تم تحميل الملف
من موقع بداية

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

للمزيد اكتب
في جوجل Google

موقع بداية التعليمي كل ما يحتاجه **الطالب والمعلم**
من ملفات تعليمية، حلول الكتب، توزيع المنهج،
بوربوينت، اختبارات، ملخصات، اختبارات إلكترونية،
أوراق عمل، والكثير...

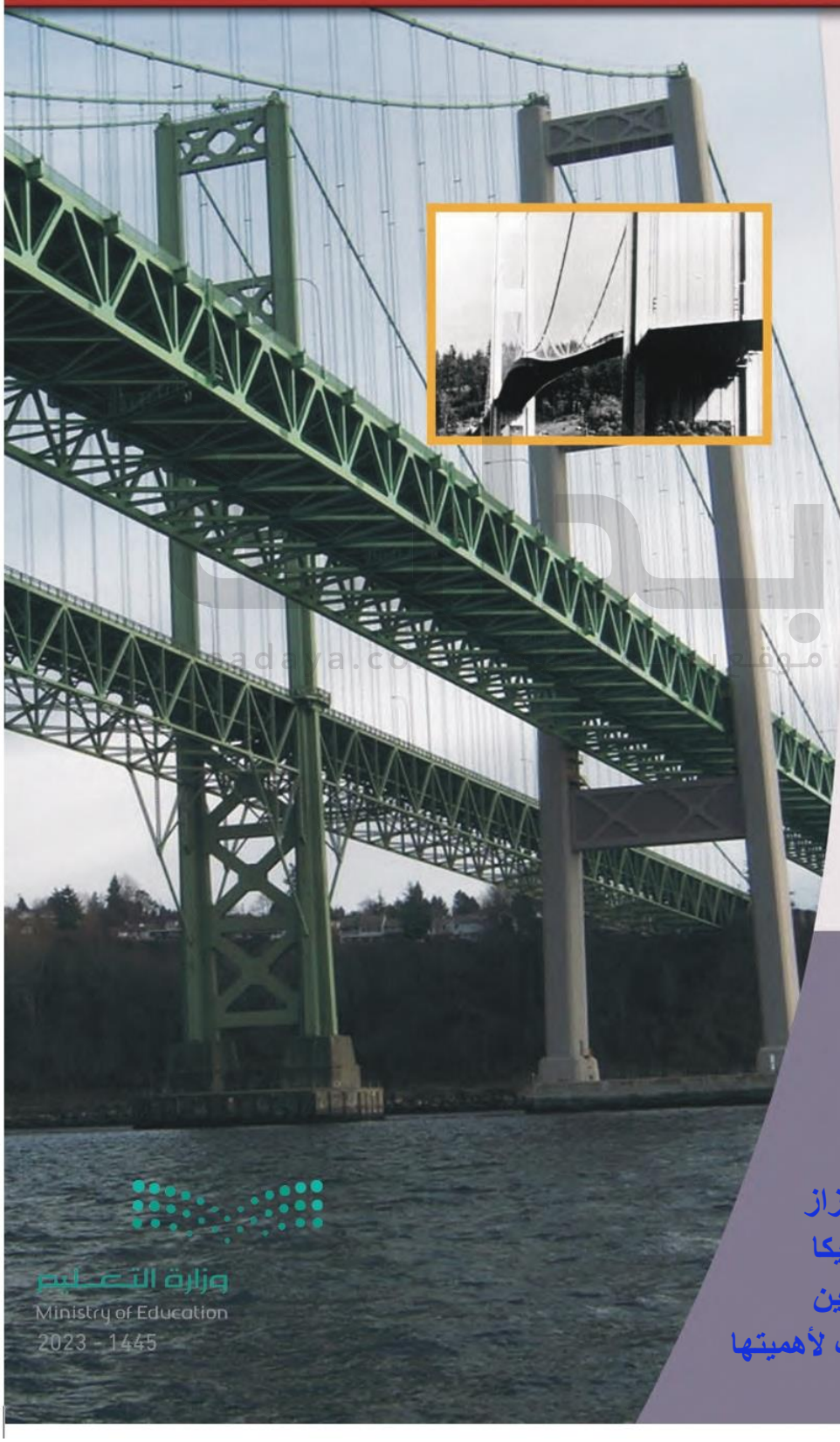
حمل التطبيق

GET IN ON Google Play

Download on the App Store

الفصل 2

الاهتزازات والموجات
Vibrations and Waves



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

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

الأهمية

إن معرفة سلوك الموجات والاهتزازات ضروري جدًّا لفهم ظاهرة الرنين، وكيفية بناء الجسور والأبنية الآمنة، ولمعرفة كيف تتم الاتصالات من خلال المذياع والتلفاز أيضًا.

"جسر جالوبينج جيرتي Galloping Gertie" بعد فترة قصيرة من افتتاح جسر مضيق تاكوما (قريبًا من تاكوما في واشنطن) أمام حركة المركبات بدأ هذا الجسر في الاهتزاز عند هبوب الرياح. وكانت الاهتزازات شديدة في أحد الأيام، فتحطم الجسر، وانهار في الماء.

فكِّر

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

تطرح عادة ظاهرة الاهتزاز الذاتي الناتج عن الديناميكا الهوائية كمثال على الرنين الميكانيكى القسرى وذلك لأهميتها

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تنتقل الموجات في نابض؟

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

الخطوات

1. شدَّ نابضًا لولبيًّا دون مبالغة في ذلك، ثم اطلب إلى أحد زملائك تثبيت أحد طرفي النابض، بينما يحرك زميل آخر الطرف الحر للنابض باتجاه طوله وبالعكس ليولّد نبضات فيه. راقب النبضات خلال انتقالها في النابض إلى أن تصل الطرف المثبت، وسجل ملاحظاتك.
2. كرّر الخطوة 1، بتوليد نبضات أكبر، وسجل ملاحظاتك.
3. ولّد نبضات مختلفة في النابض بتحريكه جانبيًا من أحد طرفيه، وسجل ملاحظاتك.
4. ولّد نوعًا ثالثًا من النبضات عن طريق لَيّ (لف) أحد طرفي النابض، ثم تركه، وسجّل ملاحظاتك.

التحليل

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

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

2–1 الحركة الدورية Periodic Motion

بداية | موقع بداية التعليمي
beadaya.com

لعلك شاهدت بندول ساعة يتأرجح ذهابًا وإيابًا، ولاحظت أن كل تأرجح يتبع المسار نفسه، وتحتاج كل رحلة ذهاب وإياب إلى المقدار نفسه من الزمن. تعتبر هذه الحركة مثالاً على الحركة الاهتزازية. ومن الأمثلة الأخرى على ذلك تذبذب جسم فلزي مثبت بنابض إلى أعلى وإلى أسفل. هذه الحركات التي تتكرّر في دورة منتظمة أمثلة على **الحركة الاهتزازية (الدورية)**.

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

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

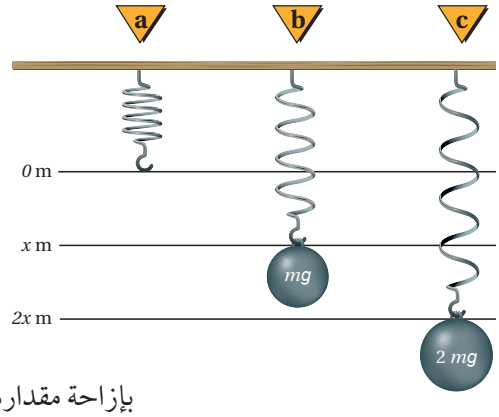
الأهداف

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

المفردات

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

الكتلة المعلقة بنابض The Mass on a Spring



■ **الشكل 2–1** تتناسب القوة التي يؤثر بها نابض طردياً مع الإزاحة التي يستطيلها.

كيف يتفاعل النابض مع القوة المؤثرة فيه؟ يبين **الشكل 2–1a** دعامة معلّقًا بها نابض دون تعليق أي شيء في نهايته. والنابض في هذا الموضع لا يستطيل؛ لأنه لا يوجد قوة خارجية تؤثر فيه. أما **الشكل 2–1b** فيبين النابض نفسه معلقًا في نهايته جسم وزنه mg، وقد استطال النابض إزاحة x؛ بحيث تُوازِن قوةُ النابض المؤثرةُ إلى أعلى قوةَ الجاذبية الأرضية المؤثرةَ إلى أسفل. ويبين **الشكل 2–1c** استطالة أو تمدد النابض نفسه بإزاحة مقدارها $2x$؛ وذلك عند تعليق ضعف الوزن السابق $2\ mg$ في نهايته. وهذا يتفق مع **قانون هوك** الذي ينصّ على أن القوة التي يؤثر بها نابض تتناسب طرديًّا مع مقدار استطالته، والنوابض التي تنطبق عليها هذه الحالة تسمى نوابض مرنة وتحقّق قانون هوك، المعبّر عنه بالعلاقة الآتية:

قانون هوك $F = -kx$

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

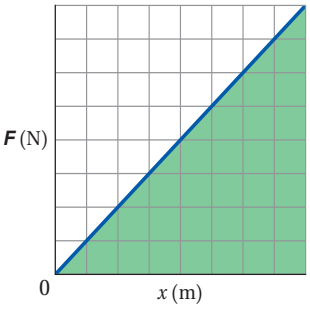
في هذه المعادلة تمثل k ثابت النابض الذي يعتمد على صلابة النابض وخصائص أخرى له، وتمثّل x الإزاحة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانه.

طاقة الوضع عندما تؤثر قوة ما لاستطالة نابض، مثل تعليق جسم في نهايته، فسيكون هناك علاقة طردية خطية بين القوة المؤثرة واستطالة النابض، كما يوضح **الشكل 2–2**، حيث يمثّل ميل الخط البياني ثابت النابض، مقاسًا بوحدة N/m. وتمثّل المساحة تحت المنحنى الشغل المبذول لاستطالة النابض، وهي تساوي طاقة الوضع المرونية المختزنة فيه نتيجة لهذا الشغل. وتمثل قاعدة المثلث الإزاحة x، أما ارتفاع المثلث فيمثل مقدار القوة التي تساوي kx وفق قانون هوك؛ لذا يُعبر عن طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض بالمعادلة الآتية:

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

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

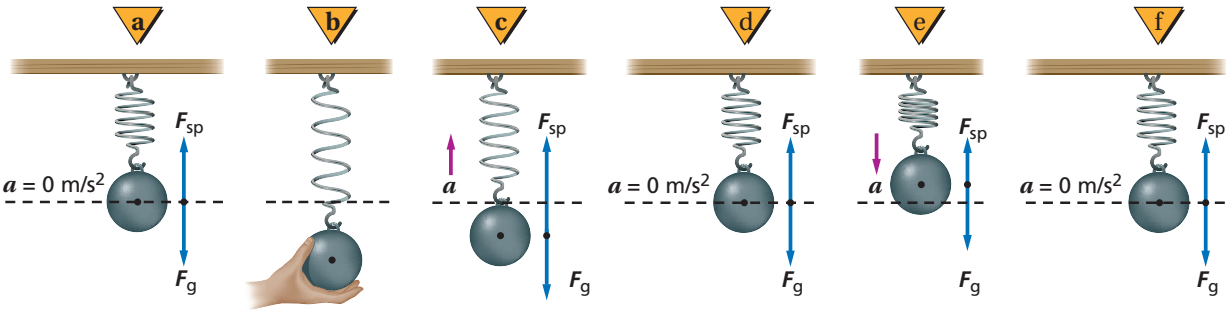
■ **الشكل 2–2** يمكن تحديد ثابت النابض من العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة وإزاحة النابض.



وستكون وحدة طاقة الوضع "N.m" أو جول J.

كيف تعتمد القوة المحصلة على الموضع؟ عند تعليق جسم بنهاية نابض يستطيل النابض حتى تُوازِن القوة الرأسية إلى أعلى F_{sp} وزن الجسم F_g كما في **الشكل 2–3a**، وسيكون الجسم عندئذ في موضع اتزانه. وإذا سحبت الجسم المعلق إلى أسفل كما في **الشكل 2–3b** تزداد قوة النابض، منتجةً قوة محصلة إلى أعلى تساوي قوة السحب عن طريق يدك، إضافة إلى وزن الجسم. وعندما تترك الجسم حرًّا فإنه يتسارع إلى أعلى كما في **الشكل 2–3c**، وعند حركة الجسم، إلى أعلى تتناقص استطالة النابض؛ لذا تتناقص القوة المتجهة إلى أعلى.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 3–2** توضيح الحركة التوافقية البسيطة من خلال اهتزاز جسم معلّق بنابض.

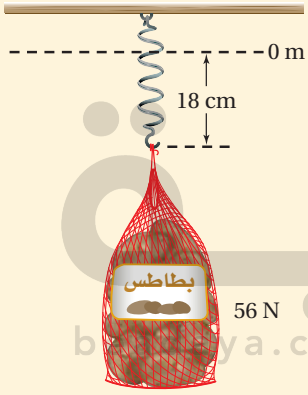
وفي **الشكل 3d–2** تتساوى قوة النابض إلى أعلى مع وزن الجسم، وتصبح القوة المحصلة صفرًا، فلا يتسارع النظام، ويستمر الجسم في حركته إلى أعلى فوق موضع الاتزان. وفي **الشكل 3e–2** تكون القوة المحصلة معاكسةً لاتجاه إزاحة الجسم، وتتناسب طرديًّا معها؛ لذا يتحرك الجسم حركة توافقية بسيطة، ويعود إلى موضع اتزانه كما في **الشكل 3f–2**.

مثـــال 1

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

a. ثابت النابض.

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



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع
- بيّن الإزاحة التي استطالها النابض وموضع اتزانه، وحددهما.

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

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم $F = -kx$، ثم أوجد قيمة k

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

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

عوّض مستخدمًا $x = 0.18\ m$، $F = 56\ N$

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

b.

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

عوّض مستخدمًا $x = 0.18\ m$، $k = 310\ N/m$

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

$$= 5.0\ J$$

3 تقويم الجواب

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

بداية
بداية.com | موقع بداية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الإجابة في الصفحة التالية

مسائل تدريبية

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

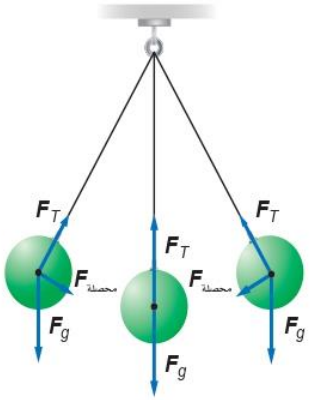
عندما تُحرّر القوة الخارجية الجسم الذي كانت تُمسكه، كما في **الشكل 2–3c** تكون القوة المحصلة المؤثرة في الجسم والتسارع أكبر ما يمكن، أما السرعة المتجهة فتساوي صفرًا. وعندما يمر الجسم بنقطة الاتزان ـ كما في **الشكل 2–3d** ـ تصبح القوة المحصلة المؤثرة فيه صفرًا، وكذلك التسارع. فهل يتوقف الجسم؟ لا؛ لأن الجسم يحتاج إلى أن تؤثر فيه قوة محصلة إلى أسفل لإبطاء حركته، وهذا لن يحدث ما لم يرتفع الجسم فوق موضع الاتزان. وعندما يصل الجسم إلى أعلى نقطة في اهتزازته تعود القوة المحصلة والتسارع إلى قيمتيهما العُظميين، وتصبح السرعة المتجهة صفرًا، فيتحرك الجسم إلى أسفل مارًّا بموضع الاتزان إلى نقطة البداية، ويستمر في الحركة بهذه الطريقة الاهتزازية. ويعتمد الزمن الدوري للاهتزازة T على مقدار كل من كتلة الجسم ومرونة النابض.

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

البندول البسيط Simple Pendulums

يمكن توضيح الحركة التوافقية البسيطة أيضًا من خلال حركة تأرجح البندول. حيث يتكون **البندول البسيط** من جسم صلب كثافته عالية يُسمى ثقل البندول، معلق بخيط طوله *l*. وعند سحب ثقل البندول جانبًا وتركه فإنه يتأرجح جيئة وذهابًا، كما في **الشكل 4–2**، حيث يؤثر الخيط بقوة شد F_T في ثقل البندول وتؤثر الجاذبية الأرضية أيضًا في الثقل بقوة F_g، والجمع الاتجاهي لهاتين القوتين يمثل القوة المحصلة، وقد تم تمثيلها في ثلاثة مواضع مختلفة في **الشكل 4–2**. ففي الموضعين الأيمن والأيسر في **الشكل 4–2** تكون القوة المحصلة المؤثرة في ثقل البندول وتسارعه أكبر ما يمكن، بينما سرعته المتجهة صفرًا. وفي الموضع الوسط (الاتزان) في الشكل نفسه تكون القوة المحصلة والتسارع صفرًا، بينما السرعة المتجهة أكبر

■ **الشكل 4–2** $F_{محصلة}$ = المجموع المتجه لـ F_T و F_g، هي القوة المعيدة (الإرجاع) في البندول.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

1. ما مقدار استطالة نابض عند تعليق جسم وزنه 18 N في نهايته إذا كان ثابت النابض له يساوي 56 N /m؟

$$F = kx$$

$$x = \frac{F}{k} = \frac{18\ \text{N}}{56\ \text{N/m}} = 0.32\ \text{m}$$

2. مامقدار طاقة الوضع المرونية المخزنة في نابض عند ضغطه بإزاحة مقدارها 16.5 cm ، إذا كان ثابت النابض له يساوى 144 N/ m ؟

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

$$= \frac{1}{2}(144\ \text{N/m})(0.165\ \text{m})^2 = 1.96\ \text{J}$$

3. ما الإزاحة التي يستطيلها نابض حتى يخزّن طاقة وضع مرونية مقدارها 48 J، إذا كان ثابت النابض له يساوي 256 N /m؟

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

$$x = \sqrt{\frac{2PE_{sp}}{k}} = \sqrt{\frac{(2)(48\ \text{J})}{256\ \text{N/m}}} = 0.61\ \text{m}$$

ما يمكن. يمكنك أن تلاحظ أن القوة المحصلة هي قوة إرجاع؛ حيث تكون دائمًا معاكسة لاتجاه إزاحة ثقل البندول، وتعمل على إرجاع الثقل إلى موضع اتزانه. وعندما تكون زاوية انحراف الخيط صغيرة (أقل من 15° تقريبًا)، فإن قوة الإرجاع تتناسب طرديًّا مع الإزاحة، ويطلق على هذه الحركة حينئذٍ حركة توافقية بسيطة. ويحسب الزمن الدوري للبندول باستخدام المعادلة الآتية:

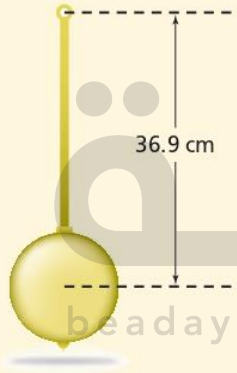
الزمن الدوري للبندول $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

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

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

مثـــال 2

استخدام البندول لحساب g إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 36.9 cm يساوي 1.22 s، فما مقدار تسارع الجاذبية الأرضية g عند موقع البندول؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع
- وضّح طول البندول على الرسم.

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

دليل الرياضيات

فصل المتغير

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

حل المعادلة لحساب g.

عوّض مستخدمًا $T = 1.22\ \text{s}$، $l = 0.369\ \text{m}$

$= \frac{4\pi^2\,(0.369\ \text{m})}{(1.22\ \text{s})^2} = 9.78\ \text{m/s}^2$

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

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

الإجابة في الصفحة التالية

بداية
beadaya.com موقع بداية للتعليم

4. ما طول بندول موجود على سطح القمر حيث $g = 1.6\ \text{m/s}^2$ حتى يكون الزمن الدوري له 2.0 s؟

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

$$l = g\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 = (1.6\ \text{m/s}^2)\left(\frac{2.0\ \text{s}}{2\pi}\right)^2 = 0.16\ \text{m}$$

5. إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على سطح أحد الكواكب، فما مقدار g على هذا الكوكب؟

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g}}$$

$$g = l(\frac{2\pi}{T})^2 = (0.75\ m)\left(\frac{2\pi}{1.8\ s}\right)^2 = 9.1\ m/s^2$$

بداية
bedayah.com | منصة بداية التعليمية

مسألة تحفيز

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

1. بيّن أقصى إزاحة x ينضغطها النابض عندما تصطدم به السيارة بدلالة m و h و k و g.

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

$$PE_g = PE_{\text{نابض}}$$

لذا فإن

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

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

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

2. كم ينضغط النابض إذا هبطت السيارة من قمة تل ارتفاعه ضعف ارتفاع التل السابق؟

تضاعف الارتفاع، ولما كانت x تتناسب مع الجذر التربيعي للارتفاع، لذا؛ ستزداد قيمة x بمقدار $\sqrt{2}$.

3. ماذا يحدث بعد أن تتوقف السيارة؟

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

تطبيق الفيزياء

بندول فوكو
Foucult Pendulum

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

الرنين Resonance

لكي تجعل أرجوحة تتأرجح وأنت جالس عليها قم بدفعها بالانحناء إلى الخلف وسحب الحبل (أو السلسلة) من النقطة نفسها في كل شوط، أو أن يدفعك زميلك دفعات متكرّرة في اللحظات المناسبة. ويحدث الرنين عندما تؤثر قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية منتظمة، بحيث تؤدي إلى زيادة سعة الاهتزازة أو الذبذبة، وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم المهتز مساويةً للزمن الدوري للذبذبة. ومن الأمثلة الشائعة على الرنين أرجحة السيارة إلى الأمام والخلف من أجل تحرير عجلاتها من الرمل عندما تنغمر فيه، والقفز المتواتر عن لوح القفز أو الغوص. وقد ينتج عن السعة الكبيرة الناتجة عن الرنين شعور بالإجهاد.

ويعد الرنين شكلًا مميّزًا للحركة التوافقية البسيطة؛ حيث تؤدي زيادات بسيطة في مقدار القوة في أزمنة محددة في أثناء حركة الجسم إلى زيادة أكبر في الإزاحة. فالرنين الناتج عن حركة الرياح مثلاً بتوافقها مع تصميم دعائم الجسر قد يكون السبب وراء انهيار جسر مضيق تاكوما.

2–1 مراجعة

6. **قانون هوك** علّقت أجسام مختلفة الوزن بنهاية شريط مطاطي مثبت بخطاف، ثم رسمت العلاقة البيانية بين وزن الأجسام المختلفة واستطالة الشريط المطاطي. كيف تستطيع الحكم ـ اعتمادًا على الرسم البياني ـ ما إذا كان الشريط المطاطي يحقق قانون هوك أم لا؟

إذا كانت العلاقة البيانية خطيّة فإن الشريط المطاطي يحقق قانون هوك، أما إذا كانت العلاقة البيانية على شكل منحنى فإنه لا يحقق قانون هوك.

بداية beadaya.com | موقع بداية التعليمي

7. **البندول** ما مقدار التغير اللازم في طول بندول حتى يتضاعف زمنه الدوري إلى الضعف؟ وما مقدار التغير اللازم في طوله حتى يقل زمنه الدوري إلى نصف زمنه الدوري الأصلي؟

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

لذا فإن

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}}$$

لمضاعفة الزمن الدوري

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} = 2$$

لذا فإن

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{4}$$

يجب مضاعفة طول البندول أربع مرات.

ولتقليل الزمن الدورى للبندول إلى النصف

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} = \frac{1}{2}$$

لذا فإن

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{4}$$

يجب تقليل طول البندول ليساوي طوله ربع طوله الأصلي.

8. **طاقة النابض** ما الفرق بين الطاقة المختزنة في نابض استطال 0.40 m والطاقة المختزنة في النابض نفسه عندما يستطيل 0.20 m؟

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

$$\frac{PE_1}{PE_2} = \frac{x_1^2}{x_2^2}$$

$$= \frac{(0.40\text{ m})^2}{(0.20\text{ m})^2} = 4.0$$

تكون الطاقة المختزنة أكبر أربع مرات عندما يستطيل النابض إلى 0.40 m.

9. **الرنين** إذا كانت عجلات سيارة غير متوازنة فسوف تهتز السيارة بقوة عند سرعة محدّدة، ولا يحدث ذلك عند سرعات أقل أو أكبر من هذه السرعة. فسّر ذلك.

عند تلك السرعة يقترب تردد دوران الاطار من التردد الطبيعى للسيارة مما يؤدى الى حدوث الرنين.

10. **التفكير الناقد** ما أوجه الشبه بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة؟ وما أوجه الاختلاف بينهما؟

الحركتان دوريتان إلا أنه في الحركة الدائرية المنتظمة لا تتناسب القوة التي تُحدث التسارع مع الإزاحة. بالإضافة إلى أن الحركة التوافقية البسيطة تحدث في بعد واحد، أما الحركة الدائرية المنتظمة فتحدث في بعدين.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

2–2 خصائص الموجات Waves Properties

تحمل كل من الجسيمات المادية والموجات طاقة، ولكن هناك اختلافًا مهمًّا بينهما في كيفية حمل الطاقة. إن الكرة جسيم مادي، فإذا قذفتها نحو زميلك فسوف تنتقل من يدك إلى يده حاملة معها طاقة. أما إذا أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وهززت الطرف الذي تمسكه بسرعة، فسيبقى الحبل بيدك ولا تنتقل مادته إلى زميلك، ولكن الطاقة تنتقل في الحبل خلال الموجة التي أحدثتها. وتُعرّف **الموجة** بأنها اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة أو الفراغ.

الأهداف

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

المفردات

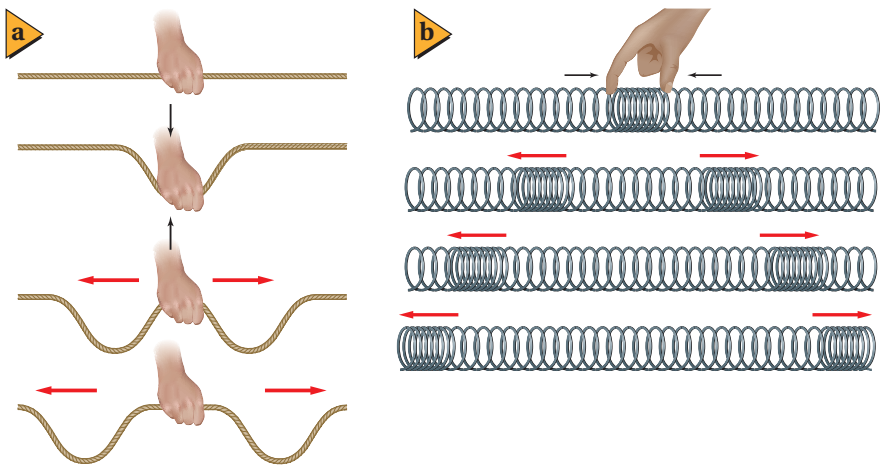
الموجة
نبضة موجية
الموجة الدورية
الموجة المستعرضة
الموجة الطولية
الموجة السطحية
سعة الموجة
القاع
القمة
الطول الموجي
التردّد

الموجات الميكانيكية Mechanical Waves

تُعد موجات الماء وموجات الصوت والموجات التي تنتقل خلال حبل أو نابض أشكالاً للموجات الميكانيكية. وتحتاج الموجات الميكانيكية إلى وسط ناقل مثل الماء أو الهواء أو الحبال أو النوابض. ولأن كثيرًا من الموجات الأخرى لا يمكن مشاهدتها مباشرة، لذا يمكن اعتبار الموجات الميكانيكية بمنزلة نموذج للموجات.

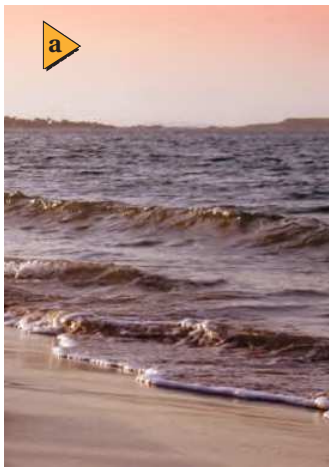
الموجات المستعرضة يبين **الشكل 2–5a** اضطرابين يسميان نبضات موجية. و**النبضة الموجية** ضربة مفردة أو اضطراب ينتقل خلال الوسط. وإذا انتشرت الموجة إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه تتولّد **موجة دورية**. لاحظ **الشكل 2–5a** حيث يتحرك الحبل رأسيًّا، في حين تنتقل النبضة أفقيًّا. وتُسمى الموجة التي لها هذا النمط من الحركة موجة مستعرضة، ويمكن تعريف **الموجة المستعرضة** بأنها الموجة التي تتذبذب عموديًّا على اتجاه انتشار الموجة.

الموجات الطولية يمكنك توليد نبضة موجية في ملف نابض الألعاب بطريقة مختلفة؛ فإذا ضممت (ضغطت) عدة لفات من النابض بعضها إلى بعض بشكل متراص ثم تركتها فجأة فستتحرك نبضتان – تتكون كل منهما من لفات متقاربة معًا – في اتجاهين متعاكسين، كما في **الشكل 2–5b**، وتُسمى هذه الموجات **الموجات الطولية**، وهي اضطراب ينتقل في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازيًا لها. والموجات الصوتية مثال على ذلك.

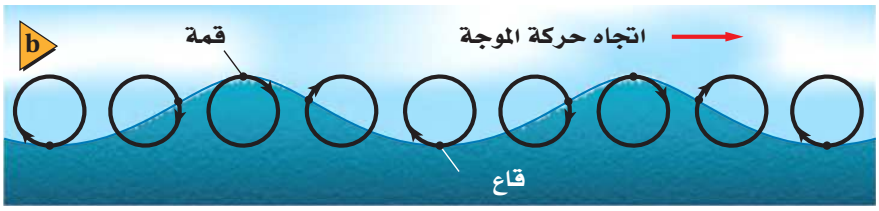


الشكل 2–5 يولّد الاهتزاز السريع باتجاه عمودي على محور الحبل نبضات موجة مستعرضة في الاتجاهين (a). يولّد ضمّ لفات نابض بعضها إلى بعض ثم تركها نبضات موجة طولية في الاتجاهين (b).

beadaya.com موقع بداية التعليمي



■ **الشكل 6–2** للموجات السطحية خصائص الموجات المستعرضة والموجات الطولية (**a**). مسارات الجسيمات المفردة دائرية (**b**).



الموجات السطحية الموجات في أعماق البحيرات والمحيطات موجات طولية، بينما تتحرك الجسيمات على سطح الماء في اتجاه موازٍ وعمودي على اتجاه حركة الموجة، كما في **الشكل 6–2**. وكل موجة من هذه الموجات هي **موجة سطحية** لها خصائص كلٍّ من الموجات المستعرضة والموجات الطولية. إن مصدر طاقة موجات الماء يأتي عادة من العواصف البعيدة التي بدورها استمدّت طاقتها من تسخين الأرض بالطاقة الشمسية. وهذه الطاقة انتقلت بدورها من الشمس إلى الأرض بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية المستعرضة.

قياس الموجة Measuring a Wave

هناك طرائق عديدة لوصف الموجة أو قياسها؛ إذ تعتمد بعض خصائص الموجة على كيفية توليدها، في حين تعتمد خصائصها الأخرى على الوسط الذي تنتقل خلاله.

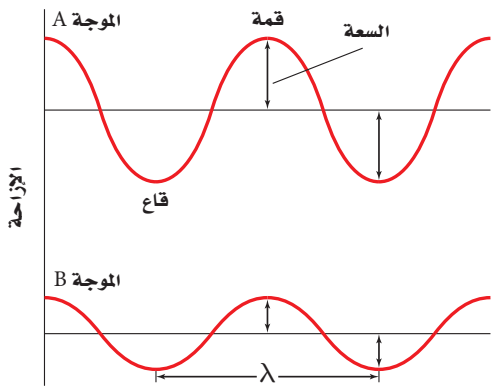
السرعة ما السرعة التي تتحرك بها الموجة؟ يمكن إيجاد سرعة انتقال النبضة ـ الموضحة في **الشكل 7–2** ـ بالطريقة نفسها التي نحدّد بها سرعة انتقال سيارة. قس أولًا إزاحة قمة الموجة Δd، ثم اقسم الناتج على الفترة الزمنية Δt لتجد السرعة $v = \Delta d / \Delta t$. ويمكن إيجاد سرعة الموجة الدورية بالطريقة نفسها. وتعتمد سرعة الموجة في معظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على الوسط الذي تنتقل خلاله فقط.

■ **الشكل 7–2** تم التقاط هاتين الصورتين بفارق زمني 0.20 s، وخلال هذه الفترة تحركت القمة مسافة 0.80 m، فتكون السرعة المتجهة للموجة 4.0 m/s.

السعة كيف تختلف النبضة المتولدة عند هز الحبل برفق عن تلك النبضة الناتجة عن الهز العنيف له؟ يشبه الاختلاف بينهما الفرق بين موجات حوض السباحة الخفيفة وموجات المحيط القوية، حيث تختلف سعات كل منهما. **وسعة الموجة** هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها. ويوضح **الشكل 8–2** موجتين متشابهتين، لكنهما تختلفان في السعة.

تعتمد سعة الموجة على كيفية توليدها، ولا تعتمد على سرعتها. ويجب أن يُبذل شغل أكبر لتوليد موجة سعتها كبيرة. فمثلاً، تولّد الرياح القوية موجات ماء سعتها أكبر من سعة الموجات الناتجة عن النسائم اللطيفة. وتنقل الموجة ذات السعة الكبيرة طاقة أكبر؛ فالموجة ذات السعة القليلة تحرك الرمل سنتمترات عدة على الشاطئ، أما الموجة ذات السعة الكبيرة فيمكنها اقتلاع الأشجار وتحريكها من مكان إلى آخر. وإذا تحركت الموجات بالسرعة نفسها فإن معدل نقلها للطاقة يتناسب طرديًّا مع مربع سعتها. لذا فمضاعفة سعة إحدى الموجات يضاعف الطاقة التي تنقلها أربع مرات في الثانية الواحدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



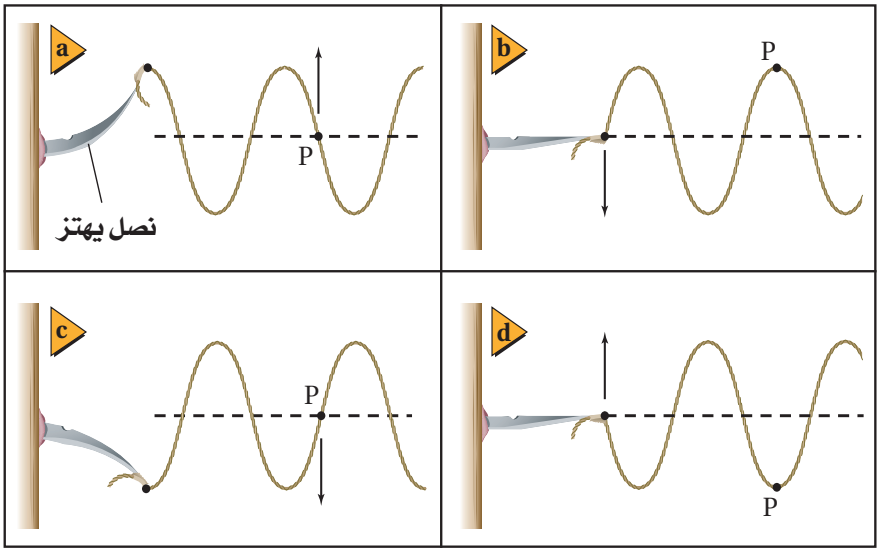
الشكل 8–2 سعة الموجة A أكبر من سعة الموجة B.

الطول الموجي تخيل أنك التقطت صورة فوتوغرافية للموجة كاملة بدلاً من التركيز على نقطة واحدة عليها بحيث ترى موجة كاملة في لحظة ما. ويبين **الشكل 8–2** النقاط السفلية التي تُسمى **قاع** الموجة، والنقاط العلوية التي تسمى **قمة** الموجة. ويطلق على أقصر مسافة بين أي نقطتين يتكرّر فيها نمط الموجة نفسه اسم **الطول الموجي**. فالمسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين تساوي الطول الموجي، ويرمز للطول الموجي لموجة ما بالحرف اللاتيني λ (لمدا).

الطور أي نقطتين في الموجة تكونان في الطور نفسه إذا كانت المسافة بينهما تساوي طولًا موجيًّا واحدًا أو مضاعفاته. ويُعد جسيمان في وسط ما في الطور نفسه أيضًا إذا كان لهما الإزاحة نفسها عن موضع الاتزان، ولهما السرعة المتجهة نفسها. أما إذا كان الجسيمان في الوسط متعاكسين في الإزاحة وفي السرعة المتجهة فإنهما يكونان مختلفين في الطور بـ 180°. فمثلًا هناك اختلاف في الطور بين القمة والقاع بـ 180°. وأي نقطتين في الموجة يمكن أن تختلفا في الطور بين 0° و180° إحداهما بالنسبة إلى الأخرى.

الزمن الدوري والتردد يمكن استخدام سرعة الموجة وسعتها لوصف أي موجة. أما الزمن الدوري T والتردد f فيطبّقان فقط على الموجات الدورية. ودرست سابقًا أن الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة (كما في حركة البندول) هو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم المهتز حتى يكمل دورة كاملة. وعادة يكون مثل هذا الجسم هو مصدر الموجة الدورية أو المسبِّب لها. ويكون الزمن الدوري للموجة مساويًا الزمن الدوري للمصدر. وتوضح **الأشكال** من **2–9a** إلى **2–9d** أن الزمن الدوري T يساوي 0.04 s؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه المصدر حتى يكمل دورة كاملة، وهو أيضًا الزمن نفسه الذي تتطلبه نقطة مثل P على الحبل حتى تعود إلى طورها الابتدائي.

beadaya.com



الشكل 9–2 يهتز أحد طرفي نابض متصل بنصل 25 اهتزازة في الثانية، وعليه قطعة من شريط لاصق عند النقطة P. لاحظ تغير موضع النقطة P مع الزمن.

رموز الكتب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز (نيو) ν، وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

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

تردد الموجة $f = \frac{1}{T}$

تردد الموجة يساوي مقلوب زمنها الدوري.

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

وتتحرك الموجة خلال فترة زمنية تساوي زمنًا دوريًّا واحدًا مسافة تساوي طولاً موجيًّا واحدًا، لذا فالطول الموجي يساوي سرعة الموجة مضروبًا في الزمن الدوري، $\lambda = \nu T$. ولأن الحصول على التردد يكون عادة أسهل من الحصول على الزمن الدوري فإن هذه المعادلة تكتب على الشكل الآتي:

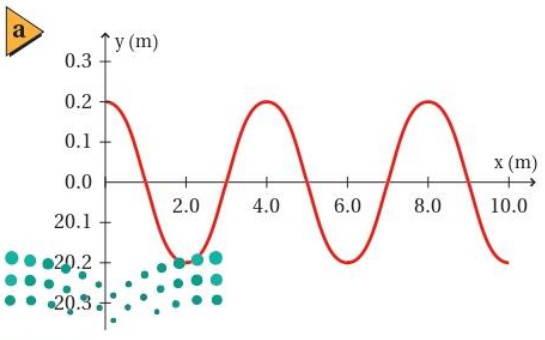
طول الموجة $\lambda = \frac{\nu}{f}$

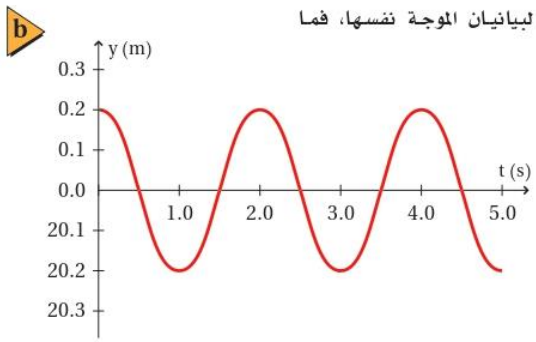
الطول الموجي للموجة يساوي سرعتها مقسومة على ترددها.

تمثيل الموجات إذا التقطْت صورة فوتوغرافية لموجة مستعرضة في حبل، فستجدها مشابهة لإحدى الموجتين الموضحتين في **الشكل 8–2**. ويمكن وضع هذه الصورة على ورقة رسم بياني للحصول على مزيد من المعلومات عن الموجة، كما هو موضح في **الشكل 10a–2**. وبالمثل إذا رصدت حركة جسيم واحد، مثل حركة النقطة P في **الشكل 9–2**، أمكنك تمثيل هذه الحركة بيانيًّا على ورق رسم بياني، بحيث ترسم الإزاحة بوصفها متغيرًا مع الزمن، كما في **الشكل 10b–2**، والذي يمكن من خلاله إيجاد الزمن الدوري، كما يمكن تمثيل الموجات الطولية بيانيًّا على ورق رسم بياني، بحيث يتم تمثيل التضاغطات على المحور y مثلاً.

في الشكل 10a–2 السعة، والقمة، والقاع، والطول الموجي. في الشكل 10b–2 : السعة، القمة، التردد، الزمن الدوري، القاع.

■ **الشكل 10–2** يمكن تمثيل الموجات بيانيًا، فالطول الموجي لهذه الموجة 4.0 m **(a)**، والزمن الدوري 2.0 s **(b)**. الإزاحة أو السعة في كلا الرسمين تساوي 0.2 m فإذا مثّل هذان الرسمان البيانيان الموجة نفسها، فما سرعتها؟





بداية
بداية | موقع تعليمي
beadaya.com

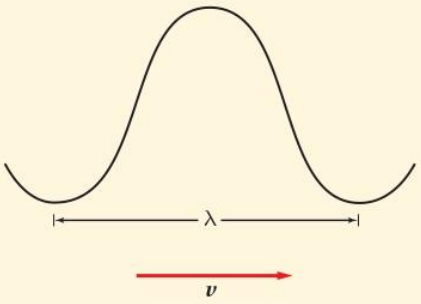
مثـــــال 3

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

a. سرعة الموجة.
b. الطول الموجي للموجة.
c. الزمن الدوري للموجة.
d. الطول الموجي والزمن الدوري، إذا أصبح تردد الموجة 442 Hz

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نموذجًا للموجة.
- مثّل متجه السرعة.



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

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. أوجد السرعة v.

عوّض مستخدمًا $t = 0.271\ \text{s}$، $d = 91.4\ \text{m}$

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

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

b. أوجد طول الموجة λ.

عوّض مستخدمًا $f = 192\ \text{Hz}$، $v = 337\ \text{m/s}$

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

c. أوجد الزمن الدوري T.

عوّض مستخدمًا $f = 192\ \text{Hz}$

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

d. أوجد الطول الموجي الجديد.

عوّض مستخدمًا $f = 442\ \text{Hz}$، $v = 337\ \text{m/s}$

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

أوجد الزمن الدوري الجديد.

عوّض مستخدمًا $f = 442\ \text{Hz}$

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

3 تقويم الجواب

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

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

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

a. سرعة صوت فادي في الهواء.

$$v = \frac{d}{t} = \frac{(2)(465\ \text{m})}{2.75\ \text{s}} = 338\ \text{m/s}$$

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

$$v = \lambda f$$

لذا فإن

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{338\ \text{m/s}}{0.750\ \text{m}}$$

c. الزمن الدوري للموجة.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{451\ \text{Hz}} = 2.22 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

12. إذا أردت زيادة الطول الموجي لموجات في حبل فهل تهزّ الحبل بتردد كبير أم بتردد صغير؟

تهز الحبل بتردد صغير؛ وذلك لأن الطول الموجي يتناسب عكسيًا مع التردد.

13. ولَّد مصـــدرٌ في حبـــل اضطرابًا تـــردّده 6.00 Hz، فإذا كانـــت سرعة الموجة المستعرضة في الحبل 15.0 m /s، فما طولها الموجي؟

$$v = \lambda f$$

لذا فإن

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{15.0\ \text{m/s}}{6.00\ \text{Hz}} = 2.50\ \text{m}$$

14. تتولد خمس نبضات في خزان ماء كل 0.100 s فإذا كان الطول الموجي للموجات السطحية 1.20 cm، فما مقدار سرعو انتشار الموجة؟

$$\frac{0.100\ \text{s}}{5\ \text{نبضات}} = 0.0200\ \text{s/نبضة}$$

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

لذا فإن

$$T = 0.0200\ \text{s}$$

$$\lambda = vT$$

لذا فإن

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

$$v = \frac{1.20\ \text{cm}}{0.0200\ \text{s}}$$

$$= 60.0\ \text{cm/s}$$

$$= 0.600\ \text{m/s}$$

15. **السرعة في أوساط مختلفة** إذا سحبت أحد طرفي نابض، هل تصل النبضة إلى طرفه الآخر في اللحظة نفسها؟ ماذا يحدث لو سحبت حبلاً؟ ماذا يحدث عند ضرب طرف قضيب حديدي؟ قارن بين سرعة انتقال النبضات في المواد الثلاث.

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

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

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

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

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

18. **الموجات الطولية** صِفِ الموجات الطولية. وما أنواع الأوساط التي تنقل الموجات الطولية؟

تهتز دقائق الوسط في الموجات الطولية في اتجاه موازٍ لإتجاه حركة الموجة. وتسمح الأوساط جميعها تقريبا للموجات الطولية بالانتقال خلالها سواء أكانت أوساطا صلبة أم سائلة أم غازية.

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

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

موقع بداية التعليمي

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–3 سلوك الموجات Waves Behavior

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

الأهداف

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

المفردات

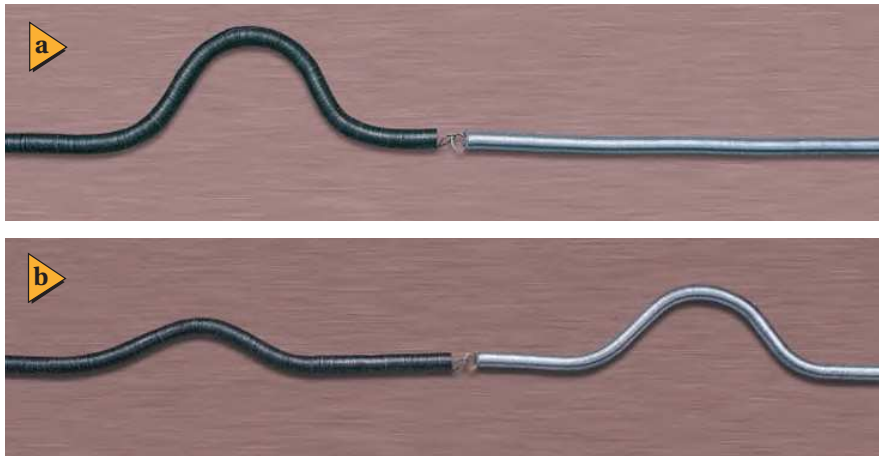
موجة ساقطة
موجة منعكسة
مبدأ التراكب
التداخل
العقدة
البطن
الموجة الموقوفة (المستقرة)
مقدمة الموجة
الشعاع
العمود المقام
قانون الانعكاس
الانكسار

الموجات عند الحواجز Waves at Boundaries

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

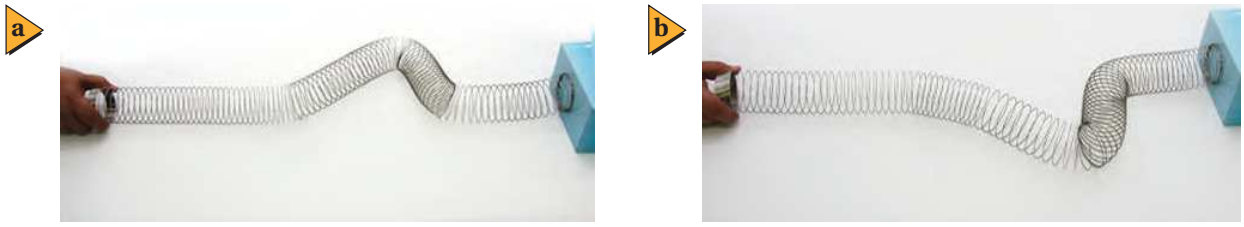
بيّن ماذا يحدث عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين وسطين كما في نابضين مختلفي السمك ومتصلي الطرفين. يبين **الشكل 11–2** نبضة تتحرك من النابض الأكبر سمكًا إلى النابض الأقل سمكًا، حيث تسمى الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين النابضين **الموجة الساقطة**. لاحظ أن هناك اختلافًا في سرعة النبضة التي تنتقل من النابض الأسمك إلى النابض الأقل سمكًا، كما تبقى نبضة الموجة المنتقلة متجهةً إلى أعلى.

ينعكس جزء من طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف في اتجاه النابض السميك على شكل موجة مرتدة تسمى **الموجة المنعكسة**. وتحدّد خصائصُ كلا النابضين ما إذا كان اتجاه الموجة المنعكسة معتدلًا أو مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، تنقلب الموجة المنعكسة إذا كانت سرعة الموجات في النابض الأقل سمكًا أكبر؛ لأنه أثقل أو أكثر صلابة.



الشكل 11–2 تمثل نقطة الاتصال بين طرفي النابضين الحد الفاصل بين الوسطين. فعندما تصل النبضة إلى الحد الفاصل (a) ينعكس جزء من النبضة وينفذ جزء آخر (b).

beadaya.com | موقع بداية التعليمي



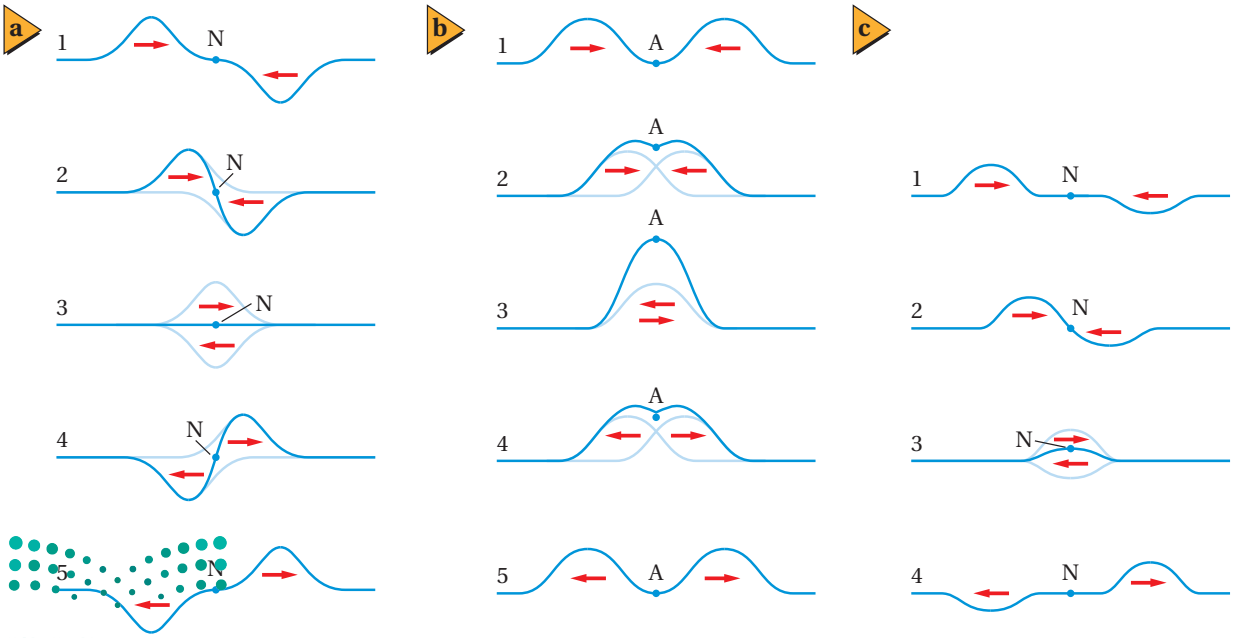
الشكل 12–2 تقترب الموجة من الحائط الصلب (a)، وتنعكس عنه مرتدة إلى الخلف (b). لاحظ أن سعة الموجة المنعكسة تساوي تقريبًا سعة الموجة الساقطة، إلا أنها مقلوبة.

ماذا يحدث لو كان الحد الفاصل حائطًا وليس نابضًا آخر؟ عندما تُطلق موجة في نابض مثبت في حائط صلب مصقول تنعكس هذه الموجة عن الحائط إلى الخلف كما في **الشكل 12–2**، ويكون الحائط هو الحد الفاصل لوسط جديد حاولت الموجة المرور خلاله، حيث تنعكس الموجة عن الحائط بدلاً من مرورها خلاله، وتساوي سعة الموجة المرتدة تقريبًا سعة الموجة الساقطة. لذا تنعكس معظم طاقة الموجة إلى الخلف، والقليل منها ينتقل إلى الحائط. ولاحظ أيضًا أن الموجة انقلبت إلى أسفل، أما لو كان النابض متصلاً بحلقة حرة الحركة حول قضيب ـ حد فاصل حر الحركة ـ فإن الموجة لن تنقلب.

تراكُب الموجات Superposition of Waves

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

الشكل 13–2 عندما تلتقي نبضتان متساويتان تتكون نقطة تُسمى العقدة (N)؛ حيث يبقى الوسط دون اضطراب (a). وينتج التداخل البناء في أكبر صورة له عند تكوّن بطن الموجة (A). (b) وإذا كانت سعتا النبضتين المتعاكستين غير متساويتين فسيكون الهدم غير تام (c).



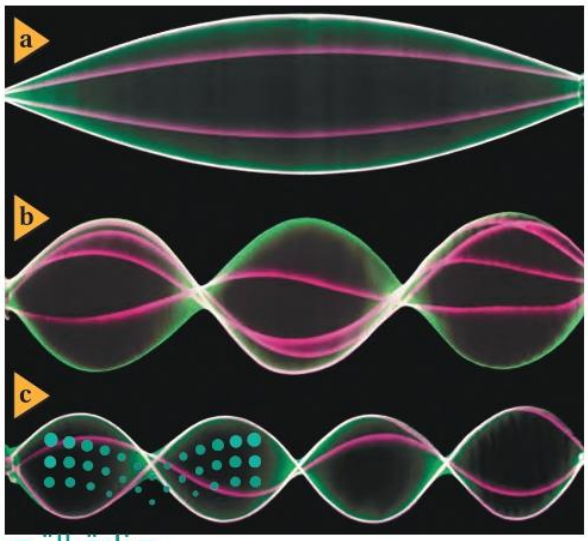
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تداخل الموجات يوجد التداخل على شكلين: فيكون تداخلاً بنّاءً، أو تداخلاً هدّامًا. فعندما تلتقي نبضتان لهما السعة نفسها ولكن في اتجاهين متعاكسين ـ أي قمة من الموجة الأولى مع قاعٍ من الموجة الثانية ـ تقل إزاحة الوسط عند النقاط كلها في منطقة التداخل، ويكون التداخل هدامًا. وإذا كانت سعتا الموجتين متساويتين كما في **الشكل 13a–2** فإن مقدار الإزاحة سيساوي صفرًا. وتُسمى النقطة N التي لم تتحرك مطلقًا **العقدة**. وتواصل النبضتان حركتيهما بعد التداخل، وتستعيدان شكلهما الأصلي.

ينتج التداخل البنّاء عندما تكون إزاحات الموجات في الاتجاه نفسه، وتكون النتيجة موجة لها سعة أكبر من سعة أي من الموجات منفردة. ويبين **الشكل 13b–2** تداخلاً بنّاءً لنبضتين متساويتين، حيث تتكون نبضة ذات سعة أكبر عند النقطة A عندما تلتقي النبضتان، وتُسمى هذه النبضة الناتجة **البطن**، وتكون إزاحتها هي الأكبر. وتمر النبضتان بعد ذلك إحداهما خلال الأخرى دون أي تغير في شكليهما أو حجميهما. وإذا كانت سعتا النبضتين غير متساويتين فإن النبضة الناتجة من التداخل تساوي المجموع الجبري لإزاحتي النبضتين، كما في **الشكل 13c–2**.

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

ماذا تفعل لو أردت زيادة سعة الموجة التي ولّدتها؟ افترض أنك ضبطت حركة يدك بحيث يكون الزمن الدوري لاهتزازها مساويًا للزمن الذي تحتاج إليه النبضة حتى تكمل دورة كاملة: من يدك إلى الباب ثم العودة. عندئذٍ سوف تضاف الإزاحة التي تولّدها يدك في كل مرة إلى إزاحة الموجة المنعكسة. والنتيجة أن اهتزاز الحبل سيكون أكبر من حركة يدك، ويمكن توقع ذلك استنادًا إلى معرفتك بالتداخل البنّاء. وتعتبر هذه الاهتزازة ذات السعة الكبيرة مثالًا على الرنين الميكانيكي. وتكون العقدتان عند طرفي الحبل، في حين يكون البطن في وسط النبضة، كما في **الشكل 14a–2**. وتبدو الموجة موقوفة ولذا تسمى **الموجة الموقوفة أو المستقرة**؛ أيْ أن الموجة الموقوفة هي تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين. وإذا ضاعفتَ تردد الاهتزاز تتولّد عقدة جديدة وبطن جديد في الحبل، ويظهر الحبل مهتزًّا في قسمين. وعند زيادة التردد أكثر تتولّد عقد وبطون أكثر، كما في **الشكلين 14b–2، 14c–2**.



الشكل 14–2 يُنتج التداخل موجات موقوفة في الحبل، وبزيادة التردد يزداد عدد العقد والبطون، كما هو واضح من أعلى الشكل إلى أسفله.

تجربة

تداخل الموجات

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

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

التحليل والاستنتاج

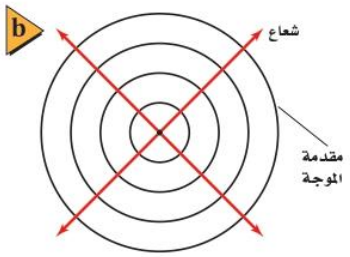
3. هل تغيّرت سرعة أي موجة منهما؟

لا لم تتغير سرعة أي موجة

4. هل ترتدّ هاتان الموجتان إحداهما عن الأخرى؟ أم تمر كل منهما خلال الأخرى؟

تمر الموجتان كل منهما خلال الأخرى

بداية
موقع بداية التعليمي | beadaya.com



■ **الشكل 15–2** تنتشر الموجات الدائرية إلى الخارج بعيدًا عن مصدرها (**a**). ويمكن تمثيل الموجة بدوائر ترسم عند قمم الموجات الدائرية (**b**). لاحظ أن الأشعة متعامدة مع مقدمة الموجة.

الموجات في بعدين Waves in Two Dimensions

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

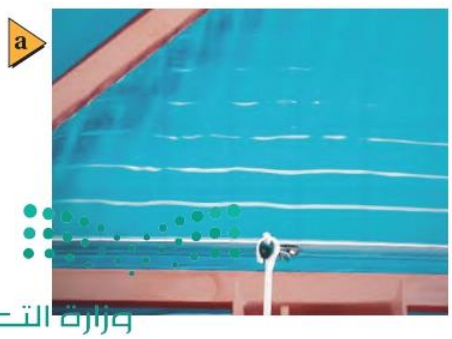
تمثيل الموجات في بعدين عندما ترمي حجرًا صغيرًا في بركة ماء ساكنة، ترى قمم وقيعان الموجات الدائرية الناتجة تنتشر إلى الخارج في جميع الاتجاهات. ويمكن تمثيل هذه الموجات برسم دوائر تُعبّر عن قمم هذه الموجات. فعندما تضع رأس إصبعك في الماء وتحركه بتردد ثابت ستنتج دوائر متتابعة متحدة في مراكزها، ويكون إصبعك مركز تلك الدوائر التي تُسمى مقدمات الموجة. **فمقدمة الموجة** هي الخط الذي يمثل قمة الموجة في بعدين. ويمكن استعمال مقدمة الموجة لتوضيح الموجات بأي شكل كانت، ومن ذلك الموجات الدائرية والموجات المستقيمة. ويوضح **الشكل 15a–2** الموجات الدائرية في الماء، بينما يوضح **الشكل 15b–2** مقدمات هذه الموجات. وتُرسم مقدمات الموجات بمقياس رسم يبيّن الطول الموجي لهذه الموجات، ولكن لا يبين سعاتها.

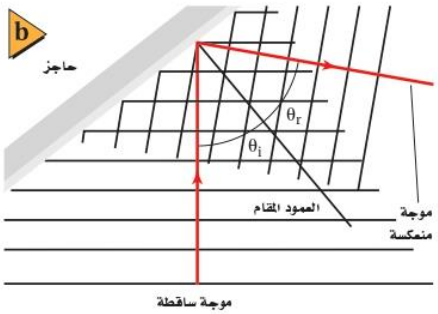
تجربة عملية
كيف تنعكس الموجات وكيف تنكسر؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

ومهما يكن شكل الموجات التي تتحرك في بعدين فإنها تتحرك في اتجاه متعامد مع مقدماتها، ويُمثَّل هذا الاتجاه **بشعاع** على شكل خط يصنع زاوية قائمة مع قمة الموجة. وإذا أردت بيان اتجاه انتقال الموجة فقط فمن الملائم أن ترسم أشعة بدلًا من مقدمات الموجات.

تجربة عملية
كيف يبدو حيود الموجات وتداخلها؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

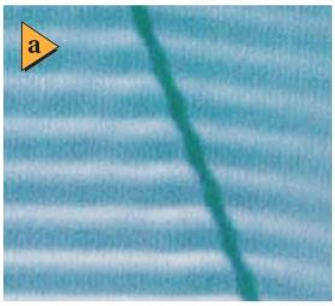
انعكاس الموجات في بعدين يستعمل حوض الموجات لبيان خصائص الموجات المنتشرة في بعدين؛ إذ يحتوي على طبقة ماء ضحلة، وألواح اهتزاز تولّد نبضات موجية، كما موضح في **الشكل 16a–2**، أو تولّد موجات ماء تتحرك بتردد ثابت. وعند إضاءة المصباح الموجود فوق الحوض يتكون ظل تحت الحوض يبين موقع قمم الموجات وقيعانها. وعندما تنتشر موجة نحو حاجزٍ ما، فإنها تنعكس عنه في اتجاه محدّد.

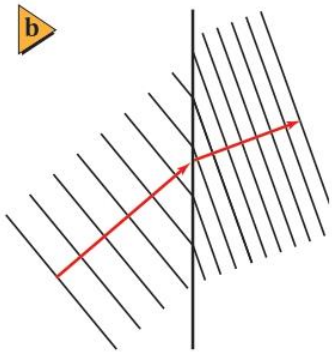




■ **الشكل 16–2** نبضة موجة مرتدة عن حاجز في حوض الموجات (**a**). يوضّح المخطط الشعاعي التسلسل الزمني لاقتراب الموجة من الحاجز وانعكاسها عنه إلى اليمين (**b**).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445





■ **الشكل 17–2** عندما تتحرك موجات الماء فوق منطقة الماء الضحلة، حيث يوجد لوح الزجاج في حوض الموجات تتباطأ ويقل طولها الموجي (**a**). ويمكن تمثيل الانكسار بمخطط مقدمات الموجات والأشعة (**b**).

ويمكن تمثيل اتجاه انتشار الموجات بالمخطّط الشعاعي المبين في **الشكل 16b–2**، حيث يُمثّل الشعاع المتجه إلى أعلى الموجة الساقطة، في حين يُمثّل الشعاع المتجه إلى اليمين الموجة المنعكسة.

أما الحاجز فيمثّل بخط مستقيم يفصل بين الوسطين، والخط المتعامد مع الحاجز عند نقطة السقوط يُسمى **العمود المقام**. وتسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام زاوية السقوط. أما الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام فتسمى زاوية الانعكاس. وينص **قانون الانعكاس** على أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

انكسار الموجات في بعدين يمكن استخدام حوض الموجات كذلك لتمثيل سلوك الموجات عندما تنتقل من وسط إلى آخر. ويوضّح **الشكل 17a–2** لوحًا زجاجيًّا موضوعًا في حوض الموجات، وسمك طبقة الماء فوقه أقل من سمك طبقة الماء في بقية الحوض؛ حيث يؤثر ذلك وكأنه وسط مختلف. وبانتقال الموجة من منطقة الماء العميق إلى منطقة الماء الضحل تقلّ سرعتها ويتغير اتجاهها. ولأن الموجات في منطقة الماء الضحلة تولّدت من الموجات القادمة من منطقة الماء الأعمق فإن ترددها لن يتغير. واستنادًا إلى المعادلة $\lambda = v/f$ فإن تناقص سرعة الموجات يعني أن الطول الموجي يكون أقصر في منطقة الماء الضحلة. ويعرف التغير في اتجاه انتشار الموجات عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين **بالانكسار**. ويبين **الشكل 17b–2** مقدمة الموجة ونموذج المخطّط الشعاعي للانكسار، وعندما تدرس انعكاس الضوء وانكساره في الفصول القادمة ستتعرف قانون الانكسار المعروف بقانون سنل.

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

2–3 مراجعة

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

21. **انكسار الموجات** لاحظ **الشكل 17a–2**، وبين كيف يتغير اتجاه الموجة عندما تمر من وسط إلى آخر. وهل يمكن أن تعبر موجة في بعدين حدًّا فاصلًا بين وسطين دون أن يتغير اتجاهها؟ وضح ذلك.

22. **الموجات الموقوفة** ما العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة موقوفة في نابض مثبت الطرفين؟

23. **التفكير الناقد** هناك طريقة أخرى لفهم انعكاس الموجات، وهي أن تغطي الطرف الأيمن لكل رسم في **الشكل 13a–2** بقطعة ورق، على أن يكون طرف الورقة موجودًا عند النقطة N (العقدة)، ثم تركز على الموجة الناتجة التي تظهر باللون الأزرق الغامق، وتلاحظ أنها تبدو مثل موجة منعكسة عن حد فاصل. فهل هذا الحد الفاصل حائط صلب أم ذو نهاية مفتوحة؟ كرّر هذا التمرين مع **الشكل 13b–2**.

الإجابة في الصفحة التالية

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

لا يتغير التردد، في حين يتغير كل من السعة والطول الموجي والسرعة عندما تعبر الموجة وسطًا جديدًا. أما الاتجاه فقد يتغير أو لا يتغير، وذلك اعتمادًا على الاتجاه الأصلي للموجة.

21. **انكسار الموجات** لاحظ الشكل 2-17a، وبين كيف يتغير اتجاه الموجة عندما تمر من وسط إلى آخر. وهل يمكن أن تعبر موجة في بعدين حدًّا فاصلًا بين وسطين دون أن يتغير اتجاهها؟ وضح ذلك.

نعم، إذا سقطت الموجة عمودياً على الحد الفاصل أو إذا كان لها السرعة نفسها في الوسطين

22. **الموجات الموقوفة** ما العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة موقوفة في نابض مثبت الطرفين؟

يزيد عدد العقد دائمًا واحدة على عدد البطون.

23. **التفكير الناقد** هناك طريقة أخرى لفهم انعكاس الموجات، وهي أن تغطي الطرف الأيمن لكل رسم في الشكل 2-13a بقطعة ورق، على أن يكون طرف الورقة موجودًا عند النقطة N (العقدة)، ثم تركز على الموجة الناتجة التي تظهر باللون الأزرق الغامق، وتلاحظ أنها تبدو مثل موجة منعكسة عن حد فاصل. فهل هذا الحد الفاصل حائط صلب أم ذو نهاية مفتوحة؟ كرّر هذا التمرين مع الشكل 2-13b.

الشكل 2-13a يسلك سلوك جدار صلب؛ لأن الموجة المنعكسة منقلبة. أما الشكل 2-13b فيسلك سلوك النهاية المفتوحة؛ لأن الحد الفاصل بطن، والموجة المنعكسة غير منقلبة.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

مختبر الفيزياء

تذبذب البندول Pendulum Vibrations

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

سؤال التجربة

كيف يوضح البندول البسيط خصائص الموجات؟

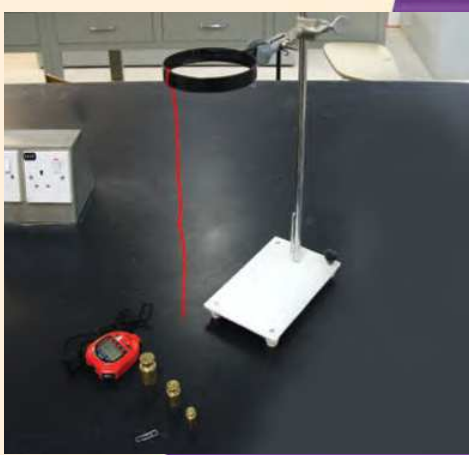
الأهداف

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

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

خيط طوله 1.5 m	ثلاثة أثقال رصاصية صغيرة
مشبك ورق	حامل حلقي
ساعة إيقاف	



الخطوات

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

موقع بداية

جدول البيانات 1

جدول البيانات هذا مصمّم للخطوات 5–2

	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط	الزمن الدوري (S)	التردّد (S^{-1})
الطول 1					_____	
الطول 2						_____
الطول 3						
الكتلة 1					_____	
الكتلة 2						_____
الكتلة 3						
الاتساع 1					_____	
الاتساع 2						_____
الاتساع 3						

جدول البيانات 2

جدول البيانات هذا مصمّم للخطوة 6، لإيجاد قيمة g

	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط	الزمن الدوري (S)	طول الخيط (m)
الطول 1						
الطول 2						
الطول 3						

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

التحليل

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

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ما المتغير أو المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول؟
2. **قارن** كيف تكون حركة البندول مشابهة لحركة الموجة؟
3. **حلّل** لماذا يفضل تكرار الخطوة ثلاث مرات أو أكثر لإيجاد التردد والزمن الدوري للبندول؟
4. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة حركية؟
5. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة وضع؟

التوسع في البحث

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

الفيزياء في الحياة

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

الإجابة في الصفحة التالية

بوابة دارة التعليم | بدارة
بوابة دارة التعليم | بدارة
موقع بدارة التعليم
bedaraya.com

التحليل

1. **لخّص** ما العلاقة بين سعة حركة البندول وزمنه الدوري؟

التغير في السعة لا يغير الزمن الدوري.

2. **لخّص** ما العلاقة بين كتلة ثقل البندول وزمنه الدوري؟

تغير كتلة ثقل البندول لا يغير الزمن الدوري.

3. **قارن** كيف يرتبط الزمن الدوري للبندول مع طوله؟

الزمن الدوري يتناسب طرديًا مع $\sqrt{l}$.

4. **حلّل** أوجد مقدار g من البيانات في الخطوة 6.

$g = 4\pi^2/T^2$ ، ستختلف الإجابات، عينة بيانات : $g = 9.6\ m/s^2$

5. **تحليل الخطأ** ما النسبة المئوية للخطأ في التجربة عند إيجاد قيمة g؟ وما الأسباب المحتملة لوجود فرق بين القيمة التجريبية لـ g والقيمة المقبولة لها؟

ستختلف الإجابات، عينة بيانات:

النسبة المئوية للخطأ (الخطأ النسبي

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

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

الاستنتاج والتطبيق

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

يؤثر الطول في الزمن الدوري كما تؤثر g عند تغير المكان.

2. **قارن** كيف تكون حركة البندول مشابهة لحركة الموجة؟

يتحرك البندول حركة توافقية بسيطة، شبيهة جدًا بحركة الموجة.

3. **حلّل** لماذا يفضل تكرار الخطوة ثلاث مرات أو أكثر لإيجاد التردد والزمن الدوري للبندول؟

يصبح تأثير خطأ القياس أقل.

4. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة حركية؟

أكبر طاقة حركية (KE) لثقل البندول عند أسفل نقطة في مسار تأرجحه.

5. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة وضع؟

أكبر طاقة وضع (PE) لثقل البندول عند النقطة التي تمثل أكبر سعة.

التوسع في البحث

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

إجابة محتملة: يمكن أن يلاحظ الطلاب الدوران الظاهري لمستوى حركة البندول، بسبب دوران الأرض.

الفيزياء في الحياة

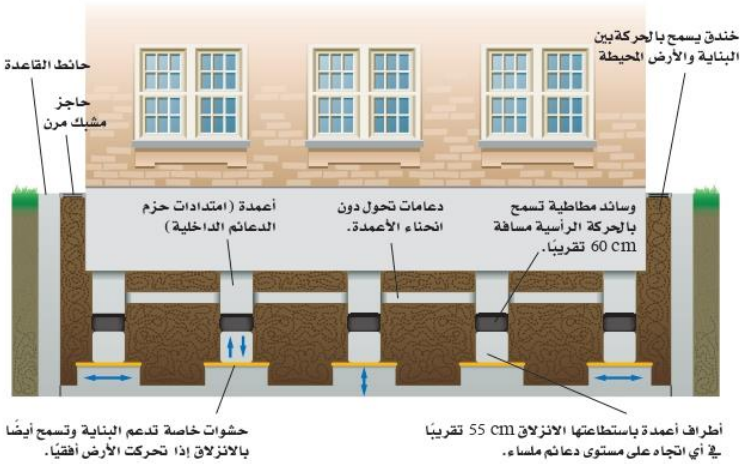
يستعمل البندول في تشغيل بعض أنواع الساعات. استعن بملاحظاتك خلال هذه التجربة لتحديد مشكلات التصميم الموجودة في بندولك عند استعماله أداة لضبط الوقت.

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

موقع بداية

الحماية من الزلازل Earthquake Protection

الزلزال يعادل انفجارًا شديدًا وعنيفًا في مكان ما تحت سطح الأرض. وتكون الموجات الميكانيكية المنتشرة من الزلازل موجات مستعرضة وموجات طولية. فتعمل الموجات المستعرضة على هزّ المباني أفقيًّا، في حين تهز الموجات الطولية المباني رأسيًّا. ولا يمكن توقع وقت حدوث الزلازل أو منع حدوثها حتى الآن، وما دام الأمر كذلك فكيف يمكن اتقاء أضرارها؟



تقلّل التصاميم الحديثة للأبنية الدمار الناتج عن الهزات الأرضية

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

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

ويمكن الحد من الأضرار التي يسببها الزلزال للمباني عن طريق السماح بحدوث كمية صغيرة من الحركة المسيطر عليها بين هيكل البناء وقواعده. ولتقليل الاهتزاز الرأسي للبناء توضع نوابض رأسية داخل الأجزاء الرأسية لهيكل البناء، وتصنع هذه النوابض من مُرَكَّب مطاطي قوي مضغوط داخل أسطوانات مصنوعة من الفولاذ الثقيل والقوي. كما يمكن التقليل من الاهتزاز الجانبي بوضع دعائم انزلاقية تحت أعمدة البناء، تحفظ هيكل البناء ثابتًا إذا تحركت الأرض تحته إلى جانب من الجوانب.

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

التوسع

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

الإجابة في الصفحة التالية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التوسع

1. **ابحث** ما المواد التي يتركّب منها بناء مدرستك؟ وكيف بُنيت قواعد هذا البناء؟

2. **لاحظ** ابحث عن بناء فيه تصدع أو تشقق في أحد جدرانه، وبيّن سبب حدوثه، ولماذا اتخذ ذلك الشكل أو المسار؟ وماذا يحدث للبناء إذا تعرّض لزلزال؟

تبدأ الصدوع عادة وتنتهي عند نقاط حادة مثل زوايا النوافذ

وتتحرك الصدوع عادة على امتداد النقاط الضعيفة في البناء

وتتشكل الصدوع التي تحدث في الطبقات الصخرية عادة

بالطريقة نفسها

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

الفصل 2
دليل مراجعة الفصل

2–1 الحركة الدورية Periodic Motion

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

- الحركة الدورية هي أيّ حركة تتكرر في دورة منتظمة، وفي أزمنة متساوية.
- تنتج الحركة التوافقية البسيطة عندما تتناسب قوة الإرجاع المؤثرة في الجسم طرديًّا مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان. وتحقق هذه القوة قانون هوك.

$$F = -kx$$

- تحسب طاقة الوضع المرونية المختزنة في نابض يحقق قانون هوك بالمعادلة الآتية:

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

- يمكن حساب الزمن الدوري لبندول بسيط بالمعادلة الآتية:

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

2–2 خصائص الموجات Waves Properties

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

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

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

- يمكن حساب طول موجة منتشرة باستخدام المعادلة الآتية:

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

بداية
موقع بداية التعليمي | beadaya.com

2–3 سلوك الموجات Waves Behavior

المفردات

- الموجة الساقطة
- الموجة المنعكسة
- مبدأ التراكب
- التداخل – العقدة
- بطن الموجة
- الموجة الموقوفة
- مقدمة الموجة
- قانون الانعكاس
- الشعاع – الانكسار
- العمود المقام

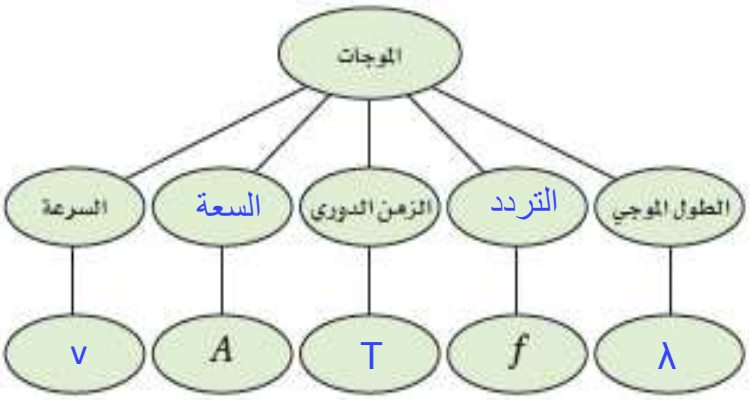
المفاهيم الرئيسة

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

خريطة المفاهيم

24. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز الآتية: السعة، التردد، T، λ، v.



إتقان المفاهيم

25. ما الحركة الدورية؟ أعط ثلاثة أمثلة عليها (1 – 2).

الحركة الدورية حركة تعيد نفسها في دورة منتظمة. ومن الأمثلة عليها: اهتزاز نابض، وتأرجح بندول بسيط، والحركة الدائرية المنتظمة.

26. ما الفرق بين الزمن الدوري والتردد؟ وكيف يرتبطان؟ (1 – 2)

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

27. إذا حقق نابض قانون هوك؛ فكيف يكون سلوكه؟ (1 – 2)

ينضغط النابض مسافة تتناسب طردياً مع القوة المؤثرة فيه.

28. كيف يمكن أن نستخلص من رسم بياني للقوة والإزاحة لنابضٍ ما قيمةَ ثابت النابض؟ (1 – 2)

ثابت النابض يساوي ميل العلاقة البيانية بين F و x.

29. كيف يمكن أن نستخلص من الرسم البياني للقوة والإزاحة طاقةَ الوضع في نابضٍ ما؟ (1 – 2)

طاقة الوضع تساوى المساحة ت تحت منحنى العلاقةبين F و x.

30. هل يعتمد الزمن الدوري لبندول على كتلة ثقله؟ وهل يعتمد على طول خيطه؟ وعلامَ يعتمد الزمن الدوري للبندول أيضًا؟ (1 – 2)

لا يعتمد على كتلة ثقله، ويعتمد على طول خيطه، وتسارع الجاذبية الأرضية g.

31. ما الطرائق العامة لانتقال الطاقة؟ أعط مثالين على كل منها (2 – 2).

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

موقع بداية التعليم

32. ما الفرق الرئيس بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية؟ (2 – 2)

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

33. ما الفروق بين كلٍّ من: الموجة المستعرضة، والموجة الطولية والموجة السطحية؟ (2 – 2)

تسبب الموجات المستعرضة اهتزاز جسيمات الوسط في اتجاه عمودى على اتجاها انتشار الموجة. أما الموجات الطولية فتسبب اهتزاز جسيمات الوسط في اتجاه مواز لاتجاه انتشار الموجة. أما الموجات السطحية فلها صفات الموجتين الطولية والمستعرضة.

34. ما الفرق بين النبضة الموجية والموجة الدورية؟ (2 – 2)

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

35. انتقلت موجات خلال نابض طوله ثابت. أجب عن السؤالين الآتيين: (2 – 2)

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

لا تتغير سرعة الموجات؛ لأنها تعتمد فقط على الوسط الناقل.

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

يمكن تغيير التردد عن طريق تغيير تردد توليد الموجات.

36. افترض أنك ولّدت نبضة خلال حبل، فكيف تقارن موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة بموضعها بعد مرور النبضة؟ (2 – 2)

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

37. افترض أنك ولّدت موجة مستعرضة بهزّ أحد طرفي نابض جانبيًّا، فكيف يكون تردد يدك مقارنة بتردد الموجة؟ (2 – 2)

يكونان متساويتين

38. متى تكون النقاط في موجة في الطور نفسه؟ ومتى تكون في حالة اختلاف في الطور؟ أعط مثالاً على كل حالة (2 – 2).

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

39. صف العلاقة بين سعة موجة والطاقة التي تحملها (2 – 2).

تتناسب الطاقة التي تحملها الموجة طرديًا مع مربع سعتها.

بداية
موقع بداية التعليمي | beadaya.com

40. عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين حبل رفيع وآخر سميك، كما في الشكل 18-2، ستتغير سرعتها وطولها الموجي، ولن يتغير ترددها. فسر لماذا يبقى التردد ثابتًا (3 – 2).

الشكل 18-2

يعتمد التردد فقط على معدل اهتزاز الحبل الرفيع، الذى بدوره يؤدى الى اهتزاز الحبل السميك بالتردد نفسه.

41. ثُبتت شريحة فلزية رقيقة من مركزها، ونُثِرَ عليها سكر. فإذا نقر على قوس بالقرب منها فإن أحد طرفيها يبدأ في الاهتزاز، ويبدأ السكر في التجمع في مساحات محدّدة، ويتحرك مبتعدًا عن مساحات أخرى. صِف هذه المناطق بدلالة الموجات الموقوفة. (3 – 2)

المساحات الخالية هي مناطق البطون؛ حيث يكون فيها أكبر اهتزاز. أما المساحات التي يتجمّع فيها السكر فهي مناطق العُقد التي لا يكون عندها اهتزاز.

42. إذا اهتز حبل مشكّلاً أربعة أجزاء أو أقسام فإنك تستطيع أن تلمس عددًا من النقاط عليه دون أن تُحدث اضطرابًا في حركته. بيّن عدد هذه النقاط (3 – 2).

تتكوّن موجة موقوفة، ويمكن أن تلمس الحبل عند أي نقطة من العُقد الخمس.

43. مرّت مقدمات موجات بزاوية من وسط إلى آخر، وتحركت فيه بسرعة مختلفة. صِفْ تغيرين في هذه المقدمات، وما الذي لم يتغير؟ (3 – 2)

يتغير كل من الطول الموجى واتجاه مقدمات الموجة، أما التردد فلا يتغير

تطبيق المفاهيم

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

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

45. هل يمكن استخدام ساعة بندول في محطة فضائية دولية تتحرك في مدارها؟ وضح ذلك.

لا، تكون المحطة الفضائية في حالة سقوط حر، لذا تكون القيمة الظاهرية لثابت الجاذبية g صفرًا، ولا يتأرجح البندول.

بداية موقع بداية التعليمي | beadaya.com

46. افترض أنك أمسكت قضيبًا فلزيًّا طوله 1 m، وضربت أحد طرفيه بمطرقة، في اتجاه موازٍ لطوله أولاً، ثم في اتجاه يصنع زاوية قائمة مع طوله ثانيًا. صف الموجات المتولّدة في الحالتين.

تتولد في الحالة الأولى موجات طولية، أما في الحالة الثانية فتتولد موجات مستعرضة.

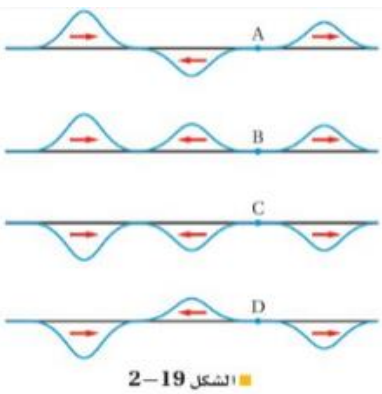
47. افترض أنك غمست إصبعك بشكل متكرّر في حوض مملوء بالماء لتوليد موجات دائرية، فماذا يحدث لطول الموجة إذا حركت إصبعك بسرعة؟

يزداد تردد الموجات؛ وتبقى السرعة نفسها؛ ويقل الطول الموجي.

48. افترض أنك أحدثت نبضة واحدة في نابض مشدود، فما الطاقة التي يتطلبها إحداث نبضة لها ضعف السعة؟

أربعة أضعاف الطاقة تقريبًا.

49. تكون النبضة اليسرى في كل واحدة من الموجات الموضحة في الشكل 19-2 هي النبضة الأصلية، وتتحرك إلى اليمين، وتكون النبضة التي في المركز هي النبضة المنعكسة، بينما تكون النبضة اليمنى هي النبضة النافذة. صِف صلابة الحد الفاصل عند النقاط A، B، C، D.



الشكل 19-2

يكون كل من الحدين الفاصلين A و D أكثر صلابة؛ أما الحدان الفاصلان، B و C فيكونان أقل صلابة.

إتقان حل المسائل

2-1 الحركة الدورية

50. **ماصّات الصدمات** إذا كان ثابت كل نابض من نوابض سيارة وزنها 1200N يساوي 25000 N/m. فكم ينضغط كل نابض إذا حُمّلت السيارة بربع وزنها ؟

$$F = kx$$

لذا فإن

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

$$x = \frac{\left(\frac{1}{4}\right)(1200\ \text{N})}{25000\ \text{N/m}} = 0.012\ \text{m}$$

51. إذا استطال نابض إزاحة 0.12m عندما علّق في أسفله عدد من التفاحات وزنها 3.2 N كما في الشكل 20-2، فما مقدار ثابت النابض؟

$$F = kx$$

لذا فإن

$$k = \frac{F}{x} = \frac{3.2\ N}{0.12\ m}$$

$$= 27\ N/m$$

52. **قاذفة الصواريخ** تحتوى لعبة قاذفة الصواريخ على نابض ثابته يساوى 35 N/m . ما الإزاحة التي يجب أن ينضغطها النابض حتى يخزن طاقة مقدارها 1.5J ؟

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

لذا فإن

$$x = \sqrt{\frac{2PE_{sp}}{k}} = \sqrt{\frac{(2)(1.5\ \text{J})}{35\ \text{N/m}}}$$

$$= 0.29\ \text{m}$$

بداية
موقع بداية التعليمي | bedaya.com

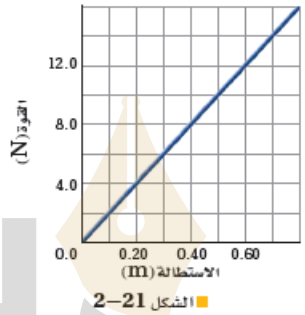
53. ما مقدار طاقة الوضع المختزنة في نابض عندما يستطيل بإزاحة 16 cm علمًا بأن مقدار ثابته يساوي 27 N/m ؟

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

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}(27\ \text{N/m})(0.16)^2$$

$$= 0.35\ \text{J}$$

54. يبين **الشكل 21-2** العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة في نابض ومقدار استطالته. احسب مقدار:



الشكل 21-2

a. ثابت النابض.

$$k = \text{الميل} = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{12.0\ \text{N} - 4.0\ \text{N}}{0.6\ \text{m} - 0.2\ \text{m}} = 20\ \text{N/m}$$

b. الطاقة المختزنة في النابض عندما يستطيل ويصبح طوله 0.50 m

$$PE_{sp} = \text{المساحة} = \frac{1}{2}bh$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(0.50\ \text{m})(10.0\ \text{N}) = 2.50\ \text{J}$$

2-2 خصائص الموجات

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

$$v = \lambda f = \lambda\left(\frac{1}{T}\right) = (12.0\ \text{m})\left(\frac{1}{3.0\ \text{s}}\right) = 4.0\ \text{m/s}$$

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

a. سرعة موجات الماء.

$$v = \frac{d}{t} = \frac{3.4\ \text{m}}{1.8\ \text{s}} = 1.9\ \text{m/s}$$

b. الطول الموجي لهذه الموجات.

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

$$= (1.9\ \text{m/s})(1.1\ \text{s}) = 2.1\ \text{m}$$

57. **السونار** يرسل سونار (جهاز يكشف المواقع تحت سطح الماء عن طريق الصدى) في الماء إشارة ترددها 1.00×10^6 Hz وطولها الموجي يساوي 1.50 mm. احسب مقدار:

a. سرعة الإشارة في الماء.

$$v = \lambda f$$

$$= (1.50 \times 10^{-3}\ \text{m})(1.00 \times 10^6\ \text{Hz})$$

$$= 1.50 \times 10^3\ \text{m/s}$$

b. الزمن الدوري للإشارة في الماء.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1.00 \times 10^6\ \text{Hz}}$$

$$= 1.00 \times 10^{-6}\ \text{s}$$

c. الزمن الدوري للإشارة في الهواء.

$$1.00 \times 10^{-6}\ \text{s}$$

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

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

$$\lambda = (2)(3.0\ \text{m}) = 6.0\ \text{m}$$

$$f = \frac{(12\ \text{موجة})}{20.0\ \text{s}} = 0.60\ \text{Hz}$$

$$v = \lambda f$$

$$= (6.0\ m)(0.60\ Hz) = 3.6\ \text{m/s}$$

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

نبدأ بالمعادلة $d = vt$، ونحن لا نعلم مقدار الزمن t، ولكننا نعلم مقدار الفرق في الزمن Δt فقط. المسافة التي قطعتها الموجات المستعرضة $d_T = v_T t$ تساوي المسافة التي قطعتها الموجات الطولية $d_L = v_L(t + \Delta t)$. استخدم المعادلة الآتية وحلها بالنسبة إلى t:

$$v_T t = v_L(t + \Delta t)$$

$$t = \frac{v_L\,\Delta t}{v_T - v_L}$$

$$t = \frac{(5.1\ \text{km/s})(68\ \text{s})}{8.9\ \text{km/s} - 5.1\ \text{km/s}} = 91\ \text{s}$$

ثم عوض قيمة t في المعادلة الآتية:

$$d_T = v_T t = (8.9\ \text{km/s})(91\ \text{s})$$

$$= 8.1 \times 10^2\ \text{km}$$

3–2 سلوك الموجات

60. إذا كانت سرعة الموجة في وتر طوله 63 cm تساوي 265 m/s، وقد حرّكته من مركزه بسحبه إلى أعلى ثم تركته، فتحرّكت نبضة في الاتجاهين، ثم انعكست النبضتان عند نهايتي الوتر:

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

$$d = \frac{(2)(63\ \text{cm})}{2} = 63\ \text{cm}$$

لذا فإن

$$t = \frac{d}{v} = \frac{0.63\ \text{m}}{265\ \text{m/s}} = 2.4 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

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

تنقلب النبضات عندما تنعكس عن وسط أكثر كثافة، لذا يكون اتجاه النبضة المنعكسة إلى أسفل.

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

15 cm من الطرف الآخر، حيث المسافات المقطوعة هي نفسها

مراجعة عامة

61. ما الزمن الدوري لبندول طوله 1.4 m؟

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

$$= 2\pi\sqrt{\frac{1.4\ \text{m}}{9.80\ \text{m/s}^2}}$$

$$= 2.4\ \text{s}$$

62. **موجات الراديو** تبث إشارات راديو AM بترددات بين 550 kHz و1600 kHz وتنتقل بسرعة

a. ما مدى الطول الموجي لهذه الإشارات؟

$$v = \lambda f$$

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{3.00\times10^8\ \text{m/s}}{5.5\times10^5\ \text{Hz}}$$

$$= 550\ \text{m}$$

$$\lambda_2 = \frac{v}{f_2} = \frac{3.00\times10^8\ m/s}{1.6\times10^6\ Hz}$$

$$= 190\ m$$

المدى من 190 m إلى 550 m

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

$$v = \lambda f$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3.00\times10^8\ \text{m/s}}{8.8\times10^7\ \text{Hz}}$$

$$= 3.4\ \text{m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3.00\times10^8\ m/s}{1.8\times10^8\ Hz}$$

$$= 2.78\ m$$

المدى من 2.78 m إلى 3.4 m.

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

$$k = \frac{F}{x} = \frac{mg}{x} = \frac{(68\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{1710\ \text{m} - 540\ \text{m}}$$

$$= 0.57\ \text{N/m}$$

64. **تأرجح جسر** يتأرجح طارق وحسن على جسر بالحبال فوق أحد الأنهار، حيث يربطان حبالهما عند إحدى نهايتي الجسر، ويتأرجحان عدة دورات جيئة وذهابًا، ثم يسقطان في النهر. أجب عن الأسئلة الآتية:

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

التأرجح إلى قمة الدورة $= \frac{1}{2}T$

$$= \pi\sqrt{\frac{1}{g}} = \pi\sqrt{\frac{10.0\ m}{9.80\ m/s^2}} = 3.17\ s$$

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

لن يكون هناك اختلاف، فالزمن الدوري T لا يتأثر بالكتلة.

c. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أكبر ما يمكن؟

عند أسفل التأرجح.

d. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أكبر ما يمكن؟

عند قمة التأرجح.

بيداية beadaya.com | موقع بيداية التعليمي

e. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أقل ما يمكن؟

عند قمة التأرجح.

f. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أقل ما يمكن؟

عند أسفل التأرجح.

65. **نوابض السيارات** إذا أضيفت حمولة مقدارها 45 kg إلى صندوق سيارة صغيرة جديدة، ينضغط النابضان الخلفيان إزاحة إضافية مقدارها 1.0 cm، احسب مقدار:

a. ثابت النابض لكل من النابضين الخلفيين.

$$F = mg = (45\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2) = 440\ \text{N}$$

لذا تساوي القوة المؤثرة في كل نابض 220 N.

$$F = kx$$

لذا فإن

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

$$k = \frac{220\ \text{N}}{0.010\ \text{m}} = 22000\ \text{N/m}$$

b. طاقة الوضع الإضافية المختزنة في كل من النابضين الخلفيين بعد تحميل صندوق السيارة.

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

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(22000\ \text{N/m})(0.010\ \text{m})^2 = 1.1\ \text{J}$$

التفكير الناقد

66. **حلل واستنتج** إذا لزمت قوة مقدارها 20 N لإحداث استطالة في نابض مقدارها 0.5 m، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار ثابت النابض؟

$$F = kx$$

لذا فإن

$$k = \frac{F}{x} = \frac{20\ \text{N}}{0.5\ \text{m}} = 40\ \text{N/m}$$

b. ما مقدار الطاقة المختزنة في النابض؟

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

$$= \frac{1}{2}(40\ \text{N/m})(0.5\ \text{m})^2 = 5\ \text{J}$$

c. لماذا لا يكون الشغل المبذول لإطالة النابض مساويًا لحاصل ضرب القوة في المسافة، أو 10 J؟

القوة غير ثابتة في أثناء انضغاط النابض. ويُعطي حاصل ضرب متوسط القوة 10 N في المسافة الشغل الصحيح.

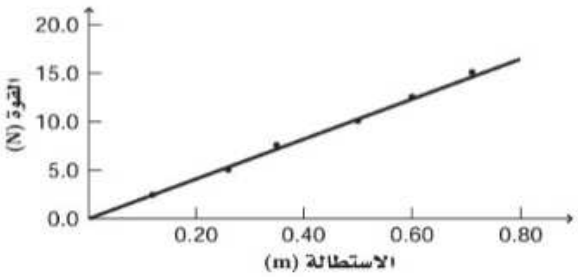
67. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** عُلّقت عدة كتل في نهاية نابض، وقيست الزيادة في طول النابض. ويبين الجدول 1-2 المعلومات التي تم الحصول عليها:

الجدول 1-2

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

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

بداية
موقع بداية التعليمي | bedaya.com



b. احسب ثابت النابض من الرسم البياني.

ثابت النابض يساوي الميل.

$$k = \text{الميل} = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{15.0\ \text{N} - 2.5\ \text{N}}{0.71\ \text{m} - 0.12\ \text{m}} = 21\ \text{N/m}$$

c. استخدم الرسم البياني في إيجاد طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض عندما يستطيل إزاحة 0.50m

طاقة الوضع المرونية تساوي المساحة تحت المنحنى.

$$PE_{sp} = \text{المساحة} = \frac{1}{2}bh$$

$$= \frac{1}{2}(0.50\ m)(10.0\ N) = 2.5J$$

68. 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 22-7. وينتج هذا التموج بسبب حركة معظم السيارات بالسرعة نفسها واهتزاز النوابض المتصلة بعجلات السيارة بالتردد نفسه. فإذا كان بعد التموجات بعضها عن بعض 1.5 m، وتتحرك السيارات على هذا الطريق بسرعة 5 m/s، فما تردد اهتزاز نوابض السيارة؟

$$v = \lambda f$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{5\ \text{m/s}}{1.5\ \text{m}} = 3\ \text{Hz}$$

الكتابة في الفيزياء

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

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

مراجعة تراكمية

70. تقطع سيارة سباق كتلتها 1400 kg مسافة 402 m خلال 9.8 s. فإذا كانت سرعتها النهائية 112 m/s، فأجب عما يأتي: (فيزياء 2)

a. ما مقدار الطاقة الحركية النهائية للسيارة؟

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$KE = \left(\frac{1}{2}\right)(1400\ \text{kg})(112\ \text{m/s})^2$$

$$= 8.8\times10^6\ \text{J}$$

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

أقل مقدار من الشغل يجب أن يساوي الطاقة الحركية (KE)؛ أيْ 8.8×10^6 J. ويبذل المحرك شغلا أكبر للتعويض عن الشغل الضائع ضد قوة الاحتكاك.

بداية
bedaya.com | موقع بداية التعليمي

c. ما مقدار التسارع المتوسط للسيارة؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\bar{a} = \frac{112\ m/s}{9.8\ s} = 11\ m/s^2$$

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

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

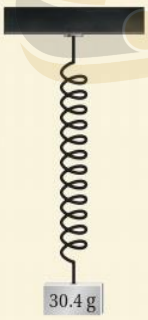
A) 70.2 N/m
B) 71.1 N/m
C) 142 N/m
D) 284 N/m

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

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

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

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



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

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

5. ما الترتيب الصحيح لمعادلة الزمن الدوري لبندول بسيط لحساب طوله؟

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

6. ما تردّد موجة زمنها الدوري 3 s؟

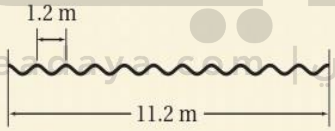
A) 0.3 Hz
B) 30 Hz
C) $\frac{\pi}{3}$ Hz
D) 3 Hz

7. أيّ الخيارات الآتية يصف الموجة الموقوفة؟

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

8. تحركت موجة طولها 1.2 m مسافة 11.2 m في اتجاه جدار، ثم ارتدّت عنه وعادت ثانية خلال 4 s، فما تردّد الموجة؟

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



9. ما طول بندول بسيط زمنه الدوري 4.89 s؟

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

الأسئلة الممتدة

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

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

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

ولأن $1\,\text{N} = 1\,\frac{\text{kg.m}}{\text{s}^2}$ فإنه يمكنك تعويض 1 N

في بسط المعادلة السابقة للتوصل إلى: $k = \frac{\text{N}}{\text{m}}$

بداية
موقع بداية التعليمي
b edaya.com