الوحدة 1 القوى

مقدِّمة الوحدة

تُمثّل هذه الوحدة النصف الأول من القوى والحركة. والمعايير هي:

P1101 يُطبّق خصائص الكميات المتّجهة ومخطط الجسم الحر على القوى المؤثرة في الأجسام.

P1102 يصف قوى الاحتكاك ويحسبها.

P1105 يوضح مفهوم عزم القوّة ويطبّقه.

الدرس 1-1 القوى والاتزان

- القوّة
- الوزن
- مخطّط الجّسم الحر
- محصّلة القوى
- الاتّزان
- الاحتكاك
- الاحتكاك السكوني
- الاحتكاك الحركي

الدرس 1-2 المُتَّجهات والقوى

- القوّة
- إيجاد المحصّلة المتّجهة بيانيًا
- مركّبات المُتَّجه
- إيجاد مركّبات القوى في بُعدَين
- جمع وطرح مُتَّجهات القوى
- إيجاد مقدار وزاوية مُتَّجه

الدرس 1-3 العزم والاتّزان الدّوراني

- عزم القوّة
- حساب العزم
- الاتزان الدوراني
- قوى رد الفعل
- حل مسائل الاتزان
- الازدواج

الوحدة 1 القوى

ملخّص الوحدة

القوى موجودة حولنا في كل مكان، حتى لو اعتقدنا أنها غير موجودة، ولم نتمكَّن من رؤيتها. سوف يتعرّف الطلاب في الدرس الأول القوى البسيطة، والفرق بين الكتلة والوزن. يتعلّمون أيضًا متى يكون النظام في حالة اتزان (سكوني). يتيح فهم الاتزان حلّ العديد من المسائل. سوف يكتشف الطلاب أيضًا كلًا من الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي، ويطبّقون نموذجًا مبسّطًا لحساب قوى الاحتكاك. يركّز الدرس الثاني على القوى في بُعدَين، ومركّبات المُتَّجهات، وإيجاد محصّلتها. ومع أن الوحدة تركّز على القوى، إلا أنّها تشرح طرائق عامة للتعامل مع المُتَّجهات. سوف يتعلّم الطلاب إيجاد مقدار القوّة واتجاهها (من خلال زاويتها). ويدور موضوع الدرس الثالث حول العزم، حيث يتعلّم الطلاب تطبيق عزم القوّة على مسائل الاتزان السكوني.

أخطاء شائعة

- **الكتلة والوزن كلمتان تشيران إلى المعنى نفسه، ويمكن استخدامهما بشكل متبادل.** يخلط معظم الناس بين الكتلة والوزن، على الرغم من أنّ الكلمتين ليس لهما المعنى نفسه. ترتبط الكتلة بكميّة المادة الموجودة في الجسم، وتدل على ممانعة الجسم عند تطبيق قوّة عليه، وهي كمية قياسية. أما الوزن فهو قوّة جذب الأرض للجسم، وهو كمّية متّجهة.

- **الاحتكاك قوّة ضارّة،** وعلينا **دائمًا العمل على التقليل من آثارها.** قد يكون الاحتكاك مفيدًا جدًّا. فهو، في الحقيقة، يمكّننا من السّير والقيادة والتوقّف. ومن دون الاحتكاك، سيكون كل شيء معرّضًا للانزلاق.

- **إذا كانت محصّلة القوى المؤثرة في جسم تساوي صفرًا، فإن الجسم يكون في حالة اتّزان سكوني.** هذا ليس صحيحًا عمومًا، لضرورة أخذ الدوران في الحسبان. يعني الاتزان السكوني أنّ كلًا من محصّلة القوى ومحصّلة العزوم المؤثرة في جسم، يجب أن تكون صفرًا.

مخطط الوحدة

الدرس	عدد الحصص	مخرجات التعلّم	الكفايات
1-1 القوى والاتزان	5	P1101.2 P1102.1 P1102.2 P1103.2 P1103.3	
2-1 المتَّجهات والقوى	4	P1101.1 P1101.2	
3-1 العزم والاتِّزان الدوراني	4	P1105.1	

كفايات الطالب

- التفكير الإبداعي والناقد
- الكفاية اللغوية
- التعاون والمشاركة
- حل المشكلات
- الكفاية العددية
- التواصل
- البحث والاستقصاء

المهارات العلمية والكفايات

- يتوقّع من الطلاب إكمال أربع خبرات تعلميّة.
- مهارة الرياضيات يجري تطبيقها من خلال 35 مسألة في تقويم الدروس 1-1، 2-1، 3-1، وتقويم الوحدة.
- تطبّق الكفاية اللغوية في خبرات التعلّم a1-1، b1-1، 2-1، 3-1.
- يُنشئ الطلاب روابط مع العلم المعاصر في مفاتيح الدروس 1-1، 2-1، 3-1.
- تكون مهارات ICT مُدمجة مع مشروع الرصيد الإضافي في نهاية الوحدة.

الدرس 1-1
القوى والاتِّزان

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع / الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد دليل المعلم
القوى $\frac{1}{2}$ حصة	تعريف القوّة، وحدة قياسها	الصفحتان 4، 5	الصفحة 14
الوزن 1 حصة	تعريف الوزن، معادلته، مثال ونشاط عملي	الصفحات 6-8	الصفحات 15-17 ورقة عمل a1-1
مخطّط الجسم الحر $\frac{1}{2}$ حصة	تعريف مخطّط الجسم الحر، تمرين رسم	الصفحة 9	الصفحة 18
محصّلة القوى والاتّزان 1 حصة	تعريف: محصلة القوى والاتزان، توضيح ومعادلة	الصفحتان 10، 11	الصفحة 19
الاحتكاك 2 حصة	تعريف الاحتكاك، أنواع الاحتكاك، مثال ونشاط عملي	الصفحات 12-16	الصفحات 20-32 ورقة عمل b1-1

الزمن المقترح للدرس

يحتاج هذا الدرس إلى 5 حصص صفيّة تتضمن نشاطين عمليين (a1-1 و b1-1)، إضافةً إلى أفكار حول أنشطة عملية موجزة، ونقاشات مع الطلاب.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
a1-1 الجاذبيّة، الكتلة والوزن	ميزان زنبركيّ أو مُستشعر قوّة، حلقات معدنيّة، ميزان عادي، خيط، علاّقة كتل.
b1-1 الاحتكاك	ميزان زنبركيّ، كتل مختلفة، كتلة احتكاك، طاولة مُجهّزة ببكرة، خيط

مخرجات التعلّم

P1101.2 يُحدّد القوى المؤثّرة في الجّسم باستخدام مخطّط الجسم الحر ثمّ يحدد مُحصّلة القوى.

P1102.1 يَصف قوى الاحتكاك و اللزوجة بشكل نوعي، بما فيها مقاومتا الهواء والماء، ويظهر التّشابه والاختلاف بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.

P1102.2 يُحدّد العوامل المؤثّرة في الاحتكاك ويستخدم مفاهيم معامل الاحتكاك السكوني ومعامل الاحتكاك الحركي في الحسابات.

P1103.2 يُعرِّف شِدَّة مجال الجاذبيّة بالقرب من سطح الأرض بـ $g = 9.82\ N/kg$ ويشرح التغيّر الذي يطرأ على هذه القيمة على كواكب مُختلفة نتيجة مجال جاذبيّة تلك الكواكب.

P1103.3 يَصف الاختلاف بين الكتلة والوزن ويقوم بحسابات للوزن على كواكب مختلفة.

المعرفة السابقة

يُفترض أن يكون الطلاب على دراية بالفرق بين الكمّية المتّجهة والكمّية القياسيّة، وأن يعرفوا طريقة حساب النِّسب المُثلّثيّة ورسم المخططات البيانيّة. وينبغي لهم مراجعة المواد الضرورية قبل الدرس، إذا احتاج الأمر إلى ذلك.

المفردات

Force	قوّة
Weight	وزن
Newton	نيوتن
Free-body diagram	مخطّط الجّسم الحر
Normal force	قوة عمودية
Net force	محصّلة القوى
Equilibrium	اتّزان
Friction	احتكاك
Coefficient of friction	مُعامِل الاحتكاك
Static friction	احتكاك سكوني
Kinetic friction	احتكاك حركي

افتتاحية الدرس

ليست القوّة كلمة جديدة على الطلاب. وبناء على ذلك، كلِّفهم دفع أشياء في غرفة الصف، أو سحبها وذَكّرهم بأن هذه قوىً. اعرض عليهم فيديو يُظهر عملًا ينقلون فيه أشياء من مكان إلى آخر. سلْهم عن وحدة قياس القوة وذكّرهم بأنها نيوتن. أسقط أجسامًا خفيفة على الأرض، واسألهم عن القوة التي سبّبت هذه الحركة.

1. اعرض عليهم ميزانًا زنبركيًا، واذكر لهم أنّه يُستخدم لقياس القوّة. ثمّ اعرض عليهم طريقة ضبطه ومعايرته.
2. مرّر الميزان الزنبركي بين الطلاب، واطلب إليهم رفع أجسام صغيرة باستخدام الميزان الزنبركي كعلبة الأقلام مثلًا. بإمكانهم حتى فتح الباب باستخدام الميزان. كم ستكون قيمة القوّة المُستخدمة لفتح الباب بوحدة نيوتن؟
3. عرّف القوّة، واذكر أن وحدة قياسها نيوتن. وذكّر الطلاب بأنّ القوّة كميّة متّجهة، وتكون موجبة أو سالبة لتحديد اتجاهها في حالة الحركة في بعد واحد.
4. كلّف الطلاب العثور على جسم يكون وزنه 1 نيوتن.
5. اشرح لهم كيف يمكن للقوّة أن تسبّب تغيّر الحركة.
6. عند نهاية الشرح، اطرح على الطلاب أسئلة المناقشة. هل فهموا الموضوع؟

الدّرس 1-1
القوى والاتزان

يستطيع البحّار الماهر أن يقطع مسافة 5000 km في البحر باستخدام قوتي الرياح والماء فقط. يمكن للرياح التي تؤثر في مساحة 50 m^2 من الشراع أن تنتج قوة مقدارها 5000 N. تعمل هذه القوّة على الموازنة بين قوة الجاذبيّة والقوى المؤثرة في جسم السفينة ودَفْة القيادة خلال حركة القارب على سطح الماء. يمكن للرياح أن تتدفّق في اتّجاه واحد، بينما تتحرّك التيارات البحرية في اتّجاه آخر، ويستطيع البحّار الماهر توجيه القارب في اتّجاه ثالث!

المفردات

Force	قوّة
Weight	وزن
Newton	نيوتن
Free-body diagram	مخطّط الجسم الحر
Normal force	قوة عمودية
Net force	محصّلة القوى
Equilibrium	اتّزان
Friction	احتكاك
Coefficient of friction	معامل احتكاك
Static friction	احتكاك سكوني
Kinetic friction	احتكاك حركي

مخرجات التعلُّم

P1101.2 يُحدّد القوى المؤثّرة في الجسم باستخدام مخطّط الجسم الحر ثمّ يحدد مُحصّلة القوى.

P1102.1 يَصف قوى الاحتكاك و اللزوجة بشكل نوعي، بما فيها مقاومتي الهواء والماء، ويذكر أوجه التّشابه والاختلاف بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.

P1102.2 يُحدّد العوامل المؤثّرة في الاحتكاك ويحلّ مسائل حسابيّة باستخدام مفاهيم معامل الاحتكاك السكوني ومعامل الاحتكاك الحركي.

P1103.2 يُعرِّف شِدَّة مجال الجاذبيّة بالقرب من سطح الأرض بـ $g = 9.82\ N/kg$ ويشرح التغيّر الذي يطرأ على هذه القيمة على كواكب مُختلفة نتيجة مجال جاذبيّة تلك الكواكب.

P1103.3 يَصف الفرق بين الكتلة والوزن ويحسب وزن جسم ما على كواكب مختلفة.

4

القوّة

أحد المبادئ الأساسيّة في العلم هو مبدأ السّببيّة. فأيّ تغيير أو تأثير نلاحظه يجب أن يكون هناك سبب أدّى إلى حدوثه. القوّة Force هي السّبب في تغيُّرات الحركة. جميع التّغيُّرات في الحالة الحركيّة للأجسام تحدث نتيجة تأثير القوى. لذلك نحتاج إلى فهم القوى من أجل فهم كيفيّة تغيُّر الحركة وللتوصّل إلى تقنيّات تسمح بتغيّر الحركة كما في السّيّارات والطّائرات.

سؤال للمناقشة

ما التّفسير العلمي لِلقوّة؟

كيف تُقاس القوّة؟

جميعنا يدرك مفهوم كلمة قوّة من خلال الدّفع أو السّحب (**الشّكل 1-1**). فربّما قد قمْتَ اليوم بتطبيق قوى السّحب والشدّ دون الانتباه إلى ذلك. من أجل استخدام مفهوم القوّة في الفيزياء علينا أن نضيف وصفًا دقيقًا للقوة يشتمل على كمّيّات مقاسة.

الشّكل 1-1 السحب والدفع حالتان توضحان مفهوم القوة.

تُقاس القوّة في النّظام الدّوليّ للوحدات SI بِالـ نيوتن Newton . وقد يكافئ نيوتن واحد وزن هاتف محمول وهي قوّة صغيرة إلى حدّ ما. تستطيع بسهولة تطبيق قوّة مقدارها 100 N أو أكثر مستخدمًا يدًا واحدة. مقدار نيوتن واحد هو تقنيًّا القوّة اللّازمة لِتغيير سرعة جسم كتلته 1 kg بِمعدّل متر واحد في الثّانية لكلّ ثانيّة (**الشّكل 1-2**)، وبذلك فإن وحدة نيوتن تكافئ $kg.m/s^2$.

الشّكل 1-2 تعريف وحدة قياس القوّة (النيوتن).

القوّة هي المؤثر الّذي يستطيع تغيير أو محاولة تغيير الحركة.

5

الوزن

1. ابدأ بسؤال الطلاب: هل الكتلة والوزن هما الشيء نفسه؟
   ربما عرف بعض الطلاب الفرق بينهما من قبل. صحّح لمن قال إنهما الشيء نفسه.
2. عرّف الكتلة على أنّها كميّة المادة الموجودة في الجسم، وهي مقياس لممانعة الجسم تحت تأثير القوى.
3. عرّف الوزن على أنّه نتيجة لِتأثير قوّة الجاذبيّة في الكتلة.
4. اذكر للطلاب المعادلة $F_w = mg$. واشرح لهم أننا على سطح الأرض نستخدم $g = 9.8$ N/kg. لكن قيمة g تكون مختلفة على الكواكب الأخرى. ما الذي يحدّد قيمة الجاذبية؟ ادعُ الطلاب إلى الاطلاع على قائمة الكواكب. هل هناك علاقة ما؟
   اذكر للطلاب أنّ قيمة الجاذبيّة على سطح الكوكب تعتمد على كتلة الكوكب وحجمه. الكواكب ذات الكتل الكبرى تملك جاذبيّة أشد، لكن سطح الكواكب الكبيرة يكون أبعد عن مركزها؛ وبالتالي يصبح تأثير جاذبية الكواكب ذات الكتل الكبيرة أقل على سطحها.
5. يمكنك إجراء نشاط سريع، حيث يقوم الطلاب بتحويل كتلهم إلى أوزان. وضّح لهم أي قيمة هي الكتلة وأي قيمة هي الوزن. لا تطلب منهم أن يشاركوا في إجاباتهم، بل تجوّل بينهم للاطلاع عليها.

الوحدة 1: القوى

سوف نستعرض فيما يأتي بعض أنواع القوى، مثل: قوة الوزن والقوة العمودية وقوى الاحتكاك.

الوزن Weight هو قوّة تنتج بسبب تأثير الجاذبيّة في كتل الاجسام. فعلى سطح الأرض تقوم الجاذبيّة الأرضيّة بِجذب جميع الكتل نحو الأسفل بشدة مجال مقدارها (9.8 N/kg). تُعرف قوّة الجاذبية هذه بِقوّة الوزن (**المعادلة 1-1**).

يكون لِجسم كتلته 10 kg وزنًا مقداره 98 N (9.8 N/kg × 10 kg).

سؤال للمناقشة

هل الكتلة والوزن هما الشّيء نفسه؟

كيف تختلف الكتلة عن الوزن؟

1-1 الوزن — F_w

$F_w = mg$

الوزن (N)	F_w	
الكتلة (kg)	m	
شدة مجال الجاذبية (N/kg)	g	

الكتلة خاصّيّة أساسيّة لِلمادة تُقاس بِوحدتَي الجرام (g) أو الكيلو جرام (kg) وهي مقدار ما يحتويه الجسم من مادّة. في حين أن الوزن قوّة تُقاس بِوحدة النّيوتن وتعتمد على المكان الّذي توجد فيه الكتلة. يمتلك جسم كتلته 100 kg وزنًا مقداره 980 N على سطح الأرض. أما على سطح القمر فإنّ لِلكتلة نفسها وزنًا مقداره 162 N فقط.

لِلقيمة 9.8 N/kg رمز خاصّ بها هو g. عادة ما يتمّ تعويض هذا الرّمز عند سطح الأرض بقيمة مقدارها $g = 9.8$ N/kg. كذلك يمكن التعبير عن وحدة g بوحدة m/s^2، والوحدتان متكافئتان.

الجدول 1-1 شدة مجال الجاذبيّة على أسطح الكواكب.

	عُطارد	الزُهرة	الأرض	المرّيخ	المُشتري	زُحل	أورانوس	نبيتون
الكتلة	0.06 m_E	0.82 m_E	1 m_E	0.11 m_E	318 m_E	95 m_E	14.5 m_E	17.1 m_E
شدة مجال الجاذبية	3.7 N/kg	8.9 N/kg	9.8 N/kg	3.7 N/kg	24.8 N/kg	10.4 N/kg	8.9 N/kg	11.1 N/kg

تعتمد شدة مجال الجاذبية لكل كوكب على كلّ من كتلة الكوكب وحجمه. يوضح **الجدول 1-1** أنّ كتلة المرّيخ تساوي 0.11 من كتلة الأرض، وهو أصغر حجمًا أيضًا وتكون الجاذبيّة عند سطحه $g = 3.7$ N/kg. أمّا كتلة المشتري فهي أكبر من كتلة الأرض بـ318 مرّة وهو أيضًا أكبر حجمًا من الأرض وشدة مجال الجاذبية على سطحة حوالي 24.8 N/kg. وعلى الرّغم من أنّ هذا الكوكب هو كوكبٌ غازيّ عملاق بدون سطح صلب، فقد تمّ اعتماد سطح «الجاذبيّة» لِلمشتري عند نصف قطر معيّن من غلافه الجويّ حيث يكون ضغطه الجويّ مُساوٍ لِلضّغط الجويّ عند سطح الأرض.

6

الدرس 1-1: القوى والاتزان

مثال (1)

تُظهر قراءة الميزان الزّنبركيّ وزن جسم معيّن مقداره 5.8 N.

ما كتلة هذا الجسم؟

المطلوب: الكتلة، m

المُعطى: الوزن، 5.8 N

العلاقات: $F_w = mg$

الحلّ

$$F_w = mg \rightarrow m = \frac{F_w}{g} = \frac{5.8\ \text{N}}{9.8\ \text{m/s}^2} = 0.592\ \text{kg}$$

مثال (2)

تحمل سفينة فضائيّة مركبة جوّالة إلى كوكب المرّيخ. تقتضي مهمّة المركبة الجوّالة التّحرّك على سطح المرّيخ وحمل الصّخور لإجراء بعض التّجارب عليها.

a. وزن المركبة الجوّالة على الأرض هو 5,488 N
فما هو وزنها على المرّيخ؟ ($g = 3.7$ N/kg على سطح المرّيخ)

b. يمكن للمركبة الجوّالة أن ترفع 1/10 من وزنها.
كم ستكون أكبر كتلة صخر يمكن للمركبة أن ترفعها؟

المطلوب: الوزن على المرّيخ، كتلة الصّخرة

المعطى: الوزن على الأرض 5,488 N

العلاقات: $F_w = mg$

الحلّ

وزن المركبة الجوّالة على المرّيخ

$$F_w = (560\ \text{kg})(3.7\ \text{N/kg}) = 2{,}072\ \text{N}$$

كتلة المركبة الجوّالة

$$m = \frac{F_w}{g} = \frac{5{,}488\ \text{N}}{9.8\ \text{N/kg}} = 560\ \text{kg}$$

أكبر كتلة للصّخرة

$$m = \frac{F_w}{g} = \frac{207.2\ \text{N}}{3.7\ \text{N/kg}} = 56\ \text{kg}$$

وزن أثقل صخرة

$$(2{,}072\ \text{N})(0.1) = 207.2\ \text{N}$$

7

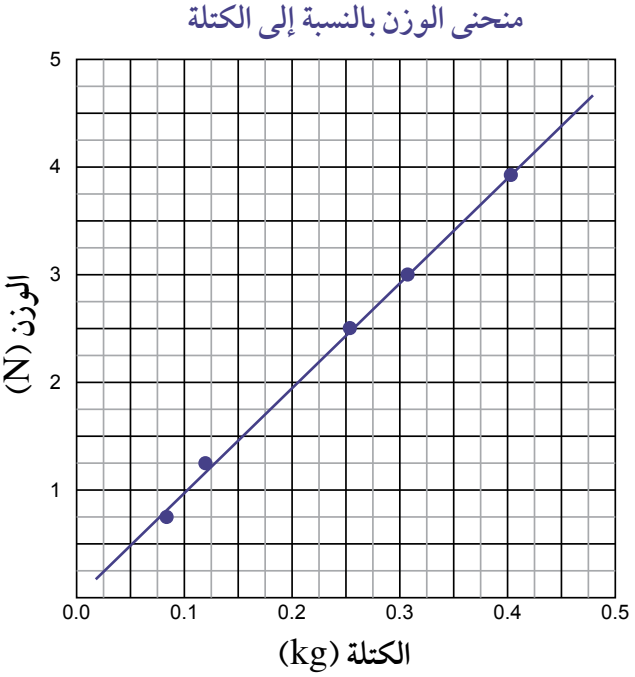
نشاط a1-1: القوى والكتلة و الوزن

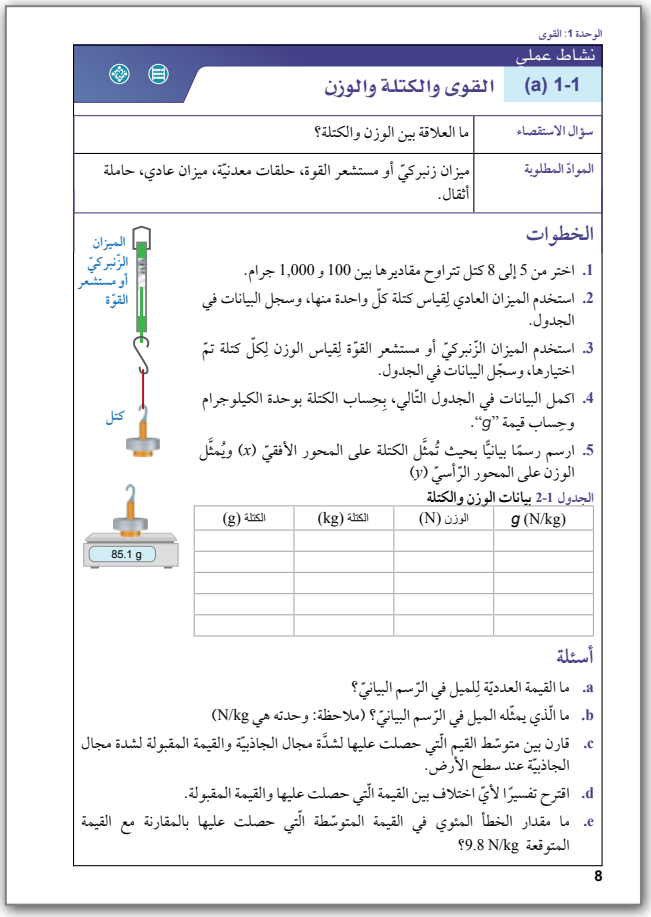
الإجابات/
عيّنة بيانات

يجب إنجاز هذا النشاط في مجموعات مؤلفة من ثلاثة طلاب أو أربعة. هناك ثلاثة أهداف لهذا النشاط. الهدف الأول، تفعيل الطلاب مع المحتوى بالتواصل والتعاون. الهدف الثاني، مراجعة معلوماتهم ومهاراتهم الرياضية في إعداد جداول البيانات، وتمثيلها بالرسومات البيانية. الهدف الأخير هو توضيح أهميّة ميل الخط البياني في إيجاد المُعامِلات الفيزيائيّة: $g = 9.8 N/kg$

جدول: بيانات الكتلة والوزن

الكتلة (g)	الكتلة (Kg)	الوزن (N)	g (N/kg)
86.5	0.087	0.8	9.19
121.2	0.121	1.2	9.92
255.5	0.256	2.5	9.77
301.1	0.301	3.0	9.97
405.2	0.405	3.9	9.63




الوحدة 1: القوى

نشاط عملي

1-1 (a) القوى والكتلة والوزن

سؤال الاستقصاء	ما العلاقة بين الوزن والكتلة؟
المواد المطلوبة	ميزان زنبركيّ أو مستشعر القوة، حلقات معدنيّة، ميزان عادي، حاملة أثقال.

الخطوات

1. اختر من 5 إلى 8 كتل تتراوح مقاديرها بين 100 و 1,000 جرام.
2. استخدم الميزان العادي لِقياس كتلة كلّ واحدة منها، وسجل البيانات في الجدول.
3. استخدم الميزان الزّنبركيّ أو مستشعر القوّة لِقياس الوزن لِكلّ كتلة تمّ اختيارها، وسجّل البيانات في الجدول.
4. اكمل البيانات في الجدول التّالي، بِحساب الكتلة بوحدة الكيلوجرام وحِساب قيمة "g".
5. ارسم رسمًا بيانيًّا بحيث تُمثَّل الكتلة على المحور الأفقيّ (x) وتُمثَّل الوزن على المحور الرّأسيّ (y)

الميزان الزّنبركيّ أو مستشعر القوّة

كتل

85.1 g

الجدول 1-2 بيانات الوزن والكتلة

الكتلة (g)	الكتلة (kg)	الوزن (N)	g (N/kg)

أسئلة

a. ما القيمة العدديّة لِلميل في الرّسم البيانيّ؟
b. ما الّذي يمثّله الميل في الرّسم البيانيّ؟ (ملاحظة: وحدته هي N/kg)
c. قارن بين متوسّط القيم الّتي حصلت عليها لشدّة مجال الجاذبيّة والقيمة المقبولة لشدة مجال الجاذبيّة عند سطح الأرض.
d. اقترح تفسيرًا لأيّ اختلاف بين القيمة الّتي حصلت عليها والقيمة المقبولة.
e. ما مقدار الخطأ المئوي في القيمة المتوسّطة الّتي حصلت عليها بالمقارنة مع القيمة المتوقعة 9.8 N/kg؟

8

أسئلة

a. ما القيمة العدديّة لميل الخط البياني الذي حصلت عليه؟

يجب أن تكون قيمة الميل 9.8 N/kg مع خطأ مئوي، 5% أو بين 9.3 N/kg و 10.3 N/kg.

b. ما الذي يمثِّله المَيل؟ (بوحدة هي N/kg).

يمثّل المَيل تغيّر *y* مقسومًا على تغيّر *x*. في هذه الحالة يكون المتغيّر على المحور الرأسي هو القوّة، والمتغيّر على المحور الأفقي هو الكتلة. وبالتالي تكون وحدة المَيل هي وحدة القوّة مقسومةً على وحدة الكتلة أي N/kg. على الطلاب أن يدركوا أن هذه القيمة هي قيمة شدة مجال الجاذبيّة *g* في منطقة إجراء التجربة.

c. كيف يمكن مقارنة متوسط القيم التي حصلت عليها لشدّة مجال الجاذبيّة مع القيمة المقبولة لقوّة الجاذبيّة عند سطح الأرض؟

تتنوّع الإجابات وفقًا لبيانات كل طالب.

d. اقترح تفسيرًا للاختلاف إن وُجد بين القيم التي حصلت عليها والقيمة المقبولة.

يكون المصدر الشائع للخطأ عادة هو في معايرة جهاز القياس. بما أن هدفنا قياس المَيل، فإن عمليّة ضبط الصفر في الميزان لا تسهم في الخطأ بشكل كبير. إلا أن بعض الموازين القديمة، أو المُستهلكة بشكل كبير، يكون ثابتها الزنبركي مختلفًا، وربّما أدّى ذلك إلى خطأ كبير.

e. ما مقدار الخطأ المئوي في القيمة المتوسّطة التي حصلت عليها بالمقارنة مع القيمة المتوقعة 9.8 N/kg؟

قيمة *g* الرسم البياني هي 9.7 N/kg في حين أن القيمة الحقيقية هي 9.8 N/kg أي إن الخطأ المئوي هو:

$$\frac{9.8 - 9.7}{9.8} \times 100 = 1\%$$

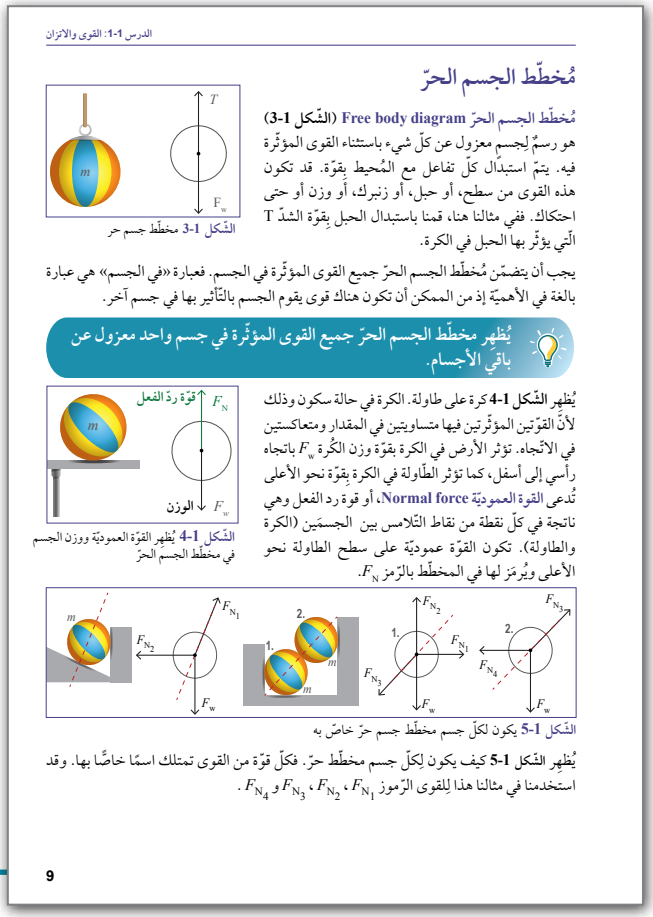
وهو خطأ مقبول.

مخطّط الجسم الحر

1. ضع جسمًا على طاولة، ثمّ اسأل الطلاب عن القوى التي تؤثر في الجسم. إحدى هذه القوى هي الوزن. فلو أنّ الوزن هو القوّة الوحيدة المؤثرة لاستمر الجسم في الهبوط. وبالتالي لابد أنّ هناك قوّة أخرى تمنع الجسم من الهبوط، تُعرف بقوّة رد فعل الدعامة التي يؤثر بها سطح الطاولة في الجسم نحو الأعلى.
2. ناقش مع الطلاب فكرة قوّة رد الفعل، وهي قوّة غير مرئيّة تنشأ في جميع نقاط التلامس بين الأجسام. اشرح لهم أنّ مصطلح القوّة العمودية في الكتاب يكون عادةً رد فعل الطاولة على قوّة الوزن. لكن لا يمكن الأخذ بهذه الحالة دائمًا. لذلك يجب العمل على دراسة المسائل والمخططات بشكل صحيح.
3. كَلّف الطلاب رسم مخطّط الجسم الحر للجسم الموجود على الطاولة.
4. اشرح لهم أنّ مخطّط الجسم الحر هو جسم معزول يستبدل فيه كل تفاعل بين الجسم ومحيطه بقوّة معيّنة.

مُلحق

1. كلّف الطلاب رسم مخطّطات إضافية للجسم الحر مستخدمين أجسامًا متوفّرة في غرفة الصف.
2. تَحَدّ الطلاب في قدرتهم على إيجاد جسم يتأثر بقوى غير وزنه وقوّة رد فعل الدعامة. (رُبَّما كان هذا الجسم معلّقًا بالسقف أو بالحائط).



الدرس 1-1: القوى والاتزان

مُخطّط الجسم الحرّ

مُخطّط الجسم الحرّ Free body diagram (الشّكل 1-3) هو رسمٌ لِجسمٍ معزول عن كلّ شيء باستثناء القوى المؤثّرة فيه. يتمّ استبدال كلّ تفاعل مع المُحيط بِقوّة. قد تكون هذه القوى من سطح، أو حبل، أو زنبرك، أو وزن أو حتى احتكاك. ففي مثالنا هنا، قمنا باستبدال الحبل بِقوّة الشدّ T الّتي يؤثّر بها الحبل في الكرة.

الشّكل 1-3 مخطّط جسم حر

يجب أن يتضمّن مُخطّط الجسم الحرّ جميع القوى المؤثّرة في الجسم. فعبارة «في الجسم» هي عبارة بالغة في الأهميّة إذ من الممكن أن تكون هناك قوى يقوم الجسم بالتّأثير بها في جسم آخر.

يُظهِر مخطّط الجسم الحرّ جميع القوى المؤثّرة في جسم واحد معزول عن باقي الأجسام.

يُظهِر الشّكل 1-4 كرة على طاولة. الكرة في حالة سكون وذلك لأنّ القوّتين المؤثّرتين فيها متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتّجاه. تؤثر الأرض في الكرة بقوّة وزن الكُرة F_w باتجاه رأسي إلى أسفل، كما تؤثر الطّاولة في الكرة بِقوّة نحو الأعلى تُدعى القوة العموديّة Normal force، أو قوة رد الفعل وهي ناتجة في كلّ نقطة من نقاط التّلامس بين الجسمَين (الكرة والطاولة). تكون القوّة عموديّة على سطح الطاولة نحو الأعلى ويُرمَز لها في المخطّط بالرّمز F_N.

الشّكل 1-4 يُظهِر القوّة العموديّة ووزن الجسم في مخطّط الجسم الحرّ

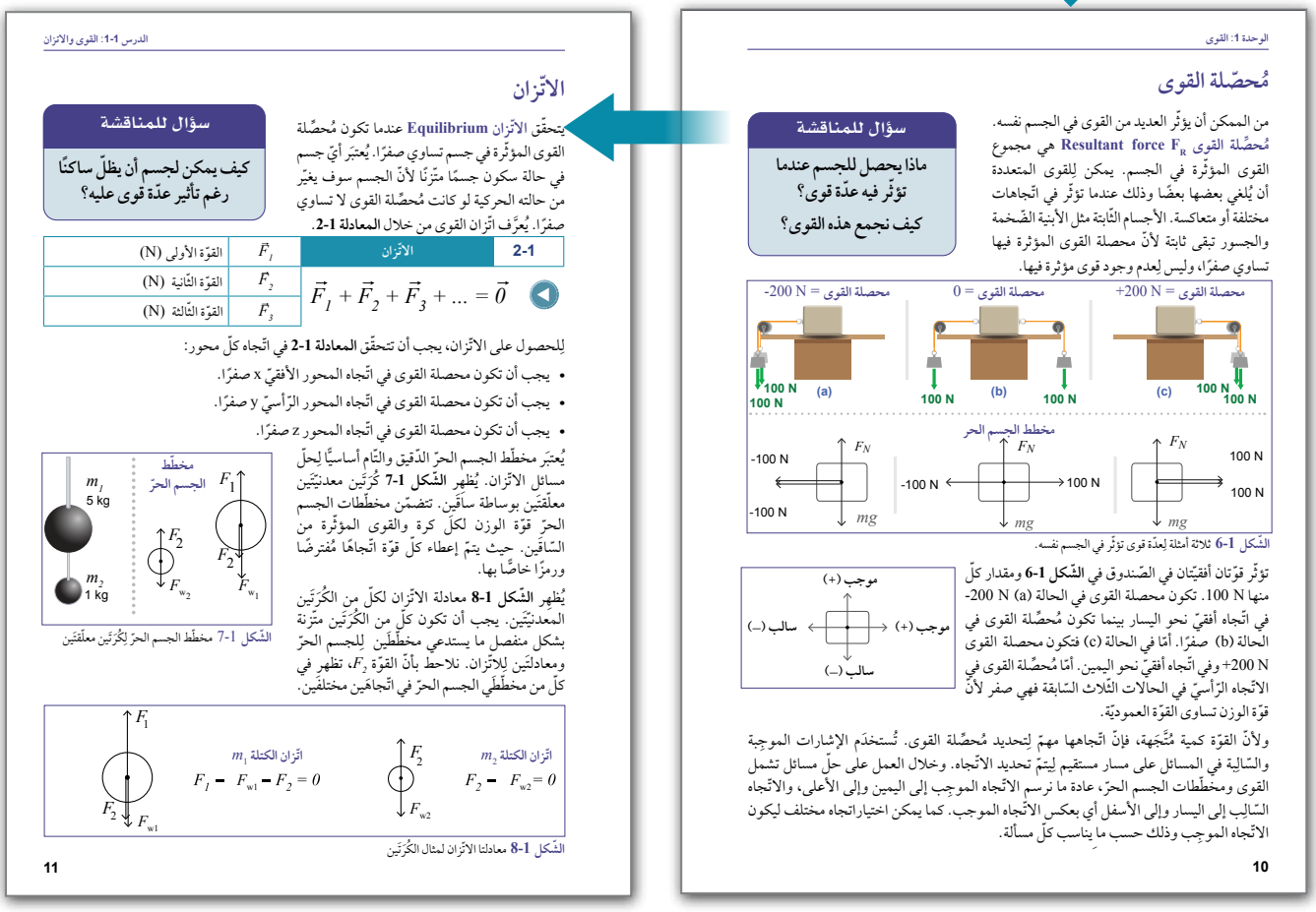
الشّكل 1-5 يكون لكلّ جسم مخطّط جسم حرّ خاصّ به

يُظهِر الشّكل 1-5 كيف يكون لِكلّ جسم مخطّط حرّ. فكلّ قوّة من القوى تمتلك اسمًا خاصًّا بها. وقد استخدمنا في مثالنا هذا لِلقوى الرّموز F_{N_1}، F_{N_2}، F_{N_3} و F_{N_4}.

9

محصِّلة القوى والاتزان

1. ضع كتلة على طاولة، واربطها من طرفيها بخيطين، على غِرار المخطّط الوارد في الكتاب (لتكن مجهّزة قبل وصول الطلاب).
2. شُدّ الخَيطينَ، حيث تكون محصلة القوّة نحو اليمين، ثم نحو اليسار، أوصفرًا عندما تكون قوّتا الشد متساويتين عند الطرفين المتقابلين. يمكن استخدام الميزان الزنبركي لتطبيق القوى؛ وبالتالي تجري قراءة القيمة العدديّة للقوتين المتساويّتين والمُتعاكستين.
3. كلِّف الطلاب تحقيق حالة فيها أكثر من قوّة. وليقدّروا عندها اتّجاه محصِّلة القوى. ينبغي لهم رسم مخطّطات الجسم الحر لكل حالة حصلوا عليها.
4. شَكّل مجموعات مؤلفة من 3 إلى 4 طلاب لتحقيق موقف يكون فيه الجسم في حالة اتّزان، تحت تأثير ثلاث قوى على الأقل. ينبغي للطلّاب رسم مخططات الجسم الحر، وتحديد القوى المؤثرة لكل موقف. كلفهم ربط كتاب على الطاولة بثلاثة خيوط، واطلب من ثلاثة طلاب شد طرف كل خيط، حيث يبقى الكتاب متزنًا. كلفهم القيام برسم تقديري لاتجاهات قوى الشد في الخيوط الثلاثة، ومقاديرها.
5. جرى في الشكل 1-7 تحديد القوى المؤثرة في كل من الكتلتين على حدة. كلف الطلاب تحديد القوى في الكتلتين معاً كنظام واحد.



الوحدة 1: القوى

مُحصّلة القوى

من الممكن أن يؤثّر العديد من القوى في الجسم نفسه. مُحصِّلة القوى F_R Resultant force هي مجموع القوى المؤثّرة في الجسم. يمكن لِلقوى المتعددة أن يُلغي بعضها بعضًا وذلك عندما تؤثّر في اتّجاهات مختلفة أو متعاكسة. الأجسام الثّابتة مثل الأبنية الضّخمة والجسور تبقى ثابتة لأنّ محصلة القوى المؤثرة فيها تساوي صفرًا، وليس لِعدم وجود قوى مؤثرة فيها.

سؤال للمناقشة

ماذا يحصل للجسم عندما تؤثّر فيه عدّة قوى؟

كيف نجمع هذه القوى؟

الشّكل 1-6 ثلاثة أمثلة لِعدّة قوى تؤثّر في الجسم نفسه.

تؤثّر قوّتان أفقيّتان في الصّندوق في الشّكل 1-6 ومقدار كلّ منها 100 N. تكون محصلة القوى في الحالة (a) 200 N- في اتّجاه أفقيّ نحو اليسار بينما تكون مُحصِّلة القوى في الحالة (b) صفرًا. أمّا في الحالة (c) فتكون محصلة القوى 200 N+ وفي اتّجاه أفقيّ نحو اليمين. أمّا مُحصِّلة القوى في الاتّجاه الرّأسيّ في الحالات الثّلاث السّابقة فهي صفر لأنّ قوّة الوزن تساوي القوّة العموديّة.

ولأنّ القوّة كمية مُتَّجهة، فإنّ اتّجاهها مهمّ لِتحديد مُحصِّلة القوى. تُستخدَم الإشارات الموجِبة والسّالبة في المسائل على مسار مستقيم لِيتمّ تحديد الاتّجاه. وخلال العمل على حلّ مسائل تشمل القوى ومخطّطات الجسم الحرّ، عادة ما نرسم الاتّجاه الموجِب إلى اليمين وإلى الأعلى، والاتّجاه السّالِب إلى اليسار وإلى الأسفل أي بعكس الاتّجاه الموجب. كما يمكن اختياراتجاه مختلف ليكون الاتّجاه الموجِب وذلك حسب ما يناسب كلّ مسألة.

الاتّزان

يتحقّق الاتّزان Equilibrium عندما تكون مُحصِّلة القوى المؤثّرة في جسم تساوي صفرًا. يُعتبَر أيّ جسم في حالة سكون جسمًا متّزنًا لأنّ الجسم سوف يغيّر من حالته الحركية لو كانت مُحصِّلة القوى لا تساوي صفرًا. يُعرَّف اتّزان القوى من خلال المعادلة 2-1.

سؤال للمناقشة

كيف يمكن لجسم أن يظلّ ساكنًا رغم تأثير عدّة قوى عليه؟

2-1	الاتّزان	
	القوّة الأولى (N)	$\vec{F}_1$
$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots = \vec{0}$	القوّة الثّانية (N)	$\vec{F}_2$
	القوّة الثّالثة (N)	$\vec{F}_3$

لِلحصول على الاتّزان، يجب أن تتحقّق المعادلة 2-1 في اتّجاه كلّ محور:

- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور الأفقيّ x صفرًا.
- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور الرّأسيّ y صفرًا.
- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور z صفرًا.

يُعتبَر مخطّط الجسم الحرّ الدّقيق والتّام أساسيًّا لِحلّ مسائل الاتّزان. يُظهِر الشّكل 7-1 كُرَتَين معدنيّتَين معلّقتَين بوساطة سلكَين. تتضمّن مخطّطات الجسم الحرّ قوّة الوزن لكلّ كرة والقوى المؤثّرة من السّلكَين. حيث يتمّ إعطاء كلّ قوّة اتّجاهًا مُفترضًا ورمزًا خاصًّا بها.

الشّكل 1-7 مخطّط الجسم الحرّ لِكُرَتَين معلّقتَين

يُظهِر الشّكل 8-1 معادلة الاتّزان لكلّ من الكُرَتَين المعدنيّتَين. يجب أن تكون كلّ من الكُرَتَين متّزنة بشكل منفصل ما يستدعي مخطّطَين لِلجسم الحرّ ومعادلتَين لِلاتّزان. نلاحظ بأنّ القوّة F_2، تظهر في كلّ من مخطّطَي الجسم الحرّ في اتّجاهَين مختلفَين.

الشّكل 1-8 معادلتا الاتّزان لمثال الكُرَتَين

الاحتكاك

1. قدّم فكرة الاحتكاك على أنّها قوّة مقاومة. ادعُ الطلاب إلى تقديم أمثلة على الأنواع المختلفة للاحتكاك، الواردة في الكتاب.
2. ناقش سبب الاحتكاك، وفكرة أن التفاعل على المستوى المجهري بين الأسطح عند انزلاقها يسبِّب الاحتكاك. ينتج من تحريك المادة في وسط ما قوّة إعاقة تؤدي إلى مقاومة الهواء والاحتكاك اللزوجي.
3. لاحظ أنّ قوّة الاحتكاك تكون دائمًا في اتجاه معاكس لاتجاه الحركة النسبية بين الجسمين المتلاصقين.
4. وضّح أن الاحتكاك يكون مفيدًا وضروريًّا في حالة السير على القدَمَين وحركة إطارات السيارة.

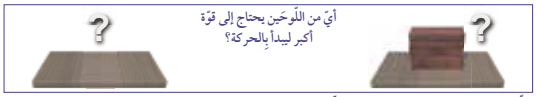
الاحتكاك السكوني

1. قدّم الفكرة من خلال وضع نموذج للاحتكاك. أحضر لوحًا وبعض قطع الطابوق أو الحجارة. ضع اللوح على سطح الطاولة واربطه بخيط. اسحب اللوح باستخدام قوّة صغيرة، ثمّ اسأل: «ما السبب الذي يمنع اللوح من الحركة؟».
2. أضف قطع الطابوق، ثمّ اسأل: هل يزداد الاحتكاك أم ينقص؟
3. على الطلاب أن يدركوا أنّ قوّة الاحتكاك يجب أن تزداد.
4. اقترح نموذجًا معقولًا تكون فيه قوّة الاحتكاك متناسبة طرديًّا مع زيادة انضغاط الأسطح بعضها على بعض، أو قوّة رد الفعل العموديّة.
5. أحد المفاهيم الخاطئة لدى الطلاب هو أن قوة الاحتكاك تعتمد على مساحة التلاصق بين السطحين. ذكّرهم بأن قوة الاحتكاك تعتمد فقط على نوعَيِ السطحين والقوة العمودية بينهما.

الاحتكاك

قد تواجه صعوبة في سحب صندوق على الأرض، وقد لا تستطيع سحبه إذا كان الصندوق ثقيلا والأرض خشنة. يعود ذلك لقوة إعاقة بين الأسطح المتلامسة تسمى قوة الاحتكاك. وقوة الاحتكاك نوعين: احتكاك سكوني يمنع الصندوق من الحركة والثاني حركيٌ يُعيق حركته إن حَصَلَت. يحتاج اللّوح المحمَّل بقطع الطابوق إلى قوّة أكبر للانزلاق من القوّة الّتي يحتاجها اللّوح نفسه الّذي لا يحمل وزنًا فوقه. فقوّة الاحتكاك F تتناسب طرديًّا مع القوة العموديّة بين السّطحَين المتلامسين.

تعتمد قوة الاحتكاك على نوع السطحين المتلامسين فقوة الاحتكاك السكوني بين صندوق خشبي وسطح خشبي تختلف عن قوة الاحتكاك بين الصندوق الخشبي و سطح خرساني.

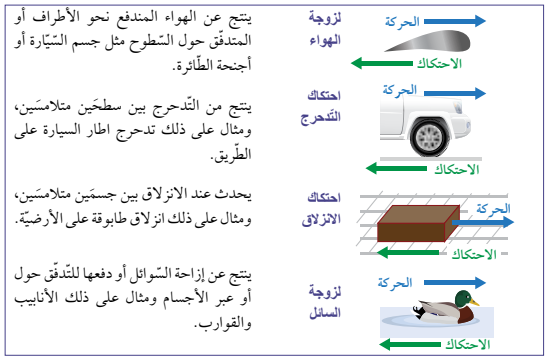


الشّكل 1-9 هل يعتمد الاحتكاك على وزن اللّوح المُنزلق؟

ينتج الاحتكاك Friction من الحركة التي تقاوم حركة أخرى أو تهدر الطّاقة. وهي ليست قوّة محدّدة كقوّة تجاذب بين كتلتين. يشمل الاحتكاك عدة أنواع من القوى (الشّكل 1-10).

سؤال للمناقشة

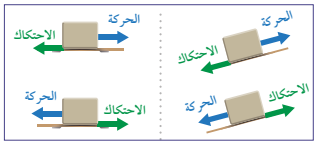
ما الاحتكاك وما مسبّباته؟



الشّكل 1-10 الأنواع الأربعة للاحتكاك.

ينتج الاحتكاك من التّجاذب الحاصل على المستوى الذّرّيّ بين جسَيمات المواد المتلامسة ويمكن للزّيت التّخفيف من هذا الاحتكاك. لكن حتى أكثر أنواع الزّيت انزلاقًا لا يمكنه إلغاء الاحتكاك بشكل تامّ. والطّريقة الوحيدة لإلغاء الاحتكاك تأتي عن طريق إزالة كلّ التّلامس بين جسيمات المواد المتحرّكة، كما هي الحال عند حركة الأجسام في الفضاء.

تؤثر قوة الاحتكاك في الاتّجاه المُعاكس لِلحركة (الشّكل 1-11). في حال انزلاق صندوق نحو اليسار، ستكون قوّة احتكاك الانزلاق مُتَّجِهَةً نحو اليمين. وإذا سقط جسم نحو الأسفل فإنّ قوّة احتكاك الهواء ستكون مُتَّجِهَةً نحو الأعلى.



الشّكل 1-11 يكون اتّجاه قوّة الاحتكاك دائمًا مُعاكسًا لاتّجاه الحركة.

الاحتكاك السّكونيّ

يحدث الاحتكاك السّكونيّ في حال كان هناك إمكانيّة ليتحرّك سطحَين بالنسبة إلى بعضهما البعض ولكن دون حصول الحركة. إنّ قوّة الاحتكاك السّكونيّ هي أقصى قوّة يمكن تطبيقها قبل أن يبدأ تحرّك للسّطحَين. **المعادلة 3-1** تعبّر عن قوّة الاحتكاك السّكونيّ.

3-1	الاحتكاك السّكونيّ	
$F_s \le \mu_s F_N$	F_s	قوّة الاحتكاك السّكونيّ (N)
	μ_s	مُعامل الاحتكاك السّكونيّ
	F_N	القوّة العموديّة (N)

تنصّ **المعادلة 3-1** على أنّ مقدار القيمة القصوى لقوّة **الاحتكاك السّكونيّ Static friction** هو حاصل ضرب القوّة العموديّة F_N في مقدار ثابت يُسمى **مُعامل الاحتكاك السّكونيّ Coefficient of static friction** (μ_s). (μ_s حرف يوناني يُلفظ "ميو") ويعتمد معامل الاحتكاك على نوعَي السّطحَين.

مُعامل الاحتكاك السّكونيّ عدد، تتراوح قيمته بين 0 و 1. يحدّد الرمز "s" في μ_s الاحتكاك على أنّه احتكاك سكوني. يتنبّأ مُعامل الاحتكاك السّكونيّ μ_s بقيمة أقصى قوّة احتكاك سكونيّ. وكلمة «أقصى» هنا مهمّة جدًّا، إذ تكون قوّة الاحتكاك السّكونيّ الفعليّة مساوية في القيمة ومُعاكسة في الاتّجاه لِمُحصّلة القوى المؤثّرة في الجسم. فإذا أثّرت في جسم ما مُحصّلة قوى قيمتها 15N، ولم يتحرّك هذا الجسم، عندها ستكون قوّة الاحتكاك السّكونيّ 15 N وفي اتّجاه معاكس لِمُحصّلة القوى.

يُظهر **الجدول 3-1** بعض القيم النموذجيّة لمُعامل الاحتكاك السكوني μ_s وهذه القيم التي يبينها الجدول لمعاملات الاحتكاك السكوني بين أسطح مختلفة تم التوصل إليها بدقة، بطريقة تجريبية، وقد تختلف هذه القيم باختلاف ظروف التجربة.

μ_s	موادّ في حالة تماس	
1.0	مطّاط	خَرسانة
0.3	مطّاط	خَرسانة
0.5	خشب	خشب
0.6	خَرسانة	خشب
0.8	فولاذ	فولاذ
0.16	فولاذ	فولاذ
0.04	تفلون	فولاذ

الجدول 3-1 مُعامِل الاحتكاك السكوني لبعض المواد.

الاحتكاك الحركي

1. ناقش الاحتكاك الحركي، وفكرة أن قوّة الاحتكاك تصبح أقلّ بعد بدء الانزلاق.
2. وزع الطلاب إلى مجموعات، واطلب منهم أن يجهّزوا لوحًا ذا سطح أملس ومائل، ويضعوا عليه قالبًا خشبيًا. ابدأ بزاوية ميل صغيرة، ثم كبّرها تدريجيًّا. سوف تلاحظ أن القالب يبقى مستقرًّا إلى أن تتخطّى زاوية الميل قيمة محدَّدة.
3. بمجرد أن تبدأ الكتلة بالانزلاق، فإنها تتسارع. اسأل الطلاب عمّا تعنيه هذه الملاحظة في مقارنة قوتَي الاحتكاك السكوني والحركي.
4. اطلب من كل مجموعة رسم مخطط حر للكتلة في كل من الحالات الثلاث الآتية:
   a. عندما يكون السطح أفقيًّا (زاوية ميله صفر).
   b. عندما تكون زاوية ميل المنحدر صغيرة والكتلة لا تنزلق.
   c. عندما تكون زاوية ميل المنحدر كبيرة والكتلة تنزلق.
5. ما أوجه الشبه والاختلاف بين الرسوم البيانية الثلاثة؟ على الطالب أن يلاحظ أن الرسمين البيانيين (b) و(c) متشابهان ولكن القوى مختلفة.
6. يمكن الاستفادة من الجدول 1-4 في الصفحة 14 من كتاب الطالب للحصول على قوى احتكاك ذات مقدار صغير، حَسبَ مُعامِل الاحتكاك بين السطحين.

الوحدة 1: القوى

الاحتكاك الحركيّ

عادة ما يكون مقدار قوّة الاحتكاك عندما يكون الجسم في حالة حركة أقل من قوة الاحتكاك السكوني. فالجسم المتحرّك يحتاج إلى قوّة أقلّ ليبقى الأسطح مُنزلقة بالنّسبة إلى بعضها البعض مقارنة مع مقدار القوّة اللازمة للبدء بالحركة. مُعامل الاحتكاك الحركيّ μ_k Coefficient of kinetic friction، هو نسبة مقدار قوّة الاحتكاك الحركي إلى مقدار القوّة العموديّة (المعادلة 4-1). يبيّن الجدول 1-4 بعض قيم مُعامل الاحتكاك الحركيّ.

4-1 الاحتكاك الحركيّ		
$F_k = \mu_k F_N$	F_k	قوّة الاحتكاك الحركيّ (N)
	μ_k	مُعامل الاحتكاك الحركيّ
	F_N	القوّة العموديّة (N)

الطابوقة المتحرّكة على سطح أرضيّة خشنة، تُعدّ مثالًا جيدًا على الاحتكاك الحركيّ (الشّكل 12-1). فالقوّة العموديّة مُساوية في القيمة ومعاكسة في الاتّجاه لِقوّة وزن الطابوقة. وقوّة الاحتكاك الحركيّ تعاكس اتّجاه الحركة.

الشّكل 12-1 تمثيل الاحتكاك الحركي على مخطّط الجسم الحر

مقدار قوّة الاحتكاك هو حاصل ضرب مُعامل الاحتكاك بمقدار القوّة العموديّة بين السّطحَين المتلامسَين.

مُعامل الاحتكاك الحركيّ لجسم فولاذي ينزلق على سطح من الفولاذ الجاف هو 0.5. وهو أكبر بكثير من مقدار معامل الاحتكاك الحركي 0.09 = μ_k والخاصّ بِالفولاذ المُنزلق على سطح فولاذي مزيت.

نلاحظ أيضا أنّ معامل احتكاك الفولاذ المُنزلق على التفلون قليل جدًا. التفلون هو نوع خاص من البلاستيك الزلق جدًا حتى لو كان جافًا. والسبب يعود لكونه خامل كيميائيًا. تُستعمل الاسطح المغلّفة بالتفلون في العديد من المفاصل الاصطناعيّة والتي تُستبدل بها الركب المصابة والأوراك. تستخدم عدة طرق لتقليل الاحتكاك و منها التّشحيم Lubrication هي تقنيّةتُستخدم فيها موادّ كالزّيت لِتقليل الاحتكاك. فالأسطح المشحّمة بِالزّيت تشكّل طبقة من الزّيت تمنع الأسطح المُنزلقة من التّلامس.

مواد على تماس		μ_s	μ_k
مطّاط	خَرسانة جافة	1.0	-
مطّاط	خَرسانة رطبة	0.3	-
خشب	خشب	0.5	0.3
خشب	خَرسانة	0.6	0.5
معدن	خشب	0.2-0.6	-
فولاذ	فولاذ جاف	0.8	0.5
فولاذ	فولاذ مزيّت	0.16	0.09
فولاذ	تفلون	0.04	0.04

الجدول 4-1 مقارنة مُعاملي الاحتكاك السّكونيّ والحركيّ لبعض الموادّ

مثال (3)

يستقر صندوق خشبي كتلته 50 kg على أرض خشبية.

a. ما أقل قيمة مطلوبة للقوة التي تُمكّن الصندوق من البدء في الحركة؟

b. ما أقل قيمة مطلوبة للقوة التي تُمكّن الصندوق من متابعة حركته بسرعة ثابتة بعد أن يبدأ بالحركة.

مُعامِلا احتكاك الخشب $\mu_s = 0.5$ ، $\mu_k = 0.3$

المطلوب: أقل قوة مطلوبة لحالتي التغلّب على الاحتكاك السكوني F_s والاحتكاك الحركي F_k.

المعطى: m=50 kg ، احتكاك الخشب مع الخشب.

العلاقات: $F_w = mg$ ، $F_s = \mu_s F_N$ ، $F_k = \mu_k F_N$

الحلّ: القوة العمودية تساوي وزن الصندوق.

$F_N = F_w = mg = (50\text{kg})(9.8\ \text{N/kg}) = 490\ \text{N}$

a. أقل قوة مطلوبة للبدء بتحريك الصندوق تساوي قوة الاحتكاك السكوني:

$F_s = \mu_s F_N = (0.5)(490\ \text{N}) = 245\ \text{N}$

b. أقل قوة مطلوبة لتمكين الصندوق من متابعة حركته بسرعة ثابتة تساوي قوة الاحتكاك الحركي.

$F_k = \mu_k F_N = (0.3)(490\ \text{N}) = 147\ \text{N}$

مثال (4)

ما معامل الاحتكاك الحركي بين قالب من الذهب كتلته 12.4 kg وسطح طاولة أفقي، إذا كانت أقل قوة مطلوبة لتمكين القالب من الانزلاق بسرعة ثابتة على الطاولة مقدارها 24 N؟

المطلوب: معامل الاحتكاك الحركي μ_k

المعطى: $F_k = 24\text{N}$ ، $m = 12.4\ \text{kg}$

العلاقات: $F_k = \mu_k F_N$

الحلّ: القوة العمودية التي يؤثر بها السطح الأفقي في القالب تساوي وزنه.

$F_N = F_w = mg = 12.4 \times 9.8 = 121.52\ N$

$F_k = \mu_k F_N \rightarrow \mu_k = \frac{F_k}{F_N} = \frac{24\text{N}}{121.52\ \text{N}} = 0.2$

نشاط b1-1: الاحتكاك

الإجابات/ عيّنة بيانات

يتعيَّن أن تُجري هذا النشاط الجماعي مجموعات مكوَّنة من ثلاثة أو أربعة طلاب، حتى يتمكنوا من التواصل والتعاون. دقة البيانات ليست مهمة، لأن الاحتكاك يتغيَّر بدرجة كبيرة. والهدف من ذلك هو تطوير نموذج كمّي من البيانات وتقويمه، والتحقق من بعض معالم الاحتكاك البسيطة.

جدول: بيانات الاحتكاك

الوزن المعلّق (N)	قوّة الاحتكاك على الكتلة (N)	مُعامِل الاحتكاك السكوني (μ_S)
1.2	0.4	0.33
1.8	0.7	0.39
2.5	0.8	0.32
3.4	1.1	0.32
4.9	1.8	0.37
6.3	2.1	0.33

الوحدة 1: القوى

نشاط عملي

1-1 (b) الاحتكاك

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا نمذجة الاحتكاك؟
الموادّ المطلوبة	ميزان زنبركيّ ومستشعر قوة، كتل مختلفة، كتلة احتكاك، طاولة مُجهّزة بِبَكرة، خيط، حامل أثقال

الخطوات

1. جهّز كتلة الاحتكاك والكتلة المعلّقة والخيط والبكرة.
2. أضِف كتلًا إلى كتلة الاحتكاك، وكتلًا أخرى إلى الكتلة المعلّقة حتّى تصبح قوّة الشد في الخيط قادرة على البدء بتحريك كتلة الاحتكاك.
3. قِس وزن كتلة الاحتكاك ووزن الكتلة المعلّقة. نسبة هذَين الوزنَين ستكون مُعامل الاحتكاك السّكونيّ.
4. كرِّر العمليّة مع مجموعة مختلفة من الكتل الّتي توضَع على كتلة الاحتكاك والكتلة المُعلَّقة.
5. كرِّر الخطوات من 1 إلى 4 باستخدام مستشعر القوة.

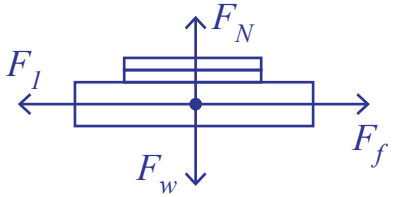
أسئلة

a. ارسُم مخطّط الجسم الحرّ لكتلة الاحتكاك.
b. لماذا تُعتبَر نسبة الوزنَين هي مُعامل الاحتكاك السّكونيّ؟
c. ما الّذي سيحصل لحركة كتلة الاحتكاك بعد أن تبدأ بالانزلاق؟ ما الّذي ستُبيِّنه لك الحركة حول قوة الاحتكاك السّكونيّ مقارنة مع قوة الاحتكاك الحركيّ؟
d. هل مُعامل الاحتكاك السّكونيّ المحسوب هو نفسه للكتل المختلفة؟ اقترِح تفسيرًا لأيّ اختلاف.
e. قارن بين النتائج عند استخدامك للميزان الزنبركي ومستشعر القوة. فسّر سبب الاختلاف.

16

الأسئلة

a. ارسم مخطَّط الجسم الحر لكتلة الاحتكاك



b. لِمَ يكون معامل الاحتكاك السكوني مساويًا للنسبة بين وزني الكتلتين؟

نحصل على الحد الأقصى من الاتزان عندما تبدأ الكتلة بالتحرك، وعندها تكون القوّة المعلقة F_1 مساوية لقوّة الاحتكاك.

تعريف: مُعامِل الاحتكاك هو النسبة بين قوّة الاحتكاك والقوّة العمودية للسطح.

c. ماذا يحدث لحركة الكتلة بعد أن تبدأ بالانزلاق؟ عَلامَ يدل ذلك بخصوص المقارنة بين قوّة الاحتكاك السكوني وقوّة الاحتكاك الحركي؟

بمجرد أن تبدأ الكتلة بالانزلاق، فإنها تتسارع. وهذا يدل على أن مُعامِل الاحتكاك الحركي أصغر من مُعامِل الاحتكاك السكوني.

d. هل كانت قيم مُعامِل الاحتكاك السكوني التي حصلت عليها متشابهة لكل الكتل المختلفة؟ إذا كان الجواب لا، اشرح سبب الاختلاف.

نحصل على قيم مُعامِل احتكاك سكوني متشابهة، ولكن ليست متساوية، لأن نموذج مُعامِل الاحتكاك الثابت هو نموذج تقريبي فقط. تؤثر القوّة العمودية غالبًا في مقدار قوّة الاحتكاك عن طريق زيادة عدد نقاط الاتصال بين الأسطح المتلامسة.

تقويم الدّرس 1-1 — الإجابات

1. تسارع الجاذبيّة في طبقات الغلاف الجويّ العليا لِكوكب المُشتري يعادل 2.35 مرّة تسارع الجاذبية الأرضية. إذا علمْت أنّ كتلة مسبار لِلأبحاث تبلغ 950 kg على الأرض. كم سيكون وزن المسبار على سطح كوكب المُشتري؟

الجواب: $F_W = mg = (950\text{kg})\ (2.35 \times 9.8\text{N/kg}) = 21{,}878\ \text{N}$.

2. افترض أنّ رائد فضاء كتلته 100 kg، يبلغ وزنه 500 N على أحد الكواكب الموجودة خارج مجموعتنا الشّمسيّة.

   a. ما كتلة رائد الفضاء على ذلك الكوكب؟

   الجواب: الكتلة هي 100 kg، لأن الكتلة هي إحدى خصائص المادة التي لا تتغيّر.

   b. ما تسارع الجاذبيّة على ذلك الكوكب؟

   مادامت كمية المادة لم تتغيّر، فإن:

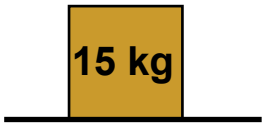
$$F_w = mg \rightarrow g = \frac{F_w}{m}$$

الجواب: $g = \dfrac{500\text{N}}{100\text{kg}} = 5.0\text{N / kg}$

3. قام طالب بوضع صندوق كتلته 15 kg على أرض مستوية.

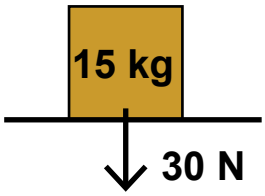
   a. ما مُحصِّلة القوّى المؤثّرة في الصّندوق؟

   محصلة القوى = صفرًا



   b. ما مقدار القوّة العموديّة التي تؤثر بها الأرض المستوية في الصندوق؟

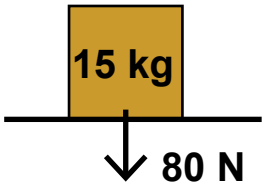
   $F_N = mg = 15 \times 9.8 = 147$ N



   يقوم الطّالب الآن بِالضّغط على الصّندوق نحو الأسفل بالتأثير فيه بقوّة مقدارها 30 N.

   c. ما مُحصِّلة القوّى المؤثّرة في الصّندوق؟

   محصلة القوى = صفرًا



   d. ما مقدار القوّة العموديّة التي تؤثر بها الأرض المستوية في الصندوق؟

   $F_N = mg + 30 = 15 \times 9.8 + 30 = 177$ N

تقويم الدّرس 1-1 — الإجابات

يقوم الطّالب الآن بِسحب الصّندوق إلى أعلى بالتأثير فيه بقوّة مقدارها 80 N دون أن يتمكّن من رفعه.

e. ما مُحصِّلة القوّى المؤثّرة في الصّندوق؟

محصلة القوى= صفرًا

f. ما مقدار القوّة العموديّة التي تؤثر بها الأرض المستوية في الصندوق؟

$$F_N = mg - 80 = 15 \times 9.8 - 80 = 67\ \text{N}$$

4. تدفع امرأة قفصًا خشبيًّا كتلته 40 kg على أرض خشبيّة. فتؤثّر فيه بقوّة أفقيّة مقدارها 120 N دون أن يتحرّك القفص. ثمّ تؤثّر بقوّة أفقيّة مقدارها 160 N دون تحريك القفص أيضًا. وأخيرًا تؤثّر فيه بقوّة أفقيّة مقدارها 200 N فيبدأ القفص بِالانزلاق.

a. ما أقصى قيمة لِقوّة الاحتكاك السّكونيّ (بوحدة النّيوتن)؟

الجواب: نحصل على أقصى قيمة لقوة الاحتكاك السكوني عندما تبدأ الأسطح بالحركة. في هذه الحالة تكون قيمتها= 200 N.

b. ما مقدار مُعامل الاحتكاك السّكونيّ؟

الجواب: نستخدم المعادلة الآتية:

$$F_s = \mu_s F_N \rightarrow \mu_s = \frac{F_s}{F_N}$$

$$\mu_s = \frac{200\text{N}}{(40\text{kg})(9.8\text{N/kg})} = 0.51$$

5. تنزلق طابوقة كتلتها 1.5 kg بسرعة ثابتة على سطح طاولة. كم يكون مقدار قوّة الاحتكاك الحركيّ إذا كان $\mu_k = 0.35$؟

الجواب: نستخدم المعادلة الآتية:

$$F_k = \mu_k F_N \rightarrow F_k = \mu_k mg$$

$$F_k = (0.35)(1.5\text{kg})(9.8\text{N/kg}) = 5.1\text{N}$$

إعادة تدريس

يجد الطلاب عادة صعوبة في التعامل مع الوَحَدات والإشارات.

1. كلِّف الطلاب أن يرسموا متجهًا لكل من القوتين على ورقة رسم بياني. عليهم أن يرسموا كلّاً من القوتين في الاتجاه الصحيح.
   a. +10 N
   b. -15 N
2. على الطلاب أن يعلموا أنهم قد اختاروا اتجاهًا محددًا لكل قوة على الرسم مع إشارة موجبة أو سالبة، وذلك بناءً على اختيارهم للمحاور الموجبة والسالبة. بعد اختيارهم لاتجاه المحور الموجب، تكون القوة موجبة إذا كانت في اتجاه هذا المحور، وسالبة إذا كانت في الاتجاه المعاكس.

   وإذا حصلنا على قيمة سالبة لأي قوة، فإن ذلك يعني أننا اخترنا اتجاهها بعكس المحور الموجب. ارسم مخططًا للجسم الحر عليه قوىً موجبة وأخرى سالبة.

إثراء

يتغيَّر معامل الاحتكاك السكوني كثيرًا إذا تغيَّرت حالة الأسطح.

1. اطلب من مجموعات الطلاب تطوير فرضية حول التغيّرات المختلفة في شروط الأسطح التي يمكن أن تؤثر في مُعامِل الاحتكاك السكوني. بعض التغيّرات المقترحة:
   a. صب الماء بين الأسطح.
   b. صب الزيت (مثل زيت الذرة) بين الأسطح.
   c. وضع ورقة غلاف بلاستيكي بين الأسطح.
2. اطلب من كل مجموعة من الطلاب تصميم تجربة لاختبار فرضيتهم. يجب أن يتحقق الطلاب عن طريق التجربة من أن اختلاف حالة الأسطح هو الذي يُحدِّد العلاقة بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية، ومن أن تلك العلاقة خطّية أو غير خطّية. تكون هذه العلاقة في العادة، غير خطية للسوائل الزيتية، مثل زيت الذرة.
3. يجب أن تتضمن نتائج الطلاب نصًّا للفرضية الأصليّة، وإجراء اختبار، وبعض التحليلات، بما في ذلك رسم بياني يوضّح قوّة الاحتكاك مقابل القوّة العمودية، في ظل الظروف المتغيّرة.

ملاحظات

الدرس 1-2
المُتَّجهات والقوى

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع/الوقت	العناوين/المحتوى	مصادر كتاب الطالب	مصادر دليل المعلم
القوّة 1حصة	تعريف المتّجه ورسمه بيانيًّا	الصفحتان 18، 19	الصفحة 28
إيجاد المحصّلة المتجهة بيانيًّا 1 حصة	جمع المركّبات الأفقية والعمودية لإيجاد المحصّلة	الصفحتان 20، 21	الصفحة 29
مركّبات المُتَّجه 1 حصة	إيجاد المركّبات x و y لمتَّجه	الصفحتان 22، 23	الصفحة 30
جمع وطرح مُتّجهات القوى 1 حصة	جمع وطرح المُتّجهات باستخدام مركّباتها	الصفحتان 24، 25	الصفحة 31
إيجاد مقدار وزاوية مُتّجه حصتان	الشرح، والتوضيح، والمعادلات، والتحقيقات	الصفحات 26-28	الصفحات 32-34 ورقة عمل 1-2

الزمن المقترح للدرس

يستغرق شرح هذا الدرس 6 حصص، ويتضمن تحقيقًا علميًا قصيرًا (1-2). يتضمّن أيضًا النشاطات والمناقشات مع الطلاب.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
1-2 التوازن الساكن للقوى	ميزان زنبركي أو مستشعر القوى، كتلة 100–200g خيط، حامل ثلاثي

مخرجات التعلّم

P1101.1 يحلِّل القوى إلى مركّباتها ، ويستخدم مثلث المتّجه لتمثيل القوى في حالة الاتزان.

P1101.2 يحدِّد القوى المؤثرة على الجسم باستخدام الرسوم البيانية لجسمٍ حُر، ويجد محصلة القوى.

المعرفة السابقة

يفترض أن يكون الطالب متمكّنًا من معرفة النسب المثلثية (الجيب وجيب التمام والظل). ويستحسن مراجعتها قبل البدء بهذا الدرس، وإلّا قد يواجه الطالب صعوبة في فهم هذا الدرس. كذلك يجب على الطالب معرفة كيفية قياس الزاوية باستخدام المنقلة.

المفردات

Vector	مُتَّجَه
Vector diagram	مخطّط مُتَّجَهات
Resultant	مُحَصِّلة
X-component	المُرَكَّبة-x
Y-component	المُرَكَّبة-y
Resolution	تحليل

افتتاحية الدرس

القوّة كمية متجهة. قد يحتاج الطالب إلى التذكير بتعريف المتَّجه. وقد تقتصر معرفته عن المُتّجهات على متَّجهَيِ السرعة والإزاحة. جرى التطرق إلى مفهوم متجّه القوّة في الصف العاشر، وهو سهل التصوُّر.

1. ابدأ الدرس بوضع صندوق كبير على الطاولة. ادع أحد الطلاب إلى سحب الصندوق بقوّة 200 N.
2. اسأل الطلاب: هل يمكن القيام بذلك؟ هل هناك معلومات ناقصة؟
3. أعطهم مقياس القوّة، ثم دعهم يحاولوا مرة أخرى.
4. بعد الانتهاء من المهمة ، ذكِّرهم بأن عليهم معرفة اتّجاه الحركة، لأن القوّة كمية متجهة، ويحتاج تعريفها إلى تحديد الاتجاه.
5. بعد ذلك، أعطِ الطلاب قوى مختلفة باتجاهات مختلفة، ثم اطلب منهم تحريك الصندوق، وفق ذلك.
6. وضّح للطلاب أننا نستطيع التطرق إلى القوى المختلفة في مواقف مختلفة من حياتنا اليومية. فالوزن هو قوة الجذب التي تشدُّنا إلى سطح الأرض، والقوة العمودية هي التي تمنعنا من الذهاب نحو مركز الأرض، وقوى الشد تمكّننا من تعليق الأجسام المتدلية بالحبال وتثبيت الجسور بسلاسل ضخمة.

الدّرس 2-1
المُتَّجهات والقوى

كيف يمكنك أن تقود مركبة فضائية؟ أنت عندما تقود السيارة، فإنك تحركها باستخدام القوى الّتي تدفع بها الإطارات الطّريق. عندما تقود الطائرة، فإنك تحركها باستخدام القوى الّتي تدفع بها أجنحة الطّائرة وذيلها الهواء من حولها فيدفعها في الاتّجاه المعاكس. أما في الفضاء فلا يوجد مادة تدفعها القوة للحصول على حركة، ومع ذلك فإنه يمكن القيادة في الفضاء.

القوّة كمّيّة مُتَّجهة ذات مقدار واتّجاه. يتمّ توجيه المَركبات الفضائيّة من خلال قوّة دفع محرّكاتها. تتحكّم آليات متقدّمة جدًّا في فوهات الصّواريخ من خلال قوى هائلة تبذلها. يتمّ ذلك بعناية فائقة لأنّ محصلة القوى يجب أن تمرّ عبر مركز كتلة الصّاروخ، وإلّا فإنّ الصّاروخ سوف يدور حول نفسه بسرعة ويخرج عن نطاق السّيطرة. يُعَدّ الدّفع الموجّه واحدًا من العديد من التّقنيّات الرّئيسة في رحلات الفضاء.

مخرجات التعلُّم

P1101.1 يحلّل القوى إلى مُرَكَّبات متعامدة، ويستخدم مثلّث المُتَّجهات لتمثيل القوى المتّزنة.

P1101.2 يحدّد القوى المؤثّرة في جسم باستخدام مخطّط الجسم الحرّ، ويحسب مُحصّلة القوى.

المفردات

Vector	مُتَّجه
Vector diagram	مخطّط المُتَّجهات
Resultant	مُحَصّلة
X-component	المُرَكّبة-x
Y-component	المُرَكّبة-y
Resolution	تحليل

متجه القوّة

تمثيل القوى بيانيًا

لو طُلِبَ إليك أن تدفع صندوقًا بقوّة 200 N. ماذا كنت لتفعل؟ عليك أن تسأل نفسك: «في أي اتّجاه يجب أن أدفع؟» هل أدفع الصّندوق إلى اليسار أم إلى اليمين أم إلى الأمام أو الخلف؟ ربّما ترفع الصّندوق بقوّة إلى الأعلى.

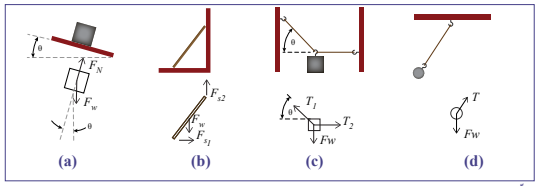
القوّة هي مُتَّجه لأنّ الوصف الكامل لِلقوّة يشمل المقدار والاتّجاه.

يتضمّن المُتَّجه **Vector** معلومات عن الاتّجاه بطريقة رياضيّة. يسمح ذلك بِجمع المُتَّجهات في اتّجاهات مختلفة أو طرحها أو ضربها. يُظهِر المخطّط المقابل في الشّكل 1-13 رسمًا بيانيًّا لِمُتَّجه.

مقياس الرّسم البيانيّ لِلمُتَّجه يربط طول المُتَّجه بِمقدار القوّة. لنفترض، على سبيل المثال، أنّنا اخترنا مقياس 1 N = 1 cm فإنّ قوّة مقدارها 10 N تمثّل بسهم يبدأ من نقطة الأصل بطول 10 cm، بفرض أن المربّع □ يمثّل 1 نيوتن. كما يمكن استنتاج اتجاه القوة من الشّكل الهندسي، وفيما يأتي بعض القواعد التي تنطبق في كثير من المسائل والتطبيقات الفيزيائية:

a. القوّة العموديّة تكون متعامدة مع سطح التّماس.
b. قوى الاحتكاك يكون اتّجاهها معاكسًا لاتجاه الحركة.
c. تكون قوى الشدّ في الأسلاك والسلاسل والحبال على امتداد طولها.
d. يكون اتّجاه الوزن دائمًا رأسيًّا إلى أسفل.

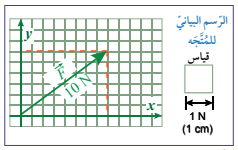
يوضح الشكل ١-١٤ بعض الحالات المختلفة التي نواجهها في مسائل فيزيائية ومخطط الجسم الحرّ لكل حالة.



الشّكل 1-14 متجهات قوى في مسائل فيزيائية.

سؤال للمناقشة

كيف يمكننا تحديد اتجاه كمية مُتَّجهة مثل القوة؟



الشّكل 1-13 مخطط اتجاهي للقوة.

إيجاد المحصّلة المتّجهة بيانيًّا

1. اطرح السؤال الوارد في الكتاب بطريقة تثير اهتمام الطلّاب، مثل: يحاول أحمد سحب صندوق خشبي بقوّة 4 N باتجاه الشرق، وعليٌّ يحاول سحبه بقوّة 3 N باتجاه الجنوب، في أي اتجاه سيتحرّك الصندوق؟

سيكون معظم الطلاب قادرين على إعطاء الإجابة الصحيحة. أعط أمثلة أخرى، إذا وجدت أن بعض الطلاب يواجهون صعوبة في الإجابة.

2. بعد التعرُّف إلى الاتجاه، جاء دور السؤال عن مقدار محصِّلة القوتين. اسأل الطلاب عن توقُّعهم لمقدار المُحصّلة، واستخدام المنقلة لقياس زاويتها.

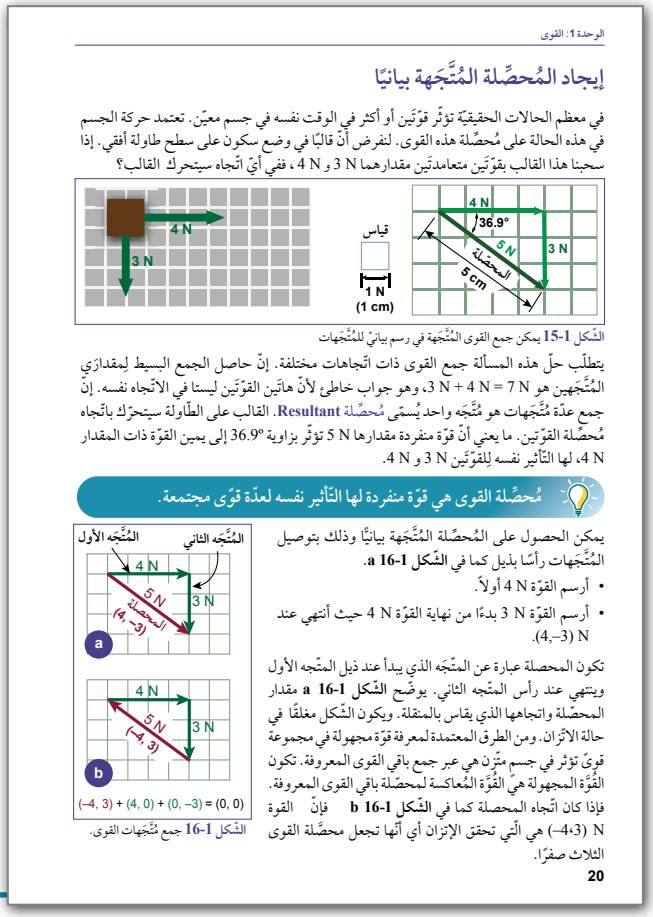
يقول معظم الطلاب إن القيمة هي 7 N أو 3.5 N، وكلتاهما خطأ.

3. اشرح للطلاب قاعدة الرأس والذيل، وأكد أهمية استخدام المقياس، واطلب منهم رسم المثال، وقياس مقدار المُحصِّلة.

4. اذكر لهم أن بالإمكان حل المثال السابق، عبر تطبيق نظرية فيثاغورث كطريقة أخرى.

العب لعبة

1. لمساعدة الطلاب على إيجاد محصِّلة القوى، ارسم القوى على اللوح. ويمكنك أن تعرض لهم powerpoint.
2. اطلب منهم كتابة الإجابة على اللوح.
3. كافئ الطلاب الذين تكون إجاباتهم صحيحة.
4. يحتاج هذا الدرس إلى كثير من التطبيق، استخدم مسائل تقويم الدرس وتقويم الوحدة لتعزيز تعلّم الطلاب.



الوحدة 1: القوى

إيجاد المُحصِّلة المُتَّجِهة بيانيًا

في معظم الحالات الحقيقيّة تؤثّر قوّتين أو أكثر في الوقت نفسه في جسم معيّن. تعتمد حركة الجسم في هذه الحالة على مُحصِّلة هذه القوى. لنفرض أنّ قالبًا في وضع سكون على سطح طاولة أفقي. إذا سحبنا هذا القالب بقوّتين متعامدتين مقدارهما 3 N و 4 N، ففي أيّ اتّجاه سيتحرك القالب؟

الشكل 1-15 يمكن جمع القوى المُتَّجِهة في رسم بيانيّ للمُتَّجِهات

يتطلّب حلّ هذه المسألة جمع القوى ذات اتّجاهات مختلفة. إنّ حاصل الجمع البسيط لِمقدارَي المُتَّجِهين هو 7 N = 4 N + 3 N، وهو جواب خاطئ لأنّ هاتين القوّتين ليستا في الاتّجاه نفسه. إنّ جمع عدّة مُتَّجِهات هو مُتَّجِه واحد يُسمّى مُحصِّلة Resultant. القالب على الطّاولة سيتحرّك باتّجاه مُحصِّلة القوّتين. ما يعني أنّ قوّة منفردة مقدارها 5 N تؤثّر بزاوية 36.9° إلى يمين القوّة ذات المقدار 4 N، لها التّأثير نفسه لِلقوّتين 3 N و 4 N.

مُحصِّلة القوى هي قوّة منفردة لها التّأثير نفسه لعدّة قوًى مجتمعة.

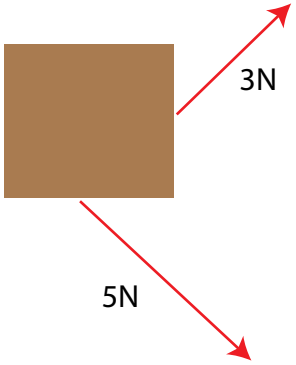
يمكن الحصول على المُحصّلة المُتَّجِهة بيانيًّا وذلك بتوصيل المُتَّجِهات رأسًا بذيل كما في الشّكل 16-1 a.

- أرسم القوّة 4 N أولاً.
- أرسم القوّة 3 N بدءًا من نهاية القوّة 4 N حيث أنتهي عند (4,–3) N.

تكون المحصلة عبارة عن المُتّجه الذي يبدأ عند ذيل المتّجه الأول وينتهي عند رأس المتّجه الثاني. يوضّح الشّكل 16-1 a مقدار المحصّلة واتجاهها الذي يقاس بالمنقلة. ويكون الشّكل مغلقًا في حالة الاتّزان. ومن الطرق المعتمدة لمعرفة قوّة مجهولة في مجموعة قوىً تؤثر في جسم متّزن هي عبر جمع باقي القوى المعروفة. تكون القوّة المجهولة هيَ القُوَّة المُعاكسة لمحصّلة باقي القوى المعروفة. فإذا كان اتّجاه المحصلة كما في الشّكل 16-1 b فإنّ القوة N (3،4–) هي الّتي تحقق الإتزان أي أنّها تجعل محصّلة القوى الثلاث صفرًا.

الشّكل 16-1 جمع مُتَّجِهات القوى.

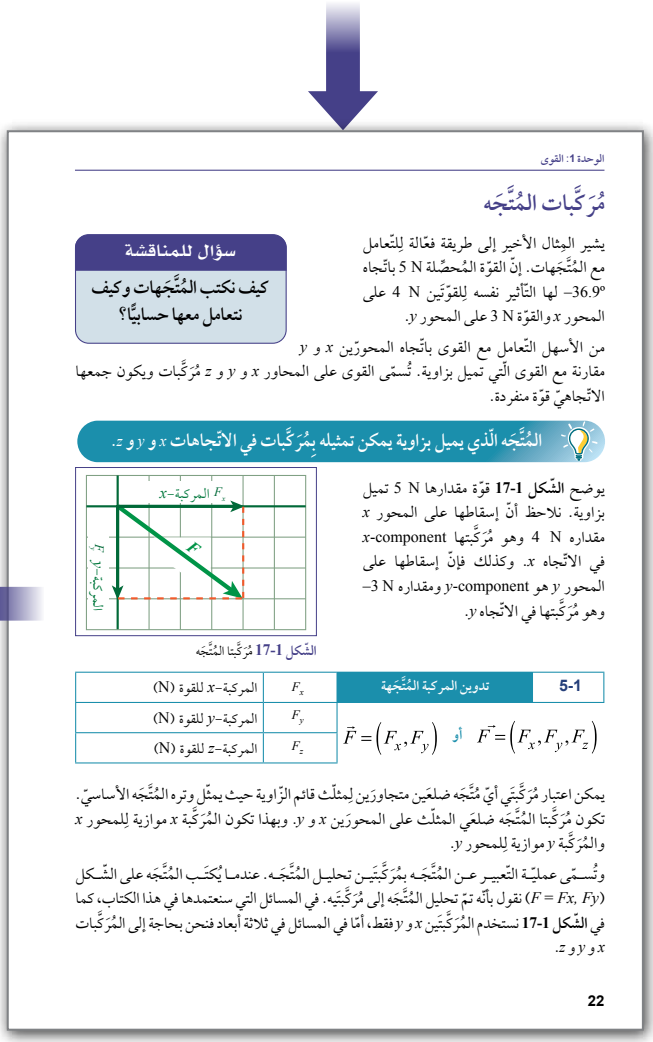
مُركَّبات المُتَّجه



1. ارسم صندوقًا على اللوح تؤثر فيه قوتان في اتجاهين مختلفين، واسأل الطلاب: كيف يمكن أن نجد محصِّلة القوى؟

   سوف يذكر الطلاب قاعدة الرأس والذيل، وهي صحيحة. قل لهم إننا نريد أن نحلّ المسألة بطريقة أسهل.

2. اذكر لهم أن إيجاد مركَّبات كل قوّة، هو أسهل طريقة لإيجاد محصِّلة القوى.
3. طبِّق مثال المسألة 5.
4. اكتب المعادلة 1-6، وأعط الطلاب المزيد من المسائل، على تحليل القوّة إلى مُركّبات.



الوحدة 1: القوى

مُرَكَّبات المُتَّجه

يشير المِثال الأخير إلى طريقة فعّالة لِلتّعامل مع المُتَّجهات. إنّ القوّة المُحصّلة 5 N باتّجاه 36.9°– لها التّأثير نفسه للقوّتَين 4 N على المحور x والقوّة 3 N على المحور y.

سؤال للمناقشة

كيف نكتب المُتَّجهات وكيف نتعامل معها حسابيًّا؟

من الأسهل التّعامل مع القوى باتّجاه المحورَين x و y مقارنة مع القوى الّتي تميل بزاوية. تُسمّى القوى على المحاور x و y و z مُرَكَّبات ويكون جمعها الاتّجاهيّ قوّة منفردة.

المُتَّجه الّذي يميل بزاوية يمكن تمثيله بِمُرَكَّبات في الاتّجاهات x و y و z.

يوضح **الشّكل 1-17** قوّة مقدارها 5 N تميل بزاوية. نلاحظ أنّ إسقاطها على المحور x مقداره 4 N وهو مُرَكَّبتها x-component في الاتّجاه x. وكذلك فإنّ إسقاطها على المحور y هو y-component ومقداره 3 N– وهو مُرَكَّبتها في الاتّجاه y.

الشّكل 1-17 مُرَكَّبتا المُتَّجه

5-1	تدوين المركبة المُتَّجهة	
	F_x	المركبة-x للقوة (N)
$\vec{F}=(F_x,F_y)$ أو $\vec{F}=(F_x,F_y,F_z)$	F_y	المركبة-y للقوة (N)
	F_z	المركبة-z للقوة (N)

يمكن اعتبار مُرَكَّبَتَي أيّ مُتَّجه ضلعَين متجاورَين لِمثلّث قائم الزّاوية حيث يمثّل وتره المُتَّجه الأساسيّ. تكون مُرَكَّبتا المُتَّجه ضلعَي المثلّث على المحورَين x و y. وبهذا تكون المُرَكَّبة x موازية لِلمحور x والمُرَكَّبة y موازية لِلمحور y.

وتُسمّى عمليّة التّعبير عن المُتَّجه بِمُرَكَّبتَين تحليل المُتَّجه. عندما يُكتَب المُتَّجه على الشّكل $(F = Fx, Fy)$ نقول بأنّه تمّ تحليل المُتَّجه إلى مُرَكَّبتَيه. في المسائل التي سنعتمدها في هذا الكتاب، كما في **الشّكل 1-17** نستخدم المُرَكَّبتَين x و y فقط، أمّا في المسائل في ثلاثة أبعاد فنحن بحاجة إلى المُرَكَّبات x و y و z.

إيجاد مُرَكَّبات القوى في بعدَين

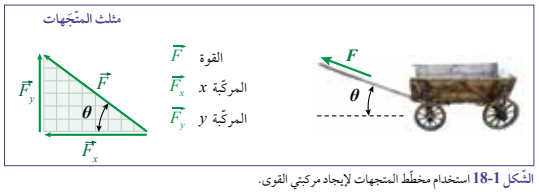
يُظهِر **الشّكل 1-18** كيف نحلّل المُتَّجه إلى مُرَكَّبات عبر استعمال خصائص المثلّث قائم الزّاوية. المُرَكَّبة x هي إسقاط المُتَّجه على المحور x والمُرَكَّبة y هي إسقاطه على المحور y. هذه الإسقاطات هي أضلاع مثلّث قائم الزّاوية والّذي يتكوّن من F، F_x، و F_y.

تشبه علاقة مركبتي المُتَّجه والزاوية بينهما علاقة الأضلاع في مثلث قائم الزاوية، حيث يكون وتر المثلث القوة F. تعطي العلاقة **1-6** مركبتي القوة x و y بدلالة الزاوية.

6-1	المركبات المُتَّجهة (x-y)		
$F_x = F\cos\theta$		F	القوة (N)
$F_y = F\sin\theta$		F_x	المركبة-x للقوة (N)
		F_y	المركبة-y للقوة (N)

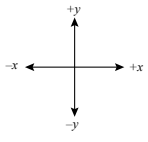
مثال (6)

ما المركبة الأفقية للقوة F التي تجر عربة إذا كانت الزاوية بين القوة والمحور الأفقي هي θ.



الشّكل 1-18 استخدام مخطّط المتجهات لإيجاد مركبتي القوى.

عليك أن تُحدّد الاتّجاه الموجب والإتجاه السالب في كل مسائل القوى. فالقوة في المثال 6 زاويتها θ مع الاتّجاه السّالب للمحور x، وعليه تكون المركبة x للقوّة في هذه الحالة سالبة.



الجواب

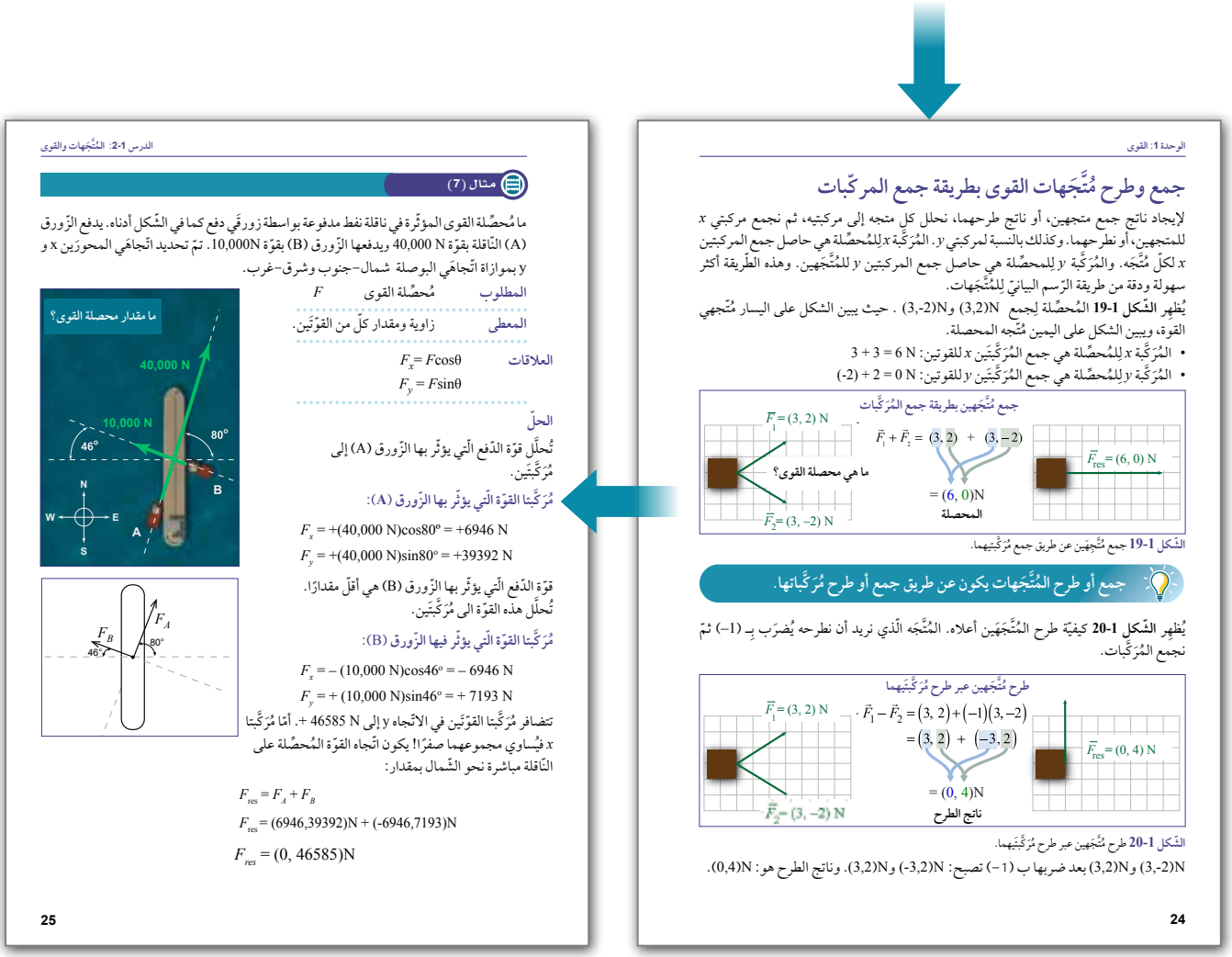
$F_x = -F\cos\theta$

$F_y = F\sin\theta$

$\vec{F} = (-F\cos\theta, F\sin\theta)$

جمع وطرح متّجهات القوى

1. اشرح للطلاب أنهم، بمجرَّد تحليل المتَّجهات إلى مُركَّبات، يستطيعون جمع كل المُركَّبات على أي محور.
2. ذَكِّرهم أن للمُتَّجهات المتعاكسة إشاراتٍ متعاكسة. فإذا كانت إشارة أحد المُتَّجهين موجبة وهو اتجاه اليمين في هذا الكتاب، تكون إشارة المتَّجه المعاكس سالبة، أي اتجاه اليسار.
3. حُلَّ الأسئلة الواردة في الكتاب على اللوح، ليراها الجميع.
4. غيّر قيم القوى واتجاهاتها، واطلب من الطلاب جمع المُركَّبات.
5. يمكنك عرض عملية إيجاد مُركَّبات القوى وجمعها على برنامج power point، وذلك لجعل الشرح أكثر إثارة لدى الطلاب.
6. مع تحسُّن مستوى الطلبة، تستطيع أن تغيِّر الشرائح بشكل أسرع.



الوحدة 1: القوى

جمع وطرح مُتَّجهات القوى بطريقة جمع المركّبات

لإيجاد ناتج جمع متجهين، أو ناتج طرحهما، نحلل كل متجه إلى مركبتيه، ثم نجمع مركبتي x للمتجهين، أو نطرحهما. وكذلك بالنسبة لمركبتي y. المُرَكَّبة x للمُحصِّلة هي حاصل جمع المركبتين x لكلّ مُتَّجه. والمُرَكَّبة y للمحصّلة هي حاصل جمع المركبتين y للمُتَّجهين. وهذه الطّريقة أكثر سهولة ودقة من طريقة الرّسم البيانيّ لِلمُتَّجهات.

يُظهر الشّكل 1-19 المُحصِّلة لِجمع (3,2)N و(3,-2)N . حيث يبين الشكل على اليسار مُتّجهي القوة، ويبين الشكل على اليمين مُتّجه المحصلة.

- المُرَكَّبة x لِلمُحصِّلة هي جمع المُرَكَّبتين x للقوتين: $3 + 3 = 6$ N
- المُرَكَّبة y لِلمُحصِّلة هي جمع المُرَكَّبتين y للقوتين: $2 + (-2) = 0$ N

الشّكل 1-19 جمع مُتَّجِهَين عن طريق جمع مُرَكَّبتيهما.

جمع أو طرح المُتَّجهات يكون عن طريق جمع أو طرح مُرَكَّباتها.

يُظهر الشّكل 1-20 كيفيّة طرح المُتَّجهَين أعلاه. المُتَّجه الّذي نريد أن نطرحه يُضرَب بِـ (−1) ثمّ نجمع المُرَكَّبات.

الشّكل 1-20 طرح مُتَّجهين عبر طرح مُرَكَّبتيهما.

(3,-2)N و(3,2)N بعد ضربها ب (−1) تصبح: (-3,2)N و(3,2)N. وناتج الطرح هو: (0,4)N.

مثال (7)

ما مُحصِّلة القوى المؤثّرة في ناقلة نفط مدفوعة بواسطة زورقَي دفع كما في الشّكل أدناه. يدفع الزّورق (A) النّاقلة بقوّة 40,000 N ويدفعها الزّورق (B) بقوّة 10,000N. تمّ تحديد اتّجاهَي المحورَين x و y بموازاة اتّجاهَي البوصلة شمال–جنوب وشرق–غرب.

المطلوب مُحصِّلة القوى F

المعطى زاوية ومقدار كلّ من القوّتَين.

العلاقات

$F_x = F\cos\theta$

$F_y = F\sin\theta$

الحلّ

تُحلَّل قوّة الدّفع الّتي يؤثّر بها الزّورق (A) إلى مُرَكَّبتَين.

مُرَكَّبتا القوّة الّتي يؤثّر بها الزّورق (A):

$F_x = +(40{,}000\text{ N})\cos 80^\circ = +6946\text{ N}$

$F_y = +(40{,}000\text{ N})\sin 80^\circ = +39392\text{ N}$

قوّة الدّفع الّتي يؤثّر بها الزّورق (B) هي أقلّ مقدارًا. تُحلَّل هذه القوّة الى مُرَكَّبتَين.

مُرَكَّبتا القوّة الّتي يؤثّر فيها الزّورق (B):

$F_x = -(10{,}000\text{ N})\cos 46^\circ = -6946\text{ N}$

$F_y = +(10{,}000\text{ N})\sin 46^\circ = +7193\text{ N}$

تتضافر مُرَكَّبتا القوّتَين في الاتّجاه y إلى 46585 N+. أمّا مُرَكَّبتا x فيُساوي مجموعهما صفرًا! يكون اتّجاه القوّة المُحصِّلة على النّاقلة مباشرة نحو الشّمال بمقدار:

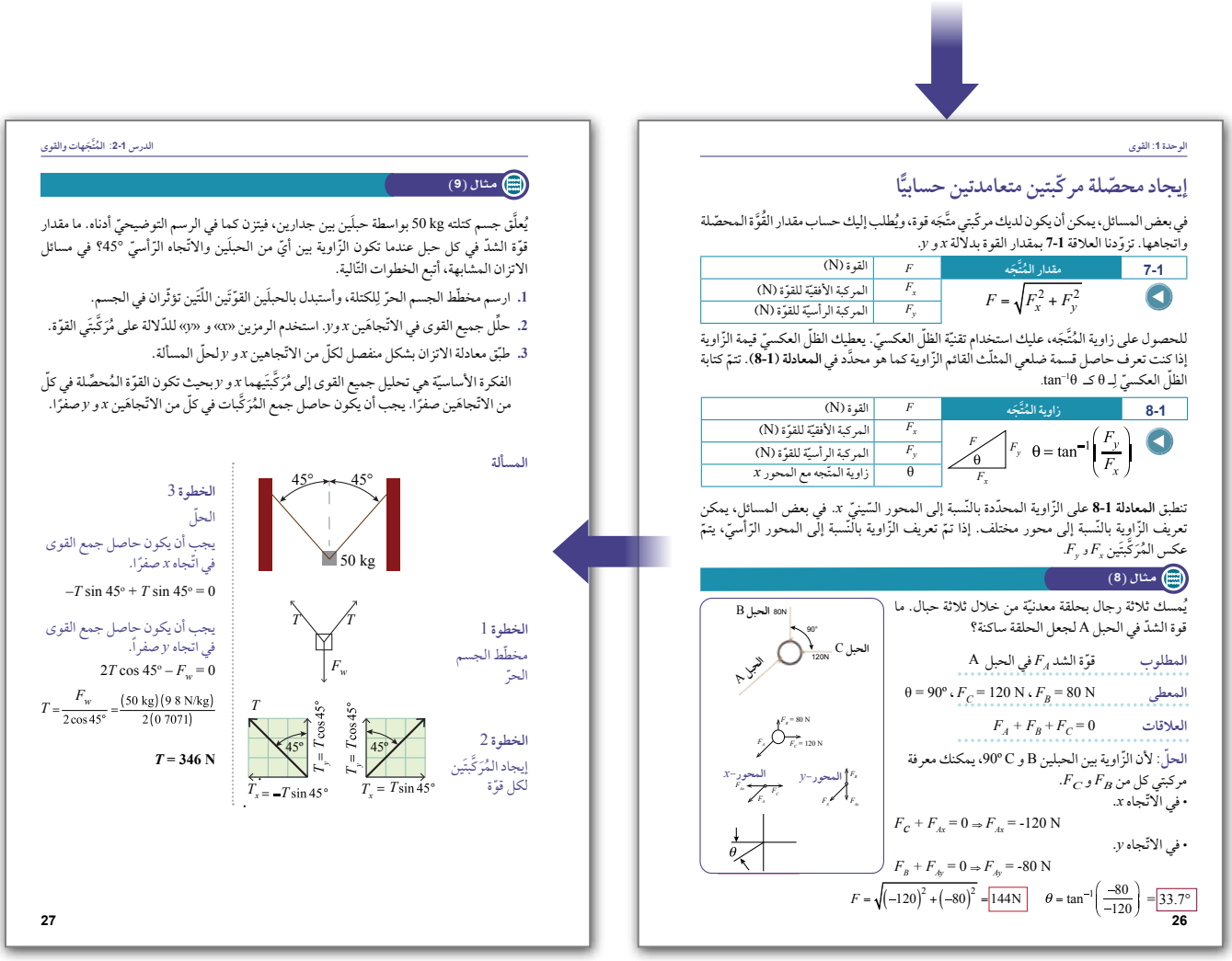
$F_{res} = F_A + F_B$

$F_{res} = (6946{,}39392)\text{N} + (-6946{,}7193)\text{N}$

$F_{res} = (0, 46585)\text{N}$

إيجاد مقدار وزاوية مُتّجه

1. ذكّر الطلاب بنظرية فيثاغورث التي نستخدمها في مادة الرياضيات، وكيف أن المواد العلمية تتكامل، وأن هذه النظرية ستساعدنا على إيجاد مقدار محصِّلة القوى.
2. ادعُ الطلاب إلى تذكّر قواعد النسب المثلثية (الجيب وجيب التمام والظل) واذكر لهم أن هذه القواعد تساعدنا على إيجاد زوايا المثلثات، وكيف يرتبط علم المثلثات بالفيزياء.
3. حل المثالين 8 و9 على اللوح بمساعدة الطلاب.
4. اطرح عليهم أسئلة أكثر، وقم بحل أسئلة تقويم الدرس وتقويم الوحدة.



الوحدة 1: القوى

إيجاد محصّلة مركّبتين متعامدتين حسابيًّا

في بعض المسائل، يمكن أن يكون لديك مركّبتي متّجه قوة، ويُطلب إليك حساب مقدار القُوَّة المحصّلة واتجاهها. تزوّدنا العلاقة **7-1** بمقدار القوة بدلالة x و y.

7-1	مقدار المُتّجه		
$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$	القوة (N)	F	
	المركبة الأفقيّة للقوّة (N)	F_x	
	المركبة الرأسيّة للقوّة (N)	F_y	

للحصول على زاوية المُتّجه، عليك استخدام تقنيّة الظلّ العكسيّ. يعطيك الظلّ العكسيّ قيمة الزّاوية إذا كنت تعرف حاصل قسمة ضلعي المثلّث القائم الزّاوية كما هو محدَّد في **المعادلة 1-8**. تمّ كتابة الظلّ العكسيّ لـ θ كـ $\tan^{-1}\theta$.

8-1	زاوية المُتّجه		
$\theta=\tan^{-1}\left\|\frac{F_y}{F_x}\right\|$	القوة (N)	F	
	المركبة الأفقيّة للقوّة (N)	F_x	
	المركبة الرأسيّة للقوّة (N)	F_y	
	زاوية المتّجه مع المحور x	θ	

تنطبق **المعادلة 1-8** على الزّاوية المحدّدة بالنّسبة إلى المحور السّينيّ x. في بعض المسائل، يمكن تعريف الزّاوية بالنّسبة إلى محور مختلف. إذا تمّ تعريف الزّاوية بالنّسبة إلى المحور الرّأسيّ، يتمّ عكس المُرَكِّبَتين F_x و F_y.

مثال (8)

يُمسك ثلاثة رجال بحلقة معدنيّة من خلال ثلاثة حبال. ما قوة الشدّ في الحبل A لجعل الحلقة ساكنة؟

المطلوب: قوّة الشد F_A في الحبل A

المعطى: $\theta = 90°$ ، $F_C = 120\ \text{N}$ ، $F_B = 80\ \text{N}$

العلاقات: $F_A + F_B + F_C = 0$

الحلّ: لأن الزّاوية بين الحبلين B و C 90°، يمكنك معرفة مركبتي كل من F_B و F_C.

• في الاتّجاه x.

$F_C + F_{Ax} = 0 \Rightarrow F_{Ax} = -120\ \text{N}$

• في الاتّجاه y.

$F_B + F_{Ay} = 0 \Rightarrow F_{Ay} = -80\ \text{N}$

$F=\sqrt{(-120)^2+(-80)^2}=\boxed{144\text{N}}$ $\theta=\tan^{-1}\left(\frac{-80}{-120}\right)=\boxed{33.7°}$

مثال (9)

يُعلَّق جسم كتلته 50 kg بواسطة حبلَين بين جدارين، فيتزن كما في الرسم التوضيحيّ أدناه. ما مقدار قوّة الشدّ في كل حبل عندما تكون الزّاوية بين أيّ من الحبلَين والاتّجاه الرّأسيّ 45°؟ في مسائل الاتزان المشابهة، أتبع الخطوات التّالية.

1. ارسم مخطّط الجسم الحرّ لِلكتلة، وأستبدل بالحبلَين القوّتَين اللّتَين تؤثّران في الجسم.
2. حلِّل جميع القوى في الاتّجاهَين x و y. استخدم الرمزين «x» و «y» للدّلالة على مُرَكِّبَتَي القوّة.
3. طبّق معادلة الاتزان بشكل منفصل لكلّ من الاتّجاهين x و y لحلّ المسألة.

الفكرة الأساسيّة هي تحليل جميع القوى إلى مُرَكِّبَتيهما x و y بحيث تكون القوّة المُحصّلة في كلّ من الاتّجاهَين صفرًا. يجب أن يكون حاصل جمع المُرَكِّبات في كلّ من الاتّجاهَين x و y صفرًا.

المسألة

الخطوة 1

مخطّط الجسم الحرّ

الخطوة 2

إيجاد المُرَكِّبَتين لكل قوّة

الخطوة 3

الحلّ

يجب أن يكون حاصل جمع القوى في اتّجاه x صفرًا.

$-T\sin 45° + T\sin 45° = 0$

يجب أن يكون حاصل جمع القوى في اتجاه y صفراً.

$2T\cos 45° - F_w = 0$

$T=\frac{F_w}{2\cos 45°}=\frac{(50\text{ kg})(9.8\text{ N/kg})}{2(0.7071)}$

$\boldsymbol{T = 346\text{ N}}$

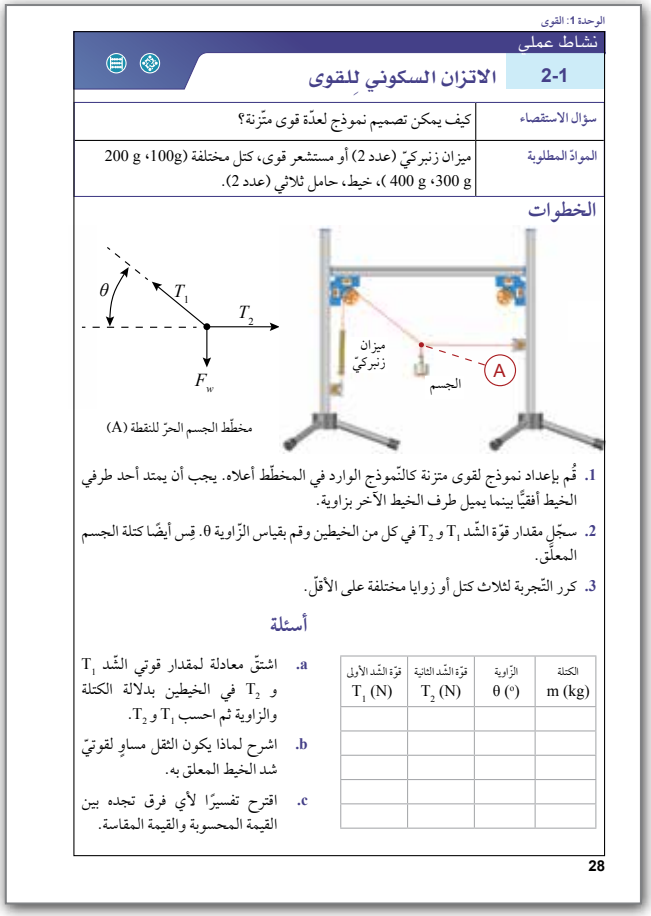
نشاط 1-2: الاتّزان السكوني للقوى

الإجابات/ عيّنة بيانات

يتعيّن أن تقوم بهذا النشاط الجماعي مجموعات مكوّنة من ثلاثة طلاب أو أربعة، حتى يتمكّنوا من التواصل والتعاون. وإذا جرى هذا التعاون بشكل صحيح، فإن نتائج البيانات تكون دقيقة جدًّا. ومع ذلك، لا ينبغي تقويم الطالب عن طريق نتائج البيانات، بل على أساس مهاراته المخبرية.

الجدول: عيّنة بيانات

الكتلة (kg)	الزاوية θ (°)	قوة الشد T_1 (N)	قوّة الشد T_2 (N)
0.1	30	1.9	1.7
0.2	35	3.4	2.8
0.3	40	4.6	3.5
0.4	45	5.5	3.9
0.5	50	6.4	4.1
0.6	55	7.2	4.1


الوحدة 1: القوى

نشاط عملي

2-1 الاتزان السكوني للقوى

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تصميم نموذج لعدّة قوى متّزنة؟
المواد المطلوبة	ميزان زنبركيّ (عدد 2) أو مستشعر قوى، كتل مختلفة (100g، 200 g، 300 g، 400 g)، خيط، حامل ثلاثي (عدد 2).

الخطوات

مخطّط الجسم الحرّ للنقطة (A)

1. قُم بإعداد نموذج لقوى متزنة كالنّموذج الوارد في المخطّط أعلاه. يجب أن يمتد أحد طرفي الخيط أفقيًّا بينما يميل طرف الخيط الآخر بزاوية.
2. سجّل مقدار قوّة الشّد T_1 و T_2 في كل من الخيطين وقم بقياس الزّاوية θ. قِس أيضًا كتلة الجسم المعلّق.
3. كرر التّجربة لثلاث كتل أو زوايا مختلفة على الأقلّ.

أسئلة

a. اشتقّ معادلة لمقدار قوتي الشّد T_1 و T_2 في الخيطين بدلالة الكتلة والزاوية ثم احسب T_1 و T_2.
b. اشرح لماذا يكون الثقل مساوٍ لقوتيّ شد الخيط المعلق به.
c. اقترح تفسيرًا لأي فرق تجده بين القيمة المحسوبة والقيمة المقاسة.

الكتلة m (kg)	الزّاوية θ (°)	قوّة الشّد الثانية T_2 (N)	قوّة الشّد الأولى T_1 (N)

28

أسئلة

a. اشتق المعادلة لمقدار قوّة الشد T_1 و T_2 بدلالة الكتلة والزاوية، ثم احسب T_1 و T_2.

نحلل قوة الشد (T_1) إلى مركبتين؛ أفقية ورأسية:

$$T_{1x}=T_1\cos\theta\ ,\ T_{1y}=T_1\sin\theta$$

حيث أن الجسم متزن أفقيًا ورأسيًا:

$$T_1\cos\theta=T_2\ ,\ T_1\sin\theta=mg$$

بقسمة معادلة الاتزان الرأسي على معادلة الاتزان الأفقي:

$$\frac{T_1\sin\theta}{T_1\cos\theta}=\frac{mg}{T_2}\Rightarrow T_2=\frac{mg}{\tan\theta}$$

b. اشرح لماذا تكون قوّة الشد T_1 أكبر من الوزن mg.

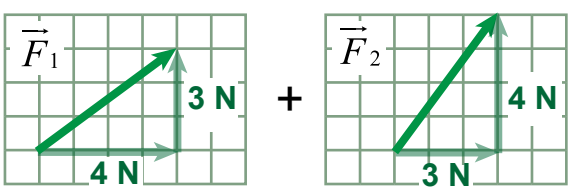
قوّة الشد T_1 التي حصلنا عليها هي: $T_1 = \frac{mg}{\sin\theta}$. وبما أن $\sin\theta \leq 1$، تكون قوّة الشد T_1 دائمًا أكبر من الوزن mg. لاحظ أن المركّبة الرأسية من T_1 تساوي الوزن.

c. اقترح تفسيرًا لأي فرق تجده بين القيمة المحسوبة والقيمة المقاسة.

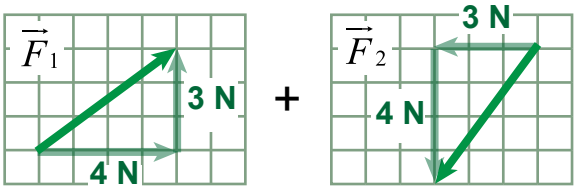
قد يكون هناك اختلاف بين القيمتين ناتج من عدم قياس الزاوية بدقة، أو أن مقياس القوّة غير دقيق، فمقدار الخطأ في مقاييس القوّة لا يقل عادة عن 10%.

تقويم الدّرس 1-2 — الإجابات

1. في الشكلين الموضحيّن في الجزأين (a) و (b)، استخدم المُرَكَّبتَين x و y لكلّ مُتَّجَه قوّة، لإيجاد كل من $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$. استخدم حساب المُركَّبات وطريقة«الرّأس والذّيل» البيانيّة. عبِّر عن النّتيجة بَيانيًّا وبالأرقام.



الجزء(a)



الجزء(b)

طريقة حساب المُركّبات

الجزء(a)

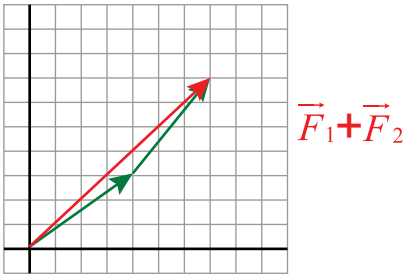
$$F_x = F_{1x} + F_{2x} = 4 + 3 = 7\text{N}$$
$$F_y = F_{1y} + F_{2y} = 3 + 4 = 7\text{N}$$
$$\vec{F} = (F_x, F_y),\ \vec{F} = (7,7)\text{N}$$

الجزء(b)

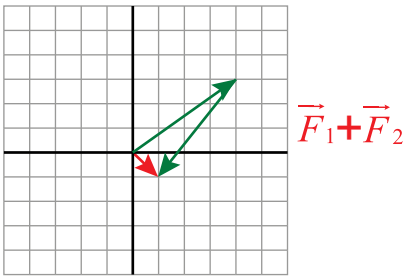
$$F_x = F_{1x} + F_{2x} = 4 - 3 = 1\text{N}$$
$$F_y = F_{1y} + F_{2y} = 3 - 4 = -1\text{N}$$
$$\vec{F} = (F_x, F_y),\ \vec{F} = (1,-1)\text{N}$$

طريقة الرأس والذيل

الجزء(a)



الجزء(b)



تقويم الدّرس 2-1 — الإجابات

2. احسب مقادير المُتَّجهات $\overrightarrow{F_1}$ و $\overrightarrow{F_2}$ ومُحصِّلة المُتَّجهات النّاتجة من المسألة السّابقة.

a. المقادير والمحصِّلة هما:

$$\overrightarrow{F_1} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5\text{N}$$

$$\overrightarrow{F_2} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5\text{N}$$

$$\overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{7^2 + 7^2} = 9.9\text{N}$$

b. المقادير والمحصِّلة هما:

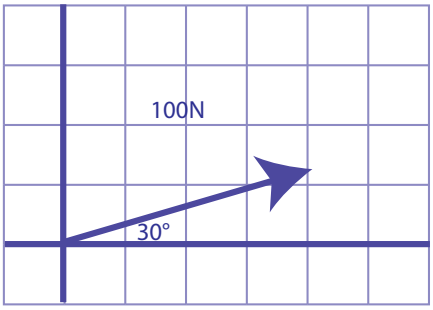
$$\overrightarrow{F_1} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5\text{N}$$

$$\overrightarrow{F_2} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(-3)^2 + (-4^2)} = 5\text{N}$$

$$\overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{1^2 + (-1)^2} = 1.4\text{N}$$

3. جد مُرَكَّبَتَي قوّة مقدارها 100 N بزاوية 30° مع المحور x ولها مُرَكَّبة y موجبة.

من الأفضل رسم المتجه لكي يراه الطالب قبل حساب المركَّبات.



$$F_x = F\cos\theta = 100\cos 30 = 86.6\text{ N}$$

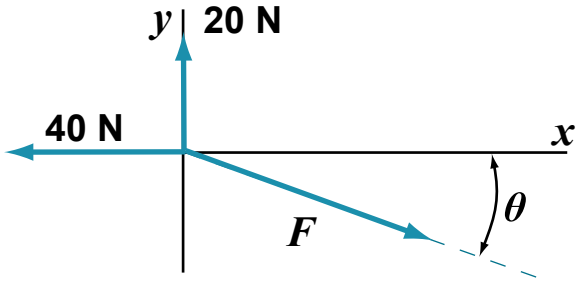
$$F_y = F\sin\theta = 100\sin 30 = 50\text{ N}$$

4. ما زاوية اتّجاه قوّة إذا كانت مُرَكَّبتها الأفقيّة 10 N ومُرَكَّبتها الرّأسيّة 15 N؟

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = tan^{-1}\left(\frac{15}{10}\right) = 56°$$

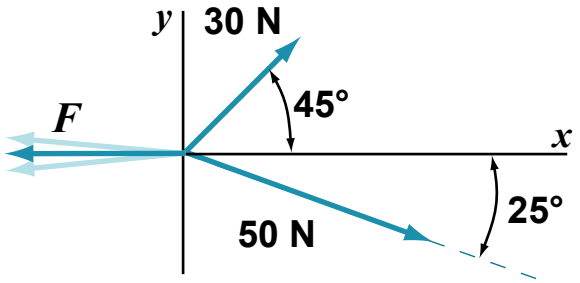
تقويم الدّرس 1-2 — الإجابات

5. في الرّسم البيانيّ أدناه، احسب القوّة المطلوبة لِجعل القوى متّزنة، عبّر عن إجابتك $\overrightarrow{F} = (F_x, F_y)$.



لجعل القوى متّزنة لابد أن تكون محصِّلة القوى المؤثرة تساوي صفرًا. هذا يعني أن مجموع مركّبات القوى على المحور x تساوي الصفر، وكذلك على المحور y. ولهذا فإن مركّبة القوّة F على المحور x تساوي 40 N، وعلى المحور y تساوي 20- N.
ولذلك فإن $F = (40\ N ، -20\ N)$

6. احسب القوّة المطلوبة لِجعل مُحصِّلة القوى، المبيَّنة في الرّسم البيانيّ أدناه، صفرًا. عبّر عن إجابتك $F = (F_x, F_y)$.



لجعل محصِّلة القوى تساوي صفرًا لا بد أن تكون مركّبتها على كلٍّ من المحورين x و y تساوي صفرًا. لذلك سنحسب أوّلًا مركّبات القوّتين المبينتين في الرسم البياني أعلاه؛ ثم نجمع المركّبات الموجودة على المحور بمفرده.

$F_{1x} = 30\cos45 = 21\ N$ ، $F_{2x} = 50\cos25 = 45\ N$ ، $F_x = 21 + 45 = 66\ N$

ولهذا نحتاج إلى قوّة مركّبتها على المحور x تساوي 66N- لكي يحدث الاتزان على المحور x.

وعلى المحور y:

$F_{1y} = 30\sin45 = 21\ N$ ؛ $F_{2y} = -(50\sin25) = -21\ N$ ، $F_y = 21 - 21 = 0\ N$

ولهذا نحتاج إلى قوّة مركّبتها على المحور y تساوي 0 N، لكي يحدث الاتزان على المحور y. لذلك يمكن كتابة القوّة المطلوبة للاتزان على الشكل الآتي: $F = (-66\ N ، 0\ N)$

إعادة تدريس

قد يواجه الطلاب في علم المثلثات بعض الصعوبات وخاصة في المثلث القائم الزاوية، وفكرة الرسوم البيانية في بُعدين.

1. اطلب إلى مُعلم مادة الرياضيات أن يزوِّد الطلاب بورقة عمل حول حسابات جيب وجيب تمام وظل زاوية. وكلِّفهم أنت تنفيذ ورقة العمل لمراجعة الدوال المثلثية الأساسية.
2. زوّد الطلاب ببعض التطبيقات لرسم القوى وجمعها بيانيًّا، وفق مقياس محدَّد. قد يكون من المناسب تحضير مقياس وَرَقي لوحدات القوى وذلك بثني الورقة على شكل شبكة متماثلة. اطلب منهم ترقيم أمكنة ثني الورقة حسب وحدات قياس القوة على المحور. يمكّنَهم ذلك من حساب المقدار الحقيقي للقوة في أي اتجاه. يحتاج الطلاب إلى ورقة رسم بياني ومنقلة ومسطرة.

إثراء

يمكن تقسيم القوى في هذه الوحدة إلى قوى في ثلاثة أبعاد $\vec{F} = (F_x، F_y، F_z)$.

a. تقطع طوّافة «درون» 25 m في اتجاه الشمال، ثم 15 m في اتجاه الشرق، ثم 40 m إلى أعلى. ما متَّجه موقع الطوافة من نقطة التحكم إلى موقعها النهائي؟

b. ما مقدار المسافة التي قطعتها الطوافة بين نقطة التحكُّم والموقع النهائي لها؟ اكتب معادلة المسافة في ثلاثة أبعاد.

c. كيف يمكننا أن نجد قوة مفردة مقدارها 10 N تستطيع أن تُعيد الطوافة مباشرة إلى موقع نقطة التحكُّم؟ ستكون هذه القوة على امتداد متَّجه موقع الطوافة لكن في الاتجاه المعاكس. الفكرة الأساس هي الحصول على متَّجه وحدة يكون في اتجاه متَّجه الموقع لكن مقداره واحد، ويجري ذلك بقسمة متَّجه المكان على مقداره. وبما أن متَّجه الموقع (15,25,40) ومقداره 49.5 m، فإن متَّجه الوحدة يكون (0.303, 0.505, 0.808) ومقداره واحد واتجاهه باتجاه متجه الموقع، وبذلك تكون القوة المطلوبة لإعادة الطوافة بشكل مباشر إلى نقطة التحكم ذات مقدار 10 N، وفي اتِّجاه متَّجه الوحدة المعاكس أي:

$$(-0.303 ،-0.505 ،-0.80)\ \text{N}.$$

ملاحظات

الدرس 1-3
العزم والاتّزان الدوراني

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع/الوقت	العناوين/المحتوى	مصادر كتاب الطالب	مصادر دليل المعلم
عزم القوّة $\frac{1}{2}$ حصة	معادلة عزم الدوران والتعريف	الصفحتان 30، 31	الصفحة 40
حساب عزم الدوران 1 حصة	معادلة، براهين، وأمثلة	الصفحتان 32، 33	الصفحة 41
الاتزان ورد الفعل $\frac{1}{2}$ حصة	حل مسائل الاتزان وتوضيح قوى رد الفعل، وأمثلة	الصفحة 36	الصفحة 42
الازدواج ومختبرعزم الدوران حصتان	براهين وشرح	الصفحتان 37، 38	الصفحات 43-47؛ ورقة عمل 1-3
أمثلة حصتان	استكشاف أمثلة وطرق حلها	الصفحة 39	الصفحة 48

الزمن المقترح للدرس

يجب أن يُنجز هذا الدرس خلال 6 حصص دراسية، وهو يتضمّن تحقيقات عملية واحدة (1-3) وكذلك أفكاراً للأنشطة والمناقشات مع الطلاب

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
1-3 العزم والعضلات	رافعة، خيط، كتل مختلفة القيم، مقياس أو مستشعر للقوّة، ميزان

مخرجات التعلّم

P1105.1 يطبّق عزم القوّة، عزم الازدواج، ومبدأ العزوم على نظام متّزن، بما في ذلك الحسابات المرتبطة.

المعرفة السابقة

- يفترض أن يكون الطلاب على دراية بمعنى مركز الكتلة وموقعها من الجسم.
- على الطلاب أن يكونوا قد أكملوا الدرسين 1-1 و 1-2، وأن يعرفوا مخطَّط الجسم الحر والاتزان ومركّبات متَّجه القوّة.

المفردات

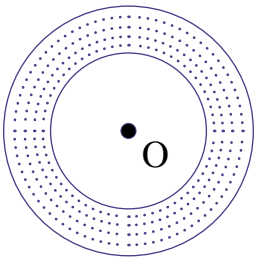
Moment of a force (torque)	عزم القوّة
Line of action	خطّ التّأثير
Lever arm	ذراع الرّافعة
Newton.meter	نيوتن.متر
Support reaction	ردّ فعل الدّعم
Couple	الازدواج
Axis of rotation	محور الدوران

مركز الكتلة (تذكير)

مع أن موضوع مركز الكتلة قد جرت معالجته في الصف السابع، لكن لا بأس من التذكير به لأهميته في دراسة العزوم والاتزان الدوراني.

يُعرّف مركز كتلة أي نظام بأنه النقطة التي يتّزن حولها النظام في مجال الجاذبية، وهي متوسط موقع كتلة النظام بكامله.

1. يكون مركز كتلة الأجسام المتماثلة نقطة مركزها كما في حالة الكرة المنتظمة أو المكعب أو المثلث المتساوي الأضلاع.
2. يجري تحديد مركز كتلة الأجسام غير المتماثلة تجريبيًّا كما يأتي:
   a. يُعلّق الجسم من إحدى نقاطه في جدار عمودي ويُترك ليصل إلى حالة اتزان.
   b. يُرسَم خط رأسي على الجسم يمر في نقطة التعليق.
   c. يُعاد تعليق الجسم من نقطة أخرى، ويُترك ليصل إلى حالة اتزان مرة أخرى.
   d. يُرسَم خط رأسي آخر على الجسم يمر في نقطة التعليق الثانية.
   e. يكون موقع مركز الكتلة في نقطة تقاطع الخطّين الرأسيين.



3. لا يشترط أن يكون مركز الكتلة لنظام معيّن إحدى نقاط هذا النظام. فمركز كتلة الكرة المجوّفة في الشكل المجاور هو نقطة المركز O التي ليست جزءًا من النظام، بل إحدى نقاط الفجوة بداخله.
4. كلّف الطلاب توقُّع مركز كتلة بعض الأجسام غير المتماثلة، ثم اطلب منهم تحديد المركز كما في البند 2، ثم المقارنة بين الموقع الذي توقّعوه والموقع الذي حصلوا عليه بالتجربة.

افتتاحية الدرس

يُعّد عزم الدوران موضوعًا مثيرًا للاهتمام لتعليم الطلاب، وتَصوُّر استخدامهم لمفهوم العزم في حياتهم اليومية. علينا أن نوضّح لهم أنهم على دراية بالموضوع، على الرغم من أن الكلمات المستخدمة للشرح جديدة.

1. ابدأ الدرس بتكليف أحد الطلاب إغلاق الباب من الجانب الأقرب إلى مفصلتيه (محور دورانه)، وذلك بدفع الباب بإصبع واحدة فقط.
   قد يعرف الطالب بمفرده أن هذا صعب، أو أنه سيحاول فعل ذلك، ويكتشف أنه صعب فعلًا. اطلب منه تكرار المحاولة، ولكن عند حافة الباب، اسأل الطلاب: لِمَ يكون دفع الباب أصعب عند النقاط القريبة من محوره؟
2. عرّف مصطلح عزم القوة، واستخدم المعادلة.
3. ادعُ الطلاب إلى التفكير في أشياء أخرى جرى تصميمها خصيصاً للحصول على مسافات أطول بين نقطة تطبيق القوّة ومحور الدوران، وذلك للحصول على عزم دوران أكبر، مثل مفتاح الربط.
4. اسأل الطلاب: لِمَ يكون لمفتاح رافعة السيارة ذراع طويل جدًّا؟ ماذا يحدث إذا قمت بتقصير الذراع؟

الدّرس 3-1
العزم والاتّزان الدوراني

تشهد الدَّوحة حالة عمران دائم. ولحسن الحظّ، أنّ لدينا آلات تجعل البناء أكثر أمانًا وأسرع ممّا كان عليه في العصور القديمة. واحدة من الآلات الأكثر شُيوعًا، والمستخدَمة في تشييد المباني الشّاهقة، هي الرّافعة البُرجيّة.

تصل الرّافعة البُرجيّة العملاقة إلى قمّة البرج. تكون قاعدة الرّافعة ثابتة لا تتحرّك، وعند قمّتها عارضة أفقية طويلة تُسمّى الذّراع، وهي قابلة لِلدّوَران. تعمل الرّافعة البُرجيّة من خلال مُوازنة عزمَي قوّتين. إحدى هاتين القوّتين، هي الجمل المُراد رفعه، في حين أنّ القوّة الأخرى هي ثِقل مُوازِن ضخم في الطّرف الآخر من الذّراع. لِلحفاظ على التّوازُن، يتزِلق كلّ من الجمل والثّقل المُوازِن ذهابًا وإيابًا على طول الذّراع. يتطلّب ذلك دقّة وحذرًا بالغَين من جانب مُشغّل الرّافعة في مقصورة التشغيل، الّتي تقع في الجزء العُلويّ من الرّافعة.

مخرجات التعلُّم

P1105.1 يطبّق عزم القوّة وعزم الازدواج ومبدأ العزوم على نظام في حالة اتّزان، مع ما يتطلّب ذلك من عمليّات حسابيّة.

المفردات

عزم القوّة Moment of a force (torque)	
خطّ التّأثير	Line of action
ذراع الرّافعة	Lever arm
نيوتن.متر	Newton.meter
ردّ فعل الدّعم	Support reaction
الازدواج	Couple
مركز الدوران	Center of rotation

عزم القوّة

يُطبّق العامل في **الشّكل 1-21** قوّة على الصنبور ولكنّه لا يتوقّع تحريكه من مكان إلى آخر. بالمقابل فإن البرغي في طرف الأنبوب يدور لأن القوّة التي يطبّقها المفك تنشئ عزماً. **العزم Torque** هو حاصل ضرب القوّة في طول ذراع القوّة، وللعزوم تأثيرٌ يؤدي إلى حركة دورانيّة.

سؤال للمناقشة

ما الذي يجعل الأجسام تدور بدلًا من أن تتحرّك على خطّ أو مسار مُنحَنٍ؟

الشّكل 1-21 ينشأ العزم عند تطبيق قوّة تؤدي إلى الدوران.

والعزم بالنّسبة إلى الحركة الدّوَرانيّة كما القوّة بالنّسبة إلى الحركة الانتقاليّة. ينشأ العزم عندما لا يمرّ خطّ تأثير القوّة في مركز دوَران الجسم. وخطّ تأثير القوّة هو الخطّ الوهميّ الّذي يكون في اتّجاه القوّة ويمرّ في نقطة تأثيرها.

يُمَثّل العزم عادة بالحرف اليونانيّ الصّغير (τ "tau") و يُلفظ تاو. يساوي العزم τ حاصل ضرب ذراع القوّة L في مقدارها F. ووفق **المعادلة 1-9** فإنّ وحدة قياس العزم هي: نيوتن.متر N.m.

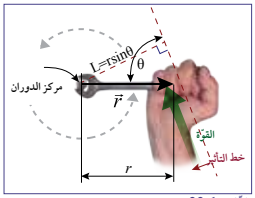
9-1 عزم القوة

$$\tau = Fr\sin\theta = FL$$

عزم القوّة (N.m)	τ	
المسافة من محور الدَّوران إلى نقطة تأثير القوّة (m)	r	
القوة (N)	F	
الزاوية بين خط تأثير القوّة و r	θ	
ذراع القوة، وهو المسافة العمودية من محور الدّوران إلى خط تأثير القوّة (m)	L	

يعتمد العزم على كلّ من القوّة والمسافة (**الشّكل 1-22**). يمكن للقوّة نفسها أن تنتج عَزماً أكبر أو أقل اعتماداً على المسافة والزّاوية. فيكون العزم أقصى ما يمكن إذا كانت $\theta = 90°$ ويكون صفرًا إذا كانت $\theta = 0°$. في العديد من الحالات تُطبّق القوّة بشكل عمودي على الخط الذي يصل محور الدوران بنقطة تطبيق القوّة. في هذه الحالة يكون $\sin 90° = 1$

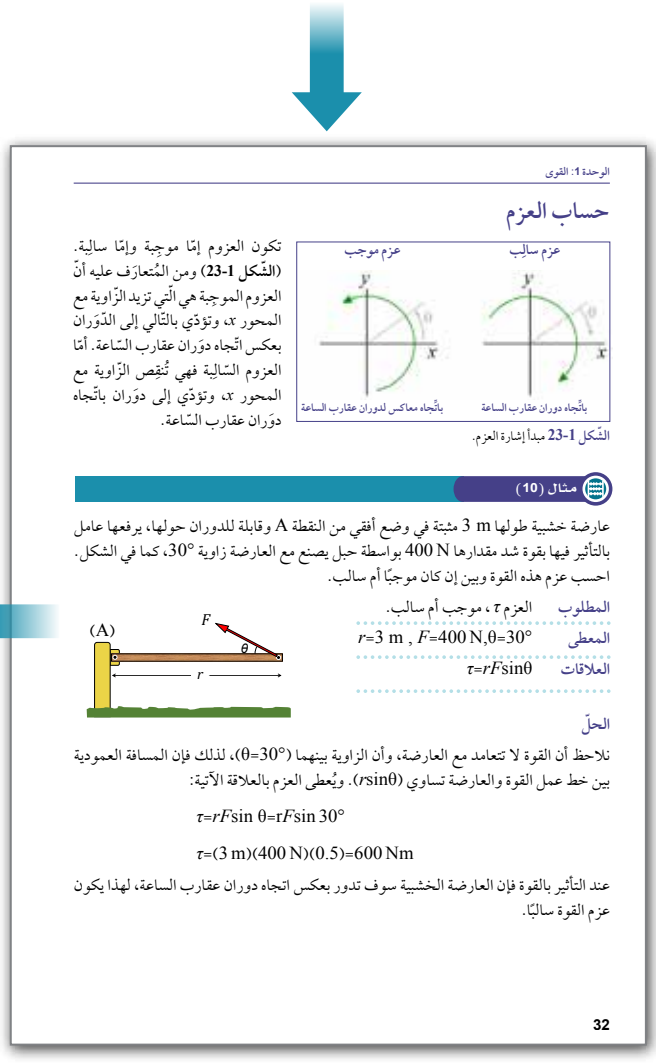
ويكون العزم في **المعادلة 1-9** مساويًا $\tau = rF$



الشّكل 1-22 حساب العزم.

حساب العزم

1. ضع عصا مترية (مسطرة) فوق ركيزة (نقطة ارتكاز)، حيث تكون العصا متَّزنة.
2. كلّف واحدًا من الطلاب أن يضع كتلة معيّنة على أحد جانبي العصا، واطلب منه أن يقيس وزنها، وعزم دورانها.
3. أضف مجموعة مختلفة من الكتل إلى الجانب الآخر من العصا لموازنتها.
4. اعرض المعادلة 1-1.
5. أعط الطلاب مثالًا يبيّن كيف يمكننا موازنة كتلة 100g، تبعد 0.1m عن محور دوران، بكتلة 200g موضوعة على الجانب الآخر.
6. احسب المثال على اللوح مع الطلاب.
7. إذا كان لديك الوقت الكافي، كلِّف واحدًا من الطلاب أن ينفِّذ المثال عمليًّا.



الوحدة 1: القوى

حساب العزم

تكون العزوم إمّا موجبة وإمّا سالبة. (الشّكل 1-23) ومن المُتعارَف عليه أنّ العزوم الموجبة هي الّتي تزيد الزّاوية مع المحور x، وتؤدّي بالتّالي إلى الدّوَران بعكس اتّجاه دوَران عقارب السّاعة. أمّا العزوم السّالبة فهي تُنقِص الزّاوية مع المحور x، وتؤدّي إلى دوَران باتّجاه دوَران عقارب السّاعة.

الشّكل 1-23 مبدأ إشارة العزم.

مثال (10)

عارضة خشبية طولها 3 m مثبتة في وضع أفقي من النقطة A وقابلة للدوران حولها، يرفعها عامل بالتأثير فيها بقوة شد مقدارها 400 N بواسطة حبل يصنع مع العارضة زاوية 30°، كما في الشكل. احسب عزم هذه القوة وبين إن كان موجبًا أم سالب.

المطلوب: العزم τ ، موجب أم سالب.

المعطى: $r=3\ m$, $F=400\ N, \theta=30°$

العلاقات: $\tau=rF\sin\theta$

الحلّ

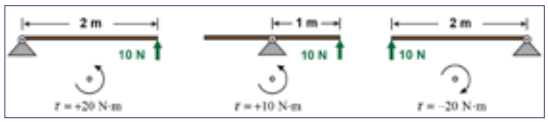
نلاحظ أن القوة لا تتعامد مع العارضة، وأن الزاوية بينهما ($\theta=30°$)، لذلك فإن المسافة العمودية بين خط عمل القوة والعارضة تساوي ($r\sin\theta$). ويُعطى العزم بالعلاقة الآتية:

$$\tau=rF\sin\theta=rF\sin 30°$$

$$\tau=(3\ m)(400\ N)(0.5)=600\ Nm$$

عند التأثير بالقوة فإن العارضة الخشبية سوف تدور بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة، لهذا يكون عزم القوة سالبًا.

يعتمد عزم أي قوّة على موقع خطّ تأثير هذه القوّة بالنسبة إلى موقع محور الدّوَران. يمكن لِلقوّة ذاتها أن تنتج عُزومًا مختلفة باختلاف محاور الدّوَران. يُظهِر **الشّكل 1-24** أدناه القوّة ذاتها 10 N+ وهي تنتج عُزومًا مقدارها 20 N.m+ و 10 N.m+ و 20 N.m- لدى تطبيقها عند ثلاث نقاط مختلفة في مواقعها من محور الدوران.



الشّكل 1-24 القوّة ذاتها ومقدارها 10N يمكنها إنتاج ثلاثة عزوم مختلفة.

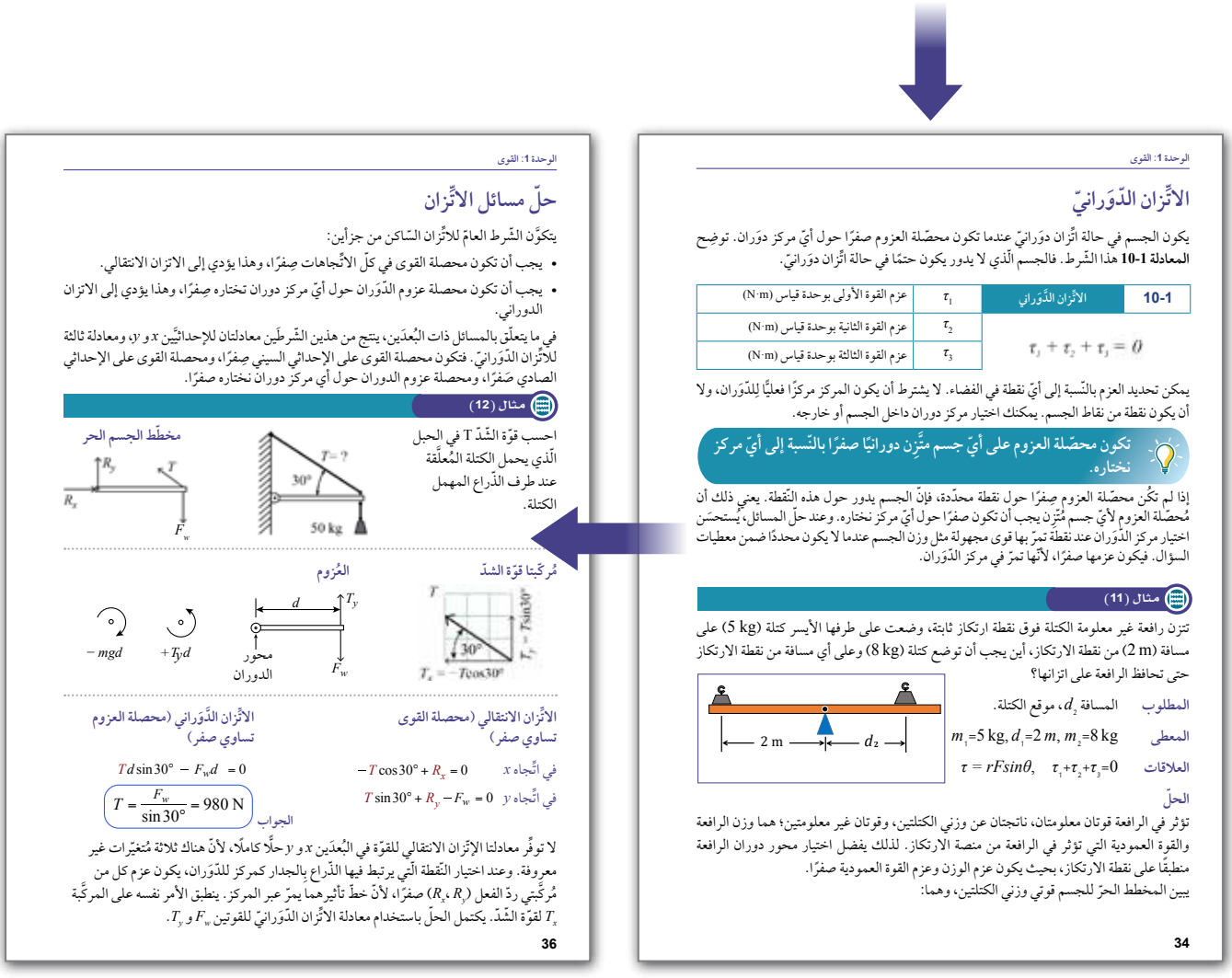
يعتمد العزم على القوّة وعلى موقع نقطة تأثيرها. القوّة نفسها يمكن أن تُنتِج عزومًا مختلفة.

تُحسَب مُحصِّلة العُزوم بجَمْعها حول محور دوَران معيَّن. يعتمد العزم على اختيار محور الدّوَران. يمكن جمع العزوم فقط عندما يكون محور دوران الجسم واحدًا. يُظهِر **الشّكل 1-25** لوحًا مُتّزِنًا مُحصِّلة عُزوم القوى الثّلاث المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

الشّكل 1-25 تكون مُحصّلة العزوم صفرًا على لوح متّزِن.

قوى رد الفعل وحل مسائل الاتّزان

1. عرّف قوّة رد فعل الدعامة من خلال سؤال الطلاب عن السبب الذي يجعلنا لا نسقط عن الكرسي الذي نجلس عليه. عندها تستطيع أن تحدِّد رد فعل الكرسي. دع الطلاب يجدوا قيمة قوّة رد فعل الكرسي. ذكِّرهم أنها تساوي وزن الشخص الذي يجلس على الكرسي.
2. هناك قوى رد فعل أخرى كلما كان الجسم في حالة اتزان. علينا أن نأخذ هذه القوى دائمًا في الحسبان.
3. ساعد الطلاب على حل المسألة رقم 9 على اللوح.
4. هذه المسألة فقط يحتاج حلها إلى المزيد من التمرين. اطرح على الطلاب أسئلة مختلفة، وذلك بتغيير الزاوية والوزن المعلّق.
5. سوف يحتاج الطلاب إلى كثير من التطبيقات. لذلك قم بحل مسائل من تقويم الدرس وتقويم الوحدة.
6. بدلًا من إعطائهم قوّة محدّدة، يمكن تزويدهم بمركّبات تلك القوّة.



الوحدة 1: القوى

الاتّزان الدّورانيّ

يكون الجسم في حالة اتّزان دوَرانيّ عندما تكون محصّلة العزوم صفرًا حول أيّ مركز دوَران. توضِح **المعادلة 10-1** هذا الشّرط. فالجسم الّذي لا يدور يكون حتمًا في حالة اتّزان دوَرانيّ.

10-1 الاتّزان الدّوَراني		
$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0$	τ_1	عزم القوة الأولى بوحدة قياس (N·m)
	τ_2	عزم القوة الثانية بوحدة قياس (N·m)
	τ_3	عزم القوة الثالثة بوحدة قياس (N·m)

يمكن تحديد العزم بالنّسبة إلى أيّ نقطة في الفضاء. لا يشترط أن يكون المركز مركزًا فعليًا للدّوَران، ولا أن يكون نقطة من نقاط الجسم. يمكنك اختيار مركز دوران داخل الجسم أو خارجه.

تكون محصّلة العزوم على أيّ جسم متّزن دورانيًا صفرًا بالنّسبة إلى أيّ مركز نختاره.

إذا لم تكُن محصّلة العزوم صِفرًا حول نقطة محدّدة، فإنّ الجسم يدور حول هذه النّقطة. يعني ذلك أن مُحصّلة العزوم لأيّ جسم مُتّزن يجب أن تكون صفرًا حول أيّ مركز نختاره. وعند حلّ المسائل، يُستحسَن اختيار مركز الدّوَران عند نقطة تمرّ بها قوى مجهولة مثل وزن الجسم عندما لا يكون محددًا ضمن معطيات السؤال. فيكون عزمها صفرًا، لأنّها تمرّ في مركز الدّوَران.

مثال (11)

تتزن رافعة غير معلومة الكتلة فوق نقطة ارتكاز ثابتة، وضعت على طرفها الأيسر كتلة (5 kg) على مسافة (2 m) من نقطة الارتكاز، أين يجب أن توضع كتلة (8 kg) وعلى أي مسافة من نقطة الارتكاز حتى تحافظ الرافعة على اتزانها؟

المطلوب: المسافة d_2، موقع الكتلة.

المعطى: $m_1=5\text{ kg}, d_1=2\text{ m}, m_2=8\text{ kg}$

العلاقات: $\tau = rF\sin\theta, \quad \tau_1+\tau_2+\tau_3=0$

الحلّ

تؤثر في الرافعة قوتان معلومتان، ناتجتان عن وزني الكتلتين، وقوتان غير معلومتين؛ هما وزن الرافعة والقوة العمودية التي تؤثر في الرافعة من منصة الارتكاز. لذلك يفضل اختيار محور دوران الرافعة منطبقًا على نقطة الارتكاز، بحيث يكون عزم الوزن وعزم القوة العمودية صفرًا.

يبين المخطط الحرّ للجسم قوتي وزني الكتلتين، وهما:

الوحدة 1: القوى

حلّ مسائل الاتّزان

يتكوَّن الشّرط العامّ للاتّزان السّاكن من جزأين:

- يجب أن تكون محصلة القوى في كلّ الاتّجاهات صِفرًا، وهذا يؤدي إلى الاتزان الانتقالي.
- يجب أن تكون محصلة عزوم الدّوَران حول أيّ مركز دوران تختاره صِفرًا، وهذا يؤدي إلى الاتزان الدوراني.

في ما يتعلّق بالمسائل ذات البُعدَين، ينتج من هذين الشّرطَين معادلتان للإحداثيَّين x و y، ومعادلة ثالثة للاتّزان الدّوَرانيّ. فتكون محصلة القوى على الإحداثي السيني صِفرًا، ومحصلة القوى على الإحداثي الصادي صَفرًا، ومحصلة عزوم الدوران حول أي مركز دوران نختاره صفرًا.

مثال (12)

احسب قوّة الشّدّ T في الحبل الّذي يحمل الكتلة المُعلّقة عند طرف الذّراع المهمل الكتلة.

مُركّبتا قوّة الشدّ

المُزوم

الاتّزان الانتقالي (محصلة القوى تساوي صفر)	الاتّزان الدّوَراني (محصلة العزوم تساوي صفر)
في اتّجاه x: $-T\cos 30° + R_x = 0$	$Td\sin 30° - F_w d = 0$
في اتّجاه y: $T\sin 30° + R_y - F_w = 0$	الجواب: $T = \frac{F_w}{\sin 30°} = 980\text{ N}$

لا توفّر معادلتا الإتّزان الانتقالي للقوّة في البُعدَين x و y حلًّا كاملًا، لأنّ هناك ثلاثة مُتغيّرات غير معروفة. وعند اختيار النّقطة الّتي يرتبط فيها الذّراع بالجدار كمركز للدّوَران، يكون عزم كل من مُركّبتي ردّ الفعل (R_x, R_y) صفرًا، لأنّ خطّ تأثيرهما يمرّ عبر المركز. ينطبق الأمر نفسه على المركّبة T_x لقوّة الشّدّ. يكتمل الحلّ باستخدام معادلة الاتّزان الدّوَرانيّ للقوتين F_w و T_y.

الازدواج

1. دع أحد الطلاب يجلس على كرسي دوّار ويداه ممدودتان يمينًا ويسارًا. وليدفعه طالب آخر برفق عند إحدى يديه، بحيث يسبِّب دورانه مع الكرسي. سوف يلاحظ الطلاب أن زميلهم سيدور ولكن يمكن للكرسي أن ينزلق أيضا بحركة انتقالية نتيجة وجود قوّة دفع (بوساطة الزميل الآخر) غير متوازنة.

2. هل تلاحظ أن الكرسي يتعرض لحركتين: دورانية وانتقالية تحت تأثير هذه القوّة؟ كيف يمكننا تطبيق قوّة أخرى تحقّق حركة دورانية فقط للكرسي، وتبقيه في حالة اتزان انتقالي؟ وجّه النقاش حيث يرى الطلاب أن تطبيق قوّة أخرى عند اليد الثانية للطالب ومعاكسة للقوّة الأولى، يساهم أكثر في دوران الكرسي؛ ولكنه يمنع حركته الانتقالية، لأن محصلة القوتين يصبح صفرًا.

3. اشرح للطلاب أن نظام القوّتين المتساويتين والمتعاكستين عند يدَي الطالب يُسمّى ازدواجًا. يُؤدي الازدواج إلى دوران، لأنه يُنتِج عزم دوران، لكنّه لا يُنتِج حركة انتقالية، لأن محصلة قوّتيه يساوي صفرًا. يمكنك أن ترسم نظام الازدواج كما يبدو من الأعلى، حيث يَظهر أن محصِّلة قوّتيه صفرٌ.

أمثلة

1. ذكِّر الطلّاب بأن الازدواج موجود في أماكن عدة، مثل مقود السيّارة، حيث توجد محصّلة عزم دوران، لأن للقوتين المطبَّقتين المقدار نفسه، واتجاهَيْن متعاكسين.

2. قد يكون الازدواج موجودًا في البكرة، حيث تعمل إحدى قوتيّ الشدّ على تدوير البكرة إلى الأسفل، والأخرى إلى الأعلى.

3. امنح الطلاب مدّة زمنية مقدارها 5 دقائق للبحث عن تطبيق آخر للازدواج، وشرحه لبقية طلاب الصف.

الدرس 1-3: العزم والاتّزان الدوراني

الازدواج

عند قيادة السيارة والانعطاف بها يسارًا، يُطبّق السّائق عند طَرَفَي المِقوَد قوّتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه كما في الشّكل 1-28. يسمى نظام القوتين هذا بالازدواج Couple ويكون عزمه حاصل جمع عزمي القوتين في اتجاه واحد وهو الاتجاه المعاكس لدوران عقارب الساعة في هذه الحالة. وبما أن عزم كل من القوتين هو $\frac{d}{2}F$، يكون عزم الازدواج Fd أي حاصل ضرب مقدار إحدى القوتين بالمسافة العمودية بين خطّي تأثيرهما. ويكون عزم الازدواج هذا ثابت بغض النظر عن موقع محور الدوران.

الشّكل 1-28 ازدواج من قوتين في الحركة الدائرية لمقود سيارة.

يُنتج الازدواج عزما ويؤدّي إلى حركة دورانيّة فقط لأن محصّلة قوّتيه صفرًا

مثال (13)

تُطبّق قوة مقدارها 100N على عجلة قطرها 0.25m كما في الشكل المجاور. احسب قوة رد الفعل R التي تمنع العجلة ككل من الحركة الانتقالية والعزم τ الناتج عن القوة والذي يؤدي إلى دوران العجلة. افترض أن خط تأثير القوة عموديّ على نصف قطر العجلة.

المطلوب: قوّة رد الفعل R ، τ

المعطى: $F = 100\ \text{N}$ ، $d = 0.25\ \text{m}$

العلاقات: $\tau = rF\sin\theta$

الحل

يمكن تحليل القوة 100 N إلى ازدواج وقوة تمر في محور الدوران. يكون عزم الازدواج للقوّة:

$$\tau = rF\sin 90° = (0.125\ \text{m})(100\ \text{N})(1) = 12.5\ \text{N}\cdot\text{m}$$

تُحلّل القوّة إلى مركّبتيها x و y:

$$F_y = -F\cos 30° = (100\ \text{N})(0.867) = -86.7\ \text{N}$$

$$F_x = F\sin 30° = (100\ \text{N})(0.500) = 50.0\ \text{N}$$

$$\vec{F} = (50.0\ ,\ -86.7)\ \text{N}$$

يجب أن تكون قوة رد الفعل R متّزنة مع القوة المطبّقة F:

$$\vec{R} + \vec{F} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{R} = -\vec{F} = (-50.0\ ,\ 86.7)\ \text{N}$$

37

نشاط 1-3 العزم والعضلات

الإجابات/ عيّنة بيانات

1. هذا نشاط جماعي يستدعي أن تنفّذه مجموعات من ثلاثة طلاب أو أربعة، حيث يمكنهم التواصل والتعاون. اقضِ بعض الوقت قبل النشاط، في شرح الفرق بين أنواع الروافع الثلاث، وكيف تقوم أجزاء من أجسامنا بعمل مشابه لعمل الروافع تمامًا. سوف تتنوّع طرائق تجميع الطلاب للكتل؛ وبالتالي، تتنوّع بياناتهم. يجب النظر إلى طرائقهم، ودقة حساباتهم أكثر من الاهتمام بالبيانات التي جمعوها.

2. لن تكون قيم محصِّلة عزم الدوران متساوية عند جميع الطلاب ، ولا سيّما في الروافع من النوعين الثاني والثالث. اسأل الطلاب، بعد الانتهاء من العمل في المختبر، عن سبب عدم دقة بياناتهم. قد يشيرون إلى أنهم لم يأخذوا كتلة المسطرة في الحسبان؛ فهي تؤثر بوزنها. ناقش أين يؤثر وزن المسطرة إلى أسفل، وإن كان بإمكانهم إعادة حساباتهم بإضافة وزن المسطرة.

توسّع:

يمكنك، إذا سمح الوقت، أن تكلّف الطلاب بناء رافعة من النوع الثالث، تتَّزن فيها المقاومة من دون قوّة. ذكِّرهم بأن القوّة هنا هي قوّة رد فعل وزن المسطرة. هل يمكنهم حساب وزن المسطرة؟ كم ستكون المسافة بين نقطة تأثير القوة (رد فعل وزن المسطرة) ومركز الكتلة؟

لجعل هذا أكثر دقة، يمكن للطلاب تعليق المسطرة من نقطة ارتكاز، حيث تتَّزن من دون أي أثقال. وهذا سيسمح لهم بتحديد موقع مركز كتلة المسطرة. ناقش معهم لماذا لا نستطيع أن نفترض أن مركز كتلة المسطرة يقع في منتصفها. (قد لا يكون عرض المسطرة هو نفسه في جميع النقاط وخصوصًا إذا كانت قديمة ومتآكلة).

الوحدة 1: القوى

نشاط عملي

3-1 العزم والعضلات

سؤال الاستقصاء	كيف تشرح العزوم حركة عضلات الذّراع والقدم؟
المواد المطلوبة	رافعة، خيط، كتل، ميزان زنبركي أو مستشعر للقوّة، ميزان عادي

الخطوات

1. أنشِئ روافع من الأنواع الأوّل والثّاني والثّالث، وسجِّل على الأقلّ مجموعتَين من الأوزان المعلّقة التي تعمل على اتزانها.
2. قدِّر المسافة بين نقطة الارتكاز ونقطة تأثير القوّة لكلّ من الذّراع والقدم مستخدمًا العضلة ذات الرّأسَين ووتر العرقوب كقوّتَي تأثير.
3. أنشِئ رافعة مشابهة لكلّ من الذّراع والقدم، معتمدًا على القياسات المقدّرة في الخطوة السابقة وقدّر الكفاءة الميكانيكيّة في كلّ حالة.

جانب القوة (F_i)				جانب المقاومة (F_o)			
الوزن (N)	المسافة (m)	عزم الدوران (N·m)		الوزن (N)	المسافة (m)	عزم الدوران (N·m)	
متوسط عزم الدّوران				متوسط عزم الدّوران			

أسئلة

a. استخدِم الجدول لحساب متوسط عزم الدّوَران لكلّ مجموعة اتّزان.
b. احسِب القوّة الّتي يؤثر بها الوتر في كعب عرقوبك عندما تقف على إبهامَي رجليكَ وقوّة العضلة ذات الرّأسَين في ذراعك عندما تحمل وزنًا كتلته 5kg. قارن بين هاتَين القوّتَين وبين وزنك ووزن الكتلة 5 kg.

38

عيّنة بيانات:

رافعة من النوع الأول 1

جانب القوّة (F_i)			جانب المقاومة (F_0)		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)
1.47	0.5	0.74	4.9	0.1	0.49
			0.8	0.3	0.24
محصّلة العزم		-0.74	محصّلة العزم		0.73

رافعة من النوع الأول 2

جانب القوّة (F_i)			جانب المقاومة (F_0)		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)
1.96	0.4	0.78	0.98	0.3	0.29
			1.23	0.4	0.49
محصّلة العزم		-0.78	محصّلة العزم		0.78

رافعة من النوع الثاني 1

جانب القوّة (F_i)			جانب المقاومة (F_0)		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)
0.22	0.45	0.099	0.99	0.1	0.099
محصّلة العزم		-0.099	محصّلة العزم		0.099

رافعة من النوع الثاني 2

جانب القوّة (F_i)			جانب المقاومة (F_0)		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)
0.6	0.48	0.29	1.96	0.15	0.29
محصّلة العزم		-0.29	محصّلة العزم		0.29

رافعة من النوع الثالث 1

جانب القوّة (F_i)			جانب المقاومة (F_0)		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)
5.8	0.2	1.16	2.9	0.4	1.16
محصّلة العزم		-1.16	محصّلة العزم		1.16

رافعة من النوع الثالث 2

جانب القوّة (F_i)			جانب المقاومة (F_0)		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (Nm)
18.6	0.1	1.86	0.98	0.4	0.39
			4.9	0.3	1.47
محصّلة العزم		-1.86	محصّلة العزم		1.86

الأسئلة:

a. استخدِم الجدول لحساب محصّلة عزم الدّوَران لكلّ مجموعة اتِّزان.

يجري ذلك باستخدام الجداول.

b. احسِب القوّة الّتي يُطبّقها كل من وترعرقوب قدمك عندما تقف على إبهامَي قدميك، والقوّة التي تطبّقها العضلة ذات الرأسين في ذراعك، عندما تحمل وزنًا كتلته 5 kg. قارن بين هاتَين القوّتَين، وبين وزنك ووزن الكتلة 5 kg.

لحساب القوّة التي يطبقّها وتر عرقوب قدمك، عليك أن تفترض قيمة لكتلة جسمك أو تقيسها للحصول على قيمة دقيقة، ثم تقيس المسافة بين منتصف عظم الساق الخلفي وإبهام قدمك أيضًا، والمسافة بين منتصف عظم الساق الخلفي وكعب قدمك. (تتنوع إجابات الطلاب، بحسب كتل أجسامهم وحجوم أقدامهم).

إذا كانت: كتلة الطالب = 70 Kg؛ يكون وزنه $F_0 = 70 \times 9.8 = 686$ N؛ والمسافة من منتصف عظم الساق الخلفي إلى إبهام القدم $d_0 = 0.13$ m؛ والمسافة من منتصف عظم الساق الخلفي إلى الكعب $d_i = 0.03$ m.

فإن: $T_0 = 686 \times 0.13 = 89$ N.m

أي إن: $F_i = \frac{89}{0.03} = 2967$ N

وبالنظر إلى أن لنا قدمين، فإن كل وتر عرقوب في كعب القدم يقوم بنصف الجهد:

$F_i = \frac{2967}{2} = 1484$ N

لحساب القوّة التي تطبّقها العضلة ذات الرأسين، تحتاج إلى قياس المسافة من الكوع إلى نهاية العضلة ذات الرأسين (من الصعب القيام بذلك، إذ يمكن للطالب أن يقيس طول عضده ويقسمه على 2 كتقريب. تحتاج أيضًا إلى قياس المسافة بين كوعك وأصابع يدك. (تتنوّع إجابات الطلاب بحسب مقاييس سواعدهم).

إذا كانت المسافة بين الكوع والعضلة ذات الرأسين هي $d_i = 0.05$ m، والمسافة بين الكوع وأصابع اليد هي $d_0 = 0.28$ m؛ ووزن الكتلة $F_0 = 5 \times 9.8 = 49$ N،

يكون عزم المقاومة: $T_0 = 49 \times 0.28 = 13.7$ N.m، وهو مساوٍ لعزم القوّة، فتكون القوّة:

$F_i = \frac{13.7}{0.05} = 274$ N

نلاحظ أن وتر عرقوبنا يحمل، إذا وقفنا على إبهاميْ قدمينا، وزنًا يساوي مثليْ وزننا تقريبًا.

في حين أن القوّة التي تطبّقها العضلة ذات الرأسين لحمل وزن كتلته 5 kg، تكون حوالي ثلث ($\frac{1}{3}$) وزننا.

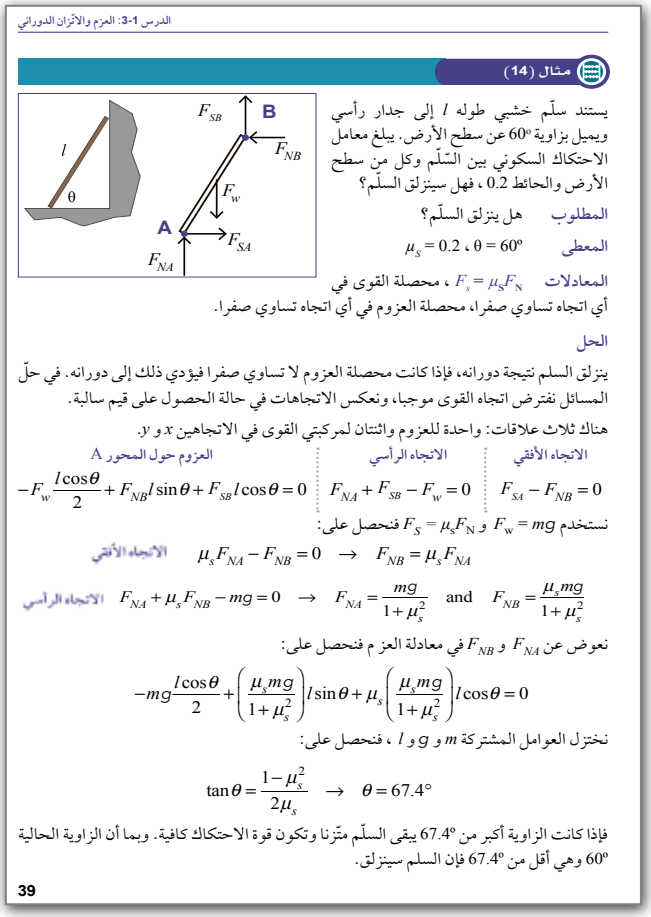
مثال ومراجعة

مسألة السلّم هي فكرة رائعة تعرضها على الطلاب لتوضيح جميع المفاهيم التي تعلّموها في هذه الوحدة.

1. استخدم السلّم كفرصة للمناقشة، واسأل الطلاب إن كانوا يعتقدون أنه سيسقط أم لا.
2. اطلب منهم رسم مخطط جسم حر للسلّم من دون الاطلاع على حلّه في الكتاب. وبهذه الطريقة سيقومون بمراجعة مخططات الجسم الحر أيضًا.
3. اطلب منهم إضافة القوى إلى المخطَّط على اللوح. ولاحظ كم طالبًا منهم يعرف القوى الصحيحة. هل هم بحاجة إلى إعادة تعلّم؟
4. بمجرد أن يكون لدى الطلاب فهم كامل لمخطط الجسم الحر، قم بحل بقية السؤال بمشاركتهم.

مراجعة الوحدة

1. كلّف الطلاب، لإنهاء هذه الوحدة، إعداد قائمة بالأشياء التي تعلّموها. ما الموضوعات التي عرفوها من قبل؟ وما الذي يعرفونه الآن بالفعل؟
2. إذا توفر لديك وقت، امنح الطلاب فرصة لحل مزيد من أسئلة الاتزان.
3. يمكن للطلاب إنشاء خريطة مفاهيم أيضًا، لربط جميع المفاهيم التي تعلّموها.



الدرس 1-3: العزم والاتزان الدوراني

مثال (14)

يستند سلّم خشبي طوله l إلى جدار رأسي ويميل بزاوية 60^o عن سطح الأرض. يبلغ معامل الاحتكاك السكوني بين السّلّم وكل من سطح الأرض والحائط 0.2 ، فهل سينزلق السلّم؟

المطلوب هل ينزلق السلّم؟

المعطى $\mu_S = 0.2$ ، $\theta = 60^o$

المعادلات $F_s = \mu_s F_N$ ، محصلة القوى في أي اتجاه تساوي صفرا، محصلة العزوم في أي اتجاه تساوي صفرا.

الحل

ينزلق السلم نتيجة دورانه، فإذا كانت محصلة العزوم لا تساوي صفرا فيؤدي ذلك إلى دورانه. في حلّ المسائل نفترض اتجاه القوى موجبا، ونعكس الاتجاهات في حالة الحصول على قيم سالبة.

هناك ثلاث علاقات: واحدة للعزوم واثنتان لمركبتي القوى في الاتجاهين x و y.

الاتجاه الأفقي	الاتجاه الرأسي	العزوم حول المحور A
$F_{SA} - F_{NB} = 0$	$F_{NA} + F_{SB} - F_w = 0$	$-F_w \frac{l\cos\theta}{2} + F_{NB} l\sin\theta + F_{SB} l\cos\theta = 0$

نستخدم $F_w = mg$ و $F_S = \mu_s F_N$ فنحصل على:

الاتجاه الأفقي $\mu_s F_{NA} - F_{NB} = 0 \rightarrow F_{NB} = \mu_s F_{NA}$

الاتجاه الرأسي $F_{NA} + \mu_s F_{NB} - mg = 0 \rightarrow F_{NA} = \frac{mg}{1+\mu_s^2}$ and $F_{NB} = \frac{\mu_s mg}{1+\mu_s^2}$

نعوض عن F_{NA} و F_{NB} في معادلة العز م فنحصل على:

$$-mg\frac{l\cos\theta}{2} + \left(\frac{\mu_s mg}{1+\mu_s^2}\right) l\sin\theta + \mu_s\left(\frac{\mu_s mg}{1+\mu_s^2}\right) l\cos\theta = 0$$

نختزل العوامل المشتركة m و g و l ، فنحصل على:

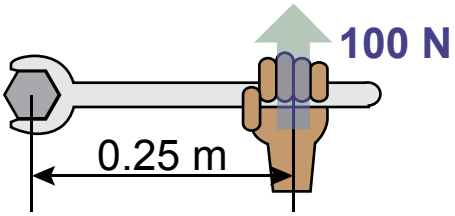
$$\tan\theta = \frac{1-\mu_s^2}{2\mu_s} \rightarrow \theta = 67.4^\circ$$

فإذا كانت الزاوية أكبر من 67.4^o يبقى السلّم متّزنا وتكون قوة الاحتكاك كافية. وبما أن الزاوية الحالية 60^o وهي أقل من 67.4^o فإن السلم سينزلق.

39

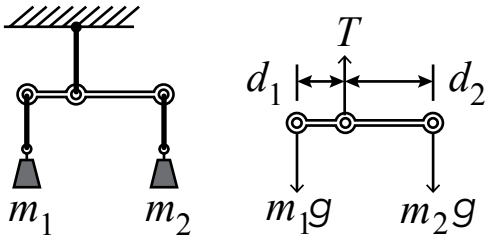
تقويم الدّرس 1-3 — الإجابات

1. ما عزم الدَّوران النّاتج من القوّة المرسومة في المخطّط المُقابِل؟



$\tau = FL = 100 \times 0.25 = 25$ N.m

2. أيّ من المعادلات الآتية تُعبِّر عن الاتِّزان الدّوَرانيّ لِلمُخطَّط المُقابل؟



a. $m_1g + m_2g + T = 0$

b. $m_1gd_1 + m_2gd_2 = 0$

c. $m_1gd_1 - m_2gd_2 = 0$

d. $m_1gd_1 + m_2gd_2 + T = 0$

(c) $m_1gd_1 - m_2gd_2 = 0$

3. صف مَوقفًا تستخدم فيه قوّة تؤدّي إلى عزم دوَرانيّ قيمته صفر.

الدفع على مفصل الباب لا يولّد عزم دوران، لأن خط تأثير القوّة يمر من محور الدوران.

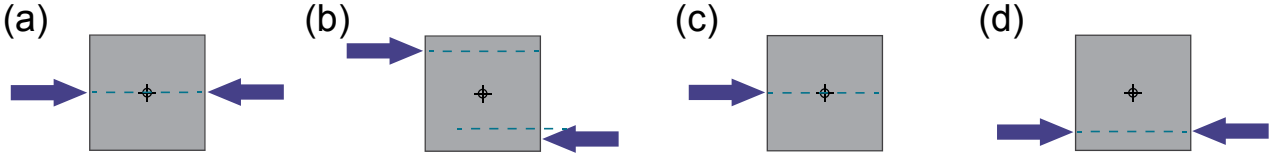
4. تؤثِّر كلّ من القوى المُبيَّنَة أدناه على المُكعَّب بقوّة 100 N. يوضَّح كلّ من مركز الدَّوَران وخطّ (خطوط) التّأثير، في كلّ حالة من الحالات أدناه.

a. أيّ من الحالات الأربع (a) أو (b) أو (c) أو (d) تُظهر توازُنًا انتقاليًا فعليًّا للقوى. (قد تكون أكثر من حالة واحدة صحيحة).

تظهر الحالات الثلاث (a) و(b) و(d) جميعها توازُنًا انتقاليًا فعليًّا للقوى؛ والحالة (c) هي الوحيدة التي لها محصلة قوّة غير صفرية على الكتلة.

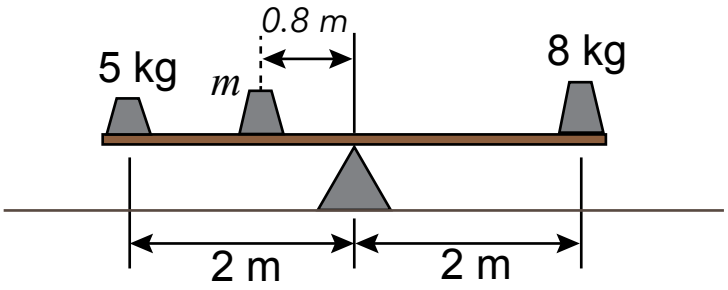
b. أيّ من الحالات الأربع (a) أو (b) أو (c) أو (d) تُظهر الكتلة في اتِّزان دوَرانيّ؟ (قد تكون أكثر من حالة واحدة صحيحة).

تُظهر الحالات (a) و(c) و (d) جميعها الكتلة في اتِّزان دوَرانيّ؛ والحالة (b) هي الوحيدة التي لها محصِّلة عزم دوراني غير صفرية على الكتلة.



تقويم الدّرس 3-1 — الإجابات

5. احسب قيمة الكتلة m ، من أجل اتِّزان العارضة الموجودة في الرسم البيانيّ أدناه.



$$\tau_1 = 2 \times 5 \times 9.8 = +98\ N.m$$

$$\tau_2 = 0.8 \times m \times 9.8 = +7.84\ m\ \ N.m$$

$$\tau_3 = (-2) \times 8 \times 9.8 = -156.8\ N.m$$

$$\tau_{\text{المحصلة}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 98 + 7.84\ m - 156.8 = 0$$

$$\Rightarrow 7.84\ m = 58.8$$

$$\Rightarrow m = 7.5\ kg$$

إعادة تدريس

إن مبدأ العزم هو امتداد لمفهوم القوة. يمكن للطلاب فهم المبدأ، ولكن قد يصعب عليهم متابعة الحسابات الرياضية.

1. سلْهم عن كيفية تطبيق قوة من أجل فتح غطاء لولبي لوعاء اسطواني الشكل. اطلب منهم استخدام كلمة "عزم" في إجاباتهم. إن كتابة الطلاب لمفردات علمية جديدة ومفاهيم جديدة تعتبر خطوة فعّالة في التعليم.
2. اصنع رافعة بتعليق عصا مترية بواسطة خيط مربوط عند الإشارة 20 cm . علّق كوبًا ممتلئًا بقطع حديدية عند الإشارة 0 cm، واحصل على اتزان الرافعة بتعليق مستشعر قوة عند الإشارة 40 cm. في هذه الحالة تكون قراءة مستشعر القوة مساوية لوزن الكوب. انقل المستشعر إلى الإشارات 60 cm ثم 80 cm ثم 100 cm، واسأل الطلاب في كل مرّة عن كيفية تغيير القوة بحيث نحافظ على اتزان الرافعة.
3. وضّح لهم أن حساب القوة يتطلب حساب العزم حول طرفَيْ نقطة التعليق.

إثراء

قدّم مفهوم العزم على أنه متّجه عمودي على كلّ من متَّجهي القوة والمكان.

هناك طريقتان لضرب الكميات المتجهة: الأولى هي الضرب القياسي الذي نستخدمه لحساب مُركَّبات المُتَّجه. فإذا كانت $\hat{x}$ و$\hat{y}$ وحدتي اتجاه على المحورين x و y على التوالي، يكون:

$$\vec{F}.\hat{x}=F_x$$

$$\vec{F}.\hat{y}=F_y$$

تُسَمَّى هذه العملية من الضرب بالضرب القياسي، لأن حاصل الضرب يكون كمية قياسية وليست كمية متجهة.أما الطريقة الثانية لضرب متجهين فهي الضرب الإتجاهي، حيث تكون المحصِّلة كمية متجهة عمودية على المتجهين الأساسيين. فمثلًا، حاصل الضرب الاتجاهي لمُتَّجه مكان قوة $\vec{r}$ والقوة $\vec{F}$ هو متجه العزم $\vec{\tau}$ العمودي على كل من $\vec{r}$ و $\vec{F}$

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

نهاية الوحدة

1. يمكن استخدام ملخّص الوحدة كمراجعة للوحدة. كذلك يمكن للطلاب إعداد بطاقات عرض سريع واختبار بعضهم بعضًا، بخصوص كلمات المفردات العلمية الخاصة بهم.
2. يمكن مراجعة الوحدة بطريقة أخرى؛ وذلك بجعل الطلاب يقدّمون عرضًا لموضوعات الوحدة المختلفة.
3. إذا توفر لديك وقت، امنح الطلاب فرصة التدرّب على رسم المُتّجهات وجمعها باستخدام الرسم البياني.
4. كلّف أحد الطلاب قراءة فقرة ضوء على العلماء، ثم كَلّف الطلاب جمع معلومات أكثر عن أرخميدس، كواجب منزلي.
5. وضح للطلاب كيفية اتباع العلماء لخطوات المنهج العلمي في عملهم، وهي: الملاحظة والفرضية والتجربة والتواصل مع باقي العلماء.

تحضير للاختبار

1. أيّ زوج من خصائص الحركة يمكن تغييره تحت تأثير قُوّة؟

   c. اتّجاه الحركة والسّرعة.

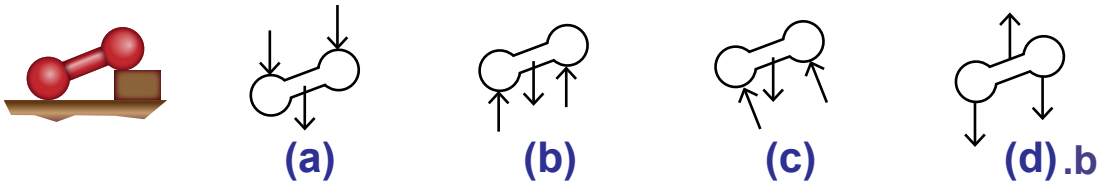
2. إذا كانت المُركّبة x لقوّة مقدارها 10 N تبلغ 6 N، فكم تبلغ المُرَكّبة y لهذه القوّة؟

$$F_x = F\cos\theta \Rightarrow \cos\theta = \frac{F_x}{F}$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{F_x}{F}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{6}{10}\right) = 53°$$

$$F_y = F\sin\theta = 10\sin 53 = 8\ N$$

3. أيّ من مخططات الجسم الحُر تمثل الجسم الأحمر بشكل صحيح؟



b. (d)

4. يؤثّر محرّك سيارة بقوّة مقدارها 100,000 N، في حين أن قوّة الاحتكاك مع الأرض مقدارها 20,000 N. ما محصلة القوى المؤثّرة في السّيّارة؟

c. $F = 100000 - 20000 = 80000\ N$ = 80,000 N

5. كم يكون وزن جسم على سطح الشمس، إذا كانت كتلته 100 kg، وتسارع الجاذبيّة على سطحها، 274 m/s^2؟

c. الوزن يساوي حاصل ضرب الكتلة في تسارع الجاذبية:

$$F_W = mg = 100 \times 274 = 27400\ N$$

6. ما كتلة جسم يزن 300 N على سطح الأرض؟

b. $$m = \frac{F_W}{g} = \frac{300}{9.8} = 30.6\ kg$$

7. كم يبلغ تسارع الجاذبيّة على كوكب المشتري، إذا كان وزن أحدهم على سطح الأرض 600 N، وعلى كوكب المشتري 1,400 N؟

c. $$m = \frac{F_{WE}}{g_E} = \frac{600}{9.8} = 61.2\ kg$$

$$g_J = \frac{F_{WJ}}{m} = \frac{1400}{61.2} = 23\ m/s^2$$

8. يُحرَّك صندوق تحت تأثير قوتين متعامدتين. كيف يكون اتجاه سيره؟

c. باتّجاه محصّلة القوتين

9. يسحب رجل صندوقًا على أرض أفقيّة بِوساطة قوّة تميل بزاوية θ مع الأفقي. كم تكون

الزاوية θ، إذا كانت المُرَكّبتان الأفقيّة والرّأسيّة للقوّة لهما المقدار نفسه؟

c. $F_x = F_y$

$$F\,\mathrm{Cos}\theta = F\,\sin\theta$$

$$\mathrm{Cos}\theta = \mathrm{Sin}\theta$$

$$\theta = 45^o$$

10. كيف تكون اتجاهات ثلاث قوًى متتالية، إذا كانت محصّلتها صفرًا؟

d. يتطابق ذيل القوّة الأولى مع رأس القوّة الثّالثة.

11. يوضع صندوق كتلته 5 kg في إحدى كفّتي ميزان طوله 1 m، ونقطة ارتكازه في وسطه. عند أيّ مسافة من نقطة الارتكاز يجب أن نضع صندوقًا آخر كتلته 10 kg، بحيث يبقى الميزان متّزنًا؟

a. $F_1 d_1 = F_2 d_2$

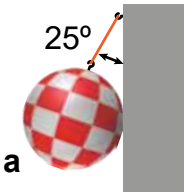
$$m_1 g d_1 = m_2 g d_2$$

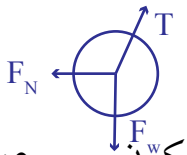
$$5 \times g \times 1 = 10 \times g \times d2$$

$$d_2 = \frac{5}{10} = 0.5\ \mathrm{m}$$

الدّرس 1-1 القوى والاتّزان

12. ارسم مخطّط الجسم الحر للكرة (a) ذات الكتلة m وهي في حالة اتزان كما في الشكل المجاور.

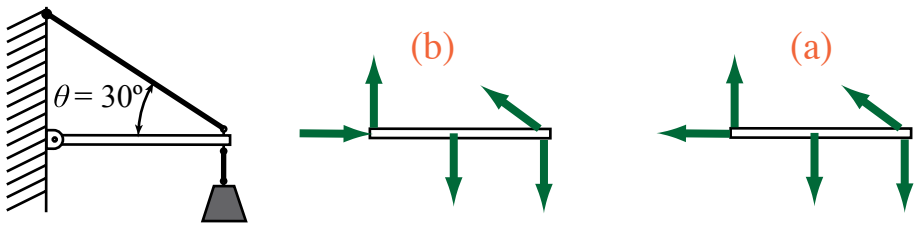




13. ما الكمّيّات الفيزيائيّة الّتي يكون مجموعها مُساويًا صفرًا، عندما يكون النّظام مُتّزِنًا؟

تكون محصلة القوى صفرًا للاتزان الانتقالي، ومحّصلة العزوم صفرًا للاتزان الدوراني، والمحصلتان صفرًا للاتزان التام.

14. أيّ من الرّسمَين الآتيين يعبّر بشكل صحيح عن مخطّط الجسم الحرّ لذراع أفقيّ يحمل وزنًا؟ فسّر إجابتك.



b. يعبّر بشكل صحيح؛ لأن قوّة رد الفعل من الجدار المرسومة في a هي القوّة التي يؤثر بها الذراع الأفقي في الحائط بدلًا من قوّة رد الفعل التي يؤثر بها الجدار في الذراع.

15. تسقطُ كرة تحت تأثير وزنها 10 N، وتتعرّض لمقاومة هواء 4 N إلى أعلى. ما مُحصّلة

القوى المؤثِّرة في الكرة؟

d. $F = F_W - F_k = 10 - 4 = 6$ N نحو الأسفل.

١٦. * هل يمكنك التّفكير في موقف لا يكون فيه لِجسم معيّن أيّ قوّة تؤثّر فيه؟ اشرح سبب ذلك.

هناك قوّة تؤثر دائمًا في أيّ جسم على الأرض بسبب الجاذبية، ولكن ما من جاذبية في الفضاء البعيد، وبالتالي قد يوجد جسم لا تؤثر فيه أي قوّة، إذا كان بعيدًا عن كل الكواكب والأجسام.

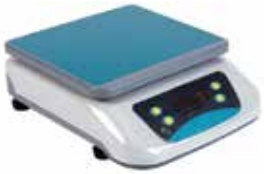
17. غالبًا ما تُعتبَر قوّة الاحتكاك ضارة لأنّنا نقوم بتزييت الأشياء، واستخدام كُرات دوّارة لتقليل الاحتكاك. لكنّ الاحتكاك يمكن أن يكون جيّدًا، بل ضروريًّا في الكثير من الحالات. فَكِّر في ثلاثة أمثلة لِتطبيقات يكون الاحتكاك فيها ضروريًّا؛ واشرح الطرائق الّتي نصمّم بها المنتجات، حيث يكون احتكاكها أكبر في هذه التّطبيقات.

1. صُمِّمت الأحذية لزيادة الاحتكاك بين قدمي الشخص والأرض؛ وإلاّ فإن الشخص يمكن أن ينزلق ويسقط.
2. صمِّمت إطارات السيّارات لزيادة الاحتكاك بين الأرض والإطارات؛ فإذا لم يكن هناك احتكاك، ولو قليل فإن السيّارات تنزلق، وكذلك لن تعمل المكابح فيها.
3. صمِّمت أقلام الرصاص وأقلام الحبر، ليكون لها مزيد من الاحتكاك؛ ومن دون هذا الاحتكاك سيكون من الصعب جدًّا استخدامها للكتابة.

18. يوضح الشّكل الآتي ثلاث أدوات شائعة لِقياس كتلة الأجسام. إحدى هذه الأدوات تعطي القياس الصّحيح على القمر وعلى الأرض. أمّا الاثنتان الأخريان فتعطيان القياس الصّحيح على الأرض فقط. اشرح السّبب.

ميزان ثلاثي الأذرع

ميزان البقالة



ميزان إلكترونيّ

سيعطي الميزان الإلكتروني وميزان البقالة الكتلة الصحيحة على الأرض فقط؛ لأن ترقيمه يعتمد على قوة جذب الأرض فقط للكتل. أما الميزان الثلاثي الأذرع، فسوف يعطي القراءة الصحيحة لكتلة الجسم على الأرض وعلى القمر؛ لأنه يعتمد مبدأ العزوم عند اتزانه، ومقارنة الوزنين تجري في المكان نفسه، سواءً على الأرض أو على القمر.

19. ** معامل الاحتكاك السّكونيّ بين الأرض وصندوق كتلته 50 Kg، هو 0.25. طُبِّقَت قوّة مقدارها 10 N في الاتّجاه الأفقيّ لِدفع الصّندوق. هل يتحرّك الصندوق؟ اشرح إجابتك مع حساب قيمة قوّة الاحتكاك السّكونيّ.

$$F_{s,\max} = \mu_s F_n = 0.25\ (50 \times 9.8) = 122.2\ \text{N}$$

وبما أن القوة المطبّقة 10 N أقل كثيرًا من $F_{s,max}$ فإن الصندوق لا يتحرك.

لا ، لن يتحرك الصندوق، لأن القيمة القصوى لقوّة الاحتكاك السكوني، التي يمكن توفّرها.

**20. يتم سحب لوحة كتلتها m، بِحبل على سطح مُستوٍ. ما القوّة الّتي يجب تطبيقها لِلحفاظ على انزلاق اللّوحة بسرعة ثابتة إذا كان معامل الاحتكاك الحركيّ μ_k؟

للسير بسرعة ثابتة، يجب أن يكون مقدار القوّة المطبقة مساويًا لقوّة الاحتكاك الحركي، أي:

$$F_f = \mu_k F_N = \mu_k mg$$

**21. إذا انزلق جسمان على سطحين مستويين وناعمين للغاية، يصبح الاحتكاك بينهما كبيرًا جدًا. اقترح تفسيرًا لذلك.

تكون القوى الكهربية والمغناطسية بين ذرات الأسطح الناعمة وجُزيئات الأسطح المتلامسة كبيرة جدًّا، ما يؤدي إلى التحامها بشكل كبير فيعيق الحركة. لذا يكون الاحتكاك كبيرًا جدًّا.

**22. لنفرض أنّ مركبة فضائيّة تدور في مدار حول الأرض. ربّما شاهدْتَ فيديو لِأجسام تعوم «انعدام الوزن» في المحطّة الفضائيّة الدّوليّة. يبلغ نصف قطر الأرض حوالى 6,400 km، وتدور المحطّة الفضائيّة على ارتفاع حوالى 400 km عن سطح الأرض، بحيث تكون المسافة من مركز الأرض 6,800 km. لا تنعدم قوّة جاذبيّة الأرض من 6,400 km إلى 6,800 km. اشرح كيف يمكن أن يكون جسم معيّن في المدار «انعدام الوزن»، ومع ذلك لا يزال يشعر بالجاذبيّة نفسها، كما هي الحال على سطح الأرض.

رواد الفضاء ومحطة الفضاء الدولية ليسا عائمين، ولكنهما في الواقع يسقطان، ولكنهما لا يسقطان على الأرض، بل يسقطان حولها. فالمركبات في حالة سقوط حر تساوي عجلة الجاذبية في ذلك المكان، ويتعين على الأجسام الموجودة في مدار حول الأرض أن تتحرّك بسرعة كبيرة جدًّا من أجل البقاء في مدارها. وبما أنها تتسارع نحو الأرض، فإن الأرض تجعل مسار هذه الأجسام حولها منحنيًا؛ وهي لن تقترب من الأرض أبدًا. وبما أنّ رواد الفضاء لهم عجلة المحطة الفضائية نفسها، فإنهم يشعرون بانعدام الوزن.

**23. تكون قوّة الاحتكاك عادة في الاتّجاه المعاكس لحركة جسم ما. هل يمكنك التفكير في مثال لا تكون فيه قوّة الاحتكاك في الاتّجاه المعاكس للحركة؟ اشرح إجابتك.

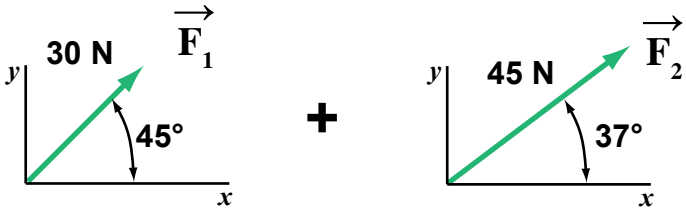
لا تؤثر قوّة الاحتكاك بعكس اتجاه الحركة، عندما تتحرّك الأجسام في مسار دائري، حيث تؤثر قوّة الاحتكاك نحو مركز المسار الدائري الذي يسبِّب بدوره دوران الجسم بدلًا من تحرُّكه في خط مستقيم.

الدّرس 1-2 المُتَّجَهات والقوى

**24. اكتب مُرَكَّبَتَي المُتَّجَهين لِقوّتَين لهما المقدار نفسه، لكن في اتّجاهَين متعاكسَين. يمكن استخدام أرقام اختياريّة.

$\vec{F}_1 = (5,6)$ ، $\vec{F}_2 = (-5,-6)$

25. ما مُحصِّلة القوى النّاتجة من جمع قوّتَين تؤثران في جسم ما، إحداهما 30 N بزاوية 45° فوق المستوى الأفقيّ، والأخرى 45 N بزاوية 37° فوق المستوى الأفقيّ؟



$$F_{1x} = F_1 \cos\theta = 30 \cos 45 = 21.2\,\text{N}$$
$$F_{2x} = F_2 \cos\theta = 45 \cos 37 = 36\,\text{N}$$
$$F_x = F_{1x} + F_{2x} = 21.2 + 36 = 57.2\,\text{N}$$
$$F_{1y} = F_1 \sin\theta = 30 \sin 45 = 21.2\,\text{N}$$
$$F_{2y} = F_2 \sin\theta = 45 \sin 37 = 27\,\text{N}$$
$$F_y = F_{1y} + F_{2y} = 21.2 + 27 = 48.2\,\text{N}$$
$$\vec{F} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{57.2^2 + 48.2^2} = 74.8\,\text{N}$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{48.2}{57.2}\right) = 40°$$
$$\vec{F} = 74.8\,\text{N}, 40°$$

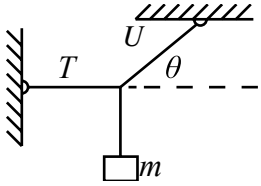
26. ما زاوية اتّجاه قوّة مُرَكَّبتها الأفقيّة تساوي 20 N، ومُرَكَّبتها العمودية تساوي 10 N؟

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{10}{20}\right) = 26\,°$$

27. ما المدى الذي تقع ضمنه القيم المختلفة لمقدار مُحصِّلة قوّتَين، إذا كان مقدار إحداهما 7 N والأخرى 5 N؟

تكون محصِّلة القوّتين أكبر ما يمكن إذا كان لهما الاتجاه نفسه. وهذا يعني أن محصِّلتهما ستكون: $F = 5 + 7 = 12$ N؛ وتكون محصِّلتهما أقل ما يمكن إذا كانتا متعاكستي الاتجاه وهذا يعني أن محصلتهما ستكون: $F = 7\text{-}5 = 2$ N. لذلك فإن مدى مقدار مُحصِّلة القوّتَين 5 N و 7 N يتراوح بين 12 N و 2 N.

28. ما قيمة الشّدّ T، في الحبل إذا كانت قيمة الكتلة المعلّقة m؟



يمكن التوصل من المخطط إلى أن اتجاه قوّة الشد T هو باتجاه محور x ، وليس لهذه القوة مركّبة باتجاه محور y، كما أن قوّة وزن الكتلة، وتساوي mg، هي باتجاه محور y فقط. نرمز إلى القوّة المجهولة التي تميل بزاوية θ بالحرف U، وبتحليل القوّة U إلى مركّبتيها، فإن:

$Uy = U \sin\theta$ و $Ux = U \cos\theta$

ومن اتزان الكتلة المعلقة، نستنتج أن: $mg = U\sin\theta$

وبتعويض قيمة U في Ux نتوصل إلى أن: $Ux = \frac{mg}{\sin\theta}\cos\theta$ ، $U = \frac{mg}{\sin\theta}$

وبما أن القوّة T هي باتجاه محور x، فهي بالتأكيد تساوي Ux،

وبالتالي فإن: $T = \frac{mg}{\sin\theta}\cos\theta = mg\frac{\cos\theta}{\sin\theta}$

$$\Rightarrow T = mg\cot\theta$$

29. ما المحصّلة الناتجة من جمع متّجهي القوتين $F_1 = (a, b)$ and $F_2 = (c, d)$؟

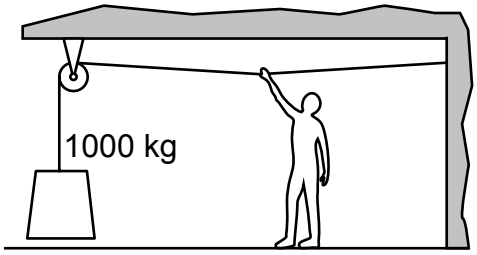
بجمع كل من المركّبتين x والمركّبتين y ينتج: $F_x = (a + c, b + d)$

30. ما قيمة المُرَكَّبة الأفقيّة لِقوّة مقدارها 100 N مُتَّجِهة بِزاوية 215° مع المستوى الأفقيّ؟

$F_x = F\cos\theta = 100\cos 215° = -81.9$، أي إن مقدار المركّبة x هو 81.9 N ولكن في الاتجاه السالب للمحور x.

* **31.** احسب مقدار القوّة ذات المُرَكَّبات $F = (5,12)$ N

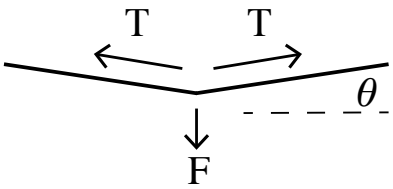
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{5^2 + 12^2} = 13N$$



** **32.** يوضح الرّسم طريقة يستخدمها شخص واحد لرفع 1,000 kg بسهولة لِمسافة صغيرة.

كيف يتحقّق ذلك؟ لماذا لا يتحقّق ذلك لمسافة أكبر؟

اكتب معادلة تثبت إجابتك.



الرسم البياني المجاور يمثل مخطط متجهات القوى، حيث F هي القوّة التي يطبّقها الشخص، و T هي قوّة الشد في الحبل، وهي نفسها في طرفي الحبل، لأن الشخص يشده من نقطة الوسط. كما أن T تساوي وزن الكتلة المعلّقة لكون البكرة خفيفة.

ونتيجة لاتزان النقطة التي يشد عندها الشخص، يكون جمع القوى في الاتجاه الرأسي صفرًا. أي: $F = 2T\sin\theta$

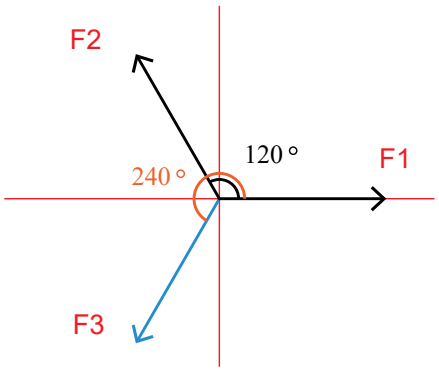
وكلما شد الرجل نزولًا، تزداد قيمة كل من θ و $\sin\theta$ من العلاقة $F = 2T\sin\theta$ بالتالي تزداد قيمة F التي يطبّقها، ويصبح رفع الكتلة أصعب.

الدّرس 1-3 العزم والاتّزان الدوراني

**33. ** نُحلِّل القوى عادة إلى مركّبتين x و y، حيث يكون محوراهما متعامدَيْن، والزاوية بينهما 90^{o}. افترض أن الزاوية بين المحورين 89^{o} ، ما الذي يجعل حل المسائل أكثر تعقيدًا؟ ولِمَ نعتبرُ الزاوية 90^{o} بأنها الزاوية الأفضل بين المحورين؟

إذا كانت الزاوية بين محوري x و y $89°$؛ فإننا لن نكون قادرين عندئذٍ على الاستفادة من مثلث قائم الزاوية، وبالتالي لا يمكننا استخدام المعادلات المثلثية. فعندما لا تكون الزاوية $90°$، يجب إضافة مزيد من الأبعاد لحل الأسئلة.

34. يحاول عاملان سحب طاولة على الأرض بتطبيق قوتين أفقيتين مقدار كل منهما 100 N والزاوية بينهما 120^{o}. ما القوّة الثالثة التي يجب أن يطبّقها عامل ثالث، وفي أي اتجاه، حيث يمنع الطاولة من الحركة ويبقيها في حالة اتزان؟ أهمل قوى الاحتكاك بين الطاولة والأرض.



يجب أن تكون القوّة التي يطبّقها العامل الثالث مساوية لمحصّلة القوتين اللتين يطبّقهما العاملان الأول والثاني، ويكون اتجاهها معاكسًا لاتجاه محصّلة هاتين القوتين. وإذا مثّلنا هذه القوى باستخدام مخطط الجسم الحرّ، كما في الشكل، تكون محصّلة القوى المؤثرة فيه صفرًا لأنه متزن. نحلّل كلًّا من القوتين F_1 و F_2 إلى مركبتيهما، وعلى افتراض أن القوّة F_1 باتجاه محور x، فليس لها مركبة في اتجاه محور y:

$$F_{1y} = F_1 \sin 0 = 0 \text{ ، } F_{1x} = F_1 \cos 0 = F_1 = 100 \text{ N}$$

وللقوّة F_2:

$$F_{2x} = F_2 \cos 120^{o} = -100 \times 0.5 = -50 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \sin 120^{\circ} = 100 \frac{\sqrt{3}}{2} = 86.6 \text{ N}$$

ومحصلة القوتين باتجاه محور x هي: $F_x = 100 + (-50) = 50$ N ،

ومحصلتهما باتجاه محور y هي: $F_y = 0 + 100 \frac{\sqrt{3}}{2} = 86.6$ N ،

$$F = \sqrt{50^2 + 86.6^2} = 100 \text{ N}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{86.6}{50} = 60°$$

القوة الثالثة اللازمة لحدوث الاتزان لابد أن تساوي محصلة القوتين (F_1, F_2)، أي أن:

$$F_3 = 100 \text{ N}$$

$$\theta_3 = 180 + 60 = 240°$$

35. أعطِ مثالًا لِلقوّة نفسها الّتي تنتج عند تطبيقها عزمَي دوَران مختلفين.

العزم $\tau = F\,L$ يعتمد على كل من القوّة والمسافة، فإذا أخذنا قوّة 5 N، وكانت المسافة العمودية من محور الدوران 2 m، فإن العزم الناتج يكون $\tau = 10$ Nm. لكن إذا كانت القوّة 5 N والمسافة 3 m، فإن العزم الناتج يكون $\tau = 15$ Nm.

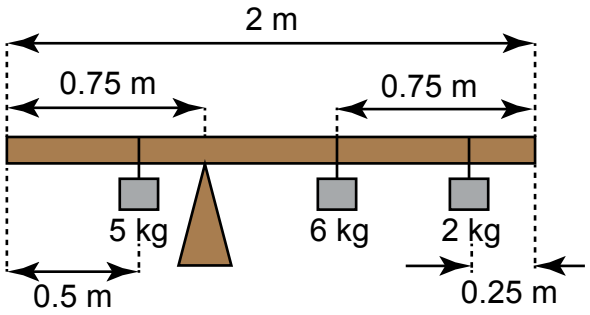
36. من الممكن تطبيق قوّة كبيرة على باب يتأرجح بحرّيّة دون التّمكّن من فتحه. بينما يمكن فتح الباب نفسه عبر تطبيق قوّة صغيرة عليه. اشرح كيف يمكن حدوث ذلك.

يمكن فتح الباب وإغلاقه من خلال تطبيق عزم دوران عليه، وعزم الدوران هو حاصل ضرب القوّة في المسافة العمودية من محور الدوران. فإذا كانت القوّة كبيرة جدًا على الباب، ولكن المسافة قريبة جدًا من المفصلات، فإن الباب لا يفتح، لأن عزم الدوران سيكون معدومًا. لكن إذا جرى تطبيق القوّة على مسافة بعيدة عن المفصلات، فإن القوّة تكون قادرة على فتح الباب ولو كانت صغيرة.

37. عند حلّ مسائل الاتّزان، يكون من المفيد لِلغاية اختيار نقطة تكون «محورًا» لِلدّوَران عند حساب العزوم. لماذا يكون هذا «المركز» اختياريًّا؟ لماذا يكون اختيار بعض النّقاط كَـ«محور» أكثر فائدة مقارنة بالنّقاط الأخرى؟

في حالة الاتزان الدوراني، تكون محصِّلة العزوم حول أي محور دوران صفرًا، وبالتالي يكون المحور اختياريًّا. وعليه يمكننا اختيار محور الدوران الذي تمر فيه قوّة أو أكثر من القوى المجهولة، فيكون عزمها صفرًا؛ ونقلِّل بذلك من عدد القوى المجهولة، عند القيام بحساب القوى.

***38.** لديك عارضة مهملة الكتلة وطولها 2 m. تبعد نقطة الارتكاز 0.75 m عن الطّرف الأيسر. تُعلّق ثلاث كتل قيمها 2 kg و 5 kg و 6 kg من العارضة كما هو موضح. أين يمكنك تعليق كتلة واحدة قيمتها 5 kg بحيث تتّزِن العارضة؟



لتحقيق توازن العارضة يجب أن يكون جمع العزوم صفرًا حول نقطة الارتكاز؛

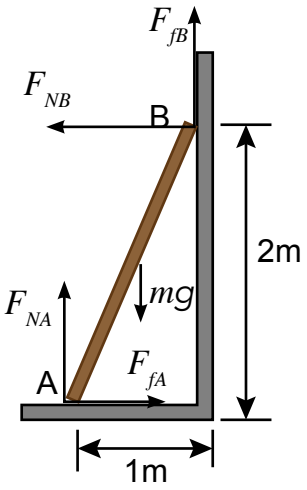
فعزم الدوران على الجانب الأيسر هو: $\tau_1 = (5 \times 9.8) \times 0.25 = 12.25$ N.m

وجمع العزوم على الجانب الأيمن:

$$\tau_2 = (6 \times 9.8) \times (-0.5) + (2 \times 9.8) \times (-1) = -49 \text{ N.m}$$

وبما أن عزم الجانب الأيمن أكبر، يجب أن تُعلّق الكتلة 5 kg على الجانب الأيسر، ويجب أن يكون عزم دورانها $37 = 12.25 - 49$ Nm. وبما أن $\tau = F\,L$، فإن $37 = d \times (5 \times 9.8)$، ومنها نحصل على $d = 0.76$ m.

**39. يستنِد لوحٌ متجانس كتلته m على جدار رأسي. يبلغ معامل الاحتكاك السكوني بين اللوح وكل من الأرض والجدار 0.5.



a. اكتب معادلة اتزان القوى في الاتجاه الرأسي.

b. اكتب معادلة اتزان القوى في الاتجاه الأفقي.

c. اكتب معادلة الاتزان الدوراني حول النقطة A.

d. إذا كانت محصلة العزوم سالبة فإن اللوح سيسقط. احسب محصلة العزوم وتحقّق مما إذا كان اللوح سيسقط.

a. من المخطط يمكننا أن نرى أن القوى الرأسية هي:

F_{NA} = القوّة العمودية للأرض على اللوح

mg = وزن اللوح

F_{fB} = قوّة الاحتكاك على اللوح عند النقطة B

وطبقًا لشروط الاتزان فإن: $\Sigma Fy = 0$

$$F_{NA} + F_{fB} - mg = 0$$

أي: $$F_{NA} + \mu_s F_{NB} = mg$$

b. وكذلك في الاتجاه الأفقي: $\Sigma Fx = 0$

أي: $$F_{NB} = F_{fA} = \mu_s F_{NA}$$

وبتعويض معادلة الاتزان الأفقي في معادلة الاتزان الرأسي، نحصل على:

$$F_{NA} + \mu_s^2 F_{NA} = mg \Rightarrow F_{NA} = \frac{mg}{1+\mu_s^2}$$

و $$F_{NB} = \mu_s F_{NA} = \frac{\mu_s mg}{1+\mu_s^2}$$

c. وفي الاتزان الدوراني حول المحور A يكون:

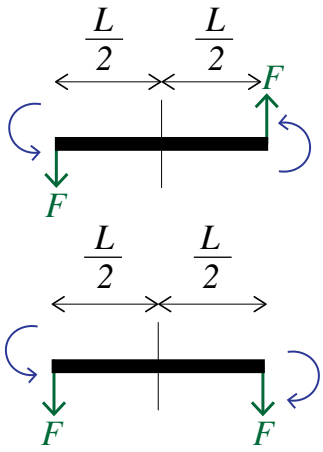
$$\Sigma\tau = 2F_{NB} + (1)\mu_s F_{NB} - 0.5\,mg = \frac{2\mu_s + \mu_s^2}{1+\mu_s^2}\,mg - 0.5mg$$

وبالتعويض عن معامل الاحتكاك السكوني $\mu_s = 0.5$ نحصل على محصلة العزوم:

$$\Sigma\,\tau = +0.5\,mg$$

وهو عزم موجب باتجاه معاكس لاتجاه عقارب الساعة، أي إن السلَّم سينزلق إلى أعلى. وهذا غير ممكن من الناحية العملية. لذلك يبقى السلَّم متزنًا، وتكون قوتا الاحتكاك مع الحائط والأرض أقل من القيمة القصوى للاحتكاك السكوني، والتي افترضناها في الحل.

40. أعط مثالًا على جسم في حالة:



- اتزان انتقالي فقط

اتزان انتقالي فقط: عندما يدور جسم حول محور في منتصفه تحت تأثير قوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه، ويكون خَطّا تأثيرهما غير منطبقين (ازدواج)، عندها يكون الجسم في حالة اتزان انتقالي فقط، ولكنه غير متزن دورانيًّا، كما في حالة مقود السيّارة.

- اتزان دوراني فقط

اتزان دوراني فقط: عندما تؤثر في جسم قوتان متساويتان في المقدار، ولهما الاتجاه نفسه ويكون خطّا تأثيرهما مختلفين؛ فإن محصلتهما لا تساوي صفرًا، في حين أن محصلة عزم الدوران تساوي صفرًا، مثل شد جسم بخيطين أفقيين بقوتين متساويتين، ويكون خطّا تأثيرهما مختلفين على أرضية ملساء، فإن الجسم ينتقل ولا يدور كما في الشكل.

- اتزان دوراني وانتقالي

اتزان دوراني وانتقالي: كتاب مستقر على سطح طاولة حيث تكون كل من: $\Sigma \tau = 0$ و $\Sigma F = 0$

- عدم اتزان انتقالي ودوراني

عدم اتزان انتقالي ودوراني: أفضل مثال دوران وحركة، إطار (عجلة) السيارة المتحرِّكة حيث:

$\Sigma \tau \neq 0$ و $\Sigma F \neq 0$

الاستقصاء والبحث

رصيد إضافي: مشروع الإبحار

صمّم ونفِّذ تجربة تقيس تأثير مقاومة الهواء في توليد قوّة على شراع قارب شراعي. يجب أن تأخذ في الحسبان أن قوة الاحتكاك مع الهواء تعتمد على مساحة «الشراع»، وعلى سرعة الهواء. تأكّد من كتابة خطوات القياس وحدود دقة القياسات الخاصة بك. اكتب تقريرًا حول نتائجك.

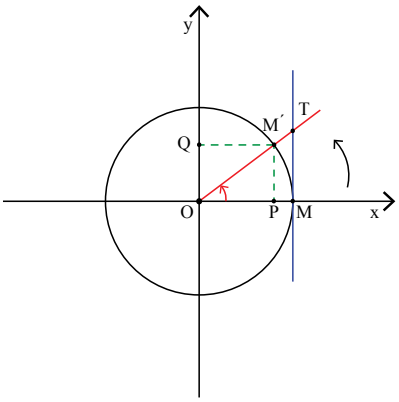
قد يكون من الصعب على الطلاب استخدام القارب في المياه والقيام بقياسات دقيقة، وكبديل عن ذلك، ليصنع الطلاب شراعًا على عربة مختبر ديناميكية وليستخدموا مستشعرًا للقياسات. يمكن أن تلفت انتباههم إلى أن زاوية الإبحار ومساحة الشراع هما متغيّران أساسيان. إن استخدام مسار محدد للعربة يشبه استخدام عارضة الشراع لتسيير القارب في اتجاه محدّد.

أعط الطلاب وقتًا لتصميم شراع وهيكل يمكن تثبيته على العربة. يمكنك تزويدهم بمروحة للحصول على قوة دفع الهواء.

يُنجز هذا المشروع في مجموعات من طالبين أو ثلاثة أو أربعة.

مراجعة الدوال المثلثية

الدائرة المثلثية عبارة عن دائرة نصف قطرها 1 ومركزها O.



يعتبر نصف القطر OM نصف القطر الابتدائي ويكون الدوران الموجب على الدائرة بدءًا منه وباتجاه معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعة.

يُحدَّد موقع أي نقطة M´ على الدائرة بمعرفة الزاوية θ بين $\overline{OM}$ و $\overline{OM'}$.

نُعرّف جيب الزاوية sinθ بالمسافة $\overline{OQ}$ وهي إسقاط $\overline{OM'}$ على المحور y.

وجيب تمام الزاوية cosθ بالمسافة $\overline{OP}$ وهي إسقاط $\overline{OM'}$ على المحور x.

لاحظ أنه عند دوران النقطة M´ على الدائرة، تتغيّر قِيم كل من الجيب وجيب التمام، وقد يكون كل منهما موجبًا أو سالبًا ولكن قيمهما محصورة بين 1- و 1+ أي

$-1 \le \cos\theta \le +1$ و $-1 \le \sin\theta \le +1$

بتطبيق نظرية فيثاغورث في المثلث OM´P القائم الزاوية نحصل على

$$\overline{OP}^2 + \overline{PM'}^2 = \overline{OM'}^2$$
$$\Rightarrow \overline{OP}^2 + \overline{OQ}^2 = 1$$
$$\Rightarrow \cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$$

كذلك نُعرّف ظل الزاوية θ بـ $\tan\theta = MT$ حيث تمثل T تقاطع OM´ مع الخط المماسي للدائرة عند النقطة M.

نلاحظ أن المثلثين OPM´ و OMT متشابهان، ونحصل من نسبة التشابه على:

$$\frac{\overline{OP}}{\overline{OM}} = \frac{\overline{PM'}}{\overline{MT}} = \frac{\overline{OQ}}{\overline{MT}}$$
$$\Rightarrow \frac{\cos\theta}{1} = \frac{\sin\theta}{\tan\theta}$$
$$\Rightarrow \tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta}$$

تمارين

1. احصل على جيب تمام زاوية θ وظلها إذا كان جيب تمامها $\cos\theta = 0.7$.
2. ضع جدولًا بقيم الجيب وجيب التمام والظل لبعض الزوايا الهامة 0°، 30°، 45°، 60°، 90°، 180°.
3. ارسم بشكل تقريبي تغيرات كل من sin θ و cos θ بدلالة θ عندما تتغير θ بين 0° و 180°.

نموذج تقويم مشروع الإبحار المحتوى	العلامة
حدّد الطالب واستقصى المتغيرين الأساسيين (الزاوية والمساحة) وصمَّم التجربة بحيث تسمح له بمراقبة تأثير كل من هذين المتغيرين. استخدم المستشعر المناسب في الحصول على قياسات مناسبة. اشتمل تحليل البيانات على أخذ عدة قراءات وحساب القيمة المتوسطة. هناك شرح لدقة القياسات والخطأ النسبي. حصل الطالب من البيانات على استنتاج مقبول.	5
حَدّد الطالب وحلّل تأثير متغيّر المساحة عندما يكون الشراع عموديًّا على اتجاه الرياح. اشتمل تحليل البيانات على قراءات متعددة وحساب القيمة المتوسطة وشرح مصادر الخطأ. توصل من البيانات إلى استنتاجات مقبولة.	3
حَدّد الطالب متغير المساحة وقام بعمليتي قياس على الأقل للحصول على استنتاج.	1
التنظيم	
هناك أفكار متعددة متعلقة بالحقائق ومرتبة بشكل منطقي، ومدعّمة بأمثلة متعددة. النقاط المفاهيمية الرئيسة صحيحة، كذلك يستطيع القارئ تتبَّع خط متناسق من التعليل بشكلٍ منطقي.	5
الأفكار المتعددة والمرتبطة بالحقائق منظّمة بشكل منطقي ومُدَعَّمة بعدة أمثلة. لا يوجد مفاهيم مغلوطة. يمكن للقارئ أن يتتبّع خطًا متناسقًا من الاستنتاج والتبرير.	3
أعطيت الحقائق من دون أدلة وأمثلة كافية. هناك العديد من الأخطاء في المفاهيم يصعب على القارئ تتبّع خط منطقي من الأدلة والتبريرات.	1
طريقة العرض	
النص مرتّب ومطبوع وسهل القراءة ويتضمّن إيضاحات متعددة وجداول ورسومًا تدعم الأفكار والحقائق. لا يوجد أخطاء في القواعد والإملاء.	5
النص مرتّب ومنظّم، لكن الإيضاحات والرسوم قليلة أو معدومة. مستوى القواعد والإملاء مقبول.	3
النص مكتوب بخط اليد وبشكل غير واضح، مع أخطاء واضحة في القواعد والإملاء.	1
المجموع	

أوراق عمل

الاسم ..... التاريخ .....

نشاط 1-1 (a) القوى والكتلة والوزن

سؤال الاستقصاء	ما العلاقة بين الوزن والكتلة؟
الموادّ المطلوبة	ميزان زنبركي أو مستشعر القوة، حلقات معدنيّة، ميزان عادي، خيط، علّاقة كتل.

الخلفية

على الرغم من الاختلاف بين الكتلة والوزن، إلا أنه يوجد بينهما علاقة. سوف نبحث في هذا الاستقصاء عن العلاقة بين الكتلة والوزن لعدة أجسام من خلال رسم بياني.

الخطوات

1. اختر من 5 إلى 8 كتل تتراوح مقاديرها بين 100 و 1,000 جرام.
2. استخدم الميزان العادي لِقياس كتلة كلّ واحدة منها، وسجل البيانات في الجدول.
3. استخدم الميزان الزّنبركيّ أو مستشعر القوّة لِقياس الوزن لِكلّ كتلة تمّ اختيارها، وسجّل البيانات في الجدول.

4. أكمل البيانات في الجدول التّالي، بِحِساب الكتلة بوحدة الكيلوجرام وحِساب قيمة«g».
5. صمّم مخطّطًا بيانيًّا بحيث تُمثَّل الكتلة على المحور الأفقيّ (x) ويُمثَّل الوزن على المحور الرّأسيّ (y)

الجدول 1-2 بيانات الوزن والكتلة

g (N/kg)	الوزن (N)	الكتلة (kg)	الكتلة (g)

الاسم ..... **التاريخ** .....

الأسئلة

a. ما القيمة العدديّة لِلميل في الرّسم البيانيّ؟

.....

.....

.....

.....

b. ما الّذي يمثّله الميل هنا؟ (ملاحظة: وحدته هي N/kg)

.....

.....

.....

c. قارن بين متوسّط القيم الّتي حصلت عليها لشدَّة مجال الجاذبيّة والقيمة المقبولة لشدة مجال الجاذبيّة عند سطح الأرض.

.....

.....

.....

.....

d. اقترح تفسيرًا لأيّ اختلاف بين القيمة الّتي حصلت عليها والقيمة المقبولة.

.....

.....

.....

.....

e. ما مقدار الخطأ المئوي في القيمة المتوسّطة الّتي حصلت عليها بالمقارنة مع القيمة المقبولة التي كان متوقعًا الحصول عليها 9.8 N/kg؟

.....

.....

.....

.....

الاسم ..... التاريخ .....

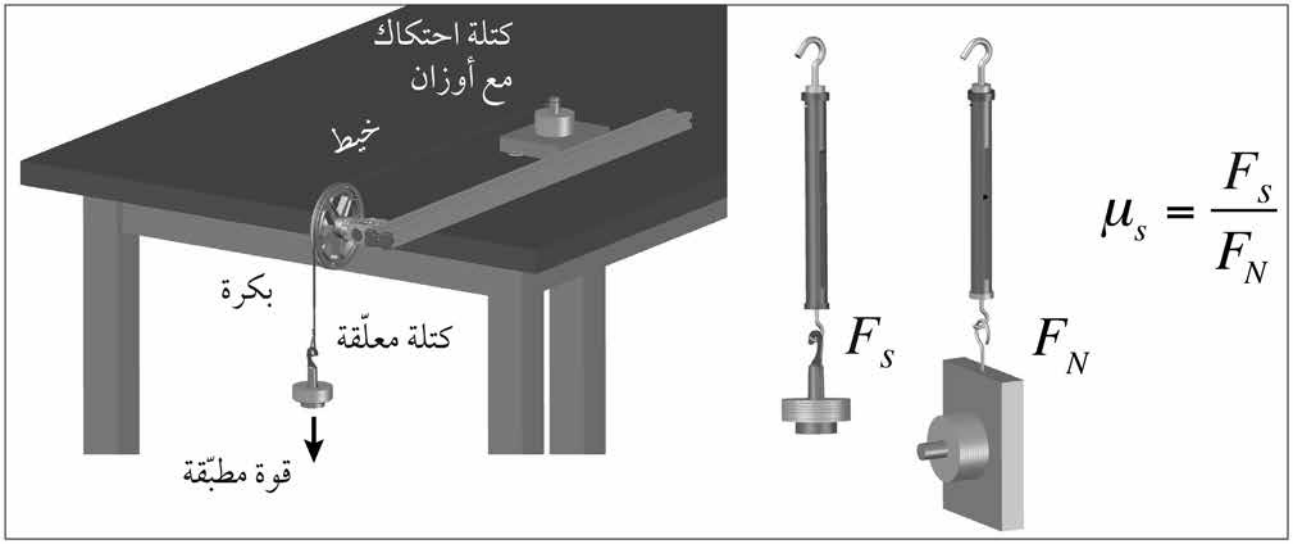
نشاط 1-1 (b) الاحتكاك

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا نمذجة الاحتكاك؟
الموادّ المطلوبة	ميزان زنبركيّ ومستشعر قوة، كتل مختلفة، كتلة احتكاك، طاولة مُجهّزة بِبَكرة، خيط، حامل أثقال

الخلفية

معامل الاحتكاك السكوني هو نسبة قوة الاحتكاك إلى القوة العمودية لجسم. فعندما يزداد وزن جسم، ستزداد قيمة القوة اللازمة لسحب هذا الجسم.

الخطوات



1. جهّز كتلة الاحتكاك والكتلة المعلّقة والخيط والبكرة.
2. أضِف كتلًا إلى كتلة الاحتكاك، وكتلًا أخرى إلى الكتلة المعلّقة حتّى تصبح قوّة الخيط قادرة على البدء بتحريك كتلة الاحتكاك.
3. قِس وزن كتلة الاحتكاك والكتلة المعلقة، واحسب وزنيهما. نسبة هذَين الوزنَين ستكون مُعامل الاحتكاك السّكونيّ.
4. كرِّر العمليّة مع مجموعة مختلفة من الكتل الّتي توضَع على كتلة الاحتكاك والكتلة المُعلَّقة.
5. كرِّر الخطوات من 1 إلى 4 باستخدام مستشعر القوة.

الاسم ..... **التاريخ** .....

جدول البيانات

معامل الاحتكاك السكوني μ_s	وزن كتلة الاحتكاك (N)	الوزن المعلّق (N)

الأسئلة

a. ارسُم مخطّط الجسم الحرّ لِكتلة الاحتكاك.

.....

.....

.....

.....

b. لماذا تُعتبَر نسبة الوزنَين هي مُعامل الاحتكاك السّكونيّ؟

.....

.....

.....

.....

الاسم ..... **التاريخ** .....

c. ماذا سيحدث لِحركة كتلة الاحتكاك بعد أن تبدأ بالانزلاق؟ ما الّذي ستُبيِّنه لك الحركة حول قوة الاحتكاك السّكونيّ مقارنة مع قوة الاحتكاك الحركيّ؟

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

d. هل مُعامل الاحتكاك السّكونيّ المحسوب هو نفسه للكتل المختلفة؟ اقترِح تفسيرًا لأيّ اختلاف.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

e. قارن بين النتائج عند استخدامك للميزان الزنبركي ومستشعر القوة. فسّر سبب الاختلاف.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

الاسم ..... التاريخ .....

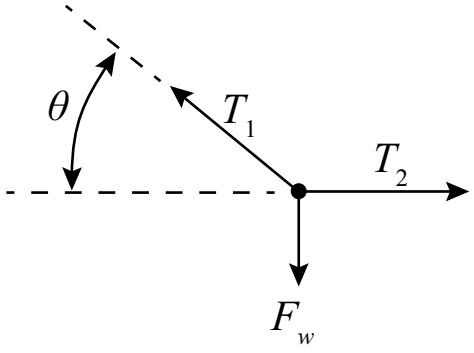
نشاط 2-1 الاتزان السكوني لِلقوى

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا نمذجة أنظمة ذات قوى متعدّدة؟
الموادّ المطلوبة	ميزان زنبركيّ (عدد 2) أو مستشعر قوى، كتل مختلفة (100 g ، 200 g ، 300 g، 400 g)، خيط، حامل ثلاثي (عدد 2).

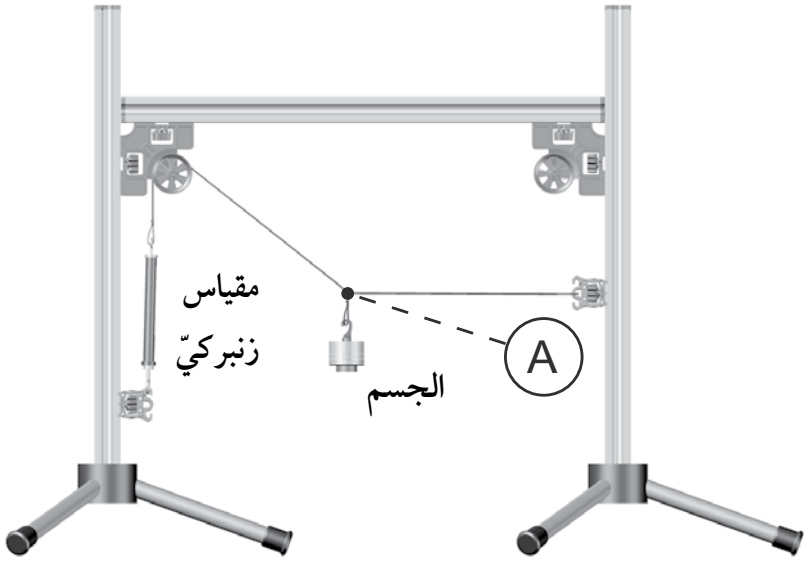
الخلفية

عندما يتم تعليق جسم باستخدام خيط، ستنشأ قوة شد في ذلك الخيط. وبما أن الجسم لا يتحرك فإن النظام سيكون في حالة اتزان. سيساعدنا ذلك على حساب قوة الشد في هذا الخيط.

الخطوات



مخطّط الجسم الحرّ للنّقطة (A)



1. قُم بإعداد نموذج لقوى متزنة كالنّموذج الوارد في المخطّط أعلاه. يجب أن يكون أحد الخيطين أفقيًّا بينما يميل الخيط الآخر بزاوية.
2. سجّل مقدار قوّة الشّد T_1 و T_2 في كل من الخيطين وقِس الزّاوية θ. قِس أيضًا كتلة الجسم المعلّق.
3. كرر التّجربة لثلاث كتل أو زوايا مختلفة على الأقلّ.

الاسم ..... **التاريخ** .....

جدول المشاهدات

الكتلة m (kg)	الزّاوية θ (°)	قوّة الشّد الثانية T_2 (N)	قوّة الشّد الأولى T_1 (N)

الأسئلة

a. اشتقّ معادلة لمقدار قوتي الشّد T_1 و T_2 في الخيطين بدلالة الكتلة والزاوية ثم احسب T_1 و T_2.

.....

.....

.....

b. اشرح لماذا يكون ثقل الجسم مساويًا لقوة شد الخيط المعلَّق به الجسم.

.....

.....

.....

c. اقترح تفسيرًا لأي فرق تجده بين القيمة المحسوبة والقيمة المقيسة.

.....

.....

.....

الاسم ..... التاريخ .....

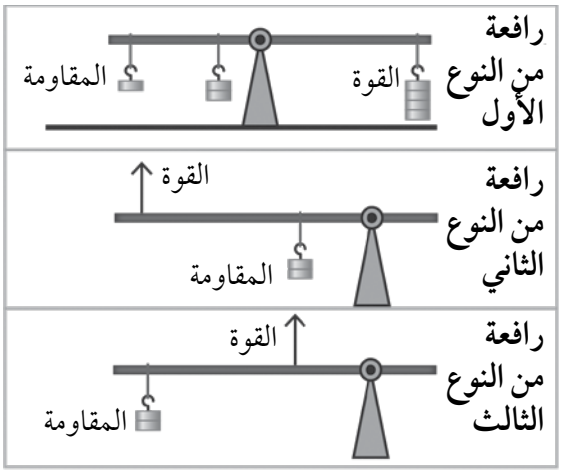
نشاط 3-1 العزم والعضلات

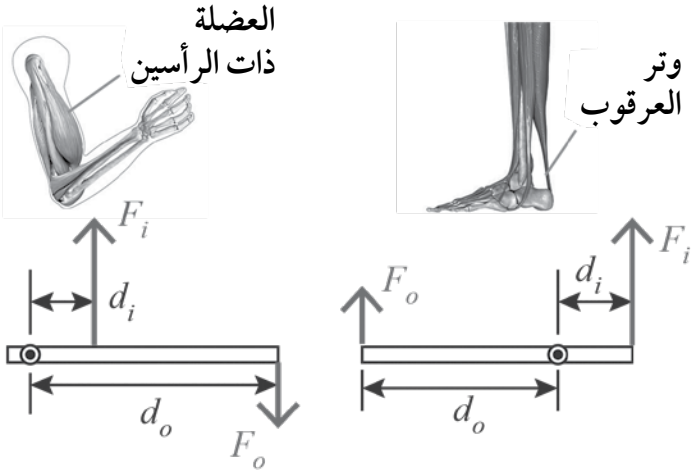
سؤال الاستقصاء	كيف تشرح العزوم حركة عضلات الذّراع والقدم؟
الموادّ المطلوبة	رافعة، خيط، كتل، مستشعر للقوّة، ميزان زنبركي.

الخلفية

هناك ثلاثة أنواع من الروافع، رافعة من النوع الأول، ورافعة من النوع الثاني، ورافعة من النوع الثالث. يتصرف جسمنا على أنّه مجموعة من أنواع مختلفة من الروافع. سوف نقوم في هذا الاختبار من التحقّق من تلك الأنواع المختلفة للروافع ودورها في الذراع والقدم.

الخطوات





1. جهّز رافعة النوع الأول والتي تكون نقطة ارتكازها في الوسط، ثمّ قم بإضافة القوة عند أحد الطرفين، والمقاومة عند الطرف الآخر.
2. اختر كلًّا من الكتل والمسافات، ثمّ حرّك القوة حتى تصل الرافعة إلى حالة الاتزان.
3. سجّل مجموعتين على الأقل من الأوزان المعلّقة التي تحقّق الاتزان.
4. جهّز رافعة النوع الثاني، والتي تكون فيها المقاومة في الوسط وقريبة من نقطة الارتكاز. اختر كتلة لتطبّق ذلك.
5. طبّق قوة مناسبة لتحقق اتزان الرافعة (هذه القوة بعيدة عن نقطة الارتكاز)، استخدم ميزانًا زنبركيًّا لرفع الرافعة حتى تحقيق الاتزان.

الاسم ..... **التاريخ** .....

6. سجّل مجموعتين على الأقل من الأوزان المعلّقة والقوة المطبّقة للرفع.

7. جهّز رافعة النوع الثالث، والتي تكون فيها القوة في الوسط والمقاومة بعيدة عن نقطة الارتكاز. اختر كتلة لتطبّق ذلك.

8. طبّق قوة مناسبة لتحقيق الاتزان بحيث تكون أقرب إلى نقطة الارتكاز. طبّق ذلك باستخدام ميزان زنبركي لرفع الرافعة.

9. سجّل مجموعتين على الأقل من الأوزان المعلّقة والقوة المطبّقة للرفع.

10. قدّر المسافة بين نقطة الارتكاز والقوة لكل من الذراع والقدم مستخدمًا العضلة ذات الرأسين ووتر العرقوب كقوتي تأثير.

11. أنشئ رافعة مشابهة لكل من الذراع والقدم وقدّر الكفاءة الميكانيكيّة في كل حالة.

جدول البيانات

الرافعة من النوع الأول 1					
طرف القوة			طرف المقاومة		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)
محصلة العزوم			محصلة العزوم		

الرافعة من النوع الأول 2					
طرف القوة			طرف المقاومة		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)
محصلة العزوم			محصلة العزوم		

الاسم ..... **التاريخ** .....

الرافعة من النوع الثاني 1					
طرف القوة			طرف المقاومة		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)
محصلة العزوم			محصلة العزوم		

الرافعة من النوع الثاني 2					
طرف القوة			طرف المقاومة		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)
محصلة العزوم			محصلة العزوم		

الرافعة من النوع الثالث 1					
طرف القوة			طرف المقاومة		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)
محصلة العزوم			محصلة العزوم		

الاسم ..... **التاريخ** .....

الرافعة من النوع الثالث 2					
طرف القوة			طرف المقاومة		
الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)	الوزن (N)	المسافة (m)	العزم (N/m)
محصلة العزوم			محصلة العزوم		

الأسئلة

a. استخدم الجدول لحساب متوسط عزم الدوران لكل مجموعة اتزان.

.....

.....

.....

b. احسب القوة التي تؤثر بها عضلة الساق في كعب عرقوبك عندما تقف على إبهامَيْ قدميك وقوة العضلة ذات الرأسين عندما تحمل وزنًا كتلته 5 kg. قارن بين هاتين القوتين وبين وزنك ووزن الكتلة 5 kg.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

الوحدة 2 قوانين نيوتن والزّخم

مقدّمة الوحدة

تُمثّل هذه الوحدة النصف الثاني من القوى والحركة. والمعايير هي:
P1103 يصف قوانين نيوتن في الحركة ويطبقها.
P1104 يوضح مفهوم الزّخم الخطّي (كمية الحركة) ويطبّق مبدأ حفظ الزّخم (كمية الحركة).

الدرس 2-1: القانونان الأول والثالث لنيوتن

- قوانين نيوتن للحركة
- القصور الذاتي
- قوة الطرد المركزيّة ليست قوة
- القانون الثالث لنيوتن
- أزواج الفعل ورد الفعل
- الزّخم مفهوم هام
- الزّخم والقوة والقانون الثاني لنيوتن
- الدّفع
- حفظ الزّخم
- حل مسائل حفظ الزّخم
- التصادم المرن
- التصادم غير المرن

الدرس 2-2: القانون الثاني لنيوتن

- القانون الثاني لنيوتن في الحركة
- مسائل في تحديد نوع الحركة بمعرفة القوى
- مسائل حول تحديد القوّة بدلالة الحركة
- آلة آتوود
- شكل آخر لآلة آتوود

الدرس 2-3: حركة المقذوفات والسطح المائل

- القوى والحركة في بُعدين
- حركة المقذوفات
- السّطح المائل

الدرس 2-4: الزّخم الخطّي وحفظ الزّخم

- الزّخم

الوحدة 2 قوانين نيوتن والزّخم

ملخّص الوحدة

تساعدنا قوانين نيوتن على فهم حركة الأجسام وأسبابها. تركّز هذه الوحدة في قوانين نيوتن الثلاثة للحركة. يركّز الدرس الأول في القانونين الأول والثالث. وعندما يصبح المفهوم واضحًا ننتقل في الدرس التالي إلى القانون الثاني. سوف يتعلّم الطلاب كيفيّة تطبيق القانون الثاني للحركة، وكيف أن الجسم، بمجرد تطبيق قوى غير متّزنة عليه، يكون في حالة تسارع. وسوف تُشرح أيضًا تطبيقات واقعية كآلة آتوود على سبيل المثال. وسوف يتعلّم الطلاب أيضًا كيفية استخدام معادلات لفهم حركة المقذوفات و مسائل السطح المائل. أمّا الدرس الأخير، فيركّز في الزّخم، فبعد تعريفه والتدرّب على معادلته، يتعلّم الطلاب العلاقة ما بين الزّخم والدفع. يجب أن يكون الزّخم الكلّي لأي نظام معزول هو نفسه قبل أي عملية تحدث في داخله وبعدها. ويجري تطبيق حفظ الزّخم في مسائل التصادمات.

أخطاء شائعة

- **يجب أن تؤثر محصّلة قوة غير متّزنة في الجسم لكي يتابع سيره بسرعة ثابتة.** في الحقيقة تكون محصّلة القوى المؤثّرة في جسم متحرّك بسرعة ثابتة، صفرًا. يحتاج الجسم إلى قوة ليبدأ بالتحرّك ويحتاج إليها أيضًا ليتوقف عن الحركة. لكن ليس من أجل الاستمرار في الحركة بسرعة ثابتة. وإن أي محصلة قوى لا تساوي صفرًا تسبّب تسارعًا للجسم.
- **التسارع السالب يعني أنّ الجسم يتباطأ.** يمكن أن تكتسب الأجسام تسارعًا سالبًا، ويكون اتجاه السرعة سالبًا، يعني أنّ الجسم يزيد من سرعته، ولكن في الاتجاه المعاكس.
- **يطبّق مبدأ حفظ الزّخم فقط في حالة التصادمات.** يمكن تطبيق حفظ الزخم على كل الأنظمة المعزولة حيث تكون القوة من داخل النظام، كما في حالة الانفجارات، أو انفجار البالون على سبيل المثال.

مخطط الوحدة

الدرس	عدد الحصص	مخرجات التّعلم	الكفايات
1-2 القانونان الأول والثالث لنيوتن في الحركة	4	P1103.1	
2-2 القانون الثاني لنيوتن	4	P1103.1	
3-2 حركة المقذوفات والسطح المائل	6	P1103.1	
4-2 الزّخم الخطّي وحفظ الزّخم	6	P1104.1، P1104.2	

كفايات الطالب

- التفكير الإبداعي والناقد
- الكفاية اللغوية
- التعاون والمشاركة
- حل المشكلات
- الكفاية العددية
- التواصل
- البحث والاستقصاء

المهارات العلمية والكفايات

- يتوقّع من الطلاب إكمال خمس خبرات تعلميّة.
- تطبيق مهارة الرياضيات في 37 مسألة من تقويم الدروس 2-1، 2-2، 2-3، 2-4، وتقويم الوحدة.
- يطبق الكفاية اللغويّة في خبرات التعلّم، 2-a1، 2-b3 مشروع الوحدة 2 «الهبوط الآمن».
- استخدام مهارات ICT مُدمجة في خبرات التعلّم 2-a1، 2-a2، 2-a3، 2-a4.
- يُنشئ الطلاب روابط مع العلم المعاصر في افتتاحيات الدروس 2-1، 2-2، 2-3، 2-4، وفي فقرة «ضوء على العلماء».
- تصميم مشروع عملي عن الهبوط الآمن.

الدرس 2-1
القانونان الأول والثالث لنيوتن

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع / الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد دليل المعلم
قوانين نيوتن في الحركة $\frac{1}{2}$ حصة	القانون الأول لنيوتن في الحركة	الصفحتان 51-50	الصفحة 72
القصور الذاتي $\frac{1}{2}$ حصة	تعريف القصور الذاتي، أمثلة حول القصور الذاتي	الصفحة 52	الصفحة 73
قوة الطرد المركزيّة $\frac{1}{2}$ حصة	تعريف قوة الطرد المركزيّة وبعض الأمثلة حولها	الصفحة 53	الصفحة 74
القانون الثالث لنيوتن حصّتان	القانون الثالث لنيوتن، التعريف، أمثلة حول قوتي الفعل ورد الفعل ثمّ الانشطة	الصفحتان 55- 54	الصفحات 74-76 ورقة عمل 2-1
أزواج الفعل ورد الفعل $\frac{1}{2}$ حصة	أمثلة وتفسيرات حول قوتي الفعل ورد الفعل	الصفحة 56	الصفحة 77

الزمن المقترح للدرس

يحتاج هذا الدرس إلى 4 حصص صفيّة تتضمن نشاطين عمليين (2-1)، إضافةً الى أفكار حول أنشطة عملية موجزة، ومناقشات مع الطلاب.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
2-1 قوانين نيوتن	سطحٌ كبير مُستَوٍ، ورقة رسم بيانيّ، ورق مُقوًّى، شريط، كُرات زجاجيّة، قوالب بلاستيكيّة وخشبيّة.

مخرجات التعلّم

P1103.1 يذكر نص قوانين نيوتن في الحركة، ويطبقها في ظروف حياتية حقيقية.

المعرفة السابقة

يُفترض أن يكون الطلاب على دراية بالقوى والسرعة والتسارع، فضلًا عن الاختلاف بين الكتلة والحجم والوزن.

رُبَّما كان الطلاب مدركين لقوانين نيوتن في الحركة، لكن معرفتهم لها ليست ضرورية.

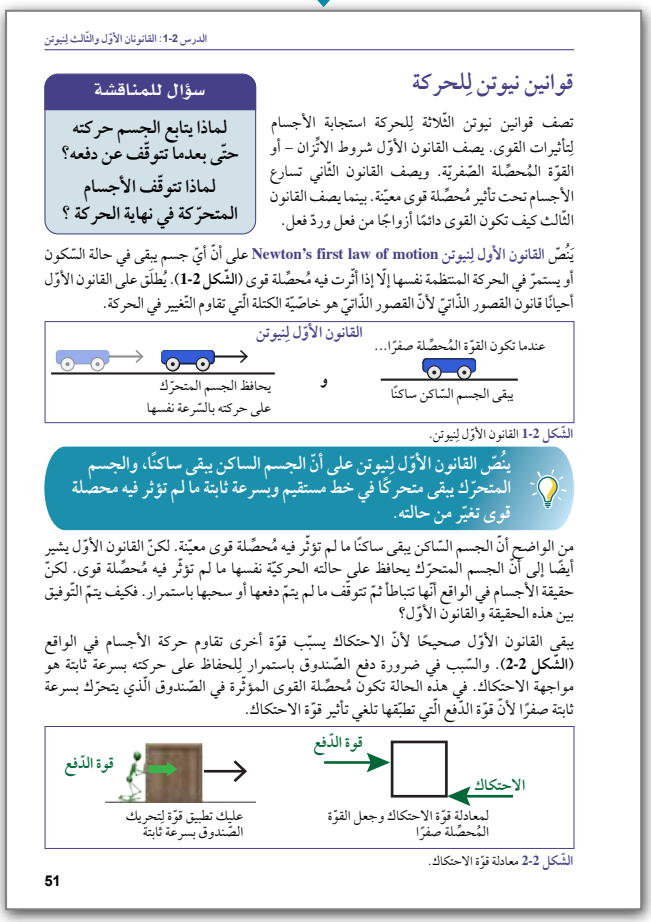
المفردات

القانون الأوّل لِنيوتن	Newton’s first law
القصور الذّاتي	Inertia
قوّة الطّرد المركزيّ	Centrifugal force
القانون الثّالث لِنيوتن	Newton’s third law
زوج الفعل وردّ الفعل	Action-reaction pair

افتتاحية الدرس

لا شك في أن معظم الطلاب قد سمعوا عن قوانين نيوتن في الحركة، لكنهم، على الأغلب لم يتبيّنوا مضمون تلك القوانين.

1. اعرض عليهم هذا الموضوع، عن طريق طرح السؤال الآتي: لمَ يبقى الجسم المتحرّك في حالة حركة حتى بعد التوقف عن دفعه؟
   تستمر الأجسام في حركتها لعدم حاجتها إلى قوة تبقيها متحرّكة.
2. إذا استمر الطلاب في حيرتهم حول الموضوع، وضّح لهم من خلال مثال لجسم يطفو في الفضاء. ماذا يحدث عند سقوط جسم خارج مركبة فضائيّة؟ ما القوة التي يمكن أن تؤثر فيه؟ أشر إلى أنّ هذا الجسم سيستمر في الحركة.
3. نقاش: لِمَ يتوقف الجسم المتحرّك في نهاية المطاف؟
   قد تكون هناك قوة تؤثّر فيه وتكون معاكسة لاتجاه الحركة، كالاحتكاك على سبيل المثال.
4. اذكر نص القانون الأول لنيوتن ثمّ اكتبه على اللوح. ادعُ الطلاب إلى كتابة أمثلة على أجسام مُتحرّكة تحتاج إلى قوة لإيقافها، ثمّ أمثلة على أجسام في حالة سكون، وتحتاج الى قوة لتبدأ حركتها.



القصور الذاتي

من السهولة أن يخطئ الطلاب، فيعمدون إلى مقارنة القصور الذاتي للجسم بحجمه. من الضروري جدًا توضيح ذلك.

1. قدّم إلى الطلاب القصور الذاتي، واشرح لهم أنّه مرتبط بالكتلة، وليس له أي علاقة بالحجم.
2. اعرض على الطلاب عدة أجسام بعضُها ثقيل، لكن حجمه صغير، وبعضها الآخر ذو حجم كبير وكتلته صغيرة (لوح من النحاس أو الرصاص مثلًا، علبة مناديل، وعاء). جهّز مجموعة لأجسام تكون كتلها مكتوبة عليها، لكن لا تقم بالكشف عنها.
3. اسأل الطلاب إن كان بإمكانهم معرفة أي من تلك الأجسام يملك قصورًا أكبر. هل السؤال واضح؟ هل نحتاج إلى مزيد من المعلومات؟ سوف نحتاج إلى معرفة كتل تلك الأجسام.
4. قم الآن بالكشف عن كتلة كل جسم. وادعُ الطلاب إلى إعادة ترتيب الأجسام ترتيبًا تنازليًا وفق قصورها الذاتي.

الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

القصور الذّاتيّ

تُسمّى خاصّيّة الجسم لِمقاومة أيّ تغيّر في حركته **القصور الذّاتيّ Inertia**، وغالبًا ما يُسمَّى القانون الأوّل لِنيوتن قانون القصور الذّاتيّ. فكلّما كان القصور الذّاتيّ لِلجسم أكبر، بات من الصّعب أن نحرّكه أو نوقفه أو نغيّر في اتّجاه حركته. يُعبّر القصور الذّاتيّ عن كتلة الجسم، فالجسم الّذي تبلغ كتلته 2 kg لديه ضعفا القصور الذّاتيّ لِجسم آخر كتلته 1kg.

القصور الذّاتيّ هو مَيلُ الجسم لمقاومة أي تغيّر مفاجئ في حالته الحركيّة.

يجب التّمييز بين الكتلة والحجم، فرغيف الخبز مثلًا أكبر حجمًا من قطعة الطابوق، لكنّ كتلته وقصوره الذّاتيّ أقلّ. إنّ حجم الجسم لا يؤثّر في قصوره الذّاتيّ لأنّ الكتلة وحدها هي الّتي تمنح هذا الجسم قصوره الذّاتيّ.

عندما اقترح علماء الفلك في القرن السّابع عشر، لأوّل مرّة أنّ الأرض تدور حول الشّمس بِسرعة 30,000 m/s، اعتقد النّاس بأنّ هذا الزّعم مستحيل. تخيّل أنّك تُسقِطُ من النّافذة كرة عن ارتفاع خمسة أمتار باتجاه دلو على سطح الأرض. تستغرق الكرة ثانية واحدة لتهبط خمسة أمتار. وفي هذه الأثناء، أي خلال تلك الثّانية من الزّمن، تتحرّك الأرض 30,000 m عبر الفضاء! فلماذا لا يكون الدّلو قد ابتعد مسافة 30,000 m في وقت هبوط الكرة؟

الشّكل 2-3 يبقى القصور الذّاتيّ حركة الأجسام كلّها باتجاه السّرعة المداريّة لِلكرة الأرضيّة.

تكمن الإجابة في أنّ القصور الذّاتيّ يضمن السّرعة الأفقيّة لِلكرة الّتي تتحرّك مع حركة الأرض وتبلغ 30,000 m/s فتبقى كما هي تمامًا خلال سقوط الكرة (**الشّكل 2-3**).

أنت والدّلو والهواء والأرض تتحرّكون جميعًا بِالسّرعة نفسها الّتي تبلغ 30,000 m/s. أنت ترى الكرة تسقط مباشرة في الدّلو لأنّ كلّ كتلة على الأرض تتحرّك بسرعة الأرض المداريّة نفسها. القصور الذّاتيّ يُبقي الأجسام في حركتها في الاتّجاه نفسه ما لم تكن هناك قوًى خارجية.

52

اسأل الطلاب: لِمَ لاتمتلك الأجسام الخفيفة قصورًا كبيرًا؟

يسهل على تلك الأجسام أن تبدأ بالتحرك عندما تكون ساكنة، أو أن تتوقف عندما تكون متحركة. على سبيل المثال، تحتاج سيارة اللّعِب إلى قوة صغيرة لكي تتحرك مقارنة بالسيارة الحقيقية، أو أن تتوقف عن الحركة خلال ثوانٍ قليلة.

يمكن للطلاب الآن كتابة أمثلة على أجسام تمتلك قصورًا ذاتيًا كبيرًا.

قوة الطرد المركزيّة ليست قوة

هذا أفضل مثال على القانون الأول لنيوتن.

1. اشرح كيف أنّ الأجسام المتحرّكة في حركة دائرية، تريد في الحقيقة أن تتابع سيرها على خط مستقيم.
2. استخدم مثال الملابس في آلة الغسيل، فهي دائمًا ملتصقة بجوانب الحوض.
3. اسأل الطلاب: ما الاتجاه الذي يسلكه جسم إذا ما قمنا بتدويره، بعد أن نربطه بخيط ثمّ نتركه ينطلق؟

سوف يتحرّك بشكل مماسي للدائرة، كما هو مبيّن في الشكل 2-4.

القانون الثالث لنيوتن

1. اسأل الطلاب: لمَ لا ينكسر الكرسي الذي يجلسون عليه، مع أن أجسامهم تقوم بتطبيق قوّة على الكرسي؟

يؤثر الكرسي في أجسامنا بقوة مساوية لمقدار وزننا ومعاكسة لاتجاهه. في حال عدم تمكّنه من ذلك، ينكسر.

2. اذكر نص القانون الثالث لنيوتن. اشرح أنّ جميع القوى تأتي على شكل أزواج.
3. يستطيع الطلاب إعداد قائمة بقوى فعل ورد فعل شائعة. يجب أن تكون تلك الأزواج متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه وتؤثر في أجسام مختلفة.

الدرس 2-1: القانونان الأوّل والثالث لِنيوتن

قوّة الطّرد المركزيّة ليست قوّة

تذكّر آخر مرة كنت فيها في سيّارة تلتفّ عند منعطف بسرعة كبيرة. لقد أحسست بـ «قوّة» تدفعك باتّجاه جانب السّيّارة بعيدًا عن مركز المنعطف. وكلّما زادت سرعة دوَران السّيّارة عند المنعطف، زاد إحساسك بأنّك «تندفع» إلى الخارج. يُعرَف هذا التّأثير باسم قوّة الطّرد المركزيّة Centrifugal force على الرّغم من أنّها ليست قوّة حقيقيّة تؤثّر في جسمك.

الشّكل 2-4 تصوُّر قوّة الطّرد المركزيّة.

إنّ شعورك بقوّة الاندفاع نحو الخارج سببه القصور الذّاتيّ لِجسمك، والّذي يحاول متابعة السّير وفقًا لخطّ مستقيم. تدور السّيّارة وترغم جسمك على الدَّوَران معها. لِذلك تبذل السّيّارة من داخلها قوّة على جسمك إلى داخل المنعطف، فيكون ردّ فعل جسمك قوّة تدفع جانب السّيّارة في الاتّجاه المعاكس. وما يُسمّى «قوّة الطّرد المركزيّ»، هو في الواقع نتيجة لِلقانون الأوّل لِنيوتن (القصور الذّاتيّ) في موقف يتمّ فيه إرغامك على السّير في حركة دائريّة.

هُناك قُوّة حقيقيّة تُلزم السيارة على تغيير اتّجاه حركتها، وهي قُوّة الاحتكاك بين عجلات السّيّارة والطّريق والتّي تؤثر في اتجاه عموديّ على اتجاه السرعة. يكون اتجاه هذه القُوّة نحو مركز المسار المنحني كما في (الشّكل 2-5) وتُسمَّى القوة المركزيّة. تؤدّي القُوّة المركزيّة إلى حركة الجسم على مسار دائري. كذلك فإن القوّة التي يؤثّر بها باب السيّارة في جسمك هي قُوّة مركزية لأنها تُلزمُكَ على السّير في المسار الدّائري نفسه التي تتبعه السيّارة.

الشّكل 2-5 القُوّة المركزيّة تُجبر السيّارة على الحركة في مسارٍ دائري.

القانون الثّالث لِنيوتن

يتناول القانون الثّالث لِنيوتن التّفاعلات بين الأجسام، أو بين الأجسام ومحيطها. كلّ تبادل لِلقوّة يأتي من تفاعل بين جسمَين. ينُصّ القانون الثّالث لِنيوتن على أنّ القوى تكون دائمًا على صورة أزواج، فلا يُمكنُك تخيُّل واحدة منها بدون الأخرى. فعندما تطبّق قُوّة فعل لتحريك كرة بيدِك، تلاحظ أن الكُرة تضغط على يَدِك بقوة رد فعل في الاتجاه المعاكس. كذلك عندما تسير على الأرض فإنك تدفع الأرض بقوة إلى الخلف فتدفعك الأرض برد فعل معاكس إلى الأمام.

تكون القوى دائمًا أزواجًا مكوّنة من فعل وردّ فعل.

تكون قوّتا الفعل وردّ الفعل مُتساويتَين في المقدار ومُتعاكستَين في الاتّجاه وتؤثّران دائمًا في جسمَين مختلفَين.

لكي تغيّر حركة جسم، عليك أن تؤثر فيه بقوة معيّنة. يؤدّي الضّغط على دوّاسات درّاجة إلى نقل القوّة من خلال السّلسلة إلى الإطار، فيدفع الإطار الأرض إلى الخلف بالتأثير فيها بقوّة. فما القوّة الّتي تؤثّر في الدّرّاجة؟

الجواب هو ردّ فعل الأرض الّذي يدفع الإطار في اتّجاه مُعاكس إلى الأمام (الشّكل 2-6). قوّة ردّ الفعل على إطار الدّراجة هي القوّة الّتي تحرّك الدّرّاجة إلى الأمام لأنّها القوّة الّتي تؤثّر فيها. (الشّكل 2-7)

الشّكل 2-6 قوّتا الفعل وردّ الفعل عند قيادة الدّرّاجة.

الشّكل 2-7 قوّتا الفعل وردّ الفعل على الأرض والإطارات.

إن التّمييز بين أيّ من قوّتَي الفعل وردّ الفعل ليس أمرًا مهمًا. فكلمتا الفعل وردّ الفعل هما مجرّد تعبير لِلإشارة إلى هاتين القوّتَين، ويُمكِن إطلاق أيّ من التّسميتَين على أيّ من هذين التّعبيرَين. أمّا ما ينبغي معرفته فهو ما يلي:

1. جميع القوى تكون أزواجًا من قوّة فعل وقوّة ردّ الفعل action - reaction pairs.
2. قوّتا الفعل وردّ الفعل مُتساويتَين في المقدار ومُتعاكستَين في الاتّجاه.
3. تؤثّر قوّتا الفعل وردّ الفعل في اللّحظة نفسها وعلى جسمَين مختلفَين، ولا تلغي إحداهما الأخرى.

نشاط 2-1 القانونان الأول والثالث لنيوتن

الإجابات/ عيّنة بيانات

تُنجِز هذا النشاط مجموعات مؤلفة من ثلاثة طلاب أو أربعة. يمكنهم أن يتواصلوا ويتعاونوا.

الأسئلة

a. صِف الإجراءات الّتي استخدمتها لِلتّأكّد من أنّ حركة الكُرات على المنحدر لها السّرعة نفسها والاتّجاه نفسه، عند تكرار الحركة.

وضعنا الكرة كل مرة في المكان نفسه، وقمنا بقياس المسافة التي قطعتها، والزمن الذي استغرقته في حركتها قبل أن تتوقّف.

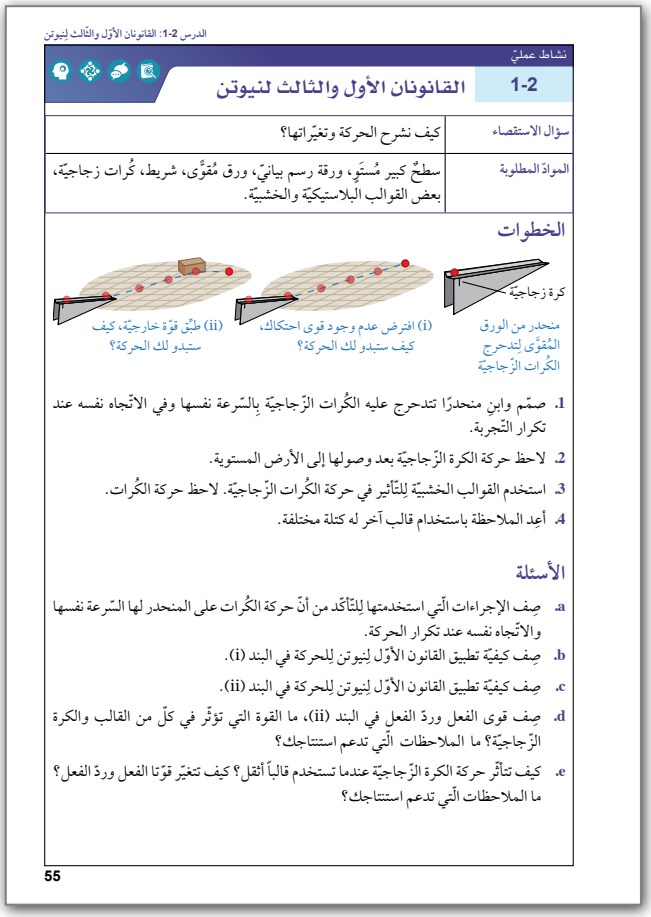
b. صِف كيفيّة تطبيق القانون الأوّل لِنيوتن لِلحركة في البند (i)

بسبب عدم وجود قوى الاحتكاك ستستمر الكرة في الحركة حتى تصطدم بعائق كالحائط فتتوقف عن الحركة.

c. صِف كيفيّة تطبيق القانون الأوّل لِنيوتن لِلحركة في البند (ii).

تستمر الكرة في حركتها إلى أن تصطدم بالقالب فتغيّر من اتجاهها وسرعتها.

d. صِف قوى الفعل وردّ الفعل في البند (b). ما القوة التي تؤثّر في كلّ من القالب والكرة الزّجاجيّة؟ ما الملاحظات الّتي تدعم استنتاجك؟


الدرس 2-1: القانونان الأوّل والثّالث لِنيوتن

نشاط عمليّ

1-2 القانونان الأول والثالث لنيوتن

سؤال الاستقصاء	كيف نشرح الحركة وتغيّراتها؟
المواد المطلوبة	سطحٌ كبير مُستَوٍ، ورقة رسم بيانيّ، ورق مُقوّى، شريط، كُرات زجاجيّة، بعض القوالب البلاستيكيّة والخشبيّة.

الخطوات

1. صمّم وابنِ منحدرًا تتدحرج عليه الكُرات الزّجاجيّة بِالسّرعة نفسها وفي الاتّجاه نفسه عند تكرار التّجربة.
2. لاحظ حركة الكرة الزّجاجيّة بعد وصولها إلى الأرض المستوية.
3. استخدم القوالب الخشبيّة لِلتّأثير في حركة الكُرات الزّجاجيّة. لاحظ حركة الكُرات.
4. أعِد الملاحظة باستخدام قالب آخر له كتلة مختلفة.

الأسئلة

a. صِف الإجراءات الّتي استخدمتها لِلتّأكّد من أنّ حركة الكُرات على المنحدر لها السّرعة نفسها والاتّجاه نفسه عند تكرار الحركة.
b. صِف كيفيّة تطبيق القانون الأوّل لِنيوتن لِلحركة في البند (i).
c. صِف كيفيّة تطبيق القانون الأوّل لِنيوتن لِلحركة في البند (ii).
d. صِف قوى الفعل وردّ الفعل في البند (ii)، ما القوة التي تؤثّر في كلّ من القالب والكرة الزّجاجيّة؟ ما الملاحظات الّتي تدعم استنتاجك؟
e. كيف تتأثّر حركة الكرة الزّجاجيّة عندما تستخدم قالباً أثقل؟ كيف تتغيّر قوّتا الفعل وردّ الفعل؟ ما الملاحظات الّتي تدعم استنتاجك؟

55

الفعل هو اصطدام الكرة بالقالب، وردّ الفعل هو قوة تأثير القالب في الكرة. تأثير الاصطدام سيكون على كل من الكرة والقالب. وبالتالي تتغيّر سرعة الكرة واتجاهها، ويمكن أن يرتد القالب إلى الخلف.

a. كيف تتأثّر حركة الكرة الزّجاجيّة عندما تستخدم قالباً أثقل؟ كيف تتغيّر قوّتا الفعل وردّ الفعل؟ ما الملاحظات الّتي تدعم استنتاجك؟

تتحرّك الكرة الزجاجيّة بشكل أسرع، لأن القالب أثقل، وبالتالي ستكون قوى الفعل وردّ الفعل أكبر. يحتاج القالب إلى قوة أكبر ليتحرّك، وبالتالي لن يتحرّك. أما الكرة، فسوف تنحرف عن مسارها.

جدول ملاحظة كرات ذات كتل مختلفة

كتلة الكرة (g)	حركة الكرة من دون القالب (تعليق حول السرعة والمسافة والاتجاه)	حركة الكرة بعد إضافة القالب
0.5	تتحرّك الكرة في خط مستقيم، لتقل سرعتها بشكل سريع، إلى أن تتوقّف بعد قطعها مسافة 2 m	تنحرف الكرة عن مسارها، لتتباطأ وتتوقف بعد قطعها 1 m
1	تتحرّك الكرة في خط مستقيم، لتقل سرعتها بعد 10 s، إلى أن تتوقّف بعد قطعها مسافة 3.5 m	تنعطف الكرة بشكل أقلّ من الحالة الأولى بعد اصطدامها بالقالب، وتقل سرعتها قليلاً، وتتوقف بعد قطعها مسافة 2.5 m
2	تتحرّك الكرة في خط مستقيم، لتقل سرعتها بعد 30 s، إلى أن تتوقّف بعد قطعها مسافة 5 m	تنعطف الكرة بشكل خفيف جدًا بعد اصطدامها بالقالب، و تقل سرعتها بشكل أقلّ. وتستمر بالتدحرج حتى 4 m. أما القالب، فيتحرّك إلى الخلف.

جدول ملاحظة قوالب ذات كتل مختلفة

كتلة القالب (g)	حركة الكرة من دون القالب (تعليق حول السرعة والمسافة والاتجاه)	حركة الكرة بعد إضافة القالب
1	تتحرّك الكرة في خط مستقيم، لتقل سرعتها بسرعة إلى أن تتوقف بعد قطعها مسافة 2 m	تنحرف الكرة عن مسارها قليلًا، لتتباطأ وتتوقف بعد قطعها 1 m
2	تتحرّك الكرة في خط مستقيم، لتقل سرعتها بسرعة إلى أن تتوقف بعد قطعها مسافة 2 m	تنعطف الكرة أكثر من الحالة الأولى و تقل سرعتها، وتتوقف بعد قطعها مسافة 2 m
3	تتحرّك الكرة في خط مستقيم، لتقل سرعتها بسرعة إلى أن تتوقف بعد قطعها مسافة 2 m	تنعطف الكرة بشكل حاد و تقل سرعتها أيضًا، لتتوقف بعد قطعها مسافة 3 m.

أزواج الفعل وردّ الفعل

قدم إلى الطلاب أمثلة متعددة على أزواج من قوتي الفعل ورد الفعل.

1. وضّح لهم أن القوى تكون أزواجًا، حتى لو لم نلاحظ ذلك. وفي أغلب الحالات يكون هناك أكثر من زوج واحد من قوى التفاعل بين الجسم ومحيطه. أحد الأمثلة هو كتاب موضوع على طاولة مستقرة على الأرض، فهناك تفاعل بين الطاولة والكتاب من جهة والطاولة والأرض من جهة آخرى والطاولة و الأرض أيضًا.
2. وضّح، من خلال مثال الجلوس على الكرسي، أننا نطبّق قوة على الكرسي إلى أسفل، وبالمقابل يؤثّر الكرسي في أجسامنا بقوة رد فعل إلى أعلى. كما أن الكرسي يؤثّر في أرض الغرفة بقوة فعل، وتؤثر الأرض في الكرسي بقوة رد فعل. هل يمكن أن يكون هناك تفاعل بين أرض الغرفة وأي شيء آخر؟
3. اعرض الأمثلة الواردة في كتاب الطالب ثمّ ادعُ الطلاب إلى المشاركة بأمثلة أخرى.

كما يمكنك القيام بالتالي:

1. حضّر أزواجًا من الأسهم للطلاب، ليضعوها على الأجسام.
2. وزّع الطلاب إلى مجموعتين أو ثلاث، وزوّد كل مجموعة بخمسة أسهم. واطلب منهم وضع الأسهم لأزواج قوى الفعل ورد الفعل الموجودة في الصف.

مُلحق

1. كلّف الطلاب وضع الأسهم في مكان وجود أكثر من مجموعة واحدة من القوى.
   مثال: الطالب الكرسي، الكرسي الأرض.
2. في نهاية النشاط، ناقش الطلاب بما وجدوه، وتحرَّ الأفكار الأكثر إبداعًا.

الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

أزواج الفعل وردّ الفعل

إنّ حقيقة عدم وجود قوّة منفردة هو وسيلة مهمّة لِفهم الفيزياء. تكون القوى دائمًا أزواجًا. ويؤدّي أيّ تفاعل بين جسمَين إلى التّأثير في كلَيهما. ولِفهم القانون الثّالث لنيوتن، علينا تحديد الجسمين المتفاعلين في قوّتَي الفعل وردّ الفعل.

غالبًا ما تُعتبَر القوى العموديّة بين الأجسام والأسطح الدّاعمة قوى ردّ الفعل. افترض كرة على طاولة كما في **الشّكل 2-8**. تدفع الكرة الطّاولة إلى أسفل بِقوّة مُساوية لِوزنها، وهي قوّة تؤثّر في الطّاولة. إنّ قوّة ردّ الفعل هي القوّة الّتي تؤثّر من خلالها الطّاولة في الكرة. وبما أن وزن الكرة (القوة التي تؤثر بها الأرض في الكرة) يساوي ويعاكس القوة العمودية (التي تؤثر بها الطاولة في الكرة) فإن محصلة القوى المؤثرة في الكرة تكون صفرا.

زوج فعل وردّ فعل
ردّ الفعل القوة التي تؤثر بها الطاولة في الكرة
الفعل القوة التي تؤثر بها الكرة في الطاولة

الشّكل 2-8 قوّتا الفعل وردّ الفعل على الكرة والطّاولة.

وعند التّعمق في الموضوع نجد زوجَين آخرين من أزواج الفعل وردّ الفعل في هذا المثال. إنّ وزن الكرة هو تفاعل بين كتلة الكرة وكتلة الأرض **(الشّكل 2-9)** حيث تجذب الأرض الكرة بقوة وتجذب الكرة الأرض بقوة رد فعل. ويُعتبَر كوكب الأرض شريك الكرة في قوّة وزنها من الفعل وردّ الفعل. ولِأنّ الأرض ضخمة جدًّا مقارنة بِالكرة فإنّ الأرض لا تتحرّك عمليًّا.

الفعل -Fw
ردّ الفعل Fw

الشّكل 2-9 قوّة ردّ فعل الوزن تؤثّر في الكرة الأرضيّة.

دورة من 28 يومًا للأرض حول مركز كتلة النّظام
دورة من 28 يومًا للقمر حول مركز كتلة النّظام
مركز الكتلة

الشّكل 2-10 يدور كلّ من الأرض والقمر مرّة كل 28 يومًا تقريبًا حول مركز كتلة نظام الأرض – القمر.

تشكل الأرض والقمر نظامًا مشتركًا له مركز كتلة واحد، يتبادلان فيه قوة الجذب الكتلي، إذ تؤثر جاذبية الأرض في القمر فتحرّكه في مداره. لكنّ جاذبيّة القمر تؤثّر في الأرض بِقوّة مُساوية ومُعاكسة! وهي تحرّك الأرض في مدار حول مركز كتلة نظام الأرض–القمر **(الشّكل 2-10)**.

56

تقويم الدّرس 2-1 — الإجابات

1. كيف تطبّق كلًّا من القانونَين الأوّل والثّالث لِنيوتن في كلّ من الحالات التّالية:

a. طالب كتلته 50 kg يجلس على كرسيّ ويستقر عليه.

القانون الأول لنيوتن: يبقى الطالب في حالة سكون، وسيبقى على هذه الحالة إلى أن يجري تطبيق قوة عليه تجعله يتحرّك.

القانون الثالث لنيوتن: القوة التي يؤثر بها الطالب في الكرسي. وقوة رد الفعل العموديّة من الكرسي على الطالب، تشكّلان زوجًا من قوتَي الفعل ورد الفعل.

b. كويكب يسير في الفضاء بسرعة ثابتة في خط مستقيم.

القانون الأول لنيوتن: عندما تكون محصِّلة القوى صفرًا، يتابع الكويكب حركته بسرعة ثابتة.

القانون الثالث لنيوتن: لا يوجد قوى فعل و رد فعل في هذه الحالة لعدم تفاعل الكويكب مع أي جسم آخر.

c. تحتاج الشاحنة المحملة لقوّة محرّك لتصل إلى السّرعة اللّازمة على الطّريق السّريع.

القانون الأول لنيوتن: تحتاج الشاحنة إلى قوة لتبدأ الحركة، ولتزيد من سرعتها أيضًا. من دون تلك القوة ستبقى الشاحنة في حالة سكون، أو تسير بسرعة ثابتة. عند تَساوي قوة دفع المحرّك مع قوة الاحتكاك، تصبح محصلة القوى صفرًا وتسير الشاحنة بالسرعة الثابتة اللازمة.

القانون الثالث لنيوتن: يؤثّر المحرّك بقوة تدفع العجلات إلى الأمام، بينما تضغط العجلات على الأرض بالاتجاه المعاكس. كما تشكّل حمولة السيارة قوة فعل على السيارة، ويكون رد فعلها قوة من السيّارة على الحمولة.

d. سيارة تسير على طريق مستقيم مبلل وعليه زيوت بسرعة ثابتة، ولا يمكنها تغيير مقدار السرعة أو الانحراف أو التوقف.

القانون الأول لنيوتن: تحتاج السيّارة إلى القوة من أجل أن تتسارع، أو تنعطف أو تتوقّف. تبدو الأسطح المبللة أو المزيّتة كأسطح عديمة الاحتكاك، ما يجعل من الصعب جدًّا على قوى الاحتكاك أن يكون لها أي تأثير.

القانون الثالث لنيوتن: تطبّق إطارات السيارة قوة على الأرض نحو الخلف، بينما تدفع الأرض اطارات السيارة إلى الأمام.

2. الكرة الّتي تتدحرج على سطح مُستوٍ تتحرّك في خطّ مُستقيم، لكنّها في الواقع تتوقّف في نهاية المطاف، حتّى وإن لم يلمسها أحد. هل يتناقض ذلك مع ما تعرفه عن القانون الأوّل لِنيوتن؟ فسِّر إجابتك.

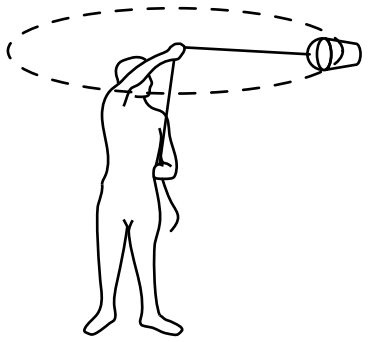
لا يناقض ذلك القانون الأول لنيوتن. تذكر نصّ القانون الأول لنيوتن أنّ الجسم بحاجة إلى قوة لتغيير حالته الحركيّة. فالقوة، التي أوقفت حركة الكرة في هذه الحالة، هي الاحتكاك.

تقويم الدّرس 2-1 — الإجابات

3. تكون قوّتا الفعل وردّ الفعل مُتساويتَي المقدار دائمًا ومُتعاكستَين في الاتّجاه. لماذا لا تكون مُحصِّلتهما صفرًا؟

لا تلغي قوتا الفعل ورد الفعل إحداهما الأخرى لأنّهما تؤثّران في جسمين مختلفين. تلغي القوى المتساوية في المقدار والمتعاكسة في الاتجاه بعضها بعضًا إذا كانت تؤثر في الجسم نفسه.

4. إحدى الألعاب الفيزيائية المسلية هي ملء دلو صغيرة جدًّا بِالماء وتحريكه في مسار دائريّ بعد تعليقه بِطرف حبل. لا يتسرّب الماء حتّى عندما يدور الدّلو في مستوًى أفقي. اشرح سبب بقاء الماء في الدّلو.



يبقى الماء في الدلو، لأنه يحاول متابعة حركته في خط مستقيم نتيجة القصور الذاتي، إلا أن الدلو يجبر الماء على التحرك في مسار دائري، فيبقى الماء فيه، من دون أن ينسكب منه.

5. سيّارة تسير بسرعة 30 km/h تستخدم الفرامل وتتوقّف على طريق مُستوٍ. كيف ينطبق القانون الثّالث لِنيوتن على حالة توقُّف السّيّارة؟

هناك قوتا فعل ورد فعل عند تطبيق الفرامل في السيارة. تؤثّر الفرامل بقوة في الاتجاه الخلفي على إطارات السيّارة التي تتحرّك نحو الأمام، ما يسبّب توقّف السيّارة. فيعني ذلك قوة فعل من الفرامل على الإطارات ورد فعل من الإطارات على الفرامل.

6. تدور الأرض حول الشّمس لأنّ قوّة جاذبيّة الشّمس تُلزِم الأرض التّحرّك في مسار إهليلجيّ. صِف قوّة الفعل وردّ الفعل بين الأرض والشّمس.

تؤثّر جاذبية الشمس في الأرض، فتُبقي الأرض في مدارها. وبالمقابل، فإن جاذبية الأرض تؤثّر في الشمس بقوة مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه، ولكن تأثيرها في حركة الشمس محدود جدًّا، لأن كتلة الشمس تساوي حوالي مليون مرة كتلة الأرض.

7. يستقرّ تمثال كتلته 100 kg على منصة فوق سطح الأرض. صِف زوجَين من أزواج قوى الفعل وردّ الفعل بين التّمثال ومحيطه.

زوج قوة الفعل ورد الفعل الأول: يؤثر التمثال بقوة وزنه في المنصة، ويكون رد الفعل هو القوة التي تؤثر بها المنصة في التمثال.

زوج قوة الفعل ورد الفعل الثاني: تؤثر الأرض على التمثال بقوة الجاذبية للأسفل؛ ويؤثر التمثال بقوة رد فعل معاكسة.

إعادة تدريس

يجد الطلاب صعوبة في مفهومين: الأول أن الحركة يمكن أن تتابع إلى اللانهاية من دون أي قوة خارجية، والثاني أن قوَّتَي الفعل ورد الفعل تؤثران في جسمين مختلفين.

1. كَلِّف الطلاب أن يرسموا مسار كويكب في الفضاء الخارجي بعيدًا عن أي نجوم أو كواكب. إنّك تحاول توجيههم إلى رسم مسار لخط مستقيم تتمثّل فيه حركة الكويكب بسرعة ثابتة المقدار والاتجاه. لأنه لا يوجد أي شيء يغيّر من طبيعة الحركة. من دون قوة خارجية، تستمر الحركة إلى اللانهاية.
2. كلّف أحد الطلاب أن يسحب قبضة باب مقفل من دون أن يستطيع فتحه. ما القوة المؤثرة في الباب؟ ما القوة المؤثرة في الطالب؟ أي القوتين هي الفعل؟ أيهما قوة رد الفعل؟
الفكرة هي أن القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، وتؤثران في جسمين مختلفين. لذلك فإن أي من القوتين يمكن أن تكون الفعل، فتكون الثانية رد الفعل.

إثراء

ادعُ الطلاب إلى التفكير في موقف توجد فيه قوة واحدة فقط.
لا يمكنهم التأكد من وجود هذه الحالة، فالقوى موجودة في الطبيعة على شكل أزواج.
اطلب إليهم ربط مستشعِرَي قوة بطرفي رباط مطاطي. ملاحظة: لا تحاول ربط مستشعري القوة أحدهما بالآخر بشكل مباشر من دون رباط مطاطي بينهما لتحول دون تَلَفِهما بسبب تطبيق قوة كبيرة. كَلِّف الطلاب إعداد رسم بياني يوضح أن القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه في أي لحظة، وبشكل دائم.
لإنجاز هذا العمل، يتعين اتّباع الخطوات الآتية:

1. بعد اختيار محور موجب، تكون إحدى قوتي الفعل ورد الفعل في اتجاه المحور ذات مقدار موجب، والقوة الثانية ذات مقدار سالب.
2. نَظِّم رسمًا بيانيًا يُظهر تغيّر القوتين على محور واحد.
3. يتعيّن ضبط كل من المستشعِرَين على إشارة الصفر، عندما يكون الرباط المطاطي غير مشدود.
4. اضغط على «زر البدء» لتسجيل البيانات، وسترى خطين متماثلين بالنسبة إلى المحور x، أحدهما فوق المحور والثاني تحته. إذا ازداد مقدار إحدى القوتين في الاتجاه الموجب فإن القوة الثانية تنقص بالمقدار نفسه في الاتجاه السالب.

ملاحظات

الدرس 2-2
القانون الثاني لنيوتن

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع / الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد دليل المعلم
القانون الثاني لنيوتن في الحركة حصة واحدة	معادلات القانون الثاني لنيوتن في الحركة	الصفحتان 58-59	الصفحة 82
مسائل في تحديد نوع الحركة بمعرفة القوى $\frac{1}{2}$ حصة	مسائل أمثلة	الصفحة 60	الصفحة 83
مسائل حول تحديد القوة بدلالة الحركة $\frac{1}{2}$ حصة	مسائل أمثلة	الصفحة 61	الصفحة 83
آلة آتوود حصة واحدة	شرح وتوضيح ومعادلات	الصفحتان 62-63	الصفحة 84
نشاط عملي القانون الثاني لنيوتن حصة واحدة	التحرّي حول القانون الثاني لنيوتن واستخدام برامج جمع البيانات	الصفحة 64	الصفحتان 85-86 ورقة عمل 2-2

الزمن المقترح للدرس

يحتاج هذا الدرس إلى 4 حصص صفيّة، ويتضمّن نشاطين عمليين (2-2)، إضافةً إلى أفكار حول أنشطة عملية موجزة، ومناقشات مع الطلاب.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
2-2 القانون الثاني لنيوتن	عربة ديناميكيّة تتحرّك على مضمار ديناميكي، خيط، كتلة صغيرة، قارئ بيانات، بكَرة ومشبك.

مخرجات التعلّم

P1103.1 يذكر نص قوانين نيوتن في الحركة، ويطبقها في ظروف حياتية حقيقية.

المعرفة السابقة

يفترض أن يكون الطلاب على دراية بقوة رد الفعل العموديّة، وكيفيّة حساب الاحتكاك. وعليهم الانتباه لتعريف التسارع، على الرغم من أنّ معادلات الحركة ستجري مراجعتها أيضًا.

المفردات

القانون الثّاني لِنيوتن	Newton’s second law
الدّيناميكا	Dynamics

افتتاحية الدرس

القانون الثاني لنيوتن هو الخطوة الأولى في فهم طبيعة الحركة. فالعلاقة بين القوة والتسارع هي المفهوم الرئيس الذي سيستخدم في كثير من الدروس اللاحقة.

1. ابدأ الدرس بهذا السؤال: ما العلاقة بين الحركة والقوة؟
   أرشد الطلاب إلى الفكرة التي تقول إنّ وجود قوة أكبر ينتج تسارعًا أكبر.
2. سلِ الطلاب عن العلاقة بين الكتلة والتسارع. ناقشهم كيف أنّ الكتلة تتناسب عكسيًّا مع التسارع في حين أن القوة تتناسب طرديًا مع التسارع. (قد تحتاج إلى مراجعة مصطلحي: التناسب الطردي والتناسب العكسي.
3. يمكنك أن تعرض بسرعة توضيحًا للقانون الثاني لنيوتن، عن طريق دفع عربتين مختلفتي الكتلة بالقوة نفسها. كذلك يمكن دفع العربة نفسها بقوتين مختلفتين والمقارنة بين التسارعين.
4. اعرض المعادلة 1 - 2.

مسائل في تحديد نوع الحركة بمعرفة القوى

1. اشرح المسألة الديناميكيّة.
2. اذكر أن اتّجاه التسارع هو نفسه اتّجاه القوة.
3. علينا أولاً وضع قائمة بالمتغيرات المُعطاة، ثمّ اختيار المعادلة الصحيحة.
4. ساعد الطلاب على حل المثال.

مسائل حول تحديد القوة بدلالة الحركة

1. اشرح الأمر الآتي: إذا أردنا إيجاد القوة في مسألة، سيكون علينا أولاً تحديد التسارع.
2. يمكننا فعل ذلك من خلال استخدام معادلات الحركة الخطّيّة.
3. بمجرّد معرفة التسارع، يمكننا استخدام المعادلة 1 - 2 لحل المسألة.
4. حل المثال أمام الطلاب.

الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

مسائل في تحديد نوع الحركة بِمعرفة القوى

مسائل الدّيناميكا Dynamics تتضمّن الحركة المُتسارِعة والقوى، وتتضمّن كذلك استخدام القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد تسارع الجسم ونوع حركته بِمعرفة الكتلة والقوى المؤثّرة فيه.

1. اتّجاه التسارع هو نفسه اتّجاه مُحصّلة القوى.
2. يتعيّن استخدام الوحدات المُتجانِسة لِلقوّة والتسارع والسّرعة والمسافة والزّمن.
3. عند التعامل مع الكميات المتجهة مثل القوّة والسرعة والتسارع يجب تحديد الاتجاه الموجب في الحركة الأفقية نحو اليمين، وفي الحركة الرأسية نحو الاعلى.
4. المُعادَلات أدناه تربط مجموعة من المُتغيّرات.

المتغيّرات	المعادلات
a, F, m	$a = \frac{F}{m}$
a, F, m, t, v, v_0	$a = \frac{F}{m} \quad v = v_0 + at$
$a, F, m, t, v, v_0, x, x_0$	$a = \frac{F}{m} \quad v = v_0 + at \quad x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

مثال (2)

تتحرّك كرة مضرب (تنس) كتلتها 250 g بِسرعة 40 m/s إلى جهة اليمين، ضُربَت بِمضرب بِقوّة مقدارها 3,000 N إلى جهة اليسار، إذا كان زمن تأثير القوة (زمن التلامس بين المضرب والكرة) يساوي 0.005 s. احسب سرعة الكرة بعد الضّرب.

استخدم القانون الثاني لنيوتن لحساب التسارع

$$a = \frac{F}{m} = \frac{-3{,}000\ \text{N}}{0.25\ \text{kg}} = -12{,}000\ \text{m/s}^2$$

استخدم معادلات الحركة لحساب السرعة

$$v = v_0 + at \rightarrow v = 40\ \text{m/s} - (12{,}000\ \text{m/s}^2)(0.005\text{s})$$

$$\boxed{v = -20\ \text{m/s}}$$

60

الدرس 2-2: القانون الثّاني لِنيوتن

مسائل حول تحديد القوّة بِدلالة الحركة

يصاحب تطبيق القوة وجود تسارع. هناك خطوتان لإيجاد القوّة المؤثّرة في جسم ما بِمعرفة نوع حركته. والخطوتان هما:

1. استخدام مُعادَلات الحركة لإيجاد مقدار التسارع.
2. استعمال القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد القوة بمعرفة التسارع.

أحد الأمثلة الجيّدة على هذا النّوع من الأسئلة هو حركة الطّائرات. فلكي تقلع الطّائرة من المطار يجب أن تبلغ سرعة إقلاع معيّنة. وبما أنّ كتلة الطّائرة وطول مدرج المطار وأقصى تسارع يُمكِن أن يتحمله الرّكّاب، كلّها كمّيّات معروفة، لِذلك يمكننا تطبيق القانون الثّاني لِحساب قوّة المحرّك اللّازمة للإقلاع.

مثال (3)

طائرة كتلتها 70,000 kg تبلغ سرعة إقلاعها 67 m/s خلال 11 s. ما مقدار قوّة المحرّك التي تلزم لِتحقيق ذلك؟

البداية، $v = 0$, $t = 0$ — الإقلاع، $v = 67$ m/s, $t = 11$ s

المطلوب: قوّة المحرك F

المعطى: $m = 70{,}000$ kg, $v = 67$ m/s, $t = 11$ s

العلاقات: $F = ma$, $v = v_0 + at$

الحل

استخدم معادلات الحركة لإيجاد التسارع

$$v = v_0 + at \rightarrow a = \frac{v - v_0}{t} \rightarrow a = \frac{67\ \text{m/s}}{11\ \text{s}} = 6.09\ \text{m/s}^2$$

استخدم القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد القوّة

$$F = ma \rightarrow F = (70{,}000\ \text{kg})(6.09\ \text{m/s}^2)$$

الجواب: $= \boxed{426{,}300\ \text{N}}$

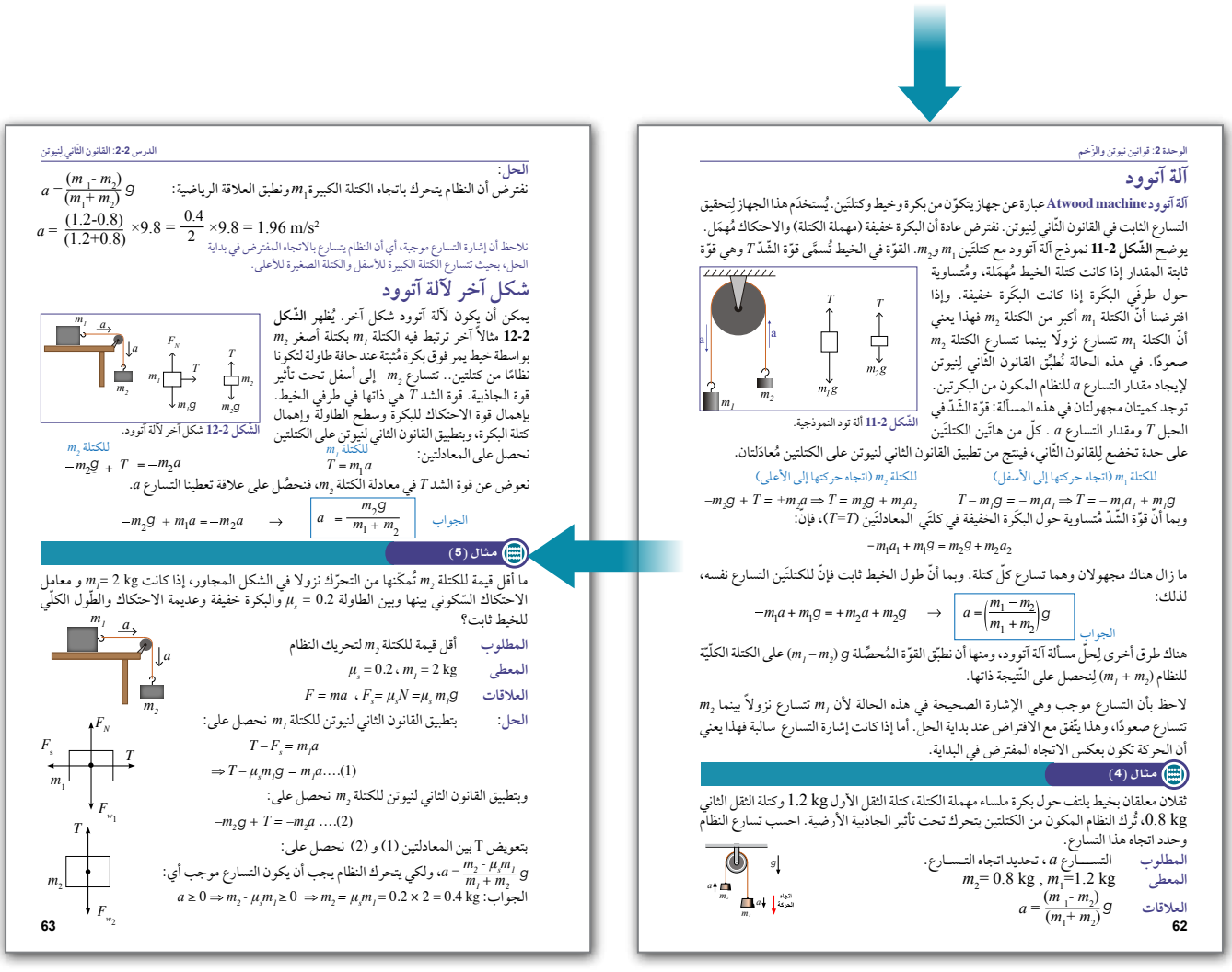
61

آلة آتوود

تُعدّ آلة آتوود تطبيقًا للقانون الثاني لنيوتن.

1. أنشئ آلة آتوود بسيطة باستخدام بكرة وأوزان وخيط، وذلك قبل وصول الطلاب. أمسكها بيدك حتى لا تتسارع نزولاً.
2. سلِ الطلاب: ما الاتِّجاه المتوقع لحركة كل من الكتلتين؟ ولماذا؟ أي الكتلتين ستتسارع نحو الأسفل؟

   أرشد الطلاب إلى أنّ الجاذبية ستسحب الكتلة الأثقل إلى الأسفل، في حين أن الكتلة الأخف تتحرّك إلى الأعلى.
3. كلّف الطلاب تحضير قائمة بالمتغيّرات المعلومة والمتغيّرات المجهولة.
4. اشتق معادلة التسارع.
5. أعط الطلاب قيما مختلفة لكل من m_1 و m_2 للتدرّب على حساب التسارع.
6. كرّر العمل بالطريقة نفسها للشكل الآخر لآلة آتوود.



الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

آلة آتوود

آلة آتوود Atwood machine عبارة عن جهاز يتكوّن من بكرة وخيط وكتلتَين. يُستخدَم هذا الجهاز لِتحقيق التسارع الثابت في القانون الثّاني لِنيوتن. نفترض عادة أن البكرة خفيفة (مهملة الكتلة) والاحتكاك مُهمَل. يوضح الشّكل 11-2 نموذج آلة آتوود مع كتلتَين m_1 و m_2. القوّة في الخيط تُسمَّى قوّة الشّدّ T وهي قوّة ثابتة المقدار إذا كانت كتلة الخيط مُهمَلة، ومُتساوية حول طرفَي البكَرة إذا كانت البكَرة خفيفة. وإذا افترضنا أنّ الكتلة m_1 أكبر من الكتلة m_2 فهذا يعني أنّ الكتلة m_1 تتسارع نزولًا بينما تتسارع الكتلة m_2 صعودًا. في هذه الحالة نُطبّق القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد مقدار التسارع a للنظام المكون من البكرتين. توجد كميتان مجهولتان في هذه المسألة: قوّة الشّدّ في الحبل T ومقدار التسارع a . كلّ من هاتَين الكتلتَين على حدة تخضع لِلقانون الثّاني، فينتج من تطبيق القانون الثاني لنيوتن على الكتلتين مُعادَلتان.

الشّكل 11-2 آلة تود النموذجية.

للكتلة m_1 (اتجاه حركتها إلى الأسفل) للكتلة m_2 (اتجاه حركتها إلى الأعلى)

$$T - m_1g = -m_1a_1 \Rightarrow T = -m_1a_1 + m_1g \qquad -m_2g + T = +m_2a \Rightarrow T = m_2g + m_2a_2$$

وبما أنّ قوّة الشّدّ مُتساوية حول البكَرة الخفيفة في كلتَي المعادلتَين (T=T)، فإن:

$$-m_1a_1 + m_1g = m_2g + m_2a_2$$

ما زال هناك مجهولان وهما تسارع كلّ كتلة. وبما أنّ طول الخيط ثابت فإنّ للكتلتَين التسارع نفسه، لذلك:

$$-m_1a + m_1g = +m_2a + m_2g \rightarrow \boxed{a = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)g}$$ الجواب

هناك طرق أخرى لِحلّ مسألة آلة آتوود، ومنها أن نطبّق القوّة المُحصّلة $(m_1 - m_2)\,g$ على الكتلة الكلّيّة للنظام $(m_1 + m_2)$ لِنحصل على النّتيجة ذاتها.

لاحظ بأن التسارع موجب وهي الإشارة الصحيحة في هذه الحالة لأن m_1 تتسارع نزولاً بينما m_2 تتسارع صعودًا، وهذا يتّفق مع الافتراض عند بداية الحل. أما إذا كانت إشارة التسارع سالبة فهذا يعني أن الحركة تكون بعكس الاتجاه المفترض في البداية.

مثال (4)

ثقلان معلقان بخيط يلتف حول بكرة ملساء مهملة الكتلة، كتلة الثقل الأول 1.2 kg وكتلة الثقل الثاني 0.8 kg، تُرك النظام المكون من الكتلتين يتحرك تحت تأثير الجاذبية الأرضية. احسب تسارع النظام وحدد اتجاه هذا التسارع.

المطلوب التسارع a، تحديد اتجاه التسارع.

المعطى $m_2 = 0.8$ kg , $m_1 = 1.2$ kg

العلاقات $a = \dfrac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)}g$

62

الدرس 2-2: القانون الثّاني لِنيوتن

الحل:

نفترض أن النظام يتحرك باتجاه الكتلة الكبيرة m_1 ونطبق العلاقة الرياضية: $a = \dfrac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)}g$

$$a = \frac{(1.2\text{-}0.8)}{(1.2+0.8)} \times 9.8 = \frac{0.4}{2} \times 9.8 = 1.96 \text{ m/s}^2$$

نلاحظ أن إشارة التسارع موجبة، أي أن النظام يتسارع بالاتجاه المفترض في بداية الحل، بحيث تتسارع الكتلة الكبيرة للأسفل والكتلة الصغيرة للأعلى.

شكل آخر لآلة آتوود

يمكن أن يكون لآلة آتوود شكل آخر. يُظهر الشّكل 12-2 مثالاً آخر ترتبط فيه الكتلة m_1 بكتلة أصغر m_2 بواسطة خيط يمر فوق بكرة مُثبتة عند حافة طاولة لتكونا نظامًا من كتلتين.. تتسارع m_2 إلى أسفل تحت تأثير قوة الجاذبية. قوة الشد T هي ذاتها في طرفي الخيط. بإهمال قوة الاحتكاك للبكرة وسطح الطاولة وإهمال كتلة البكرة، وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الكتلتين نحصل على المعادلتين:

الشّكل 12-2 شكل آخر لآلة آتوود.

للكتلة m_1: $T = m_1a$

للكتلة m_2: $-m_2g + T = -m_2a$

نعوض عن قوة الشد T في معادلة الكتلة m_2، فنحصل على علاقة تعطينا التسارع a.

$$-m_2g + m_1a = -m_2a \rightarrow \boxed{a = \frac{m_2g}{m_1 + m_2}}$$ الجواب

مثال (5)

ما أقل قيمة للكتلة m_2 تُمكّنها من التحرّك نزولا في الشكل المجاور، إذا كانت m_1= 2 kg و معامل الاحتكاك السّكوني بينها وبين الطاولة $\mu_s = 0.2$ والبكرة خفيفة وعديمة الاحتكاك والطّول الكلّي للخيط ثابت؟

المطلوب أقل قيمة للكتلة m_2 لتحريك النظام

المعطى $\mu_s = 0.2$ ، $m_1 = 2$ kg

العلاقات $F = ma$ ، $F_s = \mu_s N = \mu_s m_1 g$

الحل: بتطبيق القانون الثاني لنيوتن للكتلة m_1 نحصل على:

$$T - F_s = m_1a$$

$$\Rightarrow T - \mu_s m_1 g = m_1 a \ldots (1)$$

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن للكتلة m_2 نحصل على:

$$-m_2g + T = -m_2a \ldots (2)$$

بتعويض T بين المعادلتين (1) و (2) نحصل على:

$a = \dfrac{m_2 - \mu_s m_1}{m_1 + m_2}g$، ولكي يتحرك النظام يجب أن يكون التسارع موجب أي:

الجواب: $a \geq 0 \Rightarrow m_2 - \mu_s m_1 \geq 0 \Rightarrow m_2 = \mu_s m_1 = 0.2 \times 2 = 0.4$ kg

63

نشاط 2-2 القانون الثاني لنيوتن

الإجابات/ عيّنة بيانات

يتعيّن إنجاز النشاط في مجموعات من الطلاب مؤلَّفة من ثلاثة طلاب إلى أربعة، يتواصلون معًا ويتعاونون.سوف نحتاج إلى عربة ديناميكيّة وبرنامج جمع البيانات، ليرصد الطلاب حركة العربة. استخدم كتلًا تمكّن الطلاب من رصد التغيّر في التسارع. ستكون عيّنة البيانات متغيِّرة، وتعتمد بشكل رئيس على كتلة العربة وقوة الاحتكاك مع السطح. سوف يؤثر تفسير الطلاب للمخطّط البياني للتسارع أيضًا في النتائج.

الكتلة المعُلّقة (kg)	الوزن (N) الكتلة × 9.8	متوسط التسارع (m/s^2)
0.010	0.098	0.39
0.020	0.196	0.78
0.030	0.294	1.18
0.040	0.392	1.6

الأسئلة

a. صِف القوى المؤثّرة في العربة خلال حركتها قبل وصول الكتلة الصّغيرة إلى الأرض، وبعد وصولها.

قبل وصول الكتلة الصغيرة إلى الأرض، تكون هناك قوة تعمل على سحب العربة. أما بعد وصول الكتلة إلى الأرض، فلن يكون هناك أي قوة سحب للعربة.

b. من خلال الرّسم البيانيّ التّقريبيّ للتسارع، تَوقّع قيمة التسارع قبل وصول الكتلة إلى الأرض، وبعد وصولها.

قبل أن ترتطم الكتلة بالأرض، تستمر العربة في تسارعها. أما بعد وصول الكتلة إلى الأرض، فإن العربة تبدأ بالتباطؤ في الاتجاه المُعاكس.

الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

نشاط عمليّ

2-2 القانون الثّاني لنيوتن

سؤال الاستقصاء	كيف نُطبّق القانون الثّاني لِنيوتن؟
المواد المطلوبة	عربة ديناميكيّة تتحرّك على مضمار ديناميكي، خيط، كتلة صغيرة، قارئ بيانات، بكَرة ومشبك.

الخطوات

1. اضبط قارئ البيانات لقراءة كل من الموقع والسرعة والتسارع.
2. اربط العربة بطرف خيط ومرِّره فوق البكَرة واربط الطّرف الثّاني لِلخيط بكتلة صغيرة بحيث يتِمّ سحب العربة إلى وسط الطّاولة قبل أن تصطدم الكتلة الصغيرة بالأرض.
3. استخدم قارئ البيانات للحصول على الرّسم البيانيّ لِلموقع والسّرعة والتسارع بدلالة الزمن في أثناء حركة العربة.
4. كرّر التّجربة باستخدام كُتَل مختلفة على العربة .

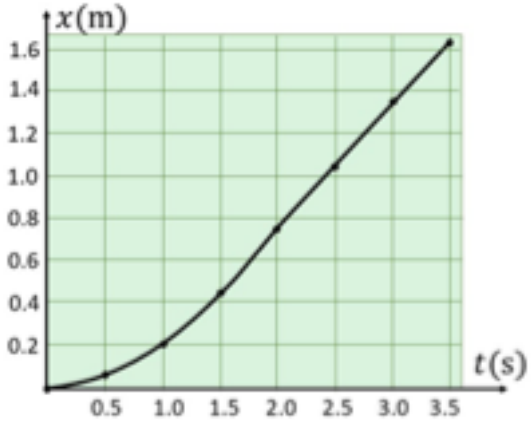
الأسئلة

a. صِف القوى المؤثّرة في العربة خلال حركتها قبل وبعد أن تصل الكتلة الصّغيرة إلى الأرض.
b. من خلال الرّسم البيانيّ التّقريبيّ لِلتسارع، تَوقّع قيمة التسارع قبل وبعد وصول الكتلة إلى الأرض.
c. لاحظ الرّسم البيانيّ لِلموقع مقابل الزّمن. أيّ جزء من الرّسم البيانيّ يُعتبَر خطيًّا؟ وأيّ جزء يُعتبَر مُنحنيًا؟ وهل يمكن معرفة اللّحظة الّتي وصلت فيها الكتلة إلى الأرض؟
d. صِف الرّسم البيانيّ لِلسّرعة مقابل الزّمن. هل يمكن معرفة النّقطة الّتي تمثّل لحظة وصول الكتلة إلى الأرض؟
e. ماذا يحدث لِلتسارع عندما تزداد كتلة العربة وتبقى الكتلة الصّغيرة المعلقة كما هي؟
f. ما المُتغيِّرات التّجريبيّة والمُتغيِّرات المضبوطة في البند (c)؟

64

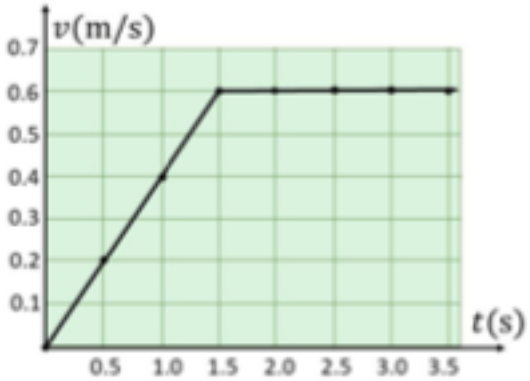
c. صف الرّسم البيانيّ لِلموقع بدلالة الزّمن. أيّ جزء من الرّسم البيانيّ يُعدّ خطّيًّا؟ وأيّ جزء يُعدّ مُنحنيًا؟ وهل يمكن معرفة اللحظة الّتي وصلت فيها الكتلة إلى الأرض؟

يكون الرسم البياني مُنحنيًا في البداية، ليصبح بعدها خطّيًّا بميل ثابت. يمثّل الجزء الخطّي من الرسم البياني الفترة التي لا يوجد فيها تسارع، وهو يبدأ عند لحظة وصول الكتلة إلى الأرض.



d. صِف الرّسم البيانيّ لِلسّرعة بدلالة الزّمن. هل يمكن معرفة اللحظة الّتي وصلت عندها الكتلة إلى الأرض؟

يكون الرسم البياني للسرعة بدلالة الزمن خطّيًّا في البداية، ليصبح بعدها خطًّا مستقيمًا أفقيًّا، إذا كان الاحتكاك مُهملًا، وذلك بعد اللحظة التي تصل فيها الكتلة الصغيرة إلى الأرض.



e. ماذا يحدث للتسارع عندما تزداد كتلة العربة، وتبقى الكتلة الصّغيرة المعلقة كما هي؟

يصبح ميل الرسم البياني أقل، عند زيادة كتلة العربة.

f. ما المُتغيِّرات التّجريبيّة والمُتغيِّرات المضبوطة في البند (c)؟

المتغيّر التجريبي (التابع) هو الزمن، والمتغيّر التجريبي (المستقل) هو الكتلة الصغيرة (القوة المُطبقة)، والمتغيّر المضبوط (الثابت) هو تسارع الجاذبية الأرضيّة.

ملاحظة: هذه الأجوبة مبنيّة على رسوم بيانيّة مثاليّة. مسجّل البيانات يعطي تغيُّرات صغيرة جدًا. وربّما بدت رسوم الطلاب البيانية متباينة. اطلب منهم تصوّر الاتجاه العام للرسم البياني، والتعامل مع القيم المتوسِّطة.

تقويم الدّرس 2-2 — الإجابات

1. ما الكمية الفيزيائية التي تتناسب طرديًّا مع التسارع وفقًا للقانون الثّاني؟

يتناسب تسارع الجسم طرديًّا مع محصّلة القوى المُطبّقة على الجسم.

2. ما كتلة رجل يتحرّك بتسارع $4\ m/s^2$ تحت تأثير مُحصِّلة قوى مقدارها 300 N؟

التسارع، $a = 4\ m/s^2$ القوة، $F = 300\ N$

الإجابة $m = \frac{F}{a} = \frac{300\ N}{4m/s^2} = 75kg$

3. ما قوّة ردّ الفعل العموديّة الّتي يؤثّر بِها سطح الأرض في شخص كتلته 40 kg، يقفز رأسيًّا إلى الأعلى بتسارع 3 m/s2 وهو لا يزال مُتّصِلًا بِالأرض؟

التسارع $a = 3\ m/s^2$، الكتلة: $40\ kg$

قوة رد الفعل العموديّة هي القوة المتَّجهة إلى أعلى، وهي رد فعل الأرض على الوزن+القوة اللازمة للقفز.

$$F_N = mg + ma$$
$$= (40kg)(9.8m/s^2)+(40kg)(3\ m/s^2)$$

الإجابة $512\ N =$

4. صخرة كتل تها 10 kg، تنزلق بسرعة 8 m/s على سطح أُفقيّ لِتقف بعد قطع مسافة 8 m:

a. احسُب قوّة الاحتكاك المؤثّرة في الصّخرة.

المسافة $x = 8\ m$، الموقع الابتدائي، $x_0 = 0\ m$

الكتلة $m = 10\ kg$، السرعة الابتدائيّة $v_0 = 8\ m/s$، السرعة النهائيّة $v = 0\ m/s$،

يمكننا حساب القوة مستخدمين القانون الثاني لنيوتن، لكننا نحتاج إلى إيجاد التسارع أولاً. نحسب التسارع بدلالة الزمن من معادلة السرعة ونعوّض في معادلة الموقع:

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2 \qquad v = v_0 + at$$

$$8m = 0m + 8t + \frac{1}{2}at^2 \qquad 0\ m/s = 8m/s + at$$

$$8m = 8t + \frac{1}{2}at^2 \quad \text{---(2) المعادلة} \qquad a = \frac{-8\ m/s}{t} \quad \text{---(1) المعادلة}$$

تقويم الدّرس 2-2 — الإجابات

بالتعويض عن التسارع a ، بدلالة الزمن نحصل على:

$$8m = 8t + \frac{1}{2}\left(-\frac{8}{t}\right)t^2$$

$$8m = 8t - 4t$$

$$t = 2s$$

نستخدم الزمن لحساب التسارع، ثمّ نعوض قيمتها في $F = ma$ لإيجاد القوة.

$$a = \frac{-8\ m/s}{2s} = -4\ \ m/s^2$$

$$F = ma = (10kg)\left(-\frac{4m}{s^2}\right) = -40\ N$$

b. احسُب معامل الاحتكاك الحركيّ.

من القسم (a) نعلّم أنّ: الاحتكاك، $F_k = -40N$

قوة رد الفعل العموديّة، $F_N = 10kg\ (9.8m/s^2) = 98N$

$$F_k = \mu_k F_N$$

$$40N = \mu_k\ 98N$$

$$\mu_k = 0.4$$

5. ما المسافة الّتي يقطعها قارب كتلته 600 kg خلال 12 s، علمًا أنّ القارب كان قد بدأ الحركة من السّكون تحت تأثير قوّة مقدارها 900 N؟

الكتلة: $m = 600\ kg$ الزمن: $t = 12\ s$ القوة: $F = 900\ N$ ، $v_o = 0\ m/s$

$x = ?;\ x_0 = 0\ m$

لإيجاد الموقع، علينا أوّلاً حساب التسارع.

$$F = ma$$

$$900N = (600\ kg)a$$

$$a = 1.5\ m/s^2$$

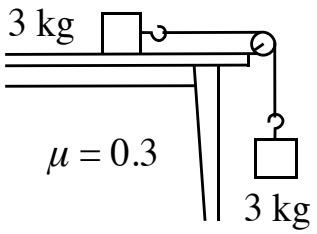
نستخدم الآن معادلة الموقع:

$$x = \cancel{x_0}^{0} + \cancel{v_0 t}^{0} + \frac{1}{2}at^2$$

الإجابة: $x = \frac{1}{2}(1.5\ m/s^2)(12s)^2 = 108\ m$

تقويم الدّرس 2-2 — الإجابات

6. كتلتان متماثلتان مقدار كل منهما 3 kg مُتّصلِتان بِخيط يمرّ فوق بكَرة مهملة الكتلة والاحتكاك، كما هو مُوَضَّح في الشّكل المقابل. إذا كان مُعامِل الاحتكاك مع سطح الطاولة يساوي 0.3، احسُب تسارع الكتلة المعلّقة.



الكتلة، $m=3kg$ ، $\mu_k=0.3$

نطبّق القانون الثاني لنيوتن على كل من الكتلتين:

للكتلة الموضوعة على الطاولة:

$$T - F_{fk} = ma \Rightarrow T - \mu_k mg = ma$$

وللكتلة المتدلّية:

$$T - mg = - ma \Rightarrow T = mg - ma$$

لاحظ أن قوة الشد هي نفسها حول طرفي البكرة الخفيفة، وتسارع الكتلتين هو نفسه، لأن الخيط ثابت الطول.

بتعويض T بين المعادلتين، نحصل على:

$$mg - ma - \mu_k mg = ma \Rightarrow a = \frac{g(1-\mu_k)}{2}$$

$$\Rightarrow a = \frac{9.8(1 - 0.3)}{2} = 3.43\ m/s^2$$

7. تصادمت كرتان لهما الكتلة نفسها، إحداهما اكتسبت تسارع مقداره $12\ m/s^2$ في لحظة معيّنة. ما مقدار تسارع الكرة الثّانية في تلك اللّحظة؟ اشرح السّبب.

نعلم من القانون الثالث لنيوتن أنّ لكل فعل رد فعل يساويه في المقدار ويُعاكسه في الاتجاه. بما أنّ للكرتين كتلتين متساويتين، فسوف يكون تسارع كل منهما هو نفسه. ولذلك تتسارع الكرة الثانيّة بتسارع ثابت مقداره $12m/s^2$ وفي الاتجاه المعاكس.

8. سيّارة كتلتها 2,200 kg تسارعت من السّكون على طريق أُفقيّ، وحقّقت سرعة 100 km/h خلال 5 s. احسُب مُحصِّلة القوى المؤثّرة في السّيّارة.

الكتلة: $m = 2{,}200\ kg$ السرعة النهائيّة: $v = 100\ km/h = 28 m/s$

السرعة الابتدائيّة، $v_0 = 0\ m/s$ الفترة الزمنيّة $t = 5s$

لحساب القوة، نقوم بحساب التسارع أولاً:

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{28 m/s - 0}{5s} = 5.6\ m/s^2$$

فتكون محصِّلة القوى المؤثِّرة في السيارة:

$$F = ma = 2{,}200 kg(5.6\ m/s^2) = 12{,}320\ N$$

تقويم الدّرس 2-2 — الإجابات

9. يقيس الميزان المنزليّ القوّة العموديّة التي يؤثر بها سطح الأرض في الأجسام:

a. ما القيمة الّتي يسجّلها الميزان إذا وقف عليه شخص كتلته 100 kg في مصعد يتسارع إلى الأعلى بتسارع $1.2\ m/s^2$ ؟

يتأثر الرجل بوزنه mg إلى أسفل، والقوة العموديّة F_N من الميزان إلى أعلى. وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن نحصل على:

$$F_N - mg = ma \Rightarrow F_N = m\,(g + a) = 100\,(9.8 + 1.2) = 1100\ N$$

b. ما القيمة الّتي يسجّلها الميزان إذا وقف الشّخص نفسه على الميزان في المصعد، وهو يتسارع إلى الأسفل بتسارع $1.8\ m/s^2$ ؟

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن في هذه الحالة، نحصل على:

الإجابة

$$F_N - mg = -ma \Rightarrow F_N = m\,(g - a) = 100(9.8-1.8) = 800\ N$$

إعادة تدريس

قد يجد الطلاب صعوبة في الحسابات الجبرية، ومنها المعادلة من الدرجة الثانية. إن مستوى الرياضيات في هذا الدرس يتجاوز المستوى في الدرس 2-1.

1. تعاون مع مُعلم الرياضيات لتقديم أوراق عمل لمراجعة بعض العمليات الجبرية كقوانين التبادل والتوزيع، وحَل المعادلات لحساب المُتغيِّرات.
2. حَل المعادلات المتزامنة ضروري في هذا الدرس، لذلك يُنصح بمراجعتها. يجب أن يكون الطلاب قادرين على تعويض مُتَغَيِّر مُعيّن في معادلة تشتمل على ذلك المتغيّر، وقادرين على حساب قيمته.
3. قد تكون وحدة القياس m/s^2 مُربكة بعض الشيء، لعدم وجود ثانية مُربّعة شبيهة بالمتر المربّع. وضح للطلاب أن m/s^2 ناتجة من متر في الثانية لكل ثانية.

إثراء

كلّف الطلاب بناء آلة آتورد، واستخدام التسارع التي يحصلون عليها بالتجربة، لتقدير قيمة قوة الاحتكاك. عليهم الإجابة عن الأسئلة الآتية بدعم من بياناتهم:

1. ما قوة الاحتكاك المؤثرة في النظام؟
2. مَثِّل قوة الاحتكاك هذه على مخطَّط الجسم الحر.
3. هل توضح بياناتك أي اعتماد لقوة الاحتكاك على الكتلة أو السرعة؟ إذا كان الجواب نعم، فما نوع هذا الاعتماد؟ هل تؤثر الكتلة والسرعة في 10% أو 20% أو 30% من قوة الاحتكاك؟ على الطلاب القيام بتجارب تتضمن سرعات مختلفة وكتلًا مختلفة.
4. ربما أمكن إجراء ذلك بشكل جيد، باستخدام مستشعر يزوِّدنا ببيانات حول تسارع النظام. يمكن أن نضع المستشعر على الكتل، أو على البكرة.

الدرس 2-3
حركة المقذوفات والسّطح المائل

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع / الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد دليل المعلم
القوى والحركة في بُعدَين حصة واحدة	معادلات الحركة في كل من اتجاهي x و y	الصفحتان 67-66	الصفحة 94
حركة المقذوفات حصة واحدة	تعريف حركة المقذوفات وتحديد المدى ومعادلات السرعة والموقع وأمثلة محلولة	الصفحتان 69-68	الصفحة 95
السّطح المائل 3 حصص	عرض مسألة السطح المائل وشرح آلية عمله بالمعادلات والأنشطة	الصفحات 73-70	الصفحتان 96-98 النشاط a3-2
نشاط: قوانين الحركة وحوادث السَّير حصة واحدة	تصوّر حوادث المرور وربطها بقوانين نيوتن في الحركة	الصفحة 74	الصفحتان 100-101 ورقة عمل b3-2

الزمن المقترح للدرس

يتطلب هذا الدرس 6 حصص دراسية، وهو يتضمن أيضًا فترتين عمليتين للنشاطين (a3-2 و b3-2). هناك أيضًا أفكار للألعاب البسيطة، والأنشطة، والمناقشات مع الطلاب.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
a3-2 نشاط السطح المائل	عربة ديناميكيّة، نظام قارئ البيانات، المستوى المائل (المضمار الميكانيكي) ، منقلة
b3-2 نشاط قوانين الحركة وحوادث السَّير	عربة ديناميكيّة، معجون ناعم، مستوى مائل (مضمار ميكانيكي)، ورقة، قوالب أو عُلَب صغيرة خفيفة

مخرجات التعلّم

P1103.1 يذكر قوانين نيوتن للحركة، ويطبّقها على مواقف واقعية.

المعرفة السابقة

يُفترض أن يكون الطلاب على علم بالفرق بين الكمية القياسيّة والكمية المتّجهة. وهم كذلك بحاجة إلى معرفة إيجاد أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية باستخدام الجيب وجيب التمام والظل. ومن المفيد جدًا مراجعة حساب أطوال اضلاع المثلث باستخدام النسب المثلثيّة.

المفردات

Projectile	مقذوف
Range	مدى
Inclined plane	سطح مائل

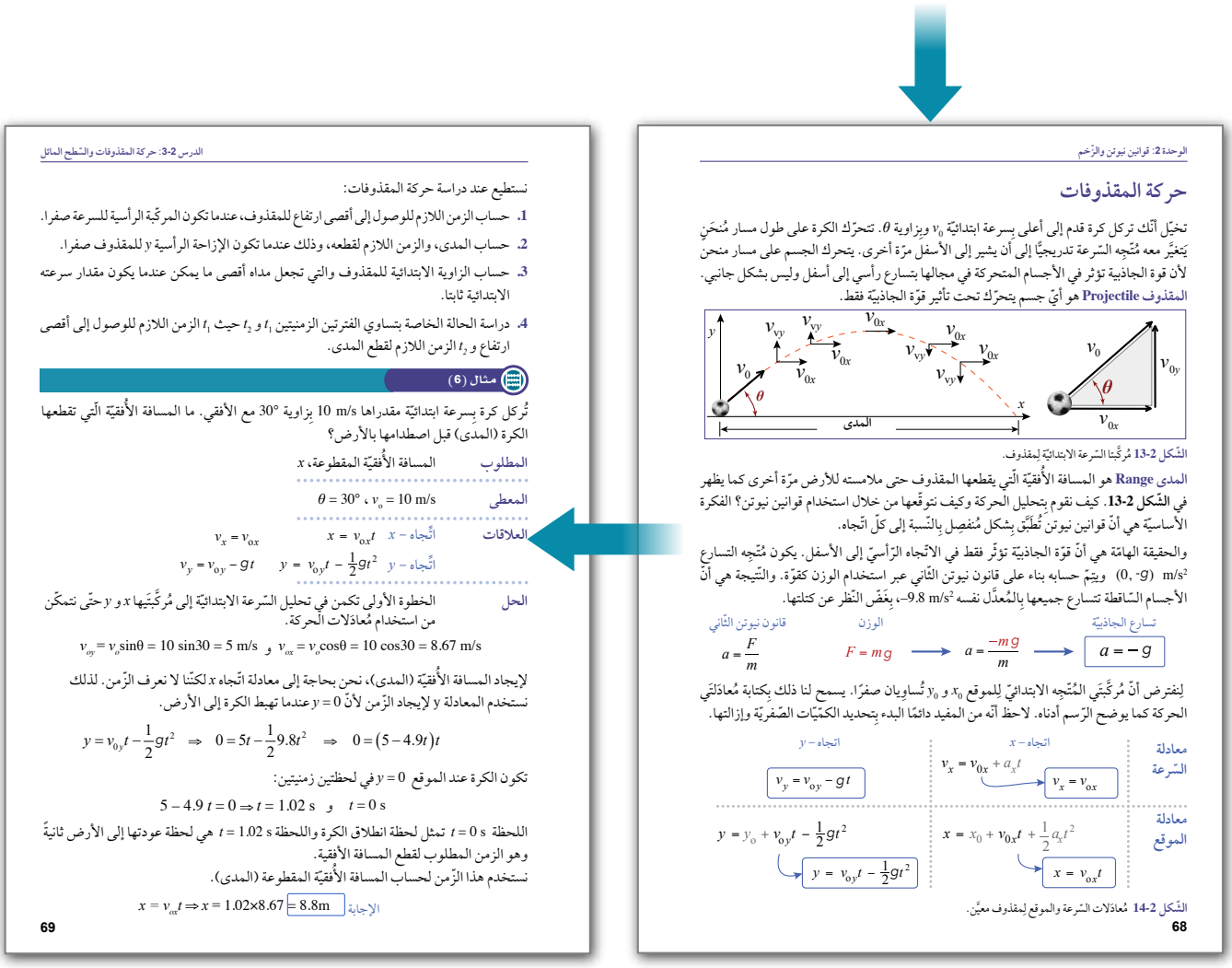
افتتاحية الدرس

تُعدّ حركة المقذوفات فكرة رائعة، إذ نلاحظها في حركة كرة القدم وكرة السلة والكرة الطائرة ، وسواها من الألعاب. ولكن دراستها قد تكون محيّرة ومربكة للطلاب، وهي تطبيق للقانون الثاني لنيوتن. لذلك فإن تقسيمها إلى خطوات صغيرة جدًا وتكرارها، يساعدان الطلاب على فهمها جيدًا. الموضوع.

1. قدّم الدرس بسؤال الطلاب: كيف نُطبِّق قوانين نيوتن للحركة على منحنى؟
   سيكون لدى الطلاب أفكار مختلفة حول الموضوع، وربّما كانوا عاجزين عن التوصل إلى الجواب الصحيح. ولذلك نكرّس نصف درسنا حول فهم حركة المقذوفات.
2. اشرح للطلاب كيفية تحليل المُتَّجهات إلى اتّجاهين x و y، لجعلها أسهل للفهم.
3. اشرح قوانين نيوتن ومعادلات الحركة الخطّية باستخدام المركّبتين x و y.
4. ذكّر الطلاب بأن اتجاه x هو الأفقي، واتجاه y هو الرأسي.

حركة المقذوفات

1. قدّم مفردتي المقذوف والمدى. اشرح أن حركة المقذوفات لها مسار منحنٍ؛ ولذلك يمكننا تقسيمها إلى مركّبتين، والتعامل مع كل منهما بشكل منفصل.
2. وضّح أن التسارع في الاتجاه y يعود إلى الجاذبية، ويُرمَز إليه بالرمز $(-g)$.
3. ليس للمقذوف أي تسارع في اتجاه x، وبالتالي فإن السرعة في اتجاه x ثابتة.
4. ساعد الطلاب على إعادة كتابة المعادلات في كلا الاتجاهين x و y.
5. حلّ المثال مع الطلاب.
6. حلّ المثال على السبورة، وأشرك الطلاب في حلّه، واستمر في طلب مساعدتهم.
7. الآن، حاول تغيير السرعة الابتدائية والزوايا، وحُلّ أسئلة تقويم الدرس، وبعض أسئلة تقويم الوحدة.



حركة المقذوفات

تخيّل أنّك تركل كرة قدم إلى أعلى بسرعة ابتدائيّة v_0 وبزاوية θ. تتحرّك الكرة على طول مسار مُنحَنٍ يتغيَّر معه مُتّجِه السّرعة تدريجيًّا إلى أن يشير إلى الأسفل مرّة أخرى. يتحرك الجسم على مسار منحن لأن قوة الجاذبية تؤثر في الأجسام المتحركة في مجالها بتسارع رأسي إلى أسفل وليس بشكل جانبي.

المقذوف Projectile هو أيّ جسم يتحرّك تحت تأثير قوّة الجاذبيّة فقط.

الشّكل 2-13 مُركّبتا السّرعة الابتدائيّة لمقذوف.

المدى Range هو المسافة الأُفقيّة الّتي يقطعها المقذوف حتى ملامسته للأرض مرّة أخرى كما يظهر في الشّكل **2-13**. كيف نقوم بتحليل الحركة وكيف نتوقّعها من خلال استخدام قوانين نيوتن؟ الفكرة الأساسيّة هي أنّ قوانين نيوتن تُطبَّق بشكل مُنفصِل بالنّسبة إلى كلّ اتّجاه.

والحقيقة الهامّة هي أنّ قوّة الجاذبيّة تؤثّر فقط في الاتّجاه الرّأسيّ إلى الأسفل. يكون مُتّجِه التسارع $(0, -g)$ m/s² ويتمّ حسابه بناء على قانون نيوتن الثّاني عبر استخدام الوزن كقوّة. والنّتيجة هي أنّ الأجسام السّاقطة تتسارع جميعها بالمُعدَّل نفسه -9.8 m/s²، بغَضّ النّظر عن كتلتها.

تسارع الجاذبيّة ← الوزن ← قانون نيوتن الثّاني

$$F = mg \longrightarrow a = \frac{-mg}{m} \longrightarrow \boxed{a = -g} \qquad a = \frac{F}{m}$$

لِنفترض أنّ مُركّبَتي المُتّجِه الابتدائيّ للموقع x_0 و y_0 تُساويان صفرًا. يسمح لنا ذلك بكتابة مُعادَلتَي الحركة كما يوضح الرّسم أدناه. لاحظ أنّه من المفيد دائمًا البدء بتحديد الكمّيّات الصّفريّة وإزالتها.

	اتجاه x	اتجاه y
معادلة السّرعة	$v_x = v_{0x} + a_x t$ ← $\boxed{v_x = v_{0x}}$	$\boxed{v_y = v_{0y} - gt}$
معادلة الموقع	$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$ ← $\boxed{x = v_{0x}t}$	$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$ ← $\boxed{y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2}$

الشّكل 2-14 مُعادلات السّرعة والموقع لِمقذوف معيَّن.

نستطيع عند دراسة حركة المقذوفات:

1. حساب الزمن اللازم للوصول إلى أقصى ارتفاع للمقذوف، عندما تكون المركّبة الرأسية للسرعة صفرا.
2. حساب المدى، والزمن اللازم لقطعه، وذلك عندما تكون الإزاحة الرأسية y للمقذوف صفرا.
3. حساب الزاوية الابتدائية للمقذوف والتي تجعل مداه أقصى ما يمكن عندما يكون مقدار سرعته الابتدائية ثابتا.
4. دراسة الحالة الخاصة بتساوي الفترتين الزمنيتين t_1 و t_2 حيث t_1 الزمن اللازم للوصول إلى أقصى ارتفاع و t_2 الزمن اللازم لقطع المدى.

مثال (6)

تُركل كرة بِسرعة ابتدائيّة مقدارها 10 m/s بِزاوية 30° مع الأفقي. ما المسافة الأُفقيّة الّتي تقطعها الكرة (المدى) قبل اصطدامها بالأرض؟

المطلوب المسافة الأُفقيّة المقطوعة، x

المعطى $\theta = 30°$ ، $v_o = 10$ m/s

العلاقات اتّجاه x – $x = v_{ox}t$ ، $v_x = v_{0x}$

اتّجاه y – $y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$ ، $v_y = v_{0y} - gt$

الحل الخطوة الأولى تكمن في تحليل السّرعة الابتدائيّة إلى مُركّبَتيها x و y حتّى نتمكّن من استخدام مُعادَلات الحركة.

$$v_{oy} = v_o \sin\theta = 10\sin 30 = 5 \text{ m/s} \quad \text{و} \quad v_{ox} = v_o \cos\theta = 10\cos 30 = 8.67 \text{ m/s}$$

لإيجاد المسافة الأُفقيّة (المدى)، نحن بحاجة إلى معادلة اتّجاه x لكنّنا لا نعرف الزّمن. لذلك نستخدم المعادلة y لإيجاد الزّمن لأنّ $y = 0$ عندما تهبط الكرة إلى الأرض.

$$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow 0 = 5t - \frac{1}{2}9.8t^2 \Rightarrow 0 = (5 - 4.9)t$$

تكون الكرة عند الموقع $y = 0$ في لحظتين زمنيتين:

$$5 - 4.9\,t = 0 \Rightarrow t = 1.02 \text{ s} \quad \text{و} \quad t = 0 \text{ s}$$

اللحظة $t = 0$ s تمثل لحظة انطلاق الكرة واللحظة $t = 1.02$ s هي لحظة عودتها إلى الأرض ثانيةً وهو الزمن المطلوب لقطع المسافة الأفقية.

نستخدم هذا الزّمن لحساب المسافة الأُفقيّة المقطوعة (المدى).

$$x = v_{ox}t \Rightarrow x = 1.02 \times 8.67 = 8.8\text{m}$$ الإجابة

السطح المائل

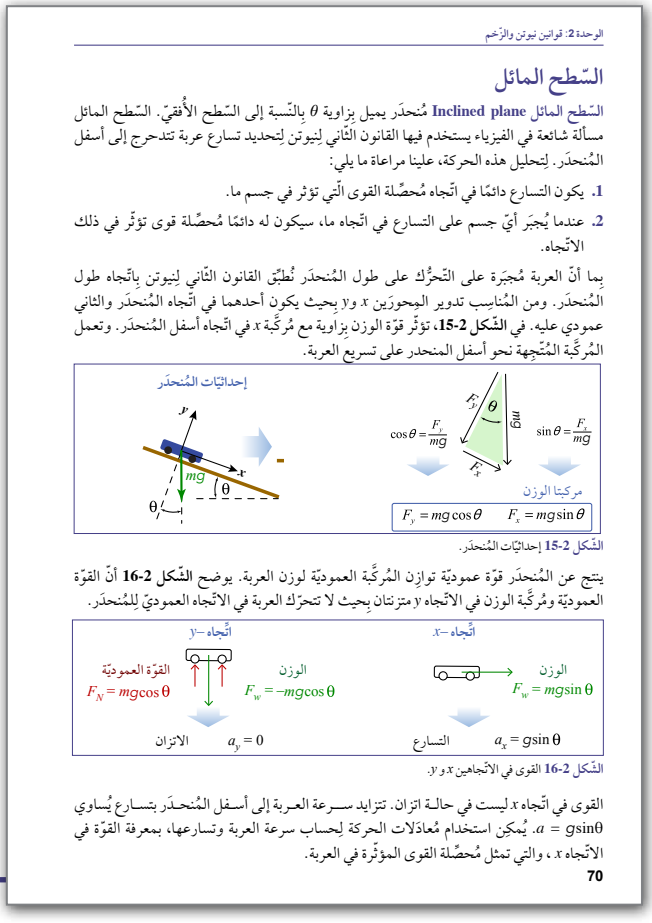
تطبيق آخر للقانون الثاني لنيوتن على الحركة بخصوص حركة الأجسام على سطح مائل.

1. عرّف السطح المائل.
2. اشرح العلاقة بين محصِّلة القوى والتسارع. اعرض العلاقة بين اتجاه التسارع واتجاه محصِّلة القوى، باستخدام عربة ومنحدر على سطح مائل، وعلى سطحٍ مستوٍ وأفقي.
3. ارسم على لوحة رسمًا بيانيًّا لمركبتيّ القوة x و y، وارسم عليه المثلث القائم الزاوية الناتج من المركّبتين.
   أشرح كيف تكون قوة الوزن هي وتر المثلث القائم الزاوية.
4. بيّن للطلاب، بمساعدة الشكل 2 - 15 و2 - 16 ، أن التسارع في هذه الحالة يكون في اتجاه المركّبة x، وليس في اتجاه المركّبة y.

التحقّق

للتحقّق ممّا تعلّمه الطلاب، استخدم السطح المائل والعربة المتوفرة في مختبر المدرسة فقط.

1. أنشىء سطحًا مائلًا، واسمح للعربة بالتسارع إلى الأسفل.
2. قس زاوية السطح المائل وكتلة العربة بمساعدة الطلاب.
3. حلّ سؤال النشاط بإيجاد التسارع والقوى المؤثرة في العربة.
4. كرّر خطوات النشاط بتغيير الزاوية.
5. يمكن التحقّق من الجواب باستخدام قارئ البيانات ومستشعر الحركة.



الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

السّطح المائل

السّطح المائل Inclined plane مُنحدَر يميل بزاوية θ بالنّسبة إلى السّطح الأفقيّ. السّطح المائل مسألة شائعة في الفيزياء يستخدم فيها القانون الثّاني لِنيوتن لِتحديد تسارع عربة تتدحرج إلى أسفل المُنحدَر. لِتحليل هذه الحركة، علينا مراعاة ما يلي:

1. يكون التسارع دائمًا في اتّجاه مُحصِّلة القوى الّتي تؤثر في جسم ما.
2. عندما يُجبَر أيّ جسم على التسارع في اتّجاه ما، سيكون له دائمًا مُحصِّلة قوى تؤثّر في ذلك الاتّجاه.

بما أنّ العربة مُجبَرة على التّحرُّك على طول المُنحدَر نُطبّق القانون الثّاني لِنيوتن بِاتّجاه طول المُنحدَر. ومن المُناسِب تدوير المِحورَين x وy بِحيث يكون أحدهما في اتّجاه المُنحدَر والثاني عمودي عليه. في **الشّكل 2-15**، تؤثّر قوّة الوزن بِزاوية مع مُركّبة x في اتّجاه أسفل المُنحدَر. وتعمل المُركّبة المُتّجِهة نحو أسفل المنحدر على تسريع العربة.

إحداثيّات المُنحدَر

مركبتا الوزن

$F_y = mg\cos\theta$ $F_x = mg\sin\theta$

الشّكل 2-15 إحداثيّات المُنحدَر.

ينتج عن المُنحدَر قوّة عموديّة توازِن المُركّبة العموديّة لوزن العربة. يوضح **الشّكل 2-16** أنّ القوّة العموديّة ومُركّبة الوزن في الاتّجاه y متزنتان بِحيث لا تتحرّك العربة في الاتّجاه العموديّ لِلمُنحدَر.

اتّجاه x– اتّجاه y–

الوزن $F_w = mg\sin\theta$ — الوزن $F_w = -mg\cos\theta$ — القوّة العموديّة $F_N = mg\cos\theta$

التسارع $a_x = g\sin\theta$ — الاتزان $a_y = 0$

الشّكل 2-16 القوى في الاتّجاهين x و y.

القوى في اتّجاه x ليست في حالة اتزان. تتزايد سرعة العربة إلى أسفل المُنحدَر بتسارع يُساوي $a = g\sin\theta$. يُمكِن استخدام مُعادَلات الحركة لِحساب سرعة العربة وتسارعها، بمعرفة القوّة في الاتّجاه x، والتي تمثل مُحصِّلة القوى المؤثّرة في العربة.

70

نشاط 2-3a السطح المائل

الإجابات/ عيّنة بيانات

يتعيّن تنفيذ هذا النشاط الجماعي في مجموعات من ثلاثة طلاب أو أربعة حتى يتمكّنوا من التواصل والتعاون. هناك حاجة إلى عربة ديناميكيّة، ونظام قارئ بيانات لملاحظة حركة العربة. تجري الإجابة عن معظم الأسئلة في جدول البيانات المعطى في نهاية هذا النشاط. ويعد اشتقاق معادلة قياس الزمن المتوقع للفترة الزمنية، الّتي تستغرقها العربة لِقطع المسافة بين نُقطتَي البداية والنّهاية، فكرة جيدة قبل توزيع الطلاب على مجموعاتهم. يمكن للطلاب إنشاء منحدر، لكن عليهم دعمه بكتب أو أشياء صغيرة عند أسفل السطح. شجّعهم على استخدام زوايا صغيرة فقط.

الأسئلة

a. احسُب زاوية المُنحدَر من خلال قياس الارتفاع والطّول.
يدوّن هذا في الجدول.

b. تَوقَّع تسارع العربة من خلال تطبيق القانون الثّاني لِنيوتن على طول المُنحدَر.
يدوّن هذا في الجدول.

الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم
نشاط عمليّ
3-2 (a) السّطح المائل

سؤال الاستقصاء	كيف نحلّل الحركة على السطح المائل؟
الموادّ المطلوبة	عربة ديناميكيّة، قارئ البيانات، المستوى المائل (المضمار الميكانيكي)، منقلة

الخطوات

1. قم بإعداد سطح مائل مع عربة ديناميكيّة ونظام قارئ بيانات بعد ضبطه لقراءة الموقع والسرعة والتسارع بالنسبة للزمن.
2. لاحظ الرّسوم البيانيّة لِلموقع والسّرعة والتسارع في أثناء حركة العربة.
3. قم بِقياس الفترة الزمنية الّتي تستغرقها العربة لِقطع المسافة بين نُقطتَي البداية والنّهاية باستخدام البوابة الضوئية.

الأسئلة

a. احسُب زاوية ميل المُنحدَر بقياس الارتفاع والطّول.
b. تَوقَّع تسارع العربة من خلال تطبيق القانون الثّاني لِنيوتن على طول المُنحدَر.
c. قارن التسارع المقاس من جهاز قارئ البيانات مع توقّعك. اشرح أيّ اختلافات.
d. استخدم مُعادَلات الحركة لِاشتقاق مُعادلة لِلزّمن الّذي تستغرقه العربة لِقطع المسافة، d، بين نُقطتَي البداية والنّهاية.
e. استخدم القيمة المُقاسة للتسارع لِحساب الزّمن المُتوقَّع لِلجزء (d). قارِن بين الزّمن الّذي توقّعتُه والزّمن الفِعليّ المُقاس. احسُب النسبة المئوية للفرق بين القيمتين المُقاسة والمتوقعة.
f. كَرِّر التّجربة باستخدام زاوية ميل مختلفة لِلمُنحدَر. تُعطي الزّوايا الصّغيرة بين 2 و 15 درجة نتائج أفضل.

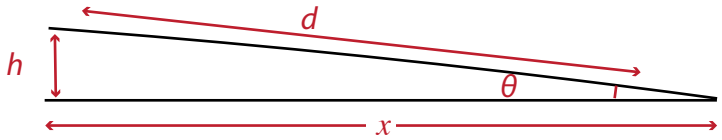
72 72

c. قارن التسارع المقاس بواسطة جهاز قارئ البيانات مع توقّعك. اشرح مجمل الاختلافات.

قد يكون هناك اختلاف بين قياس الطلاب للتسارع وتوقّعهم لها. عليهم أن يوضّحوا أن التسارع المتوقع يستند إلى الحسابات التي تُهمل متغيّرات الحياة الحقيقية، مثل الاحتكاك ومقاومة الهواء. بمقدور الطلاب ذكر متغيّرات صحيحة أخرى، لذلك يجب تشجيعهم على الإجابات الصحيحة الأخرى.

d. استخدم مُعادَلات الحركة لاشتقاق مُعادلة لِلزّمن الّذي تستغرقه العربة لِقطع المسافة d بين نُقطتَي البداية والنّهاية.

نعلم أن المركّبة x في اتجاه المنحدر هي المسؤولة عن التسارع على السطح المائل ، لذا نحتاج أولاً إلى إيجاد متّجه الموقع في اتجاه x، لاحظ أن كلًّا من الموقع الابتدائي والسرعة الابتدائية يساوي صفرًا.



ونحن نعرف من علم المثلثات أن:

$$\cos\theta = \frac{x}{d}$$

أي إن: $x = d\ \cos\theta$

وبتطبيق هذه المعادلة على متجه الموقع، نستنتج أن:

$$x = d\ \cos\theta = \cancel{x_0}^{\,0} + \cancel{v_0}^{\,0} t + \frac{1}{2}at^2$$

وبما أن كلًّا من x_o و v_o يساوي صفرًا، فإن:

$$x = d\ \cos\theta\ = \frac{1}{2}at^2$$

e. استخدم القيمة المقاسة للتسارع لِحساب الزّمن المُتوقَّع لِلجزء (d). قارِن بين الزّمن الّذي توقّعته والزّمن الفِعليّ الملحوظ. احسُب الفرق المِئويّ بين التّوقُّع والقِياس.

يدوّن هذا في الجدول.

جدول

ملاحظة: هذه مجرد عيّنة بيانات. وسوف تعتمد قراءات الطلاب الفعلية على قياساتهم للارتفاع والمسافة.

الارتفاع h (m)	المسافة d (m)	الزاوية المحسوبة (ɵ)	التسارع المتوقع (m/s^2)	التسارع المقاس (m/s^2)	الزمن المتوقع (s)	الزمن الملاحظ (s)	النسبة المئوية للفرق (%)
0.087	1	50	0.85	0.8	1.5	1.45	3.3
0.14	1	80	1.36	1.2	1.28	1.27	0.7
0.17	1	100	1.7	1.5	1.15	1.14	0.87
0.26	1	150	2.5	2.3	0.9	0.88	2.2

السطح المائل

أورد من التطبيقات الأخرى على القانون الثاني لنيوتن، حركة الأجسام على السطح المائل.

1. عَرّف السطح المائل.
2. اشرح العلاقة بين محصِّلة القوى والتسارع.

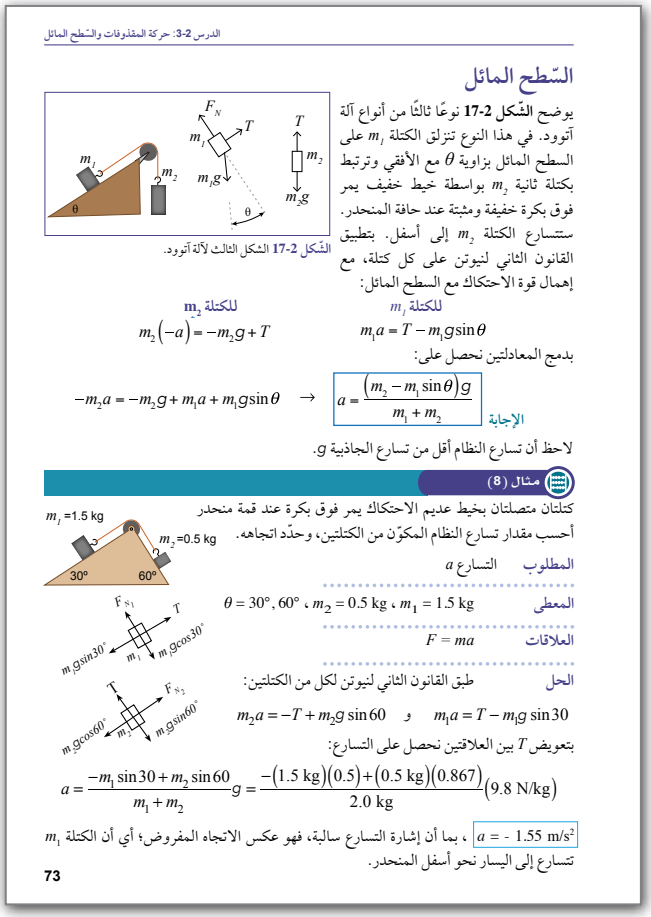
وضِّح الفرق بين اتجاه التسارع واتّجاه محصلة القوى، وذلك باستخدام عربة على سطح مائل وعلى سطح مستو.

3. ارسم السطح المائل على السبورة مع محورين متعامدين: محور x على امتداد السطح المائل ومحور y عمودي على السطح المائل. ارسم مركبتي الوزن على هذين المحورين. تحقق من أن رسم هاتين المركّبتين على التوالي يشكّل مثلثًا قائم الزاوية، وأن الوزن الكلي للعربة هو وتر هذا المثلث.
4. وَضّح للطلاب، باستخدام الشكل 2-17، أن تسارع العربة يكون نتيجة مركبة الوزن في اتجاه x وليس في اتجاه y.

للتطبيق

لتطبيق ما تَعلّمه الطلاب، استخدم المنحدر والعربة الموجودة في غرفة الصف.

1. احصل على سطح مائل، ودع العربة تتسارع نزولًا.
2. بمساعدة الطلاب، قِسْ زاوية مَيل المنحدر وكتلة العربتين.
3. حل المسألة للحصول على تسارع العربتين، وقوة الشد في الخيط.
4. أعد التجربة بعد تغيير زاوية مَيل المنحدر.
5. يمكن التحقُّق من الإجابات باستخدام مستشعر الحركة.



الدرس 2-3: حركة المقذوفات والسّطح المائل

السّطح المائل

يوضح الشكل 2-17 نوعًا ثالثًا من أنواع آلة آتوود. في هذا النوع تنزلق الكتلة m_1 على السطح المائل بزاوية θ مع الأفقي وترتبط بكتلة ثانية m_2 بواسطة خيط خفيف يمر فوق بكرة خفيفة ومثبتة عند حافة المنحدر. ستتسارع الكتلة m_2 إلى أسفل. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على كل كتلة، مع إهمال قوة الاحتكاك مع السطح المائل:

الشكل 2-17 الشكل الثالث لآلة آتوود.

للكتلة m_1

$$m_1a = T - m_1g\sin\theta$$

للكتلة m_2

$$m_2(-a) = -m_2g + T$$

بدمج المعادلتين نحصل على:

$$-m_2a = -m_2g + m_1a + m_1g\sin\theta \rightarrow \boxed{a = \frac{(m_2 - m_1\sin\theta)g}{m_1 + m_2}}$$

الإجابة

لاحظ أن تسارع النظام أقل من تسارع الجاذبية g.

مثال (8)

كتلتان متصلتان بخيط عديم الاحتكاك يمر فوق بكرة عند قمة منحدر أحسب مقدار تسارع النظام المكوّن من الكتلتين، وحدّد اتجاهه.

المطلوب: التسارع a

المعطى: $\theta = 30°, 60°$ ، $m_2 = 0.5$ kg ، $m_1 = 1.5$ kg

العلاقات: $F = ma$

الحل: طبق القانون الثاني لنيوتن لكل من الكتلتين:

$$m_1a = T - m_1g\sin 30 \quad \text{و} \quad m_2a = -T + m_2g\sin 60$$

بتعويض T بين العلاقتين نحصل على التسارع:

$$a = \frac{-m_1\sin 30 + m_2\sin 60}{m_1 + m_2}g = \frac{-(1.5\text{ kg})(0.5) + (0.5\text{ kg})(0.867)}{2.0\text{ kg}}(9.8\text{ N/kg})$$

$a = -1.55\text{ m/s}^2$ ، بما أن إشارة التسارع سالبة، فهو عكس الاتجاه المفروض؛ أي أن الكتلة m_1 تتسارع إلى اليسار نحو أسفل المنحدر.

73

نشاط b3-2 قوانين الحركة وحوادث السَّير

الإجابات/ عيِّنة بيانات

هذا نشاط جماعي تنفّذه مجموعات من ثلاثة طلاب أو أربعة، كي يتمكّنوا من التواصل والتعاون. يمكن تطبيق قوانين نيوتن في حالات حوادث السيّر، من خلال مراقبة آثار تحطُّم المركبات، لذلك ينبغي للطلاب أن يكونوا أكثر وعيًا واختيارًا للمواقف الذكية أثناء قيادة مركباتهم.

جدول

نوع الحاجز المعيق للحركة	الأثر على الدمية	الأثر على العربة
ورقة مُجعّدة	تنزاح الدمية من مكانها، ولكنها تبقى في العربة.	تبطئ العربة من سرعتها.
قالب	تسقط الدمية خارج العربة.	تتوقف العربة، ثم تَعُود إلى الخلف قليلًا.
علبة	تسقط الدمية خارج العربة.	تبطئ العربة من سرعتها.

تتنوع ملاحظات الطلاب

الأسئلة

a. حدِّد القوى الّتي تؤثّر في العربة المتوقِّفة عند أعلى المُنحدَر.

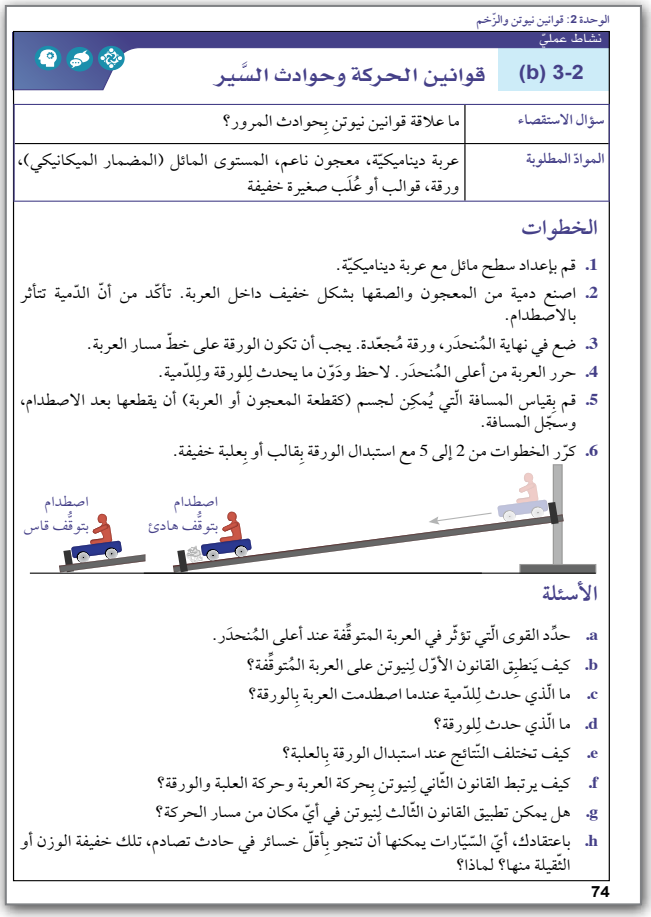
يوثر في العربة المتوقِّفة عند أعلى المُنحدَر وزنها والقوة العمودية والقوة التي تثبّتها على المنحدر وتمنعها من الانحدار.

b. كيف يَنطبِق القانون الأوّل لِنيوتن على العربة المُتوقِّفة؟

تبقى العربة والدمية ساكنتين حتى تؤثِّر بهما قوة، وفي هذه الحالة تكون القوة هي قوة الجاذبية (الوزن).

c. ما الّذي حدث لِلدّمية عندما اصطدمت العربة بالورقة؟

انزاحت الدمية من مكانها، وسقطت داخل العربة.



الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

نشاط عملي

(b) 2-3 قوانين الحركة وحوادث السَّير

سؤال الاستقصاء	ما علاقة قوانين نيوتن بِحوادث المرور؟
المواد المطلوبة	عربة ديناميكيّة، معجون ناعم، المستوى المائل (المضمار الميكانيكي)، ورقة، قوالب أو عُلَب صغيرة خفيفة

الخطوات

1. قم بإعداد سطح مائل مع عربة ديناميكيّة.
2. اصنع دمية من المعجون والصقها بشكل خفيف داخل العربة. تأكّد من أنّ الدّمية تتأثر بالاصطدام.
3. ضع في نهاية المُنحدَر، ورقة مُجعّدة. يجب أن تكون الورقة على خطّ مسار العربة.
4. حرر العربة من أعلى المُنحدَر. لاحظ ودوّن ما يحدث لِلورقة ولِلدّمية.
5. قم بِقياس المسافة الّتي يُمكِن لجسم (كقطعة المعجون أو العربة) أن يقطعها بعد الاصطدام، وسجّل المسافة.
6. كرّر الخطوات من 2 إلى 5 مع استبدال الورقة بِقالب أو بِعلبة خفيفة.

الأسئلة

a. حدِّد القوى الّتي تؤثّر في العربة المتوقِّفة عند أعلى المُنحدَر.
b. كيف يَنطبِق القانون الأوّل لِنيوتن على العربة المُتوقِّفة؟
c. ما الّذي حدث لِلدّمية عندما اصطدمت العربة بِالورقة؟
d. ما الّذي حدث لِلورقة؟
e. كيف تختلف النّتائج عند استبدال الورقة بِالعلبة؟
f. كيف يرتبط القانون الثّاني لِنيوتن بِحركة العربة وحركة العلبة والورقة؟
g. هل يمكن تطبيق القانون الثّالث لِنيوتن في أيّ مكان من مسار الحركة؟
h. باعتقادك، أيّ السّيّارات يمكنها أن تنجو بِأقلّ خسائر في حادث تصادم، تلك خفيفة الوزن أو الثّقيلة منها؟ لماذا؟

74

d. ما الّذي حدث لِلورقة؟

بقيت في مكانها ولكنها تجعّدت.

e. كيف تتباين النّتائج عند استبدال العلبة بالورقة؟

سقطت الدمية خارج العربة وكان التأثير أكبر.

f. كيف يرتبط القانون الثّاني لِنيوتن بِحركة العربة وحركة العلبة والورقة؟

يعتمد تسارع العربة على القوة المؤثرة فيها (الوزن قبل التصادم). وكلما زاد وزن العربة زاد تسارعها. أما عند التصادم فهناك قوة أخرى تؤثر في العربة من العلبة والورقة، ولكنها ليست كافية لإيقاف العربة؛ بل تجعلها تبطئ من سرعتها.

g. هل يمكن تطبيق القانون الثّالث لِنيوتن على أيّ مكان من مسار الحركة؟

نعَم، فمثلًا عندما تصطدم العربة بالجسم العائق في طريقها، تُؤثر فيه بقوة فعل؛ والجسم في المقابل يُؤثر في العربة والدمية بقوة رد فعل، وهذا ما يتسبّب في سقوط الدمية.

h. باعتقادك، أيّ السّيّارات يمكنها أن تنجو بِأقلّ خسائر في حادث تصادم: الخفيفة الوزن أو الثّقيلة؟ لماذا؟

تتأثر السيارات الخفيفة الوزن تأثُّرًا أكبر بالقوة الكبيرة في حادث التصادم؛ ويمكن أن تتلف نتيجة ذلك. ومن السهل أن يؤدي ذلك إلى إصابات للركاب. اعرض المنطق الآتي: لا تتعرض السيارات الأثقل للتلف بسهولة نتيجة كتلتها الكبيرة؛ ولكن لأنها تطبّق قوة أكبر، فهي تتأثر بقوة مساوية لها مقدارًا ومعاكسة لها اتجاهًا من السيّارة الأخرى (قانون نيوتن الثالث)، ما يعني إمكانية تحرك الركاب فيها من أماكنهم.

تقويم الدّرس 2-3 — الإجابات

1. يُطلِق مدفع قذيفة بِسرعة 300 m/s بِزاوية 40° . احسُب مدى القذيفة إذا أهملنا احتكاك الهواء.

نحلّل السّرعة الابتدائيّة أوّلا إلى مُركّبَتَيها x و y حتّى نتمكّن من استخدام مُعادَلات الحركة.

$$v_{0x} = v_0 \cos\theta = 300\cos 40$$
$$v_{0y} = v_0 \sin\theta = 300\sin 40$$

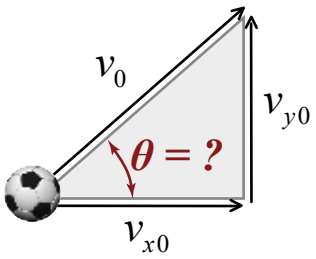
ثم نستخدم v_{oy} لحساب الزمن:

$$t = \frac{2v_0 \sin\theta}{g} = \frac{2(300)(\sin 40)}{9.8} = 39\,\text{s}$$

والآن نستخدم الزمن لحساب المدى:

$$x = v_{ox}t = 300(\cos 40)(39) = 8{,}962\,\text{m}$$

2. يتِمّ رِكل كرة قدم إلى الأعلى بِزاوية بين 0° و 90°، وتكون المُركّبة الرّأسيّة لِسرعتها الابتدائيّة 19.6 m/s. تتبع الكرة مسار قطع مكافئ وتستقرّ على الأرض عند نهاية الحركة.



a. كم من الوقت تستغرق الكرة في الهواء؟

نستخدم معادلة الحركة الرأسية، مع العلم أن الكميات الآتية هي:

$\mathbf{y_o = 0\ m}$, $\mathbf{y = 0\ m}$, $\mathbf{v_{oy} = 19.6 m/s}$

$$\mathbf{y = y_o + v_{oy}\,t - \frac{1}{2}gt^2}$$

$$\mathbf{0 = 0 + (19.6)\,t - \frac{1}{2}(9.8)t^2}$$ بضرب المعادلة في (2):

$$\mathbf{(9.8)\,t^2 - (19.6\times 2)\,t = 0}$$

$$\mathbf{(9.8)\,t^2 - (19.6\times 2)\,t = 0}$$ بقسمة المعادلة على (9.8):

$\mathbf{t^2 - 4t = 0}$ بحل المعادلة:

$\mathbf{t = 0\ s,\quad t = 4\ s}$

القيمة ($\mathbf{t = 0\ s}$) تمثل بداية لحظة انطلاق المرة، والقيمة ($\mathbf{t = 4\ s}$) تمثل لحظة عودة الكرة ثانية إلى سطح الأرض، والزمن الكلي للكرة في الهواء هو الفترة بين اللحظتين، أي ($\mathbf{\Delta t = 4\ s}$).

b. ما الارتفاع الّذي تبلغه الكرة؟

بالنظر إلى أن الزمن الكلي للكرة في الهواء هو 4 s، فتكون الكرة عند أقصى ارتفاع لها عند $t = 2$ s وبالنظر إلى تماثل فترتي الصعود والهبوط، وباستخدام معادلة المركبّة y نفسها كما في الفرع a، نجد أن أقصى ارتفاع لها، هو كما يأتي:

$$y = v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2 = 19.6(2) - \frac{1}{2}9.8(2)^2 = 19.6\,\text{m}$$

تقويم الدّرس 2-3 — الإجابات

c. إذا كان مدى الكرة 60 m، فهل تكون الزّاوية θ أصغر من 45° ، أو تساويها، أو أكثر منها؟

تُركل الكرة بزاوية θ ويحافظ المقذوف على سرعة أفقية(v_{ox}) ثابتة حتى يرتطم بالأرض. ولأننا نعرف المدى (60 m) وزمن المسافة الأفقية (4 s)، يمكننا حساب مركّبة السرعة الابتدائية الأفقية:

$$v_{ox} = \frac{60\text{m}}{4\text{s}} = 15\ \text{m/s}$$

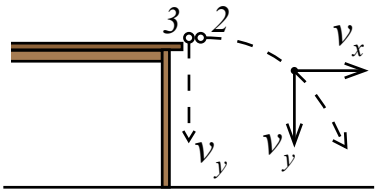
فتكون زاوية القذف θ حيث:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{V_{oy}}{V_{ox}} = \tan^{-1}\left(\frac{19.62}{15}\right) = 52.6^\circ$$

وهي زاوية أكبر من 45°.

3. تستقرّ كرة زجاجيّة في وضع سكون عند حافة طاولة، بينما تُطلَق كرة ثانية أُفقيًّا على الطّاولة لِتصطدم بِالكرة الأولى. عند لحظة تصادم الكرتين، نترُك كرة ثالثة تسقط مباشرة إلى الأسفل، بينما تتبع الكرة الثّانية مسارًا مُنحنِيًا كما يوضح الرّسم المجاور. قارن بين لحظتَي تصادم الكرتَين بِالأرض شارحًا ومُبَرِّرًا تبريرًا علميًّا.

أيهما تصل إلى الأرض أوّلًا؟



الكرة 3: سقوط حر: $v_y = o + gt$

الكرة 2: لا يوجد تسارع في اتجاه x: $a_x = o$

والسرعة الأفقية ثابتة $v_x = v_{ox}t$

الحركتان الأفقية والرأسية مستقلتان إحداهما عن الأخرى:

$$v_y = v_{oy} + gt = 0 + 9.8\,t$$

ويكون الزمن اللازم للكرتين لقطع المسافة الرأسية نفسها

$$y = v_{oy}\,t + \frac{1}{2}gt^2 = 0 + \left(\frac{1}{2}\right)\ (9.8)\ (t^2) \Rightarrow t = \sqrt{\frac{y}{4.9}}\ s$$

أي إن الكرتين تصلان إلى الأرض في اللحظة نفسها.

4. إذا أضفْت كتلة ما إلى سيّارة تتسارع إلى أسفل مُنحدَر تحت تأثير وزنها، فإنّ تسارع السّيّارة لا يزداد بازدياد الكتلة. اشرح سبب ذلك.

في حال وجود قوة احتكاك مع المنحدر:

$$mg\sin\theta - F_s = ma \Rightarrow mg\sin\theta - \mu_k\, mg\cos\theta = ma$$

$$\Rightarrow a = g\,(\sin\theta - \mu_k\cos\theta)$$

نلاحظ أن a لا تعتمد على الكتلة.

تقويم الدّرس 2-3 — الإجابات

وإذا كان المنحدر أملس تكون $\mu_k = 0$ أي:

$$a = g \sin\theta$$

والتسارع a أيضًا لا تعتمد على الكتلة.

5. تتدحرج عربة بِدون احتكاك إلى أسفل مُنحدَر بِزاوية 15° بِالنّسبة إلى المسار الأُفقيّ. تبدأ العربة حركتها من السكون عند أعلى المُنحدَر.

a. ما سرعة العربة بعد قطعها مسافة متر واحد على المُنحدَر؟

يمكننا حساب تسارع العربة بمعرفة الزاوية $\theta = 15^\circ$ من البيانات المعطاة:

$$a = g\sin\theta = 9.8\sin 15 = 2.5\text{m/s}^2$$

وبمعرفة التسارع، يمكننا حساب الزمن:

$$x = x_o + v_o t + \frac{1}{2}at^2$$

حيث أن: $(v_o = 0)$، $(x_o = 0)$، تصبح المعادلة على الصورة:

$$x = \frac{1}{2}\text{at}\,2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2x}{a}}$$

والآن لحساب السرعة:

$$v = v_0 + at = 0 + (2.5)(0.9) = 2.25\text{m/s}$$

b. ما الطّول اللّازم لِلمُنحدَر لكي تُحقّق عليه العربة سرعة 10 m/s؟

لحساب المسافة اللازمة لوصول السرعة إلى 10 m/s نحتاج أولًا إلى إيجاد الزمن من المعادلة:

$$v = v_0 + at$$

$$10\text{m/s} = 0 + 2.5t \Rightarrow t = 4\text{s}$$

فيكون الطول اللازم للمنحدر للوصول إلى السرعة المطلوبة:

$$x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(2.5)(4)^2 = 20\text{m}$$

6. تتسارع عربة بدون أيّ احتكاك على مُنحدَر بتسارع مقداره $1.2\ \text{m/s}^2$. ما مقدار زاوية ميل المُنحدَر؟

لحساب زاوية ميل المنحدر، نستخدم معادلة التسارع على منحدر:

$$a = g\sin\theta$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{a}{g}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.2}{9.8}\right) = 7^\circ$$

إعادة تدريس

غالبًا ما يجد الطلاب صعوبة في المواضيع التالية:

1. الجبر وبخاصة حَل المعادلة من الدرجة الثانية.
2. العلاقة بين زاوية مَيل السطح المائل ومحوري إحداثياته، أي $a = g \sin \theta$
3. استخدام الرموز السفلية المنفردة والمزدوجة مثل v_x و v_{xo}

استثمر بعض الوقت لعرض المتغيرات ومعانيها ورموزها. قد يجد بعض الطلاب الذين يستطيعون حل المعادلة a = b + cd صعوبة في حل المعادلة $v_x = v_{xo} + a_x t$ مع أنها شبيهة بالمعادلة الأولى.

إثراء

ثبّت مُطلق مقذوفات على طاولة كبيرة أو على الأرض. كلّف مجموعة من الطلاب أن يضعوا ثلاث حلقات، قطر كل منها 20 cm في ثلاثة مواقع متتالية، وعلى ارتفاعات مختلفة. بمعرفة السرعة الابتدائية وزاوية القذف الابتدائية للمقذوف، يستطيع الطلاب حساب مسافة الحلقات الثلاث وارتفاعها وزاويتها، بحيث يمر المقذوف أثناء سيره داخل كل منها، من دون الاصطدام بها. يتطلب ذلك اختيار السرعة الابتدائية المناسبة لكل زاوية قذف. قد تزوّد الطلاب بزاوية قذف محدّدة، 37° مثلًا، ومُنظّم لسرعة القذف الابتدائية، وتحدِّد لهم أيضًا موقع الحلقات الثلاث من نقطة الانطلاق، مثلًا، عند مسافة 1 m و 2 m و 3 m. على الطالب حساب الارتفاع المناسب لكل حلقة، بحيث يمر المقذوف بداخلها. ولجعل الموضوع أكثر تشويقًا، يمكن للطلاب استخدام متجه السرعة لحساب الزاوية التي يكون سطح الحلقة بموجبها عموديًّا على حركة المقذوف.

ملاحظات

الدرس 2-4
الزَّخم الخطّي وحفظ الزّخم

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع / الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد دليل المعلم
الزّخم حصة $\frac{1}{2}$	تعريفات ومعادلات وأمثلة محلولة	الصفحتان 77-76	الصفحة 108
الزّخم مفهومٌ هامّ حصة $\frac{1}{2}$	أمثلة من واقع الحياة على الزخم وأمثلة محلولة	الصفحة 78	الصفحة 109
الزّخم والقوّة والقانون الثّاني لِنيوتن حصة $\frac{1}{2}$	القانون الثاني لنيوتن بصيغة التغيّر في الزخم وأمثلة محلولة	الصفحة 79	الصفحة 109
الدّفع حصة $\frac{1}{2}$	تعريف التصادم المرن وغير المرن، وأمثلة محلولة	الصفحة 80	الصفحة 110
حفظ الزّخم حصة واحدة	مسائل من واقع الحياة وأمثلة واستخدام للمعادلات وأمثلة محلولة	الصفحتان 82-81	الصفحة 111
التصادم المَرن والتصادم غير المرن 3 حصص	تعريف التصادم المرن والتصادم غير المرن وأمثلة محلولة وأنشطة	الصفحات 85-83	الصفحات 112-114 ورقة عمل 2-4

الزمن المقترح للدرس

يتطلب هذا الدرس 6 حصص دراسية، ويتضمن أيضًا فترة عملية للنشاط (2-4). هناك أيضًا أفكار للمناقشات القصيرة والعروض.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
2-4 نشاط التّصادمات المرِنة والتّصادمات غير المرِنة	عربتان، نظام قارئ البيانات، مضمار ميكانيكي

مخرجات التعلّم

P1104.1 يُعرّف الزّخم الخطّيّ (كميّة الحركة) لِجسم كحاصل ضرب كتلته في سرعته المتَّجهة، باستخدام المعادلة $p = mv$.

P1104.2 يُعرّف محصلة القوى المؤثّرة في جسم بأنها المعدل الزمني للتغير في زخمه (كمية حركته) مستخدمًا المعادلة: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$، ويوضح أن هذه صيغة أخرى لقانون نيوتن الثاني.

P1104.2 يُعرِّف مبدأ حفظ الزخم (كمية الحركة)، ويطبّقه على التصادمات المرنة والتصادمات غير المرنة والانفجارات، متضمّنًا جسمين يتحركان في بعد واحد.

المعرفة السابقة

يفترض أن يكون الطلاب متمكّنين من القانون الثاني لنيوتن، وأن يكونوا على معرفة للفرق بين الكمية القياسيّة والكمية المتجهة، وأن السرعة المتجهة هي كمية متجهة.

المفردات

Momentum	زّخم (كمّيّة الحركة)
Linear momentum	زّخم الخطّيّ
Impulse	دّفع
Internal forces	قوى دّاخليّة
Elastic	مَرِن
Inelastic	غير مَرن

افتتاحية الدرس

موضوع الزخم ممتع للغاية. ذلك أن الطلاب مطّلعون على جوانب من هذا الموضوع أكثر مما يدركون، ومن السهل استخلاص المعلومات منه.

1. ابدأ الدرس بعرض ارتداد لكرة تنس عن الأرض. واحمل كرة بينج بونج (كرة تنس طاولة) برفق لتجعلها في مسار كرة التنس المرتدة. عندما تصدم كرة التنس كرة البينج بونج تندفع كرة البينج بونج محلّقة إلى الجانب الآخر من الغرفة. دع الطلاب يشرحوا ما رأوه.
وجِّه الطلاب إلى التفكير في أن كرة التنس أثقل، ما يجعلها قادرة على إزاحة كرة البينج بونج الأخف وإعطائها مزيدًا من السرعة.
2. اربط ما رآه الطلاب بالفروق في الكتل والحجوم. اسألْهم: أيّهما أسهل توقُّفًا عن الحركة: سيارة تسير بسرعة 20 km/h، أم شاحنة تسير بسرعة 20 km/h؟ لماذا؟
3. قدّم معادلة الزخم الخطّي.
4. وحدة الزخم هي kg.m/s.

الزّخم مفهومٌ هامّ

1. وضّح أن الزخم هو كمّية متّجهة، لأنه حاصل ضرب كمّية قياسيّة في كمّية متّجهة.
2. اشرح كيف أن الزخم كمية تبقى ثابتة في نظام معزول، وكيف يمكننا استخدامه كبديل عن القانون الثاني لنيوتن.
3. أعط أمثلة على محرّكات الصواريخ، وضغط الهواء، وحتى الطائرات النفاثة.
4. ساعد الطلاب على حلّ المثال.

الزّخم والقوّة والقانون الثّاني لِنيوتن

1. اشرح العلاقة التي تربط بين الزخم والقانون الثاني لنيوتن
2. اشتق المعادلة 3-2، واستخدمها.
3. ساعد الطلاب على حل المثال.
4. جرّب استخدام أمثلة أكثر.

الزّخم مفهومٌ هامّ

على الرّغم من أنّ الزّخم والقصور الذّاتيّ متشابهان إلّا أنّهما ليسا الشّيء نفسه. فالزّخم مُتّجِه أمّا القُصور الذّاتيّ فخاصّيّة قياسيّة لِلكتلة بدون اتّجاه. يعتمد الزّخم على السّرعة أمّا القُصور الذّاتيّ فلا يعتمد على عامل السّرعة. عندما يكون الجسم في حالة سكون يكون زخمه معدومًا لكنّه يمتلك قصورًا ذاتيًّا.

يُعتبَر الزّخم من الكمّيّات المهمّة في الفيزياء. وكما في حالة الطّاقة، فإنّ الزّخم يخضع لِقانون حفظ الزخم. وبما أنّ الزّخم كميّة متّجهة، فإنّه يبقى ثابتًا في النّظام المعزول في كلّ اتّجاه على حدة. ويشرح لنا هذا المبدأ عمل محرّكات الصّواريخ والطّائرات النّفّاثة والتّصادمات المروريّة وحتّى ضغط الهواء!

الشّكل 2-20 كلّ من ضغط الهواء والصّواريخ يتمّ تفسيرهما بواسطة الزّخم.

من الممكن أن يكون الاسم الأكثر دقّة لِلقانون الأوّل لِنيوتن هو قانون الزّخم. ففي الحقيقة إنّ الزّخم هو الّذي يبقى دون تغيير عندما تكون مُحصّلة القوى صفرًا.

مثال (9)

يدور بُرغيٌّ كتلته 0.2 kg في الفضاء حول الأرض مع بقيّة المخلّفات الفضائيّة بسرعة خطيّة 3,070 m/s. كم تكون سرعة سيّارة كتلتها 1,000 kg إذا كان زخمها يساوي زخم البُرغي؟

السّؤال: سرعة السّيّارة v

المعطى: $m_{\text{سيارة}} = 1{,}000\ \text{kg}, m_{\text{البرغي}} = 0.2\ \text{kg},$
$v_{\text{البرغي}} = 3{,}070\ \text{m/s}$, and $p_{\text{سيارة}} = p_{\text{البرغي}}$

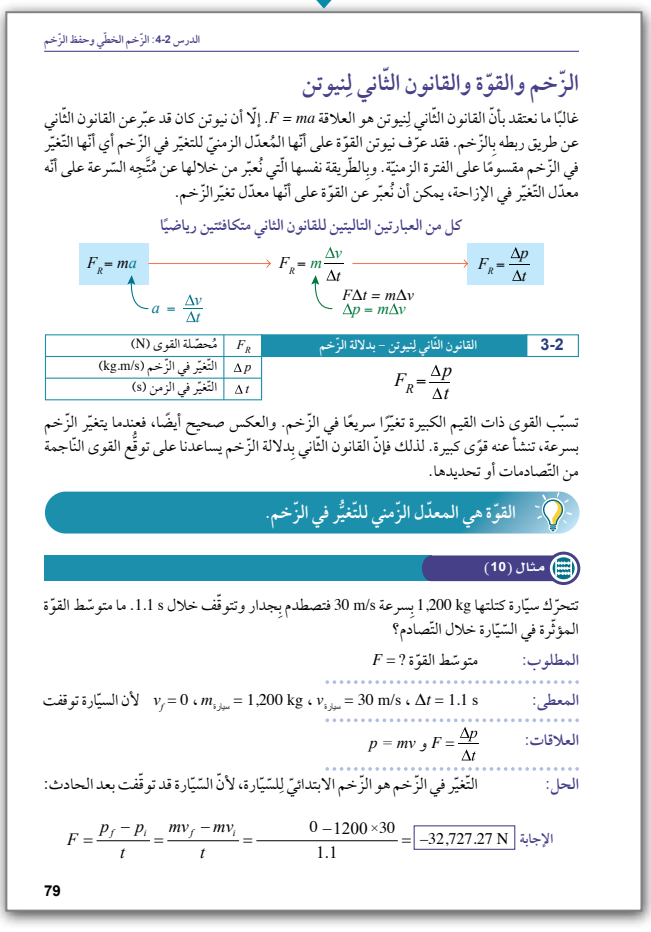
العلاقات: $p = mv$

الحل:

للبرغي: $p_{\text{البرغي}} = m_{\text{البرغي}} v_{\text{البرغي}} = (0.2\ \text{kg})(3{,}070\ \text{m/s}) = 614\ \text{kgm/s}$

للسيّارة: $p_{\text{سيارة}} = m_{\text{سيارة}} v_{\text{سيارة}} = (1{,}000\ \text{kg}) v_{\text{سيارة}} = 614\ \text{kgm/s}$

الإجابة $v_{\text{سيارة}} = \dfrac{614\ \text{kgm/s}}{1{,}000\ \text{kg}} = \boxed{0.614\ \text{m/s}}$



الزّخم والقوّة والقانون الثّاني لِنيوتن

غالبًا ما نعتقد بأنّ القانون الثّاني لِنيوتن هو العلاقة $F = ma$. إلّا أن نيوتن كان قد عبّر عن القانون الثّاني عن طريق ربطه بالزّخم. فقد عرّف نيوتن القوّة على أنّها المُعدّل الزمنيّ للتغيّر في الزّخم أي أنّها التّغيّر في الزّخم مقسومًا على الفترة الزمنيّة. وبالطّريقة نفسها الّتي نُعبّر من خلالها عن مُتّجِه السّرعة على أنّه معدّل التّغيّر في الإزاحة، يمكن أن نُعبّر عن القوّة على أنّها معدّل تغيّر الزّخم.

كل من العبارتين التاليتين للقانون الثاني متكافئتين رياضيًا

$$F_R = ma \rightarrow F_R = m\frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow F_R = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad F\Delta t = m\Delta v,\ \Delta p = m\Delta v$$

3-2 القانون الثّاني لِنيوتن – بدلالة الزّخم		
$F_R = \dfrac{\Delta p}{\Delta t}$	F_R	مُحصّلة القوى (N)
	Δp	التّغيّر في الزّخم (kg.m/s)
	Δt	التّغيّر في الزمن (s)

تسبّب القوى ذات القيم الكبيرة تغيّرًا سريعًا في الزّخم. والعكس صحيح أيضًا، فعندما يتغيّر الزّخم بسرعة، تنشأ عنه قوًى كبيرة. لذلك فإنّ القانون الثّاني بِدلالة الزّخم يساعدنا على توقُّع القوى النّاجمة من التّصادمات أو تحديدها.

القوّة هي المعدّل الزّمني للتّغيُّر في الزّخم.

مثال (10)

تتحرّك سيّارة كتلتها 1,200 kg بسرعة 30 m/s فتصطدم بِجدار وتتوقّف خلال 1.1 s. ما متوسّط القوّة المؤثّرة في السّيّارة خلال التّصادم؟

المطلوب: متوسّط القوّة $F = ?$

المعطى: $m_{\text{سيارة}} = 1{,}200\ \text{kg}$ ، $v_{\text{سيارة}} = 30\ \text{m/s}$ ، $\Delta t = 1.1\ \text{s}$ ، $v_f = 0$ لأن السيّارة توقفت

العلاقات: $F = \dfrac{\Delta p}{\Delta t}$ و $p = mv$

الحل: التّغيّر في الزّخم هو الزّخم الابتدائيّ لِلسّيّارة، لأنّ السّيّارة قد توقّفت بعد الحادث:

الإجابة $F = \dfrac{p_f - p_i}{t} = \dfrac{mv_f - mv_i}{t} = \dfrac{0 - 1200 \times 30}{1.1} = \boxed{-32{,}727.27\ \text{N}}$

الدفع

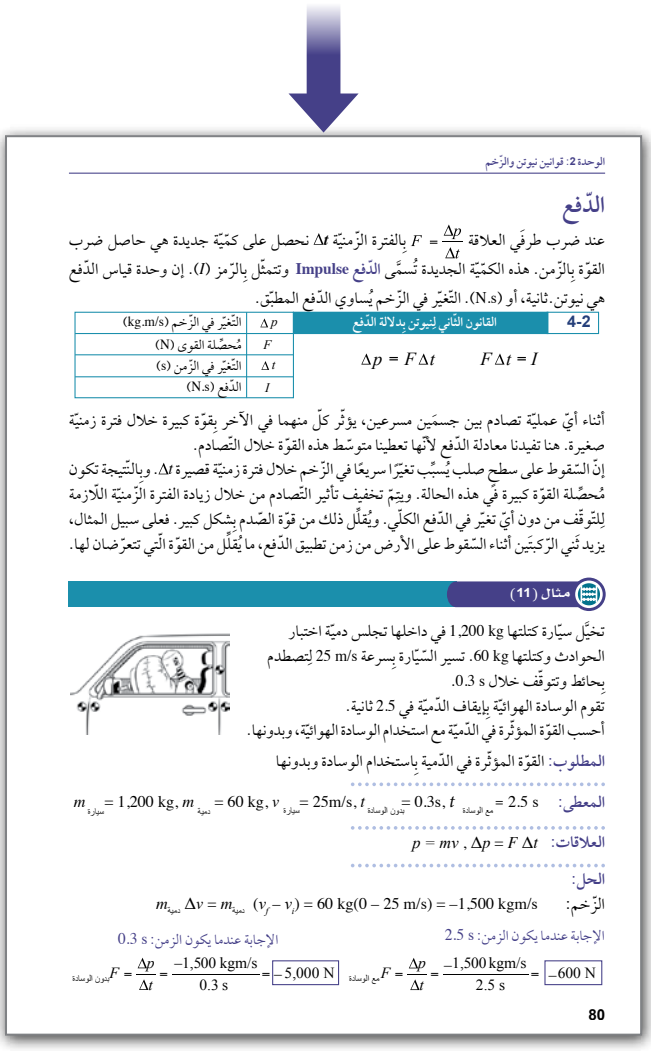
اسرد الحالات الآتية على الطلاب. ربما اخترت كتابتها على السبورة، أو على مُلصق لعرضها.

1. ما المؤلم أكثر: ركل كرة القدم بالحذاء أم بالقدم الحافية؟ لماذا؟
2. هل تحتاج إلى ثني ركبتيك عند القفز؟ متى تثني ركبتيك؟ ولماذا؟
3. عندما تكون حافي القدمين، هل يؤلمك أكثر الركض على طريق معبّد، أم على العشب؟ لماذا؟
4. ما الغرض من الوسادة الهوائية؟ ولماذا نجدها في السيّارات؟

ادعُ الطلاب إلى مناقشة هذه الأسئلة في ثنائيات، وتدوين الإجابات. ناقش إجاباتهم، واسأل عن سبب اعتقادهم أن بعض الأشياء تؤلم أكثر من سواها.

أرشد الطلاب كي يتوصَّلوا إلى الإجابة الآتية: إن زيادة زمن تأثير القوى أثناء التصادم، يعمل على تخفيف أثر الصدمة.

1. قدّم الدفع وعرّفه.
2. اذكر نص معادلة الدفع.
3. وحدة الدّفع هي N.s.
4. قد يخلط الطلاب بين الدفع والقوة، ولا يلتفتون إلى أن الزمن جزء من معادلة الدفع، ويتعاملون مع الدفع كقوة فقط. صحّح أي مفاهيم خاطئة لديهم.
5. ساعد الطلاب على حلّ المثال.
6. جرّب استخدام أمثلة أكثر.



الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

الدّفع

عند ضرب طرفَي العلاقة $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ بالفترة الزّمنيّة Δt نحصل على كمّيّة جديدة هي حاصل ضرب القوّة بالزّمن. هذه الكمّيّة الجديدة تُسمَّى **الدّفع Impulse** وتتمثّل بالرّمز (I). إن وحدة قياس الدّفع هي نيوتن.ثانية، أو (N.s). التّغيّر في الزّخم يُساوي الدّفع المطبّق.

4-2 القانون الثّاني لنيوتن بدلالة الدّفع

$\Delta p = F\Delta t \qquad F\Delta t = I$

Δp	التّغيّر في الزّخم (kg.m/s)
F	مُحصّلة القوى (N)
Δt	التّغيّر في الزّمن (s)
I	الدّفع (N.s)

أثناء أيّ عمليّة تصادم بين جسمَين مسرعين، يؤثّر كلّ منهما في الآخر بِقوّة كبيرة خلال فترة زمنيّة صغيرة. هنا تفيدنا معادلة الدّفع لأنّها تعطينا متوسّط هذه القوّة خلال التّصادم.

إنّ السّقوط على سطح صلب يُسبِّب تغيّرًا سريعًا في الزّخم خلال فترة زمنيّة قصيرة Δt. وبالنّتيجة تكون مُحصّلة القوّة كبيرة في هذه الحالة. ويتمّ تخفيف تأثير التّصادم من خلال زيادة الفترة الزّمنيّة اللّازمة لِلتّوقّف من دون أيّ تغيّر في الدّفع الكلّي. ويُقلّل ذلك من قوّة الصّدم بشكل كبير. فعلى سبيل المثال، يزيد ثَني الرّكبتَين أثناء السّقوط على الأرض من زمن تطبيق الدّفع، ما يُقلّل من القوّة الّتي تتعرّضان لها.

مثال (11)

تخيّل سيّارة كتلتها 1,200 kg في داخلها تجلس دميّة اختبار الحوادث وكتلتها 60 kg. تسير السّيّارة بِسرعة 25 m/s لِتصطدم بِحائط وتتوقّف خلال 0.3 s.

تقوم الوسادة الهوائيّة بِإيقاف الدّميّة في 2.5 ثانية.

أحسب القوّة المؤثّرة في الدّميّة مع استخدام الوسادة الهوائيّة، وبدونها.

المطلوب: القوّة المؤثّرة في الدّمية باستخدام الوسادة وبدونها

المعطى: $m_{\text{سيارة}} = 1{,}200\ \text{kg}, m_{\text{دمية}} = 60\ \text{kg}, v_{\text{سيارة}} = 25\text{m/s}, t_{\text{بدون الوسادة}} = 0.3\text{s}, t_{\text{مع الوسادة}} = 2.5\ \text{s}$

العلاقات: $\Delta p = F\,\Delta t,\ p = mv$

الحل:

الزّخم: $m_{\text{دمية}}\,\Delta v = m_{\text{دمية}}\,(v_f - v_i) = 60\ \text{kg}(0 - 25\ \text{m/s}) = -1{,}500\ \text{kgm/s}$

الإجابة عندما يكون الزمن: 2.5 s

$F_{\text{مع الوسادة}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-1{,}500\ \text{kgm/s}}{2.5\ \text{s}} = \boxed{-600\ \text{N}}$

الإجابة عندما يكون الزمن: 0.3 s

$F_{\text{بدون الوسادة}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-1{,}500\ \text{kgm/s}}{0.3\ \text{s}} = \boxed{-5{,}000\ \text{N}}$

80

حفظ الزخم

1. اذكر نص قانون حفظ الزخم.
2. اشرح للطلاب أن الزخم يكون محفوظًا في التصادمات والانفجارات.
3. يكون مجموع الزخم قبل الانفجارات صفرًا ويبقى بعدها كذلك. يمكنك استخدام مثال بالون ينفجر إلى قطع.
4. عرّف مفردة القوى الداخلية.
5. اكتب معادلة حفظ الزخم، وعرّف متغيِّراتها.
6. حلّ المثال على السبورة، وأشرك الطلاب في حلّه، واستمر في طلب مساعدتهم.
7. حاول الآن أن تحل أسئلة أكثر.

الدرس 2-4: الزّخم الخطّي وحفظ الزّخم

حفظ الزّخم

افترض عربتَين متصلتين عن طريق زنبرك مضغوط بينهما. هنا يكون الزّخم الكلّيّ لِنظام العربتَين يساوي صفر لأنّ كلًّا منهما في حالة سكون. وعندما يَتِمّ تحرير العربتين، «تندفعان» بِشدّة عن بعضهما البعض في اتّجاهَين مُتعاكسَين (**الشّكل 2-21**).

- القوّة المؤثّرة في كلّ عربة ستكون دائمًا مساوية ومعاكسة لِلقوّة الّتي تتأثّر بها من العربة الأخرى.
- زمن التّماس بين العربتَين هو نفسه لكلّ عربة.
- التّغيّر في الزّخم لإحدى العربتَين يكون مساويًا في القيمة ومعاكسًا في الاتّجاه لِلتّغيّر في زخم العربة الأخرى.
- الزّخم الكلّيّ لِلنّظام يساوي صفر – أي يبقى كما كان عند البدء، لأنّ نظام العربتَين ككلّ لا يتعرّض لأيّ قوّة خارجيّة.

الشّكل 2-21 الزّخم الكلّيّ محفوظ في حالة «اندفاع» العربتَين.

يمتلك نظام العربتَين **قوًى داخليّة Internal forces** فقط، ويأتي تأثير هذه القوى من داخل النّظام وليس من خارجه. فطالما أنّ هناك قوى داخليّة فقط، يمكن لِلنّظام أن يغيّر التّرتيب الدّاخليّ لِلزّخم لكن مع بقاء الزّخم الكلّيّ لِلنّظام ككلّ على حاله دون أيّ تغيير. وهذا ما يُدعى بِـ **قانون حفظ الزّخم Conservation of momentum**.

يبقى الزّخم الكلّيّ لِلنّظام ثابتًا إذا لم تؤثّر فيه قوًى خارجيّة.

إنّ القوى الخارجيّة هي قوًى تؤثّر في النّظام من خارجه. ففي مثال العربتَين السّابق يُمكن أن يكون الاحتكاك قوّة خارجيّة. وعندها يغيّر الاحتكاك من الزّخم الكلّيّ حيث يكون تأثيره أكبر في العربة الأثقل.

لا ينبغي تسخين بيضة مسلوقة في فرن الميكروويف لأنها ستنفجر كما في (**الشّكل 2-22**). فالزّخم محفوظ في هذه الحالة أيضًا. افترض بيضة انشطرت إلى عدد كبير من الأجزاء. لقد كان الزخم الكلي الابتدائيّ لِلبيضة صفرًا لأنها كانت متّزنة. وعند انشطارها يبقى زخمها الكلّي صفرًا لجميع الأجزاء.

الشّكل 2-22 البيضة المفجّرة.

حلّ مسائل حفظ الزّخم

يُعتبَر قانون حفظ الزّخم أداة قويّة في فهم كيفيّة تحرّك الأجسام بُعَيد التّفاعل. فعادم صاروخ، وحادث سيّارة وحتّى تصادم كرات البلياردو كلّها أمثلة تشمل أجسامًا تتبادل الزّخم من خلال قوى الفعل وردّ الفعل.

قانون حفظ الزّخم

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

الشّكل 2-23 الزّخم قبل التّصادم وبعده.

لِنتخيّل نظامًا مؤلّفًا من كُرتَين عديمتَي الاحتكاك، تستطيعان التّحرّك إلى اليمين أو إلى اليسار فقط. من الممكن أن تتصادم الكرتان معًا، ثم تنفصلان عن بعضهما أو أن تلتصقا معًا. في كلتا الحالتَين سيبقى زخم النّظام دون أيّ تغيير.

لكي نحلّ مسائل الزّخم، يجب أن نكتب تعبير الزّخم لكلّ جسم قبل وبعد تفاعل الأجسام. يَتِمّ استخدام رمز معيّن لكلّ جسم لِتحديد هويّته ولِتحديد القيم الابتدائيّة والنّهائيّة التّابعة له.

مثال (12)

لِنتخيّل رائد فضاء كتلته 100 kg يحمل في يده مفكًّا كتلته 2 kg في حالة سكون في الفضاء. بِهدف التّحرّك، يرمي رائد الفضاء المفكّ إلى الأمام بسرعة 5 m/s. ما سرعة رائد الفضاء أثناء تحرّكه إلى الخلف؟

المطلوب: سرعة رائد الفضاء $v_{\text{رائد}}$

المعطى: $m_{\text{رائد}} = 100\text{ kg}, m_{\text{مفكّ}} = 2\text{ kg}, v_{\text{مفكّ}} = 5\text{ m/s}$

العلاقات: $p = mv$، وقانون حفظ الزّخم

الحل: بما أنّ الزّخم الابتدائيّ لِلنّظام يساوي صفر، فإنّ زخمه النّهائيّ سيكون صفرًا أيضا لِعدم وجود قوًى خارجيّة.

الزّخم محفوظ $0 = m_{\text{رائد}} v_{\text{رائد}} + m_{\text{مفكّ}} v_{\text{مفكّ}}$

لحساب سرعة رائد الفضاء: $v_{\text{رائد}} = \dfrac{-(m_{\text{مفكّ}} v_{\text{مفكّ}})}{m_{\text{رائد}}} = \dfrac{-(2\text{ kg})(5\text{ m/s})}{(100\text{ kg})} = \boxed{-0.1\text{ m/s}}$

الإجابة(الاشارة السالبة تعني أن رائد الفضاء تحرك جهة اليسار)

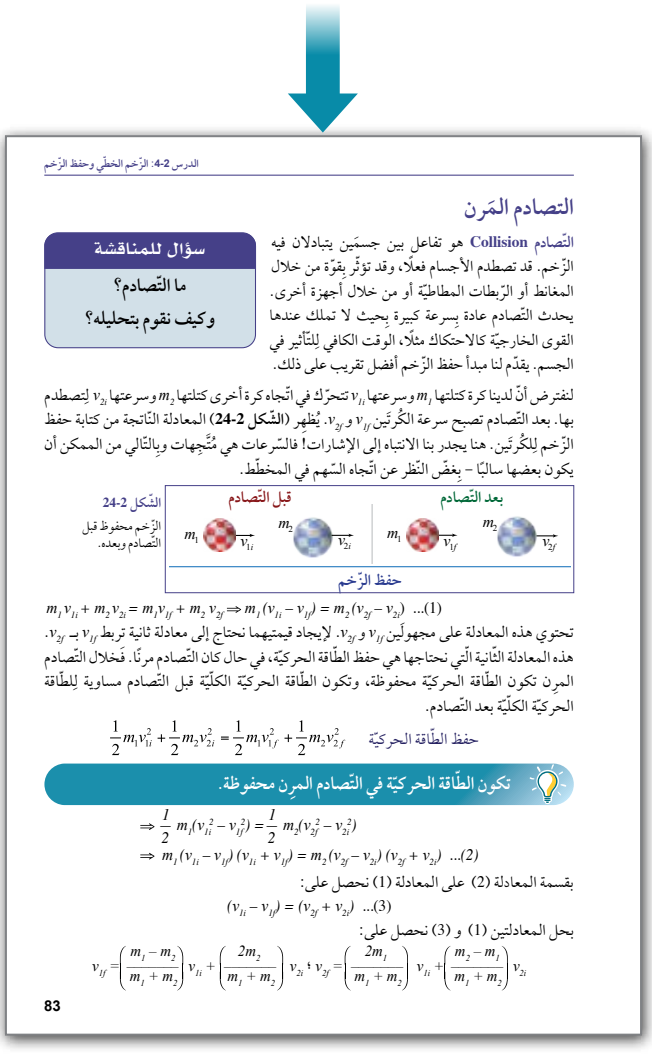
التصادمات

1. هَيِّئ أنظمة العربة الديناميكية، وبَيّن للطلاب التصادمات المرنة بكتل مختلفة.
2. التصادمات المرنة تؤدي إلى حفظ الطاقة الحركية. قد يكون هذا مُربكًا للطلاب لأنهم لم يدرسوا قوانين الطاقة بعد. يمكن مراجعة هذا الموضوع بعد دراسة الطاقة الحركية.
3. حل المثال.
4. سوف يستفيد الطلاب من حل المزيد من الأمثلة في حالات مختلفة.

التصادمات المرنة العامة

تعالج هذه الصفحة الحل العام للتصادمات المرنة، حيث يكون الجسمان المتصادمان متحرِّكين. لتسهيل العملية الحسابية نعرف الزخم الابتدائي للنظام وطاقته الحركية الابتدائية.

كَلِّف الطلاب متابعة عمليات التعويض بين معادلة قانون حفظ الزخم وقانون حفظ الطاقة الحركية، إلى أن يتوصّلوا إلى اشتقاق سرعة كل من الكرتين بعد التصادم.



الدرس 2-4: الزّخم الخطّي وحفظ الزّخم

التصادم المَرن

سؤال للمناقشة

ما التّصادم؟

وكيف نقوم بتحليله؟

التّصادم Collision هو تفاعل بين جسمَين يتبادلان فيه الزّخم. قد تصطدم الأجسام فعلًا، وقد تؤثّر بقوّة من خلال المغانط أو الرّبطات المطاطيّة أو من خلال أجهزة أخرى. يحدث التّصادم عادة بِسرعة كبيرة بِحيث لا تملك عندها القوى الخارجيّة كالاحتكاك مثلًا، الوقت الكافي لِلتّأثير في الجسم. يقدّم لنا مبدأ حفظ الزّخم أفضل تقريب على ذلك.

لنفترض أنّ لدينا كرة كتلتها m_1 وسرعتها v_{1i} تتحرّك في اتّجاه كرة أخرى كتلتها m_2 وسرعتها v_{2i} لِتصطدم بها. بعد التّصادم تصبح سرعة الكُرتَين v_{1f} و v_{2f}. يُظهِر (الشّكل 2-24) المعادلة النّاتجة من كتابة حفظ الزّخم لِلكُرتَين. هنا يجدر بنا الانتباه إلى الإشارات! فالسّرعات هي مُتَّجِهات وبِالتّالي من الممكن أن يكون بعضها سالبًا – بِغضّ النّظر عن اتّجاه السّهم في المخطّط.

الشّكل 2-24
الزّخم محفوظ قبل التّصادم وبعده.

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \Rightarrow m_1 (v_{1i} - v_{1f}) = m_2 (v_{2f} - v_{2i}) \quad ...(1)$$

تحتوي هذه المعادلة على مجهولَين v_{1f} و v_{2f}. لإيجاد قيمتيهما نحتاج إلى معادلة ثانية تربط v_{1f} بـ v_{2f}. هذه المعادلة الثّانية الّتي نحتاجها هي حفظ الطّاقة الحركيّة، في حال كان التّصادم مرنًا. فَخلال التّصادم المرِن تكون الطّاقة الحركيّة محفوظة، وتكون الطّاقة الحركيّة الكلّيّة قبل التّصادم مساوية لِلطّاقة الحركيّة الكلّيّة بعد التّصادم.

حفظ الطّاقة الحركيّة $\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$

تكون الطّاقة الحركيّة في التّصادم المرِن محفوظة.

$$\Rightarrow \frac{1}{2} m_1 (v_{1i}^2 - v_{1f}^2) = \frac{1}{2} m_2 (v_{2f}^2 - v_{2i}^2)$$

$$\Rightarrow m_1 (v_{1i} - v_{1f})(v_{1i} + v_{1f}) = m_2 (v_{2f} - v_{2i})(v_{2f} + v_{2i}) \quad ...(2)$$

بقسمة المعادلة (2) على المعادلة (1) نحصل على:

$$(v_{1i} - v_{1f}) = (v_{2f} + v_{2i}) \quad ...(3)$$

بحل المعادلتين (1) و (3) نحصل على:

$$v_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) v_{1i} + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right) v_{2i} \; ; \; v_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right) v_{1i} + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) v_{2i}$$

83

التصادمات غير المرنة

1. هَيّئ نظام العربة الديناميكية واستخدم الأطراف اللاصقة للمغانط لتوضيح التصادم غير المرن.
2. وضّح أن الطاقة الحركية لا تكون محفوظة في التصادم غير المرن.
3. حل المثال.
4. وضّح أنه في حالة تصادمات السير يكون التصادم غير مرن لأن جزءًا من الطاقة الحركية يتحول إلى طاقة تغيّر شكل السيارتين المتصادمتين.

الوحدة 2: قوانين نيوتن والزّخم

التّصادم غير المرِن

ليس كل التصادمات تكون فيها الطاقة الحركيّة محفوظة. يبقى الزخم محفوظا في التصادم غير المرن **Inelastic collision** أما الطاقة الحركيّة فلا تكون محفوظة. فعند رمي كتلة من معجون اللعب على الأرض يتغير شكلها عند التصادم ولا ترتد لتعود الى الأعلى. وهنا يحصل تحوّل للطاقة الحركيّة يؤدي إلى تُغيّر في شكل كتلة المعجون. التصادم غير المرن كليًّا **Totally inelastic collision** هو التصادم الذي يلتصق فيه الجسمان المتصادمان معًا. يكون للجسمين الملتصقين بعد التصادم نفس السرعة النهائية.

تصادم غير مرن كليًّا
قبل m_1 v_1 m_2 v_2
بعد v
قانون حفظ الزّخم
$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$

تصادم غير مرن
قبل
بعد

الشّكل 2-25 أمثلة حول التّصادمات غير المرِنة.

لعلّ معظم التّصادمات الحقيقيّة ليست تامّة المرونة ولا عديمة المرونة. ذلك أنّ جزءًا من الطّاقة الحركيّة يتحوّل إلى شكل آخر من أشكال الطّاقة. وعلى الرّغم من ذلك، يبقى الزّخم محفوظًا في التّصادمات السّريعة.

مثال (13)

تخيّل لاعب كرة قدم كتلته 60 kg يتحرّك بسرعة 1 m/s، ليصطدم بشكل مباشر بلاعب آخر كتلته 75 kg وسرعته 2 m/s يتحرّك في الاتّجاه المعاكس. يلتحم اللّاعبان معًا ويتحرّكان معًا. ما سرعتهما بعد التّصادم؟

قبل التّصادم: 60 kg m_1 +1 m/s v_1 −2 m/s v_2 75 kg m_2
بعد التّصادم: v

المطلوب: سرعة اللّاعبين $v = ?$

المعطى: $m_1 = 60\ \text{kg}, m_2 = 75\ \text{kg}, v_1 = 1\ \text{m/s}, v_2 = -2\ \text{m/s}$

العلاقات: $p = mv$، وقانون حفظ الزّخم

الحل: الزّخم محفوظ ← $m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$

$(60\ \text{kg})(1\ \text{m/s}) + (75\ \text{kg})(-2\text{m/s}) = (60\ \text{kg} + 75\ \text{kg})v$

$v = \dfrac{-90\ \text{kgm/s}}{135\ \text{kg}} =$ الإجابة $\boxed{-0.67\ \text{m/s}}$

84

نشاط 2-4 التّصادمات المرِنة والتّصادمات غير المرِنة

الإجابات/ عيّنة بيانات

هذا نشاط جماعي تنفِّذه مجموعات من ثلاثة طلاب أو أربعة كي يتمكنوا من التواصل والتعاون. يساعد هذا النشاط الطلاب على فهم ما يحدث عندما تصطدم مركبة أثقل وزنًا مركبة أخف منها.

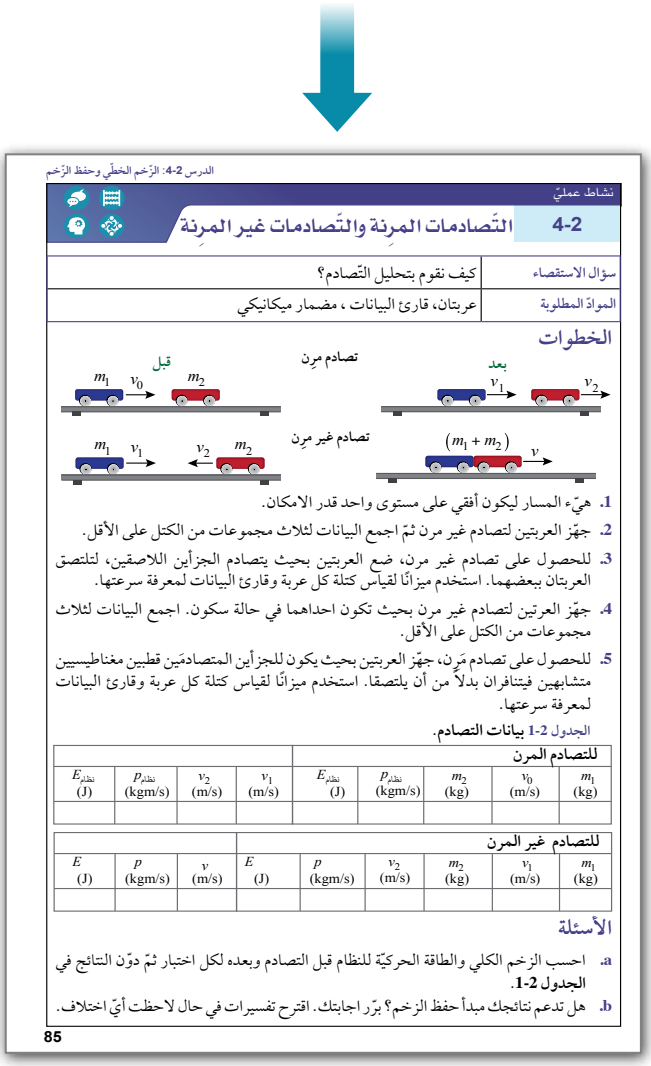
الأسئلة

a. احسب الزخم الكلي والطاقة الحركيّة للنظام قبل التصادم وبعده لكل اختبار، ثمّ دوّن النتائج في الجدول 2.

يحسب الطلاب هاتين الكميتين، ويدوّنونهما في الجدول المعطى.

b. هل تدعم بياناتك حفظ الزخم؟ علّل إجابتك. اقترح توضيحات لأي اختلافات تلاحظها.

يبدو أن الزخم يكون قريبًا جدًّا من الحفظ في التصادم المرن، ثم بدرجة أقل في التصادم غير المرن؛ ذلك أن التصادمات ليست مرنة تمامًا، حيث ينتقل جزء من الزخم إلى المسارات على شكل طاقة حرارية.



الدرس 4-2: الزّخم الخطّي وحفظ الزّخم

نشاط عملي

4-2 التّصادمات المرِنة والتّصادمات غير المرِنة

سؤال الاستقصاء	كيف نقوم بتحليل التّصادم؟
الموادّ المطلوبة	عربتان، قارئ البيانات ، مضمار ميكانيكي

الخطوات

1. هيّء المسار ليكون أفقي على مستوى واحد قدر الامكان.
2. جهّز العربتين لتصادم غير مرن ثمّ اجمع البيانات لثلاث مجموعات من الكتل على الأقل.
3. للحصول على تصادم غير مرن، ضع العربتين بحيث يتصادم الجزأين اللاصقين، لتلتصق العربتان ببعضهما. استخدم ميزانًا لقياس كتلة كل عربة وقارئ البيانات لمعرفة سرعتها.
4. جهّز العرتين لتصادم غير مرن بحيث تكون احداهما في حالة سكون. اجمع البيانات لثلاث مجموعات من الكتل على الأقل.
5. للحصول على تصادم مَرِن، جهّز العربتين بحيث يكون للجزأين المتصادمَين قطبين مغناطيسيين متشابهين فيتنافران بدلاً من أن يلتصقا. استخدم ميزانًا لقياس كتلة كل عربة وقارئ البيانات لمعرفة سرعتها.

الجدول 2-1 بيانات التصادم.

للتصادم المرن									
m_1 (kg)	v_0 (m/s)	m_2 (kg)	$p_{نظام}$ (kgm/s)	$E_{نظام}$ (J)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)	$p_{نظام}$ (kgm/s)	$E_{نظام}$ (J)	

للتصادم غير المرن									
m_1 (kg)	v_1 (m/s)	m_2 (kg)	v_2 (m/s)	p (kgm/s)	E (J)	v (m/s)	p (kgm/s)	E (J)	

الأسئلة

a. احسب الزخم الكلي والطاقة الحركيّة للنظام قبل التصادم وبعده لكل اختبار ثمّ دوّن النتائج في الجدول 2-1.

b. هل تدعم نتائجك مبدأ حفظ الزخم؟ برّر اجابتك. اقترح تفسيرات في حال لاحظت أيّ اختلاف.

85

الجدول 2-1 عيّنة بيانات التصادم.

قبل التصادم غير المرن					بعد التصادم غير المرن		
m_1 (kg)	v_1 (m/s)	m_2 (kg)	$E_{نظام}$ (J)	v_2 (m/s)	$P_{نظام}$ (kg.m/s)	v (m/s)	$P_{نظام}$ (kg.m/s)	$E_{نظام}$ (J)
0.250	0.2	0.250	0.013	0.25	0.113	0.2	0.1	0.01
0.500	0.3	0.250	0.024	0.1	0.175	0.27	0.2	0.027
0.750	0.3	0.250	0.0367	0.15	0.263	0.2	0.2	0.02

قبل التصادم غير المرن					بعد التصادم غير المرن			
m_1 (kg)	v_o (m/s)	m_2 (kg)	$P_{نظام}$ (kg.m/s)	$E_{نظام}$ (J)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)	$P_{نظام}$ (kg.m/s)	$E_{نظام}$ (J)
0.250	0.2	0.250	0.05	0.005	0.1	0.08	0.045	0.002
0.500	0.3	0.250	0.15	0.023	0.2	0.08	0.12	0.01
0.750	0.3	0.250	0.23	0.034	0.25	0.05	0.2	0.024

تقويم الدّرس 2-4 — الإجابات

1. أيّ من الأجسام التّالية يمتلك زخمًا أكبر: شاحنة كتلتها 5,000 kg تتحرّك بِسرعة 0.1 m/s أم قطعة من حطام قمر صناعي كتلتها 0.1 kg تتحرك بِسرعة 1,000 m/s؟

زخم الشاحنة يساوي:

$$p = mv = (5\,000\ \text{kg})(0.1\ \text{m/s}) = 500\ \text{kg.m/s}$$

زخم قطعة حطام القمر الصناعي يساوي:

$$p = mv = (0.1\ \text{kg})(1\,000\ \text{m/s}) = 100\ \text{kg.m/s}$$

نلاحظ أن الشاحنة تمتلك زخمًا أكبر من زخم قطعة من حطام قمر صناعي.

2. اذكر القانون الثّاني لِنيوتن بِدلالة الزّخم.

القوّة هي المُعدّل الزمنيّ للتغيّر في الزّخم؛ أي إنّها التّغيّر في الزّخم مقسومًا على الفترة الزمنيّة.

3. ما العلاقة بين الدّفع والزّخم؟ اكتب إجابتك نصًّا، ثم مثلها بمعادلة رياضية.

الدفع هو التغيّر في الزخم.

$$I = F\Delta t = \Delta p$$

4. سيّارة كتلتها 1,200 kg تتحرّك بِسرعة 28 m/s.

a. ما متوسّط القوّة اللّازمة لإيقاف السّيّارة خلال 5 ثوانٍ؟

باستخدام صيغة الدفع:

$$F\Delta t = \Delta p \quad , \quad vf = 0$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{0 - (1200)(28)}{5} = -6{,}720\,\text{N}$$

والقوة سالبة لأنها تؤثر في الاتجاه المعاكس لحركة السيّارة من أجل إيقافها.

b. ما متوسّط القوّة اللّازمة لإيقاف السّيّارة في ثانية واحدة؟

بتغيير الزمن إلى 1 s،

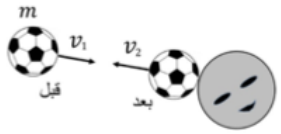
$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{0 - (1200)(28)}{1} = -33{,}600\,\text{N}$$

c. قارن بين هاتَين القوّتَين وبين وزن السّيّارة.

وزن السيّارة يساوي 11,760 N، القوة اللازمة لإيقاف السيّارة في 5 s تساوي تقريبًا نصف وزن السيّارة. في حين أن القوة اللازمة لإيقاف السيّارة في 1 s تساوي تقريبًا ثلاثة أمثال وزن السيّارة.

تقويم الدّرس 2-4 — الإجابات

5. تتحرّك كرة قدم كتلتها 0.43 kg بِسرعة 18 m/s لِترتدّ عن رأس لاعب. افترض أنّ الكتلة الأكبر لِلّاعب أدّت إلى ارتداد الكرة في الاتّجاه المعاكس بِسرعة 16 m/s. احسِب مقدار القوّة المؤثّرة في رأس اللّاعب علمًا أنّ زمن التصادم قد استغرق 0.1 s.



التغيّر في زخم الكرة، نتيجة لارتدادها من رأس اللاعب، هو:

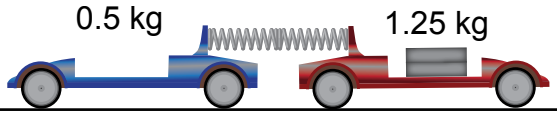
$$\Delta P = m(v_2 - v_1) = 0.43\ [16 - (-18)] = 14.62\ \text{kg.m/s}$$

وبما أن نظام رأس اللاعب والكرة معزول، يكون التغير في زخم رأس اللاعب مساويًا في المقدار (ومعاكسًا في الاتجاه) للتغير في زخم الكرة. نطبق تعريف الدفع لرأس اللاعب:

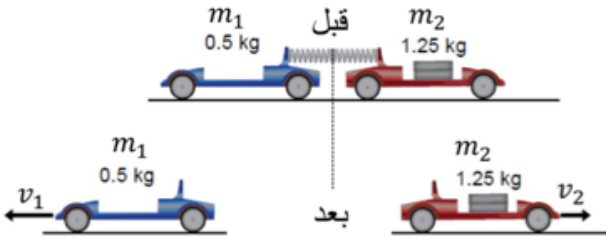
$$I = \Delta P = F\Delta t \Rightarrow F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{14.62}{0.1} = 146.2\ \text{N}$$

6. خلال حصّة المختبر، «تنفصل» عربتان في وضع السكون وبينهما نابض مضغوط عن بعضهما. كتلة إحدى العربتَين 0.5 kg وكتلة الأخرى 1.25 kg. ما سرعة العربة ذات الكتلة 0.5 kg إذا كانت سرعة العربة الأخرى 2.5 m/s؟

البداية



ينص قانون حفظ الزخم على أن الزخم قبل انفصال العربتين يساوي الزخم بعده. ونعرف أن الزخم الكلّي قبل الانفصال كان صفرًا؛ وبالتالي يكون الزخم الكلّي النهائي صفرًا. وبما أن العربتين تتحرّكان في اتجاهين متعاكسين، تكون إحدى السرعتين سالبة، بحسب اختيار المحور الموجب.

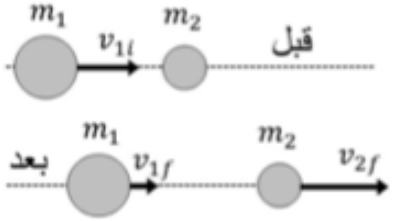


$$m_1v_1 + m_2v_2 = 0$$
$$0.5\text{-}v_1 + 1.25\ (2.5) = 0$$
$$v_1 = 6.25\text{m/s}$$

7. تقوم شاحنة بِتفريغ حمولة 15,000 kg من الرّمل في شاحنة أخرى كتلتها 6,000 kg متحرّكة بِسرعة 1.2 m/s. كم ستصبح سرعة الشّاحنة الثّانية بعد أن يَتِمّ تحميلها بِالرّمل؟ افترض عدم وجود احتكاك، وأن نقل الحمولة بين الشاحنتين حدث أثناء سيرهما.

باستخدام قانون حفظ الزخم:

الزخم قبل التعبئة = الزخم بعدها



$$m_1v_1 = (m_1 + m_2)v_2$$
$$6{,}000(1.2) = (6{,}000 + 15{,}000)v_2$$
$$v_2 = 0.34\text{m/s}$$

تقويم الدّرس 2-4 — الإجابات

8. يُطلِق محرّك طائرة نفّاثة في كلّ ثانيّة 1,000 kg من الهواء السّاخن جدًّا بِسرعة 277 m/s. ما قوّة دفع المحرّك الّتي تحرّك الطّائرة إلى الأمام؟

يُنتِج الهواء، الخارج من محرّك الطائرة النفاث، قوة دفع تدفع الطائرة إلى الأمام. ولحساب قوة الدفع هذه نستخدم معادلة الدفع.

$$F\Delta t = \Delta p$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{(1{,}000)277}{1} = 277{,}000\,\text{N}$$

9. تتحرّك كرة كتلتها 2 kg بِسرعة 5 m/s لِتدخل في تصادم مرِن مع كرة ساكنة كتلتها 1 kg. كم ستكون سرعة الكُرتَين بعد التّصادم؟

باستخدام قانون حفظ الزخم:

الزخم الابتدائي = الزخم النهائي

$m_1v_{1i} + m_2v_{2i} = m_1v_{1f} + m_2v_{2f}$ معادلة ..... (1)

وبما أن التصادم مرن؛ فإن الطّاقة الحركيّة في التّصادم المرِن محفوظة.

$$\frac{1}{2}m_1v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2i}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2f}^2$$ ..... معادلة (2)

نستخدم المعادلة لحساب v_{1f}:

$$v_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)v_{1i} + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right)v_{2i}$$

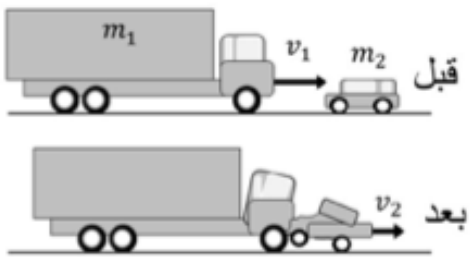
ومنها نستنتج أن: v_{1f} =5/3 = 1.67 m/s وبالاتجاه نفسه

وباستخدام المعادلة لحساب v_{2f} يكون:

$$v_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right)v_{1i} + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right)v_{2i}$$

نستنتج من ذلك أن: v_{2f} = 20/3 = 6.67 m/s وباتجاه سرعة الكرة الأولى نفسها.

10. تتحرّك شاحنة كتلتها 4,500 kg بِسرعة 15 m/s لِتصطدم بِسيّارة ساكنة كتلتها 1,300 kg. عند التّصادم، تلتصق الشاحنة بالسيارة، وتشكلان كتلة واحدة. ما سرعتهما المشتركة بعد التّصادم مباشرة؟



باستخدام قانون حفظ الزخم:

الزخم الابتدائي = الزخم النهائي

$$m_1v_1 = (m_1 + m_2)v_2$$

$$4{,}500(15) = (4{,}500 + 1{,}300)v_2$$

$$v_2 = 11.6\,\text{m/s}$$

إعادة تدريس

قد يرى بعض الطلاب تشابهًا بين الزخم والقصور الذاتي. وضّح لهم أن الزخم كمية متّجهة ووحدة قياسها kg.m/s في حين أن القصور الذاتي كمية عددية (قياسية) ووحدة قياسها kg.

ذكر الطلاب أن الزخم الكلي لنظام قد يكون صفرًا مع أن بعض أجزائه تتحرَّك. تأكد من فهم الطلاب لمثال السيارتين اللتين تنطلقان في اتجاهين متعاكسين بدءًا من السكون بعد تحريرهما من نابض مضغوط بينهما. قبل الانطلاق يكون الزخم الكلي لنظام السيارتين صفرًا. أما بعد الانطلاق، فقد يكون لكل سيارة سرعة مختلفة، إلا أن زخميهما متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه، ويبقى جمعهما صفرًا.

إثراء

كلّف الطلاب متابعة التصادم المرن بين كرتين في الصفحة 83 من كتاب الطالب. قد تكون العملية الحسابية للحصول على السرعتين النهائيتين مُربكة بعض الشيء. ادعُ الطلاب إلى محاولة التنبّؤ بسرعة كل كرة بعد التصادم بمعرفة سرعة الكرتين قبل التصادم. كلّف الطلاب حساب معامل الارتداد، وهو نسبة الطاقة الحركية للنظام بعد التصادم إلى طاقته الحركية قبل التصادم. تؤدي المغانط التي نضعها على طرفي عربتين متصادمتين إلى معامل ارتداد يصل إلى 95% إذا أسفر ذلك عن تنافر العربتين نتيجة لقطبين متنافرين؛ أو تؤدي إلى معامل ارتداد يساوي صفرًا نتيجة لتجاذب قطبين مختلفين.

تقويم الوحدة

1. أيّ من الأشكال يصف مسار المقذوف في بُعدين بشكل أفضل؟

b. القطع الناقص

2. ماذا يمثّل حاصل ضرب كتلة جسم في سرعته المتّجهة؟

c. الزّخم $p = mv$

3. ما الكمّيات المحفوظة في التّصادم اللامَرِن؟

a. الزّخم فقط.

4. ماذا تسمّى المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف؟

a. المدى

5. أيّ من هذه الأجسام له قصور ذاتي أكبر؟

d. كرة سلة كتلتها 625 g تسير بسرعة 2 m/s لأن القصور الذاتي يتناسب طرديًا مع الكتلة.

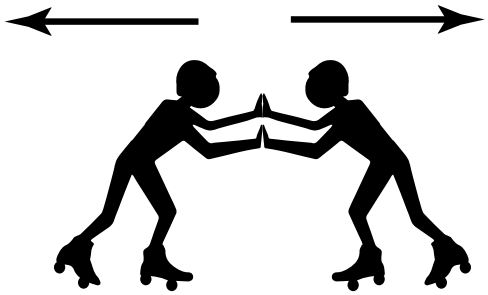
6. بينما تسبح في الفضاء الخارجي قمت برمي كرة. ما الذي يحدث لهذه الكرة؟

d. ستواصل حركتها بسرعة ثابتة وفي اتّجاه ثابت إلى الأبد إلى أن تتعرّض لقوّة ما.

7. إذا كنت تقف في باص متحرّك واندفعتَ فجأةً إلى الأمام، ماذا تستنتج بالنسبة لحركة الباص؟

a. أنقص من سرعته.

8. يتزلج كل من أحمد وعلي مستخدمين حذاء تزلج بعجلات. يضغط كل منهما راحتي زميله براحتي يديه، فيندفع كل منهما إلى الخلف بسرعة 0.8 m/s. أي من العبارات التالية صحيح بالنسبة لكتلتيهما؟



c. لعلي وأحمد الكتلة نفسها $m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$

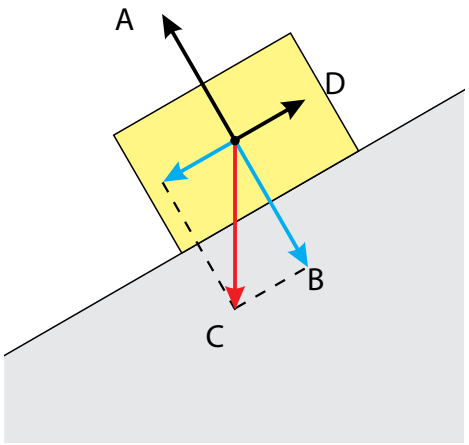
9. يتحرك صندوق كتلته 2 kg بسرعة 5 m/s على سطح عديم الاحتكاك. متى يتوقّف الصندوق عن الحركة.

d. لن يتوقّف أبدًا.

10. كم تكون زاوية انطلاق المقذوف بالنسبة للأفقي إذا كان مداه أقل ما يمكن؟

$$R = \left(\frac{v_o^2 \sin 2\theta}{g}\right)$$

a. 0°. يكون المدى الأفقي للمقذوف بدلالة زاوية القذف
$R = \left(\frac{v_o^2 \sin 2\theta}{g}\right)$
وتكون أقل قيمة للمدى عندما تكون $\sin 2\theta = 0$ أي $\theta = 0^\circ$ أو $\theta = 90^\circ$



11. أيّ من الأحرف الموجودة على اتّجاهات المخطّط المجاور يمثّل وزن الصّندوق؟

C .c

12. يستقر صندوق كتلته 5 kg على سطح عديم الاحتكاك، إذا دفعتَ الصندوق بقوة ثابتة مقدارها 10 N، فما المسافة التي يقطعها خلال 4 s؟

16 m .a. تسارع الصندوق

$$a = \frac{F}{m} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2 ،$$

والمسافة المقطوعة،

$$x = \frac{1}{2}at^2 = \left(\frac{1}{2}\right)\left(2\right)\left(4\right)^2 = 16\text{m}$$

13. ما محصّلة القوى المؤثّرة في جسم كتلته 30 kg إذا أكسَبته تسارعًا 10 m/s²؟

F = ma = 30 x 10 = 300 N .a

14. يمرّر خالد كرة سَلّة كتلتها 1.5 kg لزميله فيؤثر فيها بقوة 60 N. ما تسارع الكرة؟

$$a = \frac{F}{m} = \frac{60}{1.5} = 40 \text{ m/s}^2$$ **. 40 m/s² .a**

15. أُطلقت عربتان كتلة إحداهما 200 g والأخرى 800 g كانتا مرتبطتين معًا في قاذف زنبركي واحد فتحرّكت العربة الخفيفة بسرعة 1+ m/s. ما سرعة العربة الثانية؟

a. –0.25 m/s تنطلق العربتان في اتجاهين مختلفين بعد تحررهما من الزنبرك ويكون الزخم الخطي محفوظًا:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = 0 \Rightarrow v_2 = \frac{-m_1}{m_2}\, v_1 = \left(\frac{0.2}{0.8}\right)\left(1\right) = -0.25 \text{ m/s}$$

16. تصطدم شاحنة كتلتها 2,000 kg تسير بسرعة 15 m/s بمركبة كتلتها 1,000 kg تقف إلى جانب الطريق. تلتصق المركبتان ببعضهما، وتتابعان السير إلى الأمام. ما زخم النظام المؤلف من المركبتين؟

d. 30,000 kg.m/s. التصادم غير مَرِن والزخم الخطي محفوظ.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$$
$$\Rightarrow (m_1 + m_2)v = 2000 \times 15 + 1000 \times 0 = 30{,}000 \text{ N.m}$$

أسئلة ذات أجوبة قصيرة

الدّرس 2-1: القانون الأوّل والثّالث لنيوتن

17. يركل لاعب كرة قدم بإحدى قدميه. ما قوتا الفعل وردّ الفعل وفي أي جسم تؤثّر كل منهما؟

قوة الفعل هي القوة التي تؤثر بها القدم في الكرة، وقوة رد الفعل هي قوة تأثير الكرة في القدم. ويمكن دائمًا للجسمين المتفاعلين تبادل اسمي قوتَي الفعل ورد الفعل.

تقويم الوحدة

18. هل القصور الذاتي خاصيّة الكتلة أم الوزن؟ اشرح إجابتك.

القصور الذاتي هو خاصية الكتلة، وهو يعبِّر عن كمية المادة الموجودة داخل جسم ما، ويحدِّد مدى صعوبة تحريك الجسم الساكن أو إيقافه، إذا كان متحركًا. أما الوزن فيعتمد على قوة جاذبية الكوكب.

19. كيف يمكنك معرفة القصور الذاتيّ الأكبر لكتابين موضوعَين على طاولة دون أن ترفعهما؟

عن طريق دفع كليهما بالقوة ذاتها، فالكتاب الذي يتحرك بتسارع أقل من الآخر يكون له قصور ذاتي أكبر.

20. يتحرّك جسم كتلته 3 kg أفقيًا بسرعة 6 m/s. أي قوّة تُمكِّن الجسم من متابعة سيره بالسرعة نفسها؟ وما اتّجاه تلك القوّة؟

لا يحتاج إلى قوة لكي يتابع سيره بالسرعة نفسها. وإذا طبقنا عليه قوة، فإن سرعته ستتغير.

21. لماذا يكون ركل كرة البولينج أصعب من ركل كرة الشاطئ؟

لأن كرة البولينج لها قصور ذاتي أكبر من كرة الشاطئ، وهكذا يكون لها رد فعل أكبر على القدم التي تركلها، ولهذا يشعر صاحب القدم بالألم لأنها قد تؤدي لكسر القدم.

22* تقوم أنت وصديقك بشدّ حبل في اتّجاهين متعاكسين بأكبر قُوَّة ممكنة. أي قوّة مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه لقوّة شد يدك للحبل؟ والتي أشار إليها القانون الثالث لنيوتن.

القوة المساوية والمعاكسة لقوة شد يدك هي قوة شد الحبل، التي تحاول سحب يدك في الاتجاه المعاكس.

23** أيُّ من قوانين نيوتن يوضح بشكل أفضل سبب الألم الذي تشعُر به يدك عندما تطرق الطاولة؟ اشرح.

القانون الثالث لنيوتن. ينص القانون الثالث لنيوتن على أنه لكل فعل، رد فعل يساويه بالمقدار ويعاكسه في الاتجاه. فعندما تؤثر بقوة بيدك على الطاولة فإن الطاولة ستؤثر برد فعل مساوٍ للقوة التي اثّرت بها، وقد تشعرك بالألم.

24** إذا كان، وفق القانون الثالث لنيوتن، لكل فعل رد فعل يساويه في المقدار ويعاكسه في الاتّجاه، فكيف تحدث حركة سيرنا على الأرض؟ ولماذا لا يُلغى فعل أيّة قوة بتأثير رد فعلها؟

تؤثر أقدامنا في الأرض بقوة (فعل) إلى الخلف، فتؤثر الأرض في أقدامنا بقوة (رد فعل) نحو الامام، فتحدث الحركة.

تؤثر قوتا الفعل ورد الفعل في جسمين مختلفين وليس في جسم واحد. فالجسم الأول يتأثر بإحدى هاتين القوتين والجسم الثاني سيتأثر بقوة رد فعلها. وكل من الجسمين يسير تحت تأثير واحدة من هاتين القوتين، وليس كلتيهما، وبالتالي لا تلغي إحداهما الأخرى.

الدّرس 2-2: القانون الثّاني لِنيوتن

25. اشرح بكلماتك الخاصة القانون الثاني لنيوتن.

ينص قانون نيوتن الثاني على التالي $F = ma$. وهذا معناه أننا إذا أردنا تسريع جسم كتلته كبيرة، سوف نحتاج إلى قوة أكبر، أو كلما زادت القوة على جسم ما زاد تسارعه.

26. كيف يتغير تسارع جسم إذا تضاعفت القوة المؤثّرة فيه ثلاث مَرّات؟ اشرح باستخدام القانون الثاني لنيوتن. $F=ma$, $3ma=3F$

إذا تضاعفت القوة المؤثرة، في جسم ما، ثلاثة أضعاف فإن التسارع سيتضاعف ثلاثة أضعاف، وذلك بحسب قانون نيوتن الثاني الذي يقول إن القوة المؤثرة في جسم ما تتناسب تناسبًا طرديًّا مع تسارعه. فإذا ضُربت القوة برقم معيّن فإن التسارع سيُضرب بالرقم ذاته.

27. ألقيت كرة تنس وكرة فولاذية لهما الحجم نفسه من الارتفاع ذاته وفي اللحظة ذاتها. أي الكرتين يكون تسارعها أكبر في غياب مقاومة الهواء؟ لماذا؟

الكرتان ستكتسبان التسارع ذاته وهو تسارع الجاذبية الأرضية، لأن القوة الوحيدة المؤثرة في كل منهما هي وزنها فقط. باستخدام قانون نيوتن الثاني $F = ma$

28. ما محصلة القوى المطلوبة لتحريك قالب كتلته 4 kg بتسارع $2\ m/s^2$؟

$$F = ma \quad , \quad F = 2(4) = 8\ N$$

29. تبدأ عربة محملة بالحلوى الحركة من السُّكون تحت تأثير قوّة مقدارها 80 N. كم تصبح سرعة العربة بعد 5 s إذا كانت كتلتها الإجمالية مع الحلوى 55 kg؟

نستخدم أولًا قانون نيوتن الثاني ثم بعدها معادلات الحركة:

$$F = 80\ N, m = 55Kg, t = 5s, v_0 = 0$$

$$F = ma \rightarrow 80 = 55a$$

$$a = 1.45\ m/s^2$$

$$v = v_0 + at$$

$$v = (1.45)5$$

$$= 7.25\ m/s$$

30. ما تسارع درّاجة ناريّة كتلتها 200 kg إذا كانت قُوّة محرّكها 6,000 N وقوة الاحتكاك 200 N؟

محصلة القوى المؤثرة في الدراجة

$$F_{net} = 6000 - 200 = 5800\ N$$

$$F = ma : 5800 = (200)\ a$$

$$a = 29\ m/s^2$$

31.* تؤثر قوّة مقدارها 250 N في مركبة فضائية كتلتها 950 kg تسير بسرعة 25,000 m/s لمدة 5.5s. كم ستكون السرعة النهائية للمركبة إذا كانت القوة المطبَّقة؟

a. في اتّجاه حركة المركبة الفضائية؟

$F = 250\ \text{N};\ v_0 = 25{,}000\ \text{m/s};\ t = 5.5\ \text{s};\ m = 950\ \text{kg};$

نحسب أولا التسارع:

$F = ma$: $250 = (950)\ a$

$a = 0.26\ \text{m/s}^2$

لحساب سرعة المركبة بعد 5.5 s نستخدم معادلة الحركة.

$v = v_o + at = 25{,}000 + (0.26)(5.5) = 25{,}001\ \text{m/s}$

b. في اتّجاه معاكس لاتّجاه حركة المركبة الفضائية.

القوة الآن باتجاه معاكس للحركة، لذلك

$F = -250\ \text{N};\ v_0 = 25{,}000\ \text{m/s};\ t = 5.5\ \text{s};\ m = 950\ \text{kg};$

وتكون قيمة التسارع سالبة

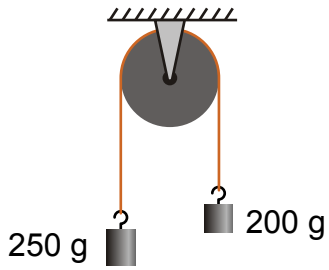
$F = ma$: $-250 = (950)\ a$

$a = -0.26\ \text{m/s}^2$

لحساب سرعة المركبة بعد 5.5 s نستخدم معادلة الحركة

$v = v_0 + at = 25{,}000 + (-0.26)(5.5) = 24{,}999\ \text{m/s}$

32.** احسب تسارع كتلتي آلة آتوود في الشكل المجاور. افترض أن كتلة البكرة مهملة وهي عديمة الاحتكاك.



باستخدام معادلة التسارع لآلة آتوود:

$$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right) g = \left(\frac{0.25 - 0.2}{0.25 + 0.2}\right) 9.8 = 1.08\ \text{m/s2}$$

33.** إذا كانت إحدى كتلتي آلة آتوود 1.1 kg، كم تكون كتلتها الثانية إذا كان تسارعها $1.2\ \text{m/s}^2$؟ افترض أن البكرة مهملة الكتلة وعديمة الا

باستخدام معادلة التسارع لآلة آتوود:

$$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right) g$$

$$1.2 = \left(\frac{1.1 - m_1}{1.1 + m_1}\right) 9.8$$

$$0.122 = \left(\frac{1.1 - m_1}{1.1 + m_1}\right)$$

$$0.122\ (1.1 + m_1) = (1.1 + m_1)$$

الجواب

$$m_1 = 0.86\ \text{kg}$$

34. إحدى طرق فحص الأمان لسيَّارة هو دراسة إمكانية توقفها عند استخدام المكابح (الفرامل). تسير سيارة كتلتها 1,100 kg بسرعة 15 m/s لحظة تطبيق المكابح بشكل مفاجئ. ما المسافة التي تقطعها السيّارة قبل أن تتوقف نهائيًا إذا كانت قوة المكابح 6,000 N؟

بما أن القوة المؤثرة الوحيدة هي قوة المكابح في اتجاه معاكس لاتجاه الحركة، فإن:

$F = ma$: $-6{,}000 = (1{,}100)\,a$

$a = -5.45\,m/s^2$ وهذا يعني أن سرعتها تتناقص.

ولقياس الوقت المستغرق لتوقف السيارة: $v = v_o + at$

$$t = \frac{v + v_o}{a} = \frac{0-15}{-5.45} = 2.75\ s$$

$$x = x_o + v_o t + \frac{1}{2}at^2 = 0 + (15)(2.75) + \frac{1}{2}(-5.75)(2.75)^2 = 21\ m$$

الدّرس 2-3: حركة المقذوفات والسّطح المائل

35. اشرح لماذا تبقى المُركّبة الأفقية لحركة المقذوف ثابتة السرعة، بالرغم من التأثير الدائم لقوة الجاذبية.

تأثير قوة الجاذبية يكون دائمًا في الاتجاه الرأسي، ولذلك لا تؤثر في المركبة الأفقية للسرعة.

36. تُدفع عربة مختبر إلى أعلى سطح مائل. تسير العربة إلى أعلى إلى أن تتوقّف وتعود ثانية إلى أسفل السطح المائل. قارن تسارع العربة في حالتي الصُّعود والنزول، واشرح إجابتك.

عند صعود العربة إلى أعلى، فإن قوة الجاذبية تسحبها إلى أسفل، لذلك تقل سرعتها لأن سرعتها كانت موجبة وتسارعها سالبًا. وعند نزول العربة، فإن قوة الجاذبية تسحبها إلى أسفل فتزيد سرعتها في الاتجاه السالب، لأن التسارع سالب باتجاه السرعة.

37. عند دراسة المدى في حركة المقذوفات.

a. كيف يتأثّر مدى المقذوف إذا تضاعف مقدار السّرعة الابتدائية؟

عند زيادة السرعة الابتدائية ضعفين، فإن المدى يزداد أربعة أضعاف، لأن المدى يتناسب مع مربع السرعة الابتدائية.

b. كيف تشرح المعادلات مدى المقذوفات عند زاويتي قذف 0^o و 90^o؟

يكون مدى المقذوف يساوي الصفر عندما تكون زاوية القذف تساوي الصفر، ذلك أن $\sin 2\theta = \sin 0 = 0$، وكذلك يكون مدى المقذوف يساوي الصفر عندما تكون زاوية القذف تساوي $90°$ لأن $\sin 2\theta = \sin 180^o = 0$

38. ما أقل زاوية قذف ابتدائية لصخرة بركانيَّة إذا قطعت مدى 9,000 m؟

معادلة مدى المقذوف: $R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$

حيث v_0 السرعة الابتدائية للمقذوف و θ زاوية القذف. ولحساب θ نحصل على:

$$\sin 2\theta = \frac{9.81}{v_0^2} \times 9000$$

تعتمد θ على السرعة الابتداية للمقذوف.

39*. ما زاوية السطح المائل التي تحقّق تسارع $2\ m/s^2$ لجسم يتدحرج عليه نزولاً؟

بما أن السطح المائل أملس، فإن الاحتكاك يكون مهملًا ويكون تسارع الجسم:

$$a = g \sin \theta$$

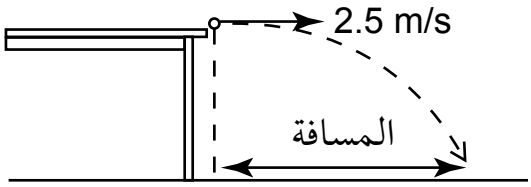
$$2 = 9.8 \sin\theta$$

$$\theta = 11.8^\circ$$

40*. ما القوة اللازمة لتحريك جسم كتلته m صعودًا على سطح يميل بزاوية θ مع الأفقي وبسرعة ثابتة؟ افترض عدم وجود قوى احتكاك.

لكي يتحرك الجسم بسرعة ثابتة، يجب أن تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا. وبما أن مركبة الوزن في اتجاه السطح المائل هي: $-mg\sin\theta$، لذلك يجب تطبيق قوة مقدارها $mg\sin\theta$ في اتجاه السطح المائل إلى أعلى.

41.** يَتِمّ إطلاق كرة زجاجيّة بِشكل أفقيّ من أعلى طاولة بِسرعة ابتدائيّة 2.5 m/s باستخدام مُطلِق لِلكُرات. إذا علمْتَ أنّ ارتفاع الطّاولة هو 0.8 m كم ستكون المسافة الأفقيّة الّتي تقطعها الكرة الزّجاجيّة قبل أن تصل إلى الأرض؟



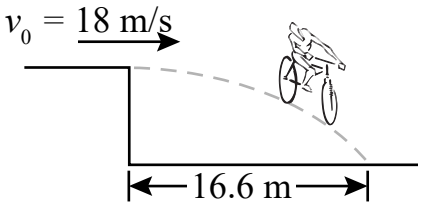
أثناء السقوط في الاتجاه الرأسي:

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

$$0.8 = \frac{1}{2}(9.8)t^2$$

$$t = 0.4s$$

وفي الاتجاه الأفقي: $x = v_0 \cos\theta_0 t = v_0 t = 2.5 \times 0.4 = 1\ m$



42. يقفز درّاج عن جرف بِسرعة ابتدائيّة أفقيّة مقدارها 18 m/s. يقطع الدرّاج مسافة أفقيّة 16.6 m قبل أن يلامس الأرض. احسِب ارتفاع الجرف.

$v_0 = 18$ m/s; $x = 16.6$ m

لكي نجد الارتفاع، لابد أولًا أن نجد الزمن اللازم كي يصل الدرّاج إلى الأرض.

$$x = v_o t$$

$$t = 16.6/18$$

$$t = 0.9\ s$$

الآن نستخدم معادلة الارتفاع.

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

$$h = \frac{1}{2}(9.8)(0.9)^2$$

الجواب $h = 4m$

الدّرس 2-4: الزّخم الخطّيّ وحفظ الزّخم

43. ما نوع التصادم الذي يلتصق فيه الجسمان المتصادمان معًا بعد تصادمهما؟

تصادم غير مرن.

44. عرّف الدفع واكتب معادلته.

الدفع هو تغير الزخم ومعادلته هي $F\Delta t = \Delta p$

45. صف حالتين اثنتين يكون فيهما لجسم ما الزّخم نفسه.

سيارة كتلتها 1000 kg وفيها خمسة ركاب كتلة كل راكب 100 kg وتسير بسرعة 10 m/s، لها الزخم نفسه إذا كان بداخلها راكب واحد كتلته 100 kg وتسير بسرعة 13.64 m/s.

46. يتصادم لاعبا كرة قدم أثناء الجري، فيتغيّر زخم كلّ منهما بعد التصادم. هل الزّخم محفوظ في هذه الحالة؟

نعم، زخم اللاعبين معًا يكون محفوظًا، بالرغم من تغير زخم كل لاعب على حدة. ويكون حاصل جمع الزخمين قبل التصادم يساوي حاصل جمعهما بعد التصادم.

47. ما التغيُّر الحاصل في زخم مركبة فضائية كتلتها 5,000 kg لا تتعرض لأي محصلة قوى لمدة تصل إلى ساعة واحدة.

لا يحدث تغير في الزخم، لأن تغير الزخم يساوي حاصل ضرب القوة المؤثرة في الزمن، وبما أن القوة تساوي صفرًا، فإن تغير الزخم يساوي صفرًا.

**48. أيّ من الجسمّين التّاليين يتحرّك بِسرعة أكبر بعد أن يتسارعا من السّكون:

a. قارب كتلته 500 kg يَتِمّ تحريكه بِدفع قيمته 10,000 N.s.

b. قارب كتلته 780 kg يَتِمّ تحريكه بِدفع قيمته 14,000 N.s.

الجواب هو القارب(a) لأن الدفع=الكتلة ضرب تغير السرعة. وبما أن السرعة الابتدائية تساوي الصفر فإن الدفع= الكتلة ضرب السرعة النهائية

للقارب (a) $v_f = \frac{10000}{500} = 20\ m/s$

وللقارب (b) $v_f = \frac{14000}{780} = 17.95\ m/s$

49. تسير عربة كتلتها 10,000 kg على سكّة حديد بِاتّجاه الشّمال بِسرعة 10 m/s لِتصطدم بعِربة أخرى كتلتها 5,000 kg على سّكّة الحديد نفسها متحرّكة إلى الشّمال أيضًا بِسرعة مجهولة. بعد التّصادم، تلتحم العربتان لِتتحركا شمالًا بِسرعة 8 m/s. كم كانت سرعة العربة الثّانية قبل التّصادم؟

بتطبيق قانون حفظ الزخم

الزخم الكلي قبل التصادم = الزخم الكلي بعد التصادم

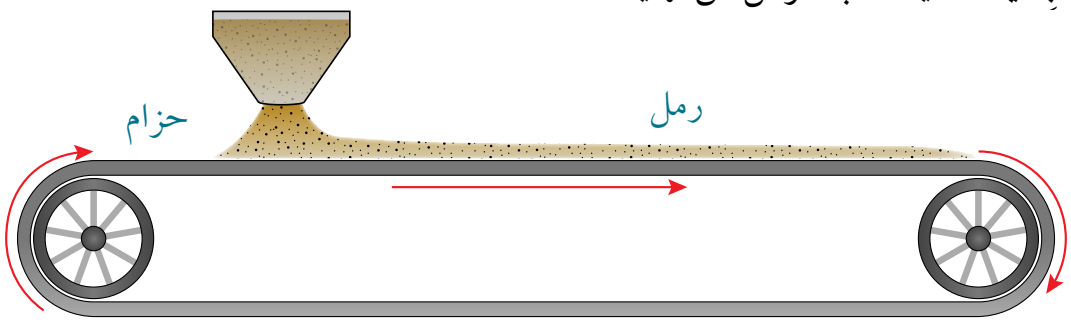
$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v_f$$

$$(10,000)(10) + (5,000)\ v_2 = (10,000 + 5,000)\ 8$$

$$(5,000)\ v = 20,000$$

$$v_2 = 4\ m/s$$

50. يسقط الرّمل بشكل عموديّ بِمعدّل σ kg/s على حزام نقل متحرِّك. حدّد القوّة الّتي يجب أن تُطبَّق على الحزام لِيبقى متحرّكًا بِسرعة ثابتة v، على افتراض أنّ طول الحزام لا نهائيّ بِحيث لا ينسكب الرّمل من نهايته.



معدل سقوط الرمل σ kg/s معناه أن حاصل قسمة تغير الكتلة على تغير الزمن هو σ kg/s

ولإيجاد قيمة القوة يجب تطبيق معادلة الدفع:

$$I = F\Delta t = \Delta p$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta mv}{\Delta t}$$

$$F = \frac{v\Delta m}{\Delta t} = v\sigma$$

الاستقصاء والبحث

الهبوط الآمن

صمّم وِعاء أو طرد يحتوي على بيضة نيئة، يحميها من الانكسار عند إسقاطها من عُلوٍّ 2 m. اختر مُتَغيِّرًا واحدًا مثل: موادّ تبطين الطّرد، ترتيب موادّ التّبطين (محشوّة بِالقطن، مجعّدة، ذات طبقات)، شكل الوِعاء. صِف النّظريّة الّتي استفدت منها في تصميمك، مُبيِّنًا حساباتك لِلزّخم قبل التّصادم، بالإضافة إلى تقديرك لِلفترة الزّمنيّة الّتي استغرقها التّصادم. استخدم الفترة الزّمنيّة لِلتّصادم لِتقدير أقصى قوّة تؤثّر في البيضة.

كلّف الطلاب فحص وعاء البيضة وذلك بِرَميه من ارتفاع 2m.

إذا لم ينجح الوعاء في حفظ البيضة، اطلب منهم إعادة التصميم وإعادة التجربة بعد ثلاثة أيام.

نموذج تقييم المشروع

العلامة	نموذج تقييم مشروع البيضة الهابطة
	المحتوى
5	البيضة لا تنكسر، وقام الطالب بحساب تقدير مقبول للزخم وزمن التصادم والدفع والقوة القصوى. استطاع الطالب شرح تفاصيل التصميم الذي قام به. يمكن أن ينال الطالب العلامة القصوى حتى لو انكسرت البيضة، إذا كان بإمكانه القيام بالحسابات الصحيحة وتبرير فشل التصميم.
3	قام الطالب بإنجاز التصميم وفحصه، ولكنه حصل على قيم غير منطقية للزخم وزمن التصادم والدفع والقوة القصوى.
1	قام الطالب بإنجاز التصميم وفحصه، لكنه لم يقم بأي حسابات.
	التصميم
5	شرح الطالب ظروف وتفاصيل تصميمه الناجح الذي يعكس قِيَم الزخم والقوة بشكل منطقي.
3	لدى الطالب فكرة جيدة عن المشروع إلا أنه لم يستطع القيام بتصميم ناجح.
1	قام الطالب بتصميم ما، ولكنه لم يستطع تبرير نجاحه أو فشله.
	البناء
5	قام الطالب بجهد واضح لبناء وعاء مناسب، وأعاد بناءه بعد أول تجربة.
3	صرف الطالب ساعة أو أقل لبناء تصميم مقبول، لكنه لم يكن منظمًا وناجحًا في عمله.
1	صرف الطالب أقل فترة زمنية لتنفيذ تصميم غير دقيق.
	المجموع

أوراق عمل

الاسم ..... التاريخ .....

نشاط 2-1 القانونان الأول والثالث لنيوتن

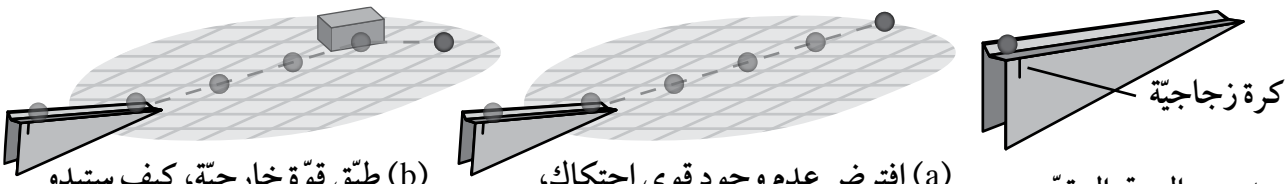
سؤال الاستقصاء	كيف نشرح الحركة وتغيراتها؟
الموادّ المطلوبة	سطح كبير مستوٍ، ورقة رسم بياني، ورق مقوى، شريط، كرات زجاجية، بعض القوالب البلاستيكيّة والخشبية.

الخلفية

ينص القانون الأول لنيوتن أنّ الجسم الساكن يبقى ساكنًا والمتحرك يتابع حركته بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه قوة ما. سنراقب، في هذا النشاط، تدحرج كرة على منحدر ووصولها إلى سطح أفقي ومتابعة حركتها، مرة في غياب أي قوة، ومرة أخرى تحت تأثير قوة خارجية.

القانون الثالث لنيوتن ينص على أنّ قوة الفعل وقوة رد الفعل متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. في (b)، سنراقب قوة الفعل وقوة رد هذا الفعل.

الخطوات



منحدر من الورق المقوّى لتدحرج الكرات الزّجاجيّة

(a) **افترض عدم وجود قوى احتكاك، كيف ستبدو لك الحركة؟**

(b) **طبّق قوّة خارجيّة، كيف ستبدو لك الحركة؟**

1. صمّم وابنِ منحدرًا تتدحرج عليه الكُرات الزّجاجيّة بِالسّرعة نفسها وفي الاتّجاه نفسه عند تكرار التّجربة.
2. لاحظ حركة الكرة الزّجاجيّة بعد وصولها إلى الأرض المستوية.
3. استخدم القوالب الخشبيّة لِلتّأثير في حركة الكُرات الزّجاجيّة. لاحظ حركة الكُرات.
4. أعِد الملاحظة بعد تغيير كتلة القالب، أو استخدام قالب آخر له كتلة مختلفة.

الاسم ..... **التاريخ** .....

المشاهدة

كتلة الكرة	حركة الكرة من دون القالب الخشبي (صف ما يحدث للسرعة والمسافة والاتجاه)	حركة الكرة بعد إضافة القالب الخشبي

كتلة الكرة	حركة الكرة من دون القالب الخشبي (صف ما يحدث للسرعة والمسافة والاتجاه)	حركة الكرة بعد إضافة القالب الخشبي

الاسم ..... **التاريخ** .....

الأسئلة

1. صِف الإجراءات الّتي استخدمتها لِلتّأكّد من أنّ حركة الكُرات على المنحدر لها السّرعة نفسها والاتّجاه نفسه عند تكرار الحركة.

.....

.....

.....

2. صِف كيفيّة تطبيق القانون الأوّل لِنيوتن لِلحركة في البند (i)

.....

.....

.....

.....

3. صِف كيفيّة تطبيق القانون الأوّل لِنيوتن لِلحركة في البند (ii)

.....

.....

.....

.....

4. صِف قوى الفعل وردّ الفعل في البند (ii)، ما القوة التي تؤثّر في كلّ من القالب والكرة الزّجاجيّة؟ ما الملاحظات الّتي تدعم استنتاجك؟

.....

.....

.....

.....

5. كيف تتأثّر حركة الكرة الزّجاجيّة عندما تستخدم قالباً أثقل؟ كيف تتغيّر قوّتا الفعل وردّ الفعل؟ ما الملاحظات الّتي تدعم استنتاجك؟

.....

.....

.....

.....

الاسم ..... التاريخ .....

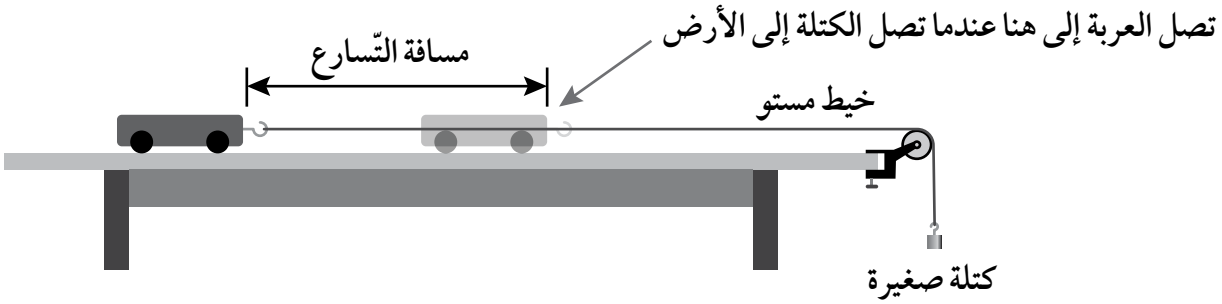
نشاط 2-2 القانون الثاني لنيوتن

سؤال الاستقصاء	كيف نطبق القانون الثاني لنيوتن؟
الموادّ المطلوبة	عربة ديناميكيّة تتحرك على مضمار ديناميكي، خيط، كتلة صغيرة، نظام جمع بيانات، بكرة ومشبك.

الخلفية

يعرّف القانون الثاني لنيوتن العلاقة بين القوة و التسارع على أنّها علاقة تناسب طردي. في هذا الاختبار سنقوم بزيادة القوة التي تسحب العربة عن طريق زيادة الكتلة المستخدمة في عمليّة السحب. وبالتالي سيكون وزن الكتلة مساويًا للقوة المطبّقة على العربة.

الخطوات



1. اضبط قارئ البيانات لقراءة كل من الموقع والسرعة والتسارع.
2. اربط العربة بِطرف خيط ومرِّره فوق البكَرة واربط الطّرف الثّاني لِلخيط بِكتلة صغيرة بحيث يتِمّ سحب العربة إلى وسط الطّاولة قبل أن تصطدم الكتلة الصغيرة بالأرض.
3. استخدم قارئ البيانات للحصول على الرّسم البيانيّ لِلموقع والسّرعة والتسارع بدلالة الزمن في أثناء حركة العربة.
4. كرّر التّجربة باستخدام كُتَل مختلفة على العربة.

الاسم ..... **التاريخ** .....

جدول المشاهدات

كتلة الكرة (g)	الوزن (N) الكتلة × 9.8	متوسط التسارع m/s^2

الأسئلة

a. صِف القوى المؤثّرة في العربة خلال حركتها قبل أن تصل الكتلة الصّغيرة إلى الأرض وبعد وصولها.

.....

.....

.....

b. من خلال الرّسم البيانيّ التّقريبيّ للتسارع، تَوقّع قيمة التسارع قبل وصول الكتلة إلى الأرض وبعد وصولها.

.....

.....

.....

c. لاحظ الرّسم البيانيّ لِلموقع مقابل الزّمن. أيّ جزء من الرّسم البيانيّ يُعتبَر خطّيًّا؟ وأيّ جزء يُعتبَر مُنحنيًا؟ وهل يمكن معرفة اللّحظة الّتي وصلت فيها الكتلة إلى الأرض؟

.....

.....

.....

d. صِف الرّسم البيانيّ لِلسّرعة مقابل الزّمن. هل يمكن معرفة النّقطة الّتي وصلت عندها الكتلة إلى الأرض؟

.....

.....

.....

e. ماذا يحدث للتسارع عندما تزداد كتلة العربة وتبقى الكتلة الصّغيرة السّاقطة كما هي؟

.....

.....

.....

f. ما المُتغيِّرات التّجريبيّة والمُتغيِّرات المضبوطة في البند (c)؟

.....

.....

.....

الاسم ..... التاريخ .....

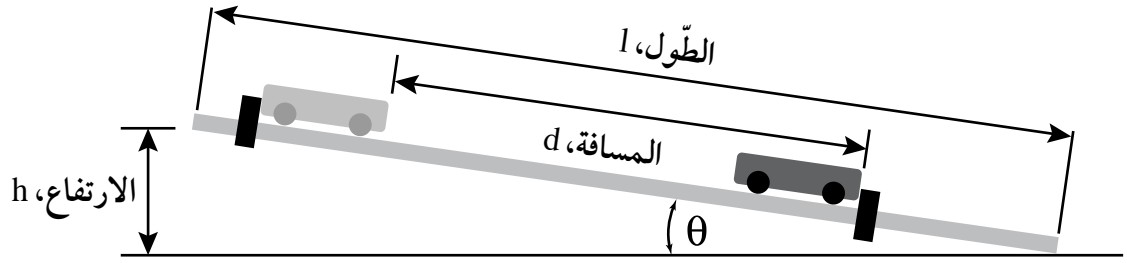
نشاط 2-3 (a) السطح المائل

سؤال الاستقصاء	كيف نحلل الحركة على سطح مائل؟
الموادّ المطلوبة	عربة ديناميكيّة، قارئ البيانات، المستوى المائل (المضمار الميكانيكي)، منقلة

الخلفية

السطح المائل هو تطبيق للقانون الثاني لنيوتن. في هذا الاختبار سيطبّق الطلاب جميع معادلات الحركة لحساب زاوية ميل المنحدر. من الجيّد التدرّب على جميع المعادلات التي تعلموها سابقًا.

الخطوات



1. قم بإعداد سطح مائل مع عربة ديناميكيّة ونظام قارئ بيانات بعد ضبطه لقراءة الموقع والسرعة والتسارع بالنسبة للزمن.
2. لاحظ الرّسوم البيانيّة لِلموقع والسّرعة والتسارع في أثناء حركة العربة.
3. قِس الفترة الزمنية الّتي تستغرقها العربة لِقطع المسافة بين نُقطتَي البداية والنّهاية باستخدام البوابة الضوئية.

الاسم ..... **التاريخ** .....

جدول البيانات

الارتفاع h (m)	المسافة d (m)	الزاوية (θ)	التسارع المقاس (m/s^2)	الزمن المتوقع (s)	الزمن المُشاهد (s)	الفرق المئوي (%)

الأسئلة

a. أحسب زاوية ميل المُنحدر بقياس الارتفاع والطول.

.....

.....

.....

b. توقّع مقدار تسارع العربة من خلال تطبيق القانون الثاني لنيوتن على طول المُنحدر.

.....

.....

.....

c. قارن التسارع المُقاس من جهاز قارئ البيانات مع توقعك. اشرح أي اختلافات.

.....

.....

.....

d. استخدم معادلات الحركة لاشتقاق معادلة للزمن الذي تستغرقه العربة لقطع المسافة،d ، بين نقطتي البداية والنهاية.

.....

.....

.....

e. استخدم القيمة المُقاسة للتسارع لحساب الزمن المتوقّع في الجزء (d). قارن بين الزمن الذي توقعته والزمن الفعلي المُقاس. أحسب النسبة المئوية للفرق بين القيمتين المتوقعة والمقاسة.

.....

.....

.....

f. كَرِّر التّجربة باستخدام زاوية ميل مختلفة لِلمُنحدَر. تُعطي الزّوايا الصّغيرة بين 2 و 15 درجة نتائج أفضل.

.....

.....

.....

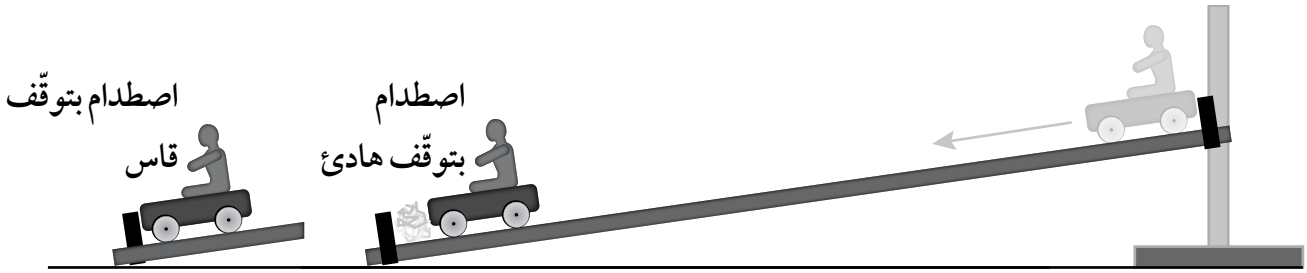
الاسم ..... التاريخ .....

نشاط 2-3 (b) قوانين الحركة وحوادث السير

سؤال الاستقصاء	ما علاقة قوانين نيوتن بِحوادث المرور؟
الموادّ المطلوبة	عربة ديناميكيّة، معجون ناعم، المستوى المائل (مضمار ميكانيكي)، ورقة، قوالب أو علب صغيرة خفيفة.

الخلفية

السطح المائل هو تطبيق للقانون الثاني لنيوتن. في هذا الاختبار سيطبّق الطلاب جميع معادلات الحركة لحساب زاوية ميل السطح. من الجيّد التدرّب على جميع المعادلات التي تعلموها سابقًا.



الخطوات

1. قم بإعداد سطح مائل مع عربة ديناميكيّة.
2. اصنع دمية من المعجون وألصقها بشكل خفيف داخل العربة. تأكّد من أنّ الدّمية تتأثر بالاصطدام.
3. ضع في نهاية المُنحدَر، ورقة مُجعّدة. يجب أن تكون الورقة على خطّ مسار العربة.
4. حرر العربة من أعلى المُنحدَر. لاحظ ودَوّن ما يحدث لِلورقة ولِلدّمية.
5. قم بِقياس المسافة الّتي يُمكِن لجسم (كقطعة المعجون أو العربة) أن يقطعها بعد الاصطدام، وسجّل المسافة.
6. كرّر الخطوات من 2 إلى 5 مع استبدال الورقة بِقالب أو بِعلبة خفيفة.

الاسم ..... **التاريخ** .....

جدول البيانات

الحاجز المعيق للحركة	التأثير في الشخص	التأثير في العربة
ورقة مجعدة		
قالب		
علبة		

الأسئلة

a. حدِّد القوى الّتي تؤثّر في العربة المتوقِّفة عند أعلى المُنحدَر.

.....

.....

.....

b. كيف يَنطبِق القانون الأوّل لِنيوتن على العربة المُتوقِّفة؟

.....

.....

.....

c. ما الّذي حدث لِلدّمية عندما اصطدمت العربة بِالورقة؟

.....

.....

.....

الاسم ..... **التاريخ** .....

d. ما الّذي حدث لِلورقة؟

.....

.....

.....

e. كيف تختلف النّتائج عند استبدال الورقة بِالعلبة؟

.....

.....

.....

f. كيف يرتبط القانون الثّاني لِنيوتن بِحركة العربة وحركة العلبة والورقة؟

.....

.....

.....

g. هل يمكن تطبيق القانون الثّالث لِنيوتن في أيّ مكان من مسار الحركة؟

.....

.....

.....

h. باعتقادك، أيّ السّيّارات يمكنها أن تنجو بِأقلّ خسائر في حادث تصادم، تلك الخفيفة الوزن أم الثقيلة منها؟ لماذا؟

.....

.....

.....

الاسم ..... التاريخ .....

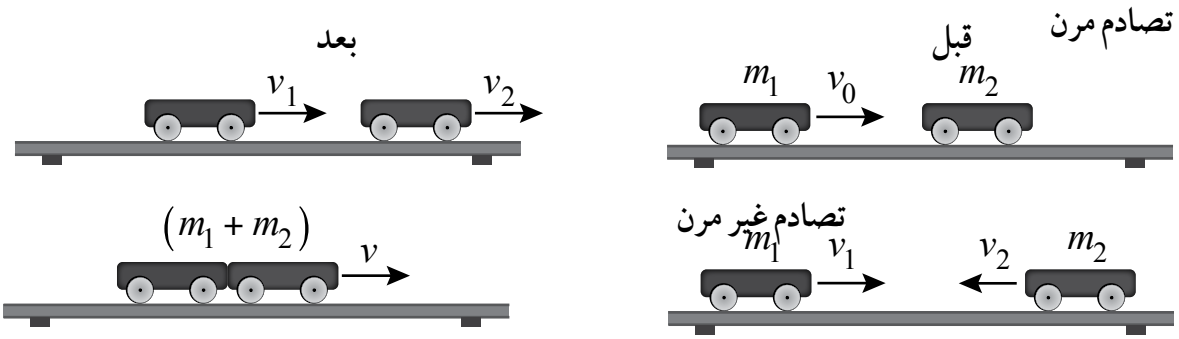
نشاط 2-4 التصادمات المرنة والتصادمات غير المرنة

سؤال الاستقصاء	كيف نقوم بتحليل التصادم؟
الموادّ المطلوبة	عربتان، قارئ البيانات، مضمار ديناميكي.

الخلفية

يمكن إجراء حساب حفظ الزخم الخطّي بسهولة في المختبر. يجد الطلاب هذا الاختبار مثيرًا للاهتمام ويعزز فهمهم للمعادلات عند حساب الزخم قبل التصادم وبعده.

الخطوات



1. هيّئ المسار ليكون أفقيًا على مستوى واحد قدر الإمكان.
2. جهّز العربتين لتصادم غير مرن ثمّ اجمع البيانات لثلاث مجموعات من الكتل على الأقل.
3. للحصول على تصادم غير مرن، ضع العربتين بحيث يتصادم الجزءان اللاصقان، لتلتصق العربتان إحداهما بالأخرى. استخدم ميزانًا لقياس كتلة كل عربة وقارئ البيانات لمعرفة سرعتها.
4. جهّز العربتين لتصادم غير مرن بحيث تكون إحداهما في حالة سكون. اجمع البيانات لثلاث مجموعات من الكتل على الأقل.
5. للحصول على تصادم مَرِن، جهّز العربتين بحيث يكون للجزءين المتصادمَين قطبان مغناطيسيان متشابهان فيتنافران بدلاً من أن يلتصقا. استخدم ميزانًا لقياس كتلة كل عربة وقارئ البيانات لمعرفة سرعتها.

الاسم ..... **التاريخ** .....

جدول البيانات

قبل التصادم غير المرن					بعد التصادم		
m_1 (kg)	v_1 (m/s)	m_2 (kg)	$E_{نظام}$ (J)	v_2 (m/s)	$P_{نظام}$ (kg•m/s)	v (m/s)	$P_{نظام}$ (kg•m/s)	$E_{نظام}$ (J)

قبل التصادم المرن					بعد التصادم			
m_1 (kg)	v_o (m/s)	m_2 (kg)	$P_{نظام}$ (kg•m/s)	$E_{نظام}$ (J)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)	$P_{نظام}$ (kg•m/s)	$E_{نظام}$ (J)

الأسئلة

a. احسب الزخم الكلّي والطاقة الحركيّة للنظام قبل التصادم وبعده لكل اختبار، ثمّ سجّل النتائج في الجدول 2-1

.....

.....

.....

الاسم ..... **التاريخ** .....

b. هل تدعم بياناتك مبدأ حفظ الزخم؟ برّر إجابتك. اقترح تفسيرات إذا لاحظت أي اختلاف.

.....

.....

.....

c. ما الذي حدث للشخص الموجود داخل العربة عند اصطدامها بالأوراق؟

.....

.....

.....

d. ما الذي حدث للأوراق؟

.....

.....

.....

e. كيف يمكن أن تختلف هذه النتائج عند استبدال الورق بالصندوق؟

.....

.....

.....

f. كيف يرتبط القانون الثاني لنيوتن مع حركة العربة ومع حركة الصندوق والورق؟

.....

.....

.....

g. هل يمكن تطبيق القانون الثالث لنيوتن في هذا المشهد؟

.....

.....

.....

h. أي من العربتين يمكن لها أن تنجو في تصادمها، ذات الوزن الخفيف أم الثقيلة؟ لماذا؟

.....

.....

.....

الشكر والتقدير

يتقدّم المؤلّفون والناشرون بجزيل الشكر إلى السادة الآتي ذكرهم، لسماحهم باستخدام ملكياتهم الفكرية، وبوافر الامتنان لموافقتهم على نشر الصور.

Kateryna Kon /Shutterstock; hfgimages/Shutterstock; Cal Holman/GI; AppleZoomZoom/Stutterstock; GualtieroBoffi Merdan/Shutterstock; Davide Sarrus/ Shutterstock; Panos Karras/ Shutterstock; KrimKate/ Shutterstock; Mario Savioa/ Shutterstock; Spaskov/Shutterstock; LeonidAndronov/Shutterstock; PlavUSA87/ Shutterstock; NatureArt/ Shutterstock; KristpovBurgstadt/ Shutterstock; SimoneN/ Shutterstock; MrsYa/Shutterstock; vnlit/Shutterstock; travelerpix/ Shutterstock; petarg/Shutterstock; montreep/Shutterstock; EverettHistorical/Shutterstock; Phongphan/Shutterstock; MarcoTomasini/Shutterstock; BigChem/Shutterstock; ColinHayes/Shutterstock; designhua/ Shutterstock; EricIsalee/ Shutterstock; Amineaya/Shutterstock; JoseLuisCalvo/Shutterstock; kurhan/Shutterstock; Lebenkulturen.de/Shutterstock; Peter Olsonn/Shutterstock; Robynmac/GoGraph; grafvision/ GoGraph; artjazz/ GoGraph; jgroup/ GoGraph; FitreaRamli/ GoGraph; Yanikstock1188/ GoGraph; monkeebusiness/ GoGraph; pixelrobot/ GoGraph; FotoYou123/ GoGraph; Paulista/ GoGraph; tomwang/ GoGraph; michael812/ GoGraph; Kaferphoto/ GoGraph; OleksandrLysenko/ GoGraph; Sparkla/ GoGraph; SURZ/ GoGraph; kadmy/ GoGraph; joebelanger/ GoGraph; Lsaloni/ GoGraph; AlexanderPokeusay/ GoGraph; KumbThong/ GoGraph; 3DSculptor/ GoGraph; Nirodesign/ GoGraph; shotsstudio/GoGraph; believeinme/GoGraph; sframe/ GoGraph; Lonely11/GoGraph; Eraxion/GoGraph; woodoo/GoGraph; mikos/ GoGraph; phillipus/GoGraph; Coprid/GoGraph; PixelChaos/GoGraph; AllenCat/ GoGraph; Andreus/GoGraph; chyennezj/GoGraph; bdspn/GoGraph; ia_64/ GoGraph; AntonioGuillem; /GoGraph; Gigava/GoGraph; Krisdog/GoGraph; malajski/ GoGraph; 4374344sean/GoGraph; alila/GoGraph; normaals/GoGraph; Jaron Ontakrai/Shutterstock; Maxx-Studio/Shutterstock; WikipediaCreativeCommons; SergeiteLegin/GoGraph; elippigraphica/Shutterstock; Pop Paul Catain/Shutterstock; magann/GoGraph; Prykhodov/GoGraph; ronstik/GoGraph; Designus/Shutterstock; Robert Hooke, Micrographia, 1665., Public Domain; Billion Photos/Shutterstock; Woods Hole Oceanographic Institute; NASA; ESA; Halfdark/GettyImages; ifong/ Shutterstock ; petarg/Shutterstock; Matteo Colombo/Getty Images;

الوحدة 3 الشغل والطاقة والقُدرة

مقدِّمة الوحدة

تستكشف هذه الوحدة الشُّغل والطاقة والقُدرة.

P1106 يعرّف مفاهيم الطاقة والشُّغل المبذول ويطبّقها.

P1107 يحل مسائل حسابية باستخدام حسابات الطاقة.

P1108 يصف مفهوم القُدرة والكفاءة ويطبّقه.

الدرس 3-1: الشغل والطاقة

- ما النظام؟
- الطاقة
- الشغل المبذول
- الشغل الموجب
- الشغل المبذول باستخدام قوة غير ثابتة
- الطاقة الحركيّة
- الشغل والطاقة الحركيّة
- طاقة الوضع التجاذبيّة
- الشغل وطاقة الوضع التجاذبية
- الإطار المرجعيّ.
- طاقة الوضع المرونيّة

الدرس 3-2: حفظ الطاقة

- تحوُّلات الطاقة
- قانون حفظ الطاقة
- حفظ الطاقة في النظام الميكانيكيّ
- خطوات لحل مسائل حفظ الطاقة
- حل مسائل الطاقة التي تشتمل على زنبرك

الدرس 3-3: القُدرة والكفاءة

- القُدرة
- الاستخدام اليومي للقُدرة
- الآلات المثالية
- الكفاءة
- مُخطّطات سانكي

الوحدة 3 الشغل والطاقة والقُدرة

ملخّص الوحدة

تُعدّ الطاقة أحد المفاهيم الأساسية في الفيزياء. على الرغم من أن تعريف الطاقة لا يزال موضع جدل، إلا أننا سنُعرّفها بطريقة تسهّل على الطلّاب فهمها وربطها بالمفاهيم الأخرى. سَيَعرف الطلّاب الفرق بين الشغل المبذول والطاقة؛ وسيكون بإمكانهم، مع نهاية الوحدة، أن يقدّروا الحالات التي يمكن فيها للشغل أن يساوي الطاقة أو لا يساويها. سوف يتعلّمون معادلات الطاقة الحركيّة، وطاقة الوضع التجاذبية وطاقة الوضع المرونيّة، إضافةً الى تدرّبهم على حل المتغيُّرات المجهولة في هذه الوحدة. غالبًا ما تكون مخطّطات تدّفق الطاقة ممتعة عند تحليلها. سوف يتعلّم الطلاب إنشاء مخطّطاتهم للتدفّق. وسيُعَرّفون القُدرة، ويعرفون متى يمكنهم استخدام معادلة القُدرة ومعادلة الطاقة. تسمح لنا معرفة الكفاءة بمقارنة الطاقة والقُدرة الناتجة من أجل تقليل الطاقة المهدرة. سوف يكون الطلاب قادرين على إنشاء مخططات سانكي وإجراء مناقشة حول الأنظمة الأكثر كفاءةً.

أخطاء شائعة

- **عندما نقوم بالدراسة، فإننا نبذل شُغلًا.** فِعلُ الدراسة في اللغة هو نوع من بذل الشغل. لكن في الفيزياء، نقول إن شغلًا قد بُذِل عندما تسبِّب القوة إزاحة للجسم. وبالتالي، فإنك إذا لم تدرس، وأنت صاعدٌ أو نازلٌ على الدرج، فلن تكون بالضرورة تبذل شغلًا.

- **تختفي الطاقة أثناء التحوّل.** الطاقة لا تُفنى ولا تُستحدث من عدم، كما أنها لا تضيع. وما نعتبره ضياعًا للطاقة عند تغيير شكلها، هو في الحقيقة تحوّل من نوع إلى آخر. وقد نعجز عن فهم أو إدراك شكل الطاقة الجديد، مثل الحرارة، أو الضوء، أو الصوت.

- **يمكن استخدام الطاقة والقُدرة بشكل متبادل.** على الرغم من أن هذين المصطلحين يستخدمهما الناس بشكل متبادل، إلا أنّ ذلك ليس صحيحًا. القُدرة هي كميّة الطاقة المستهلكة أو المتحولة خلال وحدة الزمن. الطاقة هي المقدرة على بذل شغل خلال قطع مسافة.

مخطط الوحدة

الدرس	عدد الحصص	مخرجات التعلّم	الكفايات
1-3 الشُّغل المبذول والطاقة	6	P1106.1 P1106.2 P1107.1	
2-3 حفظ الطاقة	4	P1106.3	
3-3 القُدرة والكفاءة	6	P1108.1 P1108.2 P1108.3 P1108.4	

كفايات الطالب

- التفكير الإبداعي والناقد
- الكفاية اللغوية
- التعاون والمشاركة
- حل المشكلات
- الكفاية العددية
- التواصل
- البحث والاستقصاء

المهارات العلمية والكفايات

يتوقّع من الطلاب إكمال خمس خبرات تعلميّة:

- تطبيق مهارة الرياضيات في 37 مسألة من تقويم الدروس 3-1، 3-2، 3-3، وتقويم الوحدة.
- تطبيق الكفاية اللغويّة في خبرات التعلّم، 3-1، 3-b2، 3-a3، 3-b3، ومشروع الوحدة 3 «المحطات الصناعية في قطر».
- استخدام مهارات ICT مُدمجة في خبرات التعلّم 3-b2، ومشروع الوحدة 3 «المحطات الصناعية في قطر».
- انشاء روابط مع العلم المعاصر في افتتاحيات الدروس 3-1، 3-2، 3-3، وفي فقرة «ضوء على العلماء».
- التكليف بإنجاز مشروع بحث إضافي بعنوان «المحطات الصناعية في قطر».

الدرس 3-1
الشغل المبذول والطاقة

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع / الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد دليل المعلم
الشغل المبذول حصتان	تعريف الشُغل المبذول، والمعادلة والوحدة	الصفحة 97	الصفحة 142
	الطاقة. النُظم المفتوحة والمُغلقة	الصفحتان 96، 99	الصفحة 143
	الشُغل الموجب/السالب	الصفحتان 100، 101	الصفحة 144
شغل القوة غير الثابتة والطاقة الحركية $\frac{1}{2}$ حصة	الشُغل المبذول باستخدام قوة غير ثابتة	الصفحتان 102, 103	الصفحة 145
	الطاقة الحركيّة	الصفحة 104	الصفحتان 146، 147
النشاط 3-1 حصة	النشاط 3-1: الشُغل المبذول	الصفحة 108	الصفحات 149-151 ورقة عمل 3-1
طاقة الوضع التجاذبية حصة	طاقة الوضع التجاذبيّة	الصفحتان 109، 110	الصفحة 152
الإطار المرجعي $\frac{1}{2}$ حصة	الأطر المرجعيّة	الصفحة 111	الصفحة 153
طاقة الوضع المرونية حصة	طاقة الوضع المرونيّة	الصفحة 113	الصفحة 154

الزمن المقترح للدرس

يحتاج هذا الدرس إلى 7 حصص صفيّة، تتضمّن نشاطًا عمليًّا (3-1)، إضافةً الى أفكار حول أنشطة عملية موجزة، ومناقشات مع الطلاب.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
3-1 الشُغل المبذول	مقياس زُنبركي أو مستشعر قوة، رباط مطاطي، شريط لاصق، عصا مترية، مقصّ.

مخرجات التعلّم

P1106.1 يعرّف الشُغل الذي تبذله قوة بأنّه حاصل ضرب الإزاحة في مُركِّبة القوة في اتجاه تلك الإزاحة، ويُعبَّر عن ذلك رياضيًّا باستخدام المعادلة: $W = Fd$

P1106.2 يصف كيفية تخزين الطاقة بطرق مختلفة أو في أجزاء مختلفة من النظام، مثل الطاقة الحرارية، وطاقة الوضع التجاذبية وغيرها.

P1107.1 يشتق ويطبّق الصّيَغ: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ، $E_p = mgh$ ويستخدم مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكيّة في حل مسائل حسابية.

المعرفة السابقة

يجب على الطلاب أن يكونوا على دراية بترتيب المعادلات وتعويض المتغيّرات فيها.

على دراية بقوانين نيوتن في الحركة، وتعريف القوة.

المفردات

شغل مبذول	Work done
جول (J)	Joule (J)
طاقة	Energy
طاقة حركيّة	Kinetic energy
طاقة وضع	Potential energy
طاقة وضع تجاذبيّة	Gravitational potential energy
طاقة وضع مرونيّة	Elastic potential energy
ثابت الزنبرك	Spring constant

افتتاحية الدرس

ما النظام؟

1. عرّف النظام المُغلق والنظام المفتوح.
2. اشرح للطلاب أنّ الطاقة المتدفقة في نشاط مخبري، تفقد جزءًا منها على شكل حرارة وصوت؛ لكننا لا نأخذ ذلك في الحسبان.
3. إذا أخذنا في الحسبان فقدان الطاقة الذي يحدث في البيئة المحيطة، تصبح حساباتنا صعبة للغاية. لذلك نفترض أنّ النظام مغلق وأنّ الطاقة كانت تتدفّق من شكل الى آخر.

الدّرس 3-1
الشُّغل المبذول والطاقة

تخيّل مقدار الجهد والفترة الزمنية التي تحتاجها لحفر أساس لبناء عصري وضخم باستخدام المجراف فقط. إن كمية التربة والرمال والصخور التي يتعيّن إزالتها لحفر أساس مبنىً متوسط الحجم قد يبلغ حجمها $100.000\ m^3$، بينما حجم الكمية التي يمكن لمجراف كبير أن ينقلها لا يتخطّى $0.01\ m^3$. فإذا استخدمت مجرافًا كبيرًا أربع مرات في الدقيقة وعَمِلت على مدار الساعة (24 ساعة في اليوم) لتطلب الأمر خمس سنوات لإنجاز العمل!

يمكن للعامل العادي أن يذل قدرة لا تتخطّى بضعة مئات من الواط. بينما تتجاوز قدرة الحفارة الهيدروليكية 500.000 واط ويمكن أن تنجز عملية حفر الأساس خلال أسبوعين فقط. يعود ذلك إلى معلوماتنا الأساسية في الفيزياء حول الشغل والقوى والطاقة.

تُشكّل هذه الأفكار أساسًا لفهم معظم التكنولوجيا الميكانيكية التي يصنعها الانسان ويستخدمها، ومن بينها الحفّارة الهيدروليكية.

الشكل 3-1 طريقتان لحفر أساسٍ لتشييد مبنى.

مخرجات التّعلُّم

P1106.1 يعرّف الشّغل الذي تبذله قوة بأنّه حاصل ضرب الإزاحة في مركبة القوة باتجاه تلك الإزاحة، ويعبّر عن ذلك رياضيًا باستخدام المعادلة: $W = Fdcos\theta$

P1106.2 يصف كيفية تخزين الطاقة بطرق مختلفة أو في أجزاء مختلفة من النظام. مثل الطاقة الحرارية وطاقة الوضع التجاذبية وغيرها.

P1107.1 يشتق ويطبق الصيغ: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ و $E_p = mgh$ ويستخدم مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكيّة في حل مسائل حسابية.

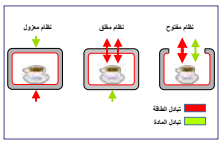
المفردات

شُغل مبذول	Work done
جول	Joule (J)
طاقة	Energy
نظام مغلق	Closed system
نظام مفتوح	Open system
طاقة حركية	Kinetic energy
إطار مرجعي	Reference frame
طاقة وضع	Potential energy
طاقة وضع تجاذبية	Gravitational potential energy
طاقة وضع مرونية	Elastic potential energy
ثابت الزنبرك	Spring constant

ما النظام؟

يبدأ فهم الطاقة بتعريف النظام، والنظام **System** هو مجموعة أجسام تتفاعل معًا، ويجري النظر إليها ودراستها كجسم واحد. فإذا كنا نريد دراسة سرعة كرة تسقط من ارتفاع معيَّن، فقد نختار نظامًا يتضمّن الارتفاع والكتلة والسرعة الابتدائية وقوة الجاذبية. ولهذا نختار النظام الذي يشمل فقط الأجسام والتفاعلات المهمّة لما نبحث عنه في دراستنا.

لكل نظام حدود، نمثلها بصندوق وهمي يحيط بالنظام. وتوجد ثلاثة انواع من النظم؛ المفتوح والمغلق والمعزول. **فالنظام المفتوح Open system** هو النظام الذي يمكنه تبادل الطاقة والمادة بينه وبين محيطه. أما **النظام المغلق Closed system**، هو النظام الذي يمكنه تبادل الطاقة مع محيطه و لا يمكنه تبادل المادة.



الشكل 3-2 الأنظمة الثلاث المفتوح والمغلق والمعزول.

والنظام المعزول Isolated system: النظام الذي لا يمكنه تبادل الطاقة أو المادة مع محيطه، ويبين **الشكل (3-2)** أنواع الأنظمة الثلاث.

الشكل 3-3 مثال عن النظام المعزول.

إذا وضعنا كوبًا من القهوة الساخنة، مثلا، في الهواء الطلق، نلاحظ أن درجة حرارته ستنخفض، حيث تنتقل حرارته إلى المحيط. وبعد عدة أيام يتبخّر ماؤه إلى الهواء المجاور. يعني ذلك أن النظام مفتوح، لأننا سمحنا للطاقة والمادة بالانتقال من كوب القهوة وإليه.

لكن إذا وضعنا الكوب الساخن نفسه داخل صندوق عازل للحرارة، كما هو موضح في **الشكل (3-3)**، فإن حرارة الكوب تبقى كما هي، لأننا منعنا الحرارة والمادة من الانتقال إلى خارج الكوب. فهذا النظام يعتبر نظامًا معزولاً، لأننا حافظنا على الطاقة والمادة.

الطاقة الكلّية لنظام مفتوح تتغيّر في حين أن الطاقة الكلية لنظام معزول تبقى ثابتة.

لا يوجد في الحقيقة نظام معزولٌ عزلًا كليًا. ومع ذلك، نفترض وجوده لكي نستطيع فهم الأحداث والعمليات وتحليلها بشكل أسهل، كما نفعل عندما نفترض عدم وجود الاحتكاك ومقاومة الهواء في مسائل الميكانيكا. في كثير من الأحيان، يبدأ العلماء بافتراض نظام مغلق بسيط، ثم يضيفون التفاصيل بناء على مقارنة تنبؤات النموذج مع البيانات الفعلية.

الطاقة

1. عرّف الطاقة، واشرح الفرق بين الشغل المبذول والطاقة. تأكّد من أن الطلاب قد فهموا أنّ الطاقة ستحدّد كم من الشغل يمكنك أن تبذل.
2. اسأل الطلاب ماذا تناولتم في وجبة الإفطار؟ وكم من الطاقة يمتلكون؟ وهل سيقومون باستخدام كل تلك الطاقة؟

   لا يمكنهم صرف طاقة أكثر مما يملكون.
3. اذكُر أن بمقدورنا تسمية الشغل المبذول بالطاقة المبذولة.
4. حضّر لائحة بالأشكال المُختلفة للطاقة، مع أمثلة على كل منها.

الشغل

كلمة الشغل كلمة شائعة في اللغة، حيث يجري استخدامها بشكل يومي. لكن بالرغم من ذلك، فإن ما نعتبره في اللغة شغلًا، ربّما ليس كذلك في الفيزياء.

1. ابدأ الدرس بسؤال الطلاب: «كم من الشغل تبذل يوميًّا؟».

   سيعطي الطلاب إجاباتهم بناء على فهمهم للشغل. أنه بذل شغلًا مدة ساعتين وهو يدرس في المنزل. وضّح لهم أنّ هذا ليس شُغلًا.
2. اشرح الفرق بين معنى الشُغل في الفيزياء ومعناه في اللغة.
3. وضّح من خلال الأمثلة كيف يكون بذل الشغل وكيف لا يكون ذلك شغلًا. يمكنك أن توضح أن شغلًا يُبذَل ضد الاحتكاك، عند دفع طاولة على الأرض.
4. كلّف الطلاب إعطاء مثال واحد يُبذَل فيه شغل، وآخر يمثّل شغلًا في اللغة؛ ولكن ليس في الفيزياء. شجّعهم على التفكير بأمثلة متنوعة.
5. اشرح معادلة الشغل ووحدته.

الطاقة

ينقل الإنسان الأشياء من مكان إلى آخر، كما تنقل وسائل النقل الناس بين المدن والبلدان. وتحرّك الرياح أشرعة السفن، وتنقل المياه الجارية الزوارق، وتساهم أشعة الشمس في نمو الأشجار. كل الأشياء التي ذكرناها لديها طاقة تمكّنها من بذل شغل، يُقاس بوحدة الجول (J). تُسبّب الطاقة حدوث تغيّرات في العديد من الكميّات، كالسرعة والارتفاع والضغط وحتى درجة الحرارة. والطاقة قادرة على تحويل المادة من حالة إلى أخرى. ومع أن الشُغل هو أحد أشكال الطاقة، فإن **التعريف الرئيس للطاقة** هو القُدرة على بذل شُغل. فالنظام الذي يملك 10 J من الطاقة يمكنه بذل شغل أقصاه 10 N.m وذلك تحت تأثير قوى مختلفة وإزاحات مختلفة. فمن دون إضافة طاقة أكثر، لن يستطيع النظام بذل شُغل يتعدى 10 N.m. توجد أنواع مختلفة من الطاقة، وهي قابلة للتحوُّل من نوع إلى آخر، ومن هذه الأنواع:

الشكل 3-4 أمثلة على أنواع الطاقة.

الطاقة الميكانيكيّة وتنتج إمّا من الحركة، وتسمّى الطاقة الحركية، وإمّا من الموضع، وتسمى طاقة الوضع. وتكون طاقة الوضع تجاذبية أو مرونية.

الطاقة الحرارية وتعتمد على درجة حرارة الأجسام. فالأجسام الساخنة تمتلك طاقة حراريّة أكثر من التي تمتلكها الأجسام الباردة.

الطاقة الكيميائيّة وتكون مُختزنة في روابط المُركّبات الكيميائيّة. يمكن تحرير هذه الطاقة عن طريق إعادة ترتيب الذرّات إلى جزيئات مُختلفة، مثل احتراق الغاز الطبيعي، لإعطاء بخار الماء وثاني أكسيد الكربون.

الطاقة الكهربائيّة تتحرّك على شكل تيارات كهربائيّة؛ فتتدفّق كنتيجة لأي فرق في الجهد الكهربائي، كما هي حال البطارية أو مقبس الحائط.

الطاقة النوويّة (الطاقة الذريّة) هي طاقة موجودة في الروابط بين البروتونات والنيوترونات في نواة الذرّة. يمكن تحرير هذه الطاقة عندما تتغيّر الذرّات من عنصر إلى آخر، كالذي يجري في المفاعل النووي أو في داخل الشمس.

الطاقة الإشعاعيّة وتشمل جميع أشكال الأمواج الكهرومغناطيسيّة كالضوء المرئي، وأمواج الميكروويف وأمواج الراديو، والأشعة السينية. ومن المهم أن نشير إلى أنّ كل أنواع الطاقة على سطح الأرض، مصدرها الطاقة الإشعاعيّة الآتية من الشمس.

الشُغل المبذول

سؤال للمناقشة

كم من الشُغل تبذل كل يوم؟

ما الشُغل؟ هل قراءة كتاب، أو كتابة الواجب المنزلي تُمثّل شغلًا؟ في الفيزياء، يُبذَل **الشُغل Work** نتيجة تأثير القوى التي تسبّب حركةً للأجسام. قد تعتقد أنّ تحضيرك للامتحان شغلٌ. لكن في الفيزياء، لا نقول إن هناك شغلاً مبذولًا، إذا لم توجد قوة تسبّب الحركة لجسمٍ ما.

الشكل 3-5 جول واحد من الشُغل.

تُعرّف كميّة **الشُغل المبذول** على جسم نتيجة تأثير قوة معيّنة على أنها حاصل ضرب الإزاحة التي يتحرّكها الجسم في مُركّبة القوة باتجاه تلك الإزاحة. فإذا استخدمنا قوة مقدارها نيوتن واحد لرفع كوب إلى الأعلى مسافة متر واحد، كما في **الشكل 3-5**، نكون قد أنجزنا شُغلاً على الكوب مقداره واحد نيوتن متر (1N.m)، يؤدي إلى انتقال الطاقة عن طريق القوة المبذولة.

1-3	الشُغل	W	الشُغل (J)
	$W=F\,d\cos\theta$	F	القوة (N)
		d	الإزاحة (m)
		θ	الزاوية بين إتجاهي القوة والإزاحة

في النظام الدولّي للوحدات SI، يعرّف الجول على أنّه واحد نيوتن.متر (N.m) . ومع أن الجول هو الوحدة الرئيسيّة للطاقة، لكنه ليس الوحيد. فوحدتا الكالوري والكيلو واط.ساعة هما أيضًا وحدتان للطاقة تُستخدمان في حالات كثيرة.

الشكل 3-6 طريقتان لبذل 10 J من الشُغل.

نستطيع أن نُنجز 10 J من الشُغل بتطبيق قوة مقدارها 1 N لتحريك الجسم إزاحة مقدارها 10 m، كما هو مبيّن في **الشكل 3-6**. يمكن القيام أيضًا بإنجاز الشُغل نفسه بتطبيق قوة مقدارها 10 N لتحريك الجسم إزاحة مقدارها 1 m.

جول واحد من الطاقة يكافئ واحد نيوتن.متر من الشُغل.

الشغل الموجب والشغل السالب

1. اسأل الطلاب: «هل يمكن أن يكون الشغل المبذول أقل من الصفر؟».

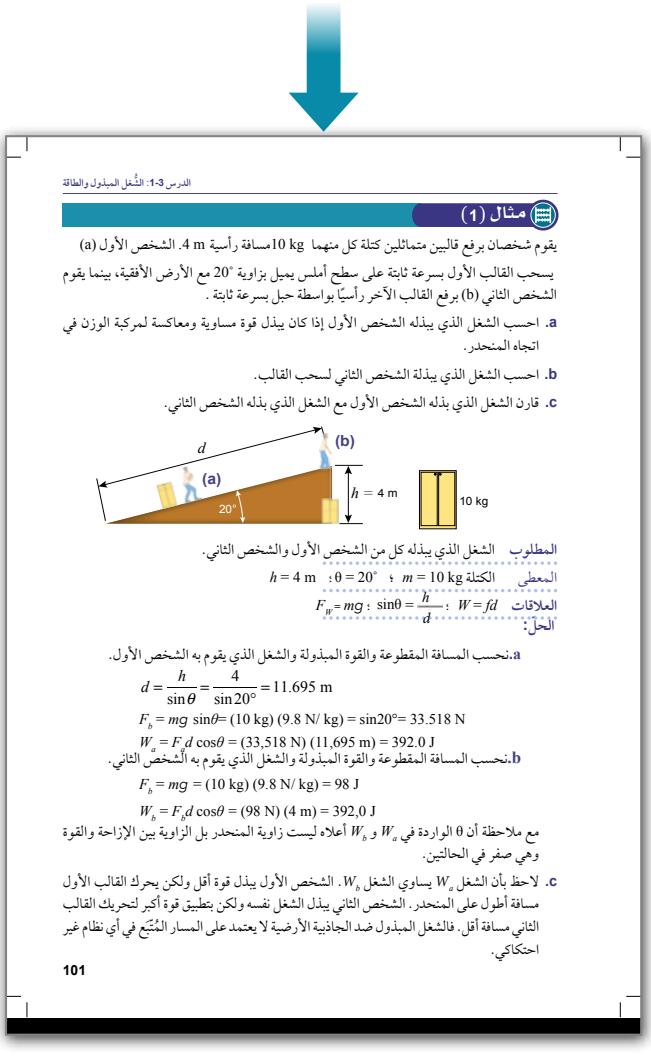
سوف يتوصل الطلاب بسرعة إلى إمكانية أن يكون الشغل صفرًا، لكن لن يفكّروا أنّ القوة المعاكسة، أو الإزاحة المعاكسة، تنتجان شغلًا سالبًا. وبالتالي، يمكن أن يكون الشغل أقل من الصفر، عندما يكون سالبًا.

2. اشرح للطلاب أنّ كلًّا من الشغل الموجب والسالب والصفري، يعتمد على قيمة كل من القوة والإزاحة واتجاه كل منهما. استخدم مثال رمي الكرة وإيقافها، ومثال عربة التسوّق.

مثال 1

ارسم مثال المنحدر للطلاب على السبورة. وأسألهم قبل أن تبدأ بحل المثال: أي الشخصين يبذل شغلًا أكبر لرفع القالب إلى أعلى المنحدر؟. ستختلف الإجابات. قد يعتقد بعضهم أن المسار الأطول ينتج شغلًا أكبر، وهم على حق في ذلك، إلا أن الشغل لا يُبذَل على القالب.

الفكرة الأساسية في هذا المثال هي أن الشغل المبذول لا يعتمد على المسار المتّبع عندما يُبذَل ضد قوة الجاذبية؛ ذلك أن الشغل في هذه الحالة يُبذَل فقط في اتجاه الوزن وهو قوة ثابتة.



الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة

الشغل الموجب

يمكن للشغل المبذول أن يكون موجبًا أو سالبًا أو حتى صفرًا. إذا كانت القوى المبذولة (أو جزءٌ منها) والإزاحة المقطوعة في الاتجاه نفسه، يكون الشغل موجبًا. فالقوّة F التي تؤثر في العربة وتُحرّكها إزاحة d تبذل شغلًا موجبًا لأن القوة تحرك العربة في اتجاه الإزاحة وتكون الزاوية بين الاتجاهين صفرًا (الشكل 3-7) $W = Fdcos\,\theta = Fd$.

إذا اعتبرنا العربة نظامًا مفتوحًا، فإن القوة التي تؤثر فيها تؤدي إلى شغل موجب يُبذل على العربة وتزداد بالتالي طاقتها الحركية.

سؤال للمناقشة

هل يمكن للشغل أن يكون أقل من صفر؟

الشكل 3-7 الشغل المبذول على عربة.

الشغل الصفري

يمكن أن يكون الشغل المبذول صفرًا، فالقوة العمودية التي تؤثر بها الأرض في العربة هي في الاتجاه الرأسي بينما حركة العربة في الاتجاه الأفقي وهكذا تكون الزاوية بين الاتجاهين 90°، ويكون الشغل المبذول $W = Fdcos\,\theta = Fdcos\,90° = 0$

الشغل الخارجي المبذول على النظام يزيد من طاقته الحركية، بينما الشغل المبذول بواسطة النظام يُنقص من طاقته الحركية.

الشغل السالب

افترض أن حركة العربة ستتوقف نتيجة لقوة احتكاك F_f بينها وبين الأرض. من الواضح أن اتجاه F_f معاكس لاتجاه الإزاحة d فتكون الزاوية بين الاتجاهين 180° وعليه يكون الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك:

$$W = Fdcos\,\theta = Fdcos\,180° = -Fd$$

ولا يكون هذا الشغل مبذولًا لتحريك العربة، بل لإعاقة حركتها. ولذلك يؤدي هذا الشغل إلى خفض الطاقة الحركية للعربة إلى الصفر. يكون الشغل في هذه الحالة مبذولًا بواسطة النظام وليس على النظام. وكذلك يكون الشغل المبذول من العربة على الشخص الذي يدفع العربة هو شغل سالب لأنه يتحرك إلى الأمام بينما تدفعه قوة رد فعل العربة إلى الخلف.

الشكل 3-8 الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك.

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

مثال (1)

يقوم شخصان برفع قالبين متماثلين كتلة كل منهما 10 kg مسافة رأسية 4 m. الشخص الأول (a) يسحب القالب الأول بسرعة ثابتة على سطح أملس يميل بزاوية 20° مع الأرض الأفقية، بينما يقوم الشخص الثاني (b) برفع القالب الآخر رأسيًا بواسطة حبل بسرعة ثابتة.

a. احسب الشغل الذي يبذله الشخص الأول إذا كان يبذل قوة مساوية ومعاكسة لمركبة الوزن في اتجاه المنحدر.

b. احسب الشغل الذي يبذله الشخص الثاني لسحب القالب.

c. قارن الشغل الذي بذله الشخص الأول مع الشغل الذي بذله الشخص الثاني.

المطلوب الشغل الذي يبذله كل من الشخص الأول والشخص الثاني.

المعطى الكتلة $m = 10\ kg$ ؛ $\theta = 20°$ ؛ $h = 4\ m$

العلاقات $W = fd$ ؛ $\sin\theta = \frac{h}{d}$ ؛ $F_W = mg$

الحلّ:

a. نحسب المسافة المقطوعة والقوة المبذولة والشغل الذي يقوم به الشخص الأول.

$$d = \frac{h}{\sin\theta} = \frac{4}{\sin 20°} = 11.695\ m$$

$$F_b = mg\sin\theta = (10\ kg)(9.8\ N/kg)\sin 20° = 33.518\ N$$

$$W_a = F_b d\cos\theta = (33{,}518\ N)(11{,}695\ m) = 392.0\ J$$

b. نحسب المسافة المقطوعة والقوة المبذولة والشغل الذي يقوم به الشخص الثاني.

$$F_b = mg = (10\ kg)(9.8\ N/kg) = 98\ J$$

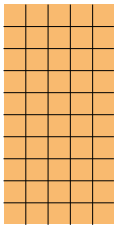
$$W_b = F_b d\cos\theta = (98\ N)(4\ m) = 392{,}0\ J$$

مع ملاحظة أن θ الواردة في W_a و W_b أعلاه ليست زاوية المنحدر بل الزاوية بين الإزاحة والقوة وهي صفر في الحالتين.

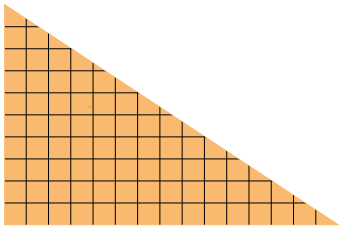
c. لاحظ بأن الشغل W_a يساوي الشغل W_b. الشخص الأول يبذل قوة أقل ولكن يحرك القالب الأول مسافة أطول على المنحدر. الشخص الثاني يبذل الشغل نفسه ولكن بتطبيق قوة أكبر لتحريك القالب الثاني مسافة أقل. فالشغل المبذول ضد الجاذبية الأرضية لا يعتمد على المسار المُتّبَع في أي نظام غير احتكاكي.

الشغل المبذول باستخدام قوة غير ثابتة

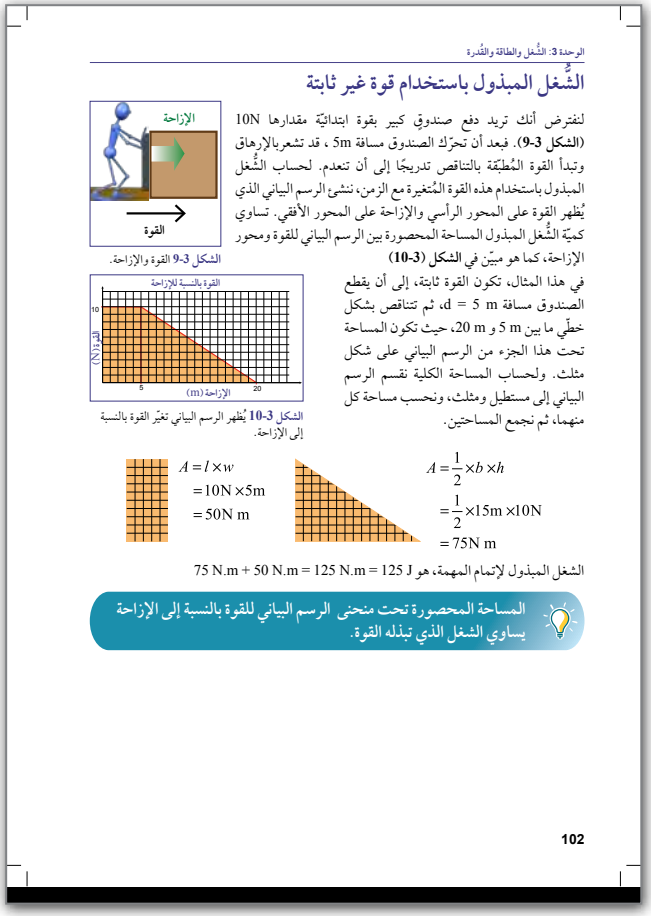
1. اشرح للطلاب أنّ المعادلة 3-1 تُستخدم فقط عندما تكون القوة ثابتة خلال الإزاحة. لكن القوَّة قد لا تكون ثابتة في الحياة اليوميّة. فنحن لا نقود السيارة مطبّقين القوة نفسها على دوّاسة البنزين طوال الوقت. لذلك تزداد قوة المحرِّك حينًا وتنقص حينًا آخر.
2. اشرح لهم أننا في حالة القوة غير الثابتة، نرسم رسمًا بيانيًّا للقوة بدلالة الإزاحة، ونستخدمه لحساب الشغل المبذول.
3. اعرض على الطلاب رسمًا بيانيًّا مشابهًا لذلك الوارد في الكتاب. واطلب اليهم حساب الشغل المبذول.



$$A = l \times w$$
$$= 10\text{N} \times 5\text{m}$$
$$= 50\text{N m}$$



$$A = \frac{1}{2} \times b \times h$$
$$= \frac{1}{2} \times 15\text{m} \times 10\text{N}$$
$$= 75\text{N m}$$



الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة

الشُّغل المبذول باستخدام قوة غير ثابتة

لنفترض أنك تريد دفع صندوقٍ كبير بقوة ابتدائيّة مقدارها 10N (الشكل 3-9). فبعد أن تحرّك الصندوق مسافة 5m ، قد تشعربالإرهاق وتبدأ القوة المُطبّقة بالتناقص تدريجًا إلى أن تنعدم. لحساب الشُّغل المبذول باستخدام هذه القوة المُتغيرة مع الزمن، ننشئ الرسم البياني الذي يُظهر القوة على المحور الرأسي والإزاحة على المحور الأفقي. تساوي كميّة الشُّغل المبذول المساحة المحصورة بين الرسم البياني للقوة ومحور الإزاحة، كما هو مبيّن في الشكل (3-10)

الإزاحة
القوة

الشكل 3-9 القوة والإزاحة.

في هذا المثال، تكون القوة ثابتة، إلى أن يقطع الصندوق مسافة d = 5 m، ثم تتناقص بشكل خطّي ما بين 5 m و 20 m، حيث تكون المساحة تحت هذا الجزء من الرسم البياني على شكل مثلث. ولحساب المساحة الكلية نقسم الرسم البياني إلى مستطيل ومثلث، ونحسب مساحة كل منهما، ثم نجمع المساحتين.

القوة بالنسبة للإزاحة
القوة (N)
10
5
20
الإزاحة (m)

الشكل 3-10 يُظهر الرسم البياني تغيّر القوة بالنسبة إلى الإزاحة.

$$A = l \times w$$
$$= 10\text{N} \times 5\text{m}$$
$$= 50\text{N m}$$

$$A = \frac{1}{2} \times b \times h$$
$$= \frac{1}{2} \times 15\text{m} \times 10\text{N}$$
$$= 75\text{N m}$$

الشغل المبذول لإتمام المهمة، هو 75 N.m + 50 N.m = 125 N.m = 125 J

المساحة المحصورة تحت منحنى الرسم البياني للقوة بالنسبة إلى الإزاحة يساوي الشغل الذي تبذله القوة.

102

الطاقة الحركيّة

1. حَدّث الطلاب عن حالة تحتاج فيها إلى دفع الباب ليفتح، لكنك لا تستطيع لأنه عالق. فتحاول جاهدًا فتحه، ودفعه بقوة أكبر. ما الذي يمكنك فعله أيضًا؟
   ربما أجاب الطلاب أنهم سيحتاجون إلى الركض ثمّ دفع الباب. سلهم: لماذا عليكم الركض؟ ما الذي يمكنكم أن تفعلوه أيضًا؟ ربّما فَكّروا باستخدام شيء ثقيل ليدفعوا الباب به.
2. اشرح للطلاب أنّ الزيادة في كل من الكتلة والسرعة تزيد من الطاقة الحركيّة.
3. عرّف الطاقة الحركيّة، على أنّها الطاقة الناتجة من الحركة. ثمّ استخدم المعادلة 2.3 لحل الشكل 11-3.
4. اشرح للطلاب لماذا تكون العلاقة بين السرعة والطاقة الحركية علاقة غير خطّية.
5. اطلب منهم التفكير في علاقات غير خطيّة أخرى.

نشاط سريع

1. يمكن إنجاز هذا النشاط في مجموعات، أو حتى كعرض صفّي.
2. جهّز منحدرًا، واستخدم عربات لها كتل مختلفة.
3. ضع عند نهاية المُنحدر كوبًا ورقيًا خفيفًا، يمكن تحريكه بسهولة.
4. يمكنك إطلاق العربات بشكل متزامن، أو الواحدة تلو الأخرى.
5. قِس المسافات التي تقطعها العربات. اربط المسافة المقطوعة بكمّية الشغل المبذول.

الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة

الطاقة الحركيّة

الطاقة الحركيّة Kinetic energy (E_k) هي الطاقة الناتجة من حركة أي جسم له كتلة. ولتقدير التغيُّرات التي تُسبِّبها الطاقة الحركيّة، تخيّل كُرتين، لهما الكتلة نفسها وسرعتان مختلفتان، تصطدمان بحائط من مادة لينة. تترك كل كرة تجويفًا فيه لامتصاصه الطاقة الحركية لإيقاف كل كرة. ولكن أي الكرتين تصنع تجويفًا أكبر في الحائط؟ لا شك، في أن الكرة ذات الطاقة الحركية الأكبر تصنع التجويف الأكبر، وبما أن لهما الكتلة نفسها، فإن الكرة الأسرع لها طاقة حركية أكبر.

2-3 الطاقة الحركيّة		
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	E_k	الطاقة الحركيّة (J)
	m	الكتلة (kg)
	v	السرعة (m/s)

إذًا، تعتمد الطاقة الحركيّة على كلٍ من الكتلة والسرعة (**الشكل 11-3**). تتناسب الطاقة الحركيّة طرديًا مع كتلة الجسم. فإذا تضاعفت الكُتلة تتضاعف الطاقة الحركيّة أيضًا. فكُرَةٌ كتلتها 2 kg تتحرّك بسرعة 1 m/s تكون طاقتها الحركيّة 1 J، أما الكرة الأخرى التي تبلغ كتلتها 4 kg وتتحرّك بالسرعة نفسها 1 m/s فتكون طاقتها الحركية 2 J، أي مِثلَي الطاقة الحركيّة للكرة الأولى.

الشكل 11-3 تعتمد الطاقة الحركيّة على الكتلة والسرعة.

وفقًا للمعادلة (**2-3**) تعتمد الطاقة الحركيّة لجسم متحرّك على مربّع سرعته. فإذا قمت بمضاعفة السرعة فسوف تزداد الطاقة الحركيّة بمعامل أربعة أضعاف. فالكرة ذات الكتلة 2 kg، والتي تتحرّك بسرعة 1 m/s، لها طاقة حركيّة مقدارها 1 J. وإذا ازدادت سرعة الكرة نفسها إلى 3 m/s، تصبح طاقتها الحركية 9 J. أي إن ضرب السرعة في 3 يؤدي إلى ضرب الطاقة الحركيّة في معامل $3^2 = 9$.

إذًا تكون العلاقة بين الطاقة الحركيّة والكتلة علاقة خطيّة، أما العلاقة بين الطاقة الحركيّة والسرعة فهي علاقة غير خطيّة. والعلاقة الطردية بين المتغير التابع ومربّع المتغيِّر المستقل، هي علاقة رياضية من الدرجة الثانية (علاقة تربيعية).

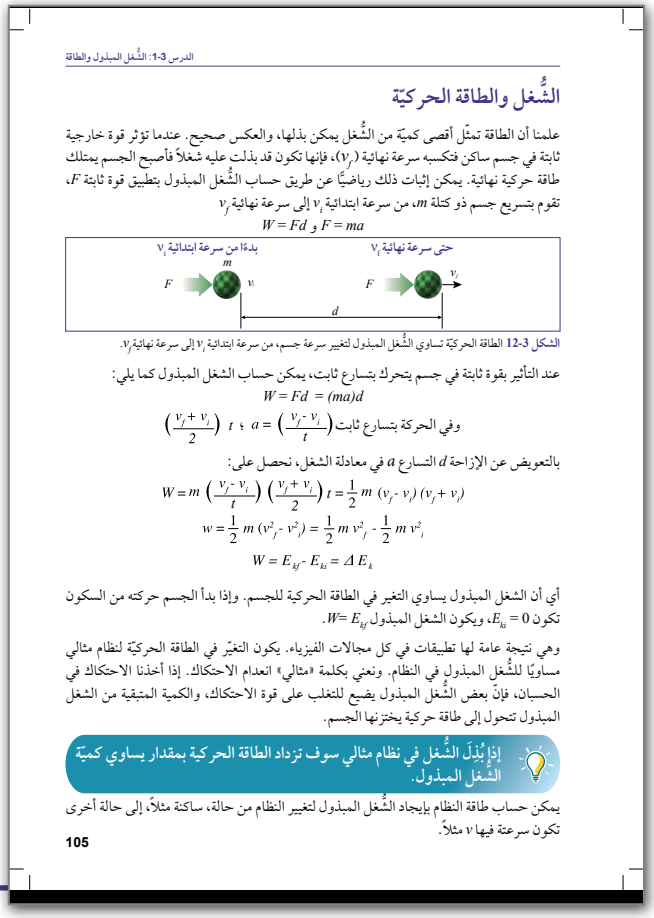
104

الشغل والطاقة الحركيّة

قد يكون اشتقاق المعادلات أمرًا معقدًا، ليس كل الطلاب يستسيغونه أو يستمتعون به. لكن ثمة طلابًا بإمكانهم الربط بين الرياضيات والفيزياء. تجري عمليّة اشتقاق المعادلات بمشاركة كل طلاب الصف. يجب ربط الأمر بمشهد يسهُل على الجميع فهمه. مثلًا:

1. تتحرّك سيّارة بفعل قوة مؤثرة فيها. هل يمكننا إيجاد تلك القوة؟ هل استخدمنا العلاقة المطلوبة مؤخرًا؟ ذكّر الطلاب بالعلاقة $F = ma$.
2. اشرح لهم أن الطاقة الحركيّة تعتمد على السرعة. يلزمنا إيجاد التسارع بدلالة السرعة. ساعد الطلاب من خلال تذكيرهم بالمعادلات، وطرق التعويض.
3. اشرح المثال 2 على السبّورة، ثم دعْ مجالًا للطلاب كي ينجزوا الحل معًا. بدّل المتغيِّرات، وأعطهم المزيد من المسائل ليحلّوها. سيُسهم ذلك في تدرُّبهم على المعادلة.

تحمل هذه المعادلة بعد اشتقاقها فكرة مهمّة وهي أن الطاقة الحركية تساوي بالضبط الشغل المبذول الذي يزيد السرعة من السكون إلى قيمتها النهائية. الطاقة لا تأتي من العدم، ولا بد أن تأتي أي زيادة لها من مصدر ما.
في هذا المثال، يكون مصدر الطاقة من الشغل المبذول على الكرة.



الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

الشُّغل والطاقة الحركيّة

علمنا أن الطاقة تمثّل أقصى كميّة من الشُّغل يمكن بذلها، والعكس صحيح. عندما تؤثر قوة خارجية ثابتة في جسم ساكن فتكسبه سرعة نهائية (v_f)، فإنها تكون قد بذلت عليه شغلاً فأصبح الجسم يمتلك طاقة حركية نهائية. يمكن إثبات ذلك رياضيًّا عن طريق حساب الشُّغل المبذول بتطبيق قوة ثابتة F، تقوم بتسريع جسم ذو كتلة m، من سرعة ابتدائية v_i إلى سرعة نهائية v_f

$W = Fd$ و $F = ma$

الشكل 3-12 الطاقة الحركيّة تساوي الشُّغل المبذول لتغيير سرعة جسم، من سرعة ابتدائية v_i إلى سرعة نهائية v_f.

عند التأثير بقوة ثابتة في جسم يتحرك بتسارع ثابت، يمكن حساب الشغل المبذول كما يلي:

$$W = Fd = (ma)d$$

وفي الحركة بتسارع ثابت $a = \left(\frac{v_f - v_i}{t}\right)$ ؛ $\left(\frac{v_f + v_i}{2}\right)$ t

بالتعويض عن الإزاحة d التسارع a في معادلة الشغل، نحصل على:

$$W = m\left(\frac{v_f - v_i}{t}\right)\left(\frac{v_f + v_i}{2}\right)t = \frac{1}{2}m\,(v_f - v_i)\,(v_f + v_i)$$

$$w = \frac{1}{2}m\,(v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2}m\,v_f^2 - \frac{1}{2}m\,v_i^2$$

$$W = E_{kf} - E_{ki} = \Delta E_k$$

أي أن الشغل المبذول يساوي التغير في الطاقة الحركية للجسم. وإذا بدأ الجسم حركته من السكون تكون $E_{ki} = 0$، ويكون الشغل المبذول $W = E_{kf}$.

وهي نتيجة عامة لها تطبيقات في كل مجالات الفيزياء. يكون التغيّر في الطاقة الحركيّة لنظام مثالي مساويًا للشُّغل المبذول في النظام. ونعني بكلمة «مثالي» انعدام الاحتكاك. إذا أخذنا الاحتكاك في الحسبان، فإنّ بعض الشُّغل المبذول يضيع للتغلب على قوة الاحتكاك، والكمية المتبقية من الشغل المبذول تتحول إلى طاقة حركية يختزنها الجسم.

إذا بُذِلَ الشُّغل في نظام مثالي سوف تزداد الطاقة الحركية بمقدار يساوي كميّة الشُّغل المبذول.

يمكن حساب طاقة النظام بإيجاد الشُّغل المبذول لتغيير النظام من حالة، ساكنة مثلاً، إلى حالة أخرى تكون سرعة فيها v مثلاً.

105

مثال 3

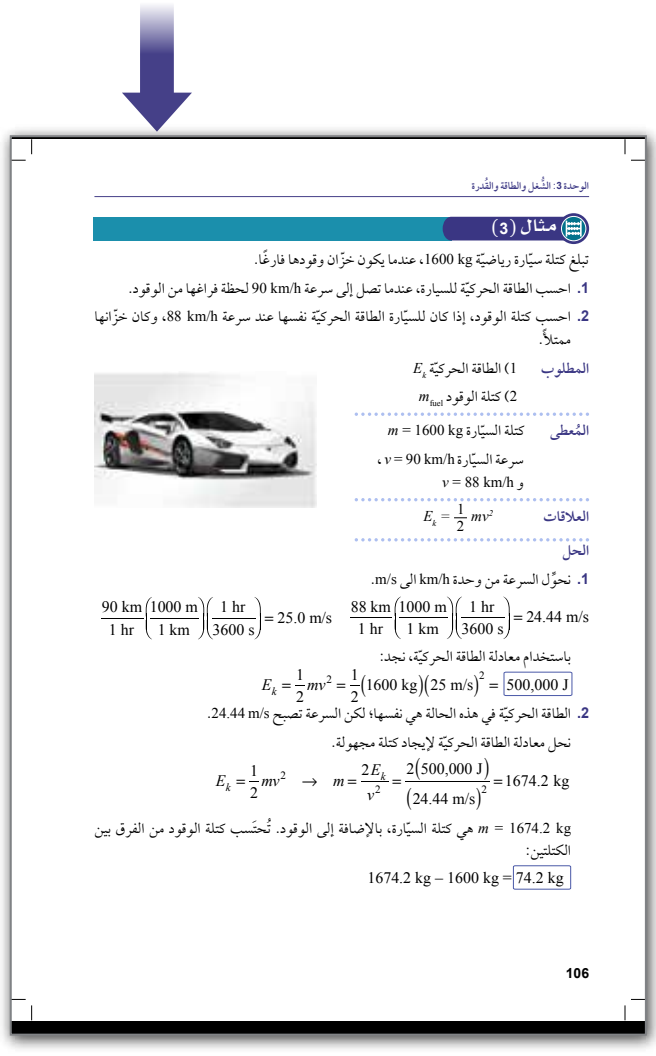
فكرة المثال هي أنك إذا عرفت الطاقة الحركية والكتلة، يمكنك معرفة السرعة. وهدف المثال هو مساعدة الطلاب لحساب كتلة الوقود اللازمة وذلك بمعرفة الطاقة الحركية للسيارة عندما تكون ممتلئة بالوقود أو فارغة.

المثال متعدِّد الخطوات ويساعد الطلاب في فهم منطق حل المسائل.

مثال 4

يؤكد هذا المثال الفرق بين الفكرتين الآتيتين:

1. الشغل المبذول على النظام يكون موجبًا لأنه يزيد طاقته الكليّة.
2. الشغل المبذول بواسطة النظام يكون شغلًا سالبًا بالنسبة للنظام، لأنه يُبذل إلى خارج النظام، ويؤدّي إلى نقص في طاقة النظام.
3. يُنتج المُحرّك قوة رد فعل من الطريق تبذل شغلًا على السيارة وتزيد من طاقتها الحركية. بينما تبذل المكابح شغلًا على الطريق، ويؤدي إلى نقص في الطاقة الحركية للسيارة.



الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة

مثال (3)

تبلغ كتلة سيّارة رياضيّة 1600 kg، عندما يكون خزّان وقودها فارغًا.

1. احسب الطاقة الحركيّة للسيارة، عندما تصل إلى سرعة 90 km/h لحظة فراغها من الوقود.
2. احسب كتلة الوقود، إذا كان للسيّارة الطاقة الحركيّة نفسها عند سرعة 88 km/h، وكان خزّانها ممتلأً.

المطلوب 1) الطاقة الحركيّة E_k

2) كتلة الوقود m_{fuel}

المُعطى كتلة السيّارة $m = 1600\ \text{kg}$

سرعة السيّارة $v = 90\ \text{km/h}$،

و $v = 88\ \text{km/h}$

العلاقات $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

الحل

1. نحوِّل السرعة من وحدة km/h الى m/s.

$$\frac{88\ \text{km}}{1\ \text{hr}}\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{hr}}{3600\ \text{s}}\right) = 24.44\ \text{m/s} \qquad \frac{90\ \text{km}}{1\ \text{hr}}\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{hr}}{3600\ \text{s}}\right) = 25.0\ \text{m/s}$$

باستخدام معادلة الطاقة الحركيّة، نجد:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(1600\ \text{kg})(25\ \text{m/s})^2 = \boxed{500{,}000\ \text{J}}$$

2. الطاقة الحركيّة في هذه الحالة هي نفسها؛ لكن السرعة تصبح 24.44 m/s.

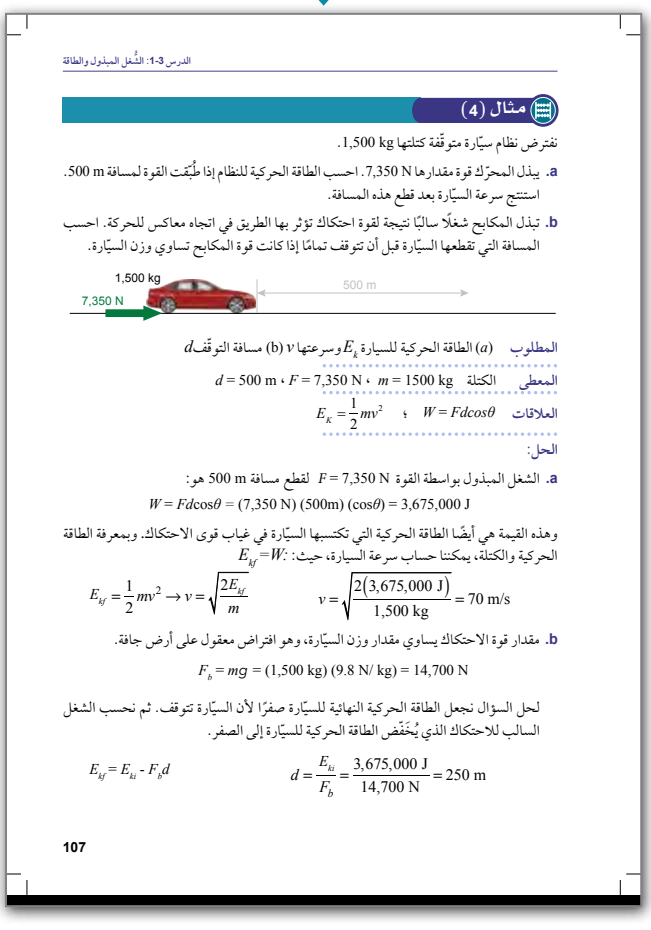
نحل معادلة الطاقة الحركيّة لإيجاد كتلة مجهولة.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow m = \frac{2E_k}{v^2} = \frac{2(500{,}000\ \text{J})}{(24.44\ \text{m/s})^2} = 1674.2\ \text{kg}$$

$m = 1674.2\ \text{kg}$ هي كتلة السيّارة، بالإضافة إلى الوقود. تُحتَسب كتلة الوقود من الفرق بين الكتلتين:

$$1674.2\ \text{kg} - 1600\ \text{kg} = \boxed{74.2\ \text{kg}}$$

106



الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

مثال (4)

نفترض نظام سيّارة متوقّفة كتلتها 1,500 kg.

a. يبذل المحرّك قوة مقدارها 7,350 N. احسب الطاقة الحركية للنظام إذا طُبّقت القوة لمسافة 500 m. استنتج سرعة السيّارة بعد قطع هذه المسافة.

b. تبذل المكابح شغلًا سالبًا نتيجة لقوة احتكاك تؤثر بها الطريق في اتجاه معاكس للحركة. احسب المسافة التي تقطعها السيّارة قبل أن تتوقف تمامًا إذا كانت قوة المكابح تساوي وزن السيّارة.

المطلوب (a) الطاقة الحركية للسيارة E_k وسرعتها v (b) مسافة التوقّف d

المعطى الكتلة $m = 1500\ \text{kg}$ ، $F = 7{,}350\ \text{N}$ ، $d = 500\ \text{m}$

العلاقات $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ؛ $W = Fd\cos\theta$

الحل:

a. الشغل المبذول بواسطة القوة $F = 7{,}350\ \text{N}$ لقطع مسافة 500 m هو:

$$W = Fd\cos\theta = (7{,}350\ \text{N})(500\text{m})(\cos\theta) = 3{,}675{,}000\ \text{J}$$

وهذه القيمة هي أيضًا الطاقة الحركية التي تكتسبها السيّارة في غياب قوى الاحتكاك. وبمعرفة الطاقة الحركية والكتلة، يمكننا حساب سرعة السيارة، حيث: $E_{kf} = W$:

$$E_{kf} = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_{kf}}{m}} \qquad v = \sqrt{\frac{2(3{,}675{,}000\ \text{J})}{1{,}500\ \text{kg}}} = 70\ \text{m/s}$$

b. مقدار قوة الاحتكاك يساوي مقدار وزن السيّارة، وهو افتراض معقول على أرض جافة.

$$F_b = mg = (1{,}500\ \text{kg})(9.8\ \text{N/kg}) = 14{,}700\ \text{N}$$

لحل السؤال نجعل الطاقة الحركية النهائية للسيّارة صفرًا لأن السيّارة تتوقف. ثم نحسب الشغل السالب للاحتكاك الذي يُخَفّض الطاقة الحركية للسيّارة إلى الصفر.

$$E_{kf} = E_{ki} - F_b d \qquad d = \frac{E_{ki}}{F_b} = \frac{3{,}675{,}000\ \text{J}}{14{,}700\ \text{N}} = 250\ \text{m}$$

107

نشاط 3-1 الشُغل المبذول

الإجابات/ عيّنة بيانات

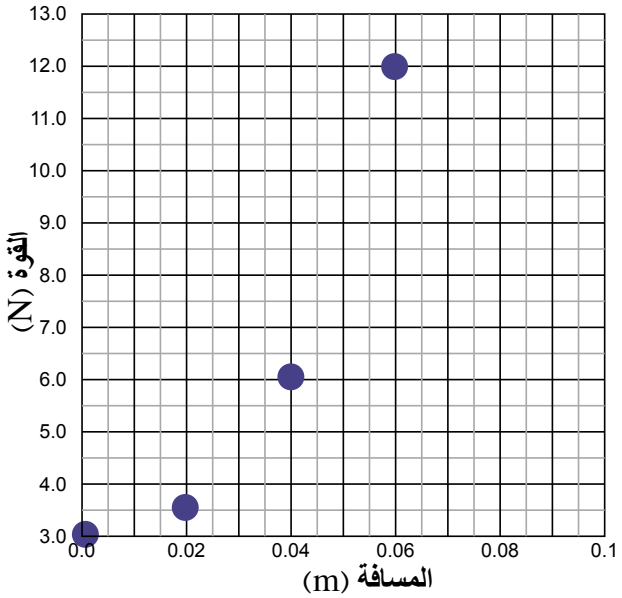
الموادّ المطلوبة للطالب: مقياس زنبركي أو مستشعر قوة، رباط مطاطي، شريط لاصق، عصا مترية، مقص.

يتعيّن أن تقوم بهذا النشاط مجموعات مؤلفة من ثلاثة طلاب إلى أربعة. الهدف من هذا الاختبار هو جمع البيانات، وإنشاء رسم بياني باستخدام تلك البيانات.
سوف يتدرّب الطلاب على حساب المساحة الموجودة أسفل الرسم البياني للشغل المبذول بدلالة الإزاحة. ويقوِّمون العلاقة بين القوة والإزاحة.

عيّنة بيانات

السرعة المُقدّرة (s/m)	الإزاحة (m)	القوة (N)	السرعة المحسوبة (s/m)
	0.02	2	6.32
	0.04	6	15.5
	0.06	12	26.8

مخطّط القوة بالنسبة إلى الإزاحة



الوحدة 3: الشُغل والطاقة والقُدرة

1-3 الشغل المبذول

سؤال الاستقصاء	كيف يؤدي الشغل إلى تغيير الطاقة؟
الموادّ المطلوبة	ميزان زنبركي أو مستشعر قوة، رباط مطاطي، شريط لاصق، مسطرة، مقص.

للأمان: يتطلب هذا النشاط استخدام نظارات واقية من قِبَل جميع الطلاب.

خطوات التّجربة

1. اصنع طائرة ورقية مع شقٍّ في مقدمتها، وعلّق بها رباطًا مطاطيًا.
2. اسحب الرباط المطاطي إلى الأمام والطائرة إلى الخلف ثم اتركها لتنطلق إلى الأمام (الشكل 3-13a).
3. احسب سرعة انطلاق الطائرة بمعرفة المسافة التي تقطعها ومُدَّة الطيران.
4. قِس القوة الناتجة في الرباط المطاطي لمسافات سحب مختلفة باستخدام الميزان الزنبركي (الشكل 3-13b).
5. مثّل بيانيًّا القوة المبذولة على الرباط المطاطي بدلالة الإزاحة.
6. استخدم المساحة تحت الرسم البياني لحساب الشغل المبذول على الطائرة خلال إطلاقها.
7. استخدم بياناتك للتنبؤ بسرعة انطلاق الطائرة بمعرفة الشغل المبذول لسحب الرباط المطاطي وإحداث استطالة فيه.

الشكل 3-13 اطلاق طائرة ورقية عن طريق ضبط رباط مطاطي.

الأسئلة

a. اشتق علاقة رياضية تربط الشغل المبذول على الرباط المطاطي بسرعة انطلاق الطائرة.
b. احسب أقصى سرعة انطلاق نظرية للطائرة بمعرفة طاقة الرباط المطاطي.
c. قارن بين السرعة التي توقعتها والسرعة الناتجة عن النموذج. اشرح الأسباب التي قد تؤدي إلى فروق بين القيمة المتوقعة والقيمة النظرية.

108

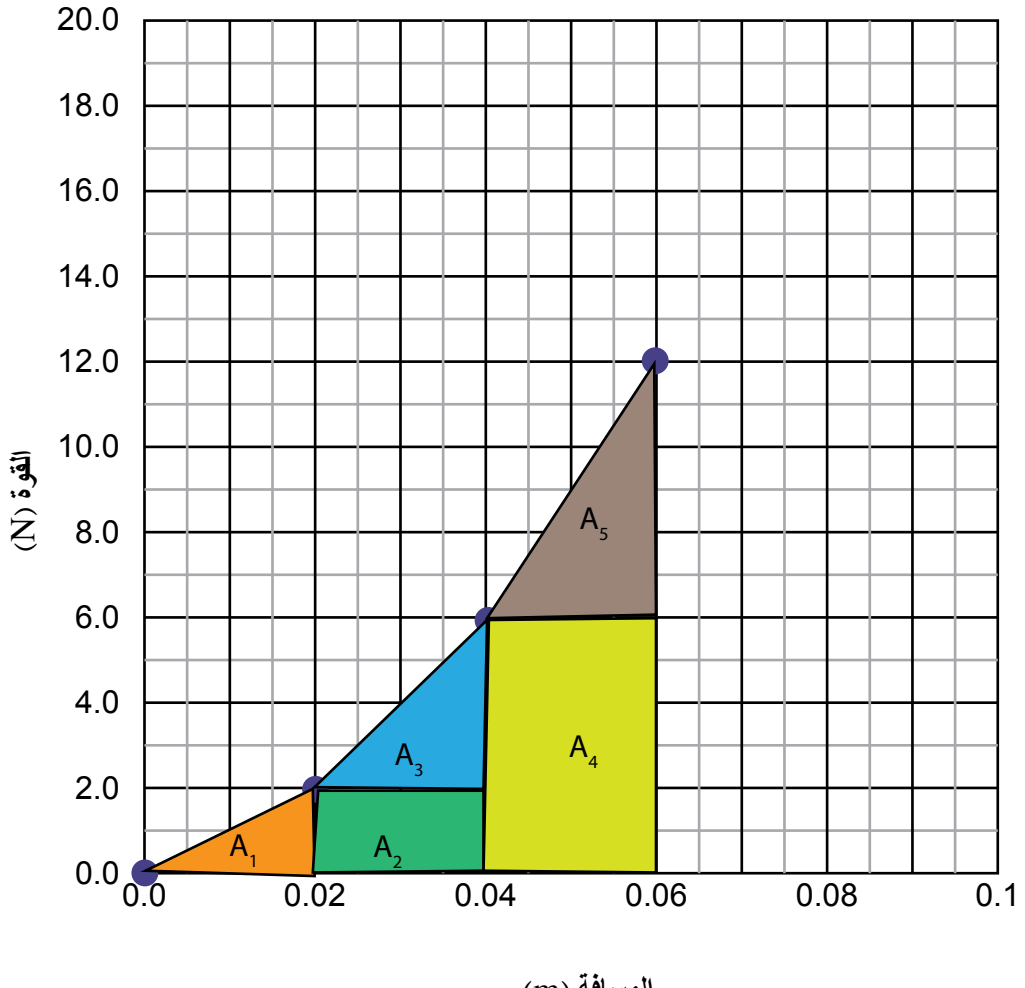
الأسئلة:

a. استخلص نموذجًا يربط الشغل المبذول على الرباط المطاطيّ بسرعة الطائرة.

نعلم بأنّ الشغل المبذول على الرباط المطاطي يحوّل الطاقة إلى الطائرة. وبالتالي، ستكون الطاقة الحركيّة للطائرة مساوية للشغل المبذول على الرباط المطاطي، ويكون الشغل المبذول بواسطة الرباط Fd، إذا افترضنا أن قوة الشدّ في الرباط ثابتة.

$$Fd = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2Fd}{m}}$$

b. باستخدام المساحة الموجودة تحت المخطّط، احسب الشغل المبذول على الطائرة أثناء الإقلاع.



$$A_1 = \frac{1}{2}(0.02)(2) = 0.02\,\text{J} \qquad A_4 = (0.02)(6) = 0.12\,\text{J}$$

$$A_2 = (0.02)(2) = 0.04\,\text{J} \qquad A_5 = \frac{1}{2}(0.02)(6) = 0.06\text{J}$$

$$A_3 = \frac{1}{2}(0.02)(4) = 0.04\,\text{J}$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 0.02 + 0.04 + 0.04 + 0.12 + 0.06 = 0.28\text{J}$$

ويكون الشغل الكلي:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 0.02 + 0.04 + 0.04 + 0.12 + 0.06 = 0.28 \text{ J}$$

c. احسب السرعة العظمى النظريّة للطائرة، إذا علمت أن الطاقة المُكتسبة جاءت فقط من الرباط المطاطي.

جرى حساب الإجابة في المعادلة المُستخلصة في القسم a وجرى إدخالها في جدول البيانات باعتبار أنّ كتلة الطائرة هي 2 g.

d. قارن السرعة التي قدَّرتها بالتنبؤ الذي أعطاه النموذج. صف الأسباب التي جعلت من القيم النظرية والتقديرية غير متوافقة.

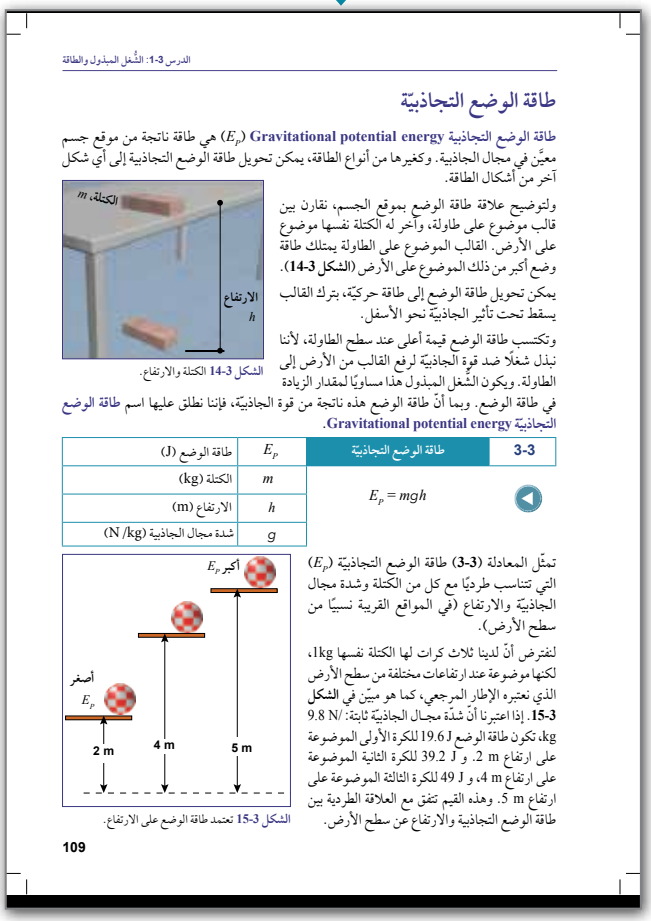
سيكون هناك فرق واضح بين القيمة النظرية المتوقَّعة، والقيمة الناتجة من التجربة، لأننا افترضنا في حساب السرعة أن قوة الشد في الرباط ثابتة، ولا تعتمد على الإزاحة؛ إلا أنها تتأثّر كثيرًا بالإزاحة كما يبدو من جدول البيانات والرسم البياني.

طاقة الوضع التجاذبيّة

1. سل الطلاب: هل يمتلك الكتاب الساكن على الطاولة طاقة؟

قد يجيب معظم الطلاب: لا

2. ارمِ بالكتاب على الأرض، ثم اسأل: من أين صدر الصوت؟ بما أنّ الكتاب كان يحتوي على طاقة لدى وجوده على الطاولة، فلماذا لم يتحرّك إذًا؟
3. اشرح عبارة طاقة الوضع على أنّها الطاقة الكامنة في جسم (نتيجة وضعه تحت تأثير قوة ما) ويمكن تحريرها. طاقة الوضع التجاذبيّة واحدة من طاقات الوضع، والتي تعتمد على الارتفاع. كلما ازداد ارتفاع الجسم، كانت الطاقة التي يمتلكها أكبر، ويكون الصوت أشد عندما يسقط الجسم ويرتطم بالأرض.
4. ادعُ الطلاب إلى وضع لائحة بخمسة أشياء موجودة في الصف، تمتلك طاقة وضع تجاذبية تكون أكبر من الصفر، لكن ليست موجودة على مقعدهم. (من تلك الأشياء الساعة، السبّورة، الرفوف).
5. أشرك الطلاب في استنتاج معادلة طاقة الوضع التجاذبيّة.



الدرس 3-1: الشُغل المبذول والطاقة

طاقة الوضع التجاذبيّة

طاقة الوضع التجاذبية Gravitational potential energy (E_p) هي طاقة ناتجة من موقع جسم معيَّن في مجال الجاذبية. وكغيرها من أنواع الطاقة، يمكن تحويل طاقة الوضع التجاذبية إلى أي شكل آخر من أشكال الطاقة.

ولتوضيح علاقة طاقة الوضع بموقع الجسم، نقارن بين قالب موضوع على طاولة، وآخر له الكتلة نفسها موضوع على الأرض. القالب الموضوع على الطاولة يمتلك طاقة وضع أكبر من ذلك الموضوع على الأرض (**الشكل 3-14**).

يمكن تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركيّة، بترك القالب يسقط تحت تأثير الجاذبيّة نحو الأسفل.

وتكتسب طاقة الوضع قيمة أعلى عند سطح الطاولة، لأننا نبذل شغلًا ضد قوة الجاذبيّة لرفع القالب من الأرض إلى الطاولة. ويكون الشُغل المبذول هذا مساويًا لمقدار الزيادة في طاقة الوضع. وبما أنّ طاقة الوضع هذه ناتجة من قوة الجاذبيّة، فإننا نطلق عليها اسم **طاقة الوضع التجاذبيّة Gravitational potential energy**.

الشكل 3-14 الكتلة والارتفاع.

3-3	طاقة الوضع التجاذبيّة	
$E_p = mgh$	E_p	طاقة الوضع (J)
	m	الكتلة (kg)
	h	الارتفاع (m)
	g	شدة مجال الجاذبية (N/kg)

تمثّل المعادلة (**3-3**) طاقة الوضع التجاذبيّة (E_p) التي تتناسب طرديًا مع كل من الكتلة وشدة مجال الجاذبيّة والارتفاع (في المواقع القريبة نسبيًا من سطح الأرض).

لنفترض أنّ لدينا ثلاث كرات لها الكتلة نفسها 1kg، لكنها موضوعة عند ارتفاعات مختلفة من سطح الأرض الذي نعتبره الإطار المرجعي، كما هو مبيّن في **الشكل 3-15**. إذا اعتبرنا أنّ شدّة مجال الجاذبيّة ثابتة: 9.8 N/kg، تكون طاقة الوضع 19.6 J للكرة الأولى الموضوعة على ارتفاع 2 m. و 39.2 J للكرة الثانية الموضوعة على ارتفاع 4 m، و 49 J للكرة الثالثة الموضوعة على ارتفاع 5 m. وهذه القيم تتفق مع العلاقة الطردية بين طاقة الوضع التجاذبية والارتفاع عن سطح الأرض.

الشكل 3-15 تعتمد طاقة الوضع على الارتفاع.

الشُغل وطاقة الوضع التجاذبيّة

ناقشنا إمكان اكتساب طاقة الوضع التجاذبيّة، عندما نبذل شغلاً ضد قوة الجاذبيّة. للتوصل إلى معادلة طاقة الوضع التجاذبيّة، نقوم بمساواة طاقة الوضع مع الشُغل المبذول.

الشكل 3-16 لاعب الوثب العالي القطري مُعتز برشم، يبذل شُغلاً ضد الجاذبيّة.

الشُغل الذي تبذله قوة F عند تحريك جسم إزاحة d في اتجاه القوة يُعطى بالعلاقة: $W=Fd$

فإذا رفعنا الجسم مسافة h بقوة معاكسة لوزنه mg كما في حالة لاعب الوثب العالي في **الشكل 3-16**، يكون الشغل المبذول بوساطة الوزن مقداره: $W = -mgh$

الإشارة السالبة ناتجة من كون قوة الوزن رأسية إلى الأسفل، والإزاحة رأسية إلى الأعلى. أما الشغل الذي نبذله نحن ضد الوزن فيكون: $W = mgh$، وهو يؤدي إلى زيادة طاقة الوضع التجاذبية للجسم بالمقدار نفسه.

وبناء على ذلك، يكون مقدار الشغل المبذول بوساطة قوة الجاذبية مساويًا لسالب التغيّر في طاقة الوضع التجاذبية، أي: $W_{\text{الوزن}} = -\Delta E_p$

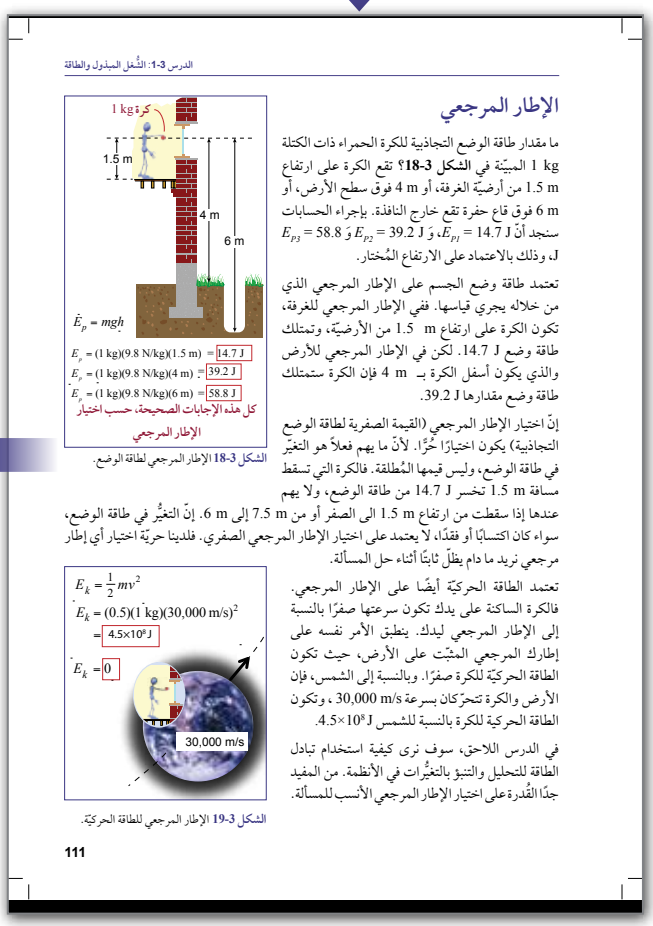
يفترض البرهان السابق أنّ الجسم يتحرّك في مسار مستقيم رأسيًّا لبلوغ الارتفاع النهائي h. ماذا لو أنّ الجسم يتحرّك على مسار مختلف؟ هل كانت طاقة الوضع التجاذبيّة ستختلف، إذا سلك الجسم مسارًا منحنيًا أطول من المسار الرأسي المباشر؟ (**الشكل 3-17**)

الشكل 3-17 طاقة الوضع النهائية لا تعتمد على المسار الذي تسلكه الكرة: (a) أو (b) أو (c).

في الحقيقة، يعتمد التغيّر في طاقة الوضع التجاذبية على نقطتي البداية والنهاية فقط، ولا يعتمد على شكل المسار الذي يسلكه الجسم بين هاتين النقطتين، لأن وزن الجسم يعتبر ثابتًا في تغيُّرات الارتفاع القصيرة. وفضلاً عن ذلك، فإن الشغل المبذول بوساطة الوزن لا يعتمد على المسار المتَّبع بين نقطتي البداية والنهاية. أما في حالة الحركة على مسار أفقي (أي على ارتفاع ثابت بالنسبة إلى سطح الأرض)، فإن الوزن لا يبذل أي شغل، وتبقى طاقة الوضع التجاذبية ثابتة.

الاطار المرجعي

1. ادعُ الطلاب إلى حساب طاقة الوضع لجسم موجود على الطاولة.
2. عندما ينتهون من الحساب، اسألهم عما سيحدث إذا سقط الجسم من النافذة، بدلًا من سقوطه عن الطاولة؟ أخبرهم عن ارتفاع المبنى (يمكنك اختيار رقم لذلك)، ثم اطلب إليهم حساب طاقة الوضع مرة ثانية، وفق الإطار المرجعي الجديد.
3. إذا سقط قالبٌ عن الطاولة إلى الأرض، يفقد كمية معيّنة من الطاقة. لكنّه إذا سقط من النافذة إلى الأرض، فستكون كمية الطاقة المفقودة مختلفةً. يعود ذلك إلى اعتماد الارتفاع على الإطار المرجعي.
4. اشرح للطلاب كيف أنّ الطاقة الحركيّة لجسم تعتمد أيضًا على الإطار المرجعي. يمكننا أن نفترض ثبات جسم معيّن على الأرض، لكن الأرض نفسها تتحرّك، وبالتالي يتحرّك الجسم أيضًا.
5. حل مسألة المثال مع الطلاب. حاول تزويدهم بالمزيد من الأمثلة والمسائل، عن طريق تبديل المتغيّرات وقيمها.



الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

الإطار المرجعي

ما مقدار طاقة الوضع التجاذبية للكرة الحمراء ذات الكتلة 1 kg المبيّنة في **الشكل 3-18**؟ تقع الكرة على ارتفاع 1.5 m من أرضيّة الغرفة، أو 4 m فوق سطح الأرض، أو 6 m فوق قاع حفرة تقع خارج النافذة. بإجراء الحسابات سنجد أنّ $E_{p1} = 14.7$ J، وَ $E_{p2} = 39.2$ J وَ $E_{p3} = 58.8$ J، وذلك بالاعتماد على الارتفاع المُختار.

تعتمد طاقة وضع الجسم على الإطار المرجعي الذي من خلاله يجري قياسها. ففي الإطار المرجعي للغرفة، تكون الكرة على ارتفاع 1.5 m من الأرضيّة، وتمتلك طاقة وضع 14.7 J. لكن في الإطار المرجعي للأرض والذي يكون أسفل الكرة بـ 4 m فإن الكرة ستمتلك طاقة وضع مقدارها 39.2 J.

إنّ اختيار الإطار المرجعي (القيمة الصفرية لطاقة الوضع التجاذبية) يكون اختيارًا حُرًّا. لأنّ ما يهم فعلاً هو التغيّر في طاقة الوضع، وليس قيمها المُطلقة. فالكرة التي تسقط مسافة 1.5 m تخسر 14.7 J من طاقة الوضع، ولا يهم عندها إذا سقطت من ارتفاع 1.5 m الى الصفر أو من 7.5 m إلى 6 m. إنّ التغيُّر في طاقة الوضع، سواء كان اكتسابًا أو فقدًا، لا يعتمد على اختيار الإطار المرجعي الصفري. فلدينا حريّة اختيار أي إطار مرجعي نريد ما دام يظلّ ثابتًا أثناء حل المسألة.

تعتمد الطاقة الحركيّة أيضًا على الإطار المرجعي. فالكرة الساكنة على يدك تكون سرعتها صفرًا بالنسبة إلى الإطار المرجعي ليدك. ينطبق الأمر نفسه على إطارك المرجعي المثبّت على الأرض، حيث تكون الطاقة الحركيّة للكرة صفرًا. وبالنسبة إلى الشمس، فإن الأرض والكرة تتحرّكان بسرعة 30,000 m/s، وتكون الطاقة الحركية للكرة بالنسبة للشمس 4.5×10^8 J.

في الدرس اللاحق، سوف نرى كيفية استخدام تبادل الطاقة للتحليل والتنبؤ بالتغيُّرات في الأنظمة. من المفيد جدًا القُدرة على اختيار الإطار المرجعي الأنسب للمسألة.

الشكل 3-18 الإطار المرجعي لطاقة الوضع.

الشكل 3-19 الإطار المرجعي للطاقة الحركيّة.

مثال (5)

الرقم القياسي العالمي في رفع الأثقال والبالغ 263 kg مسجّل في العام 2004.

1. كم تكون طاقة الوضع التجاذبيّة لثقل كتلته 263 kg، إذا رُفع 2.0 m فوق سطح الأرض؟
2. كم يكون الشُّغل الذي يبذله شخص لرفع الثقل من الأرض إلى موضع فوق الرأس ارتفاعه 2.0 m؟
3. يتطلّب رفع الثقل نفسه إلى الارتفاع نفسه، ولكن على المرّيخ، بذل شغل مقداره 1946 J . احسب قيمة g على المرّيخ.

المطلوب 1) طاقة الوضع E_p للثقل فوق الرأس.
2) الشُّغل المبذول W لرفع الثقل 2 m فوق الرأس من الأرضيّة.
3) عجلة الجاذبيّة g على المرّيخ.

المُعطى الكتلة $m = 263$ kg
الارتفاع النهائي للثقل $h = 2.0$ m
الشغل المبذول على المرّيخ $W = 1946$ J

العلاقات $E_p = mgh$ ،$g = 9.8\text{m/s}^2$

الحل

1. $E_p = mgh = (263\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2)(2.0\text{ m}) = 5{,}155$ J
2. بحسب المُعطى في الفرع (1)، فإنّ طاقة الوضع للثقل عند سطح الأرض ($E_p = 0$) وعند موضع أعلى الرأس هو 5,155 J. وبالتالي فإنّ أقل شُغل مبذول من الرفّاع يساوي التغيّر في E_p، حيث: $W = \Delta E_p = 5155\text{ J} - 0\text{ J} = 5155\text{ J}$
3. على المرّيخ: $E_p = mgh = (263\text{ kg})(g)(2.0\text{ m}) = 1946$ J

$$g = \frac{1946\text{ J}}{(263\text{ kg})(2\text{ m})} = 3.7\text{ N/kg}$$

طاقة الوضع المرونية

1. اشرح للطلاب أنّ طاقة الوضع هي طاقة مُختزنة؛ وبالتالي يُمكن أن تُختزن في زنبرك أو في أي مادّة قادرة على الانضغاط والتمدّد.
2. عرّف طاقة الوضع المرونيّة، واذكر معادلتها.
3. لتقديم ثابت الزنبرك، k، يمكن للطلاب إيجاد ثابت زنبرك صغير.
4. يستطيعون تعليق كتل مختلفة من زنبرك وقياس استطالة الزنبرك لكل كتلة. يمكن عندئذ حساب الثابت k، عن طريق حل المعادلة $F = kx$.
5. بمقدور الطلاب أيضًا رسم مخطّط F بدلالة x، والتأكُّد من العلاقة الخطّيّة بينهما.
6. تأكّد من أنّ الطلاب قد فهموا أنّ ثابت الزنبرك يعتمد على مدى سهولة أو صعوبة انضغاط الزنبرك أو استطالته. فالثابت الكبير يعني أنّ الزنبرك يحتاج إلى مزيد من القوّة ليحقّق استطالة معيّنة.
7. حُلَّ مسألة المثال مع الطلاب على السبّورة.

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

طاقة الوضع المُرونيّة

سؤال للمناقشة

هل يمكنك التفكير في نظام آخر يختزن طاقة وضع؟

تنشأ طاقة الوضع بمجرّد وجود قوة ممنوعة من التأثير. عند السماح للقوة بالتأثير في الجسم تتحرّر طاقة الوضع الكامنة في الجسم، وتتحوّل إلى نوع آخر من الطاقة. في حالة طاقة الوضع التجاذبيّة، تكون قوة الجاذبيّة هي القوة المعنية . وفي حالة انضغاط زنبرك فإن قوة مرونة الزنبرك هي القوة المعنية، فهو يختزن طاقة وضع مرونية بداخله؛ وتتحرّر هذه الطاقة عند السماح للزنبرك بالتحرر.

علينا بذل شغل ضد قوة شد الزنبرك لتغيير شكله عن طريق الاستطالة أو الانضغاط. يختزن الزنبرك طاقة **وضع مرونيّة Elastic potential energy** ما دام مشوّهًا (منضغطًا أو مشدودًا). وتتحرّر هذه الطاقة عندما يُسمح للزنبرك بالعودة إلى شكله الأصلي.

4-3	طاقة الوضع المرونيّة	E_E	طاقة الوضع المرونيّة (J)
$E_E = \frac{1}{2}kx^2$		k	ثابت الزنبرك (N/m)
		x	مسافة الانضغاط أو الإستطالة (m)

المعادلة (4-3) نموذج لطاقة الوضع المرونيّة لزنبرك تشوّه (انضغط أو استطال) بمقدار، x، من طوله الحر، عندما تكون قوة الشد فيه صفرًا. تُسمّى الكميّة، k، **ثابت الزنبرك Spring constant** وهي تصف مقدار القوة التي يؤثر بها الزنبرك لكل متر من الاستطالة أو الانضغاط. يُعتبر الثابت k خاصيّة مميزة للزنبرك، وتختلف من زنبرك إلى آخر أو إلى موادّ مرنة أخرى. يقاوم الزنبرك القوي الانضغاط والاستطالة؛ وبالتالي تكون قيمة k كبيرة جدًّا. أما الزنبرك الرخو، فيكون ثابته مُنخفضًا.

الشكل 3-20 بعض الأمثلة على طاقة الوضع المرونية.

يجري اختزان طاقة الوضع المرونيّة في معظم الأجسام، عندما يغيّر الجسم من شكله أو طوله. تؤثّر القوة الموجودة في الجسم المرن لتعيد الجسم إلى شكله أو موضعه الأصلي. يعرض **الشكل 3-20** أمثلة على أجسام تستطيع اختزان طاقة وضع مرونيّة.

113

الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة

تقويم الدرس 1.3

1. يجلس فتى كتلته 30 kg على عربة كتلتها 10 kg عند قمة هضبة ارتفاعها 10 m.
   a. ما مقدار طاقة الوضع الابتدائيّة للفتى والعربة معًا؟
   b. ما مقدار طاقتهما الحركيّة الابتدائية؟
2. تتحرّك سيّارة كتلتها 1,000 kg بسرعة 15 m/s فتوقفت نتيجة استخدام المكابح لمسافة 20.0 m.
   a. ما مقدار الطاقة الحركيّة الابتدائيّة للسيّارة؟
   b. ما مقدار الطاقة الحركيّة النهائيّة للسيّارة؟
   c. ما مقدار الشُّغل المبذول من قوّة الفرامل لإيقاف السيّارة؟
   d. ما متوسّط القوة المُطبّقة لإيقاف السيّارة؟
3. زنبرك عمودي ثابته k = 100 N/m يُضغط بمقدار 10 cm بواسطة كتلة 100 g.
   a. ما مقدار طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في الزنبرك المضغوط؟
   b. كم يجب أن تكون طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في النابض إذا ضغطناه المسافة السابقة نفسها، لكن بواسطة كتلة 300 g؟

4. اذا اقتطعنا من صندوق نصف كتلته، وقمنا برفعه إلى ارتفاع أربعة أمثال ما هو عليه. فهل تتغيّر طاقة وضعه؟ وضح اجابتك بالحساب.
5. ما مقدار الاستطالة التي يجب أن تحدث لزنبرك لتصبح طاقة وضعه المرونية 1 J علمًا أنّ ثابته هو 1,000 N/m.

6. a. كم ستكون قيمة الشُّغل المبذول لدفع سيارة كتلتها 400 kg مسافة 6 m بقوة 300 N؟
   b. كم ستكون السرعة النهائيّة للسيارة، إذا تحوّل الشّغل المبذول كلّه إلى طاقة حركيّة؟

7. تتحرك سيارة كتلتها 2000 kg إلى أعلى سطح يميل بزاوية 30° عن الأفقي تحت تأثير قوة محرك 3000 N وقوة احتكاك 500 N . احسب الشغل الذي يبذله كل من القوى التالية إذا قطعت إزاحة 100 m.
   a. وزن السيارة
   b. القوة العمودية للسطح المائل
   c. قوة الاحتكاك
   d. قوة المحرك

115

تقويم الدّرس 3-1 — الإجابات

1. فتى كتلته 30 kg يجلس على عربة كتلتها 10 kg عند قمة هضبة ارتفاعها 10 m.

a. ما طاقة الوضع الابتدائيّة للفتى والعربة معًا؟

الكتلة المؤلفة من كتلة الفتى وكتلة العربة هي $m = 40\ kg$

ارتفاع الهضبة $h = 10m$ تسارع الجاذبية $g = 9.8\ m/s^2$

$$E_p = mgh = (40) \times (9.8) \times (10\,m) = 3{,}920\ J$$

b. ما طاقتهما الحركيّة الابتدائيّة؟

بما أنّ العربة ساكنة ابتداءً، فإن سرعتها الابتدائية صفر. وبالتالي، ستكون طاقتها الحركية صفرًا أيضًا.

2. سيّارة كتلتها 1,000 kg تتحرّك بسرعة 15 m/s، فتتوقف نتيجة استخدام المكابح لمسافة 20.0 m.

a. ما مقدار الطاقة الحركيّة الابتدائيّة للسيّارة؟

لحساب الطاقة الحركيّة الابتدائيّة للسيارة، لدينا:

الكتلة، $m = 1{,}000kg$ ، السرعة الابتدائيّة = 15 m/s ، السرعة النهائيّة = 0

المسافة المقطوعة = 20 m .

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(1{,}000)(15)^2 = 112{,}500\,J$$

b. ما مقدار الطاقة الحركيّة النهائيّة للسيّارة؟

عند النهاية، تصبح السيارة ساكنة، وبالتالي طاقتها الحركيّة تصبح صفرًا.

c. ما مقدار الشُّغل المبذول لإيقاف السيّارة؟

تبذل المكابح شغلًا كافيًا لإنقاص الطاقة الحركيّة للسيارة، حتى تصبح صفرًا. وبالتالي، فإنها تبذل 112,500J من الشغل.

الشغل المبذول = التغير في طاقة الحركة

$$W = \Delta E_k = 112500\ J$$

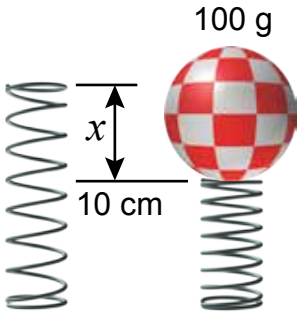
d. ما متوسّط القوة المُطبّقة لإيقاف السيّارة؟

باستخدام المعادلة: $W = Fd$

$$F = \frac{W}{d} = \frac{112{,}500}{20} = 5{,}625\,N$$

تقويم الدّرس 3-1 — الإجابات

3. زنبرك عمودي ثابته $k = 100\ \text{N/m}$ يُضغط بمقدار 10 cm بواسطة كتلة 100 g.



a. كم ستكون طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في الزنبرك المضغوط؟

ثابت الزنبرك $k = 100\ \text{N/m}$ ، ينضغط مسافة $x = 10\ \text{cm} = 0.1\ \text{m}$

$$E_E = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(100)(0.1)^2 = 0.5\,\text{J}$$

b. كم يجب أن تكون طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في النابض، إذا ضغطناه المسافة السابقة نفسها، لكن بواسطة كتلة 300 g؟

لا تعتمد الطاقة المُختزنة في الزنبرك على كيفية انضغاط الزنبرك أو الكتلة المعلقة به. وبالتالي في هذه الحالة، تبقى الطاقة المُختزنة هي نفسها، **0.5 J**.

4. إذا اقتطعنا من صندوق نصف كتلته، وقمنا برفعه الى ارتفاع أربعة أمثال ما هو عليه، فهل تتغيّر طاقة وضعه؟ وضح اجابتك بالحساب.

نعالج المسألة بطريقة رياضية. نقسم الكتلة على 2، لكن نضرب الارتفاع في 4. بالتالي:

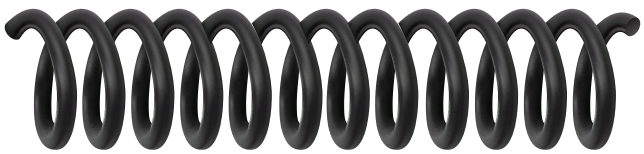
$$E_P = mgh = \frac{m}{2}g\cancel{4}^{2}h = mg2h = 2mgh$$

ستزداد طاقة الوضع التجاذبية إلى مثلي قيمتها الأصلية.

5. ما مقدار الاستطالة التي يجب أن تحدث لزنبرك لتصبح طاقة وضعه 1 J، علمًا أنّ ثابته هو 1,000 N/m.

طاقة الوضع المرونيّة = 1 J ، ثابت الزنبرك: $k = 1{,}000\ \text{N/m}$

$$E_E = \frac{1}{2}kx^2 \Rightarrow x = \sqrt{\frac{2E_E}{k}} = \sqrt{\frac{2(1)}{1{,}000}} = 0.045m$$



تقويم الدّرس 3-1 — الإجابات

6. **a.** كم ستكون قيمة الشُّغل المبذول لدفع عربة كتلتها 400 kg مسافة 6 m بقوة 300 N؟

الكتلة $m = 400\ \text{kg}$، المسافة $d = 6\ \text{m}$، القوة $F = 300\ \text{N}$

$$W = Fd = 300(6) = 1{,}800\text{J}$$

b. كم ستكون السرعة النهائيّة للعربة إذا تحوّل الشغل المبذول كلّه طاقة حركيّة؟

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2(1{,}800)}{400}} = 3\text{m/s}$$

7. تتحرك سيّارة كتلتها 2,000 kg إلى أعلى سطح يميل بزاوية 30° مع الأفقي، تحت تأثير قوة محرِّك 30,000 N، وقوة احتكاك 500 N . احسب الشغل الذي تبذله كل من القوى الآتية إذا قطعت إزاحة 100 m:

الكتلة $m = 2000\ \text{kg}$، المسافة $d = 100\ \text{m}$، القوة $F = 30000\ \text{N}$

a. وزن السيارة

$$W_w = F_w \sin\theta d = -(mg\sin\theta)d$$
$$=-(2000)(9.8)\ \sin(30^\circ) \times 100 = -980{,}000\text{J}$$

b. القوة العمودية على السطح المائل

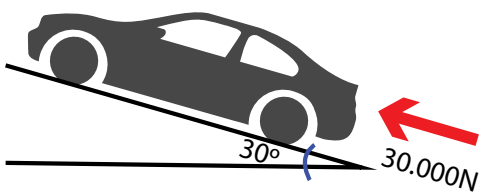
$$W_N = F_N \cos\theta = 2000 \times 9.8 \times 100 \times Cos\ 90 = 19600 \times 100 \times 0 = 0\ \text{J}$$

c. قوة الاحتكاك

$$W_k = F_k d \cos 180 = -500 \times 100 = -5000\ \text{J}$$

d. قوة المحرك

$$W_F = Fd\cos 0^\circ = 30{,}000 \times 100 = 3{,}000{,}000\ \text{J}$$



إعادة تدريس

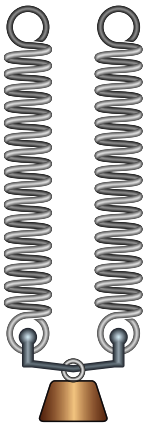
بالرغم من أنّ الطلاب قد تعلّموا من قبل كيفية حساب المساحة تحت منحنى بياني بين نقطتين على المحور الأفقي، وذلك بتقسيم المساحة إلى مساحات صغيرة منتظمة، لكن هذه القاعدة يسهل نسيانها، لأنها لا تُستخدَم كثيرًا.

1. ادعُ الطلاب إلى استخدام مقياس القوة لقياس قوة تؤدي إلى إزاحة جسم مسافة 3 m.
2. كلّف طلابًا آخرين تسجيل قراءات مقياس القوة، مع تغيُّراتها خلال عملية الإزاحة.
3. استخدم القيم لرسم منحنى بياني يمثِّل القوّة بالنسبة إلى الإزاحة.
4. والآن، كلِّف الطلاب إيجاد المساحة المحصورة تحت منحنى الرسم البياني.

كل طالب سيكون لديه رسم بياني مُختلف، وستكون بياناته مختلفة. لتقويمها، تأكّد من أن القيم الموجودة على الرسم البياني تتطابق مع بياناتهم في الجدول.

إثراء

1. يستطيع الطلاب إيجاد تأثير ثابت الزنبرك، عندما يجري وصل عدد من الزنبركات على التوالي وعلى التوازي.
2. على الطلاب أولًا أن يجدوا ثابت زنبركين اثنين باستخدام كتل معروفة تؤثر بقوّة تؤدي إلى استطالة يمكن قياسها. يجب إنجاز ذلك لعدة قوى تُستخدم لحساب متوسّط ثابت الزنبرك المكافئ.
3. صِلْ زنبركين على التوالي، ثم جد k للزنبرك المُكافئ لهما.
4. صِلْ زنبركين على التوازي، ثم جد k للزنبرك المُكافئ لهما.
5. يجب أن يستنتج الطلاب أنّ حالة التوازي يكون فيها ثابت الزنبرك المكافئ، هو حاصل جمع ثابتَي الزنبركين.



زنبركان على التوازي

زنبركان على التوالي

ملاحظات

الدرس 3-2
حفظ الطاقة

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع / الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد دليل المعلم
تحوُّلات الطاقة حصة واحدة	شرح وأمثلة على كيفية انتقال الطاقة	الصفحات 117-118	الصفحات 26-28 ورقة عمل 3-a2
قانون حفظ الطاقة حصة واحدة	شرح القانون والتطبيق	الصفحة 119	الصفحة 29
حفظ الطاقة في النظام الميكانيكي وحل أسئلة حصة واحدة	شرح ومعادلة وأمثلة وأسئلة	الصفحات 120-124	الصفحات 29-31
طاقة مصفاة القهوة حصة واحدة	تحليل سقوط مصفاة القهوة	الصفحة 125	الصفحة 32 ورقة عمل 3-b2

الزمن المقترح للدرس

يحتاج هذا الدرس إلى 4 حصص صفيّة، تتضمن نشاطين عمليين (3-a2) و (3-b2)، إضافةً إلى أفكار حول أنشطة عملية موجزة، ومناقشات مع الطلاب.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
3-a2 تدفُّق الطاقة	شعلة غاز، عود ثقاب، بندول مزدوج، كتلتان، زنبرك، بكرة، خيط، عربتان.
3-b2 طاقة مصفاة القهوة	مصافي قهوة، كاميرات تصوير للسرعات العالية، ورقة مرقّمة (5 cm) طولها متران، عصاة مترية، كرسي حائط طويل وفارغ.

مخرجات التعلّم

P1106.3 يذكر مبدأ حفظ الطاقة ويطبّقه بأمثلة بسيطة.

المعرفة السابقة

لابد للطالب أن يكون على دراية بأشكال مختلفة من الطاقة، وأن يكون بمقدوره تطبيق معادلات الطاقة الحركية وطاقة الوضع التجاذبية وطاقة الوضع المرونية.

المفردات

نظام	system
طاقة ميكانيكية	mechanical energy

افتتاحية الدرس

يسمع الطلاب عادة أن الطاقة تكون محفوظة، ولكن تتغيَّر من شكل إلى آخر. ومع ذلك، فإنهم ليسوا على دراية بكيفية تدفُّق الطاقة.

1. ابدأ الدرس بأن تطلب إليهم ذكر أشكال الطاقة التي تعلموها سابقًا. هل هناك بعض الأشكال التي لم يذكروها؟ قد يذكرون الطاقة الصوتية. في هذه الحالة، ذكِّرهم أن الطاقة الصوتية صغيرة جدًّا، ويمكن إهمالها.
2. سلْ: ما نوع الطاقة التي تملكها السيارة، عندما تكون في حالة حركة؟
   الطاقة الحركية.
3. من أين أتت السيارة بهذه الطاقة؟
   معظم الطلاب سيذكرون الوقود الذي استخدموه.
4. ارسم على السبّورة رسمًا تخطيطيًّا يبيّن كيفية تحوُّل الطاقة من شكل إلى آخر(على غرار المخطط الوارد بكتاب الطالب). قبل ذكر أي مصدر، اسأل الطلاب: من أين أتت هذه الطاقة؟

الدّرس 3-2
حفظ الطاقة

توجد العديد من الألعاب في مدينة الألعاب، ولكن لعبة السفينة الدوارة (الأفعوانية) قد تكون الأكثر شعبية من سواها.

تجد هذه اللعبة في كافة مدن الألعاب الكبرى. ويكمن عامل التشويق فيها بالتبادل السريع بين طاقة الوضع التجاذبية والطاقة الحركية.

تصعد العربة في هذه اللعبة إلى أعلى قمة المسار، حيث تكون طاقة الوضع التجاذبية عند أقصى قيمة لها. وعندما تبدأ العربة بالهبوط والتسارع، تبدأ طاقة الوضع التجاذبية بالتحول إلى طاقة حركية، ومعها تزداد سرعة العربة، حيث تصل إلى قيمتها القصوى عند وصولها إلى مستوى سطح الأرض. وبهذه السرعة تستطيع العربة اجتياز جميع التلال التي تقع على مسار العربة، إلى أن تتوقف في نهاية المطاف، بسبب وجود الاحتكاك بين العربة ومسار الحركة للعربة، وتَحوّل طاقتها إلى شغل مبذول ضد الاحتكاك، يظهر معظمه على شكل حرارة.

الشكل 3-21 السفينة الدوارة.

مخرجات التعلُّم

P1106.3 يتذكر مبدأ حفظ الطاقة، ويطبقه من خلال أمثلة بسيطة.

المفردات

نظام	System
طاقة ميكانيكية	Mechanical energy

تحوُّلات الطاقة

تشهد كل عملية تحدث في الطبيعة، أو في عالم التكنولوجيا، تحوُّلًا للطاقة من شكل إلى شكل آخر. تعلّمنا في الدرس السابق عن الأنظمة والأجسام التي لديها طاقة حركية وطاقة وضع. وهذان شكلان من أشكال الطاقة الشائعة في مسائل الفيزياء. يوضح الشكل 3-22 عددًا قليلًا من تحوُّلات الطاقة الكثيرة التي تحدث قبل سباق السيارات وخلاله.

سؤال للمناقشة

ما نوع الطاقة التي تحملها السيارة خلال حركتها؟

من أين تحصل السيارة على الطاقة؟

الشكل 3-22 تدفُّق الطاقة من الشمس إلى سيارة السباق.

يعدّ اختراع السيارة سببا لمضاعفة استهلاك الطاقة. يقوم الإنسان العامل بذل 14,000 J من الأعمال الميكانيكية خلال دقيقة، بينما تقوم السيارة بذل 700,000 J من الشغل خلال الفترة نفسها. وهذا يعني أن قدرة السيارة تبلغ 500 ضعف قدرة الإنسان القوي. لدراسة مصدر الطاقة في سيارة السباق، نجد أن طاقتها هي طاقة حركية ميكانيكية. يعمل المُحرِّك، الموجود في الجزء الخلفي من السيارة، على تحويل الطاقة من ضغط الغاز الساخن إلى طاقة حركية. وتأتي طاقة الغاز الساخن من احتراق الوقود الذي يؤدّي بدوره إلى تحوُّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية. وتنتج الطاقة الكيميائية المخزنة في الوقود، من تراكم النباتات وتحلُّلها على مدار ملايين السنين، ومصدرها الطاقة الإشعاعية الآتية من الشمس، والتي امتصتها النباتات منذ أكثر من 400 مليون سنة. يمكننا القول إن سيارات السباق تعمل بالطاقة الشمسية! وإذا اخذنا في الحسبان التحوُّلات التي حدثت للطاقة على المدى البعيد، يمكننا الاستنتاج أن مصدر معظم أنواع الطاقة التي نستخدمها اليوم، هو الطاقة النووية داخل الشمس.

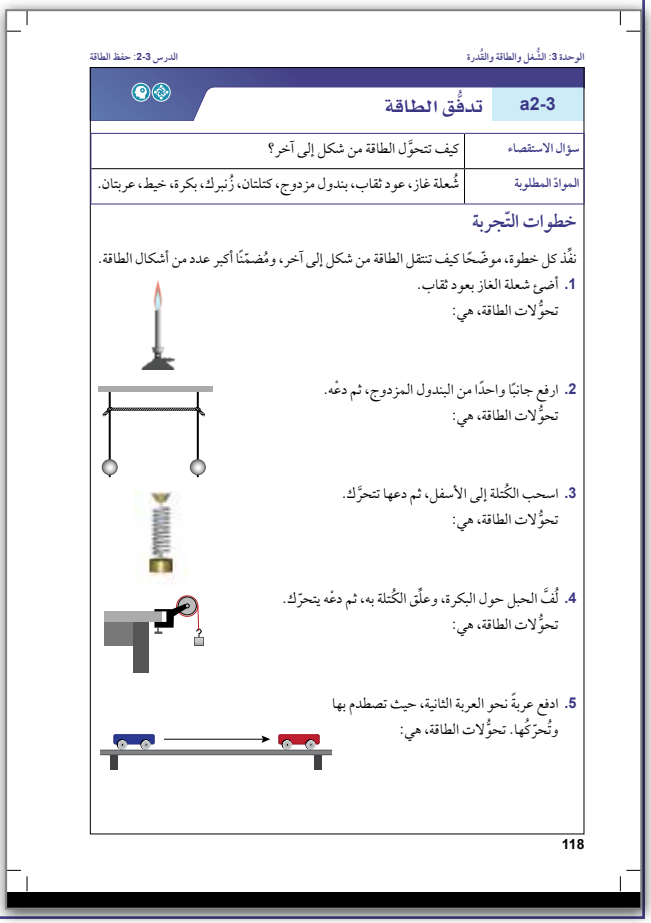
نشاط a2-3 تدفق الطاقة

الإجابات/ عيّنة بيانات

الموادّ المطلوبة: شعلة غاز، عود ثقاب، بندول مزدوج، كتلتان، زنبرك، بكرة، خيط، عربتان.

يتعيّن إنجاز هذا النشاط الجماعي في ثنائيات بهدف التواصل والتعاون. تنجز المجموعات الصغرى هذا النشاط بشكل أفضل. ولكن يمكن العمل في مجموعات أكبر إذا اقتضت الحاجة. الهدف من هذا النشاط حث الطلاب على المراقبة والتفكير بكيفية انتقال الطاقة من شكل إلى آخر.

1. جهّز المختبر قبل وصول الطلاب، بوضع الأدوات المطلوبة، وضع الأسئلة على ورقة 4A أمام كل مجموعة.
2. أعط كل مجموعة رقمًا، مثل: المجموعة1 والمجموعة2 و.....
3. اضبط ساعة الايقاف وأوعز إلى الطلاب أن ينتبهوا للوقت. هذا النشاط سريع، ولا يستدعي إنجاز كل مرحلة أكثر من ثلاث دقائق.
4. بعد إيقاف ساعة الايقاف، دعِ الطلاب يتبادلوا المراحل. مثلًا: المجموعة 1 تأخذ مكان المجموعة2، و المجموعة2 تأخذ مكان المجموعة3... وهكذا. المجموعة 5 تأخذ مكان المجموعة 1.
5. تأكد من أن الطلاب لا ينتقلون إلى المجموعة التالية، حتى تتوقف ساعة الايقاف.
6. بمجرد زيارة الطلاب لجميع المجموعات، اطلب منهم العودة إلى مجموعاتهم الأساسية، ومناقشة نتائجهم. يمكن استخدام نموذج الإجابة في الصفحة التالية للمساعدة.



الوحدة 3: الشُغل والطاقة والقُدرة — الدرس 3-2: حفظ الطاقة

a2-3 تدفُّق الطاقة

سؤال الاستقصاء	كيف تتحوَّل الطاقة من شكل إلى آخر؟
الموادّ المطلوبة	شُعلة غاز، عود ثقاب، بندول مزدوج، كتلتان، زُنبرك، بكرة، خيط، عربتان.

خطوات التّجربة

نفِّذ كل خطوة، موضّحًا كيف تنتقل الطاقة من شكل إلى آخر، ومُضمّنًا أكبر عدد من أشكال الطاقة.

1. أضئ شعلة الغاز بعود ثقاب.
تحوُّلات الطاقة، هي:

2. ارفع جانبًا واحدًا من البندول المزدوج، ثم دعْه.
تحوُّلات الطاقة، هي:

3. اسحب الكُتلة إلى الأسفل، ثم دعها تتحرَّك.
تحوُّلات الطاقة، هي:

4. لُفَّ الحبل حول البكرة، وعلِّق الكُتلة به، ثم دعْه يتحرّك.
تحوُّلات الطاقة، هي:

5. ادفع عربةً نحو العربة الثانية، حيث تصطدم بها وتُحرّكُها. تحوُّلات الطاقة، هي:

118

نماذج للإجابات:

1. أوقدْ شعلة الغاز بعود ثقاب.

تحوّلات الطاقة: الطاقة الكيميائية لعود الثقاب تتحوَّل إلى طاقة حرارية، بسبب الاحتكاك. وهذه الطاقة الحرارية تتحوَّل إلى طاقة إشعاعية، بسبب اللهب.

ومن ناحية أخرى تتحوَّل الطاقة الكيميائية الموجودة في الغاز إلى طاقة حرارية ومنها إلى طاقة إشعاعية بسبب اللهب.

2. أرجحْ جانبًا واحدًا من البندول المزدوج.

تحوُّلات الطاقة: الطاقة الكيميائية في جسمك تتحوَّل إلى طاقة حركية لذراعك، ثم إلى طاقة وضع تجاذبية للبندول الأول، ثم إلى طاقة حركية للبندول، ثم إلى طاقة وضع مرونية للزنبرك، ثم إلى طاقة وضع تجاذبية للبندول الثاني، ثم إلى طاقة حركية للبندول الثاني.

3. اسحب الوزن المعلَّق بالزنبرك إلى الأسفل، ثم دعْه يتحرَّك.

تحوُّلات الطاقة: الطاقة الكيميائية في جسمك تتحوَّل إلى طاقة حركية لذراعك، ثم إلى طاقة وضع مرونية في الزنبرك وكذلك طاقة وضع تجاذبية للكتلة المعلقة بالزنبرك، ثم تتحوَّل إلى طاقة حركية للكتلة المعلقة بالنابض.

4. لُفَّ حبلًا حول البكرة، وعلِّق به الوزن، ثم دعّه يتحرَّك إلى الأسفل.

تحوُّلات الطاقة: الطاقة الكيميائية لجسمك تتحوَّل إلى طاقة حركية لذراعك، ثم إلى طاقة وضع تجاذبية للوزن، ثم إلى طاقة حركية للنظام بأكمله.

5. ادفع إحدى العربتين، بحيث تصطدم بالعربة الأخرى، وتجعلها تتحرَّك.

تحوُّلات الطاقة: الطاقة الكيميائية لجسمك تتحوّل إلى طاقة حركية لذراعك، ثم إلى طاقة حركية للعربة الأولى، ثم إلى طاقة حركية للعربة الثانية.

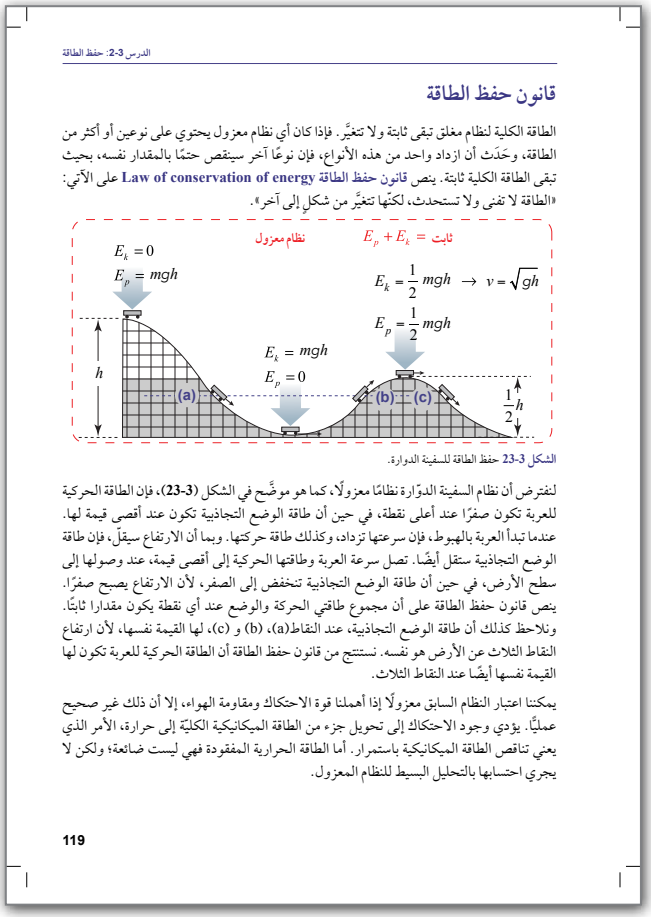
ملاحظة: قد يقوم الطلاب بوضع لوائح مختلفة لتحوُّلات الطاقة، وقد تتضمّن زيادة أو نقصانًا. ناقش معهم جميع اللوائح، فقد تكون هناك بعض أنواع الطاقة التي لم نذكرها، وقد نستفيد منها.

قانون حفظ الطاقة

1. مع بداية الحصة، ضع بندولًا في الصف.
2. ارفع البندول إلى الأعلى، واسأل الطلاب عن شكل الطاقة التي يكتسبها.
   طاقة الوضع التجاذبية.
3. دع البندول واسألهم عن قيمة طاقة الوضع التجاذبية عند وضع الاتزان. إذا أجابوا بصفر، اسألهم: أين ذهبت تلك الطاقة؟
   تحوّلت إلى طاقة حركية.
4. اذكر كيف تتحوَّل طاقة الوضع إلى طاقة حركية، والطاقة الحركية إلى طاقة وضع.

حفظ الطاقة في النظام الميكانيكي

1. أعط أمثلة على أنظمة لديها أكثر من شكل من أشكال الطاقة في الوقت نفسه. مثال: الطائرة في الجو لديها طاقة حركية وطاقة وضع تجاذبية.
2. اذكر أن مجموع هاتين الطاقتين يُسمّى الطاقة الميكانيكية.
3. كلِّف الطلاب إعطاء مثالين مختلفين على جسم لديه شكلان من الطاقة في الوقت ذاته.



الدرس 3-2: حفظ الطاقة

قانون حفظ الطاقة

الطاقة الكلية لنظام مغلق تبقى ثابتة ولا تتغيَّر. فإذا كان أي نظام معزول يحتوي على نوعين أو أكثر من الطاقة، وحَدَث أن ازداد واحد من هذه الأنواع، فإن نوعًا آخر سينقص حتمًا بالمقدار نفسه، بحيث تبقى الطاقة الكلية ثابتة. ينص **قانون حفظ الطاقة Law of conservation of energy** على الآتي:
«الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، لكنّها تتغيَّر من شكلٍ إلى آخر».

الشكل 3-23 حفظ الطاقة للسفينة الدوارة.

لنفترض أن نظام السفينة الدوّارة نظامًا معزولًا، كما هو موضَّح في الشكل (3-23)، فإن الطاقة الحركية للعربة تكون صفرًا عند أعلى نقطة، في حين أن طاقة الوضع التجاذبية تكون عند أقصى قيمة لها. عندما تبدأ العربة بالهبوط، فإن سرعتها تزداد، وكذلك طاقة حركتها. وبما أن الارتفاع سيقلّ، فإن طاقة الوضع التجاذبية ستقل أيضًا. تصل سرعة العربة وطاقتها الحركية إلى أقصى قيمة، عند وصولها إلى سطح الأرض، في حين أن طاقة الوضع التجاذبية تنخفض إلى الصفر، لأن الارتفاع يصبح صفرًا. ينص قانون حفظ الطاقة على أن مجموع طاقتي الحركة والوضع عند أي نقطة يكون مقدارا ثابتًا. ونلاحظ كذلك أن طاقة الوضع التجاذبية، عند النقاط(a)، (b) و (c)، لها القيمة نفسها، لأن ارتفاع النقاط الثلاث عن الأرض هو نفسه. نستنتج من قانون حفظ الطاقة أن الطاقة الحركية للعربة تكون لها القيمة نفسها أيضًا عند النقاط الثلاث.

يمكننا اعتبار النظام السابق معزولًا إذا أهملنا قوة الاحتكاك ومقاومة الهواء، إلا أن ذلك غير صحيح عمليًا. يؤدي وجود الاحتكاك إلى تحويل جزء من الطاقة الميكانيكية الكليّة إلى حرارة، الأمر الذي يعني تناقص الطاقة الميكانيكية باستمرار. أما الطاقة الحرارية المفقودة فهي ليست ضائعة؛ ولكن لا يجري احتسابها بالتحليل البسيط للنظام المعزول.

حفظ الطاقة في النظام الميكانيكي

يطلق على مجموع الطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، وطاقة الوضع المرونية، عند موقع معيّن، تسمية **الطاقة الميكانيكية Mechanical energy** . للطائرة القطرية، في **الشكل (3-24)** مثلًا، طاقة حركية بسبب سرعتها؛ ولها أيضًا طاقة وضع تجاذبية بسبب ارتفاعها عن سطح الأرض. أما السيارة التي تسير في طريق أفقي على الأرض فلها طاقة حركية فقط؛ في حين أن الشخص الذي يركض لديه طاقة حركية وطاقة وضع مرونية في عضلاته.

5-3	حفظ الطاقة		
	$E_i = E_f$	E_i	الطاقة الابتدائية (J)
		E_f	الطاقة النهائية (J)

في نظام عديم الاحتكاك تبقى قيمة الطاقة الميكانيكية ثابتة وفقًا لقانون حفظ الطاقة الوارد في المعادلة **(3-5)**. هذه الطاقة يمكن أن تزيد إذا أثَّرنا في النظام بقوة خارجية تقوم ببذل شغلٍ باتجاه الحركة. لكن إذا بذلت القوة شغلا معاكسًا للحركة، فإن قيمة الطاقة ستنقص.

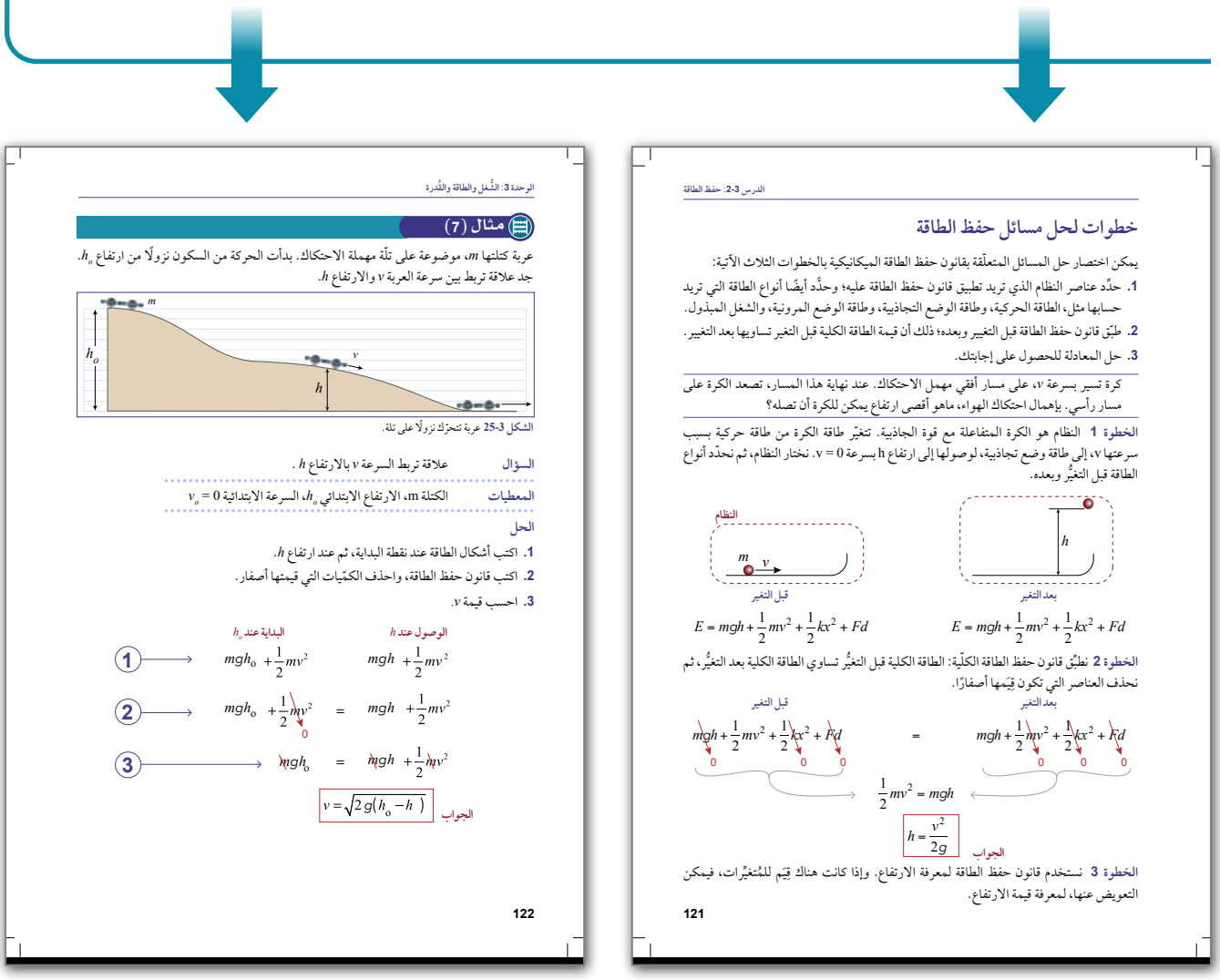
(a) $E = mgh + \frac{1}{2}mv^2$ (b) $E = \frac{1}{2}kx^2$

(c) $E = \frac{1}{2}mv^2$ (d) $E = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2$

الشكل 3-24 يقدّم أمثلة على الطاقة الميكانيكية: (a) طائرة تقلع، تزيد قوة محرّكها من طاقة وضعها التجاذبية وطاقتها الحركية. (b) ضغط الزنبرك يزيد من طاقة وضعه المرونية. (c) سيارة سباق تسير على مسار أفقي لها طاقة حركية. (d) شخص يركض لديه طاقة حركية وطاقة وضع مرونية في عضلاته.

فهم مسائل قانون حفظ الطاقة.

1. اشرح للطلاب أن عليهم قبل البدء بحل مسائل على قانون حفظ الطاقة أن يعلموا أشكال الطاقة التي يتمتّع بها النظام.
2. ضع معادلات الطاقة قبل التغيُّر وبعده.
3. اذكر أشكال الطاقة التي تكون قيمتها صفرًا، لكي تلغيها أثناء الحساب، وذلك لتبسيط المعادلات.
4. حُلَّ المسألة لحساب قيمة المجهول بعد أن تعيد ترتيب المعادلات.
5. حُلَّ المثال رقم7 على السبّورة، وادعُ الطلاب إلى إنجاز جميع مراحل الحل.
6. أعطهم ثلاثة أسئلة أخرى للتدريب الإضافي.
7. ملاحظة: وضّح لهم الأمر الآتي: لا يشترط الاعتماد على المتغيِّرات فقط لمعرفة الارتفاع h . يمكنهم التعويض عن المتغيِّرات بقِيَمها، أولًا، ثم بإجراء عمليات الجبر لحساب الارتفاع، إذا وجدوا أن في ذلك سهولة لهم.



الدرس 2-3: حفظ الطاقة

خطوات لحل مسائل حفظ الطاقة

يمكن اختصار حل المسائل المتعلّقة بقانون حفظ الطاقة الميكانيكية بالخطوات الثلاث الآتية:

1. حدِّد عناصر النظام الذي تريد تطبيق قانون حفظ الطاقة عليه؛ وحدِّد أيضًا أنواع الطاقة التي تريد حسابها مثل، الطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، وطاقة الوضع المرونية، والشغل المبذول.
2. طبّق قانون حفظ الطاقة قبل التغيير وبعده؛ ذلك أن قيمة الطاقة الكلية قبل التغير تساويها بعد التغيير.
3. حل المعادلة للحصول على إجابتك.

كرة تسير بسرعة v، على مسار أفقي مهمل الاحتكاك. عند نهاية هذا المسار، تصعد الكرة على مسار رأسي. بإهمال احتكاك الهواء، ماهو أقصى ارتفاع يمكن للكرة أن تصله؟

الخطوة 1 النظام هو الكرة المتفاعلة مع قوة الجاذبية. تتغيّر طاقة الكرة من طاقة حركية بسبب سرعتها v، إلى طاقة وضع تجاذبية، لوصولها إلى ارتفاع h بسرعة $v = 0$. نختار النظام، ثم نحدّد أنواع الطاقة قبل التغيُّر وبعده.

النظام

قبل التغير

بعد التغير

$$E = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd \qquad E = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd$$

الخطوة 2 نطبّق قانون حفظ الطاقة الكلّية: الطاقة الكلية قبل التغيُّر تساوي الطاقة الكلية بعد التغيُّر، ثم نحذف العناصر التي تكون قِيَمها أصفارًا.

قبل التغير — بعد التغير

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd$$

(0 تحت كل حد)

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

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

الجواب

الخطوة 3 نستخدم قانون حفظ الطاقة لمعرفة الارتفاع. وإذا كانت هناك قِيَم للمُتغيِّرات، فيمكن التعويض عنها، لمعرفة قيمة الارتفاع.

مثال (7)

عربة كتلتها m، موضوعة على تلّة مهملة الاحتكاك. بدأت الحركة من السكون نزولًا من ارتفاع h_o.
جد علاقة تربط بين سرعة العربة v والارتفاع h.

الشكل 3-25 عربة تتحرّك نزولًا على تلة.

السؤال علاقة تربط السرعة v بالارتفاع h .

المعطيات الكتلة m، الارتفاع الابتدائي h_o، السرعة الابتدائية $v_o = 0$

الحل

1. اكتب أشكال الطاقة عند نقطة البداية، ثم عند ارتفاع h.
2. اكتب قانون حفظ الطاقة، واحذف الكمّيات التي قيمتها أصفار.
3. احسب قيمة v.

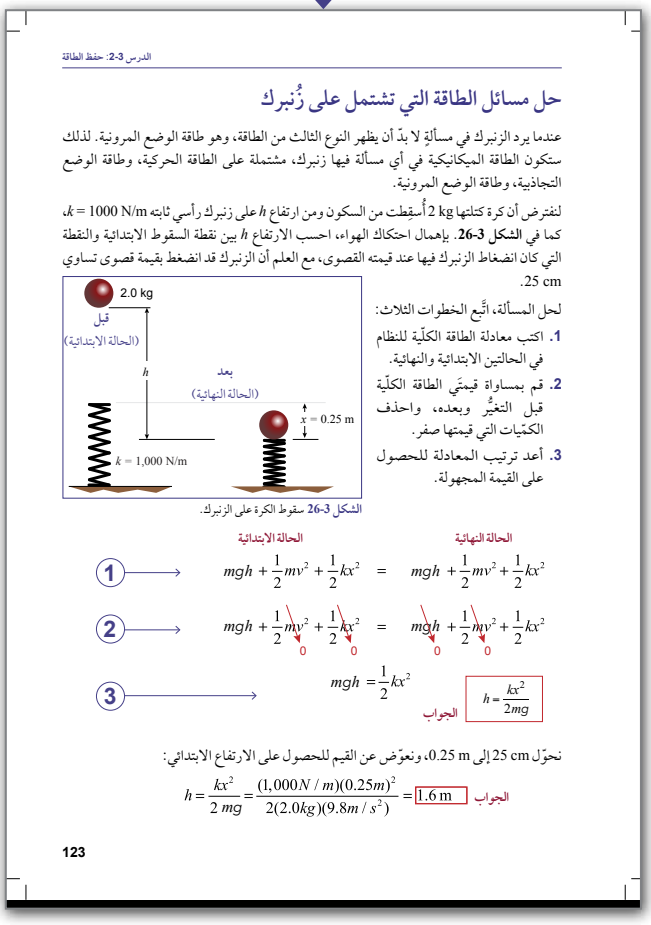
	البداية عند h_o		الوصول عند h
1 →	$mgh_o + \frac{1}{2}mv^2$		$mgh + \frac{1}{2}mv^2$
2 →	$mgh_o + \frac{1}{2}mv^2$ (0)	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2$
3 →	mgh_o	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2$

$$v = \sqrt{2g(h_o - h)}$$

الجواب

حل مسائل الطاقة التي تشتمل على زنبرك.

1. اشرح للطلاب المسألة التي تشتمل على زنبرك في كتاب الطالب.
2. اذكر لهم أشكال الطاقة الثلاثة مع معادلاتها للتمكُّن من إيجاد المجهول.
3. اكتب معادلات الطاقة قبل التغيُّر وبعده.
4. اذكر أشكال الطاقة التي تكون قيمتها صفرًا لكي تلغيها أثناء الحساب، وذلك لتبسيط المعادلات.
5. حُلَّ المسألة، واستخرج قيمة المجهول بعد أن تعيد ترتيب المعادلات.
6. حُلَّ المثال بمساعدة الطلاب.
7. أعط الطلاب ثلاثة أسئلة أخرى للتدريب الإضافي.



حل مسائل الطاقة التي تشتمل على زُنبرك

عندما يرد الزنبرك في مسألةٍ لا بدّ أن يظهر النوع الثالث من الطاقة، وهو طاقة الوضع المرونية. لذلك ستكون الطاقة الميكانيكية في أي مسألة فيها زنبرك، مشتملة على الطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، وطاقة الوضع المرونية.

لنفترض أن كرة كتلتها 2 kg أُسقِطت من السكون ومن ارتفاع h على زنبرك رأسي ثابته $k = 1000\ \text{N/m}$، كما في **الشكل 3-26**. بإهمال احتكاك الهواء، احسب الارتفاع h بين نقطة السقوط الابتدائية والنقطة التي كان انضغاط الزنبرك فيها عند قيمته القصوى، مع العلم أن الزنبرك قد انضغط بقيمة قصوى تساوي 25 cm.

لحل المسألة، اتَّبع الخطوات الثلاث:

1. اكتب معادلة الطاقة الكلّية للنظام في الحالتين الابتدائية والنهائية.
2. قم بمساواة قيمتَي الطاقة الكلّية قبل التغيُّر وبعده، واحذف الكمّيات التي قيمتها صفر.
3. أعد ترتيب المعادلة للحصول على القيمة المجهولة.

الشكل 3-26 سقوط الكرة على الزنبرك.

	الحالة الابتدائية		الحالة النهائية
1	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$
2	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$
3	$mgh = \frac{1}{2}kx^2$		

الجواب $h = \frac{kx^2}{2mg}$

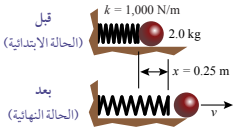
نحوّل 25 cm إلى 0.25 m، ونعوّض عن القيم للحصول على الارتفاع الابتدائي:

$$h = \frac{kx^2}{2mg} = \frac{(1{,}000\,N/m)(0.25m)^2}{2(2.0kg)(9.8m/s^2)} = 1.6\ \text{m}$$ الجواب

مثال (8)

يُستخدَم زُنبرك أفقي، ثابته $k = 1000\ \text{N/m}$ لقذف كرة كُتلتها 2 kg. ضُغِط الزُّنبرك مسافة 0.25 m، ثم وُضعت الكرة أمامه، ثم حُرِّر. احسب السرعة القصوى للكرة.

احسب الطاقة الميكانيكية للنظام. (أهمل جميع أنواع الاحتكاكات)



المطلوب الطاقة الميكانيكية والسرعة

المعطى
$k = 1000\ \text{N/m}$
$x = 0.25\ \text{m}$
$m = 2\ \text{kg}$

العلاقات الطاقة الميكانيكية

الحل

الطاقة الميكانيكية للنظام في الحالتين الابتدائية والنهائية تبقى ثابتة. ففي الحالة الابتدائية، تعتمد الطاقة الميكانيكية على طاقة الوضع المرونية للزنبرك. وتعتمده في الحالة النهائية، على الطاقة الحركية للكرة. تكون الطاقة الميكانيكية الابتدائية:

$$E_p = \frac{1}{2}Kx^2 = \frac{1}{2}(1{,}000\ \text{N/m})(0.25\text{m})^2$$
$$E_p = 31.25\ \text{J}$$

والآن سنحسب قيمة السرعة القصوى:

	الحالة الابتدائية		الحالة النهائية
اكتب قانون حفظ الطاقة ←	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$
اشطب القيم التي تساوي أصفارًا ←	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$
عوض بالقيم المعطاة ←	$\frac{1}{2}kx^2$	=	$\frac{1}{2}mv^2$

الحل $v = x\sqrt{\frac{k}{m}}$

لكي تجد قيمة المطلوب: $v = (0.25\ \text{m})\sqrt{\frac{1{,}000}{2.0}} = 5.6\ \text{m/s}$

نشاط b2-3 طاقة مصفاة القهوة

الإجابات/ عيّنة بيانات

الموادّ المطلوبة: مصافي قهوة، كاميرات تصوير للسرعات العالية، ورقة مرقّمة (5 cm) طولها متران ، عصاة مترية، كرسيّ، حائط طويل فارغ.

يتعيّن إجراء هذا النشاط الجماعي بواسطة مجموعات تضمّ 3 طلاب أو 4، بهدف تحقيق التواصل والتعاون. الهدف من النشاط أن يتعلّم الطلاب الدمج بين تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في دروسهم. يجب أن يكونوا قادرين على جمع البيانات من مقاطع الفيديو الخاصة بهم، وأن يدركوا كيف أحدث تصوير الفيديو ثورة في دقة البيانات.

الجدول: عيّنة بيانات

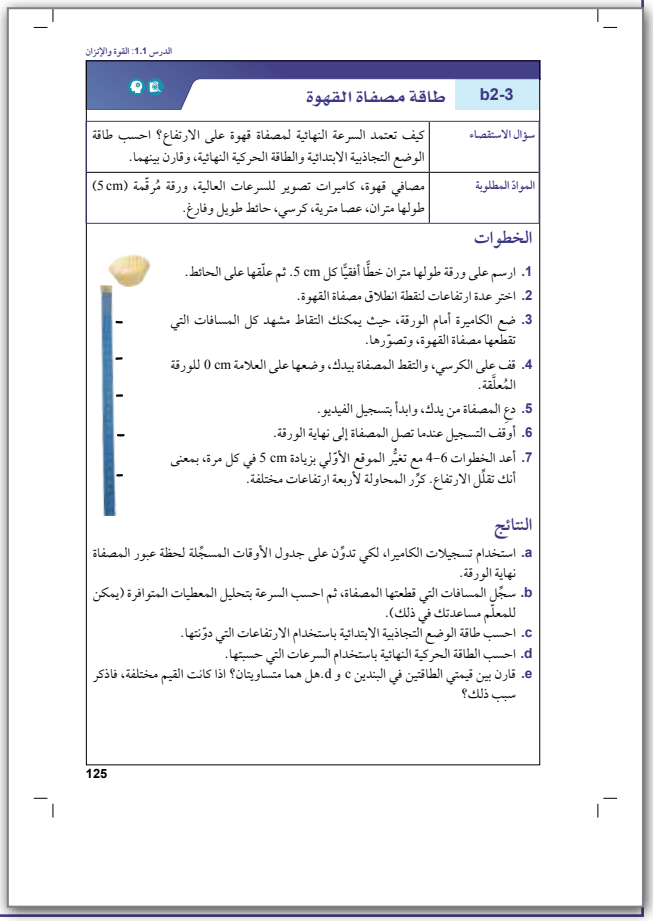
الزمن (s)	المسافة (m)	السرعة (s/m)	طاقة الوضع التجاذبية (J)	الطاقة الحركية (J)
0.32	2	6.16	1.96	1.9
0.32	1.95	6.12	1.91	1.87
0.32	1.9	6	1.86	1.8
0.3	1.85	6	1.81	1.8
0.3	1.8	5.9	1.76	1.74
0.3	1.75	5.8	1.72	1.7

النتائج

ساعد الطلاب من الخطوة a إلى الخطوة d.

e. قارن بين الطاقتين. هل هما متساويتان؟ إذا كانتا مختلفتين، فما سبب ذلك؟

الطاقتان مختلفتان، لأن النظام مفتوح، وقد انتقل جزء من الطاقة خلال السقوط إلى جُسيمات الهواء.



الدرس 1.1: القوة والإتزان

b2-3 طاقة مصفاة القهوة

سؤال الاستقصاء	كيف تعتمد السرعة النهائية لمصفاة قهوة على الارتفاع؟ احسب طاقة الوضع التجاذبية الابتدائية والطاقة الحركية النهائية، وقارن بينهما.
المواد المطلوبة	مصافي قهوة، كاميرات تصوير للسرعات العالية، ورقة مُرقّمة (5 cm) طولها متران، عصا مترية، كرسي، حائط طويل وفارغ.

الخطوات

1. ارسم على ورقة طولها متران خطًّا أفقيًّا كل 5 cm. ثم علّقها على الحائط.
2. اختر عدة ارتفاعات لنقطة انطلاق مصفاة القهوة.
3. ضع الكاميرة أمام الورقة، حيث يمكنك التقاط مشهد كل المسافات التي تقطعها مصفاة القهوة، وتصوّرها.
4. قف على الكرسي، والتقط المصفاة بيدك، وضعها على العلامة 0 cm للورقة المُعلّقة.
5. دع المصفاة من يدك، وابدأ بتسجيل الفيديو.
6. أوقف التسجيل عندما تصل المصفاة إلى نهاية الورقة.
7. أعد الخطوات 6–4 مع تغيُّر الموقع الأوّلي بزيادة 5 cm في كل مرة، بمعنى أنك تقلّل الارتفاع. كرّر المحاولة لأربعة ارتفاعات مختلفة.

النتائج

a. استخدام تسجيلات الكاميرا، لكي تدوّن على جدول الأوقات المسجّلة لحظة عبور المصفاة نهاية الورقة.
b. سجّل المسافات التي قطعتها المصفاة، ثم احسب السرعة بتحليل المعطيات المتوافرة (يمكن للمعلّم مساعدتك في ذلك).
c. احسب طاقة الوضع التجاذبية الابتدائية باستخدام الارتفاعات التي دوّنتها.
d. احسب الطاقة الحركية النهائية باستخدام السرعات التي حسبتها.
e. قارن بين قيمتي الطاقتين في البندين c و d.هل هما متساويتان؟ اذا كانت القيم مختلفة، فاذكر سبب ذلك؟

125

تقويم الدّرس 3-2 — الإجابات

1. قُذِفَت كرة سلَّة كتلتها 2 kg باتّجاه حلقة السلَّة بطاقة كلّية تساوي 500 J.(أهمل مقاومة الهواء).

a. ما الطاقة الكلّية للكرة عند وصولها إلى أقصى ارتفاع خلال حركتها؟

بحسب قانون حفظ الطاقة تبقى قيمة الطاقة الكلية 500J.

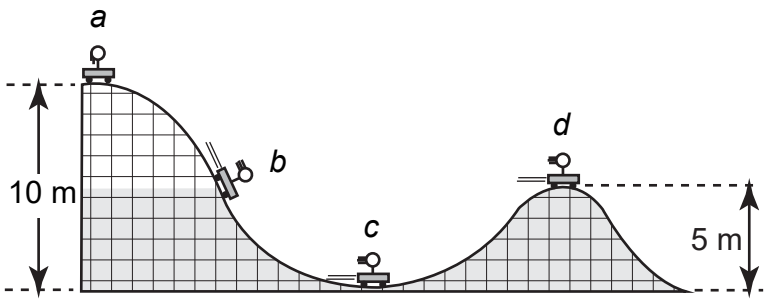
b. ما الطاقة الكلّية للكرة عندما تصل إلى الحلقة؟

تبقى قيمتها 500 J بحسب قانون حفظ الطاقة.

c. ما المبدأ الذي استخدمته في الإجابة عن الفرعين السابقين؟

مبدأ حفظ الطاقة.

2. أعطيت عربة السفينة الدوّارة الساكنة عند الموقع a دفعة خفيفة لكي تبدأ بالحركة، وتنزلق على طول المسار. اجتازت العربة المواقع b و c و d. بإهمال قوَّتَي الاحتكاك ومقاومة الهواء:



a. عند أي نقطة تكون طاقة الوضع التجاذبية للعربة أقصى ما يمكن ؟

عند النقطة a لأن العربة تكون موجودة عند أعلى ارتفاع.

b. عند أي نقطة تحقِّق العربة سرعتها القصوى؟

عند النقطة c، لأنها موجودة عند أدنى ارتفاع، ما يعني أن لديها أقل طاقة وضع تجاذبية. ووفق قانون حفظ الطاقة، يكون للعربة أعلى طاقة حركية عند هذه النقطة، وبالتالي أقصى سرعة.

c. عند أي موقع (أو مواقع) تكون للطاقة الحركية وطاقة الوضع التجاذبية، القيمة ذاتها؟

عند الموقعين b و d. لأنهما على ارتفاع 5 m، وهو نصف الارتفاع الأقصى للمسار. وبما أن طاقة الوضع التجاذبية تتناسب مع الارتفاع، فإن قيمتها عند هاتين النقطتين تساوي نصف قيمتها القصوى عند أقصى ارتفاع a. وحسب قانون حفظ الطاقة فإن النصف الآخر من قيمة الطاقة يتحوَّل إلى طاقة حركية.

تقويم الدّرس 3-2 — الإجابات

3. أُلقيت كُرة من ارتفاعين مختلفين، حيث يبلغ الارتفاع الثاني ربع الارتفاع الأول. ما نسبة السرعة الأولى للكرة إلى سرعتها الثانية، عند وصولها إلى الأرض في الحالتين؟ (أهمل مقاومة الهواء).

الكرة في الحالة الاولى تُلقى من ارتفاع يساوي أربعة أضعاف الارتفاع الذي تلقى منه في الحالة الثانية، تكتسب طاقة وضع تجاذبية تساوي أربعة أضعاف طاقة وضعها في الحالة الثانية. ووفق قانون حفظ الطاقة، تكون الطاقة الحركية للكرة في الحالة الاولى أربعة أضعاف مثيلتها في الحالة الثانية عند الوصول إلى الأرض. ولكن الطاقة الحركية تتناسب طرديًّا مع مربَّع السرعة. لذلك تكون سرعة الكرة في الحالة الأولى ضعفي سرعتها في الحالة الثانية عند الوصول إلى الأرض.

بتطبيق مبدأ حفظ الطاقة، يمكن أن نستنتج الآتي:

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

$$v_1 = \sqrt{2g(4h)}$$

نقسم المعادلة الآتية على المعادلة الأولى:

الجواب

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{2g(4h)}}{\sqrt{2gh}} = 2$$

4. يسقط كرسي كُتلته 20 kg، وطاقة وضعه 250 J بالنسبة إلى الأرض. كم تكون سرعة الكرسي عند وصوله إلى الأرض؟

الكتلة $m = 20\ \text{kg}$، طاقة الوضع $E_P = 250\ \text{J}$

بما أن الطاقة محفوظة، فإن طاقة الوضع قبل سقوط الكرسي تساوي الطاقة الحركية عند وصوله للأرض. لذلك يمكن كتابة معادلة الطاقة الحركية:

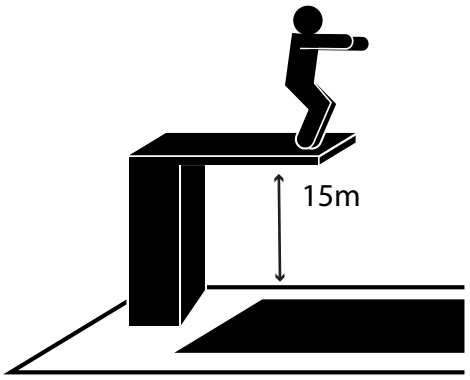
الجواب

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 250\,\text{J}$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2(250\,\text{J})}{20\text{kg}}} = 5\,\text{m/s}$$

تقويم الدّرس 3-2 — الإجابات

5. غطّاس كتلته 60 kg يقفز من حافة لوح القفز عن ارتفاع 15 m فوق سطح الماء. ما هي سرعة الغطّاس عند وصوله إلى سطح الماء؟



الكتلة 60 kg، الارتفاع $h = 15\text{m}$، تسارع الجاذبية $g = 9.8\text{m/s}^2$.

بما أن الطاقة الكلّية محفوظة، فإن طاقة الوضع التجاذبية الابتدائية تتحوّل إلى طاقة حركية لحظة ارتطام الغطّاس بسطح الماء:

$$E_p = E_k$$

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

$$(60)9.8(15) = \frac{1}{2}(60)v^2$$

$$v = \sqrt{2(9.8)(15)} = 17m/s$$

6. يتدلى زنبرك مرن من السقف طوله الابتدائي $L_o = 30\text{cm}$ وثابته $k = 200\ \text{N/kg}$. نعتبر الطرف السفلي للزنبرك إطارًا مرجعيًّا. عُلّق جسم كتلته 1 kg بالطرف السفلي للزنبرك، وتُرك بهدوء إلى أن يصل إلى الاتّزان.

احسب:

a. استطالة الزنبرك.

بعد أن يعلّق الجسم ويصبح متّزنًا، يكون وزنه مساويًا لقوّة الشد في الزنبرك. وباستخدام قانون هوك نحصل على:

$$T = mg = k\Delta l \Rightarrow \Delta l = \frac{mg}{k} = \frac{1\times10}{200} = 0.05 = 5\ \text{cm}$$

b. الشغل المبذول بواسطة وزن الكتلة.

$$W = -\Delta E_p = -\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(200)(0.05)^2 = 0.25\ \text{J}$$

c. طاقة الوضع التجاذبية للكتلة. استخدم: $g = 10\ \text{N/kg}$

$$E_p = -mgh = 1\times10\times0.05 = -0.5\ \text{J}$$

إعادة تدريس

1. كلِّف الطلاب رسم مخطّط لتدفُّق الطاقة لسيارة لعبة عند قمة منحدر، يقوم طفل بتحريرها. دعْهم يلاحظوا أن السيارة ليس لديها قوة محرّك، وأن قوة الجاذبية هي القوة الوحيدة التي تحرِّكها نزولًا على المنحدر.
2. صمِّم منحدرًا ارتفاعه متران، وضع على قمّته سيارة لعبة كتلتها 250g. كلِّف الطلاب أن يحسبوا قيمة طاقة الوضع التجاذبية والطاقة الحركية للسيارة عند قمة المنحدر.
3. كم ستبلغ كلّ من طاقة الوضع التجاذبية والطاقة الحركية للسيّارة، عند وصولها إلى أسفل المنحدر؟
4. كم ستبلغ كلّ من طاقة الوضع التجاذبية والطاقة الحركية للسيّارة، عند وصولها إلى منتصف المنحدر؟

إثراء

1. ادعُ الطلاب إلى حساب قيمة ثابت زنبرك تتدلّى من طرفه السفلي كتلة 50g، وذلك بقياس استطالته.
2. اسحب الزنبرك إلى الأسفل مسافة 5cm مثلًا، واطلب منهم حساب طاقة الوضع التجاذبية، وطاقة الوضع المرونية عند هذه النقطة. (تأكَّد من أن الطلاب قد اختاروا إطارًا مرجعيًّا على الزنبرك لقياس طاقة الوضع التجاذبية).
3. حرِّر الزنبرك، واحسب طاقتة الحركية باستخدام طاقتي الوضع المرونية والتجاذبية الابتدائيتين، وذلك عند وضع الاتزان الذي تكون فيه قيمة كل من طاقة الوضع التجاذبية والمرونية تساوي صفرًا.
4. كلِّف الطلاب حساب سرعة الوزن المعلَّق لدى مروره في موضع الاتِّزان.
5. احسب سرعة الوزن باستخدام جهاز البوّابة الضوئية، ثم قارن بين قيمتَيِ السرعة المحسوبة نظريًّا وعمليًّا.

ملاحظات

الدرس 3-3
القدرة والكفاءة

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع / الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد دليل المعلم
القدرة $\frac{1}{2}$ حصة	تعريف القدرة، معادلتها	الصفحة 128	الصفحة 176
كم تبلغ قدرتك $\frac{1}{2}$ حصة	حساب قدرتك الخاصة ومقارنتها مع الآخرين	الصفحة 129	الصفحتان 177,178 ورقة عمل 3-a3
الاستخدام اليومي للقدرة 1 حصة	مثال وحساب استهلاك القدرة	الصفحة 131	الصفحة 179
الالات المثالية 1 حصة	الشرح، المعادلات والأمثلة	الصفحة 132	الصفحة 180
الكفاءة 1 حصة	التعريف، المعادلات والأمثلة	الصفحة 133	الصفحة 181
مخططات سانكي 1 حصة	رسم مخطّطات الكفاءة	الصفحتان 135- 136	الصفحة 182
الكفاءة 1 حصة	حساب كفاءة التصادمات نشاط عملي	الصفحة 137	الصفحتان 183,184 ورقة عمل 3-b3

الزمن المقترح للدرس

يستغرق شرح هذا الدرس 6 حصص، ويتضمن نشاطين عمليين (3-a3 و 3-b3). يحتاج هذا الدرس أيضًا إلى أفكار حول الأنشطة العملية وإلى مناقشات مع الطلاب.

الأنشطة	مواد من أجل النشاط
3-a3 كم تبلغ قدرتك	كتلة 500 g، شريط قياس أو مسطرة، ساعة إيقاف
3-b3 الكفاءة	عربة مُزوَّدة بمماص صدمات مغناطيسي، مستشعر قوة وموقع، مضمار ميكانيكي مُزوَّد بمماص صدمات مغناطيسي.

مخرجات التعلّم

P1108.1 يعرّف القدرة بأنها المعدل الزمني لإنجاز كمية محددة من الشغل أو المعدل الزمني لتحويل الطاقة ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$.

P1108.2 يوضح أن القدرة مرتبطة بانتقال الطاقة بين أجزاء النظام المختلفة وتقاس بوحدة الواط (Watt).

P1108.3 يشرح أنه في جميع عمليات تحولات الطاقة يحدث تبديد (فقد) لجزء من الطاقة ولا يمكن تخزينه أو استخدامه بطريقة مفيدة.

P1108.4 يحسب الكفاءة لنظام باستخدام المعادلة: الكفاءة = الطاقة المتحولة المفيدة/ الطاقة الكلية الداخلة.

المعرفة السابقة

يفترض أن يكون الطلاب على دراية بكيفية حساب النسب المئوية. ويكونون في حاجة إلى تذكُّر كيفية حساب الطاقة وأشكال الطاقة المختلفة.

المفردات

Horsepower	قدرة حصانية (hp)
Efficiency	الكفاءة
Sankey diagram	مخطط سانكي

افتتاحية الدرس

القدرة كلمة شائعة يستخدمها الناس طوال الوقت؛ دون أن يكونوا على دراية بالمعنى العلمي لها. الطاقة والقدرة تبدوان كمفهوم واحد للطلاب. من المهم جدًّا التأكد من أن الطلاب على دراية واضحة بشأن الاختلاف في تعريفيهما ومعادلاتيهما.

1. سل الطلاب: ما الذي يجعل الشخص ذا طاقة عالية (نشيطًا)؟
   عندما يكون الشخص قادرًا على أداء الكثير من الشغل.
2. ما الذي يجعل الشخص ذا قدرة عالية؟
   عندما يكون الشخص قادرًا على أداء الكثير من الشغل في وقت قصير جدًّا.
3. اسأل الطلاب إذا سمعوا بالقدرة سابقاً. من قبل. ذكِّرهم بأنهم درسوا القدرة في الصف العاشر، $P = VI$.
4. أعط أمثلة على تنفيذ مهمّات ببطء وبسرعة. اشرح أن العلاقة بين القدرة والزمن متناسبة عكسيًّا. إذا قلّلنا الزمن بمقدار النصف ، فإن القدرة تتضاعف!

الدّرس 3-3
القدرة والكفاءة

عند مقارنة التشابه والاختلاف بين محرّكات السيّارات، فإن وحدة قياس الحصان الميكانيكي (hp) تُستَخدم على نطاق واسع. وقد يبدو اختيار هذه الوحدة غريبًا؛ لأننا لا نستخدمها عندما نحسب قدرة أجسامنا. وحتى في حساب القدرة الكهربائية للمصابيح الكهربائية تُستخدم وحدة الواط (W). أول من جاء بفكرة القدرة الحصانية هو توماس سيفري عام 1702 م، ذلك أن الناس في الماضي قد اعتمدوا على الخيول كوسيلة من وسائل النقل والعمل، حيث قارن سيفري في مجال عمله ما يقوم به المحرّك البخاري بما يقوم به الحصان.

استخدم جيمس واط هذه الفكرة لاحقًا في بحوث المحرّكات البخارية الخاصة به، والترويج لبيعها، حيث قاس واط الزمن اللازم كي يدوّر المهرُ حجر الرحى في مطحنة الحبوب، وضرب المسافة التي يمشيها المُهر في دورته بكتلته وقسم الناتج على الزمن المستغرق، وبما أن هذا البحث جرى باستخدام المهور؛ وضع واط أفتراضًا بأن قوة الحصان يجب أن تكون مثليّ قوة المُهر، واليوم نعرف أن قدرة الحصان الواحد هي في الواقع 0.7 وحدة قدرة حصانية (hp).

الشكل 3-27 قدرة الحصان الواحد =0.7 hp

مخرجات التّعلُّم

P1108.1 يعرّف القدرة بأنها المعدل الزمني لإنجاز كمية محددة من الشغل، أو المعدل الزمني لتحويل الطاقة، ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة: $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$

P1108.2 يوضّح أن القدرة مرتبطة بانتقال الطاقة بين أجزاء النظام المختلفة وتقاس بوحدة الواط (Watt).

P1108.3 يشرح أنه في جميع عمليات تحولات الطاقة يحدث تبديد (فقد) لجزء من الطاقة ولا يمكن تخزينه أو استخدامه بطريقة مفيدة.

P1108.4 يحسب الكفاءة لنظام باستخدام المعادلة:
الكفاءة = الطاقة المتحولة المفيدة / الطاقة الكلية الداخلة.

المفردات

قدرة حصانية (hp) Horsepower (hp)
الكفاءة Efficiency
مُخطّط سانكي Sankey diagram

القدرة

تُستخدَم مفردتا الطاقة والقدرة عادة بشكل متبادل، ولكنهما في الواقع مختلفتان في المعنى. فالطاقة هي المقدرة على بذل شغل، وتقاس بوحدة الجول، ويمكن أن تُبذل إمّا ببطء وإمّا بسرعة. تخيّل، مثلًا، حَمل حقيبة ممتلئة بالأغراض إلى الطابق العلوي. يمكنك أن تصعد الدرج ببطء في ثلاث دقائق، أو تركض فتصل في 30 ثانية. فكيف تكون هاتان الحالتان مختلفين؟

سؤال للمناقشة

كيف تصف نفسك بأنك حيوي؟
كيف تصف نفسك بأنك قوي؟
هل يمكنك التمييز بين الحالتين؟ أم أنهما متشابهتان؟

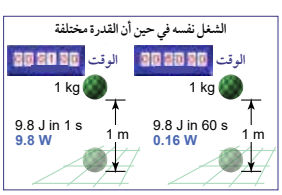
في الواقع، يكون الشغل الكلّي المبذول هو نفسه في كلتا الحالتين؛ لكن **القدرة Power** المطلوبة مختلفة. فالقدرة هي المعدّل الزمني الذي يُبذل فيه الشغل، أو المُعدّل الزمني الذي تنتقل فيه الطاقة. ويقاس الشغل بالجول، في حين تقاس القدرة بالجول لكل ثانية. فقدرة مقدارها جول واحد لكل ثانية (J/s) هي **واط واحد watt (W)**، والواط سمي بهذا الاسم تكريمًا للعالم جيمس واط وهو المهندس الاسكتلندي الذي طوّر أول محرّك بخاري عملي، أمكن بوساطته توفير الطاقة للصناعات في عصر الثورة الصناعية.

5-3 القدرة

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{W}{\Delta t}$$

القدرة (W)	P	
التغيّر في الطاقة (J)	ΔE	
الشغل المبذول (J)	W	
الفترة الزمنية (s)	Δt	

تُعدّ القدرة مؤشّرًا على مستوى «الجهد» المطلوب لإنجاز كمية معطاة من الشغل. فرفع كرة كتلتها 1 kg إلى ارتفاع 1 m يحتاج إلى شغل 9.8 J كحدٍّ أدنى (**الشكل 3-28**). وإنجاز هذا الشغل في 60 s يعني بذل قدرة مقدارها 0.16 W، وهي قدرة حيوان صغير بحجم فأر صغير تقريبًا. أما إنجاز الشغل 9.8 J نفسه في 1 s فيتطلّب 9.8 W من القدرة، وهذه أكبر بـ 60 مرة من حالة إنجازه في 60 s.



الشكل 3-28 مثال على القدرة عند رفع الكرة.

الشُّغل المبذول مستقلّ عن الزمن المستغرق، في حين أن القدرة تعتمد على الزمن الذي يُنجز فيه الشغل.

نشاط a3-3 كم تبلغ قدرتك؟

الإجابات/ عيِّنة بيانات

الموادّ المطلوبة: كتلة 500g، شريط قياس أو مسطرة، ساعة إيقاف.

يتعيّن إنجاز هذا النشاط الجماعي بواسطة مجموعات من ثلاثة طلاب أو أربعة حتى يتمكنوا من التواصل والتعاون فيما بينهم. الغرض من هذا النشاط هو أن يحسب الطلاب قدرتهم الخاصة. شجّعهم، وحمِّسهم من خلال سؤالهم: من هو الأقدر في الصف؟ ذكِّرهم أن الطالب الأقدر ليس شرطًا أن يكون صاحب الطاقة الكبرى، بل هو مَن يستطيع إنجاز الشغل في زمن أقل.

جدول: عيّنة بيانات

	طول الذراع (m)	الكتلة المستخدمة (kg)	الشغل المبذول لثني الذراع مرة واحدة (J)	مجموع الشغل المبذول (J)	القدرة (W)
الاختبار 1	0.64	0.5	3.14	146	2.43
الاختبار 2	0.64	0.6	3.76	177	2.95
الاختبار 3	0.64	0.7	4.39	206	3.43

الأسئلة

a. ما رأيك في مدى دقة إجاباتك؟

الإجابة قريبة من القيمة العملية، ولكنها ليست دقيقة أيضًا. من الصعب ثني ذراعك بالطريقة ذاتها في كل مرة. فقد تصبح المسافة المقطوعة أقل قليلاً بعد عدة ثنيات.

الدرس 1.1: القوة والإتزان

a3-3 كم تبلغ قدرتك؟

سؤال الاستقصاء	ما القدرة التي تنتجها عضلاتك عندما تثني ذراعك؟
المواد المطلوبة	كتلة 500 g، شريط قياس أو مسطرة ، ساعة إيقاف

الخطوات

1. قس طول ذراعك بمساعدة زميلك، كما هو مبيّن في الشكل 3-29.
2. احسب الشغل المبذول لرفع كتلة 500 g بمقدار طول ذراعك. (تلميح: أنت بحاجة إلى العلاقة $F = \frac{W}{d}$. تذكّر أن تحوّل الكتلة إلى وزن.) هذه هي كمية الطاقة التي تبذل خلال ثني الذراع مرة واحدة.
3. الآن، وبمساعدة زميلك وساعة إيقاف، قم بإحصاء عدد مرات ثني الذراع التي يمكنك إنجازه في 60 s.
4. اقسم 60 s على عدد مرات ثني الذراع للحصول على زمن ثنيّ الذراع في المرة الواحدة .
5. اقسم الطاقة على زمن ثني الذراع لمرّة واحدة وذلك لحساب قدرة الذراع.
6. كرّر خطوات النشاط باستخدام كتل مختلفة.

الشكل 3-29 موقعا البداية والنهاية لثنيّ الذراع.

الأسئلة

a. ما رأيك في مدى دقة إجاباتك؟
b. اقترح ثلاثة أشياء يمكنك القيام بها لتحسين إجاباتك.
c. اقترح طريقتين يمكنك من خلالهما زيادة القدرة التي تنتجها عضلاتك.
d. هل يمكنك التفكير في طريقة أخرى لحساب قدرة شخص؟

129

b. اقترح ثلاثة أشياء يمكنك القيام بها لتحسين إجابتك.

لتحسين الإجابة، يجب أن يُنفَّذ النشاط ببطء. سيضمن ذلك تغطية طول الذراع بالكامل. ومع ذلك، فإن القدرة الناتجة ستنخفض.

يمكن تحقيق عامل آخر، وذلك من خلال قياس الذراع بدقة أكبر. تأكد من أن القياس ينتهي في منتصف راحة اليد، وهو المكان الذي ستكون فيه الكتلة. يجب أن يجري توقيت المحاولات المتتالية بمزيد من الدقة. يجب ضبط ساعة الإيقاف، حيث تتزامن مع بداية ثني الذراع، وهو أمر قد يصعب تحقيقه بعض الشيء.

c. اقترح طريقتين يمكنك من خلالهما زيادة القدرة التي تنتجها عضلاتك.

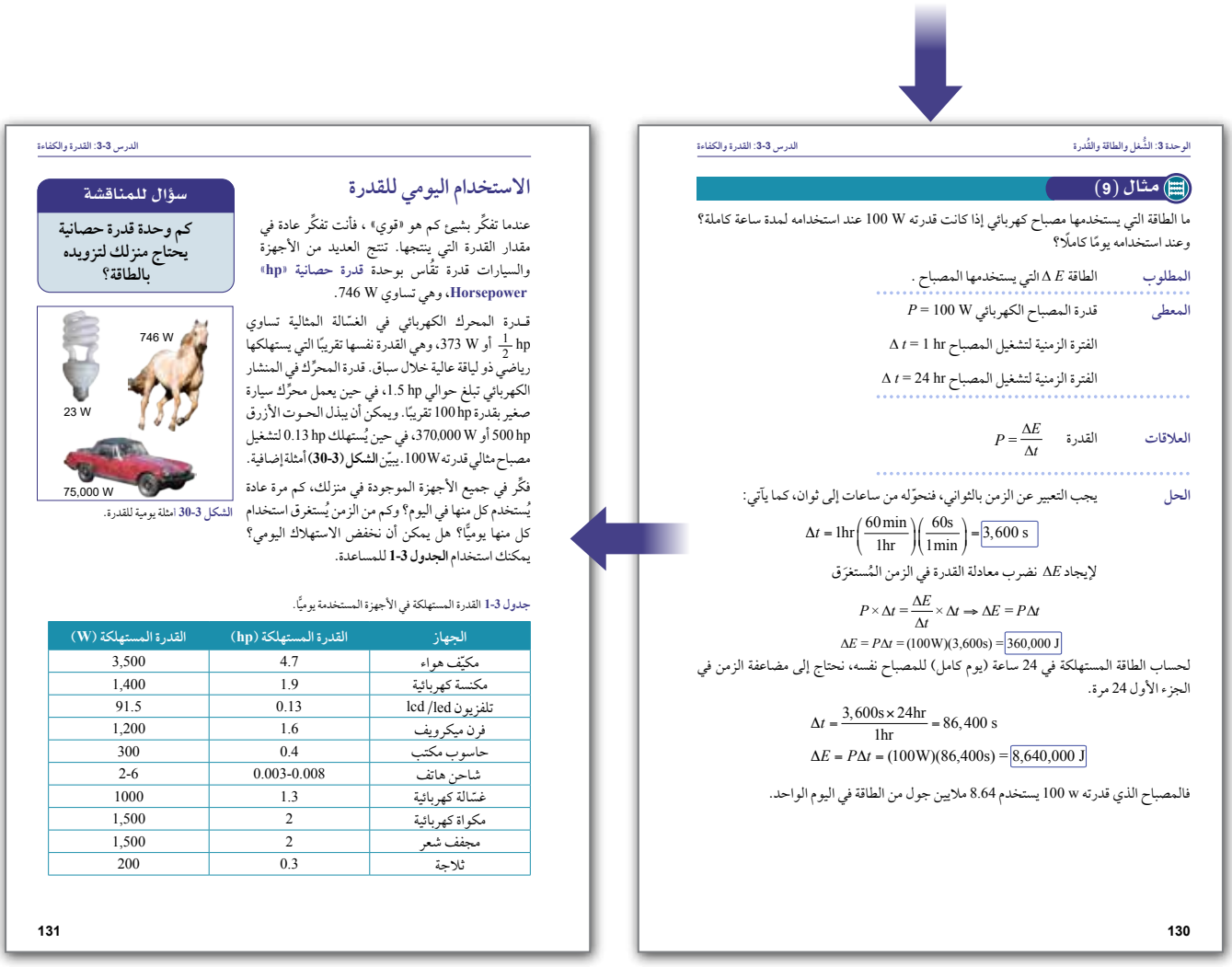
لزيادة القدرة التي تنتجها عضلاتك ، يمكن استخدام كتلة أكبر أو بذل الشغل خلال وقت أقل. (تأكد من عدم ذكر الطلاب لإمكانية تغيير المسافة ، لأنهم لا يستطيعون تغيير أطوال أذرعتهم).

d. هل يمكنك التفكير في طريقة أخرى لحساب قدرة شخص؟

يمكنك حساب مقدار الشغل المبذول عندما يتسلق شخص ما الدرج. القوة في هذه الحالة هي وزن الشخص والمسافة هي ارتفاع الدرج. قِس الزمن الذي يستغرقه الشخص خلال صعوده، ثم اقسم الشغل المبذول على الزمن المستغرق للحصول على قدرة الشخص.

الاستخدام اليومي للقدرة

1. حُلَّ المثال على السبّورة بمساعدة الطلاب.
2. للتمرّس على المعادلة أكثر، أخبر الطلاب أننا سنحسب القدرة المطلوبة لتشغيل منازلهم بوحدة القدرة الحصانية.
3. اشرح المقصود بوحدة القدرة الحصانية.
4. ناقش عدد الأجهزة التي يجدها الطلاب عادة في منازلهم، والفترة الزمنية التي يجري خلالها تشغيل كل منها.
5. ارسم على السبّورة جدولًا يشبه الجدول الوارد في الكتاب، ولكن أضف عمودًا للزمن المستخدم، وأضف إليه أجهزة غير موجودة في الكتاب. ادعُ الطلاب إلى البحث عن مقدار القدرة التي تستهلكها هذه الأجهزة.
6. ثم كلّف كل طالب حساب القدرة اللازمة لتشغيل منزله بوحدة القدرة الحصانية.
7. ناقش مع الطلاب شعورهم تجاه ذلك. ناقشهم في كيفية ترشيد استهلاك القدرة في منازلهم، ولماذا يُعدّ ذلك ضرورياً.



الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة — الدرس 3-3: القدرة والكفاءة

مثال (9)

ما الطاقة التي يستخدمها مصباح كهربائي إذا كانت قدرته 100 W عند استخدامه لمدة ساعة كاملة؟ وعند استخدامه يومًا كاملًا؟

المطلوب الطاقة ΔE التي يستخدمها المصباح.

المعطى قدرة المصباح الكهربائي $P = 100\ \text{W}$

الفترة الزمنية لتشغيل المصباح $\Delta t = 1\ \text{hr}$

الفترة الزمنية لتشغيل المصباح $\Delta t = 24\ \text{hr}$

العلاقات القدرة $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$

الحل يجب التعبير عن الزمن بالثواني، فنحوّله من ساعات إلى ثوان، كما يأتي:

$$\Delta t = 1\text{hr}\left(\frac{60\,\text{min}}{1\text{hr}}\right)\left(\frac{60\text{s}}{1\,\text{min}}\right) = \boxed{3{,}600\ \text{s}}$$

لإيجاد ΔE نضرب معادلة القدرة في الزمن المُستغرَق

$$P \times \Delta t = \frac{\Delta E}{\Delta t} \times \Delta t \Rightarrow \Delta E = P\Delta t$$

$$\Delta E = P\Delta t = (100\text{W})(3{,}600\text{s}) = \boxed{360{,}000\ \text{J}}$$

لحساب الطاقة المستهلكة في 24 ساعة (يوم كامل) للمصباح نفسه، نحتاج إلى مضاعفة الزمن في الجزء الأول 24 مرة.

$$\Delta t = \frac{3{,}600\text{s} \times 24\text{hr}}{1\text{hr}} = 86{,}400\ \text{s}$$

$$\Delta E = P\Delta t = (100\text{W})(86{,}400\text{s}) = \boxed{8{,}640{,}000\ \text{J}}$$

فالمصباح الذي قدرته 100 w يستخدم 8.64 ملايين جول من الطاقة في اليوم الواحد.

130

الدرس 3-3: القدرة والكفاءة

الاستخدام اليومي للقدرة

عندما تفكّر بشيء كم هو «قوي» ، فأنت تفكّر عادة في مقدار القدرة التي ينتجها. تنتج العديد من الأجهزة والسيارات قدرة تُقاس بوحدة قدرة حصانية «hp» Horsepower، وهي تساوي 746 W.

قدرة المحرك الكهربائي في الغسّالة المثالية تساوي $\frac{1}{2}$ hp أو 373 W، وهي القدرة نفسها تقريبًا التي يستهلكها رياضي ذو لياقة عالية خلال سباق. قدرة المحرِّك في المنشار الكهربائي تبلغ حوالي 1.5 hp، في حين يعمل محرِّك سيارة صغير بقدرة 100 hp تقريبًا. ويمكن أن يبذل الحوت الأزرق 500 hp أو 370,000 W، في حين يُستهلك 0.13 hp لتشغيل مصباح مثالي قدرته 100 W. يبيّن **الشكل (3-30)** أمثلة إضافية.

فكّر في جميع الأجهزة الموجودة في منزلك، كم مرة عادة يُستخدم كل منها في اليوم؟ وكم من الزمن يُستغرق استخدام كل منها يوميًّا؟ هل يمكن أن نخفض الاستهلاك اليومي؟ يمكنك استخدام **الجدول 1-3** للمساعدة.

سؤال للمناقشة

كم وحدة قدرة حصانية يحتاج منزلك لتزويده بالطاقة؟

الشكل 3-30 أمثلة يومية للقدرة.

جدول 1-3 القدرة المستهلكة في الأجهزة المستخدمة يوميًّا.

الجهاز	القدرة المستهلكة (hp)	القدرة المستهلكة (W)
مكيّف هواء	4.7	3,500
مكنسة كهربائية	1.9	1,400
تلفزيون lcd /led	0.13	91.5
فرن ميكروويف	1.6	1,200
حاسوب مكتب	0.4	300
شاحن هاتف	0.003-0.008	2-6
غسّالة كهربائية	1.3	1000
مكواة كهربائية	2	1,500
مجفف شعر	2	1,500
ثلاجة	0.3	200

131

الآلات المثالية

1. يمكنك تحضير رافعة صغيرة ونظام بكرة قبل وصول الطلاب. قد يفي بالغرض استخدام لوح بسيط مع نقطة ارتكاز تحته.
2. سلِ الطلاب عن فائدة الرافعات.

سوف يجيب معظم الطلاب أنها تجعل مهمات الرفع أسهل. ثم اسألهم: ما المنطق العلمي وراء ذلك؟

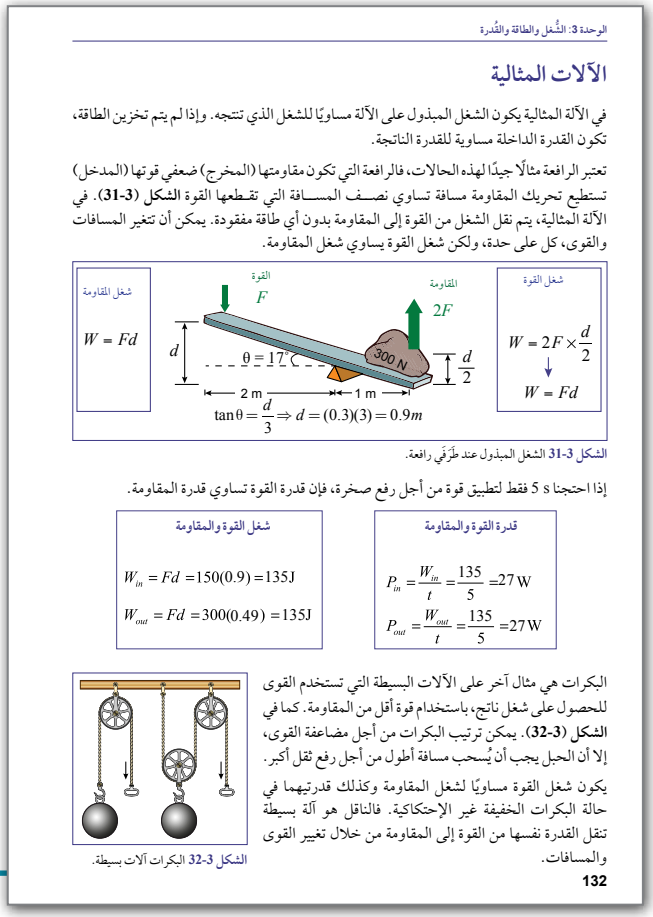
3. اشرح لهم أن الرافعة آلة بسيطة تستخدم لمضاعفة القوة المبذولة إلى قوة أكبر عند طرف المقاومة. هل يعني ذلك أننا حصلنا على طاقة من العدم؟ كيف يمكن ذلك؟

ذكّر الطلاب أن الطاقة لم تكتسب من العدم، وأن الشغل الذي جرى إنجازه لا يزال هو نفسه. لدينا $W = Fd$، فإذا أردنا تغيير F، يجب أيضًا تغيير d للحفاظ على مقدار W. وبالتالي ، فإن الرافعة التي يتساوى فيها الذراعان ليست مفيدة للغاية.

4. اذكر أن هناك آلات أخرى مثل البكرات ، السطوح المائلة ، الأوتاد ، إلخ.
5. سل الطلاب: كيف يمكن للبكرة أن تجعل المهمات أسهل؟ اذكر لهم أن تغيير اتجاه القوة قد يساعد أيضًا عند محاولة رفع جسم ما.

توسّع

النقطة المهمة هنا، هي أن الآلات المثالية يكون فيها الشغل الداخل (شغل القوة) يساوي الشغل الخارج (شغل المقاومة)، بغضّ النظر عن الطريقة التي تتغيّر فيها القوة. تتغيّر المسافات بطريقة تعوّض عن تغيُّر القوى، بحيث يبقى الشغل ثابتًا. العلاقة ذاتها تتحقق للقدرة، فلا يمكن أن تزيد قدرة المقاومة على قدرة القوة من دون مصدر خارجي. كي تتيح للطلاب معرفة المزيد عن الآلات البسيطة، كلّف ثلاثة منهم في مجموعة إجراء بحث عن كيفية عمل آلة بسيطة معيّنة، وتحليل فائدتها الميكانيكية. احصل على سطح مائل، ودع العربة تتسارع نزولًا.


الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة

الآلات المثالية

في الآلة المثالية يكون الشغل المبذول على الآلة مساويًا للشغل الذي تنتجه. وإذا لم يتم تخزين الطاقة، تكون القدرة الداخلة مساوية للقدرة الناتجة.

تعتبر الرافعة مثالًا جيدًا لهذه الحالات، فالرافعة التي تكون مقاومتها (المخرج) ضعفي قوتها (المدخل) تستطيع تحريك المقاومة مسافة تساوي نصف المسافة التي تقطعها القوة الشكل (3-31). في الآلة المثالية، يتم نقل الشغل من القوة إلى المقاومة بدون أي طاقة مفقودة. يمكن أن تتغير المسافات والقوى، كل على حدة، ولكن شغل القوة يساوي شغل المقاومة.

شغل المقاومة
$W = Fd$

القوة
F
المقاومة
$2F$
d
$\theta = 17°$
300 N
$\frac{d}{2}$
2 m
1 m
$\tan\theta = \frac{d}{3} \Rightarrow d = (0.3)(3) = 0.9m$

شغل القوة
$W = 2F \times \frac{d}{2}$
$W = Fd$

الشكل 3-31 الشغل المبذول عند طَرَفَي رافعة.

إذا احتجنا 5 s فقط لتطبيق قوة من أجل رفع صخرة، فإن قدرة القوة تساوي قدرة المقاومة.

قدرة القوة والمقاومة

$P_{in} = \frac{W_{in}}{t} = \frac{135}{5} = 27\,W$

$P_{out} = \frac{W_{out}}{t} = \frac{135}{5} = 27\,W$

شغل القوة والمقاومة

$W_{in} = Fd = 150(0.9) = 135J$

$W_{out} = Fd = 300(0.49) = 135J$

البكرات هي مثال آخر على الآلات البسيطة التي تستخدم القوى للحصول على شغل ناتج، باستخدام قوة أقل من المقاومة. كما في الشكل (3-32). يمكن ترتيب البكرات من أجل مضاعفة القوى، إلا أن الحبل يجب أن يُسحب مسافة أطول من أجل رفع ثقل أكبر.

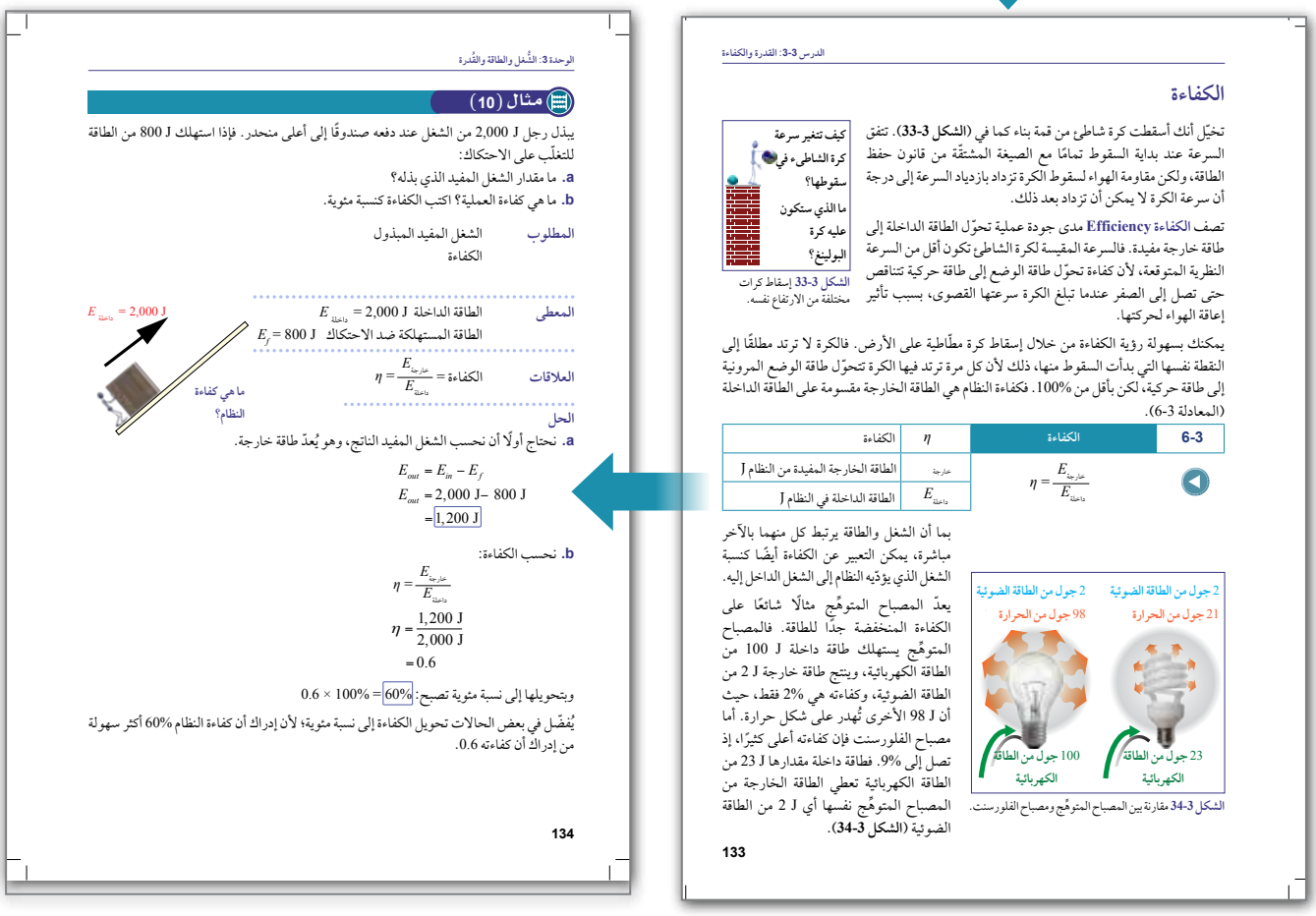
يكون شغل القوة مساويًا لشغل المقاومة وكذلك قدرتيهما في حالة البكرات الخفيفة غير الإحتكاكية. فالناقل هو آلة بسيطة تنقل القدرة نفسها من القوة إلى المقاومة من خلال تغيير القوى والمسافات.

الشكل 3-32 البكرات آلات بسيطة.

132

الكفاءة

1. سل الطلاب عما نعنيه حين نسألهم: «هل أنتم ذوو كفاءة؟»
ناقش مدى صحة تعريفاتهم. إذا بذلوا شغلًا قدر ما يستطيعون ، فهم ذوو كفاءة.
2. لكن ما الذي يحدِّد مقدار الشغل الذي يمكنهم بذله؟ على الرغم من أننا حسبنا مدى قدرتهم، فإن حساب الكفاءة ليس بهذه البساطة عندما يتعلق الأمر بالبشر.
3. عرِّف الكفاءة، وقدّم المعادلة 3-6. من المهم جدًّا إعلام الطلاب أننا نستطيع استخدام الطاقة أو القدرة، لحساب الكفاءة.
4. يمكن تعريف الكفاءة كنسبة بسيطة أو كنسبة مئوية.
5. حُلَّ المثال بمساعدة الطلاب. حاول تدريبهم أكثر عن طريق تنويع المتغيِّرات والحالات.



الدرس 3-3: القدرة والكفاءة

الكفاءة

تخيّل أنك أسقطت كرة شاطئ من قمة بناء كما في (الشكل 3-33). تتفق السرعة عند بداية السقوط تمامًا مع الصيغة المشتقّة من قانون حفظ الطاقة، ولكن مقاومة الهواء لسقوط الكرة تزداد بازدياد السرعة إلى درجة أن سرعة الكرة لا يمكن أن تزداد بعد ذلك.

تصف الكفاءة Efficiency مدى جودة عملية تحوّل الطاقة الداخلة إلى طاقة خارجة مفيدة. فالسرعة المقيسة لكرة الشاطئ تكون أقل من السرعة النظرية المتوقعة، لأن كفاءة تحوّل طاقة الوضع إلى طاقة حركية تتناقص حتى تصل إلى الصفر عندما تبلغ الكرة سرعتها القصوى، بسبب تأثير إعاقة الهواء لحركتها.

كيف تتغير سرعة كرة الشاطئ في سقوطها؟ ما الذي ستكون عليه كرة البولينغ؟

الشكل 3-33 إسقاط كرات مختلفة من الارتفاع نفسه.

يمكنك بسهولة رؤية الكفاءة من خلال إسقاط كرة مطّاطية على الأرض. فالكرة لا ترتد مطلقًا إلى النقطة نفسها التي بدأت السقوط منها، ذلك لأن كل مرة ترتد فيها الكرة تتحوّل طاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية، لكن بأقل من 100%. فكفاءة النظام هي الطاقة الخارجة مقسومة على الطاقة الداخلة (المعادلة 3-6).

3-6 الكفاءة	η	الكفاءة
$\eta = \frac{E_{خارجة}}{E_{داخلة}}$	$E_{خارجة}$	الطاقة الخارجة المفيدة من النظام J
	$E_{داخلة}$	الطاقة الداخلة في النظام J

بما أن الشغل والطاقة يرتبط كل منهما بالآخر مباشرة، يمكن التعبير عن الكفاءة أيضًا كنسبة الشغل الذي يؤدّيه النظام إلى الشغل الداخل إليه.

يعدّ المصباح المتوهِّج مثالًا شائعًا على الكفاءة المنخفضة جدًا للطاقة. فالمصباح المتوهِّج يستهلك طاقة داخلة 100 J من الطاقة الكهربائية، وينتج طاقة خارجة 2 J من الطاقة الضوئية، وكفاءته هي 2% فقط، حيث أن 98 J الأخرى تُهدر على شكل حرارة. أما مصباح الفلورسنت فإن كفاءته أعلى كثيرًا، إذ تصل إلى 9%. فطاقة داخلة مقدارها 23 J من الطاقة الكهربائية تعطي الطاقة الخارجة من المصباح المتوهِّج نفسها أي 2 J من الطاقة الضوئية (الشكل 3-34).

الشكل 3-34 مقارنة بين المصباح المتوهِّج ومصباح الفلورسنت.

133

الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة

مثال (10)

يبذل رجل 2,000 J من الشغل عند دفعه صندوقًا إلى أعلى منحدر. فإذا استهلك 800 J من الطاقة للتغلّب على الاحتكاك:

a. ما مقدار الشغل المفيد الذي بذله؟

b. ما هي كفاءة العملية؟ اكتب الكفاءة كنسبة مئوية.

المطلوب
الشغل المفيد المبذول
الكفاءة

المعطى
الطاقة الداخلة $E_{داخلة} = 2{,}000\ J$
الطاقة المستهلكة ضد الاحتكاك $E_f = 800\ J$

العلاقات
الكفاءة $\eta = \frac{E_{خارجة}}{E_{داخلة}}$

الحل

a. نحتاج أولًا أن نحسب الشغل المفيد الناتج، وهو يُعدّ طاقة خارجة.

$$E_{out} = E_{in} - E_f$$
$$E_{out} = 2{,}000\ J - 800\ J$$
$$= \boxed{1{,}200\ J}$$

b. نحسب الكفاءة:

$$\eta = \frac{E_{خارجة}}{E_{داخلة}}$$
$$\eta = \frac{1{,}200\ J}{2{,}000\ J}$$
$$= 0.6$$

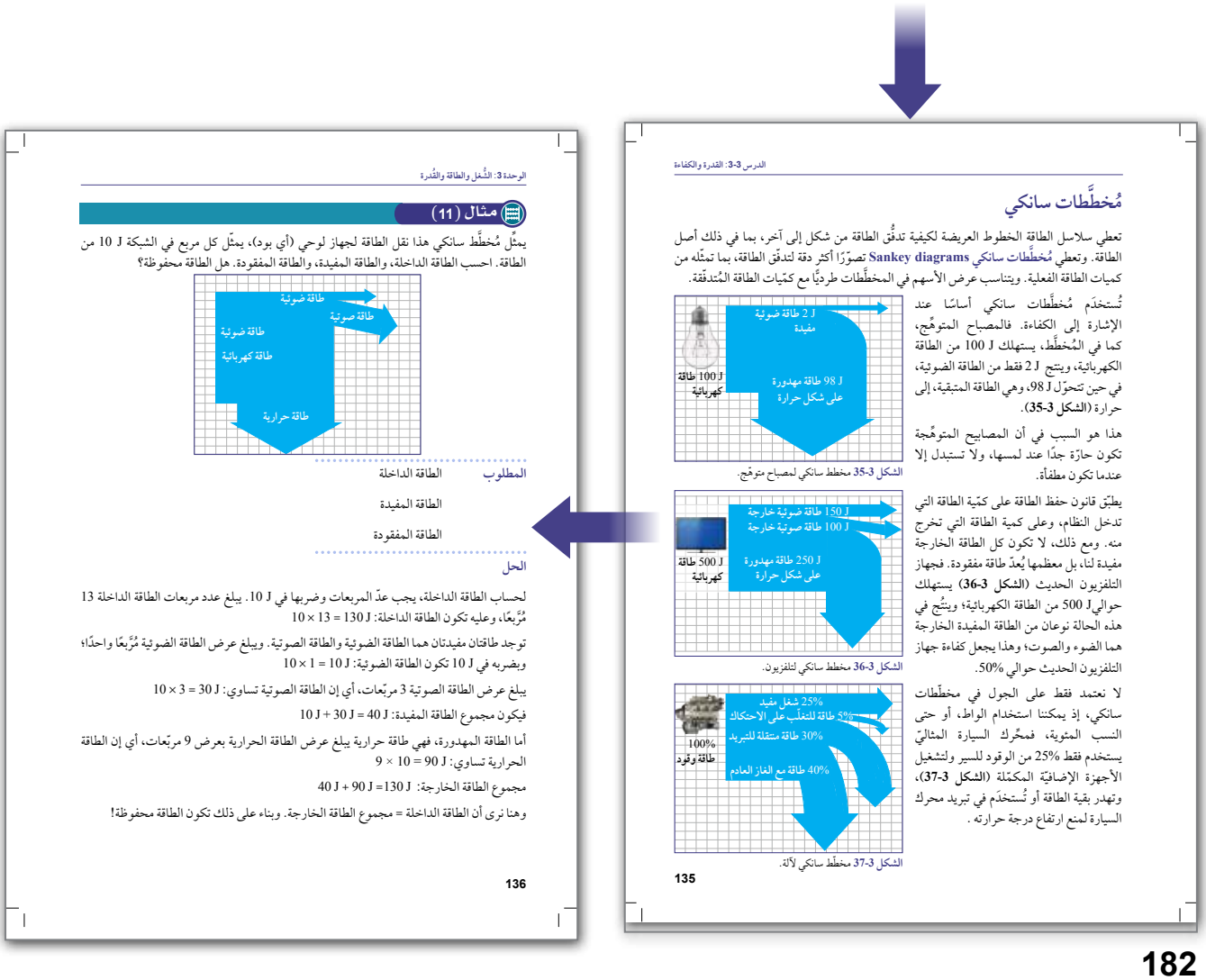
وبتحويلها إلى نسبة مئوية تصبح: $0.6 \times 100\% = \boxed{60\%}$

يُفضّل في بعض الحالات تحويل الكفاءة إلى نسبة مئوية؛ لأن إدراك أن كفاءة النظام 60% أكثر سهولة من إدراك أن كفاءته 0.6.

134

مُخطَّطات سانكي

1. اشرح الفرق بين مخطَّط سانكي ومخطط تدفُّق الطاقة.
2. اذكر أن تلك المُخطَّطات تشمل أنواع الطاقة المفقودة، بالإضافة إلى الكمّيات المفقودة من الطاقة.
3. صفِ الأمثلة الواردة في الكتاب: المصباح والتلفزيون ومُحرِّك السيارة.
4. اذكر مدى أهمّية عرض كلّ من تلك الأسهم واتِّجاهه. يكون اتجاه الطاقة المفقودة عادةً إلى الأسفل، ومع ذلك، فقد تصادف بعض المخططات التي يكون فيها اتجاه الطاقة المفقودة إلى الأعلى. يكون اتجاه الطاقة المفيدة دائمًا نحو اليمين.
5. كلّفِ الطلاب إنشاء مخطَّط سانكي لمصباح فلوري، ومصباح LED. يمكنهم البحث عن مواصفات الطاقة أو القدرة لكل من المصباحَيْن.
6. ساعد الطلاب على حل المثال.



الدرس 3-3: القدرة والكفاءة

مُخطَّطات سانكي

تعطي سلاسل الطاقة الخطوط العريضة لكيفية تدفُّق الطاقة من شكل إلى آخر، بما في ذلك أصل الطاقة. وتعطي مُخطَّطات سانكي Sankey diagrams تصوّرًا أكثر دقة لتدفّق الطاقة، بما تمثّله من كميات الطاقة الفعلية. ويتناسب عرض الأسهم في المخطَّطات طرديًّا مع كمّيات الطاقة المُتدفّقة.

تُستخدَم مُخطَّطات سانكي أساسًا عند الإشارة إلى الكفاءة. فالمصباح المتوهِّج، كما في المُخطَّط، يستهلك 100 J من الطاقة الكهربائية، وينتج 2 J فقط من الطاقة الضوئية، في حين تتحوّل 98 J، وهي الطاقة المتبقية، إلى حرارة (الشكل 3-35).

هذا هو السبب في أن المصابيح المتوهِّجة تكون حارّة جدًا عند لمسها، ولا تستبدل إلا عندما تكون مطفأة.

الشكل 3-35 مخطط سانكي لمصباح متوهّج.

يطبّق قانون حفظ الطاقة على كمّية الطاقة التي تدخل النظام، وعلى كمية الطاقة التي تخرج منه. ومع ذلك، لا تكون كل الطاقة الخارجة مفيدة لنا، بل معظمها يُعدّ طاقة مفقودة. فجهاز التلفزيون الحديث (الشكل 3-36) يستهلك حوالي 500 J من الطاقة الكهربائية؛ وينتُج في هذه الحالة نوعان من الطاقة المفيدة الخارجة هما الضوء والصوت؛ وهذا يجعل كفاءة جهاز التلفزيون الحديث حوالي 50%.

الشكل 3-36 مخطط سانكي لتلفزيون.

لا نعتمد فقط على الجول في مخطّطات سانكي، إذ يمكننا استخدام الواط، أو حتى النسب المئوية، فمحرِّك السيارة المثاليّ يستخدم فقط 25% من الوقود للسير ولتشغيل الأجهزة الإضافيّة المكمّلة (الشكل 3-37)، وتهدر بقية الطاقة أو تُستخدَم في تبريد محرك السيارة لمنع ارتفاع درجة حرارته .

الشكل 3-37 مخطط سانكي لآلة.

135

الوحدة 3: الشُّغل والطاقة والقُدرة

مثال (11)

يمثّل مُخطَّط سانكي هذا نقل الطاقة لجهاز لوحي (أي بود)، يمثّل كل مربع في الشبكة 10 J من الطاقة. احسب الطاقة الداخلة، والطاقة المفيدة، والطاقة المفقودة. هل الطاقة محفوظة؟

المطلوب

الطاقة الداخلة

الطاقة المفيدة

الطاقة المفقودة

الحل

لحساب الطاقة الداخلة، يجب عدّ المربعات وضربها في 10 J. يبلغ عدد مربعات الطاقة الداخلة 13 مُرَبّعًا، وعليه تكون الطاقة الداخلة: $10 \times 13 = 130$ J

توجد طاقتان مفيدتان هما الطاقة الضوئية والطاقة الصوتية. ويبلغ عرض الطاقة الضوئية مُرَبّعًا واحدًا؛ وبضربه في 10 J تكون الطاقة الضوئية: $10 \times 1 = 10$ J

يبلغ عرض الطاقة الصوتية 3 مربّعات، أي إن الطاقة الصوتية تساوي: $10 \times 3 = 30$ J

فيكون مجموع الطاقة المفيدة: $10 \text{ J} + 30 \text{ J} = 40$ J

أما الطاقة المهدورة، فهي طاقة حرارية يبلغ عرض الطاقة الحرارية بعرض 9 مربّعات، أي إن الطاقة الحرارية تساوي: $9 \times 10 = 90$ J

مجموع الطاقة الخارجة: $40 \text{ J} + 90 \text{ J} = 130$ J

وهنا نرى أن الطاقة الداخلة = مجموع الطاقة الخارجة. وبناء على ذلك تكون الطاقة محفوظة!

136

نشاط b3-3 الكفاءة

الإجابات/ عيِّنة بيانات

المواد المطلوبة: عربة مزوَّدة بمماص صدمات مغناطيسي، مستشعر قوة وموقع، مضمار ميكانيكي مزوَّد بمماص صدمات مغناطيسي.

يفترض أن يُنجِز هذا النشاط مجموعات من ثلاثة طلّاب أو أربعة، حتى يتمكّنوا من التواصل والتعاون فيما بينهم. الغرض من هذا النشاط هو حساب كفاءة العربة بعد اصطدامها بمماص صدمات مغناطيسي. بعد التصادم ، ستعود العربة باتجاه أعلى المنحدر، حتى تفقد طاقتها الحركية ثم تتراجع. سيستمر هذا حتى تنخفض طاقة النظام إلى الصفر.

الأسئلة

a. احسبْ زاوية الميل θ بدلالة طول المنحدر وارتفاعه.

قد تختلف إجابات الطلاب.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0.18}{1.2}\right) = 8.5°$$

b. قِس ارتفاع كل قيمة قصوى على الرسم البياني بعد كل تصادم واحصل على الارتفاع الرأسي للعربة.

قد تختلف إجابات الطلاب.

القمة رقم 1

$l_1 = 0.5$ m

$\Rightarrow h_1 = 0.5\sin 8.5 = 0.07$ m;

القمة رقم 2

$l_2 = 0.45$ m

$\Rightarrow h_2 = 0.45\sin 8.5 = 0.067$ m;

القمة رقم 3

$l_3 = 0.41$ m

$\Rightarrow h_3 = 0.41\sin 8.5 = 0.06$ m;

القمة رقم 4

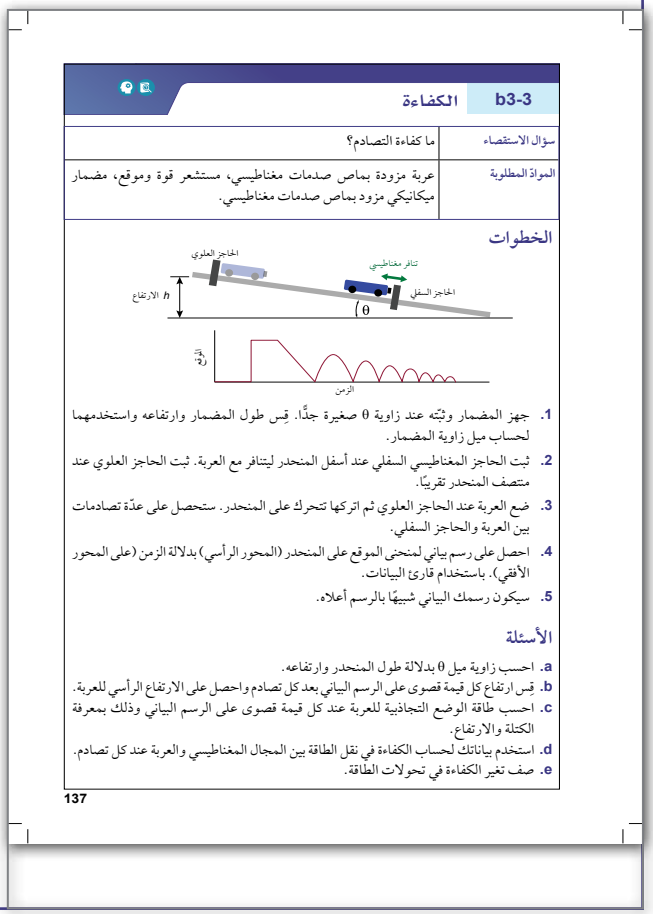
$l_4 = 0.38$ m

$\Rightarrow h_4 = 0.38\sin 8.5 = 0.056$ m;

القمة رقم 5

$l_5 = 0.37$ m

$\Rightarrow h_5 = 0.37\sin 8.5 = 0.055$ m;



b3-3 الكفاءة

سؤال الاستقصاء	ما كفاءة التصادم؟
المواد المطلوبة	عربة مزودة بمماص صدمات مغناطيسي، مستشعر قوة وموقع، مضمار ميكانيكي مزود بمماص صدمات مغناطيسي.

الخطوات

1. جهز المضمار وثبّته عند زاوية θ صغيرة جدًّا. قِس طول المضمار وارتفاعه واستخدمهما لحساب ميل زاوية المضمار.
2. ثبت الحاجز المغناطيسي السفلي عند أسفل المنحدر ليتنافر مع العربة. ثبت الحاجز العلوي عند منتصف المنحدر تقريبًا.
3. ضع العربة عند الحاجز العلوي ثم اتركها تتحرك على المنحدر. ستحصل على عدّة تصادمات بين العربة والحاجز السفلي.
4. احصل على رسم بياني لمنحنى الموقع على المنحدر (المحور الرأسي) بدلالة الزمن (على المحور الأفقي). باستخدام قارئ البيانات.
5. سيكون رسمك البياني شبيهًا بالرسم أعلاه.

الأسئلة

a. احسب زاوية ميل θ بدلالة طول المنحدر وارتفاعه.
b. قِس ارتفاع كل قيمة قصوى على الرسم البياني بعد كل تصادم واحصل على الارتفاع الرأسي للعربة.
c. احسب طاقة الوضع التجاذبية للعربة عند كل قيمة قصوى على الرسم البياني وذلك بمعرفة الكتلة والارتفاع.
d. استخدم بياناتك لحساب الكفاءة في نقل الطاقة بين المجال المغناطيسي والعربة عند كل تصادم.
e. صف تغير الكفاءة في تحولات الطاقة.

137

c. احسب طاقة الوضع التجاذبية للعربة، عند كل قمّة، بمعرفة الارتفاع والكتلة.

كتلة العربة = 0.25 kg.

$E_{p1}=mgh=0.25(9.8)(0.07)=0.172$ J

$E_{p2}=mgh=0.25(9.8)(0.067)=0.164$ J

$E_{p3}=mgh=0.25(9.8)(0.06)=0.147$ J

$E_{p4}=mgh=0.25(9.8)(0.056)=0.137$ J

$E_{p5}=mgh=0.25(9.8)(0.055)=0.135$ J

d. استخدم بياناتك لتحديد كفاءة نقل الطاقة بين المجال المغناطيسي والعربة، أثناء كل عملية ارتداد.

إذا اعتبرنا الارتفاع الرأسي الأولي 0.12 m.

$\eta_1 = \frac{0.172}{0.25\times9.8\times0.12}=0.59$، **أو الكفاءة** *59%*

$\eta_2=\frac{0.164}{0.172}=0.95$، **أو الكفاءة** *95%*

$\eta_3=\frac{0.147}{0.164}=0.90$، **أو الكفاءة** *90%*

$\eta_4=\frac{0.137}{0.147}=0.93$، **أو الكفاءة** *93%*

$\eta_5=\frac{0.135}{0.137}=0.99$، **أو الكفاءة** *99%*

e. صف تغير الكفاءة في تحولات الطاقة.

كلما كان الارتفاع أعلى هناك نقص أكثر في الطاقة الداخلة فتزداد الكفاءة.

تقويم الدّرس 3-3 — الإجابات

1. يُراد تحريك عربة كتلتها 40 kg إلى قمة منصّة ارتفاعها 1.0 m.

a. ما مقدار القدرة اللازمة لرفع العربة رأسيًا إلى الأعلى، ووضعها على المنصّة في 3.0 s؟

الإجابة: $P = \frac{W}{t} = \frac{F \times d}{t} = \frac{40(9.8)(1)}{3} = 131\text{W}$

b. ما مقدار القدرة اللازمة لرفع العربة إلى المنصة بتحريكها 6 m على سطح مائل؛ حيث تستغرق عملية التحريك هذه 20 s؟

إذا اعتبرنا أن المنحدر هو المنصة نفسها في الفرع **a** ، تبقى الطاقة الكامنة عند أعلى نقطة من المنحدر (أي المنصة) هي نفسها، ولا تتأثر بالمسافة المائلة **6 m** التي تقطعها العربة للوصول إلى القمة نفسها، ذات الارتفاع الرأسي **1 m**.

الإجابة: $P = \frac{W}{t} = \frac{F \times d}{t} = \frac{40(9.8)(1)}{20} = 20\text{W}$

c. ما مقدار القدرة اللازمة لرفعها إلى المنصة، إذا كان طول السطح المائل 12 m في 20 s؟

تمامًا مثل الجزء **b**، لا تتغيّر الطاقة الكامنة في الجزء العلوي من المنحدر (أي المنصة). وعلى الرغم من أن صعود المنحدر يكون بمسار مائل، فإن الطاقة تعتمد على الارتفاع الرأسي الذي لا يزال **1 m**.

الإجابة: $P = \frac{W}{t} = \frac{F \times d}{t} = \frac{40(9.8)(1)}{20} = 20\text{W}$

2. **a.** ما فوائد السيارة ذات القدرة الحصانية العالية؟

المزيد من القدرة، يعني بذل المزيد من الشغل في زمن أقل. وهذا يعني أن السيارة التي تتمتع بقدرة حصانية أكبر يمكنها السفر بشكل أسرع، وتتسارع بزمن أقل.

b. ما عيوب السيارة ذات القدرة الحصانية العالية؟

العيب الرئيسي هو أنها تستهلك المزيد من الطاقة ، وبالتالي تكون تكلفة تشغيلها أكثر. لذلك يفضّل الناس سيارة تقطع مسافة أطول بكمية الوقود، مع محرِّك أصغر وأقوى.

تقويم الدّرس 3-3 — الإجابات

3. يركب رجل درّاجة هوائية لتوليد الطاقة، متّصلة بمولِّد كهربائي. ويقودها بأكبر قوة يستطيع بذلها، وبقدرة ميكانيكية مقدارها 500 W، في حين يحوِّل المولِّد الكهربائي القدرة الميكانيكية تلك إلى قدرة كهربائية، بفاعلية نسبتها المئوية 40% فقط.

a. كم عدد المصابيح المتوهجة التي يمكن إضاءتها، إذا كانت قدرة كلّ منها 10 W؟

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{out} = \eta P_{in}$$

$$P_{out} = 0.4(500) = 200\text{W}$$

$$\text{عدد المصابيح} = \frac{\text{القدرة الخارجة}}{\text{قدرة المصباح الواحد}}$$

$$\mathbf{n = \frac{200}{10} = 20}$$

لذلك يمكن إضاءة عشرين مصباحًا قدرة كل منها **10 W**.

b. كم عدد المصابيح الفلورسنتية المدمجة التي يمكن إضاءتها، إذا كانت قدرة كل منها 5 W؟

$$\text{عدد المصابيح} = \frac{\text{القدرة الخارجة}}{\text{قدرة المصباح الواحد}}$$

عدد المصابيح الفلورسنتية التي يمكن إضاءتها $\frac{200}{5} = 40$

4. تحتوي بطارية الهاتف المحمول المشحونة بالكامل على 20,000 J من الطاقة الكهربائية المختزنة. في حين يستخدم الهاتف المحمول 2 W من تلك الطاقة.

a. احسب بالثواني الوقت الّذي ستستمر فيه البطارية بتزويد الهاتف بالطاقة.

القدرة المستهلكة = 2 W؛ الطاقة = 20,000 J.

$$t = \frac{E}{P}$$

الإجابة: $20{,}000\text{J}\left(\frac{1\text{s}}{2\text{J}}\right) = 10{,}000\text{s}$

b. كم من الوقت بالدقائق ستستمر البطارية في تزويد الهاتف بالطاقة؟

تقويم الدّرس 3-3 — الإجابات

الإجابة: $10{,}000\,\text{s}\left(\frac{1\,\text{min}}{60\,\text{s}}\right) = 167\,\text{min}$

c. كم يبلغ وقت استمرار البطاريّة بتزويد الهاتف بالطاقة بالسّاعات ؟

الإجابة: $167\,\text{min}\left(\frac{1\,\text{hr}}{60\,\text{min}}\right) = 2.8\,\text{hr}$

5. عندما يصل الجسم الساقط إلى سرعته النهائية، فكم تصبح كفاءة تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟

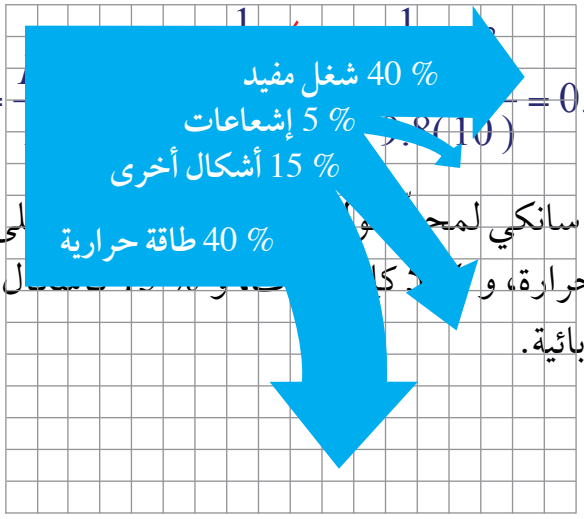
كفاءة الجسم تصبح صفرًا ، حيث لا يجري تحويل أي طاقة وضع إلى طاقة حركية.

6. يمشي فتى إلى ارتفاع 10 أمتار من سفح تل إلى أعلاه، وينزلق عنه إلى أسفل مستخدمًا لوح تزلُّج. عندما يصل إلى أسفل التل تكون سرعته 7 m/s. ما هي كفاءة لوح التزلُّج.

ارتفاع التل $h = 10\ \text{m}$، والسرعة النهائية $v = 7\ \text{m/s}$.

الإجابة: $\eta = \frac{1}{2}(7)^2 / (9.8)(10) = 0.25$

7. ارسم مخطط سانكي لمحـ[illegible] الوقود حيث تخسر 40 % من طاقتها كحرارة، و[illegible] أخرى، بينما يتحوّل الباقي إلى طاقة كهربائية.



إعادة تدريس

1. يمكن للطلاب حساب قدرتهم، باستخدام تمرين مختلف عن النشاط a3-3 ، كرفع أجسامهم عن الأرض على أيديهم وأصابع أقدامهم (تمرين العضلات)، أو رفع ظهورهم عن الأرض وأيديهم خلف رؤوسهم (تمرين المعدة).
2. ستكون القوة هي وزن كل منهم. وسيجري تحديد المسافة المقطوعة من خلال تمارينهم. إذا كان الطالب ينفذ تمرين رفع الجسم، فستكون القوة كامل وزنه. وإذا كان ينفذ تمرين رفع الظهر، فيمكنه تقدير نصف وزنه لأنه يرفع نصف جسمه فقط. قد يحتاج الطالب إلى زميل يقوم بِعَدّ مرات التمرين، والوقت المُستغرَق.
3. ما مقدار الطاقة التي يعتقد الطلاب أنها استُهلكت؟ وبأي شكل؟
4. هل يمكنهم التفكير في طريقة لجعل أجسامهم أكثر كفاءة؟

إثراء

1. كلِّف كل طالب التفكير في نظام يمكنه دراسته لإنشاء مخطط سانكي. على سبيل المثال: أعضاء مختلفة من الجسم، ومروحة كهربائية ، وغلاية ، وآلة صنع القهوة. كلما كانت الأمثلة أكثر تنوّعًا كان ذلك أفضل.
2. يمكن للطلاب بعد ذلك البحث في نسبة الطاقة المفيدة إلى الطاقة المبذولة. والبحث في نوع الطاقة المفقودة، ما مقدارها؟ ما مدى كفاءة نظامهم؟ استخدم هذه المعلومات لإنشاء مخطط سانكي. يجب رسم المخطط على مقياس رسم صحيح.
3. بمجرد الانتهاء من ذلك ، يمكن للطلاب تمرير مخططاتهم إلى زملائهم. ويمكن للطلاب الآخرين التحقق من ذلك. سيتعرف الجميع إنشاء المزيد من مخطّطات سانكي. وسيحتاجون أيضًا إلى التحقق من قيام زملائهم في الحصة بإجراء حسابات ورسم مخططات صحيحة.

نهاية الوحدة

1. يمكن استخدام ملخص الوحدة لمراجعة موضوعاتها. يمكن للطلاب أن يصنعوا بطاقات ويدوّنوا عليها مفردات الوحدة، ويختبرُ بعضهم بعضًا.
2. ويمكنهم أن يراجعوا الوحدة بتحضير power point لموضوعات مختلفة مطروحة فيها، وعرضها على باقي الطلاب.
3. تقدّم فقرة «ضوء على العلماء» ملخّصًا لحياة العديد من العلماء وانجازاتهم. شجّع طلابك على قراءة ما قرأوه عن حياة هؤلاء العلماء ومناقشته، ثم اطرح عليهم بعض الأسئلة، مثل: هل استخدم هؤلاء المنهج العلمي؟ ما أهمية العلم في حياتنا اليومية؟

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

- **الشُّغل** يُبذَل بواسطة قوة تؤثّر في جسم، وتؤدي إلى تحرّكه مسافة معيّنة.
- **الجول** (J) أو نيوتن.متر (N.m) هي وحدة قياس الشُّغل في النظام الدولي للوحدات.
- **الطاقة** تتشابه مع الشُّغل لكنهما ليسا الشيء نفسه. فالطاقة هي القُدرة على القيام بشغل؛ أما الشُّغل فهو كميّة الطاقة المُستخدمة.
- **الطاقة الحركيّة** هي الطاقة التي يمتلكها الجسم خلال حركته. فالأجسام الساكنة تكون طاقتها الحركيّة صفرًا.
- **طاقة الوضع التجاذبيّة** هي الطاقة المُختزنة في الجسم الذي يقع عند ارتفاع ما، نتيجة لقوة الجاذبية. تتحرّر طاقة الوضع عندما يُترَك الجسم ليسقط. تكون طاقة الوضع التجاذبيّة للجسّم عند سطح الأرض صفرًا، إذا اعتبرنا سطح الأرض الإطار المرجعي لقياس هذه الطاقة.
- **طاقة الوضع المرونيّة** هي الطاقة المُختزنة في جسم مَرِن عندما ينضغط أو يتمدّد. تتحرّر الطاقة عند عودة الجسم إلى شكله الأصلي. المواد التي يُمكن تغيير شكلها، هي فقط القادرة على تخزين طاقة الوضع المرونيّة مثل الأحزمة المطّاطية والزنبرك والعضلات.

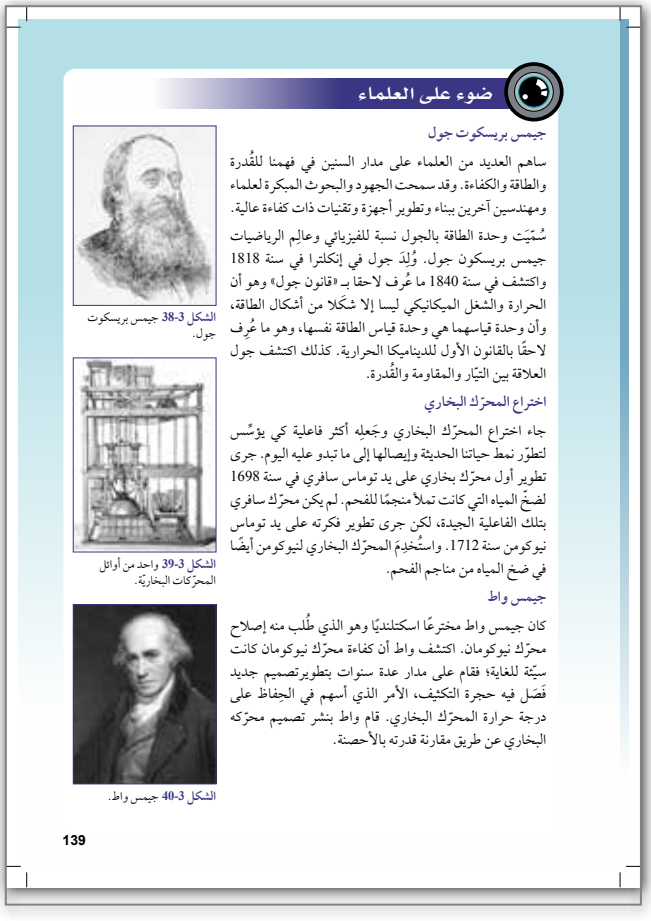
الدرس 3-2: حفظ الطاقة

- **قانون حفظ الطاقة** ينص على أنّ الطاقة تتحوّل من شكل إلى آخر، وتبقى قيمتها الكلّية ثابتة. لا يمكن للطاقة أن تفنى أو تُستَحدَث. ذلك أن معظم أنواع الطاقة المفقودة تتحوّل إلى طاقة حرارية أو طاقة صوتيّة.
- **مُخطّط تدفّق الطاقة** يُستخدم لتمثيل تدفّق الطاقة.
- **الطاقة الميكانيكيّة** الطاقة الكلّية التي لها شكل ميكانيكي. وتكون في العادة مجموع الطاقة الحركيّة وطاقة الوضع التجاذبيّة وطاقة الوضع المرونيّة. يتغيّر مقدار كلّ شكل من أشكال الطاقة في النظام المعزول بصورة منفردة كشغل مبذول، لكن تبقى الطاقة الميكانيكيّة دائمًا ثابتة.

الدرس 3-3: القُدرة والكفاءة

- **القُدرة** المعدّل الزمني الذي يُبذل الشُّغل فيه. وحدة القُدرة هي الواط (W) ، أو وحدة القدرة الحصانية (hp)
- **الكفاءة** نسبة الطاقة الخارجة المفيدة المُستهلَكة إلى الطاقة الداخلة المُستخدمة. يمكننا أن نُصدِر حُكمًا أفضل حول أداء نظام من خلال حساب كفاءته. تُحسَب الكفاءة أحيانا كنسبة مئويّة.
- **مُخطّطات سانكي** مخطّطات دقيقة تمثّل كل من الطاقة المستهلكة والطاقة الناتجة. يتناسب عرض السهم في مخطّط سانكي طرديا مع النسب المئويّة للطاقات المستهلكة والطاقات الناتجة. كما تُمثّل فيه الطاقة المفقودة أيضاً.

140



ضوء على العلماء

جيمس بريسكوت جول

ساهم العديد من العلماء على مدار السنين في فهمنا للقُدرة والطاقة والكفاءة. وقد سمحت الجهود والبحوث المبكرة لعلماء ومهندسين آخرين ببناء وتطوير أجهزة وتقنيات ذات كفاءة عالية.

سُمّيَت وحدة الطاقة بالجول نسبة للفيزيائي وعالِم الرياضيات جيمس بريسكون جول. وُلِدَ جول في إنكلترا في سنة 1818 واكتشف في سنة 1840 ما عُرف لاحقا بـ «قانون جول» وهو أن الحرارة والشغل الميكانيكي ليسا إلا شكلا من أشكال الطاقة، وأن وحدة قياسهما هي وحدة قياس الطاقة نفسها، وهو ما عُرِف لاحقًا بالقانون الأول للديناميكا الحرارية. كذلك اكتشف جول العلاقة بين التيّار والمقاومة والقُدرة.

الشكل 3-38 جيمس بريسكوت جول.

اختراع المحرّك البخاري

جاء اختراع المحرّك البخاري وجَعلِه أكثر فاعلية كي يؤسّس لتطوّر نمط حياتنا الحديثة وإيصالها إلى ما تبدو عليه اليوم. جرى تطوير أول محرّك بخاري على يد توماس سافري في سنة 1698 لضخّ المياه التي كانت تملأ منجمًا للفحم. لم يكن محرّك سافري بتلك الفاعلية الجيدة، لكن جرى تطوير فكرته على يد توماس نيوكومن سنة 1712. واستُخدِمَ المحرّك البخاري لنيوكومن أيضًا في ضخ المياه من مناجم الفحم.

الشكل 3-39 واحد من أوائل المحرّكات البخاريّة.

جيمس واط

كان جيمس واط مخترعًا اسكتلنديًا وهو الذي طُلب منه إصلاح محرّك نيوكومان. اكتشف واط أن كفاءة محرّك نيوكومان كانت سيّئة للغاية؛ فقام على مدار عدة سنوات بتطويرتصميم جديد فَصَل فيه حجرة التكثيف، الأمر الذي أسهم في الحِفاظ على درجة حرارة المحرّك البخاري. قام واط بنشر تصميم محرّكه البخاري عن طريق مقارنة قدرته بالأحصنة.

الشكل 3-40 جيمس واط.

139

أسئلة ذات الاجابات القصيرة

1. يستخدم محرك كهربائي كبير لرفع حاوية من على سفينة. أي من القيم الآتية ضرورية لحساب قدرة المحرّك؟

b. الشُّغل المُنجز والزمن المُستغرق.

2. يتم تطبيق قوة ثابتة على سيارة لمسافة 13 m، مع إهمال الاحتكاك. تكتسب السيارة خلال هذه المسافة طاقة مقدارها 91 J. ما أقل قيمة متوسّطة للقوة المُستخدَمة؟

a. $F=\frac{W}{d}=\frac{91}{13}=7\ \text{N}$

3. يتسابق كل من سعيد وناصر إلى أعلى تلّة، فيصلان خلال الفترة الزمنية نفسها. يزن سعيد 600 N، أما ناصر فوزنه 500 N. أي عبارة من العبارات الآتية هي الصحيحة حول القدرة المُنتجة؟

a. يُنتج سعيد قُدرة أكبر.

4. يبذل علي شُغلًا مقداره 18 J لرفع صندوق 1 kg بسرعة ثابتة. إذا أسقط علي الصندوق بعد رفعه.، فكم ستكون سرعة الصندوق لحظة اصطدامه بالأرض؟

b. $E_k=W=18\ \text{J}$

$$E_k=\frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v=\sqrt{\frac{2E_k}{m}}=6\ \text{m/s}$$

5. كم ستكون الطاقة المختزنة في زنبرك ثابته 500 N/m، إذا انضغط مسافة 0.4 m؟

b. $E=\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}\times500\times(0.4)^2=40\ \text{J}$

6. ما الطاقة اللازمة لتسارع جسم كتلته 90 kg من السكون، وحتى سرعة 13 m/s؟

c. $\Delta E=E_f-E_i$

$$\Delta E=\frac{1}{2}mv^2-0=\frac{1}{2}\times90\times(13)^2=7605\ \text{m/s}$$

7. يقوم عامل الميناء بدفع عربة كتلتها 50 kg إلى ارتفاع 1 m، على طول مسار يبلغ 3 m. كم سيكون الشّغل المبذول في هذه الحالة، إذا أهملنا قوى الاحتكاك؟

b. $Ep = mgh = 50 \times 9.8 \times 1 = 490\ \text{J}$

8. يقف أحمد على قمّة مبنى ارتفاعه 10 m، حاملًا بيده كرة بولينغ كتلتها 7 kg. قام مازن بإحداث حفرة عمقها 2 m، قرب أسفل المبنى. كم ستكون طاقة الوضع التجاذبيّة لكرة البولينغ بالنسبة إلى قاع الحفرة؟

d. $E=mgh=7\times9.8\times(10+2)=823.2\ \text{J}$

9. أي من مخطّطات تدفّق الطاقة الآتية يصف مسار طاقة تغذية المصباح الكهربائي لصفّك؟

d. الطاقة الكيميائية > الطاقة الكهربية > الطاقة الضوئية.

10. رُمِيَت كرة كتلتها 15 kg رأسيًّا إلى الأعلى بسرعة 12 m/s. ما أعلى ارتفاع تبلغه الكرة؟

c. $mgh = \frac{1}{2} mv^2$

$9.8 \times h = \frac{1}{2} \times (12)^2$

$h = 7.34 \text{ m}$

11. وُضِعَت كرة كتلتها 0.70 kg على زنبرك رأسي ثابته 200 N/m، فانضغط مسافة 40 cm. كم سيكون الارتفاع الذي تبلغه الكرة فوق نقطة البدءِ حين نقوم بتحرير الزنبرك؟

b. $E_k = E_p$

$mgh = \frac{1}{2} kx^2 \quad 0.7 \times 9.8 \times h = \frac{1}{2} \times 200 \times (0.4)^2$

$h = \frac{200 \times 0.16}{2 \times 0.7 \times 9.8} = 2.3 \text{ m}$

12. في نموذج لسيّارة، تُصرف حوالي 65 % من طاقة الوقود بشكل إشعاعي كحرارة، ويكون 13 % من استهلاكها على شكل شغل لتحريك السيّارة، وتُصرف 10 % للتغلّب على قوى الاحتكاك، وتُصرف 7 % عندما لا تتحرّك، و5 % لتشغيل بعض أجهزتها (كالمكيّف مثلًا). ما كفاءة نموذج السيّارة هذا؟

a. $\frac{13}{100} = 13\%$

13. مصباح قدرته 40 W يفقد 34 J من الطاقة كل ثانية بتسخين محيطه. ما كفاءة المصباح؟

$\eta = \frac{E_{\text{خارجة}}}{E_{\text{داخلة}}}$

b. $40 - 34 = 6$

b. $\eta = \frac{6}{40} = 15\%$

14. رجل كتلته 70 kg يريد أن يتسلّق أعلى منحدر صخري ارتفاعه 900 m. ولا يستخدم وسائل الأمان والسلامة، فإذا سقط من أعلى المنحدر، كم ستكون سرعته لحظة وصوله إلى الأرض؟

c. $\frac{1}{2} mv^2 = mgh$

$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{(2 \times 9.8 \times 900)} = 132.8 \text{ m/s}$

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

15. كم يلزم من الشُّغل للحفاظ على ثِقل بشكل ساكن فوق الرأس لمدة 10 s؟

لا يبذل أي شغل إذا لم نحرِّك الجسم.

16. تتحرّك سيّارة على طريق أفقية من دون تشغيل محرِّكها. وتتعرَّض لقوة تعاكس حركتها، مقدارها 530 N؛ فتتوقف بعد قطعها 84 m. احسب الشُّغل المبذول من القوة المعاكسة على السيّارة.

$$W = Fd\cos 180 = -530(84) = -44{,}520 \text{ J}$$

17. يتمدّد كل من الخيط وحبل النايلون بشكل طفيف، لدى سحب أي منهما بقوة معتدلة. إذا طبّقنا القوة نفسها على زنبرك، فإنه يتمدّد بشكل أكبر من الحبل والخيط. كيف نقارن ثابت الخيط والحبل مع ثابت الزنبرك؟

ثابت كل من الخيط وحبل النايلون أكبر كثيرًا من ثابت الزنبرك، لأن كل منهما بحاجة إلى قوة كبيرة لكي يحقّق الاستطالة نفسها للزنبرك لكنهما يختلفان عن الزنبرك في الخصائص المرونية، ولا يتحملان قوى شد كبيرة.

18. يتجادل أَخَوان يقيمان في طابق علوي حول طاقة الوضع التجاذبية لتلفاز كتلته 10 kg معلّق على الحائط. يدّعي الأول أنّ التلفاز موجود على ارتفاع 2 m من الأرض، وبالتالي تكون طاقة وضعه: $10\,\text{kg} \times 9.8\,\text{N/kg} \times 2\,\text{m} = 196\,\text{J}$ أمّا الثاني فيقول: بما أنّنا في الطابق العلوي، سيكون التلفاز على ارتفاع 12 m فوق الأرض؛ فتكون طاقة وضع التلفاز: $10\text{ kg} \times 9.8\text{ N/kg} \times 12\text{ m} = 1{,}176\text{ J}$. أي الأَخَوين كان مُحقًّا؟ اشرح ذلك.

كلاهما محق، لأن مقدار طاقة الوضع التجاذبية يعتمد على اختيار الإطار المرجعي.

19. تَقِفُ مواجهًا للحائط على حذاء انزلاقي، وتقوم بدفع الحائط فتتحرّك بعيدًا عنه. ناقش إن كانت القوة التي يؤثر بها الحائط في جسمك قد بذلت أيّ شُغل.

إذا كان الحائط صُلبًا وثابتًا في مكانه، فإنه لن يتحرَّك رغم ضغطك عليه وبالتالي يكون الشغل المبذول صفرًا، لأن نقطة تطبيق القوة لم تتحرَّك. إلا أن طاقة حركة عضلاتك تزداد لأنك عندما تضغط على الحائط، تحوَّل طاقة الوضع في عضلاتك إلى طاقة حركية.

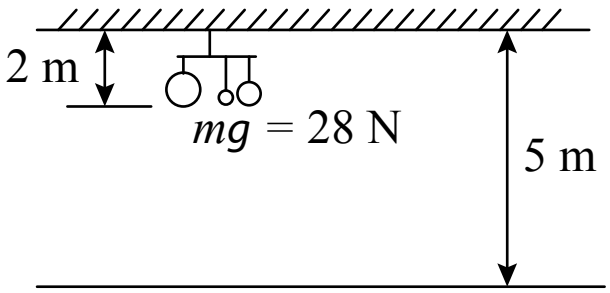
20. ما طاقة الوضع المرونيّة لحزام مطّاطي ثابت مرونته 25.0 N/m، في حال تمدُّده بمقدار 10 cm عن موضعه الأصلي؟

$$E_E = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(25)(0.1)^2 = 0.125\,\text{J}$$

21.* ما الطاقة الحركيّة لطائر كتلته 0.6 kg يحلّق بسرعة 15 m/s؟

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0.6)(15^2) = 76.5\,\text{J}$$

22.** مصباح كهربائي وزنه 28 N معلق على مسافة 2 m أسفل سقف الغرفة، الذي يرتفع 5 m عن الأرض. احسب طاقة الوضع التجاذبية للمصباح بالنسبة إلى الأرض، ثمّ بالنسبة إلى السقف، ثمّ بالنسبة إلى نقطة تقع عند ارتفاع المصباح؟

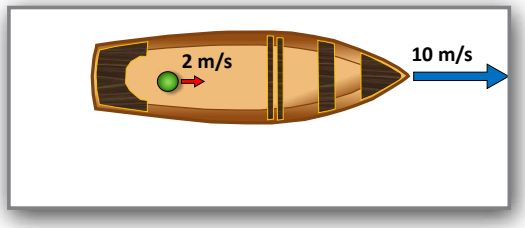


طاقة الوضع التجاذبية بالنسبة إلى سطح الأرض: $E_{pG} = 28(5 - 2) = 84\ \text{J}$

طاقة الوضع التجاذبية بالنسبة إلى السقف: $E_{pG} = 28(-2) = -56\ \text{J}$

طاقة الوضع التجاذبية بالنسبة إلى نقطة عند ارتفاع المصباح: $E_{pG} = 28(0) = 0\ \text{J}$

23.** كرة كتلتها 150 g تتدحرج باتجاه الشمال بسرعة 2 m/s على ظهر قارب. إذا كان القارب نفسه يتحرك باتجاه الشمال أيضًا، بسرعة 10 m/s بالنسبة إلى جزيرة قريبة.



a. ما مقدار الطاقة الحركيّة للكرة بالنسبة إلى الإطار المرجعي (القارب)؟

الكتلة $m = 0.15\ \text{kg}$، السرعة $v = 2.0\ \text{m/s}$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0.15)(2)^2 = 0.3\,\text{J}$$

b. ما مقدار الطاقة الحركيّة للكرة بالنسبة إلى الإطار المرجعي (الجزيرة)؟

الكتلة $m = 0.15\ \text{kg}$، السرعة $v = 12\ \text{m/s}$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0.15)(12)^2 = 10.8\,\text{J}$$

الدرس 3-2: حفظ الطاقة

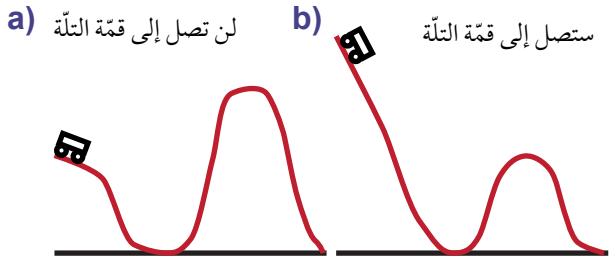
24. وفقًا لقوانين الفيزياء، لا يمكن استحداث الطاقة أو إفناؤها، ذلك أن محتوى الكون من الطاقة يبقى ثابتًا. فلماذا نحن قلقون إذاً حول نفاد الطاقة وصعوبة توفيرها؟

في حين أن الطاقة الكلية للكون ثابتة إلا أن بعض أشكال الطاقة كالغاز والنفط والكهرباء هي محدودة على الأرض من خلال الموارد والتكلفة.

25. تنطلق عربة أفعوانيّة من السكون من تلّةٍ أولى على مسارها.

a. ارسم شكلاً يظهر العربة مع تلّة ثانية لا يمكن للعربة الوصول إلى قمتها.

b. ارسم شكلاً آخر يُظهر العربة على مسار مختلف، وتلّة ثانية يمكن للعربة الآن الوصول إلى قمّتها.



26. ألقيت كرة تنس وكرة بولينغ بشكل مُنفصل، بطريقة تسمح لهما بامتلاك الطاقة الحركيّة نفسها، عند الوصول إلى الأرض. هل جرى إلقاؤهما من الارتفاع نفسه أم من ارتفاعين مختلفين؟ إذا كانت إجابتك هي الثانية، فأي من الكرتين ألقيت من النقطة ذات الارتفاع الأعلى؟

لأن كتلة كرة التنس أصغر، فيجب أن تُلقى من ارتفاع أعلى، لكي تحقّق الطاقة الحركية نفسها لكرة البولينج. لذلك تلقى من ارتفاع أعلى لتتسارع لوقت أطول.

27*. قالب كتلته 1.0 kg يسقط من أعلى حافة ارتفاعها 44 m، ليصل إلى الأرض بعد 3.0 s.

a. جد السرعة النهائيّة للقالب، مستخدمًا معادلات الحركة.

$$v = \cancel{v_0} + gt = (9.8)(3) = 29.4 \text{ m/s}$$

b. جد السرعة النهائيّة للقالب، مستخدمًا حفظ الطاقة.

$$\cancel{E_{ki}} + E_{pi} = E_{kf} + \cancel{E_{pf}}$$

$$\cancel{m}gh_i = \frac{1}{2}\cancel{m}v_f^2$$

$$gh_i = \frac{1}{2}v_f^2 \Rightarrow v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9.8)(44)} = 29.4 \text{m/s}$$

28.* تتحرّك عربة كتلتها 200 kg على مسار أفعوانيّ عديم الاحتكاك، فتمر من نقطة على ارتفاع 15 m فوق الأرض بسرعة 10 m/s. كم تكون سرعة العربة، عندما يصبح ارتفاعها عن الأرض 5 m؟

الكتلة $m = 200$ kg، السرعة الابتدائية $v_i = 10$ m/s، الارتفاع الابتدائي = 15m، الارتفاع النهائي = 5m، تسارع الجاذبية = 9.8 m/s^2

$$E_{ki} + E_{pi} = E_{kf} + E_{pf}$$

$$\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f$$

$$\frac{1}{2}200(10)^2 + (200)(9.8)(15) = \frac{1}{2}(200)v_f^2 + 200(9.8)(5)$$

$$v_f^2 = 296 \Rightarrow v_f = 17.2\text{m/s}$$

29.* تبلغ كتلة كريم 80 kg. تناول قطعة من الشوكولاتة طاقتها 1,000 J. إذا اعتبرنا أنّ جسم كريم قادر على تحويل الطاقة الموجودة في الشوكولاتة بكاملها إلى طاقة حركيّة، فما هي أقصى سرعة يستطيع الركض بها؟

الكتلة $m = 80$ kg; $E_k = 1000$ J

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

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2(1000)}{80}} = 5\text{m/s}$$

30.* ينزلق قالب كتلته 3 kg على سطح خشن بسرعة ابتدائية 6 m/s، ليتوقّف بعد قطعه مسافة 15 m. احسب قوة الاحتكاك.

الكتلة $m = 3$ kg، السرعة الابتدائية $v_i = 6$ m/s، السرعة النهائية $v_f = 0$ m/s، المسافة المقطوعة $d = 15$ m.

الشغل المبذول لقوة الاحتكاك $W = -Fd = -F(15)$

هذا الشغل ينتج منه تغيُّر في الطاقة الحركية:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}m\cancel{v_f^2}^{0} - \frac{1}{2}mv_i^2 = 0 - \frac{1}{2}(3)(6)^2 = -54\text{J}$$

$$-F(15) = -54\text{ J}$$

$$F = 3.6\text{ N}$$

31. يقفز سبّاح كتلته 60 kg عن لوح القفز نحو الأعلى بسرعة ابتدائيّة 5 m/s. إذا كان ارتفاع لوح القفز 10 m فوق سطح الماء. ما سرعة السبّاح بعد القفز، لحظة وصوله إلى سطح الماء؟

الكتلة $m = 60$ kg، السرعة الابتدائية $v_i = 5$ m/s، الارتفاع $h = 10$ m

$$E_{ki} + E_{pi} = E_{kf} + E_{pf}$$

$$\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$\frac{1}{2}60(5)^2 + (60)(9.8)(10) = \frac{1}{2}(60)v_f^2$$

$$v_f^2 = 221 \Rightarrow v_f = 14.9\text{m/s}$$

الدرس 3-3: القدرة والكفاءة

32. هل يمكن بذل طاقة كبيرة بقدرة قليلة جدًّا؟ كيف يحدث ذلك؟

يمكن حدوث ذلك إذا بذلنا طاقة كبيرة على امتداد فترة زمنية طويلة جدًا.

33. أعط تقديرًا لأصغر قُدرة تلزم لرفع كتلة 60 kg رأسيًّا نحو الأعلى مسافة 14 m، خلال 5 s.

الكتلة $m = 60$ kg، المسافة $d = 14$ m، الزمن $t = 5$s

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \times d}{t} = \frac{60(9.8)(14)}{5} = 1646\text{W}$$

34. يُنتج محرِّك كهربائي صغير قوة 5 N، فتحرّك سيّارة تعمل على جهاز التحكُّم مسافة 5 m كل ثانية. ما القُدرة التي ينتجها المحرّك؟ أعطِ إجابتك بوحدتَي الواط والحصان.

القوة $F = 5$N، المسافة $d = 5$m، الزمن $t = 1$s

$$P = \frac{E}{t} = \frac{W}{t} = \frac{F \times d}{t} = \frac{5 \times 5}{1} 25\text{W}$$

$$25\text{W} \times \left(\frac{1\text{hp}}{746\text{W}}\right) = 0.033\text{hp}$$

35. ما أقصى ارتفاع يمكن أن يبلغه صندوق كتلته 10 kg خلال 5 s، وذلك عن طريق دفعه بوساطة محرّك قدرته 5 hp؟ يمكنك اعتبار المحرّك جهازًا ميكانيكيًّا مثاليًّا (كفاءته 100%) في نقل الطاقة.

القدرة = 5hp، الكتلة $m = 10\text{kg}$ ، الزمن $t = 5\text{s}$ تسارع الجاذبية $g = 9,8\ \text{m/s}^2$

الإجابة

$$P = 5hp \times \left(\frac{746\text{W}}{1\text{hp}}\right) = 3,730\text{W}$$

$$E = Pt = 3,730 \times 5 = 18,650\text{J}$$

$$E_p = mgh \Rightarrow h = \frac{E_p}{mg} = \frac{18,670}{(10)(9.8)} = 190\text{m}$$

36. يسقط فتى كتلته 60 kg عن ارتفاع 20 m فوق سطح مستخدمًا مظلة صغيرة تجعل مقاومة الهواء كبيرة. عند وصوله إلى سطح الأرض كانت سرعته 2 m/s.

a. احسب كفاءة مظلته في تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركيّة.

الارتفاع $h = 20\text{m}$، الكتلة $m = 60\text{kg}$، السرعة $v = 2\text{m/s}$

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{E_k}{E_p} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{mgh} = \frac{\frac{1}{2}(60)(2)^2}{(60)(9.8)(20)} = 1\%$$ **الإجابة**

b. احسب الطاقة التي اكتسبها محيطه جرّاء قفزته.

$$\Delta E = \Delta E_k + \Delta E_{surroundings} + \Delta E_p = 0$$

$$\Delta E_{surroundings} = -\Delta E_k - \Delta E_p$$

$$\Delta E_{surroundings} = -\frac{1}{2}mv^2 - (-mgh)$$

$$\Delta E_{surroundings} = -\frac{1}{2}60(2)^2 + (60)(9.8)(20)$$

$$\Delta E_{surroundings} = -120 + 11,760 = 11,640\text{J}$$ **الإجابة**

37. تتصف كُرَةٍ مطاطيّة بأن لها كفاءة ارتداد تبلغ 80% ، أي إنّها تحافظ على 80% من طاقتها الحركيّة بعد الارتداد، بينما يتحوّل الجزء المتبقّي إلى طاقة حرارية.

a. إذا سقطت الكرة من ارتفاع 5 m، فكم سيكون الارتفاع الذي تبلغه الكرة بعد أول ارتداد؟

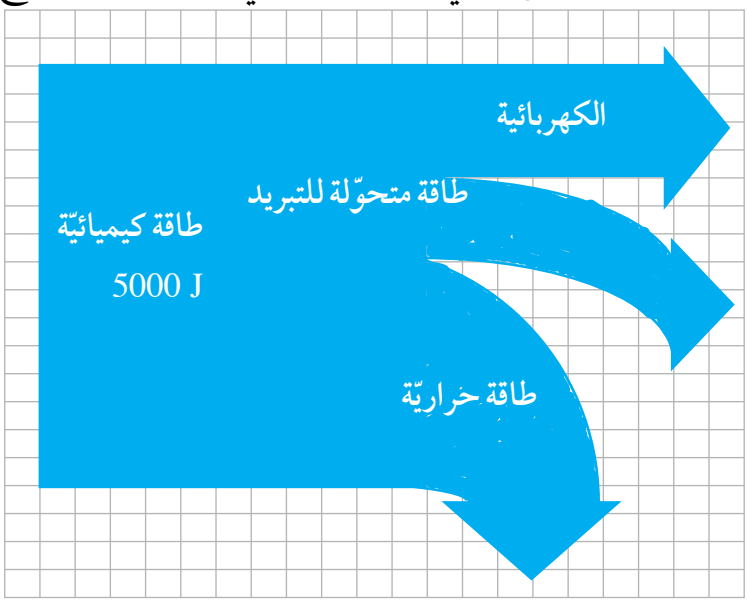
تفقد الكرة 20% من طاقتها الحركية مع كل ارتداد، وبسبب قانون حفظ الطاقة ستتناقص قيمة الطاقة الكلية للكرة. تفيدنا طاقة الوضع التجاذبية بمعرفة الارتفاع الذي ستصل إليه الكرة بعد كل ارتداد (*mgh*). وحيث إن طاقة الوضع تتناسب مع الارتفاع، فإن ما تبقى من طاقة يكون 80% من قيمتها سيؤدي إلى الارتفاع بعد الارتداد بالمقدار.

أي إن $80\% \times 5\text{m} = 4\text{m}$

b. ما الارتفاعات التي تصل الكرة بعد الارتداد الثاني، والثالث، والرابع؟

$80\% \times 4\text{ m} = 3.2\text{ m}$، $80\% \times 3.2\text{ m} = 2.56\text{ m}$ و $80\% \times 2.56\text{ m} = 2.05\text{ m}$

***38.** يُظهر الشكل الآتي مخطّط سانكي لمحطّة طاقة تُنتج طاقة كهربائيّة.



a. ما قيمة الطاقة الكهربائيّة التي تُنتجها المحطَّة.

15مربّعًا = 5,000 J

المربع الواحد = 333 J

الطاقة الكهربائية هي 4 مرّبعات. لذلك $4 \times 333 = 1{,}332$ J

b. ما قيمة الطاقة المُستخدمة في المبرّد؟

المبرد 3 مربّعات، أي $3 \times 333 = 999$ J

c. ما قيمة الطاقة الحراريّة المفقودة في تسخين الوسط على شكل غازات؟

ما تبقى من الرسم البياني هو غازات ضائعة

مربعات 15 − 7 = 8

333 × 8 = 2,664 J

d. ما كفاءة محطَّة الطاقة؟

الكفاءة هي نسبة الطاقة الكهربائية الناتجة من المحطة إلى الطاقة الكلّية، أي

$$\eta = \frac{1{,}332}{5{,}000} = 26.6\%$$

39. نظام لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، كفاءة تحويله تساوي 15% تغطي ألواحه مساحة $10\ m^2$. فإذا كانت شدّة الإشعاع الشمسي تصل في يومٍ صافٍ إلى حوالي $600\ W/m^2$.

a. ما قيمة الطاقة الشمسية المُجمّعة خلال ساعة واحدة؟

القدرة على كامل المساحة: $P = 600 \times 10 = 6000\ W$

الطاقة الكلّية في ساعة واحدة: $W = Pt = 6000 \times 3600 = 2.16 \times 10^7\ J$

b. ما الفترة الزمنية التي تستطيع فيها هذه المحطة إضاءة مصباح كهربائي واحد قدرته 25 W؟

القدرة $P = 25\ W$، الطاقة $E = 2.16 \times 10^7\ J$

الإجابة $P = \frac{E}{t} \Rightarrow t = \frac{E}{P} = \frac{2.16 \times 10^7}{25} = 864{,}000\,s = 240\ h$

c. تستخدِم مقصورة ذات فاعليّة كبيرة حوالي 400 W من الطاقة كل 24 ساعة. فهل بإمكان المحطة تزويد المقصورة بالقدرة المتوسّطة اللازمة؟

القدرة الكهربائية الناتجة من المحطة هي P_{out}، وهي 15% من القدرة الإشعاعية P_{in}

الإجابة $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{out} = P_{in} \times \eta = (600 \times 10)(0.15) = 900W$

فنظام القدرة الشمسية يعطي 900 W، وهي أكثر من الـ 400 W اللازمة.

40.* تبدأ سيارة كتلتها 1,500 kg حركتها من السكون، بوساطة قوة مقدارها 2,000 N تؤثر في السيّارة لمسافة 20 m . بعد قطع هذه المسافة، تكون سرعة السيارة 5 m/s، وتنتقل إلى الوسط المحيط طاقة حراريّة قيمتها 21,250 J.

a. هل كانت الطاقة محفوظة؟

الكتلة $m=1500\text{kg}$، قوة السيارة $F=2000\text{N}$، المسافة $d=20\text{m}$، سرعة السيارة $v=5\text{m/s}$، $\Delta E_{\text{thermal}}=21250\text{J}$

$$\Delta E=\Delta E_k+\Delta E_{thermal}+\Delta E_{car}=0$$

$$-\Delta E_{car}=\Delta E_k+\Delta E_{thermal}$$

$$F_{car}d=\frac{1}{2}mv^2+\Delta E_{thermal}$$

$$(2000)(20)=\frac{1}{2}(1500)(5)^2+21250$$

$$40{,}000\,\text{J}=40{,}000\,\text{J}$$

نعم الطاقة محفوظة، فالسيارة استهلكت 40,000 J، حوَّلت 37500 J إلى طاقة حركية، في حين أن محيط السيارة اكتسب 21250J كطاقة حرارية. وهذا معناه عدم وجود نقص في الطاقة.

b. ما سبب انتقال الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط؟

بسبب الاحتكاك الذي ينشأ بين إطارات السيارة والطريق وينتج طاقة حرارية.

41.* سيّارة مزوّدة بمحرّك قدرته 300 kW، تُحقّق سرعة قصوى مقدارها 280 km/h. احسب قيمة قوة المقاومة على السيارة، عندما تسير بسرعتها القصوى على طول الطريق.

تُستخدَم قدرة السيارة للتغلُّب على قوة الاحتكاك (الثابتة المقدار) لكي تتابع السيارة حركتها بسرعة ثابتة.

$$\frac{280\text{km}}{1\text{hr}}=\frac{280{,}000\text{m}}{60\,\text{min}}=\frac{280{,}000\text{m}}{3600\text{s}}=77.78\text{m}/\text{s}$$

$$P=\frac{W}{t}=\frac{F\times d}{t}=F\left(\frac{d}{t}\right)=Fv$$

$$300{,}000\text{W}=\text{F}(77.78\text{m}/\text{s})$$

$$F=3{,}857\,\text{N}$$

وحيث أن سرعة السيارة ثابتة، فإنها تكون في حالة اتزان حركي، أي أن: قوة المقاومة تساوي قوة المحرك. وتساوي 3857 N

42*. يصل معدّل قدرة محرّك مصعد إلى 2500 W.

a. احسب سرعته في الصعود، إذا كانت حمولته تبلغ 1,200 kg.

الكتلة $m=1200kg$، القدرة $p=2500w$، لقد تعلمنا من السؤال السابق أن $p=Fv$

$$F_W=mg=1200\times9.8=11760\ N$$

$$P = Fv \Rightarrow v = \frac{P}{F} = \frac{2500}{11,760} = 0.21\ m/s$$

b. وُجِدَ عمليًّا أن سرعة الحمولة المرفوعة أقلّ من القيمة التي حصلنا عليها نظريًّا. اقترح أسبابًا تبرّر ذلك.

لأننا لم نأخذ في الحسبان أي نوع من الاحتكاك.

43.** يتحرّك عُمر، الذي تبلغ كتلته 60 kg، بدرّاجة سرعتها 15 m/s على تلّة ارتفاعها 3.0 m. يبدأ بالنزول عن التلّة، من دون استخدام الدوّاسات، ومن دون قوّة احتكاك.

a. كم يبلغ تحوّل الطاقة خلال نزول عُمر عن التلّة؟

الكتلة $m = 60kg$، السرعة الابتدائية $v_i=15m/s$، الارتفاع $h=3m$

تزداد الطاقة الحركية أثناء النزول، وبتطبيق قانون حفظ الطاقة نحصل على:

$$E_{Kf} - E_{Ki} = mgh \Rightarrow E_{Kf} = E_{Ki} + mgh$$

$$E_{Kf} = 60 \times 9.8 \times 3 + \frac{1}{2}(60)(15)^2 = 8514\ J$$

b. كم تكون سرعته عند بلوغه قاع التلّة؟

عند بلوغه قاع التلة تكون سرعته v_f بحيث:

$$E_{Kf} = 8514 = \frac{1}{2} mv_f^2 = 30\ v_f^2 \Rightarrow v = 16.8\ m/s$$

44*. يُسيِّر قطار لعبة كتلته 0.3 kg، باستخدام بطارية بسرعة ثابتة تبلغ 0.30 m/s على طول مسار مستوٍ. تبلغ قدرة محرّك القطار 2.5 W، بينما تبلغ قوة إعاقة حركة القطار 4 N. حدّد كفاءة محرّك هذا القطار.

$$P_{out} = \frac{W}{t} = \frac{F \times d}{t} = F\left(\frac{d}{t}\right) = Fv = 4(0.3) = 1.2W$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{1.2}{2.5} = 0.48 = 48\%$$

الاستقصاء والبحث

المنشآت الصناعيّة في قَطَر

ابحث في طُرُق تقليل الطاقة المهدورة (بفعل الحرارة) ، أو المشتّتَة في المنشآت الصناعيّة القطريّة، مثل محطات الطاقة.

- اختر منشأة صناعيّة.
- ابحث وظائفها.
- كم من الطاقة الحراريّة تُهدر عادةً في عمليّة ما؟
- كم من الطاقة الحراريّة تُهدر في هذه المنشأة بالتحديد؟
- هل هناك طريقة مُستخدمة لتقليل الحرارة المفقودة؟
- هل يُستفاد من الحرارة الناتجة من عمليّة ما، في عمليّة أخرى؟
- هل تتشتّت الطاقة عبر المنشأة، لتجنّب الارتفاع في درجة الحرارة؟
- ما نتيجتك النهائيّة حول كفاءة هذه المنشأة؟

نموذج تقييم مشروع البيضة الساقطة	العلامة
المحتوى	
وصف توضيحي لعمل المعمل الصناعي، مع حساب الطاقة المفقودة(الحرارية)، والطاقة المنتجة ومقارنة الطاقة المفقودة مع مصانع أخرى. مناقشة إمكانية التخفيف من الطاقة المفقودة. مناقشة الطرق العملية المتّبعة لخفض درجة حرارة المعمل. كيفية الاستفادة من الحرارة المفقودة. وتحليل لكفاءة المعمل.	5
وصف المعمل من دون الشرح التفصيلي لعمله. تقدير كمية الطاقة المفقودة من دون حسابها. اقتراح طرق لخفض درجة الحرارة، ولكن لفترة وجيزة.	3
ذكر كمية الطاقة المفقودة من دون ذكر الدليل.	1
التصميم	
ترتيب الأفكار المتعدِّدة ذات الصلة مع الحقائق بشكل منطقي، ودعمها بأمثلة متعددة. المفاهيم الرئيسة صحيحة، حيث يمكن للقارئ أن يتَّبع خطًّا منطقيًّا من الإثباتات.	5
فكرة رئيسية على الأقل مرتَّبة بشكل منطقي ومدعومة بأمثلة. لا ترد أخطاء بالمفاهيم الرئيسة، ويمكن للقارئ أن يتَّبع خطًّا منطقيًّا من الإثباتات.	3
ذكر الحقائق من دون أدلة كافية أو أمثلة. قد ترد مفاهيم خاطئة.	1
البناء	
مطبوع بشكل أنيق وقابل للقراءة، مع العديد من الرسوم التوضيحية والجداول والأشكال أو الرسوم البيانية، التي تدعم الأفكار أو الحقائق الرئيسية. القواعد جيدة خالية من الأخطاء الإملائية.	5
أنيق وقابل للقراءة مع رسوم توضيحية قليلة، وترد أخطاء إملائية وقواعدية.	3
مكتوب بشكل رديء، وتكثر فيه الاخطاء الإملائية والقواعدية.	1
المجموع	

أوراق عمل

الاسم ..... التاريخ .....

نشاط 3-1 الشغل المبذول

سؤال الاستقصاء	كيف يؤدّي الشغل إلى تغيير الطاقة؟
الموادّ المطلوبة	مقياس زنبركي أو مستشعر قوة، رباط مطاطي، ورق، شريط لاصق، عصا مترية، مقص.

معرفة سابقة:

- تتسبَّب القوة بتغيُّر في الحركة. في هذه التجربة، تؤثِّر قوة في طائرة ساكنة مُسبِّبة طيرانها لمسافة ما. كلما ازداد مقدار القوة المحرِّكة، ازدادت المسافة التي تقطعها الطائرة.
- $W=Fd$.
- كلما ازداد مقدار الشغل المبذول على الطائرة، ازدادت معه طاقتها الحركية.

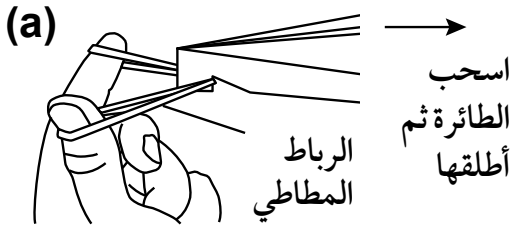
للأمان:

يتطلّب هذا النشاط أن يستخدم الطلاب جميعًا نظّارات واقية.

ملاحظات عملية :

يجب استعمال رابط مطاطي رفيع منعًا لتمزُّق الطائرة الورقية. يكون طول الرابط المناسب 75 - 80 mm ومقطعه 1.6×0.8 mm.
اسحب الرابط المطاطي 3 أو 4 أضعاف طوله، عدّة مرات، قبل استعماله في النشاط، وبدء القياس.

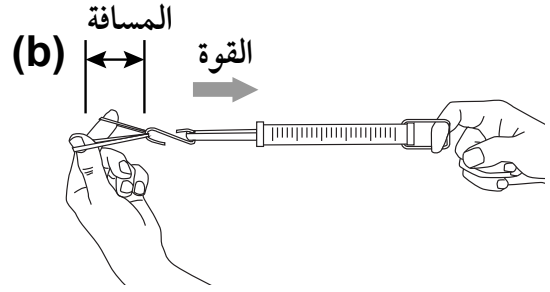
خطوات التجربة:



1. اصنع طائرة ورقية مع شقٍّ في مقدِّمتها.

2. اسحب الرباط المطاطي إلى الخلف، ثم دعْه لإطلاق الطائرة (الشكل a).

3. قدّر سرعة انطلاق الطائرة بمعرفة المسافة التي تقطعها ومدة الطيران.



4. قس القوة الناتجة في الرابط المطاطي لمسافات سحب مختلفة (الشكل b).

5. استخدم بياناتك للتنبؤ بسرعة انطلاق الطائرة بمعرفة الشغل المبذول، لسحب الرباط المطّاطي وإحداث استطالة فيه.

الاسم ..... التاريخ .....

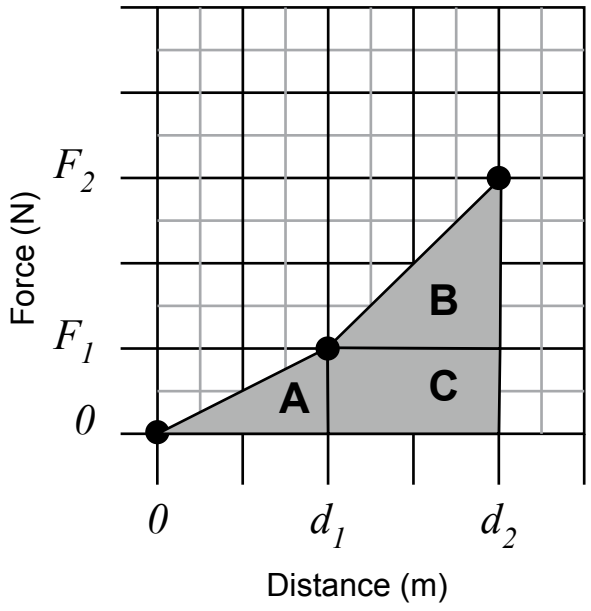
كتلة الطائرة : _____ (kg) _____ (g)

الجدول 1: حساب سرعة الطائرة

تمدُّد الرباط المطاطي (cm or m)	مسافة الطيران (m)	مدَّة الطيران (s)	السرعة المُقدَّرة (m/s)	السرعة المُحتَسبة (m/s) انظر الأسئلة (a, b, c, d)

الجدول 2: الشغل المبذول لاستطالة الرباط المطّاطي

استطالة الرباط(m)	القوة (N)	الشغل المنفذ (J)



الشغل = المساحة المحجوزة تحت الرسم البياني للقوة مقابل الإزاحة (F-d).

Area **A**

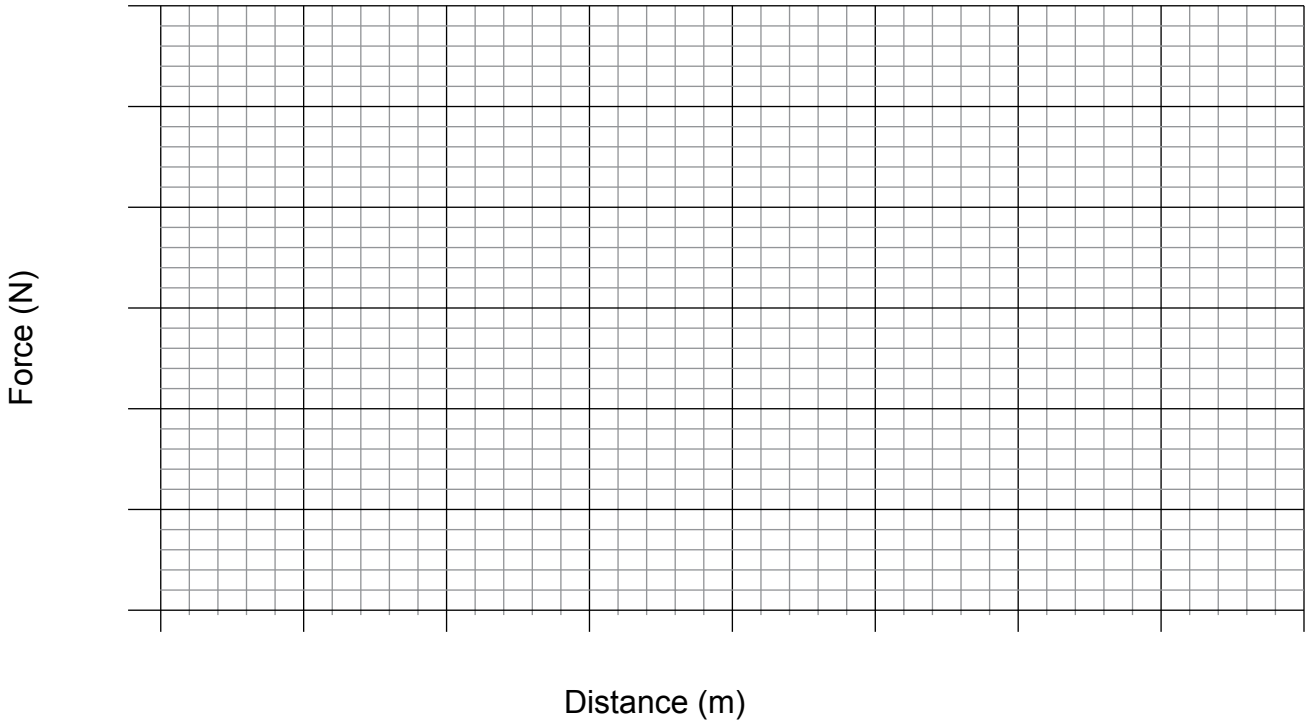
$$W_1 = \frac{1}{2} F_1 d_1$$

Area **A + B + C**

$$W_2 = W_1 + F_1(d_2 - d_1) + \frac{1}{2}(F_2 - F_1)(d_2 - d_1)$$

الاسم ..... **التاريخ** .....

الرسم البياني



الأسئلة

a. اشتق نموذجًا يربط الشغل المبذول على الرابط المطّاطي بسرعة انطلاق الطائرة.

.....

.....

.....

.....

.....

b. مَثِّل بيانيًّا القوة المطبّقة على الرباط المطاطي بدلالة المسافة المقطوعة.

.....

.....

.....

.....

.....

الاسم ..... **التاريخ** .....

c. استخدم المساحة تحت الرسم البياني لحساب الشغل المبذول على الطائرة خلال إطلاقها. ضع البيانات في الجدول 2.

.....

.....

.....

.....

d. احسب أقصى سرعة انطلاق نظرية للطائرة بمعرفة طاقة الرباط المطاطي. ضع النتائج في الجدول 1.

.....

.....

.....

.....

e. قارن بين السرعة التي توقَّعتها والسرعة الناتجة من النموذج. اشرح الأسباب التي قد تؤدّي إلى فروق بين القيمة المتوقَّعة والقيمة النظرية.

.....

.....

.....

.....

الاسم ..... التاريخ .....

نشاط a2-3 تدفُّق الطاقة

سؤال الاستقصاء	كيف تتحوَّل الطاقة من شكل إلى آخر؟
الموادّ المطلوبة	شُعلة غاز، عود ثقاب، بندول مزدوج، كتلتان، زُنبرك، بكرة، خيط، عربتان.

معرفة سابقة:

تتحوَّل الطاقة من شكل إلى آخر. بعض أشكال الطاقة واضحة، وبعضها الآخر يتطلَّب قليلًا من التأمل. في هذا النشاط، سوف نستكشف كيف تُحوِّل الطاقة أشكالها، وذلك بتنفيذ مهمّات مشتركة، وتسجيل ملاحظاتنا.

خطوات التّجربة

1. أوقِدْ شعلة الغاز بعود ثقاب.
تحوُّلات الطاقة، هي:

.....

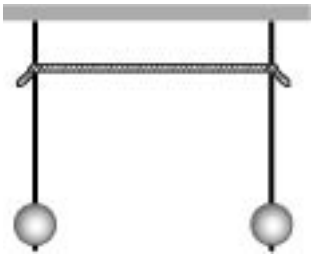
.....

.....

.....

.....

.....



2. ارفع جانبًا واحدًا من البندول المزدوج، ثم دعْه.
تحوُّلات الطاقة، هي:

.....

.....

.....

الاسم ..... **التاريخ** .....

3. اسحب الكُتلة إلى الأسفل، ثم دعها تتحرَّك.

تحوُّلات الطاقة، هي:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. لُفَّ الحبل حول البكرة، وعلِّق الكُتلة به، ثم دعْه يتحرّك.

تحوُّلات الطاقة، هي:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. ادفع عربةً نحو العربة الثانية، حيث تصطدم بها وتُحرّكُها.

تحوُّلات الطاقة، هي:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

الاسم ..... التاريخ .....

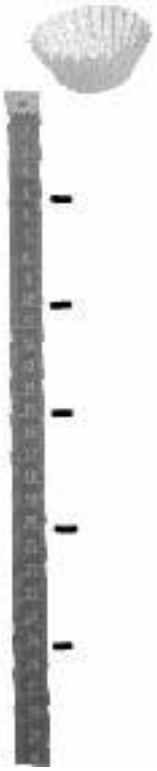
نشاط b3-2 طاقة مصفاة القهوة

سؤال الاستقصاء	كيف تعتمد السرعة النهائية لمصفاة قهوة على الارتفاع؟ احسب طاقة الوضع التجاذبية الابتدائية والطاقة الحركية النهائية، وقارن بينهما.
الموادّ المطلوبة	مصافي قهوة، كاميرات تصوير للسرعات العالية، ورقة مُرقّمة (5cm) طولها متران، عصا مترية، كرسي، حائط طويل وفارغ.

مهارات سابقة:

نظريًّا، تتحوَّل طاقة الوضع التجاذبية لجسم ما أثناء سقوطه إلى طاقة حركية. عند وصول الجسم إلى الأرض، تكون طاقة وضعه التجاذبية قد تحوَّلت إلى طاقة حركية بالكامل، وكلا الشكلين يجب أن يكونا متساويين في المقدار. عمليًّا، هذا ليس صحيحًا. سوف نقوم بإجراء تجربة مخبرية وفحص البيانات المستخلصة لنرى فعليًّا ماذا يحدث عند سقوط مصفاة للقهوة. هل ستتحوَّل كل طاقة الوضع التجاذبية الى طاقة حركية؟

خطوات التجربة:



1. ارسم على ورقة طولها متران خطًّا أفقيًّا كل 5 cm، ثم علّقها على الحائط.
2. اختر عدَّة ارتفاعات لنقطة انطلاق مصفاة القهوة.
3. ضع الكاميرا أمام الورقة، حيث تستطيع أن تلحظ كل المسافات التي تقطعها مصفاة القهوة، وتصوّرها.
4. قف على الكرسي، والتقط المصفاة بيدك، وضعها على العلامة 0 cm للورقة المُعلَّقة.
5. دعِ المصفاة من يدك، وابدأ بتسجيل الفيديو.
6. أوقف التسجيل عندما تصل المصفاة إلى نهاية الورقة.
7. أعد الخطوات 6 – 4 مع تغيُّر الموقع الأوّلي بزيادة 5 cm في كل مرة، بمعنى أنك تقلِّل الارتفاع. كرِّر المحاولة لأربعة ارتفاعات مختلفة.

الاسم ..... **التاريخ** .....

أسئلة

a. استخدم تسجيلات الكاميرا، لكي تدوِّن على جدول الأوقات المسجَّلة لحظة عبور المصفاة نهاية الورقة.

b. سجِّل المسافات التي قطعتها المصفاة، ثم احسب السرعة بتحليل المعطيات المتوافرة (يمكن للمعلّم مساعدتك في ذلك).

c. احسب طاقة الوضع التجاذبية الابتدائية، باستخدام الارتفاعات التي دوّنتها.

d. احسب الطاقة الحركية النهائية، باستخدام السرعات التي حسبتها.

e. قارن بين قيم الطاقتين المحتسبة في البندين c و d. هل القيم متساوية؟ إذا كانت القيم مختلفة، فاذكر سبب ذلك.

النتائج:

المدة (s)	المسافة (m)	السرعة (m/s)	طاقة الوضع التجاذبية (J)	الطاقة الحركية(J)

الاسم ..... التاريخ .....

نشاط a3-3 كم تبلغ قدرتك؟

سؤال الاستقصاء	ما القدرة التي تنتجها عضلاتك عندما تثني ذراعك؟
الموادّ المطلوبة	كتلة 500 g ، شريط قياس أو مسطرة ، ساعة إيقاف

مهارات سابقة:

تحسب القدرة الناتجة بمعرفة كمّيّة الشغل المبذول، والمدة التي تم فيها بذل الشغل.
يمكن حساب الشغل المبذول بسهولة إذا عرفنا مقداريِ القوة والمسافة. ستكون القوة في هذه التجربة هي وزن الكتلة المستعملة. تذكَّر أن تعبِّرعنها بوحدة نيوتن، لاحتساب الشغل المبذول.

خطوات التجربة:

1. قس طول ذراعك بمساعدة زميلك، كما هو مبيّن في الشكل 29 –3 .
2. احسب الشغل المبذول لرفع كتلة 500 g بمقدار طول ذراعك (تلميح: أنت بحاجة إلى الصيغة $F = d \times W$. تذكّر أن تحوّل الكتلة إلى وزن). هذه هي كمية الطاقة التي تبذل خلال ثني الذراع مرة واحدة.
3. الآن، وبمساعدة زميلك وساعة إيقاف، قم بإحصاء عدد مرات ثني الذراع التي يمكنك إنجازها في 60 s .
4. اقسم 60 s على عدد مرات ثني الذراع للحصول على زمن ثني الذراع في المرة الواحدة .
5. اضرب زمن ثني الذراع للمرة الواحدة في الطاقة المبذولة في ثني الذراع لمرة واحدة، لحساب قدرة الذراع.
6. كرّر خطوات النشاط باستخدام كتل مختلفة.

الاسم ..... **التاريخ** .....

النتائج:

	طول الذراع (**m**)	الكتلة المستخدمة (**kg**)	الشغل المبذول لثنية ذراع واحدة (**J**)	الشغل الكلّي المبذول (**J**)	القدرة (**W**)
المحاولة 1					
المحاولة 2					
المحاولة 3					

أسئلة :

a. ما هي، في رأيك، الدقة في إجابتك؟

.....

.....

.....

b. اقترح ثلاثة أشياء يمكنك القيام بها لتحسين إجابتك.

.....

.....

.....

c. اقترح طريقتين يمكنك من خلالهما زيادة القدرة التي تنتجها عضلاتك.

.....

.....

.....

d. هل يمكنك التفكير في طريقة أخرى لحساب قدرة شخص؟

.....

.....

.....

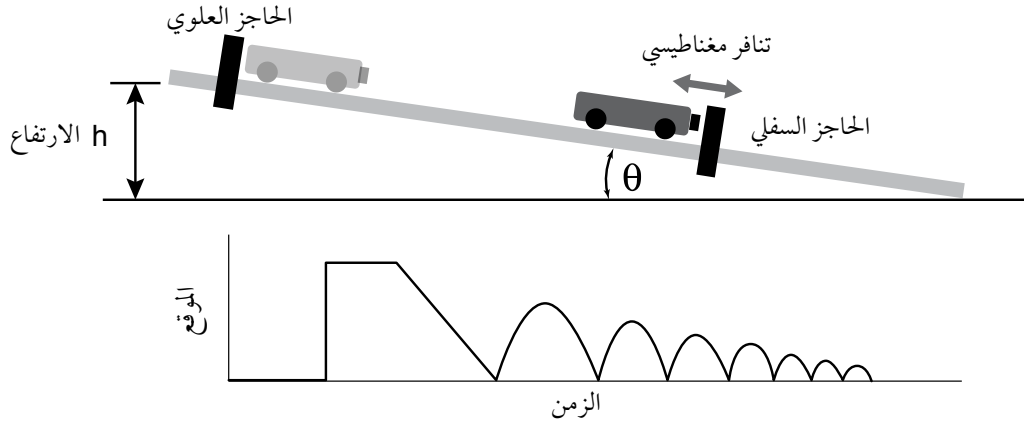
الاسم ..... التاريخ .....

نشاط b3-3 الكفاءة

سؤال الاستقصاء	ما كفاءة التصادم؟
الموادّ المطلوبة	عربة مزوَّدة بماص صدمات مغناطيسي، مستشعر قوة وموقع، مضمار ميكانيكي مزوَّد بماص صدمات مغناطيسي

مهارات سابقة:

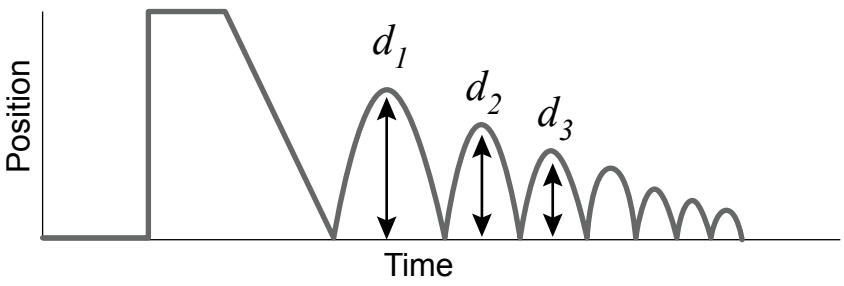
بالاستناد إلى مبدأ حفظ الطاقة، يتأرجح البندول إلى الأمام وإلى الخلف الى ما لا نهاية. ولكن هذا مغاير للواقع.حيث أن البندول يخسر مع كل دورة تأرجح جزءًا من طاقته الحركية لتتحوَّل إلى طاقة حرارية في الهواء. لكن إذا تحوَّلت كل الطاقة المفيدة لجسم ما من دون هدر، فيكون النظام عندها فعّالًا 100%. في هذه التجربة سنلاحظ ونحسب مدى كفاءة المجال المغناطيسي في صدّ عربة.



خطوات التجربة:

1. جهِّز المضمار، وثبّته عند زاوية θ صغيرة جدًّا. قِس الارتفاع والطول لحساب الزاوية.
2. ثبِّت الحاجز المغناطيسي السفلي عند أسفل المنحدر، ليتنافر مع العربة. ثبِّت الحاجز العلوي عند منتصف المنحدر تقريبًا.
3. أنشئ رسمًا بيانيًّا لمنحنى الموقع على المنحدر (المحور الرأسي) بدلالة الزمن (على المحور الأفقي).
4. ثبِّت العربة عند الحاجز السفلي، وابدأ بجمع البيانات، ثم انقلها إلى الحاجز العلوي ودعْها لتسقط على المنحدر.
5. ستحصل على عدة تصادمات بين العربة والحاجز السفلي، نتيجة لماص الصدمات، وسيكون رسمك البياني شبيهًا بالرسم أعلاه.

الاسم ..... **التاريخ** .....



تغيير الارتفاع العمودي:

$$h_1 = d_1 \sin\theta$$

طاقة الوضع التجاذبية

$$E_1 = mgh_1$$

الكفاءة

$$\varepsilon_1 = \frac{E_2}{E_1}$$

الجدول 1: بيانات الكفاءة

الارتداد	المسافة (m) d	تغيُّر الارتفاع (m) h	كتلة العربة (kg)	طاقة الوضع (J)	الكفاءة (%)
1					
2					
3					
4					
5					

الأسئلة والتحليل

a. احسب زاوية ميل θ بدلالة طول المنحدر وارتفاعه.

.....

.....

.....

b. قِس ارتفاع كل قيمة قصوى على الرسم البياني، بعد كل تصادم، واحصل على الارتفاع الرأسي للعربة.

.....

.....

.....

الاسم ..... **التاريخ** .....

c. احصل على طاقة الوضع التجاذبية للعربة، عند كل قيمة قصوى، على الرسم البياني ،وذلك بمعرفة الكتلة والارتفاع.

.....

.....

.....

d. استخدم بياناتك لحساب الكفاءة في نقل الطاقة بين المجال المغناطيسي والعربة عند كل تصادم.

.....

.....

.....

e. صف تغيُّر الكفاءة مع الطاقة.

.....

.....

.....

الشكر والتقدير

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

Kateryna Kon /Shutterstock; hfgimages/Shutterstock; Cal Holman/GI; AppleZoomZoom/Stutterstock; GualtieroBoffi Merdan/Shutterstock; Davide Sarrus/ Shutterstock; Panos Karras/ Shutterstock; KrimKate/ Shutterstock; Mario Savioa/ Shutterstock; Spaskov/Shutterstock; LeonidAndronov/Shutterstock; PlavUSA87/ Shutterstock; NatureArt/ Shutterstock; KristpovBurgstadt/ Shutterstock; SimoneN/ Shutterstock; MrsYa/Shutterstock; vnlit/Shutterstock; travelerpix/ Shutterstock; petarg/Shutterstock; montreep/Shutterstock; EverettHistorical/Shutterstock; Phongphan/Shutterstock; MarcoTomasini/Shutterstock; BigChem/Shutterstock; ColinHayes/Shutterstock; designhua/ Shutterstock; EricIsalee/ Shutterstock; Amineaya/Shutterstock; JoseLuisCalvo/Shutterstock; kurhan/Shutterstock; Lebenkulturen.de/Shutterstock; Peter Olsonn/Shutterstock; Robynmac/GoGraph; grafvision/ GoGraph; artjazz/ GoGraph; jgroup/ GoGraph; FitreaRamli/ GoGraph; Yanikstock1188/ GoGraph; monkeebusiness/ GoGraph; pixelrobot/ GoGraph; FotoYou123/ GoGraph; Paulista/ GoGraph; tomwang/ GoGraph; michael812/ GoGraph; Kaferphoto/ GoGraph; OleksandrLysenko/ GoGraph; Sparkla/ GoGraph; SURZ/ GoGraph; kadmy/ GoGraph; joebelanger/ GoGraph; Lsaloni/ GoGraph; AlexanderPokeusay/ GoGraph; KumbThong/ GoGraph; 3DSculptor/ GoGraph; Nirodesign/ GoGraph; shotsstudio/GoGraph; believeinme/GoGraph; sframe/ GoGraph; Lonely11/GoGraph; Eraxion/GoGraph; woodoo/GoGraph; mikos/ GoGraph; phillipus/GoGraph; Coprid/GoGraph; PixelChaos/GoGraph; AllenCat/ GoGraph; Andreus/GoGraph; chyennezj/GoGraph; bdspn/GoGraph; ia_64/ GoGraph; AntonioGuillem; /GoGraph; Gigava/GoGraph; Krisdog/GoGraph; malajski/ GoGraph; 4374344sean/GoGraph; alila/GoGraph; normaals/GoGraph; Jaron Ontakrai/Shutterstock; Maxx-Studio/Shutterstock; WikipediaCreativeCommons; SergeiteLegin/GoGraph; elippigraphica/Shutterstock; Pop Paul Catain/Shutterstock; magann/GoGraph; Prykhodov/GoGraph; ronstik/GoGraph; Designus/Shutterstock; Robert Hooke, Micrographia, 1665., Public Domain; Billion Photos/Shutterstock; Woods Hole Oceanographic Institute; NASA; ESA; Halfdark/GettyImages; ifong/ Shutterstock ; petarg/Shutterstock; Matteo Colombo/Getty Images;

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

اهلا وسهلا بكم متابعنا الكرام

نتشرف نحن إدارة منتديات صقر الجنوب التعليمية – المنهاج القطري

ان تتابعونا في موقعنا وعلى جميع مواقع السوشيال ميديا

.....

صفحتنا على الفاسبوك: اضغط هنا للدخول

مجموعتنا على الفيس بوك : اضغط هنا للدخول

قنوات اليوتيوب :. اضغط هنا للدخول

قناتنا على التلقرام :. اضغط هنا للدخول

www.jnob-jo.com