الفيزياء

كتاب الطالب

المستوى الحادي عشر

PHYSICS

STUDENT BOOK

GRADE 11

الفصل الدراسي الأول - الجزء الثاني

FIRST SEMESTER - PART 2

2020 - 2019

(نسخة تجريبية - Trial version)

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتّعاون مع شركة باسكو العلميّة.

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2019-2020 م

النشيد الوطني

قَسَـمًا بِمَـنْ رَفَـعَ السَّـمَاءْ قَسَـمًا بِمَـنْ نَشَـرَ الضِّـيَاءْ
قَطَـرٌ سَتَبْـقَى حُـرَّةً تَسْمُـو بِـرُوحِ الأَوْفِـيـاءْ
سِـيرُوا عَـلَى نَـهْـجِ الأُلَـى وَعَـلَى ضِيَـاءِ الأَنْبِـيَاءْ
قَطَـرٌ بِقَـلْـبِي سِـيرَةٌ عِـزٌّ وَأَمْجَـادُ الإِبَـاءْ
قَطَـرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِـين حُمَـاتُنَـا يَـوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَـائِـمٌ يَـوْمَ السَّـلاَمْ جَـوَارِحٌ يَـوْمَ الفِـدَاءْ

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة التّوجيه التّربويّ

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطّلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجون إليها للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طلّابنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانيّة، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقيّة والقيم الإنسانيّة.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسيّة بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة الّتي تتوافق مع أعمار الطّلاب، والّتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدّراسيّة لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطّلّاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ممّا يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.

- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوّع والتّطوّر.
- تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعًا جديدًا، منطلقًا ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطّلّاب، في كلِّ درسٍ، للتّحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.
- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم الوحدة الّتي تمكِّن الطّلّاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف الّتي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنَّ العالِم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة الّتي تحتويها.

سوف يساعد هذا الكتاب الطُّلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبليّة.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث
- التّعاون والمشاركة
- التّواصل
- التّفكير الإبداعيّ والناقد
- حلّ المشكلات
- الكفاية العددية
- الكفاية اللغويّة

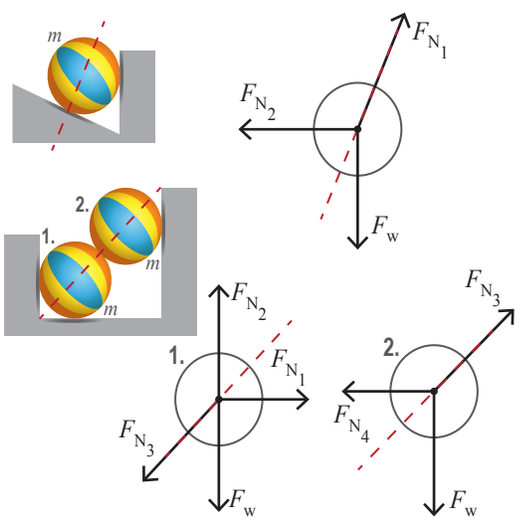
الفيزياء

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

ما هي الفيزياء؟ وما ضرورة فهمها؟

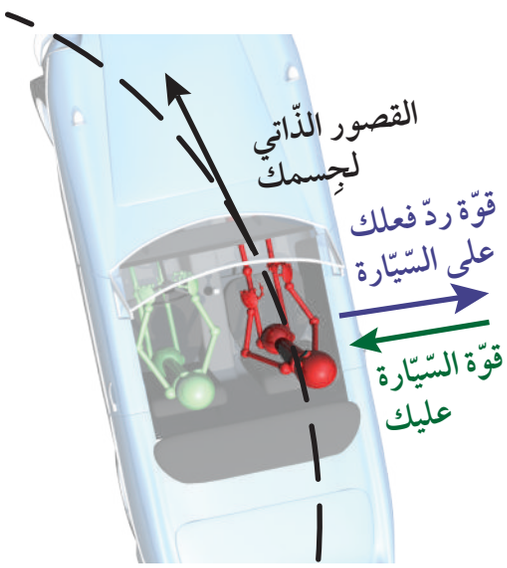
ان العديد من عناصر التكنولوجيا البشريّة المهمّة استُمدّت من الفيزياء. بما في ذلك التقنيات المستعملة في الأبنية والجسور والكهرباء والليزر والسمّاعات المانعة للضجيج وشاشات الكريستال السائل LCD والسيّارات الكهربائيّة والهواتف النقّالة والبطاريّات وأفران المايكرويف والعديد من الأجهزة التي نستعملها في حياتنا اليوميّة. تشتمل الفيزياء على مجموعة من المعارف البشريّة حول الكون والقوانين الأساسيّة الّتي تشرح حركة الطّبيعة. ومن أمثلة المعارف الفيزيائيّة: كتلة الالكترون وخصائص أشباه الموصلات وقوانين نيوتن في الحركة وغيرها الكثير.

وبشكل عامّ فإنّ الفيزياء تهتم بشكل أساسيّ بخصائص وتفاعلات المادّة والطاقة. فهي تصف القوى الأساسيّة وطبيعة الذّرّات والمادّة، بالإضافة الى عمليّات التّفاعل بين المادّة والطّاقة.



يمثّل مخطّط الجسم الحر القوى بين الأجسام.

تشمل الوحدة الأولى لهذا الفصل كلًّا من مفهومي القوى والاتّزان. فعلى الرّغم من أنّ القوى غير مرئيّة الا أنّ تأثيرها يحصل في كلّ مكان من حولنا. أمّا الوحدة الثّانيّة فهي مبنيّة أساسًا على فكرة القوى وهي تقدّم لنا قوانين نيوتن في الحركة، هذه القوانين التي تربط بين القوى وحركة الجسم. كلّ من العجلة والحركة في بعدين يُشكّلان نواة الفهم حول كيفيّة تغيير الحركة وانشاء القوى.



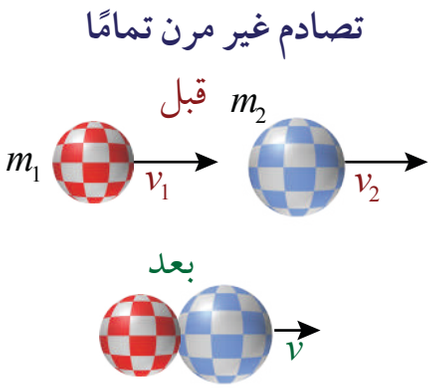
القوى المؤثّرة عند التّسارع في منعطف.

الطّاقة والقُدرة هو الموضوع الأخير في الفصل الأوّل. فالطّاقة هي العُملة المتداوَلَة في الطّبيعة، حيث تظهر بأشكال مختلفة منها ما هو على شكل كهربا، أو شغل، أو طاقة كيميائيّة، أو إشعاع، أو حرارة. يحدث تحوُّل الطّاقة من شكل إلى آخر في جميع عمليّات العالم الطّبيعيّ والتكنولوجيّ البشريّ. ويعتبر قانون حفظ الطّاقة أحد أهمّ القوانين الموجودة في مختلف نواحي العلوم.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

مفاهيم مهمّة وبيانات وأمثلة لكل فكرة جديدة معروضة من خلال الإيضاحات المفصّلة والشّروحات



أسئلة للمناقشة

سؤال للمناقشة

ما هي العلاقة بين القوّة والحركة؟

أسئلة المناقشة تزوّد الصّفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات الجديدة.

شريط الأفكار المهمّة

تحديد وتذكّر النّقاط الرّئيسة.

جول واحد من الطاقة يكافئ واحد نيوتن.متر من الشُّغل.

المسائل الرّياضيّة

مثلّت علاقات الكمّيّات الفيزيائيّة من خلال المتغيّرات ووحدات قياسها بشكل واضح.

4-3 طاقة الوضع المرونيّة

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

E_E	طاقة الوضع المرونيّة (J)	
k	ثابت الزنبرك (N/m)	
x	الانضغاط أو الإستطالة (m)	

الأمثلة

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والتّبرير للحصول على حسابات صحيحة.

مثال (5)

ينضغط زنبرك ثابته 1000 N/m مسافة 1 cm.

1. كم تكون الطاقة المُختزنة في الزنبرك قبل أن يجري تحريره؟
2. كيف تتغيّر الإجابة في حال ضغطنا النابض مسافة 2 cm؟
3. ما العلاقة بين الطاقتين المُختزنتين؟

المطلوب طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة E_{pE}

المُعطى ثابت الزنبرك $k = 1000N/m$

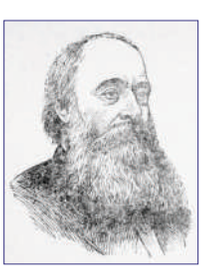
الزنبرك قبل الانضغاط

العلم والعلماء

تمّ تطوير معارفنا العلميّة على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعُنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصُّرِه في التعامل مع العلم والتكنولوجيا.

ضوء على العلماء

جيمس بريسكوت جول



الشكل 3-38 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 فاعلية أكبر.

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 شكَلا من أشكال الطاقة، وأن وحدة قياسهما هي وحدة قياس الطاقة نفسها، وهو ما عُرِف لاحقًا بالقانون الأول للديناميكا الحرارية. كذلك اكتشف جول العلاقة بين التيار والمقاومة والقُدرة

الأنشطة

التدرّب العملي من خلال المختبر والمشاريع البحثيّة وغيرها من الأنشطة التي تُرسّخ معاني الأفكار الجديدة وتطوّر العمل المخبري.

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

الخطوات

موقع البداية

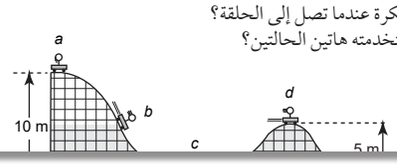
1. قس طول ذراعك بمساعدة زميلك، كما هو مبيّن في الشكل **3-29**.

تقويم الدّرس

يتميّز كل درس بعرض يحتوي على الأسئلة التي تغطي جميع المفاهيم والمعلومات في هذا الدرس.

تقويم الدرس 3-2

1. قُذفت كرة سلّة كتلتها 2 kg باتجاه حلقة السلّة بطاقة كلّية تساوي 500 J،(أهمل مقاومة الهواء).
   a. ما الطاقة الكلّية للكرة عند وصولها إلى أعلى قمّتها خلال حركتها؟
   b. ما الطاقة الكلّية للكرة عندما تصل إلى الحلقة؟
   c. ما المبدأ الذي استخدمته هاتين الحالتين؟
2. أُعطيت عربة السفينة الدّوارة الساكنة عند الموقع a، دفعة خفيفة



مراجعة الوحدة

ملخّص قصير عند نهاية كل وحدة وهو مرجع سريع للأفكار والمصطلحات الرئيسة.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

- **الشُّغل** يُبذَل بوساطة 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

تقويم الوحدة

زوّدت كل وحدة بمجموعة من الأسئلة ذات الخيارات المتعددة كعينة تحضّر الطالب لاختبار نموذجي.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدّد

1. يُستخدم محرّك كهربائي كبير لرفع حاويّة من على سفينة. أي من القيم الآتية تكفي للسماح بحساب قدرة المحرّك؟
   a. التيار المُستخدم والشُّغل المُنجز.
   b. الشُّغل المُنجز والزمن المُستغرق.
   c. القوة المُستخدمة والمسافة المقطوعة.
   d. كتلة الحاوية والمسافة المقطوعة.

تقويم الوحدة

أسئلة الاجابة القصيرة وأسئلة ذات الإجابة المطوّلة ذات مستويات ثلاثة من الصعوبة عند نهاية كل وحدة.

تقويم الوحدة

18. يتجادل أخَوان في شقة 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: 196 J = 2 m × 9.8 N/kg × 10 kg. أمّا الثاني فيقول: بما أنّنا في الطابق الثاني، سيكون التلفاز على ارتفاع 12 m فوق الأرض؛ فتكون طاقة وضع التلفاز: 1,176 J = 12 m × 9.8 N/kg × 10 kg. أي الأخَوين كان مُحقًّا؟ اشرح ذلك.
19. تَقِفُ مواجهًا للحائط على حذاء انزلاقي، وتقوم بدفع الحائط فتتحرّك بعيدًا عنه. ناقش ما إذا كانت القوة المؤثرة من الحائط عليك قد بذلت أيّ شُغل؟

مخطّط المادّة

الوحدة 3

الشُّغل والطاقة والقُدرة

طاقة الجسم هي مقدرته على بذل الشُّغل؛ ولها أشكال عديدة منها الطاقة الحركية وطاقة الوضع والطاقة الحرارية. القدرة هي نسبة الطاقة المبذولة على الزمن المستغرق.

جدول المحتويات

الوحدة 3

الشُّغل والطاقة والقُدرة 94

الدّرس 3-1 الشُّغل المبذول والطاقة 96

الدّرس 3-2 حفظ الطاقة 115

الدّرس 3-3 القُدرة والكفاءة 126

P1106
P1107
P1108

الوحدة 3

الشُّغل والطاقة والقُدرة

في هذه الوحدة

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

الدرس 3-2: حفظ الطاقة

الدرس 3-3: القُدرة والكفاءة

الوحدة 3

مقدّمة الوحدة

يُعتبر مفهوم الطاقة واحدًا من أهم المفاهيم الأساسية في الفيزياء، ومظهرًا مهمًّا للتكنولوجيا البشريّة. يحمل مصطلحا الطاقة والشُّغل معنيين مختلفين في الفيزياء. سوف نتعلّم حساب الشُّغل المبذول والطاقة الناتجة. نتعلّم أيضًا كيفيّة حساب الطاقة الحركيّة وطاقة الوضع التجاذبية، إضافةً إلى طاقة الوضع المرونيّة.

ويُعدّ من أهم القوانين في الفيزياء، القانون الذي ينص على أنّ الطاقة الكليّة لنظام مُغلق تبقى ثابتة قبل حدوث أي تغيير داخل النظام، وبعده. فمبدأ حفظ الطاقة أداة قويّة لحل المسائل وتحليل العديد من المواقف المُختلفة.

يُعدّ اعتبار الطاقة والقُدرة الشيء نفسه من أكثر الأخطاء شيوعًا. صحيح أن كلًّا منهما متعلّق بالآخر، لكنهما ليسا الشيء نفسه. وسوف نقوم بتعريف القُدرة على أنّها معدّل التبادل في الطاقة. ومن الجدير بالذكر بأن الأنظمة التي تهدر الكثير من القُدرة تكون أنظمة غير فعّالة. يعمل المهندسون حول العالم ليل نهار بكل جد لتطوير أجهزة وأنظمة أكثر فاعلية. وسوف نتعلّم حساب الكفاءة، وكيفية تطبيق هذا المفهوم في حياتنا اليوميّة.

الأنشطة والتجارب

1-3 الشغل المبذول

a2-3 تدفّق الطاقة

b2-3 طاقة مصفاة القهوة

a3-3 كم تبلغ قدرتك؟

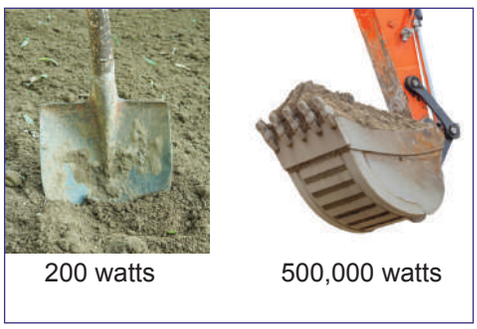
b3-3 الكفاءة

الدّرس 3-1
الشُّغل المبذول والطاقة

تخيّل مقدار الجهد والفترة الزمنية التي نحتاجها لحفر أساس لبناء عصري وضخم باستخدام المجراف فقط. إن كمية التربة والرمال والصخور التي يتعيَّن 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 يبذل 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.

تُشكِّل 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: $W = Fd\cos\theta$

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

الشُغل المبذول	Work done
الجول	Joule (J)
الطاقة	Energy
النظام المغلق	Closed system
النظام المفتوح	Open system
الطاقة الحركية	Kinetic energy
الإطار المرجعي	Reference frame
طاقة الوضع	Potential energy
طاقة الوضع التجاذبية	Gravitational potential energy
طاقة الوضع المرونية	Elastic potential energy
ثابت الزنبرك	Spring constant

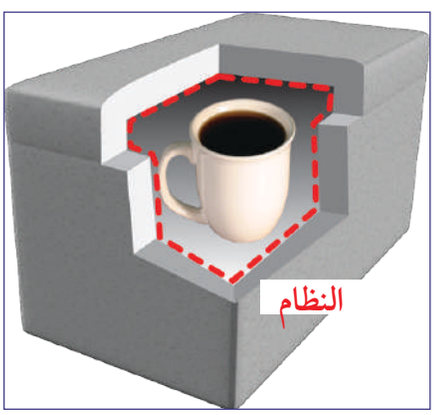
ما هو النظام؟

يبدأ فهم الطاقة بتعريف النظام، والنظام **System** هو مجموعة اجسام تتفاعل معًا، ويجري تركيز الاهتمام عليها. 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. ويحرّرنا اختيار النظام من التفكير في الأجسام كلها، الأمر الذي يجعل المهمة مستحيلة.

لكل نظام حدود، وهو صندوق وهمي يحيط بالنظام. والنظام نوعان: نوع مفتوح (غير معزول)، وآخر مغلق (معزول). **فالنظام المفتوح Open system** هو النظام الذي يمكنه تبادل الطاقة والمادة بينه وبين محيطه. أما **النظام المغلق Closed system**، فلا يمكنه تبادل الطاقة والمادة مع المحيط.

الشكل 3-2 مثال على النظام المفتوح.

إذا وضعنا كوبًا من القهوة الساخنة، مثلا، في الهواء الطلق، نلاحظ أن درجة حرارته ستنخفض، حيث تنتقل حرارته إلى المحيط. وبعد عدة أيام يتبخّر ماءه إلى الهواء المجاور. يعني ذلك أن النظام مفتوح، لأننا سمحنا للطاقة والمادة بالانتقال من كوب القهوة وإليه كما هو موضح في **الشكل (3-2)**.



الشكل 3-3 مثال عن النظام المغلق.

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 مغلقًا، لأننا حافظنا على الطاقة والمادة.

الطاقة الكلّية لنظام مفتوح تتغيّر في حين أن الطاقة الكلية لنظام مغلق تبقى ثابتة.

لا يوجد في الحقيقة نظام معزولٌ عزلًا كليًا. ومع ذلك، نفترض وجوده لكي نستطيع فهم الأشياء 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

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). تُحدث الطاقة تغيّرات في العديد من الكميّات، كالسرعة والارتفاع والضغط وحتى درجة الحرارة. وهي قادرة على تحويل المادة من حالة الى أخرى وبالعكس. ومع أن الشُّغل هو أحد أشكال الطاقة، فإن التعريف الرئيس للطاقة هو القُدرة على بذل شُغل. فالنظام الذي يملك 10J من الطاقة يمكنه بذل شغل أقصاه 10N.m وذلك تحت تأثير قوى مختلفة وإزاحات مختلفة. فمن دون إضافة طاقة أكثر، لن يستطيع النظام بذل شُغل يتعدى 10N.m. هناك أنواع مختلفة من الطاقة، وهي قابلة للتحوُّل من نوع إلى آخر، منها:

الشكل 3-4 أمثلة على 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 الماء وثاني أكسيد الكربون.

الطاقة الكهربائيّة تتحرّك على شكل تيارات كهربائيّة؛ فتتدفّق كنتيجة لأي فرق في الجهد الكهربي، كما هي حال البطارية أو مقبس الحائط.

الطاقة النوويّة (الطاقة الذريّة) هي طاقة موجودة في الروابط بين البروتونات والنيترونات 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، وأشعة إكس. وكل أنواع الطاقة على سطح الأرض، مصدرها الطاقة الإشعاعيّة الآتية من الشمس.

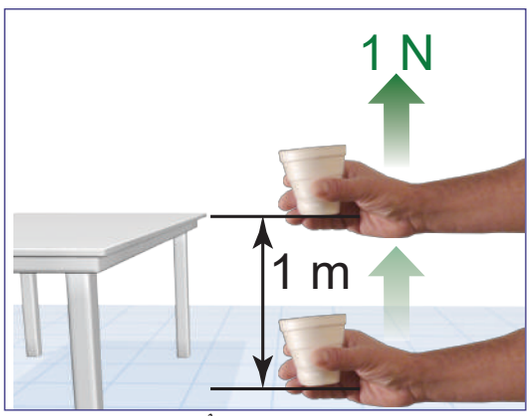
الشُّغل المبذول

سؤال للمناقشة

كم من الشُّغل تبذل كل يوم؟

ما هو الشُّغل؟ هل قراءة كتاب، أو كتابة الواجب المنزلي تُمثّل شغلًا؟ في الفيزياء، يُبذَل **الشُّغل Work** بوساطة القوى التي تسبّب حركةً للأجسام. قد تعتقد أنّ تحضيرك للامتحان شغلٌ. لكن في الفيزياء، لا نقول إن هناك شغلاً مبذولًا، إذا لم تكن هناك قوة تسبّب الحركة لجسمٍ ما.

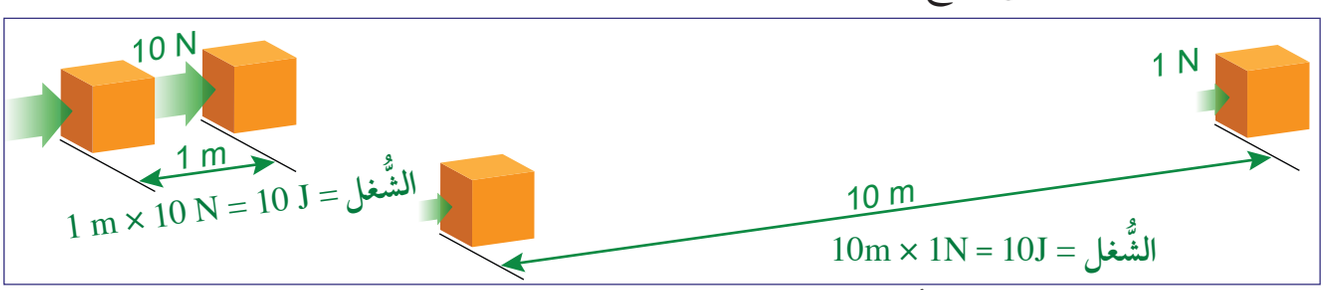
تُعرّف كميّة الشُّغل المبذول على جسم بوساطة قوة معيّنة على أنها حاصل ضرب الإزاحة التي يتحرّكها الجسم في مُركّبة القوة باتجاه تلك الإزاحة. إذا استخدمنا قوة مقدارها نيوتن واحد لرفع كوب إلى الأعلى مسافة متر واحد، كما في **الشكل 3-5**، نكون قد أنجزنا شُغلاً على الكوب مقداره واحد نيوتن متر (1N.m)، يؤدي إلى انتقال الطاقة عن طريق القوة المبذولة.



الشكل 3-5 جول واحد من الشُّغل.

1-3	الشُّغل		
	$W=F\,d\,\cos\theta$	W	الشُّغل (J)
		F	القوة (N)
		d	الإزاحة (m)
		θ	الزاوية (°) بين إتجاهيّ القوة والإزاحة

في النظام الدولّي للوحدات SI، يعرّف واحد جول 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 بشكل شائع.



الشكل 3-6 طريقتان لبذل J 10 من الشُّغل.

نستطيع أن نُنجز J 10 من الشُّغل بتطبيق قوة مقدارها N 1 لتحريك الجسم إزاحة مقدارها m 10، كما هو مبيّن في **الشكل 3-6**. يمكن القيام أيضًا بإنجاز الشُّغل نفسه بتطبيق قوة مقدارها N 10 لتحريك الجسم إزاحة مقدارها m 1.

جول واحد من الطاقة يكافئ واحد نيوتن.متر من الشُّغل.

الشغل الموجب

يمكن للشغل المبذول أن يكون موجبًا أو سالبًا أو حتى صفرًا. إذا كانت القوى المطبقة (أو جزءٌ منها) والإزاحة المقطوعة في الاتجاه نفسه، يكون الشغل موجبًا. فالقوّة F التي تؤثر في العربة وتُحَرِّكها مسافة d تبذل شغلًا موجبًا لأن القوة تحرك العربة في اتجاه الإزاحة وتكون الزاوية بين الاتجاهين صفرًا (**الشكل 3-7**) $W = Fd\cos\theta = Fd$.

إذا اعتبرنا العربة نظامًا مفتوحًا، فإن القوة التي تؤثر فيها تؤدي إلى شغل موجب يُبذل على العربة وتزداد بالتالي طاقتها الحركية. بينما الشغل المبذول على الشخص الذي يدفع العربة هو شغل سالب لأنه يتحرك إلى الأمام بينما تدفعه قوة رد فعل العربة إلى الخلف.

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 $W = Fd\cos\theta = Fd\cos 90^\circ = 0$

الشغل المبذول على النظام يزيد من طاقته الحركية، بينماالشغل 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:

$$W = Fd\cos\theta = Fd\cos 180^\circ = -Fd$$

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 مبذول بواسطة النظام وليس على النظام.

الشكل 3-8 الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك.

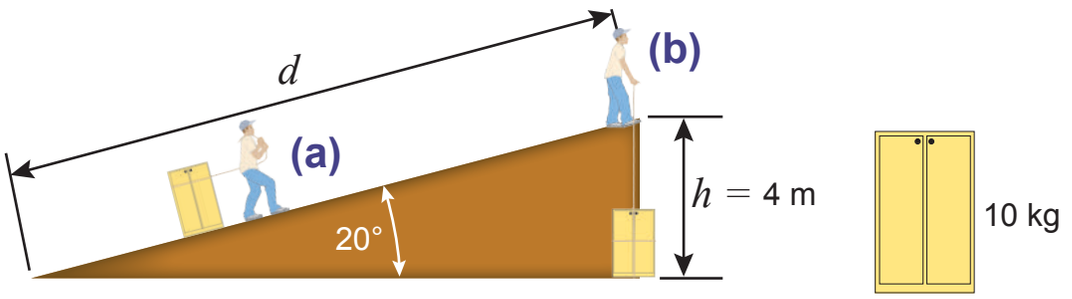
مثال (1)

يقوم شخصان برفع قالبين متماثلين كتلة كل منهما 10kg مسافة رأسية 4m. الشخص الأول (a) يدفع القالب الأول على سطح يميل بزاوية 20° مع الأرض الأفقية، بينما يقوم الشخص الثاني (b) برفع القالب الآخر رأسيًا بواسطة حبل .

a. احسب القوّة التي يقوم (a) ببذلها والمسافة التي يُحرّك بها القالب الأول على المنحدر.احسب الشغل الذي يبذله (a) إذا كان يبذل قوة مساوية ومعاكسة لمركبة الوزن في اتجاه المنحدر.

b. احسب الشغل الذي بذله (b) لسحب القالب الثاني إذا طبّق قوة تساوي وتعاكس وزن القالب.

c. قارن الشغل الذي بذله (a) مع الشغل الذي بذله (b).



المطلوب الشغل الذي يبذله كل من (a) و (b)

المعطى الكتلة $m = 10kg$ ؛ $\theta = 20^\circ$ ؛ $h = 4m$

العلاقات $W = fd$ ؛ $\sin\theta = h/d$ ؛ $F_w = mg$

الحل:

a. نحسب المسافة المقطوعة والقوة المبذولة والشغل الذي يقوم به (a)

$$d = \frac{h}{\sin\theta} = \frac{4}{\sin 20^\circ} = 11.695 \text{ m}$$

$$F_a = mg\sin\theta = (10 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})\sin 20^\circ = 33.518 \text{ N}$$

$$W_a = F_a d\cos\theta = (33{,}518 \text{ N})\ (11{,}695 \text{ m}) = 392.0 \text{ J}$$

نحسب المسافة المقطوعة والقوة المبذولة والشغل الذي يقوم به (b)

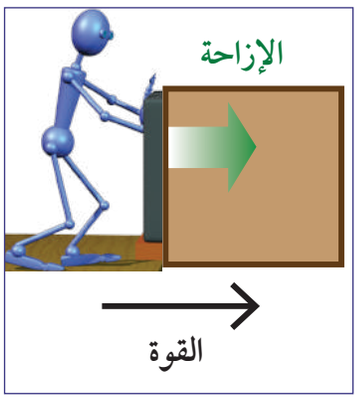
$$F_b = mg = (10 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg}) = 98 \text{ N}$$

$$W_b = F_b d\cos\theta = (98 \text{ N})\ (4 \text{ m}) = 392{,}0 \text{ J}$$

b. مع ملاحظة أن θ الواردة في W_a و W_b أعلاه ليست زاوية المنحدر بل الزاوية بين الإزاحة والقوة وهي صفر في الحالتين.

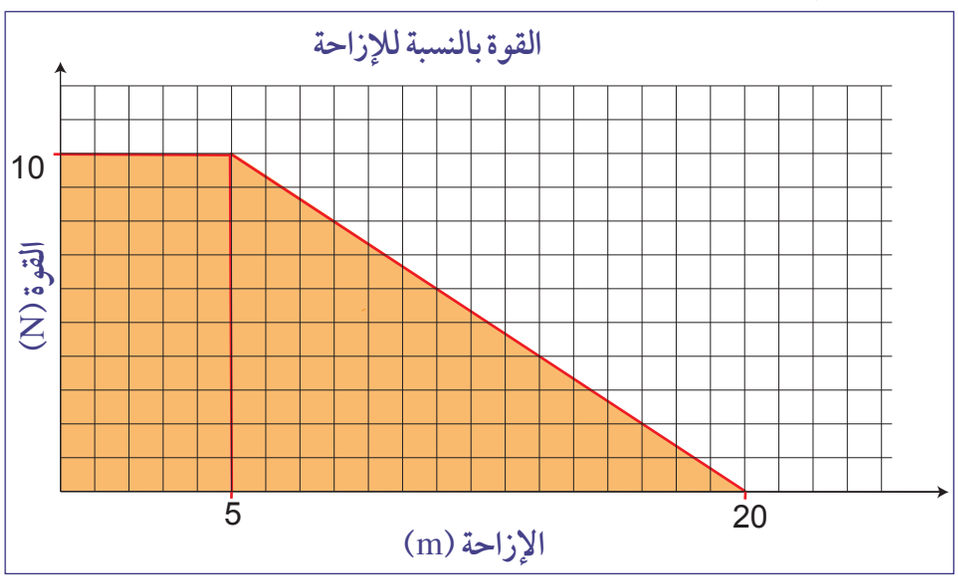
c. لاحظ بأن الشغل W_a يساوي الشغل W_b. الشخص (a) يبذل قوة أقل ولكن يحرك القالب الأول مسافة أطول على المنحدر. الشخص (b) يبذل الشغل نفسه ولكن بتطبيق قوة أكبر لتحريك القالب الثاني مسافة أقل. فالشغل المبذول ضد الجاذبية الأرضية لا يعتمد على المسار المُتّبَع في أي نظام غير احتكاكي.

الشُّغل المبذول باستخدام قوة غير ثابتة



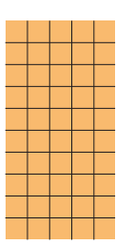
الشكل 3-9 القوة والإزاحة.

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)**

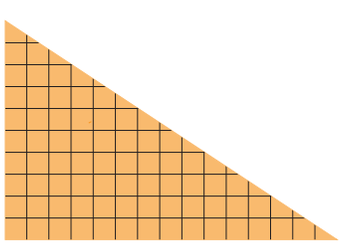


الشكل 3-10 يُظهر الرسم البياني تغيّر القوة بالنسبة إلى الإزاحة.

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.



$$A = l \times w$$
$$= 10\text{N} \times 5\text{m}$$
$$= 50\text{N m}$$



$$A = \frac{1}{2} \times b \times h$$
$$= \frac{1}{2} \times 15\text{m} \times 10\text{N}$$
$$= 75\text{N m}$$

الشغل المبذول لإتمام المهمة، هو 75 N.m + 50 N.m = 125 N.m = 125 J

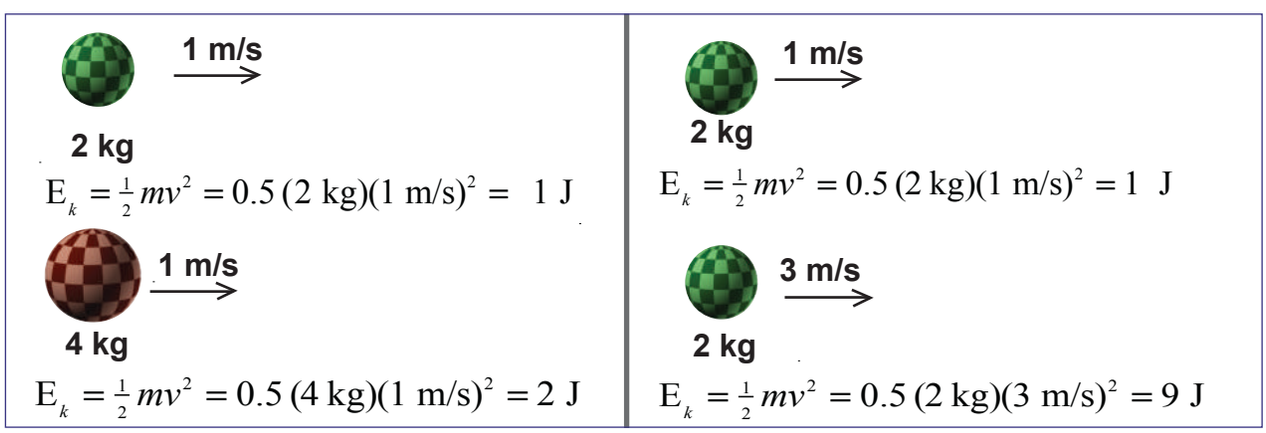
المساحة المحصورة تحت منحنى الرسم البياني للقوة بالنسبة إلى الإزاحة يساوي الشغل الذي تبذله القوة.

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. 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 3-11**). تتناسب الطاقة الحركيّة طردًيا مع كتلة الجسم. فإذا تضاعفت الكتلة تتضاعف الطاقة الحركيّة أيضًا. فَكُرَةٌ 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 3-11 تعتمد الطاقة الحركيّة على الكتلة والسرعة.

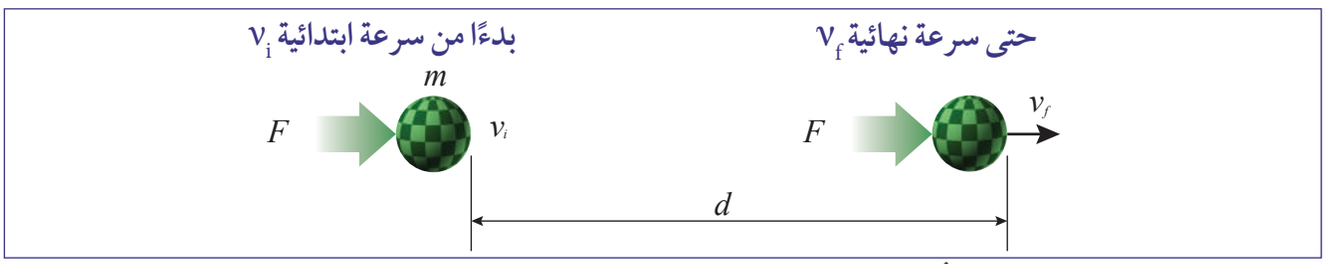
وفقًا للمعادلة (**2-3**) تعتمد الطاقة الحركيّة لجسم متحرّك على مربّع سرعته. فإذا قمت بمضاعفة السرعة فسوف تزداد الطاقة الحركيّة بمعامل أربعة أضعاف. فالكرة ذات الكتلة 2 kg، والتي تتحرّك بسرعة 1 m/s، لها طاقة حركيّة مقدارها 1 J. وإذا ازدادت سرعة الكرة نفسها إلى 3 m/s، تصبح طاقتها الحركية 9 J. أي إن ضرب 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 شكل شائع من أشكال العلاقات غير الخطية.

الشُّغل والطاقة الحركيّة

علمنا أن الطاقة تمثّل أقصى كميّة من الشُّغل يمكن بذلها، والعكس صحيح. تخيّل قوة تقوم بتسريع جسم ما. يمكنك التفكير في الطاقة على أنّها تكديس للشُّغل المبذول على الجسم لتغيير سرعته من الصفر إلى السرعة المطلوبة v. 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

$$F = ma \text{ و } W = Fd$$



الشكل 3-12 الطاقة الحركيّة هي الشُّغل المبذول لتسريع كتلة m، من سرعة ابتدائية v_i إلى سرعة نهائية v_f.

عند التأثير بقوة ثابتة في جسم يتحرك بعجلة ثابتة، يمكن حساب الشغل المبذول كما يلي:

$$W = Fd = (ma)\, d$$

وفي الحركة بعجلة ثابتة $a = \left(\frac{v_f - v_i}{t}\right)$ ؛ $d = \left(\frac{v_f + v_i}{2}\right) t$

بالتعويض عن الإزاحة d والعجلة 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 بدء 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 ضد الاحتكاك يولِّد لنا طاقة أقل ليجري «تخزينها» على شكل طاقة حركيّة.

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 سرعتة فيها v مثلاً.

مثال (2)

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 الكتلة $m = 1600\ kg$

السرعة $v = 90\ km/h$ ،

و $v = 88\ km/h$

العلاقات $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

الحل

1. نحوِّل السرعة من وحدة km/h الى m/s.

$$\frac{88\ km}{1\ hr}\left(\frac{1000\ m}{1\ km}\right)\left(\frac{1\ hr}{3600\ s}\right) = 24.44\ m/s \qquad \frac{90\ km}{1\ hr}\left(\frac{1000\ m}{1\ km}\right)\left(\frac{1\ hr}{3600\ s}\right) = 25.0\ m/s$$

باستخدام معادلة الطاقة الحركيّة، نجد:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(1600\ kg)(25\ m/s)^2 = \boxed{500{,}000\ J}$$

2. الطاقة الحركيّة في هذه الحالة هي نفسها؛ لكن السرعة تصبح 24 m/s.

نحل معادلة الطاقة الحركيّة من أجل كتلة مجهولة.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad \rightarrow \quad m = \frac{2E_k}{v^2} = \frac{2(500{,}000\ J)}{(24.44\ m/s)^2} = 1674.2\ kg$$

$m = 1673.6\ kg$ هي كتلة السيّارة، بالإضافة إلى الوقود. تُحتَسب كتلة الوقود من الفرق:

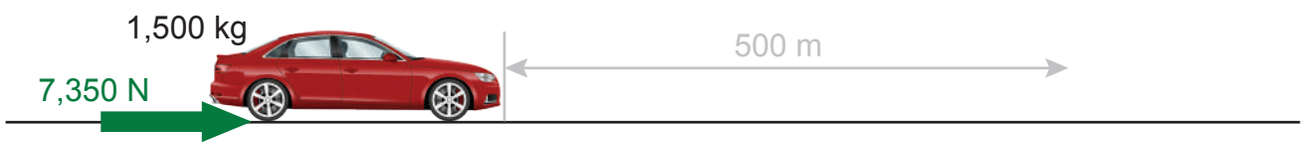
$$1673.6\ kg - 1600\ kg = \boxed{73.6\ kg}$$

مثال (3)

نفترض نظام سيّارة متوقّفة وكتلتها 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 للسيّارة وسرعتها (b) مسافة التوقّف

المعطى الكتلة $m = 1500\ kg$ ، $F = 7{,}350\ N$ ، $d = 500\ m$

العلاقات $W = Fd\cos\theta$ ؛ $E_K = \frac{1}{2}mv^2$

الحل:

a. الشغل المبذول بواسطة القوة $F = 7{,}350N$ لقطع مسافة 500m هو:

$$W = Fd\cos\theta = (7{,}350N)(500m)(\cos 0) = 3{,}675{,}000J$$

وهذه القيمة هي أيضًا الطاقة الحركية التي تكتسبها السيّارة في غياب قوى الاحتكاك. وبمعرفة الطاقة الحركية والكتلة، يمكننا حساب سرعة السيارة:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} \qquad v = \sqrt{\frac{2(3{,}675{,}000\ \text{J})}{1{,}500\ \text{kg}}} = 70\ \text{m/s}$$

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.

$$E_f = E_k - F_b d \qquad d = \frac{E_k}{F_b} = \frac{3{,}675{,}000\ \text{J}}{14{,}700\ \text{N}} = 250\ \text{m}$$

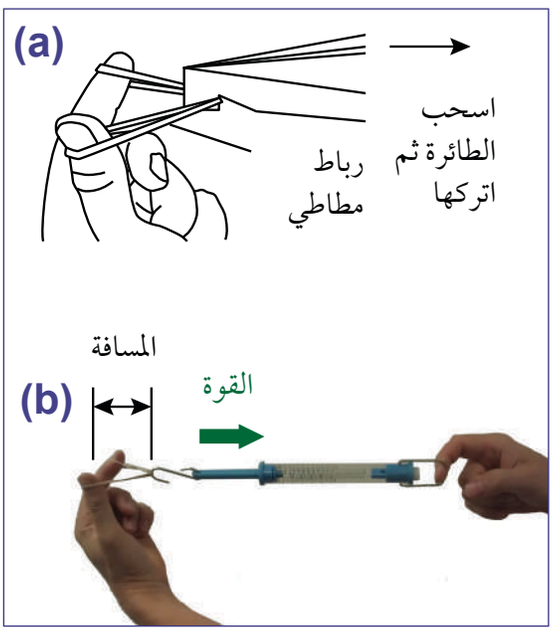
1-3 الشغل المبذول

سؤال الاستقصاء	كيف يؤدي الشغل إلى تغيير الطاقة؟
الموادّ المطلوبة	مقياس زنبركي أو مستشعر قوة، رباط مطاطي، شريط لاصق، عصا مترية، 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 مطاطيًّا.
2. اسحب الرباط المطاطي إلى الخلف ثم اتركه لإطلاق الطائرة (**الشكل 3-13a**).
3. احسب سرعة انطلاق الطائرة بمعرفة المسافة التي تقطعها ومُدَّة الطيران.
4. قِس القوة الناتجة في الرابط المطاطي لمسافات سحب مختلفة باستخدام الميزان الزنبركي (**الشكل 3-13b**).
5. مَثِّل بيانيًّا القوة المبذولة على الرباط المطاطي بدلالة الإزاحة.



الشكل 3-13 اطلاق طائرة ورقية عن طريق ضبط رباط مطاطي.

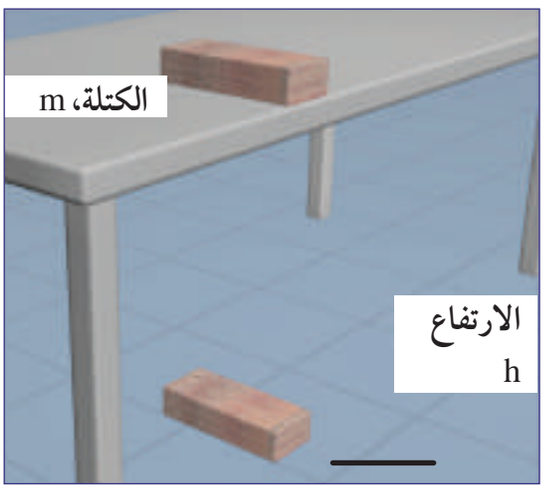
6. استخدم المساحة تحت الرسم البياني لحساب الشغل المبذول على الطائرة خلال إطلاقها.
7. استخدم بياناتك للتنبؤ بسرعة انطلاق الطائرة بمعرفة الشغل المبذول لسحب الرباط المطاطي وإحداث استطالة فيه.

الأسئلة

a. اشتق نموذجًا يربط 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.

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.



الشكل 3-14 الكتلة والارتفاع.

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**).

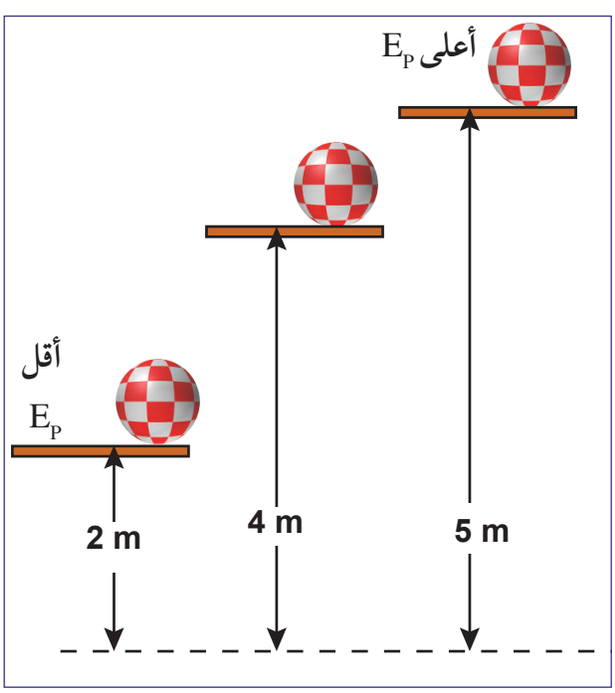
يمكن تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركيّة، بترك القالب يسقط تحت تأثير الجاذبيّة نحو الأسفل.

وتكتسب طاقة الوضع قيمة أعلى عند سطح الطاولة، لأننا نبذل شغلًا ضد قوة الجاذبيّة لرفع القالب من الأرض إلى الطاولة. ويكون الشُّغل المبذول هذا مساويًا لمقدار الارتفاع في طاقة الوضع. وبما أنّ طاقة الوضع هذه ناتجة من قوة الجاذبيّة، فإننا نطلق عليها اسم **طاقة الوضع التجاذبيّة Gravitational potential energy**.

3-3	طاقة الوضع التجاذبيّة	E_P	طاقة الوضع (J)
$E_P = mgh$		m	الكتلة (kg)
		h	الارتفاع (m)
		g	شدة مجال الجاذبية (N /kg)

تمثّل المعادلة **(3-3)** طاقة الوضع التجاذبيّة (E_P) التي تتناسب خطيًّا مع كل من الكتلة وشدة مجال الجاذبيّة والارتفاع (ما دامت الارتفاعات مهملة قياسًا على نصف قطر 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. يؤكّد ذلك العلاقة الخطية بين طاقة الوضع التجاذبية والارتفاع عن سطح الأرض.



الشكل 3-15 تعتمد طاقة الوضع على الارتفاع.

الشُّغل وطاقة الوضع التجاذبيّة

ناقشنا إمكان اكتساب طاقة الوضع التجاذبيّة، عندما نبذل شغلاً ضد قوة الجاذبيّة. لاستخلاص معادلة طاقة الوضع التجاذبيّة، نقوم بمساواة طاقة الوضع مع الشُّغل المبذول.

الشُّغل الذي تبذله قوة F عند تحريك جسم إزاحة d في اتجاه القوة يُعطى بالعلاقة: $W=Fd$

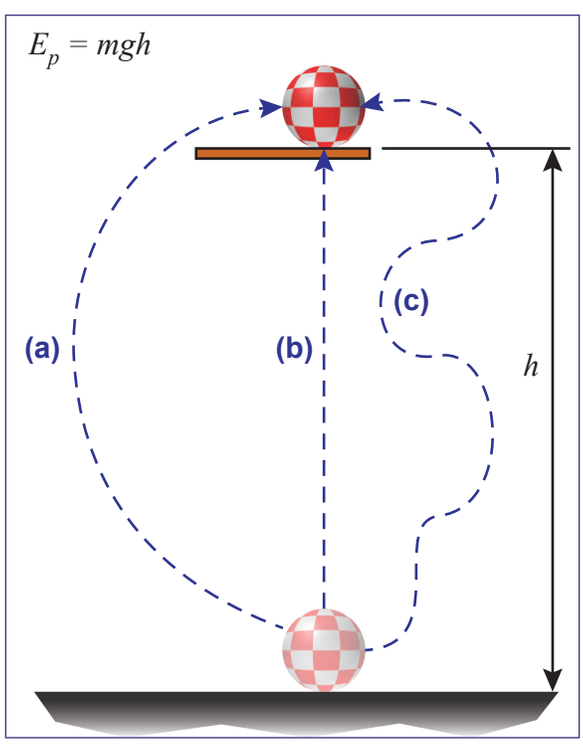
فإذا رفعنا الجسم مسافة h بقوة معاكسة لوزنه mg كما في حالة لاعب الوثب العالي في **الشكل 3-16**، يكون الشغل المبذول بوساطة الوزن مقداره: $W = -mgh$

الإشارة السالبة ناتجة من كون قوة الوزن رأسية إلى الأسفل، والإزاحة رأسية إلى الأعلى. أما الشغل المبذول بوساطتنا ضد الوزن فيكون: $W = mgh$، وهو يؤدي إلى رفع طاقة الوضع التجاذبية للجسم بالمقدار نفسه.

وبناء على ذلك، يكون مقدار الشغل المبذول بوساطة قوة الجاذبية مساويًا لسالب التغيّر في طاقة الوضع التجاذبية، أي: $W_{\text{الوزن}} = -\Delta E_P$

الشكل 3-16 لاعب الوثب العالي القطري مُعتز برشم، يبذل شُغلاً ضد الجاذبيّة.

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 لتختلف، إذا سلك الجسم مسارًا منحنيًا أطول من المسار الرأسي المباشر؟ **(الشكل 3-17)**



الشكل 3-17 طاقة الوضع هي نفسها بمعزل عن المسار الذي تسلكه الكرة: (a) أو (b) أو (c).

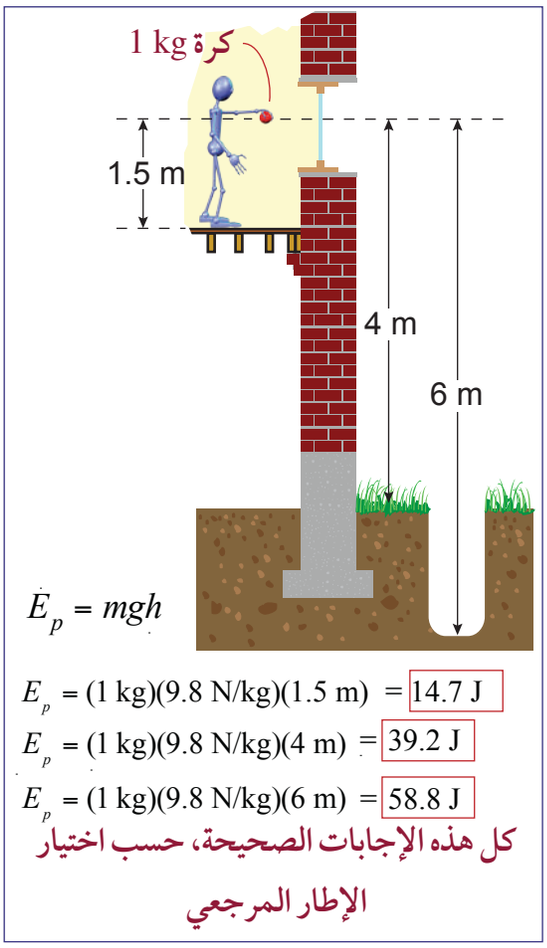
في الحقيقة، يعتمد التغيّر في طاقة الوضع التجاذبية على نقطتي البداية والنهاية فقط، ولا يعتمد على شكل المسار الذي يسلكه الجسم بين هاتين النقطتين، لأن وزن الجسم يعتبر ثابتًا في تغيُّرات الارتفاع القصيرة. وفضلاً عن ذلك، فإن الشغل المبذول بوساطة الوزن لا يعتمد على المسار المتَّبع بين نقطتي البداية والنهاية. 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.

الإطار المرجعي

ما مقدار طاقة الوضع التجاذبية للكرة الحمراء ذات الكتلة 1kg المبيّنة في **الشكل 3-18**؟ تقع الكرة على ارتفاع 1.5m من أرضيّة الغرفة، أو 4m فوق سطح الأرض، أو 6m 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 6 m فإن الكرة ستمتلك طاقة وضع مقدارها 39.2 J.

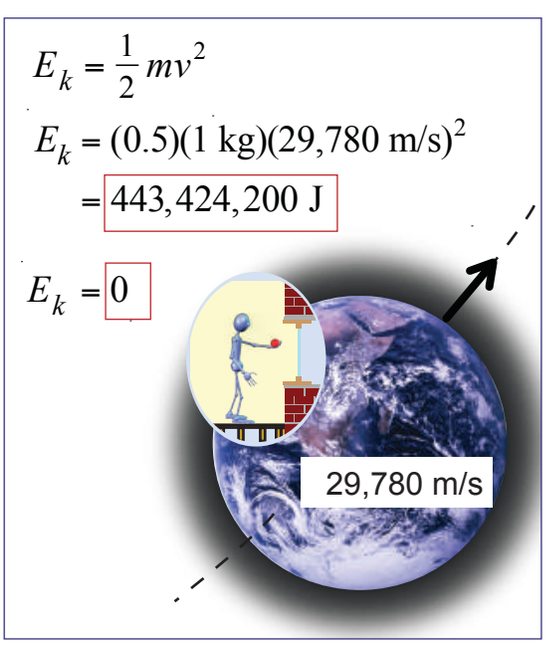
إنّ اختيار الإطار المرجعي (القيمة الصفرية لطاقة الوضع التجاذبية) يكون اختيارًا حُرًّا. لأنّ ما يهم فعلاً هو التغيّر في طاقة الوضع، وليس قيمها المُطلقة. فالكرة التي تسقط مسافة 1.5 m تخسر 14.7 J من طاقة الوضع، ولا يهم عندها إذا سقطت من ارتفاع 1.5 m الى الصفر أو من 7.5 m إلى 6 m. إنّ التغيُّر في طاقة الوضع، 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.



الشكل 3-18 الإطار المرجعي لطاقة الوضع.

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 29,780 m/s ، وتكون الطاقة الحركية للكرة بالنسبة للشمس $443\times10^6 J$.

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 3-19 الإطار المرجعي للطاقة الحركيّة.

مثال (4)

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 الأرض؟
2. كم يكون الشُّغل المبذول لرفع الثقل من الأرض إلى موضع فوق الرأس ارتفاعه 2.0 m؟
3. يتطلّب رفع الثقل نفسه إلى الارتفاع نفسه، ولكن على المِرّيخ، طاقة مقدارها 1946 J من الشُّغل. احسب قيمة g على المِرّيخ.

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 المِرّيخ.

المُعطى

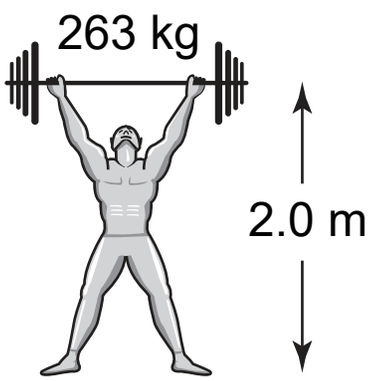
الكتلة $m = 263\ kg$

الارتفاع النهائي للثقل $h = 2.0\ m$

الشغل المبذول على المِرّيخ $W = 1946\ J$

العلاقات

$g = 9.8 m/s^2$، $E_P = mgh$



الحل

1. $E_P = mgh = (263\ kg)(9.8\ m/s^2)(2.0\ m) = 5{,}155\ J$

2. بحسب المُعطى في (1)، فإنّ التغيّر في طاقة الوضع للثقل بالنسبة إلى الأرض ($E_P = 0$) الى موضع أعلى الرأس هو 5,155 J. وبالتالي فإنّ أقل شُغل مبذول من الربّاع هو نفسه التغيّر في E_P، حيث:
$W = -\Delta E_p = 5{,}155\ J$

3. على المِرّيخ: $E_P = mgh = (263\ kg)(g)(2.0\ m) = 1946\ J$

$$g = \frac{1946\ J}{(263\ kg)(2\ m)} = 3.7\ N/kg$$

طاقة الوضع المُرونيّة

سؤال للمناقشة

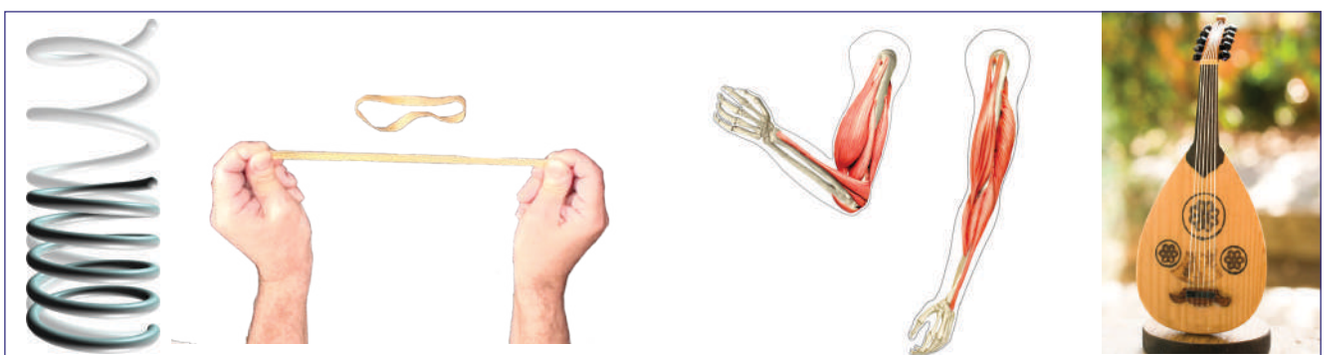
هل يمكنك التفكير في نظام آخر يختزن طاقة وضع؟

تنشأ طاقة الوضع بمجرّد وجود قوة ممنوعة من التأثير. عند إزالة هذا المنع يمكن أن 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 طاقة تُختَزَن بداخله؛ وفي استطالته، تتحرّر تلك الطاقة.

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. 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	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 التشوه. يُعتبر الثابت k خاصيّة مميزة للزنبرك، وتختلف من زنبرك إلى آخر أو إلى موادّ مرنة أخرى. يقاوم الزنبرك القوي الانضغاط والاستطالة؛ وبالتالي تكون قيمة ثابته k كبيرة جدًّا. أما الزنبرك الرخو، فيكون ثابته مُنخفضًا.



أوتار العود — عضلات الإنسان — ربطة مطاطيّة — زنبرك

الشكل 3-20 بعض الأمثلة على طاقة الوضع المرونيّة.

يجري اختزان طاقة الوضع المرونيّة في معظم الأجسام، عندما يغيّر الجسم من شكله أو طوله. تؤثّر القوة الموجودة في الجسم المرن باتجاه يعيد فيه الجسم إلى شكله أو موضعه الأصلي. يعرض **الشكل 3-20** أمثلة على أجسام تستطيع اختزان طاقة وضع مرونيّة.

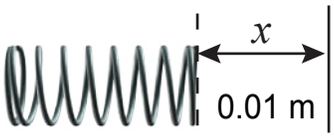
مثال (5)

ينضغط زنبرك ثابته 1000 N/m مسافة 1 cm.

1. كم تكون الطاقة المُختزنة في الزنبرك قبل أن يجري تحريره؟
2. كيف تتغيّر الإجابة في حال ضغطنا النابض مسافة 2 cm؟
3. ما العلاقة بين الطاقتين المُختزنتين؟

الزنبرك قبل الانضغاط

الزنبرك بعد الانضغاط



المطلوب طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة E_{pE}

المُعطى ثابت الزنبرك $k = 1000 N/m$

الانضغاط $x=1\ cm\ ،\ 2\ cm$

العلاقات $$E_E = \frac{1}{2}kx^2$$

الحل

1. الانضغاط مُعطى بوحدة cm، وبالتالي يجب أن يجري تحويلها إلى m، لتوافق وحدات ثابت الزنبرك $(1\ cm = 0.01\ m)$

طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في الزنبرك المضغوط يتم احتسابها باستخدام العلاقة المُعطاة.

$$E_E = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(1{,}000)(0.01)^2$$

$$= \boxed{0.05 J}$$

2. الانضغاط هو $2\ cm = 0.02\ m$

$$E_E = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(1000\ N/m)(0.02\ m)^2 = \boxed{0.2\ J}$$

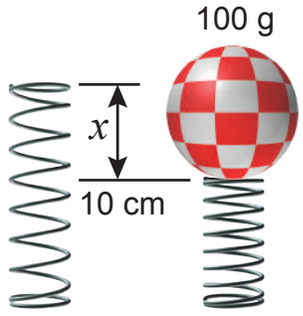
3. زيادة الانضغاط بمعامل 2 زاد الطاقة بمعامل 4؛ وذلك لأنّ الطاقة تتناسب طرديًّا مع مربّع الانضغاط أو الاستطالة.

تقويم الدرس 3-1

1. يجلس فتى كتلته 30 kg على عربة كتلتها 10 kg عند قمة هضبة ارتفاعها 10 m.
   a. ما هي طاقة الوضع الابتدائيّة للفتى والعربة معًا؟
   b. ما هي طاقتهما الحركيّة الابتدائية؟

2. تتحرّك سيّارة كتلتها 1,000 kg بسرعة 15 m/s فتتوقف بعد أن تضغط المكابح قاطعةً مسافة 20.0 m.
   a. ما هي الطاقة الحركيّة الابتدائيّة للسيّارة؟
   b. ما هي الطاقة الحركيّة النهائيّة للسيّارة؟
   c. كم سيكون الشُّغل المبذول لإيقاف السيّارة؟
   d. ما هو 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؟ اظهر حساباتك لتشرح إجابتك.

5. بكم يجب أن تجري إطالة الزنبرك لتصبح طاقة وضعه المرونية 1J علمًا أنّ ثابته هو 1,000 N/m.

6. a. كم ستكون قيمة الشُّغل المبذول لدفع عربة كتلتها 400 kg مسافة 6 m بقوة 300 N؟

   b. كم ستكون السرعة النهائيّة للعربة، إذا تحوّل الشّغل المبذول كلّه إلى طاقة حركيّة؟

7. تتحرك سيارة كتلتها 2000kg إلى أعلى سطح يميل بزاوية 30° مع الأفقي تحت تأثير قوة محرك 3000N وقوة احتكاك 500N . احسب الشغل الذي يبذله كل من القوى التالية إذا قطعت إزاحة 100m.

   a. وزن السيارة
   b. القوة العمودية للسطح المائل
   c. قوة الاحتكاك
   d. قوة المحرك

الدّرس 3-2
حفظ الطاقة

هناك العديد من الألعاب في مدينة الملاهي، ولكن لعبة السفينة الدوارة (الأفعوانية) قد تكون الأكثر شعبية من سواها.

تجد هذه اللعبة في كافة مدن الملاهي الكبرى. ويكمن عامل التشويق فيها بالتبادل السريع بين طاقة الوضع التجاذبية والطاقة الحركية.

الشكل 3-21 السفينة الدوارة.

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 تتوقّف في نهاية المطاف، بسبب وجود الاحتكاك بين العربة والسكة، وتَحوّل طاقتها إلى حرارة.

مخرجات التّعلُّم

P1106.3 يتذكر مبدأ حفظ الطاقة، ويطبقه من خلال أمثلة بسيطة.

المفردات

النظام	System
الطاقة الميكانيكية	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** عدد قليل 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 وبشكل منتظم. يقوم الإنسان العامل ببذل 14,000 J من الأعمال الميكانيكية خلال دقيقة، بينما تقوم السيارة ببذل 700,000 J من الشغل خلال الفترة نفسها. وهذا يعني أن قدرة السيارة تبلغ 500 ضعف من 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.

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.

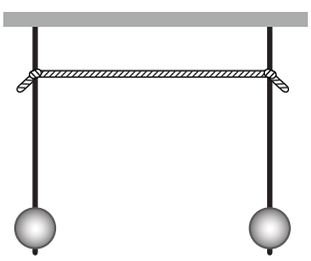
خطوات التّجربة

نفِّذ كل خطوة، موضّحًا كيف تنتقل الطاقة من شكل إلى آخر، ومُضمّنًا أكبر عدد من أشكال الطاقة.

1. أضِئ شعلة الغاز بعود ثقاب.

تحوُّلات الطاقة، هي:

2. ارفع جانبًا واحدًا من البندول المزدوج، ثم دعْه.

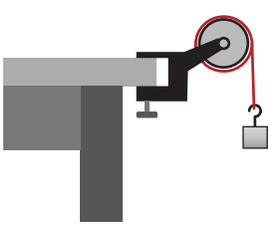


تحوُّلات الطاقة، هي:

3. اسحب الكُتلة إلى الأسفل، ثم دعها تتحرَّك.

تحوُّلات الطاقة، هي:

4. لُفَّ الحبل حول البكرة، وعلِّق الكُتلة به، ثم دعْه يتحرّك.

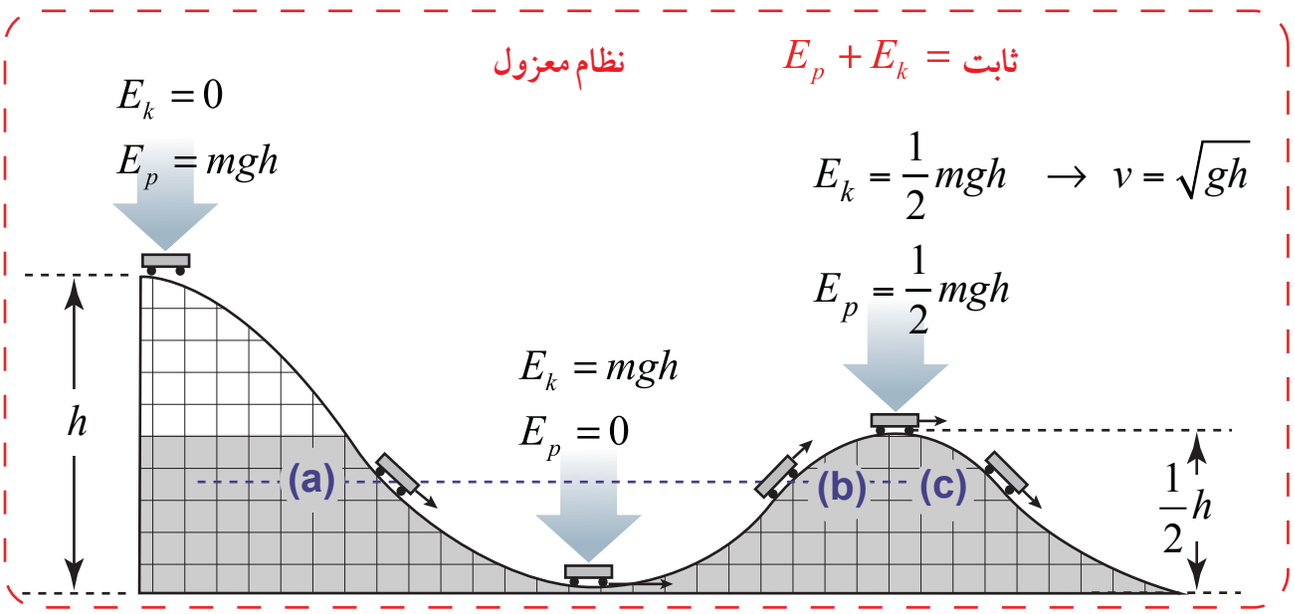


تحوُّلات الطاقة، هي:

5. ادفع عربةً نحو العربة الثانية، حيث تصطدم بها وتُحرّكُها. تحوُّلات الطاقة، هي:

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.

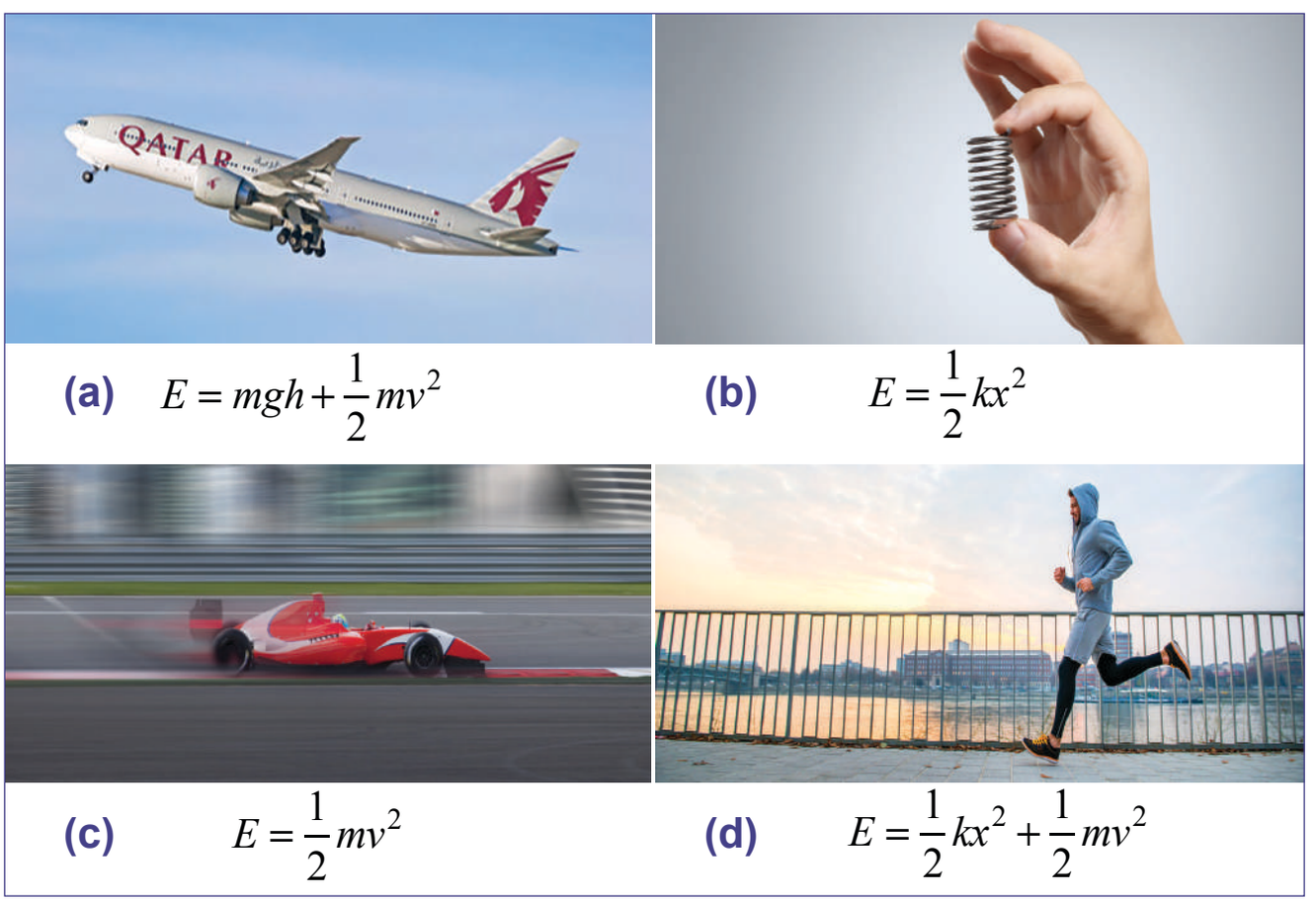
يمكننا اعتبار النظام السابق معزولًا إذا أهملنا قوة الاحتكاك ومقاومة الهواء، إلا أن ذلك غير صحيح عمليًّا. يؤدي وجود الاحتكاك إلى تحويل جزء من الطاقة الميكانيكية الكليّة إلى حرارة، الأمر الذي يعني تناقص الطاقة الميكانيكية باستمرار. أما الطاقة الحرارية المفقودة فهي ليست ضائعة؛ ولكن لا يجري احتسابها بالتحليل 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 **(5-3)**. 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.

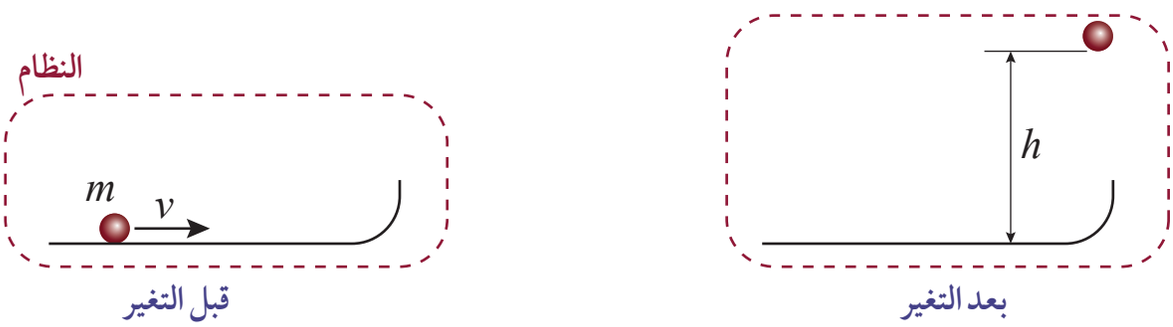
خطوات لحل مسائل حفظ الطاقة

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 الطاقات 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.



قبل التغير:
$$E = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd$$

بعد التغير:
$$E = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd$$

الخطوة 2 نطبِّق قانون حفظ الطاقة الكلّية: الطاقة الكلية قبل التغيُّر تساوي الطاقة الكلية بعد التغيُّر، ثم نشطب 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) (0) (0) (0) (0) (0)

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

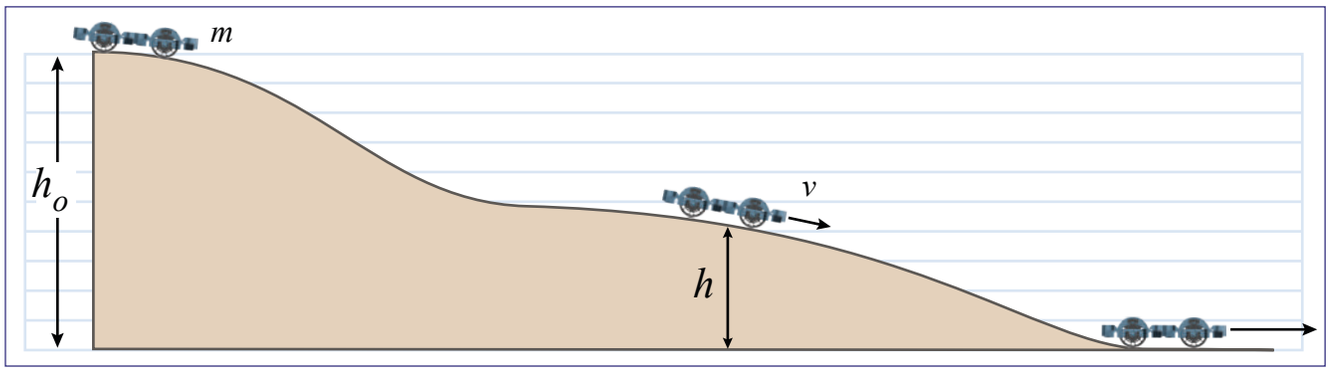
الجواب

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

الخطوة 3 نستخدم قانون حفظ الطاقة لمعرفة الارتفاع. وإذا كانت هناك قِيَم للمُتغيِّرات، فيمكن التعويض عنها، لمعرفة قيمة الارتفاع.

مثال (6)

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.

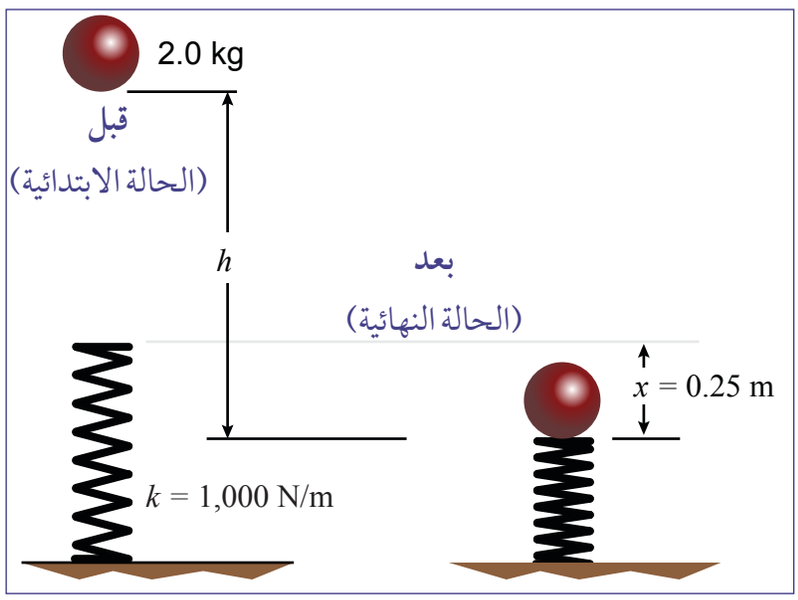
	البداية عند h_o		الوصول عند h
1 →	$mgh_o + \frac{1}{2}mv^2$		$mgh + \frac{1}{2}mv^2$
2 →	$mgh_o + \frac{1}{2}mv^2$ (0)	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2$
3 →	mgh_o	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2$

الجواب $v = \sqrt{2g(h_o - h)}$

حل مسائل الطاقة التي تشتمل على زُنبرك

لابُدّ لورود الزنبرك في أي مسألة من أن يُظهِر 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 = 1000N/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.



الشكل 3-26 سقوط الكرة على الزنبرك.

لحل المسألة، اتَّبع الخطوات الثلاث:

1. اكتب معادلة الطاقة الكلّية للنظام في الحالتين الابتدائية والنهائية.
2. قم بمساواة قيمتَي الطاقة الكلّية قبل التغيُّر وبعده، وأزِل الكمّيات التي قِيَمُها أصفار.
3. أعد ترتيب المعادلة للحصول على القيمة المجهولة.

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 ← $mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$ (0 0 — 0 0)

3 ← $mgh = \frac{1}{2}kx^2$

الجواب: $h = \frac{kx^2}{2mg}$

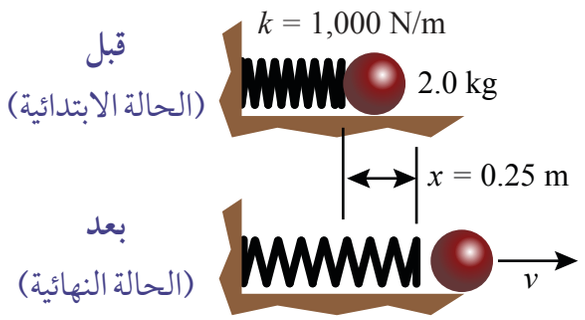
نحوّل 25 cm إلى 0.25 m، ونعوّض عن القيم للحصول على الارتفاع الابتدائي:

$$h = \frac{kx^2}{2mg} = \frac{(1{,}000N/m)(0.25m)^2}{2(2.0kg)(9.8m/s^2)} = \boxed{1.6\,\text{m}}$$ الجواب

مثال (7)

يُستخدَم زُنبرك أفقي، ثابته k = 1000N/m لقذف كرة كُتلتها 2kg. ضُغِط الزُنبرك مسافة 0.25m، ثم وُضعت الكرة أمامه، ثم حُرّر. احسب السرعة القصوى للكرة.

احسب الطاقة الميكانيكية للنظام. (أهمل جميع أنواع الاحتكاكات)



المطلوب الطاقة الميكانيكية والسرعة

المعطى
$k = 1000 N/m$
$x = 0.25m$
$m = 2kg$

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:

$$E_P = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(1{,}000 N/m)(0.25m)^2$$
$$E_P = 31.25J$$

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 ⟵	$mg\cancel{h}_{0} + \frac{1}{2}m\cancel{v}_{0}^2 + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mg\cancel{h}_{0} + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k\cancel{x}_{0}^2$
عوض بالقيم المعطاة ⟵	$\frac{1}{2}kx^2$	=	$\frac{1}{2}mv^2$

الحل ← $v = x\sqrt{\frac{k}{m}}$

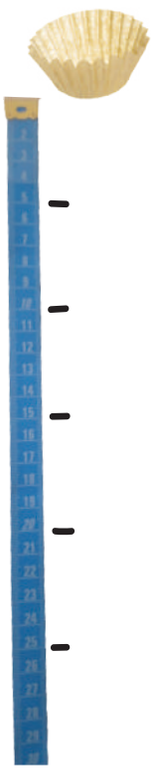
لكي تجد قيمة المطلوب

$$v = (0.25\ m)\sqrt{(1{,}000\ N/m)(2.0\ kg)} = 5.6\ m/s$$

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.
الموادّ 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 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.

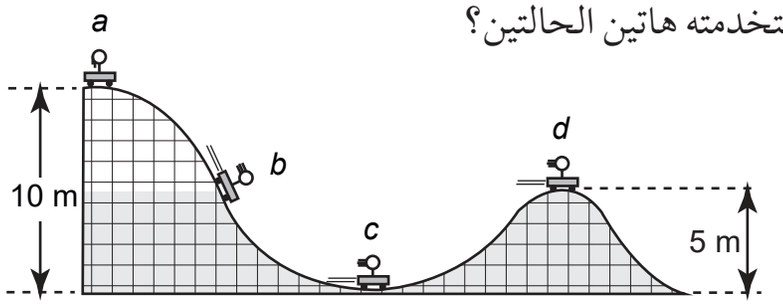
النتائج

a. استخدام 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 قيمَتُها متساوية؟ اذا كانت القيم مختلفة، فاذكر سبب ذلك؟

تقويم الدرس 2-3

1. قُذفت كرة سلّة كتلتها 2 kg باتجاه حلقة السلّة بطاقة كلّية تساوي 500 J،(أهمل مقاومة الهواء).
   a. ما الطاقة الكلّية للكرة عند وصولها إلى أعلى قمّتها خلال حركتها؟
   b. ما الطاقة الكلّية للكرة عندما تصل إلى الحلقة؟
   c. ما المبدأ الذي استخدمته هاتين الحالتين؟

2. أُعطيت عربة السفينة الدّوارة الساكنة عند الموقع a، دفعة خفيفة لكي تبدأ بالحركة، وتنزلق على طول المسار. اجتازت العربة المواقع b و c و d. بإهمال قوّتَي الاحتكاك ومقاومة الهواء:

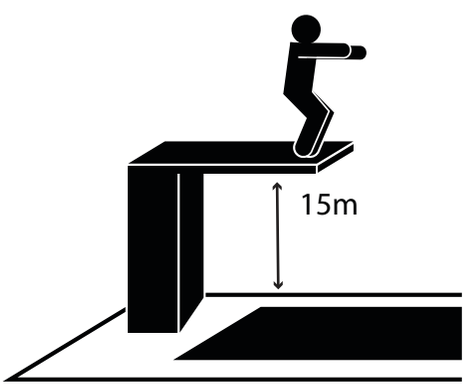


   a. عند أي نقطة تكون طاقة الوضع التجاذبية للعربة أقصى ما يمكن؟
   b. عند أي نقطة تحقّق العربة سرعتها القصوى؟
   c. عند أي موقع أو مواقع، تكون للطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، القيمة ذاتها؟

3. أُلقيت كرة من ارتفاعين مختلفين، بحيث يبلغ الارتفاع الثاني ربع الارتفاع الأول. ما نسبة السرعة الأولى للكرة إلى سرعتها الثانية عند وصولها إلى الأرض في الحالتين. (أهمل مقاومة الهواء).

4. يسقط كرسي كُتلته 20 kg، وطاقة وضعه 250 J بالنسبة إلى الأرض. كم تكون سرعة الكرسي عند وصوله إلى الأرض؟

5. غطّاس كتلته 60kg يقفز من حافة لوح القفز عن ارتفاع 15 m فوق سطح الماء. ما هي سرعة الغطاس عند وصوله إلى سطح الماء؟



6. يتدلى زنبرك مِرن طوله الابتدائي $L_o = 30cm$ وثابتهُ $k = 200N/kg$ من السقف. نعتبر الطرف السفلي للزنبرك كإطار مرجعي. عُلّق جسم كتلته 1kg من الطرف السفلي للزنبرك وتُرك بهدوء إلى أن يصل إلى الاتزان. عجلة الجاذبية الأرضية $g=10N/m$.

   احسب :
   a. استطالة الزنبرك
   b. الشغل المبذول بواسطة وزن الكتلة
   c. طاقة الوضع التجاذبية للكتلة.

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 المحرِّك البخاري بما يقوم به الحصان.

استخدم جيمس وات هذه الفكرة لاحقًا في بحوث المحرِّكات البخارية الخاصة به، والترويج لبيعها، حيث قاس وات 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 وات أفتراضًا بأن قوة الحصان يجب أن تكون مثليّ قوة المُهر، واليوم نعرف أن قدرة الحصان الواحد هي في الواقع 0.7 حصان (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

القدرة الحصانية (hp) Horsepower (hp)

الكفاءة Efficiency

مُخطَّط سانكي Sankey diagram

القدرة

سؤال للمناقشة

متى تكون حيويًّا؟

متى تكون قويًّا؟

هل معايير كل منهما هي نفسها أم أنها مختلفة؟

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؟

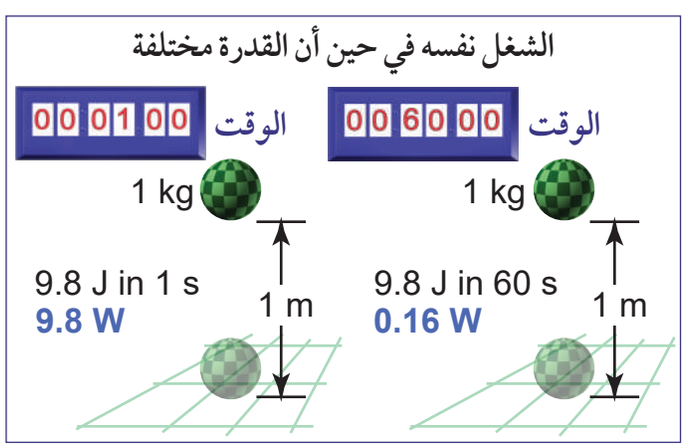
في الواقع، يكون الشغل المبذول الكلّي هو نفسه في كلتا الحالتين؛ لكن **القدرة Power** المطلوبة مختلفة. فالقدرة هي المعدَّل الزمني الذي يُبذل فيه الشغل، أو المُعدَّل الزمني الذي تنتقل فيه الطاقة. ويقاس الشغل بالجول، في حين تقاس القدرة بالجول لكل ثانية. فقدرة مقدارها جول واحد لكل ثانية (J/s) هي **واط واحد (W)** watt، والواط سمي بهذا الاسم تكريمًا للعالم جيمس واط وهو المهندس الاسكتلندي الذي طوّر أول محرِّك بخاري عملي، أمكن بوساطته توفير الطاقة للصناعات في عصر الثورة الصناعية.

5-3 القدرة

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{W}{\Delta t}$$

P	القدرة (W)
ΔE	التغيّر في الطاقة (J)
W	الشغل المبذول (J)
Δt	الفترة الزمنية (s)

تُعدّ القدرة مؤشِّرًا 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 60s يعني بذل قدرة مقدارها 0.16 W، وهي قدرة ينجزها 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 مستقّل عن الزمن المستغرق، في حين أن القدرة تعتمد على الزمن الذي يُنجز فيه الشغل.

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

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 الصيغة $F = \frac{W}{d}$. 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. اضرب زمن ثني الذراع للمرة الواحدة في الطاقة المبذولة في ثني الذراع لمرة واحدة، 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 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؟

مثال (8)

ما الطاقة التي يستخدمها مصباح كهربائي إذا كانت قدرته 100 W عند استخدامه لمدة ساعة كاملة؟ وعند استخدامه يومًا واحدًا كاملًا من 24 ساعة؟

المطلوب الطاقة ΔE التي يستخدمها المصباح .

المعطى قدرة المصباح الكهربائي $P = 100\ W$

الفترة الزمنية لتشغيل المصباح $\Delta t = 1\ hr$

الفترة الزمنية لتشغيل المصباح $\Delta t = 24\ hr$

العلاقات القدرة $P = \Delta E / \Delta t$

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 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.

الاستخدام اليومي للقدرة

عندما تفكِّر بشيئ كم هو «قوي» ، فأنت تفكِّر عادة في مقدار القدرة التي ينتجها. تنتج العديد من الأجهزة والسيارات قدرة تقُاس بوحدة **الحصان الميكانيكي «hp» Horsepower (hp)**، وهي تساوي 746 W.

قـدرة المحرك الكهربائي في الغسّالة المثالية تساوي 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 الحـوت 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.

فكِّر 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 3-1** للمساعدة.

سؤال للمناقشة

كم حصان يحتاج منزلك لتزويده بالطاقة؟

الشكل 3-30 أمثلة يومية للقدرة.

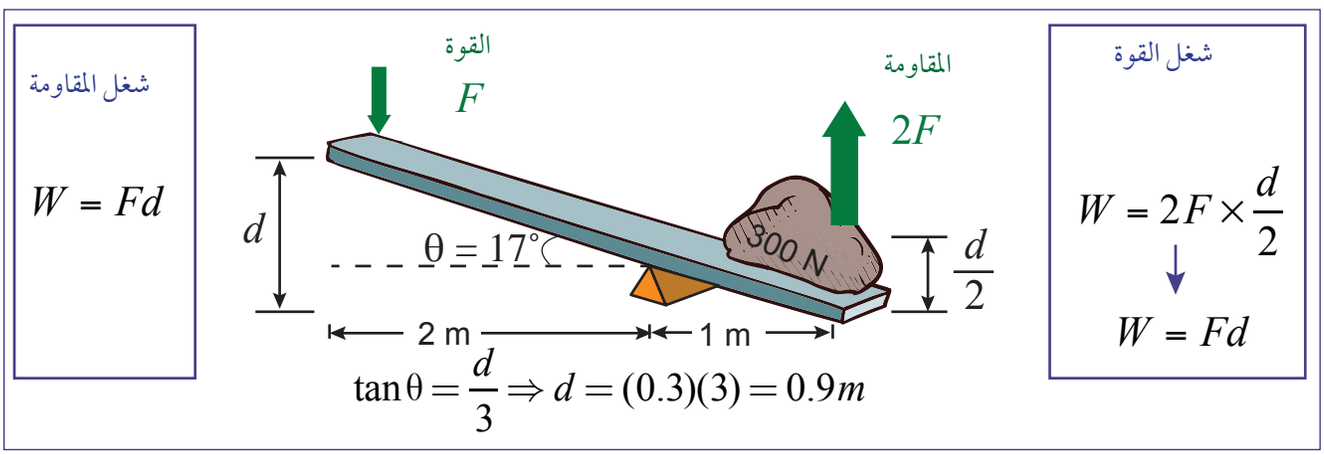
جدول 3-1 القدرة المستهلكة في الأجهزة المستخدمة يوميًّا.

الجهاز	القدرة المستهلكة (hp)	القدرة المستهلكة (W)
مكيّف هواء	4.7	3,500
مكنسة كهربية	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 كهربية	1.3	1000
مكواة كهربية	2	1,500
مجفف شعر	2	1,500
ثلاجة	0.3	200

الآلات المثالية

في الآلة المثالية يكون الشغل عند المدخل مساوٍ للشغل عند المخرج. وإذا لم يتم تخزين الطاقة، تكون قدرة المدخل مساوية لقدرة المخرج.

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.



الشكل 3-31 الشغل المبذول عن طَرَفَي رافعة.

إذا احتجنا 5s فقط لتطبيق قوة من أجل رفع صخرة، فإن قدرة القوة تساوي قدرة المقاومة.

قدرة القوة والمقاومة

$$P_{in} = \frac{W_{in}}{t} = \frac{135}{5} = 27\,\text{W}$$

$$P_{out} = \frac{W_{out}}{t} = \frac{135}{5} = 27\,\text{W}$$

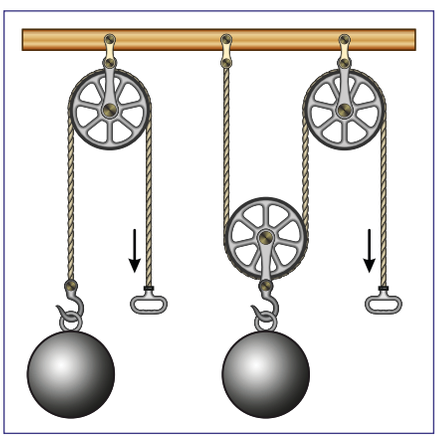
شغل القوة والمقاومة

$$W_{in} = Fd = 150(0.9) = 135\,\text{J}$$

$$W_{out} = Fd = 300(0.49) = 135\,\text{J}$$

البكرات هي مثال آخر على الآلات البسيطة التي تستخدم القوى للحصول على حركة ومسافات مقطوعة 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 الغير إحتكاكية. فالناقل هو آلة بسيطة تنقل القدرة نفسها من القوة إلى المقاومة من خلال تغيير القوى والمسافات.



الشكل 3-32 البكرات كآلات بسيطة.

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.

الشكل 3-33 إسقاط كرات مختلفة من الارتفاع نفسه.

تصف **الكفاءة Efficiency** مدى جودة عملية تحوّل الطاقة الداخلة إلى طاقة خارجة مفيدة. فالسرعة المقيسة لكرة الشاطئ تتباطأ أكثر من السرعة النظرية المتوقعة، لأن فاعلية تحوّل طاقة الوضع إلى طاقة حركية تتناقص إلى الصفر، بسبب تأثير إعاقة الهواء لحركتها.

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).

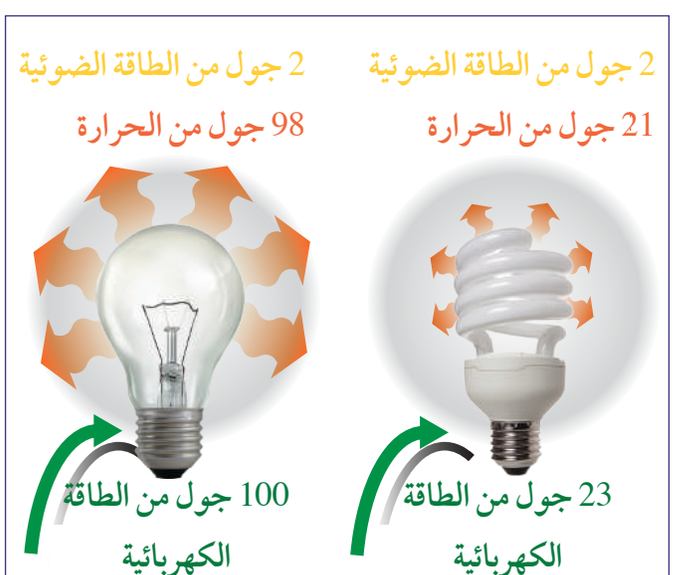
6-3 **الكفاءة**

$$\eta = \frac{E_{\text{خارجة}}}{E_{\text{داخلة}}}$$

الكفاءة	η	
الطاقة الخارجة من النظام	$E_{\text{خارجة}}$	
الطاقة الداخلة في النظام	$E_{\text{داخلة}}$	

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 يأخذ طاقة داخلة 100 J من الطاقة الكهربائية، ويعطي طاقة خارجة 2 J من الطاقة الضوئية، وكفاءته هي 2% فقط، حيث الـ 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.

مثال (9)

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

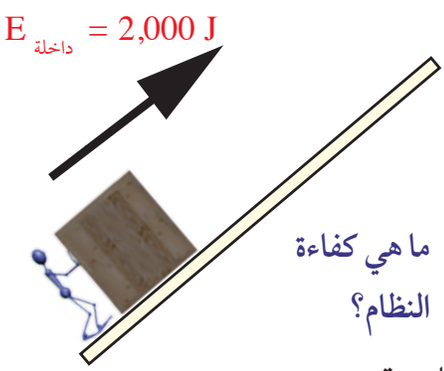
الشغل المفيد المبذول

الكفاءة

المعطى

الطاقة الداخلة $E_{\text{داخلة}} = 2{,}000\ \text{J}$

الطاقة المستهلكة ضد الاحتكاك $E_f = 800\ \text{J}$



العلاقات

$$\text{الكفاءة} = \eta = \frac{E_{\text{خارجة}}}{E_{\text{داخلة}}}$$

الحل

a. نحتاج أولًا أن نحسب الشغل المفيد المبذول، وهو يُعدّ طاقة خارجة.

$$E_{out} = E_{in} - E_f$$
$$E_{out} = 2{,}000\text{J} - 800\text{J}$$
$$= \boxed{1{,}200\text{J}}$$

b. نحسب الكفاءة:

$$\eta = \frac{E_{\text{خارجة}}}{E_{\text{داخلة}}}$$
$$\eta = \frac{1{,}200\text{J}}{2{,}000\text{J}}$$
$$= 0.6$$

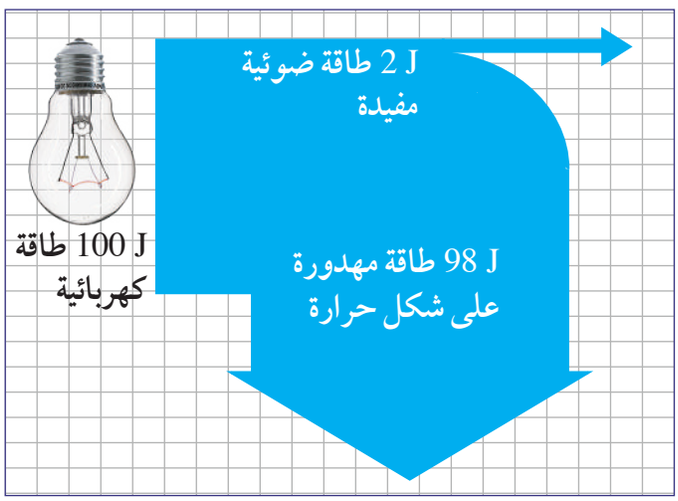
وبتحويلها إلى نسبة مئوية تصبح: $0.6 \times 100\% = \boxed{60\%}$

يُفضّل في بعض الحالات تحويل الكفاءة إلى نسبة مئوية؛ لأن من الأسهل إدراك أن النظام فعّال بنسبة 60% من أن كفاءته 0.6.

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.

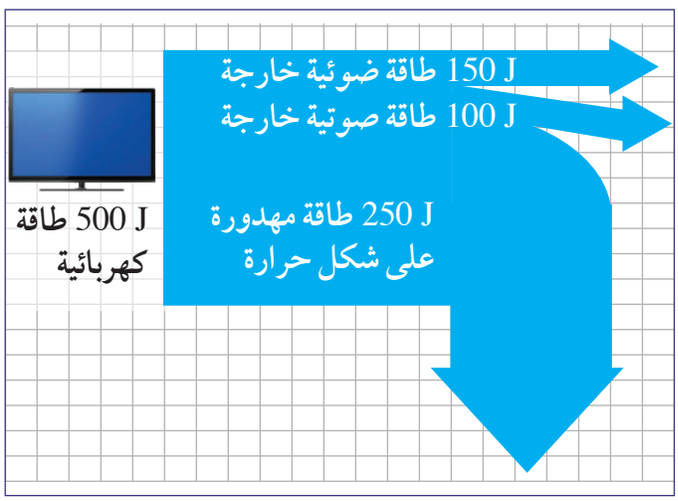
تُستخدَم مُخطَّطات سانكي أساسًا عند الإشارة إلى الكفاءة. فالمصباح المتوهِّج، كما في المُخطَّط، يأخذ 100 J من الطاقة الكهربائية، وينتج 2 J فقط من الطاقة الضوئية، في حين تتحوّل 98 J، وهي الطاقة المتبقية، إلى حرارة **(الشكل 3-35)**.



الشكل 3-35 مخطط سانكي لمصباح متوهّج.

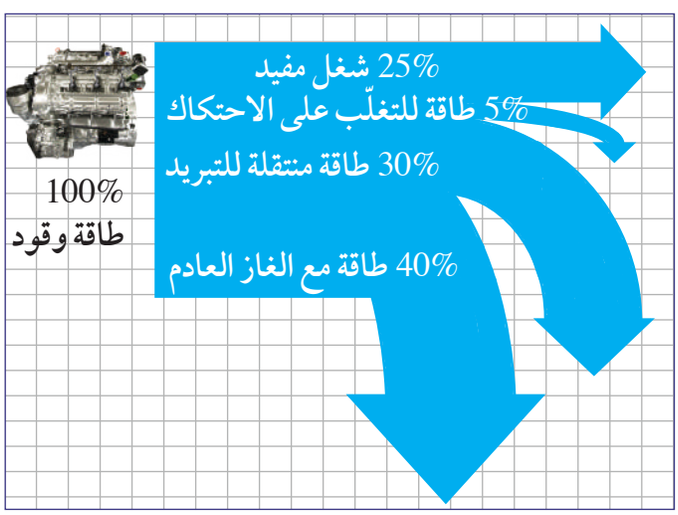
هذا هو السبب في أن المصابيح المتوهِّجة تكون حارّة جدًا عند لمسها، ولا تستبدل إلا عندما تكون مطفأة. يلاحظ أن الأسهم التي تمثّل الطاقة المهدورة تتباعد هابطة إلى أسفل.

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)** يأخذ 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.

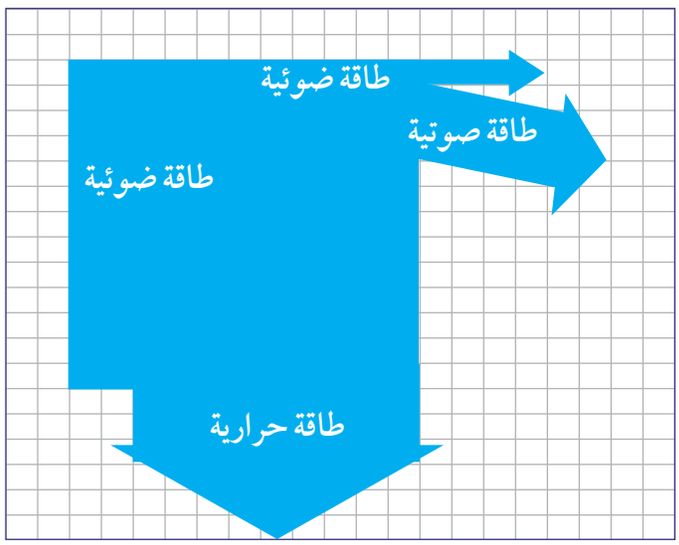
لا نعتمد فقط على الجول في مخطّطات سانكي، إذ يمكننا استخدام الواط، أو حتى النسب المئوية، فمحرِّك السيارة المثاليّ يستخدم فقط 25% من الوقود للسير ولتشغيل الأجهزة الإضافيّة المكمّلة **(الشكل 3-37)**، وتهدر بقية الطاقة أو تُستخدَم في تبريد السيارة لمنع ارتفاع درجة حرارتها.



الشكل 3-37 مخطّط سانكي لآلة.

مثال (10)

يمثِّل 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 مُرَّبعًا، وعليه تكون الطاقة الداخلة: $10 \times 13 = 130$ J

هنك طاقتان مفيدتان هما الطاقة الضوئية والطاقة الصوتية. ويبلغ عرض الطاقة الضوئية مُرَّبعًا 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

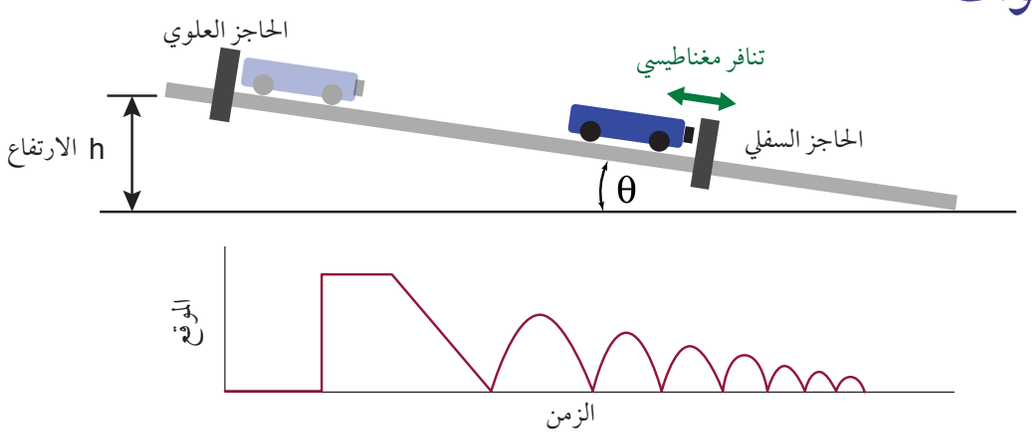
مجموع الطاقة الخارجة: $40\text{ J} + 90\text{ J} = 130$ J

وهنا نرى أن الطاقة الداخلة = مجموع الطاقة الخارجة. وبناء على ذلك تكون الطاقة محفوظة!

b3-3 الكفاءة

سؤال الاستقصاء	ما كفاءة التصادم؟
الموادّ المطلوبة	عربة مزودة بماص صدمات مغناطيسي، مستشعر قوة وموقع، مضمار ميكانيكي مزود بماص 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. ثبّت العربة عند الحاجز العلوي ثم اتركها لتسقط 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 مع الطاقة.

تقويم الدرس 3-3

1. يراد تحريك عربة كتلتها 40 kg إلى قمة منصّة ارتفاعها 1.0 m.
   a. ما مقدار القدرة اللازمة لرفع العربة ووضعها على المنصة في 3.0 s؟
   b. ما مقدار القدرة اللازمة لتحريكها 6 m إلى أعلى منحدر؛ حيث تستغرق عملية التحريك هذه 20 s؟
   c. ما مقدار القدرة اللازمة لرفعها 12 m إلى أعلى منحدر ضيق، حيث تستغرق عملية الرفع هذه 20 s؟

2. a. ما هي فوائد السيارة ذات القدرة الحصانية العالية؟
   b. ما هي عيوب السيارة ذات القدرة الحصانية العالية؟

3. يركب رجل دراجة هوائية لتوليد الطاقة متّصلة بمولد كهربائي. ويقودها بأكبر قوة يستطيع بذلها وبقدرة ميكانيكية مقدارها 500 W، في حين يحوّل المولد الكهربائي القدرة الميكانيكية تلك إلى قدرة كهربائية بفاعلية نسبتها المئوية 40% فقط.
   a. كم عدد المصابيح المتوهِّجة التي يمكن إضاءتها اذا كانت قدرة كل منها 10W؟
   b. كم عدد المصابيح الفلورسنتية المدمجة التي يمكن إضاءتها، إذا كانت قدرة كل منها 5 W؟

4. تحتوي بطّارية الهاتف المحمول المشحونة بالكامل على 20,000 J من الطاقة الكهربائية المختزنة. في حين يستخدم الهاتف المحمول 2 W من تلك الطاقة.
   a. كم ثانية ستستمر البطارية بتزويد الهاتف بالطاقة؟
   b. كم دقيقة ستستمر البطارية بتزويد الهاتف بالطاقة ؟
   c. كم ساعة ستستمر البطارية بتزويد الهاتف بالطاقة؟

5. عندما يصل الجسم الساقط إلى سرعته النهائية، كم تكون كفاءة تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟

6. يمشي فتىً إلى ارتفاع 10 أمتار من سفح تل إلى أعلاه، وينزلق عنه إلى أسفل مستخدمًا لوح تزلج. عندما يصل إلى أسفل التل تكون سرعته 7 m/s. ما هي كفاءة لوح التزلُّج؟

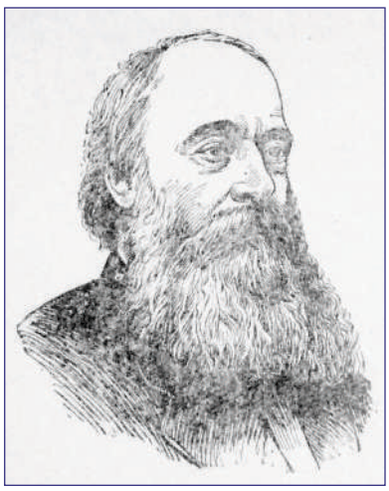
7. ارسم مخطط سانكي لمحطة توليد طاقة كهربائية تعمل على الوقود حيث تخسر 40% من طاقتها كحرارة 5% كإشعاعات و 15% كأشكال أخرى، بينما يتحول الباقي إلى طاقة كهربائية.

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 فاعلية أكبر.

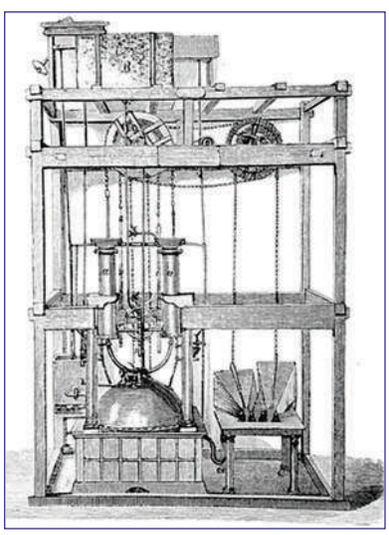
سُمّيَت وحدة الطاقة بالجول نسبة للفيزيائي وعالِم الرياضيات جيمس بريسكون جول. وُلِدَ جول في إنكلترا في سنة 1818 واكتشف في سنة 1840 ما عُرف لاحقا بـ «قانون جول» وهو أن الحرارة والشغل الميكانيكي ليسا إلا شكَلا من أشكال الطاقة، وأن وحدة قياسهما هي وحدة قياس الطاقة نفسها، وهو ما عُرِف لاحقًا بالقانون الأول للديناميكا الحرارية. كذلك اكتشف جول العلاقة بين التيّار والمقاومة والقُدرة.



الشكل 3-38 جيمس بريسكوت جول.

اختراع المحرّك البخاري

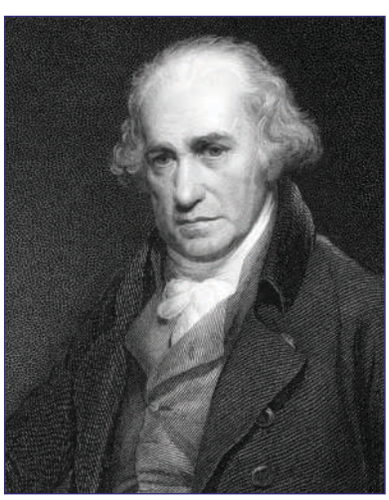
جاء اختراع المحرّك البخاري وجَعلِه أكثر فاعلية كي يؤسِّس لتطوّر نمط حياتنا الحديثة وإيصالها إلى ما تبدو عليه اليوم. جرى تطوير أول محرّك بخاري على يد توماس سافري في سنة 1698 لضخّ المياه التي كانت تملأ منجمًا للفحم. لم يكن محرّك سافري بتلك الفاعلية الجيدة، لكن جرى تطوير فكرته على يد توماس نيوكومن سنة 1712. 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.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

- **الشُّغل** يُبذَل بوساطة 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 تغييرشكلها، 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 تختفي أو تُستَحدَث. ذلك أن معظم أنواع الطاقة المفقودة تتحوَّل إلى طاقة حراريّة أو طاقة صوتيّة.
- **مُخطّط تدفُّق الطاقة** يُستخدم لتمثيل تدفّق الطاقة.
- **الطاقة الميكانيكيّة** هي الطاقة الكلّية التي لها شكل ميكانيكي. وتكون في العادة مجموع الطاقة الحركيّة وطاقة الوضع التجاذبيّة وطاقة الوضع المرونيّة. يتغيّر كل شكل من أشكال الطاقة في النظام المعزول بصورة منفردة كشغل مبذول، لكن تبقى الطاقة الميكانيكيّة دائمًا ثابتة.

الدرس 3-3: القُدرة والكفاءة

- **القُدرة** هي المعدّل الذي يُبذل الشُّغل فيه. وحدة القُدرة هي الواط (W) ، أو الوحدة الحصانية (hp)
- **الكفاءة** هي نسبة الطاقة الخارجة المُستهلَكة إلى الطاقة الداخلة المُستخدمة. يمكننا أن نُصدِر حُكمًا أفضل حول أداء نظام من خلال حساب كفاءته. تُحسَب الكفاءة أحيانا كنسبة مئويّة.
- **مُخطّطات سانكي** هي مخطّطات دقيقة تمثّل الطاقات المُستخدمة والمُستهلكة. يتناسب عرض السهم في مخطّط سانكي طردياً مع النسب المئويّة للطاقات المُستخدمة والمُستهلكة. كما تُمثَّل فيه الطاقة المفقودة أيضاً.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدّد

1. يُستخدم محرّك كهربائي كبير لرفع حاويّة من على سفينة. أي من القيم الآتية تكفي للسماح بحساب قدرة المحرّك؟

a. التيار المُستخدم والشُّغل المُنجز.
b. الشُّغل المُنجز والزمن المُستغرق.
c. القوة المُستخدمة والمسافة المقطوعة.
d. كتلة الحاوية والمسافة المقطوعة.

2. يجري تطبيق قوة ثابتة على سيّارة لمسافة 13 m مع إهمال الاحتكاك. تكتسب السّيارة خلال هذه المسافة طاقة مقدارها 91 J. ما هي أقلّ قيمة متوسِّطة للقوة المُستخدمة.

a. 7 N
b. 3 N
c. 10 N
d. 16 N

3. يتسابق كل من سعيد وناصر الى أعلى تلّة، فيَصِلان خلال الفترة الزمنية نفسها. يزن سعيد 600 N، أما ناصر فوزنه 500 N. أي عبارة من العبارات الآتية هو هي الصحيحة حول القُدرة المُنتجة؟

a. يُنتج سعيد قُدرة أكبر.
b. يُنتج ناصر قُدرة أكبر.
c. كلاهما ينتجان القُدرة نفسها.
d. من المستحيل معرفة أي منهما يُنتج قُدرة أكبر.

4. يبذل علي شُغلاً مقداره 18 J لرفع صندوق 1 kg بسرعة ثابتة. إذا أوقع علي الصندوق، فكم ستكون سرعة الصندوق لحظة اصطدامه بالأرض؟

a. 1.8 m/s
b. 6 m/s
c. 16 m/s
d. 36 m/s

5. كم ستكون الطاقة المُختزنة في زنبرك ثابته 500N/m إذا انضغط مسافة 0.4 m؟

a. 20 J
b. 40 J
c. 80 J
d. 100 J

6. ما هي الطاقة اللازمة لتعجيل جسم كتلته 90 kg من السكون، وحتى سرعة 13 m/s؟

a. 3,681 J
b. 6,943 J
c. 7,605 J
d. 9,810 J

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؟

a. 150 J
b. 490 J
c. 1,470 J
d. 1,960 J

8. يقف أحمد على قمّة مبنى ارتفاعه 10 m، حاملاً 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؟

a. 137.2 J
b. 548.8 J
c. 686.0 J
d. 823.2 J

9. أي من مخططات تدفّق الطاقة الآتية يصف مسار طاقة تغذية المصباح الكهربائي لصفّك؟

a. الطاقة النوويّة > الطاقة الحراريّة > الطاقة الضوئيّة.
b. الطاقة الميكانيكيّة >الطاقة الضوئيّة > الطاقة الانضغاطيّة.
c. الطاقة الضوئيّة > الطاقة الكهربية > الطاقة النووية.
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؟

a. 14.0 m
b. 19.8 m
c. 7.34 m
d. 40.8

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 البدء حين نقوم بتحرير الزنبرك؟

a. 0.40 m
b. 2.3 m
c. 5.8 m
d. 80 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، و 5% لتشغيل بعض أجهزتها(كالمكيّف مثلاً). ما هي كفاءة نموذج السيّارة هذا؟

a. 13%
b. 20%
c. 23%
d. 30%

13. مصباح قدرته 40 W يفقد 34 J من الطاقة كل ثانيّة بتسخين محيطه. ما هي كفاءة المصباح؟

a. 0.15%
b. 15%
c. 18%
d. 85%

14. رجل كتلته 70 kg يريد أن يتسلّق أعلى منحدر صخري ارتفاعه 900 m. إذا وقع من أعلى المنحدر، كم ستكون سرعته لحظة وصوله إلى الأرض؟

a. 13.6 m/s
b. 93.9 m/s
c. 132.8 m/s
d. 17,640 m/s

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

15. كم يلزم من الشُّغل للحفاظ على ثِقل بشكل ساكن فوق الرأس لمدة 10 s؟

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.

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؟

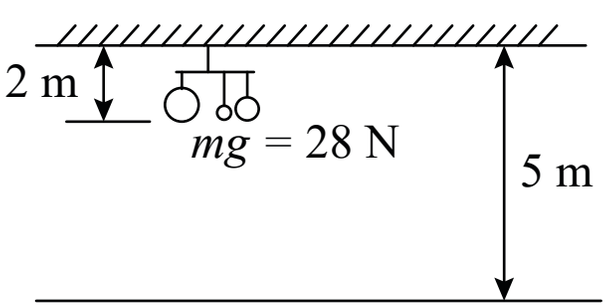
18. يتجادل أخَوان في شقة حول طاقة الوضع التجاذبية لتلفاز كتلته 10 kg معلّق على الحائط. يدّعي الأول أنّ التلفاز موجود على ارتفاع 2 m من الأرض، وبالتالي تكون طاقة وضعه: $10\ kg \times 9.8\ N/kg \times 2\ m = 196\ J$. أمّا الثاني فيقول: بما أنّنا في الطابق الثاني، سيكون التلفاز على ارتفاع 12 m فوق الأرض؛ فتكون طاقة وضع التلفاز: $10\ kg \times 9.8\ N/kg \times 12\ m = 1{,}176\ J$. أي الأخَوين كان مُحقًّا؟ اشرح ذلك.

19. تَقِفُ مواجهًا للحائط على حذاء انزلاقي، وتقوم بدفع الحائط فتتحرّك بعيدًا عنه. ناقش ما إذا كانت القوة المؤثرة من الحائط عليك قد بذلت أيّ شُغل؟

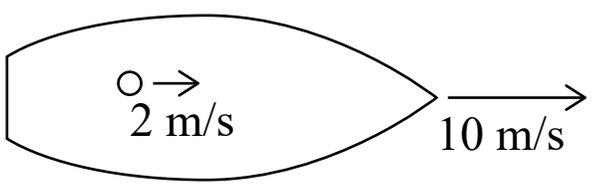
20. ما طاقة الوضع المرونيّة لحزام مطّاطي ثابت زنبركه 25 ,0 N/m، في حال تمدُّده بمقدار 10 cm عن موضعه الأصلي؟

21. ما الطاقة الحركيّة لعصفور كتلته 6 kg يحلّق بسرعة 15 m/s؟

22. يُعلّق هاتف جَوّال وزنه 28 N على مسافة 2 m أسفل سقف الغرفة، الذي يرتفع بدوره 5 m عن الأرض. ما هي طاقة الوضع التجاذبية للهاتف بالنسبة إلى الأرض، ثمّ بالنسبة إلى السقف، ثمّ بالنسبة إلى نقطة تقع عند ارتفاع الهاتف؟



23. كرة كتلتها 150 g تتدحرج باتجاه الشمال بسرعة 2m/s على ظهر عبّارة بحريّة. تتحرّك العبّارة نفسها باتجاه الشمال أيضًا، بسرعة 10 m/s بالنسبة إلى جزيرة قريبة.



a. ما هي الطاقة الحركيّة للكرة بالنسبةإلى الإطار المرجعي للعبّارة البحريّة؟

b. ما هي الطاقة الحركيّة للكرة بالنسبة إلى الإطار المرجعي للجزيرة؟

الدرس 3-2: حفظ الطاقة

24. وفقًا لقوانين الفيزياء، لا يمكن استحداث الطاقة أو فناؤها، إذ أن محتوى الكون من الطاقة يبقى ثابتًا. فلماذا نحن قلقون إذاً حول نفاذ الطاقة وصعوبة توفيرها؟

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 قمَّتها.

26. ألقيت كرة تنس وكرة بولينغ بشكل مُنفصل بطريقة تسمح لهما بامتلاك الطاقة الحركيّة نفسها، عند الوصول إلى الأرض. هل جرى القاؤهما من الارتفاع نفسه أم من ارتفاعين مختلفين؟ إذا كانت إجابتك هي الثانيّة، فأي من الكرتين ألقيت من النقطة ذات الارتفاع الأعلى؟

27. يسقط قالب كتلته 1.0 kg من أعلى حافة ارتفاعها 44 m ليصل إلى الأرض بعد 3.0 s.

a. جد السرعة النهائيّة للقالب، مستخدمًا معادلات الحركة.

b. جد السرعة النهائيّة للقالب، مستخدمًا حفظ الطاقة.

28. تتحرّك عربة كتلتها 200 kg على مسار أفعوانيّ عديم الاحتكاك، فتنطلق من ارتفاع 15 m فوق الأرض بسرعة 10 m/s. كم تكون سرعة العربة، عندما يصبح ارتفاعها عن الأرض 5 m؟

29. تبلغ كتلة كريم 80 kg ، ويتناول قطعة من الشوكولاتة طاقتها 1,000 J. اذا اعتبرنا أنّ جسم كريم قادر على تحويل الطاقة الموجودة في الشوكولاتة بكاملها إلى طاقة حركيّة، فما هي أقصى سرعة يستطيع الركض بها؟

30. ينزلق قالب كتلته 3 kg على سطح خشن بسرعة ابتدائية 6 m/s ، ليتوّقف بعد قطعه مسافة 15 m. احسب قوة الاحتكاك.

31. يقفز سبّاح كتلته 60 kg عن لوح القفز نحو الأعلى بسرعة ابتدائيّة 5 m/s. يبلغ ارتفاع لوح القفز 10 m فوق سطح الماء. ما هي سرعة السبّاح بعد القفز، لحظة وصوله إلى سطح الماء؟

الدرس 3-3: القُدرة والكفاءة

32. هل يمكن بذل طاقة كبيرة بقدرة قليلة جدًّا؟ كيف يحدث ذلك؟

33. أعط تقديرًا لأصغر قُدرة تلزم لرفع كتلة 60 kg رأسيًّا نحو الأعلى مسافة 14 m، خلال 5 s.

34. يُنتج محرِّك كهربائي صغير قوة 5 N، فتحرّك سيّارة تعمل على جهاز التحكُّم مسافة 5 m كل ثانية. ما هي القُدرة التي ينتجها المحرّك؟ أعط إجابتك بوحدتَي الواط والحصان.

35. ما هو 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.

36. يسقط فتىً كتلته 60 kg عن ارتفاع 20 m فوق سطح كوكب مجهول يمتلك مقاومة هواء كبيرة وجاذبيّة مساوية لجاذبيّة الأرض. عند وصوله إلى سطح الكوكب، تكون سرعته 2 m/s.

a. احسب كفاءة قفزته في تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركيّة.

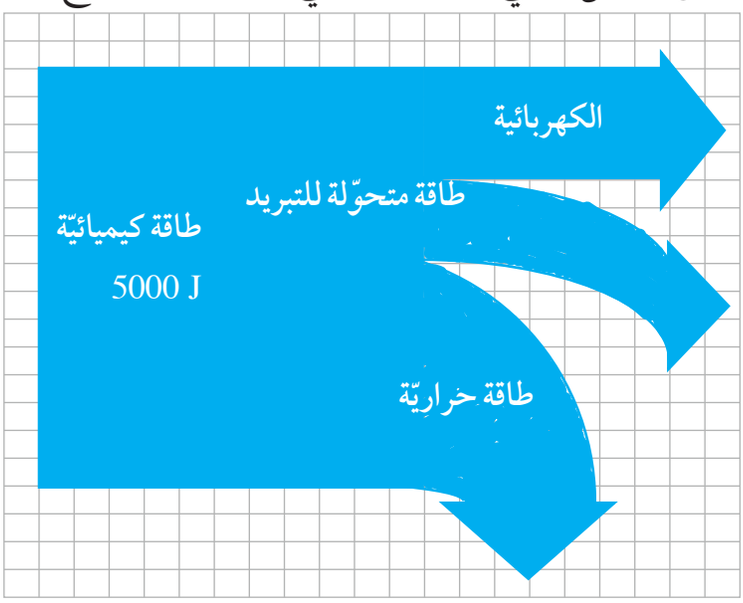
b. احسب الطاقة التي اكتسبها محيطه جرّاء قفزته.

37. لِكُرَةٍ مطاطيّة كفاءة ارتداد تبلغ 80% ، أي إنّها تحافظ على 80% من طاقتها الحركيّة بعد الارتداد، بينما يتحوّل الجزء المتبقي إلى طاقة حرارية.

a. إذا سقطت الكرة من ارتفاع 5 m، فكم سيكون الارتفاع الذي تبلغه الكرة بعد أول ارتداد؟

b. إلى أي ارتفاع تصل الكرة بعد الارتداد الثاني، والثالث، والرابع؟

38. يُظهر الشكل الآتي مخطّط سانكي لمحطّة طاقة تُنتج طاقة كهربائيّة.



a. ما هي قيمة الطاقة الكهربائيّة التي تُنتجها المحطَّة.

b. ما هي قيمة الطاقة المُستخدمة في المبرّد؟

c. ما هي قيمة الطاقة الحراريّة المفقودة على شكل غازات؟

d. ما هي كفاءة محطة الطاقة؟

39. افترض أن لدينا نظامًا لتحويل الطاقة الشمسيّة بمساحة تبلغ $10\ m^2$. تصل الكثافة الشمسيّة في يومٍ صافٍ إلى حوالي $600\ W/m^2$.

a. ما هي قيمة الطاقة المُجمّعة خلال ساعة واحدة؟

b. ما الفترة الزمنية التي تستطيع فيها هذه المحطة إضاءة مصباح كهربائي واحد قدرته 25 W؟

c. تستخدِم مقصورة ذات فاعليّة كبيرة حوالي 400 W من الطاقة كل 24 ساعة. اذا كانت كفاءة تحويل الطاقة الشمسيّة إلى طاقة كهربائيّة هي 15%، فهل بإمكان المحطة تزويد المقصورة بالقدرة المتوسطة 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، وتكتسب الطريق طاقة حراريّة قيمتها 21,250 J.

a. هل حُفِظَت الطاقة؟

b. لماذا تكسب الطريق طاقة حراريّة؟

41. سيارة 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.

42. يصل معدّل قدرة محرّك مصعد إلى 2500 W.

a. احسب سرعته في الصعود، اذا كانت حمولته تبلغ 1,200 kg.

b. وُجِدَ عمليًّا أن سرعة الحمولة المرفوعة أقل من القيمة التي حصلنا عليها نظريًّا. اقترح أسبابًا تبرّر ذلك.

43. يتحرّك عُمر، الذي تبلغ كتلته 60 kg، بدرّاجة سرعتها 15 m/s على تلّة ارتفاعها 3.0 m. يبدأ النزول عن التلّة من دون استخدام الدوّاسات، ومن دون قوة احتكاك.

a. كم يبلغ تحوّل الطاقة خلال نزول عُمر عن التلّة؟

b. كم تكون سرعته عند بلوغه قاع التلّة؟

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.

الاستقصاء والبحث

المنشآت الصناعيّة في قطر

ابحث في طُرُق تقليل الطاقة المهدورة (بفعل الحرارة)، أو المشتّتَة في المنشآت الصناعيّة القطريّة، مثل محطات الطاقة.

- اختر منشأة صناعيّة.
- ابحث حول 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 هي نتيجتك النهائيّة حول كفاءة هذه المنشأة؟

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;