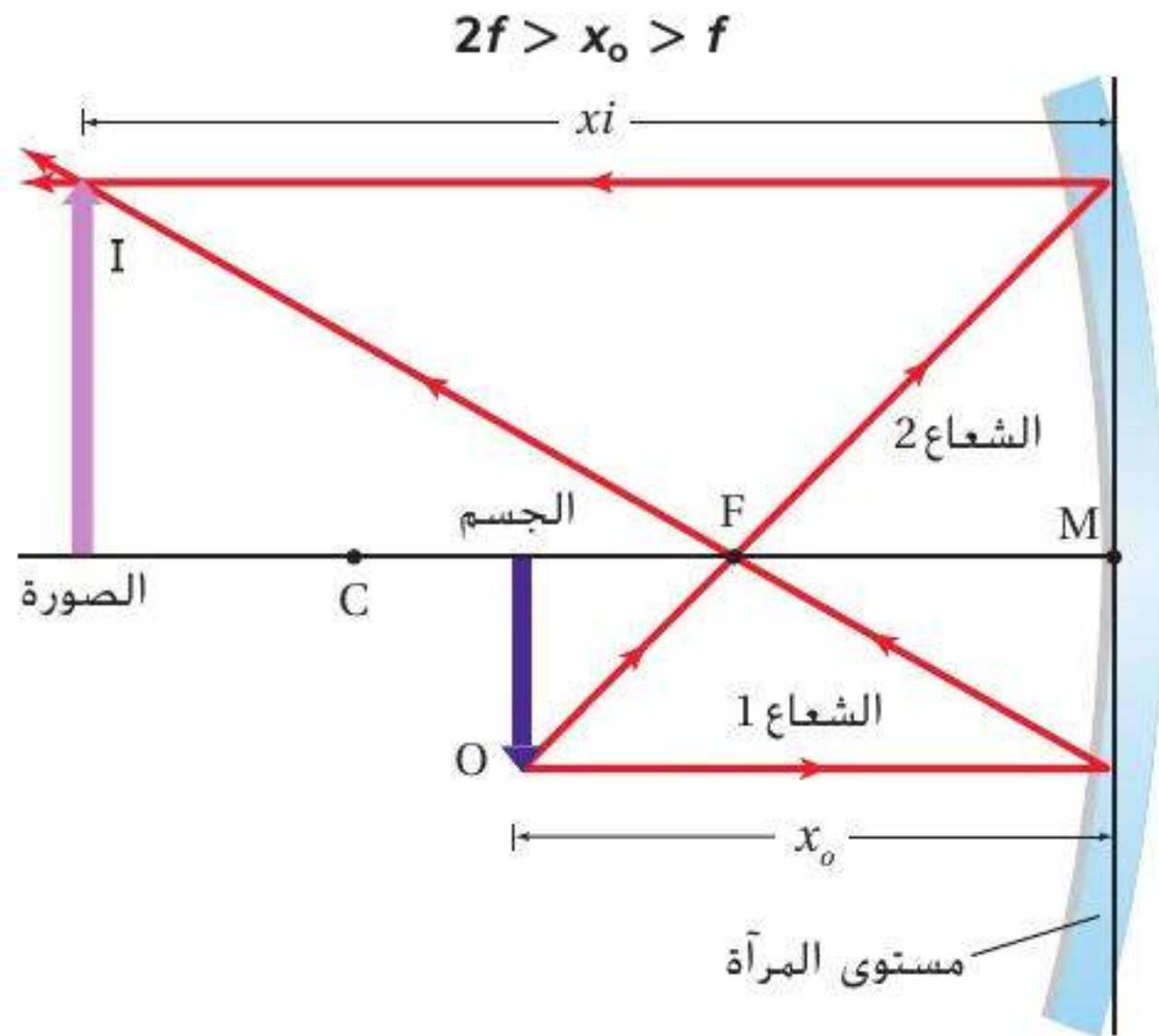
يمكن رؤية الصورة عند عرضها على شاشة بيضاء.



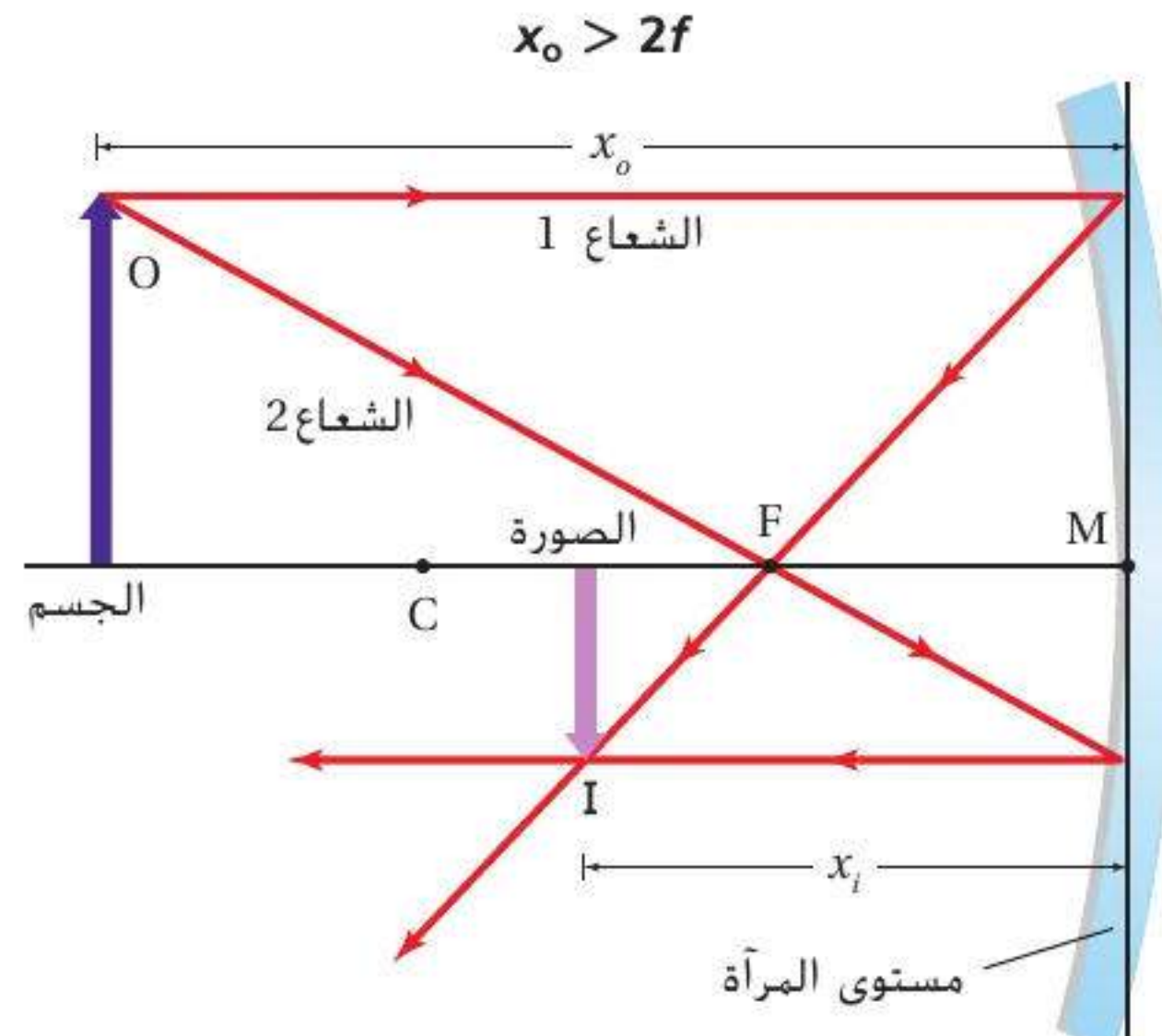
لا تصل الأشعة القادمة من الجسم إلى العين. ثم تتعذر رؤية الصورة من هذا الموقع.



إن العين موجودة في موقع يجعل الأشعة المكوّنة للصورة الحقيقية تسقط عليها ما يسمح برؤية الصورة.



يتكون صورة مكبرة لجسم يقع على بعد يتراوح بين $2f$ و f .

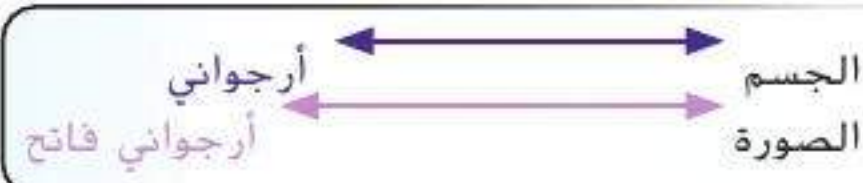


يتكون صورة مصغرة لجسم إن كان الجسم يقع على بعد أكبر من $2f$ من المرآة.

الشكل 13 يعتمد نوع الصورة المتكونة على بعد الجسم عن المرآة. الصورة في الحالتين الموضحتين تكون حقيقية مقلوبة. ونذكر أن البعد البؤري يساوي المسافة من M إلى F .

رسم تخطيطي كيف تتكون النقاط الأخرى على الصورة.

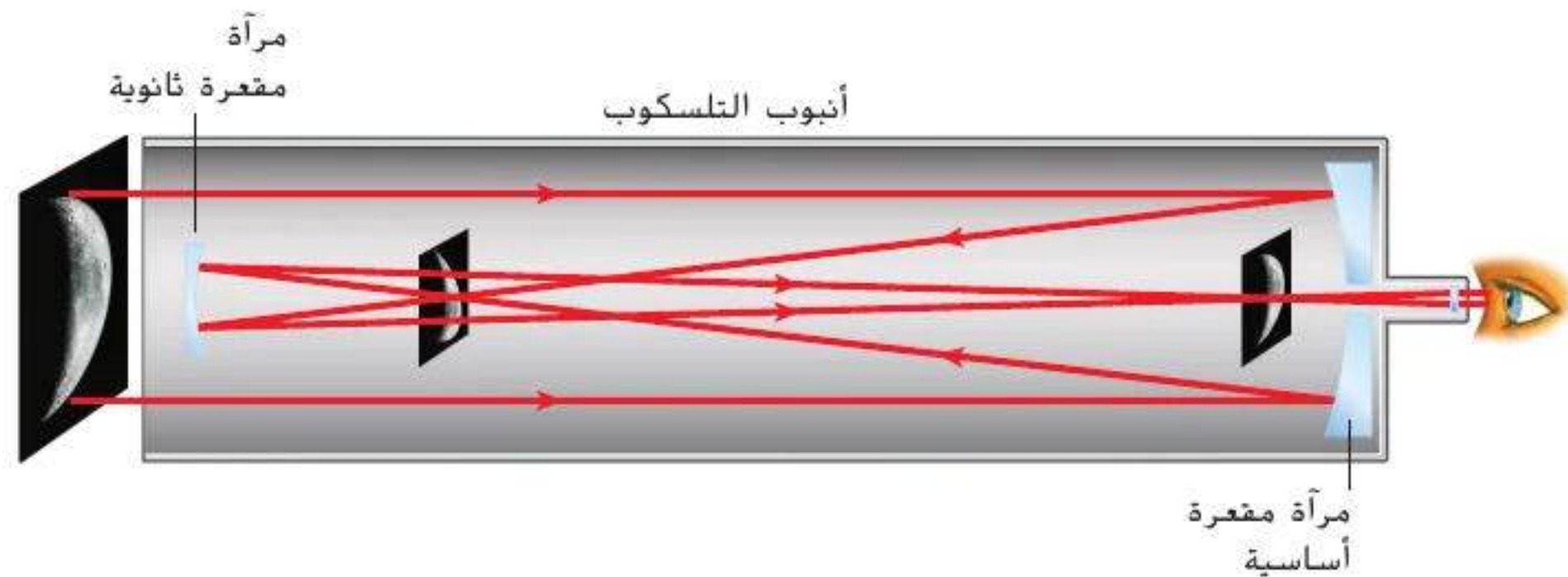
دلالة الألوان



الصور الحقيقية المتكونة في المرايا المقعرة

يمكنك في كثير من الأحيان تبسيط الرسومات التخطيطية للأشعة الضوئية عن طريق استخدام أجسام ذات بعد واحد، مثل السهم الموضح في الشكل 13. تكون المرآة الكروية المقعرة صورة حقيقية معكوسة للجسم إذا وقع على بُعد (x_o) أكبر من ضعف البعد البؤري (f) . أي يكون الجسم خلف مركز تكور المرآة. أما إذا وقع الجسم بين مركز التكور والبؤرة كما في الشكل 13، يتكون له صورة حقيقية مقلوبة وحجمها أكبر من حجم الجسم نفسه. وتزودك الرسومات التخطيطية بتمثيل مرئي حول كيف تكبر المرايا الكروية الصورة أو تصغرها، اعتمادًا على موقع الجسم بالنسبة إلى البؤرة.

◀ **الربط بعلم الفلك** كيف يمكن قلب الصور الحقيقية المقلوبة الناتجة من مرآة مقعرة رأسياً؟ في العام 1663، طور عالم الفلك الأسكتلندي جيمس جريجوري التلسكوب الجريجوري، الموضح في الشكل 14، لحل هذه المشكلة. فهو يتكون من مرأتين مقعرتين كبيرة وصغيرة مرتبتين بحيث تكون المرآة الصغيرة خارج بؤرة المرآة الكبيرة. فعندما تسقط الأشعة المتوازية من الأجسام البعيدة على المرآة الكبيرة تتكون صورة عند البؤرة، وتعتبر هذه الصورة بمثابة جسم أما المرآة الصغيرة حيث تنعكس الأشعة المكونة لها عن المرآة الصغيرة وتتكون صورة حقيقية معتدلة.



الشكل 14 يتكون التلسكوب الجريجوري صورة حقيقية ومعتدلة للمشاهد.

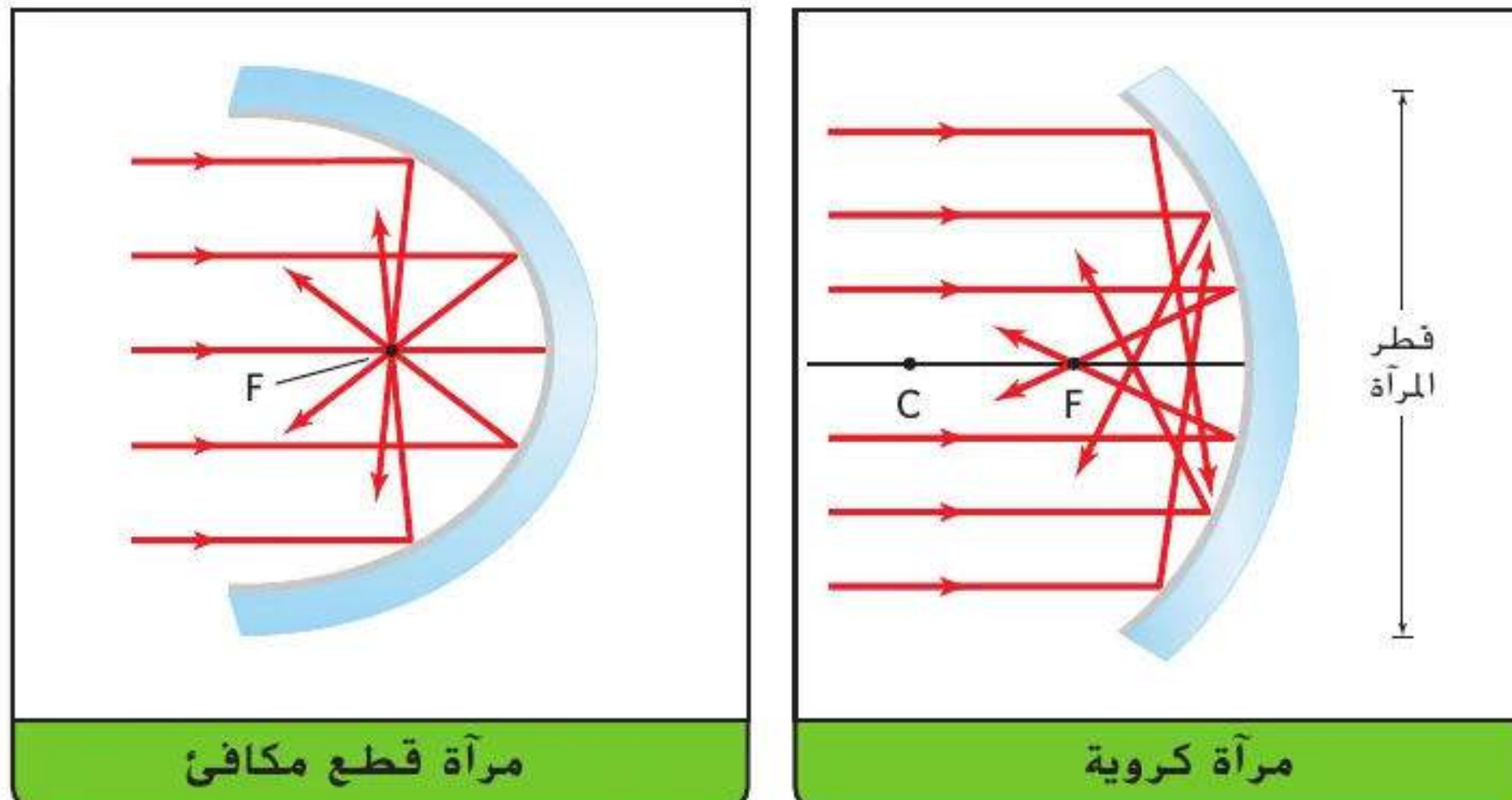
استخدام الرسومات التخطيطية للأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية
استخدم الاستراتيجيات التالية في حل مسائل المرايا الكروية.
راجع الشكل 13 والشكل 16.

1. استخدم ورقة مسطرة أو ورقة تمثيل بياني. ارسم المحور الأساسي للمراة كخط أفقي من الجانب الأيسر إلى الجانب الأيمن من الورقة. واترك ستة أسطر فارغة من أعلاها وستة أسطر فارغة من أسفلها.
2. ضع نقاطاً على المحور الأساسي وعنونها، بحيث تشير إلى الجسم C، و F كما يلي:
 - a. إذا كانت المراة مقعرة والجسم خلف مركز التكور C بعيداً من المراة، فضع المراة على الجانب الأيمن من الصفحة، والجسم على الجانب الأيسر من الصفحة و C و F بحسب مقياس الرسم.
 - b. وإذا كانت المراة مقعرة والجسم بين C و F، فضع المراة على الجانب الأيمن من الصفحة و C في منتصف الصفحة و F في منتصف المسافة بين المراة و C. والجسم بحسب مقياس الرسم.
 - c. في أي حالة أخرى، ضع المراة في منتصف الصفحة، وُضع الجسم أو F (أيهما أبعد من المراة) على الجانب الأيسر من الصفحة والآخر المراد قياسه.

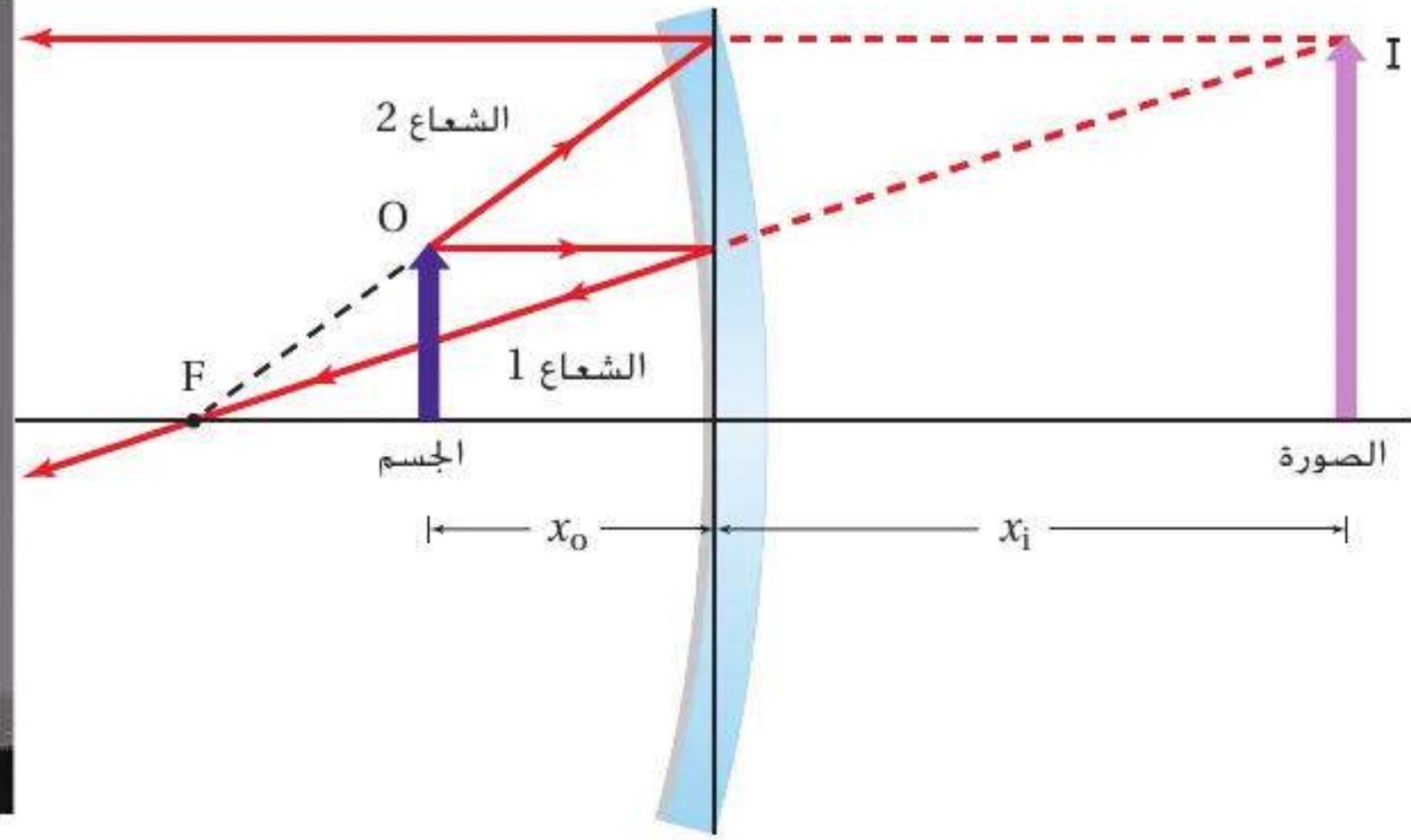
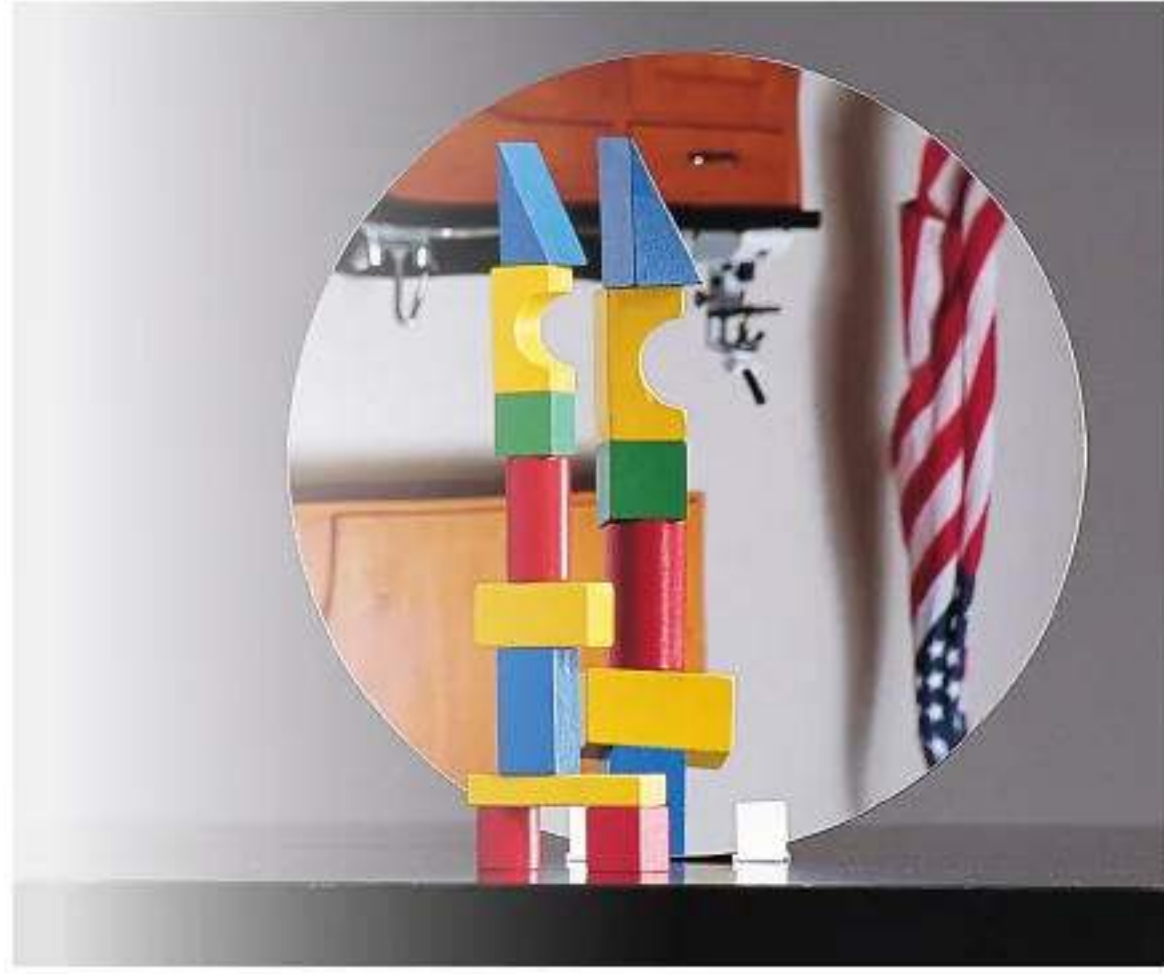
3. لتمثيل المراة، ارسم خطاً رأسياً يمتد 12 سطرًا. ويكون هذا المستوى الأساسي للمراة.
4. ارسم الجسم في شكل سهم، وقم بتسمية O من الناحية العليا. وبالنسبة إلى المرايا المقعرة، يجب ألا يزيد ارتفاع الأجسام عند النقطة C على ثلاثة أسطر. وفي أي حالة أخرى، يجب أن يكون ارتفاع الأجسام ستة أسطر. وسيختلف مقياس رسم الجسم عن مقياس رسم المحور الأساسي.
5. ارسم الشعاع 1 (الشعاع الموازي للمحور)، فهو مواز للمحور الرئيس وينعكس من المستوى الأساسي ويقطع المحور عند F.
6. ارسم الشعاع 2 (الشعاع المار في البؤرة)، فهو يمر في البؤرة F وينعكس عن المستوى الأساسي بشكل مواز للمحور الأساسي.
7. إذا كان الشعاعان المنعكسان 1 و 2 متباعدين أحدهما عن الآخر، قم بمد خطي الرؤية خلف المراة كخطين منقطين.
8. تقع الصورة عند نقطة تقاطع الشعاعين 1 و 2 أو خطي رؤيتهما بعد الانعكاس. قم بتسمية نقطة التقاطع A، ثم ارسم الصورة في شكل سهم عمودي من المحور الرئيس إلى A.

عيوب المرايا المقعرة في الرسومات التخطيطية للأشعة الضوئية، استخدمت خطاً رأسياً لتمثيل مستوى المراة. وفي الواقع، تنعكس أشعة الضوء من المراة نفسها. كما هو موضح في الشكل 15. لاحظ أنّ الأشعة المتوازية القريبة من المحور الأساسي فقط هي التي تنعكس مارة في البؤرة. أما الأشعة الأخرى، فتتجمع عند نقاط أقرب إلى المراة. يحدث هذا العيب، المُسمى **الزيغ الكروي**، بسبب عدم تجمع أشعة الضوء المنعكسة عند البؤرة، ما يجعل الصورة تبدو غير واضحة.

تتميز المراة التي على شكل قطع مكافئ، كما في الشكل 15، بعدم وجود زيغ كروي. إلا أن صناعة مرايا كبيرة بشكل قطع مكافئ مكلفة، لذا تستخدم في التلسكوبات الحديثة مرايا كروية صغيرة إضافة إلى مرايا أو عدسات ثانوية مصممة بأسلوب خاص لتصحيح الزيغ الكروي. كما يمكن تقليل الزيغ الكروي من خلال تقليل النسبة بين قطر المراة ونصف قطر التكور.



الشكل 15 يحدث الزيغ الكروي للمرايا الكروية ولا يحدث لمرايا القطع المكافئ.



الشكل 16 عند وضع جسم، مثل نموذج المكعبات بين البؤرة والمرآة، يتكون له صورة خيالية.

فكر في سبب ظهور الصور الأخرى في المرآة.

الصور الخيالية المتكونة في مرايا مقعرة

لقد رأيت أنه عند اقتراب جسم من البؤرة (F) لمرآة مقعرة، تتحرك الصورة بعيداً من المرآة. أما إذا وقع الجسم في بؤرة المرآة، فتنعكس الأشعة بشكل متوازٍ، فلا تلتقي معاً على الإطلاق، ويقال عندها إن الصورة تكونت في اللانهاية، وبالتالي لا يمكن رؤية الصورة أبداً. ماذا يحدث إن قُربت الجسم أكثر نحو المرآة؟ ماذا ترى عندما تقترب وجهك من مرآة مقعرة؟ تكون صورة وجهك معتدلة وخلف المرآة. وعندما يقع الجسم بين المرآة والبؤرة في المرآة المقعرة، تتكون له صورة خيالية، كما هو مبين في الشكل 16.

كما عرفت في السابق، ينبغي أن ترسم شعاعين لتحديد موقع صورة إحدى النقاط على جسم ما. إذ يرسم الشعاع 1 موازياً للمحور الأساسي، وينعكس في البؤرة. والشعاع 2 يرسم في صورة خط يمتد من نقطة على الجسم إلى المرآة، وينعكس موازياً للمحور الرئيس، ويمر امتداده في البؤرة. انظر إلى الشكل 16 ولاحظ أن الشعاعين 1 و 2 يتشتتان عن المرآة، ولا يكونان صورة حقيقية، في حين أن امتدادهما يلتقي خلف المرآة فيكونان صورة خيالية.

✓ **التأكد من فهم النص** وضح كيف يمكن تحديد ما إذا كانت الصورة خيالية.

مختبر الفيزياء

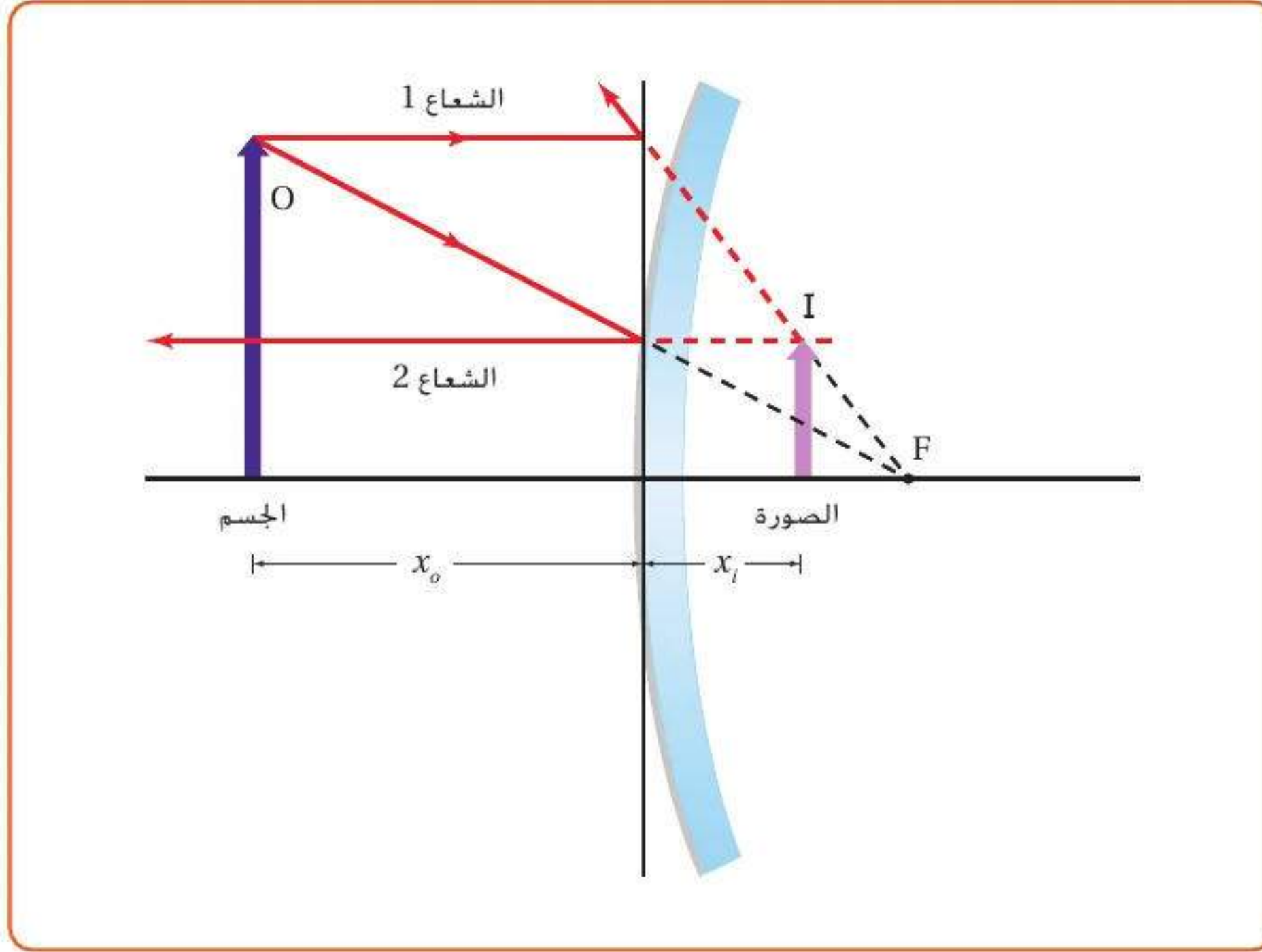
صور المرآة المقعرة ما الظروف اللازمة لتكوين صور حقيقية وخيالية في المرآة المقعرة؟

تحفيز في الفيزياء

وضع جسم ارتفاعه h_o على بُعد x_o من مرآة مقعرة بعدها البؤري f .

1. ارسم مخططاً للأشعة يوضح البعد البؤري وموقع الجسم عندما تقع صورته على مسافة تساوي ضعف المسافة بين المرآة والجسم. وحدد المسافة بالسنتيمترات لموقع كل من الصورة وموقع الجسم والبعد البؤري.
2. ارسم مخططاً للأشعة يوضح موقع الجسم عندما تقع صورته على مسافة تساوي ضعف المسافة بين المرآة والمركز البؤري. وحدد المسافة بالسنتيمترات لموقع كل من الصورة وموقع الجسم والبعد البؤري.
3. حدد أين يمكنك وضع جسم بحيث لا تتكون له صورة.

الشكل 17 تكوّن المرايا المحدبة صورًا خيالية ومعتدلة وأصغر من الجسم دائمًا.



تجربة مصفرة

إيجاد البؤرة كيف يمكنك ملاحظة البؤرة في المرايا الكروية؟

المرايا المحدبة

عرفت في بداية هذا القسم أن السطح الداخلي للمعلقة الفلزية يعمل كمرآة مقعرة. أما إذا قلبتها فسيعمل السطح الخارجي لها كمرآة محدبة، وهي سطح عاكس منحنٍ للخارج، وحافته تنحني بعيدًا من الملاحظ. ومن أمثلتها مرايا المراقبة في المتاجر، والمرايا الجانبية في السيارات. ماذا ترى عندما تنظر إلى الجهة الخلفية من المعلقة؟ ستري صورتك معتدلة ومصغرة.

تتضح بعض خواص المرآة الكروية المحدبة في الشكل 17. إذ تنتشت الأشعة المنعكسة عنها دائمًا، ولذا تتكوّن صورة خيالية فقط، وتقع البؤرة (F) ومركز التكور للمرآة (C) خلفها.

يوضّح الرسم التخطيطي في الشكل 17 طريقة تكوّن الصورة في المرآة الكروية المحدبة. فيظهر في الرسم شعاعان فقط، ولكن تذكر أنّ هناك عددًا لا نهائيًا من الأشعة المنعكسة من الجسم. فالشعاع 1 يصل إلى المرآة بشكل مواز للمحور الأساسي، وينعكس عنها، ويمر امتداده في البؤرة خلف المرآة. أما الشعاع 2 فيسقط على المرآة وينعكس عنها، بحيث يمر امتداده في البؤرة خلف المرآة، وكما يكون الشعاع 2 وامتداده خلف المرآة موازيين للمحور الأساسي. وبالتالي سيتشتت الشعاعان 1 و 2 ويلتقي امتدادهما خلف المرآة، وتتكوّن صورة خيالية معتدلة ومصغرة.

مجال الرؤية قد تبدو استخدامات المرايا المحدبة قليلة لأنّ الصور التي تكوّنّها أصغر من الأجسام، إلا أن هذه الخاصية جعلت للمرايا المحدبة استخدامات عملية، فنتيجة تكوّنّها صورًا مصغرة للأجسام، تتيح للملاحظ أن يشاهد مساحة كبيرة من حوله، وهي تسمى مجال الرؤية. كما تمكنك من رؤية الصورة من عدة زوايا. وبالتالي يكون مجال الرؤية من منظور واسع.

الشكل 18 إنّ الصور المتكونة من مرايا محدبة أصغر من الجسم، ما يزيد من مجال الرؤية ويقلل النطاق المحجوب بالنسبة إلى السائق.

أشرح لماذا قد يكون من المفيد كتابة تحذير يفيد أنّ الأجسام في المرايا المحدبة الجانبية أقرب مما تبدو.



لذا تستعمل المرايا المحدبة في المرايا الجانبية للسيارات لتساعد في الرؤية الخلفية. كما يبيّن **الشكل 18**. وبالرغم من أنها توفر مجال رؤية واسعًا لكنها تصغّر حجم صور الأجسام ما يجعلها تبدو أبعد مما هي عليه. لذا يوجد على المرايا المحدبة الجانبية للسيارات تحذير يفيد أنّ الأجسام قد تكون أقرب مما تبدو عليه في الواقع.

تحديد مكان الصورة بالحسابات

يمكننا استخدام نموذج المرآة الكروية لاشتقاق معادلة رياضية بسيطة للمرايا الكروية. ويجب أن نأخذ بعين الاعتبار التقريب الذي يفيد أن الأشعة الضوئية القريبة من المحور الرئيس والموازية له دائيًا، هي تكون الصورة. والأخذ في هذا التقريب إضافة إلى قانون الانعكاس يقودنا إلى معادلة رياضية تربط بين البعد البؤري (f) وموضع الجسم (x_o) وموضع الصورة (x_i) لمرآة كروية.

معادلة المرآة الكروية

مقلوب البعد البؤري للمرآة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الجسم ومقلوب بُعد الصورة عن المرآة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

القيم السالبة عندما تكون الصورة خيالية. تكون قيمة بعد الصورة (x_i) سالبة، ومعنى ذلك أنها تتكون خلف المرآة. وتذكر أن الصورة الخيالية تتكون من تقاطع امتدادات الأشعة المنعكسة، وفي المرايا المقعرة تتكون الصورة الخيالية عندما يقع الجسم بين البؤرة والمرآة، وتكون البؤرة أمام المرآة والبعد البؤري موجبة، أما في المرايا المحدبة فتكون البؤرة خلف المرآة والبعد البؤري سالبًا.

عند استخدام هذه المعادلة في حل المسائل، تذكر أنها صحيحة بشكل تقريبي. فهي لا تصحح الزيغ الكروي لأنها تستخدم تقريب الأشعة الموازية للمحور. في الواقع إن أشعة الضوء المنبعثة من الجسم باتجاه المرآة تتشتت، وبالتالي لا تكون جميع أشعة الضوء قريبة من المحور أو موازية له. عندما يكون قطر المرآة كبيرًا مقارنةً بنصف قطر تكورها لتقليل الزيغ الكروي نزودنا هذه المعادلة بصفات الصورة بدقة أكبر.

الفيزياء في حياتك

مشكلة هابل في العام 1990، أطلقت الوكالة العالمية ناسا تلسكوب هابل الفضائي في مدار حول الأرض. وتوقع العلماء أن يقدم هابل صورًا واضحة من دون التشوهات التي تحدث بفعل الغلاف الجوي. وبعد فترة وجيزة من إطلاقه، اكتشف العلماء أنّ صور هابل فيها زيغ كروي. في العام 1993، قام رواد الفضاء بتزويد جهاز بصري تصحيحي يُسمى COSTAR ليُكّن هابل من التقاط صور واضحة. ولمدة تزيد على عقدين، قدم هابل للعالم صورًا رائعة وساعد العلماء في إجراء اكتشافات مهمة عن الكون.

التكبير إنّ إحدى خواص المرايا الكروية الأخرى هي **التكبير** (m). وهو نسبة طول الصورة إلى طول الجسم. ويمكن من خلال استخدام هندسة تطابق المثلثات إعادة كتابة هذه النسبة بدلالة بُعد الصورة وبُعد الجسم.

التكبير

يعرف تكبير جسم بواسطة مرآة كروية بأنه حاصل قسمة طول الصورة على طول الجسم، ويساوي سالب بُعد الصورة مقسومًا على بُعد الجسم.

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = -\frac{x_i}{x_o}$$

وتدلنا إشارة مقدار التكبير فيما إذا كانت الصورة معتدلة أو مقلوبة. ففي حالة الصور الخيالية تكون قيمة x_i سالبة أي إنّ التكبير m موجبًا. وتكون معتدلة دائمًا ما يعني أن الطول موجب.

أما بالنسبة إلى الصور الحقيقية يكون بُعد الصورة موجبًا وبالتالي يكون التكبير سالبًا. ويدلنا ذلك على أن الصورة تكون مقلوبة بالنسبة إلى الجسم. كما تدلنا الإشارة السالبة لمقدار طول الصورة على أنها مقلوبة. عندما يكون الجسم خلف مركز التكور C . فإنّ القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية تكون أقل من 1. ويعني ذلك أنّ الصورة أصغر من الجسم. أما إذا وقع الجسم بين مركز التكور C والبؤرة F . فإن القيمة المطلقة للتكبير تكون أكبر من 1. ويعني ذلك أنّ الصورة أكبر من الجسم.

ربط الرياضيات بالفيزياء

جمع الكسور وطرحها عند استخدام معادلة المرآة لحل المسائل. عليك أولاً أن تعيد كتابة المعادلة رياضيًا بحيث تجعل الكسر الذي يحوي المقدار الذي تريد حسابه على الطرف الأيسر من المعادلة والكسور الأخرى على الطرف الأيمن. وبعد ذلك تحسب مقدار الكسرين الموجودين على اليمين، من خلال توحيد المقامات.

الرياضيات	الفيزياء
$\frac{1}{x} = \frac{1}{y} + \frac{1}{z}$	$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$
$\frac{1}{y} = \frac{1}{x} - \frac{1}{z}$	$\frac{1}{x_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{x_o}$
$\frac{1}{y} = \left(\frac{1}{x}\right)\left(\frac{z}{z}\right) - \left(\frac{1}{z}\right)\left(\frac{x}{x}\right)$	$\frac{1}{x_i} = \left(\frac{1}{f}\right)\left(\frac{x_o}{x_o}\right) - \left(\frac{1}{x_o}\right)\left(\frac{f}{f}\right)$
$\frac{1}{y} = \frac{z-x}{xz}$	$\frac{1}{x_i} = \frac{x_o - f}{fx_o}$
$y = \frac{xz}{z-x}$	$x_i = \frac{fx_o}{x_o - f}$

باتباع هذه الطريقة، يمكن اشتقاق العلاقات الرياضية التالية لحساب كل من بُعد الصورة وبُعد الجسم والبُعد البؤري:

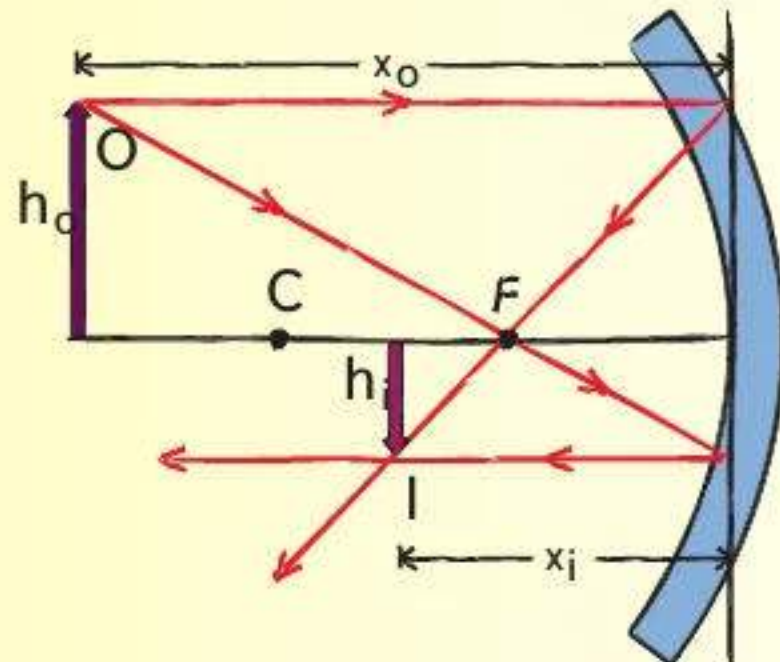
$$x_i = \frac{fx_o}{x_o - f} \quad x_o = \frac{fx_i}{x_i - f} \quad f = \frac{x_i x_o}{x_i - x_o}$$

مثال 2

تكوين الصور الحقيقية باستخدام مرآة مقعرة لديك مرآة مقعرة نصف قطر تكورها 20.0 cm. وُضع جسم طوله 2.0 cm على بُعد 30.0 cm منها. فما طول الصورة؟ وما بُعدها من المرآة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًا للجسم والمرآة.
- ارسم شعاعين رئيسين لتحديد بُعد الصورة في الرسم التخطيطي



المجهول	المعلوم
$x_i = ?$	$h_o = 2.0 \text{ cm}$
$h_i = ?$	$x_o = 30.0 \text{ cm}$
	$r = 20.0 \text{ cm}$

2 حساب المجهول

يساوي البُعد البؤري نصف نصف قطر التكور.

$$f = \frac{r}{2}$$

$$= \frac{20.0 \text{ cm}}{2}$$

$$= 10.0 \text{ cm}$$

عوض باستخدام r
= 20.0 cm

استخدم معادلة المرايا الكروية. وحل لإيجاد بُعد الصورة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

$$x_i = \frac{fx_o}{x_o - f}$$

عوض باستخدام $f = 10.0 \text{ cm}$, $x_o = 30.0 \text{ cm}$

$$= \frac{(10.0 \text{ cm})(30.0 \text{ cm})}{30.0 \text{ cm} - 10.0 \text{ cm}}$$

= 15.0 cm (صورة حقيقية أمام المرآة)

استخدم معادلة التكبير لحساب طول الصورة:

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-x_i}{x_o}$$

$$h_i = \frac{-x_i h_o}{x_o}$$

عوض باستخدام $x_i = 15.0 \text{ cm}$, $h_o = 2.0 \text{ cm}$, $x_o = 30.0 \text{ cm}$

$$= - \frac{(15.0 \text{ cm})(2.0 \text{ cm})}{30.0 \text{ cm}}$$

$$= -1.0 \text{ cm} \text{ (صورة مصغرة ومقلوبة)}$$

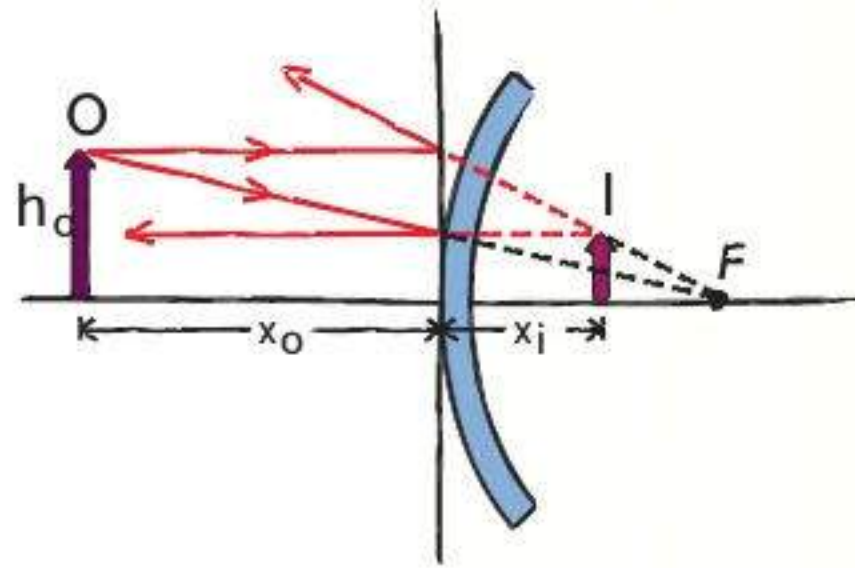
3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ كل المقادير بالسنتيمتر.
- هل الإشارات منطقية؟ يتوافق البُعد الموجب والارتفاع السالب مع الرسم.

تطبيقات

- حل المسألة 2 باستخدام الرسم التخطيطي للأشعة، ووفق مقياس رسم محدد.
- ضع جسمًا على بعد 36.0 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري 16.0 cm. ما بُعد الصورة؟
- ضع جسمًا طوله 3.0 cm على بُعد 20.0 cm من مرآة مقعرة نصف قطرها 16.0 cm. أوجد طول الصورة وُبُعدها.
- لديك مرآة مقعرة بُعدها البؤري 7.0 cm. إذا وضعت جسمًا طوله 2.4 cm على بُعد 16.0 cm منها، فما طول الصورة؟
- تحفيز وُضع جسم أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري 10.0 cm، فتكونت له صورة مقلوبة على بُعد 16.0 cm من المرآة طولها 3.0 cm. فما طول الجسم؟ وما بُعده عن المرآة؟

الصورة في مرآة المحدبة لحماية مستودع يتم مراقبته من خلال مرآة مراقبة محدبة بُعدها البؤري -0.50 m . فإذا وجدت رافعة شوكية طولها 2.0 m على بُعد 5.0 m من المرآة، فكم تبعد صورتها عن المرآة، وما طولها؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًا للمرآة والجسم.
- ارسم شعاعين رئيسين لتحديد موقع الصورة في الرسم التخطيطي.

المجهول	المعلوم
$x_i = ?$	$h_o = 2.0\text{ m}$
$h_i = ?$	$x_o = 5.0\text{ m}$
	$f = -0.50\text{ m}$

2 حساب المجهول

استخدم المعادلة التي تربط بين البُعد البؤري وُبُعد الجسم لإيجاد بُعد الصورة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

$$x_i = \frac{fx_o}{x_o - f}$$

عوض باستخدام $f = -0.50\text{ m}$, $x_o = 5.0\text{ m}$

$$= \frac{(-0.50\text{ m})(5.0\text{ m})}{5.0\text{ m} - (-0.50\text{ m})}$$

$$= -0.45\text{ m} \text{ (صورة خيالية خلف المرآة)}$$

استخدم المعادلة التي تربط بين طول الجسم وُبُعد الجسم والصورة لإيجاد طول الصورة.

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-x_i}{x_o}$$

$$h_i = \frac{-x_i h_o}{x_o}$$

عوض باستخدام $x_i = -0.45\text{ m}$, $h_o = 2.0\text{ m}$, $x_o = 5.0\text{ m}$

$$= \frac{-(-0.45\text{ m})(2.0\text{ m})}{5.0\text{ m}}$$

$$= 0.18\text{ m} \text{ (صورة مصغرة معتدلة)}$$

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ كل المقادير بالمتري.
- هل الإشارات منطقية؟ يشير البُعد السالب إلى أن الصورة خيالية، ويدل الطول الموجب على أن الصورة معتدلة، ويتوافق هذا مع الرسم التخطيطي.

تطبيقات

18. وُضع جسمٌ طوله 20.0 cm أمام مرآة محدبة بُعدها البؤري -15.0 cm . أوجد بُعد الصورة باستخدام رسم تخطيطي بمقياس رسم، وبمعادلة المرآة الرياضية.
19. مرآة محدبة بُعدها البؤري -13.0 cm . وُضع أمامها مصباحاً قطره 6.0 cm على بُعد 60.0 cm منها. فما بعد الصورة المتكونة له وما قطرها؟
20. وضعت كرة قطرها 7.6 cm على بُعد 22.0 cm من مرآة محدبة نصف قطر تكورها 60.0 cm . فما بُعد الصورة المتكونة للكرة وما قطرها؟
21. تقف فتاة طولها 1.8 m على بُعد 2.4 m من مرآة مراقبة في أحد المتاجر، وتبدو صورتها بطول 0.36 m .
 - أوجد بُعد الصورة؟
 - أوجد البُعد البؤري للمرآة؟
22. تحفيز تحتاج إلى مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها يساوي ثلاثة أرباع الجسم على بُعد 24 cm خلف المرآة.
 - أوجد بُعد الجسم؟
 - أوجد البُعد البؤري المطلوب لذلك؟

الجدول 1 نظام الاشارات وخصائص الصور في المرآة					
نوع المرآة	f	x_o	x_i	m	الصورة
مستوية	∞	$x_o > 0$	$ x_i = x_o$ (سالِب)	موجبة تساوي 1	خيالية معكوسة جانبيا مساوية للجسم
مقعرة	+	$x_o > r$	$r > x_i > f$	سالبة أقل من 1	حقيقية مصغرة معكوسة (مقلوبة)
		$r > x_o > f$	$x_i > r$	سالبة أكبر من 1	حقيقية مكبرة مقلوبة (معكوسة)
		$f > x_o > 0$	$ x_i > x_o$ (سالِب)	موجبة أكبر من 1	مكبرة خيالية معتدلة
محدبة	-	$x_o > 0$	$ f > x_i > 0$ (سالِب)	موجبة أقل من 1	خيالية مصغرة معتدلة

مقارنة المرايا

بماذا تختلف المرايا بعضها عن بعض؟ يلخص الجدول 1 خصائص الصور المتكونة في مرآة لأجسام تقع على المحور الأساسي لها. لاحظ أن الصور الخيالية تتكون خلف المرآة دائماً وأن بعدها سالِب دائماً. وعندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر وواحد، تكون صورة الجسم مصغرة، وتعني القيمة السالبة للتكبير أن الصورة مقلوبة بالنسبة إلى الجسم.

لاحظ أن كلاً من المرآة المستوية والمرآة المحدبة يكون صوراً خيالية فقط، بينما تكون المرآة المقعرة صورة حقيقية للجسم عندما يقع على بُعد أكبر من البعد البؤري. كما أنها تكون صورة خيالية للجسم عندما يقع على بُعد أقل من البعد البؤري. وتعطي المرآة المستوية صوراً مساوية للأشياء، في حين تعطي المرايا المحدبة صوراً مصغرة، ما يجعل مجال الرؤية واسعاً فيها. وتعطي المرآة المقعرة صورة مكبرة للجسم عندما يقع ضمن نطاق البعد البؤري.

تكون المرآة المقعرة صورة مكبرة ومعتدلة للجسم عندما يقع بين البعد البؤري ونصف قطر التكور. أما إذا وقع الجسم خلف نصف قطر التكور فتتكون له صورة مصغرة ومقلوبة.

القسم 2 مراجعة

23. **الفكرة الأساسية** إذا كنت تعرف البعد البؤري لمرآة مقعرة، فأين ينبغي لك وضع الجسم حتى تكون صورة مكبرة ومعتدلة؟ وهل تكون هذه الصورة حقيقية أم خيالية؟
24. **التكبير** وضع جسم طوله 20.0 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 9.0 cm. ما مقدار تكبير الصورة؟
25. **موقع الجسم** ينتج من وضع جسم أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 12.0 cm صورة حقيقية تبعد 22.3 cm عن المرآة. ما بُعد الجسم؟
26. **بُعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 22.0 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 12.0 cm. أوجد بُعد الصورة وطولها عن طريق رسم تخطيطي ووفق مقياس رسم. ثم تحقق من إجابتك باستخدام المعادلات الرياضية للمرايا والتكبير.
27. **الرسم التخطيطي للأشعة** وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 14.0 cm من مرآة محدبة بعدها البؤري 12.0 cm. ارسم مخططاً للأشعة بمقياس رسم يوضح بُعد الصورة وطولها، ثم تحقق من إجابتك باستخدام معادلات المرآة والتكبير.
28. **نصف قطر التكور** وضع جسم طوله 6.0 cm أمام مرآة محدبة على بُعد 16.4 cm فتكوّن له صورة طولها 2.8 cm. أوجد نصف قطر تكوّن المرآة؟
29. **البُعد البؤري** استخدمت مرآة محدبة لتكوين صورة طولها ثلثا طول الجسم وعلى بُعد 12 cm خلف المرآة. أوجد البعد البؤري للمرآة؟
30. **التفكير الناقد** هل يكون الزيغ الكروي أقل بالنسبة إلى مرآة إذا كان ارتفاعها أقل من نصف قطر تكورها أم إذا كان ارتفاعها أكبر من نصف قطر تكورها؟ فسر إجابتك.

نظائر الأرض البعيدة

البحث عن كواكب خارج النظام الشمسي

بحث العلماء طويلاً عن أنظمة شمسية غير نظامنا. تخيل أنك تنظر إلى إضاءة كشاف ضوء كالموجود في الملعب و تحاول أن تتحقق من شكل بعوضة صغيرة بداخلها. إن هذه المشكلة نفسها يواجهها علماء الفلك عند البحث عن كواكب خارج النظام الشمسي، وتسمى كواكب خارجية.

من الصعب العثور عليها

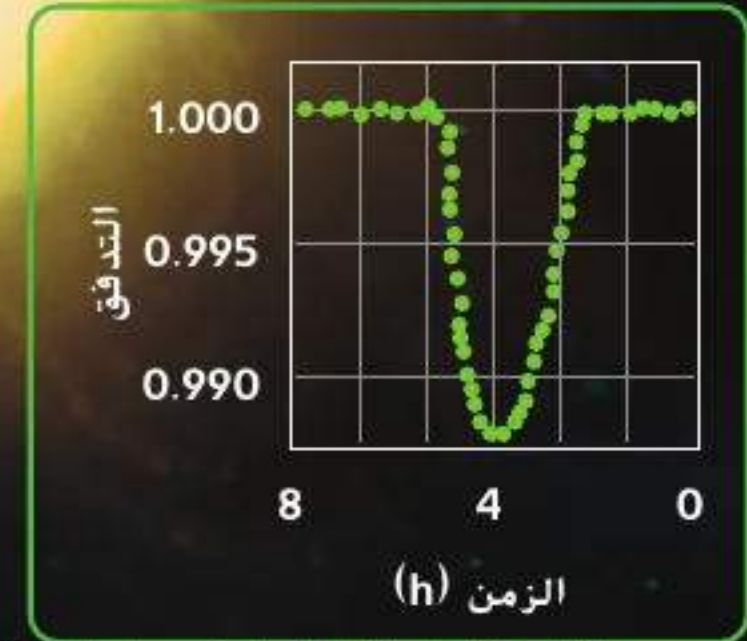
من أحد الأسباب التي تجعل العثور على كوكب خارج النظام الشمسي مُحيرًا هو أنها بعيدة جدًا. حيث تبلغ المسافة إلى أقرب نجم بجوار الشمس نحو 4.3 سنوات ضوئية. وفي حال كان الكوكب خارج النظام الشمسي يشبه الأرض، فإن قطره يساوي واحدًا من مائة فقط من قطر النجم الذي يدور حوله. ويعتبر اكتشاف الضوء المعتم نسبيًا الذي ينعكس مباشرةً من كوكب خارج النظام الشمسي أمرًا في غاية الصعوبة حتى بواسطة الأجهزة الحديثة.

اكتشاف الكواكب خارج النظام الشمسي إحدى الطرق التي يمكن لعلماء الفلك من خلالها العثور على كواكب خارج النظام الشمسي بمراقبة سطوع الضوء المنبعث من النجوم. قد يعتم ضوء النجم قليلاً عندما يمر كوكب خارج النظام الشمسي أمامه، ويقاس مقياس الضوء الذي يُسمى فوتوميترًا التغيرات التي تحدث في سطوع الضوء. يمكن رسم هذه التغيرات في تمثيل بياني، مثل ذلك الموضح في الشكل 1.

بعثة كبلر تستخدم ناسا مقياس ضوء لمسح منطقة من مجرتنا بحثًا عن كواكب خارج النظام الشمسي. والمرآة الأساسية المستعملة في مقياس الضوء هذا هي كروية وتتطلب تصحيح الزيغ الكروي.

منطقة صالحة للاستيطان تبحث بعثة كبلر بشكل خاص عن الكواكب الموجودة في المناطق الصالحة للعيش في النجوم. يوضح الشكل 2 المنطقة الصالحة للاستيطان من نظامنا الشمسي، ومن المرجح وجود كوكب خارج النظام الشمسي توجد عليه مياه سائلة في "البقعة المناسبة" حول النجم. وربما يكون هذا الكوكب، مثل الأرض، موطنًا للكائنات الحية.

منحنى انتقال الضوء



المصدر: الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء

الشكل 1 يمثل هذا الرسم سطوع الضوء المنبعث من النجم. ويوضح المنحنى المرسوم بالخط المنقط إعتام ضوء النجم، ما قد يعني أن كوكبًا مرَّ أمام النجم.

الشكل 2 في المنطقة الصالحة للعيش تكون الظروف مناسبة لوجود الماء.

المنطقة الصالحة للعيش في النظام الشمسي



المصدر: الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء
الشكل ليس مقياسًا بمقياس الرسم

لمزيد من التعمق

البحث قم بزيارة موقع ويب بعثة كبلر التابعة لناسا للبحث عن كوكب اكتُشف حديثًا خارج النظام الشمسي. لخص خصائص ذلك الكوكب وخصائص التي قد تحتاج إليها الكائنات الحية لتعيش على هذا الكوكب.

الفكرة الرئيسية تعكس كل الأسطح الضوء، إلا أن الأسطح الملساء تتميز بإنتاجها للصور.

القسم 1 المرايا المستوية

الفكرة الرئيسية زاوية سقوط شعاع ضوئي تساوي زاوية انعكاسه.

- وفقًا لقانون 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 نفسه.

$$\theta_r = \theta_i$$

- ينطبق قانون الانعكاس على كل من الأسطح الملساء والخشنة. يوجد على السطح الخشن أعمدة مقامة غير متوازية؛ وبالتالي، لا تنعكس الأشعة الساقطة المتوازية بشكل متوازٍ. فالسطح الخشن ينتج انعكاسًا غير منتظمًا. يوجد على السطح الأملس أعمدة مقامة متوازية؛ وبالتالي، تنعكس الأشعة الساقطة المتوازية بشكل متوازٍ. فالسطح الأملس ينتج انعكاسًا منتظمًا. ينتج عن الانعكاس المنتظم تكوين صور تظهر كأنها خلف مرايا مستوية.

- دائمًا ما تكون الصورة المتكوّنة في مرآة مستوية صورة خيالية ولها حجم الجسم نفسه والاتجاه نفسه وعلى بُعد المسافة نفسها التي يبعدها الجسم عن المرآة.

$$x_i = -x_o \quad h_i = h_o$$

المفردات

- انعكاس منتظم
specular reflection
- انعكاس غير منتظم
diffuse reflection
- مرآة مستوية
plane mirror
- جسم
object
- صورة
image
- صورة خيالية
virtual image

القسم 2 المرايا الكروية

الفكرة الرئيسية يمكن للمرايا الكروية أن تكوّن صورًا حقيقية وصورًا خيالية كما يمكنها تكبير حجم الصور أو تصغيره.

- تتخذ المرآة الكروية المقعرة شكل كرة مجوفة لها المركز الهندسي نفسه (c) ونصف قطر التكور (r) كنصف قطر الكرة r. إنّ البؤرة (F) للمرآة الكروية المقعرة هو النقطة التي تجتمع فيها أشعة الضوء الساقطة بموازاة المحور بعد انعكاسها عن المرآة. تُستخدم المرايا المقعرة في المصابيح اليدوية والكشافات والتلسكوبات.

- يمكنك تحديد موقع الصورة التي تكونت بواسطة مرآة كروية عن طريق رسم شعاعين بدءًا من نقطة على الجسم إلى المرآة. ويكون تقاطع الشعاعين المنعكسين أو امتدادهما هو موقع صورة نقطة الجسم. تنتج المرآة المقعرة صورة حقيقية معكوسة عندما يكون موضع الجسم أكبر من البعد البؤري. تنتج المرآة المقعرة صورة خيالية معتدلة عندما يكون موضع الجسم أصغر من البعد البؤري. تكون المرآة المحدبة دائمًا صورة افتراضية معتدلة وأصغر مقارنة بالجسم.

- ونظرًا إلى أنها تكوّن صورًا أصغر من الأجسام، تبدو الصور التي تكوّنها المرايا المحدبة أبعد وتتيح مجالًا واسعًا للرؤية. ويمكن الاستفادة من هذا في مرايا الرؤية الخلفية ومرايا المراقبة. يمكن استخدام نوعي المرايا بالتوافق لتكوين صور بالحجم والاتجاه والموقع المرغوب فيه. من أكثر استخدامات توافق المرايا شيوعًا استخدامه في التلسكوبات.

- معادلة المرآة تربط بين بعد الصورة وبعد الجسم والبعد البؤري للمرآة الكروية.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

معادلة التكبير الخطي في المرايا الكروية تربط بين بعد الصورة وبعد الجسم أو بطول كل منهما.

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-x_i}{x_o}$$

المفردات

- مرآة مقعرة
concave mirror
- محور أساسي
principal axis
- بؤرة
focal point
- بُعد بؤري
focal length
- صورة حقيقية
real image
- زيغ كروي
spherical aberration
- مرآة محدبة
convex mirror
- تكبير
magnification

القسم 1 المرايا المستوية

إتقان المفاهيم

31. ما وجه الاختلاف بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم؟
32. ما المقصود بمصطلح العمود المقام على السطح؟
33. أين تقع الصورة التي تُكوّنها المرآة المستوية؟
34. صف خواص المرآة المستوية.
35. يعتقد متعلم أنّ الفيلم الفوتوغرافي الحساس جدًا يمكنه الكشف عن الصورة الخيالية. وضع الطالب الفيلم الفوتوغرافي في مكان تكوّن الصورة الخيالية. هل تنجح هذه المحاولة؟ وضح إجابتك.
36. كيف يمكنك أن تثبت لأحدهم أنّ الصورة حقيقية؟
37. هل صورتك المتكوّنة في المرآة المستوية ذات بُعدين (مثل الصورة الفوتوغرافية) أم ثلاثة أبعاد؟ كيف يمكنك معرفة ذلك؟

إتقان حل المسائل

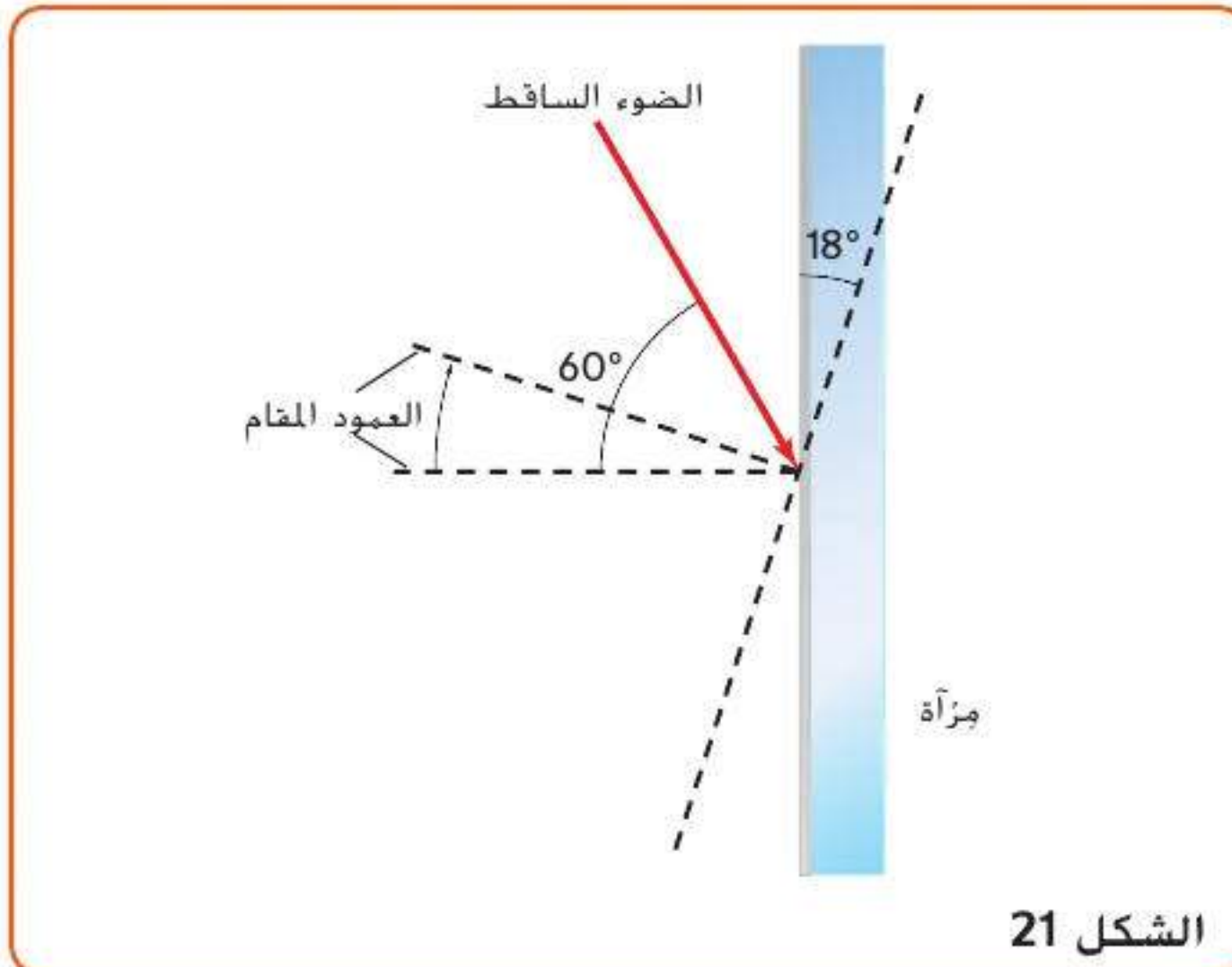
38. سقط شعاع ضوئي على مرآة وكوّن معها زاوية مقدارها 36° . ما مقدار الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس؟
39. سقط شعاع من الضوء على المرآة بزاوية قدرها 38° مع العمود المقام. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام؟
40. يبيّن الشكل 19 مرأتين مستويتين متجاورتين بزاوية مقدارها 90° . فإذا سقط شعاع ضوئي على إحدهما بزاوية مقدارها 30° أجب عمّا يلي:
 - a. ما الزاوية التي ينعكس عندها شعاع الضوء من المرآة الأخرى؟
 - b. المرايا في الشكل 19 تعمل كالعاكس؛ وهو أداة تعكس الأشعة الضوئية الساقطة عليها باتجاه معاكس وموازي لاتجاه الأشعة الساقطة. ارسم رسمًا تخطيطيًا كالمبيّن في الشكل. وارسم الأشعة المنعكسة لتوضح أن نظام المرايا هذا يعمل كالعاكس.

41. سقط شعاع ضوئي على مرآة بزاوية مقدارها 53° مع العمود المقام. ما مقدار الزاوية الانعكاس؟ ما مقدار الزاوية الواقعة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس؟
42. ارسم رسمًا تخطيطيًا للأشعة لمرآة مستوية، لكي توضح أنه لكي تتمكن من رؤية نفسك كاملاً فيها من رأسك إلى قدميك، ينبغي أن تكون المرآة بنصف طولك ومثبتة بحيث يكون طرفها العلوي موازيًا لرأسك.
43. إذا كان لديك مرآة مستوية صغيرة وتريد تثبيتها على حائط لكي تشاهد ركبتيك، فأين ينبغي أن تضع المرآة؟
44. صورة في مرآة يرغب سعيد في التقاط صورة لصورته في مرآة مستوية، كما في الشكل 20. إذا كانت الكاميرا على بُعد 1.2 m أمام المرآة، فعلى أي بعد يجب أن يركز عدسة الكاميرا لالتقاط الصورة؟

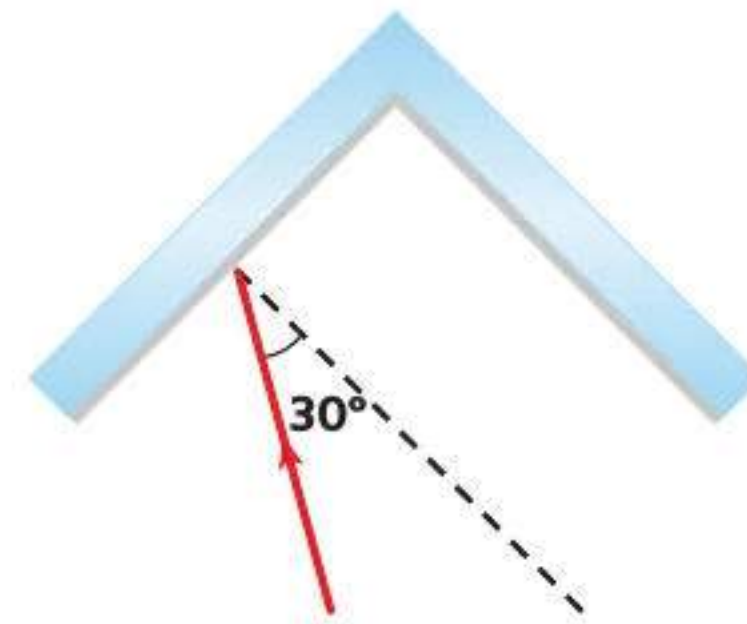


الشكل 20

45. سقط شعاع من الضوء على مرآة بزاوية مقدارها 60° ودوّرت المرآة بعد ذلك بزاوية مقدارها 18° . كما يبيّن الشكل 21. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع المرآة؟

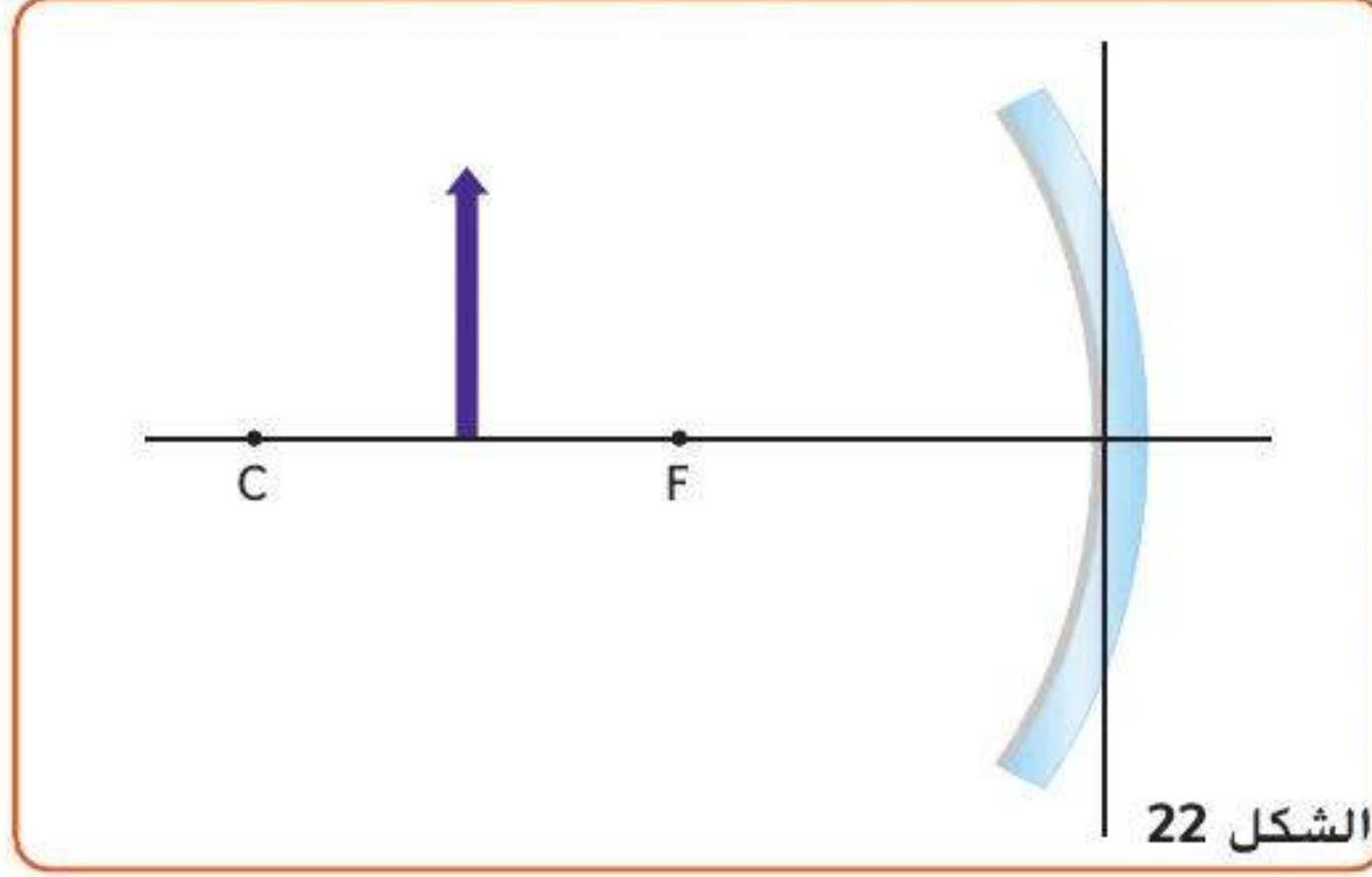


الشكل 21



الشكل 19

60. صف الصورة التي تظهر للجسم في الشكل 22 على أنها: حقيقية أم خيالية، مقلوبة أم معتدلة، مصغرة أم مكبرة.



الشكل 22

61. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من واقع الحياة، وعلى أن تكون المعادلة التالية جزءًا من الحل المطلوب لها: $\frac{1}{0.40 \text{ m}} = \frac{1}{0.75 \text{ m}} + \frac{1}{x_o}$
62. مهمة الترتيب في ما يلي أطوال أجسام وأطوال صورها في عدة مرايا. اعتمد على مقدار التكبير، ورتبها بحسب طولها من الأكبر إلى الأصغر.

- A. الجسم 1.0 cm، الصورة 0.5 cm
B. الجسم 2.0 cm، الصورة 0.5 cm
C. الجسم 2.0 cm، الصورة 1.0 cm
D. الجسم 5.0 cm، الصورة 7.0 cm
E. الجسم 3.0 cm، الصورة 2.0 cm

63. مرآة الأسنان يستخدم طبيب الأسنان مرآة صغيرة يبلغ نصف قطر تكورها 40 mm لمشاهدة التسوس في أسنان المريض. إذا كانت المرآة تقع على بُعد 16 mm من الأسنان، تكبير الصورة؟
64. وُضع جسم طوله 24 mm على بُعد 12.0 cm من مرآة مقعرة. إذا سقط ضوء الشمس على المرآة وتكونت صورة على بُعد 3.0 cm من المرآة. ارسم رسمًا تخطيطيًا للأشعة توضح من خلاله موقع الصورة. استخدم معادلة المرآة لحساب بُعد الصورة. وما طول الصورة؟
65. وُضع جسم يبلغ طوله 3.0 cm على بُعد 22.4 cm من مرآة مقعرة. إذا كان نصف قطر تكورها يساوي 34.0 cm، فما بُعد الصورة. وما طولها؟
66. الكرات الفلزية المصقولة المثبتة على الأعمدة على أطراف الحدائق تعمل عمل المرايا المحدبة. إذا كان هنالك طائر طوله 12 cm على شجرة تبعد 1.5 m من إحدى هذه الكرات فطرها 40.0 cm وتكونت له صورة عليها. فما بُعد الصورة، وما طولها؟

46. مرآتان مستويتان، الزاوية بينهما مقدارها 45° . إذا سقط شعاع ضوئي على إحدهما وكون زاوية مقدارها 30° مع العمود المقام، وانعكس باتجاه المرآة الثانية، ما مقدار زاوية انعكاسه عن المرآة الثانية؟

القسم 2 المرايا الكروية

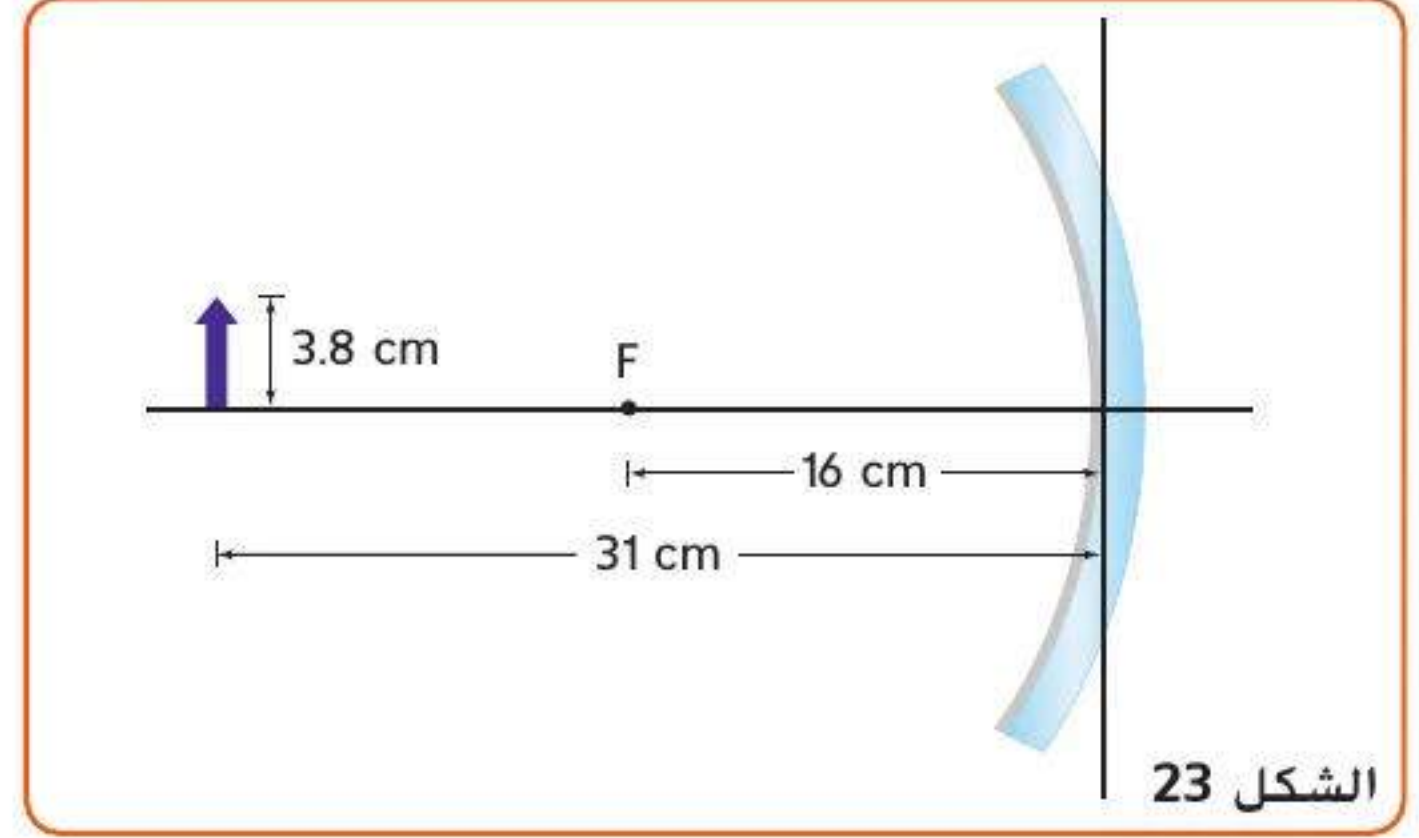
إتقان المفاهيم

47. إذا تكونت صورة خيالية لجسم في مرآة مقعرة، أين من الممكن أن يقع هذا الجسم؟
48. ما العيب الموجود في المرايا الكروية المقعرة، وما سبب ذلك العيب؟
49. ما المعادلة التي تربط بين البُعد البؤري وُبُعد الجسم وُبُعد الصورة؟
50. ما العلاقة بين نصف قطر التكوّر في مرآة مقعرة والبُعد البؤري فيها؟
51. إذا كنت تعرف بُعد الصورة وُبُعد الجسم بالنسبة إلى المرآة الكروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير المرآة؟
52. لماذا تُستخدم المرايا المحدبة كمرايا للرؤية الخلفية؟
53. لماذا لا يمكن تكوين صورة حقيقية في المرآة المحدبة؟

إتقان حل المسائل

54. مدينة الألعاب وقف خالد أمام مرآة محدبة في مدينة الألعاب ولاحظ تكوّن صورة له طولها 0.60 m. فإذا كان حجم الصورة إلى حجم الجسم يساوي $\frac{1}{3}$ ، فكم يبلغ طول خالد؟
55. إذا وضعت جسمًا على بُعد 30.0 cm من مرآة مقعرة بُعدها البؤري 15.0 cm، وكان طول الجسم 1.8 cm، استخدم معادلة المرآة لإيجاد بُعد الصورة وطولها.
56. يبلغ البُعد البؤري لمرآة مقعرة 10.0 cm. كم يساوي نصف قطر تكورها؟
57. مرآة الرؤية الخلفية أوجد مقدار البُعد الذي تظهر فيه صورة سيارة في مرآة محدبة لسيارة أخرى أمامها بُعدها البؤري 26.0 m، وكان البعد ما بين السيارة الخلفية ومرآة السيارة الأمامية 10.0 m.
58. صورة النجم إذا جمع الضوء المنبعث عن نجم بواسطة مرآة مقعرة، ما المسافة التي تبعتها صورة النجم عن المرآة إذا كان نصف قطر تكورها يساوي 150 cm؟
59. تظهر صورة خيالية على بُعد 9 cm من مرآة محدبة، إذا كان الجسم يقع على بُعد 18 cm منها، كم تبلغ نسبة تكبير الصورة؟

67. أوجد بُعد وطول صورة الجسم الموضح في الشكل 23.



الشكل 23

68. مرآة الصائغ يفحص الصائغ ساعة يبلغ قطرها 3.0 cm عن طريق وضعها على مسافة 8.0 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 12.0 cm. أين تقع صورة الساعة؟ كم يبلغ قطر الصورة؟

تطبيق المفاهيم

69. الفكرة الرئيسية يثبت الطريق الجاف الضوء بشكل أكبر من الطريق المبلل. اعتمادًا على الشكل 24، فسّر سبب ظهور الطريق المبلل أكثر سوادًا من الطرق الجافة بالنسبة إلى سائق السيارة.



أسفلت رطب



أسفلت جاف

الشكل 24

70. صفحات الكتاب لماذا يُستحسن أن تكون صفحات الكتاب خشنة وليست ملساء أو مصقولة؟

71. حدد مكان الصورة التي تظهر في المرآة المقعرة وصفاتها عندما يقع الجسم عند مركز تكوّنهما.

72. إذا وقع الجسم خلف مركز تكوّن إحدى المرايا الكروية المقعرة. حدد مكان الصورة وصفاتها.

73. التلسكوب إذا أردت طلب مرآة مقعرة كبيرة من أجل تلسكوب عالي الجودة. فهل تطلب مرآة كروية أم مرآة قطع مكافئ؟ فسّر إجابتك.

74. وضح كيف يمكنك استخدام مرآة كروية (محدبة أو مقعرة) في الحصول على صورة حقيقية.

75. مرايا الرؤية الخلفية يكتب على مرايا الرؤية الخلفية الخارجية في السيارات غالبًا التحذير التالي "الأجسام في المرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرايا؟ وبم يستفيد منها السائق؟

76. ما صفات الصورة التي تظهر في المرآة المحدبة المبينة في الشكل 25.



الشكل 25

مراجعة عامة

77. طرح مسألة أكمل هذه المسألة بحيث تكون الصورة الناتجة خيالية: "وضع جسم على مسافة 32 cm من مرآة"

78. وضع جسم على مسافة 4.4 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 24.0 cm. أوجد بُعد الصورة باستخدام معادلة المرآة.

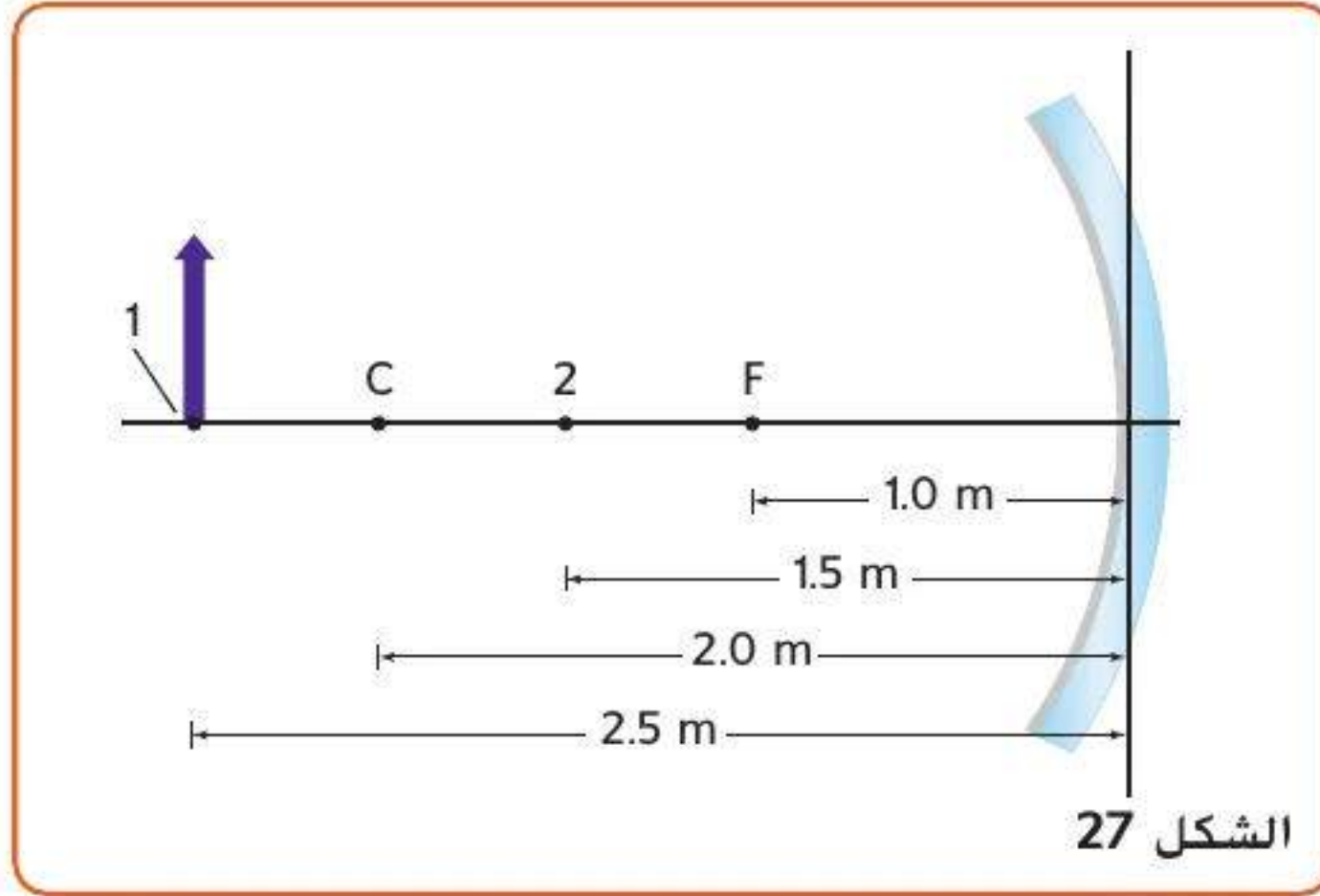
79. سقط شعاع ضوء على مرآة مستوية وصنع زاوية مقدارها 28° مع العمود المقام؛ إذا تحرك مصدر الضوء بحيث زادت الزاوية بمقدار 34°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

80. مرآة مقعرة نصف قطر تكوّنهما 26.0 cm. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 30.0 cm منها. ما بُعد الصورة؟ وكم طولها؟

81. إذا أردت استخدام مرآة محدبة لتكوين صورة لجسم، بحيث يكون طولها نصف طول الجسم وعلى بُعد 36 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري المطلوب في المرآة؟

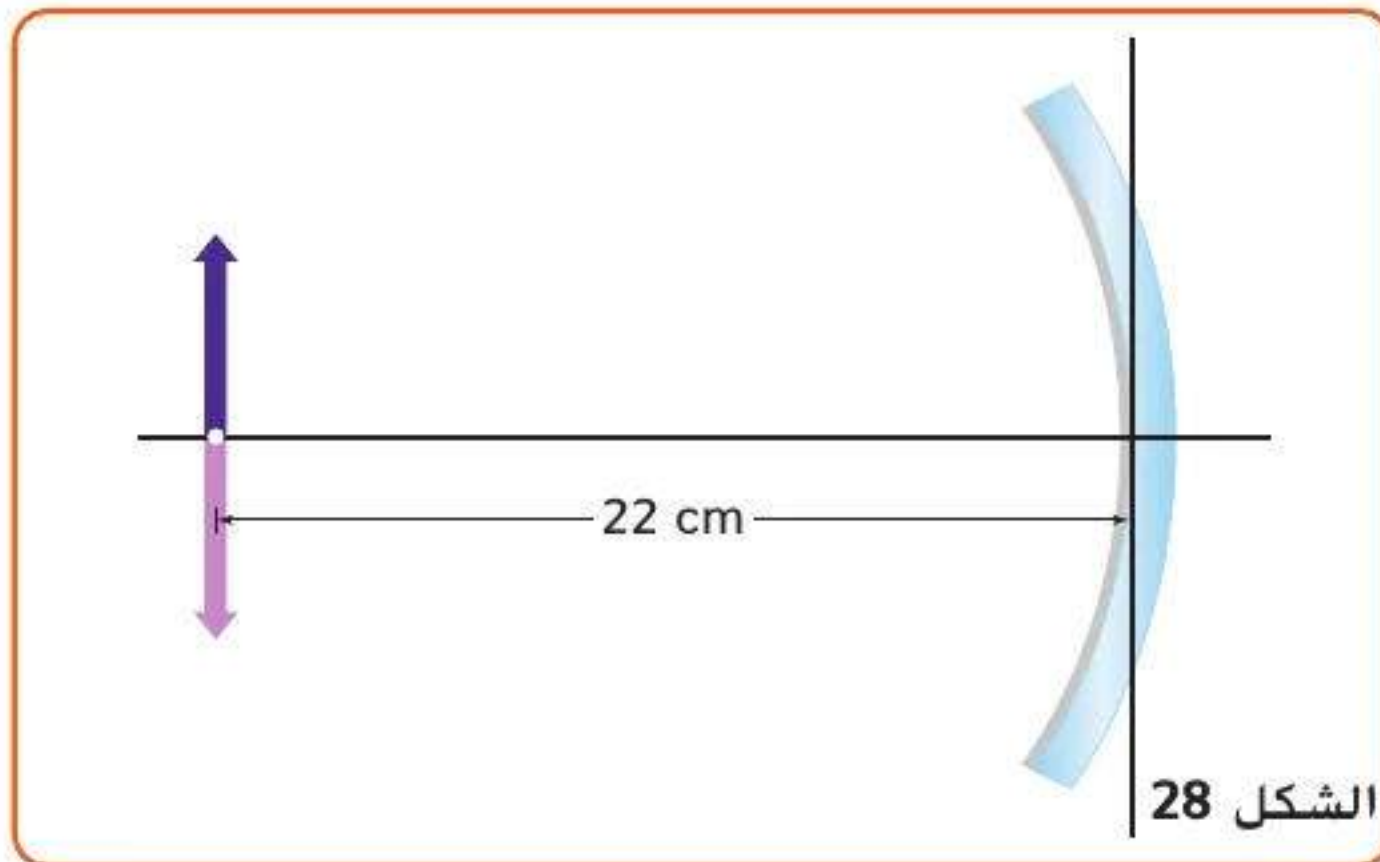
82. كم يبلغ نصف قطر تكوّن مرآة مقعرة تكون صورة لجسم مكبرة بمقدار 13.2 على بُعد 20.0 cm منها؟

90. يتحرك الجسم في الشكل 27 من الموضع 1 إلى الموضع 2. انسخ الرسم التخطيطي على دفترك، وأكمل رسم الأشعة لتوضح كيف تتغير الصورة.

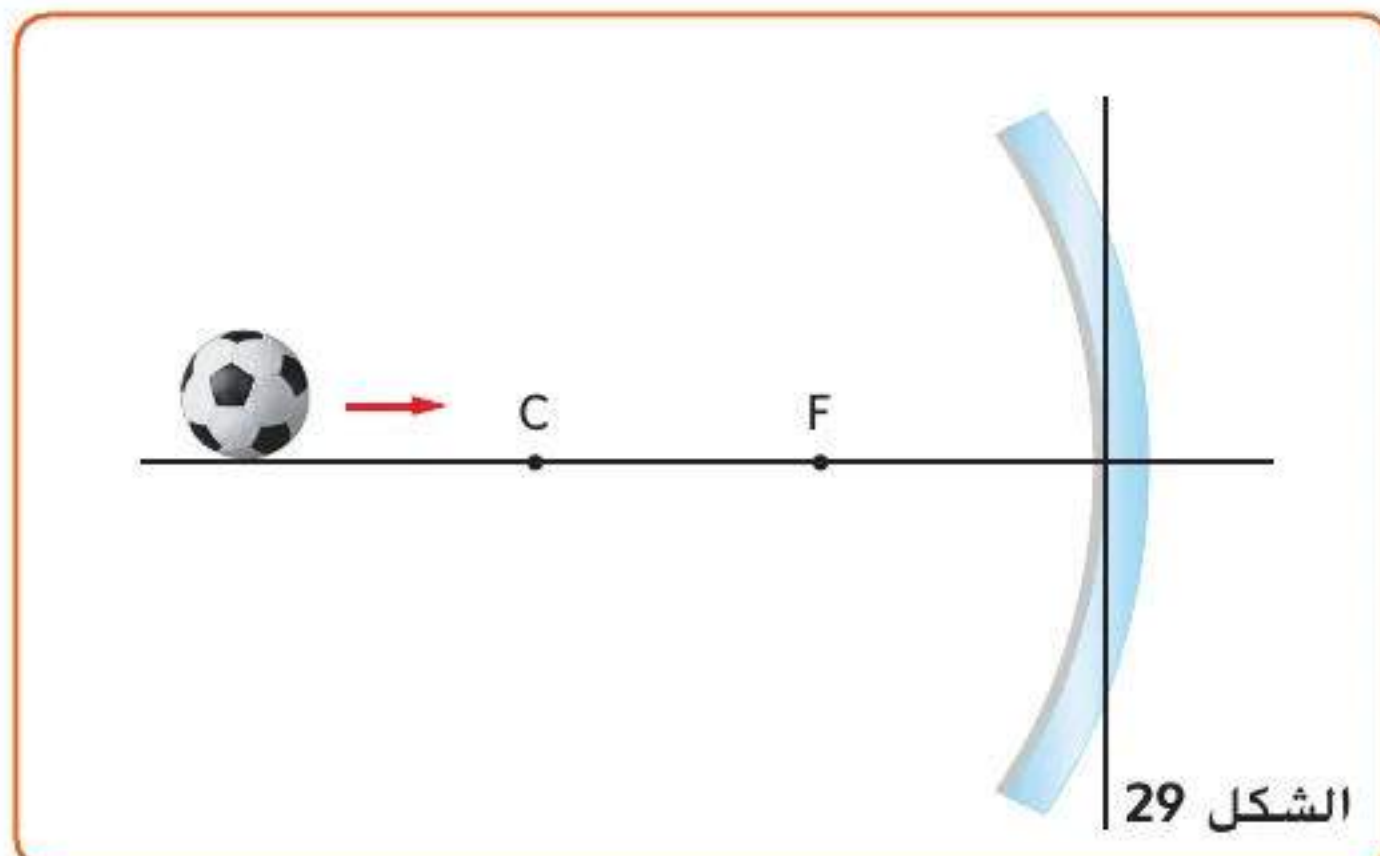


التفكير الناقد

91. حل واستنتج يقع الجسم الموجود في الشكل 28 على مسافة 22 cm من مرآة مقعرة. فما البعد البؤري للمرآة؟



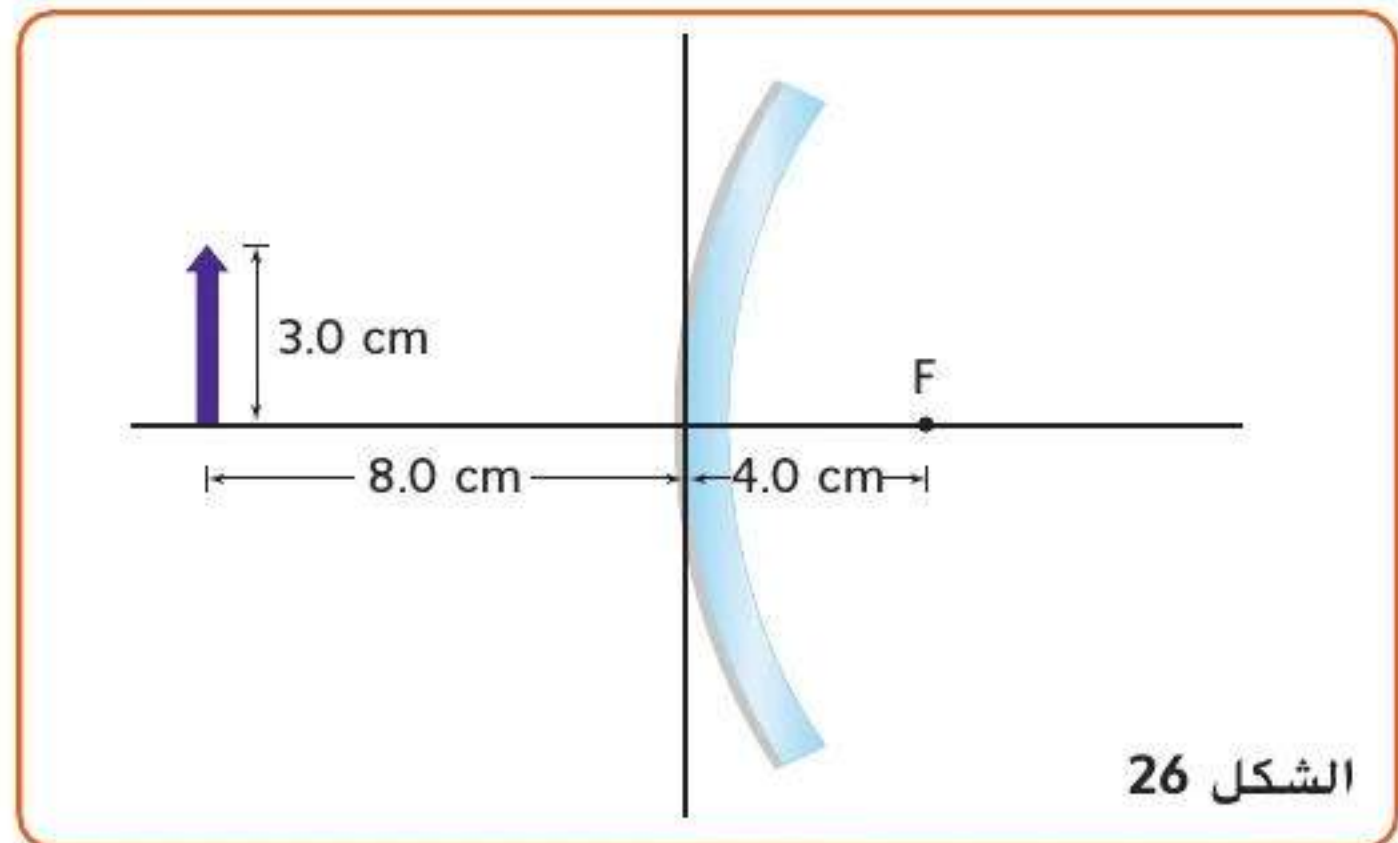
92. طبق المفاهيم تتدحرج الكرة الموجودة في الشكل 29 ببطء صوب المرآة المقعرة الموجودة عن اليمين. صف كيفية تغير حجم صورة الكرة أثناء تدحرجها.



83. وضعت كرة على مسافة 22 cm أمام مرآة كروية وتكون صورة خيالية. إذا استبدلت المرآة الكروية بمرآة مستوية، ستظهر الصورة أقرب إلى المرآة مسافة 12 cm. ما نوع المرآة الكروية المستخدمة؟

84. خدعة بصرية يستخدم المخادع البصري مرآة مقعرة بعدها البؤري 8.0 m لإظهار جسم مخفي يصل طوله إلى 3.0 m ويقع على بُعد 18.0 m من المرآة كصورة حقيقية يراها جمهوره. أوجد طول صورة الجسم وبعدها باستخدام الرسم التخطيطي للأشعة.

85. انسخ الشكل 26 على ورقة. استخدم مخططات الأشعة لتكوين صورة للجسم في المرآة لإيجاد ارتفاع الصورة وموضعها.



86. وضع جسم طوله 4.0 cm على مسافة 12.0 cm من مرآة محدبة. إذا كان طول صورة الجسم 2.0 cm وتقع الصورة على مسافة 26.0 cm، فكم يساوي البعد البؤري للمرآة؟ ارسماً رسماً تخطيطياً للأشعة للإجابة عن السؤال. استخدم معادلة المرآة ومعادلة التكبير للتحقق من الإجابة.

87. مرآة المراقبة يستخدم محل تجاري مرايا لمراقبة الممتلكات داخله. إذا كان نصف قطر تكور كل منها 3.8 m. أ. أين تقع صورة الزبون الذي يقف على مسافة 6.5 m أمام المرآة؟

- b. كم يبلغ طول صورة الزبون الذي يصل طوله إلى 1.7 m؟

88. مرآة المعاينة يريد مهندس صنع مرآة تكون صورة معتدلة للجسم مكبرة 7.5 مرة إذا تم تثبيتها على بُعد 14.0 mm من طرف الآلة.

- a. ما نوع المرآة التي يمكنها القيام بذلك؟

- b. أوجد نصف قطر تكورها؟

89. تقف فتاة طولها 1.6 m على مسافة 3.2 m من مرآة محدبة. ما البعد البؤري للمرآة إذا كان طول صورة الفتاة 0.28 m؟

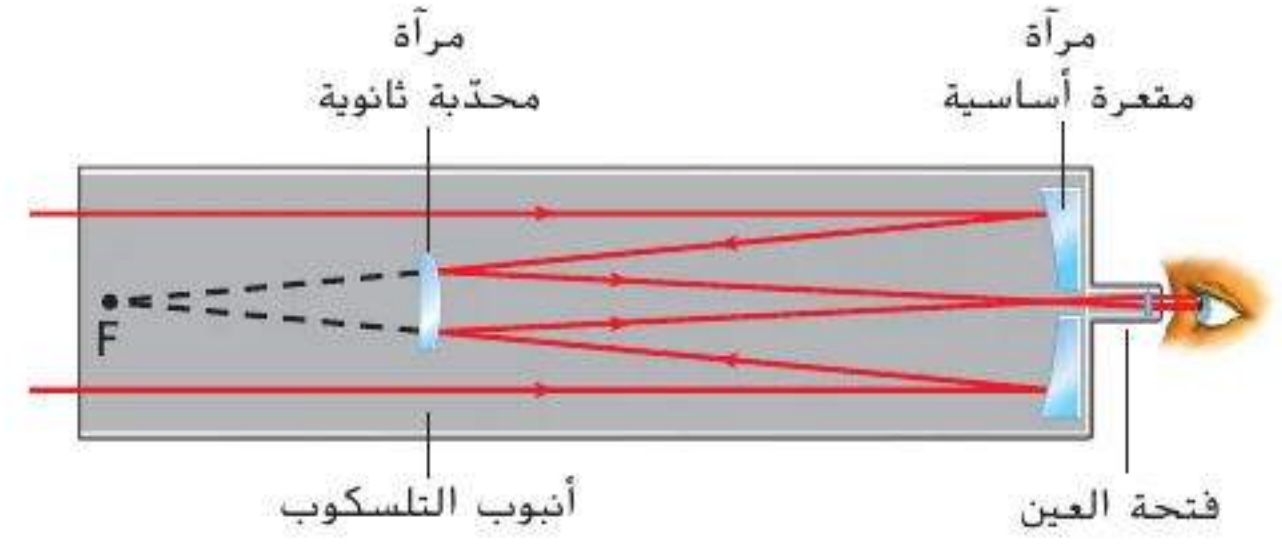
98. تعكس المرايا الضوء بسبب طبقة الطلاء الفلزية الموجودة عليها. ابحث عن أحد من التالي واكتب تقريرًا عنه:
- a. الأنواع المختلفة لطبقات الطلاء المستخدمة ومزايا وعيوب كل منها
- b. صقل الألمنيوم بصورة دقيقة حتى يصل إلى درجة عالية جدًا من النعومة، وهذا يفيد في عدم حاجة الزجاج في تصنيع المرايا.

93. **حلل واستنتج** إنَّ النظام المتكوّن من مرآتين والموضّح في الشكل 14 هو نفسه المطبّق في تلسكوب جريجوري. إذا كان نصف قطر تكوّر المرآة الكبيرة المقعرة يساوي f وبُعدها البؤريّ f . وتقع المرآة الصغيرة على مسافة x بحيث $f < x < 2f$. لماذا تكون المرآة الثانوية مقعرة؟

94. تأخذ ملعقة التقديم الكبيرة شكلًا كرويًا وتكون عاكسة من جهتيها الخارجي والداخلي على حد سواء. إذا أمسكت الملعقة على مسافة 3 cm ونظرت إلى وجهك في الجزء الذي تحمل به الطعام، فستكون صورتك على مسافة 9 cm خلف الملعقة. إذا قلبت الملعقة، ففي أي مكان ستقع صورتك؟

95. إنَّ الصورة التي تظهر في المرآة الأساسية في تلسكوب كاسيجرين، كما هو موضّح في الشكل 30، هي للجسم الموجود في المرآة الثانوية. إذا كان البعد البؤريّ للمرآة الأساسية المقعرة 1.0 m والبعد البؤريّ للمرآة الثانوية المحدبة -0.50 m. تقع المرآة الثانوية على مسافة 0.25 m من بؤرة المرآة الأساسية.

- a. ما بُعد الجسم؟ وأين تقع الصورة؟
- b. ما تكبير المرآة المحدبة؟ هل تعكس الصورة؟



الشكل 30

96. **حلل واستنتج** يستعمل في بعض التلسكوبات ترتيب بصري يسمى "كاسيجرين" كالمبين في الشكل 30. إذ يستخدم في هذا التلسكوب مرآة محدبة ثانوية توضع بين المرآة الأساسية وبؤرتها. وكما تعرف فالمرآة المحدبة تكوّن صورًا خيالية فقط، إلا أنها في هذا التلسكوب تكوّن صورًا حقيقية. فسّر ذلك.

الكتابة في الفيزياء

97. ابحث عن طريقة تُستخدم في صقل وتلميع وفحص المرايا المستخدمة في التلسكوبات العاكسة. كما يمكنك الكتابة عن الطريقة التي يستخدمها هواة علم الفلك في صناعة التلسكوبات باليد. واكتب تقريرًا في ذلك واعرضه على زملائك في الصف.

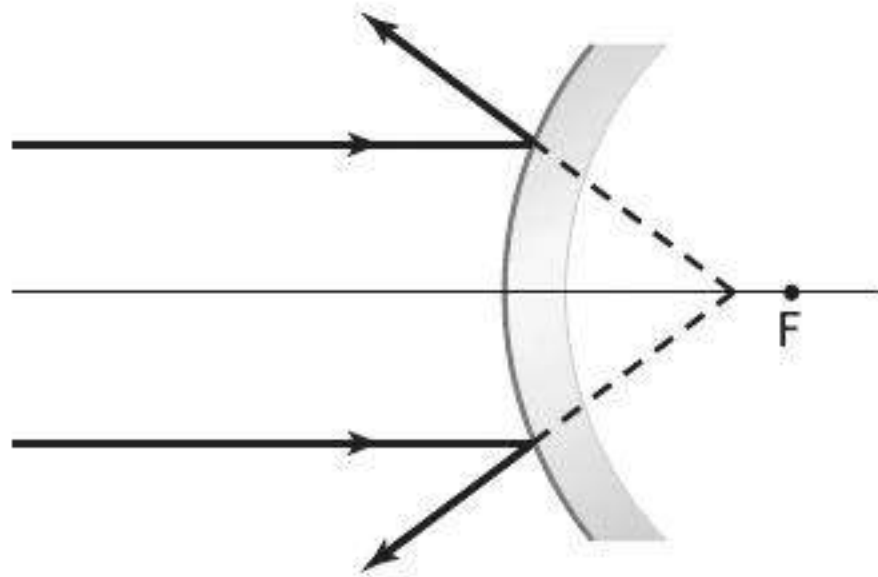
الاختبار من متعدد

1. أين يقع جسم إن كانت الصورة المتكوّنة له في مرآة مقعرة أصغر من الجسم؟
 A. عند بؤرة المرآة
 B. بين المرآة والبؤرة
 C. بين البؤرة ومركز تكور المرآة
 D. أبعد من مركز تكور المرآة
2. تُكوّن مرآة مقعرة يبلغ بعدها البؤري 16.0 cm صورة تقع على بعد 38.6 cm من المرآة. فما المسافة التي يبعدها الجسم من أمام المرآة؟
 A. 2.4 cm
 B. 11.3 cm
 C. 22.6 cm
 D. 27.3 cm
3. استخدمت مرآة محدبة لتكوين صورة لجسم حجمها ثلاثة أرباع حجمه وعلى بُعد 8.4 cm خلف المرآة. كم يبلغ البعد البؤري للمرآة؟
 A. -34 cm
 B. -11 cm
 C. -6.3 cm
 D. -4.8 cm
4. تكون مرآة مقعرة صورة مقلوبة لجسم طولها 8.5 cm . وتقع على بُعد 34.5 cm أمام المرآة. إذا كان البعد البؤري للمرآة 24.0 cm . فكم يبلغ طول الجسم؟
 A. 2.3 cm
 B. 3.5 cm
 C. 14 cm
 D. 19 cm
5. وُضع كوب على بُعد 17 cm من مرآة مقعرة. فظهرت صورة الكوب على بُعد 34 cm أمام المرآة. فما مقدار تكبير واتجاه صورة الكوب؟
 A. 0.5 ، مقلوبة
 B. 0.5 ، معتدلة
 C. 2.0 ، مقلوبة
 D. 2.0 ، معتدلة
6. كم يبلغ البعد البؤري لمرآة مقعرة تقوم بتكبير الجسم الواقع على بُعد 30 cm منها بمعامل $+3.2$ ؟
 A. 23 cm
 B. 32 cm
 C. 44 cm
 D. 46 cm

7. وُضع جسم على بعد 21 cm أمام مرآة مقعرة ببعدها البؤري يساوي 14 cm . فما بُعد صورته؟
 A. 242 cm
 B. 28.4 cm
 C. 8.4 cm
 D. 42 cm

8. اصطدم شعاع ضوئي بمرآة مستوية بزاوية قدرها 23° مع العمود المقام. كم تكون زاوية انعكاسه عن المرآة؟
 A. 23°
 B. 46°
 C. 67°
 D. 134°

9. انظر إلى الشكل أدناه، ولاحظ كيف أن امتدادات الأشعة لا تتجمع في البؤرة بشكل دقيق. أين تحدث هذه المشكلة:
 A. لجميع المرايا الكروية.
 B. لجميع مرايا القطع المكافئ.
 C. المرايا الكروية المعيبة فقط.
 D. مرايا القطع المكافئ المعيبة فقط.



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

10. يوجد جسم طوله 5.0 cm على بُعد 20.0 cm من مرآة محدبة ببعدها البؤري -14.0 cm . ارسم مخطط الأشعة بمقياس رسم مناسب لتبين موقع صورة الجسم وطولها.

الانكسار والعدسات

الفكرة الرئيسية تعمل العدسات على انكسار الضوء وتكوين صور.

الأقسام

1 انكسار الضوء

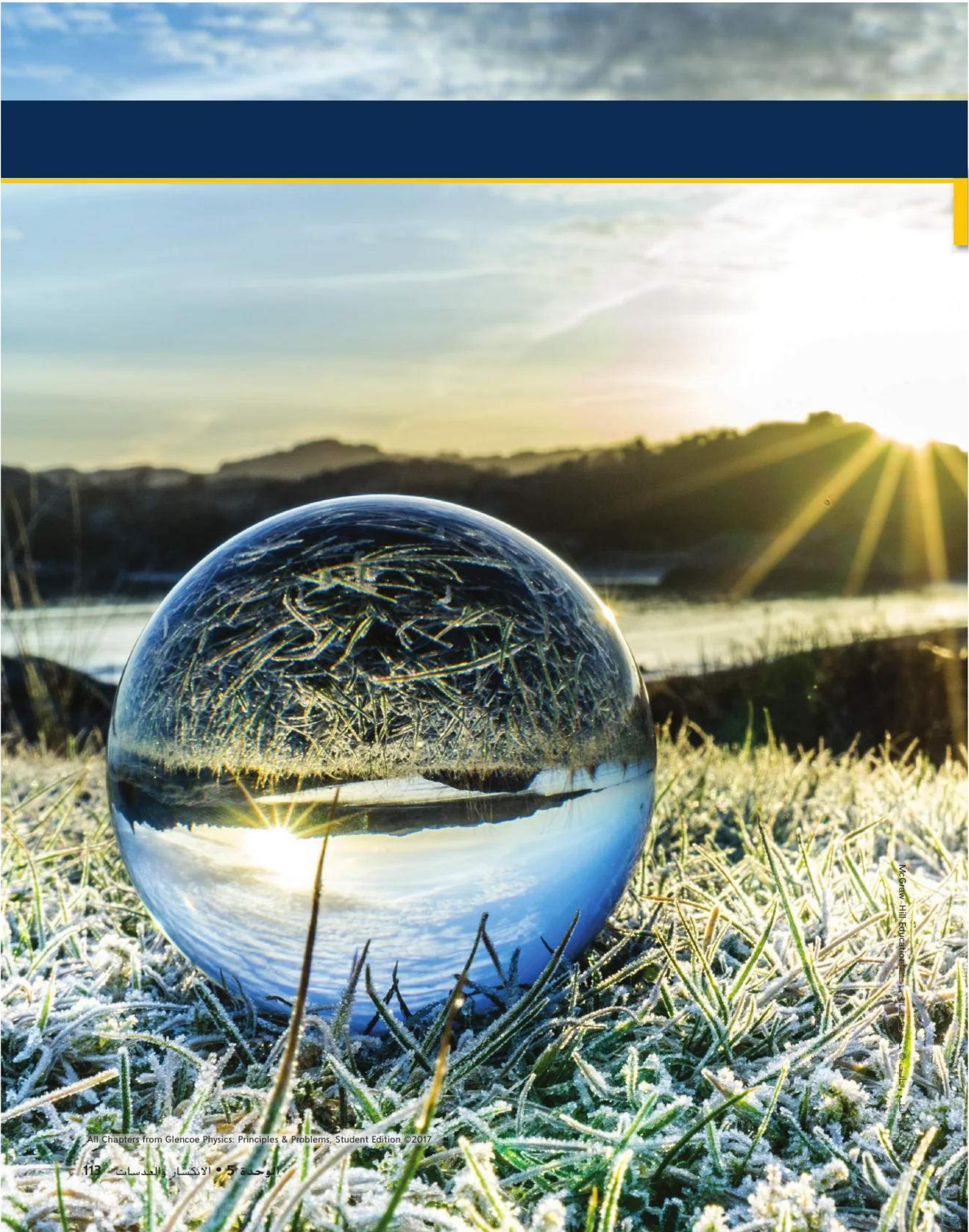
2 العدسات المحدبة والمقعرة

3 تطبيقات العدسات

التجربة الاستهلاكية

شكل الماصة المكسورة

كيف تصف شكل انكسار ماصة المشروبات الموضوعة في كوب من الماء؟



انكسار الضوء

القسم 1

هل سبق لك أن لاحظت قوس المطر في السماء عندما تسطع الشمس بعد هطول الأمطار؟ يعد قوس المطر مثالاً لتفاعل الضوء مع الأوساط الشفافة. ما الشروط التي يجب توافرها حتى يظهر قوس المطر للعيان؟ هل حاولت يوماً الاقتراب من قوس المطر كي تلمسه؟

الفيزياء
في
حياتك
.....

الضوء والحدود الفاصلة بين الأوساط

ماذا يحدث للضوء عندما يمرّ عبر النافذة؟ عندما يسقط الضوء على وسط شفاف أو شبه شفاف، تنعكس بعض أشعة الضوء من سطح الوسط ويمرّ بعضها الآخر عبر الوسط. تذكر أنّه عندما يعبر الضوء حدّاً فاصلاً بين وسطين، فإنه ينحرف عن مساره. هل سبق ونظرت إلى قاع بركة السباحة عبر الماء وظننت أنّ الماء يبدو ضحلاً أكثر مما هو عليه في الحقيقة؟ هل سبق ونظرت إلى كوب من الماء يحتوي على ماصة أو ملعقة تبدو كأنها مكسورة عند السطح؟ تحدث هاتان الظاهرتان الغريبتان بسبب انحراف الضوء عند الحدود الفاصلة بين الوسطين. يُعرف انحراف الضوء عند انتقاله من وسط ما إلى وسط آخر بالانكسار.

الانكسار لاحظ أشعة الضوء في الشكل 1. حيث تسقط هذه الأشعة من الهواء على ثلاثة أوساط مختلفة هي: الماء والزجاج والألماس. إذا كانت زاوية سقوطها على الأوساط الثلاثة هي نفسها، ما الذي تلاحظه على أشعة الضوء بعد مرورها الحد الفاصل في كل من الأوساط الثلاثة؟ لعلك لاحظت أن أشعة الضوء تنحرف عند مرورها عبر الحدود الفاصلة.

ما وجه الاختلاف الذي تلاحظه بين الأوساط الثلاثة الموضحة؟ تنحرف أشعة الضوء عند انتقالها من الهواء إلى الألماس بدرجة أكبر منها عند انتقالها من الهواء إلى الماء أو إلى الزجاج. تعتمد هذه الظاهرة على خصائص الأوساط التي تنتقل منها وإليها أشعة الضوء.

تنتقل أشعة الضوء في الشكل 1 من الهواء وتدخل وسطاً آخر بالزاوية نفسها. في رأيك، ما العلاقة بين زاوية سقوط الضوء عند مروره عبر الحد الفاصل بين وسطين ومقدار الانكسار الذي يحدث له؟

الفكرة الرئيسية

يعتمد مقدار الانكسار عند الحد على معاملي انكسار الوسطين وزاوية السقوط.

الأسئلة الرئيسية

- ما قانون سنل للانكسار؟
- ما المقصود بمعامل الانكسار؟
- كيف يحدث الانعكاس الداخلي الكلي؟
- كيف يؤدي الانكسار إلى ظواهر بصرية متعددة؟

مراجعة المفردات

الانكسار refraction: تغيّر اتجاه الموجات عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين

مفردات جديدة

معامل الانكسار

index of refraction

critical angle

زاوية حرجة

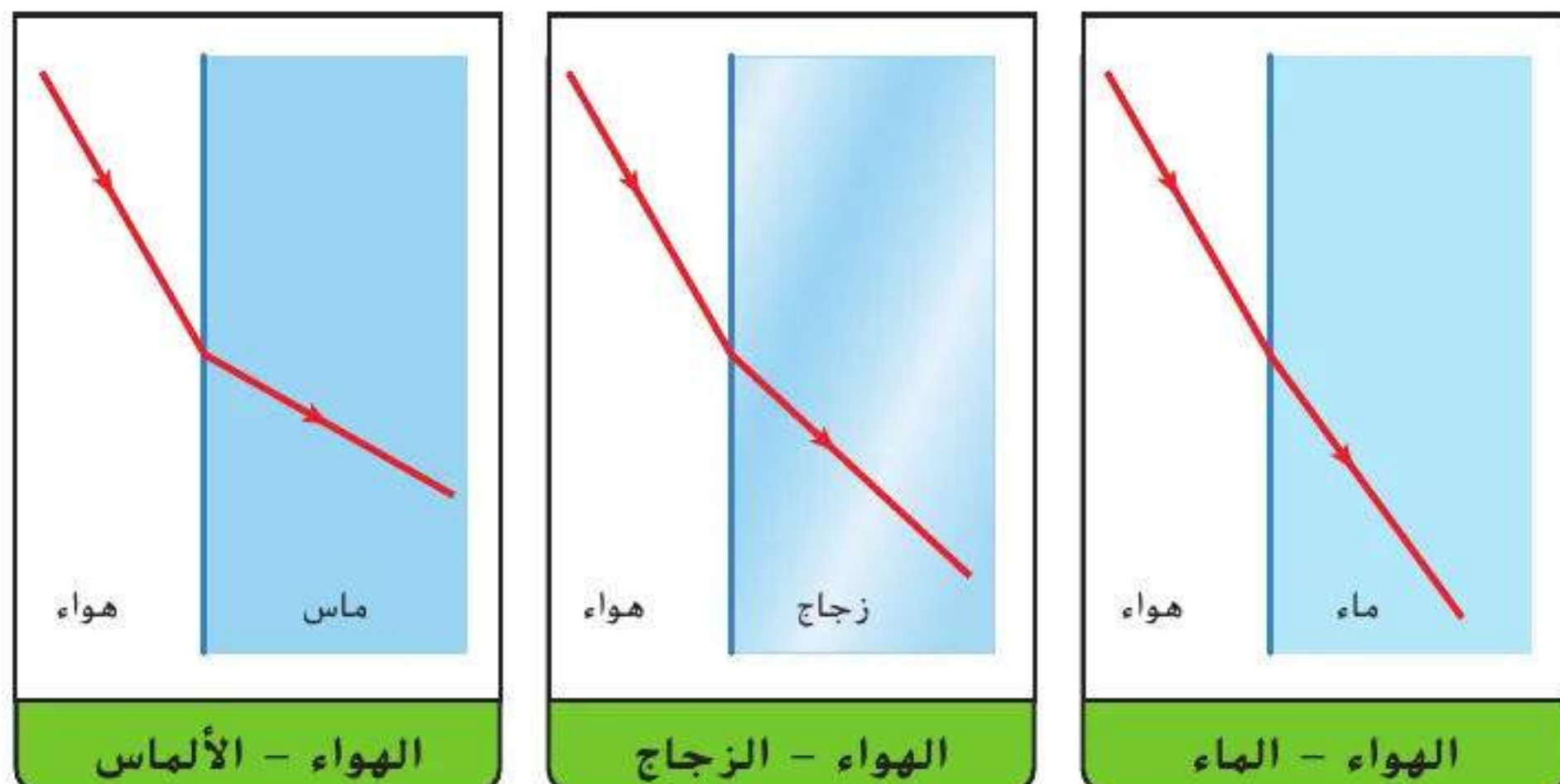
انعكاس داخلي كلي

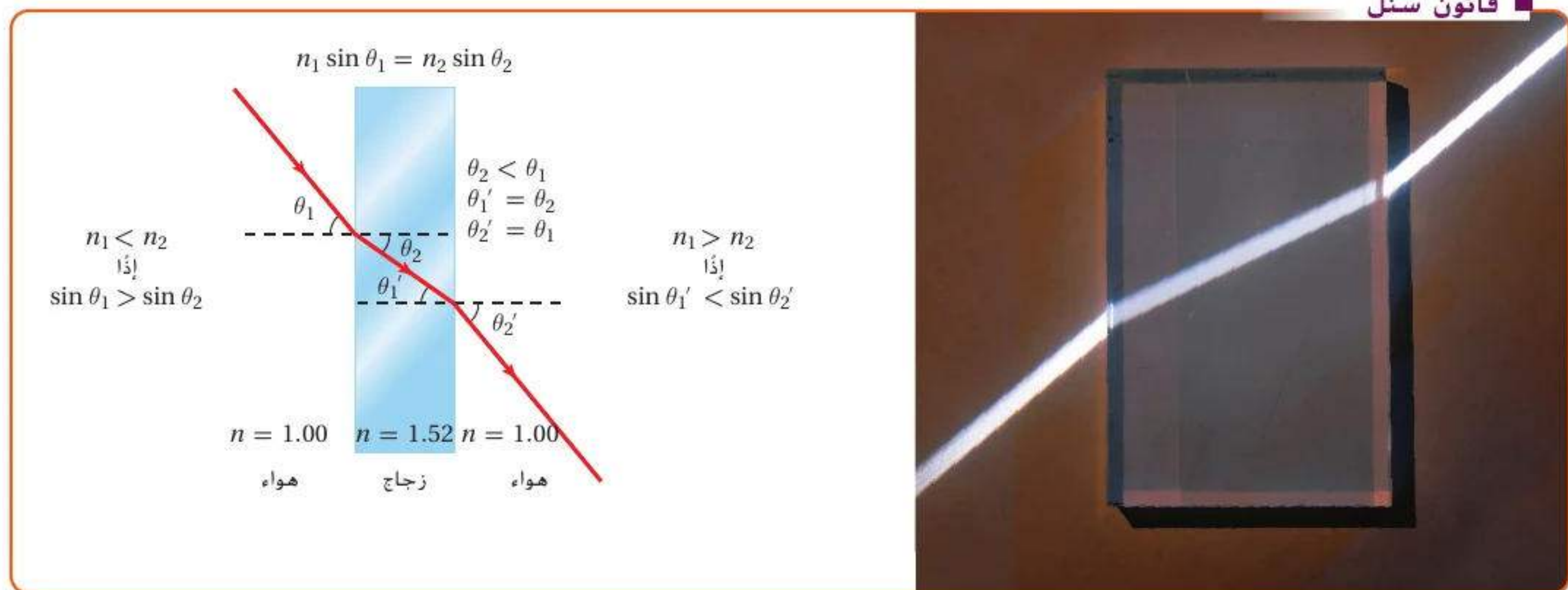
total internal reflection

dispersion

تحلل الضوء

الشكل 1 ينكسر الضوء عند مروره عبر حد فاصل بين وسطين. ويعتمد مقدار الانكسار على خصائص الأوساط. (الزوايا غير مرسومة بمقياس رسم)





الشكل 2 عند انتقال الضوء من الهواء إلى الزجاج، فإنه ينكسر مقترباً من العمود المقام على السطح الأول للزجاج، ثم عند نفاذه من الزجاج إلى الهواء مرة أخرى ينكسر مبتعداً عن العمود المقام على السطح الثاني للزجاج.

الفيزياء في حياتك

الجلوس في الهواء - هل سبق لك وأن شاهدت شخصاً يجلس في الهواء؟

في الواقع إنه يجلس فوق كتلة شفافة معامل انكسارها يساوي معامل انكسار الهواء.

هل تستطيع الآن أن تفسر كيف يمشي شخص حافي القدمين على سطح الماء؟

قانون سنل للانكسار

درس كل من رينيه ديكارت وويلبرورد سنل الانكسار للمرة الأولى في القرن السابع عشر من خلال إسقاط حزمة ضيقة من الضوء على وسط شفاف، مثل الزجاج كما يُبين الشكل 2. وقاسا زاوية السقوط وزاوية الانكسار، إذ إن زاوية السقوط (θ_1) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط وعمود الانكسار. أما زاوية الانكسار (θ_2) فهي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر وعمود الانكسار.

معامل الانكسار اكتشف سنل أنه عندما ينتقل الضوء من الهواء إلى وسط شفاف آخر فإن ثمة علاقة بين جيب ($\sin$) زاويتي السقوط في الهواء والانكسار في الوسط الثاني، إذ يحدد **معامل الانكسار (n)** تلك العلاقة، أما معامل الانكسار للوسط فتحدده خصائص ذلك الوسط، والجدول 1 يبين قيم n لعدد من الأوساط الشفافة. بإجرائه العديد من التجارب توصل سنل إلى قانون الانكسار الذي عرف باسمه، والذي ينطبق عند نفاذ الضوء عبر الحد الفاصل بين وسطين مختلفين.

قانون سنل للانكسار

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

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

استخدم الشكل 2 والجدول 1 لتوضيح مدى تحقق قانون سنل عند انتقال الضوء عبر قطعة زجاج ذات سطوح متوازية، مثل لوح الزجاج في النافذة. إذ ينكسر الضوء مرتين، الأولى عند دخوله الزجاج والثانية عند خروجه منه. عندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج، فإنه ينتقل من وسط معامل انكساره قليل ($n = 1$) إلى وسط معامل انكساره أكبر ($n = 1.52$). وينحرف الضوء نحو العمود المقام.

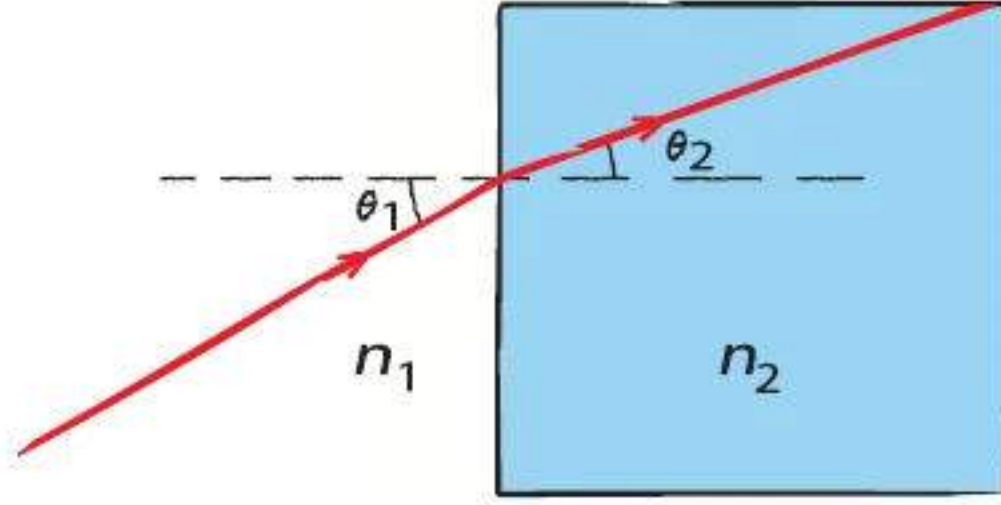
عند انتقال الضوء من الزجاج إلى الهواء، فإنه ينتقل من وسط معامل انكساره أكبر (1.52) إلى وسط معامل انكساره n أقل (1.00). وينحرف الضوء بعيداً من العمود المقام. تحدد قيم n النسبية ما إذا كان الضوء سينحرف مقترباً من العمود المقام أم مبتعداً عنه. لاحظ اتجاه الشعاع عند خروجه من الزجاج، إنه في الاتجاه نفسه كما كان قبل سقوطه على الزجاج، $\theta_1 = \theta_2'$. وذلك لأنّ الحدين يفصلان بين الوُسْطين عينهما.

الجدول 1	
معاملات انكسار الضوء الأصفر ($\lambda = 589 \text{ nm}$ في الفراغ)	
الوسط	n
الفراغ	1.00
هواء	1.0003*
الماء	1.33
الإيثانول	1.36
الزجاج المصقول	1.52
الكوارتز	1.54
الزجاج الصواني	1.62
ألماس	2.42

*تتضمن القيمة المحددة للهواء أرقاماً معنوية إضافية لتمييزها عن القيمة المحددة للفراغ. استخدم قيمة n بمقدار 1.00 في حل المسائل.

مثال 1

زاوية الانكسار تسقط حزمة من الضوء على لوح من الزجاج المصقول بزاوية 30.0° .
فما زاوية انكسار شعاع الضوء؟



1 تحليل المسألة ورسم مخطط لها

- ارسم مخططاً للحد الفاصل بين الهواء والزجاج المصقول.
- ارسم شعاع الضوء وضع التسميات θ_1 و θ_2 و n_1 و n_2 .

المجهول:
 $\theta_2 = ?$

المعلوم:
 $\theta_1 = 30.0^\circ$
 $n_1 = 1.00$
 $n_2 = 1.52$

2 حساب المجهول

استخدم قانون سنل لإيجاد جيب زاوية الانكسار.

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

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

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

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

$$= 19.2^\circ$$

عوض عن $n_1 = 1.00$, $n_2 = 1.52$, $\theta_1 = 30.0^\circ$

3 تقييم الإجابة

هل هذه الإجابة معقولة؟ تنتقل حزمة الضوء إلى وسط ذي n أعلى.
ثم، يجب أن تكون θ_2 أقل من θ_1 .

تطبيقات

1. تنتقل حزمة ليزر من الهواء إلى الإيثانول بزاوية سقوط 37.0° .
كم تبلغ زاوية الانكسار؟
2. عندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الماء فإنه ينفذ داخل الماء
بزاوية انكسار مقدارها 25.0° بالنسبة إلى العمود المقام، جد
زاوية سقوطه في الهواء.
3. ينتقل الضوء من الهواء إلى واجهة من الألماس بزاوية 45.0° . كم
تبلغ زاوية الانكسار؟
4. غمرت كتلة من مادة شفافة في الماء، فانتقل الضوء إليها من الماء
بزاوية سقوط تساوي 31° . ثم نفذ داخلها بزاوية انكسار تساوي 27° . ما
معامل انكسار تلك المادة؟
5. تحفيز ينتقل الضوء من الهواء إلى وسط آخر بزاوية سقوط في
الهواء تساوي 45.0° وزاوية انكسار في الوسط الآخر 27.7° . ما
الوسط الآخر؟

◀ **الربط بعلم الفلك** بسبب انكسار الضوء يظهر القمر باللون الأحمر
أثناء ظاهرة خسوف القمر، كما هو موضح في الشكل 3. ويحدث خسوف القمر
عندما تحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر، ونتيجة لهذا، من المتوقع أن
يكون القمر مظلمًا تمامًا بسبب وقوعه في منطقة الظل. إلا أنه حينما ينتقل
الضوء بين وسطي الفراغ والغلاف الجوي للأرض فإنه ينكسر منحرفًا نحو
الأرض، أي باتجاه القمر، وحيث إن الغلاف الجوي للأرض يشتمل الأطوال
الموجية القصيرة للضوء وهي الأزرق والأخضر، فإن الضوء الأحمر هو
الذي ينفذ منحرفًا نحو القمر، فيظهر القمر في حالة الخسوف باللون
الأحمر.

الشكل 3 يبدو القمر أحمر أثناء خسوف القمر بسبب الانكسار.



معامل الانكسار

يصف معامل الانكسار لوسط ما مقدار الانحراف في مسار الضوء عند دخوله هذا الوسط. لكن هل من دلالة أخرى لمعامل الانكسار؟ عند النظر إلى الضوء على أنه موجات، نجد هناك علاقة بين انتشار الضوء في الوسط ومعامل انكساره. لقد أنجز قانون سنل قبل وضع النموذج الموجي، لكن بعد تطوير النموذج الموجي الذي يفسر سلوك الضوء تمكن العلماء من تفسير انتقال الضوء في الوسط بسرعة أقل من انتقاله في الفراغ نتيجة تفاعله مع ذرات الوسط.

تذكر أنّ سرعة انتقال الضوء في الفراغ، $\lambda_0 = \frac{c}{f}$. ويمكن كتابتها كما يلي $\lambda = \frac{v}{f}$. حيث يمثّل v سرعة الضوء في وسط ويمثّل λ الطول الموجي في ذلك الوسط. إنّ التردد (f) هو عدد ذبذبات الموجة في الثانية الواحدة، ولا يتغيّر مقداره عند الحد الفاصل بين الوسطين. ولأن f يبقى كما هو و $\lambda = \frac{v}{f}$ يقل الطول الموجي حينما تقل سرعة الضوء أثناء مروره عبر السطح الفاصل بين الوسطين. ولأن سرعة الضوء في الوسط أقل من سرعة الضوء في الفراغ، فإن طوله الموجي في أي وسط يكون أقصر منه في الفراغ.

النموذج الموجي ما النتائج المترتبة على هذا التغيّر في الطول الموجي؟ للإجابة عن السؤال انظر إلى الشكل 4 الذي يوضح حزمة من الضوء مكوّنة من سلسلة من مقدمات الموجات المتوازية والمستقيمة. وتمثّل كل مقدمة موجة قمة الموجة حيث تكون عمودية على اتجاه انتقال الحزمة التي تسقط على السطح بزاوية θ_1 . انظر إلى المثلث $\triangle PQR$. بما أنّ مقدمات الموجات عمودية على اتجاه الحزمة، فإن الزاوية $\angle PQR$ زاوية قائمة، والزاوية $\angle QRP$ تساوي θ_1 . بالتالي، $\sin \theta_1$ يساوي $\overline{PQ}$ مقسومًا على $\overline{PR}$.

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

يمكن ربط زاوية الانكسار (θ_2) بطريقة مشابهة بالمثلث $\triangle PSR$. كما يلي:

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

وبحساب نسبة جيبى الزاويتين، تُلغى $\overline{PR}$ وتصبح المعادلة على النحو التالي:

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

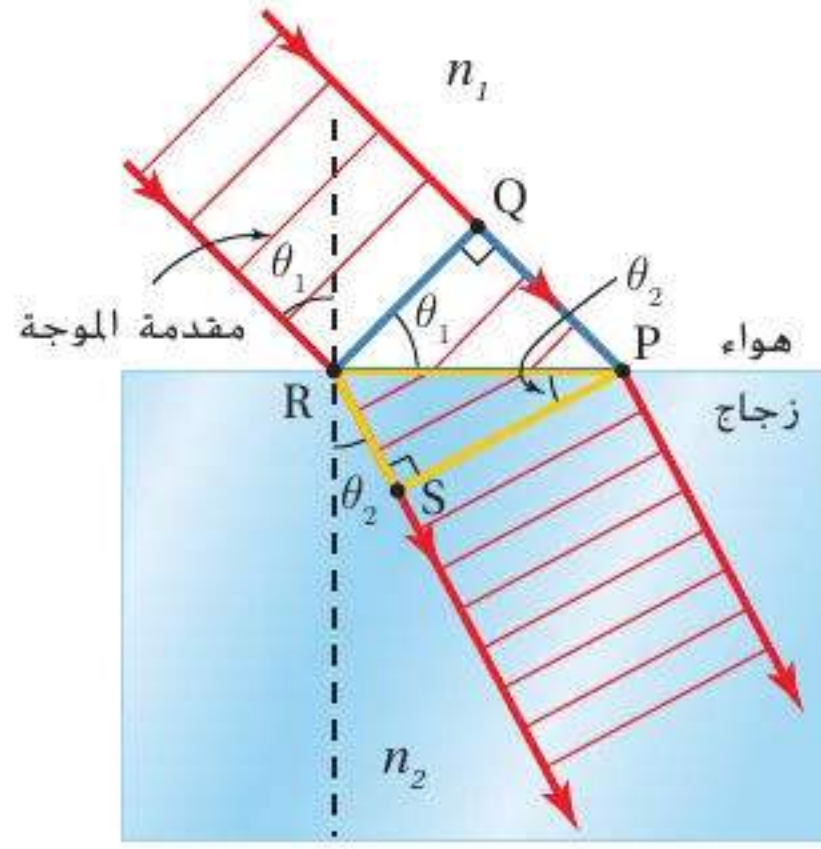
في الشكل 4 يمثّل $\overline{PQ}$ ثلاثة أمثال الطول الموجي للضوء في الهواء، ويمكن كتابة ذلك بالصورة $\overline{PQ} = 3\lambda_1$. وبطريقة مماثلة، $\overline{RS} = 3\lambda_2$. بالتعويض عن هاتين القيمتين في المعادلة السابقة وإلغاء العامل المشترك 3، تنتج معادلة تربط زاويتي السقوط والانكسار بالطول الموجي للضوء في كل من الوسطين.

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

باستخدام المعادلة $\lambda = \frac{v}{f}$ وإلغاء العامل المشترك f . لأنّ التردد يبقى ثابتًا، يمكن إعادة كتابة المعادلة بالصورة:

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

الموجات الساقطة



الشكل 4 تخترق كل مقدمة موجة السطح الفاصل منتقلة من الهواء إلى الزجاج بزاوية ما. تقل سرعة جزء من مقدمة الموجة وينكسر الشعاع. وحيث إنّ سرعة الموجة تقل ويبقى التردد ثابتًا، لكي تكون العلاقة $\lambda = \frac{v}{f}$ صحيحة، يجب أن يقل الطول الموجي.

استدل أي الوسطين ذو معامل انكسار أعلى؟

مختبر الفيزياء

كيف ينكسر الضوء؟
هل يكون معامل انكسار الوسط ثابتًا؟

يمكن كتابة قانون سنل على أنه النسبة بين جيبَي زاويتي السقوط والانكسار.

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

و بالتعويض، ينتج من المعادلتين السابقتين المعادلة التالية:

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

في الفراغ، $n = 1.00$ و $v = c$. إذا كان أحد الوَسْطَيْن فراغًا، فسيتم تبسيط المعادلة إلى معادلة تربط معامل الانكسار بسرعة الضوء في الوَسْط.

معامل الانكسار

معامل انكسار الوَسْط يُساوي سرعة الضوء في الفراغ مقسومًا على سرعة الضوء في الوَسْط.

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

يمكن استخدام هذا التعريف لمعامل الانكسار في إيجاد الطول الموجي للضوء في الوَسْط. ويُعبّر عن سرعة الضوء في الوَسْط الذي معامل انكساره n ، بالمعادلة

$v = \frac{c}{n}$ ، والطول الموجي للضوء في الفراغ $\lambda_0 = \frac{c}{f}$. وبحل المعادلة $\lambda = \frac{v}{f}$ بالنسبة إلى التردد وتعويض المعادلتين $f = \frac{c}{\lambda_0}$ و $v = \frac{c}{n}$ فيها، نجد أن:

$$\lambda = \frac{(c/n)}{(c/\lambda_0)} = \frac{\lambda_0}{n}$$

لاحظ أنه، كما ذكرنا سابقًا، يكون الطول الموجي للضوء في وَسْط ما أصغر منه في الفراغ.

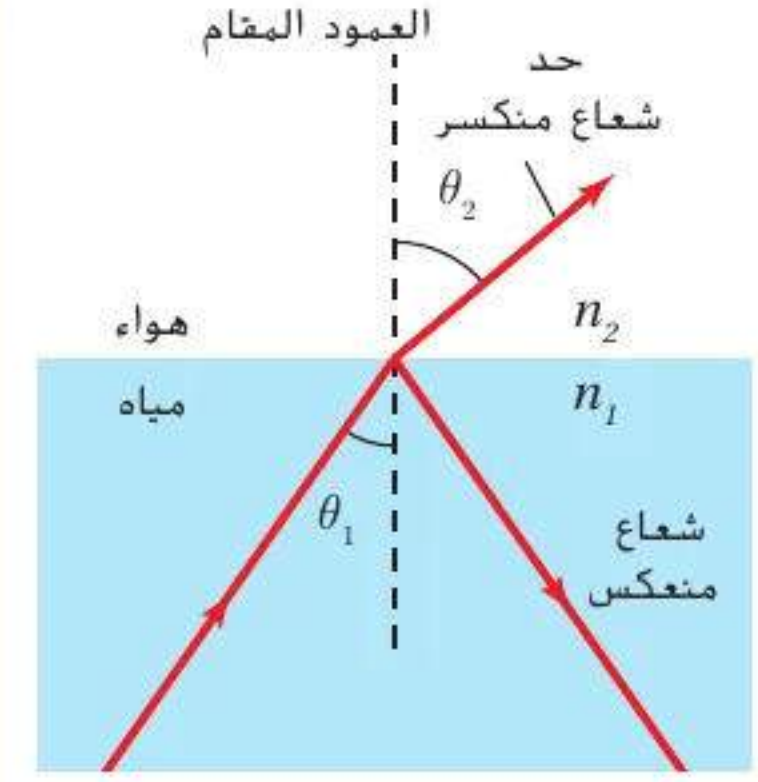
✓ **التأكد من فهم النص** صف العلاقة بين معامل الانكسار وسرعة الضوء في الوَسْط.

الانعكاس الداخلي الكلي

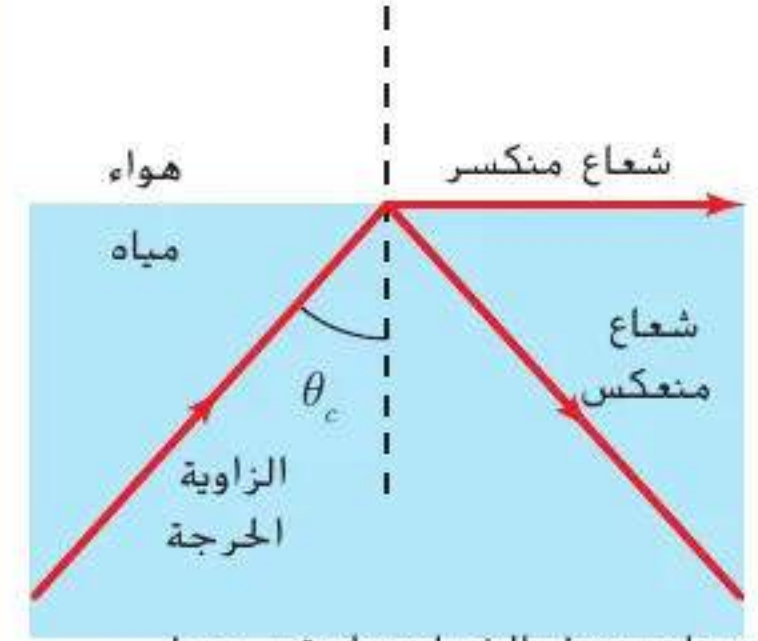
تذكر أنه عندما يسقط الضوء على سطح وسط شفاف، فإن بعض أشعة الضوء ينفذ منه وينعكس بعضها الآخر. عندما ينتقل الضوء من وَسْط معامل انكساره n أكبر إلى وَسْط معامل انكساره n أقل، تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، كما هو مبين في الشكل 5. يؤدي هذا إلى حدوث ظاهرة مثيرة للانتباه، حيث إنه كلما زادت زاوية السقوط، زادت زاوية الانكسار. وعند زاوية سقوط معينة تُعرف باسم **الزاوية الحرجة** (θ_c)، ينكسر شعاع الضوء منطبقًا على السطح الفاصل بين الوَسْطَيْن.

يحدث **الانعكاس الداخلي الكلي** عندما يسقط الضوء من وسط معامل انكساره كبير، على وسط معامل انكساره أقل على الحد الفاصل بينهما بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، فينعكس الضوء كله مرة أخرى داخل الوسط الذي معامل انكساره أكبر، ويتضح هذا في الرسم التخطيطي السفلي في الشكل 5. للتوصل إلى العلاقة الرياضية للزاوية الحرجة لأي وسط شفاف، يمكنك استخدام قانون سنل والتعويض عن $\theta_1 = \theta_c$ و $\sin \theta_2 = \sin 90.0^\circ = 1$.

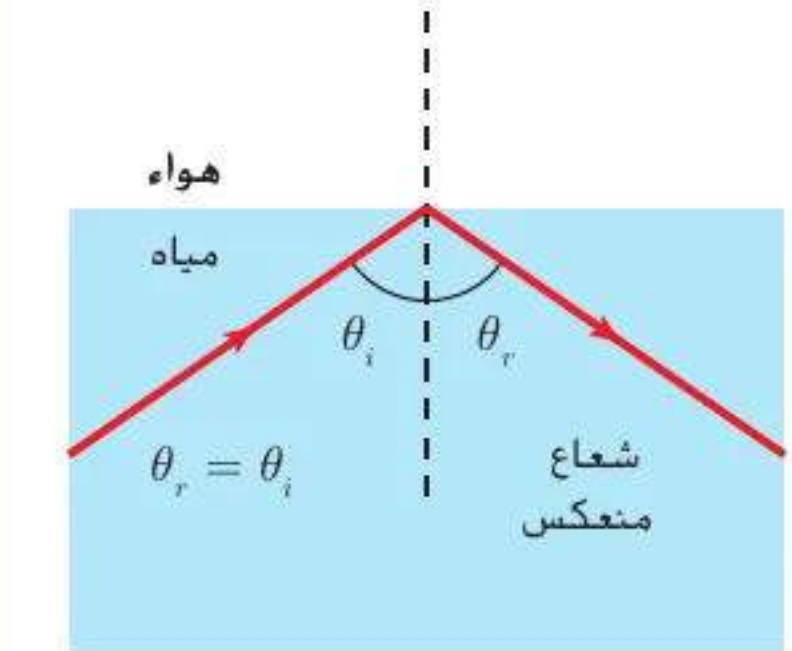
$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$



ينكسر الضوء جزئيًا وينعكس جزئيًا عندما تكون زاوية السقوط أقل من الزاوية الحرجة.



عندما يسقط الشعاع بزاوية سقوط تساوي الزاوية الحرجة فإنه ينفذ في الوسط الثاني منطبقًا على السطح الفاصل بين الوَسْطَيْن.



ينتج من زاوية السقوط الأكبر من الزاوية الحرجة انعكاس كلي داخلي، وذلك وفقًا لقانون الانعكاس.

الشكل 5 يعتمد انكسار الضوء المنتقل بين وَسْطَيْن وانعكاسه على زاوية السقوط θ_1 .

ينتج من الانعكاس الداخلي الكلي بعض الآثار التي تدعو للتأمل. افترض أنك تسبح في بركة ماء وتنظر إلى سطح الماء. قد ترى انعكاس صورة معكوسة جانبياً لجسم آخر تحت الماء أيضاً. وقد ترى أيضاً انعكاس قاع البركة نفسه. حيث يعمل سطح الماء عمل السطح العاكس للمرآة.

السراب

في يوم صيف حارّ، قد ترى ظاهرة السراب الموضّح في الشكل 6. لعلك لاحظت وأنت تتركب السيارة على أحد الطرق. ما يبدو كأنه انعكاس في بركة ماء لصورة سيارة قادمة نحوك. إلا أنه كلما اقتربت من هذه البركة، تلاشت واختفت. فالسراب يحدث نتيجة تسخين حرارة الشمس للطريق. حيث تتغيّر سرعة الضوء. ثم، يتغيّر معامل انكسار الوسط الغازي تغيّراً طفيفاً باختلاف درجة الحرارة. إن الطريق الساخن تُسخّن الهواء الملاصق لها وتنتج طبقة حرارية من الهواء تؤدي إلى انحراف الضوء المنتقل من السيارة إلى الطريق إلى أعلى تدريجياً. حيث يجعل هذا الضوء يبدو قادمًا من انعكاس في بركة ماء.

يوضّح الشكل 6 طريقة حدوث هذه الظاهرة. فعندما ينتقل الضوء القادم من الأجسام البعيدة مقترّبًا من سطح الطريق. يقل معامل انكسار الهواء مع ارتفاع درجة الحرارة. إلا أنّ تغيّر درجة الحرارة يحدث تدريجياً. تذكر أنّ مقدمات موجات الضوء تتكوّن من موجات هيجنز، وبتطبيق ذلك على ظاهرة السراب، نجد أن موجات هيجنز القريبة من الأرض تنتقل على نحو أسرع من نظيراتها الأعلى. وينتج من ذلك انحراف مقدمات الموجات إلى أعلى تدريجياً.

الفيزياء في حياتك

الألياف البصرية يُستخدم الانعكاس الداخلي الكلي في الاتصالات عبر الألياف البصرية. إذ يسقط الضوء المنتقل عبر الألياف الشفافة على السطح الداخلي للليف البصري دائماً بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة. ينعكس الضوء انعكاساً داخلياً كلياً، ولا يخترق أي منه السطح. وتنتقل النبضات الضوئية في كبلات الألياف البصرية كميات أكبر من المعلومات عبر مسافات أطول مقارنة بوسائل الاتصالات الأخرى. يُطلق على المادة الخارجية من الألياف اسم الغلاف.

الشكل 6 إن موجات الضوء المنعكسة عن جسم السيارة نحو الطريق تنكسر عندما يكون الهواء القريب من سطح الطريق أكثر سخونة من الهواء الأعلى منه.

طبّق هل تنتقل موجات الضوء على نحو أسرع بالقرب من سطح الطريق أم بالقرب من قمة الشاحنة؟



تحلل الضوء الأبيض

ربما تكون قد رأيت الظاهرة الموضحة في الشكل 7 حيث يمرّ الضوء الأبيض عبر المنشور. وإذا أمعنت النظر في الطيف الذي كوّنه الضوء المار عبر المنشور. فستلاحظ أنّ الضوء البنفسجي ينكسر بدرجة أكبر من الضوء الأحمر. ويحدث هذا لأنّ سرعة الضوء البنفسجي عبر الزجاج أقل من سرعة الضوء الأحمر. حيث أنّ تردد الضوء البنفسجي أعلى من تردد الضوء الأحمر مما يجعله يتفاعل مع ذرات الزجاج على نحو مختلف، مما يجعل معامل انكسار الضوء البنفسجي في الزجاج أكبر قليلاً من معامل انكسار الضوء الأحمر. ويُطلق على فصل الضوء الأبيض إلى طيف الألوان اسم **تحلل الضوء**. تتحدّد سرعة الضوء في الوسط من خلال التفاعلات بين الضوء والذرات المكوّنة للوسط. وتختلف سرعة الضوء ومعامل انكسار الوسط الصلب أو السائل باختلاف الأطوال الموجية للضوء. كما تختلف سرعة الضوء ومعامل الانكسار اختلافاً طفيفاً باختلاف درجة حرارة الوسط الغازي. ويرجع هذا إلى تأثيرات درجة الحرارة في طاقة الجسيمات على المستوى الذري.

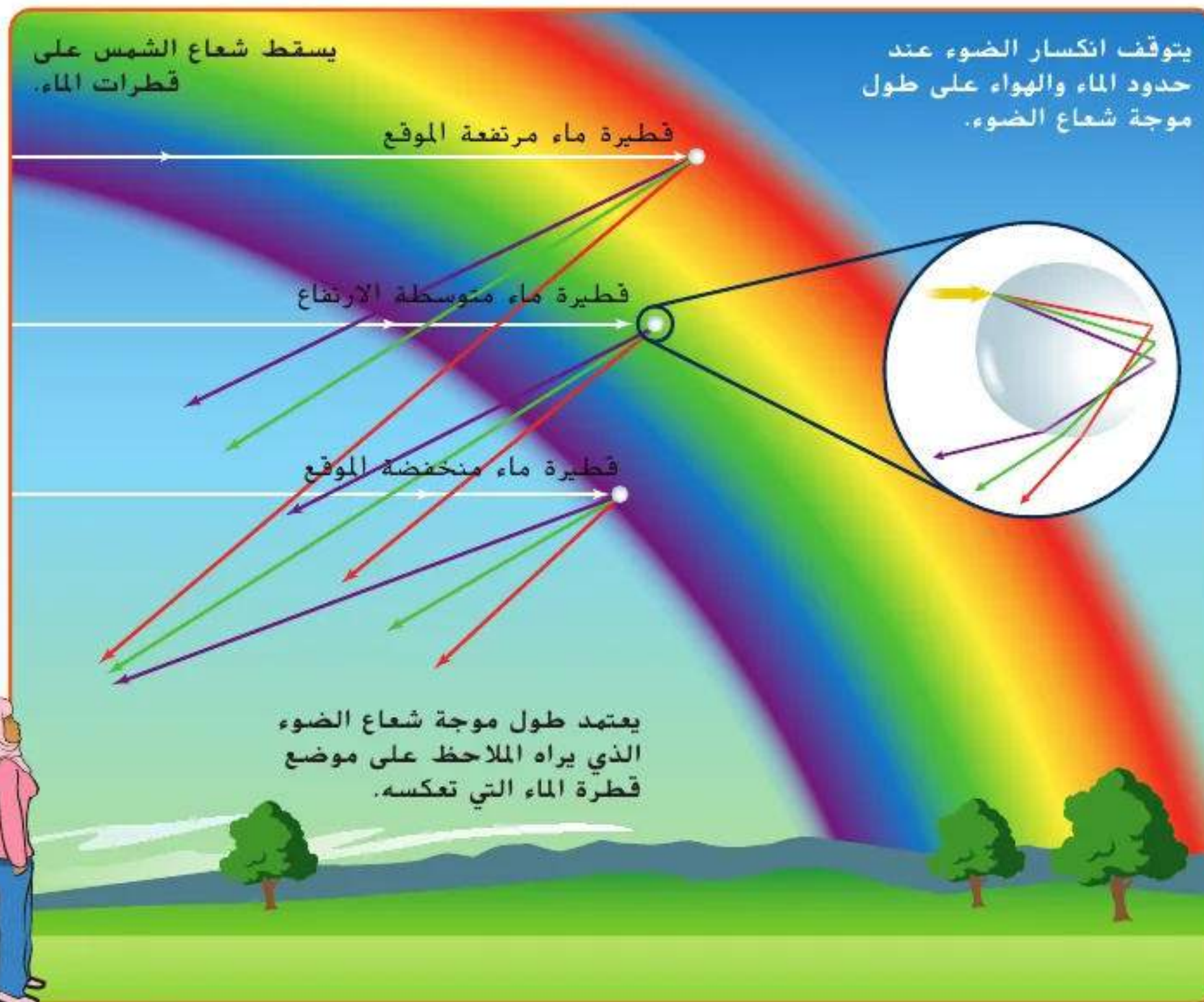
أقواس المطر لا يُعدّ المنشور الوسيلة الوحيدة لتحلل الضوء. إذ يعرف قوس المطر بأنه الطيف الذي يتكوّن عند تحلل ضوء الشمس بواسطة قطرات الماء في الغلاف الجوي. حيث ينكسر ضوء الشمس الساقط على قطرات الماء، وبما أنّ كل لون له طول موجي مختلف، فإنه ينكسر بزاوية مختلفة قليلاً. كما هو موضح في الشكل 8، وينتج عن ذلك تحلل الضوء. ويحدث انعكاس داخلي كلي لبعض الضوء عند السطح الخلفي لقطرات الماء. وعند خروجه من قطرة الماء، ينكسر الضوء مرة أخرى ويتحلل. على الرغم من أنّ كل قطرة تنتج طيفاً كاملاً، سيرى المراقب الذي يقف بين الشمس والمطر طويلاً موجياً معيّناً فقط للضوء من كل قطرة. ويعتمد الطول الموجي المرئي على المواقع النسبية لكل من الشمس وقطرة الماء والمراقب، كما هو موضح في الشكل 8.



الشكل 7 يحدث التحلل عبر المنشور بسبب اختلاف معامل الانكسار باختلاف الطول الموجي للضوء.

تجربة مصفرة

عمل قوس المطر شخصياً
ما الشروط اللازمة لعمل قوس المطر؟



الشكل 8 يتحلل الضوء المنبعث من الشمس بواسطة قطرات الماء لتكوين أقواس المطر. ونظراً إلى وجود العديد من قطرات الماء في مواقع مختلفة في السماء، يُصبح الطيف مرئياً بأكمله.

فكّر هل يمكن أن يقترب قوس المطر بدرجة كافية للامسته.

الشكل 9 يمكن أن يتسبب الضوء المنعكس داخل قطرات المطر بظهور قوس مطر ثانوي.



مختبر الفيزياء

طيف يشتمل جميع الاحتمالات

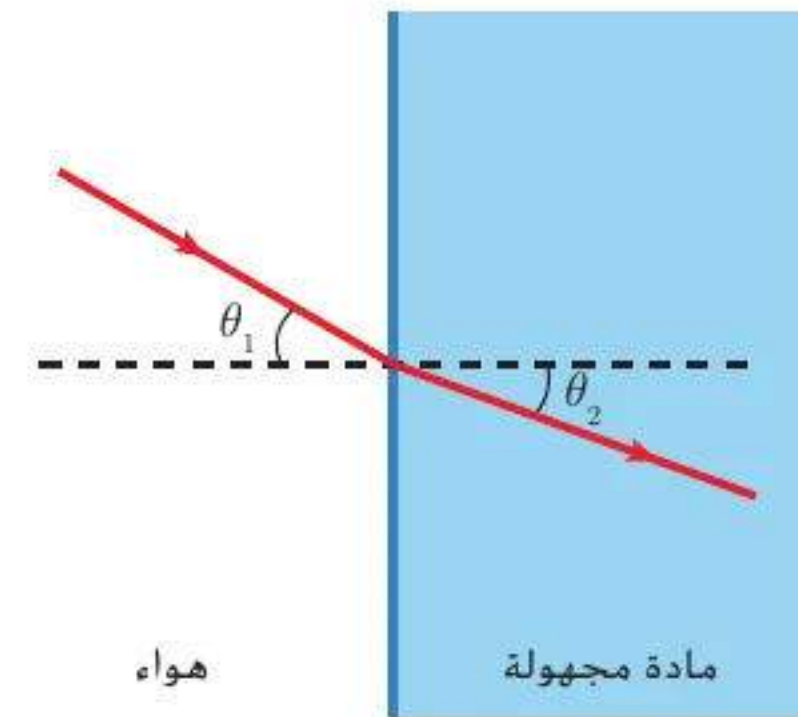
المختبر الجانبي كيف يمكن أن يساعد طيف ضوئي يُكوّن زجاج مكسور في موقع حادث سير في تحديد السيارة المشتبه فيها؟

قوس المطر من الدرجة الثانية وأحيانًا يمكنك رؤية قوس مطر ثانٍ باهت مثل ذلك المبين في الشكل 9. يظهر قوس المطر الثاني خارج الأول، ويكون باهتًا وألوانه معكوسة مقارنة بالقوس الأول. ويحدث هذا الأثر بسبب أشعة الضوء المنعكسة مرتين داخل قطرات الماء.

من النادر جدًا أن يظهر قوس مطر ثالث خارج الثاني، ويكون باهتًا أكثر من القوس الثاني. ما توقعاتك حول عدد مرات انعكاس الضوء في قطرات الماء؟ وكيف سيكون ترتيب ظهور الألوان في قوس المطر الثالث؟

القسم 1 مراجعة

6. **الفكرة الرئيسية** عند انتقال ضوء من الماء إلى سائل معين فإنه ينكسر نحو العمود المقام، لكن عند نفاذ الضوء من الزجاج إلى السائل نفسه فإنه ينكسر مبتعدًا عن العمود المقام. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن معامل انكسار السائل؟
7. **معامل الانكسار** يسقط شعاع من الضوء في الهواء بزاوية 30.0° على كتلة من مادة مجهولة وتكون زاوية انكساره 20.0° . كما هو مبين في الشكل 10. ما معامل الانكسار لهذه المادة؟
8. **زاوية الانكسار** نفذت حزمة ضوء من الماء إلى البولي إيثيلين معامل انكساره $n = 1.50$. إذا كانت $\theta_1 = 57.5^\circ$. فما زاوية الانكسار في البولي إيثيلين؟
9. **سرعة الضوء** كم تبلغ سرعة الضوء في مادة الكلوروفورم ($n = 1.51$)؟
10. **الزاوية الحرجة** هل توجد زاوية حرجة للضوء المنتقل من الزجاج إلى الماء؟ أم من الماء إلى الزجاج؟ اشرح إجابتك.
11. **الانعكاس الداخلي الكلي** إذا كنت ستستخدم الكوارتز والزجاج المصقول لصناعة ألياف بصرية، فأيًا منهما ستختار لعمل طبقة الغلاف؟ ولماذا؟
12. **غروب الشمس** لماذا يمكنك أن ترى صورة الشمس فوق خط الأفق في حين تكون الشمس قد غربت فعليًا؟
13. **سرعة الضوء** هل يمكن أن يكون معامل الانكسار أقل من 1؟ علام يدل هذا بالنسبة إلى سرعة الضوء في ذلك الوسط؟
14. **التفكير الناقد** في أي اتجاه يجب أن ننظر لتتمكن من رؤية قوس المطر في ساعة مطيرة في وقت متأخر من الظهيرة؟ فسر إجابتك.



الشكل 10

العدسات المحدبة والمقعرة

القسم 2

لعلك سمعت أن بإمكانك إشعال النار باستخدام عدسة مكبرة. تُجمّع العدسة المكبرة الضوء كله في نقطة واحدة. هل يمكنك إشعال النار باستخدام أي نوع من العدسات، أم يجب أن تتميز تلك العدسة بخصائص معينة؟

الفيزياء
في
حياتك
.....



الفكرة الرئيسية

يمكن استخدام العدسات لتكوين صور مكبرة أو مصغرة للأجسام.

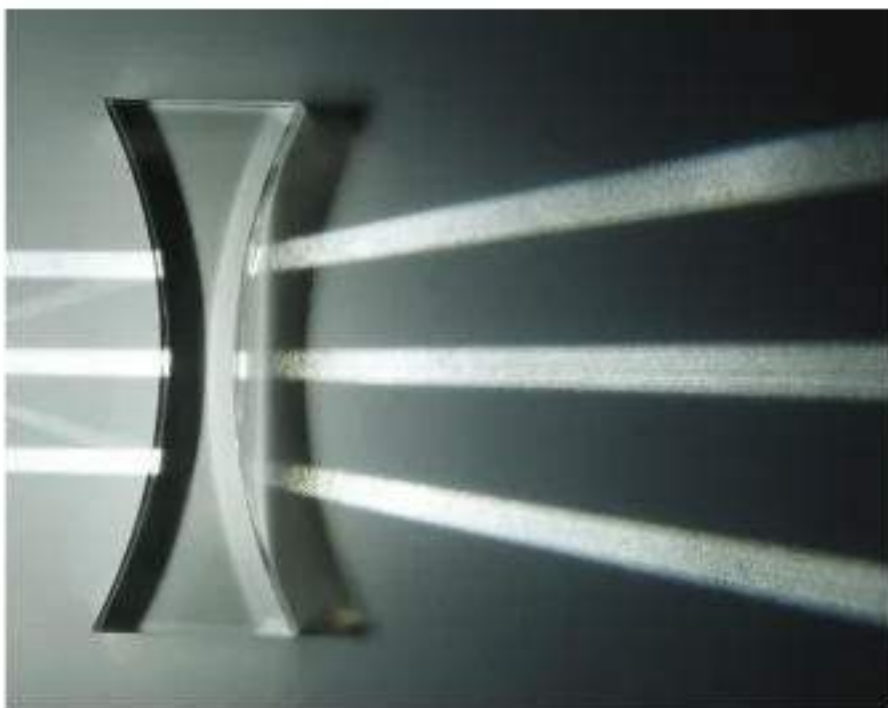
أنواع العدسات

يُعدّ انكسار الضوء الذي ينتج منه قوس المطر، والخسوف الأحمر للقمر، ظاهرة طبيعية جميلة، وهنالك فوائد كثيرة لهذا الانكسار في حياتنا. ففي العام 1303، كتب الفيزيائي الفرنسي برنارد أوف جوردون عن استخدام العدسات لتصحيح النظر. وفي العام 1610 استخدم جاليليو عدستين لصنع تلسكوب اكتشف بواسطته أقمار كوكب المشتري. ومنذ زمن جاليليو استُخدمت العدسات في العديد من الأجهزة، مثل الميكروسكوبات وآلات التصوير. وتعد العدسات أكثر الأدوات فائدة.

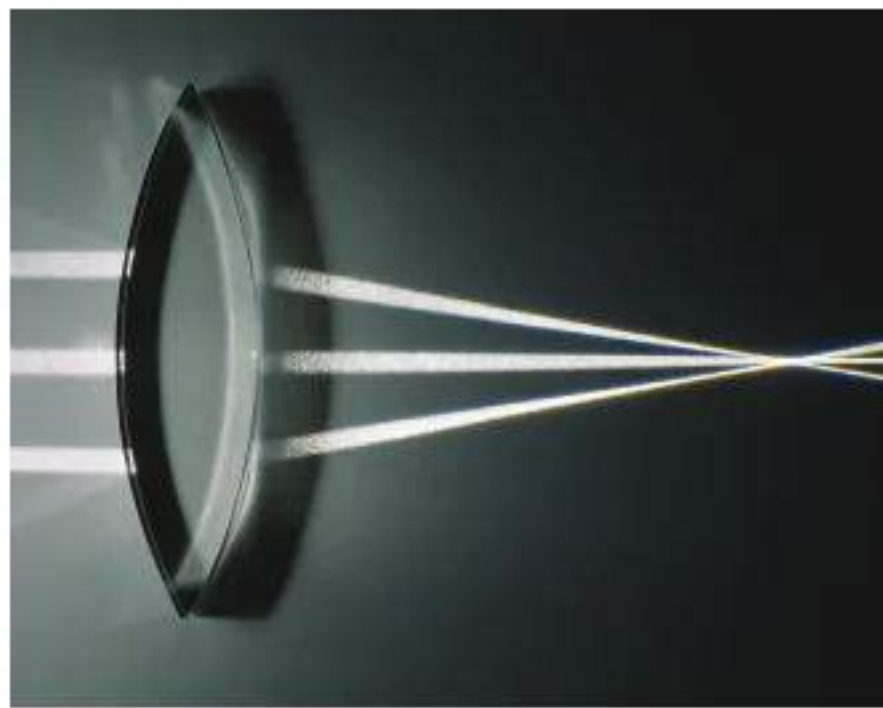
إنّ **العدسة** هي قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور. يمكن أن يكون أي سطح من سطحي العدسة منحنيًا أو مستويًا. تسمى العدسة التي يكون وسطها أكثر سمكًا مما عند أطرافها **بالعدسة المحدبة**، توضح الصورة اليمنى في الشكل 11. وتسمى العدسة المحدبة بالعدسة المجمّعة، لأنها تكون محاطة بمادة ذات معامل انكسار أقل من معامل انكسار مادة العدسة نفسها، لذا تعمل هذه العدسة على كسر الأشعة الضوئية المتوازية والتي تكون موازية لمحور العدسة الأساسي، بحيث تتجمع الأشعة المنكسرة في نقطة واحدة. تسمى العدسة التي يكون وسطها أدق وأرق مما عند أطرافها **بالعدسة المقعرة**، وتسمى العدسة المقعرة بالعدسة المفرّقة، لأنها تكون محاطة بمادة ذات معامل انكسار أقل من معامل انكسار مادة العدسة نفسها، لذا تعمل على كسر أشعة الضوء المتوازية بحيث تفرّقها.

عند مرور الضوء من خلال عدسة، يحدث الانكسار عند كل من سطحي العدسة. ويمكنك عندها توقع مسار الأشعة المارة خلال العدسات باستخدام قانون سنل والهندسة. لتبسيط مثل هذه المسائل، افترض أنّ الانكسار يحدث بشكل كامل في مستوى، يُسمى بالمستوى الأساسي، ويمرّ في مركز العدسة وطرفيها. ويسمى هذا التقريب نموذج العدسة الرقيقة، والذي ينطبق على كل العدسات التي ستدرسها في هذه الوحدة.

العدسة المقعرة



العدسة المحدبة



الشكل 11 تكسر العدسة المحدبة الضوء بحيث تُجمّع الأشعة بعد مرورها من خلال العدسة. تتفرّق أشعة الضوء المارة من خلال عدسة مقعرة.

الأسئلة الرئيسية

- كيف تتكوّن الصور الحقيقية والخيالية باستخدام عدسات مقعرة ومحدبة؟
- كيف يمكن تعيين موقع الصور التي تكونت بواسطة العدسات، وتحديد صفاتها باستخدام طريقتين، مخطط الأشعة والطريقة الرياضية؟
- كيف يمكن التقليل من الزوغان اللوني؟

مراجعة المفردات

الشفافية transparent: إحدى خصائص الوسط التي تسمح للوسط بمرور الضوء من خلاله، وعكس جزء منه مما يتيح رؤية الأجسام من خلاله بوضوح.

مفردات جديدة

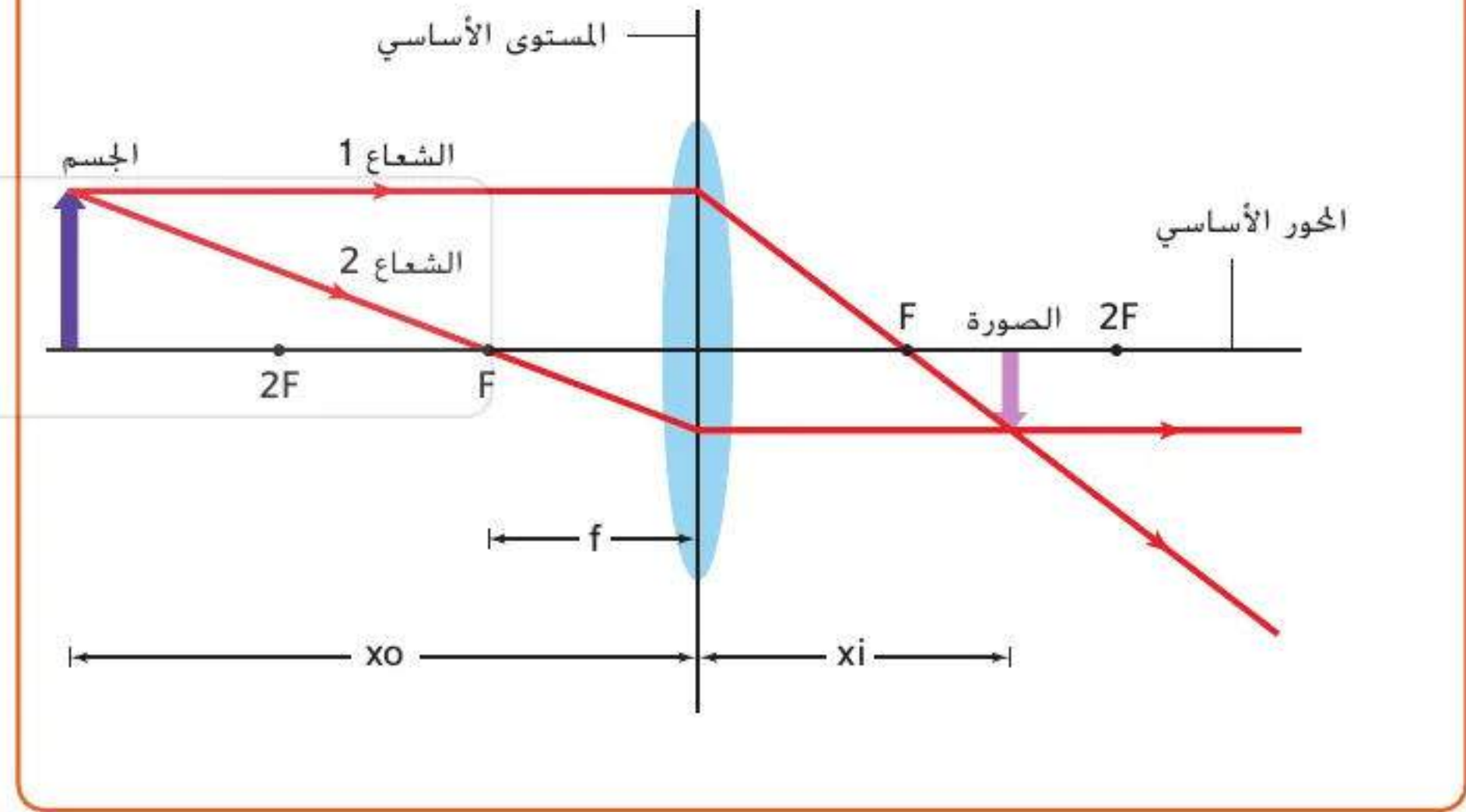
عدسة	lens
عدسة محدبة	convex lens
عدسة مقعرة	concave lens
معادلة العدسة الرقيقة	thin lens equation
زوغان لوني	chromatic aberration
عدسة لالونية	achromatic lens



الشكل 12 يتكوّن للجسم صورة حقيقية مُصغرة ومعوّسة عندما تكون المسافة بين الجسم والعدسة أكبر من مثلي البعد البؤري للعدسة.

دلالة الألوان

أشعة الضوء	أحمر
العدسات	أزرق فاتح
الجسم	بنفسجي
الصورة	أرجواني فاتح



العدسات المحدبة

إذا كنت تعرف موقع الجسم ونوع العدسة المستخدمة وقوتها، يمكنك معرفة موقع الصورة. يعد مخطط الأشعة أداة تمثيل مفيد. باستخدام مخطط الأشعة، يمكنك تمثيل بعض الأشعة المهمة التي توضّح مدى تأثير العدسة في الضوء المار من خلالها. يمكنك استخدام شعاعين لتحديد موقع الصورة. في الشكل 12، بالنسبة إلى العدسات المحدبة، عندما تكون المسافة بين الجسم والعدسة أكبر من البعد البؤري، ينكسر الشعاع 1 والذي يكون موازياً للمحور الأساسي، ماراً بالنقطة (F) والتي تسمى بؤرة العدسة بعد مروره من خلال العدسة الموضحة. في حين ينكسر موازياً للمحور الأساسي الشعاع 2 الذي يمر بالنقطة (F) الموجودة في ناحية الجسم أثناء طريقه إلى العدسة.

تتضمن مخططات الأشعة للعدسات المحدبة أجساماً موضوعة على أبعاد مختلفة من العدسة. في مخططات الأشعة هذه، يمثل x_o بُعد الجسم من العدسة ويمثل x_i بُعد الصورة من العدسة. يُستخدم نموذج العدسة الرقيقة في كل مخططات الأشعة الواردة في هذه الوحدة. في هذا النموذج، ينكسر الضوء في المستوى الأساسي المار من مركز العدسة بدلاً من الانكسار على الحدين الفاصلين بين الهواء وسطح العدسة.

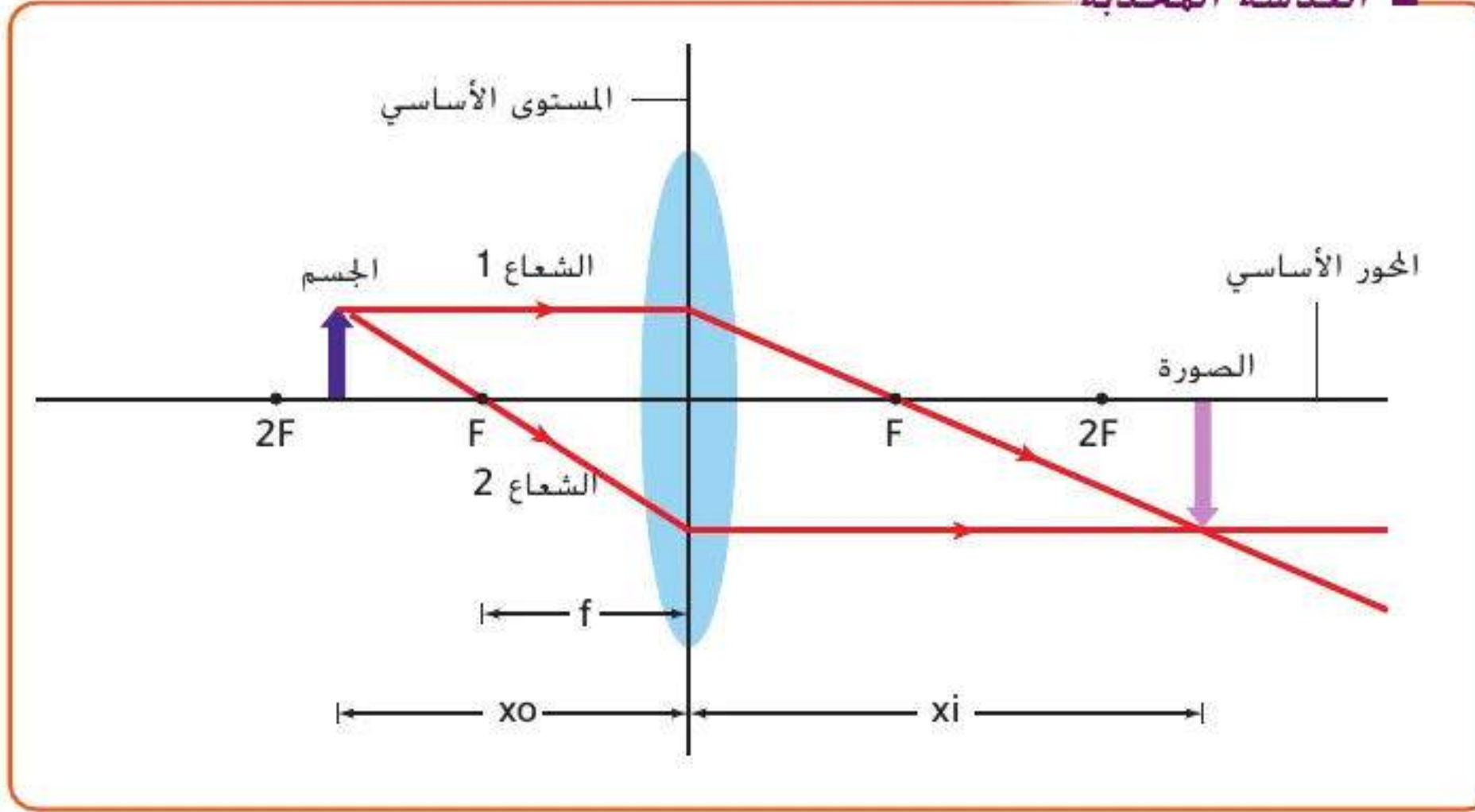
$x_o \geq 2f$ في الشكل 12، تخرج الأشعة من جسم يقع بعيداً من عدسة محدبة، وستحتاج إلى استخدام شعاعين فقط لتحديد موقع صورة نقطة على الجسم. بحيث يكون الشعاع 1 موازياً للمحور الأساسي، وينكسر ماراً بالنقطة (F) والتي تسمى بؤرة العدسة بعد مروره من خلال العدسة. في حين يمر الشعاع 2 بالنقطة (F) في أثناء طريقه إلى العدسة، ويكون مساره بعد الانكسار موازياً للمحور الأساسي. بحيث يتقاطع الشعاعان عند نقطة ما بعد (F) فيحددان موقع الصورة أما الأشعة المنطبقة على المحور الأساسي فإنها تنفذ دون أن تنكسر لأنها تسقط عمودية على سطح العدسة. وتتقاطع الأشعة المختارة من نقاط أخرى على الجسم عند نقاط مماثلة لتكوين الصورة بشكل كامل. لاحظ أن الصورة تكون حقيقية ومعوّسة ومصغرة مقارنة بالجسم الأصلي. أما إذا تم وضع الجسم على بعد يساوي مثلي البعد البؤري من العدسة عند النقطة $2F$ ، فإن الصورة المتكونة في المخطط الشعاعي ستكون عند النقطة $2F$ من الجهة الأخرى للعدسة، وسيكون لصورة الجسم البعد نفسه من العدسة بسبب التماثل. أي إن الصورة تكون حقيقية ومقلوبة ومساوية للجسم، وتقع على مسافة تساوي $2F$. لذا، يمكنك استنتاج أنه إذا كان بعد الجسم عن العدسة أكبر من مثلي البعد البؤري للعدسة، ستكون الصورة مصغرة.

تجربة مصغرة

تأثيرات تغطية العدسة

ما تأثير تغطية جزء من العدسة في الصورة الناتجة؟

■ العدسة المحدبة



الشكل 13 عندما يكون البعد بين الجسم والعدسة أقل من مثلي البعد البؤري ولكن أكبر من البعد البؤري، تتكون صورة حقيقية مُكَبَّرَة ومعوكة للجسم.

$2f > x_o > f$ يمكنك استخدام الشكل 13 لتحديد موقع صورة جسم يقع بين F و $2F$ ويرى من خلال عدسة محدبة. حيث يشبه مخطط الأشعة للجسم الذي يقع على مسافة أكبر من مثلي البعد البؤري مع تبادل الصورة والجسم. ففي هذه الحالة، تكون الصورة حقيقية ومعوكة. لذا نستنتج أنه عند وضع جسم بين F و $2F$ ، تكون الصورة مُكَبَّرَة. أما عند وضع جسم على نقطة بؤرة عدسة محدبة F ، فلا يمكن رسم مخطط أشعة للصورة، حيث ستظهر الأشعة المنكسرة في هيئة أشعة متوازية ولن تظهر صورة.

$f > x_o > 0$ يوضح الشكل 14 طريقة تكوّن صورة خيالية باستخدام عدسة محدبة. إذ يقع الجسم بين العدسة وبؤرتها. بحيث يقترب الشعاع 1 من العدسة موازيًا للمحور الأساسي وينكسر ماؤًا بالبؤرة F . في حين يمر الشعاع 2 من أعلى الجسم في اتجاه كما لو كان صادرًا من البؤرة F الموجودة في جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم. يوضح الخط المتقطع الواصل بين F والجسم طريقة رسم الشعاع 2. بحيث يخرج الشعاع 2 من العدسة موازيًا للمحور الأساسي. ويتباعد الشعاعان 1 و 2 عند خروجهما من العدسة. يبدو الانكسار للملاحظ وكأنه يأتي من نقطة على جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم. وتتكوّن صورة خيالية ومعتدلة ومكبرة للجسم، ولا يمكن ظهور صورة حقيقية له. يمكن تحديد موقع الصورة الخيالية من خلال رسم الامتداد الخلفي للشعاعين المنكسرين لتعيين مكان تقاطعهما الظاهري حيث يكون موقع الصورة في جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم. وتكون الصورة معتدلة ومكبرة. لاحظ أن الصورة الحقيقية قد تكونت بفعل الضوء المار من خلال العدسة، ولكن ما زال بإمكانك تحديد موقع الصورة من خلال رسم الأشعة التي لا تمر فعليًا من خلال العدسة.

مختبر الفيزياء

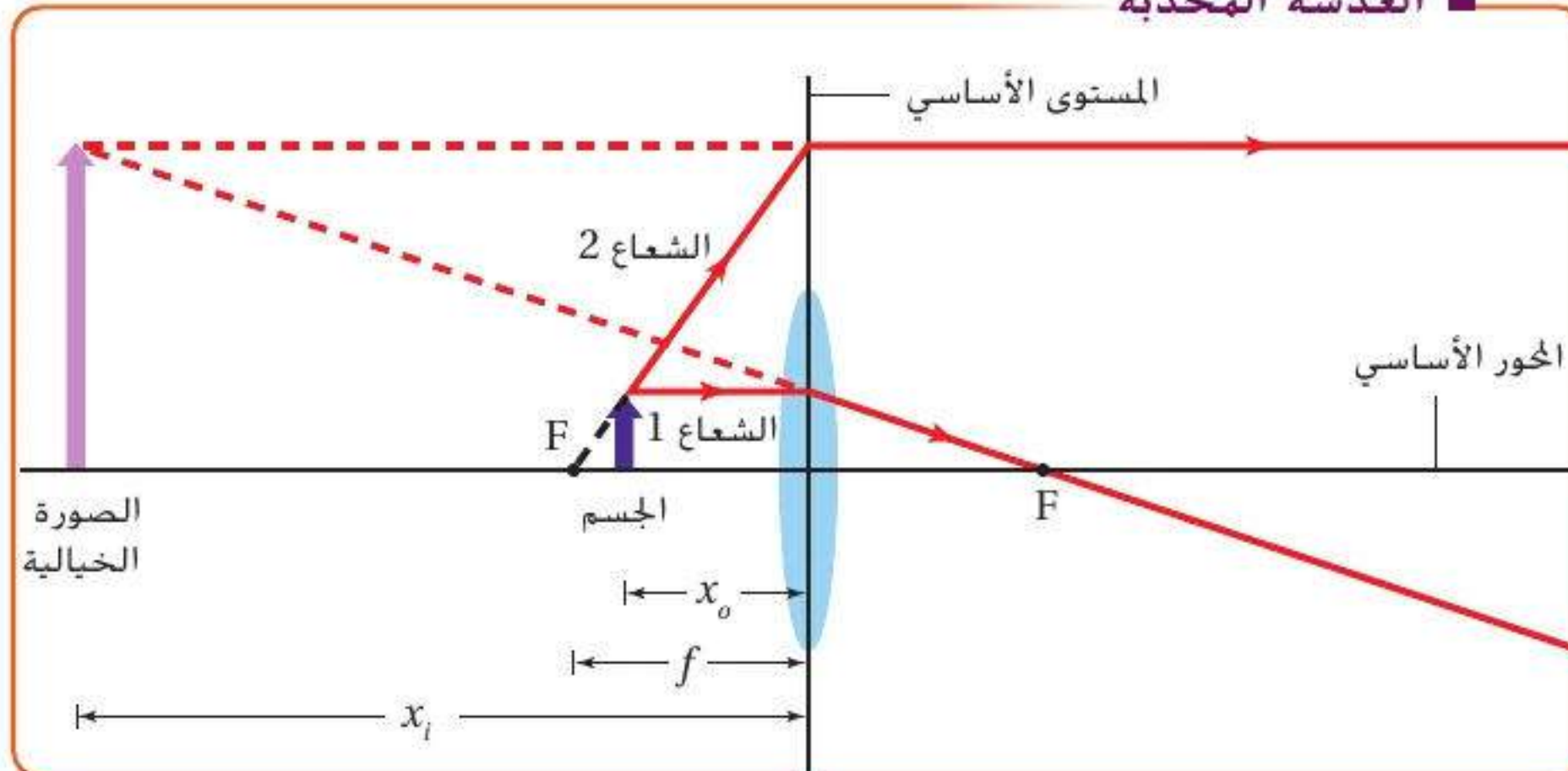
الصور المتكونة من العدسة المحدبة

ما خصائص الصور المتكوّنة باستخدام عدسة محدبة؟

العدسات المحدبة والبعد

البؤري هل يتغير البعد البؤري بتغير موقع الصورة بالنسبة إلى العدسة المحدبة؟

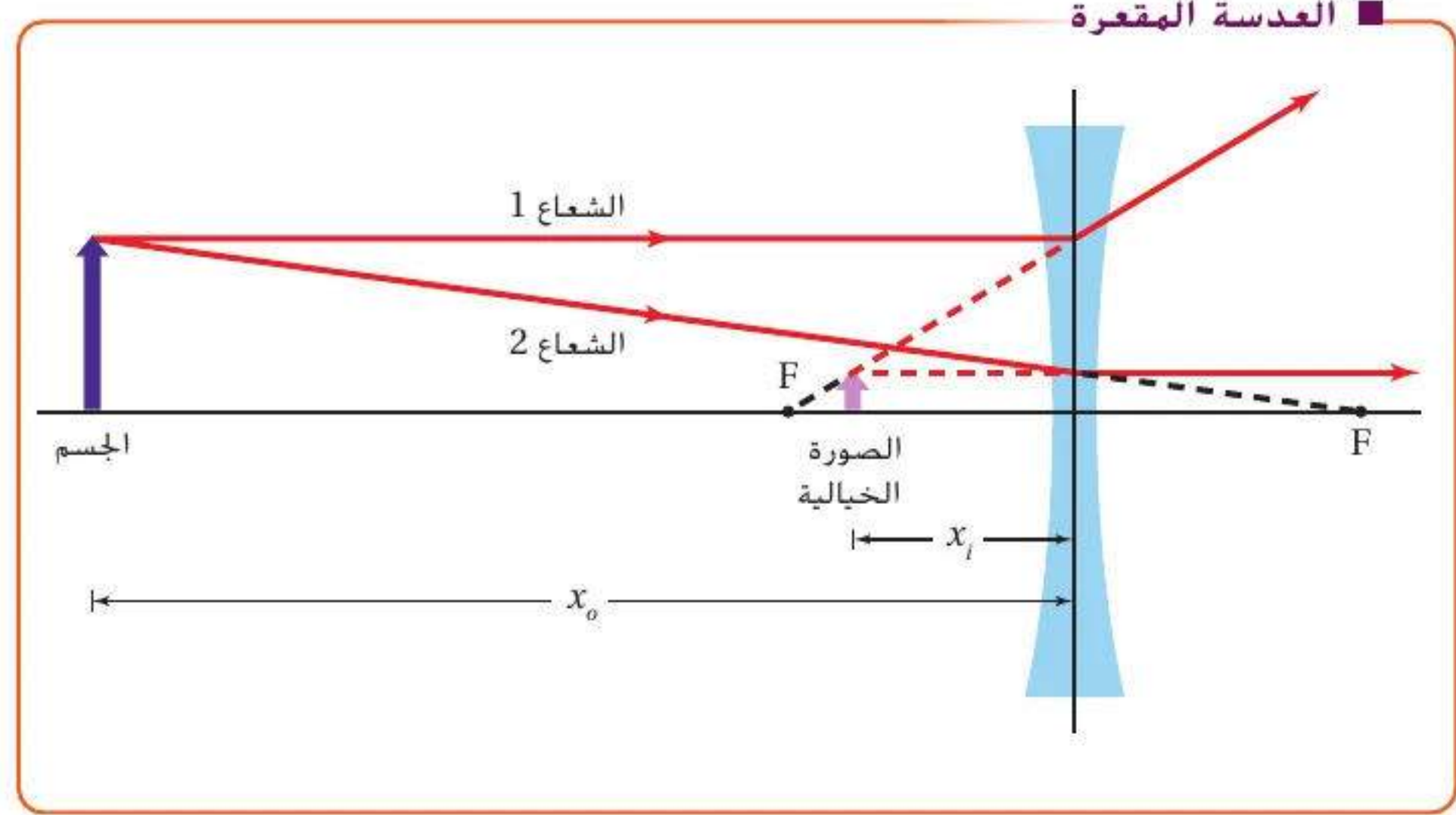
■ العدسة المحدبة



الشكل 14 تتكون للجسم صورة خيالية مُكَبَّرَة عندما تكون المسافة بين الجسم والعدسة أقل من البعد البؤري.

تصنيف تُصنّف الصورة إلى خيالية أو حقيقية بناءً على جانب العدسة الذي تقع فيه.

الشكل 15 يتكون للجسم الموضوع على مسافة من عدسة مقعرة صورة خيالية ومُصَغَّرة.



العدسات المقعرة

تفرّق العدسة المقعرة كل الأشعة. يوضّح الشكل 15 كيف تُكوّن هذه العدسة صورة خيالية للجسم، حيث يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا للمحور الأساسي. ينكسر الشعاع ويخرج من العدسة بحيث يمر امتداده في البؤرة الموجودة في جانب العدسة المواجه للجسم. يصل الشعاع 2 إلى العدسة كما لو أنه سيمر من خلال البؤرة في الجانب الآخر من العدسة، ثم ينكسر ويخرج من العدسة موازيًا للمحور الأساسي. تتقاطع الامتدادات الخلفية للشعاعين 1 و 2 في جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم. ولأن الأشعة تخرج من العدسة بشكل متباعد، فإنها تُكوّن صورة خيالية. ويكون موقع الصورة عند النقطة التي يظهر عندها بأن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة منها. فتتكوّن صورة معتدلة ومُصَغَّرة للجسم. وهذا صحيح بغض النظر عن مدى بُعد الجسم من العدسة، كما يكون البُعد البؤري للعدسة المقعرة سالبًا.

✓ **التأكد من فهم النص** اذكر سبب تكوين العدسة المقعرة صورة خيالية دائيًا.

تجربة مصفرة

العدسات المائية

كيف يعمل السطح المنحني للماء كعدسة؟

معادلة العدسات الرقيقة

تتضمن المسائل التي ستحلها في هذا القسم عدسات رقيقة فقط. وبناءً على نموذج العدسة الرقيقة، والتبسيطات المستخدمة في حل مسائل المرايا الكروية، تم تطوير معادلتين للعدسات. فبالنسبة إلى العدسات، تقع الصورة الخيالية في جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم، أي إنّ بُعد الجسم يكون سالبًا. لاحظ أن العدسة المقعرة تُكوّن صورًا خيالية فقط، في حين تُكوّن العدسة المحدبة صورًا حقيقية وأخرى خيالية.

معادلة العدسة الرقيقة تربط **معادلة العدسة الرقيقة** بين كل من البُعد البؤري للعدسة الكروية الرقيقة وبُعد الجسم وبُعد الصورة.

معادلة العدسة الرقيقة

يساوي مقلوب البعد البؤري للعدسة الرقيقة حاصل جمع مقلوب بُعد الصورة ومقلوب بُعد الجسم من العدسة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

الجدول 2 نظام الإشارات وصفات الصور في العدسة الرقيقة المفردة					
نوع العدسة	f	x_o	x_i	m	الصورة
محدبة	+	$x_o > 2f$	$2f > x_i > f$	سالبة بين 0 و -1	حقيقية مصغرة معكوسة (مقلوبة)
		$2f > x_o > f$	$x_i > 2f$	سالبة أكبر من 1	حقيقية مكبرة معكوسة (مقلوبة)
		$f > x_o > 0$	$ x_i > x_o$ (قيمة سالبة)	موجبة أكبر من 1	مكبرة خيالية معتدلة
مقعرة	-	$x_o > 0$	$ f > x_i > 0$ (قيمة سالبة)	موجبة بين 0 و +1	مصغرة خيالية معتدلة

عند حل مسائل العدسات المقعرة باستخدام معادلة العدسة الرقيقة، يجب أن نتذكر أنّ تعديل إشارات البُعد البؤري للعدسة المقعرة يختلف عن اصطلاح إشارات البعد البؤري للعدسة المحدبة، وذلك لأنّ العدسة المقعرة عدسة مفرقة. إذا كانت البؤرة للعدسة المقعرة على بُعد 24 cm من العدسة، إذاً يجب أن تستخدم القيمة $f = -24 \text{ cm}$ في معادلة العدسة الرقيقة. لأنّ جميع صور العدسة المقعرة تكون صوراً خيالية، بالتالي، إذا كانت المسافة بين الصورة والعدسة تساوي 20 cm، فإن عليك استخدام $x_i = -20 \text{ cm}$. وستكون قيمة بُعد الجسم موجبة دائماً.

التكبير يُعدّ التكبير إحدى خصائص العدسات الرقيقة التي تقيس مدى كِبَر أو صِغَر الصورة مُقارنةً بالجسم الأصلي. ويمكن أيضاً استخدام معادلة التكبير للمرايا الكروية مع العدسات الرقيقة. بحيث تُستخدم في تحديد طول الصورة المتكوّنة واتجاهها عند استخدام عدسة رقيقة.

التكبير

يُعرف التكبير باستخدام عدسة كروية، بأنه نسبة طول الصورة إلى طول الجسم، ويساوي سالب بُعد الصورة مقسوماً على بُعد الجسم من العدسة.

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = -\frac{x_i}{x_o}$$

يُعطي التكبير معلومات عن مدى كِبَر صورة الجسم واتجاهها مُقارنةً بالجسم. عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير تقع ما بين صفر وواحد، تكون الصورة أصغر من الجسم. في حين تكون الصورة أكبر من الجسم عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير أكبر من واحد. إضافةً إلى ذلك، تشير قيمة التكبير السالبة إلى أنّ الصورة معكوسة مُقارنةً بالجسم.

استخدام معادلتَي العدسات من المهم استخدام نظام إشارات مناسب عند استخدام هاتين المعادلتين. ويبين الجدول 2 مقارنة بين بُعد الصورة والتكبير ونوع الصورة المتكوّنة باستخدام عدسات محدبة أو مقعرة مفردة عند وضع جسم في مواقع مختلفة (x_o) بالنسبة إلى العدسة. ففي العدسات المحدبة، يؤثر بُعد الجسم من بؤرة العدسة في نوع الصورة المتكوّنة.

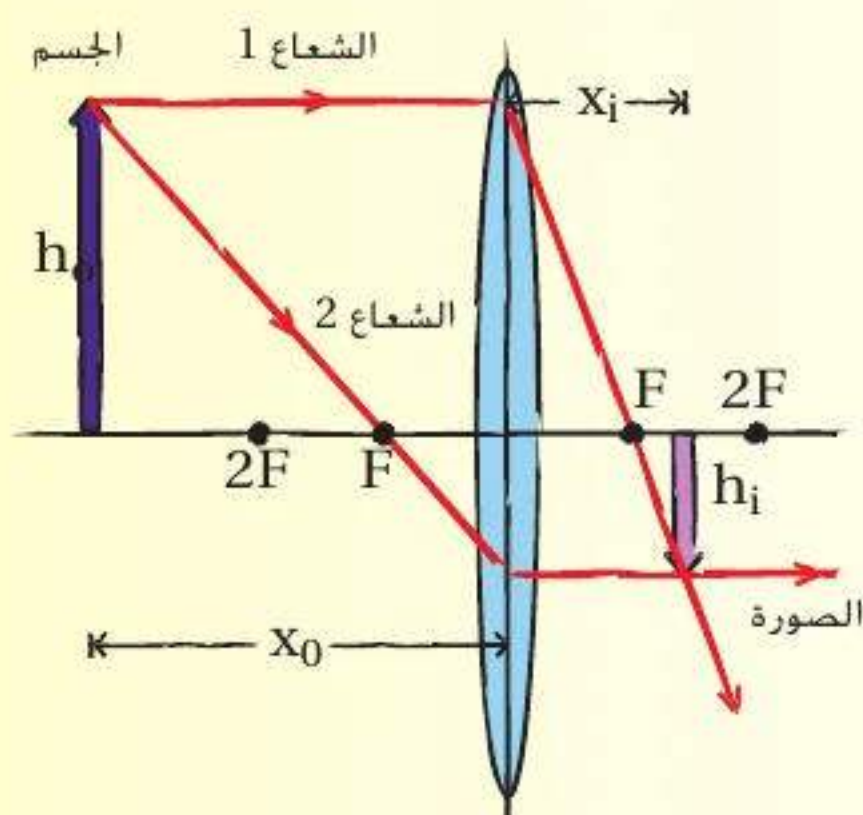
لاحظ وجه التشابه بين هذا الجدول وجدول المرايا. فكما هو مبين في جدول المرايا، تمثّل المسافة من المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة، البُعد البؤري (f). ويعتمد البُعد البؤري على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها. ويمكن أن تكون الأبعاد البؤرية وأبعاد الصور سالبة.

الصورة المتكوّنة بواسطة العدسة المحدبة تم وضع جسم على بُعد 32.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8.0 cm.

a. أين تتكون الصورة؟

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

c. ما اتجاه الصورة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الحالة، وحدد موقع كل من الجسم والعدسة.
- ارسم الشعاعين الأساسيين.

المجهول	المعلوم
$x_i = ?$	$x_o = 32.0 \text{ cm}$
$h_i = ?$	$h_o = 3.0 \text{ cm}$
	$f = 8.0 \text{ cm}$

2 حساب المجهول

a. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لإيجاد x_i .

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

$$x_i = \frac{fx_o}{x_o - f}$$

$$= \frac{(8.0 \text{ cm})(32.0 \text{ cm})}{32.0 \text{ cm} - 8.0 \text{ cm}}$$

▶ بالتعويض عن $x_o = 32.0 \text{ cm}$, $f = 8.0 \text{ cm}$

$x_i = 11 \text{ cm}$ (تبعد الصورة عن العدسة بمقدار 11 cm في الجانب المعاكس للجسم)

b. استخدم معادلة التكبير، وحلّ لإيجاد طول الصورة

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = -\frac{x_i}{x_o}$$

$$h_i = -\frac{x_i h_o}{x_o}$$

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

▶ بالتعويض عن $x_o = 32.0 \text{ cm}$, $h_o = 3.0 \text{ cm}$, $x_i = 11 \text{ cm}$

$h_i = -1.0 \text{ cm}$ (طول الصورة يساوي 1.0 cm)

c. تدل الإشارة السالبة للارتفاع في الجزء b على أن الصورة مقلوبة.

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ الأبعاد كلها بوحدة السنتيمتر cm.
- هل تعني الوحدات أي شيء؟ إنّ تبعد الصورة موجب (الصورة حقيقية)، أما طولها فسالِب (أي إنّ الصورة مقلوبة مقارنةً بالجسم)، مما يدل على أن العدسة محدبة.

تطبيقات

15. يبلغ طول جسم 2.25 cm ويقع على بُعد 8.5 cm إلى يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 5.5 cm. أوجد بُعد الصورة وطولها.
16. تكوّن لجسم يقع بالقرب من عدسة محدبة صورة حقيقية معكوسة طولها 1.8 cm، وتبعد من العدسة مسافة مقدارها 10.4 cm. فإذا كان البعد البؤري للعدسة يساوي 6.8 cm، فما بُعد الجسم؟ وما طولها؟
17. وضع جسم إلى يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 25 mm. فتكوّنت له صورة حجمها مساوٍ لحجم الجسم. فما بُعد كل من الصورة والجسم؟
18. جسم طوله 2.0 cm ويبعد 25 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 5.0 cm. احسب طول الصورة، وبعدها، ثم حدد اتجاه الصورة.
19. استخدم مخطط أشعة بمقياس رسم معين لإيجاد بُعد الصورة لجسم يقع على بُعد 30 cm إلى يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 10 cm.
20. تحفيز تُستخدم عدسة مكبرة بعدها البؤري 30 cm في فحص جسم طوله 1 cm. استخدم مخطط أشعة لتحديد بُعد الصورة وطولها عندما تكون العدسة المكبرة على بُعد 10 cm من الجسم.

عيوب العدسات الكروية

لقد درست سابقًا العدسات التي تُكوّن صورًا كاملة عند مواقع محددة. في حقيقة الأمر، فإنّ للعدسات الكروية عيوبًا جوهرية-مثل المرايا الكروية- ينتج منها مشاكل في وضوح الصور وألوانها. حيث تواجه العدسات الكروية زوغانًا مرتبطًا بتصميمها الكروي مثل المرايا تمامًا. علاوةً على ذلك، فإن تشتت الضوء خلال العدسة الكروية يسبب زوغانًا لا تسببه المرايا.

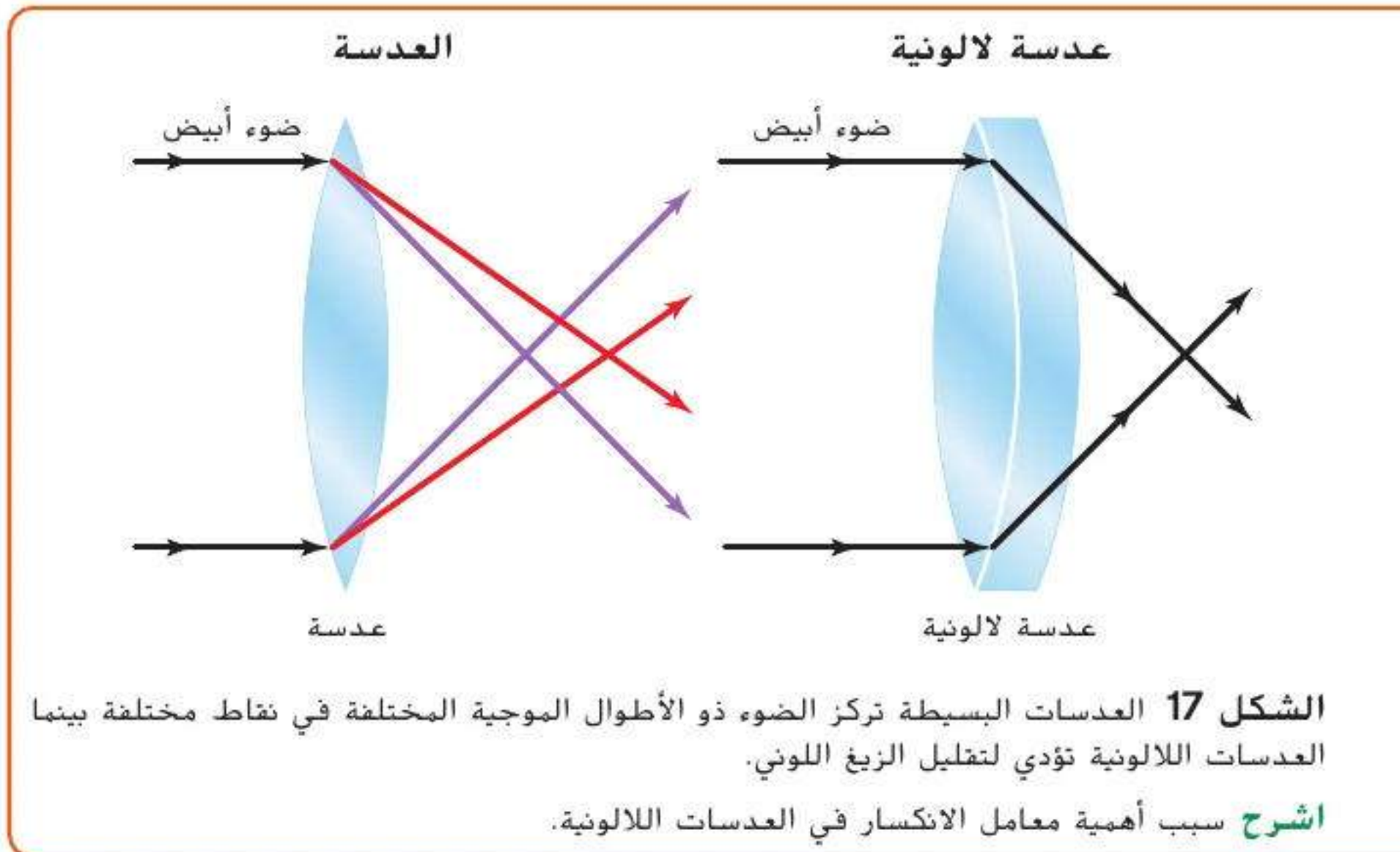
الزيف الكروي يقترح النموذج الذي استخدمته لرسم الأشعة خلال العدسات الكروية أن الأشعة التي تسقط متوازية تتجمع في الموقع نفسه. وهذا مجرد تقريب، أما في الحقيقة، فتتجمع الأشعة المتوازية التي تمرّ خلال أطراف العدسة الكروية في مواقع مختلفة عن المواقع التي تتجمع فيها الأشعة المتوازية والقريبة من المحور الرئيس. وتسمى عدم قدرة العدسة الكروية على تجميع كل الأشعة المتوازية في نقطة واحدة الزيف الكروي. وسببه اتساع سطح العدسة. ويبيّن الشكل 16 آثار الزيف الكروي. في الواقع، تتميّز معظم العدسات بأشكال مختلفة قليلًا لمعالجة هذا الأمر، ولكن التقريب الكروي يعمل بدرجة كافية لتلبية أغراضنا. أما في الأدوات العالية الدقة، فتُستخدم غالبًا خمس عدسات أو أكثر، لتكوّن صور واضحة ودقيقة.

الزيف اللوني هنالك عيب آخر في العدسات لا يوجد في المرايا. نظرًا إلى أنّ معامل انكسار الوسط يعتمد على الطول الموجي، تنكسر الأطوال الموجية المختلفة للضوء بزوايا مختلفة قليلًا، كما هو موضح في الشكل 17. لذلك، يتجمع الضوء المار من خلال العدسة أو يتفرق عند مروره خلال العدسة، وخصوصًا الضوء المار بالقرب من الأطراف، حيث يظهر الجسم عند النظر إليه من خلال العدسة محاطًا بالألوان، ويسمى هذا التأثير **الزيف اللوني**.

ويحدث الزيف اللوني دائمًا عند استخدام عدسة مفردة واحدة. ومع ذلك يمكن تخفيض أثر هذا العيب بدرجة كبيرة باستخدام **العدسات اللالونية**. وهي نظام مكوّن من عدستين أو أكثر، مثل عدسة محدبة مع عدسة مقعرة، لكل منها معامل انكسار مختلف. ويوضح الشكل 17 مثل هذا التركيب للعدسات. فكلتا العدستين في الشكل تُشتت الضوء، ولكن التشتت الذي تسببه العدسة المقعرة يلغيه تقريبًا التشتت الذي تسببه العدسة المحدبة. ويتم اختيار معامل انكسار العدسة المحدبة على أن يؤدي النظام المكوّن من العدسات إلى تجميع الضوء.

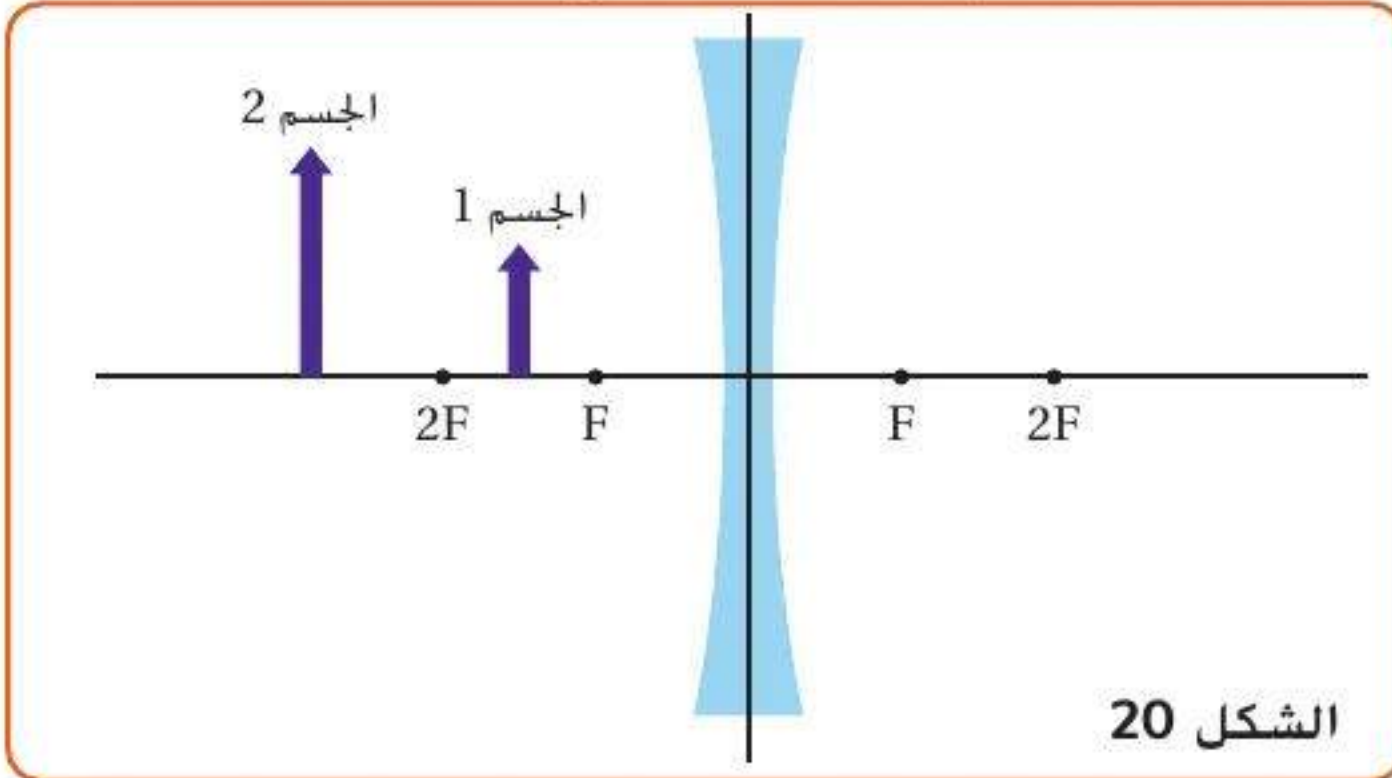


الشكل 16 يجعل الزيف الكروي لعدسة الكاميرا حواف هذه الصورة تبدو ضبابية.



القسم 2 مراجعة

28. نوع الصورة استخدم مخطط الأشعة في الشكل 20 لتحديد ما إذا كانت صورة الجسم 1 ستكون مُصَغَّرَةً أم مُكَبَّرَةً، معكوسة أم معتدلة، حقيقية أم خيالية. وافعل الشيء نفسه مع الجسم 2.



الشكل 20

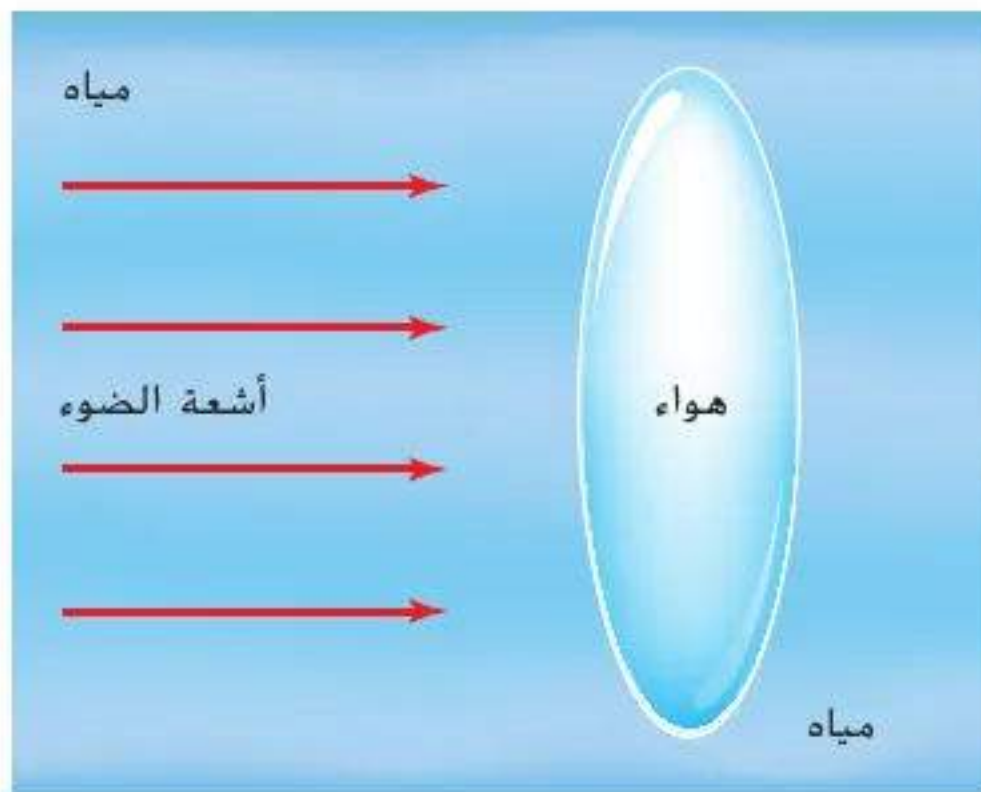
29. بُعِدَ الصورة وطولها وُضِعَ جسم ارتفاعه 6.0 cm على مسافة 5.0 cm من عدسة محدبة بُعِدها البؤري 4.0 cm. ارسم مخطط أشعة لتحديد بُعِدَ الصورة وارتفاعها. ثم تأكد من النتائج باستخدام معادلة العدسة الرقيقة ومعادلة التكبير.

30. العدسة المُفَرِّقَة يبلغ ارتفاع عبوة ملح طعام 6.5 cm يُنظر إليها باستخدام عدسة مُفَرِّقَة بُعِدها البؤري 5.0 cm.

- إذا كان بُعِدَ عبوة الملح من العدسة 6.0 cm، فما بُعِدَ الصورة من العدسة؟ هل الصورة خيالية أم حقيقية؟
- ما مقدار التكبير؟ هل الصورة أصغر أم أكبر من العبوة الأصلية؟
- إذا أبعدت عبوة الملح من العدسة بمقدار 4 cm، فما مقدار بُعِدَ الصورة من العدسة؟ وما مقدار التكبير؟ هل أصبحت الصورة حالياً أصغر أم أكبر من العبوة الأصلية؟

31. الزيغ اللوني إذا سمحت لضوء أبيض أن يمر من خلال عدسة محدبة إلى شاشة، وضبطت المسافة بين الشاشة والعدسة لتجمّع اللون الأحمر، فهل يجب تقريب الشاشة من العدسة أم إبعادها لتجمّع الضوء الأزرق؟

32. التفكير الناقد تتكوّن عدسة هوائية موضوعة في خزان ماء من زجاجتي ساعة. انقل الشكل 21 إلى دفترتك، وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة على العدسة.



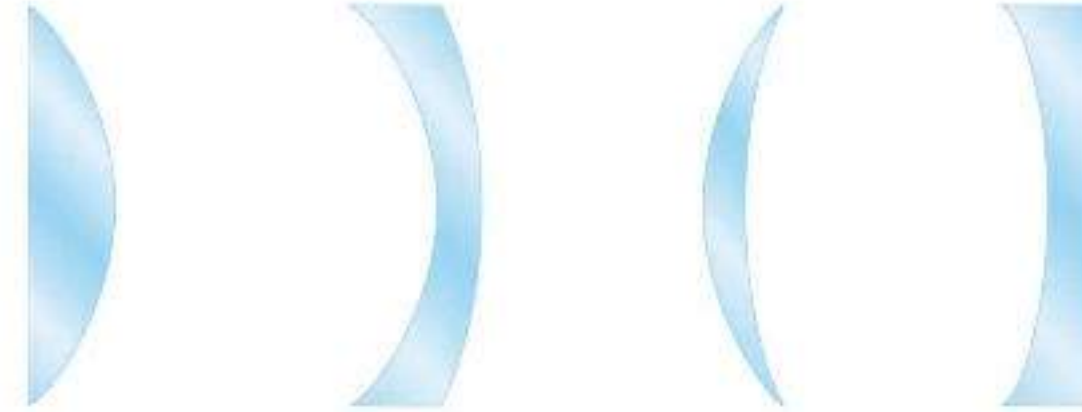
الشكل 21

21. الفكرة الرئيسية تُستخدم العدسات المكبرة عادةً لتكوين صور مُكَبَّرَةً للأجسام، ولكنها أيضًا يمكن أن تكون صورًا مصغرة للأجسام. وضح ذلك.

22. أنواع العدسات يوضح الشكل 18 أربع عدسات رقيقة مختلفة. أي من هذه العدسات:

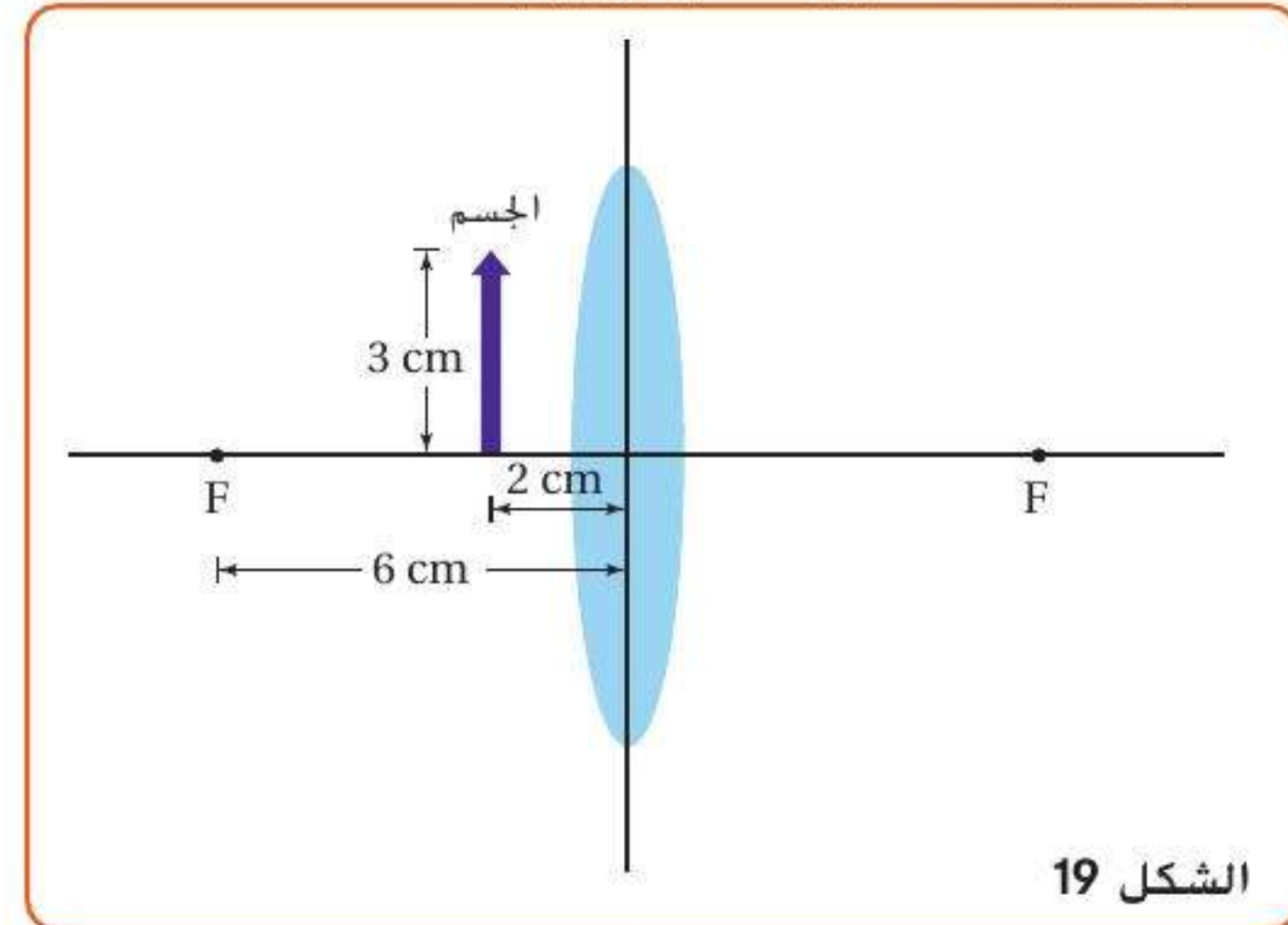
a. محدبة؟

b. مقعرة؟



الشكل 18

23. بُعِدَ الصورة وطولها ارسم مخطط الأشعة في الشكل 19 واستخدمه في تحديد بُعِدَ الصورة وطولها. استخدم معادلة العدسة الرقيقة ومعادلة التكبير للتحقق من إجابتك.



الشكل 19

24. بُعِدَ الصورة وطولها تم وضع جسم على بُعِدَ 1.5 m من عدسة محدبة بُعِدها البؤري 1.0 m. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لإيجاد بُعِدَ الصورة من العدسة. وإذا كان طول الجسم 2.0 m، فكم يبلغ طول الصورة؟ هل الصورة حقيقية أم خيالية؟ وهل الصورة معكوسة أم معتدلة؟

25. ما المقصود بمصطلحي العدسة المُفَرِّقَة والعدسة المُجَمِّعَة؟ ما نوع العدسة الذي يشير إليه كل مصطلح؟

26. تستخدم الحسابات الواردة في هذا الفصل التقريب إلى العدسة الرقيقة. ماذا يعني ذلك؟ لماذا يُستخدم التقريب إلى العدسة الرقيقة؟

27. الزيغ اللوني للعدسات البسيطة كلها زيغ لوني. فسّر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر من خلال المجهر (الميكروسكوب)؟

تطبيقات العدسات

القسم 3

استخدم البحارة ذات يوم النظارات المقرّبة، وهي عبارة عن تلسكوبات صغيرة يدوية، لرؤية الأجسام البعيدة. تعتمد نظارات المراقبة وغيرها من التلسكوبات العديدة الأخرى على العدسات لتكبير صور الأجسام البعيدة.

الفيزياء
في
حياتك
.....

العدسات في العين

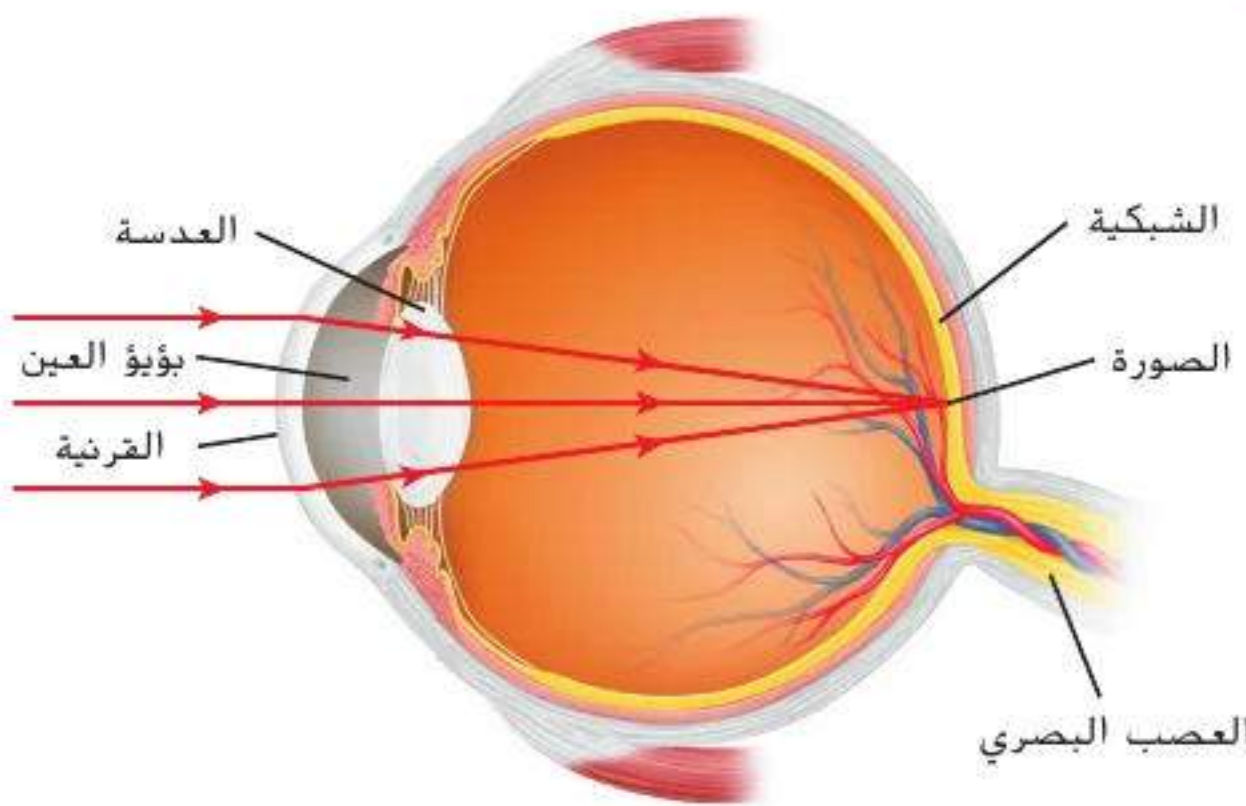
تنطبق المفاهيم التي تعلمتها عن انكسار الضوء عبر العدسات على كل الأجهزة البصرية تقريبًا. وتُعدّ العين البشرية أحد الأجهزة البصرية المميزة. كما هو موضح في الشكل 22، إنّ العين عبارة عن وعاء كروي تقريبًا يملأه سائل. ينتقل الضوء المنبعث من جسم ما أو المنعكس منه إلى العين عبر القرنية والحدقة. ويمر الضوء بعد ذلك عبر العدسة ويتركّز على الشبكية التي تقع في مؤخرة العين. وتمتص الخلايا المتخصصة في الشبكية هذا الضوء، ثم ترسل معلومات عن الصورة إلى الدماغ عبر العصب البصري.

◀ **الربط بعلم الأحياء** قد تعتقد أنّ عدسة العين هي المسؤولة عن تركيز الضوء على الشبكية وذلك نسبة إلى اسمها. ولكن في الحقيقة، تركّز القرنية الضوء الداخل إلى العين. لأنه يوجد فارق كبير بين معاملي الانكسار عند الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. أما العدسة فهي المسؤولة عن تحسين التركيز الذي يسمح لك برؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح.

✓ **التأكد من فهم النص** صف وظيفة كل من القرنية والعدسة في العين.

تجدر الإشارة إلى أنّ العدسة تستخدم عملية تُعرف باسم التكيف، تتمكن العضلات المحيطة بالعدسة من الانقباض أو الارتخاء مما يؤدي إلى تغيير شكل عدسة. ويؤدي هذا، في المقابل، إلى تغيير البعد البؤري لعدسة العين. وفي العين السليمة، عندما تسترخي العضلات، تتركز صورة الأجسام البعيدة على الشبكية. وعندما تنقبض العضلات، يقصر البعد البؤري، مما يتيح تركيز صور الأجسام القريبة على الشبكية.

■ العين



الشكل 22 تعمل القرنية والعدسة في العين على انكسار الضوء المنعكس من كل الأجسام التي تراها.

لخص لماذا يحدث معظم الانكسار عند حد القرنية بدلاً من حد العدسة.



الفكرة الرئيسية

باستخدام العدسات يرى الناس أجسامًا لم يكونوا ليروها بغير ذلك.

الأسئلة الرئيسية

- كيف تركّز العين الضوء لتكوّن صورة؟
- ماذا يُقصد بقصر النظر وطول النظر، وكيف تتمكن عدسات النظارة من تصحيح هذه العيوب؟
- ما خصائص الأنظمة البصرية في بعض الأجهزة البصرية المعروفة؟

مراجعة المفردات

معامل الانكسار

index of refraction: بالنسبة إلى أي وسط، إنّ النسبة بين مقدار سرعة الضوء في الفراغ إلى مقدار سرعة الضوء في ذلك الوسط

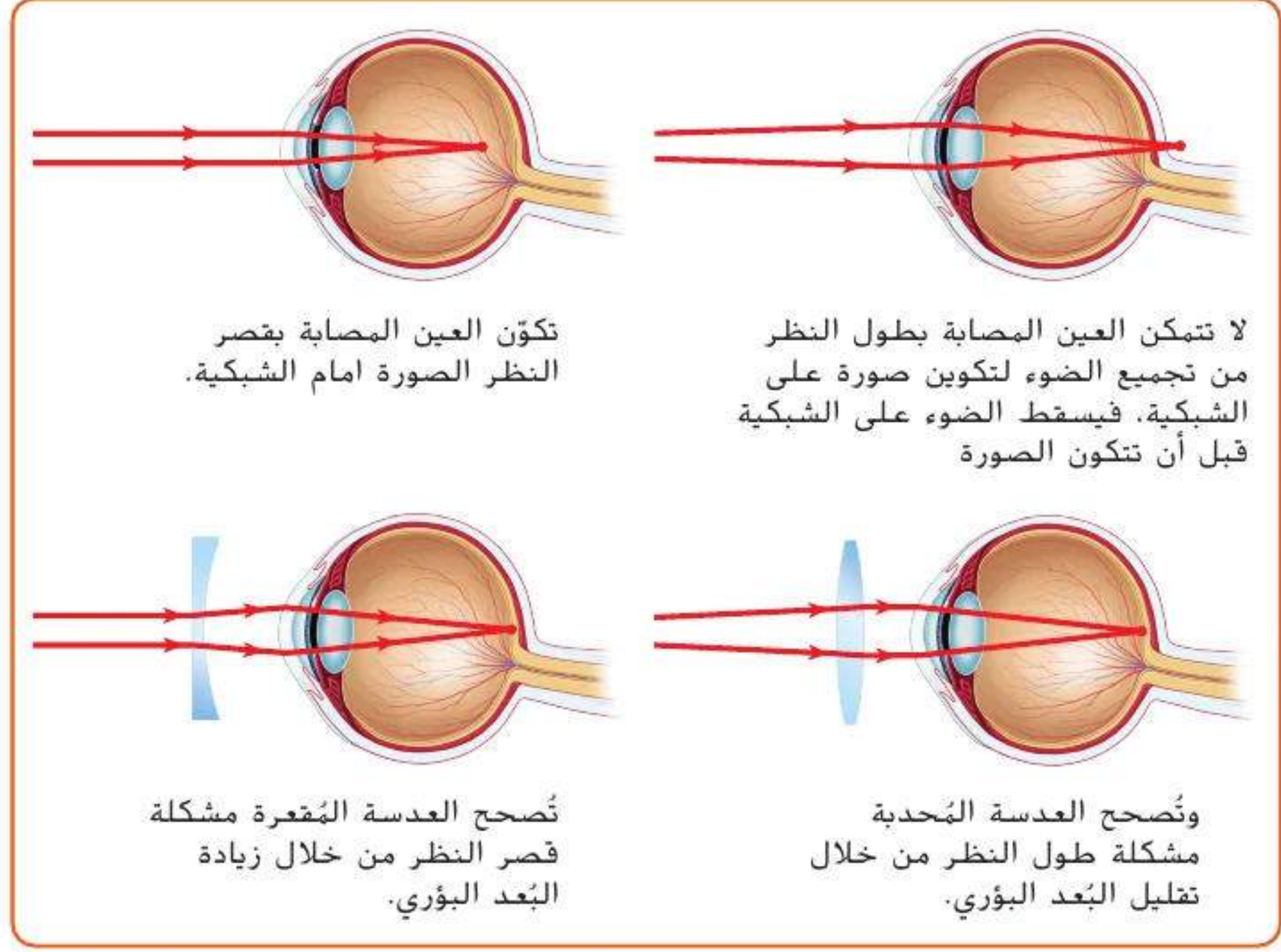
مفردات جديدة

قصر النظر nearsightedness
طول النظر farsightedness



الشكل 23 تبدو الأجسام البعيدة ضبابية بالنسبة إلى الشخص الذي يعاني قصر نظر. أما بالنسبة إلى من يعاني طول نظر، فتكون الأجسام القريبة ضبابية.

أشرح كيف يمكن عمل العدسات الثنائية البؤرة.



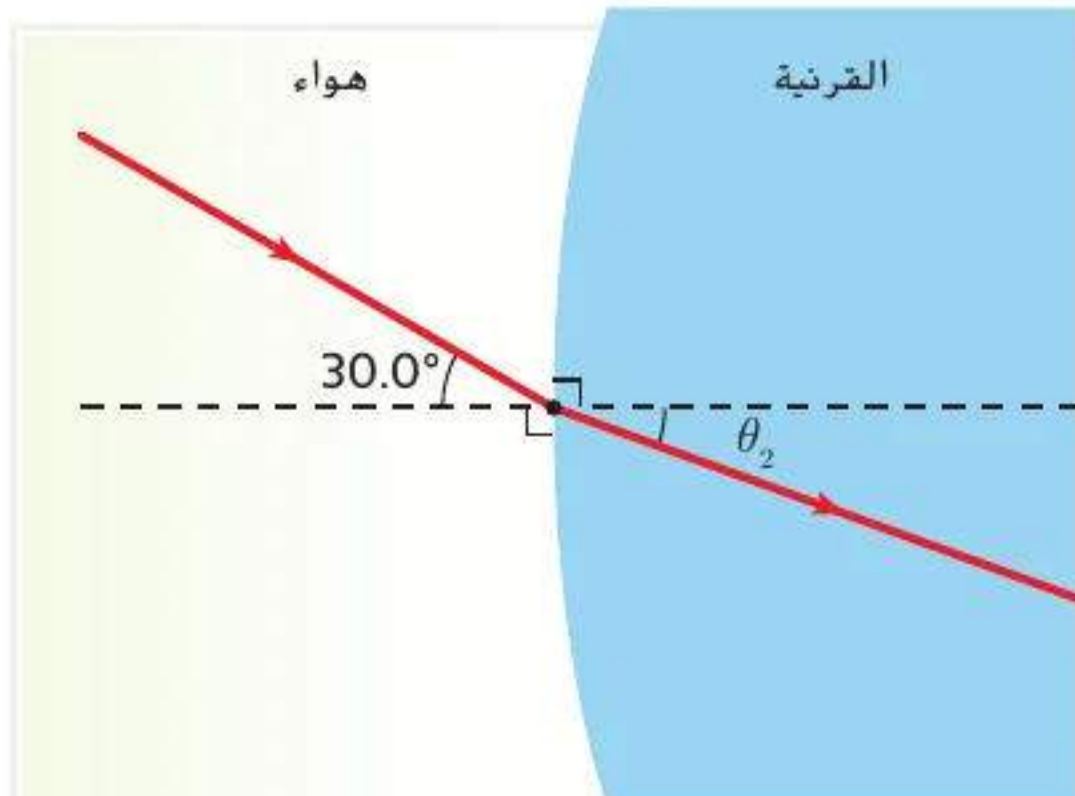
الفيزياء في حياتك

العدسات اللاصقة تقدّم العدسات اللاصقة النتيجة نفسها التي تقدّمها النظارات. وتوضع هذه العدسات الصغيرة والرفيعة على القرنية مباشرة، حيث تحافظ طبقة رقيقة من الدموع الموجودة بين القرنية والعدسة على بقاء العدسة في مكانها. يحدث معظم الانكسار عند الحد الفاصل بين الهواء والعدسة حيث يكون الفرق في معاملي الانكسار كبيرًا.

قصر النظر لا تُكوّن أعين معظم الأشخاص صورًا واضحة على الشبكية. بل تُكوّن الصور، بدلًا من ذلك، أمام الشبكية أو خلفها. مما يتطلب استعمال العدسات الخارجية، التي تتمثل في النظارات أو العدسات اللاصقة، لكي تضبط البعد البؤري وتنقل الصور إلى الشبكية. يوضّح الشكل 23 حالة **قصر النظر**، والذي يُعرف أيضًا بالحسر (myopia)، حيث يكون البعد البؤري للعدسة قصيرًا جدًا لدرجة أنه لا يتمكن من تركيز الضوء على الشبكية. وبالتالي تتكوّن الصور أمام الشبكية. وكما هو موضّح في الشكل 23، فإنّ العدسات المقعرة تصحح هذه الحالة من خلال تفريق الضوء، ما يؤدي إلى زيادة بُعد الصور من العدسة وتكوين الصور على الشبكية.

طول النظر ويبين الشكل 23 أنّ **طول النظر**، المعروف أيضًا بطول البصر (hyperopia)، هو الحالة التي يكون فيها البعد البؤري للعدسة أكبر مما هو للعين السليمة، وبالتالي لا تتكون الصور على الشبكية. وكما تؤدي زيادة صلابة عدسات العين لدى الأشخاص الذين تتجاوز أعمارهم 45 عامًا إلى نتيجة مماثلة أيضًا، حيث لا تستطيع عضلاتهم تقصير البعد البؤري بدرجة كافية لتركيز صور الأجسام القريبة على الشبكية. وفي كل من حالتي عيب الإبصار، تستخدم عدسات محدبة لتصحيح العيب. إذ تُكوّن صورًا خيالية أبعد عن العين من الأجسام، كما هو موضح في الشكل 23، حيث تُمثل الصور عندئذ الأجسام بالنسبة إلى عدسة العين فتتكون على الشبكية مما يؤدي إلى تصحيح العيب.

تحفيز في الفيزياء



عندما يدخل الضوء إلى العين، يواجه الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. إذا دخل شعاع ضوء الحد الفاصل بين الهواء وقرنية الشخص بزاوية قدرها 30.0° بالنسبة إلى العمود المقام، وكان معامل انكسار القرنية 1.4 تقريبًا، أجب عمّا يلي:

1. استخدم قانون سنل لحساب زاوية الانكسار.
2. كم ستكون زاوية الانكسار لنفس زاوية السقوط إذا كان الشخص يسبح تحت الماء مفتوح العينين؟
3. هل يكون الانكسار أكبر في الهواء أم في الماء؟ هل هذا يعني أنّ الأجسام تحت الماء تبدو أقرب مما إذا كانت في الهواء أم أبعد؟
4. إذا كنت تريد أن تكون زاوية انكسار شعاع الضوء في الماء مماثلة لها في الهواء، فكم ينبغي أن تكون زاوية السقوط الجديدة؟

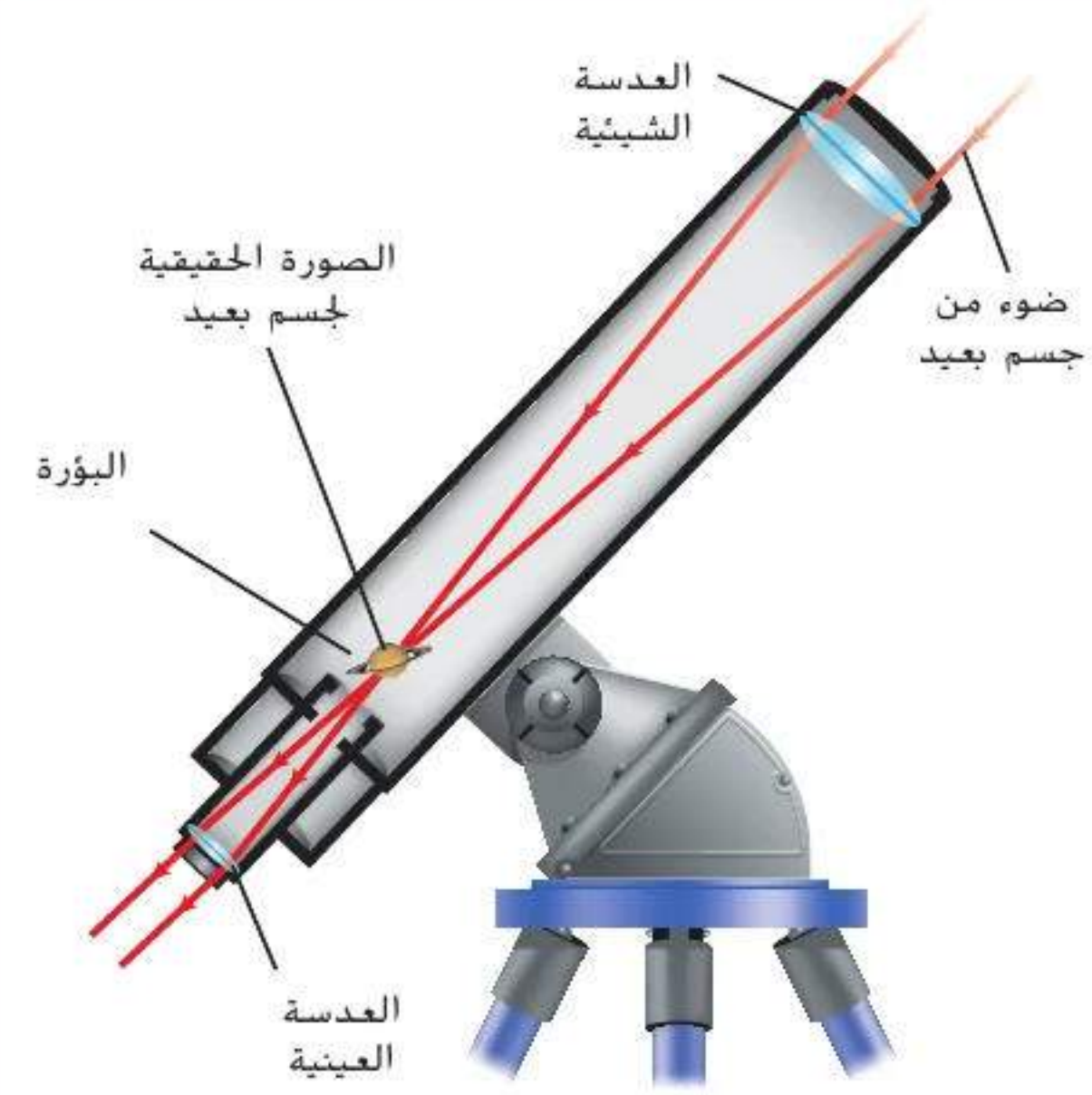
التلسكوب الكاسر

يستخدم التلسكوب الفلكي الكاسر العدسات لأظهار الأجسام البعيدة أكبر مما تراه العين. ويبيّن الشكل 24 نظام تلسكوب كبلر، إذ يأتي الضوء المنبعث من النجوم والأجسام الفلكية الأخرى من مكان بعيد جدًا لذا يمكن اعتبار الأشعة القادمة متوازية. تدخل هذه الأشعة العدسة الشيئية المُحدبة، وتتجمع كصورة حقيقية عند بؤرة العدسة الشيئية. وتكون الصورة معكوسة مقارنة بالجسم. بالتالي تُصبح الصورة هي الجسم بالنسبة إلى العدسة العينية المحدبة.

لاحظ أنّ العدسة العينية تكون في موقع بحيث تقع بؤرة العدسة الشيئية بين العدسة العينية وبؤرتها، ما يعني أنّ الصورة المرئية تكون خيالية ومعتدلة وأكبر من الصورة الأولى. وبما أنّ الصورة الأولى معكوسة، ستبقى الصورة النهائية معكوسة. الجدير بالذكر أنّ الصورة المعكوسة تكون مقبولة لمشاهدة الأجسام الفلكية.

غالبًا ما تكون العدسة العينية المحدبة في التلسكوب عدسة لالونية. لأنّ العدسة اللالونية عبارة عن مجموعة من العدسات التي تؤدي وظيفة العدسة الواحدة، فتقلل الألوان المحيطة، وتتخلص من الزيغ اللوني الذي يتشكل مع الصور.

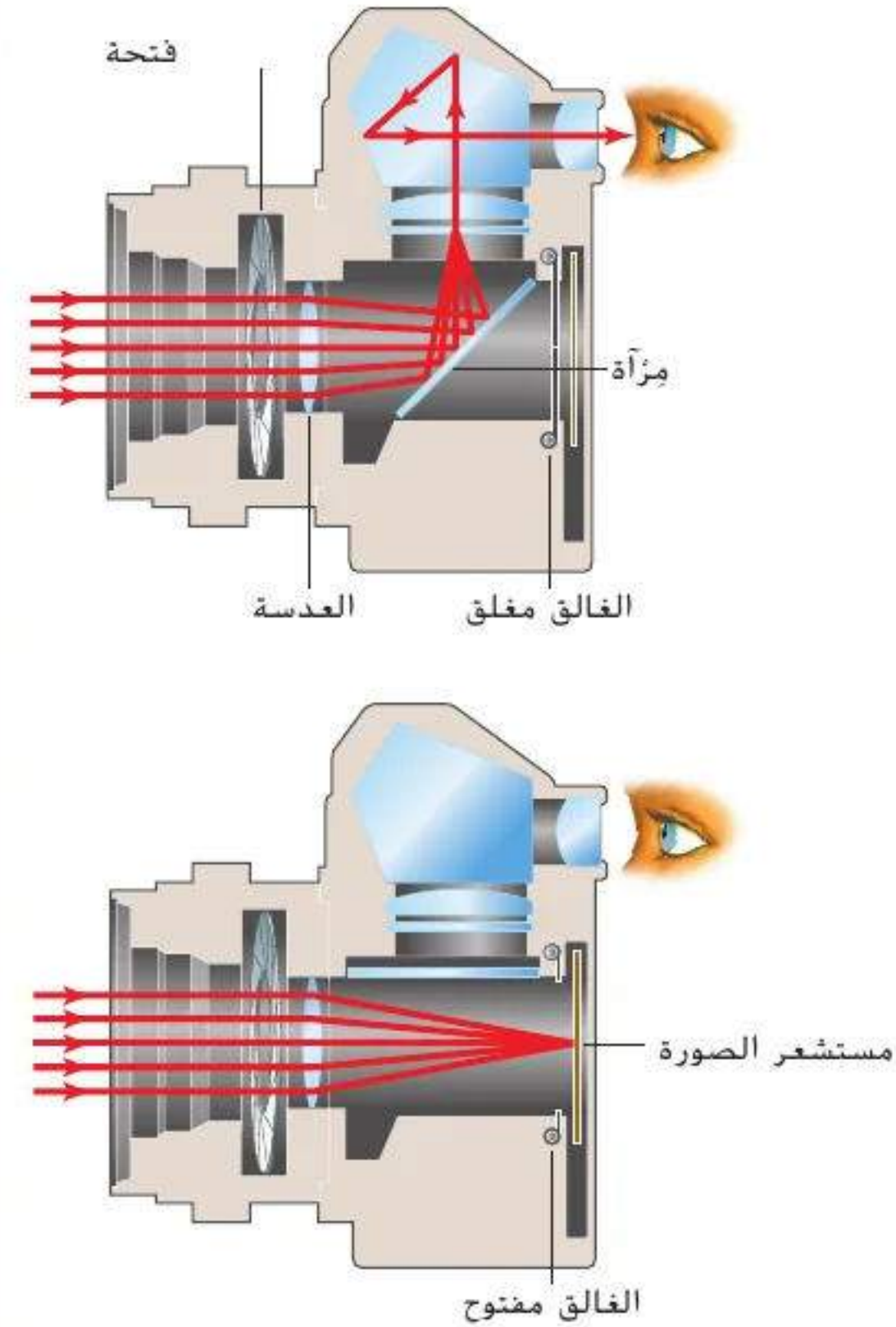
التأكد من فهم النص ووضّح طريقة عمل التلسكوب الكاسر.



الشكل 24 يتجمع الضوء القادم من الأجسام البعيدة بواسطة العدسة الشيئية والعدسة العينية في التلسكوب الكاسر. **قيّم** لماذا تُعدّ الصورة المعكوسة مقبولة لمشاهدة الأجسام الفلكية؟

الكاميرات

يوضّح الشكل 25 النظام البصري المستخدم في الكاميرا العاكسة ذات العدسة الواحدة. عندما يدخل الضوء الكاميرا من خلال فتحة العدسة، فإنه يمر عبر عدسة لالونية. يكسر نظام العدسة الضوء تمامًا كما تفعل العدسة المحدبة المفردة، مُكوّنًا صورة معكوسة على المرآة العاكسة. تنعكس الصورة إلى أعلى نحو المنشور الذي يعكس الضوء ويعيد توجيهه نحو عين المصور. عندما يلتقط الشخص الذي يحمل الكاميرا صورة، فإنه يضغط على زر تحرير الغالق الذي يرفع المرآة لفترة قصيرة، كما هو موضّح في الشكل 25. بدلًا من انحراف الضوء إلى أعلى نحو المنشور، ينتقل في مسار مستقيم لتكوين صورة على المستشعر. يلتقط مستشعر الصورة، الذي يكون في الغالب جهازًا مزدوج الشحنة (CCD)، صورة ثنائية الأبعاد تتطابق مع الصورة المتكونة عليه. تتجمع معلومات الصورة على البقعة الحساسة للضوء في الجهاز المزدوج الشحنة على هيئة شحنة كهربائية تتناسب مع شدة الضوء. يُعالج الجهاز المزدوج الشحنة بعد ذلك الشحنة وينقل المعلومات إلى جهاز التخزين.



الشكل 25 يمكن ضبط عدسة الكاميرا لتركيز الصورة على مستشعر الصورة. عند إغلاق الغالق، تحوّل المرآة مسار الصورة نحو عين المشاهد.

استدلّ لماذا تحتاج إلى فتح الغالق لمدة أكبر عند التقاط صورة في ضوء خافت؟

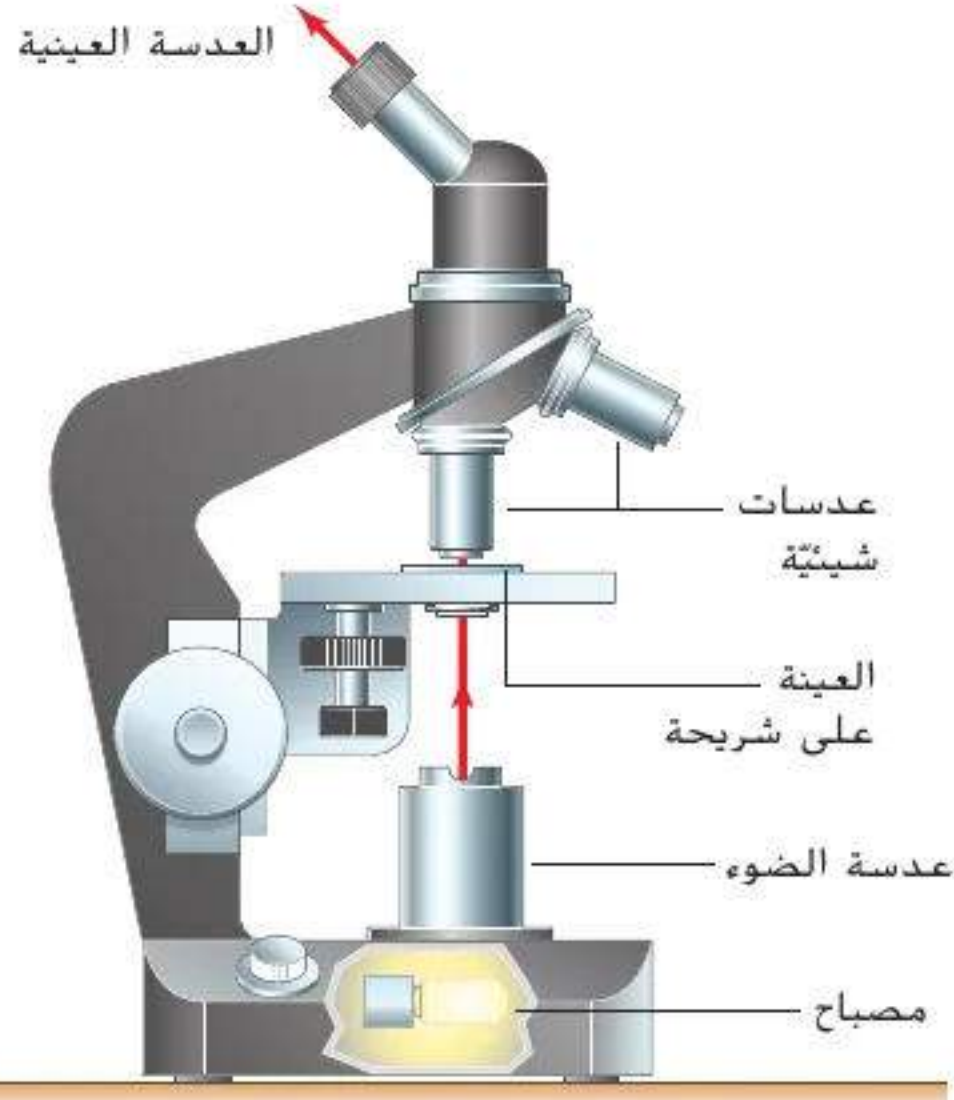
الميكروسكوب (المجهر)

كما هو الحال في التلسكوب، يحتوي المجهر على عدستين محدبتين إحداهما شيئية والأخرى عينية. وتستخدم المجاهر لتكوين صور للأجسام الصغيرة، ويمكن أن تكون الصور أكبر مئات المرات من الأجسام التي توضع في المجهر. إن عدسات المجهر ذات الأبعاد البؤرية صغيرة نسبيًا. يمثل الشكل 26 رسمًا تخطيطيًا للنظام البصري المستخدم في المجهر المركب.

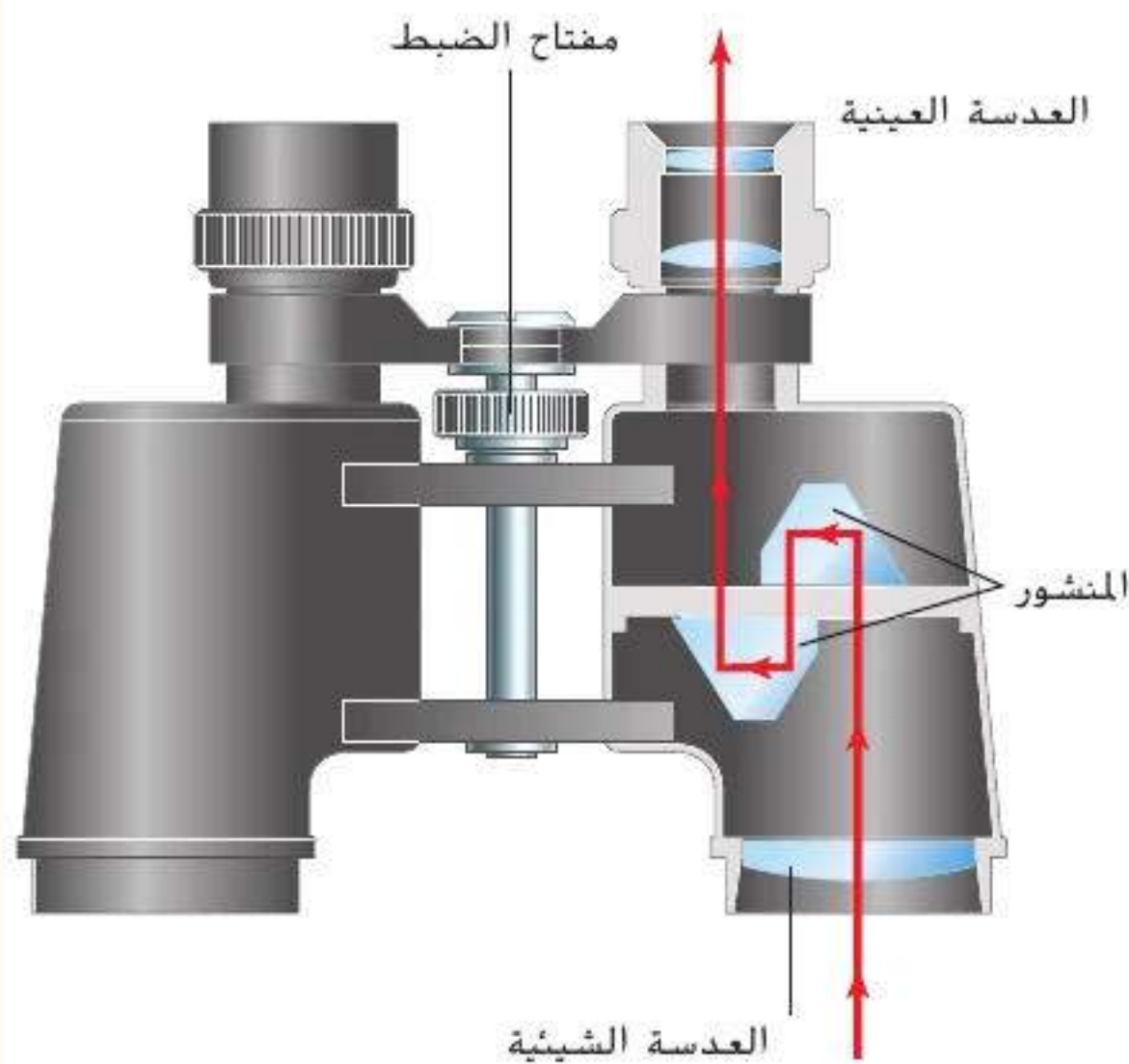
ولمشاهدة جسم بالمجهر المركب، يوضع بين البعد البؤري ومثلي البعد البؤري من العدسة الشيئية، فتتكون صورة حقيقية معكوسة وأكبر من الجسم. وكما في التلسكوب، تصبح هذه الصورة بمثابة الجسم بالنسبة إلى العدسة العينية، بحيث تقع هذه الصورة بين العدسة العينية وبؤرتها، فتتكون صورة خيالية معتدلة وأكبر من الصورة الناتجة من العدسة الشيئية. وبالتالي، يرى المشاهد صورة معكوسة وأكبر من الجسم الأصلي.

المنظار

هل سبق لك استخدام المنظار لمشاهدة حدث رياضي أو لمشاهدة الطيور؟ يكوّن المنظار صورةً مكبرةً ثلاثية الأبعاد للأجسام البعيدة مثل التلسكوب. ويبين الشكل 27 تصميمًا لمنظار، حيث يشبه كل جانب من جانبيه تلسكوبًا صغيرًا. يدخل الضوء من العدسة الشيئية المحدبة فتتكون صورة معكوسة، ثم ينتقل الضوء بعد ذلك عبر منشورين يستخدمان الانعكاس الداخلي الكلي لقلب الصورة مرة أخرى بحيث يرى المشاهد صورة معتدلة للجسم. يعمل المنشوران أيضًا على إطالة مسار الضوء وتوجيهه نحو العدسة العينية للمنظار. تمامًا مثلما تمنحك المسافة الفاصلة بين عينيك، إحساس العمق والأبعاد الثلاثية، يوفر المنشوران مسافة فاصلة أكبر بين العدستين الشبيتين، الأمر الذي يؤدي إلى تحسين الرؤية الثلاثية الأبعاد للجسم البعيد من المنظار.



الشكل 26 تكوّن العدسة الشيئية والعدسة العينية في هذا المجهر المركب صورة معكوسة وأكبر مُقارنةً بالجسم.

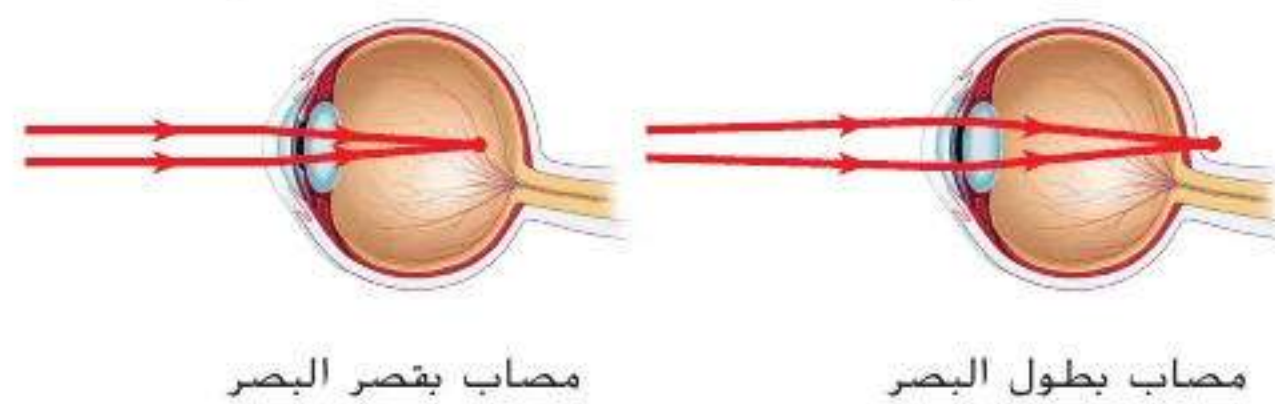


الشكل 27 يعمل المنظار بطريقة مماثلة للتلسكوب الكاسر.

القسم 3 مراجعة

34. الانكسار اشرح سبب أنّ القرنية هي عنصر تجميع الأشعة الأساسي في العين.
35. الكاميرا إذا وجهت الكاميرا نحو شجرة تقع على بُعد 2 m منك، وأردت أن توجهها نحو شجرة أخرى أبعد من ذلك، هل ينبغي أن تقرب العدسة من المستشعر أم تبعد عنها؟
36. التفكير الناقد عند استخدام أكبر مقدار تكبير في المجهر، تكون الصور معتمة أكثر منها في حال التكبير أقل. فما الأسباب المحتملة لجعل الصورة مظلمة؟ ماذا يمكن أن تفعل للحصول على صورة أوضح؟

33. الفكرة الرئيسية أي نوع من العدسات، المحدبة أم المقعرة، يجب أن يستخدمها الشخص الذي يعاني من قصر النظر؟ وأي نوع منها يستخدمه الشخص الذي يعاني من طول النظر؟ انظر الشكل 28. اشرح.



الشكل 28

هل ترى ما أرى؟

عدسات الجاذبية

ماذا يحدث هنا؟ هذه، في الواقع، صورة الضوء الصادر من مجرتين تقع إحداهما خلف الأخرى مباشرة. ويطلق عليها اسم حلقة آينشتاين.

إنَّ النقطة المضيئة المركزية هذه هي الضوء الصادر من المجرة الأقرب.

في حين أنَّ الحلقة الخارجية هذه هي الضوء الصادر من المجرة الأبعد. لماذا يمكن رؤية الضوء الصادر من المجرة الأبعد من خلف المجرة الأقرب؟ ترتبط إجابة هذا السؤال بتوقعات آينشتاين حول الفضاء المنحني. ويطلق على الأثر اسم حلقة آينشتاين.

ينحني الضوء الصادر من الجسم البعيد حول الجسم القريب الهائل الحجم، الذي تمثله المجرة في هذه الحالة. ستجمع أشعة الضوء في نقطة ما بحيث يقوم الجسم القريب بدور عدسة الجاذبية حيث يزيد من لمعان صورة مصدر الضوء البعيد.

تتبع كل الأجسام، بما فيها الضوء، انحناء الفضاء بسبب الجاذبية عند المرور بالقرب من جسم ما.

كما تُعدّ حلقات آينشتاين نتيجة انحناء الضوء بفعل الجاذبية. تعمل بعض الأجسام، مثل المجرات، على انحناء الفضاء. وهذا يؤثر في الضوء بطريقة مماثلة للعدسة.

لمزيد من التعمق <<<

البحث يُعدّ انحناء الضوء بفعل الجاذبية واحدًا من تنبؤات نظرية النسبية العامة. أعدّ بحثًا عن باقي تنبؤات النظرية. كيف يمكن اختبار هذه التنبؤات؟

تلسكوب

الفكرة الرئيسية تعمل العدسات على انكسار الضوء وتكوين صور.

القسم 1 انكسار الضوء

الفكرة الرئيسية يعتمد مقدار الانكسار عند الحد الفاصل بين وسطين على معاملي انكسار الوسيطين وزاوية السقوط.

- ينكسر شعاع الضوء عندما من وسط ما ذي معامل انكسار (n_1) إلى وسط آخر ذي معامل انكسار مختلف (n_2). يوصف الانكسار وفق قانون سنل للانكسار.

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

- سرعة الضوء في الوسط أقل من سرعة الضوء في الفراغ. النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ (c) وسرعة الضوء في وسط ما (v) تساوي معامل الانكسار (n) لذلك الوسط.
- عندما ينتقل الضوء من وسط لوسط آخر معامل انكساره أقل وبزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة C ، فإن الضوء ينعكس انعكاسًا كليًا داخليًا في الوسط نفسه الذي هو فيه، ولا ينفذ إلى الوسط الآخر.
- تحدث الظواهر البصرية مثل السراب وأقواس المطر نتيجة للانكسار. يحدث السراب نتيجة تأثير درجة الحرارة في n وتحدث أقواس المطر نتيجة تشتت الضوء الأبيض المنكسر.

المفردات

- معامل الانكسار
index of refraction
- الزاوية الحرجة
critical angle
- الانعكاس الداخلي الكلي
total internal reflection
- تحلل الضوء
dispersion

القسم 2 العدسات المحدبة والمقعرة

الفكرة الرئيسية يمكن استخدام العدسات في تكبير الصور وتصغيرها.

- تكوّن العدسة المحدبة المفردة صورة حقيقية من خلال تجميع أشعة الضوء عندما يكون الجسم أبعد من بؤرة العدسة. وتكوّن العدسة المحدبة المفردة صورة خيالية عندما يقع الجسم بين العدسة والبؤرة. تكوّن العدسة المقعرة المفردة صورة خيالية مصغرة ومعتدلة دائمًا من خلال تفريق أشعة الضوء.
- تستخدم الرسوم التخطيطية للأشعة لتحديد موضع الصورة التي كونتها العدسة وصفات الصورة. توضح معادلة العدسة الرقيقة العلاقة بين البعد البؤري (f) وبعد الجسم (x_o) وبعد الصورة (x_i).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

- يُحدّد تكبير الصورة (m) بالعدسة بواسطة معادلة التكبير.
- تُحدث كل العدسات الرقيقة زيجًا لونيًا. يستخدم للحد من الزيج اللوني مجموعة من العدسات ذات معاملات انكسار مختلفة.

المفردات

- عدسة
lens
- عدسة محدبة
convex lens
- عدسة مقعرة
concave lens
- معادلة العدسة الرقيقة
thin lens equation
- زيج لوني
chromatic aberration
- عدسة لالونية
achromatic lens

القسم 3 تطبيقات العدسات

الفكرة الرئيسية باستخدام العدسات يرى الناس أجسامًا لم يكونوا ليروها بغير ذلك.

- اختلاف معاملي انكسار الهواء والقرنية المسؤول الأساسي عن تركيز الضوء في العين.
- إنّ قصر النظر هو عدم القدرة على رؤية الأجسام البعيدة بوضوح. تُصحح العدسة المقعرة قصر النظر.
- إنّ طول النظر هو عدم القدرة على رؤية الأجسام القريبة بوضوح. تُصحح العدسة المحدبة طول النظر.
- تستخدم الأجهزة البصرية مجموعات من العدسات للحصول على صور واضحة للأجسام الصغيرة أو البعيدة.

المفردات

- قصر النظر
nearsightedness
- طول النظر
farsightedness

القسم 1 انكسار الضوء

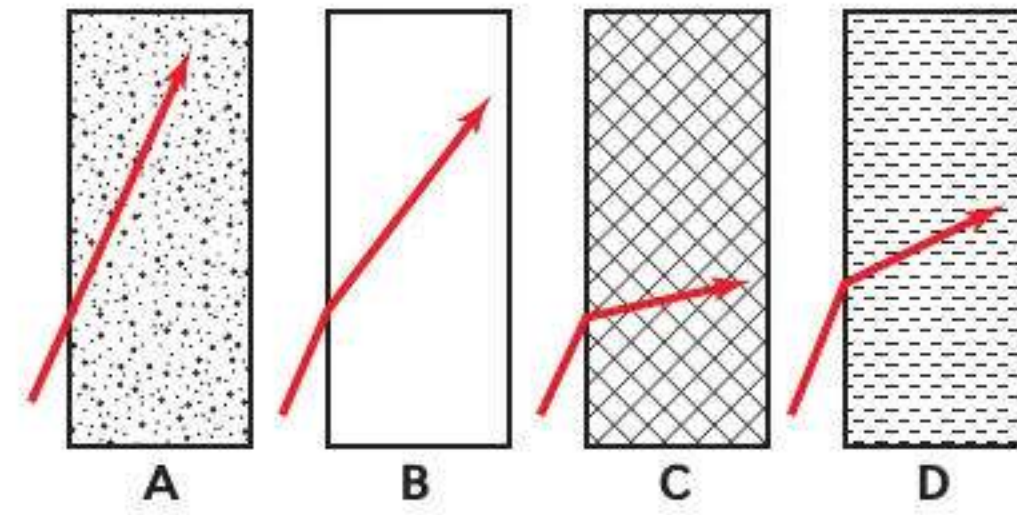
إتقان المفاهيم

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

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

39. في ما يتعلق بالانكسار، ما المقصود بالزاوية الحرجة؟

40. ترتيب يمثّل الشكل 29 شعاعًا ضوئيًا ينتقل من الهواء إلى عدة أوساط. رتب الأوساط طبقًا لمعامل الانكسار من الأكبر إلى الأصغر.



الشكل 29

41. على الرغم من انكسار الضوء القادم من الشمس أثناء مروره عبر الغلاف الجوي إلى الأرض، فإن الضوء لا يتحلل إلى طيفه. وضح لماذا لا يحدث ذلك؟

42. اشرح لماذا يظهر القمر باللون الأحمر أثناء الخسوف؟

إتقان حل المسائل

43. ارجع إلى الجدول 1، واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء خلال ألماس.

44. ينتقل الضوء من الزجاج الصواني إلى الإيثانول. تساوي زاوية الانكسار في الإيثانول 25.0° . ما زاوية السقوط في الزجاج؟

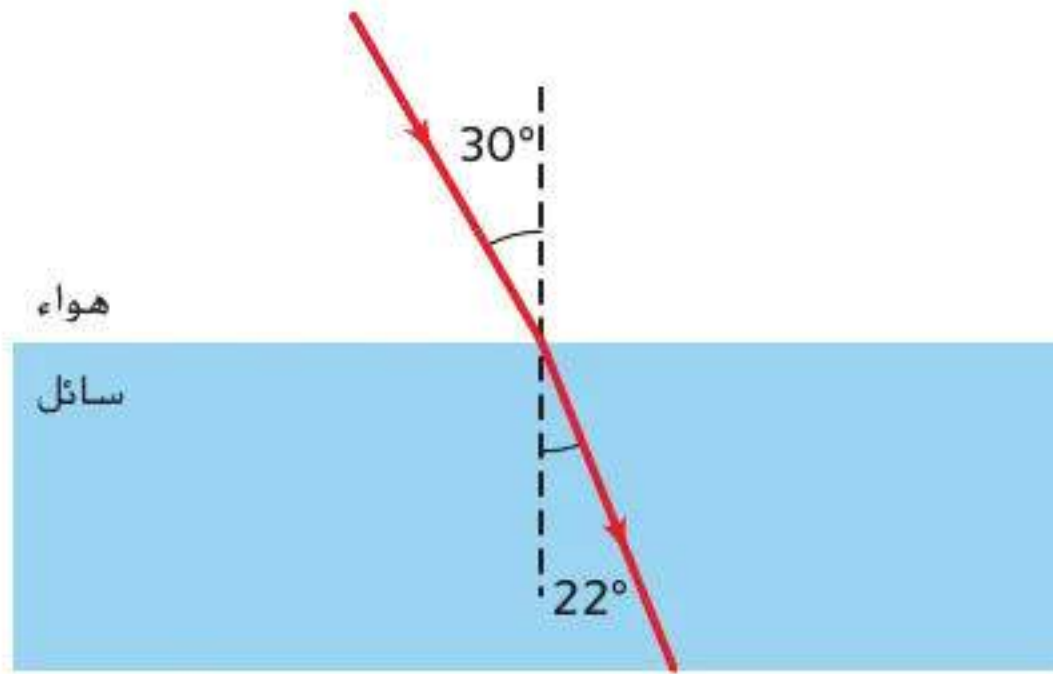
45. ارجع إلى الجدول 1، وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

46. يسقط شعاع ضوئي على زجاج مسطح لأحد جوانب حوض سمك مملوء بالماء بزاوية قدرها 40.0° بالنسبة إلى العمود المقام. علّم أن معامل انكسار الزجاج، $n = 1.50$.

a. ما زاوية انكسار الشعاع الضوئي في الزجاج؟

b. ما زاوية انكسار الشعاع الضوئي في الماء؟

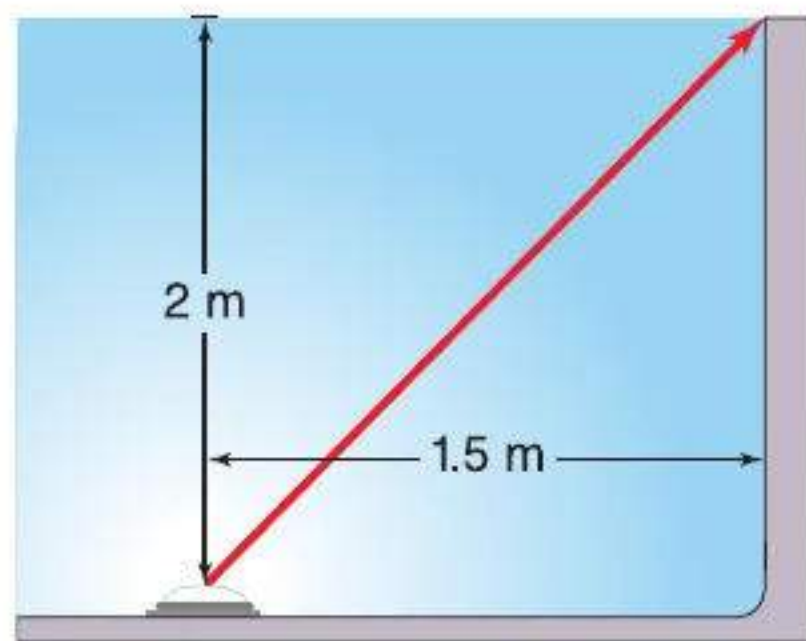
47. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائل، كما هو موضح في الشكل 30. حيث يسقط شعاع الضوء على السائل بزاوية 30.0° وينكسر بزاوية تساوي 22.0° . باستخدام قانون سنل، احسب معامل الانكسار للسائل. قارن معامل الانكسار الذي حسبته بمعاملات الانكسار الموجودة في الجدول 1. ماذا يمكن أن يكون نوع السائل؟



الشكل 30

48. حوض السمك استخدم لوح سمك من البلاستيك، $n = 1.500$. في صنع حوض سمك، فإذا انعكس ضوء عن سمكة موجودة في الماء وسقط على لوح البلاستيك بزاوية سقوط 35.0° ، فما مقدار الزاوية التي سيخرج فيها؟

49. أضواء حوض السباحة يقع مصدر ضوء على عمق 2.0 m من سطح حوض سباحة، ويبعد 1.5 m من طرف حوض السباحة، كما هو موضح في الشكل 31، وكان الحوض مملوءًا بالماء إلى قمته. ما مقدار زاوية خروج الضوء من الماء عندما يصل إلى طرف حوض السباحة؟ هل سيبدو الحوض أكثر أو أقل عمقًا مما هو عليه في الواقع عند النظر إليه من هذه الزاوية؟



الشكل 31 (غير مرسوم بمقياس رسم)

50. يساوي معامل انكسار الزجاج المصقول للضوء البنفسجي 1.53 و للضوء الأحمر 1.51. ما سرعة الضوء البنفسجي في الزجاج المصقول؟ وما سرعة الضوء الأحمر في الزجاج المصقول؟

51. تبلغ الزاوية الحرجة لأحد أنواع الزجاج في الهواء 41.0° . ما مقدار الزاوية الحرجة، إذا كان الزجاج مغمورًا في الماء؟

59. اذكر سبب استخدام الآلات البصرية الدقيقة للعدسات اللالونية.

60. حدد موقع الصورة المتكوّنة باستخدام عدسة محدبة، وصف صفاتها عندما يوضع الجسم على مسافة أكبر من $2F$.

61. لعرض مشهد مُصوّر باستخدام جهاز عرض سينمائي على شاشة، يوضع الفيلم بين F و $2F$ لعدسة مجمعة، ويُنتج هذا الترتيب صورة مقلوبة. لماذا يظهر المشهد المُصوّر معتدلاً عند عرض الفيلم؟

إتقان حل المسائل

62. البُعد البؤري لعدسة محدبة 17 cm ، وُضعت شمعة على بُعد 34 cm أمام العدسة. ارسم مخطط أشعة لتحديد موقع الصورة.

63. وُضع كوب على طاولة على بُعد 72.5 cm من عدسة مجمعة بُعدها البؤري 25.5 cm . كم ستبُعد صورة الكوب المتكونة من العدسة؟

64. تستخدم جهازًا مزودًا بعدسة محدبة لتكوّن صورة حجمها يساوي 0.75 من حجم أحد الرسوم. إذا وضعت الجهاز على بُعد 24 cm من العدسة للحصول على هذه النتيجة، فما البُعد البؤري للعدسة؟

65. وُضعت قطعة من الحلوى طولها 2.4 cm على بُعد 14.0 cm من عدسة محدبة يساوي بُعدها البؤري 6.0 cm . وطول قطعة الحلوى يساوي 2.4 cm .

a. ارسم مخطط أشعة لتحديد بُعد الصورة وطولها واتجاهها.
b. حلّ المسألة رياضيًا.

66. وُضعت زجاجة طلاء أظافر طولها 8.0 cm أمام عدسة مجمعة على بُعد 15.0 cm . تَكُونت صورة حقيقية على بُعد 10.0 cm من العدسة.

a. ما البُعد البؤري للعدسة؟
b. إذا استُبدلت العدسة، وُضع مكانها عدسة أخرى بعدها البؤري مثلي البعد البؤري للعدسة المستبدلة، فما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟

67. لعدسة مفرقة بُعد بؤري 15.0 cm . وُضعت قطعة ألعاب على بُعد 5.0 cm من العدسة فتكوّنت صورة طولها 2.0 cm .

a. ما طول قطعة الألعاب وما بعدها؟
b. استُبدلت العدسة المفرقة، ووضع مكانها عدسة مجمعة لها البُعد البؤري نفسه. ما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟ وهل هذه الصورة حقيقية أم خيالية؟

68. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزيائية باستخدام أجسام في الحياة اليومية بحيث تكون المعادلة التالية جزءًا من حل المسألة: $\frac{1}{0.06\text{ m}} + \frac{1}{x_i} = \frac{1}{0.04\text{ m}}$.

52. معامل انكسار ألماس لضوء أحمر طول الموجي 656 nm ، يساوي 2.410 في حين يساوي 2.450 لضوء أزرق طول الموجي 434 nm . افترض دخول ضوء أبيض إلى ألماس بزاوية مقدارها 30.0° . أوجد زاويتي انكسار الضوءين الأحمر والأزرق.

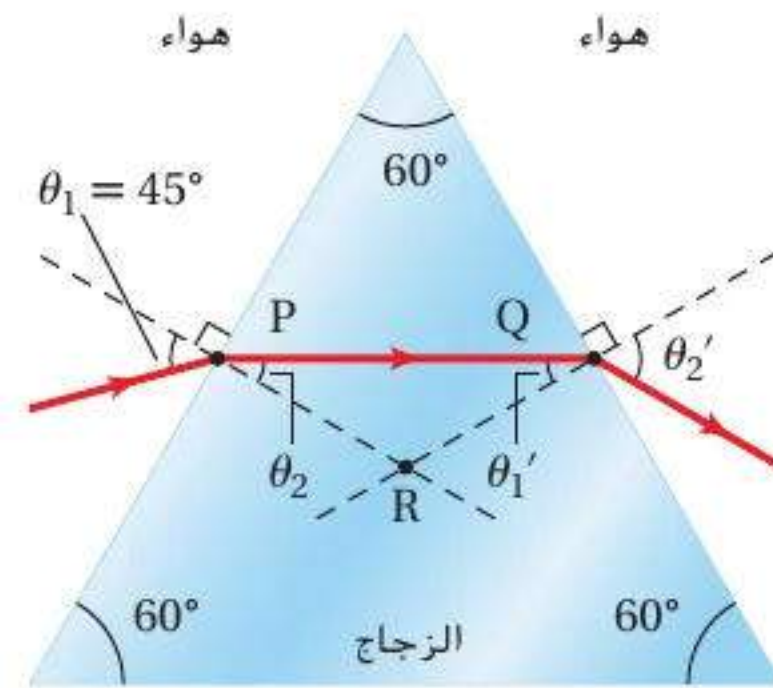
53. زاوية سقوط شعاع ضوئي في الماء تساوي 55.0° . ما زاوية انكساره في الهواء؟

54. يدخل الشعاع الموضح في الشكل 32 في منشور زجاجي متطابق الاضلاع ومعامل انكسار مادته 1.5 .

a. باستخدام قانون سنل للانكسار، أوجد الزاوية θ_2 مقربة إلى أقرب درجة.

b. باستخدام مبادئ الهندسة، حدد قيمة θ_1' .

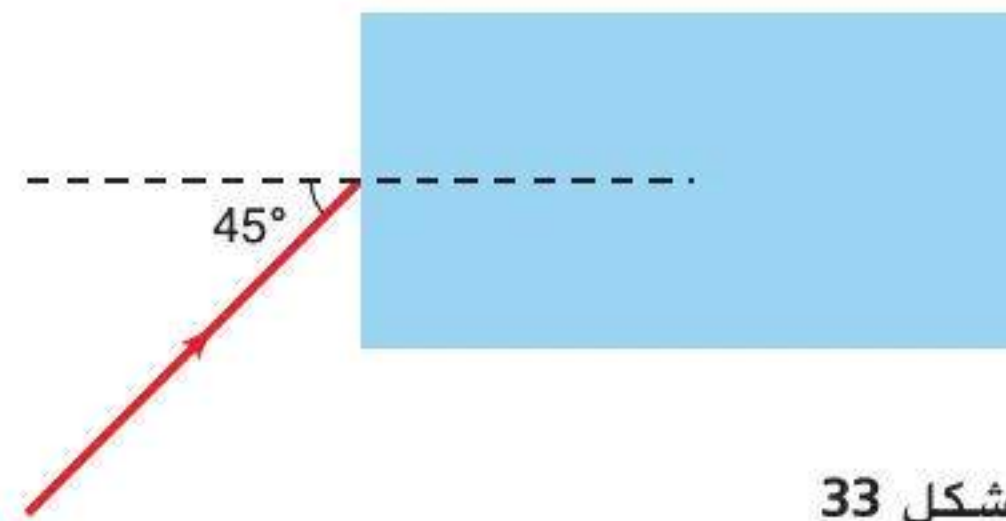
c. أوجد θ_2' .



الشكل 32

55. سرعة الضوء في البلاستيك الشفاف $1.90 \times 10^8\text{ m/s}$. يسقط شعاع ضوئي على البلاستيك بزاوية تساوي 22.0° . ما مقدار زاوية انكسار الشعاع؟

56. يدخل شعاع ضوئي في قطعة من الزجاج المصقول كما هو موضح في الشكل 33. استخدم مخطط أشعة مناسبًا لتتبع مسار الشعاع حتى يخرج الزجاج.



الشكل 33

القسم 2 العدسات المحدبة والمقعرة

إتقان المفاهيم

57. كيف تختلف أشكال العدسات المحدبة والمقعرة فيما بينها؟

58. ما العامل الذي يُحدد موقع بؤرة العدسة، غير تقوّس سطح العدسة؟

القسم 3 تطبيقات العدسات

إتقان المفاهيم

69. **الفكرة الرئيسية** صف طريقة تركيز العين للضوء.

70. ما الحالة التي يُصبح فيها البُعد البؤري لعدسة العين قصيرًا جدًا لدرجة لا تتمكن معها من تجميع الضوء على الشبكية؟

71. ما نوع الصورة المتكوّنة عند استخدام العدسة الشيئية في التلسكوب الكاسر؟ كيف عرفت ذلك؟

72. تزيد المناشير الزجاجية في المنظار من المسافة بين العدسات الشيئية. لماذا يُعدّ ذلك مُفيدًا؟

73. ما الغرض من المرآة العاكسة في الكاميرا؟

إتقان حل المسائل

74. **عدسات الكاميرا** توصف عدسات الكاميرا بدلالة بُعدها البؤري. العدسة 50.0 mm يكون بعدها البؤري 50.0 mm.

a. تُركّز كاميرا مزودة بعدسة بعدها البؤري 50.0 mm على جسم يبعد 3.0 m. ما موقع الصورة؟

b. تُركّز عدسة بعدها البؤري 1000.0 mm على جسم يبعد 125 m. ما موقع الصورة؟

75. **النظارات** لقراءة كتاب بوضوح. يجب أن يكون على بُعد 25 cm. فإذا كان هنالك فتاة مصابة بطول النظر، وتحتاج إلى أن يكون الكتاب على بُعد 45 cm من عينيها لقراءته بوضوح، فما البُعد البؤري اللازم لعدستي نظارة الفتاة؟

76. **الكاميرا** تُستخدم عدسة كاميرا بعدها البؤري 35 mm لتصوير جسم بعيد. كم تبعد الصورة الحقيقية للجسم من العدسة؟ فسر ذلك.

77. **آلة النسخ** يُساوي البُعد البؤري للعدسة المحدبة الخاصة بآلة نسخ 25.0 cm. فإذا وضعت ورقة على بُعد 40.0 cm من العدسة لنسخها:

a. كم يجب أن يكون البعد بين ورق النسخ والعدسة؟
b. ما مقدار تكبير نسخة النسخ؟

78. **الميكروسكوب (المجهر)** وُضعت شريحة من خلايا بصل على بُعد 12 mm من عدسة شيئية لمجهر. فإذا كان البُعد البؤري للعدسة الشيئية 10.0 mm.

a. ما بُعد الصورة المتكوّنة عن العدسة؟
b. ما مقدار تكبير هذه الصورة؟
c. تتكون الصورة الحقيقية على بُعد 10.0 mm تحت العدسة العينية. فإذا كان البُعد البؤري للعدسة العينية يساوي 20.0 mm، فما موقع الصورة النهائية؟
d. ما مقدار التكبير النهائي لهذا النظام المُركّب؟

79. **التلسكوب** يتكوّن النظام البصري للتلسكوب الكاسر اللعبة من عدسة شيئية مجمعة بعدها البؤري 20.0 cm، وتقع على بُعد 25.0 cm من عدسة عينية مجمعة بعدها البؤري 4.05 cm. يُستخدم التلسكوب لمشاهدة جسم طوله 10.0 cm، ويقع على بُعد 425 cm من العدسة الشيئية.

a. ما موقع الصورة المتكوّنة باستخدام العدسة الشيئية وطولها، واتجاهها؟ هل هذه الصورة حقيقية أم خيالية؟
b. إذا أصبحت الصورة المتكوّنة عن العدسة الشيئية بمثابة الجسم للعدسة العينية، فما موقع الصورة التي يراها الشخص عند النظر في التلسكوب؟ وما طولها واتجاهها؟ وهل هذه الصورة صورة حقيقية أم خيالية؟
c. ما مقدار تكبير التلسكوب؟

تطبيق المفاهيم

80. أي من الوسطين A أو B، في الشكل 34 له معامل انكسار أكبر؟ وضح ذلك.



الشكل 34

81. كيف تتغيّر سرعة الضوء عند ازدياد معامل الانكسار؟

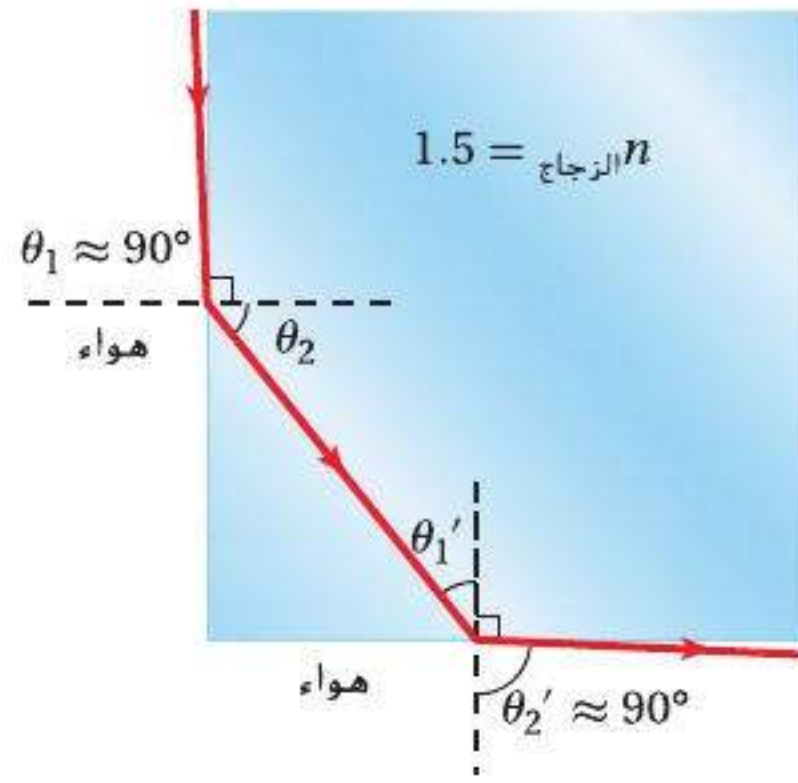
82. **السراب الأسطوري** وفقًا للأسطورة، أبحر إريك الأحمر من أيسلندا واكتشف جزيرة جرينلاند بعد رؤيته للجزيرة في هيئة السراب. اشرح كيف يمكن أن يحدث السراب.

83. **الزجاج الأمامي المتشقق** عندما تنظر من خلال زجاج متشقق، فإنك تشاهد خطأً فضي اللون على طول امتداد الشق، حيث يكون الزجاج منفصلًا عنده، كما أن هنالك هواء موجود في الشق. يدل هذا الخط الفضي إلى أنّ الضوء ينعكس عن الشق. ارسم مخطط أشعة لتفسير سبب حدوث ذلك. وما هي الظاهرة التي يمثلها؟

84. **أقواس المطر** لماذا لا يمكنك رؤية قوس المطر في السماء جنوبًا إذا كنت في نصف الكرة الأرضية الشمالي؟ وإلى أي اتجاه عليك النظر لرؤية أقواس المطر إذا كنت في نصف الكرة الجنوبي؟

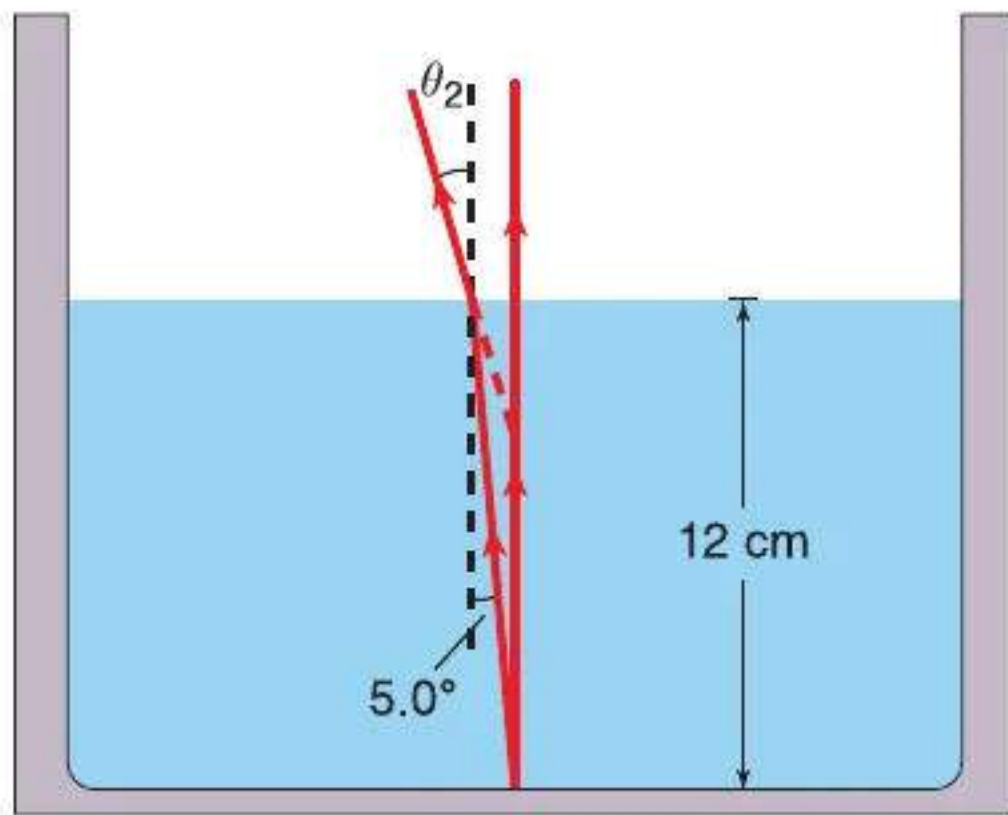
لقانون سنل للانكسار، $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$. واذكر الافتراضات اللازمة.

99. من غير الممكن الرؤية من خلال الجوانب المتجاورة لقوالب مربعة من زجاج معامل انكساره يساوي 1.5. حيث يؤثر الجانب المجاور للجانب الذي ينظر من خلاله المراقب كأنه مرآة. يوضح الشكل 35 الحالة المحددة لجانب مجاور لا يؤثر كأنه مرآة. استخدم معرفتك بالهندسة وبالزوايا الحرجة لتثبت أن هيئة هذا الشعاع غير قابلة للتحقيق عندما يكون $n_{\text{زجاج}} = 1.5$



الشكل 35

100. **العمق الظاهري** تنعكس أشعة الشمس من قاع حوض سمك وتنتشر في جميع الاتجاهات. الشكل 36 يوضح شعاعين من هذه الأشعة المنعكسة من نقطة في قاع الحوض ينتقلان إلى السطح، فتتكسر أشعة الضوء في الهواء كما هو موضح. يُعدّ امتداد الخط الأحمر المتقطع إلى الخلف، من شعاع الضوء المنكسر، خط النظر الذي يتقاطع مع الشعاع الرأسي عند الموقع الذي سيرى فيه المراقب صورة قاع الحوض. أوجد زاوية انكسار الشعاع في الهواء. عند أي عمق سيبدو قاع الحوض إذا نظرت في الماء؟ أوجد ناتج قسمة العمق الظاهري على العمق الحقيقي وقارن الناتج بمعامل الانكسار.



الشكل 36

85. يكسر المنشور الضوء الأزرق بزاوية أكبر من الضوء الأحمر. فسّر ذلك.

86. هل يزيد أم يقل قياس الزاوية الحرجة كلما ازداد معامل انكسار الوسط الذي ينتقل خلاله الشعاع؟

87. لماذا يُعدّ الزيغ اللوني عيبًا بالنسبة إلى العدسات، ولا يعد كذلك بالنسبة إلى المرايا؟

88. أي زوج من الأوساط التالية له زاوية حرجة أقل: الهواء والماء أم الهواء والزجاج المصقول؟

89. افترض أن الشكل 13 أُعيد رسمه باستخدام عدسة لها البعد البؤري نفسه ولكن لها قطر أكبر. فسّر سبب عدم تغيير موقع الصورة. هل ستتأثر الصورة بأي طريقة؟

90. يستخدم أحد السباحين عدسة مكبرة أثناء الغوص تحت الماء حتى تساعد على مشاهدة جسم صغير في قاع حوض سباحة. واكتشف أن العدسة المكبرة لا تكبّر الجسم جيدًا كما يجب. اشرح لماذا لا تعمل العدسة المكبرة في الماء كما كانت تعمل في الهواء.

91. عند التعرّض لضوء الشمس الساطع يكون يؤبؤ العينين أصغر مما يكون عليه عند التعرّض للضوء الخافت. اشرح لماذا تستطيع عينك تجميع الضوء بشكل أفضل في الضوء الساطع.

92. **المناظير** تُكوّن العدسات الشيئية في المناظير صورًا حقيقية ومعتدلة للأجسام مُقارنةً بالأجسام الأصلية. أين تقع الصور بالنسبة إلى العدسات العينية؟

مراجعة عامة

93. وُضع جسم طوله 3.0 cm على بعد 20 cm أمام عدسة مجمّعة، فتكوّنت صورة حقيقية على بعد 10 cm من العدسة. ما مقدار البعد البؤري للعدسة؟

94. تبلغ الزاوية الحرجة لضوء ينتقل من قالب من الزجاج المصقول إلى وسط آخر 45.0° . ما معامل انكسار الوسط الذي ينتقل إليه الضوء؟

95. أوجد سرعة الضوء في حجر ثلاثي أكسيد الأنتيمون، إذا كان معامل انكساره يساوي 2.35.

96. **علم الفلك** كم عدد الدقائق الإضافية التي سيستغرقها الضوء عند انتقاله من الشمس إلى الأرض إذا امتلأ الفضاء بينهما بالماء بدلًا من الفراغ؟ علمًا بأن بُعد الشمس من الأرض يساوي 1.5×10^8 km.

97. **شباك الصرّاف في البنك** يُستخدم لوح سميك من البلاستيك سمكه 25 mm و $n = 1.5$ في شباك الصرّاف الآلي في البنك. فعندما يسقط شعاع ضوئي على اللوح بزاوية تساوي 45° ، سيخرج الشعاع من اللوح بزاوية تساوي 45° ولكن من موقع آخر. استخدم مخطط أشعة لإيجاد البعد بين الشعاع الذي يخرج والشعاع الذي كان سيخرج في حالة عدم وجود البلاستيك.

98. استنتج المعادلة $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ من الصيغة العامة

109. تختلف عملية التكيف في العين، وهي التي تنقبض فيها العضلات المحيطة بالعدسة في العين أو تنبسط حتى تُمكن العين من رؤية الأجسام القريبة أو البعيدة من كائن إلى آخر. ابحث في هذه الظاهرة في حيوانات مختلفة، وأعد تقريرًا للصف توضح من خلاله كيفية التكيف في عيون هذه الحيوانات لرؤية الأشياء.

مراجعة تراكمية

110. إذا أسقطت حقيبة كتلتها 2.0 kg وفيها طلاقات رصاص صغيرة من ارتفاع 1.5 m كما هو موضح في الشكل 37، يمكنك افتراض أن نصف طاقة الوضع ستتحول إلى طاقة حرارية في طلاقات الرصاص. وسيحول النصف الآخر إلى طاقة حرارية في الأرض. كم مرة قد يتعين عليك إسقاط الحقيبة لرفع حرارتها بمقدار 10°C؟



111. تُطلق سيارة بوقها عندما تقترب من أحد الأشخاص عند عبوره ممر المشاة. ما الذي سيسمعه هذا الشخص عندما تتوقف السيارة لتسمح له بعبور الشارع؟

112. افترض أنك تستطيع أن تقف على سطح الشمس وتزن نفسك. وافترض أيضًا أنك تستطيع قياس الاستضاءة على يدك من طيف الشمس المرئي الناتج في هذا الموقع. ثم تخيل أنك تنتقل إلى موقع أبعد من مركز الشمس مما كنت تقف عنده بمقدار 1000 مرة.

a. ما وجه المقارنة بين قوة الجاذبية المؤثرة فيك من الشمس وما كانت عليه على السطح؟

b. ما وجه المقارنة بين الاستضاءة على يدك من الشمس في الموضع الجديد وما كانت عليه عندما كنت تقف على سطحها؟ (للتبسيط، افترض أن الشمس مصدر نقطي في كلا الموقعين)

c. قارن تأثير المسافة في كل من قوة الجاذبية والاستضاءة.

113. مرآة التجميل يبلغ طول أنف عميل يجرب كريمة للوجه 3.00 cm، ويقع على بُعد 6.00 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري يساوي 14.0 cm. أوجد موقع صورة أنف العميل وطوله باستخدام:

a. مخطط أشعة حيث المقاييس متناسبة
b. معادلتى المرآة والتكبير

101. ما البعد البؤري لقرنية عينيك عندما تقرأ كتابًا يبعد من القرنية بمقدار 35.0 cm؟ علّم بأن المسافة من كل قرنية إلى الشبكية تساوي 19 mm.

التفكير الناقد

102. إدراك العلاقات المكانية ينتقل الضوء الأبيض خلال هواء معامل انكساره ($n = 1.00$) ويدخل في لوح زجاجي بزاوية سقوط 45° بالضبط. فإذا كان معامل انكسار الزجاج الصواني الكثيف $n = 1.7708$ لضوء أزرق طوله الموجي ($\lambda = 435.8 \text{ nm}$) و $n = 1.7273$ لضوء أحمر طوله الموجي ($\lambda = 643.8 \text{ nm}$). ما الاختلاف في زوايا الانكسار للضوءين الأحمر والأزرق؟

103. قارن وقابل أوجد الزاوية الحرجة لضوء ينتقل من جليد معامل انكساره ($n = 1.31$) إلى الهواء. في المناطق الشديدة البرودة، هل تكون خطوط الألياف الضوئية المصنوعة من الجليد أفضل من تلك المصنوعة من الزجاج لانتقال الضوء داخل السلك؟ وضح ذلك.

104. طرح مسألة "يُنتج الليزر ضوءًا طوله الموجي 453 nm...." أكمل هذه المسألة بحيث يجب حلها باستخدام قانون سنل.

105. إدراك السبب والنتيجة استخدم زميلك عدسة محدبة في إجراء تجربة لتكوين صورة لها $x_i = 25 \text{ cm}$ و $h_i = 4.0 \text{ cm}$. وأنت تفحص عدسة مقعرة بعدها البؤري 15 cm-. وضعت العدسة المقعرة بين العدسة المحدبة والصورة الأصلية على بُعد 10 cm من الصورة. ذهبت عندما رأيت صورة حقيقية أكبر من الجسم على الحائط. وقد قيل لك إن الصورة المتكوّنة عند استخدام العدسة المحدبة أصبحت الآن بمثابة الجسم للعدسة المقعرة، ونتيجة وجودها على الجانب المقابل للعدسة المقعرة، فهي تُعدّ جسمًا خياليًا. استخدم هذه الدلالات لإيجاد موقع الصورة الجديدة وطولها. ولتوقع ما إذا كانت العدسة المقعرة قد غيّرت اتجاه الصورة الأصلية أم لا.

106. عرّف بشكل عملي اذكر اسم الظاهرة التي تسبب طيف ألوان قوس المطر وأشرح كيفية حدوثها.

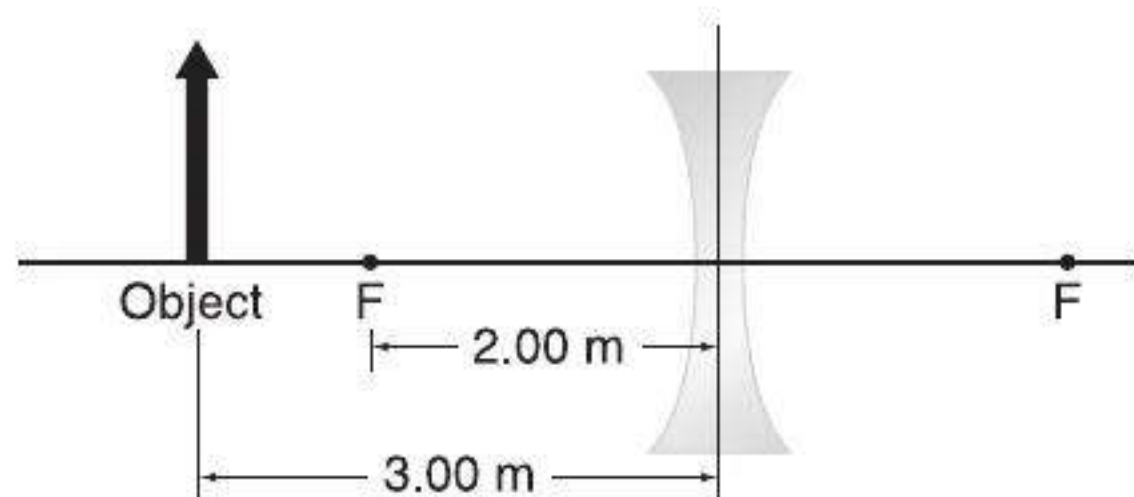
107. تُستخدم عدسة في عرض صورة جسم على شاشة. افترض أنك غطيت النصف الأيمن من العدسة. ماذا سيحدث للصورة؟

الكتابة في الفيزياء

108. ابحث في نظام العدسة المستخدم في الآلات البصرية، مثل جهاز عرض الشفافيات أو آلات التصوير الخاصة أو التلسكوب، ثم حضر عرضًا تصويريًا للصف توضح من خلاله كيفية تكوين هذه الآلات للصورة.

7. ما بُعد الصورة في الحالة الموضحة في الشكل التالي؟

- A. -6.00 m C. 0.167 m
B. -1.20 m D. 0.833 m



8. ما الزاوية الحرجة للانعكاس الداخلي الكلي عندما ينتقل الضوء من الزجاج ($n = 1.52$) إلى الماء ($n = 1.33$)؟

- A. 29.0° C. 48.8°
B. 41.2° D. 61.0°

9. ماذا يحدث للصورة المتكونة باستخدام عدسة محدبة عند تغطية نصف العدسة؟

- A. يختفي نصف الصورة.
B. تصبح الصورة معتمة.
C. تصبح الصورة ضبابية.
D. تصبح الصورة مقلوبة.

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

10. إذا كانت الزاوية الحرجة للانعكاس الداخلي الكلي عند الحد الفاصل بين ألماس والهواء 24.4° . ما زاوية الانكسار في الهواء إذا سقط ضوء على الحد الفاصل بزاوية 20.0° ؟

11. جسم يبعد من عدسة بمقدار 6.98 cm تكونت له صورة على بعد 2.95 cm من العدسة وعلى الجانب نفسه من العدسة. ما نوع العدسة؟ وضح إجابتك.

الاختبار من متعدد

1. يوجّه شعاع مصباح يدوي نحو بركة سباحة في الظلام بزاوية 46° بالنسبة إلى العمود المقام على سطح الماء. ما زاوية انكسار الشعاع في الماء؟ (معامل انكسار الماء هو 1.33).

- A. 18° C. 33°
B. 30° D. 44°

2. تبلغ سرعة الضوء في الماس $1.24 \times 10^8 \text{ m/s}$. ما معامل انكسار الماس؟

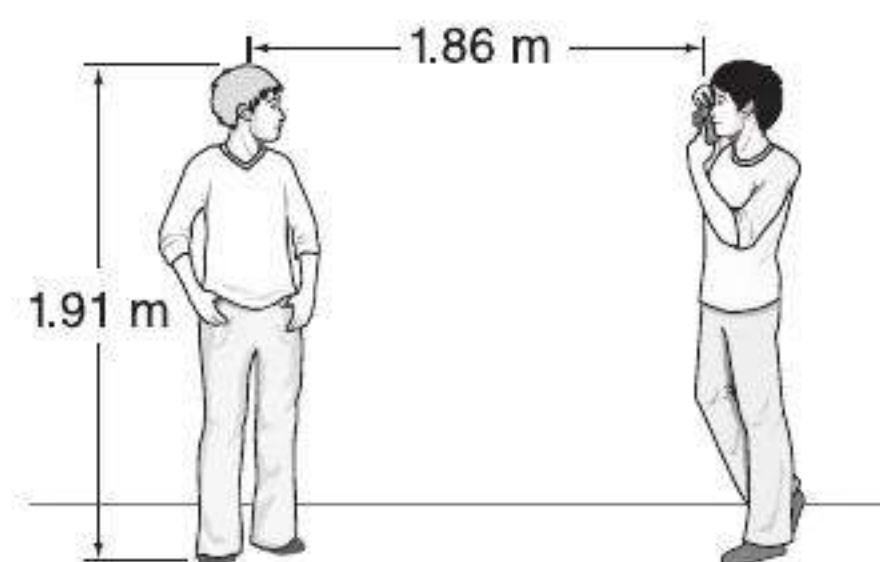
- A. 0.0422 C. 1.24
B. 0.413 D. 2.42

3. أي من الظواهر التالية لا ترتبط بتكوين أقواس المطر؟

- A. الحيود C. الانعكاس
B. تحليل الضوء الأبيض D. الانكسار

4. يلتقط أحمد صورة لعللي، كما هو موضح في الشكل أدناه. مستخدماً كاميرا تحتوي على عدسة محدبة ذات بُعد بؤري مقداره 0.0470 m . حدد موقع صورة علي.

- A. 1.86 cm C. 4.82 cm
B. 4.70 cm D. 20.7 cm



5. ما مقدار تكبير الجسم الذي يبلغ بعده 4.15 m أمام الكاميرا التي يصل موضع الصورة فيها إلى 5.0 cm ؟

- A. -0.83 C. 0.83
B. -0.012 D. 1.22

6. أي من التالية لا تؤثر في تكوين السراب؟

- A. تسخين الهواء بالقرب من الأرض
B. موجات هيجنز
C. الانعكاس
D. الانكسار

التداخل والحيود

الفكرة الرئيسية يمكن أن تحيد الموجات الضوئية كما يمكن أن تتداخل مع بعضها.

الأقسام

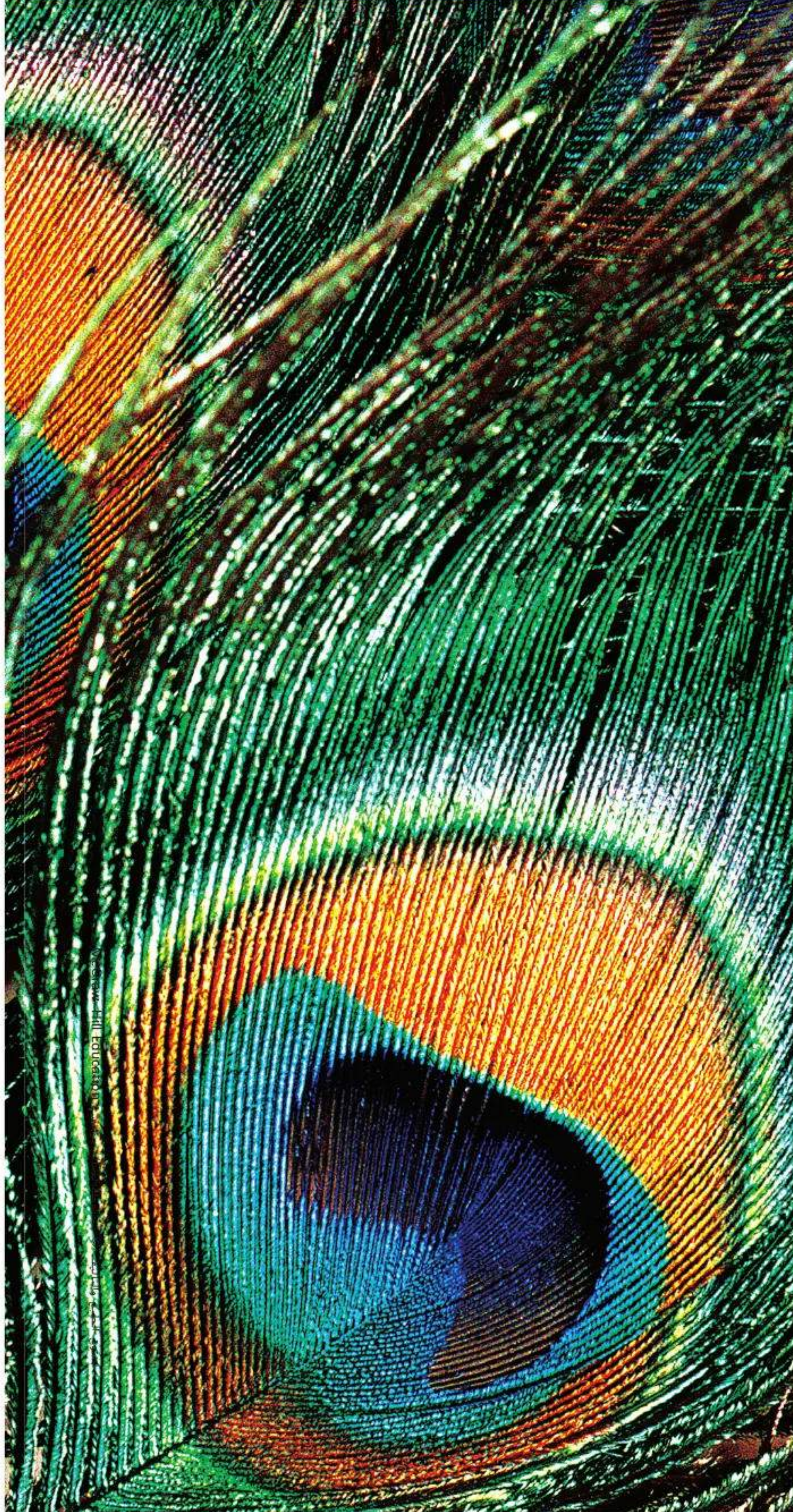
1 التداخل

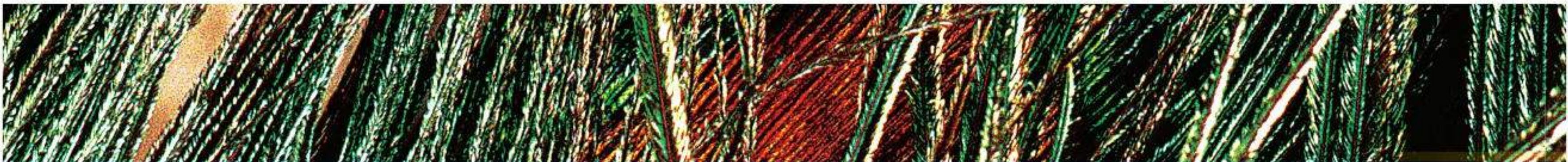
2 الحيود

التجربة الاستهلاكية

أنماط الضوء

ما أنماط الضوء التي تلاحظها على شاشة عند انعكاس أضواء مختلفة الألوان وضوء أبيض عن قرص مُدمج؟





Chapter Sourced From: 8. Interference and Diffraction, Chapter 19, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

الفيزياء في حياتك

هل رأيت من قبل ألوان قوس المطر التي كوّنتها فقاعات الصابون أو في ماء يحتوي على الصابون؟ يكون هذا نتيجة ظاهرة تُسمى التداخل في الأغشية الرقيقة. فكيف يتفاعل الضوء مع المادة لإنتاج هذه الأنماط؟



الضوء المترابط والضوء غير المترابط

تعلمت أن للضوء خصائص موجية. حيث يحدد عندما يمر بحافة. وتعلمت أيضًا عند دراسة المرايا والعدسات أنه يمكن توضيح الانعكاس والانكسار بناءً على النموذج الموجي للضوء. فما الذي دفع العلماء إلى الاعتقاد بأن للضوء خصائص موجية؟ اكتشف العلماء أن الضوء يمكن أن يتداخل بسبب تراكب الموجات.

الضوء غير المترابط عندما تنظر إلى أجسام تُضاء بمصدر ضوء أبيض مثل مصباح قريب. ترى **ضوءًا غير مترابط**. وهو ضوء موجاته مختلفة في الطور. ويمكن مشاهدة تأثير عدم الترابط في الموجات عند سقوط مطر بغزارة على ماء راكد. حيث يصبح سطح الماء مائجًا ولا يظهر فيه النمط المنتظم للموجات. كما في الشكل 1. ونظرًا لأن تردد الموجات الضوئية كبير جدًا، فإن الضوء غير المترابط لا يظهر لك غير مترابط أي مائج ومتقطع؛ إلا أنه عندما يُضاء جسم من مصدر ضوء أبيض غير مترابط، فإنك ترى تراكب موجات الضوء غير المترابط كأنها ضوء أبيض منتظم.

الضوء المترابط يُسمى الضوء الناتج عن تراكب موجات لها الطول الموجي نفسه وتكون متفقة في الطور **بالضوء المترابط**. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة، التي تتكوّن من ضوء مترابط. من مصدر نقطي واحد. كما هو مبين في الشكل 1. كما يمكن أيضًا توليد موجة منتظمة من مصادر نقطية متعددة عندما تكون هذه المصادر النقطية كلها متفقة في الطور. وهذا النوع من الضوء المترابط يولّده الليزر.

الفكرة الرئيسية

يمكن أن يتداخل الضوء عند مروره عبر شقوق ضيقة أو عندما ينعكس عن غشاء رقيق.

الأسئلة الرئيسية

- كيف يُنتج الضوء الساقط على شقين نمط تداخل؟
- كيف يمكنك استخدام نمط تداخل لحساب الطول الموجي للضوء؟
- كيف يمكن تطبيق تقنيات النمذجة على التداخل في الأغشية الرقيقة؟

مراجعة المفردات

التداخل interference: ينتج التداخل من تراكب موجتين أو أكثر

مفردات جديدة

ضوء غير مترابط

incoherent light

coherent light

ضوء مترابط

أهداب التداخل

interference fringes

ضوء أحادي اللون

monochromatic light

تداخل في الأغشية الرقيقة

thin-film interference

الشكل 1 تمثّل أنماط الموجات غير المنتظمة والمضطربة الضوء غير المترابط. وتمثّل أنماط الموجات المنتظمة الضوء المترابط.



موجات مترابطة



موجات غير مترابطة





الشكل 2 تعود شهرة توماس يونج (1773–1829) إلى إسهاماته في العديد من المجالات المختلفة، فبالإضافة إلى دوره في تحديد الطبيعة الموجية للضوء، يشتهر بإسهامه في فك رموز اللغة الهيروغليفية المصرية.

تداخل الضوء المترابط

بين العامين 1801 و 1803، أجرى الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج عددًا من التجارب التي أثبتت الخصائص الموجية للضوء. حيث وُجّه يونج ضوءًا من مصدر صغير على شقين متقاربين وأنتج نمط تداخل. اختار يونج جزءًا صغيرًا جدًا من ضوء أحد المصادر وجعله مترابطًا بتمريره عبر شق أحادي ضيق. ثم مرّر الضوء عبر شقين ضيقين وقريبين في حاجز، فسقط الضوء المتداخل الخارج من الشقين على شاشة. وأنتج هذا الضوء نمطًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة سمّاها **أهداب التداخل**. فسّر يونج أنّ هذه الحزم نتجت عن التداخل البنّاء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية الصادرة من الشقين في الحاجز. استخدم يونج في تجربته **ضوءًا أحادي اللون**، وهو ضوء له طول موجي واحد. وفي هذه التجربة يُنتج التداخل البنّاء حزمة مركزية مضيئة بلون معيّن على الشاشة، كما يُنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية وعرضها متساوٍ تقريبًا. كما هو مبين في **الشكل 3**. تتناقص شدة إضاءة الحزم كلما ابتعدنا عن الحزمة المركزية كما ترى. وتوجد بين الحزم المضيئة مناطق معتمة بسبب حدوث تداخل هدام. تعتمد مواقع حزم التداخل البنّاء والتداخل الهدّام على الطول الموجي للضوء. لكن عندما يُستخدم ضوء أبيض في تجربة الشق المزدوج، يؤدي التداخل إلى ظهور أطيايف ملونة، كما هو مبين على الجزء الأيسر من **الشكل 3**. تتداخل الحزم المختلفة لألوان الطيف المرئي على الشاشة، حيث تتداخل كل هذه الألوان تداخلًا بنّاءً في الحزمة المركزية لذا تظهر بيضاء اللون. ونظرًا إلى أنّ مواقع الحزم المضيئة الأخرى الناتجة عن التداخل البنّاء تعتمد على الطول الموجي، تكون حزمة كل لون عند موقع مختلف، فينتج طيف من الألوان.

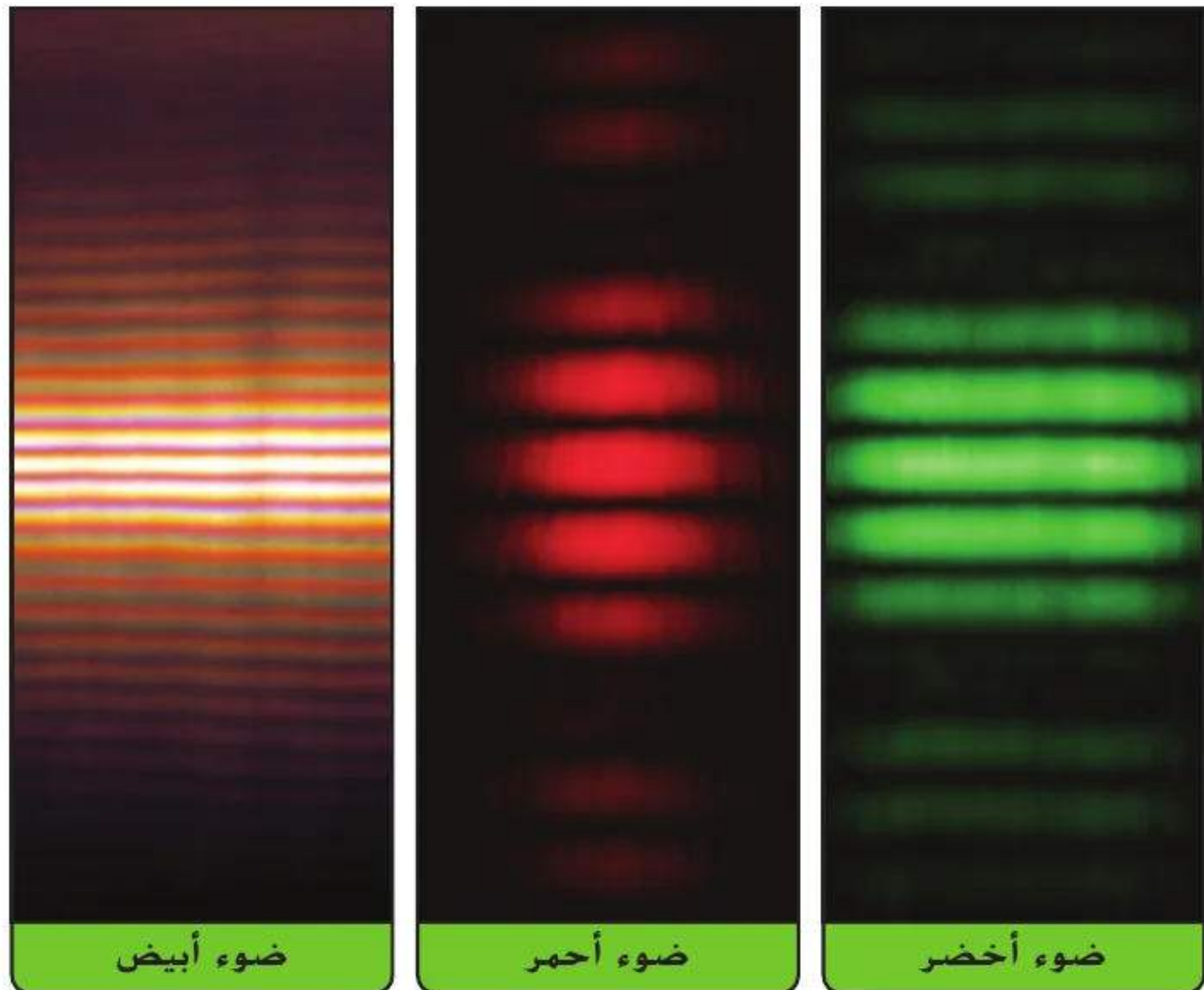


مختبر الفيزياء

الهولوغرامات

ما العلاقة بين تداخل الضوء المترابط والهولوغرامات؟

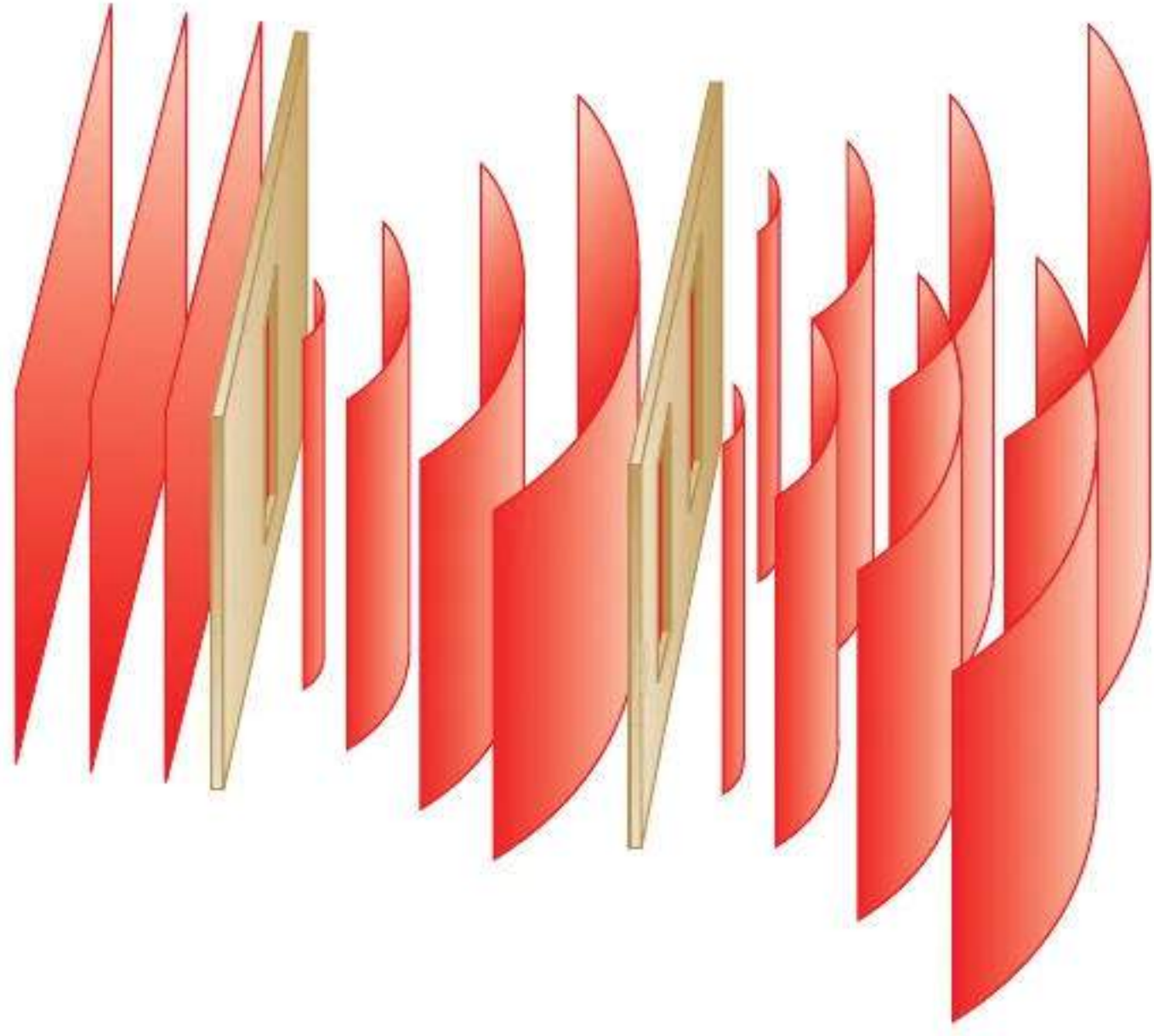
الشكل 3 تُنتج أنماط تداخل الشق المزدوج حزمة مركزية مضيئة ونمطًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة على كلا الجانبين.



ضوء أبيض

ضوء أحمر

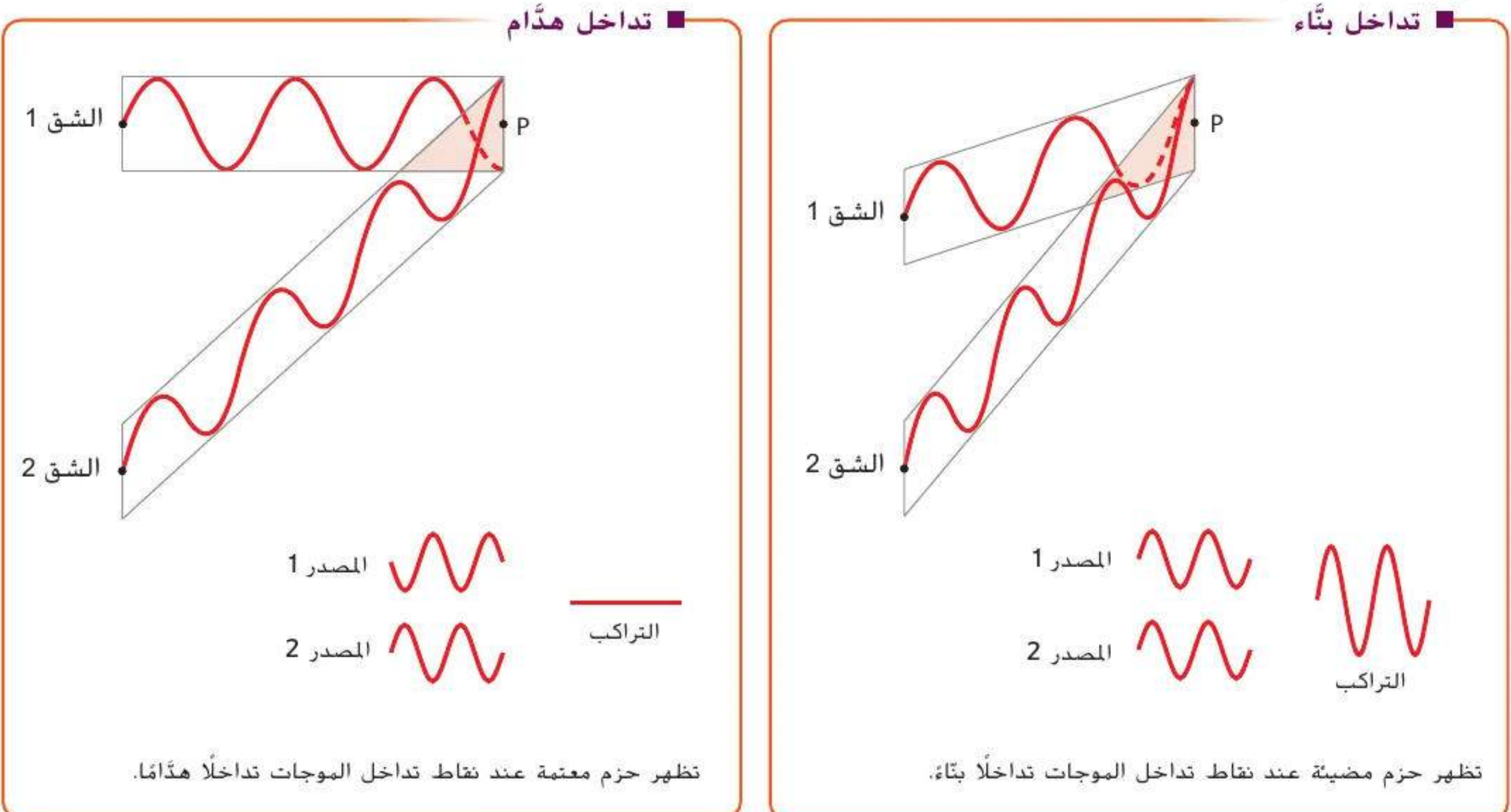
ضوء أخضر

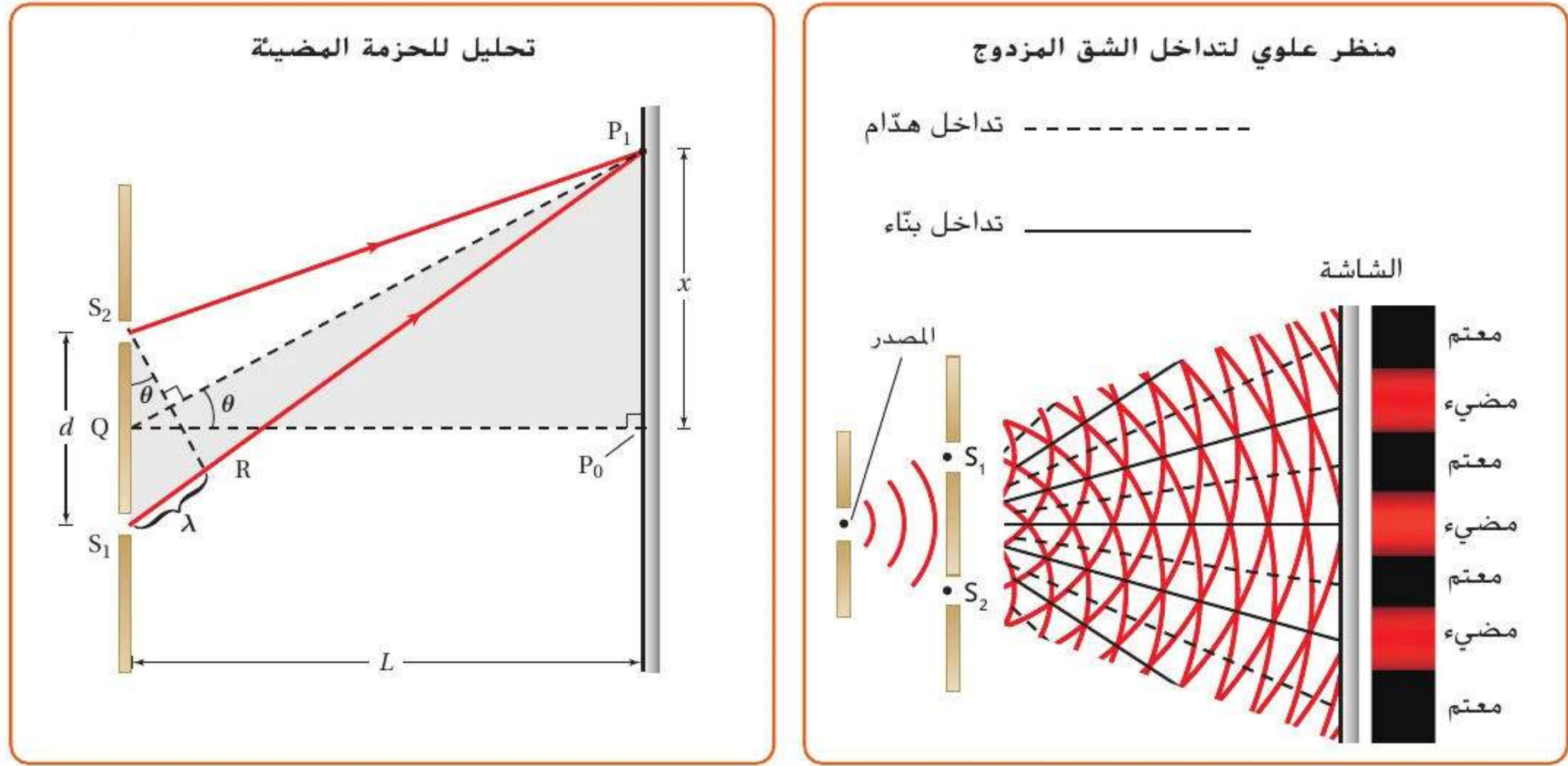


الشكل 4 تنتج مقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريبًا عند مرور الضوء عبر الشقوق. **فكر** لماذا يتراوح عرض الشقوق بين عشرات ومئات أضعاف الأطوال الموجية للضوء.

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

الشكل 5 يمكن أن تتداخل الموجات المترابطة تداخلًا بناءً أو تداخلًا هدامًا.





الشكل 6 يمكن استخدام تداخل الشق المزدوج لإيجاد الطول الموجي للضوء. ونظرًا إلى أن L أكبر بكثير من d ، ولأن الزاوية θ صغيرة، تُبسّط معادلة إيجاد الطول الموجي للضوء.

قياس الطول الموجي للضوء يوضح الشكل 6 منظرًا علويًا لتجربة الشق المزدوج، حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بناءة وهدامة لتشكيل أنماط حزم مضئية وأخرى معتمة. يوضح الرسم التوضيحي في الشكل 6 أن الضوء الذي يصل إلى النقطة P_0 يقطع المسافة نفسها من كل شق. ونظرًا إلى أن الموجات متفقة في الطور، تتداخل تداخلًا بناءً على الحاجز وتنتج الحزمة المركزية المضئية عند النقطة P_0 . كما يحدث تداخل بناءً عند الحزمة المضئية الأولى (P_1) على جانبي الحزمة المركزية. لأن القطعة المستقيمة P_1S_1 يزيد طولها بمقدار طول موجي واحد (λ) عن القطعة المستقيمة P_1S_2 . لذا تصل الموجات عند المنطقة P_1 بالطور نفسه. في الشكل أعلاه مثلثان مظللان. إن المثلث الكبير هو مثلث قائم الزاوية، لذا فإن $\tan \theta = x/L$. وفي المثلث الصغير RS_1S_2 ، يمثل الضلع S_1R الفرق بين مساري الضوء، والذي يساوي طولًا موجيًا واحدًا. يوجد تبسيطان لحساب الطول الموجي.

1. إذا كان L أكبر بكثير من d ، فإن القطعتين المستقيمتين S_1P_1 و S_2P_1 تكونان متوازيتين تقريبًا إحداهما مع الأخرى ومع القطعة المستقيمة QP_1 . ويكون المثلث RS_1S_2 قائم الزاوية تقريبًا، لذا فإن $\sin \theta \approx \lambda/d$.

2. إذا كانت الزاوية θ صغيرة، فإن $\sin \theta$ يكون مساويًا تقريبًا لـ $\tan \theta$. وباستخدام التبسيطين أعلاه، نجمع المعادلات $\tan \theta = x/L$ و $\sin \theta \approx \lambda/d$ ونحصل على المعادلة $x/L = \lambda/d$. ولإيجاد الطول الموجي λ نستخدم المعادلة التالية.

مختبر الفيزياء

ما الطول الموجي؟

ما العلاقة بين أنماط تداخل الشق المزدوج وكل من الحيود والطول الموجي؟

تداخل الشق المزدوج

كيف يمكن استخدام نمط تداخل من الشق المزدوج لقياس الطول الموجي للضوء؟

الطول الموجي من تجربة الشق المزدوج

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

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

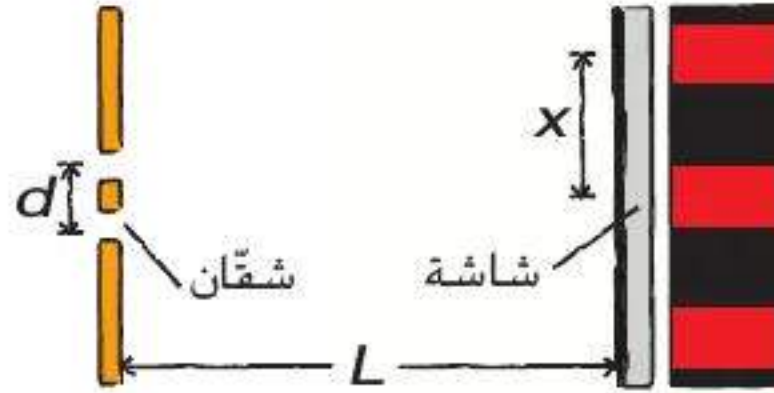
يحدث تداخل بناءً عند مواقع x_m على جانبي الحزمة المركزية المضئية، ويتم تحديد هذه المواقع من خلال المعادلة $m\lambda = x_md/L$ ، حيث $m = 0, 1, 2$. وهكذا. وتتكوّن الحزمة المركزية المضئية عند $m = 0$. وتُسمى الحزمة عند $m = 1$ بحزمة الرتبة الأولى غالبًا، وهكذا لبقية المواقع.

مثال 1

الطول الموجي للضوء أجريت تجربة شق مزدوج لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر. وكان البُعد بين الشقين 0.0190 mm . إذا كانت المسافة بين الشقين والشاشة 0.600 m . والمسافة بين الحزمة المضيئة ذات الرتبة الأولى والحزمة المركزية المضيئة 21.1 mm . فما الطول الموجي للضوء الأحمر؟

1 تحليل المسألة

- ارسم التجربة موضِّحًا الشقين والشاشة.
- ارسم نمط التداخل موضِّحًا الحزم المضيئة والمعتمة في مواقعها الصحيحة.



المجهول
 $\lambda = ?$

المعلوم

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

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

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

2 حساب المجهول

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

$$\begin{aligned} \text{عوّض مستخدمًا } x = 2.11 \times 10^{-2} \text{ m, } d = 1.90 \times 10^{-5} \text{ m, } L = 0.600 \text{ m} \\ = \frac{(2.11 \times 10^{-2} \text{ m})(1.90 \times 10^{-5} \text{ m})}{(0.600 \text{ m})} \\ = 6.68 \times 10^{-7} \text{ m} = 668 \text{ nm} \end{aligned}$$

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ إنّ الإجابة بوحدة الطول. وهي وحدة صحيحة للطول الموجي.
- هل الجواب منطقي؟ يساوي الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm تقريبًا. ويساوي الطول الموجي للضوء الأزرق 400 nm تقريبًا. لذلك، فإنّ الإجابة منطقية بالنسبة إلى الضوء الأحمر.

تطبيقات

1. سقط ضوء بنفسجي على شقين. المسافة الفاصلة بينهما $1.90 \times 10^{-5} \text{ m}$. فظهرت الحزمة المضيئة ذات الرتبة الأولى على بُعد 13.2 mm من الحزمة المركزية المضيئة على شاشة تبعد 0.600 m عن الشقين. ما مقدار الطول الموجي λ ؟
2. سلّط ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm على شقين البُعد بينهما $1.90 \times 10^{-5} \text{ m}$. ما المسافة بين الحزمة المركزية المضيئة والحزمة المضيئة باللون الأصفر ذات الرتبة الأولى إذا كانت الشاشة تبعد مسافة 0.600 m عن الشقين؟
3. في تجربة شق مزدوج، استخدم طلاب الفيزياء أشعة ليزر طولها الموجي $\lambda = 632.8 \text{ nm}$. ووضع أحد الطلاب الشاشة على بُعد 1.000 m من الشقين. فوجد أنّ المسافة بين الحزمة المضيئة ذات الرتبة الأولى والحزمة المركزية المضيئة هي 65.5 mm . ما المسافة الفاصلة بين الشقين؟
4. تحفيز مرّ ضوء برتقالي مُصفر طولها الموجي 596 nm عبر شقين المسافة الفاصلة بينهما $2.25 \times 10^{-5} \text{ m}$ فنتج نمط تداخل على الشاشة. إذا كانت المسافة بين الحزمة المركزية والحزمة المضيئة باللون الأصفر ذات الرتبة الأولى $2.00 \times 10^{-2} \text{ m}$. فما بُعد الشاشة عن الشقين؟

نشر يونج النتائج التي توصل إليها العام 1803. إلا أنّه قوبل بالمعارضة من معظم الفيزيائيين المؤيدين للنموذج الجسيمي للضوء لنيوتن؛ إلا أنّ نتائج يونج حظيت بالقبول بعد العام 1820 عندما اقترح جين فريسنل حلًّا رياضيًّا للطبيعة الموجية للضوء في إحدى المسابقات. بيّن سيمون دينس بويسون، أحد حُكّام المسابقة، أنّه إذا كان اقتراح فريسنل صحيحًا، فستكون بقعة مضيئة في مركز ظل جسم دائري مُضاء بضوء مترابط. إلا أنّ ذلك لم يحدث على الإطلاق. ثم أجرى جين أرجو، حكم آخر، التجربة فرأى هذه البقعة. وكان لهذا الفضل في إقناع بويسون وأرجو وكثيرين غيرهما بالطبيعة الموجية للضوء.



الشكل 7 تكون دوامة الألوان الظاهرة في غشاء زيتي ناتجة عن تداخل في الأغشية الرقيقة.

التداخل في الأغشية الرقيقة

هل سبق أن رأيت ألوان الطيف التي تكوّنها فقاعة من الصابون أو غشاء زيتي عائم على سطح تجمع مائي في موقف للسيارات كما في الشكل 7؟ لم تنتج هذه الألوان عن تحليل الضوء الأبيض بواسطة منشور أو عن الامتصاص بواسطة الصبغات، بل كانت نتيجة للتداخل البنّاء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية المنعكسة عن أسطح منفصلة في غشاء رقيق. وتُسمى هذه الظاهرة **بالتداخل في الأغشية الرقيقة**.

إذا حمل غشاء صابون رأسيًا، كما هو موضّح في الشكل 8، فإن وزنه يجعله أكبر سمكًا عند القاع منه عند القمة حيث يزداد السمك تدريجيًا من أعلى إلى أسفل. عندما تسقط موجة ضوء على السطح الأمامي للغشاء، ينعكس جزء منها، كما يوضّح الشعاع 1، وينفذ جزء آخر منها. ويكون للموجات المنعكسة والنافذة التردد نفسه للموجة الأصلية. تنتقل الموجة النافذة عبر الغشاء إلى السطح الخلفي، حيث ينعكس جزء منها مرة أخرى، كما يوضّح الشعاع 2. وتستمر تجزئة الضوء باستمرار نفاذه عبر الغشاء. نظرًا إلى أنّ المجموعات المتماثلة من الموجات صادرة من مصدر واحد، تكون مترابطة.

تعزيز اللون كيف يُعزّز انعكاس لون واحد؟ يحدث هذا عندما تكون الموجتان المنعكستان متفقتين في الطور بالنسبة إلى طول موجي معين. إذا كان سمك غشاء الصابون في الشكل 8 ربع الطول الموجي للضوء في الغشاء ($\lambda/4$)، فيساوي طول المسار ذهابًا وإيابًا داخل الغشاء $\lambda/2$. في هذه الحالة، قد تتوقع أنّ الشعاع 2 يعود إلى السطح الأمامي مختلفًا في الطور مع الشعاع 1 بنصف طول موجي، وأنّ كلّ من الموجتين ستُلغى الأخرى وفقًا لمبدأ التراكب.

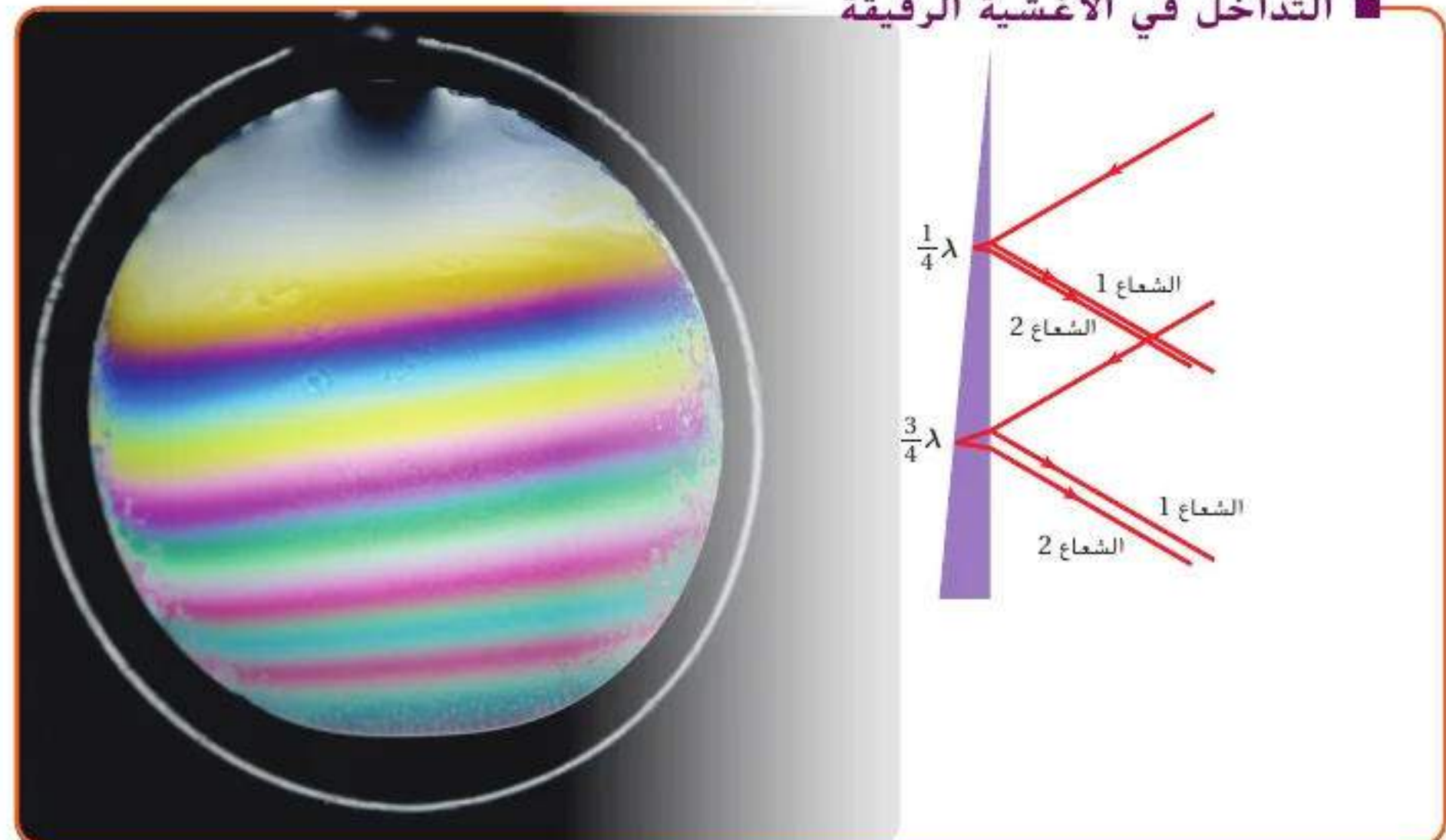
لكن عندما تنعكس موجة مستعرضة عن وسط سرعتها فيه أقل، فإنها تنقلب. يحدث هذا للضوء عند حدّ وسط معامل انكساره أكبر. نتيجة لذلك، ينقلب الشعاع 1 أثناء انعكاسه؛ بينما ينعكس الشعاع 2 عن وسط معامل انكساره أقل (الهواء) بدون أن ينقلب، لذا يتفق الشعاعان 1 و 2 في الطور.

إذا حقق سمك الغشاء (d) الشرط $d = \lambda/4$ ، فسينعكس لون الضوء الذي له هذا الطول الموجي بدرجة كبيرة. لاحظ أنّه نتيجة لقصر الطول الموجي للضوء في الغشاء عنه في الهواء، فإنّ $d = \lambda_{\text{الغشاء}}/4$ ، أو بدلالة الطول الموجي في الهواء $d = \lambda_{\text{الهواء}}/4n$. وتعزز الموجتان إحداهما الأخرى عند مغادرتهما للغشاء، بينما يحدث تداخل هدام للضوء ذي الأطوال الموجية الأخرى.

تجربة مصفرة

غشاء الصابون

كيف يبدو التداخل في الأغشية الرقيقة الناتج عن غشاء الصابون؟



الشكل 8 عندما تكون درجات سمك غشاء الصابون $\lambda/4$ و $3\lambda/4$ و $5\lambda/4$ وما إلى ذلك، يكون الضوء الذي طوله الموجي λ متفقتًا في الطور. وتكون حزم هذا الضوء الملوّنة مرئية عند درجات السمك هذه.



الفيزياء في حياتك

عدسات النظارات غير العاكسة يمكن وضع غشاء رقيق على عدسات النظارات ليمنع عكس الأطوال الموجية للضوء التي تكون حساسية عين الإنسان لها عالية جدًا مما يقلل من وهج الضوء المنعكس ويسمح بمرور قدر أكبر من الضوء.

كما تعلم، لألوان الضوء المختلفة أطوال موجية مختلفة. أما الغشاء المتغير السمك، فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند درجات سمك مختلفة للألوان المختلفة حيث تنتج ألوان قوس قزح. وعندما يكون الغشاء رقيقًا للغاية بحيث لا يُنتج تداخلًا ببناءً لأي طول موجي من ألوان الضوء المرئي، يبدو الغشاء معتماً. لاحظ في الشكل 8 تكرار نمط الألوان الظاهرة على الغشاء. عندما يكون سمك الغشاء $3\lambda/4$ ، تكون المسافة ذهابًا وإيابًا وسيحدث تداخل ببناءً للضوء الذي طوله الموجي λ مرة أخرى. وسيحقق أي سمك للغشاء مساويًا لـ $1\lambda/4$ و $3\lambda/4$ و $5\lambda/4$ وما إلى ذلك شرط التداخل البناء لطول موجي معين.

تطبيقات التداخل في الأغشية الرقيقة

على الصابون في الهواء تداخلًا ببناءً مع انقلاب إحدى الموجتين عند الانعكاس. ففي مثال محلول الفقاعات أو الغشاء الزيتي الرقيق العائم على تجمع مائي، كلما تغير سمك الغشاء أو تغيرت الزاوية التي يصنعها الضوء مع الغشاء، يتغير الطول الموجي الذي يحدث له تداخل ببناءً. يؤدي هذا إلى لون مزاج على سطح الغشاء عندما يضاء بضوء أبيض. وفي الأمثلة الأخرى للتداخل في الأغشية الرقيقة، يمكن أن تنقلب كلتا الموجتين أو لا تنقلب أي منهما، حيث يعتمد انقلاب الموجة على معاملات انكسار الأوساط التي تنفذ من خلالها. وإذا انتقلت كلتا الموجتين من وسط ذي معامل انكسار أقل إلى وسط ذي معامل انكسار أكبر، فستنقلب كلاهما. في هذه الحالة، ستكون درجات سمك الغشاء التي تحقق شرط حدوث التداخل البناء $1\lambda/2$ و λ و $3\lambda/2$ و 2λ و $5\lambda/2$ وما إلى ذلك. يمكنك أن تحل المسألة التي تتضمن تداخل الغشاء الرقيق باستخدام الاستراتيجية التالية.

حل المسائل

استراتيجيات

التداخل في الأغشية الرقيقة

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

1. ارسم رسمًا للغشاء الرقيق وللموجتين المترابطتين. وللتبسيط، ارسم الموجات على شكل أشعة.

2. اقرأ المسألة. هل زاد سطوع الضوء المنعكس لهذا الطول الموجي أم انخفض؟ إذا زاد سطوعه، تكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا ببناءً. أما إذا انخفض، فتكون الموجات قد تداخلت تداخلًا هدامًا.

3. هل انقلبت إحدى الموجتين أو كلاهما عند الانعكاس؟ إذا تغير معامل الانكسار من قيمة أقل إلى قيمة أكبر، فستنقلب الموجة منقلبة. أما إذا تغير المعامل من قيمة أكبر إلى قيمة أقل، فلن يحدث انقلاب.

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

a. إذا أردت تداخلًا ببناءً وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، أو أردت تداخلًا هدامًا وكانت كلاهما مقلوبة أو كلاهما غير مقلوبة، فإن الفرق في المسافة يكون عددًا فرديًا من أنصاف الأطوال الموجية، $(m + 1/2)\lambda_{\text{الغشاء}}$ ، حيث $m = 0, 1, 2$ وهكذا.

b. إذا أردت تداخلًا ببناءً وكانت كلتا الموجتين مقلوبة أو غير مقلوبة، أو أردت تداخلًا هدامًا وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، فإن الفرق في المسافة يكون عددًا صحيحًا من الأطوال الموجية: $m\lambda_{\text{الغشاء}}$ ، حيث $m = 1, 2$ وهكذا.

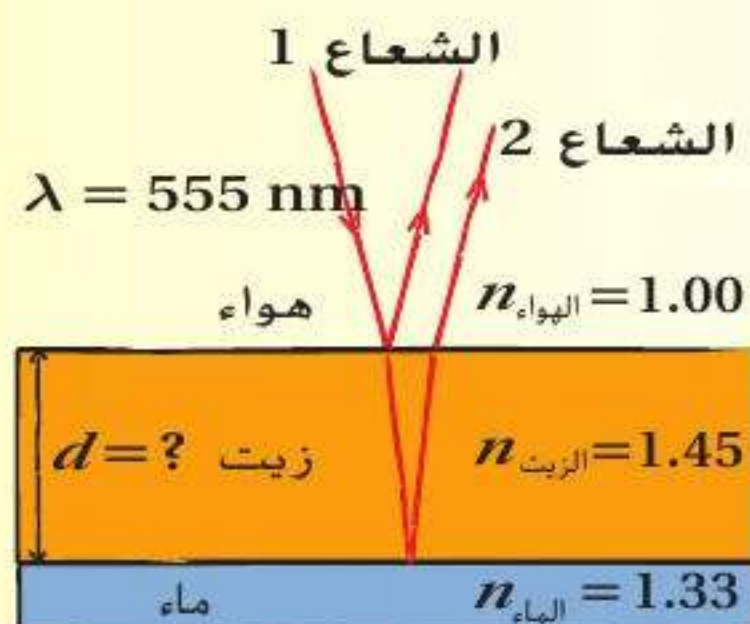
5. حدّد المسافة الإضافية التي تقطعها الشعاع الثاني بحيث تساوي ضعف سمك الغشاء $2d$.

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

الانعكاس عن غشاء رقيق



الزيت والماء لاحظت وجود حلقات ملونة على سطح بركة ماء واستنتجت أنه لا بد من وجود طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء. ونظرت مباشرة إلى الأسفل نحو البركة فرأيت منطقة صفراء مخضرة ($\lambda = 555 \text{ nm}$). إذا كان معامل انكسار الزيت 1.45، ومعامل انكسار الماء 1.33، فما أقل سمك لطبقة الزيت يُسبب ظهور هذا اللون؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الغشاء الرقيق والطبقتين، الطبقة التي فوقه والطبقة التي تحته.
- ارسم الأشعة مبينًا الانعكاس عن سطح الغشاء العلوي وعن سطحه السفلي.

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

2 حساب المجهول

- لأن $n_{\text{الهواء}} < n_{\text{الزيت}}$ ، فستنقلب الموجة عند انعكاسها الأول.
- ولأن $n_{\text{الزيت}} > n_{\text{الماء}}$ ، فلن يحدث انقلاب في الانعكاس الثاني. لذلك، يحدث انقلاب موجي واحد فقط.
- يكون الطول الموجي في الزيت أقل منه في الهواء.

اتبع استراتيجية حل المسائل لكي تكوّن المعادلة.

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

لأننا نريد أقل سمك، فإن $m = 0$.

$$d = \frac{\lambda}{4n}$$

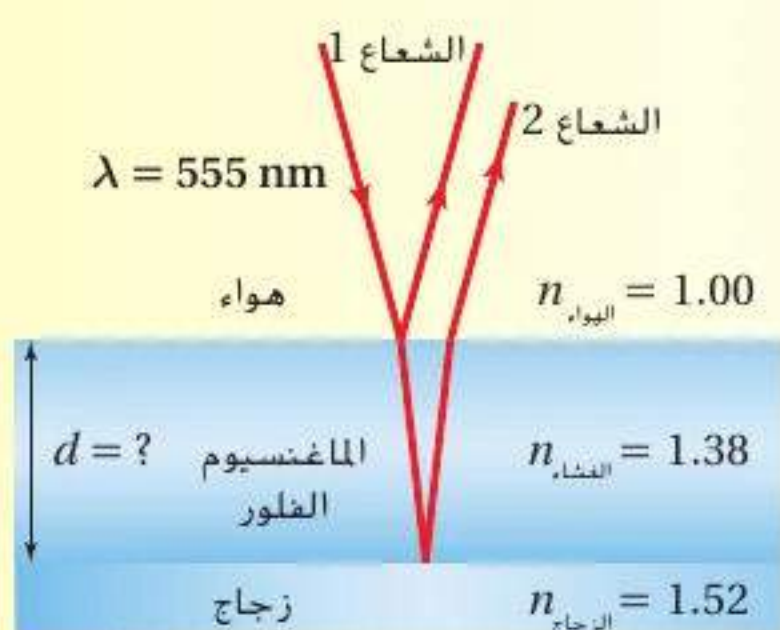
$$= \frac{555 \text{ nm}}{(4)(1.45)}$$

$$= 95.7 \text{ nm}$$

3 تقييم الإجابة

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

تطبيقات



الشكل 9

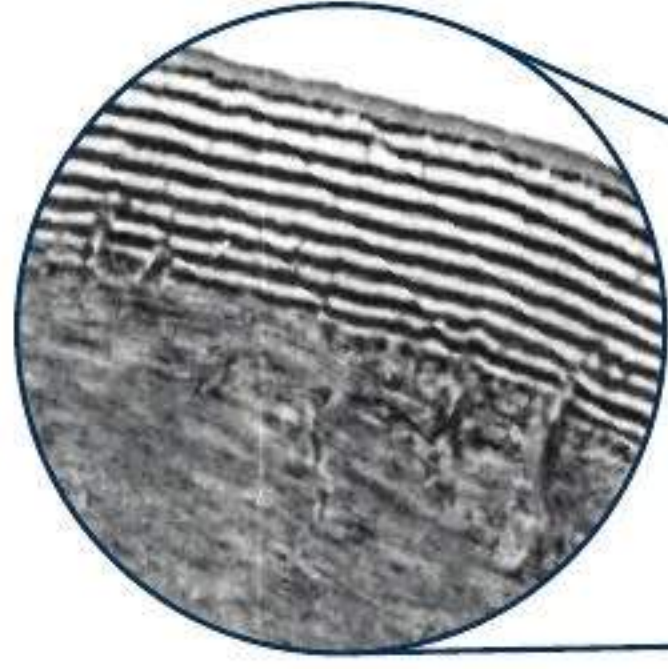
5. في مثال المسألة 2، ما أقل سمك للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر ($\lambda = 635 \text{ nm}$)؟

6. وُضع غشاء من فلوريد المغنيسيوم على عدسة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة. ما السمك اللازم للغشاء غير العاكس لمنع انعكاس الضوء الأخضر المُصفر ذي الطول الموجي 555 nm؟ انظر إلى الرسم الموجود في الشكل 9.

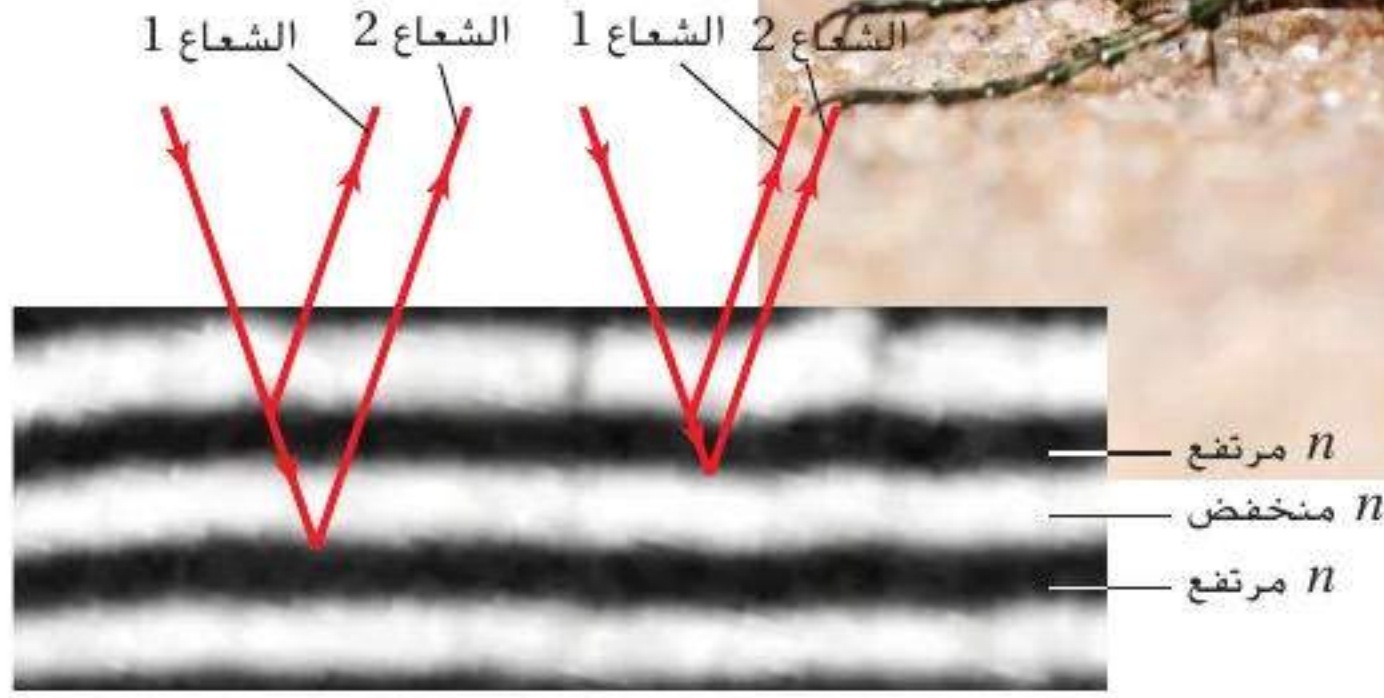
7. يمكنك ملاحظة التداخل في الأغشية الرقيقة عند غمس عصا فقاعة في محلول فقاعات ثم رفع العصا في الهواء. ما أقل سمك لغشاء الصابون يمكن أن ترى عليه خيطًا أسود إذا كان الطول الموجي للضوء الساقط على الغشاء 521 nm؟ استخدم $n = 1.33$ لمحلول الفقاعات.

8. ما أقل سمك لغشاء الصابون الذي معامل انكساره ($n = 1.33$) ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلًا بئًا مع نفسه؟

9. **مسألة تحفيزية** خلية شمسية من السليكون مطلية بطبقة غير عاكسة. إذا وُضع غشاء من أول أكسيد السليكون معامل انكساره $n = 1.45$ على السليكون الذي معامل انكساره $n = 5.3$ ، فما السمك اللازم لهذه الطبقة لمنع انعكاس ضوء أخضر مُصفر طوله الموجي ($\lambda = 555 \text{ nm}$)؟



يمكن استخدام مجهر إلكتروني لعرض مقطع عرضي من قشرة خنافس.



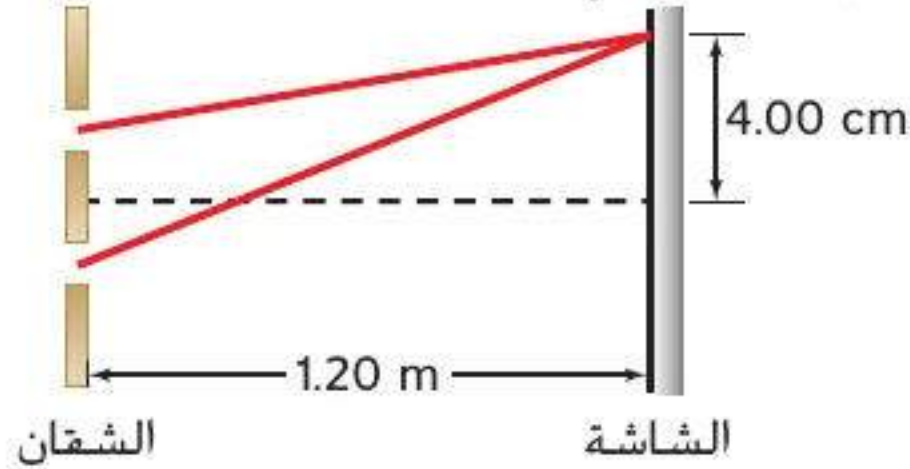
الشكل 10 يرجع اللون الأخضر اللامع للخنافس إلى التداخل في الأغشية الرقيقة.

يمكن أن يحدث التداخل من التراكيب المفردة والتراكيب المتعددة.

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

القسم 1 مراجعة

الموجي للضوء الساقط على الغشاء 575 nm ؟ 14° . سقط ضوء طوله الموجي 542 nm على شق مزدوج. استخدم القيم الموجودة في الشكل 11 لإيجاد المسافة الفاصلة بين الشقين.



الشكل 11

15. التفكير الناقد تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة من تجربة الشق المزدوج تبسيطاً، وهو أنه عندما تكون θ صغيرة يكون $\sin \theta \approx \tan \theta$. إلى أي زاوية يكون هذا التقريب جيداً عندما تحتوي البيانات على رقمين معنويين؟ وهل ستزداد الزاوية العظمى للتقريب الصحيح أم ستتناقص عندما تزيد دقة قياسك لها؟

10. الفكرة الرئيسية قطعة كبيرة من الورق المقوى عليها شقان ضيقان جداً وقريبان من بعضهما، وأضيء هذان الشقان بضوء أحمر أحادي اللون، ووضعت ورقة بيضاء بعيداً عن الشقين، فنتج نمط من الحزم المضئية والمعتمة على الورقة. صف سلوك الموجة عندما تسقط على الشق، وشرح سبب ظهور بعض المناطق مضئية وبعضها معتمة.

11. أنماط التداخل ارسم النمط الموضح في المسألة السابقة.

12. أنماط التداخل ارسم ما يحدث للنمط الذي وُصف في المسألتين السابقتين عند استخدام ضوء أزرق بدلاً من الضوء الأحمر.

13. يتفخ أشرف في لعبة فقاعات، ويمسك بعض الفقاعة المحتوية على غشاء من الصابون معامل انكساره $(n = 1.33)$ بحيث يكون هذا الغشاء معلقاً بشكل رأسي.

a. ما العرض الثاني الأقل سمكاً لغشاء الصابون بحيث يرى أشرف خطأ مضئاً إذا كان الطول الموجي للضوء الساقط على الغشاء 575 nm ؟

b. ما درجات العرض الأخرى التي تنتج خطأ مضئاً عندما يكون الطول

الحيود

القسم 2

تنتج الشقوب المجهرية الموجودة في الأقراص المدمجة وأقراص DVD طيفاً من الضوء المنعكس من خلال الحيود. ويمكن أن يستخدم العلماء معرفتهم بالحيود لإيجاد الأطوال الموجية للضوء ودراسة التركيبات الجزيئية مثل الحمض النووي DNA.

الفيزياء
في
حياتك
.....

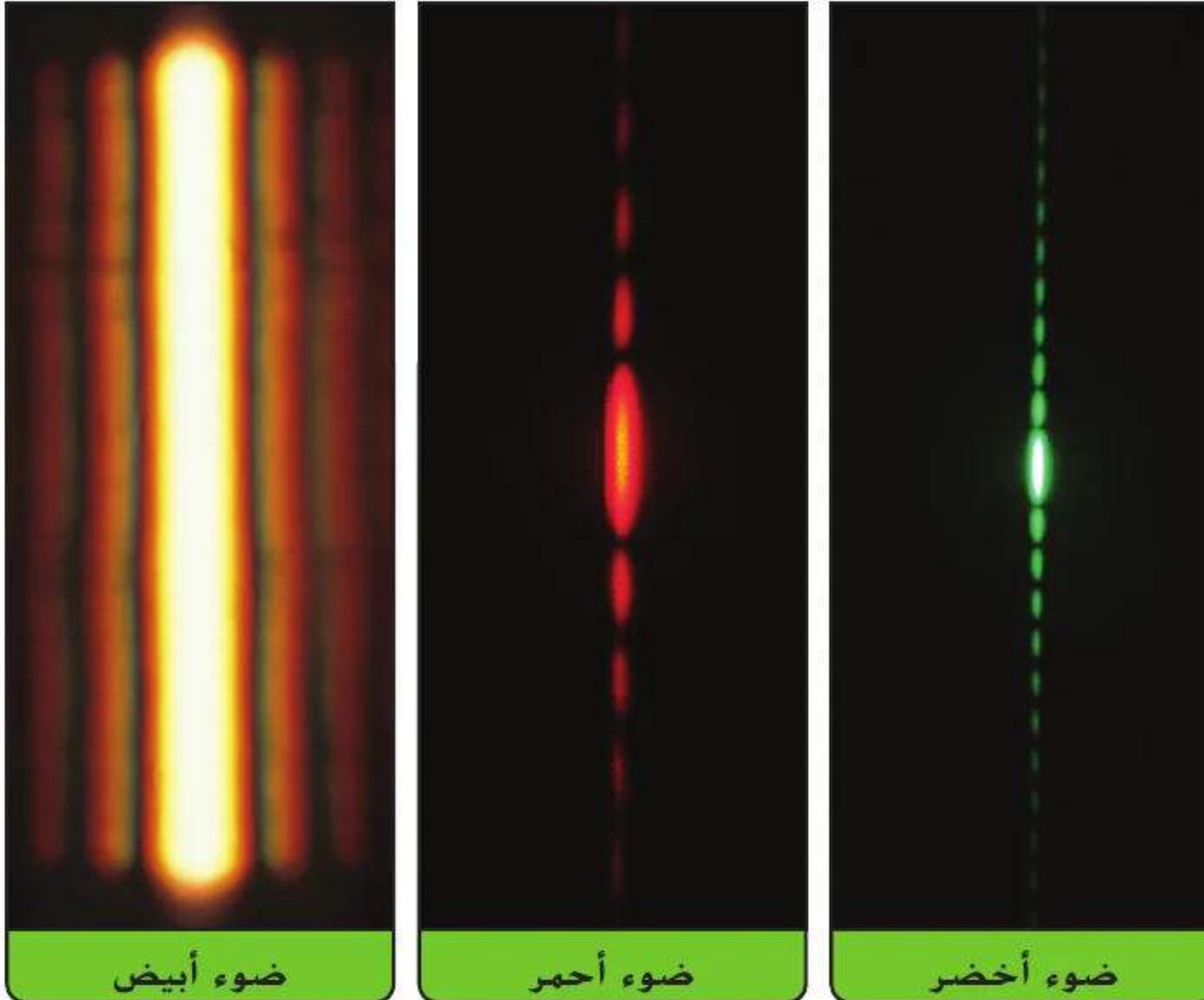
حيود الشق الأحادي

درست سابقاً أنّ مقدمات الموجات الضوئية تحيد عندما تمرّ حول الحافة. ويمكن شرح الحيود باستخدام مبدأ هويجنز الذي ينص على أنّ مقدمة الموجة تتكوّن من موجات كثيرة تمثّل مصادر نقطية. عندما يمرّ الضوء عبر شق حافته متقاربين جداً، ينتج نمط على الشاشة. ينتج هذا النمط، الذي يسمى **نمط الحيود**، عن التداخل البتاء والهدام لموجات هويجنز.

عندما يمرّ الضوء الأخضر المترابط عبر فتحة واحدة صغيرة عرضها يساوي 10 إلى 100 ضعف الطول الموجي للضوء تقريباً، فإنّ الضوء يحيد عند كلتا الحافتين وتظهر مجموعة من الحزم المضئية والمعتمة على شاشة بعيدة. كما في الشكل 12. وبدلاً من تكوّن حزم تفصلها مسافات متساوية تقريباً كما في حالة استخدام مصدرين مترابطين في تجربة الشق المزدوج ليونج، يظهر في هذا النمط حزمة مركزية مضئية وعريضة مع حزم أقل عرضاً وأقل إضاءة على كلا الجانبين. أما عند استخدام الضوء الأحمر بدلاً من الأخضر، فيزداد عرض الحزمة المركزية المضئية. وعند استخدام الضوء الأبيض، يكون النمط مزيجاً من أنماط ألوان الطيف كلها.

الشكل 12 تنتج عن حيود الشق الأحادي حزمة مركزية واحدة مضئية وعريضة وحزم أقل عرضاً وأقل إضاءة على كلا الجانبين.

قارن بين ألوان الحزم المركزية وعرضها الناتجة عن ألوان الضوء المختلفة.



الفكرة الرئيسية

تحيد الموجات الضوئية عندما تمرّ عبر شق أحادي، وتتحيد وتتداخل عندما تسقط على محزوز حيود.

الأسئلة الرئيسية

- ما الذي يؤثر في عرض الحزمة المركزية المضئية في نمط حيود شق أحادي؟
- كيف تكوّن محزوزات الحيود أنماط الحيود؟
- كيف تُستخدم محزوزات الحيود في مطياف ذي محزوز حيود؟
- كيف يحد الحيود من القدرة على التمييز بين جسمين متقاربين باستخدام عدسة؟

مراجعة المفردات

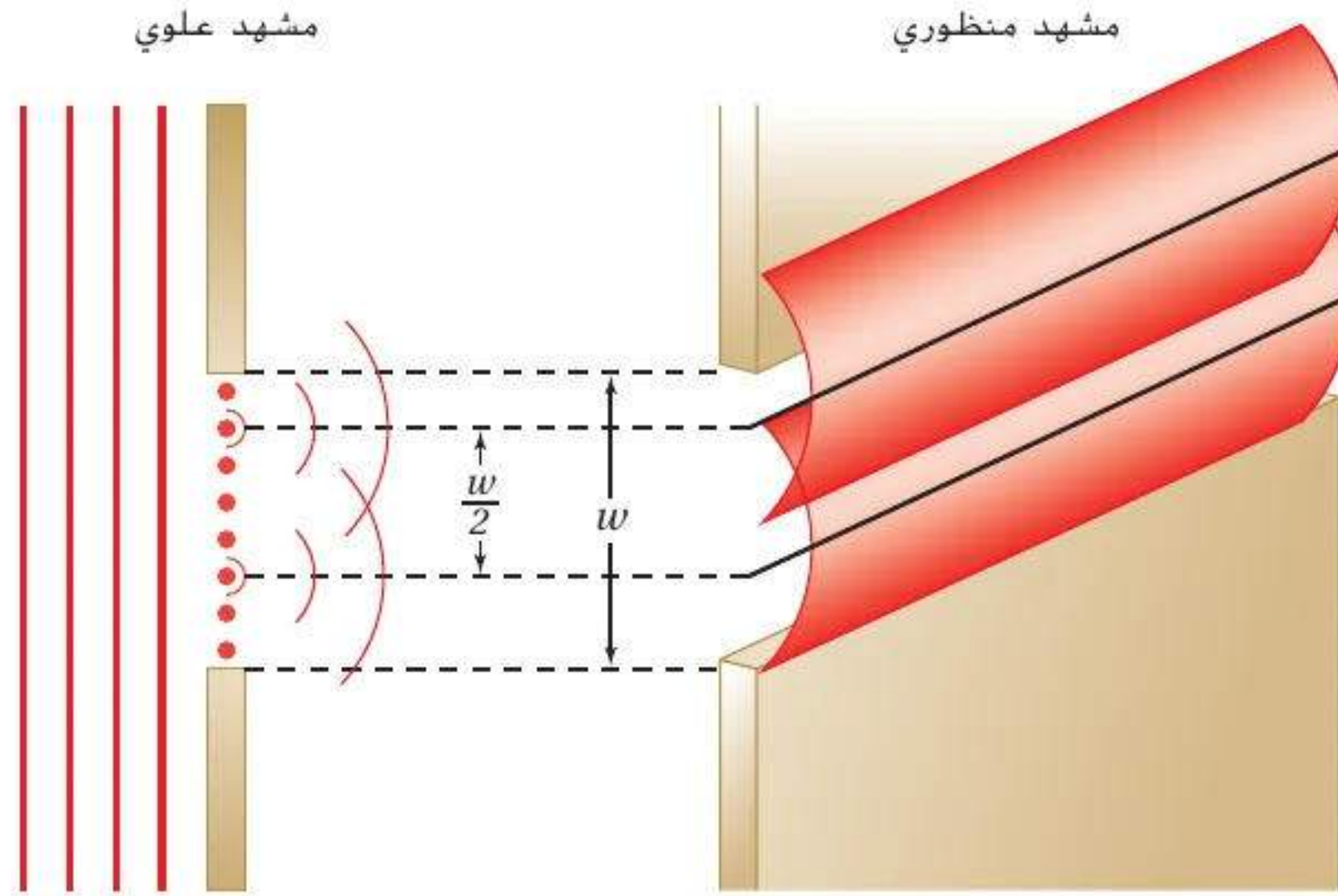
الحيود diffraction: انحناء الضوء حول حاجز

مفردات جديدة

نمط الحيود diffraction pattern
محزوز الحيود diffraction grating
معياري ريلييه rayleigh criterion



الشكل 13 لتوضيح أنماط الحيود من خلال موجات هويجنز، يتم اختيار نقطتين بحيث تكون المسافة بينهما $\frac{w}{2}$.



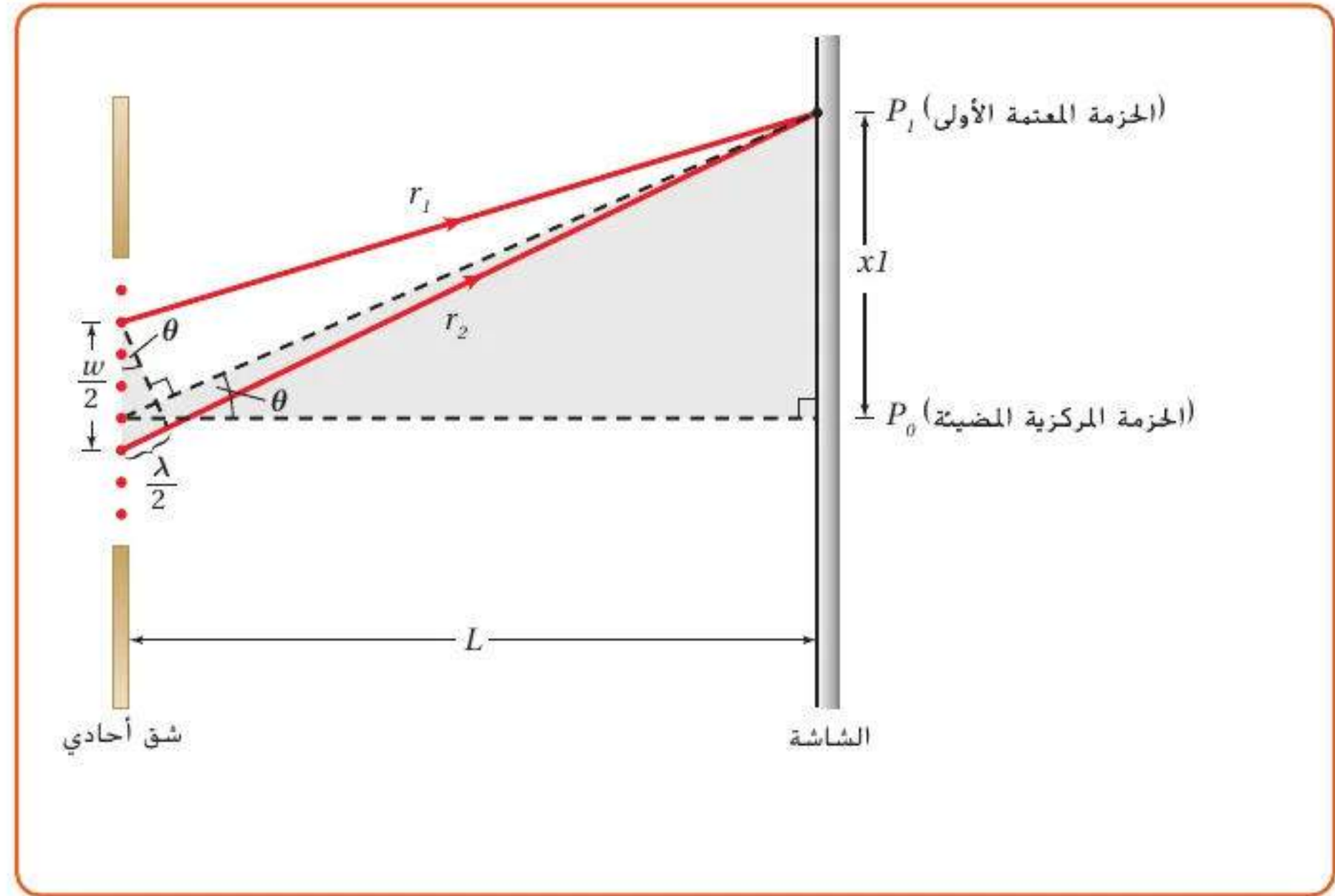
موجات هويجنز لملاحظة طريقة إنتاج موجات هويجنز نمط الحيود، تخيل شقاً عرضه w مجزاً إلى عدد زوجي من نقاط هويجنز، كما هو موضح في الشكل 13، حيث تعمل كل نقطة كمصدر لموجات هويجنز. جزئ الشق إلى جزئين متساويين، واختر مصدرًا واحدًا من كل جزء، بحيث يبعد كل جزء عن الآخر مسافة $w/2$. سيُنتج هذا الزوج من المصادر الموجات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

✓ **التأكد من فهم النص** حدّد نوع تداخل موجات هويجنز الذي يكون حزمة معتمة على الشاشة.

نمط الحيود عندما يضاء الشق الأحادي، تظهر حزمة مركزية مضئية عند الموقع P_0 على الشاشة، كما في الشكل 14. وتظهر الحزمة المعتمة الأولى عند الموقع P_1 ، لأنه عند هذا الموقع يختلف طولًا مسار r_1 و r_2 لموجتي هويجنز أحدهما عن الآخر بمقدار نصف طول موجي، مما ينتج تداخلًا هدامًا. يشبه هذا النموذج نموذج تداخل الشق المزدوج رياضيًا. إنّ مقارنة نمط حيود الشق الأحادي بنمط تداخل الشق المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه تُظهر أنّ نمط حيود الشق الأحادي بأكمله متطابق مع حزم التداخل المضئية والمعتمة الأقل عرضًا، حيث تنتج أنماط الشق المزدوج عن تداخل الضوء من كل شق أحادي.

سنطوّر الآن معادلة لنمط الحيود الناتج عن الشق الأحادي. سنستخدم التبسيطات نفسها التي استُخدمت في تداخل الشق المزدوج، مع افتراض أنّ البعد عن الشاشة أكبر بكثير من w . كما هو موضح أعلاه، والمسافة الفاصلة بين مصدري الموجتين المتداخلتين $w/2$. ولإيجاد المسافة التي تم قياسها على الشاشة للحزمة المعتمة الأولى (x_1)، نلاحظ أنّ فرق طول المسار يساوي $\lambda/2$ بسبب حدوث تداخل هدام عند الحزمة المعتمة. لذا فإنّ $x_1/L = \lambda/w$.

الشكل 14 يربط عرض الحزمة المضيئة في حيود الشق الأحادي بطول موجة الضوء والمسافة من الشق إلى الشاشة وعرض الشق.



بدلاً من قياس المسافة إلى الحزمة المعتمدة الأولى من مركز الحزمة المركزية المضيئة (x_1)، يُفضل قياس عرض الحزمة المركزية المضيئة ($2x_1$). كما في المعادلة التالية.

عرض الحزمة المضيئة في حيود الشق الأحادي

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

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

يقدم حيود الشق الأحادي تصوراً واضحاً للطبيعة الموجية للضوء عندما يتراوح عرض الشقوق بين 10 و 100 ضعف الطول الموجي للضوء. بينما تكوّن الفتحات الأكبر من ذلك ظلالاً حادة، وكان إسحق نيوتن أول من لاحظ ذلك. رغم أنّ نمط الشق الأحادي يعتمد على الطول الموجي للضوء، إلا أنه لا يكون فعالاً في قياس الطول الموجي. ويوفر استخدام عدد كبير من الشقوق بعضها بجانب بعض أداة أكثر فاعلية لقياس الطول الموجي.

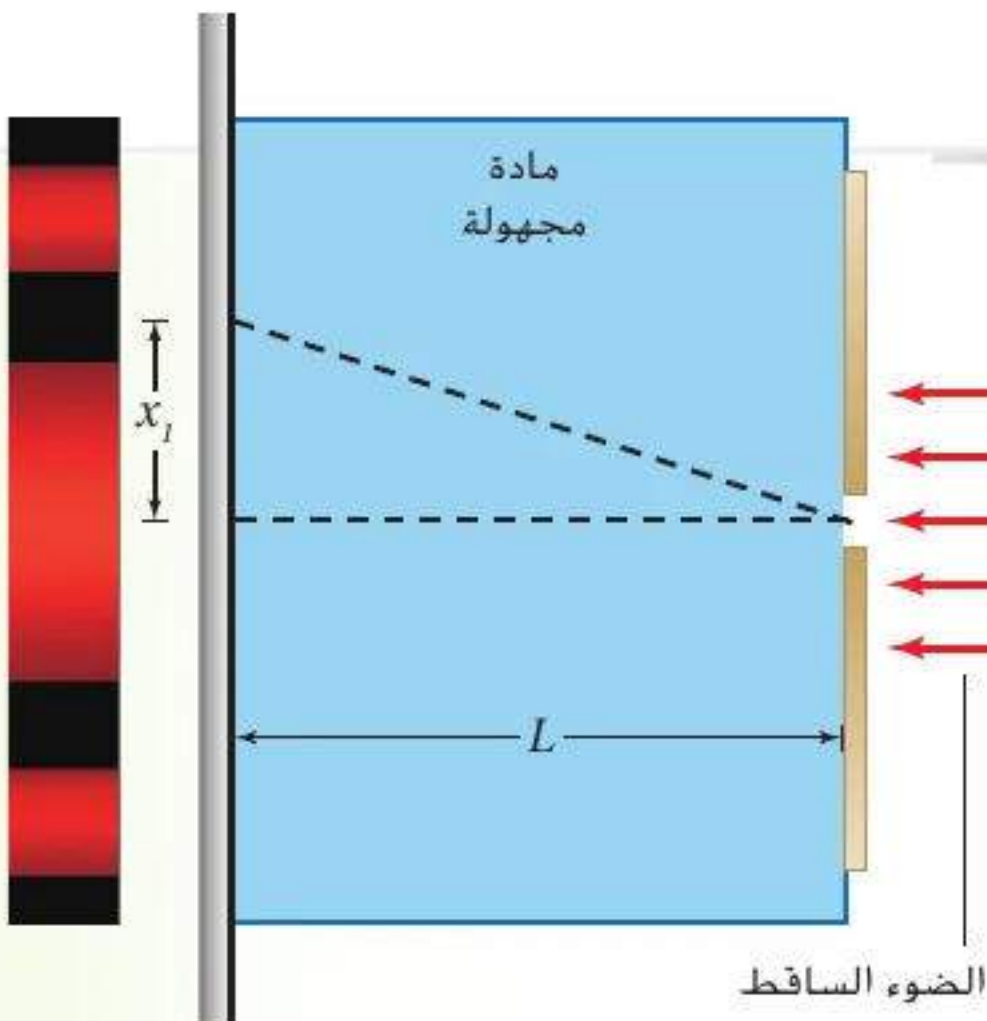
✓ **التأكد من فهم النص** صف الافتراض الذي وضع w و L لمعادلة حيود الشق الأحادي.

مسألة تحفيزية

لديك مجموعة من المواد غير المعروفة وأردت أن تعرف نوع كل مادة باستخدام جهاز حيود الشق الأحادي. فقرررت وضع عينة من المادة المجهولة في المنطقة بين الشق والشاشة واستخدمت البيانات التي حصلت عليها لتحديد نوع كل مادة بحساب معامل انكسارها.

1. اكتب صيغة عامة لمعامل الانكسار لمادة مجهولة بدلالة الطول الموجي للضوء (الفراغ λ) وعرض الشق (w) والمسافة بين الشق والشاشة (L) والمسافة بين الحزمة المركزية المضيئة والحزمة المعتمدة الأولى (x_1).

2. إذا كان الطول الموجي للمصدر الذي استخدمته 634 nm، وعرض الشق 0.10 mm، والمسافة بين الشق والشاشة 1.15 m، وغمرت الجهاز في الماء ($n_{\text{الماء}} = 1.33$)، فكم تتوقع أن يكون عرض الحزمة المركزية؟



16. يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شق أحادي عرضه 0.095 mm. وبيعد الشق مسافة 75 cm عن الشاشة. فكم يبلغ عرض الحزمة المركزية المضيئة؟
17. مرّ ضوء أصفر طوله الموجي 589 nm عبر شق عرضه 0.110 mm فنتج نمط على الشاشة. إذا كان عرض الحزمة المركزية المضيئة 2.60×10^{-2} m. فما بُعد الشقوق عن الشاشة؟
18. سقط ضوء من ليزر هيليوم - نيون ($\lambda = 632.8$ nm) على شق عرضه مجهول. ونكوّن نمط على شاشة تبعد 1.15 m. وكان عرض الحزمة المركزية عليها 15.0 mm. فكم عرض الشق؟
19. سقط ضوء أصفر على شق أحادي عرضه 0.0295 mm. وكان عرض الحزمة المركزية المضيئة 24.0 mm على شاشة تبعد 60.0 cm. فما الطول الموجي للضوء؟
20. مسألة تحفيزية سقط ضوء أبيض على شق أحادي عرضه 0.050 mm. ووُضعت شاشة على بُعد 1.00 m. ووُضع طالب مرشحاً أزرق بنفسجياً ($\lambda = 441$ nm) على الشق أولاً، ثم وضع مرشحاً أحمر ($\lambda = 622$ nm). ثم قاس الطالب عرض الحزمة المركزية المضيئة.
- a. أي من المرشحين نتجت عنه حزمة أكثر عرضاً؟
- b. احسب عرض الحزمة المركزية المضيئة لكل من المرشحين.

محزوزات الحيود

تستخدم محزوزات الحيود غالباً، كتلك المبينة في الشكل 15، لأخذ قياسات دقيقة للطول الموجي. إنّ **محزوز الحيود** هو أداة مكوّنة من شقوق كثيرة صغيرة تسبّب حيود الضوء وتكوّن نمطاً ناتجاً عن تداخل أنماط ناتجة عن حيود شق أحادي. يشبه هذا النمط نمط تداخل ناتج عن شق مزدوج، لكن تكون حزمه أكثر إضاءة وأقل عرضاً. يمكن أن تتكوّن محزوزات الحيود من 10,000 شق لكل سنتيمتر، وهذا يعني أنّ المسافة الفاصلة بين الشقوق تكون صغيرة جداً تصل إلى 10^{-6} m. يُعدّ محزوز الحيود أداة فعالة لدراسة الضوء والأجسام التي تبعث الضوء أو تمتصه.

من أنواع محزوزات الحيود ما يُسمى محزوز النفاذ. ويصنع محزوز النفاذ بعمل خدوش على زجاج مُنفذ للضوء في صورة خطوط رفيعة جداً باستخدام رأس من الألماس، حيث تعمل الفراغات بين خطوط الخدوش كالشقوق.

يمكن استخدام محزوزات الحيود مع الألماس لتجمل مظهره، حيث تُحفر المحزوزات على أسطح معينة للألماس لزيادة تشتت الضوء ولتبدو الجواهر بَرّاقة أكثر.

تجربة مصفرة

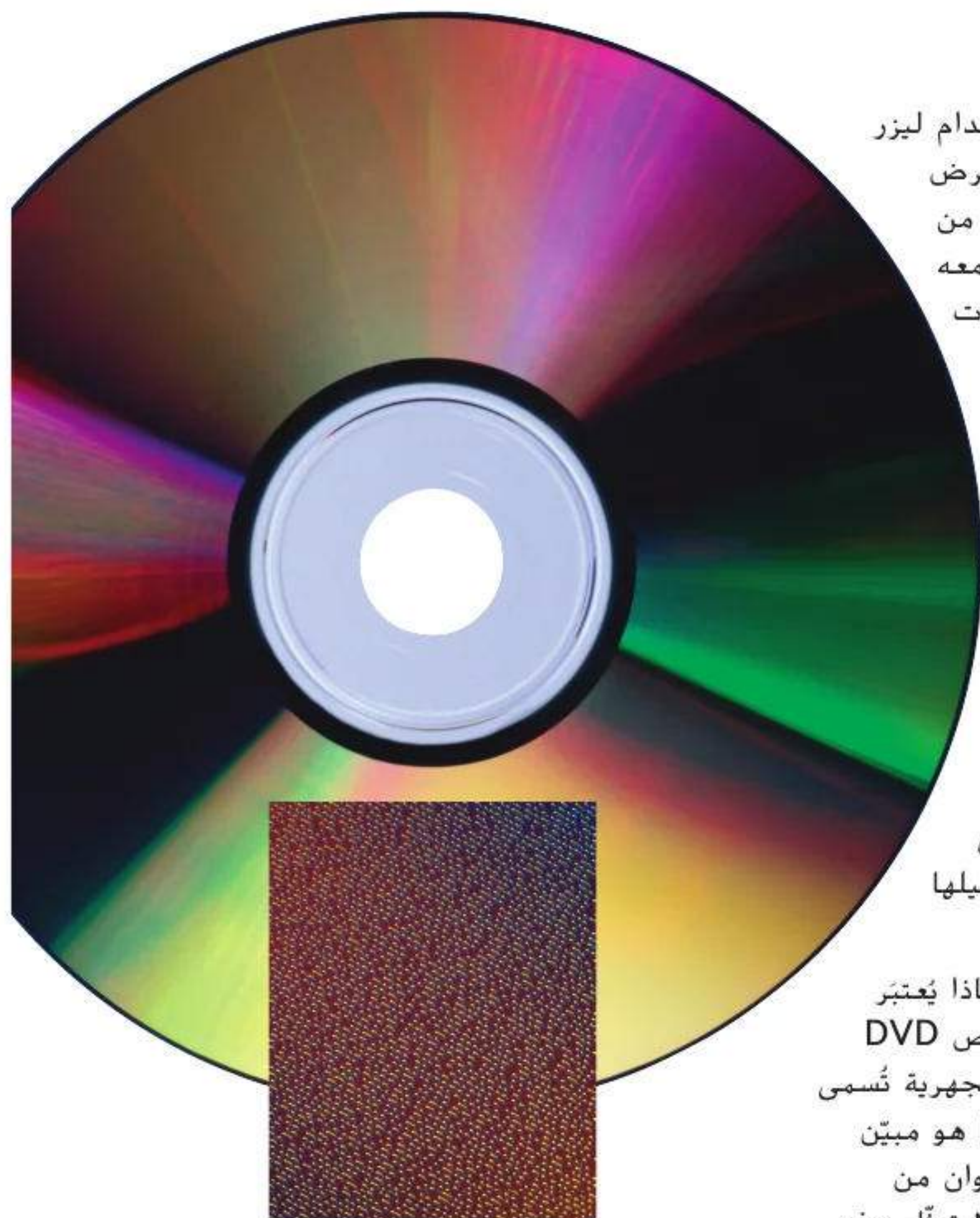
محزوزات الحيود

ما تأثير الطول الموجي في أنماط الحيود الناتجة عن محزوز الحيود؟

محزوز الحيود



الشكل 15 تُستخدم محزوزات الحيود في أجهزة وأدوات كثيرة. كما أنّ التأثيرات التي تنتجها هذه المحزوزات تجعلها مثالية لاستخدامها في صناعة المجوهرات.



الشكل 16 يُعدّ القرص المدمج محزوز
انعكاس ينتج طيفاً ضوئياً. وتوضّح الصورة
المكبرة لسطح القرص المدمج ترتيب الثقوب
والأرضيات.

تُنتج محزوزات الحيود الهولوجرافية الطيفَ الأكثر إضاءة. وتُصنع باستخدام ليزر ومرايا لإنتاج نمط حيود يتكوّن من خطوط مضيئة ومعتمة متوازية، حيث يُعرض النمط على قطعة فلزية مطلية بمادة حساسة للضوء. فينتج الضوء الصادر من الليزر تفاعلاً كيميائياً يجعل المادة صلبة. ثم يوضع الفلز في حمض يتفاعل معه في الأماكن غير المحمية بالمادة الصلبة. وتكوّن النتيجة مجموعة من البروزات والنتوءات في الفلز مماثلة لنمط الحيود الأصلي. كما يمكن استخدام الفلز نفسه كمحزوز انعكاس. ففي بعض الحالات، توضع طبقة بلاستيكية على فلز بعد تسخينه، فتنتج بروزات ونتوءات في الطبقة البلاستيكية. وتكون أنماط الحيود مضيئة للغاية بسبب الشكل الجيبي للبروزات والنتوءات.

محزوز الانعكاس قد تلاحظ أنّ الضوء المنعكس عن الأقراص المدمجة أو أقراص DVD ينتج نمط حيود طيفي، كما في الشكل 16. يُوجد نوع من محزوزات الحيود يُسمى محزوز الانعكاس. ويُصنع بحفر خطوط رفيعة على أسطح طبقة فلزية أو زجاج عاكس. تُعتبر الأقراص المدمجة وأقراص DVD أمثلة على محزوزات الانعكاس، حيث تُنتج طيف ألوان نراه عندما ينعكس الضوء الأبيض عن أسطحها. إذا سلّطت ضوءاً أحادي اللون على قرص DVD، فسَيكوّن الضوء المنعكس نمط انعكاس على شاشة. تُنتج محزوزات النفاذ ومحزوزات الانعكاس أنماطاً متشابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفسها.

الأقراص المدمجة وأقراص DVD وأقراص الأشعة الزرقاء لماذا يُعتبر القرص المدمج أو قرص DVD محزوز حيود؟ تُعتبر الأقراص المدمجة وأقراص DVD محزوزات خطية تقليدية. وتُغطى أسطحها فعلياً بخطوط من الفجوات المجهرية تُسمى ثقوباً تفصل بينها مناطق مسطحة تُسمى أرضيات، وتأخذ شكلاً حلزونياً، كما هو مبين في الشكل 16. تعمل منحنيات الشكل الحلزوني كمحزوز حيود، وتفصل الألوان من خلال التداخل. إنّ الأقراص المدمجة وأقراص DVD محزوزات حيود، لكن لا تمثل هذه الحقيقة أهمية بالنسبة إلى وظيفتها، لكن المهم هو الطريقة التي تتفاعل بها مع الأطوال الموجية المختلفة للضوء.

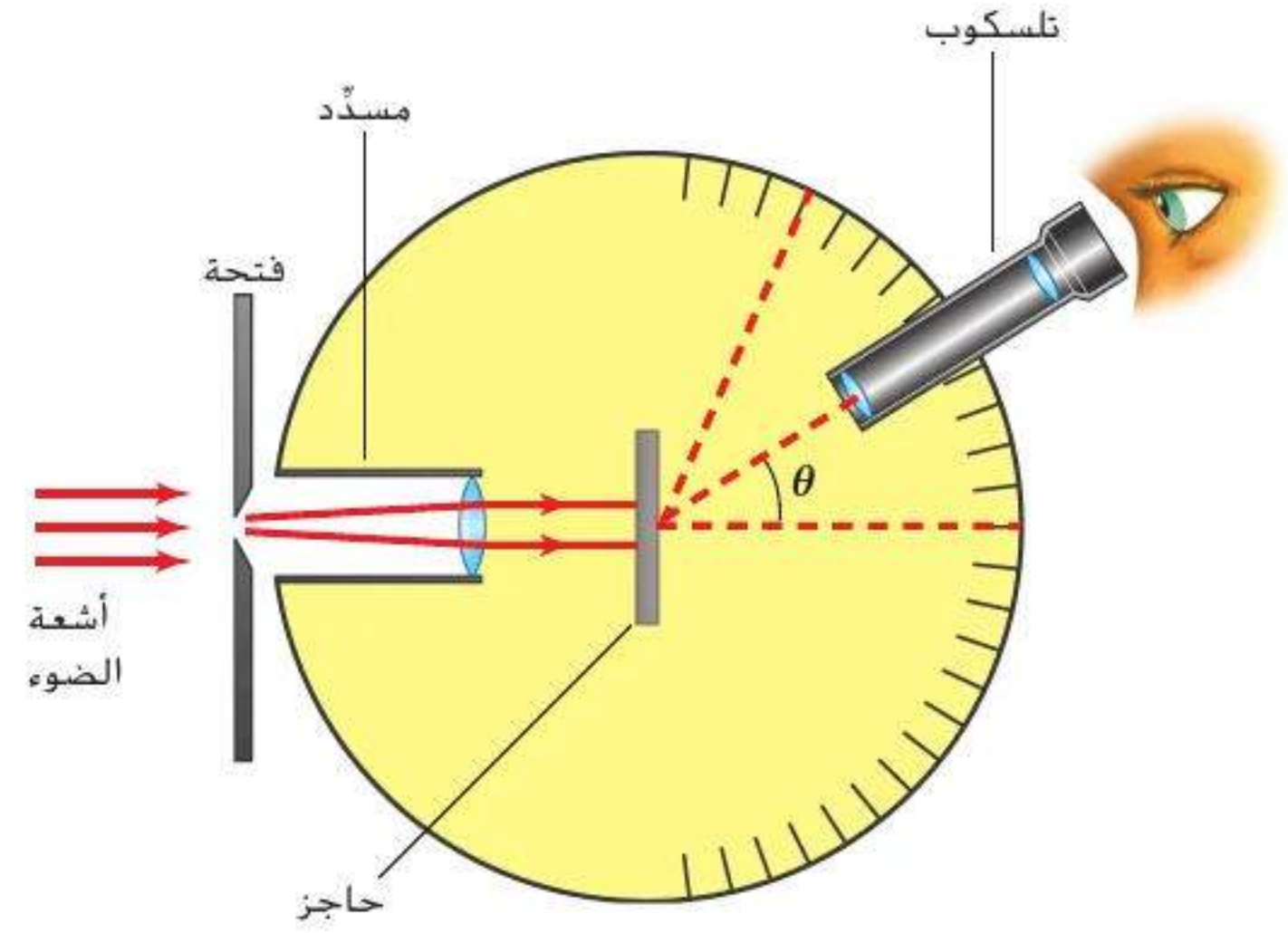
تخزين المعلومات وقراءتها يُستخدم الليزر "لقراءة" نمط الثقوب والأرضيات على القرص المدمج أو قرص DVD. يشبه ذلك طريقة برايل التي يستخدمها شخص ضريب للقراءة. حيث ينعكس الضوء الصادر من الليزر عن سطح القرص إلى كاشف الضوء. يتم تسليط ضوء الليزر بحيث تسقط بقعته الساطعة على الكاشف عندما ينعكس عن الأرضيات. وعندما ينعكس عن الثقوب، ينتشر ويخفت ضوءه. يتحدد حجم البقعة بالحيود، لذا، إذا استُخدم طول موجي قصير لليزر، فيقل حجم البقعة وتكون الثقوب أقرب بعضها إلى بعض، مما يسمح بتخزين المزيد من المعلومات. بفضل تقدم تكنولوجيا الليزر، تُستخدم ليزرات بطول موجي قصير، مما يسمح بوضع كم معلومات أكبر على القرص. فأقراص الموسيقى المدمجة تستخدم ضوء الأشعة تحت الحمراء بطول موجي 780 nm. يمكن أن يستوعب القرص المدمج معلومات بسعة 700 ميغابايت تقريباً. وتستخدم أقراص DVD الليزر الأحمر (650 nm)، مما يسمح بتسجيل أكثر من 4 جيجابايت. أما أقراص الأشعة الزرقاء، فتستخدم الليزر البنفسجي (405 nm). ويظهر الليزر باللون الأزرق، ولذا سُمي القرص بهذا الاسم. يمكن أن تستوعب أقراص الأشعة الزرقاء ذات الطبقة الواحدة معلومات بسعة تصل إلى 25 جيجابايت.

✓ **التأكد من فهم النص** اشرح العلاقة بين كم المعلومات التي يمكن تخزينها على قرص DVD والطول الموجي للضوء المستخدم لقراءة هذه المعلومات.

قياس الطول الموجي تُسمى الأداة التي تُستخدم لقياس الأطوال الموجية للضوء باستخدام محزوز الحيود منظارًا طيفيًا ذا محزوز. كما في الرسم التخطيطي في الشكل 17، حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءًا يُوجّه نحو شقٍّ ومنه إلى مُجمّع أشعة ثم إلى محزوز الحيود. فينتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بالتلسكوب.

إذا كان مصدر الضوء أحادي اللون، فسيكون نمط الحيود الناتج عن المحزوز عبارة عن خطوط مضيئة ضيقة تفصلها مسافات متساوية، كما هو موضح في الشكل 18. كلما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز، كانت الخطوط أضيق في نمط الحيود. وكلما كانت الخطوط أضيق، زادت دقة قياس المسافة بين الخطوط المضيئة.

لقد درست سابقًا في هذه الوحدة أنه يمكن استخدام نمط الحيود الناتج عن الشقّ المزدوج في حساب الطول الموجي. ويمكن وضع معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي أثبتت لتطوير معادلة الشقّ المزدوج، لكن الزاوية θ في محزوز الحيود يمكن أن تكون كبيرة، لذا لا يُطبّق التبسيط الخاص بالزاوية الصغيرة. ويمكن إيجاد الطول الموجي بقياس الزاوية (θ) بين الخط المركزي المضيء والخط المضيء ذي الرتبة الأولى.



الشكل 17 يُستخدم المنظار الطيفي ذو المحزوز في قياس الطول الموجي للضوء بشكل دقيق.

اذكر التبسيط المستخدم لحسابات الطول الموجي الناتج عن الشقّ المزدوج الذي لا ينطبق على محزوزات الحيود.

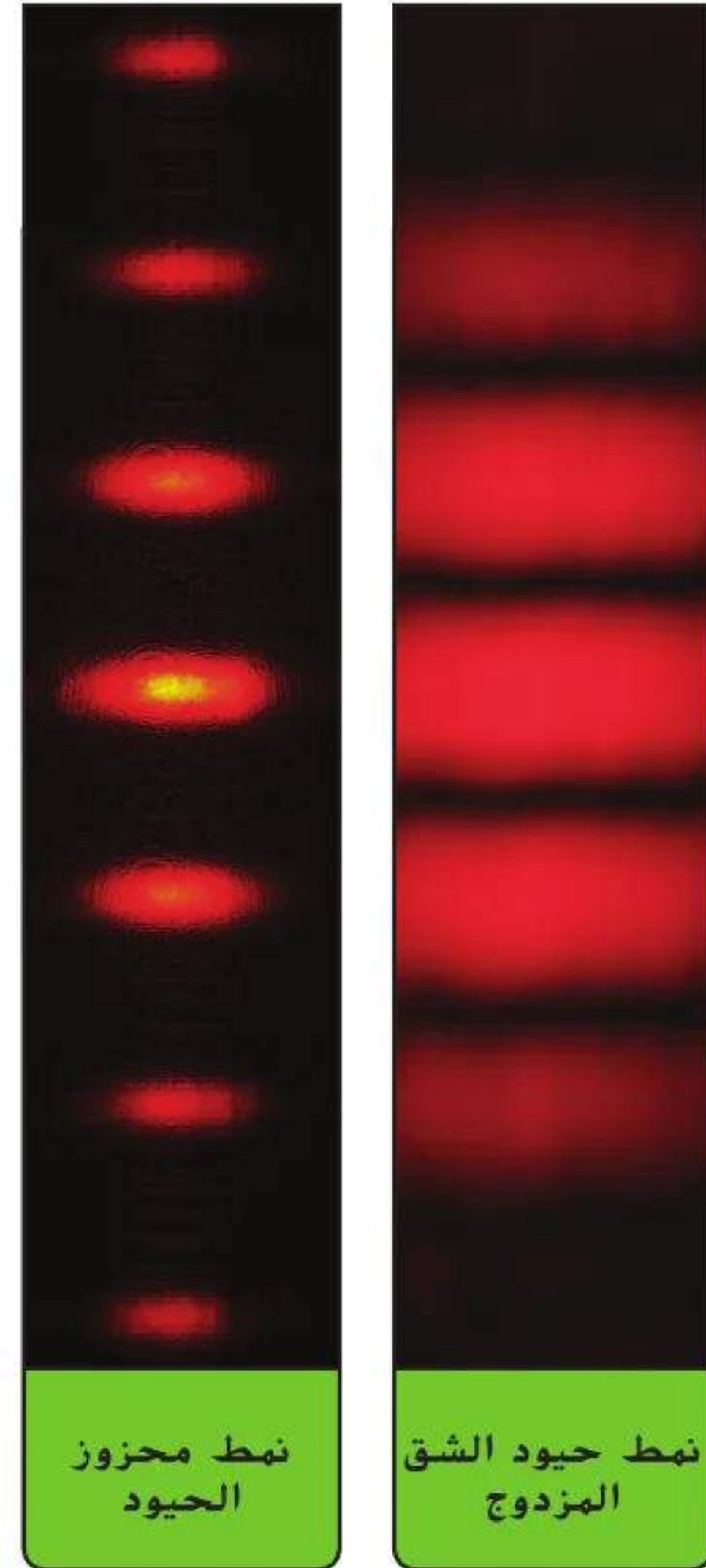
الطول الموجي من محزوز الحيود

يساوي الطول الموجي للضوء المسافة الفاصلة بين الشقوق مضروبة في جيب الزاوية التي يحدث عندها الخط المضيء ذي الرتبة الأولى.

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

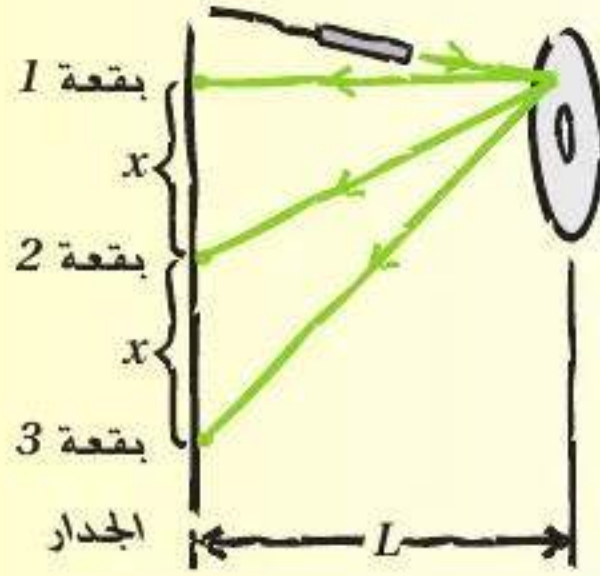
يحدث التداخل البناء بواسطة محزوز الحيود عند زوايا على جانبي الخط المركزي المضيء الذي تعبّر عنه المعادلة $m\lambda = d \sin \theta$ ، حيث $m = 0, 1, 2$. وهكذا. ويحدث الخط المركزي المضيء عند $m = 0$. يستخدم علماء التحليل الطيفي أحيانًا الخطوط التي تحدث عن $m = 2$ أو $m = 3$ لأنه يمكن قياس المسافات بين الخطوط المضيئة بشكل أكثر دقة. لاحظ أنّ الفراغ المعتم في نمط محزوز الحيود يكون أكبر منه في نمط الشقّ المزدوج كما في الشكل 18. وذلك لأنّ التداخل الهدّام الناتج في محزوز الحيود أكبر منه في الشقّ المزدوج. ينتج عن هذا خطوط أكثر ضيقًا، مما يزيد من دقة القياسات أيضًا.

تدخل محزوزات الحيود في تركيب المناظير الطيفية المستخدمة في تحليل الأحجار الكريمة. يدرك علماء الأحجار الكريمة ذوو الخبرة أنماط الحزم الناتجة عن مرور الضوء الأبيض عبر الأحجار المختلفة. على سبيل المثال، تُعدّ الحزم الثلاث المضيئة بالألوان الأخضر والأصفر والبرتقالي مؤشرًا قويًا على وجود الكوبالت. وهذا يعني أنّ حجرًا أزرق من المحتمل ألا يكون جوهرة نفيسة كالياقوت الأزرق أو التوباز، بل قطعة زجاجية زهيدة الثمن مشوبة باللون الأزرق.



الشكل 18 يوضح الشكل مقارنة بين نمطي الحيود للضوء الأحمر. يوفّر نمط محزوز الحيود قياسًا أكثر دقة.

استخدام قرص DVD بوصفه محزوز حيود. لاحظت طالبة طيفاً رائفاً منعكساً عن قرص DVD، حيث وُجِدت شعاعاً من مؤشر الليزر الأخضر الخاص بمعلمتها نحو قرص الـ DVD فوجدت ثلاث بقع مضيئة قد انعكست على الجدار. وظهر على المؤشر أن الطول الموجي 532 nm. ووجدت الطالبة أن الفراغات بين هذه البقع كانت 1.29 m على الجدار الذي يبعد مسافة 1.25 m عن القرص. فما المسافة بين الفراغات على قرص الـ DVD؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم التجربة، مبيناً قرص الـ DVD بوصفه محزوزاً والبقع الموجودة على الجدار.
- حدّد القيم المعلومة وقم بتسميتها.

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

2 حساب المجهول

أوجد الزاوية المحصورة بين البقعة المركزية المضيئة والبقعة المجاورة لها مستخدماً $\tan \theta = \frac{x}{L}$.

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

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

استخدم الطول الموجي لمحزوز الحيود وأوجد المتغير d .

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

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

$$\begin{aligned} &= \frac{532 \times 10^{-9} \text{ m}}{\sin 45.9^\circ} \\ &= 7.41 \times 10^{-7} \text{ m} = 741 \text{ nm} \end{aligned}$$

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ الإجابة بوحدة m، وهي وحدة صحيحة للمسافة الفاصلة.
- هل الجواب منطقي؟ عندما يكون x و L الحجم نفسه غالباً، تكون قيمة d قريبة من قيمة λ .

تطبيقات

21. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط الناتج.
22. إذا سقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، وكانت المسافة الفاصلة هي 0.55 m بين الخطوط الناتجة على شاشة تبعد 1.05 m، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في المحزوز؟
23. يضاء محزوز حيود تفصل بين شقوقه مسافة $8.60 \times 10^{-7} \text{ m}$ بضوء بنفسجي طوله الموجي 421 nm. إذا كانت الشاشة على بُعد 80.0 cm من المحزوز، فما مقدار المسافات الفاصلة بين الخطوط في نمط الحيود؟
24. يسقط ضوء أزرق على قرص DVD في مثال المسألة 3. إذا كانت المسافات الفاصلة بين النقاط المتكوّنة على جدار يبعد 0.65 m تساوي 58.0 cm، فما مقدار الطول الموجي؟
25. تحفيز يمرّ ضوء طوله الموجي 632 nm عبر محزوز حيود ويكوّن نمطاً على شاشة تبعد مسافة 0.55 m عن المحزوز. إذا كانت الحزمة المضيئة الأولى على بُعد 5.6 cm من الحزمة المركزية المضيئة، فما عدد الشقوق لكل سنتيمتر في المحزوز؟

قدرة التحليل للعدسات

تعمل العدسة المستديرة في التلسكوب والمجهر وحتى عينك عمل فجوة، وتسمى فتحة، ليمر الضوء من خلالها. وتسبب الفتحة حيود الضوء، تمامًا كما يفعل الشق الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بواسطتها، كما هو مبين في الشكل 19. فضلًا عن ذلك، تكون معادلة حساب الفتحة مماثلة لمعادلة حساب الشق الأحادي. لكن يكون للفتحة حافة دائرية بدلًا من حافتي الشق، لذا يُستبدل عرض الشق (w) بقطر الفتحة (D). بالإضافة إلى إدخال عامل هندسي مقداره 1.22، فتصبح المعادلة

$$x_1 = \frac{1.22\lambda L}{D}$$

◀ **الربط بعلم الفلك** عندما يُرى الضوء المنبعث من نجم بعيد بواسطة فتحة التلسكوب، فإن الصورة تنتشر بسبب الحيود. إذا كان يوجد نجمان قريبان جدًا أحدهما إلى الآخر، فإن صورتيهما تتداخلان معًا. في العام 1879، وضع الفيزيائي والرياضي البريطاني لورد ريليه، الحائز على جائزة نوبل، معيارًا لتحديد ما إذا كان يوجد نجم أم اثنان في مثل هذه الصورة. ينص **معياري ريليه** على أنه إذا سقط مركز البقعة المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمة الأولى للنجم الثاني، فإن الصورتين تكونان عند حد التمييز. وإذا كانت صورتا النجمين عند حد التمييز، فسيكون المشاهد قادرًا على تحديد وجود نجمين بدلًا من نجم واحد فقط.

إذا كان جسمان عند حد التمييز، فكيف يمكنك إيجاد المسافة بينهما (x_{obj}) طبقًا لمعيار ريليه. تكون المسافة بين مركزي بقعتين مضيئتين لصورتين هي x_1 . يوضح الشكل 20 أنه يمكن استخدام المثلثات المتماثلة لإيجاد أن $\frac{x_{obj}}{L_{obj}} = \frac{x_1}{L}$. ويمكننا جمع هذه المعادلة مع معادلة حجم الفتحة $\left(\frac{x_1}{L} = \frac{1.22\lambda}{D}\right)$ وإيجاد المسافة بين الجسمين (x_{obj}).

معياري ريليه

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

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

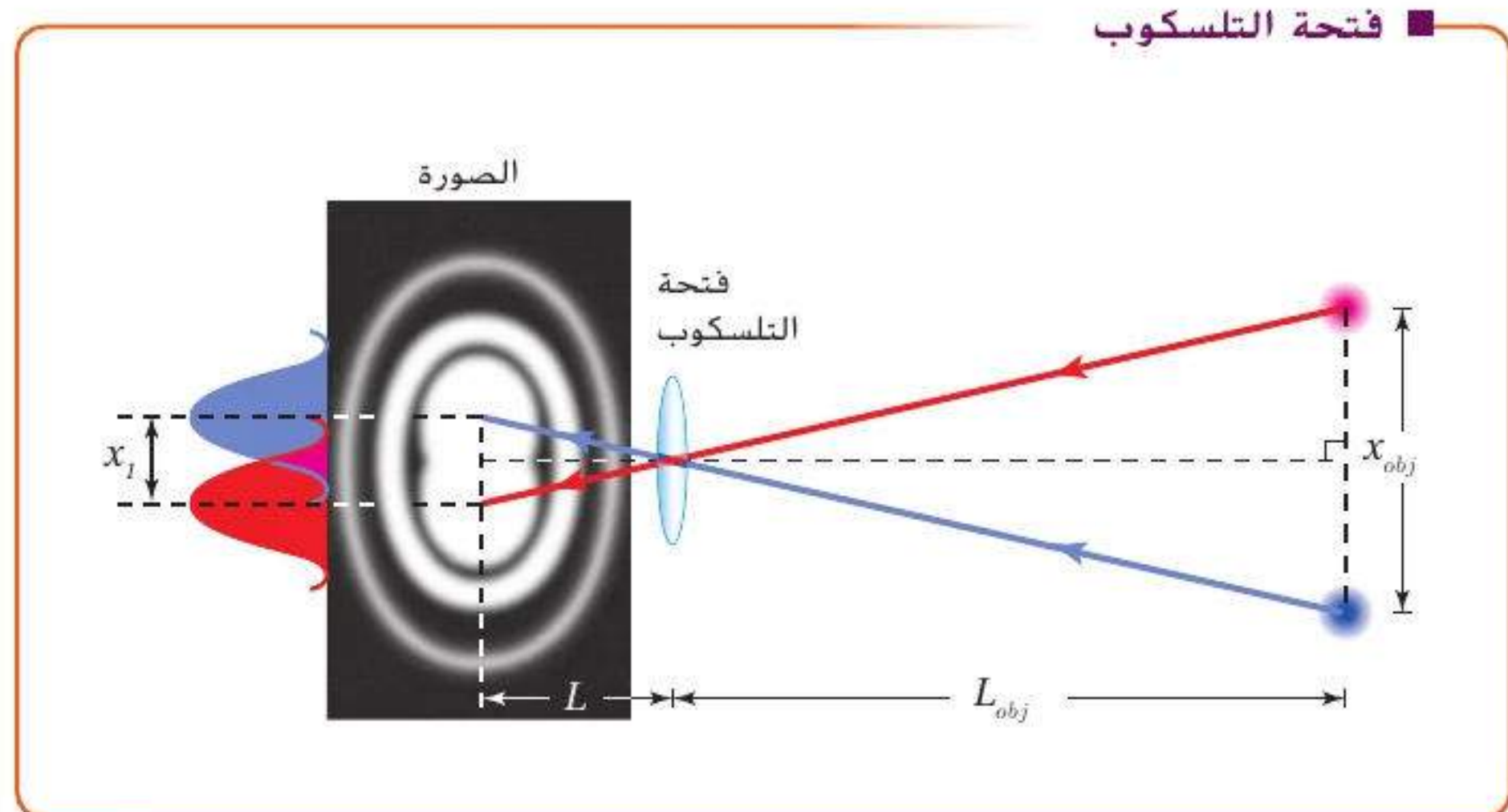


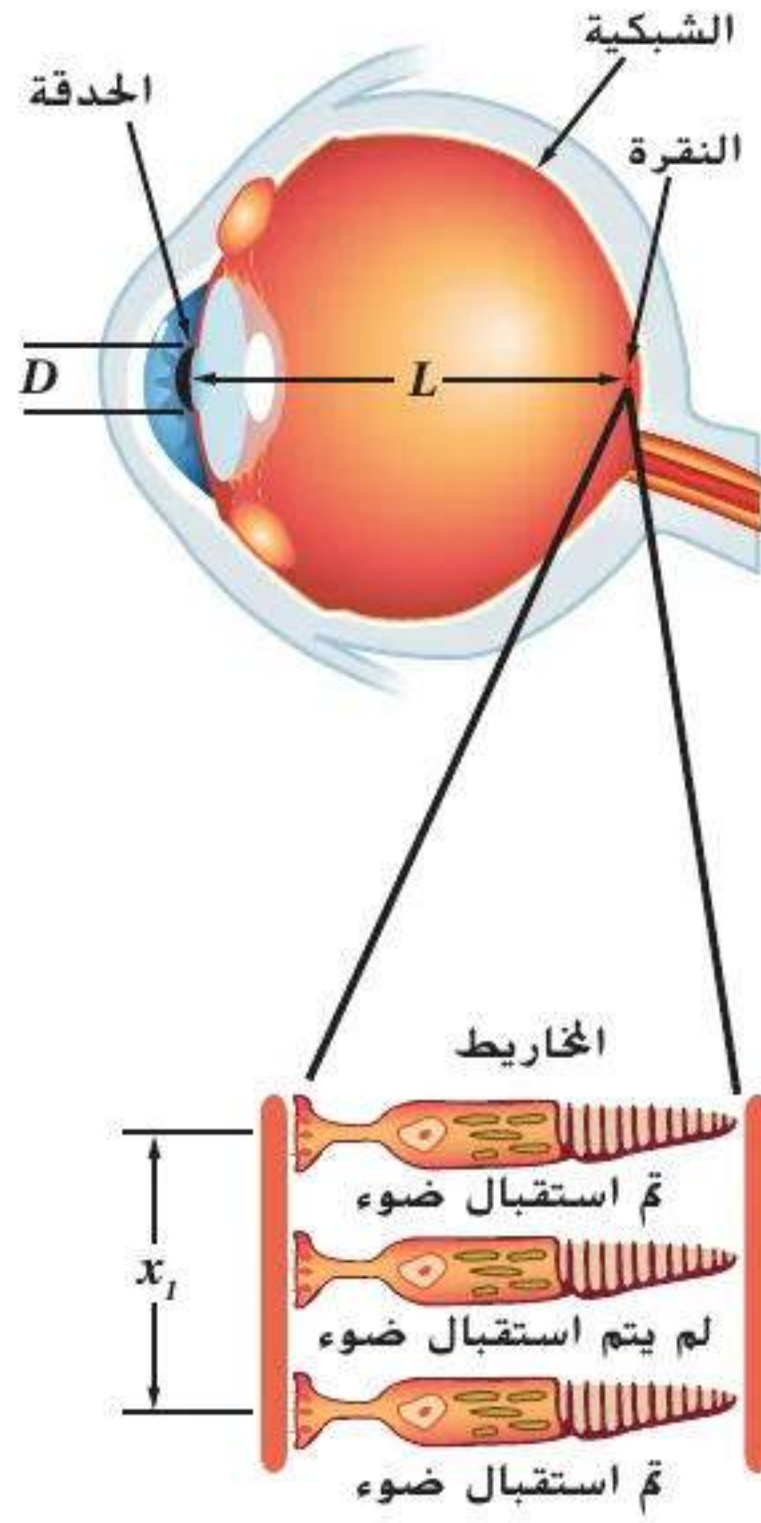
الشكل 19 تسبب الفتحة حيود الضوء فتنشئ نمط حيود يحوي بقعة مركزية مضيئة محاطة بحلقات معتمة ومضيئة.

تجربة مصفرة

شاشة عرض شبكية
كيف تُستخدم شبكية العين بوصفها شاشة؟

الشكل 20 يمكن حساب المسافة الفاصلة بين جسمين باستخدام هندسة المثلثات المتماثلة. إنَّ اللونين الأزرق والأحمر للتوضيح فقط. (الرسم التوضيحي ليس مقياسًا).





الشكل 21 تُعدّ حدقة العين فتحة تسبب حيود الضوء.

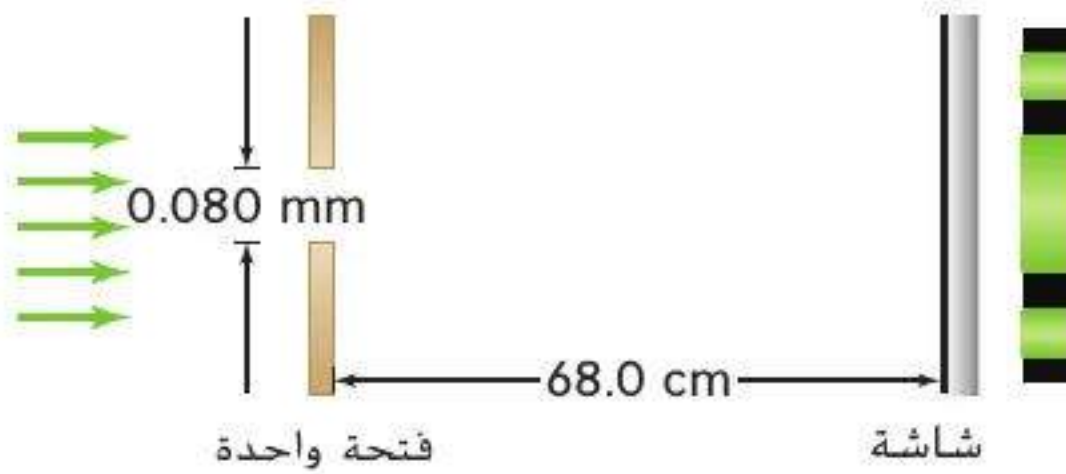
الحيود في العين عندما يكون الضوء ساطعًا، يكون قطر حدقة العين 3 mm تقريبًا. وتكون حساسية العين أكبر ما يكون للضوء الأصفر المخضر حيث الطول الموجي $\lambda = 550 \text{ nm}$. لذا بتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{\text{obj}} = (2 \times 10^{-4})L_{\text{obj}}$. وتبلغ المسافة بين الحدقة والشبكية 2 cm تقريبًا، لذا باستخدام $x_1 = 1.22\lambda L/D$ سيكون من الصعب التمييز بين مركزي البقعتين المضيئتين لمصدرين نقطيين عندما تفصل بينهما مسافة $4 \mu\text{m}$ تقريبًا على الشبكية. تبلغ المسافة الفاصلة بين المخاريط، التي هي عبارة عن كاشفات ضوئية في الشبكية، في أكثر الأجزاء حساسية في الشبكية، وهي الثُقرة، $2 \mu\text{m}$ تقريبًا. لذا تُسجل المخاريط الثلاثة المتجاورة في الحالة المثالية ضوءًا وعتمة وضوءًا، كما هو موضّح في الشكل 21. يجب أن تكون المسافة بين مركزي البقعتين المضيئتين من مصدرين نقطيين مساوية على الأقل للمسافة بين مخروطي تسجيل الضوء لتمييزهما. وتبدو العين مثالية التركيب.

يدل تطبيق معيار ريليه لإيجاد قدرة العين على التمييز بين مصدرين متباعدين على أنّ العين يمكنها التمييز بين المصباحين الأماميين (المسافة بينهما 1.5 m) لسيارة على بُعد 7 km. لكن عمليًا، لا يحد الحيود من عمل العين إذ تؤدي العيوب في العدسة والوسائل الذي يملأ العين إلى التقليل من قدرة التمييز للعين بمقدار خمس مرات وفق معيار ريليه. كما تُحدّ مراكز معالجة الرؤية في دماغ الإنسان من القدرة على اكتشاف الأجسام النقطية الصغيرة.

يعلن العديد من الشركات المصنعة للتلسكوب أنّ أجهزتها محدودة الحيود، وهذا يعني أنّ أجهزتها قادرة على التمييز بين مصدرين نقطيين عند حد معيار ريليه. وللوصول إلى هذا الحد، يجب عليهم صقل المرايا والعدسات بدقة تصل إلى عُشر الطول الموجي (55 nm تقريبًا). وكلما كبر قطر المرآة، زادت قدرة التمييز للتلسكوب إلا أنّ تفاعلات الضوء مع الغلاف الجوي للأرض تؤدي إلى عدم وصول التلسكوبات الموجودة على الأرض إلى حد الحيود. وتُعدّ دقة صور التلسكوبات الموجودة في الفضاء أفضل بكثير من دقة صور التلسكوبات الكبرى الموجودة على سطح الأرض.

القسم 2 مراجعة

29. **الحزم المعتمدة ذات الرتبة الأولى** يسقط ضوء أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شق أحادي موضح عرضه وبعده عن الشاشة في الشكل 22. ما مقدار المسافة الفاصلة بين الحزم المعتمدة ذات الرتبة الأولى؟



الشكل 22

30. **التفكير الناقد** شاهدت مطيافًا إلا أنّك لا تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور أو محزوز حيود. إذا نظرت إلى الطيف الناتج عن الضوء الأبيض المارّ عبر المطياف، فكيف يمكنك تحديد الجهاز الذي أنتج الطيف؟

26. **الفكرة الرئيسية** قطعة كبيرة من الورق المقوى عليها شقوق كثيرة ضيقة وقريبة بعضها من بعض على مسافات متساوية. وأضيء هذان الشقان بضوء أحمر أحادي اللون. ووضعت ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقوق، فنتج نمط من الحزم المضيئة والمعتمدة على الورقة. ارسم النمط الظاهر على الورقة.

27. **معيار ريليه** يُعدّ نجم الشّعرى اليمانية (سيربوس) النجم الأكثر سطوعًا في نصف الكرة الأرضية الشمالي في فصل الشتاء. وهذا النجم، في الحقيقة، نظام مكوّن من نجمين يدور كل منهما حول الآخر. إذا وُجّه تلسكوب هابل الفضائي (قطر فتحة 2.4 m) نحو هذا النظام الذي يبعد 8.44 سنوات ضوئية عن الأرض، فما أقل مسافة فاصلة بين النجمين نحتاج إليها لنتمكن من التمييز بينهما باستخدام التلسكوب؟ افترض أنّ الطول الموجي للضوء المنبعث من النجمين يساوي 550 nm.

28. **المسافة بين الخطوط** سلّطت ضوء ليزر أحمر إلى محزوز حيود فنتج نمط من النقاط الحمراء على شاشة. ثم استبدلت محزوز الحيود الأول بمحزوز حيود آخر، فنتج نمط مختلف. وكانت النقاط الناتجة عن المحزوز الأول أكثر انتشارًا من تلك الناتجة عن المحزوز الثاني. أي من المحزوزين يحتوي على خطوط أكثر لكل ملليمتر؟

مكافحة جرائم تزوير العملات بمحاكاة الطبيعة

التقزح اللوني في الفراشات والعملة

تُظهر حزم الألوان المتألّنة على جناحي فراشة الطاووس الإندونيسية ظلالاً مختلفة باللونين الأخضر والأزرق عندما يتحركان. ربما يحتفظ التلوين المتقزح في هذه الفراشة الأكثر من رائع ذات يوم بسر الكشف عن النقود المزيفة.

يُغطى جناح الفراشة بقشور صغيرة. يوضح فحص هذه القشور بمجهر قوي أنها تتميز بنمط من التجاويف الدقيقة والمتكررة.



ينعكس الضوء الساقط على مركز كل تجويف مباشرة، ولكن الضوء الساقط على حواف كل تجويف يمرّ من خلال تراكيب تستقطب الضوء وتعكسه وتبدو كمحزوز الحيود. تُعطي هذه التراكيب الجناحين لونهما الأخضر الفاتح أو الأخضر المزرق حسب زاوية الرؤية.

استطاع الباحثون تصميم بنية مجهرية مماثلة لقشور الفراشة المتقزحة في مادة صناعية متناهية الصغر. تتميز هذه المادة بخصائص بصرية تشبه خصائص قشور الفراشة التي تحاكيها. يتوقع الباحثون تطبيقها كتكنولوجيا لمكافحة التزييف لأنه يصعب محاكاتها مقارنة بالطرق المستخدمة حالياً.

لمزيد من التعمق <<<

أعدّ بحثاً عن أمثلة أخرى لتأثيرات الألوان الموجودة في الطبيعة التي ترجع إلى التقزح اللوني. صمّم موقع ويب تثقيفياً يوضح النتائج التي توصلت إليها.

الفكرة الرئيسية يمكن أن تحيد الموجات الضوئية وتتداخل مع بعضها.

القسم 1 التداخل

الفكرة الرئيسية يمكن أن يتداخل الضوء عند مروره عبر شقوق ضيقة أو عندما ينعكس عن غشاء رقيق.

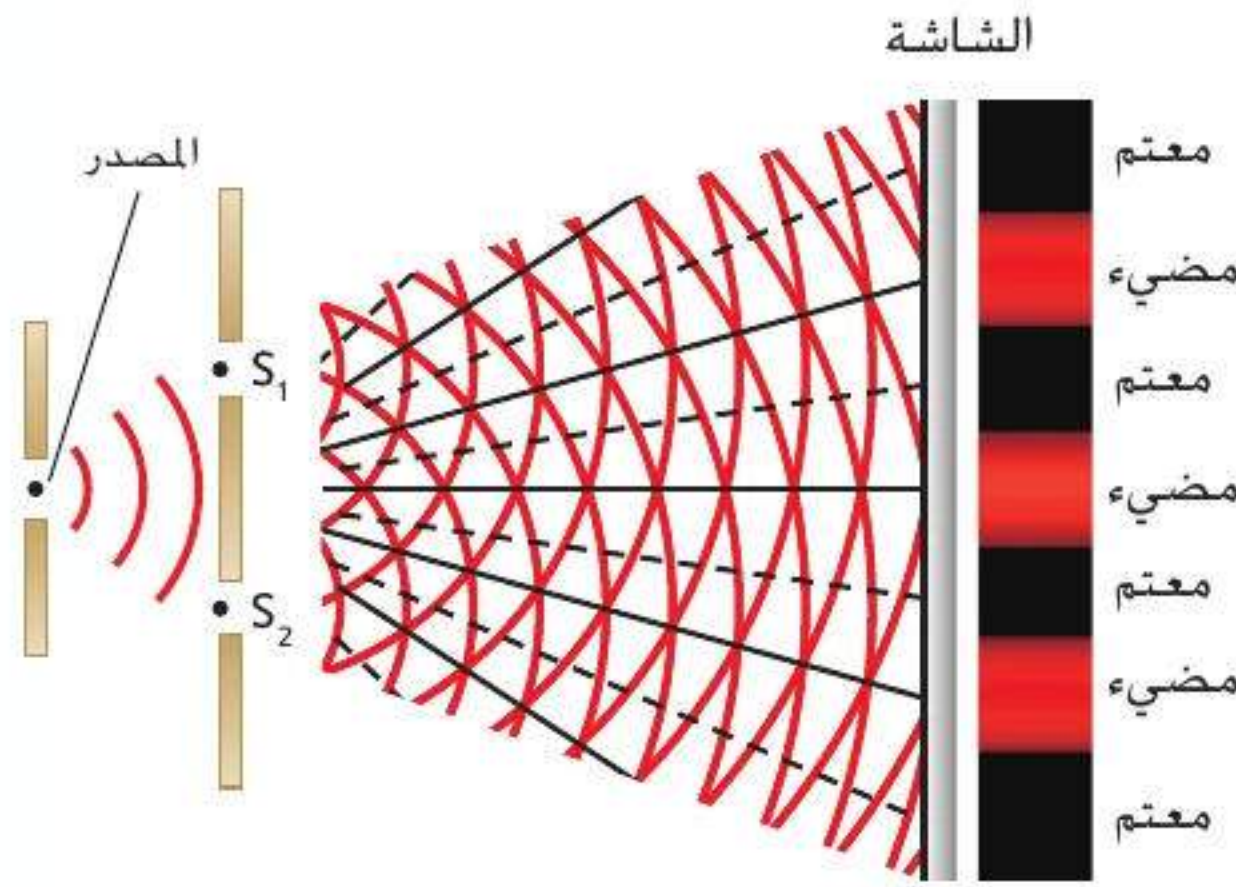
- يمكن أن ينتج عن تراكب الموجات الضوئية من مصادر الضوء المترابطة نمط تداخل. يُنتج الضوء المار عبر شقين ضيقين قريبين جدًا نمطًا من الحزم المضئية والمعتمة على شاشة، وتسمى أهداب التداخل.

- يمكن استخدام أنماط التداخل لقياس طول موجة الضوء.

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

----- تداخل هدام

_____ تداخل بناء



- يمكن أن تنشأ أنماط التداخل من مرور الضوء من خلال غشاء رقيق. يمكن تمثيل التداخل في الأغشية الرقيقة بالأشعة المنعكسة من عدة أسطح من غشاء رقيق. تحدد معاملات الانكسار للأوساط التي يمرّ من خلالها الضوء وسُمك الغشاء مدى تداخل أطوال موجات الضوء المختلفة.

المفردات

- ضوء غير مترابط
incoherent light
- ضوء مترابط
coherent light
- أهداب التداخل
interference fringes
- ضوء أحادي اللون
monochromatic light
- تداخل في الأغشية الرقيقة
thin-film interference

القسم 2 الحيود

الفكرة الرئيسية تحيد الموجات الضوئية عندما تمرّ عبر شق أحادي، وتتحيد وتتداخل عندما تسقط على محزوز حيود.

- يحيد الضوء الذي يمر من خلال شق ضيق، وهذا يعني انتشاره من مسار في خط مستقيم ليحدث نمط حيود على الشاشة. يرتبط عرض الحزمة المركزية المضئية في نمط حيود الشق الأحادي بطول موجة الضوء المستخدم.

- تتكوّن محزوزات الحيود من أعداد كبيرة من الشقوق القريبة جدًا من بعضها وتُحدث خطوطًا طيفية ضيقة تنشأ من تداخل الضوء الذي يحيد من جميع الشقوق.

- يمكن استخدام محزوزات الحيود لقياس طول موجة الضوء بدقة أو لفصل الضوء المكون من أطوال موجة مختلفة.

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

- يحدّ الحيود من قدرة الفتحة على التمييز بين جسمين متقاربين لأنّ الصورة الناتجة تحوي نقطة مركزية مضئية منتشرة. إذا كانت نقطتان مضئتان أقرب من حد الدقة، فستتداخل النقطتان ولا يمكن تمييز الأجسام.

المفردات

- نمط الحيود
diffraction pattern
- محزوز الحيود
diffraction grating
- معيار ريلييه
rayleigh criterion

القسم 1 التداخل

إتقان المفاهيم

31. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهمًا في تكوين نمط التداخل في تجربة الشق المزدوج؟

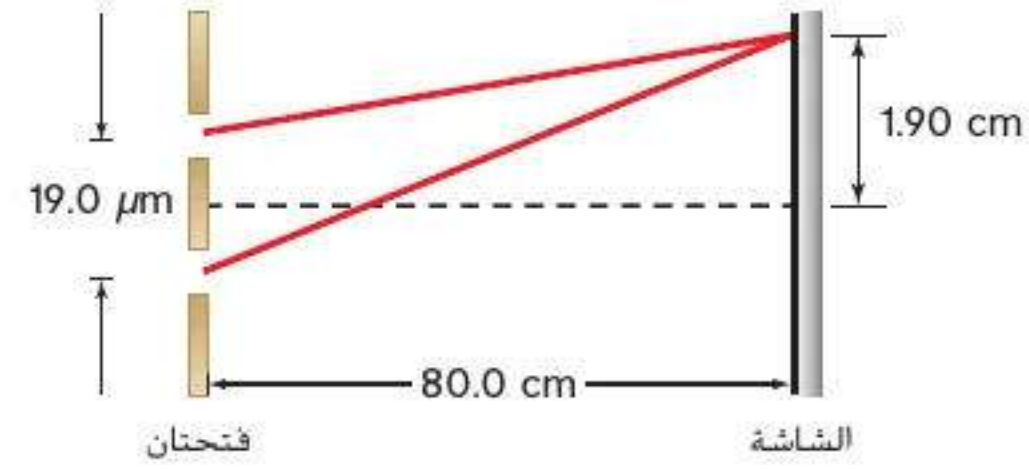
32. اشرح لماذا لا يمكن استخدام موقع الحزمة المركزية المضيئة لنمط تداخل الشق المزدوج لحساب الطول الموجي للضوء.

33. صف طريقة استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقين ضيقين.

34. صف بكلمات من عندك ما يحدث لتداخل الغشاء الرقيق عندما تنتج حزمة ملونة بواسطة ضوء ساقط على غشاء صابون معلق في الهواء. تأكد من أن تُضمّن في شرحك العلاقة بين الطول الموجي للضوء وسمك الغشاء.

إتقان حل المسائل

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



الشكل 23

36. البقع النفطية أخذ علي وصالح قطنهما وخرجا في نزهة قصيرة بعد المطر، فلاحظا طبقة نفطية رقيقة معامل انكسار مادتها ($n = 1.45$) على سطح بركة صغيرة تُنتج ألوانًا مختلفة. ما أقل سمك لطبقة النفط عندما يُكوّن النقط تداخلًا بناءً لضوء طوله الموجي 545 nm ؟

37. سمك الغشاء وُضع غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره ($n = 1.83$) على نافذة زجاجية ذاتية الحركة معامل انكسارها ($n = 1.52$). ما أقل سمك للغشاء سينعكس عنه ضوء أصفر مخضر طوله الموجي ($\lambda = 555 \text{ nm}$)؟ لكن لسوء الحظ، لا يمكن صنع غشاء بهذا السمك. فما السمك التالي الذي يحدث التأثير نفسه؟

38. غشاء العزل عندما اقترب فصل الشتاء، قام سالم بتغطية النوافذ في بيته برقاقات من البلاستيك الشفاف معامل انكساره ($n = 1.81$) ليمنع دخول تيارات الهواء. وبعد لصق الرقاقات البلاستيكية حول حواف النوافذ، قام بتسخينها باستخدام مجفف شعر لإحكام تثبيتها حول النوافذ، فأدى ذلك إلى تغيير السمك لكن لم يؤثر في معامل انكسار البلاستيك. ولاحظ سالم وجود خط أزرق في مكان ما على البلاستيك. فأدرك أنّ هذا الخط ناتج عن تداخل في الغشاء الرقيق. ما درجات السمك الثلاث المحتملة التي تكوّن خطأً أزرق إذا كان الطول الموجي للضوء 445 nm ؟

39. ترتيب أنتجت خمسة مؤشرات ليزر مختلفة أنماط تداخل شق مزدوج. وفي كل حالة، كانت المسافة الفاصلة بين الشقين 0.035 mm . رتب الحالات التالية وفقًا للطول الموجي لمؤشرات الليزر، بدءًا من الأقصر إلى الأطول. أشر إلى الروابط على وجه التحديد.

- A. عندما كان بُعد الشاشة عن الشقين 0.95 m . وكانت المسافة الفاصلة بين البقع المتجاورة المضيئة 12 mm .
- B. عندما كان بُعد الشاشة عن الشقين 0.95 m . وكانت المسافة الفاصلة بين البقع المتجاورة المضيئة 16 mm .
- C. عندما كان بُعد الشاشة عن الشقين 1.3 m . وكانت المسافة الفاصلة بين البقع المتجاورة المضيئة 20 mm .
- D. عندما كان بُعد الشاشة عن الشقين 2.8 m . وكانت المسافة الفاصلة بين البقع المتجاورة المضيئة 40 mm .
- E. عندما كان بُعد الشاشة عن الشقين 2.8 m . وكانت المسافة الفاصلة بين البقع المتجاورة المضيئة 50 mm .

القسم 2 الحيود

إتقان المفاهيم

40. الفكرة الرئيسية يُشع ضوء أبيض خلال محزوز حيود. هل تكون الفراغات بين الخطوط الحمراء الناتجة متقاربة أم متباعدة أكثر مقارنة بالخطوط البنفسجية الناتجة؟ لماذا؟

41. لماذا تتكوّن محزوزات الحيود من عدد كبير من الشقوق؟ لماذا تكون هذه الشقوق متقاربة جدًا؟

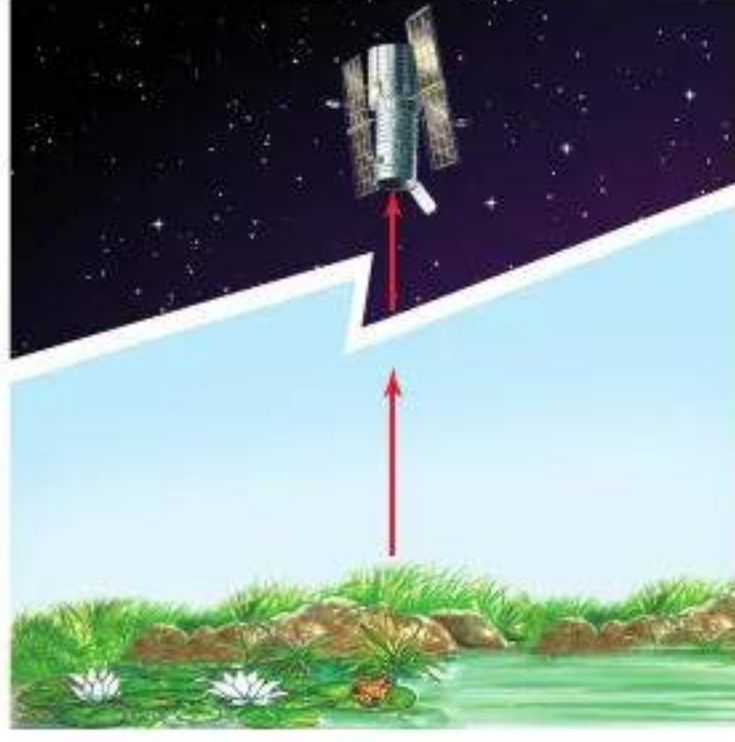
42. التلسكوبات لماذا يكون التلسكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمين متقاربين جدًا؟

43. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من واقع الحياة وتُمثّل المعادلة التالية جزءًا من الحل المطلوب لها:

$$x_1 = \frac{(2.00 \text{ m})(530 \text{ nm})}{0.20 \text{ nm}}$$

44. طرح المسائل أكمل هذه المسألة بحيث يتم حلها باستخدام معيار ريليه: "يتم تصنيع تلسكوب بحيث يكون قطر فتحة 8.0 m"

52. **تلسكوب هابل الفضائي** افترض أن تلسكوب هابل الفضائي الذي قطره 2.4 m في مدار يبعد 1.0×10^5 m فوق الأرض قد أُدير نحو الأرض لتصويرها. كما في الشكل 26. إذا أهملنا تأثير الغلاف الجوي، فما حجم الجسم الذي يمكن أن يحلله التلسكوب؟ استخدم الطول الموجي $\lambda = 515$ nm.



الشكل 26

53. **المنظار الطيفي** يُستخدم في منظار طيفي محزوز حيود يحوي 12,000 خط لكل cm. أوجد الزاويتين اللتين توجد عندهما الخطوط المضئية ذات الرتبة الأولى لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي (632 nm) والضوء الأزرق الذي طوله الموجي (421 nm).

تطبيق المفاهيم

54. **معرض العلوم** في معرض علوم، كان أحد المعارض عبارة عن غشاء كبير جدًا من الصابون ذي سمك ثابت تقريبًا. ويضاء بواسطة ضوء طوله الموجي 432 nm. فيظهر السطح كاملاً تقريبًا على شكل ظل أرجواني رائع. فماذا تشاهد في الحالات التالية؟

- عندما يتضاعف سمك الغشاء.
- عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط.
- عندما يتناقص سمك الغشاء بمقدار ربع الطول الموجي للضوء الساقط.

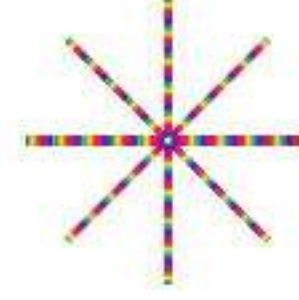
55. ما أوجه الاختلاف في خصائص أنماط الحيود الناتجة عن محزوزات الحيود التي تحوي 10^4 خط لكل cm و 10^5 خط لكل cm؟

56. **تحدي مؤشر الليزر** لديك مؤشر ليزر، أحدهما ضوء أحمر والآخر ضوء أخضر. واختلف زميلك أحمد وفارس في تحديد أي منهما له طول موجي أكبر. وأصرَّ أحمد على أنَّ الضوء الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فارس متأكد أنَّ الضوء الأخضر له طول موجي أكبر. ولديك قرص مدمج متوفر. صف العرض الذي ستنفذه بهذه الأداة وطريقة شرح النتائج التي توصلت إليها لكل من فارس وأحمد لحل الخلاف بينهما.

57. صف كيف ستوضح ما إذا كان نمط ما ناتج عن شق أحادي أم شق مزدوج؟

45. ما لون الضوء المرئي الذي ينتج خطأ ساطعًا قريبًا جدًا من الحزمة المركزية المضئية بالنسبة إلى محزوز حيود معين؟

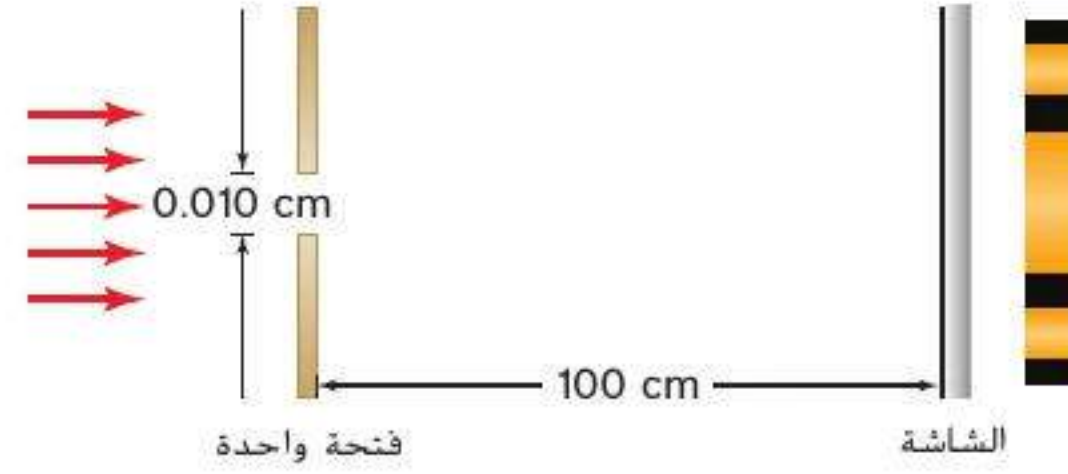
46. عندما تنظر من خلال نظارة فكاكية إلى مصباح متوهج، ترى خطوطًا رفيعة من ألوان الطيف تنبعث من الضوء في ثمانية اتجاهات كما في الشكل 24. فتلاحظ أنَّ النظارة تعمل كمحزوزات حيود. ما اتجاهات الخدوش في هذه النظارة؟



الشكل 24

إتقان حل المسائل

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



الشكل 25

48. محزوز حيود جيد يحوي 2.5×10^3 خط لكل cm. ما المسافة بين كل خطين؟

49. يمر ضوء طوله الموجي 455 nm خلال شق أحادي ويسقط على شاشة تبعد 100 cm. إذا كان عرض الشق 0.015 cm، فما المسافة بين مركز النمط والحزمة المعتمة الأولى؟

50. **الكاليدوسكوب** أزيلت المرايا من الكاليدوسكوب. وكان قطر فتحة العين عند الطرف الخلفي 7.0 mm. إذا كان من الصعب تمييز بقعتين صغيرتين لونهما أرجواني يميل إلى الزرقة موجودتين على الجانب الآخر من الكاليدوسكوب وتفضل بينهما مسافة $40 \mu\text{m}$ ، فما طول الكاليدوسكوب؟ استخدم الطول الموجي $\lambda = 650$ nm وافترض أنَّ الدقة محدودة بالحيود بواسطة فتحة العين.

51. يمر ضوء أحادي اللون طوله الموجي 425 nm خلال شق أحادي ويسقط على شاشة تبعد 75 cm. إذا كان عرض الحزمة المركزية المضئية 0.60 cm، فما عرض الشق؟

التفكير الناقد

64. طبق المفاهيم سقط ضوء أصفر على محزوز حيود. فتكوّنت ثلاث بقع على الشاشة خلف المحزوز: إحداها عند الدرجة صفر حيث لا يحدث حيود، والثانية عند $30^\circ +$ والثالثة عند $30^\circ -$. ثم أسقطت ضوءاً أزرق متماثلاً الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسه. ما نمط البقع التي ستلاحظها على الشاشة الآن؟

65. طبق المفاهيم يمرّ ضوء أزرق طوله الموجي λ عبر شق أحادي عرضه w . فظهر نمط حيود على شاشة. إذا استخدمت ضوءاً أخضر طوله الموجي 1.5λ بدلاً من الضوء الأزرق، فكم يجب أن يكون عرض الشق للحصول على النمط السابق نفسه؟

66. التحليل والاستنتاج يكون قطر حدقة العين البشرية 8.0 mm أثناء الليل. في حين يقل هذا القطر أثناء النهار. ما المسافة التي يجب أن تبغدها العين البشرية عن المصباحين الأماميين لسيارة بحيث يمكنها تمييز هذين المصباحين ليلاً. علماً بأن المسافة الفاصلة بين المصباحين 1.8 m ؟ تلميح: افترض أن الطول الموجي هو 525 nm . ما العوامل المحددة الأخرى المحتملة إلى جانب الحيود؟

الكتابة في الفيزياء

67. ابحث ووصف مساهمات العالم توماس يونج في الفيزياء. وقيّم تأثير أبحاثه في الفكر العلمي حول طبيعة الضوء.

68. يلعب الحجر الكريم أوبال متألئاً بألوان قوس قزح. ابحث ووصف طريقة إنتاج هذه الألوان.

69. تتميز تلسكوبات كثيرة ببصريات متكيفة تقلل من تأثيرات الغلاف الجوي التي تؤدي إلى تآلؤ النجوم. ابحث ووصف طريقة عمل أنظمة هذه التلسكوبات.

70. ابحث ثم فسّر دور الحيود في الطب وعلم الفلك. ووصف على الأقل تطبيقين لكل منهما.

مراجعة تراكمية

71. ما مقدار الشغل اللازم بذله لدفع مكعب خشبي حجمه 0.5 m^3 إلى قاع بركة سباحة عمقه 4 m علماً بأن كثافة الخشب 500 kg/m^3 .

72. ما الأطوال الموجية لموجات الميكروويف في فرن إذا كان ترددها 2.4 GHz ؟

73. لديك مرآة مقعرة نصف قطرها 48.0 cm . ووضعت جسم طوله 2.0 cm على بُعد 12.0 cm منها. احسب بُعد الصورة وطولها.

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

58. الميكروسكوب البصري لماذا يُستخدم الضوء الأزرق للإضاءة في ميكروسكوب بصري؟

59. وضح في كل من الأمثلة التالية ما إذا كان اللون ناتجاً عن التداخل في الأغشية الرقيقة أم عن الانكسار أم عن وجود صبغات.

a. فقاعات الصابون
b. بتلات وردة
c. أغشية زيتية
d. قوس قزح

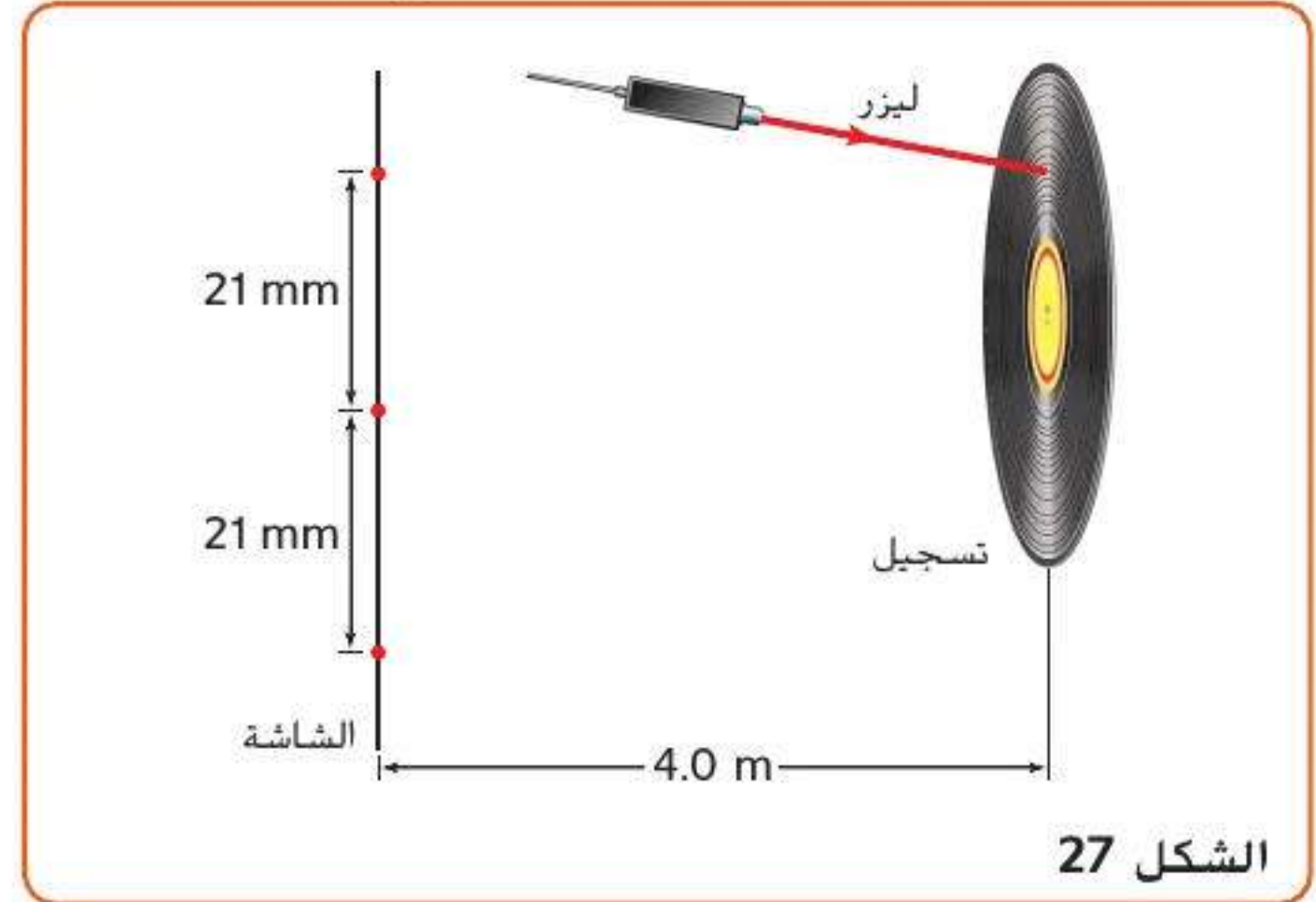
60. صف التغييرات في نمط حيود شق أحادي عندما يتناقص عرض الشق.

مراجعة عامة

61. أسطوانة الفونوغراف تستخدم منى أسطوانة فونوغراف قديمة سرعة دورانها $33\frac{1}{3}$ كمحزوز حيود. وسلّطت ليزراً طول ضوئه الموجي $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ على أسطوانة الفونوغراف. كما في الشكل 27. فرأت مجموعة من النقاط الحمراء يتباعد بعضها عن بعض مسافة 21 mm على شاشة تبعد 4.0 mm .

a. كم عدد الخطوط في كل سنتيمتر على امتداد نصف قطر أسطوانة الفونوغراف؟

b. تحققت منى من النتائج التي توصلت إليها عندما لاحظت أن التواءات تمثل أغنية مدتها 4.01 min وتشغل 16 mm على أسطوانة الفونوغراف. فكم عدد الخطوط في كل سنتيمتر؟



الشكل 27

62. الكاميرا تم ضبط كاميرا عدستها 50 mm على $\frac{f}{8}$. فكان قطر فتحتها 6.25 mm .

a. يستشعر مكشاف جهاز اقتران الشحنة الذي يبعد 50.0 mm الضوء عند طول موجي $\lambda = 550 \text{ nm}$. ما دقة العدسة؟

b. يعرف مالك الكاميرا أن أقصى دقة للصور هي 6.3 ميكرومتر بكسل في مكشاف جهاز اقتران الشحنة. وتقول الشركة المُصنعة إن حجم كل بكسل $7.6 \mu\text{m}$ على كل جانب. قارن بين حجم البكسل وعرض البقعة المركزية المحسوبة في النقطة الفرعية a من السؤال.

63. وُضع طلاء مانع للانعكاس معامل انكساره $(n = 1.2)$ على عدسة وكان سمك هذا الطلاء 125 nm . ما لون (ألوان) الضوء الذي يحدث عنده تداخل هدام بصورة كاملة؟

5. تبعد شقوق محزوز عن بعضها بمقدار 0.055 mm. ما زاوية الخط المضيء ذي الرتبة الأولى لضوء طوله موجته 650 nm؟

A. 0.012° C. 1.0°

B. 0.68° D. 11°

6. بضوء شعاع ليزر طول موجته 638 nm شقين ضيقين. تبعد الحزمة ذات الرتبة الثالثة للنمط الناتج عن الحزمة المركزية المضئية بمقدار 7.5 cm. تبعد الشاشة عن الشقوق بمقدار 2.475 m. ما المسافة الفاصلة بين الشقين؟

A. $5.8 \times 10^{-8} \text{ m}$ C. $2.1 \times 10^{-5} \text{ m}$

B. $6.3 \times 10^{-7} \text{ m}$ D. $6.3 \times 10^{-5} \text{ m}$

7. وُضعت شاشة مستوية على بُعد 4.200 m من شقين مضائين بواسطة شعاع ضوء أحادي اللون. على الشاشة، تصل المسافة الفاصلة بين الحزمة المضئية المركزية والحزمة المضئية ذات الرتبة الثانية إلى 0.082 m. تبلغ المسافة بين الشقين $5.3 \times 10^{-5} \text{ m}$. حدد طول موجة الضوء.

A. $2.6 \times 10^{-7} \text{ m}$ C. $6.2 \times 10^{-7} \text{ m}$

B. $5.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ D. $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}$

8. ينفخ مهرج فقاعات صابون وتلاحظ أن لون جزء واحد من الفقاعة الكبيرة بشكل خاص يوافق لون أنفه. إذا كانت الفقاعة تعكس موجات الضوء الأحمر بمقدار $6.5 \times 10^{-7} \text{ m}$ وكان معامل الانكسار لغشاء الفقاعة 1.41، فما الحد الأدنى لسمك فقاعة الصابون في الموقع الذي تعكس فيه الضوء الأحمر؟

A. $1.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ C. $9.2 \times 10^{-7} \text{ m}$

B. $3.5 \times 10^{-7} \text{ m}$ D. $1.9 \times 10^{-6} \text{ m}$

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

9. يُنتج محزوز حيود يتكون من 6000 شق لكل cm نمط حيود يتضمن خطأ مضئاً من الرتبة الأولى عند 20° من الخط المركزي المضيء. فما الطول الموجي للضوء؟

الاختبار من متعدد

1. ما أفضل تفسير محتمل لسبب تغيّر ألوان الغشاء الرقيق، مثل فقاعة الصابون أو الزيت على الماء وتحركها كما ترى؟

A. لأن موجات الحمل الحراري في الهواء بجانب الغشاء الرقيق تشوه الضوء

B. لأن سمك الغشاء في موقع معين يتغيّر مع مرور الزمن

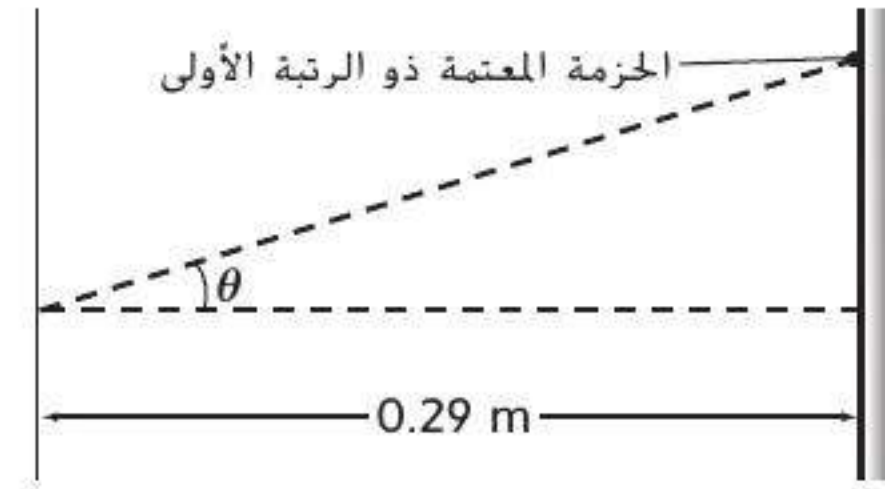
C. لأن أطوال موجة ضوء الشمس تختلف مع مرور الزمن

D. لأن رؤيتك تختلف إلى حد ما مع مرور الزمن

2. يظهر الضوء عند 410 nm من خلال شق ويسقط على شاشة مسطحة كما هو موضح في الشكل التالي. يبلغ عرض الشق $3.8 \times 10^{-6} \text{ m}$. ما عرض الحزمة المركزية المضئية؟

A. 0.024 m C. 0.048 m

B. 0.031 m D. 0.063 m



3. في ما يتعلق بالحالة الموضحة في المسألة 2، ما زاوية (θ) للحزمة الأولى المعتمدة؟

A. 3.1° C. 12°

B. 6.2° D. 17°

4. يبعد نجمان عن الأرض بمقدار 6.2×10^4 سنة ضوئية وتصل المسافة بينهما إلى 3.1 سنوات ضوئية. ما أصغر قطر لتلسكوب يمكن أن يميّز بينهما باستخدام ضوء طوله موجته 610 nm؟

A. $5.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ C. $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$

B. $6.1 \times 10^{-5} \text{ m}$ D. $1.5 \times 10^7 \text{ m}$

الحركة في بُعدين

الفكرة الرئيسية يمكنك استخدام المتجهات وقوانين نيوتن لوصف حركة المقذوفات والحركة الدائرية.

الأقسام

1 حركة المقذوف

2 الحركة الدائرية

3 السرعة المتجهة النسبية

التجربة الاستهلاكية

حركة المقذوف

كيف يبدو شكل مسار المقذوف، على سبيل المثال مسار الكرة في الهواء؟



McGraw-Hill Education, Customimages/Photo Researchers, Inc.

Motion in Two Dimensions, Chapter 6, from Glencoe, physics, Principles & Problems, ©2012
McGraw-Hill Education, مؤسسة موهبي للكتاب © محفوظة الحقوق



McGraw-Hill Education, Inc. and its subsidiaries. All rights reserved. © 2017

All Chapters from Glencoe Physics: Principles & Problems, Student Edition ©2017

حركة المقذوف

القسم 1



الفيزياء في حياتك

عندما تقذف الكرة المطاطية أو كرة القدم، فإنها تقطع المسافة في شكل قوس. تُعد هذه الكرات المتحركة من المقذوفات. كلمة مقذوف مشتقة من البادئة اللاتينية *pro-* ومعناها "الأمام"، والجذر اللاتيني *ject* ومعناه "إلقاء".

مسار المقذوف

يتحرك كل من الضفدع القافز وكرة الثلج المقذوفة والسهم المنطلق من القوس في مسارات مماثلة. يرتفع كل مسار ويهبط، ودائماً ما يكون هبوطاً مائلاً في مسار على شكل قطع مكافئ. يُعرف الجسم المنطلق في الهواء باسم **المقذوف**. يمكنك إعداد مخطط الجسم الحر لمقذوف منطلق وتحديد القوى المؤثرة فيه. إذا تجاهلت مقاومة الهواء، بعدما ينطلق المقذوف بقوة ابتدائية، فإن الجاذبية ستكون القوة الوحيدة التي تؤثر فيه أثناء تحركه في الهواء. تتسبب الجاذبية في أن يهبط الجسم هبوطاً مائلاً. يُعرف مساره في الفراغ باسم **مسار المقذوف**. يمكنك تحديد مسار المقذوف إذا كنت تعرف سرعته الابتدائية. في هذه الوحدة، سنتناول نوعين من حركة المقذوفات. يوضح الجزء العلوي من الشكل 1 الماء المنطلق انطلاقاً أفقياً في شكل مقذوف. بينما يوضح الجزء السفلي من الشكل الماء المنطلق كمقذوف بزاوية. في كلتا الحالتين، تجعل الجاذبية مسار الهبوط منحنيًا للأسفل في شكل قطع مكافئ.

الشكل 1 يميل المقذوف المنطلق انطلاقاً أفقياً مباشرة عند هبوطه، لكن إذا أطلق لأعلى بزاوية، فإنه سيرتفع ويهبط بعد ذلك، ودائماً ما يكون الهبوط في بشكل منحني.

الفكرة الرئيسية

الحركة الأفقية للمقذوف مستقلة عن حركته الرأسية.

الأسئلة الرئيسية

- إلى أي مدى ترتبط الحركات الرأسية بالحركات الأفقية للمقذوف؟
- ما العلاقات بين ارتفاع المقذوف والزمن الذي يستغرقه في الهواء وسرعته الابتدائية والمسافة الأفقية التي يقطعها؟

مراجعة المفردات

مخطط الحركة **motion diagram**

عبارة عن مجموعة من الصور الموضحة لمواقع جسم متحرك والملتقطة على مدار فترات زمنية منتظمة.

المفردات الجديدة

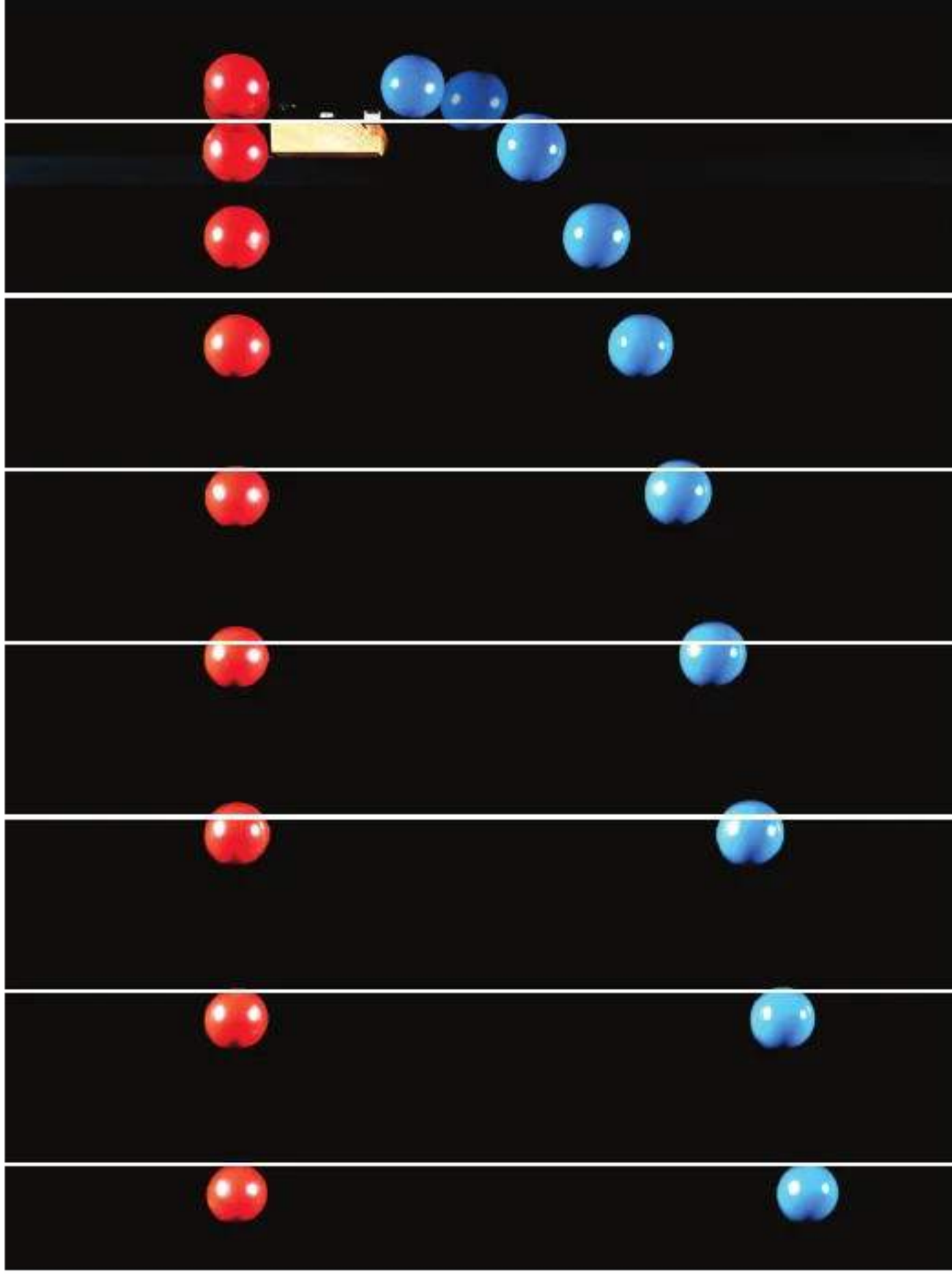
projectile

المقذوف

trajectory

مسار المقذوف





الشكل 2 سقطت الكرة الموجودة على اليسار بدون سرعة ابتدائية. بينما تأثرت الكرة الموجودة على اليمين بسرعة أفقية ابتدائية. الكرتان لهما الحركة الرأسية نفسها في كل لحظة أثناء الحركة **حدّد** ما السرعة الرأسية للكرات بعد 1s من بدء حركتها

تجربة مصفرة

كتلة المقذوف

هل تؤثر كتلة المقذوف في حركته ؟

مسار المقذوف

هل ترتبط الحركات الأفقية بالحركات الرأسية للمقذوف؟

حرية الحركة في بُعدين

فكّر في قيام لاعبين لعبة الكرة المطاطية بالإحماء للعب إحدى المباريات، حيث يقذفان الكرات عاليًا ذهبا وإيابًا. ما شكل المسار الذي تتخذه الكرة وهي في الهواء؟ نظرًا لاعتبار الكرة من المقذوفات. تأخذ مسارًا على شكل قطع مكافئ. تخيّل أنك تجلس خلف أحد اللاعبين مباشرة وتراقب الكرة المطاطية أثناء قذفها. ما الشكل الذي تتخذه حركة الكرة؟ سترها ترتفع لأعلى وتهبط لأسفل. مثلها مثل أي جسم يُقذف رأسياً لأعلى في الهواء. إذا كنت قد شاهدت الكرة المطاطية من منطاد أعلى الملعب مباشرة، فما الحركة التي شاهدتها آنذاك؟ ستشاهد الكرة تتحرك من أحد اللاعبين إلى اللاعب الآخر بسرعة ثابتة، مثلها مثل أي جسم ينطلق بسرعة أفقية ابتدائية، كقرص الهوكي الذي يُقذف على الجليد. تُعد حركة المقذوفات مزيجًا من هاتين الحركتين.

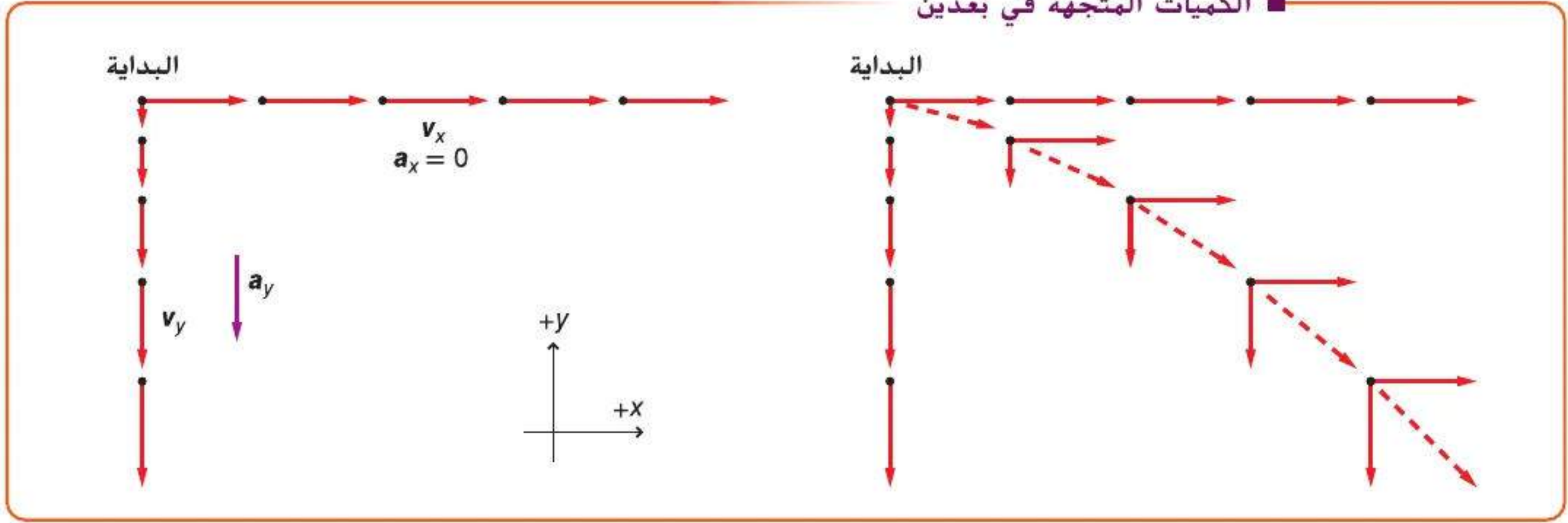
لماذا تتصرف المقذوفات بهذه الطريقة؟ بعدما تخرج الكرة المطاطية من يد اللاعب، ما القوى المؤثرة في الكرة؟ إذا تجاهلت مقاومة الهواء، فلن تكون هناك قوى تلامس مؤثرة في الكرة. لن تكون هناك سوى قوة مجال الجاذبية التي تؤثر في اتجاه الهبوط. ما مدى تأثير هذا في حركة الكرة؟ الجاذبية تكسب الكرة تسارعًا اتجاهه للأسفل.

مقارنة مخططات الحركة تعرض الشكل 2 مسارات الكرتين. سقطت الكرة الحمراء، وانطلقت الكرة الزرقاء بسرعة أفقية ابتدائية. ما أوجه الشبه بين المسارين؟ ألق نظرة على مواقعها الرأسية. تشير الخطوط الأفقية إلى المسافات الرأسية المتساوية. كان ارتفاع الكرتين نفسه في كل لحظة التقطت فيها صورة. ولأن التغيّر في الموقع الرأسي هو نفسه لكليهما، كان متوسط السرعات الرأسية خلال كل فترة زمنية هو نفسه كذلك. يبين معدل التزايد في المسافة الكبيرة التي تقطعها الكرات رأسياً، من فترة زمنية لأخرى، أنها تتسارع عند الهبوط بسبب تأثير قوة الجاذبية.

لاحظ أن الحركة الأفقية للكرة المنطلقة لا تؤثر في حركتها الرأسية. المقذوف أفقيًا له سرعة أفقية ابتدائية، لكن ليس له أي سرعة رأسية ابتدائية. ومن ثم فحركته الرأسية مماثلة لجسم يسقط من موضع السكون. تمامًا مثل الكرة الحمراء، يكون للكرة الزرقاء سرعة هبوط تزداد بانتظام بسبب التسارع الذي تُسببه الجاذبية.

✓ **التأكد من فهم النص** اشرح لماذا يكون للجسم الساقط سرعة متجهة رأسية مماثلة للجسم المقذوف أفقيًا.

■ الكميات المتجهة في بُعدين



الشكل 3 لوصف حركة مقذوف أُطلق أفقيًا. يمكن التعامل مع مركبات x و y كل على حدة. تُمثل محصلة متجهات السرعة للمقذوف عند كل نقطة مماس القطع المكافئ الذي يمثل مسار المقذوف.

الاستنتاج أوجد قيمة a_y ؟

المقذوفات التي أُطلقت أفقيًا

تخيّل أن شخصًا يقف بالقرب من حافة جرف ويرمي حصاة رميًا أفقيًا. مثل كل المقذوفات المنطلقة أفقيًا، ستكون للحصاة سرعة أفقية ابتدائية. لكن لن يكون لها سرعة رأسية ابتدائية. ماذا سيحدث للحصاة وهي تسقط من الجرف؟

مخططات الحركة المنفصلة تذكر أن الحركة الأفقية للمقذوف لا تؤثر في حركته الرأسية. لذلك يسهل تحليل الحركة الأفقية والحركة الرأسية كل على حدة. تظهر مخططات الحركة المنفصلة لمركبات x و y لمتجهات السرعة للمقذوف المنطلق انطلاقًا أفقيًا، مثل الحصاة التي تُرمى من الجرف، على الجانب الأيسر في الشكل 3.

الحركة الأفقية لاحظ وجود المتجهات الأفقية في الرسم على الجانب الأيسر. كل متجه من متجهات السرعة له الطول نفسه، مما يشير إلى أن سرعة الجسم في الاتجاه الأفقي لا تتغير. لا تتسارع الحصاة في الاتجاه الأفقي. هذه السرعة الثابتة في الاتجاه الأفقي هي ما ينبغي توقعه بالضبط، لأنه بعد الرمية الابتدائية، لا توجد قوة أفقية تؤثر في الحصاة. (في الواقع، ستتناقص سرعة الحصاة تناقصًا طفيفًا بسبب مقاومة الهواء، لكن عليك تذكر أننا نتجاهل مقاومة الهواء في هذه الوحدة.)

✓ **التأكد من فهم النص** اشرح السبب في كون الحركة الأفقية للمقذوف ثابتة.

الحركة الرأسية ألق نظرة الآن على متجهات السرعة الرأسية الموجودة في الرسم على الجانب الأيسر. يتجاوز طول كل متجه للسرعة طول المتجه الواقع فوقه بمقدار طفيف. يُظهر الطول المتغير أن سرعة الجسم تزايد وتتسارع نحو الأسفل. مرة أخرى، هذا ما ينبغي توقعه، لأن قوة الجاذبية في هذه الحالة تؤثر في الحصاة.

مسار القطع المكافئ عند التعامل مع مركبات x و y لحركة الجسم على حدة، يتخذ كل مسار خطًا مستقيمًا. يوضح الرسم الموجود على الجانب الأيمن في الشكل 3 مسار القطع المكافئ الفعلي. تضاف المركبات الأفقية والرأسية في كل لحظة لتكوين متجه السرعة الكلية في تلك اللحظة. يمكنك أن ترى كيف تنشئ مجموعة السرعة الأفقية الثابتة والتسارع الرأسى المنتظم مسارًا يتخذ شكل القطع المكافئ.

مختبر الفيزياء

إجراء تحقيق

المختبر الجانبي كيف يمكن للفيزياء إعادة بناء إطلاق قذيفة؟

بلوغ الهدف

صمم تجربتك بنفسك ما العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف؟

الحركة في بُعدين

عند حل مسائل المقذوفات، استخدم الاستراتيجيات التالية.

1. ارسم مخططاً للحركة يتضمن كميات متجهة للمقذوف عند الموقع الابتدائي والموقع النهائي له. إذا أطلق المقذوف بزاوية، فوضّح أيضًا أقصى ارتفاع يصل إليه وزاويته الابتدائية.
2. قدّر الحركة الرأسية والأفقية كل على حدة. أنشئ قائمة بالمتغيرات المعطاة والمطلوبة.
3. في الحركة الأفقية، التسارع يساوي $a_x = 0.0 \text{ m/s}^2$. أما إذا أطلق المقذوف بزاوية، فإن سرعته الرأسية الابتدائية وسرعته الرأسية عند سقوطه وعودته لنفس الارتفاع يكن لهما نفس المقدار ولكن باتجاهين مختلفين: $v_{yi} = -v_{yf}$.
4. في الحركة الرأسية، يكون $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$ (إذا اخترت الاتجاه لأعلى قيمة موجبة). إذا أطلق المقذوف بزاوية، فإن سرعته الرأسية عند أعلى نقطة يصل إليها تساوي صفرًا: $v_y = 0$ الحد الأقصى.
5. اختر معادلات الحركة التي تساعدك على إيجاد المتغيرات المجهولة. استخدمها في إيجاد الحركة الرأسية والأفقية كل على حدة. تذكر أن الزمن هو نفسه للحركة الأفقية والرأسية. يؤدي إيجاد الزمن في أحد البُعدين إلى معرفة زمن البعد الآخر.
6. من المفيد أحيانًا استخدام معادلات الحركة لإيجاد جزء من مسار المقذوف. يمكنك اختيار أي نقاط ابتدائية ونهاية لاستخدامها في المعادلات.

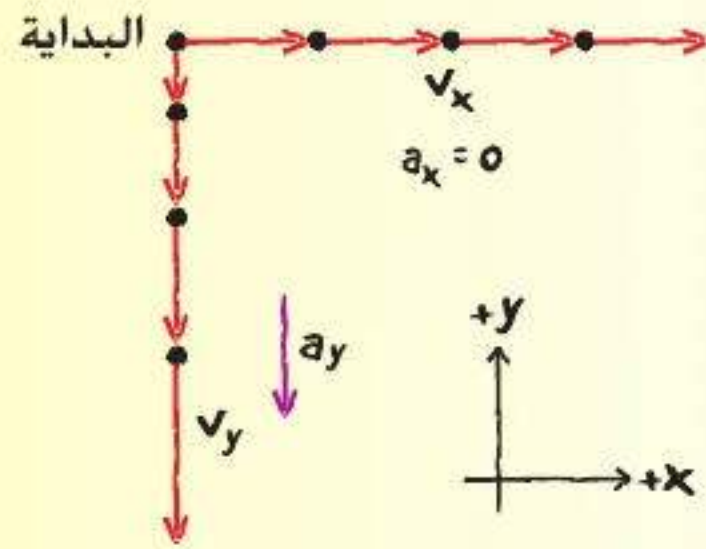
معادلات الحركة
أفقية (سرعة ثابتة)
 $x_f = v t_f + x_i$
رأسية (تسارع ثابت)
 $v_f = v_i + a t_f$
 $x_f = x_i + v_i t_f + \frac{1}{2} a t_f^2$
 $v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$

مثال 1

الطبق المُنزلق لنفترض أنك تحضّر طعام الفطور وتدفع الطبق على طاولة المطبخ. لسوء الحظ، دفعته بسرعة كبيرة، حتى وصل إلى طرف طاولة المطبخ. إذا كانت طاولة المطبخ ترتفع عن الأرض بمقدار 1.05 m وقد غادر حافة الطاولة الطاولة بسرعة 0.74 m/s، فما المدة التي يستغرقها حتى يسقط، وما بعد نقطة ارتطامه بالأرض عن حافة الطاولة.

1 تحليل المسألة

ارسم مخططات الحركة الأفقية والرأسية. اختر النظام الإحداثي بحيث تكون نقطة الأصل على الجزء العلوي من طاولة المطبخ. اختر اتجاه محور x الموجب في اتجاه السرعة الأفقية واتجاه محور y الموجب لأعلى.



المعلوم

المجهول

$x_i = y_i = 0 \text{ m}$	$a_x = 0 \text{ m/s}^2$	$t = ?$
$v_{xi} = 0.75 \text{ m/s}$	$a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$	$x_f = ?$
$v_{yi} = 0 \text{ m/s}$	$y_f = -1.05 \text{ m}$	

2 إيجاد المجهول

استخدم معادلة الحركة في اتجاه المحور y لإيجاد زمن السقوط

$$y_f = y_i + \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2(y_f - y_i)}{a_y}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(-1.05 \text{ m} - 0 \text{ m})}{-9.8 \text{ m/s}^2}} = 0.46 \text{ s}$$

استخدم معادلة الحركة في اتجاه المحور x لمعرفة موضع اصطدام الطبق بالأرض.

$$x_f = v_x t = (0.74 \text{ m/s})(0.46 \text{ s}) = 0.34 \text{ m} \text{ إلى الجانب الأيمن من الطاولة}$$

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يُقاس الزمن بالثواني. يقاس الموقع بالأمتار.
- هل الإشارات مفهومة؟ كلاهما موجب. تتوافق إشارة الموقع مع الاختيار الإحداثي.
- هل المقادير واقعية؟ يستغرق السقوط لمسافة متر واحد حوالي 0.5 s. وخلال هذه الفترة، تساوي الإزاحة الأفقية للطبق $0.5 \text{ s} \times 0.74 \text{ m/s}$.

1. ترمي حجزاً أفقياً بسرعة تبلغ 5.0 m/s من أعلى تل يرتفع 78.4 m .
 a. ما المدة التي يستغرقها الحجر للوصول إلى أسفل التل؟
 b. كم تبلغ المسافة التي يبعدها موضع سقوط الحجر عن قاعدة التل؟
 c. ما المركبات الأفقية والرأسية لسرعة الحجر قبل اصطدامه بالأرض؟
2. تعمل سامية وصديقتها في مصنع تجميع يصنع دمي الزرافات الخشبية. عند نهاية خط الإنتاج، تنتقل دمي الزرافات أفقياً إلى حافة السير الناقل وتسقط بداخل الصندوق الموجود أسفله. إذا كان الصندوق يقع أسفل مستوى السير الناقل بحوالي 0.60 m وبعيداً عنه بحوالي 0.40 m ، فكم يجب أن تكون السرعة الأفقية للدمي عندما تترك السير الناقل؟
3. التحدي تزور صديقاً من المدرسة الابتدائية يعيش الآن في قرية صغيرة. يتمثل أحد أماكن التسلية في صالة الآيس كريم، حيث يدفع مراد، طاهي الوجبات السريعة، مثلجات الآيس كريم على الطاولة بسرعة ثابتة تبلغ 2.0 m/s إلى النادل. (يحافظ على الطاولة ملمعة جيداً لهذا الغرض.) إذا التقط النادل المثلجات على مسافة 7.0 cm من حافة الطاولة، ما مقدار مسافة سقوط الآيس كريم من حافة الطاولة إلى الموضع الذي يلتقطها عنده.

الإطلاق بزاوية

عند إطلاق مقذوف بزاوية مائلة، يكون للسرعة الابتدائية مركبة رأسية و مركبة أفقية. إذا أطلق الجسم لأعلى، مثل كرة مقذوفة لأعلى في الهواء، فسيرتفع بسرعة بطيئة وسيصل إلى قمة مساره حيث تساوي سرعته صفراً للحظة ومن ثم يهبط بسرعة متزايدة.

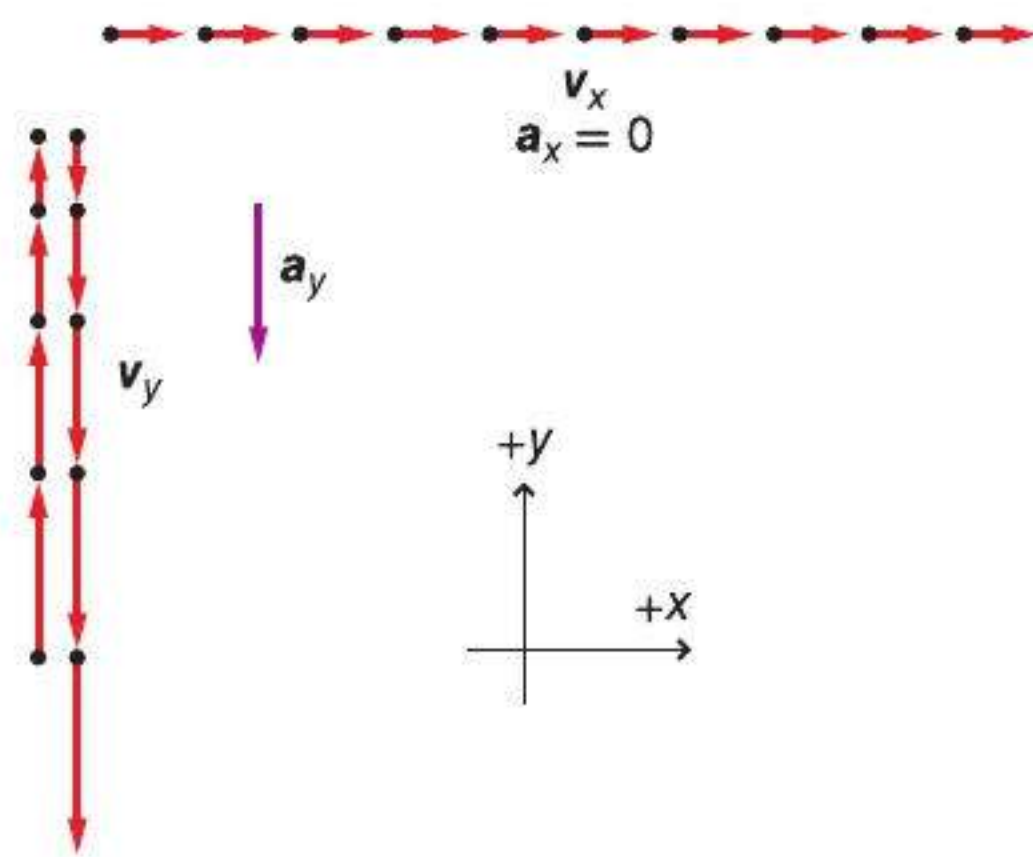
مخططات الحركة المنفصلة يوضح المخطط العلوي في الشكل 4 مخططات الحركة الرأسية والأفقية المنفصلة بالنسبة إلى مسارها. في النظام الإحداثي، يكون المحور x أفقياً ويكون المحور y رأسياً. لاحظ التماثل. عند كل نقطة في الاتجاه الرأسي، يكون لسرعة الجسم وهو يتحرك لأعلى المقدار نفسه عندما يتحرك هابطاً لأسفل. يتمثل الفرق الوحيد في أن اتجاهي سرعتين متضادان. عند حل المسائل، يكون من المفيد أحياناً مراعاة التماثل لإيجاد الكميات المطلوبة.

مسار القطع المكافئ يُحدد الرسم السفلي في الشكل 4 كميتين مقترنتين بمسار المقذوف. تُمثل إحداها أقصى ارتفاع، وهو الارتفاع الذي يصل إليه المقذوف عندما تساوي السرعة الرأسية صفراً ويكون للمقذوف فقط مُكوّن ذو سرعة أفقية. بينما تُمثل الكمية الأخرى المدى (R)، الذي يُقصد به المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف عندما تكون الارتفاعات الابتدائية والنهائية هي نفسها. يكون زمن التحليق مجهولاً، ويُقصد به مقدار الزمن الذي يبقى فيه المقذوف في الهواء. بالنسبة إلى ضربات الكرة في البيسبول، يُطلق على زمن التحليق غالباً زمن التعلق.

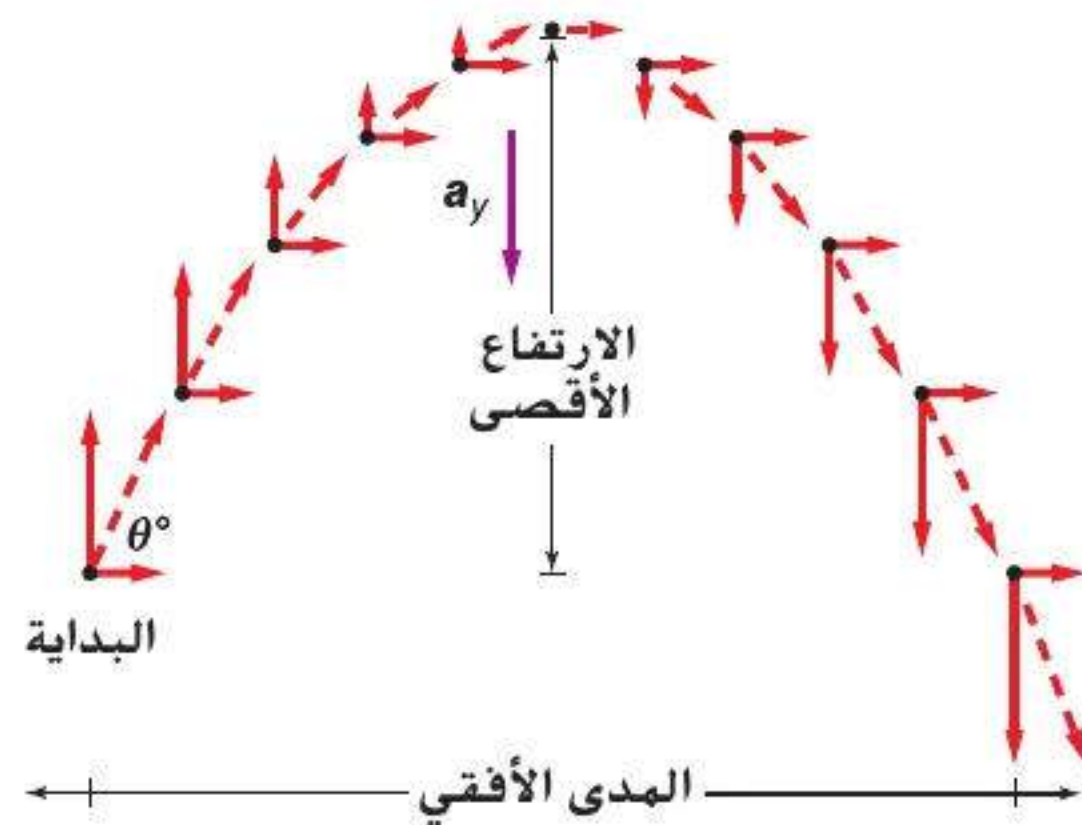
✓ **التأكد من فهم النص** عند أي نقطة في مسار المقذوف سرعته الرأسية تساوي صفراً؟

الشكل 4 عند إطلاق مقذوف بزاوية مائلة لأعلى، يكون اتجاه مسار القطع المكافئ لأعلى ثم لأسفل. تُمثل الحركة لأعلى ولأسفل بشكل واضح في المركبة الرأسية لمخطط المتجهات.

متجهات السرعة والتسارع الرأسية والأفقية



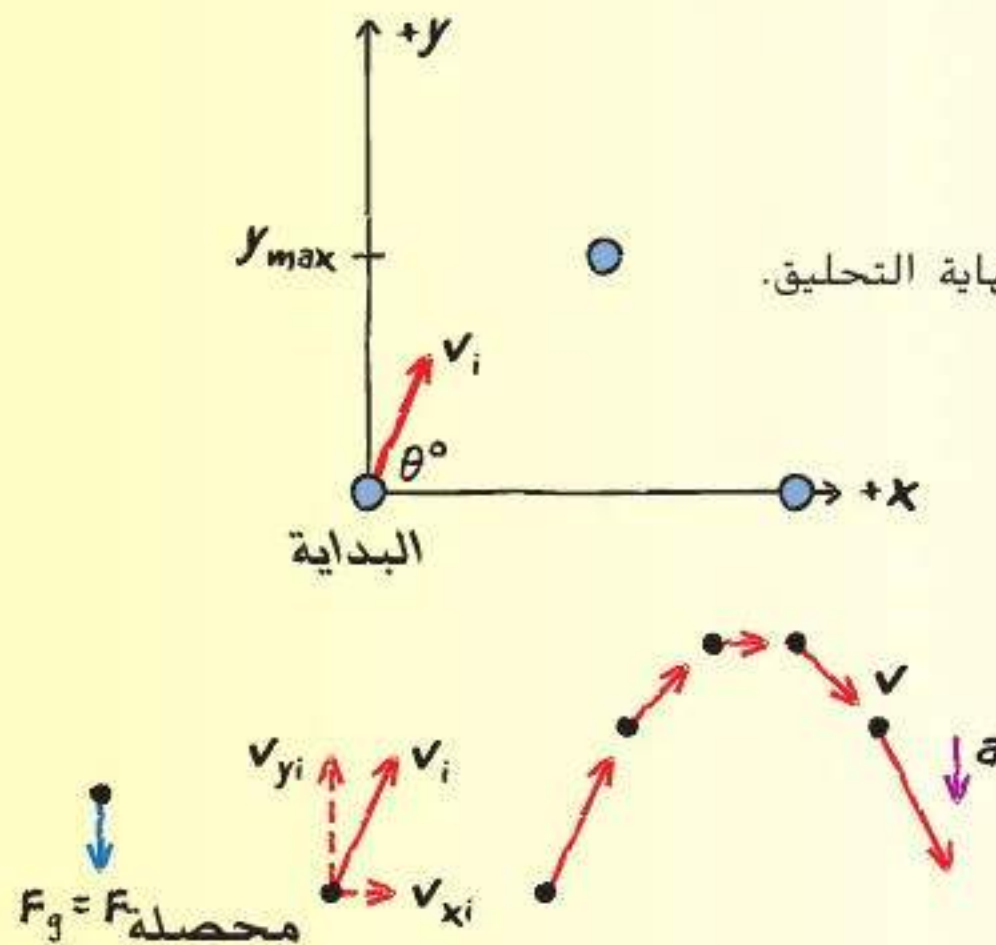
مسار القطع المكافئ



تحليق كرة تنطلق كرة بسرعة 4.5 m/s بزاوية 66° فوق الأفقي. إذا بدأت وعادت لنفس مستوى الأرض. كم يبلغ أقصى ارتفاع نصله الكرة فوق مستوى الإطلاق؟ وما مقدار زمن التحليق لها؟

1 تحليل المسألة

- أنشئ نظامًا إحداثيًا يتضمن الموقع الابتدائي للكرة عند نقطة الأصل.
- وضح مواقع الكرة عند نقطة بداية التحليق وعند أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة وعند نهاية التحليق.
- اكتب اتجاه F_{net} .
- ارسم مخططًا للحركة يوضح a و v .



المعلوم
 $y_i = 0.0 \text{ m}$
 $v_i = 4.5 \text{ m/s}$
 $\theta_i = 66^\circ$
 $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$

المجهول
 $v_{y, \text{max}} = 0.0 \text{ m}$
 $y_{\text{max}} = ?$

2 إيجاد المجهول

أوجد مركب المحور y لـ v_i .

$$v_{yi} = v_i (\sin \theta_i) = (4.5 \text{ m/s}) (\sin 66^\circ) = 4.1 \text{ m/s}$$

استخدم التناظر لإيجاد مركب المحور y لـ v_f .

$$v_{yf} = -v_{yi} = -4.1 \text{ m/s}$$

أوجد أقصى ارتفاع

$$v_{yf}^2 = v_{yi}^2 + 2a_y(y_{\text{الحد الأقصى}} - y_i)$$

$$(0.0 \text{ m/s})^2 = v_{yi}^2 + 2a_y(y_{\text{الحد الأقصى}} - 0.0 \text{ m})$$

$$y_{\text{الحد الأقصى}} = \frac{v_{yi}^2}{2a_y}$$

$$= \frac{(4.1 \text{ m/s})^2}{2(-9.8 \text{ m/s}^2)} = 0.86 \text{ m}$$

أوجد الزمن المطلوب للعودة إلى الارتفاع الذي يمثل نقطة الانطلاق.

$$v_{yf} = v_{yi} + a_y t$$

$$t = \frac{v_{yf} - v_{yi}}{a_y}$$

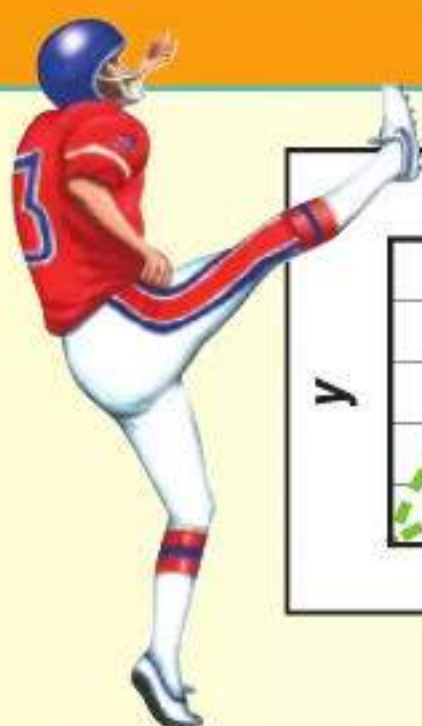
$$= \frac{-4.1 \text{ m/s} - 4.1 \text{ m/s}}{-9.8 \text{ m/s}^2} = 0.84 \text{ s}$$

بتعويض $v_{yi} = 4.1 \text{ m/s}$; $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$

بتعويض $v_{yf} = -4.1 \text{ m/s}$; $v_{yi} = 4.1 \text{ m/s}$; $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$

3 تقييم الإجابة هل المقادير واقعية؟ بالنسبة إلى الجسم الذي يرتفع لأقل من 1 m. يكون الزمن المستغرق الأقل من 1 s إجابة منطقية.

تطبيقات



الشكل 5

4. يركل أحد اللاعبين كرة القدم من أرضية مستوية بسرعة ابتدائية تبلغ 27.0 m/s وبزاوية 30.0° فوق المستوى الأفقي. كما هو موضح في الشكل 5. أوجد كلاً مما يلي. افترض أن قوة تأثير الهواء على الكرة مهملة.

a. زمن تعلق الكرة

b. أقصى ارتفاع للكرة

c. المسافة الأفقية التي تقطعها الكرة قبل اصطدامها بالأرض

5. يركل اللاعب في المسألة السابقة الكرة بعد ذلك بالسرعة نفسها لكن بزاوية 60.0° فوق المستوى الأفقي. كم يبلغ زمن تعلق الكرة والمسافة الأفقية التي تقطعها وأقصى ارتفاع لها؟

6. التحدي تُرمى صخرة من منحدر صخري ارتفاعه 50.0 m بسرعة ابتدائية تبلغ 7.0 m/s وبزاوية 53.0° أعلى المستوى الأفقي. أوجد سرعتها لحظة اصطدامها بالأرض.

الشكل 6 يمكن أن تزيد القوى المتولدة من الهواء من مقدار السرعة المتجهة للجسم المتحرك أو تنقصها.

لا يوجد تأثير من الهواء



قوة الهواء التي تزيد السرعة



قوة الهواء التي تقلل السرعة



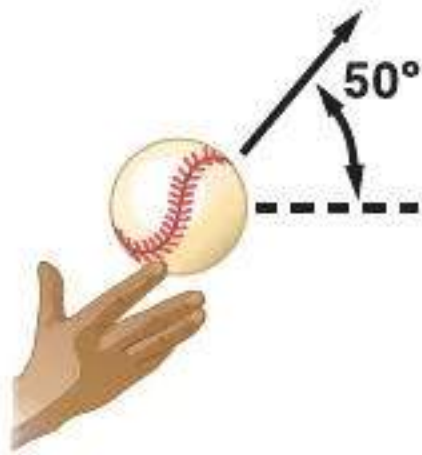
قوى من الهواء

يتم تجاهل تأثير القوى المتولدة من الهواء حتى الآن في هذه الوحدة. ومع ذلك ففكر في سبب استقرار الطائرة الورقية في الهواء أو سبب مساعدة المظلة للاعب القفز الحر على الهبوط بأمان إلى الأرض. يمكن أن تُغيّر القوى المتولدة من الهواء من حركة الجسم.

ماذا يحدث في حالة وجود رياح؟ يمكن أن يُغيّر الهواء المتحرك من حركة المقذوف. تناول الحالات الثلاث الموضحة في **الشكل 6**. في الشكل العلوي، يتدفق الماء من أنبوب الرش دون أي تأثير من الهواء تقريباً. في الشكل الأوسط، تهب الرياح في الاتجاه نفسه الذي تبدأ منه الحركة الابتدائية للماء. يتغير مسار الماء بسبب القوة التي يؤثر بها الهواء في الماء في نفس اتجاه حركته. تزداد المسافة الأفقية التي يقطعها الماء لأن القوة تزيد من السرعة الأفقية للماء. يتغير اتجاه الرياح في الشكل السفلي. تقل المسافة الأفقية التي يقطعها الماء بسبب القوة التي يؤثر بها الهواء في الاتجاه المعاكس لحركة الماء. ماذا لو كان اتجاه الرياح بزاوية مع جسم متحرك؟ تؤثر المركبة الأفقية للرياح فقط في الحركة الأفقية لجسم ما. بينما تؤثر المركبة الرأسية للرياح في الحركة الرأسية للجسم. في حالة الماء، على سبيل المثال، يمكن أن يقلل التيار الصاعد القوي من سرعة هبوط الماء.

تحدث التأثيرات الموضحة في **الشكل 6** بسبب تحرك الهواء بشكل كاف لتغيير حركة الماء تغييراً ملحوظاً. حتى الهواء غير المتحرك، يمكنه مع ذلك أن يكون له تأثير ملحوظ على بعض الأجسام المتحركة. تستقر قطعة من الورق أفقياً وتسقط، على سبيل المثال، ستسقط ببطء بسبب مقاومة الهواء. تزداد مقاومة الهواء كلما زادت المساحة السطحية للجسم المواجهة للهواء المتحرك.

القسم 1 مراجعة



الشكل 7

10. حركة المقذوف تتحرك كرة مطاطية بقذفها لاعب في الهواء بسرعة ابتدائية تبلغ 11.0 m/s ، كما هو موضح في **الشكل 7**. كم يبلغ أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟

11. التفكير الناقد بافتراض أن الجسم يُقذف بالسرعة الابتدائية نفسها والاتجاه نفسه على الأرض وعلى القمر، حيث يساوي التسارع سدس قيمته على الأرض بسبب الجاذبية. كيف ستتغير السرعة الرأسية وزمن التحليق وأقصى ارتفاع والمسافة الأفقية؟

7. الفكرة الرئيسية تُقذف كرة البيسبول أفقياً من الارتفاع نفسه لكن بسرعتين مختلفتين. تعبر الكرة الأسرع القاعدة الرئيسية التي يقف عندها ضارب الكرة ضمن منطقة الضرب، أما الكرة الأبطأ فتعبر تلك القاعدة أسفل ركبتي ضارب الكرة. لماذا تختلف ارتفاعات الكرات عند مرورها بضارب الكرة؟

8. مخطط الجسم الحر ينزلق مكعب الثلج من دون احتكاك مع الطاولة بسرعة ثابتة. ينزلق على الطاولة ويهبط على الأرض. ارسم مخططات الحركة والجسم الحر لمكعب الثلج عند نقطتين على الطاولة ونقطتين في الهواء.

9. حركة المقذوف تُقذف كرة تنس خارج نافذة ارتفاعها 28 m فوق الأرض بسرعة ابتدائية تبلغ 15.0 m/s وبزاوية 20.0° أسفل المستوى الأفقي. كم تبلغ المسافة التي تتحركها الكرة أفقياً قبل اصطدامها بالأرض؟

الحركة الدائرية

القسم 2

الفيزياء في حياتك

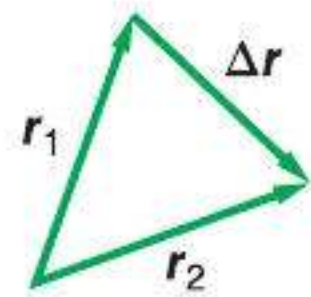
يوجد في كثير من مدن الملاهي والمهرجانات عربات دوّارة. عندما تدور العربة، تكون هناك قوى ناتجة عن أطر العربة أو حوافها الجانبية تحافظ على حركة الراكبين في مسار دائري.

وصف الحركة الدائرية

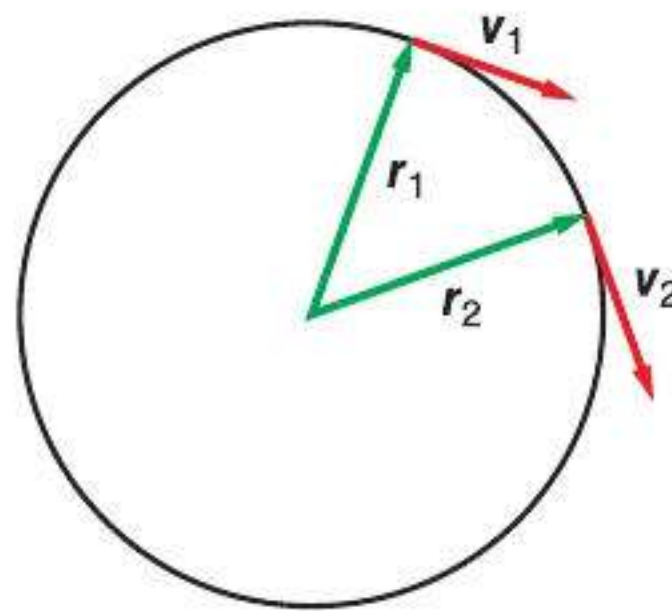
فكّر في جسم يتحرك في مسار دائري بسرعة ثابتة. كحجر مئبّ في طرف حبل أو حصان مُلجّم في عرض للخيول. هل يتسارع هذان الجسمان؟ في البداية، قد تظن أنهما لا يتسارعان لأن سرعتيهما لا تتغير. لكن تذكر أن التسارع يرتبط بالتغير في السرعة المتجهة، وليس بالتغير في السرعة فحسب. لأن اتجاهات الجسمين تتغير، فهما يتسارعان قطعاً.

تُعرف **الحركة الدائرية المنتظمة** بأنها حركة الجسم بسرعة ثابتة بمسار دائري نصف قطره ثابت. يُحدّد موقع الجسم في حركة دائرية منتظمة، بالنسبة إلى مركز الدائرة، بمتجه الموقع r . تذكر أن متجه الموقع هو متجه إزاحة ذيله عند نقطة الأصل. متجهها الموقع r_1 و r_2 عند بداية فترة زمنية ونهايتها موضحان على اليمين في الشكل 8. أثناء تحرك الجسم حركةً دائرية، لا يتغير طول متجه الموقع، بل يتغير اتجاه هذا المتجه. يوضح الرسم أيضًا متجهين للسرعة اللحظية. لاحظ أن كل متجه للسرعة المتجهة يكون مماسياً للمسار الدائري، وعمودياً على متجه الموقع عند نفس النقطة. لتحديد السرعة المتجهة للجسم، تحتاج أولاً إلى إيجاد متجه الإزاحة في فترة زمنية معينة. وكما تعلم أن السرعة المتجهة المتوسطة لجسم متحرك تُحدد بـ $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ، لذا فإن السرعة المتجهة المتوسطة لجسم في حركة دائرية هي $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$. موضح في الجانب الأيمن من الشكل 8 الرمز Δr الذي يشير إلى الإزاحة من r_1 إلى r_2 خلال فترة زمنية معينة. فالسرعة المتجهة لهذه الفترة الزمنية لها اتجاه الإزاحة نفسه، لكن قد يختلف طولها لأنها تكون مقسومة على Δt .

متجه الإزاحة



متجهات الموقع والسرعة المتجهة



الشكل 8 عندما يتحرك الجسم حركةً دائرية منتظمة، تكون السرعة المتجهة مماسيةً للمسار الدائري. وتكون في اتجاه الإزاحة نفسه.

التحليل كيف تستنتج من الرسم أن الحركة منتظمة؟

الفكرة الرئيسية

يتسارع جسم في حركة دائرية في اتجاه مركز الدائرة بسبب وجود قوة غير متوازنة مبدولة في اتجاه مركز الدائرة.

الأسئلة الرئيسية

- لماذا يتسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة ثابتة في مسار دائري؟
- كيف يعتمد التسارع المركزي على سرعة الجسم ونصف قطر المسار الدائري؟
- ما الذي يسبب التسارع المركزي؟

مراجعة المفردات

متوسط السرعة المتجهة

average velocity معدل التغير في الموقع مقسوماً على الزمن الذي يحدث خلاله هذا التغير؛ الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن بالنسبة إلى جسم ما

المفردات الجديدة

حركة دائرية منتظمة

uniform circular motion

تسارع مركزي

centripetal acceleration

قوة الجذب المركزي

centripetal force

التسارع المركزي

لقد علمت أن متجه السرعة المتجهة للجسم المتحرك حركةً دائرية منتظمة يكون مماسيًا للمسار الدائري. فما اتجاه التسارع؟ توضح الشكل 9 متجهي السرعة المتجهة v_1 و v_2 عند بداية فترة زمنية ونهايتها. يلاحظ أن إيجاد الفرق في المتجهين (Δv) يكون بطريقتيهما. كما هو موضح أسفل الشكل. وأن اتجاه متوسط التسارع $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ لهذه الفترة الزمنية يكون في نفس اتجاه Δv . ولأن الفترة الزمنية قصيرة جدًا، تكون قيمة Δv صغيرة جدًا لدرجة أن a يشير إلى مركز الدائرة.

كثّر هذه العملية لعدة فترات زمنية أخرى عندما يتواجد الجسم في مواضع مختلفة على محيط الدائرة. ستجد أن متجه التسارع يتغير مع تحرك الجسم على محيط الدائرة، لكنه يتجه دائمًا إلى مركز الدائرة. لهذا السبب، يسمى تسارع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة بالتسارع نحو مركز الدائرة أو **التسارع المركزي**.

مقدار التسارع كم يبلغ مقدار التسارع المركزي للجسم؟ انظر إلى نقطتي البداية لمتجهي السرعة المتجهة أعلى الشكل 9. لاحظ المثلث الذي يشكّله متجهي الموقع عند هاتين النقطتين مع مركز الدائرة. مطابقًا لمثلث متجهات السرعة المتجهة كما هو موضح أسفل الشكل 9. والزاوية بين r_1 و r_2 هي نفس الزاوية بين v_1 و v_2 . ومن ثم يتكوّن مثلثان متطابقان عند طرح مجموعتي المتجهات، وتكون نسب أطوال الضلعين المتقابلين متساوية. لذلك، $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$. ولا تتغير المعادلة عند قسمة كل من الضلعين على Δt .

$$\frac{\Delta r}{r \Delta t} = \frac{\Delta v}{v \Delta t}$$

$$\text{لكن، } v = \frac{\Delta r}{\Delta t} \text{ و } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)\left(\frac{\Delta r}{\Delta t}\right) = \left(\frac{1}{v}\right)\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$$

وبالتعويض $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ في طرف المعادلة الأيسر و $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ في طرف المعادلة الأيمن، نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{v}{r} = \frac{a}{v}$$

وبحل المعادلة يمكن إيجاد التسارع، ويستخدم a_c كرمز للتسارع المركزي.

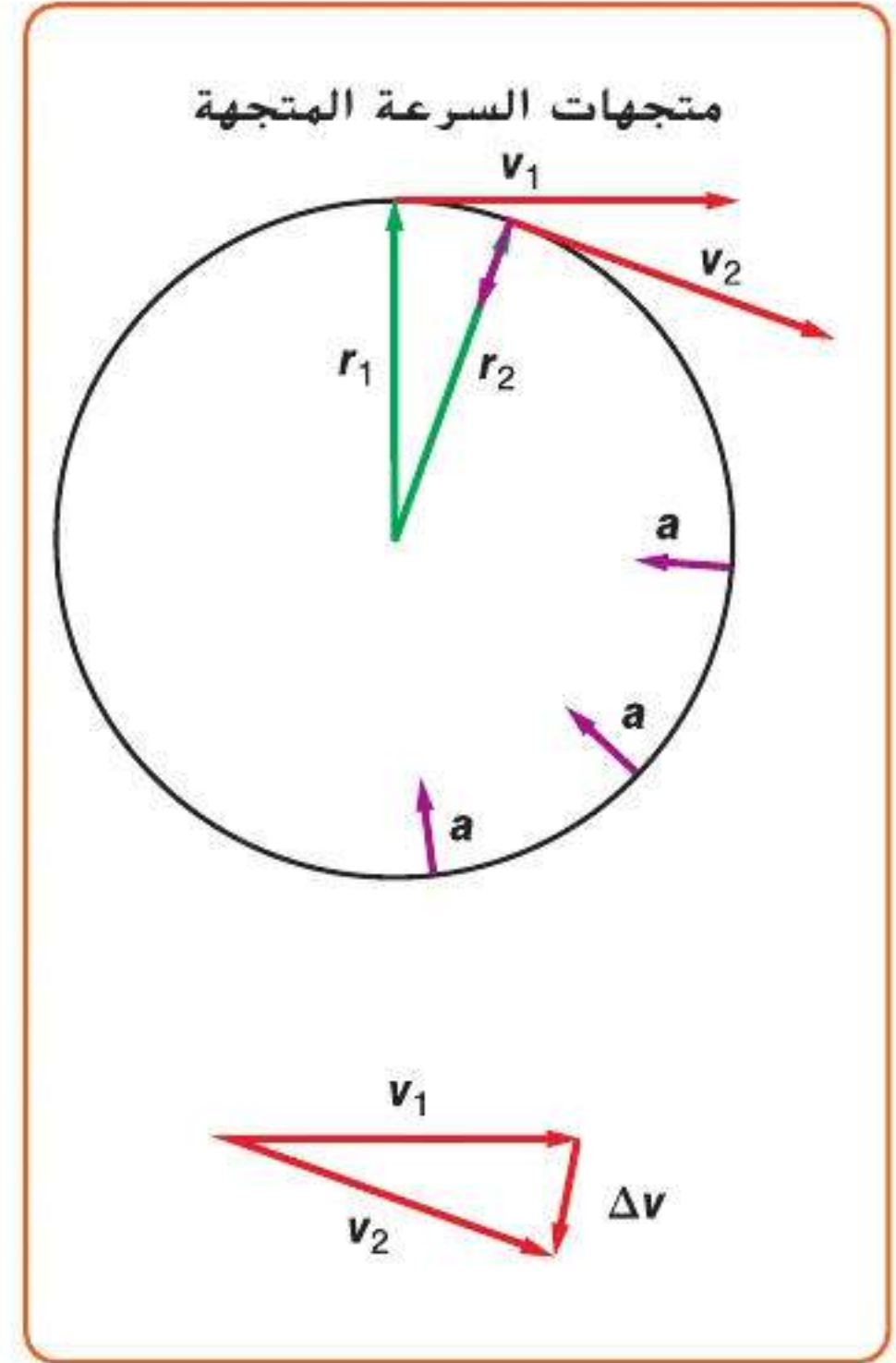
التسارع المركزي

يتجه التسارع المركزي دائمًا إلى مركز الدائرة. ويساوي مقداره مربع السرعة مقسومًا على نصف قطر الدائرة.

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

الزمن الدوري من الطرق المستخدمة لوصف سرعة جسم يتحرك في مسار دائري قياس زمنه الدوري (T). أي الزمن اللازم ليُتم الجسم دورة كاملة واحدة. خلال هذا الزمن، يتحرك الجسم مسافة مساوية لمحيط الدائرة ($2\pi r$). حينها، يُعبّر عن السرعة بـ $v = \frac{2\pi r}{T}$. وعند الاستعاضة عن v بقيمتها في معادلة إيجاد التسارع المركزي، نحصل على المعادلة التالية:

$$a_c = \frac{(2\pi r/T)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$



الشكل 9 تسارع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة يساوي معدل التغير في السرعة المتجهة مقسومًا على الفترة الزمنية. يكون اتجاه التسارع المركزي نحو مركز الدائرة دائمًا.



الشكل 10 عندما يقوم رامي المطرقة بتحريك الكرة في مسار دائري، فإن القوة التي تُكسب الكرة تسارعاً في اتجاه المركز هي قوة الشد الموجودة في السلسلة.

التوقع عند تجاهل مقاومة الهواء، كيف يمكن أن يتغير التسارع الأفقي والسرعة المتجهة للمطرقة إذا أفلت الرامي الكرة من السلسلة؟

مختبر الفيزياء

قوة الجذب المركزي

ما الذي يؤدي إلى استمرار حركة الجسم عند تدويره في مسار دائري؟

قوة الجذب المركزي لأن تسارع الجسم الذي يتحرك في مسار دائري يكون دائماً في اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه، فلا بد أن تكون القوة المحصلة في اتجاه مركز الدائرة أيضاً. يمكن أن تنتج هذه القوة عن مصادر متعددة. فالقوة المؤثرة لدوران الأرض حول الشمس هي قوة جذب الشمس للأرض. عندما يقوم رامي المطرقة بتدوير المطرقة، كما في **الشكل 10**، تكون القوة متمثلة في الشد الموجود في السلسلة المتصلة بكرة ثقيلة. عندما يتحرك الجسم في مسار دائري، تسمى محصلة القوة المؤثرة نحو المركز **قوة الجذب المركزي**. لتحليل حالات التسارع المركزي بدقة، يجب أن تحدد مصدر القوة المؤدية إلى التسارع. ثم يمكنك تطبيق قانون نيوتن الثاني للمركبة في اتجاه التسارع بالطريقة التالية.

قانون نيوتن الثاني في الحركة الدائرية

محصلة قوة الجذب المركزي المؤثرة في جسم يتحرك في مسار دائري تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في تسارعه المركزي.

$$F_{\text{محصلة}} = ma_c$$

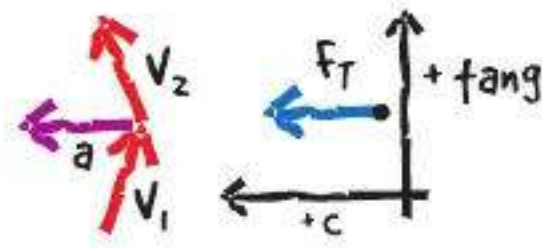
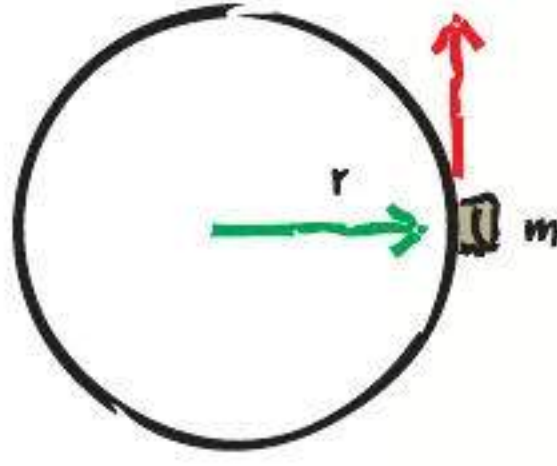
اتجاه التسارع عند حل المسائل، وجدت أنه من المفيد اختيار نظام إحداثي يُحدّد فيه محور واحد في اتجاه التسارع. حيث يكون اتجاه التسارع دائماً في اتجاه مركز الدائرة في الحركة الدائرية. لنُسمّي هذا المحور C بدلاً من تسميته x أو y كرمز للتسارع المركزي. وسيكون المحور الآخر في اتجاه السرعة المتجهة، أي سيكون مماسياً للمسار الدائري. وسنُسمّيه $tang$ كرمز للمماس. سنُطبّق الآن قانون نيوتن الثاني في هذه الاتجاهات. تماماً كما فعلت في مسائل الحركة في بُعدين التي قمت بحلها سابقاً. تذكر أن قوة الجذب المركزي ما هي إلا تسمية أخرى لمحصلة القوى المؤثرة في اتجاه المركز. فهي تمثل مجموع كل القوى الحقيقية، أي القوى التي يمكنك أن تحدد مصادرها المؤثرة في امتداد المحور المركزي.

بالرجوع إلى حالة رامي المطرقة في **الشكل 10**، في أي اتجاه تطير المطرقة لحظة انطلاقها من السلسلة؟ بمجرد اختفاء قوة التلامس، لن تكون هناك قوة تؤدي إلى تسارع المطرقة في اتجاه مركز المسار الدائري، لذا تنطلق المطرقة في اتجاه سرعتها المتجهة المماسية للمسار الدائري. تذكر أنه إذا لم تستطع تحديد مصدر قوة ما، فيعني هذا أن هذه القوة غير موجودة.

الحركة الدائرية المنتظمة سداة مطاطية كتلتها 13 g مثبتة عند طرف خيط طوله 0.93 m. أدبرت السداة في مسار دائري أفقي، فأتمت دورة كاملة خلال 1.18 s. أوجد مقدار قوة الشد التي يبذلها الخيط على السداة.

1 تحليل المسألة

- ارسم مخطط الجسم الحر للسداة.
- حدّد نصف القطر واتجاه الحركة.
- أنشئ نظامًا إحداثيًا مع تسمية محوريه $tang$ و c . بحيث يكون اتجاهًا a_c و F_T موازيين لـ c .



المجهول	المعلوم
$F_T = ?$	$m = 13 \text{ g}$
	$r = 0.93 \text{ m}$
	$T = 1.18 \text{ s}$

2 إيجاد المجهول

أوجد مقدار التسارع المركزي.

$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

$$= \frac{4\pi^2 (0.93 \text{ m})}{(1.18 \text{ s})^2}$$

$$= 26 \text{ m/s}^2$$

▶ بالتعويض $r = 0.93 \text{ m}$ ، $T = 1.18 \text{ s}$.

استخدم قانون نيوتن الثاني لإيجاد مقدار الشد في الخيط.

$$F_T = ma_c$$

$$= (0.013 \text{ kg})(26 \text{ m/s}^2)$$

$$= 0.34 \text{ N}$$

▶ بالتعويض $a_c = 0.013 \text{ m/s}^2$ ، $26 = \text{m/s}^2$.

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يُبين تحليل الأبعاد أن وحدة a_c ستكون بالـ متر لكل ثانية مربعة وأن الوحدة F_T ستكون بالنيوتن.
- هل الإشارات مفهومة؟ ستكون الإشارات جميعها موجبة.
- هل المقادير واقعية؟ القوة تساوي تقريبًا ثلاثة أمثال وزن السداة والتسارع يساوي تقريبًا ثلاثة أمثال تسارع الجاذبية، وهذا منطقي بالنسبة إلى جسم خفيف كهذا.

تطبيقات



الشكل 11

12. يركض عداء بسرعة 8.8 m/s في منعطف نصف قطره 25 m. فكم يبلغ التسارع المركزي للعداء، وما مصدر قوة الجذب المركزي المؤثرة في العداء؟

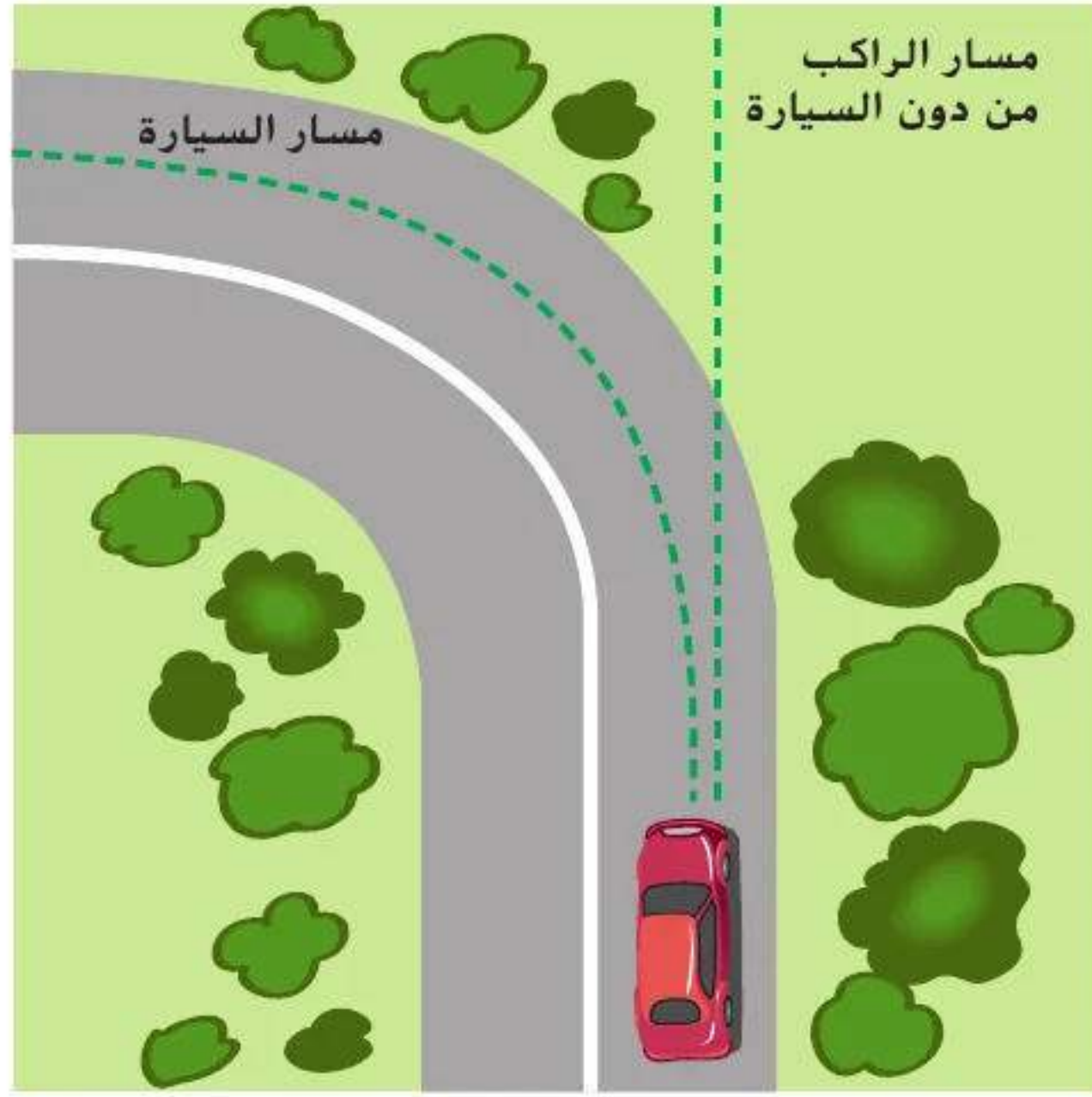
13. تتحرك طائرة بسرعة 201 m/s عند دورانها في مسار دائري. كم يبلغ أقصر نصف قطر لهذا المسار الدائري (بوحدة الكيلومتر) الذي يمكن أن يشكّله قائد الطائرة مع الحفاظ على التسارع المركزي أقل من 5.0 m/s²؟

14. عاملة مسؤولة عن لعبة خيل خشبية كتلتها 45 kg تقف على منصة اللعبة وتبعد 6.3 m عن مركزها، كما هو موضح في الشكل 11. فإذا كانت سرعتها (العمالة) أثناء الدوران هي 4.1 m/s، فكم تبلغ قوة الاحتكاك (F_f) اللازمة حتى لا تسقط من المنصة؟

15. أدبرت كرة كتلتها 16 g مثبتة في طرف خيط طوله 1.4 m في مسار دائري أفقي. إذا كانت هذه الكرة تُتم دورة كاملة كل 1.09 s، فكم يبلغ مقدار الشد في الخيط؟

16. التحدي تسير سيارة سباق في مضمار مستوٍ وتنعطف بسرعة 22 m/s في منعطف نصف قطره 56 m. أوجد التسارع المركزي للسيارة. وما أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين الإطارات والأرض لتنعطف السيارة دون أن تنزلق؟

"قوة" الطرد المركزي



الشكل 12 عند مرور السيارة في منعطف، يشعر الراكب بقوة وهمية تؤثر فيه نحو الخارج. في الواقع، القوة المؤثرة في الراكب هي قوة الجذب المركزي التي تكون في اتجاه مركز المسار الدائري وهي تنتج عن احتكاك الراكب بالمقعد.

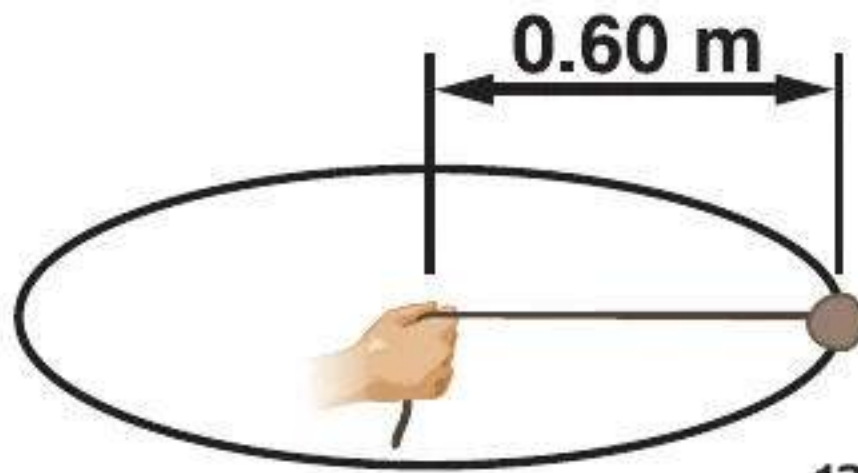
إذا انعطفت سيارة فجأة في اتجاه اليسار، فإن الراكب الجالس على الجانب الأيمن سيندفع في اتجاه الباب الأيمن. فهل هناك قوة خارجية تؤثر في هذا الراكب؟ فكر في موقف آخر يكون مشابهاً. لو أن السيارة التي تقودها توقفت فجأة، فإنك ستندفع إلى الأمام داخل حزام الأمان. فهل هناك قوة تؤثر فيك لتدفعك إلى الأمام؟ لا، لأنه طبقاً لقانون نيوتن الأول، فإنك ستستمر في الحركة بنفس السرعة المتجهة إلا إذا أثرت فيك محصلة قوة خارجية. وحزام الأمان هو الذي يؤثر فيك بقوة تدفعك إلى التوقف.

توضح الشكل 12 سيارة تنعطف ناحية اليسار كما تبدو من أعلى. سيستمر راكب السيارة في الحركة إلى الأمام لولا القوة التي تؤثر فيه من الباب في اتجاه التسارع. أثناء مرور السيارة في هذا المنعطف، يخضع كل من السيارة والراكب لحركة دائرية. ويكون الراكب تحت تأثير التسارع المركزي. تذكر أن اتجاه التسارع المركزي يكون نحو مركز الدائرة دائماً. فليست هناك قوة تدفع الراكب إلى الخارج.

لكن إذا فكرت في حالات مماثلة مررت بها، فستجد أنك كنت تشعر كما لو كانت هناك قوة تدفعك إلى الخارج. إن القوة التي تسمى بقوة الطرد المركزي أو القوة للخارج وهي قوة وهمية لا وجود لها. السبب الوحيد الذي يجعلك تشعر كما لو أن هناك قوة تدفعك هو أنك تكون في تسارع بالنسبة إلى الأشياء الموجودة حولك. وليست هناك قوة حقيقية لأنه ليس هناك مصدر حقيقي يولد هذه القوة.

القسم 2 مراجعة

22. القوة المركزية الجاذبة حجر بكتلة مقدارها 4.4 g يتم تحريكه أفقياً على شكل دائرة بسرعة 2.2 m/s . ما مقدار قوة الشد المؤثرة في السلك؟



الشكل 13

23. لعبة في مدينة الملاهي في إحدى ألعاب مدينة الملاهي يقف الأشخاص في دائرة نصف قطرها 4 m مستندين بظهورهم إلى حائط. يستغرق الزمن الدوري 1.7 s . ما مقدار التسارع المركزي الجاذبي ومقدار السرعة المتجهة لهؤلاء الأشخاص؟

24. القوة المركزية الجاذبة تبلغ كتلة كرة بولينج 7.3 kg . ما مقدار القوة الذي يتسبب في تحريكها على شكل دائرة، نصف قطرها 0.75 m . بسرعة تبلغ 2.5 m/s ؟

25. التفكير الناقد أنت تدور دائرياً في حركة دائرية منتظمة بسبب دوران الأرض اليومي حول نفسها. ما مصدر القوة التي تتسبب في تسارعك المركزي الجاذبي؟ ما تأثير هذه الحركة الدائرية في قراءة وزنك على الميزان؟

17. الفكرة الرئيسية إذا ربطت كرة في طرف حبل وقمت بتدويرها بسرعة ثابتة في مسار دائري فوق رأسك، فستتحرك الكرة حركة دائرية منتظمة. ما اتجاه تسارع الكرة؟ وما القوة المؤدية للتسارع؟

18. الحركة الدائرية المنتظمة ما اتجاه القوة المؤثرة في الملابس في دورة العصر لفسالة ذات تحميل علوي؟ وما مسبب هذه القوة؟

19. التسارع المركزي أشارت مقالة في جريدة أنه يجب على السائقين، عند انعطاف السيارات، توخي الحذر لتحقيق الموازنة بين قوة الجذب المركزي وقوة الطرد المركزي لتجنب انزلاق السيارات. اكتب رسالة إلى المحرر تنقد فيها الأخطاء الواردة في هذه المقالة من الناحية الفيزيائية.

20. مخطط الجسم الحر تجلس في المقعد الخلفي في سيارة تنعطف إلى اليمين. ارسم مخطط الحركة ومخطط الجسم الحر للإجابة عن هذه الأسئلة:

- ما اتجاه تسارعك؟
- ما اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيك؟
- ما مسبب هذه القوة؟

21. التسارع المركزي يدور جسم في مسار دائري أفقي، وهو مثبت في طرف خيط طوله 1.8 m . ويتم دورة كاملة خلال 2.2 s . فكم يبلغ التسارع المركزي للجسم؟

السرعة المتجهة النسبية

القسم 3

هل لاحظت من قبل أن الأشخاص الذي يقفون بجوارك على سلم متحرك لا يتحركون وأن الأشخاص المتواجدين على سلم متحرك في الاتجاه الآخر يتحركون بسرعة كبيرة؟ في الواقع، قد يكون لهؤلاء الأشخاص السرعة نفسها بالنسبة إلى الأرض لكن تختلف سرعاتهم المتجهة كثيرًا بالنسبة إليك.

**الفيزياء
في حياتك
.....**

الحركة النسبية في بُعد واحد

افترض أنك في حافلة مدرسة تتحرك بسرعة متجهة قدرها 8 m/s في اتجاه موجب. وأنت تسير بسرعة 1 m/s في اتجاه مقدمة الحافلة. إذا كان صديق لك يقف على جانب الطريق ويراقب حركة الحافلة، فما مقدار السرعة التي قد يسجلها زميلك لحركتك؟ إذا كانت الحافلة تتحرك بسرعة 8 m/s فستكون سرعتها 8 m/s كما يقيسها زميلك في نظام إحداثي من نقطة ثابتة على الأرض. عندما تقف ثابتًا في الحافلة تكون سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة على الأرض هي 8 m/s أيضًا. لكن تكون سرعتك بالنسبة إلى الحافلة صفرًا. فكيف يمكن أن تختلف سرعتك؟

مناطق الإسناد المختلفة في هذا المثال، نلاحظ حركتك من خلال أنظمة إحداثية مختلفة. يُعرف النظام الإحداثي الذي يمكن ملاحظة الحركة من خلاله **بمناطق الإسناد**. إذا كنت تسير بسرعة 1 m/s في اتجاه مقدمة الحافلة فهذا يعني أن سرعتك تُقاس بالنسبة إلى الحافلة. أي أن سرعتك المتجهة في مناطق الإسناد للنقطة الثابتة تكون مختلفة. يمكنك إعادة صياغة المسألة كما يلي: إذا أعطيت سرعة الحافلة بالنسبة إلى الطريق وسرعتك بالنسبة إلى الحافلة، فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى الطريق؟ تبين الشكل 14 تمثيلًا اتجاهيًا لهذه المسألة. إذا كان اتجاه اليمين موجبًا، فإن سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة هي 9 m/s . أي مجموع السرعتين 8 m/s و 1 m/s . افترض الآن أنك تسير بالسرعة نفسها في اتجاه مؤخرة الحافلة. فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة على الأرض؟ تبين الشكل 14 أنه نظرًا إلى أن السرعتين متعاكستان، فإن محصلة السرعة هي 7 m/s . أي الفرق بين 8 m/s و 1 m/s . تلاحظ أنه إذا كانت السرعات المتجهة في خط مستقيم، فيمكن استخدام عمليتي الجمع والطرح البسيطتين لإيجاد السرعة المتجهة النسبية.

الفكرة الرئيسية

تعتمد السرعة المتجهة للجسم على مناطق الإسناد الذي يتم اختياره.

الأسئلة الرئيسية.

- ما السرعة المتجهة النسبية؟
- كيف تحسب السرعات المتجهة للجسم في مناطق إسناد مختلفة؟

مراجعة المفردات

محصلة resultant المتجه الذي يُمثل مجموع متجهين آخرين.

المفردات الجديدة

مناطق إسناد reference frame



الشكل 14 عندما يتحرك جسم في مناطق إسناد متحرك، تُجمع السرعتان المتجهتان إذا كانتا في الاتجاه نفسه. وتُطرح إحداها من الأخرى إذا كانتا متعاكستين.

تذكر ما الذي تشير إليه أطوال متجهات السرعة المتجهة؟

التحدي في الفيزياء

قوة الشد في حبل يدور أمير حجرًا كتلته m مربوطًا بحبل في مسار أفقي فوق رأسه، مع العلم أن ارتفاع الحبل هو h فوق سطح الأرض. يمثل r نصف قطر الدائرة، و T مقدار قوة الشد في الحبل. انقطع الحبل فجأة وسقط الحجر على الأرض. قَطع الحجر مسافة أفقية x من لحظة انقطاع الحبل إلى ارتطامه بالأرض. أوجد تعبيرًا رياضيًا لـ x بدلالة كل من T و r و m و h . ثم وضح هل يتغير التعبير الرياضي إذا تحرك أمير بسرعة 0.05 m/s بالنسبة إلى الأرض؟

مختبر الفيزياء

مناطق الإسناد المتحرك

كيف يمكن أن تصف الحركة في مناطق إسناد متحرك؟

جمع اتجاهات السرعة المتجهة أمعن النظر في كيفية الحصول على نتائج السرعات المتجهة في الشكل 14. هل يمكنك وضع صيغة رياضية لوصف كيفية جمع السرعات المتجهة عندما تكون الحركة في مناطق إسناد متحرك؟ بالنسبة إلى الموقف الذي كنت تسير فيه في الحافلة، يمكنك أن ترمز إلى السرعة المتجهة للحافلة بالنسبة إلى النقطة الثابتة بالرمز $v_{b/r}$. ويمكنك أن ترمز إلى سرعتك المتجهة بالنسبة إلى الحافلة بالرمز $v_{y/b}$ ولسرعتك المتجهة بالنسبة إلى النقطة الثابتة بـ $v_{y/r}$. لحساب سرعتك المتجهة بالنسبة إلى النقطة الثابتة في كلتا الحالتين، جمعت اتجاهات سرعتك المتجهة بالنسبة إلى الحافلة والسرعة المتجهة للحافلة بالنسبة إلى الطريق. رياضيًا، كان ذلك على النحو التالي:

$$v_{y/b} + v_{b/r} = v_{y/r}$$

تكتب الصيغة الرياضية العامة لهذه المعادلة على النحو التالي.

السرعة المتجهة النسبية

السرعة المتجهة للجسم a بالنسبة إلى الجسم c هي حاصل الجمع الاتجاهي للسرعة المتجهة للجسم m بالنسبة إلى الجسم b . ثم السرعة المتجهة النسبية للجسم b بالنسبة إلى الجسم c .

$$v_{a/b} + v_{b/c} = v_{a/c}$$

الحركة النسبية في بُعدين

ينطبق جمع السرعات المتجهة النسبية أيضًا على الحركة في بُعدين. فكما هو الحال مع الحركة في بُعد واحد، ترسم أولاً مخطط الاتجاهات لوصف الحركة ثم تحل المسألة رياضيًا.

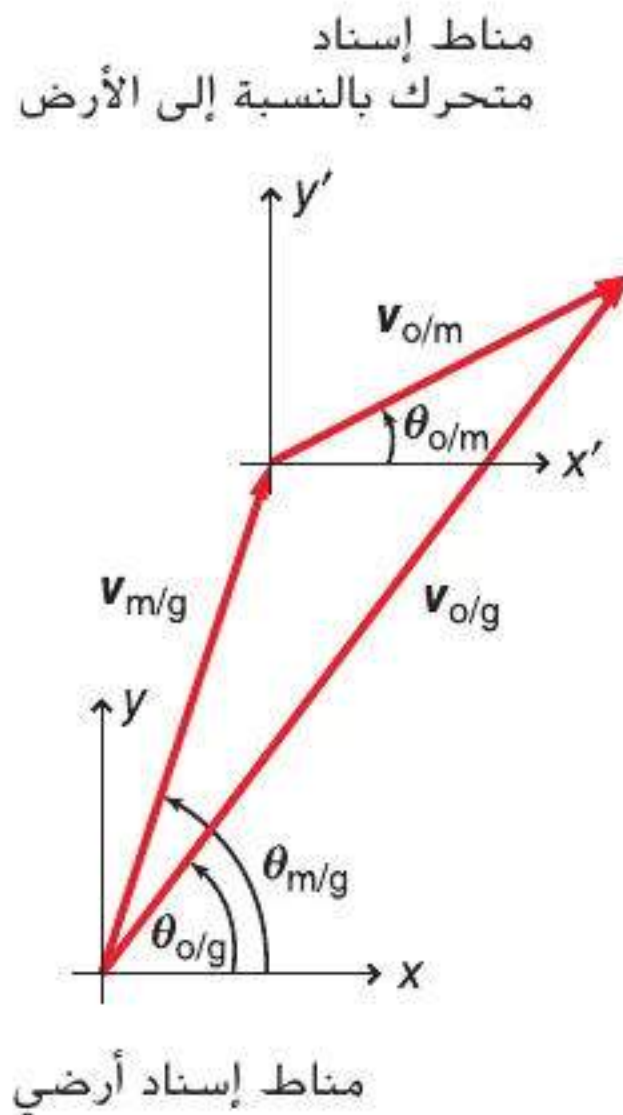
مخططات الاتجاهات توضح الشكل 15 طريقة رسم مخططات الاتجاهات للحركة النسبية في بُعدين. تلاحظ أنه يتم وضع رأس متجه على ذيل متجه آخر. يُعتبر مناطق الإسناد الذي تلاحظ الحركة من خلاله، والذي غالبًا ما يُسمى بمناطق الإسناد الأرضي، في حالة سكون. حيث يوضح المتجه الأول السرعة المتجهة لمناطق الإسناد الأخير بالنسبة إلى الأرض. كما يوضح المتجه الأخير الحركة في هذا مناطق الإسناد المتحرك. توضح المحصلة السرعة المتجهة النسبية، وهي السرعة المتجهة بالنسبة إلى مناطق الإسناد الأرضي.

✓ **التأكد من فهم النص الاستنتاج** هل يمكن أن تكون السيارة المتحركة مناطق إسناد؟

تعد الحركة النسبية للطائرة من بين الأمثلة على ذلك. فلا يستطيع الطيار أن يتوقع الوصول إلى وجهته بمجرد توجيه طائرته في اتجاه البوصلة. بل يضع في حسابه سرعة الطائرة بالنسبة إلى الهواء، التي يعرفها من مؤشرات سرعة الهواء، واتجاه الرحلة بالنسبة إلى الهواء. كما يجب أن يضع في حسابه السرعة المتجهة للرياح على الارتفاع الذي يطير عنده بالنسبة إلى الأرض. يجب جمع هذين المتجهين للحصول على السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض. عندئذ يُرشد المتجه المحصل الطيار إلى السرعة التي يجب أن تسير بها الطائرة والاتجاه الذي تسلكه للوصول إلى الوجهة المقصودة. يكون هذا الوضع مشابهًا عند حركة قارب في تيار متحرك من الماء.

الشكل 15 يوضع رأس متجه على ذيل متجه آخر لحساب متجه السرعة المتجهة النسبية للحركة في بُعدين. يشير الحرفان السفليان o/g إلى جسم بالنسبة إلى الأرض، ويشير o/m إلى جسم بالنسبة إلى مناطق إسناد متحرك ويشير m/g إلى المناطق المتحرك بالنسبة إلى الأرض.

التحليل كيف يمكن أن يتغير متجه المحصلة إذا اعتبرنا مناطق الإسناد الأرضي هو مناطق الإسناد المتحرك؟



جمع السرعات المتجهة يمكنك استخدام المعادلات الموضحة في الشكل 16 لحل مسائل الحركة النسبية في بُعدين. السرعة المتجهة لمناطق إسناد متحرك بالنسبة إلى الأرض تُسمى $v_{m/g}$ والسرعة المتجهة للجسم في مناطق الإسناد تُسمى $v_{o/m}$. ستعطينا معادلة السرعة المتجهة النسبية السرعة المتجهة بالنسبة إلى الأرض: $v_{o/g} = v_{o/m} + v_{m/g}$. لتحديد مقدار السرعة المتجهة للجسم بالنسبة إلى الأرض ($v_{m/g}$)، حلّل أولاً متجهات السرعة المتجهة للجسم ومناطق الإسناد المتحرك إلى المركبتين x و y . ثم طبق نظرية فيثاغورس. توضح الشكل 16 الصيغة العامة للمعادلة. ومع ذلك تُعد هذه المعادلة أبسط بالنسبة إلى مسائل كثيرة لأن المتجهات تكون على المحاور. كما هو موضح في المثال أدناه، يمكنك إيجاد زاوية السرعة المتجهة للجسم بالنسبة إلى الأرض بملاحظة مخطط المتجهات وتطبيق علاقة مثلثية.

التأكد من فهم النص الشرح كيف تُستخدم المتجهات لوصف الحركة النسبية في بُعدين؟

تحليل المتجهات

تحليل المتجهات

جسم

مناطق إسناد متحرك

$v_{o/m} \sin \theta_{o/m}$

$v_{o/m}$

$\theta_{o/m}$

$v_{o/m} \cos \theta_{o/m}$

$v_{m/g} \sin \theta_{m/g}$

$v_{m/g}$

$\theta_{m/g}$

$v_{m/g} \cos \theta_{m/g}$

المعادلات

$v_{o/g}^2 = v_x^2 + v_y^2$

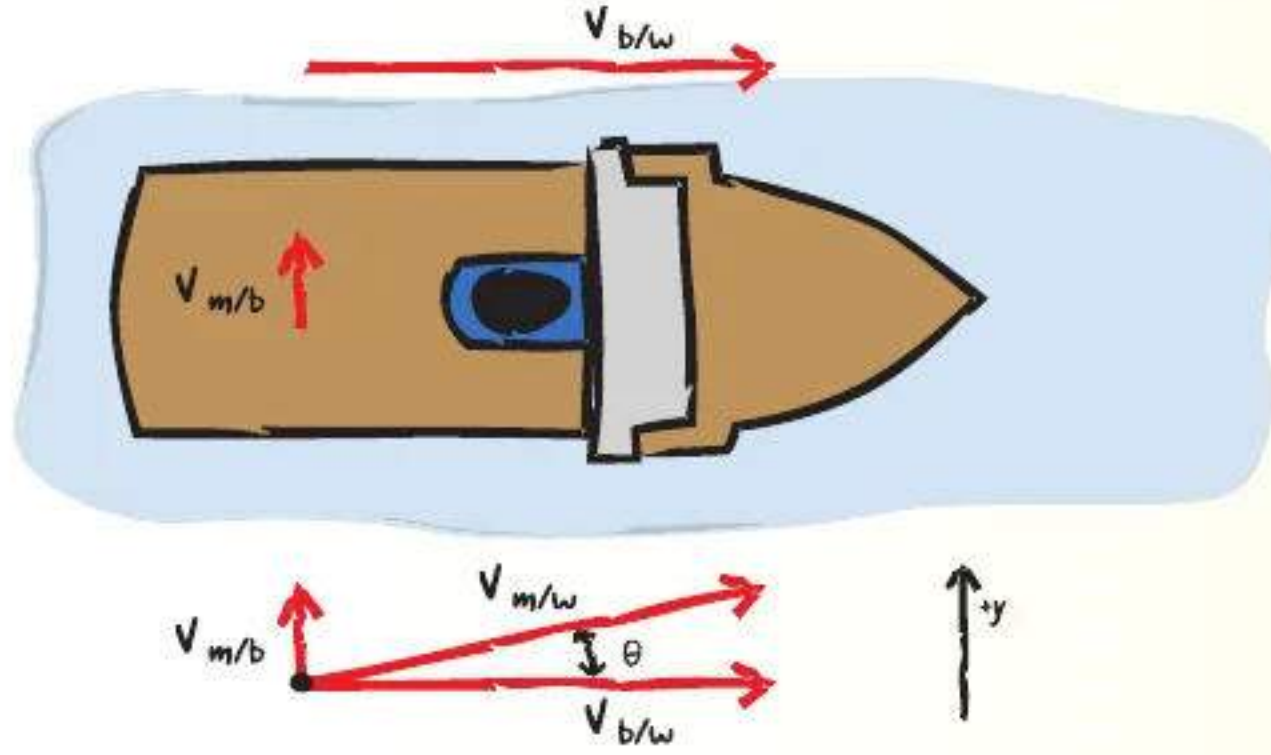
حيث $v_x = v_{o/m} \cos \theta_{o/m} + v_{m/g} \cos \theta_{m/g}$

$v_y = v_{o/m} \sin \theta_{o/m} + v_{m/g} \sin \theta_{m/g}$

الشكل 16 لحساب السرعة المتجهة لجسم في مناطق إسناد متحرك. حلل المتجهات إلى المركبتين x و y .

مثال 4

السرعة النسبية لكرة زجاجية تُركب زدينة وداليا قاربًا تسير بسرعة 4.5 m/s في اتجاه الشرق. دحرجت داليا كرة زجاجية بسرعة 0.75 m/s في اتجاه الشمال في عرض القارب باتجاه زدينة. فكم تبلغ السرعة المتجهة للكرة بالنسبة إلى الماء؟



▶ بالتعويض $v_{m/b} = 0.75 \text{ m/s}$, $v_{b/w} = 4.0 \text{ m/s}$

1 تحليل المسألة

أنشئ نظامًا إحداثيًا. ارسم متجهات لتمثيل السرعات المتجهة.

المجهول	المعلوم
$v_{m/w} = ?$	$v_{m/b} = 0.75 \text{ m/s}$
	$v_{b/w} = 4.0 \text{ m/s}$

2 إيجاد المجهول

بما أن سرعتين متعامدتان، سنستخدم نظرية فيثاغورس

$$v_{m/w}^2 = v_{b/w}^2 + v_{m/b}^2$$

$$v_{m/w} = \sqrt{v_{b/w}^2 + v_{m/b}^2}$$

$$= \sqrt{(4.0 \text{ m/s})^2 + (0.75 \text{ m/s})^2} = 4.1 \text{ m/s}$$

أوجد زاوية السرعة المتجهة للكرة الزجاجية.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_{m/b}}{v_{b/w}} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0.75 \text{ m/s}}{4.0 \text{ m/s}} \right) = 11^\circ \text{ شمال الشرق}$$

تتحرك الكرة الزجاجية بسرعة 4.1 m/s باتجاه يصنع زاوية 11° شمال الشرق.

3 تقييم الإجابة

• هل الوحدات صحيحة؟ يبين تحليل الأبعاد أن السرعة المتجهة ستكون بوحدات المتر في الثانية.

• هل الإشارات مفهومة؟ ستكون الإشارات جميعها موجبة.

• هل المقادير واقعية؟ السرعة المتجهة الناتجة قريبة من قيم سرعتين المتجهتين المُعطيتين في المثال. وأكبر قليلًا من السرعة الأكبر فيهما.

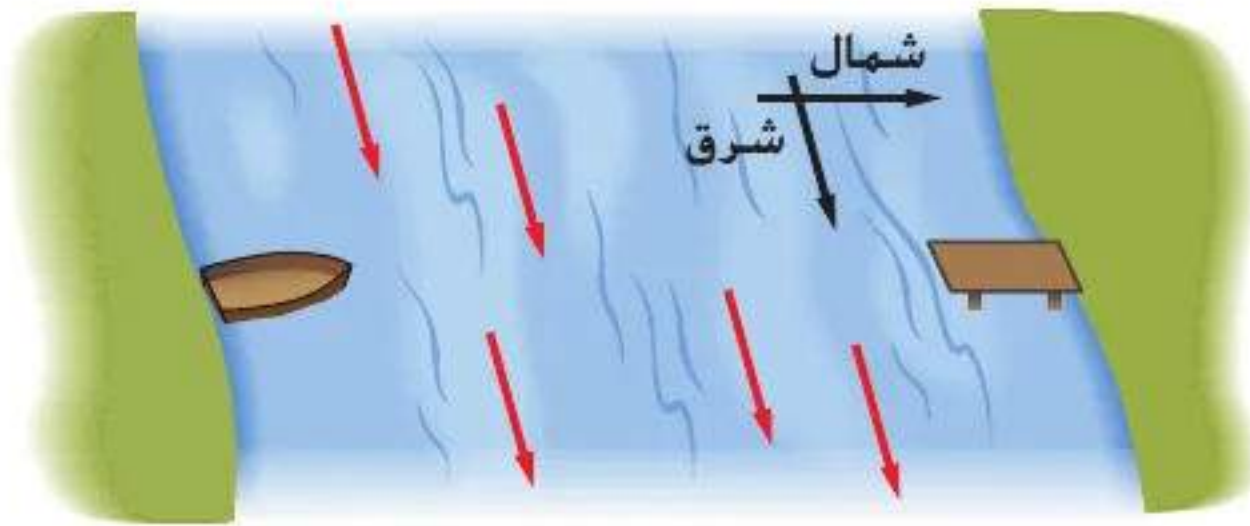
26. إذا كنت تركب حافلة تتحرك بسرعة بطيئة قدرها 2.0 m/s في ازدحام مروري. وركضت إلى مقدمة الحافلة بسرعة 4.0 m/s بالنسبة إلى الحافلة. فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى الأرض؟
27. يسحب أحمد عربة أطفال في الجوار بسرعة 0.75 m/s . وفي العربة حشرة تزحف نحو مؤخرة العربة بسرعة 2.0 cm/s . فكم تبلغ السرعة المتجهة للحشرة بالنسبة إلى الأرض؟
28. يتحرك قارب في نهر بسرعة 2.5 m/s بالنسبة إلى الماء. سجل راصدون واقفون على ضفة النهر أن القارب يتحرك بسرعة لا تزيد عن 0.5 m/s بالنسبة إلى موقعهم على ضفة النهر. فكم تبلغ سرعة ماء النهر؟ وهل يتحرك ماء النهر في اتجاه حركة القارب أم في اتجاه معاكس؟
29. يتحرك قارب بسرعة 3.8 m/s باتجاه الشرق. ثمة شخص يسير في عرض القارب بسرعة متجهة قدرها 1.3 m/s باتجاه الجنوب.
- a. كم تبلغ سرعة الشخص بالنسبة إلى الماء؟
b. في أي اتجاه يسير الشخص، بالنسبة إلى الأرض؟
30. تطير طائرة باتجاه الشمال بسرعة 150 km/h بالنسبة إلى الهواء. هبت رياح في اتجاه الشرق بسرعة 75 km/h بالنسبة إلى الأرض. فكم تبلغ سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض؟
31. التحدي تطير الطائرة الموضحة في الشكل 17 بسرعة 200.0 km/h بالنسبة إلى الهواء. كم تبلغ السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض إذا كانت تطير في ظروف الرياح التالية؟
- a. رياح خلفية بسرعة 50.0 km/h
b. رياح معاكسة بسرعة 50.0 km/h



الشكل 17

القسم 3 مراجعة

32. الفكرة الرئيسية تطير طائرة بسرعة 285 km/h في اتجاه الغرب بالنسبة إلى الهواء. هبت رياح في اتجاه الشرق بسرعة 25 km/h بالنسبة إلى الأرض. فكم تبلغ سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
33. السرعة النسبية قارب صيد سرعتة القصوى 3 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يجري بسرعة 2 m/s . فكم تبلغ أقصى سرعة يصل إليها القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وكم يبلغ أدنى سرعة يصل إليها؟ حدد اتجاه القارب بالنسبة إلى تيار النهر وأقصى سرعة وأدنى سرعة بالنسبة إلى ضفة النهر.
34. السرعة النسبية لقارب يسير قارب بخاري في اتجاه الغرب بسرعة 13 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يسير في اتجاه الشمال بسرعة 5.0 m/s . فكم تبلغ السرعة المتجهة (المقدار والاتجاه) للقارب البخاري بالنسبة إلى ضفة النهر؟
35. التجديف تجدد في نهر يتدفق في اتجاه الشرق. ولمعرفتك بالفيزياء، توجه قاربك في اتجاه يصنع زاوية 53° غرب الشمال، وبسرعة متجهة 6.0 m/s في اتجاه الشمال بالنسبة إلى ضفة النهر.
- a. كم تبلغ السرعة المتجهة لتيار الماء؟
b. كم تبلغ سرعة قاربك بالنسبة إلى ماء النهر؟
36. عبور النهر يركب حازم في قارب يسير بسرعة 3.8 m/s في اتجاه الشرق. سار في اتجاه الشمال في عرض القارب بسرعة 0.62 m/s . فكم تبلغ السرعة المتجهة لحازم بالنسبة إلى الماء؟



الشكل 18

الحاجة إلى السرعة

سائق سيارة سباق

تقتضي وظيفة سائق سيارة السباق مهامًا أكثر من مجرد الضغط على دواسة الوقود والالتزام بمنحنيات الطريق. تتطلب إدارة القوى القصوى المطلوبة في العمل أثناء قيادة السيارة بسرعات تقرب من 320 كيلومترًا في الساعة قدرة على التحمل والتمتع بالقوة وردود أفعال سريعة — لا سيما خلال الانعطافات.

1 الحرارة (Heat) يرتدي سائق سيارة السباق خوذة تحمي رأسه من الارتطام ويزة تغطي الجسم بالكامل تحميه من النار وقفازات تساعد على السيطرة على عجلة القيادة. حتى لو كانت مجموعة التشغيل هذه غير ساخنة بما فيه الكفاية، يمكن أن تصبح الحرارة في كابينة القيادة مساوية لحرارة الصحراء.

2 القوة (Force) يمكن أن تتطلب سيارة السباق التي تسير بسرعة 290 km/h قوة تتجاوز 40000 N من أجل الانعطاف على مضمار سباق مائل — أو منحرف.

5 الانعطافات (Turns) عند

تغيير اتجاه عجلات القيادة، يؤثر الطريق بقوة ما على الإطارات المسؤولة عن انعطاف السيارة. يسمح الاحتكاك بين الإطارات والمضمار للسيارة بالثبات على الطريق والانعطاف. كلما كانت قوة الاحتكاك أكبر، كانت السرعة التي يمكن أن ينعطف السائق بها أكبر.

4 الثبات (Grip) تحافظ قوة الجاذبية على بقاء السيارة

ثابتة على الأرض، حيث تنتج احتكاكًا بين المضمار والمنطقة الصغيرة التي يلامسها الإطار، وتعرف باسم رقعة التلامس. يساهم أيضًا الهواء المتدفق حول هيكل السيارة في توليد قوة ثبات تؤثر في السيارة، تتسبب في زيادة القوة الناعمة وزيادة الاحتكاك في رقعة التلامس.

3 السحب (Drag) تصل سيارات السباق إلى أكبر السرعات في المناطق المستقيمة من مضمار السباق. تعمل القوة التي يؤثر بها الطريق في الإطارات على دفع السيارة لتسير إلى الإمام، بينما تعمل قوة السحب المستمدة من مقاومة الهواء على دفع السيارة إلى الخلف.

لمزيد من التعمق <<<

الأبحاث قارن على الأقل بين نوعين مختلفين من منافسات سباق السيارات، مثل سباق الجر وسباق السيارات الكهربائية، من حيث القوى المختلفة المستخدمة عند التشغيل بسبب الطرز المختلفة للسيارات وهياكل المضمار وقواعد السباق.

الفكرة الرئيسية يمكنك استخدام المتجهات وقوانين نيوتن لوصف حركة المقذوفات والحركة الدائرية.

القسم 1 حركة المقذوف

المفردات

- المقذوف
- مسار المقذوف

الفكرة الرئيسية الحركة الأفقية للمقذوف مستقلة عن حركته الرأسية.

- الحركات الرأسية والأفقية للمقذوف مستقلة. في حالة عدم وجود أي مقاومة للهواء، لا تتأثر الحركة الأفقية بأي تسارع وتكون السرعة ثابتة؛ بينما تتأثر الحركة الرأسية للمقذوف بتسارع ثابت في ظل هذه الظروف نفسها.
- يُعرف مسار الحركة المائل الذي يتبعه المقذوف باسم مسار المقذوف ويُعد قطعًا مكافئًا. تربط معادلات الحركة بين كل من الارتفاع وزمن الحركة والسرعة الابتدائية والمسافة الأفقية في هذا المسار. تعتمد المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف قبل العودة إلى الارتفاع الابتدائي له على التسارع بسبب الجاذبية وعلى السرعة الابتدائية.

القسم 2 الحركة الدائرية

المفردات

- الحركة الدائرية المنتظمة
- التسارع المركزي
- قوة الجذب المركزي

الفكرة الرئيسية يتسارع جسم في حركة دائرية في اتجاه مركز الدائرة بسبب وجود قوة غير متوازنة مبدولة في اتجاه مركز الدائرة.

- يتسارع جسم يتحرك في مسار دائري بسرعة ثابتة تسارعًا نحو مركز الدائرة نظرًا لتغير اتجاه سرعته تغيرًا ثابتًا.
- يُعرف التسارع نحو مركز الدائرة باسم التسارع المركزي. يتناسب تناسبًا طرديًا مع مربع سرعة الجسم وعكسيًا مع نصف قطر الدائرة.

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

- تكون محصلة القوة باتجاه مركز الدائرة لإحداث تسارع مركزي.

$$F_{net} = ma_c$$

القسم 3 السرعة المتجهة النسبية

المفردات

- مناسبات الإسناد

- الفكرة الرئيسية تعتمد السرعة المتجهة للجسم على مناسبات الإسناد الذي يتم اختياره.
- يُعرف النظام الإحداثي الذي تعرض الحركة منه باسم مناسبات الإسناد. السرعة المتجهة النسبية هي سرعة الجسم الملاحظة في مناسبات إسناد متحرك مختلف.
 - يمكنك استخدام عملية جمع المتجهات لحل مسائل حركة الجسم في مناسبات إسناد متحرك.

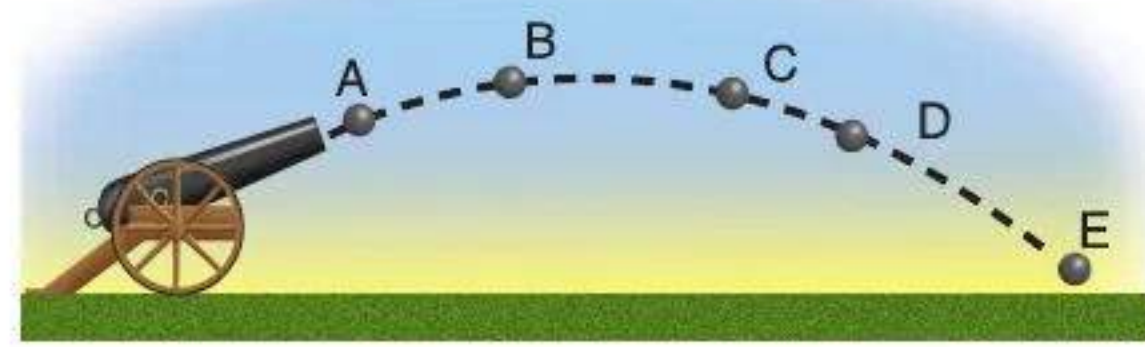
القسم 1 حركة المقذوف

إتقان المفاهيم

40. يعتقد بعض الطلاب أن القوة هي التي تبدأ حركة المقذوفات، تمامًا مثل ركلة كرة القدم. وتبقى مع الكرة، هل هذه وجهة نظر صحيحة؟ قدم الأدلة التي تثبت وجهة النظر هذه أو تنفيها.

41. فكّر في مسار قذيفة المدفع الموضح في الشكل 19.

- ما الموضع الذي يكون فيه مقدار المركبة الرأسية للسرعة عند أكبر قيمة له؟
- ما الموضع الذي يكون فيه مقدار المركبة الأفقية للسرعة عند أكبر قيمة له؟
- ما الموضع الذي تكون فيه السرعة الرأسية عند أصغر قيمة لها؟
- ما الموضع الذي يكون فيه مقدار التسارع عند أصغر قيمة له؟



الشكل 19

42. المسار وضح كيف تجعل القوى مسار جسم أُطلق أفقيًا مختلفًا عن مسار جسم أُطلق لأعلى بزاوية.

43. مسألة عكسية اكتب مسألة فيزيائية باستخدام أجسام من الحياة اليومية يمكن أن تكون المعادلات التالية جزءًا من حلها. تلميح: تصف المعادلتان الجسم نفسه.

$$x = (1.5 \text{ m/s})t \quad 8.0 \text{ m} = \frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)t^2$$

44. يُسقط طيار يحلق بسرعة ثابتة وعلى ارتفاع ثابت صندوقًا ثقيل الوزن. مع تجاهل مقاومة الهواء، أين سيكون موضع الطائرة بالنسبة إلى الصندوق عندما يسقط على الأرض؟ ارسم مسار الصندوق كما يراه مراقب على الأرض.

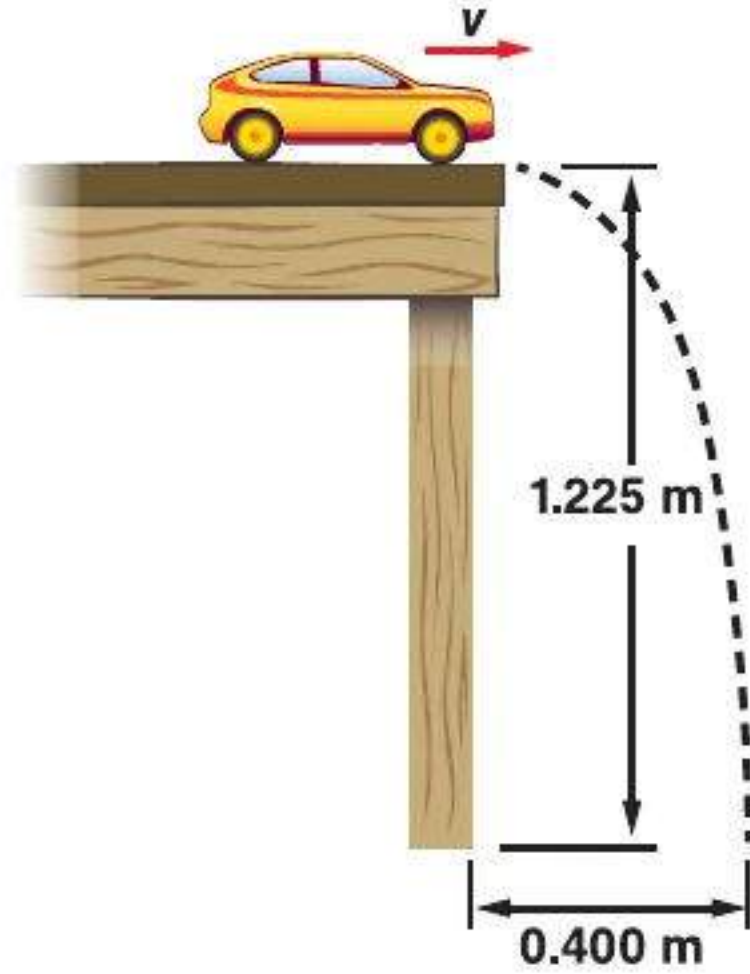
إتقان حل المسائل

45. رميت مفاتيح سيارتك أفقيًا بسرعة 8.0 m/s من منحدر يبلغ ارتفاعه 64 m . ما مقدار المسافة التي ينبغي أن تبعتها عن قاعدة المنحدر حتى تبحث عن المفاتيح؟

46. يرمي لاعب في لعبة الرشق بالسهم سهلاً أفقيًا بسرعة 12.4 m/s . يصطدم السهم في اللوحة بارتفاع أقل من ارتفاع الرمي بمقدار 0.32 m . ما مقدار المسافة التي يبعدها اللاعب عن اللوحة؟

47. تسقط السيارة اللعبة الموضحة في الشكل 20 من حافة طاولة يبلغ ارتفاعها 1.225 m . سقطت السيارة عند نقطة تبعد 0.400 m من قاعدة الطاولة.

- ما الزمن المستغرق في سقوط السيارة؟
- ما مقدار سرعة السيارة على الطاولة؟



الشكل 20

48. السباحة قفزت في الماء من منصة مرتفعة وأنت تجري. كنت تجري بسرعة 2.8 m/s ووصلت الماء بعد مرور 2.6 s . كم يبلغ ارتفاع المنصة وما مقدار المسافة التي بعدتها عن حافة المنصة عندما وصلت إلى الماء؟ لتفترض أن سرعتك الابتدائية أفقية. تجاهل مقاومة الهواء.

49. الرماية قذف سهم بزاوية 30.0° فوق المستوى الأفقي. بسرعة 49 m/s ويصيب الهدف.

- ما أقصى ارتفاع سيصل إليه السهم؟
- يوجد الهدف على الارتفاع الذي رُمي منه السهم. فما مقدار المسافة التي يبعدها الهدف؟

50. الفكرة الرئيسة ضرب لاعب الهجوم كرة البيسبول بزاوية 45° وابتعدت عن سياج ملعب البيسبول بمقدار 98 m . إذا كان ارتفاع السياج بنفس مستوى ارتفاع اللاعب، فأوجد سرعة الكرة عندما خرجت من مضرب اللاعب. تجاهل مقاومة الهواء.

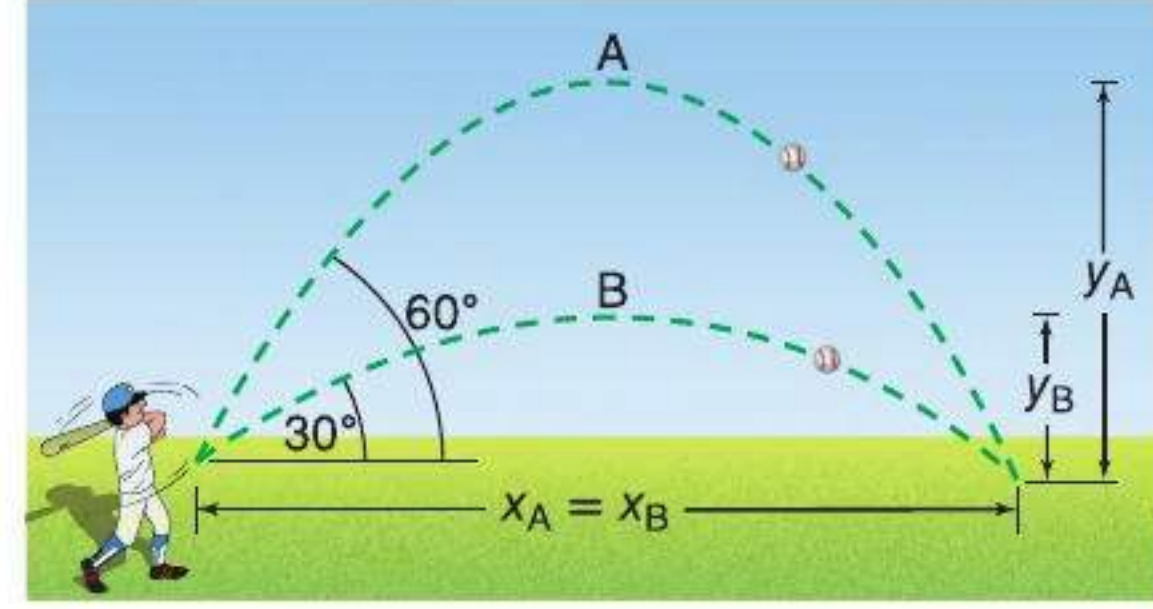
51. الإنقاذ البحري تُسقط طائرة تحلق على ارتفاع 1001 m فوق سطح المحيط بسرعة 125 km/h صندوقًا من الموارد اللازمة لضحايا غرق السفينة.

- ما الزمن اللازم لسقوط الصندوق قبل أن تكون الطائرة فوق الضحايا مباشرة؟
- ما المسافة الأفقية بين الطائرة والضحايا عند سقوط الصندوق؟

52. الغوص يغطس الغواصون من منحدر بارتفاع 61 m . ما الحد الأدنى للسرعة الأفقية التي يجب أن يصل بها الغواص إلى الماء من ارتفاع 23 m على الأقل من المنحدر؟

53. الرمية يحاول لاعب كرة سلة أن يحرز رمية من نصف الملعب ويضع الكرة بارتفاع السلة. لتفترض أن الكرة رُميت بزاوية 51.0° فوق المستوى الأفقي والمسافة الأفقية من السلة تبلغ 14.0 m . كم تبلغ السرعة التي يجب أن يرمي بها اللاعب الكرة لإحراز الرمية؟

54. ضُربت كرة البيسبول الموضحتين في الشكل 21 بنفس السرعة التي تبلغ 25 m/s . ارسم رسومات بيانية منفصلة لـ y مقابل t و x مقابل t لكل كرة.



الشكل 21

القسم 2 الحركة الدائرية

إتقان المفاهيم

55. هل يمكنك الدوران في منعطف عندما يكون التسارع كالاتي؟ اشرح.

- التسارع يساوي صفر
- التسارع ثابت مقدارًا واتجاهًا

56. للحصول على حركة دائرية منتظمة، إلى أي مدى تعتمد محصلة القوة التي تؤثر في جسم متحرك على سرعة الجسم؟

57. لتفترض أنك تلف يويو حول رأسك في دائرة أفقية.

- في أي اتجاه يجب أن تؤثر القوة في اليويو؟
- ما مسبب القوة؟

c. إذا تركت خيط اليويو، ففي أي اتجاه تتحرك اللعبة؟ استخدم قوانين نيوتن في إجابتك.

إتقان حل المسائل

58. سباق السيارات تكمل سيارة سباق كتلتها 615 kg لفة واحدة في 14.3 s حول مسار دائري يبلغ نصف قطره 50.0 m . لتفترض أن سيارة السباق تسير بسرعة ثابتة.

- كم يبلغ تسارع السيارة؟
- ما القوة التي يجب أن يؤثر بها المسار في الإطارات لينتج هذا التسارع؟

59. مهمة الترتيب رتب الأجسام التالية حسب التسارع المركزي الخاص بها من الأصغر إلى الأكبر. أشر إلى أي علاقة على وجه التحديد.

A: حجر كتلته 0.50 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.6 m بسرعة 2.0 m/s

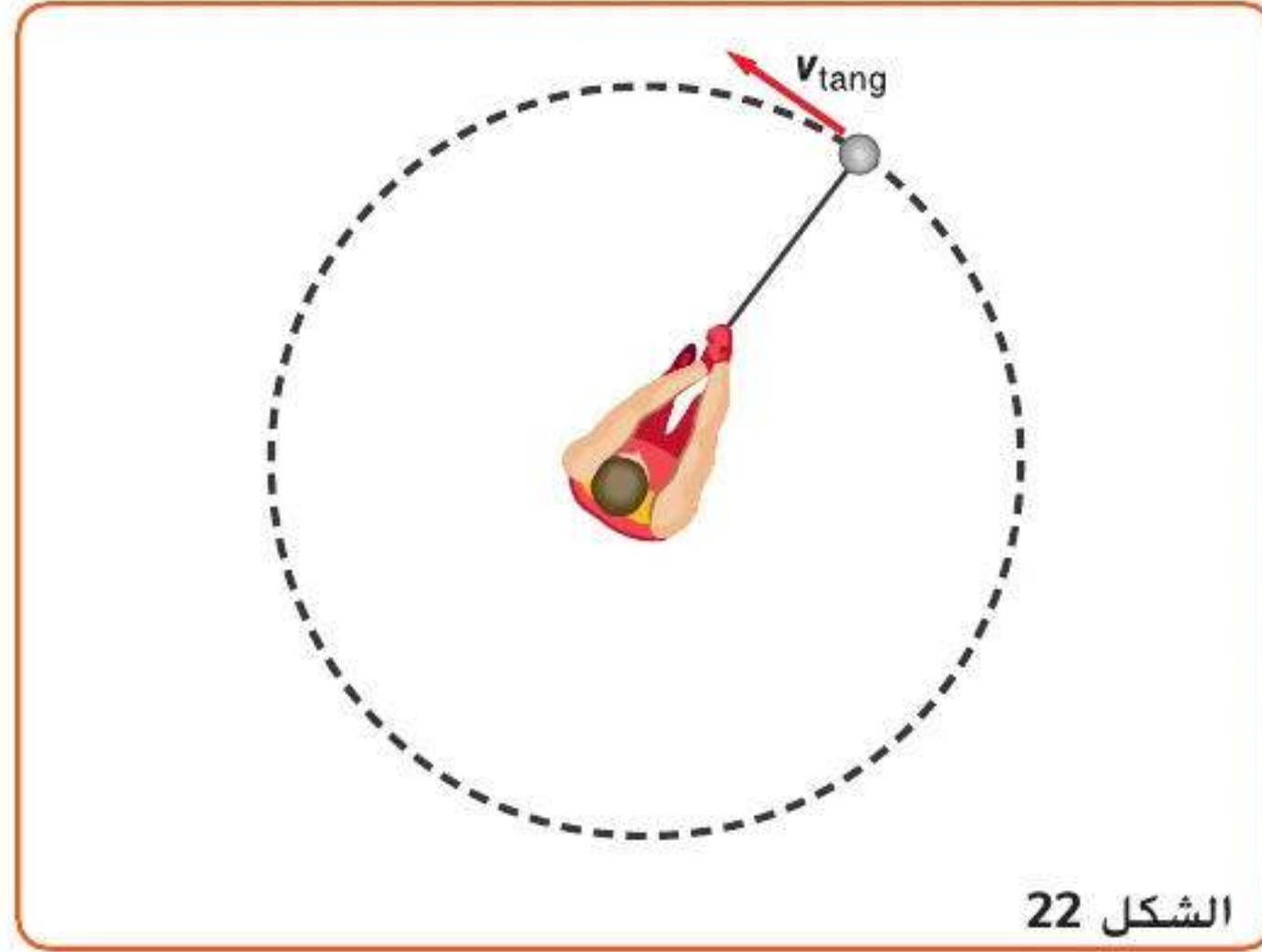
B: حجر كتلته 0.50 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 1.2 m بسرعة 3.0 m/s

C: حجر كتلته 0.60 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.8 m بسرعة 2.4 m/s

D: حجر كتلته 0.75 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 1.2 m بسرعة 3.0 m/s

E: حجر كتلته 0.75 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.6 m بسرعة 2.4 m/s

60. رمي المطرقة بلف رياضي مطرقة وزن 7.00 kg تبعد عن مركز الدوران 1.8 m في دائرة أفقية، كما هو موضح في الشكل 22. إذا كانت المطرقة تلف دورة واحدة في 1.0 s ، فكم يبلغ التسارع المركزي الخاص بالمطرقة؟ كم تبلغ قوة الشد في السلسلة؟



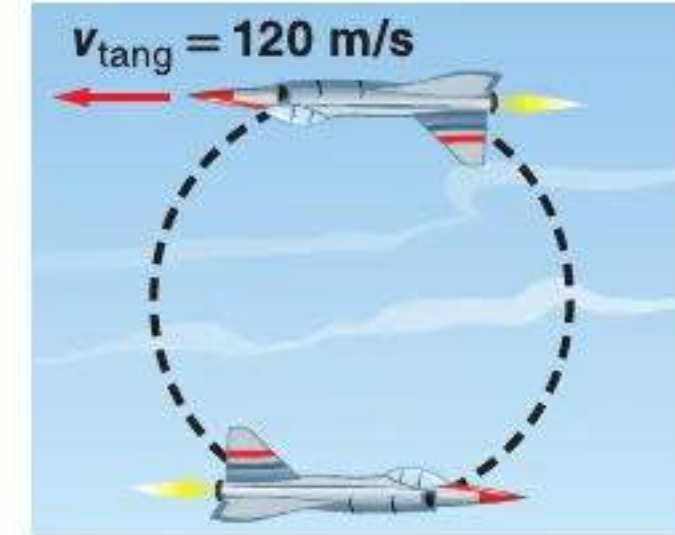
الشكل 22

61. يدور ساق مستدير يبلغ طوله 15.3 cm عندما يكون محوره في أحد طرفي الساق. يتحرك الطرف الآخر من الساق بسرعة ثابتة تبلغ 2010 m/s (4500 mph).

- كم يبلغ التسارع المركزي لطرف الساق؟
- إذا كنت تريد أن تربط جسمًا كتلته 1.0 g بطرف الساق، فما مقدار القوة اللازمة ليثبت على الساق؟

62. يركب مهرج دراجة نارية أسفل منحدر ثم أعلى حلقة رأسية كبيرة وحولها. إذا كان نصف قطر الحلقة 18 m ، فما أقل سرعة يمكن أن يصل بها الراكب أعلى الحلقة بحيث تظل الدراجة ملامسة للمسار وتتجنب السقوط؟ تلميح: بهذه السرعة البطيئة، لا يؤثر المسار بأي قوة في الدراجة عند أعلى الحلقة.

63. يقود طيار كتلته 75 kg طائرة في حلقة كما هو موضح في الشكل 23. في أعلى الحلقة، عندما تنقلب الطائرة رأساً على عقب تماماً للحظة، يُعلق الطيار بحرية في المقعد ولا يدفع حزام المقعد. تكون قراءة مؤشر السرعة 120 m/s. كم يبلغ نصف قطر حلقة الطائرة؟



الشكل 23

القسم 3 السرعة المتجهة النسبية

إتقان المفاهيم

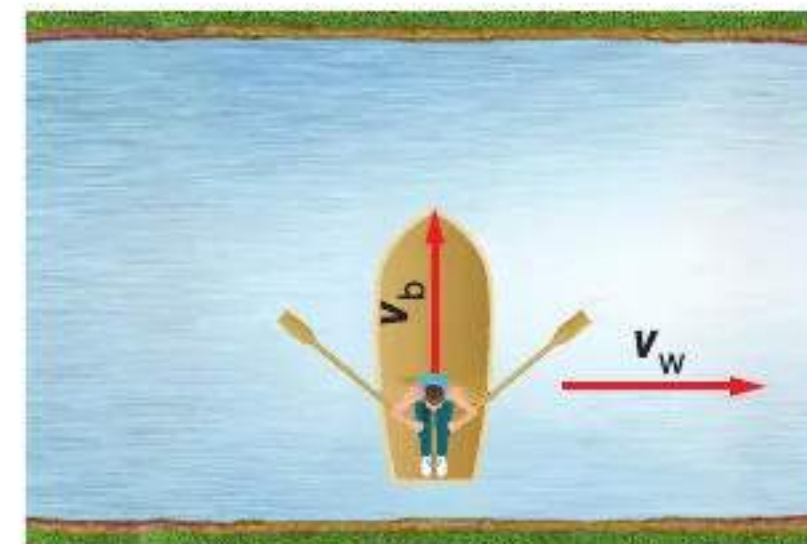
64. لماذا تبدو السيارة التي تسير في الاتجاه المعاكس بالنسبة إلى السيارة التي تقودها على الطريق السريع في كثير من الأحيان أنها أسرع من الحد الأقصى للسرعة؟

إتقان حل المسائل

65. يجلس علي وأدهم على ضفاف نهر ويقرران أن يتسابقا. سيركض علي على طول الشاطئ حتى يصل إلى المرسى الذي يبعد حوالي 1.5 km. ثم يعود. سيتسابق أدهم أيضاً إلى المرسى ويعود، ولكنه سيجد بقاءه في النهر تبلغ سرعة تياره 2.0 m/s. إذا كانت سرعة ركض علي تساوي سرعة تجديف أدهم في الماء الراكد التي تبلغ 4.0 m/s، فماذا ستكون نتيجة السباق؟ لنفترض أنهما تحركا في الوقت نفسه.

66. عبور نهر تجدّف بقارب، مثل الموضح في الشكل 24، عمودي على شاطئ النهر الذي يتدفق بسرعة 3.0 m/s. تبلغ سرعة القارب 4.0 m/s بالنسبة إلى الماء.

- كم تبلغ سرعة قاربك بالنسبة إلى الشاطئ؟
- ما مركبة سرعتك الموازية للشاطئ؟ والعمودية عليه؟



الشكل 24

67. السفر جواً تقود طائرة صغيرة وتريد الوصول إلى مطار على بُعد 450 km جنوباً في غضون 3.0 h. تهب رياح من الغرب بسرعة 50.0 km/h. ما الوجة والسرعة الجوية اللتان ينبغي اختيارهما لتصل إلى وجهتك في الوقت المحدد؟

68. طرح المسائل أكمل هذه المسألة بحيث يمكن حلها باستخدام مفهوم السرعة المتجهة النسبية: "يوجد سالم على الضفة الغربية لنهر عرضه 55 m تبلغ سرعة تياره 0.7 m/s".

تطبيق المفاهيم

69. حركة المقذوف اشرح كيف يمكن أن تكون الحركة الأفقية منتظمة بينما الحركة الرأسية بحالة تسارع. كيف ستتأثر حركة المقذوف عندما تؤخذ مقاومته بسبب مقاومة الهواء في الاعتبار؟

70. البيسبول ضرب لاعب الهجوم كرة مباشرة اجتازت القاعدة الرئيسة بسرعة ابتدائية قدرها 20 m/s. أمسك حارس المرمى من الفريق المدافع الكرة من نفس الارتفاع الذي ضربت منه. بأي سرعة وصلت الكرة إلى قفاز حارس المرمى؟ تجاهل مقاومة الهواء.

71. الرمية السريعة في لعبة البيسبول، تستغرق الرمية السريعة 0.5 s حتى تصل إلى القاعدة. لنفترض أن هذه الرمية رُميت أفقياً، قارن بين المسافة التي قطعها الكرة في أول 0.25 s والمسافة التي قطعها في ثاني 0.25 s.

72. ترمي حجراً أفقياً، في الرمية الأفقية الثانية، رميت الحجر بقوة أكبر ودفعته بسرعة أكبر.

a. كيف سيتأثر الزمن الذي يستغرقه الحجر حتى يسقط على الأرض؟ تجاهل مقاومة الهواء.

b. ما مدى تأثير السرعة الزائدة على المسافة من خروج الحجر من يدك حتى سقوطه على الأرض؟

73. علم الأحياء في مجال ما يقف عالم حيوان على منحدر ويصوب بندقية تخدير مؤقت نحو قرد يتسلق الأشجار موجود في مدى البندقية. ماسورة البندقية موجهة أفقياً. بمجرد أن يسحب عالم الحيوان الزناد، يدوخ القرد ويبدأ في السقوط. هل سيصيب السهم القرد؟ تجاهل مقاومة الهواء.

74. كرة القدم يمرر اللاعب القائد كرة القدم بسرعة 24 m/s وبزاوية 45°. إذا استغرقت الكرة 3.0 s حتى تصل إلى قمة مسارها وأمسك بالكرة من نفس الارتفاع الذي مُررت منه، فكم تبلغ الفترة التي ظلت فيها في الهواء؟ تجاهل مقاومة الهواء.

75. سباقات المضمار والميدان تسعى جاهداً إلى تحسين أدائك في الوثب الطويل وتعتقد أن المعلومات الواردة في هذه الوحدة يمكن أن تساعدك. هل يحدث الارتفاع الذي وصلت إليه أي فارق في وثبك؟ ما الذي يؤثر في طول وثبك؟

76. القيادة على الطريق السريع اشرح لماذا عندما تمر بسيارة تسير في نفس اتجاهك على الطريق السريع تشعر أنها تستغرق زمناً أطول من السيارة التي تسير في الاتجاه المعاكس.

77. تخيل أنك تجلس في سيارة وترمي كرة مباشرة في الهواء.

a. إذا كانت السيارة تسير بسرعة ثابتة، فهل ستسقط الكرة أمامك أم خلفك أم بين يديك؟

b. إذا انعطفت السيارة بسرعة ثابتة، فأين ستسقط الكرة؟

78. تلف يويو حول رأسك في دائرة أفقية. ثم تلف يويو آخر مثلي حجم اليويو الأول، ولكنك لم تغير طول الخيط أو الفترة الزمنية. ما أوجه الاختلاف بين قوتي الشد في الخيطين؟

79. سباق السيارات أصبحت منحنيات مسار السباق مرصوفة حتى يسهل على السيارات تجاوز المنحنيات بسرعات عالية. ارسم مخطط الجسم الحر لسيارة على منحنى مرصوف من مخطط الحركة. أوجد اتجاه التسارع.

a. ما مسبب القوة في اتجاه التسارع؟

b. هل يمكن أن تنتج هذه القوة من دون احتكاك؟

مراجعة عامة

80. قال المشككون الأوائل في فكرة دوران الأرض أن دوران الأرض بسرعة يمكن أن يلقي من عند خط الاستواء في الفضاء.

يبلغ طول نصف قطر الأرض 6.38×10^3 km تقريباً. وضح سبب اعتبار هذه الفكرة خاطئة بحساب ما يلي.

a. سرعة شخص كتلته 97 kg عند خط الاستواء

b. القوة اللازمة لتسارع الشخص في الدائرة

c. وزن الشخص

d. القوة الرأسية للأرض التي تؤثر في الشخص وهي الوزن الظاهري له

81. إطلاق صاروخ تحلق طائرة بسرعة 375 m/s بالنسبة إلى الأرض وتطلق صاروخاً للأمام بسرعة 782 m/s بالنسبة إلى الطائرة. كم تبلغ سرعة الصاروخ بالنسبة إلى الأرض؟

82. ترسانة الصواريخ يُطلق صاروخ في الفضاء الخارجي يتحرك بسرعة 1.25 km/s بالنسبة إلى مراقب ينطلق بدراجته النارية. تخرج الغازات الساخنة من الخلف بسرعة 2.75 km/s بالنسبة إلى الصاروخ. كم تبلغ سرعة الغازات بالنسبة إلى المراقب؟

83. كرة كتلتها 1.13 kg تتأرجح رأسياً من حبل طوله 0.50 m بحركة دائرية منتظمة بسرعة 2.4 m/s. كم تبلغ قوة الشد في الحبل عند أسفل موقع في حركة الكرة؟

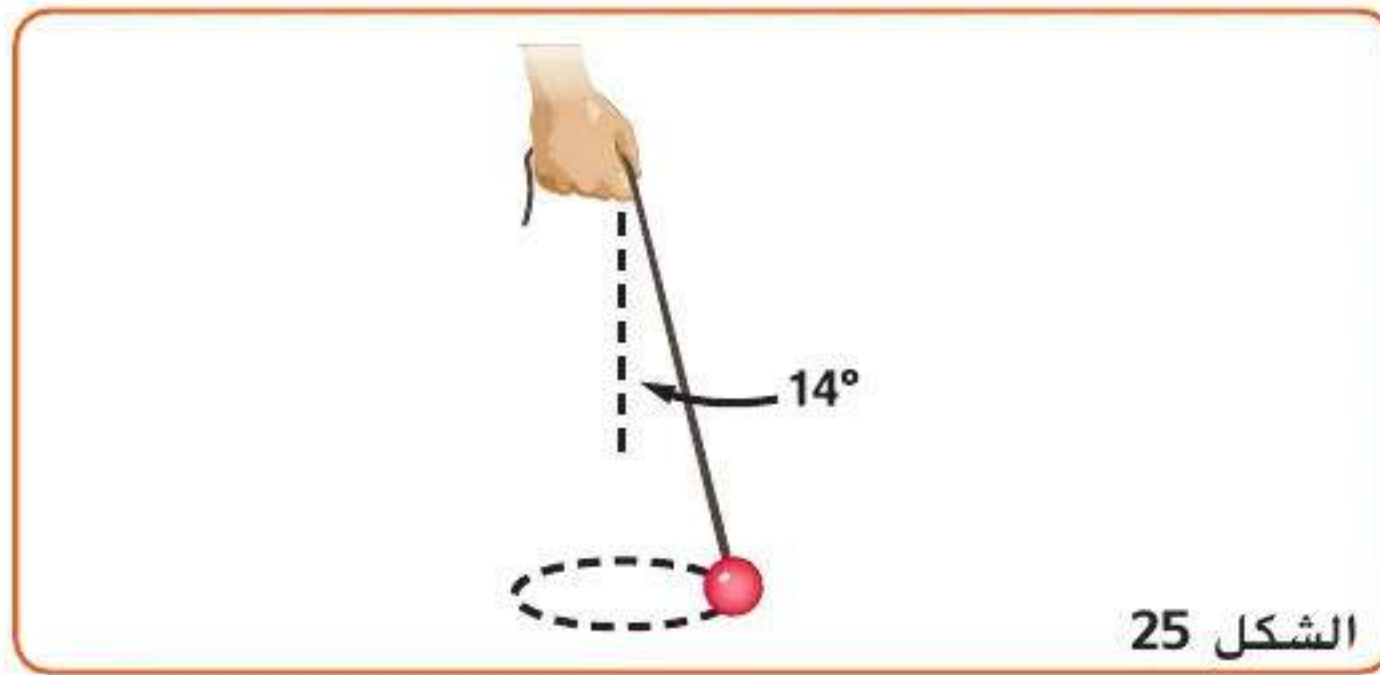
84. تفصل مسافة مقدارها 500.0 m في البداية بين حصانين. يتحركان نحو بعضهما بسرعة ثابتة تبلغ 2.5 m/s. يتحرك يعسوب بسرعة ثابتة قدرها 3.0 m/s ويطير من أنف أحد الحصانين إلى الآخر. ثم يستدير فوراً ويطير مرة أخرى إلى الحصان الأول. يواصل الطيران ذهاباً وإياباً حتى يصل الحصانان إلى بعضهما. ما المسافة التي قطعها يعسوب خلال هذه الفترة؟

85. الطرق المرصوفة تُرصف منحنيات الطرق غالباً لتساعد على منع السيارات من الانزلاق. إذا كان الحد الأقصى للسرعة لمنحنى معين نصف قطره 36.0 m هو 15.7 m/s (35 mph)، فعند أي زاوية يجب رصف الطريق بحيث تبقى السيارات على مسار دائري حتى لو لم يوجد أي احتكاك بين الطريق والإطارات؟ إذا زاد الحد الأقصى للسرعة إلى 20.1 m/s (45 mph)، فعند أي زاوية يجب رصف الطريق؟

86. الكرة التي كتلتها 1.45 kg الموضحة في الشكل 25 معلقة من سلسلة طولها 0.80 m وتتحرك في دائرة أفقية بسرعة ثابتة.

a. كم تبلغ قوة الشد في السلسلة؟

b. كم تبلغ سرعة الكرة؟



87. ضرب لاعب مدافع كرة بيسبول مباشرة بما يتوافق مع زاوية قدرها 35.0° أعلى المستوى الأفقي بسرعة ابتدائية قدرها 22.0 m/s. يبدأ اللاعب المدافع الركض بمجرد ضرب الكرة بسرعة ثابتة قدرها 2.5 m/s ويمسك الكرة بالكاد. لنفترض أن الكرة أمسكت من نفس الارتفاع الذي ضربت منه، فما المسافة الابتدائية بين اللاعب المهاجم واللاعب المدافع؟ تلميح: توجد إجابتان محتملتان.

88. يوجد مع محمد حقيبة من الكرات الزجاجية أعلى مبنى ارتفاعه 60.0 m. وفي الوقت نفسه، يركب طارق منطاداً يعمل بالهواء الساخن يبعد عن قاعدة المبنى 20.0 m ويفك رباط المنطاد، ثم يبدأ في التحليق بسرعة ثابتة. يرمي محمد حقيبة الكرات الزجاجية أفقياً بسرعة 7.3 m/s بمجرد أن يبدأ المنطاد في التحليق. ماذا يجب أن تكون سرعة المنطاد بالنسبة إلى طارق حتى يمسك الحقيبة بسهولة؟

التفكير الناقد

89. تطبيق المفاهيم فكّر في شريط قطار ملاه يشبه الموضح في الشكل 26. هل تسير السيارات على طول الشريط بحركة دائرية منتظمة؟ اشرح.



الشكل 26

90. استخدام الكمبيوتر والآلات الحاسبة يضرب لاعب بيسبول كرة سريعة من ارتفاع الحزام (1.0 m) حتى تسقط على خط الملعب الأيسر. يضرب اللاعب الكرة بسرعة ابتدائية قدرها 42.0 m/s بزاوية 26° أعلى المستوى الأفقي. يبعد سياج الملعب الأيسر بمسافة 96.0 m عن القاعدة الرئيسة عند حدود عمود الملعب ويبلغ ارتفاعه 14 m. اكتب معادلة ارتفاع الكرة (y) كدالة لبعدها عن القاعدة الرئيسة (x). استخدم الكمبيوتر أو آلة حاسبة بيانية لرسم مسار الكرة. تتبع المسار لمعرفة مقدار ارتفاع الكرة عن سطح الأرض عندما تصل إلى السياج.

a. هل الضربة تجاوزت حدود الملعب؟
b. ما الحد الأدنى للسرعة الذي يمكن أن تُضرب به الكرة وتجتاز السياج؟
c. إذا كانت السرعة الابتدائية للكرة 42.0 m/s، فما نطاق الزوايا التي ستجتاز الكرة بها السياج؟

91. التحليل أوضح ألبرت أينشتاين أن القاعدة التي تعلمتها لجمع السرعات لا تصلح للأجسام المتحركة بالقرب من سرعة الضوء. على سبيل المثال، إذا كان صاروخ يتحرك بسرعة v_A يطلق قذيفة بسرعة v_B بالنسبة إلى الصاروخ، فإن سرعة القذيفة بالنسبة إلى مراقب

$$v = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_A v_B}{c^2}}$$

مستريح تُمثل كما يلي، حيث c سرعة الضوء.

$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$. تعطي هذه الصيغة القيم الصحيحة للأجسام المتحركة بسرعات بطيئة أيضًا. لنفترض أن صاروخًا يتحرك بسرعة 11 km/s يطلق شعاع ليزر أمامه. كم تبلغ السرعة التي يمكن أن يجدها مراقب غير متحرك لضوء الليزر؟ لنفترض أن صاروخًا يتحرك بسرعة $\frac{c}{2}$ ، نصف سرعة الضوء ويطلق قذيفة للأمام بسرعة $\frac{c}{2}$ بالنسبة إلى الصاروخ. ما مقدار سرعة حركة الصاروخ بالنسبة إلى مراقب ثابت؟

92. التحليل والاستنتاج تتحرك كرة في سلسلة خفيفة الوزن في دائرة رأسية. حلل حركة هذا النظام وصفها. تأكد من دراسة آثار الجاذبية وقوة الشد. هل يتحرك هذا النظام حركة دائرية منتظمة؟ اشرح إجابتك.

الكتابة في الفيزياء

93. قطارات الملاهي ليست أشرطة معظم قطارات الملاهي دائرية الشكل. ابحث عن السبب الفيزيائي وراء اختيار هذا التصميم وشرحه.

94. تستخدم ألعاب متعددة في الملاهي التسارع المركزي لإضفاء جو من الإثارة لزبائن الملاهي. استخدم لعبتين أخريين غير قطار الملاهي الذي يستخدم الحركة الدائرية وشرح كيف توفر فيزياء الحركة الدائرية جوًا من الإثارة لراكبي القطار.

مراجعة تراكمية

95. اقسم أو اضرب كما هو موضح باستخدام الأرقام الموضحة بشكل صحيح.

- a. $(4.2 \times 10^7 \text{ m})(5 \times 10^8 \text{ m})$
b. $(8.5 \times 10^{-6} \text{ km})(1.67 \times 10^{-2} \text{ km})$
c. $\frac{2.6 \times 10^4 \text{ kg}}{9.4 \times 10^3 \text{ m}^3}$
d. $\frac{6.3 \times 10^{-1} \text{ m}}{3.8 \times 10^2 \text{ s}}$

96. ارسم البيانات الواردة في الجدول 1 على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن. أوجد السرعة المتوسطة في الفترة الزمنية بين 0.0 s و 5.0 s.

الجدول 1 الموقع والزمن	
t (s) قراءة الساعة	x (m) الموقع
0.0	30
1.0	30
2.0	35
3.0	45
4.0	60
5.0	70

97. مصطفى وشقيقه الأكبر أمير في محل البقالة. يريد مصطفى الذي كتلته 17.0 kg أن يركب على الجزء الأمامي من العربة بينما يدفعها أمير. رغم أنهما يعرفان أن هذا غير آمن. يدفع أمير عربة كتلتها 12.4 kg بالإضافة إلى شقيقه الذي يركب عليها وبالتالي يبلغ تسارعهما 0.20 m/s^2 .

- a. بأي قوة يدفع أمير العربة؟
b. ما قوة العربة التي تؤثر في مصطفى؟

اختيار من متعدد

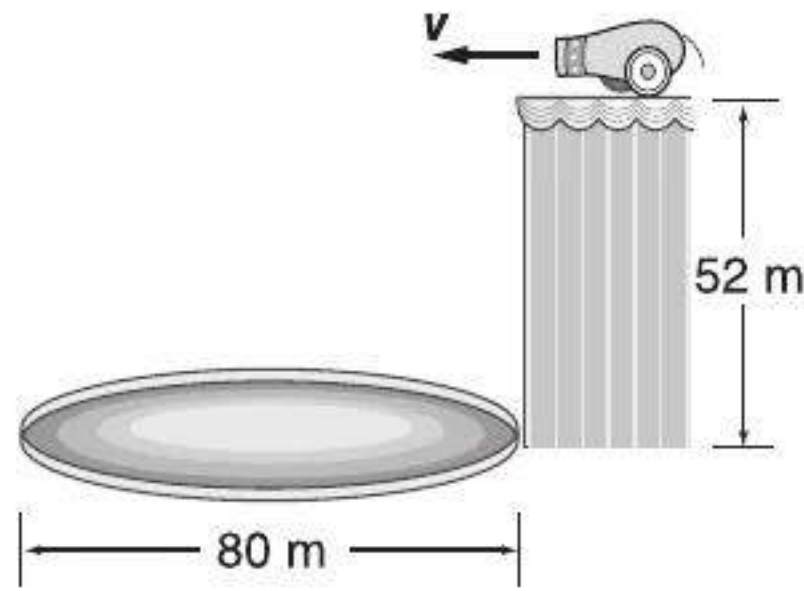
1. تفذف فتاة طولها 1.60 m كرة قدم بزاوية 41.0° فوق المستوى الأفقي وبسرعة ابتدائية 9.40 m/s . ما المسافة الأفقية بين الفتاة وموضع الكرة عندما عادت لنفس مستوى القذف؟
 A. 4.55 m
 B. 5.90 m
 C. 8.90 m
 D. 10.5 m
2. يجلس طفل على لعبة دوامة الخيل التي تبعد عن المركز مسافة 2.8 m. إذا كانت السرعة المماسية للعبة 0.89 m/s ، فكم يبلغ التسارع المركزي للطفل؟
 A. 0.11 m/s^2
 B. 0.28 m/s^2
 C. 0.32 m/s^2
 D. 2.2 m/s^2
3. تبلغ القوة التي يؤثر بها خيط مهمل الوزن طوله 2.0 m في جسم كتلته 0.82 kg ويتحرك في دائرة أفقية 4.0 N . فكم تبلغ السرعة المماسية للجسم؟
 A. 2.8 m/s
 B. 3.1 m/s
 C. 4.9 m/s
 D. 9.8 m/s
4. تدخل سيارة كتلتها 1000 kg منحنى نصف قطره 80.0 m بسرعة 20.0 m/s . ما قوة الجذب المركزي التي يجب أن يوفرها الاحتكاك حتى لا تنزلق السيارة؟
 A. 5.0 N
 B. $2.5 \times 10^2 \text{ N}$
 C. $5.0 \times 10^3 \text{ N}$
 D. $1.0 \times 10^3 \text{ N}$
5. يرى عداء على ضفة نهر فريق تجديف قادمًا نحوه. بالنسبة إلى الأرض، يركض العداء بسرعة 10 km/h غربًا ويبحر القارب بسرعة 20 km/h شرقًا. كم تبلغ سرعة تقدم العداء نحو القارب؟
 A. 10 km/h
 B. 30 km/h
 C. 20 km/h
 D. 40 km/h
6. ما أقصى ارتفاع يمكن أن تصل إليه تفاحة كتلتها 125 g قذفت بزاوية 78° فوق المستوى الأفقي بسرعة ابتدائية 18 m/s ؟
 A. 0.70 m
 B. 16 m
 C. 32 m
 D. 33 m

7. تسقط برتقالة في الوقت نفسه ومن الارتفاع نفسه الذي تخرج فيه رصاصة من بندقية. أي مما يلي صحيح؟

- A. التسارع بسبب الجاذبية أكبر بالنسبة إلى البرتقالة لأن البرتقالة أثقل.
- B. تؤثر الجاذبية في الرصاصة بدرجة أقل من البرتقالة لأن الرصاصة تتحرك بسرعة كبيرة جدًا.
- C. ستكون السرعات واحدة.
- D. ستسقط البرتقالة والرصاصة على الأرض في الوقت نفسه.

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

8. أطلقت قذيفة من الرصاص أفقيًا بسرعة 25 m/s من مدفع السيرك، الموضح في الشكل، من منصة أحبال عالية على أحد جوانب حلبة السيرك. إذا كان طول المنصة 52 m فوق الحلبة التي يبلغ قطرها 80 m، فهل يحتاج الممثلون إلى ضبط مدافعهم بحيث تسقط الكرة داخل الحلبة بدلًا من خارجها؟ اشرح.



9. يلف محارب أسطوري صولجًا كتلته 5.6 kg في نهاية سلسلة سحرية مهمل الوزن طولها 86 cm في دائرة أفقية فوق رأسه. يلف الصولجان دورة واحدة كاملة في 1.8 s. أوجد قوة الشد في السلسلة السحرية.

شكر و تقدير

نسخة الطلاب

iv Don Farrall/Getty Images; v Hutchings Photography/Digital Light Source; vi Carol Wolfe; vii NASA GSFC image by Robert Simmon and Reto Stöckli; 2-3 Kenna Love/Alamy Stock Photo; 4 Vstock LLC/Getty Images; 8 World History Archive/Alamy; 10 Jupiterimages/Comstock Images/Getty Images; 11 Purestock/SuperStock; 16 (t)Don Farrall/Getty Images, (c, b)McGraw-Hill Education; 17 McGraw-Hill Education; 19 McGraw-Hill Education; 20 McGraw-Hill Education; 21 Matt Meadows/McGraw Hill; 27 Volanthivist/Moment Open/Getty Images; 30-31 Frankris/Shutterstock; 32 Henryk Sadura/Alamy; 36 DENKOU IMAGES GMBH/age fotostock; 39 Daniel Tuitert/Anp Photo/agefotostock; 40 Mike Watson Images Limited/Glow Images; 44 (l)Mylu/Shutterstock, (tr)Comstock Images/SuperStock, (cr)Baishev/Shutterstock; 47 (l)Jensen Walker/DreamPictures/Blend Images, (c)Uwe Kreth/Shutterstock, (r)Photodisc/Getty Images; 50 Nigel Hicks/Purestock/Getty Images; 53 Tim Fuller; 54 Horizons Companies; 55 (tl)Comstock Images/SuperStock, (tr)Ansis Klucis/Shutterstock; 58-59 Iconotec/Alamy; 60 (t)NaturePL/SuperStock, (b)Amana Images, Inc./Alamy; 61 Ingram Publishing; 62 McGraw-Hill Education; 68 Galileo Project, SSI, University of Arizona/NASA; 69 Hutchings Photography/Digital Light Source; 70 (t)Don Farrall/Photodisc/Getty Images, (b)Matt Meadows; 71 McGraw-Hill Education; 72 (t)Laura Sifferlin, (b)Stockbyte/Getty Images; 73 Hutchings Photography/Digital Light Source; 74 Hutchings Photography/Digital Light Source; 78 (t)Nestor Rizhniak/Shutterstock, (b)Frank Ramspott/iStock Vectors/Getty Images; 79 Matt Meadows; 84-85 Christopher Kerrigan/McGraw-Hill Education; 86 (t)Dennis Strete/McGraw Hill, (b)Photo 24/Getty Images; 88 Hutchings Photography/Digital Light Source; 90 Hutchings

Photography/Digital Light Source; 93 Ihateliver/Shutterstock; 94 Nicholas Eveleigh/Stockbyte/Getty Images; 95 Igor Korionov/Alamy Stock Photo; 97 Horizons Companies; 99 Steve Allen/Getty Images; 104 (bkgd)MARK GARLICK/SPL/Getty Images; 106 Syda Productions/Shutterstock; 108 Scott Leigh/iStock/Getty Images Plus/Getty Images; 112-113 uberdogleg/room/Getty Images; 114 Brad Perks Lightscapes/Alamy; 115 Leslie Garland Picture Library/Alamy; 116 Purestock/Getty Images; 119 (t)Lawrence Lawry/Photodisc/PunchStock; 120 (b)Kent Wood/Photo Researchers, Don Farrall/Photodisc/Getty Images; 121 WeatherVideoHD.TV; 122 (t)Collage_Best/Getty Images, (b)Don Farrall/Photographer's Choice/Getty Images; 128 (t)ThinkStock/Getty Images, (b)C. Zachariasen/PhotoAlto; 130 Comstock/SuperStock; 131 David R. Tyner/Flickr/Getty Images; 134 (tr)Science Source, (c)NASA/ESA/S. Beckwith (STScI)/The Hubble Heritage Team (STScI/AURA), (l)NASA and The Hubble Heritage Team (AURA/STScI), (bkgd)NASA/JPL-Caltech/Texas A&M, (br)NASA; 142-143 Lex van Lieshout/Fuse/imageshop/PunchStock/Getty Images; 144 (t)Lumppini/Shutterstock, (bl)Comstock Images/Alamy Stock Photo, (br)Zenith Dsouza/Shutterstock; 145 (t)North Wind Picture Archives/Alamy, (bl)sciencephotos/Alamy Stock Photo, (bc, br)GIPhotoStock/Science Source; 149 (t)William Andrew/Flickr/Getty Images, (b)Andrew Lambert Photography/Science Source; 150 Hutchings Photography/Digital Light Source; 152 (inset)Ainsley E Seago/2008 The Royal Society, (t)Carol Wolfe; 153 (t)Getty Images, (bl)sciencephotos/Alamy Stock Photo, (bc, br)Ted Kinsman/Science Source; 156 GIPhotoStock X/Alamy; 157 (t)Getty Images, (inset)Michael W. Davidson/Science Source; 158 GIPhotoStock/Science Source; 160 Hutchings

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

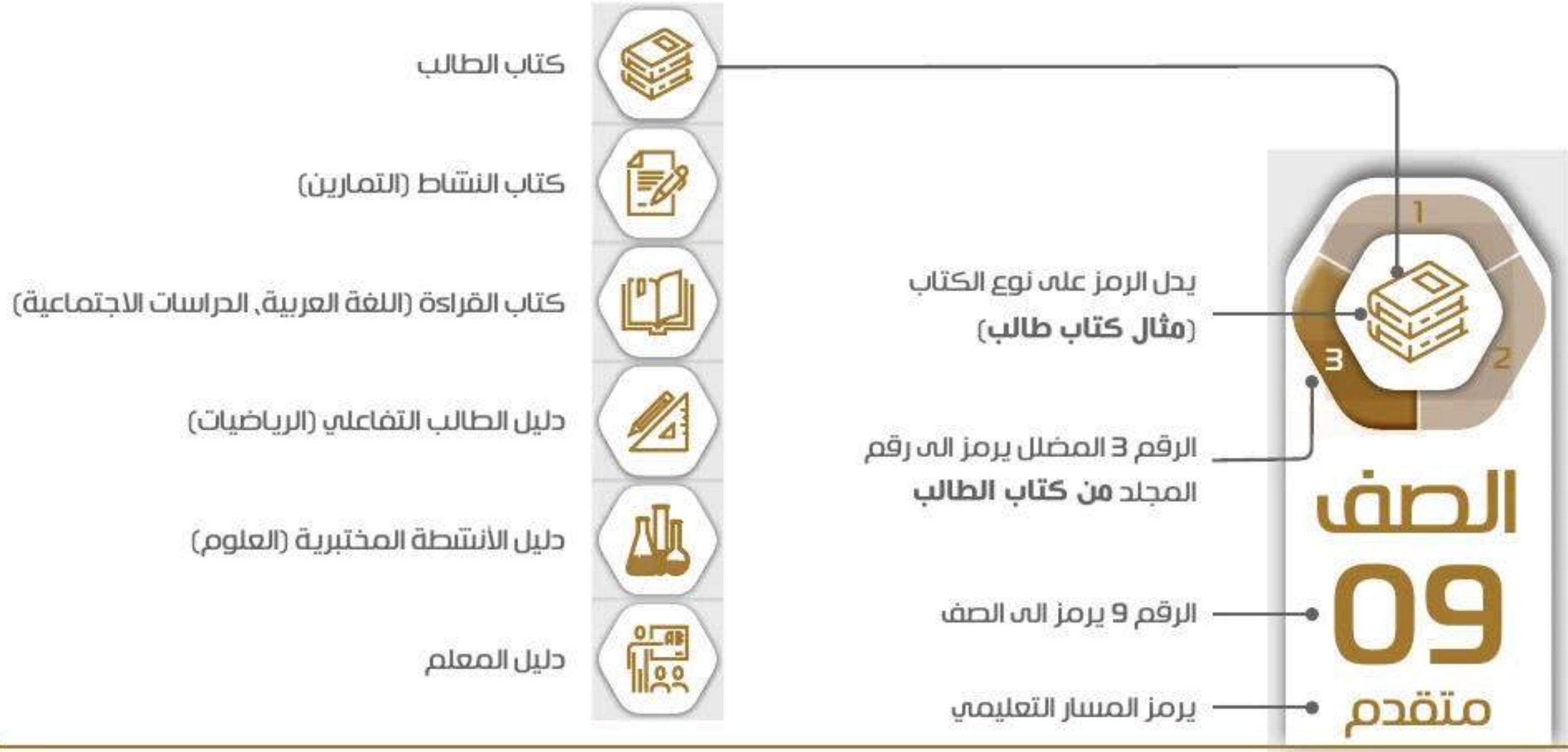
[illegible]

[illegible]

[illegible]

دلائل رموز الغلاف

لون الحلقة الثالثة



مركز اتصال وزارة التربية والتعليم
اقتراح - استفسار - شكوى



80051115



www.moe.gov.ae



Info@moe.gov.ae



تم تحميل هذا الملف من موقع منتديات صقر الجنوب

للدخول على الموقع انقر هنا

لمزيد من الملفات ابحث عن

Search

منتديات صقر الجنوب المنهاج الإماراتي



المنهاج الإماراتي



Emirati@jnob-jo.com



+962 799238559

نعمل بجد لتقديم تعليم متميز يحقق طموحات المستقبل.