وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

الفيزياء

كتاب الطالب

المستوى الحادي عشر

PHYSICS
STUDENT BOOK

GRADE 11

الفصل الدراسي الأول
FIRST SEMESTER

طبعة 1446 - 2024

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

© وزارة التربية والتعليم 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 التربية والتعليم 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.

النشيد الوطني

قَسَـمًا بِمَـنْ رَفَـعَ السَّـمَاءْ قَسَـمًا بِمَـنْ نَشَـرَ الضِّـيَاءْ
قَطَـرٌ سَتَبْـقَى حُـرَّةً تَسْمُـو بِـرُوحِ الأَوْفِـيَـاءْ
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

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

إدارة التّوجيه التّربوي

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

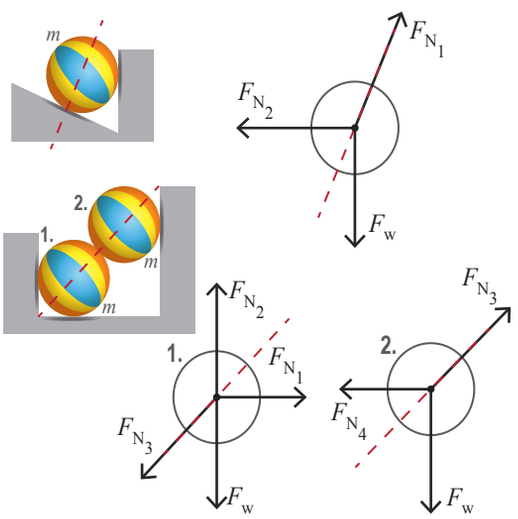
ما الفيزياء؟ وما ضرورة فهمها؟

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 المايكروويف والعديد من الأجهزة التي نستعملها في حياتنا اليوميّة. تشتمل الفيزياء على مجموعة من المعارف البشريّة حول الكون والقوانين الأساسيّة الّتي تفسّر الظواهر الطبيعية. 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.

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 التسارع والحركة في بعدين يُشكّلان نواة الفهم حول كيفيّة تغيير الحركة نتيجة تأثير القوى.

الطّاقة والقُدرة هو الموضوع الأخير في الفصل الأوّل. فالطّاقة هي العُملة المتداوَلَة في الطّبيعة، حيث تظهر بأشكال مختلفة منها ما هو على شكل كهرباء، 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 التي تنظم مختلف نواحي العلوم.



يمثّل مخطّط الجسم الحر القوى بين الأجسام.

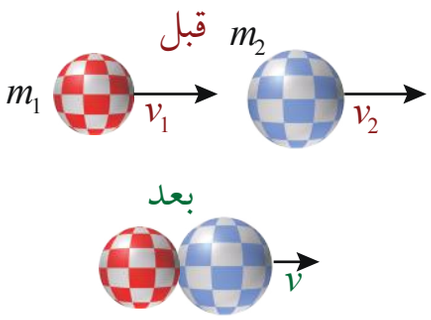
القوى المؤثّرة عند التّسارع في منعطف.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

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

تصادم غير مرن تمامًا



أسئلة للمناقشة

سؤال للمناقشة

ما العلاقة بين القوّة والحركة؟

أسئلة المناقشة تزوّد الصّفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات الجديدة.

شريط الأفكار المهمّة

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

تحديد وتذكّر النّقاط الرّئيسة.

العلاقات والمعادلات الرّياضيّة

1-1	الوزن	F_w	الوزن (N)
$F_w = mg$		m	الكتلة (kg)
		g	شدة مجال الجاذبية (N/kg)

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

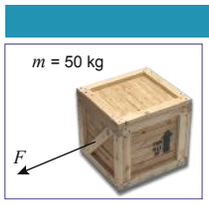
الأمثلة

مثال (3)

يستقر صندوق خشبي كتلته 50 kg على أرض خشبية.

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

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



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

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

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والشّرح للحصول على حسابات صحيحة.

العلم والعلماء

ضوء على العلماء

الثّورة العلميّة هي الفترة الّتي تحصل خلالها تغيّرات كبيرة في المُعتقدات التّاريخيّة المتجذّرة. تجادل العلماء كثيرًا حول تاريخ بداية ونهاية الثّورة العلميّة في أوروبا. لكنّ معظمهم يعتقدون أنّ الخطّ الزّمنيّ المقبول يبدأ مع النّتائج الّتي قدمها نيكولاس كوبيرنيكوس (1473–1543) وينتهي مع قبول القوانين الّتي قدّمها اسحق نيوتن (1642–1727).

الشّكل 2-25 تمثال كوبيرنيكوس في وارسو

اقترح الرّياضيّ وعالم الفلك البولنديّ نيكولاس كوبيرنيكوس نظام مركزيّة الشّمس المضاد لِنظام مركزيّة الأرض الّذي كان يُعتقَدُ به في ذلك الوقت. لم يكن كوبيرنيكوس أوّل من طرح هذه الفكرة، فقد تناولها من قبله أرسطرخس (270 ق.م) وسيليوسوس (190 ق.م) فضلًا عن الحسن ابن الهيثم (1028 م) الّذي دحض نموذج مركزيّة الأرض مُعتبِرًا أنّه "كان مستحيلًا". لكنّ كوبيرنيكوس دعم زعمه ببيانات دقيقة ومشاهدات علميّة فأصبحت نظريّته بداية لِعلم الفلك

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

الأنشطة

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

نشاط عملي

1-1 (b) الاحتكاك

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

الخطوات

تقويم الدّرس

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

تقويم الدرس 1-1

1. تسارع الجاذبيّة في طبقات الغلاف الجويّ العليا لِكوكب المُشتري تعادل 2.35 مرّة تسارع الجاذبية الأرضية. إذا علمْت أنّ كتلة مسبار لِلأبحاث تبلغ 950 kg على الأرض. كم سيكون وزن المسبار على سطح كوكب المُشتري؟
2. أفترض أنّ رائد فضاء كتلته 100 kg، يبلغ وزنه 500 N على أحد الكواكب الموجودة خارج مجموعتنا الشّمسيّة.
   a. ما كتلة رائد الفضاء على ذلك الكوكب؟
   b. ما تسارع الجاذبيّة على ذلك الكوكب؟

مراجعة الوحدة

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

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدّرس 1-1 القوى والاتزان

- القوى هي المؤثّرات التي تؤدّي إلى تغيّر الحركة
- وحدة قياس القوة هي النيوتن الواحد (1N) وهي القوة اللازمة لتغيير سرعة جسم كتلته 1 kg بمعدّل متر واحد في الثّانية لكل ثانية ($1kg.m/s^2$)
- الوزن هو قوّة الجاذبيّة التي تُؤثّر في الكتلة.
- مُحَصّلة القوى هي مجموع تلك القوى مع أخذ اتّجاهاتها في الاعتبار.

تقويم الوحدة

زوّدت كل وحدة بمجموعة من أسئلة الاختيار من متعدّد كعينة تحضّر الطالب لاختبارات نموذجيّة.

تقويم الوحدة

اختيار من متعدد

1. أيّ زوج من خصائص الحركة يمكن تغييره تحت تأثير قُوّة؟
   a. الكتلة والسّرعة.
   b. اتّجاه الحركة والكتلة.
   c. اتّجاه الحركة والسّرعة.
   d. اتّجاه الحركة والوزن.
2. إذا كانت المُركّبة x لقوة مقدارها 10 N تبلغ 6 N، فكم تبلغ المُركّبة y لهذه القوة؟
   a. 4 N
   b. 8 N
   c. 16 N
   d. 60 N

تقويم الوحدة

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

تقويم الوحدة

15. تسقطُ كرة تحت تأثير وزنها 10 N وتتعرّض لمقاومة هواء 4 N إلى أعلى. ما محصلة القوى المؤثرة في الكرة؟
   a. 6 N إلى أعلى
   b. 14 N إلى أسفل
   c. 14 N إلى أعلى
   d. 6 N إلى أسفل
16. هل يمكنك التّفكير في موقف لا يكون فيه لِجسم معيّن أيّ قوّة تؤثّر فيه؟ اشرح سبب ذلك.
17. غالبًا ما تُعتبَر قوّة الاحتكاك «سيّئة» لأنّنا نقوم بتزييت الأشياء واستخدام كُرات دوّارة لتقليل الاحتكاك. لكنّ الاحتكاك يمكن أن يكون جيّدًا، بل ضروريًّا في الكثير من الحالات. فكّر

مخطّط المادّة

الوحدة 1

القوى

الوزن والاحتكاك قوتان من بين العديد من القوى المألوفة لنا في حياتنا اليوميّة. القوى هي المؤثر الذي يستطيع تغيير الحركة أو يمنع هذا التّغيير من الحدوث.

الوحدة 2

قوانين نيوتن والزّخم

تتأثّر الأجسام بمحصلة القوى المؤثّرة فيها عن طريق التّسارع أو عدمه. القصور والزّخم ومحصّلة القوى تؤثر جميعها في اتّجاه الحركة وتسارعها.

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 1

القوى 2

الدّرس 1-1 القوى والاتزّان 4

الدّرس 1-2 المتّجهات والقوى 18

الدّرس 1-3 العزم والاتّزان الدّورانيّ 30

الوحدة 2

قوانين نيوتن والزّخم 48

الدّرس 2-1 القانونان الأوّل والثّالث لنيوتن 50

الدّرس 2-2 القانون الثّاني لنيوتن 58

الدّرس 2-3 حركة المقذوفات والسّطح المائل 66

الدّرس 2-4 الزّخم الخطّيّ وحفظ الزّخم 76

الوحدة 3

الشُّغل و الطاقة والقدرة 96

الدّرس 3-1 الشُّغل المبذول والطاقة 98

الدّرس 3-2 حفظ الطاقة 118

الدّرس 3-3 القدرة والكفاءة 129

الوحدة 1

القوى

في هذه الوحدة

الدرس 1-1: القوى والاتزان	P1101
الدرس 1-2: المُتَّجَهات والقوى	P1102
الدرس 1-3: العزم والاتِّزان الدوراني	P1105
	P1103

الوحدة 1

مقدمة الوحدة

كيف يمكن لجسر أن يبقى متّزناً؟ كيف يمكن لمحرك سيّارة أن يدفعها إلى الأمام؟ كيف يمكن للمكابح (الفرامل) أن توقف السيارة؟ تؤثّر القوى على الدوام في كل الأجسام من حولنا. وبما أن القوى لا تُرى، فإننا نطبق قوانين الفيزياء لنستنتج تأثير هذه القوى.

لكي يبقى الجسر المعلّق في حالة اتزان، يجب أن تكون محصلة القوى المؤثرة في كل جزء من أجزاء الجسر صفرا في كافة الاتجاهات. إن وزن الجسر ووزن المركبات التي تسير فوقه قوىً معروفة. يجب أن تتوازن هذه القوى بقوى أخرى تقاومها من الجسر نفسه. يصمم المهندسون الجسور بتأمين دعمٍ كافٍ من القوى لتحقيق الاتّزان بحيث تكون محصّلة القوى صفرًا في كل الاتجاهات.

يمكن لِلقوى أن تسبِّب الدّوَران أيضًا عندما تُحدِث عزمًا. جرِّب مثلًا أن تفتح الباب بدفعه من نقطة قريبة من مفصّلته بدلًا من نقطة قريبة من مقبضه. يمكن أن يكون للقوّة نفسها تأثيرات مختلفة. وتمتلك الأجسام في حالة الاتّزان التّامّ مُحصِّلة عزوم تساوي صفرًا ومحصلة قوى تساوي صفرًا.

الأنشطة والتجارب

1-1 (a) القوى والكتلة والوزن.

1-1 (b) الاحتكاك.

2-1 الاتزان السكوني للقوى.

3-1 العزم والعضلات.

الدّرس 1-1
القوى والاتزان

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

المفردات

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

مخرجات التّعلُّم

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

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

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

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

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

القوّة

سؤال للمناقشة

ما التّفسير العلمي لِلقوّة؟

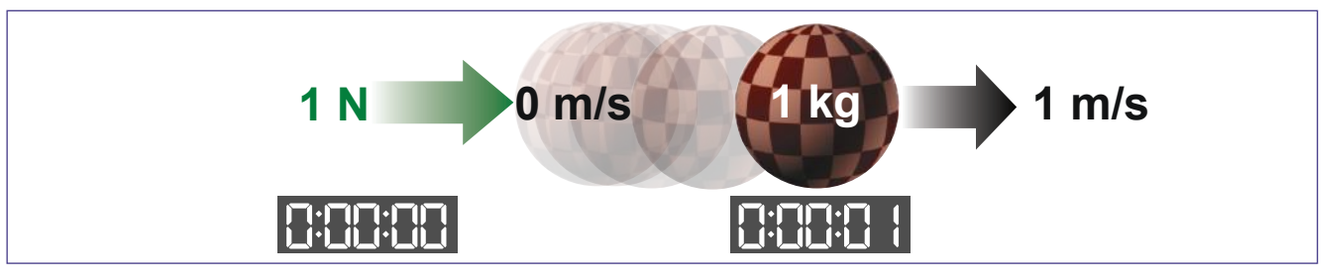
كيف تُقاس القوّة؟

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

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

الشّكل 1-1 السحب والدفع حالتان توضحان مفهوم القوة.

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



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

القوّة هي المؤثر الّذي يستطيع تغيير أو محاولة تغيير الحركة.

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

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

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

سؤال للمناقشة

هل الكتلة والوزن هما الشّيء نفسه؟

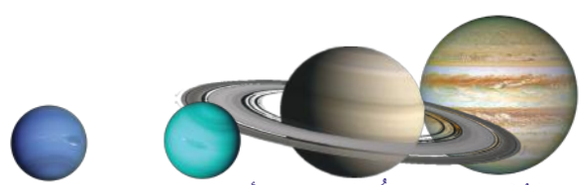
كيف تختلف الكتلة عن الوزن؟

1-1	الوزن	F_w	الوزن (N)
$F_w = m\,g$		m	الكتلة (kg)
		g	شدة مجال الجاذبية (N/kg)

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

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

الجدول 1-1 شدة مجال الجاذبيّة على أسطح الكواكب.



	غطارد	الزّهرة	الأرض	المرّيخ	المُشتري	زُحل	أورانوس	نيبتون
الكتلة	0.06 m_E	0.82 m_E	1 m_E	0.11 m_E	318 m_E	95 m_E	14.5 m_E	17.1 m_E
شدة مجال الجاذبية	3.70 N/kg	8.9 N/kg	9.8 N/kg	3.72 N/kg	24.8 N/kg	10.4 N/kg	8.9 N/kg	11.1 N/kg

تعتمد شدة مجال الجاذبية لكل كوكب على كلّ من كتلة الكوكب وحجمه. يوضح **الجدول 1-1** أنّ كتلة المرّيخ تساوي 0.11 من كتلة الأرض، وهو أصغر حجمًا أيضًا وتكون شدة مجال الجاذبيّة عند سطحه $g = 3.7$ N/kg. أمّا كتلة المشتري فهي أكبر من كتلة الأرض بـ 318 مرّة وهو أيضًا أكبر حجمًا من الأرض وشدة مجال الجاذبية على سطحة حوالي 24.8 N/kg. وعلى الرّغم من أنّ هذا الكوكب هو كوكبٌ غازيّ عملاق بدون سطح صلب، فقد تمّ اعتماد سطح «الجاذبيّة» لِلمشتري عند نصف قطر معيّن من غلافه الجويّ حيث يكون ضغطه الجويّ مُساوٍ لِلضّغط الجويّ عند سطح الأرض.

مثال (1)

تُظهر قراءة الميزان الزّنبركيّ وزن جسم معيّن مقداره 5.8 N.

ما كتلة هذا الجسم؟

المطلوب الكتلة، m

المُعطى الوزن، 5.8 N

العلاقات $F_w = mg$

الحلّ

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

مثال (2)

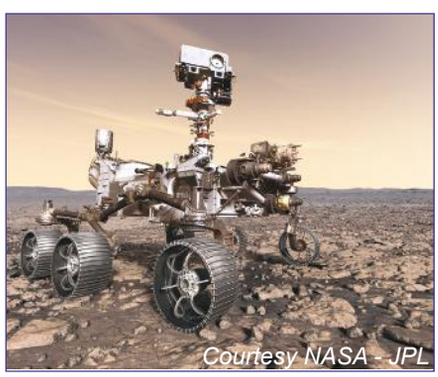
تحمل سفينة فضائيّة مركبة جوّالة إلى كوكب المرّيخ. تقتضي مهمّة المركبة الجوّالة التّحرّك على سطح المرّيخ وحمل الصّخور لإجراء بعض التّجارب عليها.

a. وزن المركبة الجوّالة على الأرض هو 5,488 N

فما هو وزنها على المرّيخ؟ ($g = 3.7$ N/kg على سطح المرّيخ)

b. يمكن للمركبة الجوّالة أن ترفع $\frac{1}{10}$ من وزنها.

كم ستكون أكبر كتلة صخر يمكن للمركبة أن ترفعها؟



المطلوب الوزن على المرّيخ F_w، كتلة الصّخرة m

المعطى الوزن على الأرض 5,488 N

العلاقات $F_w = mg$

الحلّ

وزن المركبة الجوّالة على المرّيخ

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

كتلة المركبة الجوّالة

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

أكبر كتلة للصّخرة

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

وزن أثقل صخرة

$F_w = mg$

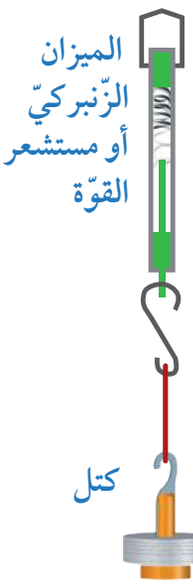
$$F_w = (2{,}072\ \text{N})(0.1) = 207.2\ \text{N}$$

نشاط عملي

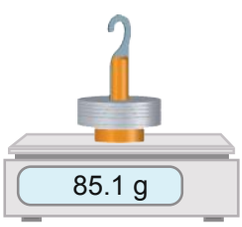
1-1 (a) القوى والكتلة والوزن

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

الخطوات



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



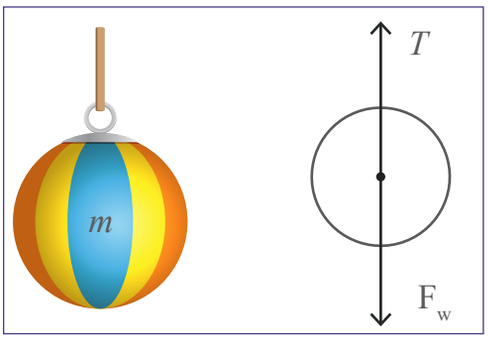
الجدول 1-2 بيانات الوزن والكتلة

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

أسئلة

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

مُخطّط الجسم الحرّ

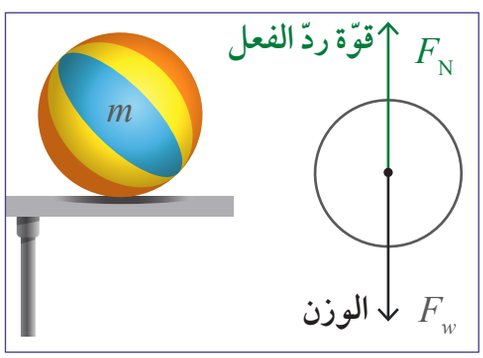


الشّكل 1-3 مخطّط جسم حر

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

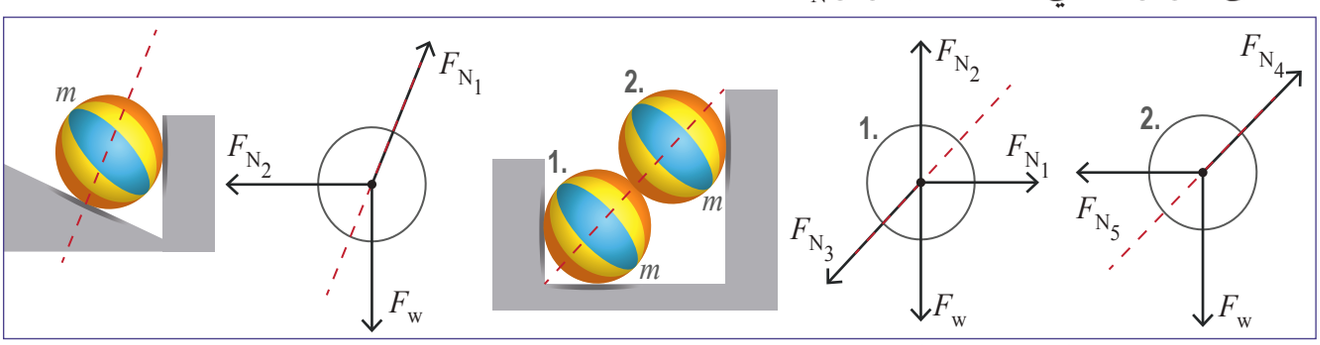
يجب أن يتضمّن مُخطّط الجسم الحرّ جميع القوى المؤثّرة في الجسم. فعبارة «في الجسم» هي عبارة بالغة في الأهميّة إذ من الممكن أن تكون هناك قوى يقوم الجسم بالتّأثير بها في جسم آخر.

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



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

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



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

يُظهِر الشّكل 1-5 كيف يكون لِكلّ جسم مخطّط حرّ. فكلّ قوّة من القوى تمتلك اسمًا خاصًّا بها. وقد استخدمنا في مثالنا هذا لِلقوى الرّموز F_{N_1} ، F_{N_2} ، F_{N_3} ، F_{N_4} و F_{N_5} .

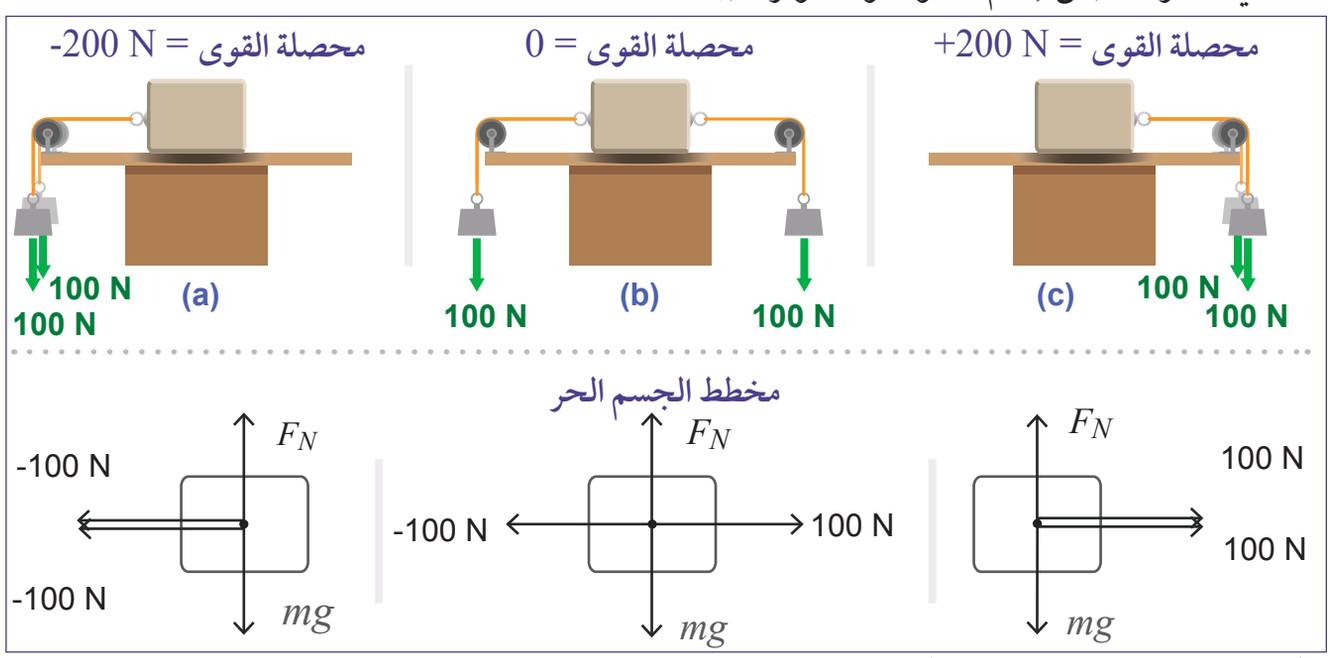
مُحصّلة القوى

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

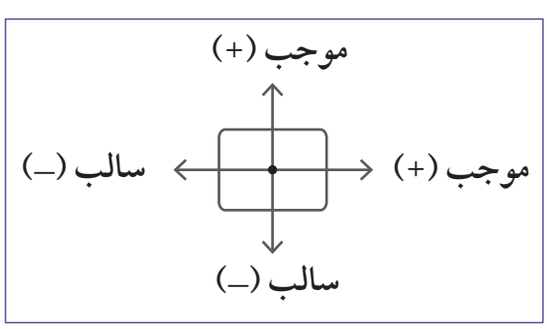
سؤال للمناقشة

ماذا يحصل للجسم عندما تؤثّر فيه عدّة قوى؟

كيف نجمع هذه القوى؟



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



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

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

الاتّزان

سؤال للمناقشة

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

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

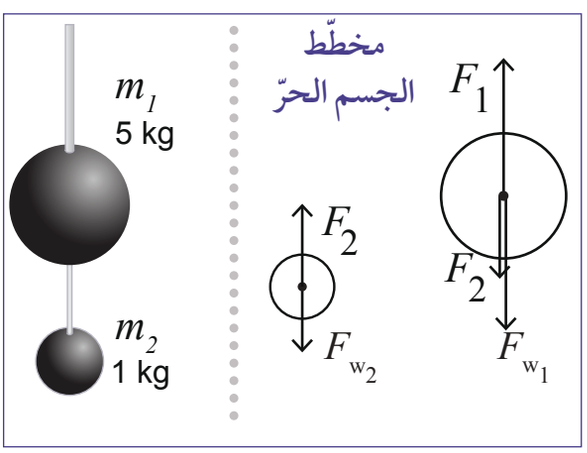
2-1	الاتّزان	
$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots = \vec{0}$		

$\vec{F}_1$	القوّة الأولى (N)
$\vec{F}_2$	القوّة الثّانية (N)
$\vec{F}_3$	القوّة الثّالثة (N)

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

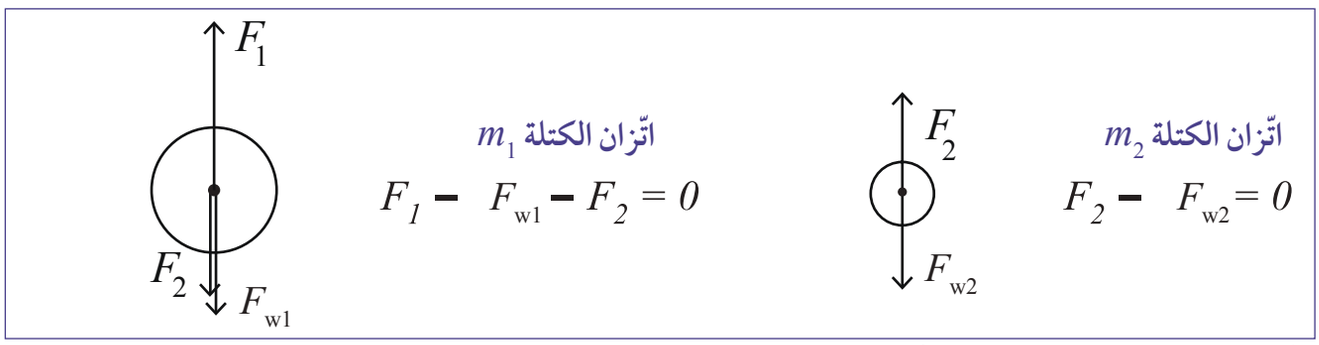
- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور الأفقيّ x صفرًا.
- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور الرّأسيّ y صفرًا.
- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور z صفرًا.

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



الشّكل 1-7 مخطّط الجسم الحرّ لِكُرَتَين معلّقتَين

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

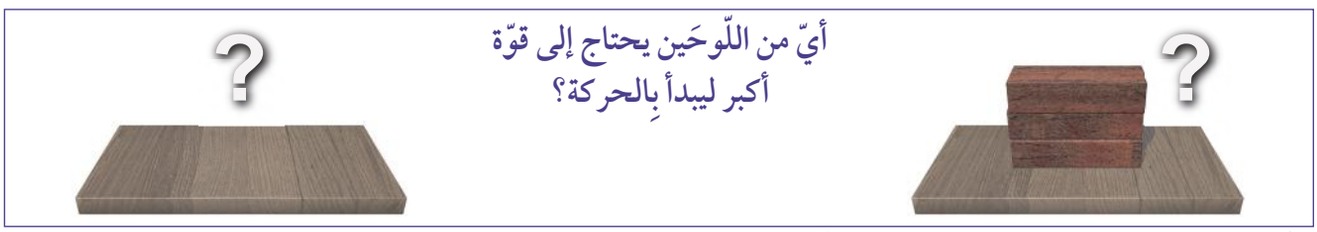


الشّكل 8-1 معادلتا الاتّزان لمثال الكُرَتَين

الاحتكاك

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

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

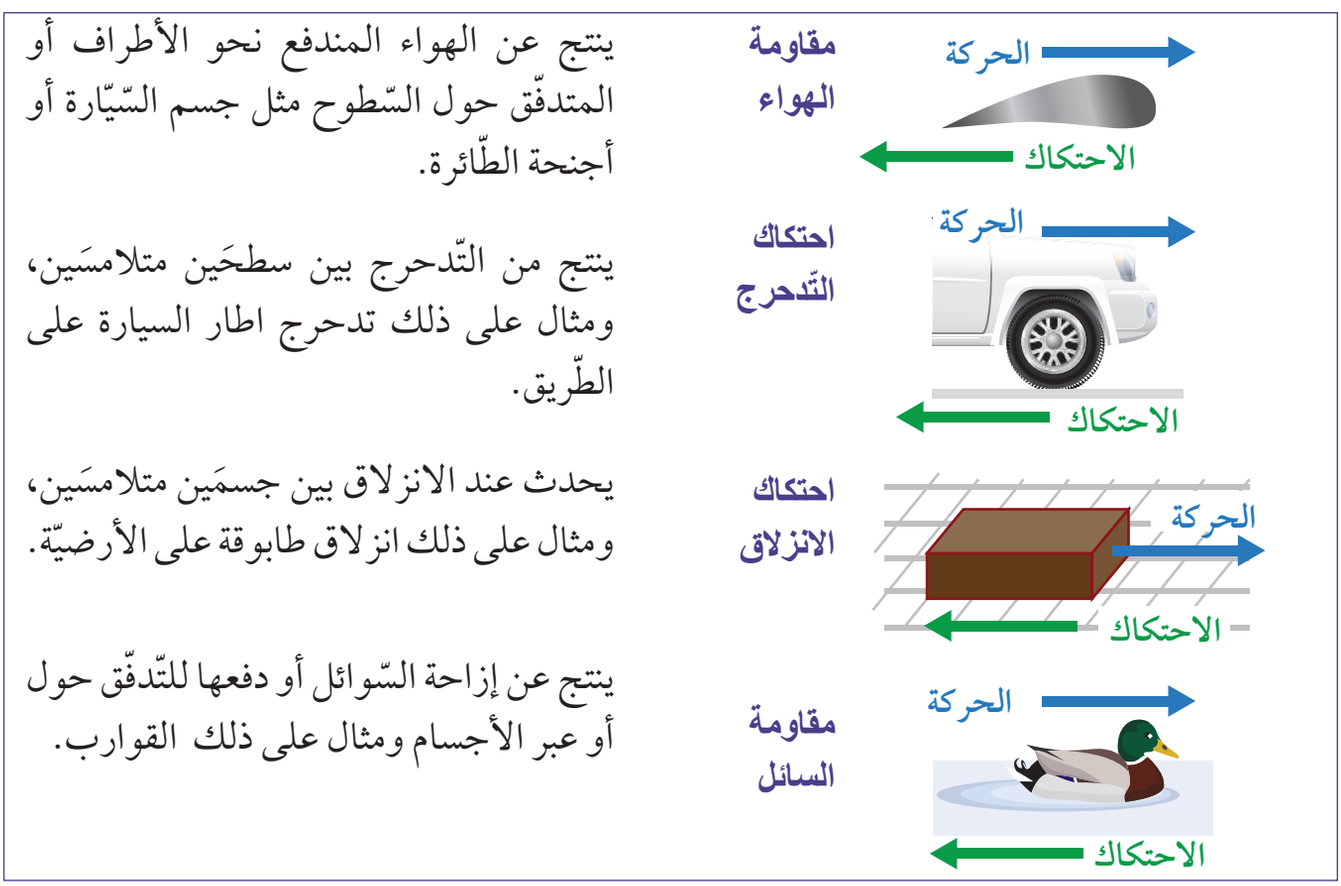


الشّكل 1-9 هل يعتمد الاحتكاك على وزن اللّوح المُنزلق؟

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

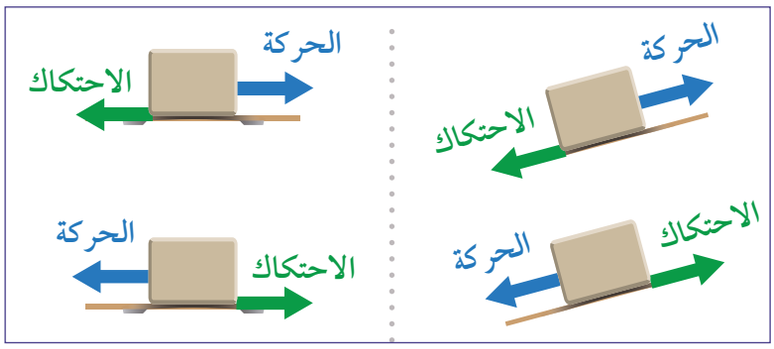
سؤال للمناقشة

ما الاحتكاك
وما مسبّباته؟



الشّكل 1-10 الأنواع الأربعة للاحتكاك.

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



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

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

الاحتكاك السّكونيّ

يحدث الاحتكاك السّكونيّ في حال كان هناك إمكانيّة لِيتحرّك سطحَين بالنسبة إلى بعضهما البعض ولكن دون حصول الحركة. إنّ قوّة الاحتكاك السّكونيّ هي أقصى قوّة يمكن تطبيقها قبل أن يكون الجسم على وشك الحركة على السطح. **المعادلة 1-3** تعبّر عن قوّة الاحتكاك السّكونيّ.

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

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

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

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

مواد في حالة تماس		μ_s
مطّاط	خرسانة جافة	1.0
مطّاط	خرسانة رطبة	0.3
خشب	خشب	0.5
خشب	خَرسانة	0.6
فولاذ	فولاذ جاف	0.8
فولاذ	فولاذ مزيت	0.16
فولاذ	تفلون	0.04

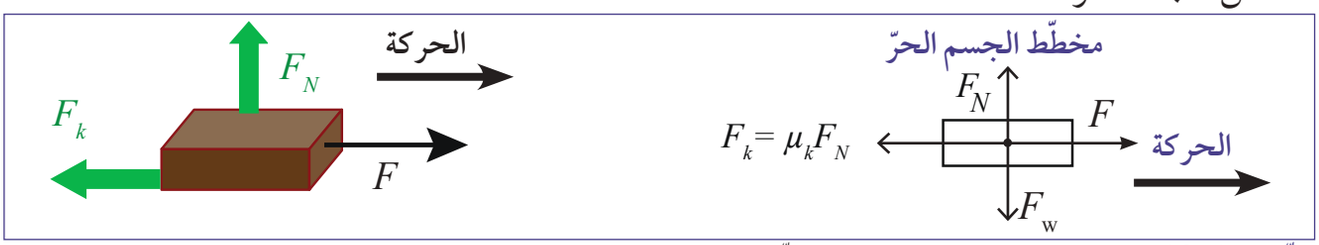
الجدول 1-3 مُعامِل الاحتكاك السكوني لبعض المواد.

الاحتكاك الحركيّ

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

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

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



الشّكل 1-12 تمثيل الاحتكاك الحركي على مخطّط الجسم الحر

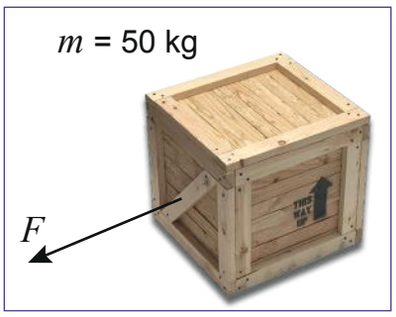
مقدار قوّة الاحتكاك هو حاصل ضرب مُعامل الاحتكاك بمقدار القوّة العموديّة بين السّطحَين المتلامسَين.

مُعامل الاحتكاك الحركيّ لجسم فولاذي ينزلق على سطح من الفولاذ الجاف هو 0.5. وهو أكبر بكثير من مقدار معامل الاحتكاك الحركي μ_k = 0.09 والخاصّ بِالفولاذ المُنزلق على سطح فولاذي مبلل بِالزّيت. نلاحظ أيضا أنّ معامل احتكاك الفولاذ المُنزلق على التفلون قليل جدًا. التفلون هو نوع خاص من البلاستيك الزلق جدًا حتى لو كان جافًا. والسبب يعود لكونه خامل كيميائيًا. تُستعمل الاسطح المغلّفة بالتفلون في العديد من المفاصل الاصطناعيّة والتي تُستبدل بها مفاصل الركب والأوراك المصابة. تستخدم عدة طرق لتقليل الاحتكاك و منها **التّشحيم Lubrication** هي تقنيّةتُستخدم فيها موادّ كالزّيت لِتقليل الاحتكاك. فالأسطح المشحّمة بِالزّيت تشكّل طبقة من الزّيت تمنع الأسطح المُنزلقة من التّلامس.

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

الجدول 1-4 مقارنة مُعاملي الاحتكاك السّكونيّ والحركيّ لبعض الموادّ

مثال (3)



يستقر صندوق خشبي كتلته 50 kg على أرض خشبية.

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

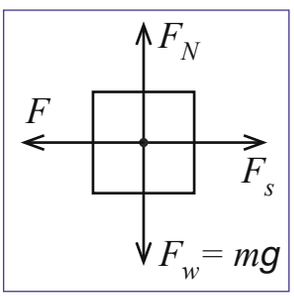
b. ما أقل قيمة مطلوبة للقوة التي تُمكِّن الصندوق من متابعة حركته بسرعة ثابتة بعد أن يبدأ بالحركة.

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

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

المعطى m=50 kg ، احتكاك الخشب مع الخشب، μ_s =0.5، μ_k=0.3 .

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



الحلّ القوة العمودية تساوي وزن الصندوق.

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

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

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

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

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

مثال (4)

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

المطلوب μ_k معامل الاحتكاك الحركي

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

العلاقات $F_k = \mu_k F_N$

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

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

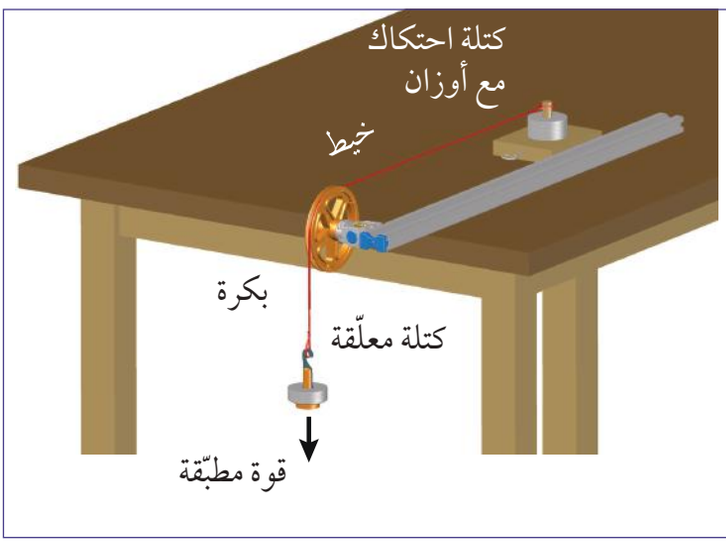
$$F_k = \mu_k F_N \quad \rightarrow \quad \mu_k = \frac{F_k}{F_N} = \frac{24\text{N}}{121.52\ \text{N}} = 0.2$$

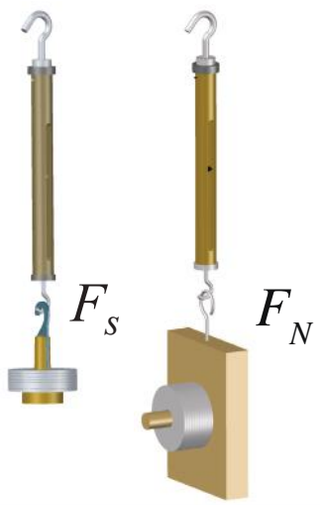
نشاط عملي

1-1 (b) الاحتكاك

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

الخطوات





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

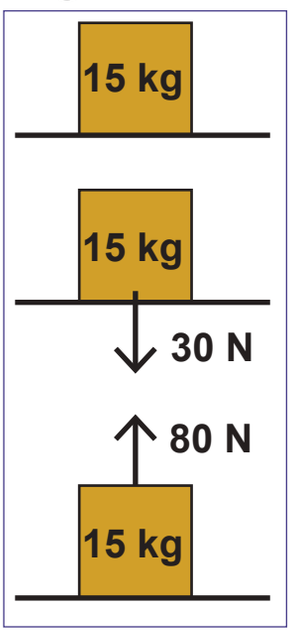
1. جهّز كتلة الاحتكاك والكتلة المعلّقة والخيط والبكرة.
2. أضِف كتلًا إلى كتلة الاحتكاك، وكتلًا أخرى إلى الكتلة المعلّقة حتّى تصبح قوّة الشد في الخيط قادرة على البدء بتحريك كتلة الاحتكاك.
3. قِس وزن كتلة الاحتكاك ووزن الكتلة المعلّقة. نسبة هذَين الوزنَين ستكون مُعامل الاحتكاك السّكونيّ.
4. كرِّر العمليّة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

أسئلة

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

تقويم الدرس 1-1

1. تسارع الجاذبيّة في طبقات الغلاف الجويّ العليا لِكوكب المُشتري تعادل 2.35 مرّة تسارع الجاذبية الأرضية. إذا علمْت أنّ كتلة مسبار لِلأبحاث تبلغ 950 kg على الأرض. كم سيكون وزن المسبار على سطح كوكب المُشتري؟
2. أفترض أنّ رائد فضاء كتلته 100 kg، يبلغ وزنه 500 N على أحد الكواكب الموجودة خارج مجموعتنا الشّمسيّة.
   a. ما كتلة رائد الفضاء على ذلك الكوكب؟
   b. ما تسارع الجاذبيّة على ذلك الكوكب؟
3. قام طالب بوضع صندوق كتلته 15 kg على أرض مستوية.



   a. ما مُحصِّلة القوّى المؤثّرة في الصّندوق؟
   b. ما مقدار القوّة العموديّة التي تؤثر بها الأرض المستوية في الصندوق؟

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

   c. ما مُحصِّلة القوّى المؤثّرة في الصّندوق؟
   d. ما مقدار القوّة العموديّة التي تؤثر بها الأرض المستوية في الصندوق؟

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

   e. ما مُحصِّلة القوّى المؤثّرة في الصّندوق؟
   f. ما مقدار القوّة العموديّة التي تؤثر بها الأرض المستوية في الصندوق؟

4. تدفع امرأة قفصًا خشبيًّا كتلته 40 kg على أرض خشبيّة. فتؤثر فيه بقوّة أفقيّة مقدارها 120 N دون أن يتحرّك القفص. ثمّ تؤثّر بقوّة أفقيّة مقدارها 160 N دون تحريك القفص أيضًا. وأخيرًا تؤثّر بقوّة أفقيّة مقدارها 200 N فيبدأ القفص بِالانزلاق.
   a. ما أقصى قيمة لِقوّة الاحتكاك السّكونيّ (بوحدة النّيوتن)؟
   b. ما مقدار مُعامل الاحتكاك السّكونيّ؟
5. تنزلق طابوقة كتلتها 1.5 kg بسرعة أفقية ثابتة على سطح طاولة. كم يكون مقدار قوّة الاحتكاك الحركيّ إذا كان $\mu_k = 0.35$؟

الدّرس 2-1
المُتَّجَهات والقوى

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

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

مخرجات التعلُّم

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

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

المفردات

Vector	مُتَّجَه
Vector diagram	مخطّط المُتَّجَهات
Resultant	مُحَصِّلة
X-component	المُرَكَّبة الأفقية
Y-component	المُرَكَّبة الرأسية
Resolution	تحليل

متجه القوّة

تمثيل القوى بيانيًا

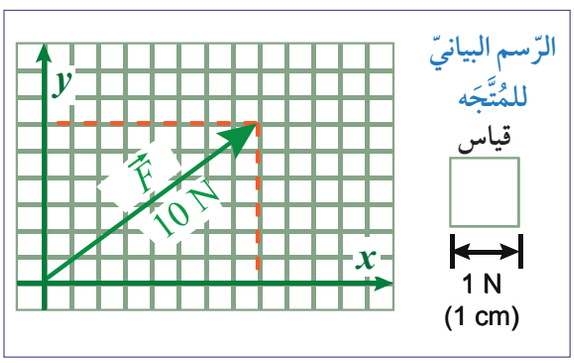
لو طُلِبَ إليك أن تدفع صندوقًا بقوّة 200 N. ماذا كنت لتفعل؟ عليك أن تسأل نفسك: «في أي اتّجاه يجب أن أدفع الصندوق؟» هل أدفع الصّندوق إلى اليسار أم إلى اليمين أم إلى الأمام أو الخلف؟ ربّما ترفع الصّندوق بقوّة إلى الأعلى.

القوّة هي مُتَّجَه لأنّ الوصف الكامل لِلقوّة يشمل المقدار والاتّجاه.

يتضمّن **المُتَّجَه Vector** معلومات عن الاتّجاه بطريقة رياضيّة. يسمح ذلك بِجمع المُتَّجَهات في اتّجاهات مختلفة أو طرحها أو ضربها. يُظهِر المخطّط المقابل في **الشّكل 1-13** رسمًا بيانيًّا لِمُتَّجَه القوة.

سؤال للمناقشة

كيف يمكننا تحديد اتجاه كمية مُتَّجَهة مثل القوة؟



الشّكل 1-13 مخطط متجه القوة.

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

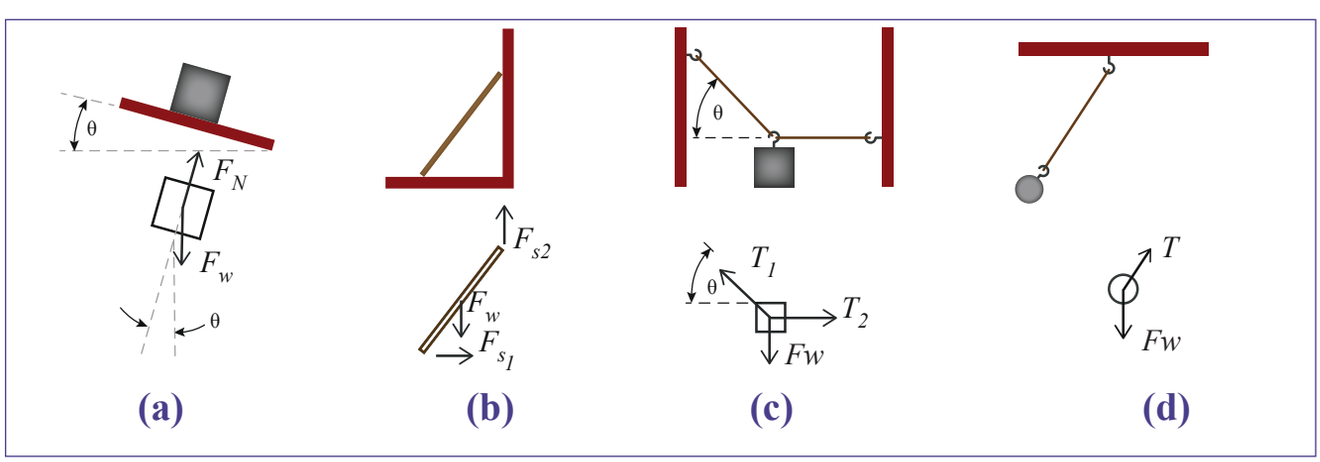
a. القوّة العموديّة تكون متعامدة مع سطح التّماس.

b. قوى الاحتكاك يكون اتّجاهها معاكسًا لاتجاه الحركة.

c. تكون قوى الشدّ في الأسلاك والسلاسل والحبال على امتداد طولها.

d. يكون اتّجاه الوزن دائمًا رأسيًّا إلى أسفل.

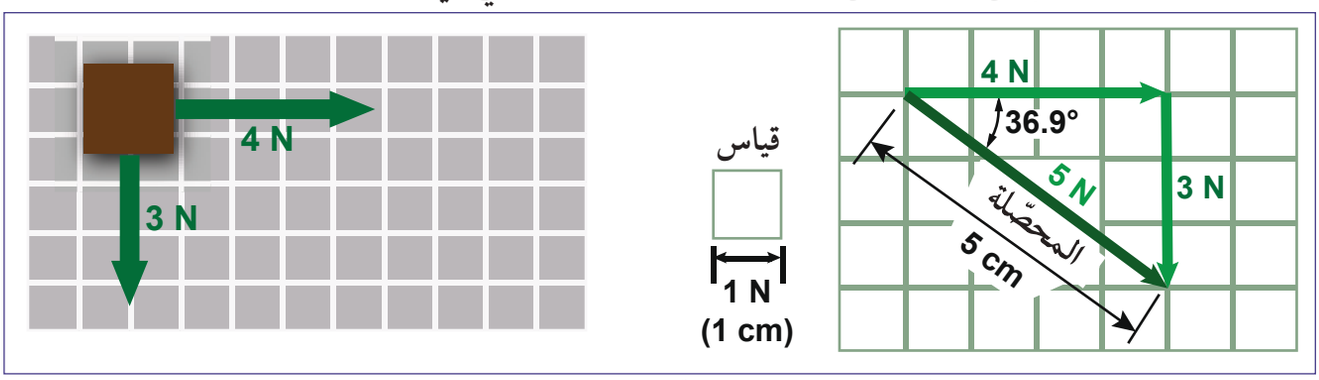
يوضح **الشّكل 1-14** بعض الحالات المختلفة التي نواجهها في مسائل فيزيائية ومخطط الجسم الحرّ لكل حالة.



الشّكل 1-14 مخطط الجسم الحر لعدد من الحالات المختلفة.

إيجاد المُحصِّلة المُتَّجَهة بيانيًا

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



الشّكل 1-15 يمكن جمع القوى المُتَّجَهة في رسم بيانيّ للمُتَّجَهات

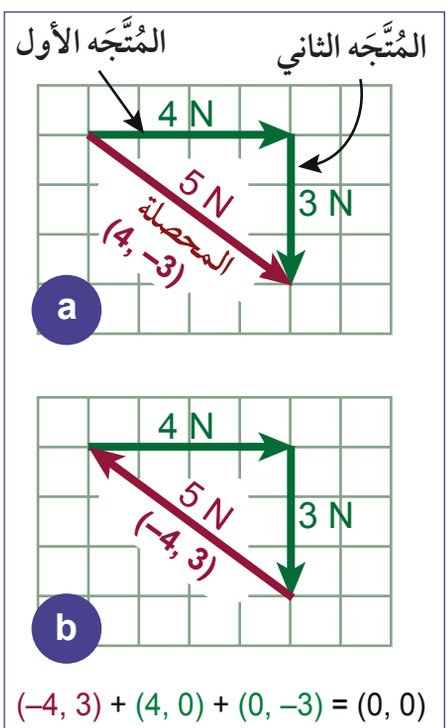
يتطلّب حلّ هذه المسألة جمع القوى ذات اتّجاهات مختلفة. إنّ حاصل الجمع البسيط لِمقدارَي المُتَّجَهين هو 3 N + 4 N = 7 N، وهو جواب خاطئ لأنّ هاتَين القوّتَين ليستا في الاتّجاه نفسه. إنّ جمع عدّة مُتَّجَهات هو مُتَّجَه واحد يُسمّى **مُحصِّلة Resultant**. القالب على الطّاولة سيتحرّك باتّجاه مُحصِّلة القوّتين.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

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

يمكن الحصول على المُحصِّلة المُتَّجَهة بيانيًّا وذلك بتوصيل المُتَّجَهات رأسًا بذيل كما في **الشّكل 16-1 a**.

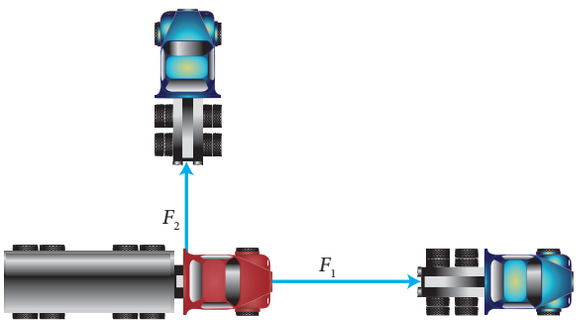
- أرسم القوّة 4 N أولاً.
- أرسم القوّة 3 N بدءًا من نهاية القوّة 4 N حيث أنتهي عند (4,–3) N.

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



الشّكل 16-1 جمع مُتَّجَهات القوى.

مثال (5)



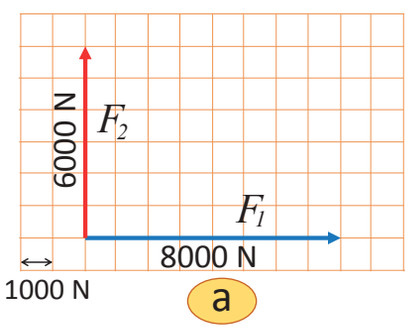
انزلقت شاحنة محملة عن حافة طريق جبلي، ولم يتمكن سائقها من إعادتها، فاستخدمت شاحنتي قَطْرٍ واحدة للسحب باتجاه الأمام بقوة مقدارها (8000 N)، والثانية باتجاه عمودي لإعادة الشاحنة على الطريق بقوة مقدارها (6000 N). كما في الشكل المجاور. فما مقدار القوة المحصلة التي ستحرك الشاحنة؟

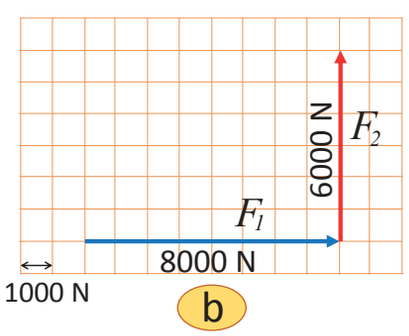
المطلوب المحصلة.

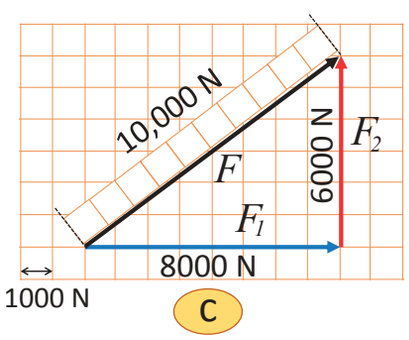
المعطى $F_1=8000\ \text{N}\ ,\ F_2=6000\ \text{N}\ ,\theta=90°$.

العلاقات الطريقة البيانية

الحلّ







تؤثر قوّتا السحب في الشاحنة باتجاهين متعامدين، وليكن اتجاه القوة الأولى باتجاه $(+x)$، والقوة الثانية باتجاه $(+y)$. نعيد رسم متجهات القوى على شكل مخطط حرّ للجسم (الشكل a)، باستخدام ورق رسم بياني ومقياس رسم مناسب، بحيث يمثل ضلع كل مربع مقدار 1000 N من القوة.(1cm = 1000 N) ننقل المتجه الثاني بحيث ينطبق رأسه على ذيل المتجه الأول (الشكل b). ثم نغلق المثلث برسم سهم ثالث يتجه من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير، كما في الشكل (c)، فيكون هو محصلة القوتين (F_R). وباستخدام المربعات نفسها، نجد أن طول السهم يساوي 10 وحدات، وبضرب طول السهم في 1000 N نجد أن مقدار المحصلة يساوي (10,000 N).

ويمكنك التأكد من صحة النتيجة باستخدام مسطرة حقيقية وقياس كل من القوتين والمحصلة. أما بالنسبة لاتجاه المحصلة فإنه يقع بين اتجاهي القوتين، بما يضمن إعادة الشاحنة إلى الطريق.

مُرَكَّبات المُتَّجَه

سؤال للمناقشة

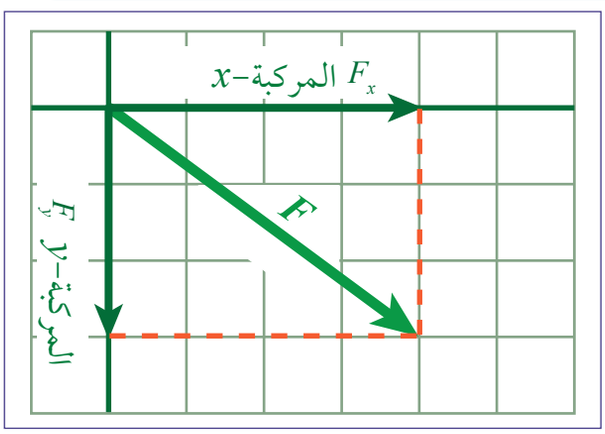
كيف نكتب المُتَّجَهات وكيف نتعامل معها حسابيًّا؟

يشير **الشّكل 1-16** إلى طريقة فعّالة لِلتّعامل مع المُتَّجَهات. إنّ القوّة المُحصِّلة 5 N باتّجاه 36.9°– لها التّأثير نفسه لِلقوّتَين 4 N على المحور x والقوّة 3 N على المحور y.

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

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

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



الشّكل 1-17 مُرَكَّبتا المُتَّجَه

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

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

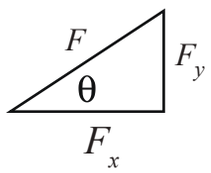
وتُسمّى عمليّة التّعبير عن المُتَّجَه بمُرَكَّبَتين تحليل المُتَّجَه. عندما يُكتَب المُتَّجَه على الشّكل ($F = F_x, F_y$) نقول بأنّه تمّ تحليل المُتَّجَه إلى مُرَكَّبَتيه. في المسائل التي سنعتمدها في هذا الكتاب، كما في **الشّكل 1-17** نستخدم المُرَكَّبَتين x و y فقط، أمّا في المسائل في ثلاثة أبعاد فنحن بحاجة إلى المُرَكَّبات x و y و z.

إيجاد مُرَكَّبات القوى في بعدَين

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

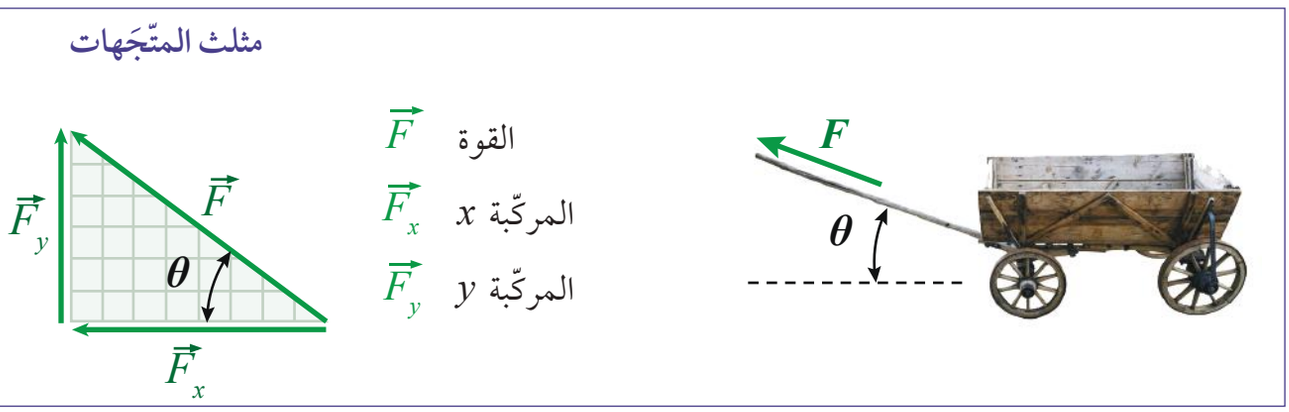
تشبه علاقة مركبتي المُتَّجَه والزاوية بينهما علاقة الأضلاع في مثلث قائم الزاوية، حيث يكون وتر المثلث القوة F. تعطي العلاقة **6-1** مركبتي القوة x و y بدلالة الزاوية.

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



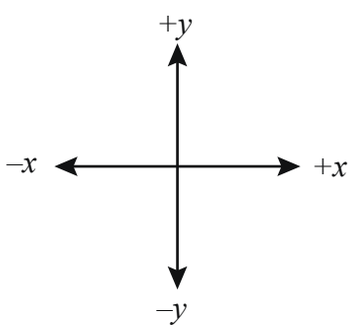
مثال (6)

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



الشّكل 1-18 استخدام مخطّط المتجهات لإيجاد مركبتي القوى.

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



الجواب

$$F_x = -F\cos\theta$$

$$F_y = F\sin\theta$$

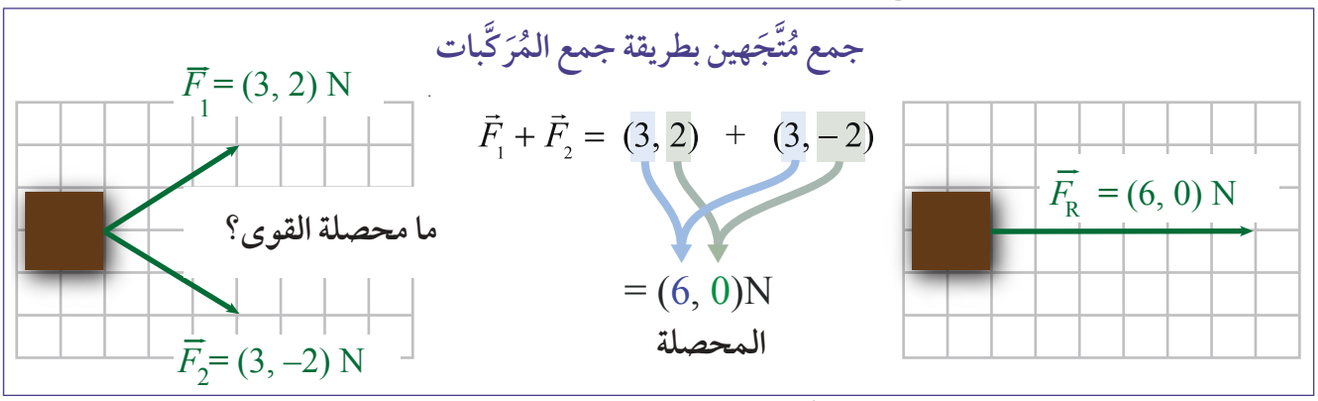
$$\vec{F} = (-F\cos\theta, F\sin\theta)$$

جمع وطرح مُتَّجَهات القوى بطريقة جمع المركّبات

لإيجاد ناتج جمع متجهين، أو ناتج طرحهما، نحلل كلِ متجه إلى مركبتيه، ثم نجمع مركبتي x للمتجهين، أو نطرحهما. وكذلك بالنسبة لمركبتي y. المُرَكَّبة x لِلمُحصِّلة هي حاصل جمع المركبتين x لكلّ مُتَّجَه. والمُرَكَّبة y لِلمحصِّلة هي حاصل جمع المركبتين y للمُتَّجَهين. وهذه الطّريقة أكثر سهولة ودقة من طريقة الرّسم البيانيّ لِلمُتَّجَهات.

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

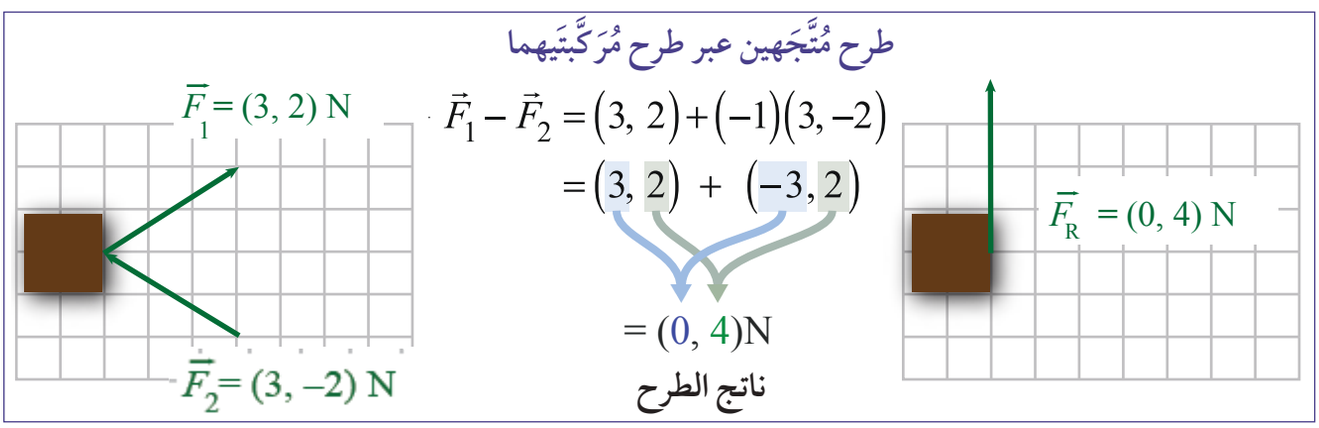
- المُرَكَّبة x لِلمُحصِّلة هي جمع المُرَكَّبتَين x للقوتين: $3 + 3 = 6$ N
- المُرَكَّبة y لِلمُحصِّلة هي جمع المُرَكَّبتَين y للقوتين: $2 + (-2) = 0$ N



الشّكل 19-1 جمع مُتَّجِهَين عن طريق جمع مُرَكَّبتيهما.

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

يُظهِر **الشّكل 20-1** كيفيّة طرح المُتَّجهَين أعلاه. المُتَّجَه الّذي نريد أن نطرحه يُضرَب بِـ (1–) ثمّ نجمع المُرَكَّبات.

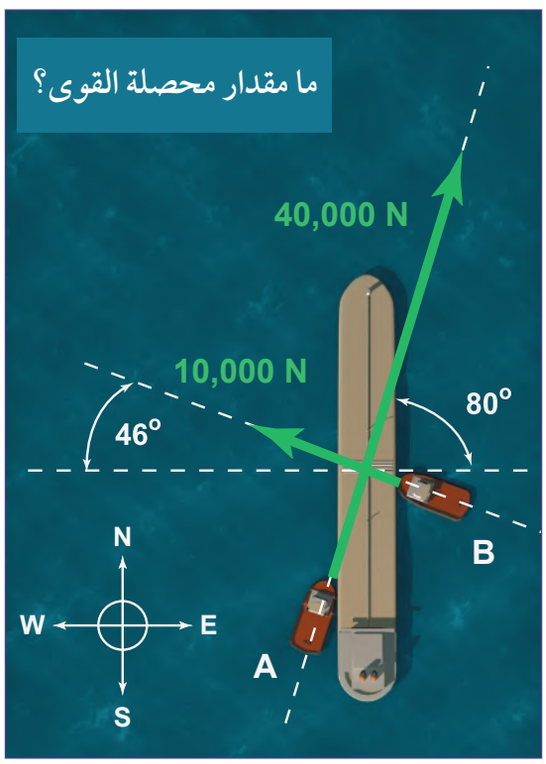


الشّكل 20-1 طرح مُتَّجَهين عبر طرح مُرَكَّبتَيهما.

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

مثال (7)

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



المطلوب مُحصِّلة القوى F_R

المعطى زاوية ومقدار كلّ من القوّتَين.

العلاقات

$$F_x = F\cos\theta$$

$$F_y = F\sin\theta$$

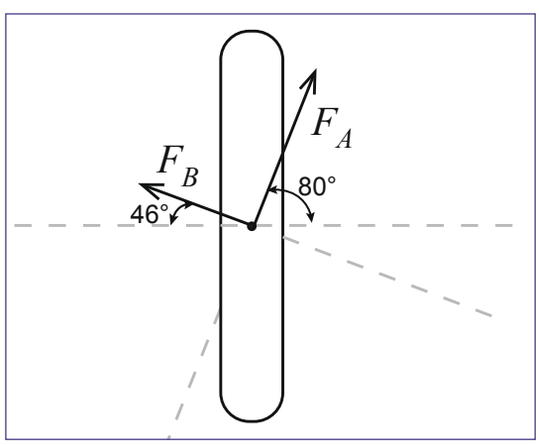
الحلّ

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

مُرَكَّبتا القوّة الّتي يؤثّر بها الزّورق (A):

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

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



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

مُرَكَّبتا القوّة الّتي يؤثّر فيها الزّورق (B):

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

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

محصلة مُرَكَّبتا القوّتَين في الاتّجاه y تساوي 46585 N + أمّا محصلة مُرَكَّبتا القوتين في اتجاه x فيُساوي مجموعهما صفرًا.

يكون اتّجاه القوّة المُحصِّلة على النّاقلة مباشرة نحو الشّمال بمقدار:

$$F_R = F_A + F_B$$

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

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

إيجاد محصّلة مركّبتين متعامدتين حسابيًّا

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

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

للحصول على زاوية المُتّجَه، عليك استخدام دالة معكوس الظل للحصول على قيمة الزّاوية.

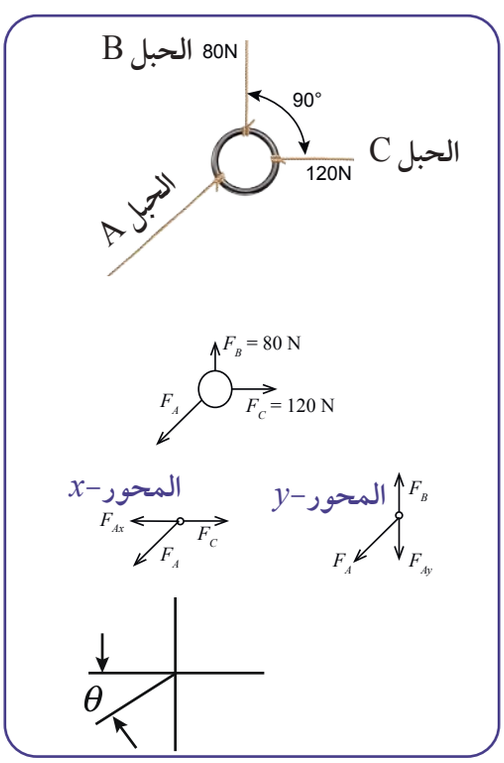
المعادلة (8-1) توضح كتابة معكوس دالة الظلّ لِـ θ كـ $\tan^{-1}\theta$.

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

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

مثال (8)

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



المطلوب قوّة الشد F_A في الحبل A

المعطى $F_B = 80$ N ، $F_C = 120$ N ، $\theta = 90°$

العلاقات $F_A + F_B + F_C = 0$

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

• في الاتّجاه x.

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

• في الاتّجاه y.

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

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

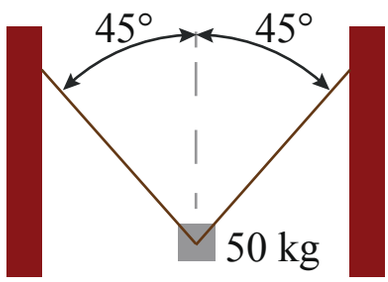
مثال (9)

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

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

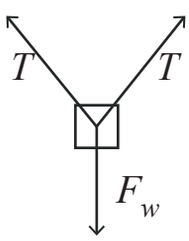
الفكرة الأساسيّة هي تحليل جميع القوى إلى مُرَكَّبَتَيهما x و y بحيث تكون القوّة المُحصِّلة في كلّ من الاتّجاهَين صفرًا. يجب أن يكون حاصل جمع المُرَكَّبات في كلّ من الاتّجاهَين x و y صفرًا.

المسألة



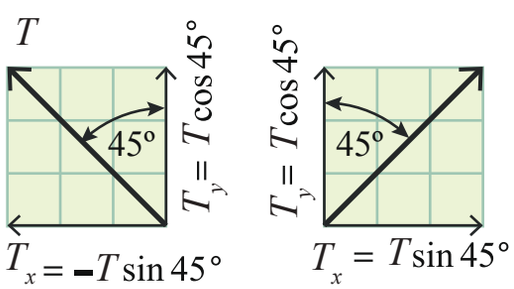
الخطوة 1

مخطّط الجسم الحرّ



الخطوة 2

إيجاد المُرَكَّبَتَين لكل قوّة



الخطوة 3

الحلّ

يجب أن يكون حاصل جمع القوى في اتّجاه x صفرًا.

$$-T\sin 45^\circ + T\sin 45^\circ = 0$$

يجب أن يكون حاصل جمع القوى في اتجاه y صفراً.

$$2T\cos 45^\circ - F_w = 0$$

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

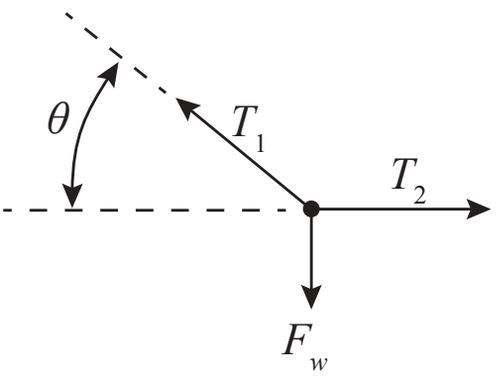
$$\boldsymbol{T = 346\text{ N}}$$

نشاط عملي

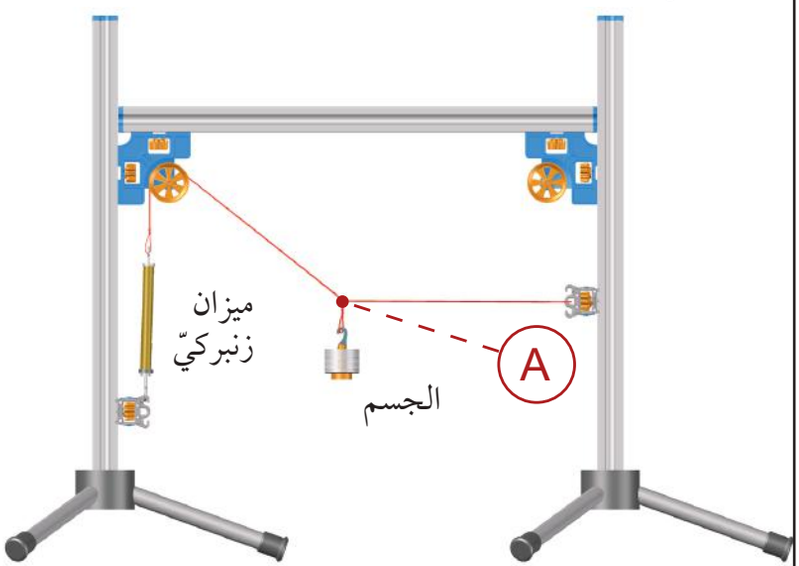
2-1 الاتزان السكوني لِلقوى

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

الخطوات



مخطّط الجسم الحرّ للنقطة (A)



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

أسئلة

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

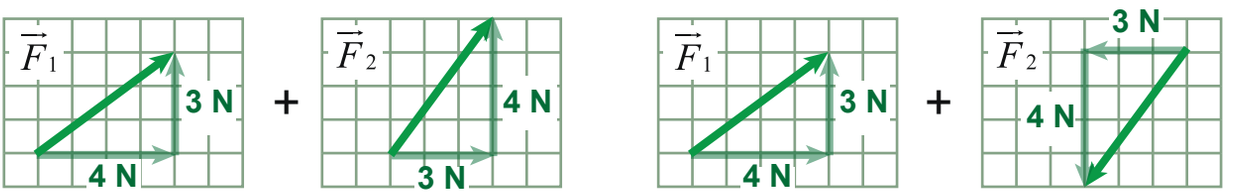
a. اشتقّ معادلة لمقدار قوتي الشّد T_1 و T_2 في الخيطين بدلالة الكتلة والزاوية ثم احسب T_1 و T_2.

b. اشرح لماذا يكون الثقل مساوٍ لقوتيّ شد الخيط المعلق به.

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

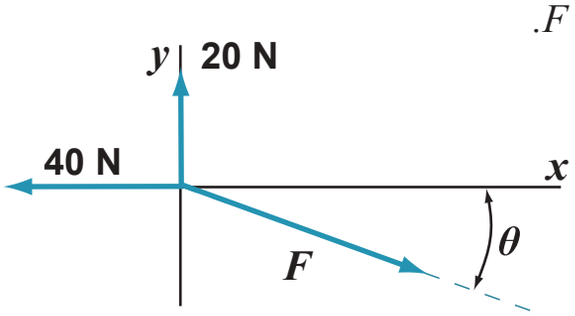
تقويم الدّرس 1-2

1. في الشكلين الموضحيّن في الجزأين (a) و (b)، استخدم المُرَكَّبَتين x و y لكلّ مُتَّجَه قوّة، لإيجاد كل من $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$. استخدم حساب المركبات وطريقة "الرّأس إلى الذّيل" البيانيّة. عبِّر عن النّتيجة بَيانيًّا وبالأرقام.

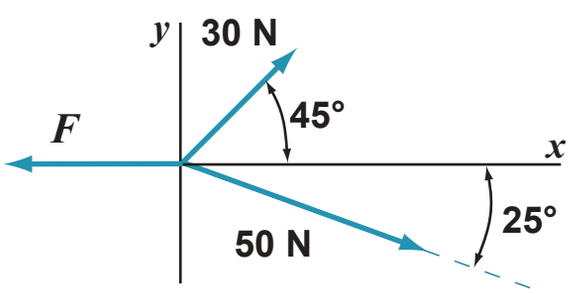


الجزء (a) الجزء (b)

2. احسب مقادير المُتَّجَهات $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ومُحصِّلة المُتَّجَهات النّاتجة من المسألة السّابقة.
3. جد مُرَكَّبَتَي قوّة مقدارها **100 N** بزاوية 30° مع المحور x ولها مُرَكَّبة y موجبة.
4. ما زاوية اتّجاه قوّة إذا كانت مُرَكَّبتها الأفقيّة **10 N** ومُرَكَّبتها الرّأسيّة **15 N**؟
5. في الرّسم البيانيّ أدناه، احسب القوّة المطلوبة لِجعل القوى متزنة، عبّر عن إجابتك $\vec{F} = (F_x, F_y)$.

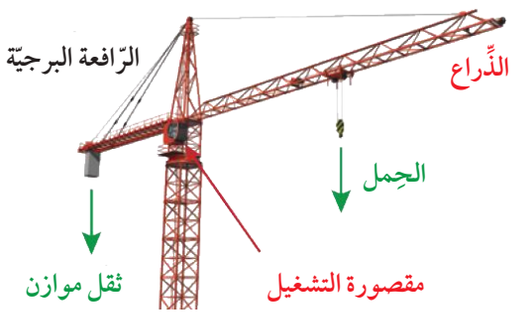


6. احسب القوّة المطلوبة لِجعل مُحصِّلة القوى، المبيَّنة في الرّسم البيانيّ أدناه، صفرًا. عبّر عن إجابتك $\vec{F} = (F_x, F_y)$.



الدّرس 3-1
العزم والاتّزان الدوراني

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



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

مخرجات التعلُّم

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

المفردات

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

عزم القوّة

سؤال للمناقشة

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

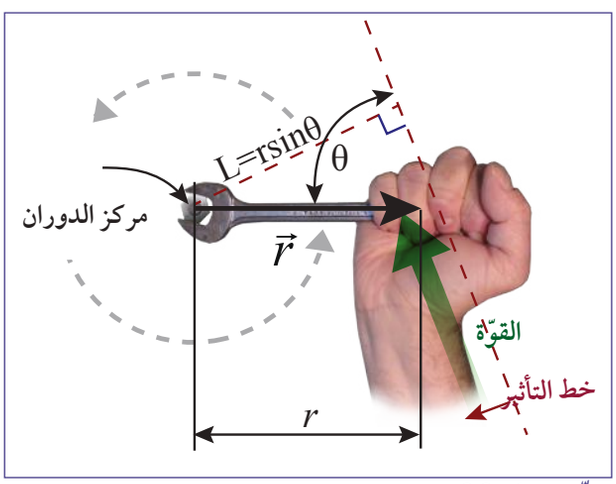
يُطبّق العامل في **الشّكل 1-21** قوّة على الصنبور ولكنّه لا يتوقّع تحريكه من مكان إلى آخر. بالمقابل فإن البرغي في طرف الأنبوب يدور لأن القوّة التي يطبقّها المفك تنشئ عزماً. **العزم Torque** هو حاصل ضرب القوّة في طول ذراع القوّة، وللعزوم تأثيرٌ يؤدي إلى حركة دورانيّة.

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

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

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

9-1	عزم القوة	τ	عزم القوّة (N.m)
	$\tau = Fr\sin\theta = FL$	r	المسافة من محور الدَّوران إلى نقطة تأثير القوّة (m)
		F	القوة (N)
		θ	الزاوية بين خط تأثير القّوة و r
		L	ذراع القوة، وهو المسافة العمودية من محور الدَّوران إلى خط تأثير القوّة (m)



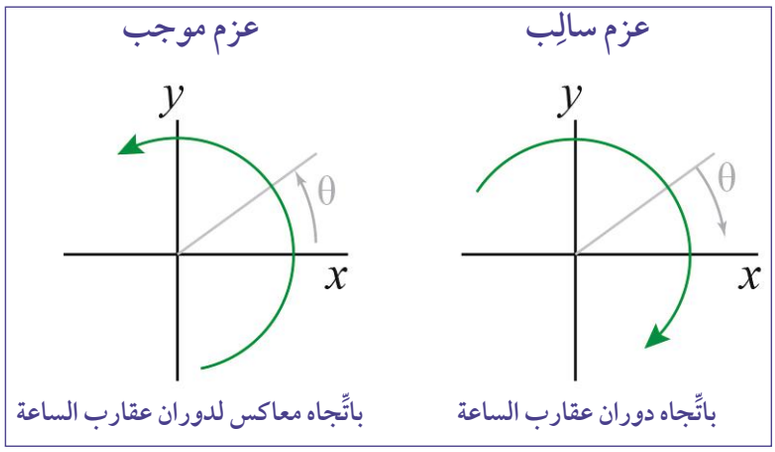
الشّكل 1-22 حساب العزم.

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

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

حساب العزم

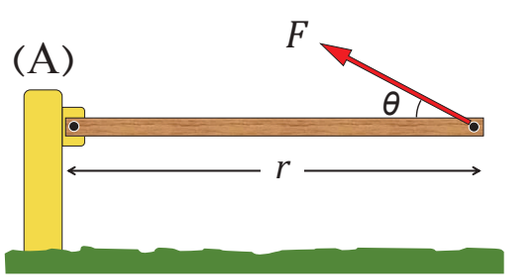
تكون العزوم إمّا موجِبة وإمّا سالِبة. **(الشّكل 1-23)** ومن المُتعارَف عليه أنّ العزوم الموجِبة هي الّتي تزيد الزّاوية مع المحور x، وتؤدّي بالتّالي إلى الدّوَران بعكس اتّجاه دوَران عقارب السّاعة. أمّا العزوم السّالِبة فهي تُنقِص الزّاوية مع المحور x، وتؤدّي إلى دوَران باتّجاه دوَران عقارب السّاعة.



الشّكل 1-23 مبدأ إشارة العزم.

مثال (10)

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



المطلوب العزم τ ، موجب أم سالب.

المعطى $r=3\ \text{m}\ ,\ F=400\ \text{N}, \theta=30°$

العلاقات $\tau=rF\sin\theta$

الحلّ

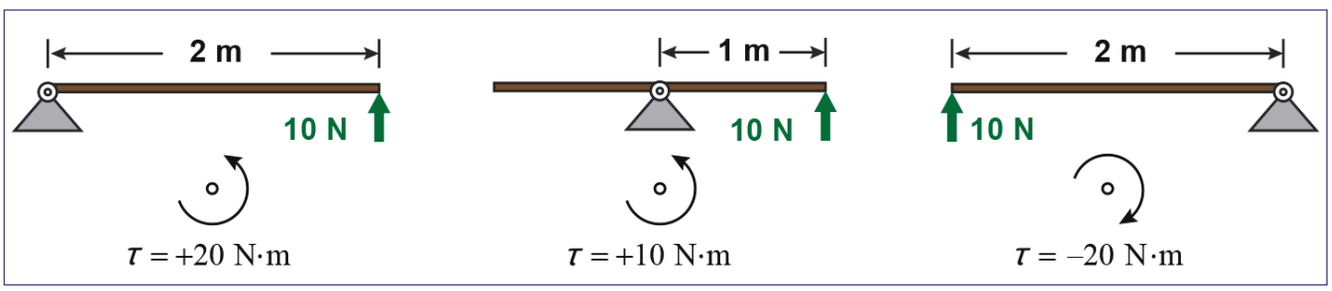
نلاحظ أن القوة لا تتعامد مع العارضة، وأن الزاوية بينهما ($\theta=30°$)، لذلك فإن المسافة العمودية بين خط عمل القوة والعارضة تساوي ($r\sin\theta$). ويُعطى العزم بالعلاقة الآتية:

$$\tau=rF\sin\theta=rF\sin 30°$$

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

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

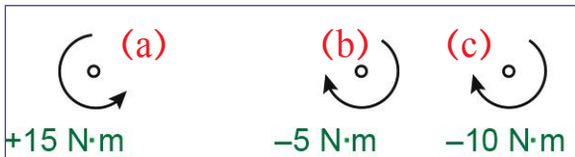
يعتمد عزم أي قوّة على موقع خطّ تأثير هذه القوّة بالنسبة إلى موقع محور الدّوَران. يمكن لِلقوّة ذاتها أن تنتج عُزومًا مختلفة باختلاف محاور الدّوَران. يُظهِر **الشّكل 1-24** أدناه القوّة ذاتها 10 N+ وهي تنتج عُزومًا مقدارها 20 N.m+ و 10 N.m+ و 20 N.m- لدى تطبيقها عند ثلاث نقاط مختلفة في مواقعها من محور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



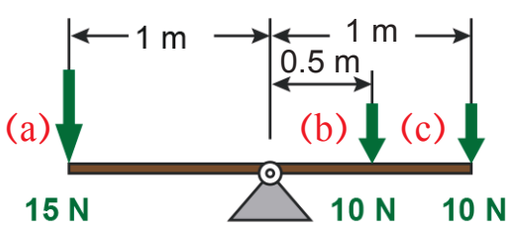
الشّكل 1-24 القوّة ذاتها ومقدارها 10N يمكنها إنتاج ثلاثة عزوم مختلفة.

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

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



$$\tau_{net} = (+15 - 5 - 10)\,\text{N·m} = 0\,\text{N·m}$$



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

الاتِّزان الدّوَرانيّ

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

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

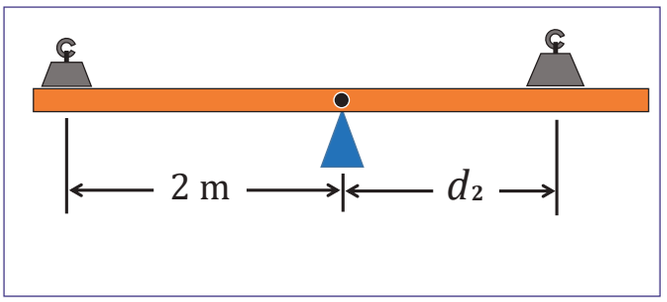
يمكن تحديد العزم بالنّسبة إلى أيّ نقطة في الفضاء. لا يشترط أن يكون المركز مركزًا فعليًّا لِلدّوَران، ولا أن يكون نقطة من نقاط الجسم. يمكنك اختيار مركز دوران داخل الجسم أو خارجه.

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

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

مثال (11)

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



المطلوب المسافة d_2، موقع الكتلة.

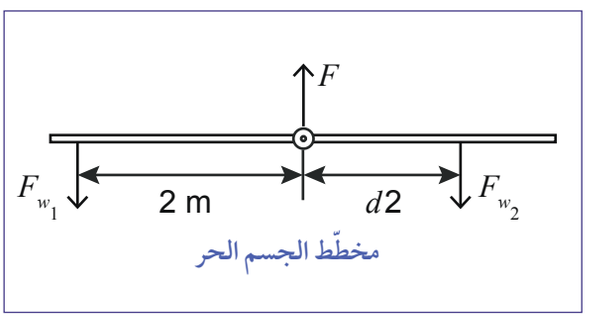
المعطى $m_1=5\ \text{kg}, d_1=2\ m, m_2=8\ \text{kg}$

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

الحلّ

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

يبين المخطط الحرّ للجسم قوتي وزني الكتلتين، وهما:



مخطّط الجسم الحر

$$F_{w1}=m_1 g$$
$$F_{w2}=m_2 g$$

حساب عزم كل من القوتين، علما أن اتجاه كل من القوتين عمودي على الرافعة:

$$\tau_1=d_1 F_{w1}\sin\theta=d_1 F_{w1}=d_1 m_1 g$$
$$\tau_2=d_2 F_{w2}\sin\theta=d_2 F_{w1}=d_2 m_2 g$$

حساب المسافة المجهولة بين مركز الدوران والكتلة الثانية:

تطبيق شرط الاتزان (العزم الأول موجب، والعزم الثاني سالب)

$$\tau_1-\tau_2=0$$
$$d_1 m_1 g-d_2 m_2 g=0$$
$$d_1 m_1 g = d_2 m_2 g$$
$$d_1 m_1 = d_2 m_2$$
$$d_2=\frac{(d_1 m_1)}{m_2}=\frac{(2\times5)}{8}=1.25\ \text{m}$$

حلّ مسائل الاتِّزان

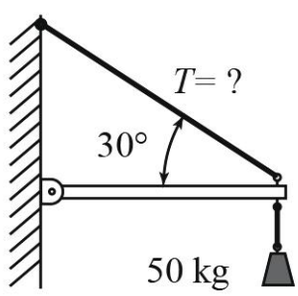
يتكوَّن الشّرط العامّ للاتِّزان السّاكن من جزأين:

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

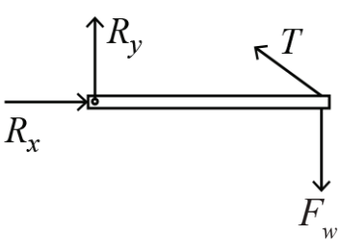
في ما يتعلّق بالمسائل ذات البُعدَين، ينتج من هذين الشّرطَين معادلتان للإحداثيَّين x و y، ومعادلة ثالثة للاتِّزان الدّوَرانيّ. فتكون محصلة القوى على الإحداثي السيني صِفرًا، ومحصلة القوى على الإحداثي الصادي صَفرًا، ومحصلة عزوم الدوران حول أي مركز دوران نختاره صفرًا.

مثال (12)

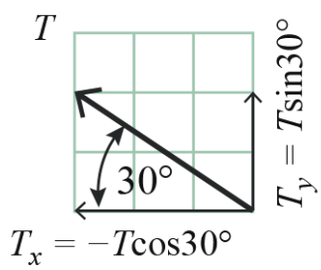
احسب قوّة الشّدّ T في الحبل الّذي يحمل الكتلة المُعلَّقة عند طرف الذّراع المهمل الكتلة.



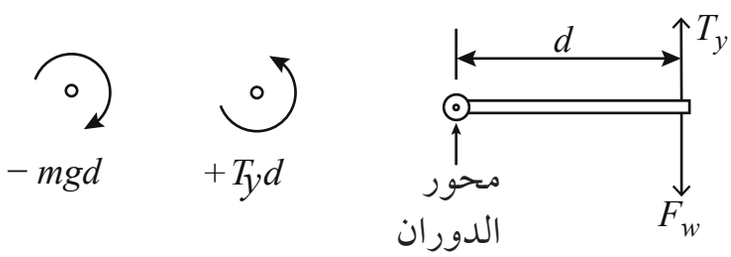
مخطّط الجسم الحر



مُركّبتا قوّة الشدّ



العُزوم



الاتِّزان الانتقالي (محصلة القوى تساوي صفر)

في اتِّجاه x $\quad -T\cos 30° + R_x = 0$

في اتِّجاه y $\quad T\sin 30° + R_y - F_w = 0$

الاتِّزان الدَّوَراني (محصلة العزوم تساوي صفر)

$$F_w = 50 \times 9.8 = 490 \text{ N}$$

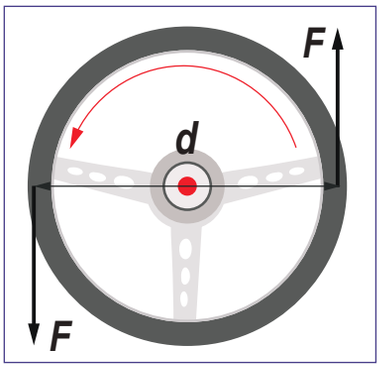
$$T d \sin 30° - F_w d = 0$$

الجواب $\quad T = \dfrac{F_w}{\sin 30°} = 980 \text{ N}$

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

الازدواج

عند قيادة السيارة والانعطاف بها يسارًا، يُطبّق السّائق عند طَرَفَي المِقوَد قوّتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه كما في **الشّكل 1-26**. يسمى نظام القوتين هذا **بالازدواج Couple** ويكون عزمه حاصل جمع عزمي القوتين في اتجاه واحد وهو الاتجاه المعاكس لدوران عقارب الساعة في هذه الحالة. وبما أن عزم كل من القوتين هو $F\frac{d}{2}$، يكون عزم الازدواج Fd أي حاصل ضرب مقدار إحدى القوتين بالمسافة العمودية بين خطّي تأثيرهما. ويكون عزم الازدواج هذا ثابت بغض النظر عن موقع محور الدوران.

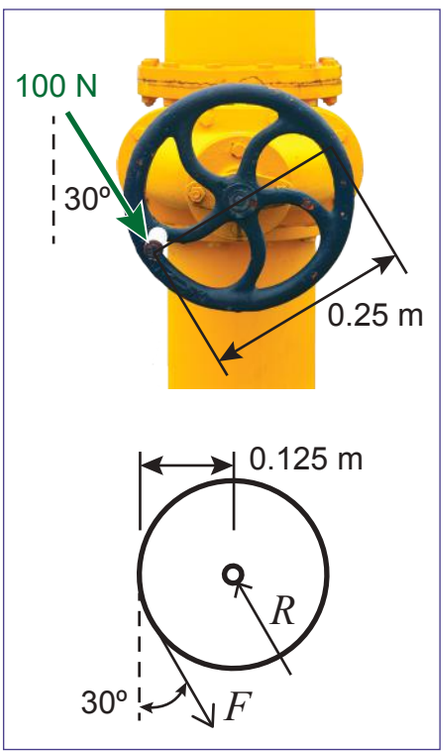


الشّكل 1-26 ازدواج من قوتين في الحركة الدائرية لمقود سيارة.

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

مثال (13)

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



المطلوب قوّة رد الفعل R ، τ

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

العلاقات $\tau = rF\sin\theta$

الحل

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

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

تُحلّل القوّة إلى مركّبتيها x و y:

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

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

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

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

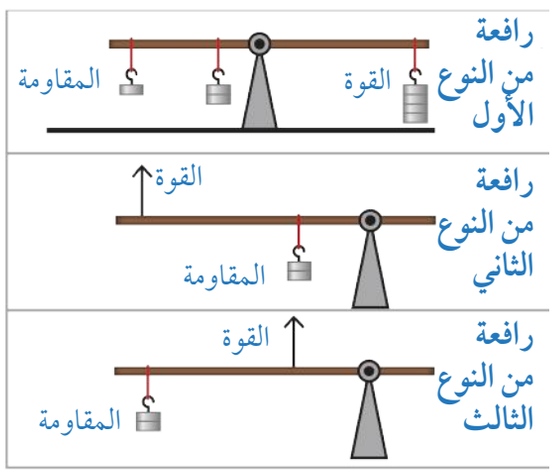
$$\vec{R} + \vec{F} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{R} = -\vec{F} = (-50.0\ ,\ 86.7)\ \text{N}$$

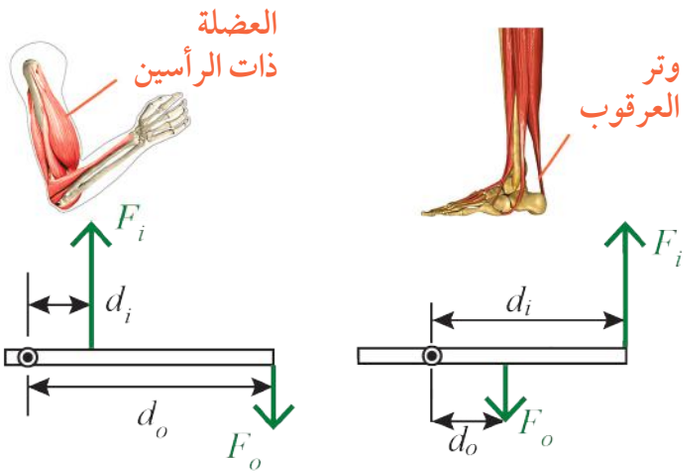
نشاط عمليّ

3-1 العزم والعضلات

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

الخطوات





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

جدول القوة (F_i)

الوزن (N)	المسافة (m)	عزم الدوران (N·m)
متوسط عزم الدّوران		

جدول المقاومة (F_o)

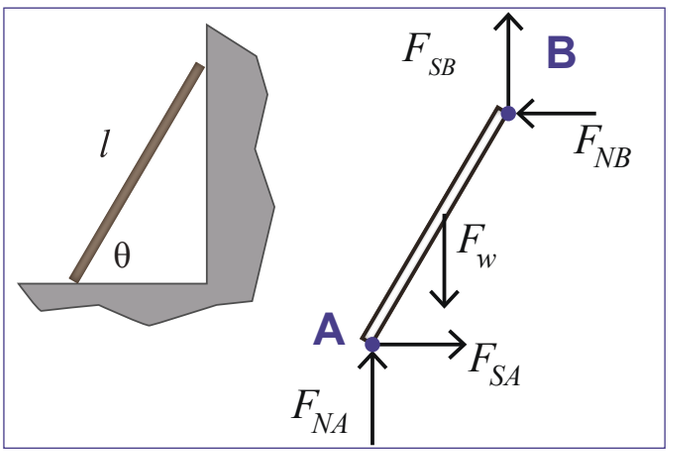
الوزن (N)	المسافة (m)	عزم الدوران (N·m)
متوسط عزم الدّوران		

أسئلة

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

b. احسِب القوّة الّتي يؤثر بها الوتر في كعب عرقوبك عندما تقف على إبهامَي رجليكَ وقوّة العضلة ذات الرّأسَين في ذراعك عندما تحمل وزنًا كتلته 5kg. قارن بين هاتَين القوّتَين وبين وزنك ووزن الكتلة 5 kg.

مثال (14)



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

المطلوب هل ينزلق السلّم؟

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

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

الحل

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

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

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

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

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

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

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

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

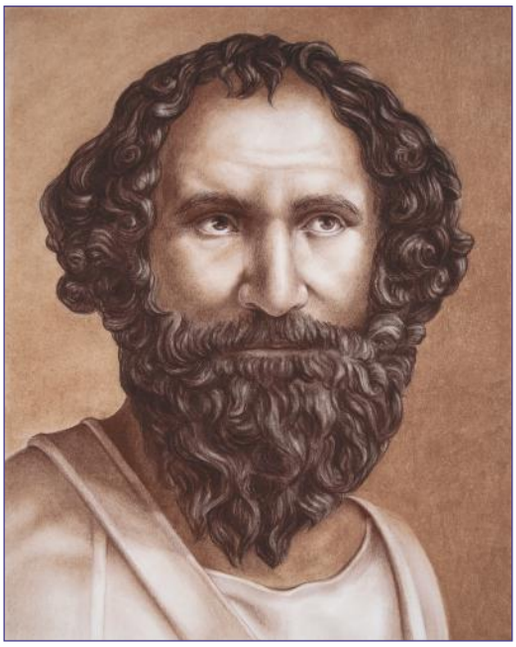
نختزل العوامل المشتركة m و g و l ، فنحصل على:

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

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

ضوء على العلماء

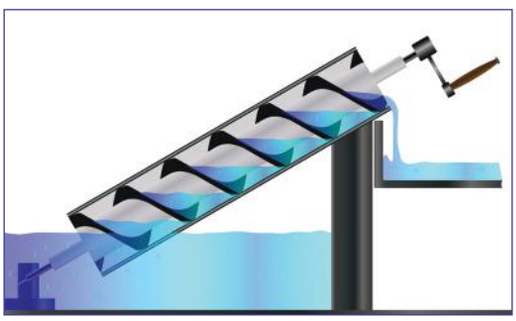
"أعطني رافعة ومكانًا مناسبا لأقف فيه، وسأُحَرّك العالم كله ". نُقِلَ هذا القول عن أرخميدس (287 - 212 قبل الميلاد) عالم الرياضيات اليوناني والفيلسوف والمهندس الذي كتب عن المبدأ الرياضي للرافعة (**الشّكل 1-27**). وعلى الرغم من مرور أكثر من 2000 سنة على وفاته، لا يزال أرخميدس يعتبر واحدا من ألمع العلماء والمهندسين الذين يستحقون كل تقدير.



الشّكل **1-27** أرخميدس.

استخدم أرخميدس الرياضيات لوصف الاختراعات وتصميمها. فلا يزال البرغي الذي صمّمه يُستخدم لغاية الآن. وقد تم تصميم النسخة الأصلية لهذا البرغي لتفريغ المياه من سفينة هائلة يمكن أن تقلّ 600 رجل والتي بناها هييرو ملك سيراكيوز.

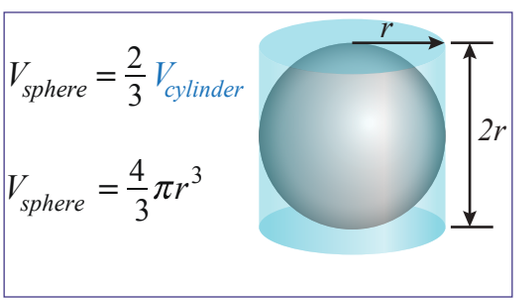
لا نعرف الكثير عن المراحل الأولى من حياة أرخميدس، سِوى أنَّه سافر في صِغَره إلى الإسكندرية للدراسة مع إقليدس، وعاد بعدها إلى سيراكيوز في جزيرة صقلية ومَكَث فيها بقيه حياته.



الشّكل **1-28** برغي أرخميدس لرفع المياه إلى أعلى تلّة.

عُرِف أرخميدس باختراع المقاليع والسنانير والرافعات العملاقة التي يمكن أن ترفع وتُغرِق سفينة العدو خلال الدفاع عن سيراكيوز ضد الرومان في العام 213 قبل الميلاد. ويقال أن الجنرال الروماني ماركوس كلوديوس مارسيلوس قد أعجب بآلات أرخميدس، وطلب عدم التعرّض له، لكنه قُتل بطريق الخطأ على يد جندي روماني.

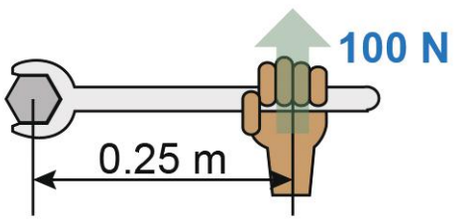
كان أرخميدس أول من استنتج حجم الكرة من حجم الأسطوانة كما هو مبين في **الشّكل 1-29**. ويبقى استخدام الرياضيات لوصف العالم أساسيا في الفيزياء اليوم كما كان في زمن أرخميدس.



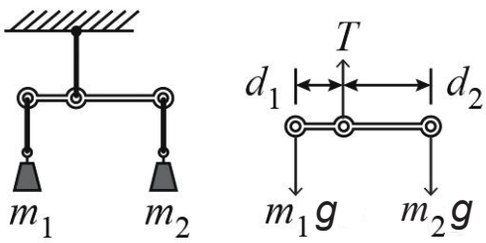
الشّكل **1-29** استنتاج حجم الكرة.

تقويم الدرس 1-3

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



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



a. $m_1 g + m_2 g + T = 0$

b. $m_1 g d_1 + m_2 g d_2 = 0$

c. $m_1 g d_1 - m_2 g d_2 = 0$

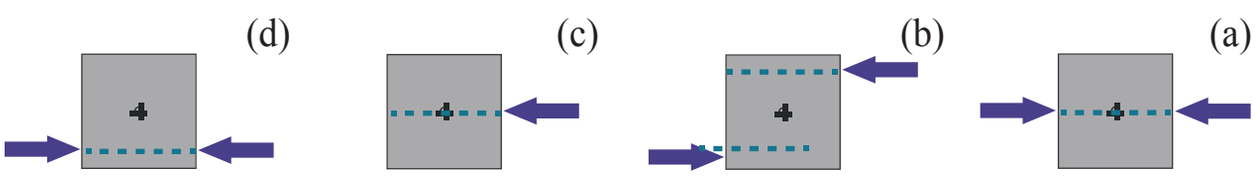
d. $m_1 g d_1 + m_2 g d_2 + T = 0$

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

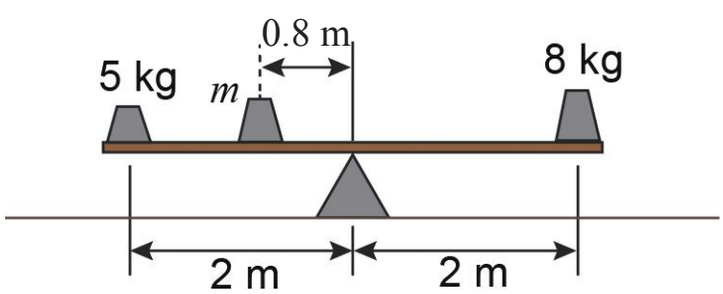
4. تؤثِّر كلّ من القوى المُبيَّنَة أدناه في المُكعَّب ومقدارها 100 N. توضّح الأشكال كلّ من مركز الدَّوَران وخطّ (خطوط) التّأثير، في كلّ حالة من الحالات أدناه.

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

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



5. احسب قيمة الكتلة m، الّتي تعمل على اتِّزان العارضة الموجودة في الرسم التوضيحي أدناه.



الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدّرس 1-1 القوى والاتزان

- **القوى** هي المؤثّرات التي تؤدّي إلى تغيّر الحركة
- وحـدة قيـاس القـوة هي النيوتن **والواحد نيوتن** (1N) هو القوة اللازمة لتغيير سرعة جسم كتلته 1 kg بمعدّل متر واحد في الثّانية لكل ثانية ($1kg.m/s^2$)
- **الوزن** هو قوّة الجاذبيّة التي تُؤثّر في الكتلة.
- **مُحَصّلة القوى** هي مجموع تلك القوى مع أخذ اتّجاهاتها في الاعتبار.
- يكون الجسم في حالة **اتّزان** انتقالي عندما تكون مُحَصّلة القوى المؤثّرة فيه صفراً.
- **الاحتكاك** هو مجموعة من القوى التي تعيق الحركة.
- **الاحتكاك السكوني** هو قوة مقاومة بين جسمين تمنع حركة أحدهما بالنسبة إلى الآخر.
- **الاحتكاك الحركي** هو قوة الإعاقة بين سطحين متلامسين يتحرك أحدهما بالنسبة إلى الآخر.

الدّرس 1-2 المتّجَهات والقوى

- **المُتّجَه** هو كمية تعرف بالمقدار والاتجاه. القوة كمية مُتّجَهة.
- **محصلة القوى** هي القوة المنفردة التي تمثل حاصل جمع عِدّة قوى.
- يمكن تمثيل **مُرَكّبات مُتّجَه** القوّة على الشّكل $\overrightarrow{F} = (F_x ، F_y)$
- نستخدم مُثلّث المُتّجَهات ونظرية فيثاغورث للحصول على مركّبات القوى.

الدّرس 1-3 العزم والاتّزان الدّوَرانيّ

- **عزم القُوّة** هو حاصل ضرب مقدار القوّة بالمسافة العموديّة بين محور الدّوران وخط تأثير القوة. وحدة قياس العزم هي نيوتن.متر (N.m)
- **محصّلة العزوم** التي تؤثّر في جسم مُعيّن هي مجموع كافّة العزوم حول محور دوران واحد.
- **رد فعل الدّعم** هي القوى أو العزوم النّاتجة عند نقاط التّماس بين جسم وسطح جسم آخر.
- يكون الجسم في حالة **اتّزان دَورانيّ** عندما تكون محصّلة العزوم المؤثّرة حول أيّ محور دوران اختياري صفراً.
- الازدواج قوتان محصلتهما صفر، وخطا عملهما غير منطبقين، فينتج عنهما محصلة عزوم لا تساوي صفر.

اختيار من متعدد

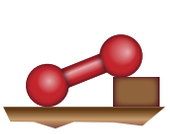
1. أيّ زوج من خصائص الحركة يمكن تغييره تحت تأثير قُوّة؟

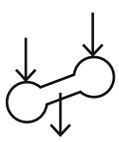
   a. الكتلة والسّرعة.
   b. اتّجاه الحركة والسرعة.
   c. الكتلة والوزن.
   d. اتّجاه الحركة والوزن.

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

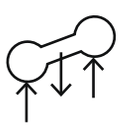
   a. 4 N
   b. 8 N
   c. 16 N
   d. 60 N

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

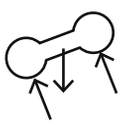




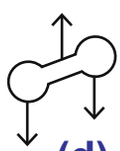
(a)



(b)



(c)



(d)

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

   a. 5,000 N
   b. 60,000 N
   c. 80,000 N
   d. 120,000 N

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

   a. 980 N
   b. 10,000 N
   c. 27,400 N
   d. 36,985 N

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

   a. 15 kg
   b. 31 kg
   c. 600 kg
   d. 2,940 kg

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

   a. $19\ m/s^2$
   b. $21\ m/s^2$
   c. $23\ m/s^2$
   d. $26\ m/s^2$

8. تؤثر قوتان متعامدتان وغير متساويتين في صندوق فتحركانه على سطح أفقي. بأي اتجاه سيتحرك الصندوق؟

a. باتّجاه القوة الأكبر
b. باتّجاه معاكس للقوة الأصغر
c. باتّجاه محصّلة القوتين
d. باتجاه يتعامد مع محصلة القوتين.

9. يسحب رجل صندوقاً على أرض أفقيّة بالتأثير فيه بقوة تميل بزاوية θ عن الأرض. كم تكون الزاوية θ إذا كانت المُرَكّبتان الأفقيّة والرّأسيّة للقوّة لهما المقدار نفسه؟

a. 0
b. 30°
c. 45°
d. 60°

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

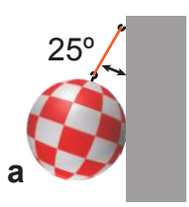
a. تكون القوى الثّلاث في اتّجاه واحد.
b. يكون للقوى الثّلاث اتجاهات متعاكسة.
c. يتطابق رأس القوّة الأولى مع ذيل القوة الثّالثة.
d. يتطابق ذيل القوّة الأولى مع رأس القوة الثّالثة.

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

a. 0.25 m
b. 0.50 m
c. 0.75 m
d. 1.00 m

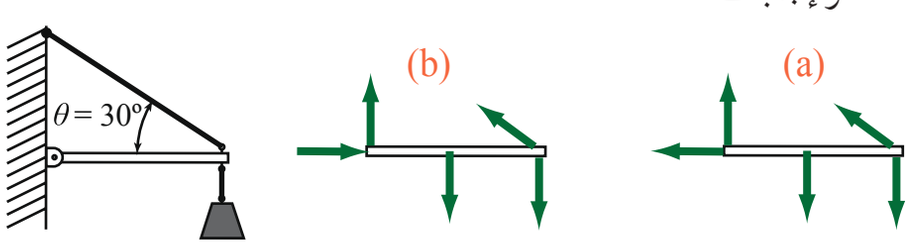
الدّرس 1-1 القوى والاتّزان

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



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

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



15. تسقطُ كرة تحت تأثير وزنها 10 N وتتعرّض لمقاومة هواء 4 N إلى أعلى. ما محصلة القوى المؤثرة في الكرة؟

a. 6 N إلى أعلى
b. 14 N إلى أسفل
c. 14 N إلى أعلى
d. 6 N إلى أسفل

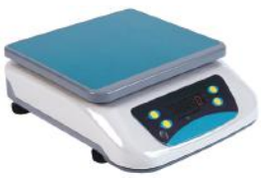
16. هل يمكنك التّفكير في موقف لا يكون فيه لِجسم معيّن أيّ قوّة تؤثّر فيه؟ اشرح سبب ذلك.

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

18. يوضح الشّكل التالي ثلاث أدوات شائعة لِقياس كتل الأجسام. إحدى هذه الأدوات تعطي القياس الصّحيح على القمر وعلى الأرض. أمّا الاثنان الآخران فيعطيان القياس الصّحيح على الأرض فقط. اشرح السّبب.

ميزان ثلاثي الأذرع

ميزان البقالة


ميزان الكترونيّ

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

20. يتمّ سحب لوحة كتلتها m، بِحبل على سطح مُستَوٍ. ما القوّة الّتي يجب التأثير بها لِلحفاظ على انزلاق اللّوحة بسرعة ثابتة إذا كان معامل الاحتكاك الحركيّ μ_k؟

21. إذا انزلق جسمان على سطحين مستويين وأملسين تمامًا، يصبح الاحتكاك بينهما كبيرًا جداً. اقترح تفسيرًا لذلك.

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

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

الدّرس 1-2 المُتَّجَهات والقوى

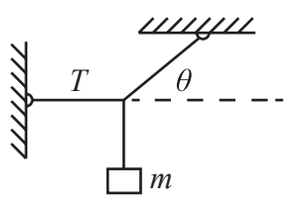
24. أكتب مُرَكَّبَتَي المُتَّجَهين لِقوّتَين لهما المقدار نفسه لكن في اتّجاهَين متعاكسَين. يمكن استخدام أرقام اختياريّة.

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

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

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

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

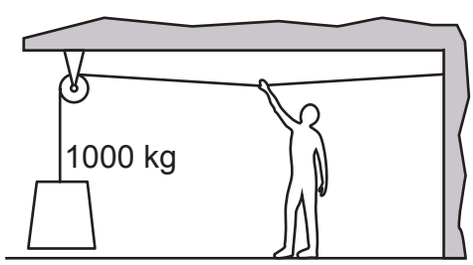


29. ما المحصّلة الناتجة من جمع متّجهي القوتين $F_1 = (a, b)$ and $F_2 = (c, d)$؟

30. ما قيمة المُرَكَّبة الأفقيّة لِقوة مقدارها 100 N تصنع زاوية 215° مع المستوى الأفقيّ؟

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

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



كيف يتحقّق ذلك؟ لماذا لا يتحقّق ذلك لمسافة أكبر؟

اكتب معادلة تثبت إجابتك.

الدّرس 1-3 العزم والاتّزان الدوراني

33. نُحلِّل القوى عادة إلى مركّبتين x و y حيث يكون محوراهما متعامدين والزاوية بينهما 90°. افترض أن الزاوية بين المحورين 89° ، ما الذي يجعل حل المسائل أكثر تعقيداً؟ ولِمَ نعتبرُ الزاوية 90° بأنها الزاوية الأفضل بين المحورين؟

34. يحاول عاملان سحب طاولة على الأرض بالتأثير فيها بقوتين أفقيتين مقدار كل منهما 100 N والزاوية بينهما 120° . ما القوة الثالثة التي يجب أن يؤثر بها عامل ثالث وفي أي اتجاه بحيث

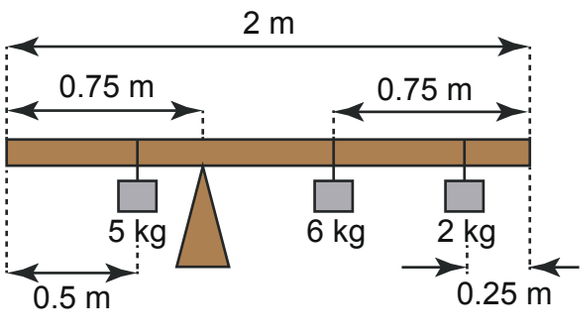
يمنع الطاولة من الحركة ويبقيها في حالة اتزان؟ اهمل قوى الاحتكاك بين الطاولة والأرض.

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

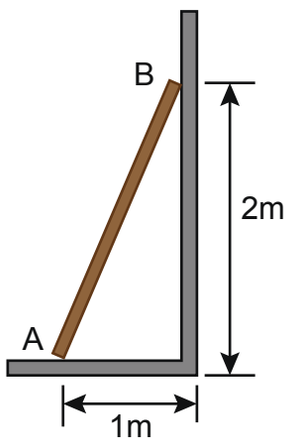
36. من الممكن تطبيق قوّة كبيرة على باب يتأرجح بحرّيّة دون التّمكّن من فتحه. بينما يمكن فتح الباب نفسه عبر تطبيق قوّة صغيرة عليه. اشرح كيف يمكن حصول ذلك.

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

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



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



a. اكتب معادلة اتزان القوى في الاتجاه الرأسي.

b. اكتب معادلة اتزان القوى في الاتجاه الأفقي.

c. اكتب معادلة الاتزان الدوراني حول النقطة A.

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

40. أعط مثالًا على جسم في حالة:

- اتزان انتقالي فقط
- اتزان دوراني فقط
- اتزان دوراني وانتقالي
- عدم اتزان انتقالي ودوراني

P1103
P1104

الوحدة 2

قوانين نيوتن والزّخم

في هذه الوحدة

الدّرس 2-1: القانونان الأوّل والثّالث لِنيوتن
الدّرس 2-2: القانون الثّاني لِنيوتن
الدّرس 2-3: حركة المقذوفات والسّطح المائل
الدّرس 2-4: الزّخم الخطّيّ وحفظ الزّخم

2 الوحدة

مقدمة الوحدة

تربط قوانين نيوتن الحركة بِالقوى. ينُصّ القانون الأوّل على أنّ الحركة تستمرّ على حالها دون تغيير في غياب القوة. ويوضح القانون الثّالث أنّ القوى تعمل دائمًا في أزواج. بينما يربط القانون الثّاني، وهو المعادلة الأكثر استخدامًا في علم الفيزياء، التسارع بالقوّة والكتلة.

فالقوّة كمّيّة مُتَّجِهة يُمكِن تطبيق قوانين نيوتن عليها في الاتّجاهات الثّلاثة، حيث يكون التسارع في الاتّجاه نفسه لِمُحصِّلة القوى. سنستخدم القانون الثّاني لِقياس التسارع في أنظمة واقعيّة كما في حركة المقذوفات والحركة على سطح مائل.

وسنستكشف في هذه الوحدة أيضًا الزّخم الخطّيّ وكيفيّة حفظ هذا الزّخم. فقد غيّر هذا المفهوم أنظمة السّلامة في السّيّارات الحديثة بشكل كبير. وأصبح بإمكان المهندسين جعل السّيّارة أكثر أمانًا عبر زيادة الفترة الزّمنيّة الّتي يُمكِن خلالها امتصاص الزّخم النّاتج من أيّ حادث. إنّ توزيع الزّخم النّاتج من الحادث على فترة زمنيّة أطول من المعتاد يُنتِج قوّة أقلّ مقدارًا وإصابات أقلّ خطرًا.

الأنشطة والتجارب

1-2 القانونان الأول والثالث لنيوتن.

2-2 القانون الثّاني لِنيوتن.

3-2 (a) السّطح المائل.

3-2 (b) قوانين الحركة وحوادث السَّير.

4-2 التّصادمات المرِنة والتصادمات غير المرِنة.

الدّرس 1-2
القانونان الأوّل والثّالث لِنيوتن

كيف يُمكِن لِطائرة كتلتها 500,000 kg وتقلّ 550 راكبًا أن تهبط على مدرج طائرات أو تقلع منه؟ وكيف عرف المهندسون الّذين صمّموا أكبر طائرة مدنيّة في العالم أنواع القوى اللّازمة لها.

كان التّحليق كالّصقر حلم الإنسان منذ القدم. ولقد حاول الكثيرون اختراع آلات لِلطّيَران. ويُعتقَد أنّ المخترع ابن فرناس (809 - 887 م) قد صنع أجنحة انسيابيّة سمحت له بِالطّيَران لِمسافات قصيرة. وقد تمّ تسمية إحدى الحُفَر على سطح القمر بِحفرة ابن فرناس تكريمًا له، وكذلك سُمِّيَ مطار ابن فرناس في بغداد تيَمُّنًا به.

تحتوي طائرة الرّكاب الحديثة على مُحرِّكات ضخمة تنتج أكثر من 350,000 N من قوّة الدّفع لكلّ مُحرِّك. أربعة من هذه المُحرِّكات يُمكِن أن تزيد من سرعة إقلاع الطّائرة الضّخمة بمعدّل 310 km/h خلال 30 ثانية.

مخرجات التّعلُّم

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

المفردات

القانون الأوّل لِنيوتن	Newton’s first law
قصور ذّاتي	Inertia
قوّة الطّرد المركزية	Centrifugal force
القانون الثّالث لِنيوتن	Newton’s third law
زوج الفعل وردّ الفعل	Action-reaction pair

قوانين نيوتن لِلحركة

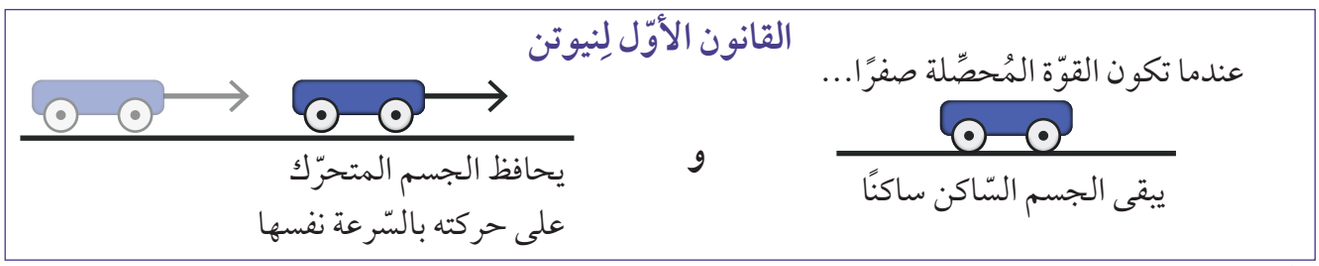
تصف قوانين نيوتن الثّلاثة لِلحركة استجابة الأجسام لِتأثيرات القوى. يصف القانون الأوّل شروط الاتّزان – أو القوّة المُحصِّلة الصّفريّة. ويصف القانون الثّاني تسارع الأجسام تحت تأثير مُحصِّلة قوى معيّنة. بينما يصف القانون الثّالث كيف تكون القوى دائمًا أزواجًا من فعل وردّ فعل.

سؤال للمناقشة

لماذا يتابع الجسم حركته حتّى بعدما تتوقّف عن دفعه؟

لماذا تتوقّف الأجسام المتحرّكة في نهاية الحركة ؟

يَنُصّ **القانون الأول لِنيوتن Newton's first law of motion** على أنّ أيّ جسم يبقى في حالة السّكون أو يستمرّ في الحركة المنتظمة نفسها إلّا إذا أثّرت فيه مُحصِّلة قوى (**الشّكل 2-1**). يُطلَق على القانون الأوّل أحيانًا قانون القصور الذّاتيّ لأنّ القصور الذّاتيّ هو خاصّيّة الكتلة الّتي تقاوم التّغيير في الحركة.



الشّكل 2-1 القانون الأوّل لِنيوتن.

يُنصّ القانون الأوّل لِنيوتن على أنّ الجسم الساكن يبقى ساكنًا، والجسم المتحرّك يبقى متحركًا في خط مستقيم وبسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه محصلة قوى تغيّر من حالته.

من الواضح أنّ الجسم السّاكن يبقى ساكنًا ما لم تؤثّر فيه مُحصِّلة قوى معيّنة. لكنّ القانون الأوّل يشير أيضًا إلى أنّ الجسم المتحرّك يحافظ على حالته الحركيّة نفسها ما لم تؤثّر فيه مُحصِّلة قوى. لكنّ حقيقة الأجسام في الواقع أنّها تتباطأ ثمّ تتوقّف ما لم يتمّ دفعها أو سحبها باستمرار. فكيف يتمّ التّوفيق بين هذه الحقيقة والقانون الأوّل؟

يبقى القانون الأوّل صحيحًا لأنّ الاحتكاك يسبّب قوّة أخرى تقاوم حركة الأجسام في الواقع (**الشّكل 2-2**). والسّبب في ضرورة دفع الصّندوق باستمرار لِلحفاظ على حركته بسرعة ثابتة هو مواجهة الاحتكاك. في هذه الحالة تكون مُحصِّلة القوى المؤثّرة في الصّندوق الّذي يتحرّك بسرعة ثابتة صفرًا لأنّ قوّة الدّفع الّتي تطبّقها تلغي تأثير قوّة الاحتكاك.

الشّكل 2-2 معادلة قوّة الاحتكاك.

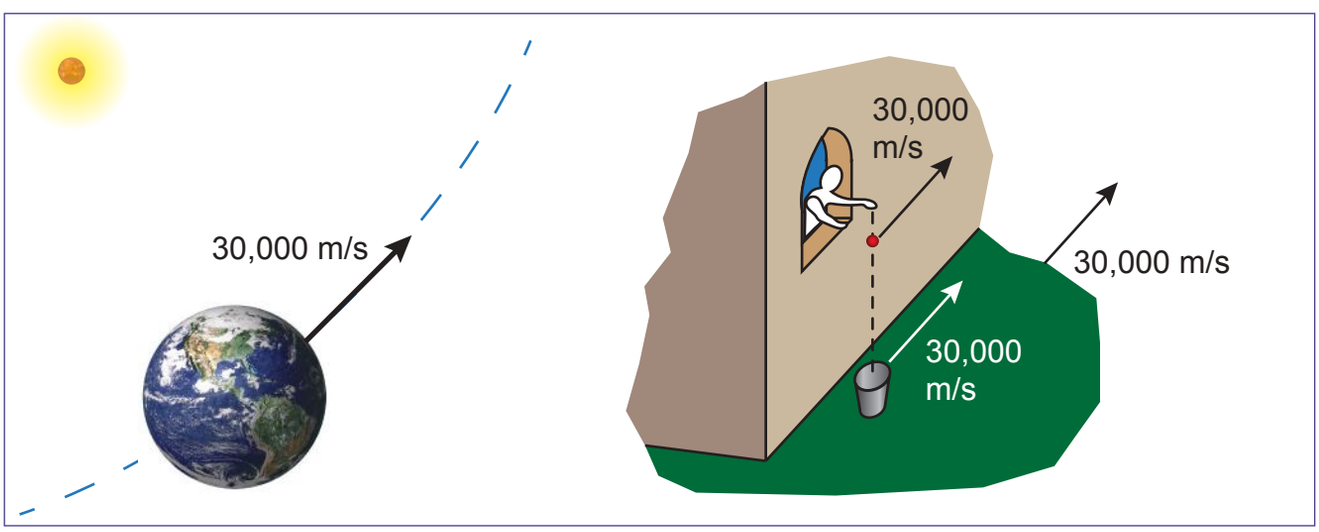
القصور الذّاتيّ

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

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

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

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



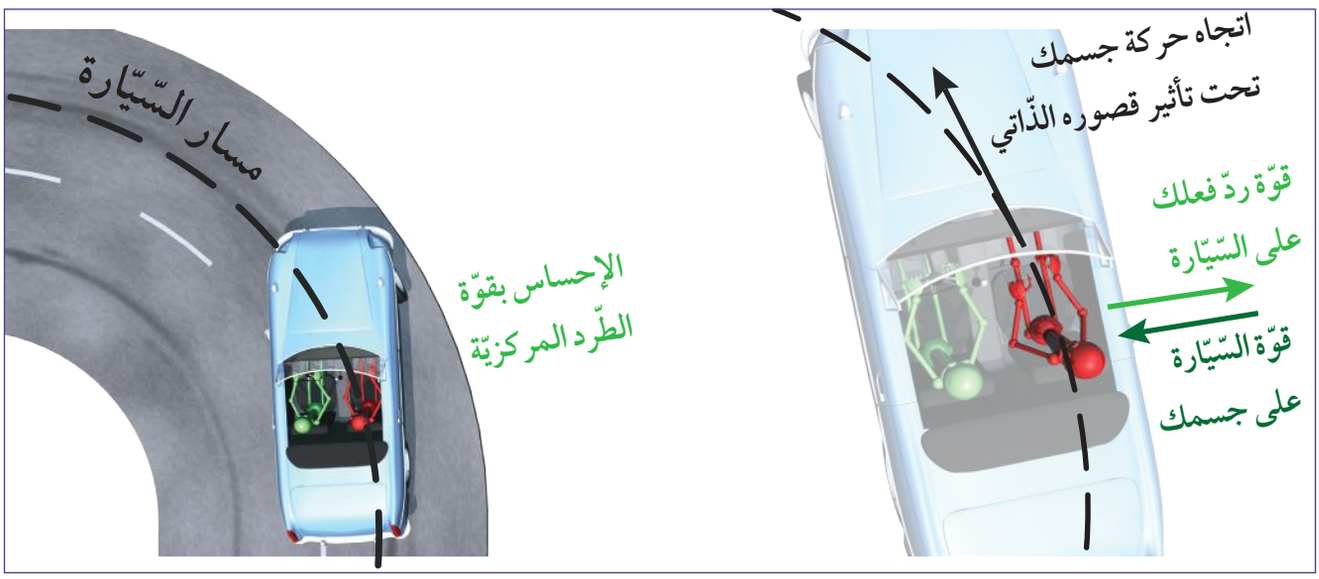
الشّكل 2-3 يبقي القصور الذّاتيّ حركة الأجسام كلّها باتجاه السّرعة المداريّة لِلكرة الأرضيّة.

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

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

قوّة الطّرد المركزيّة ليست قوّة

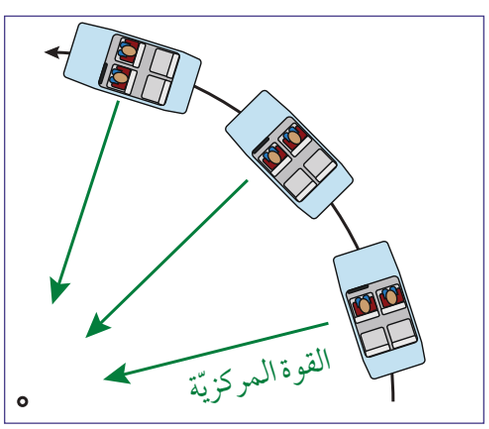
تذكّر آخر مرة كنت فيها في سيّارة تلتفّ عند منعطف بسرعة كبيرة. لقد أحسست بِـ «قوّة» تدفعك باتّجاه جانب السّيّارة بعيدًا عن مركز المنعطف. وكلّما زادت سرعة دوَران السّيّارة عند المنعطف، زاد إحساسك بِأنّك «تندفع» إلى الخارج. يُعرَف هذا التّأثير باسم قوّة **الطّرد المركزيّة Centrifugal force** على الرّغم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



الشّكل 2-4 تَصوُّر قوّة الطّرد المركزيّة .

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

هُناك قُوّة حقيقية تُلزِم السيارة على تغيير اتّجاه حركتها، وهي قُوَّة الاحتكاك بين عجلات السّيارة والطّريق والتّي تؤثر في اتجاه عموديّ على اتجاه السرعة. يكون اتجاه هذه القُوَّة نحو مركز المسار المنحني كما في (**الشّكل 2-5**) وتُسمَّى القوة المركزيّة. تؤدّي القُوَّة المركزيّة إلى حركة الجسم على مسار دائري. كذلك فإن القوّة التي يؤثّر بها باب السيّارة في جسمِك هي قُوَّة مركزية لأنها تُلزمُكَ على السَّير في المسار الدّائري نفسه التي تتبعه السيَّارة.



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

القانون الثّالث لِنيوتن

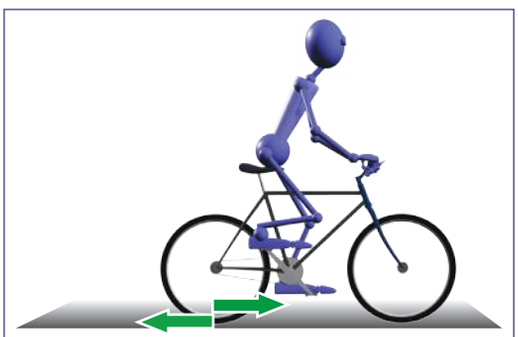
يتناول القانون الثّالث لِنيوتن التّفاعلات بين الأجسام، أو بين الأجسام ومحيطها. كلّ تبادل لِلقوّة يأتي من تفاعل بين جسمَين. ينُصّ القانون الثّالث لِنيوتن على أنّ القوى تكون دائمًا على صورة أزواج، فلا يُمكنُك تخيُّل واحدة منها بدون الأخرى. فعندما تطبّق قُوَّة فعل لتحريك كرة بيدِك، تلاحظ أن الكُرة تضغط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

تكون القوى دائمًا أزواجًا مكوّنة من فعل وردّ فعل.

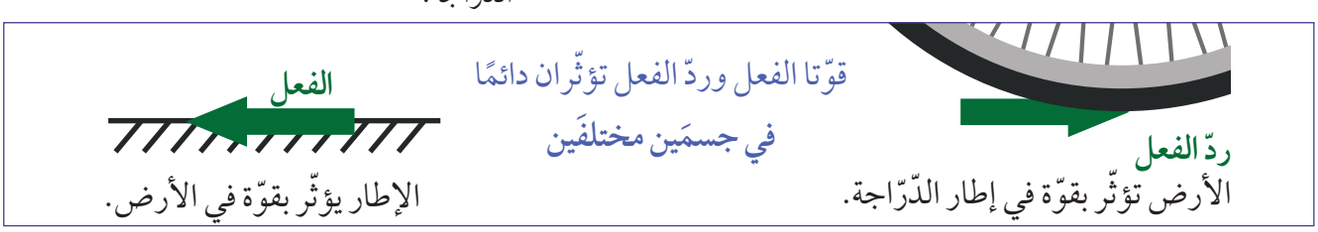
تكون قوّتا الفعل وردّ الفعل مُتساويتَين في المقدار ومُتعاكستَين في الاتّجاه وتؤثّران دائمًا في جسمَين مختلفَين.

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

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



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



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

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

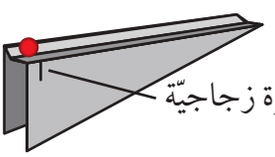
1. جميع القوى تكون أزواجًا من **قوّة فعل وقوّة ردّ الفعل action - reaction pairs**.
2. قوّتا الفعل وردّ الفعل مُتساويتَين في المقدار ومُتعاكستَين في الاتّجاه.
3. تؤثّر قوّتا الفعل وردّ الفعل في اللّحظة نفسها وعلى جسمَين مختلفَين، ولا تلغي إحداهما الأخرى.

نشاط عمليّ

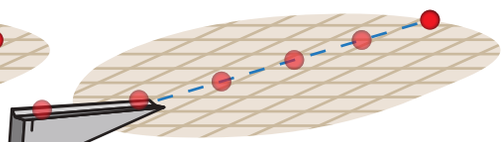
1-2 القانونان الأول والثالث لنيوتن

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

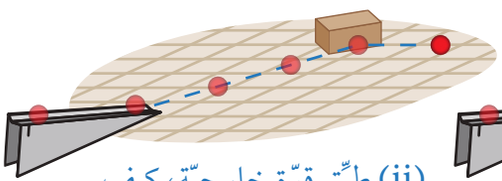
الخطوات



منحدر من الورق المُقوَّى لِتدحرج الكُرات الزّجاجيّة



(i) افترض عدم وجود قوى احتكاك، كيف ستبدو لك الحركة؟



(ii) طبِّق قوّة خارجيّة، كيف ستبدو لك الحركة؟

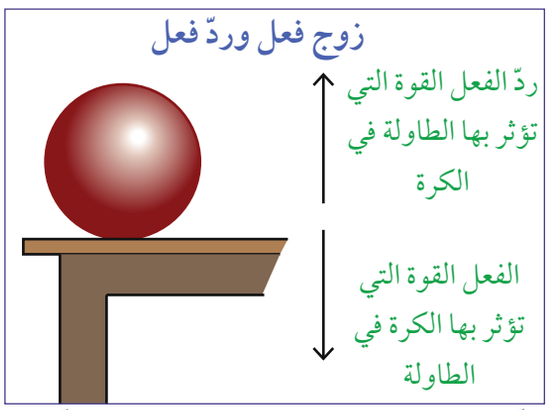
1. صمّم وابنِ منحدرًا تتدحرج عليه الكُرات الزّجاجيّة بِالسّرعة نفسها وفي الاتّجاه نفسه عند تكرار التّجربة.
2. لاحظ حركة الكرة الزّجاجيّة بعد وصولها إلى الأرض المستوية.
3. استخدم القوالب الخشبيّة لِلتّأثير في حركة الكُرات الزّجاجيّة. لاحظ حركة الكُرات.
4. أعِد الملاحظة باستخدام قالب آخر له كتلة مختلفة.

الأسئلة

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

أزواج الفعل وردّ الفعل

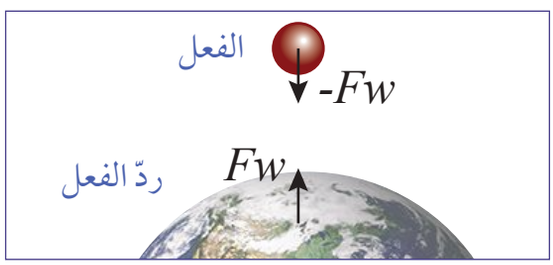
إنّ حقيقة عدم وجود قوّة منفردة هو وسيلة مهمّة لِفهم الفيزياء. تكون القوى دائمًا أزواجًا. ويؤدّي أيّ تفاعل بين جسمَين إلى التّأثير في كلَيهما. ولِفهم القانون الثّالث لنيوتن، علينا تحديد الجسمين المتفاعلين في قوّتَي الفعل وردّ الفعل.



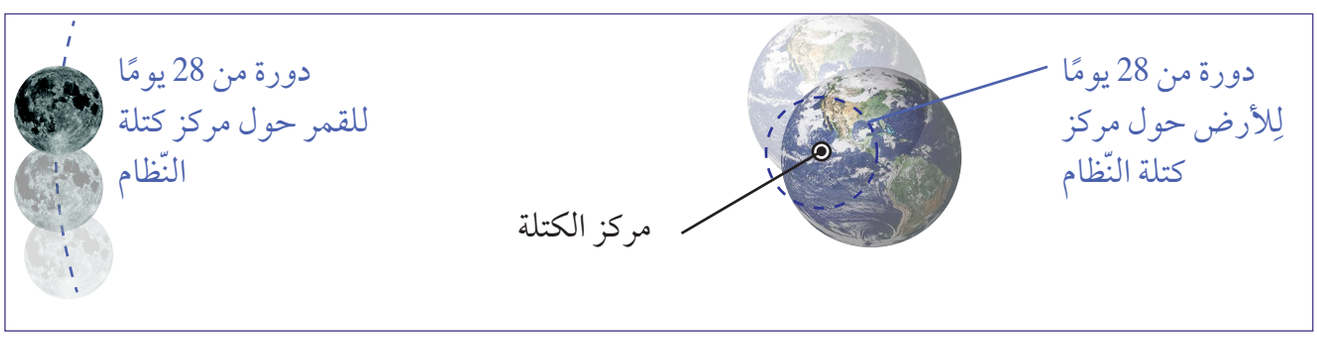
الشّكل 2-8 قوّتا الفعل وردّ الفعل على الكرة والطّاولة.

غالبًا ما تُعتبَر القوى العموديّة بين الأجسام والأسطح الدّاعمة قوى ردّ الفعل. افترِض كرة على طاولة كما في **الشّكل 2-8**. تدفع الكرة الطّاولة إلى أسفل بِقوّة مُساوية لِوزنها، وهي قوّة تؤثّر في الطّاولة. إنّ قوّة ردّ الفعل هي القوّة الّتي تؤثّر من خلالها الطّاولة في الكرة.

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



الشّكل 2-9 قوّة الفعل و ردّ الفعل على الكرة و الأرض.



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

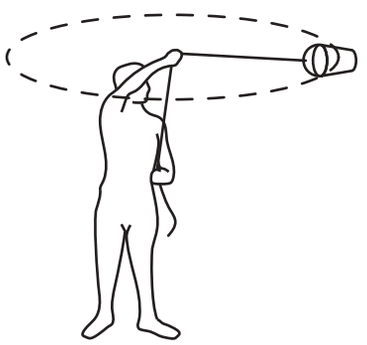
تشكل الأرض والقمر نظامًا مشتركًا له مركز كتلة واحد، يتبادلان فيه قوة الجذب الكتلي، إذ تؤثر جاذبية الأرض في القمر فتحرّكه في مداره. لكنّ جاذبيّة القمر تؤثّر في الأرض بِقوّة مُساوية ومُعاكسة! وهي تحرّك الأرض في مدار حول مركز كتلة نظام الأرض–القمر **(الشّكل 2-10)**.

تقويم الدرس 2-1

1. كيف تطبّق كلّ من القانونَين الأوّل والثّالث لِنيوتن في كلّ من الحالات التّالية:
   a. طالب كتلته 50 kg يجلس على كرسيّ ويستقر عليه.
   b. كويكب يسير في الفضاء بسرعة ثابتة في خط مستقيم.
   c. تحتاج الشاحنة المحملة لِقوّة محرّك لتصل إلى السّرعة اللّازمة على الطّريق السّريع.
   d. سيارة تسير على طريق مستقيم مبلل وعليه زيوت بسرعة ثابتة، ولا يمكنها تغيير مقدار السرعة أو الانحراف أو التوقف.

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

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



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

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

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

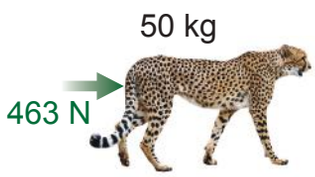
7. يستقرّ تمثال كتلته 100 kg على منصة فوق سطح الأرض. صِف زوجَين من أزواج قوى الفعل وردّ الفعل بين التّمثال ومحيطه.

الدّرس 2-2
القانون الثّاني لِنيوتن

يُمكِن لِسيّارة رياضيّة أن تزداد سرعتها من صفر إلى 100 km/h في أقلّ من ثلاث ثَوانٍ، كما يمكن لِلفهد أن يقوم بذلك أيضًا! إنّ جسم هذا الحيوان الاستثنائيّ، والّذي يتكيّف مع السّرعة، يسمح له بأن يزيد سرعته وكأنه يمتلك تسارع أقوى السّيّارات الرّياضيّة العالميّة والّتي تصل قدرة مُحرّكها إلى 690 حصانًا أو أكثر. يتميّز الفهد بكفاءة عالية تمكّنه من زيادة سرعته من 0 – 100 km/h بقدرة لا تتجاوز 1.9 حصانًا.

التسارع هو النّسبة بين القوّة والكتلة. يبلغ متوسّط كتلة الفهد الذّكر حوالى 50 kg بينما تبلغ كتلة سيّارة لامبرجيني حوالى 1,730 kg. لِبُلوغ سرعة 100 km/h (أي ما يوازي 27.7 m/s تقريبًا) خلال ثَوانٍ ثلاث، يضغط الفهد على الأرض بِقوّة مقدارها 463 N. أمّا سيّارة اللّامبرجيني، وبسبب كتلتها الكبيرة، فإنّها تؤثّر في الأرض بقوّة أكبر يصل مقدارها إلى 16,000 N. يتمّ تحديد القوى الّتي تؤثّر في الأرض من قِبَل السّيّارة والفهد من خلال القانون الثّاني لِنيوتن.

العجلة ذاتها



مخرجات التّعلُّم

P1103.1 يذكرُ نص قوانين نيوتن ويطبّقها في ظروف حياتية حقيقية.

المفردات

القانون الثّاني لِنيوتن	Newton’s second law
الدّيناميكا	Dynamics

القانون الثاني لنيوتن في الحركة

سؤال للمناقشة

ما العلاقة بين القوّة والحركة؟

يُعتبَر قانون الحركة الثّاني لِنيوتن (**المعادلة 2-1**) المعادلة الأكثر استخدامًا في علم الفيزياء. ينُصّ هذا القانون على أنّ تسارع الجسم يُساوي حاصل قسمة مُحصِّلة القوى المؤثّرة فيه على كتلة الجسم.

إذا قمت بِالتّأثير في جسم ما بِقوًى أكبر فإنّ هذا الجسم سيكون تسارعه أكبر. وبِالنّسبة إلى قوّة معيّنة فإنّ الجسم ذا الكتلة الأكبر يكون تسارعه أقل. وإذا كانت مُحصِّلة القوى المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا فإنّ تسارع الجسم أيضًا يساوي صفرًا، وهذا يعني عدم حدوث تغيّر في مقدار السّرعة أو في الاتّجاه. تذكّر دائمًا أنّ القوّة الموجودة في **المعادلة 2-1** هي مُحصِّلة القوى المؤثّرة في الجسم، وهذا مهمّ عندما تؤثّر أكثر من قوّة في جسم مُتحرِّك.

2-1	القانون الثاني لِنيوتن		
	$a = \frac{F_R}{m}$	a	التسارع (m/s^2)
		F_R	محصّلة القوى (N)
		m	الكتلة (kg)

يتناسب تسارع الجّسم طرديًا مع مُحصّلة القوى المؤثّرة فيه وعكسيًا مع كتلته.

لا بدّ أن تكون الوحدات مُتجانِسة عند استخدام القانون الثّاني. إنّ 1N يُساوي ($1\ kg.m/s^2$). وعند استخدام هذا القانون، يجب أن تُحوَّل مقادير جميع الكمّيّات إلى وحدات مُتجانِسة. فوحدة التسارع يجب أن تكون m/s^2 ، ووحدة الكتلة kg ، ووحدة القوّة N أو $kg.m/s^2$.

مثال (1)

ما القوّة المطلوبة لتغيير سرعة قمر صناعي كتلته 2,200 kg بمقدار 0.25 m/s في ثانية واحدة؟

المطلوب حساب القوة F

المعطى $m = 2{,}200\ kg$ ، $\Delta v = 0.25\ m/s$ ، $t = 1\ s$

العلاقات $F = ma$ ، $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

الحل

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0.25\ m/s}{1\ s} = 0.25\ m/s^2$$

استخدم التسارع لحساب القوة: $F = ma = (2200\ kg)(0.25\ m/s^2) = 550\ N$

مسائل في تحديد نوع الحركة بِمعرفة القوى

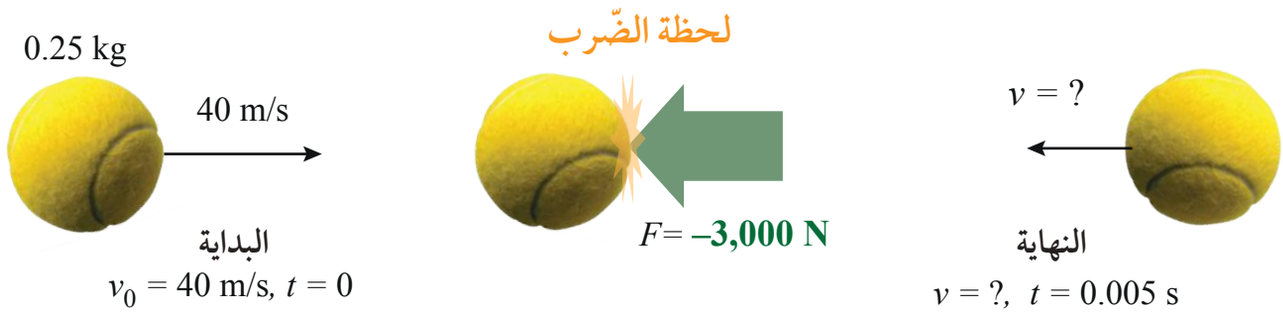
مسائل **الدّيناميكا Dynamics** تتضمّن الحركة المُتسارِعة والقوى، وتتضمّن كذلك استخدام القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد تسارع الجسم ونوع حركته بِمعرفة الكتلة والقوى المؤثّرة فيه.

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

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

مثال (2)

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



استخدم القانون الثاني لنيوتن لحساب التسارع

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

استخدم معادلات الحركة لحساب السرعة

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

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

مسائل حول تحديد القوّة بِدلالة الحركة

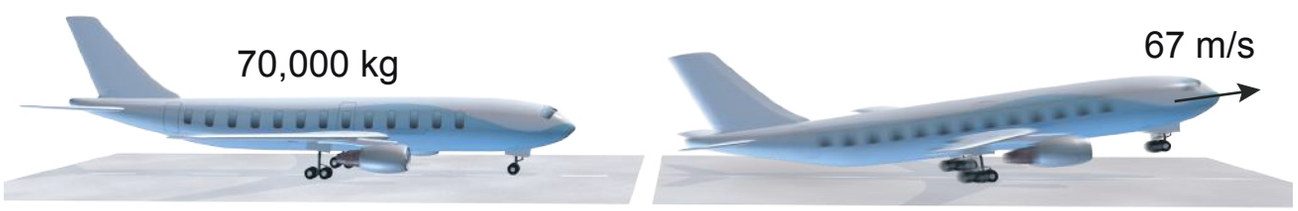
يصاحب تطبيق القوة وجود تسارع. هناك خطوتان لإيجاد القوّة المؤثّرة في جسم ما بِمعرفة نوع حركته. والخطوتان هما:

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

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

مثال (3)

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



البداية، $v = 0\ ,\ t = 0$ **الإقلاع،** $v = 67\ \text{m/s},\ t = 11\ \text{s}$

المطلوب قوّة المحرك F

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

العلاقات $F = ma, v = v_0 + at$

الحل

استخدم معادلات الحركة لإيجاد التسارع

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

استخدم القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد القوّة

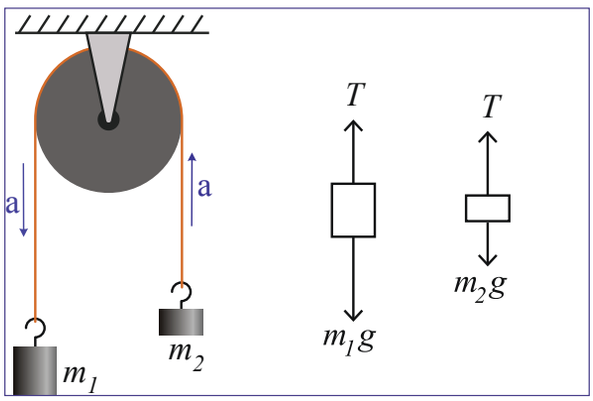
$$F = ma \quad \rightarrow \quad F = (70{,}000\ \text{kg})(6.09\ \text{m/s}^2)$$

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

آلة آتوود

آلة آتوود Atwood machine عبارة عن جهاز يتكوّن من بكرة وخيط وكتلتَين. يُستخدَم هذا الجهاز لِتحقيق التسارع الثابت في القانون الثّاني لِنيوتن. نفترض عادة أن البكرة خفيفة (مهملة الكتلة) والاحتكاك مُهمَل.

يوضح **الشّكل 2-11** نموذج آلة آتوود مع كتلتَين m_1 وm_2. القوّة في الخيط تُسمَّى قوّة الشّدّ T وهي قوّة ثابتة المقدار إذا كانت كتلة الخيط مُهمَلة، ومُتساوية حول طرفَي البكَرة إذا كانت البكَرة خفيفة. وإذا افترضنا أنّ الكتلة m_1 أكبر من الكتلة m_2 فهذا يعني أنّ الكتلة m_1 تتسارع نزولًا بينما تتسارع الكتلة m_2 صعودًا. في هذه الحالة نُطبِّق القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد مقدار التسارع a للنظام المكون من البكرتين.



الشّكل 2-11 ألة تود النموذجية.

توجد كميتان مجهولتان في هذه المسألة: قوّة الشّدّ في الحبل T ومقدار التسارع a . كلّ من هاتَين الكتلتَين على حدة تخضع لِلقانون الثّاني، فينتج من تطبيق القانون الثاني لنيوتن على الكتلتين مُعادَلتان.

للكتلة m_1 (اتجاه حركتها إلى الأسفل)

$$T - m_1 g = -m_1 a_1 \Rightarrow T = -m_1 a_1 + m_1 g$$

للكتلة m_2 (اتجاه حركتها إلى الأعلى)

$$-m_2 g + T = +m_2 a \Rightarrow T = m_2 g + m_2 a_2$$

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

$$-m_1 a_1 + m_1 g = m_2 g + m_2 a_2$$

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

$$-m_1 a + m_1 g = +m_2 a + m_2 g \quad \rightarrow \quad \boxed{a = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) g}$$

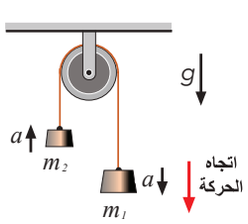
الجواب

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

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

مثال (4)

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



المطلوب التسارع a ، تحديد اتجاه التسارع.

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

العلاقات

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

الحل:

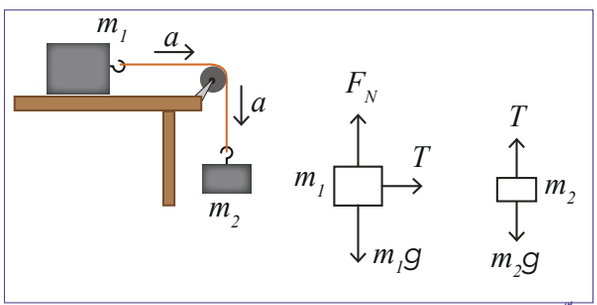
نفترض أن النظام يتحرك باتجاه الكتلة الكبيرة m_1 ونطبق العلاقة الرياضية: $a = \dfrac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g$

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

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

شكل آخر لآلة آتوود

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



الشّكل 12-2 شكل آخر لآلة آتوود.

للكتلة m_1: $T = m_1 a$

للكتلة m_2: $-m_2 g + T = -m_2 a$

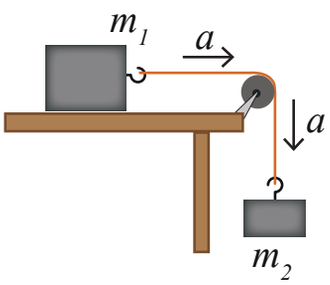
نعوض عن قوة الشد T في معادلة الكتلة m_2، فنحصُل على علاقة تعطينا التسارع a.

$$-m_2 g + m_1 a = -m_2 a \quad \rightarrow \quad \boxed{a = \frac{m_2 g}{m_1 + m_2}}$$

الجواب

مثال (5)

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

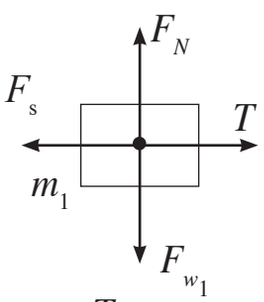


المطلوب أقل قيمة للكتلة m_2 لتحريك النظام

المعطى $m_1 = 2$ kg ، $\mu_s = 0.2$

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

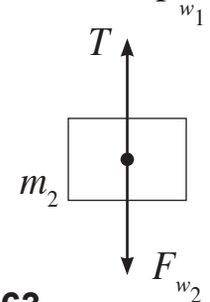
الحل: بتطبيق القانون الثاني لنيوتن للكتلة m_1 نحصل على:



$$T - F_s = m_1 a$$

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

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن للكتلة m_2 نحصل على:



$$-m_2 g + T = -m_2 a \ldots.(2)$$

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

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

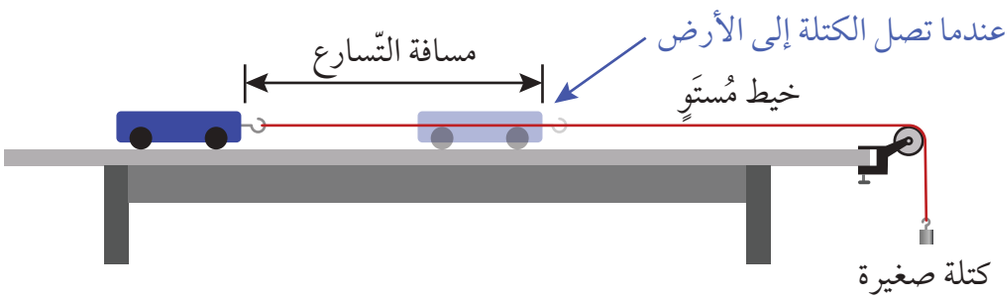
$a \geq 0 \Rightarrow m_2 - \mu_s m_1 \geq 0 \Rightarrow m_2 = \mu_s m_1 = 0.2 \times 2 = 0.4$ kg :الجواب

نشاط عمليّ

2-2 القانون الثّاني لِنيوتن

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

الخطوات



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

الأسئلة

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

تقويم الدرس 2-2

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

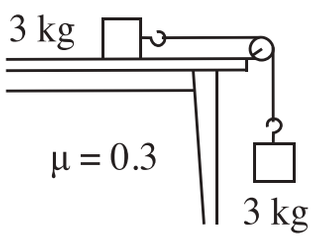
2. ما كتلة رجل يتحرك بتسارع $4\ m/s^2$ تحت تأثير مُحصِّلة قوى مقدارها 300 N؟.

3. ما قوّة ردّ الفعل العموديّة الّتي يؤثّر بِها سطح الأرض في شخص كتلته 40 kg يقفز رأسيًّا إلى الأعلى بتسارع $3\ m/s^2$ وهو لا يزال مُتّصِلًا بِالأرض؟

4. صخرة كتلتها 10 kg تنزلق بسرعة 8 m/s على سطح أُفقيّ لِتقف بعد قطع مسافة 8 m:
   a. احسُب قوّة الاحتكاك المؤثّرة في الصّخرة.
   b. احسُب معامل الاحتكاك الحركيّ.

5. ما المسافة الّتي يقطعها قارب كتلته 600 kg خلال 12 s علمًا أنّ القارب كان قد بدأ الحركة من السّكون تحت تأثير قوّة مقدارها 900 N؟

6. كتلتان متماثلتان مقدار كل منهما 3 kg مُتّصلِتان بِخيط يمرّ فوق بكَرة مهملة الكتلة والاحتكاك، كما هو مُوَضَّح في الشّكل المقابل.إذا كان مُعامِل الاحتكاك مع سطح الطاولة يُساوي 0.3 ، احسُب تسارع الكتلة المعلّقة.



7. تصادمت كرتان لهما الكتلة نفسها، إحداهما اكتسبت تسارع مقداره $12\ m/s^2$ في لحظة معيّنة. ما مقدار تسارع الكرة الثّانية في تلك اللّحظة؟ اشرح السّبب.

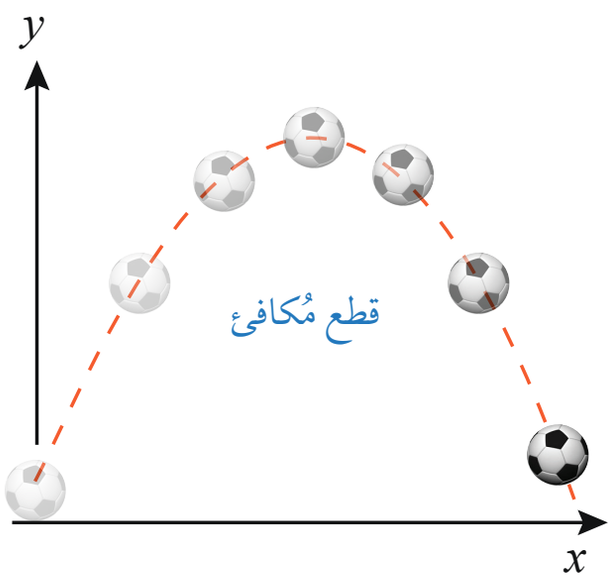
8. سيّارة كتلتها 2,200 kg تسارعت من السّكون على طريق أُفقيّ، ووصلت إلى سرعة 100 km/h خلال 5 s. احسُب مُحصِّلة القوى المؤثّرة في السّيّارة.

9. يقيس الميزان المنزليّ القوّة العموديّة التي يؤثر بها سطح الأرض في الأجسام:
   a. ما القيمة الّتي يسجّلها الميزان إذا وقف عليه شخص كتلته 100 kg في مصعد يتسارع إلى الأعلى بتسارع $1.2\ m/s^2$؟
   b. ما القيمة الّتي يسجّلها الميزان إذا وقف الشّخص نفسه على الميزان في المصعد وهو يتسارع إلى الأسفل بتسارع $1.8\ m/s^2$؟

الدّرس 3-2
حركة المقذوفات والسّطح المائل

معظم الاجسام من حولنا لا تتحرك فى خط مستقيم. ومن الحقائق الهامّة حول قوانين نيوتن لِلحركة أنّها تعطينا طريقة لِوصف الحركة الواقعيّة ثلاثيّة الأبعاد من خلال ثلاث حركات خطّيّة ومنفصلة. وبما أنّنا نعرف بِالفعل كيفيّة حلّ مسائل الحركة وفقًا لِخطّ مُستقيم، فبإمكاننا إذًا وصف المسار المُنحني ثنائيّ الأبعاد لِكرة القدم بِالقوانين والمُعادَلات نفسها الّتي عرفناها.

يتخيّل لاعب كرة القدم الماهر مسار الكرة ويعرف بِالضّبط متى عليه أن يسدّدها. كيف يتِمّ ذلك؟ وكيف بِإمكان العقل أن يتخيّل المسار المُنحني للكرة؟ الجواب هو من بديهيّات الفيزياء. تفيدنا قوانين نيوتن بِأنّ حركة الكرة في الهواء يمكن تَوَقّعها بِشكل دقيق إذا افترضنا أنّ القوّة الوحيدة الّتي تؤثّر فيها هي قوّة الجاذبيّة. يقوم اللّاعب الماهر بتوقُّع المسار المُنحني لِلكرة ثمّ يُصحّحه قليلًا تبعًا لِحركة الرّياح.



مخرجات التّعلُّم

P1103.1 يذكر قوانين نيوتن للحركة ويطبقها على مواقف واقعية.

المفردات

مقذوف	Projectile
مدى	Range
سطح مائل	Inclined plane

القوى والحركة في بُعدَين

سؤال للمناقشة

كيف نطبق قوانين نيوتن للحركة على منحنى؟

القوّة كما التسارع كمّيّة مُتّجِهة، بينما الكتلة كمّيّة عددِيّة (قِياسيّة). أمّا التّفسير العامّ لِلقانون الثّاني لِنيوتن فيكون كما يلي:

1. للتسارع ومُحصِّلة القوى الاتّجاه نفسه.
2. يُمكِن تطبيق قوانين نيوتن بِشكل منفصل في أيّ اتجاه.

قانون نيوتن الثّاني	ذلك يعني
الشّكل الاتّجاهيّ	
$\vec{F} = m\vec{a}$	$(F_x, F_y) = m(a_x, a_y) \longrightarrow \begin{matrix} F_x = ma_x \\ F_y = ma_y \end{matrix}$

القانون الثّاني يُطبَّق بشكل منفصل في أيّ اتّجاه!

إنّ مُعادَلات الحركة هي أيضًا مُعادَلات اتّجاهيّة. لذلك ينتج من مُعادلة ذات بعدَين، أربع مُعادَلات. لِمُعادَلتَي السّرعة مُركّبَتَين x و y، ولِمعادَلتي المكان أيضًا مُركّبَتَين x وy.

انظر بعناية إلى الرّموز السفلى لِلمُتغيِّرات. من المهمّ تتبُّع المُركّبَتَين x و y. فعلى سبيل المثال، v_{ox} هي السّرعة الابتدائيّة في اتّجاه x و v_{0y} هي السّرعة الابتدائيّة في اتّجاه y.

معادلة السّرعة	اتجاه x	اتجاه y
$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + a_y t$
معادلة الموقع	**اتجاه x**	**اتجاه y**
$\vec{x} = \vec{x}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$	$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$	$y = y_0 + v_y t + \frac{1}{2}a_y t^2$

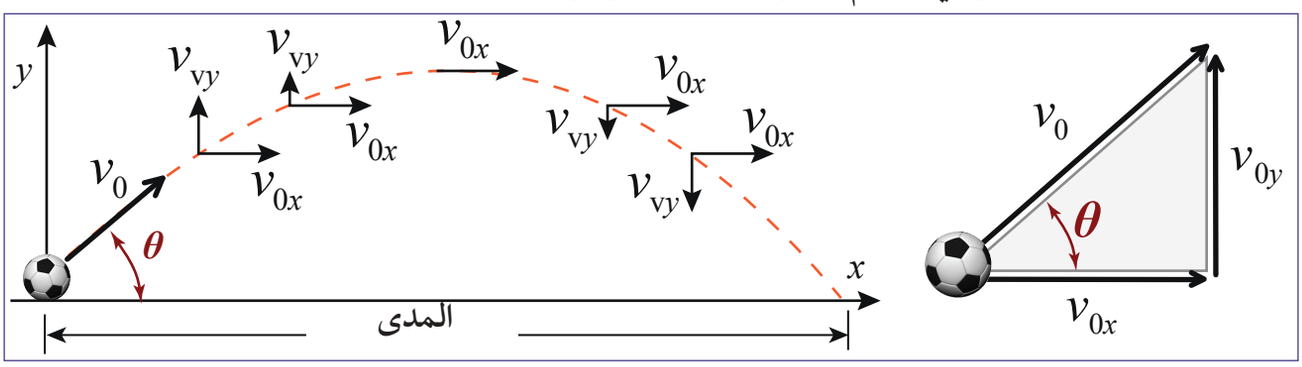
تنقل الصّيَغ الاتّجاهيّة لِلقانون الثّاني لِنيوتن ومُعادَلات الحركة كلّ ما تعلّمناه عن الحركة الخطّيّة في بُعد واحد إلى بعدَين وثلاثة أبعاد. هذه هي الطّريقة الّتي يدرس بواسطتها المهندسون أيّ حركة واقعيّة ويضعون لها النّماذج.

يتمّ حلّ الحركة في بُعدَين كَمسألتَين كلّ منها في بُعد واحد لكن في اتّجاهين مُنفصلَين x و y.

نُطبِّق قوانين نيوتن في بُعدَين بِشكل مُنفصل على كلّ من اتّجاهَي x و y. و في حالة الأبعاد الثلاثة يكون لدينا ثلاثة اتّجاهات منفصلة: x و y و z.

حركة المقذوفات

تخيّل أنّك تركل كرة قدم إلى أعلى بِسرعة ابتدائيّة v_0 وبِزاوية θ. تتحرّك الكرة على طول مسار مُنحَنٍ يَتغيَّر معه مُتّجِه السّرعة تدريجيًّا إلى أن يشير إلى الأسفل مرّة أخرى. يتحرك الجسم على مسار منحن لأن قوة الجاذبية تؤثر في الأجسام المتحركة في مجالها بتسارع رأسي إلى أسفل وليس بشكل جانبي.
المقذوف Projectile هو أيّ جسم يتحرّك تحت تأثير قوّة الجاذبيّة فقط.



الشّكل 2-13 مُركّبتا السّرعة الابتدائيّة لِمقذوف.

المدى Range هو المسافة الأُفقيّة الّتي يقطعها المقذوف حتى ملامسته للأرض مرّة أخرى كما يظهر في **الشّكل 2-13**. كيف نقوم بِتحليل الحركة وكيف نتوقّعها من خلال استخدام قوانين نيوتن؟ الفكرة الأساسيّة هي أنّ قوانين نيوتن تُطبَّق بِشكل مُنفصِل بِالنّسبة إلى كلّ اتّجاه.

والحقيقة الهامّة هي أنّ قوّة الجاذبيّة تؤثّر فقط في الاتّجاه الرّأسيّ إلى الأسفل. يكون مُتّجِه التسارع $(0, -g)$ m/s^2 ويتِمّ حسابه بناء على قانون نيوتن الثّاني عبر استخدام الوزن كقوّة. والنّتيجة هي أنّ الأجسام السّاقطة تتسارع جميعها بِالمُعدَّل نفسه -9.8 m/s^2، بِغَضّ النّظر عن كتلتها.

تسارع الجاذبيّة ← الوزن ← قانون نيوتن الثّاني

$$F = mg \longrightarrow a = \frac{-mg}{m} \longrightarrow \boxed{a = -g}$$

$$a = \frac{F}{m}$$

لِنفترض أنّ مُركّبَتَي المُتّجِه الابتدائيّ لِلموقع x_0 و y_0 تُساوِيان صفرًا. يسمح لنا ذلك بِكتابة مُعادَلَتَي الحركة كما يوضح الرّسم أدناه. لاحظ أنّه من المفيد دائمًا البدء بِتحديد الكمّيّات الصّفريّة وإزالتها.

	اتجاه x	اتجاه y
معادلة السّرعة	$v_x = v_{0x} + a_x t$ ← $\boxed{v_x = v_{ox}}$	$\boxed{v_y = v_{oy} - gt}$
معادلة الموقع	$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$ ← $\boxed{x = v_{ox}t}$	$y = y_o + v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$ ← $\boxed{y = v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2}$

الشّكل 2-14 مُعادَلات السّرعة والموقع لِمقذوف معيَّن.

نستطيع عند دراسة حركة المقذوفات:

1. حساب الزمن اللازم للوصول إلى أقصى ارتفاع للمقذوف، عندما تكون المركّبة الرأسية للسرعة صفرا.
2. حساب المدى، والزمن اللازم لقطعه، وذلك عندما تكون الإزاحة الرأسية y للمقذوف صفرا.
3. حساب الزاوية الابتدائية للمقذوف والتي تجعل مداه أقصى ما يمكن عندما يكون مقدار سرعته الابتدائية ثابتا.
4. دراسة الحالة الخاصة بتساوي الفترتين الزمنيتين t_1 و t_2 حيث t_1 الزمن اللازم للوصول إلى أقصى ارتفاع و t_2 الزمن اللازم لقطع المدى.

مثال (6)

تُركل كرة بِسرعة ابتدائيّة مقدراها 10 m/s بِزاوية 30° مع الأفقي. ما المسافة الأُفقيّة الّتي تقطعها الكرة (المدى) قبل اصطدامها بالأرض؟

المطلوب المسافة الأُفقيّة المقطوعة، x

المعطى $v_o = 10\ \text{m/s}$ ، $\theta = 30°$

العلاقات

اتّجاه x : $x = v_{ox}t$ $\qquad v_x = v_{ox}$

اتّجاه y : $y = v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$ $\qquad v_y = v_{oy} - gt$

الحل الخطوة الأولى تكمن في تحليل السّرعة الابتدائيّة إلى مُركّبَتيها x و y حتّى نتمكّن من استخدام مُعادَلات الحركة.

$$v_{ox} = v_o\cos\theta = 10\cos30 = 8.67\ \text{m/s} \quad \text{و} \quad v_{oy} = v_o\sin\theta = 10\sin30 = 5\ \text{m/s}$$

لإيجاد المسافة الأُفقيّة (المدى)، نحن بحاجة إلى معادلة اتّجاه x لكنّنا لا نعرف الزّمن. لذلك نستخدم المعادلة y لإيجاد الزّمن لأنّ $y = 0$ عندما تهبط الكرة إلى الأرض.

$$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad \Rightarrow \quad 0 = 5t - \frac{1}{2}9.8t^2 \quad \Rightarrow \quad 0 = (5 - 4.9t)t$$

تكون الكرة عند الموقع $y = 0$ في لحظتين زمنيتين:

$$5 - 4.9\,t = 0 \Rightarrow t = 1.02\ \text{s} \quad \text{و} \quad t = 0\ \text{s}$$

اللحظة $t = 0\ \text{s}$ تمثل لحظة انطلاق الكرة واللحظة $t = 1.02\ \text{s}$ هي لحظة عودتها إلى الأرض ثانيةً وهو الزمن المطلوب لقطع المسافة الأفقية.

نستخدم هذا الزّمن لحساب المسافة الأُفقيّة المقطوعة (المدى).

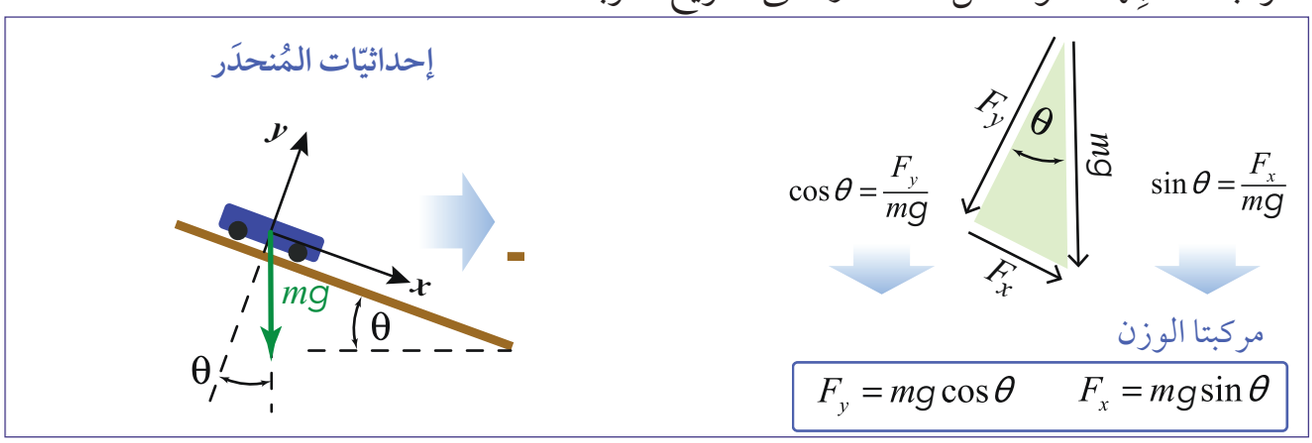
$$x = v_{ox}t \Rightarrow x = 1.02\times8.67 = 8.8\text{m}$$

السّطح المائل

السّطح المائل Inclined plane مُنحدَر يميل بِزاوية θ بِالنّسبة إلى السّطح الأُفقيّ. السّطح المائل مسألة شائعة في الفيزياء يستخدم فيها القانون الثّاني لِنيوتن لِتحديد تسارع عربة تتدحرج إلى أسفل المُنحدَر. لِتحليل هذه الحركة، علينا مراعاة ما يلي:

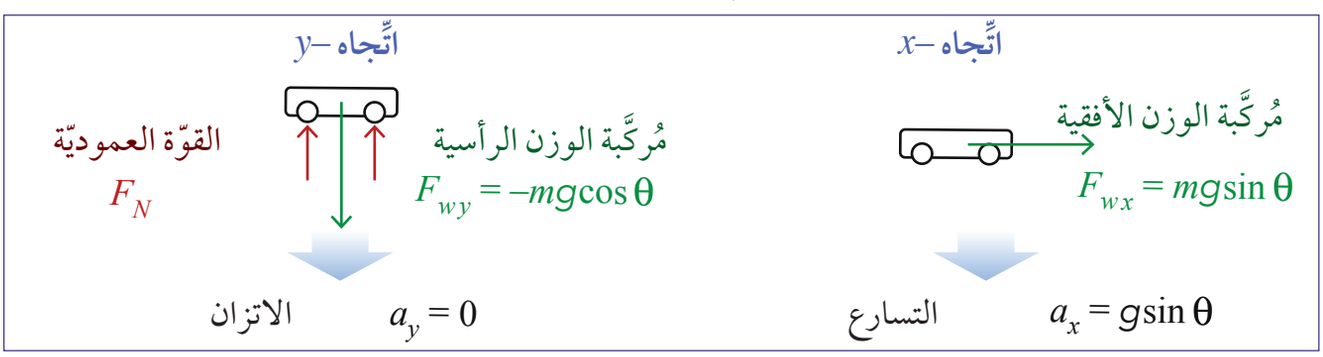
1. يكون التسارع دائمًا في اتّجاه مُحصِّلة القوى الّتي تؤثر في جسم ما.
2. عندما يُجبَر أيّ جسم على التسارع في اتّجاه ما، سيكون له دائمًا مُحصِّلة قوى تؤثّر في ذلك الاتّجاه.

بِما أنّ العربة مُجبَرة على التّحرُّك على طول المُنحدَر نُطبِّق القانون الثّاني لِنيوتن بِاتّجاه طول المُنحدَر. ومن المُناسِب تدوير المِحورَين x وy بِحيث يكون أحدهما في اتّجاه المُنحدَر والثاني عمودي عليه. في **الشّكل 2-15**، تؤثّر قوّة الوزن بِزاوية مع مُركّبة x في اتّجاه أسفل المُنحدَر. وتعمل المُركّبة المُتّجِهة نحو أسفل المنحدر على تسريع العربة.



الشّكل 2-15 إحداثيّات المُنحدَر.

ينتج عن المُنحدَر قوّة عموديّة توازِن المُركّبة العموديّة لوزن العربة. يوضح **الشّكل 2-16** أنّ القوّة العموديّة ومُركّبة الوزن في الاتّجاه y متزنتان بِحيث لا تتحرّك العربة في الاتّجاه العموديّ لِلمُنحدَر.



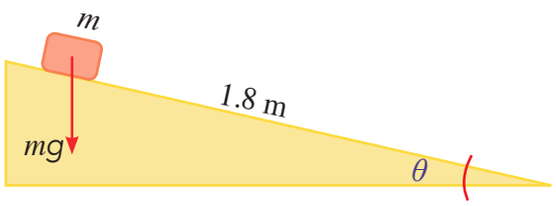
الشّكل 2-16 القوى في الاتّجاهين x وy.

القوى في اتّجاه x ليست في حالة اتزان. تتزايد سرعة العربة إلى أسفل المُنحدَر بتسارع يُساوي $a = g\sin\theta$. يُمكِن استخدام مُعادَلات الحركة لِحساب سرعة العربة وتسارعها، بمعرفة القوّة في الاتّجاه x ، والتي تمثل مُحصِّلة القوى المؤثّرة في العربة.

مثال (7)

قالب خشبي كتلته 3 kg ساكن عند أعلى نقطة في سطح مائل طوله 1.8 m، تُرك ينزلق تحت تأثير وزنه، إذا كانت زاوية ميل السطح عن الأفق 14°، ومعامل الاحتكاك بين القالب والسطح 0.1 احسب تسارع الصندوق، وسرعته النهائية عند نهاية السطح المائل.

المطلوب التسارع a ، السرعة النهائية v_1.



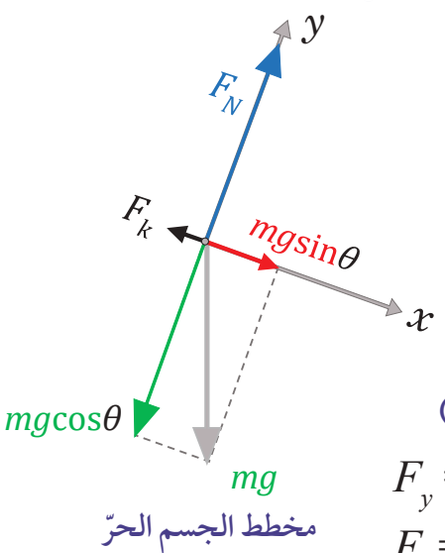
المعطى $m = 3\ \text{kg}, \quad x = 1.8\ \text{m}, \ \theta = 14°$

العلاقات $a = \dfrac{F}{m}, \quad v^2 = v_0^{\,2} + 2ax$

الحل

يتأثر القالب بقوتين؛ وزنه إلى الأسفل، وقوة الاحتكاك نحو أعلى السطح المائل، لذلك نبدأ بتحليل الوزن إلى مركبتين، الأولى (F_x) موازية للسطح المائل والثانية (F_y) عمودية عليه.

يبين المخطط الحرّ للجسم مجموعة القوى المؤثرة في الجسم



مخطط الجسم الحرّ

$$F_{wx} = mg\sin\theta$$

$$F_{wy} = mg\cos\theta$$

$$F_N \ , \ F_k = \mu_k F_N$$

الصندوق متزن في الاتجاه العمودي على المستوى المائل ($F_y = 0$)

$$F_y = F_N - mg\cos\theta = 0$$

$$F_N = mg\cos\theta = 3 \times 9.8 \times 0.97 = 28.5\ \text{N}$$

الصندوق يتحرك في الاتجاه الموازي للسطح المائل تحت تأثير عدة قوى:

$$F_x = mg\sin\theta - F_k = mg\sin\theta - \mu_k F_N$$

$$F_x = (3 \times 9.8 \times 0.24) - (0.1 \times 28.5) = 4.2\ \text{N}$$

$$a = \frac{F_x}{\text{m}} = \frac{4.2}{3} = 1.4\ \text{m/s}^2$$

$$v^2 = v_0^{\,2} + 2ax = 0 + 2 \times 1.4 \times 1.8 = 5.04$$

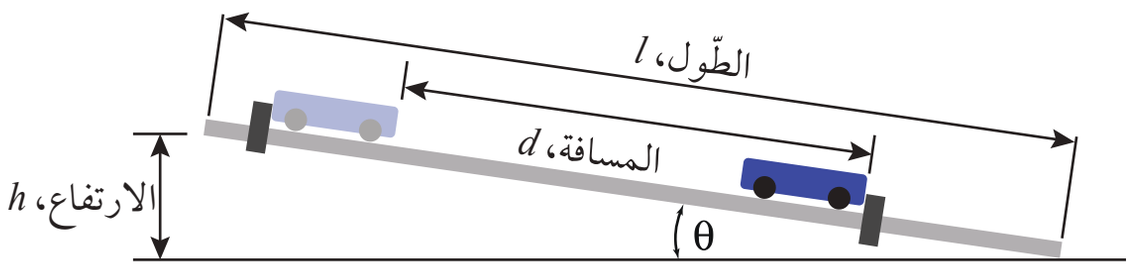
$$v = 2.24\ \text{m/s}$$

نشاط عمليّ

3-2 (a) السّطح المائل

سؤال الاستقصاء	كيف نحلّل الحركة على السطح المائل؟
الموادّ المطلوبة	عربة ديناميكيّة، قارئ البيانات، المستوى المائل (المضمار الميكانيكي»، منقلة

الخطوات



1. قم بإعداد سطح مائل مع عربة ديناميكيّة ونظام قارئ بيانات بعد ضبطه لقراءة الموقع والسرعة والتسارع بالنسبة للزمن.
2. لاحظ الرّسوم البيانيّة لِلموقع والسّرعة والتسارع في أثناء حركة العربة.
3. قم بِقياس الفترة الزمنية الّتي تستغرقها العربة لِقطع المسافة بين نُقطتَي البداية والنّهاية باستخدام البوابة الضوئية.

الأسئلة

a. احسُب زاوية ميل المُنحدَر بقياس الارتفاع والطّول.

b. تَوقَّع تسارع العربة من خلال تطبيق القانون الثّاني لِنيوتن على طول المُنحدَر.

c. قارن التسارع المقاس من جهاز قارئ البيانات مع توقّعك. اشرح أيّ اختلافات.

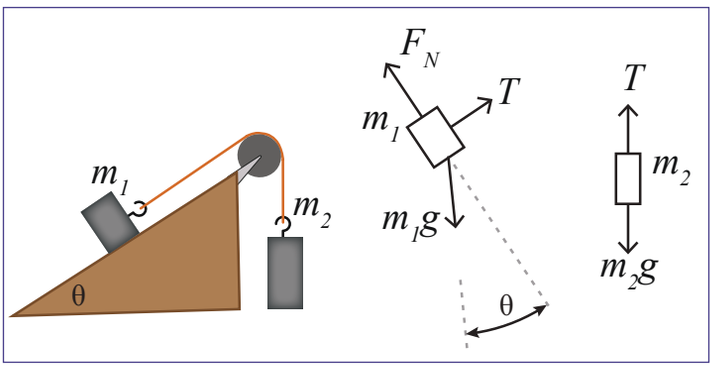
d. استخدم مُعادَلات الحركة لِاشتقاق مُعادلة لِلزّمن الّذي تستغرقه العربة لِقطع المسافة، d، بين نُقطتَي البداية والنّهاية.

e. استخدم القيمة المُقاسة للتسارع لِحساب الزّمن المُتوقَّع لِلجزء (d). قارِن بين الزّمن الّذي توقّعتُه والزّمن الفِعليّ المُقاس. احسُب النسبة المئوية للفرق بين القيمتين المُقاسة والمتوقعة.

f. كَرِّر التّجربة باستخدام زاوية ميل مختلفة لِلمُنحدَر. تُعطي الزّوايا الصّغيرة بين 2 و 15 درجة نتائج أفضل.

السّطح المائل

يوضح **الشّكل 2-17** نوعًا ثالثًا من أنواع آلة آتوود. في هذا النوع تنزلق الكتلة m_1 على السطح المائل بزاوية θ مع الأفقي وترتبط بكتلة ثانية m_2 بواسطة خيط خفيف يمر فوق بكرة خفيفة ومثبتة عند حافة المنحدر. ستتسارع الكتلة m_2 إلى أسفل. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على كل كتلة، مع إهمال قوة الاحتكاك مع السطح المائل:



الشّكل 2-17 الشكل الثالث لآلة آتوود.

للكتلة m_1

$$m_1a = T - m_1g\sin\theta$$

للكتلة m_2

$$m_2(-a) = -m_2g + T$$

بدمج المعادلتين نحصل على:

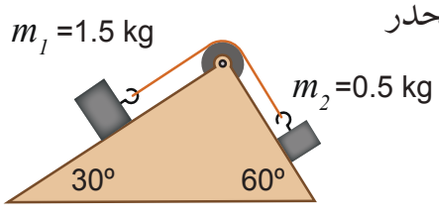
$$-m_2a = -m_2g + m_1a + m_1g\sin\theta \quad \rightarrow \quad \boxed{a = \frac{(m_2 - m_1\sin\theta)g}{m_1 + m_2}}$$

الإجابة

لاحظ أن تسارع النظام أقل من تسارع الجاذبية g.

مثال (8)

كتلتان متصلتان بخيط عديم الاحتكاك يمر فوق بكرة عند قمة منحدر أحسب مقدار تسارع النظام المكوّن من الكتلتين، وحدّد اتجاهه.

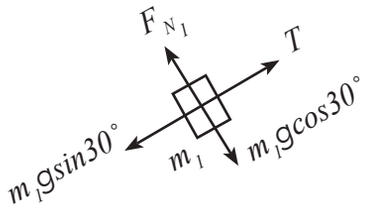


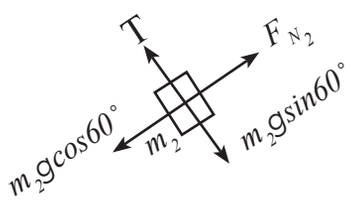
المطلوب التسارع a

المعطى $m_1 = 1.5\ \text{kg}$ ، $m_2 = 0.5\ \text{kg}$ ، $\theta = 30°, 60°$

العلاقات $F = ma$

الحل طبق القانون الثاني لنيوتن لكل من الكتلتين:





$$m_1a = T - m_1g\sin 30 \quad \text{و} \quad m_2a = -T + m_2g\sin 60$$

بتعويض T بين العلاقتين نحصل على التسارع:

$$a = \frac{-m_1\sin 30 + m_2\sin 60}{m_1 + m_2}g = \frac{-(1.5\ \text{kg})(0.5) + (0.5\ \text{kg})(0.867)}{2.0\ \text{kg}}(9.8\ \text{N/kg})$$

$\boxed{a = -1.55\ \text{m/s}^2}$ ، بما أن إشارة التسارع سالبة، فهو عكس الاتجاه المفروض؛ أي أن الكتلة m_1 تتسارع إلى اليسار نحو أسفل المنحدر.

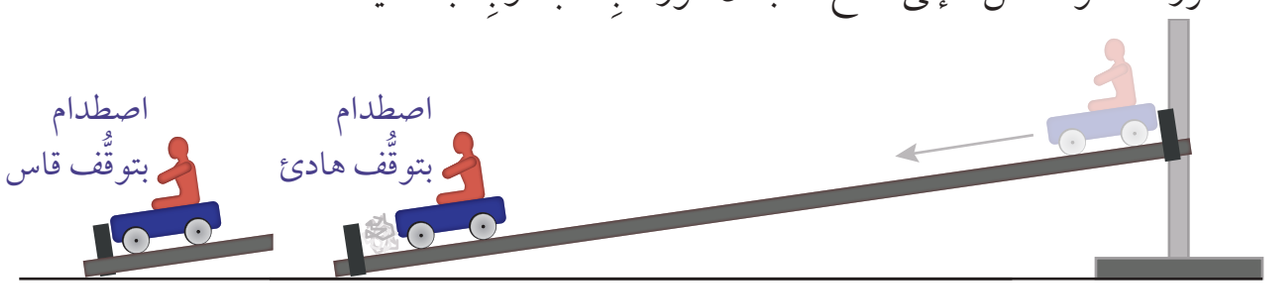
نشاط عمليّ

3-2 (b) قوانين الحركة وحوادث السَّير

سؤال الاستقصاء	ما علاقة قوانين نيوتن بِحوادث المرور؟
الموادّ المطلوبة	عربة ديناميكيّة، معجون ناعم، المستوى المائل (المضمار الميكانيكي)، ورقة، قوالب أو عُلَب صغيرة خفيفة

الخطوات

1. قم بإعداد سطح مائل مع عربة ديناميكيّة.
2. اصنع دمية من المعجون والصقها بشكل خفيف داخل العربة. تأكّد من أنّ الدّمية تتأثر بالاصطدام.
3. ضع في نهاية المُنحدَر، ورقة مُجعّدة. يجب أن تكون الورقة على خطّ مسار العربة.
4. حرر العربة من أعلى المُنحدَر. لاحظ ودَوّن ما يحدث لِلورقة ولِلدّمية.
5. قم بِقياس المسافة الّتي يُمكِن لجسم (كقطعة المعجون أو العربة) أن يقطعها بعد الاصطدام، وسجّل المسافة.
6. كرّر الخطوات من 2 إلى 5 مع استبدال الورقة بِقالب أو بِعلبة خفيفة.



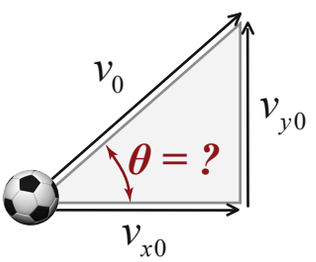
الأسئلة

a. حدِّد القوى الّتي تؤثّر في العربة المتوقِّفة عند أعلى المُنحدَر.
b. كيف يَنطبِق القانون الأوّل لِنيوتن على العربة المُتوقِّفة؟
c. ما الّذي حدث لِلدّمية عندما اصطدمت العربة بِالورقة؟
d. ما الّذي حدث لِلورقة؟
e. كيف تختلف النّتائج عند استبدال الورقة بِالعلبة؟
f. كيف يرتبط القانون الثّاني لِنيوتن بِحركة العربة وحركة العلبة والورقة؟
g. هل يمكن تطبيق القانون الثّالث لِنيوتن في أيّ مكان من مسار الحركة؟
h. باعتقادك، أيّ السّيّارات يمكنها أن تنجو بِأقلّ خسائر في حادث تصادم، تلك خفيفة الوزن أو الثّقيلة منها؟ لماذا؟

تقويم الدرس 3-2

1. يُطلِق مدفع قذيفة بِسرعة 300 m/s بِزاوية 40° . احسُب مدى القذيفة إذا أهملنا احتكاك الهواء.

2. يتِمّ ركل كرة قدم إلى الأعلى بِزاوية بين 0° و 90°، وتكون المُركَّبة الرّأسيّة لِسرعتها الابتدائيّة 19.6 m/s. تتبع الكرة مسار قطع مكافئ وتستقرّ على الأرض عند نهاية الحركة.

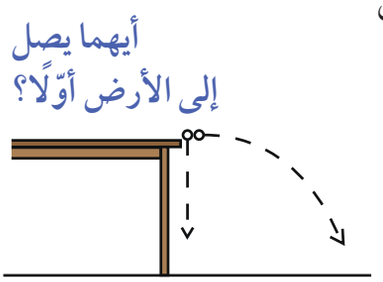


   a. كم من الوقت تستغرق الكرة في الهواء؟

   b. ما الارتفاع الّذي تبلغه الكرة؟

   c. إذا كان مدى الكرة 60 m، فهل تكون الزّاوية θ أقلّ من، أو تساوي، أو أكبر من 45°؟

3. تستقرّ كرة زجاجيّة في وضع سكون عند حافّة طاولة، بينما تُطلَق كرة ثانية أُفقيًّا على الطّاولة لِتصطدم بِالكرة الأولى. عند لحظة تصادم الكرتين، نترُك كرة ثالثة تسقط مباشرة إلى الأسفل، بينما تتبع الكرة الثّانية مسارًا مُنحنِيًا كما يوضح الرّسم المجاور. قارن بين لحظتَي تصادم الكرتين بِالأرض شارحًا ومُبَرِّرًا تبريرًا علميًّا.



4. إذا أضفْت كتلة ما إلى سيارة لُعبة تتسارع إلى أسفل مُنحدَر تحت تأثير وزنها، فإنّ تسارع السّيّارة لا يزداد بازدياد الكتلة. اشرح سبب ذلك.

5. تتدحرج عربة بِدون احتكاك إلى أسفل مُنحدَر بِزاوية 15° بِالنّسبة إلى الأُفقيّ. تبدأ العربة حركتها من السكون عند أعلى المُنحدَر.

   a. ما سرعة العربة بعد قطعها مسافة متر واحد على المُنحدَر؟

   b. ما الطّول اللّازم لِلمُنحدَر لكي تُحقّق عليه العربة سرعة 10 m/s؟

6. تتسارع عربة بدون أيّ احتكاك على مُنحدَر بتسارع مقداره $1.2\ m/s^2$. ما مقدار زاوية ميل المُنحدَر؟

الدّرس 4-2
الزَّخم الخطّي وحفظ الزّخم

ستكون الحياة في الدّوحة مختلفة جدًّا لو كانت خالية من السيّارات. فالسّيّارات عامل مساعد في تحديد شكل الاقتصاد وتسهيل حياتنا اليوميّة. لكنّ هذه المميّزات الّتي تؤمّنها السّيّارات تترافق مع ثمن باهظ ندفعه من ناحية أخرى. فقد فاقت أعداد الوفيّات بسبب الحوادث المروريّة أعداد قتلى الحروب. لذلك أصبح الهدف الرّئيس لِمُصمِّمي السّيّارات الحديثة جعل هذه السّيّارات أكثر أمنًا عند التّصادم.

تَخيَّل نفسك تقود سيَارة بسرعة (13 m/s) لِترتطم فجأة بحائط من الطابوق. سينتقل عندها زخم جسدك إلى لوحة العدّاد الموجودة أمامك في $\frac{1}{20}$ من الثّانية، وعلى الأغلب فإنّك لن تغادر هذا المشهد إلّا في سيّارة الإسعاف. أمّا في حال وجود الوسادة الهوائيّة، فإنّ فترة التّصادم ستدوم لربع ثانية وهي تكفي تقريبًا لِحمايتك من أيّ أذًى يُذكَر.

مخرجات التّعلُّم

P1104.1 يُعرَّف الزّخم الخطّيّ (كمية الحركة) لِجسم بأنه حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة، باستخدام المعادلة: $p = m\,v$.

P1104.2 يعرّف محصلة القوى المؤثرة في جسم بأنها المعدل الزمني للتغير في زخمه (كمية حركته) مستخدمًا المعادلة: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ ويوضح أن هذه صيغة أخرى لقانون نيوتن الثاني .

P1104.3 يُعرِّف مبدأ حفظ الزخم (كمية الحركة)، ويطبقه على التصادمات المرنة والتصادمات غير المرنة والانفجارت، متضمنًا جسمين يتحركان في بعد واحد.

المفردات

الزّخم (كمّيّة الحركة)	Momentum
الزّخم الخطّيّ	Linear momentum
الدّفع	Impulse
قوى دّاخليّة	Internal forces
مَرِن	Elastic
غير مَرن	Inelastic

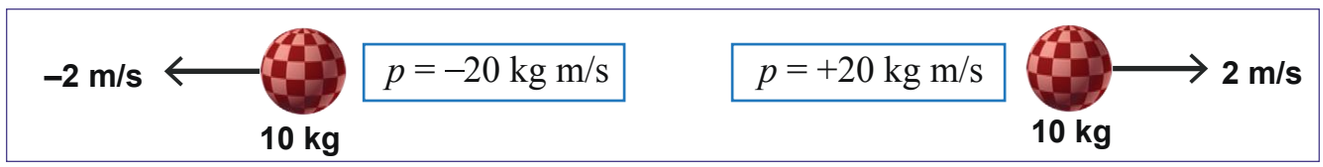
الزّخم

الزّخم Momentum خاصّيّة لِلجسم عندما يكون في حالة حركة، سواء أكان هذا الجسم شخصًا، أو سيّارة أو مركبة فضائيّة. تمتلك السّيّارة المتحرِّكة على طريق زخمًا لحركتها. في حين أنّ الشّاحنة المتحرِّكة بّالسّرعة نفسها تمتلك زخمًا أكبر. الزّخم كمّيّة تَصِف مَيل الجسم المتحرِّك إلى البقاء متحرِّكًا في الاتّجاه نفسه.

2-2	الزّخم الخطّيّ	$\vec{p}$	الزّخم الخطّيّ (kg.m/s)
	$\vec{p} = m\vec{v}$	m	الكتلة (kg)
		$\vec{v}$	السرعة المتجهة (m/s)

إنّ الزّخم الخطّيّ هو حاصل ضرب الكتلة بالسرعة المتجهة. ويقاس الزخم باستخدام وحدات الكتلة مضروبة بِالسّرعة، وفي النّظام الدّوليّ لِلوحدات SI هي الكيلو جرام متر لكل ثانية (kg.m/s). كذلك هناك ما يُعرَف بِالزّخم الزّاويّ المرتبط بِالحركة الدّوَرانيّة. وسوف نستخدم في هذا الدرس كلمة «الزّخم» لنشير بها إلى الزّخم الخطّيّ (كمّيّة الحركة الخطّيّة).

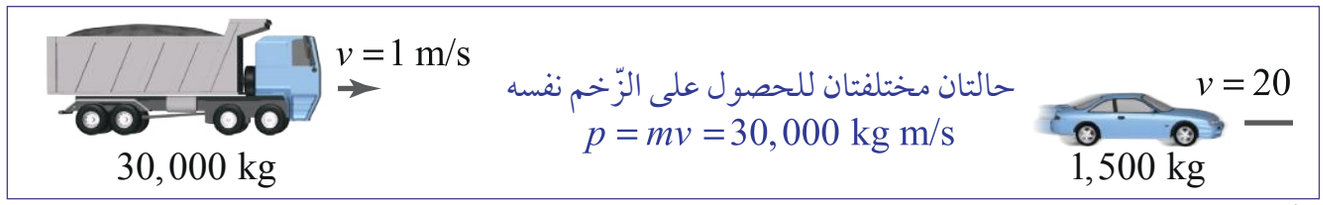
بما أن السّرعة مُتَّجِهًا، يكون الزّخم مُتَّجِهًا أيضًا. سنستخدم في الحركة ذات البُعد الواحد إشارتَي السّالب أو الموجب لِتعيين اتّجاه الزّخم. فالكرة ذات الكتلة 10 kg والمُتحرِّكة بِسرعة 2 m/s إلى اليمين لها زخم +20 kg m/s (**الشّكل 2-18**). ولو تحرّكت الكرة في الاتّجاه المعاكس أي نحو اليسار فإنّ زخمها يكون –20 kg m/s.



الشّكل 2-18 إشارة الزّخم في حركة ذات بُعد واحد.

الزّخم الخطّيّ هو حاصل ضرب الكتلة بالسرعة المتجهة.

يعني ذلك أنّه يُمكِن للأجسام ذات الكُتَل المختلفة أن تمتلك الزّخم نفسه. يُمثِّل (**الشّكل 2-19**)، شاحنة كتلتها 30,000 kg تتحرّك بِبطء بِسرعة 1 m/s وبِزخم يساوي زخم سيّارة كتلتها 1,500 kg تتحرّك بِسرعة 20 m/s.



الشّكل 2-19 كتلتان مُختلفتان لهما الزّخم نفسه.

رمز الزّخم الخطّيّ هو الرّمز الصّغير p أو المُتَّجِه $\vec{p}$ ويُعرَّف الزخم على أنه مَيل الجسم إلى الاستمرار في حركته بالسرعة نفسها واتجاه الحركة ذاته. فما ندعوه اليوم «الزّخم»، دعاه نيوتن في عام 1760 «الدّفع» والأصل من الكلمة اللّاتينيّة petere والّتي تعني الاندفاع قدُمًا.

الزّخم مفهومٌ هامّ

على الرّغم من أنّ الزّخم والقصور الذّاتيّ متشابهان إلّا أنّهما ليسا الشّيء نفسه. فالزّخم مُتَّجِه أمّا القُصور الذّاتيّ فخاصّيّة قياسيّة لِلكتلة بدون اتّجاه. يعتمد الزّخم على السّرعة أمّا القُصور الذّاتيّ فلا يعتمد على عامل السّرعة وإنما يعتمد على كتلة الجسم. عندما يكون الجسم في حالة سكون يكون زخمه معدومًا لكنّه يمتلك قصورًا ذاتيًّا.

يُعتبَر الزّخم من الكمّيّات المهمّة في الفيزياء. وكما في حالة الطّاقة، فإنّ الزّخم يخضع لِقانون حفظ الزخم. وبما أنّ الزّخم كميّة متّجهة، فإنّه يبقى ثابتًا في النّظام المعزول في كلّ اتّجاه على حدة. ويشرح لنا هذا المبدأ عمل محرّكات الصّواريخ والطّائرات النّفّاثة والتّصادمات المروريّة وحتّى ضغط الهواء!

الشّكل 2-20 كلّ من ضغط الهواء والصّواريخ يتِمّ تفسيرهما بواسطة الزّخم.

من الممكن أن يكون الاسم الأكثر دقّة لِلقانون الأوّل لِنيوتن هو قانون الزّخم. ففي الحقيقة إنّ الزّخم هو الّذي يبقى دون تغيير عندما تكون مُحصِّلة القوى صفرًا.

مثال (9)

يدور بُرغيٌّ كتلته 0.2 kg في الفضاء حول الأرض مع بقيّة المخلّفات الفضائيّة بسرعة خطية 3,070 m/s. كم تكون سرعة سيّارة كتلتها 1,000 kg إذا كان زخمها يساوي زخم البُرغي؟

السّؤال: سرعة السّيّارة v

المعطى: $m_{\text{سيارة}} = 1{,}000\ \text{kg}, m_{\text{البرغي}} = 0.2\ \text{kg},$
$v_{\text{البرغي}} = 3{,}070\ \text{m/s}, \text{and } p_{\text{سيارة}} = p_{\text{البرغي}}$

العلاقات: $p = mv$

الحل:

للبرغي: $p_{\text{البرغي}} = m_{\text{البرغي}} v_{\text{البرغي}} = (0.2\ \text{kg})(3{,}070\ \text{m/s}) = 614\ \text{kgm/s}$

للسيّارة: $p_{\text{برغي}} = m_{\text{سيارة}} v_{\text{سيارة}}$

$$614\ \text{kgm/s} = (1{,}000\ \text{kg}) v_{\text{سيارة}}$$

$$v_{\text{سيارة}} = \frac{614\ \text{kgm/s}}{1{,}000\ \text{kg}} = 0.614\ \text{m/s}$$

الإجابة

الزّخم والقوّة والقانون الثّاني لِنيوتن

غالبًا ما نعتقد بأنّ القانون الثّاني لِنيوتن هو العلاقة $F = ma$. إلّا أن نيوتن كان قد عبّرعن القانون الثّاني عن طريق ربطه بِالزّخم. فقد عرّف نيوتن القوّة على أنّها المُعدّل الزمنيّ للتغيّر في الزّخم أي أنّها التّغيّر في الزّخم مقسومًا على الفترة الزمنيّة. وبِالطّريقة نفسها الّتي نُعبّر من خلالها عن مُتّجِه السّرعة على أنّه معدّل التّغيّر في الإزاحة، يمكن أن نُعبّر عن القوّة على أنّها معدّل تغيّرالزّخم.

كل من العبارتين التاليتين للقانون الثاني متكافئتين رياضيًا

$$F_R = ma \longrightarrow F_R = m\frac{\Delta v}{\Delta t} \longrightarrow F_R = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

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

$F\Delta t = m\Delta v$

$\Delta p = m\Delta v$

3-2 القانون الثّاني لِنيوتن – بدلالة الزّخم

$$F_R = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

F_R	مُحصّلة القوى (N)
Δp	التّغيّر في الزّخم (kg.m/s)
Δt	التّغيّر في الزمن (s)

تسبّب القوى ذات القيم الكبيرة تغيّرًا سريعًا في الزّخم. والعكس صحيح أيضًا، فعندما يتغيّر الزّخم بسرعة، تنشأ عنه قوًى كبيرة. لذلك فإنّ القانون الثّاني بِدلالة الزّخم يساعدنا على توقُّع القوى الناتجة من التّصادمات أو تحديدها.

القوّة هي المعدّل الزّمني للتّغيُّر في الزّخم.

مثال (10)

تتحرّك سيّارة كتلتها 1,200 kg بِسرعة 30 m/s فتصطدم بِجدار وتتوقّف خلال 1.1 s. ما متوسّط القوّة المؤثّرة في السّيّارة خلال التّصادم؟

المطلوب: متوسّط القوّة $F = ?$

المعطى: $\Delta t = 1.1\ \text{s}$ ، $v_{\text{سيارة}} = 30\ \text{m/s}$ ، $m_{\text{سيارة}} = 1{,}200\ \text{kg}$ ، $v_f = 0$ لأن السيّارة توقفت

العلاقات: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ و $p = mv$

الحل: التّغيّر في الزّخم هو الزّخم الابتدائيّ لِلسّيّارة، لأنّ السّيّارة قد توقّفت بعد الحادث:

$$F = \frac{p_f - p_i}{t} = \frac{mv_f - mv_i}{t} = \frac{0 - 1200 \times 30}{1.1} = \boxed{-32{,}727.27\ \text{N}}$$ الإجابة

الدّفع

عند ضرب طرفَي العلاقة $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ بِالفترة الزّمنيّة Δt نحصل على كمّيّة جديدة هي حاصل ضرب القوّة بِالزّمن. هذه الكمّيّة الجديدة تُسمَّى **الدّفع Impulse** وتتمثّل بِالرّمز (I). إن وحدة قياس الدّفع هي نيوتن.ثانية، أو (N.s). التّغيّر في الزّخم يُساوي الدّفع المطبّق.

4-2 القانون الثّاني لِنيوتن بِدلالة الدّفع

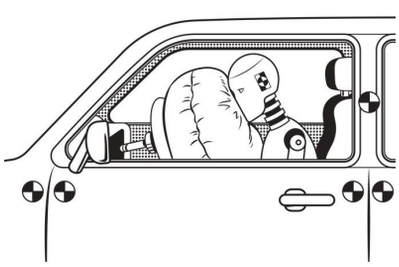
$$\Delta p = F\,\Delta t \qquad F\,\Delta t = I$$

Δp	التّغيّر في الزّخم (kg.m/s)
F	مُحصِّلة القوى (N)
Δt	التّغيّر في الزّمن (s)
I	الدّفع (N.s)

أثناء أيّ عمليّة تصادم بين جسمَين مسرعين، يؤثّر كلّ منهما في الآخر بِقوّة كبيرة خلال فترة زمنيّة صغيرة. هنا تفيدنا معادلة الدّفع لأنّها تعطينا متوسّط هذه القوّة خلال التّصادم.

إنّ السّقوط على سطح صلب يُسبِّب تغيّرًا سريعًا في الزّخم خلال فترة زمنيّة قصيرة Δt. وبِالنّتيجة تكون مُحصِّلة القوّة كبيرة في هذه الحالة. ويتِمّ تخفيف تأثير التّصادم من خلال زيادة الفترة الزّمنيّة اللّازمة لِلتّوقّف من دون أيّ تغيّر في الدّفع الكلّي. ويُقلِّل ذلك من قوّة الصّدم بِشكل كبير. فعلى سبيل المثال، يزيد ثَني الرّكبتَين أثناء السّقوط على الأرض من زمن تطبيق الدّفع، ما يُقلِّل من القوّة الّتي تتعرّضان لها.

مثال (11)



تخيَّل سيّارة كتلتها 1,200 kg في داخلها تجلس دميّة اختبار الحوادث وكتلتها 60. kg تسير السّيّارة بِسرعة 25 m/s لِتصطدم بِحائط وتتوقّف خلال 0.3 s.

تقوم الوسادة الهوائيّة بِإيقاف الدّميّة في 2.5 ثانية.

احسب القوّة المؤثّرة في الدّميّة مع استخدام الوسادة الهوائيّة، وبدونها.

المطلوب: القوّة المؤثّرة في الدّمية بِاستخدام الوسادة وبدونها

المعطى: $m_{\text{سيارة}} = 1{,}200\text{ kg}, m_{\text{دمية}} = 60\text{ kg}, v_{\text{سيارة}} = 25\text{m/s}, t_{\text{بدون الوسادة}} = 0.3\text{s}, t_{\text{مع الوسادة}} = 2.5\text{ s}$

العلاقات: $p = mv\ ,\ \Delta p = F\,\Delta t$

الحل:

الزّخم: $m_{\text{دمية}}\,\Delta v = m_{\text{دمية}}\,(v_f - v_i) = 60\text{ kg}(0 - 25\text{ m/s}) = -1{,}500\text{ kgm/s}$

الإجابة عندما يكون الزمن مع الوسادة: 2.5 s

$$F_{\text{مع الوسادة}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-1{,}500\text{ kgm/s}}{2.5\text{ s}} = \boxed{-600\text{ N}}$$

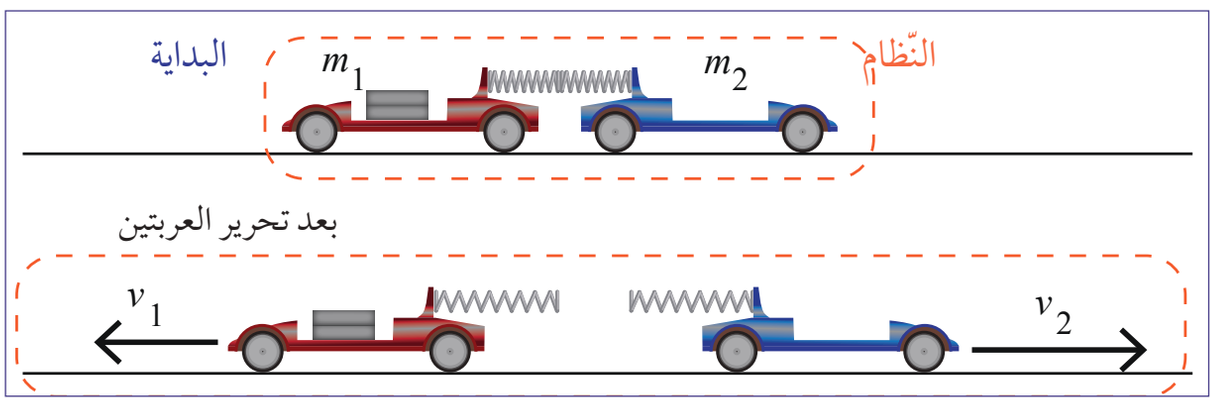
الإجابة عندما يكون الزمن بدون الوسادة: 0.3 s

$$F_{\text{بدون الوسادة}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-1{,}500\text{ kgm/s}}{0.3\text{ s}} = \boxed{-5{,}000\text{ N}}$$

حفظ الزّخم

افترض عربتَين متصلتين عن طريق زنبرك مضغوط بينهما. هنا يكون الزّخم الكلّيّ لِنظام العربتَين يساوي صفر لأنّ كلًّا منهما في حالة سكون. وعندما يَتِمّ تحرير العربتين، «تندفعان» بِشدّة عن بعضهما البعض في اتّجاهَين مُتعاكسَين (**الشّكل 2-21**).

- القوّة المؤثّرة في كلّ عربة ستكون دائمًا مساوية ومعاكسة لِلقوّة الّتي تتأثّر بها من العربة الأخرى.
- زمن التّماس بين العربتَين هو نفسه لكلّ عربة.
- التّغيّر في الزّخم لإحدى العربتَين يكون مساويًا في القيمة ومعاكسًا في الاتّجاه لِلتّغيّر في زخم العربة الأخرى.
- الزّخم الكلّيّ لِلنّظام يساوي صفر – أي يبقى كما كان عند البدء، لأنّ نظام العربتَين ككلّ لا يتعرّض لأيّ قوّة خارجيّة.



الشّكل 2-21 الزّخم الكلّيّ محفوظ في حالة «اندفاع» العربتَين.

يمتلك نظام العربتَين **قوًى داخليّة Internal forces** فقط، ويأتي تأثير هذه القوى من داخل النّظام وليس من خارجه. فطالما أنّ هناك قوى داخليّة فقط، يمكن لِلنّظام أن يغيّر التّرتيب الدّاخليّ لِلزّخم لكن مع بقاء الزّخم الكلّيّ لِلنّظام ككلّ على حاله دون أيّ تغيير. وهذا ما يُدعى بِـ **قانون حفظ الزّخم Conservation of momentum**.

يبقى الزّخم الكلّيّ لِلنّظام ثابتًا إذا لم تؤثّر فيه قوًى خارجيّة.

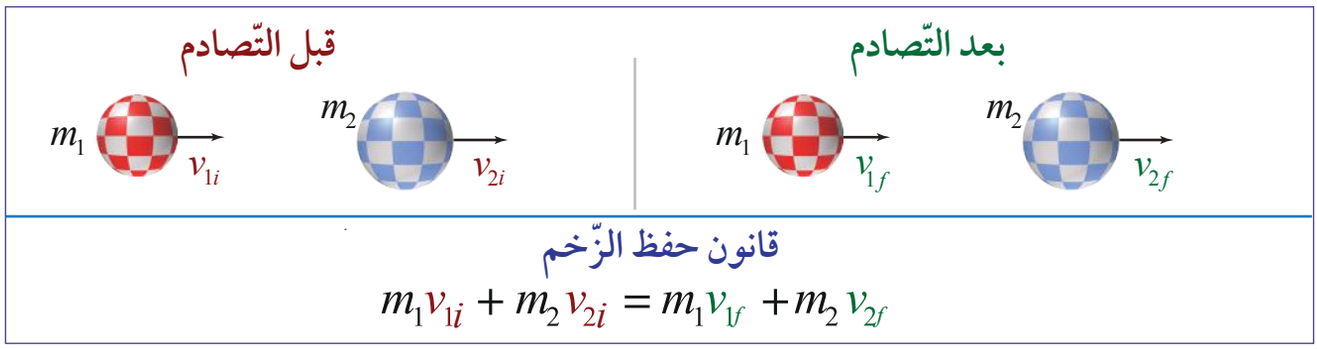
إنّ القوى الخارجيّة هي قوًى تؤثّر في النّظام من خارجه. ففي مثال العربتَين السّابق يُمكن أن يكون الاحتكاك قوّة خارجيّة. وعندها يغيّر الاحتكاك من الزّخم الكلّيّ حيث يكون تأثيره أكبر في العربة الأثقل.

لا ينبغي تسخين بيضة مسلوقة في فرن الميكروويف لأنها ستنفجر كما في (**الشّكل 2-22**). فالزّخم محفوظ في هذه الحالة أيضًا. افترض بيضة انشطرت إلى عدد كبير من الأجزاء. لقد كان الزخم الكلي الابتدائيّ للبيضة صفرًا لأنها كانت متّزنة. وعند انشطارها يبقى زخمها الكلّي صفرًا لجميع الأجزاء.

الشّكل 2-22 البيضة المتفجّرة.

حلّ مسائل حفظ الزّخم

يُعتبَر قانون حفظ الزّخم أداة قويّة في فهم كيفيّة تحرّك الأجسام بُعَيد التّفاعل. فعادم صاروخ، وحادث سيّارة وحتّى تصادم كرات البلياردو كلّها أمثلة تشمل أجسامًا تتبادل الزّخم من خلال قوى الفعل وردّ الفعل.



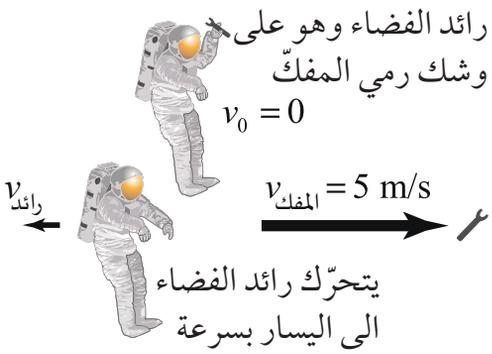
الشّكل 2-23 الزّخم قبل التّصادم وبعده.

لِنتخيَّل نظامًا مؤلّفًا من كُرتَين عديمتَي الاحتكاك، تستطيعان التّحرّك إلى اليمين أو إلى اليسار فقط. من الممكن أن تتصادم الكرتان معًا، ثم تنفصلان عن بعضهما أو أن تلتصقا معًا. في كلتا الحالتَين سيبقى زخم النّظام دون أيّ تغيير.

لكي نحلّ مسائل الزّخم، يجب أن نكتب تعبير الزّخم لكلّ جسم قبل وبعد تفاعل الأجسام. يَتِمّ استخدام رمز معيّن لكلّ جسم لِتحديد هويّته ولِتحديد القيم الابتدائيّة والنّهائيّة التّابعة له.

مثال (12)

لنتخيّل رائد فضاء كتلته 100 kg يحمل في يده مفكًّا كتلته 2 kg في حالة سكون في الفضاء. بِهدف التّحرّك، يرمي رائد الفضاء المفكّ إلى الأمام بسرعة 5 m/s. ما سرعة رائد الفضاء أثناء تحرّكه إلى الخلف؟



المطلوب: سرعة رائد الفضاء $v_{\text{رائد}}$

المعطى: $m_{\text{رائد}} = 100\ \text{kg}, m_{\text{مفك}} = 2\ \text{kg}, v_{\text{مفك}} = 5\ \text{m/s}$

العلاقات: $p = mv$، وقانون حفظ الزّخم

الحل: بما أنّ الزّخم الابتدائيّ لِلنّظام يساوي صفر، فإنّ زخمه النّهائيّ سيكون صفرًا أيضا لِعدم وجود قوًى خارجيّة.

الزّخم محفوظ

$$0 = m_{\text{رائد}} v_{\text{رائد}} + m_{\text{مفك}} v_{\text{مفك}}$$

لحساب سرعة رائد الفضاء: $v_{\text{رائد}}$

$$v_{\text{رائد}} = \frac{-(m_{\text{مفك}} v_{\text{مفك}})}{m_{\text{رائد}}} = \frac{-(2\ \text{kg})(5\ \text{m/s})}{(100\ \text{kg})} = \boxed{-0.1\ \text{m/s}}$$

(الاشارة السالبة تعني أن رائد الفضاء تحرك جهة اليسار)

التصادم المَرن

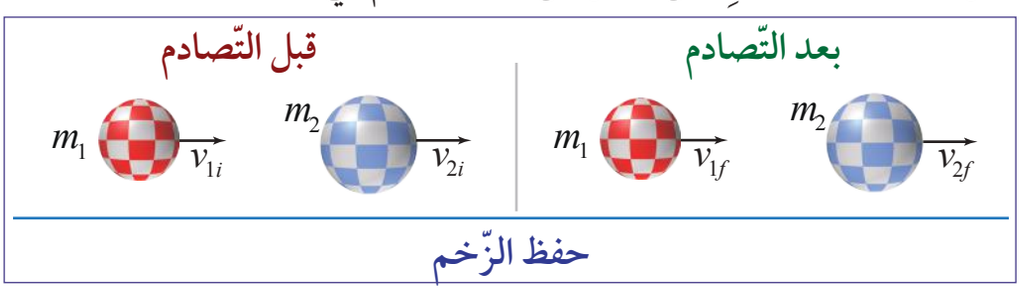
سؤال للمناقشة

ما التّصادم؟

وكيف نقوم بتحليله؟

التّصادم **Collision** هو تفاعل بين جسمَين يتبادلان فيه الزّخم. قد تصطدم الأجسام فعلًا، وقد تؤثّر بِقوّة من خلال المغانط أو الرّبطات المطاطيّة أو من خلال أجهزة أخرى. يحدث التّصادم عادة بِسرعة كبيرة بِحيث لا تملك عندها القوى الخارجيّة كالاحتكاك مثلًا، الزمن الكافي لِلتّأثير في الجسم. يقدّم لنا مبدأ حفظ الزّخم أفضل تقريب على ذلك.

لنفترض أنّ لدينا كرة كتلتها m_1 وسرعتها v_{1i} تتحرّك في اتّجاه كرة أخرى كتلتها m_2 وسرعتها v_{2i} لِتصطدم بها. بعد التّصادم تصبح سرعة الكُرتَين v_{1f} و v_{2f}. يُظهِر **(الشّكل 2-24)** المعادلة النّاتجة من كتابة حفظ الزّخم لِلكُرتَين. هنا يجدر بنا الانتباه إلى الإشارات! فالسّرعات هي مُتَّجِهات وبِالتّالي من الممكن أن يكون بعضها سالبًا – بِغضّ النّظر عن اتّجاه السّهم في المخطّط.



الشّكل 2-24
الزّخم محفوظ قبل التّصادم وبعده.

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \Rightarrow m_1 (v_{1i} - v_{1f}) = m_2 (v_{2f} - v_{2i}) \quad ...(1)$$

تحتوي هذه المعادلة على مجهولَين v_{1f} و v_{2f}. لإيجاد قيمتيهما نحتاج إلى معادلة ثانية تربط v_{1f} بـ v_{2f}. هذه المعادلة الثّانية الّتي نحتاجها هي حفظ الطّاقة الحركيّة، في حال كان التّصادم مرنًا. فَخلال التّصادم المرِن تكون الطّاقة الحركيّة محفوظة، وتكون الطّاقة الحركيّة الكلّيّة قبل التّصادم مساوية لِلطّاقة الحركيّة الكلّيّة بعد التّصادم.

حفظ الطّاقة الحركيّة

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$

تكون الطّاقة الحركيّة في التّصادم المرِن محفوظة.

$$\Rightarrow \frac{1}{2} m_1 (v_{1i}^2 - v_{1f}^2) = \frac{1}{2} m_2 (v_{2f}^2 - v_{2i}^2)$$

$$\Rightarrow m_1 (v_{1i} - v_{1f})(v_{1i} + v_{1f}) = m_2 (v_{2f} - v_{2i})(v_{2f} + v_{2i}) \quad ...(2)$$

بقسمة المعادلة (2) على المعادلة (1) نحصل على:

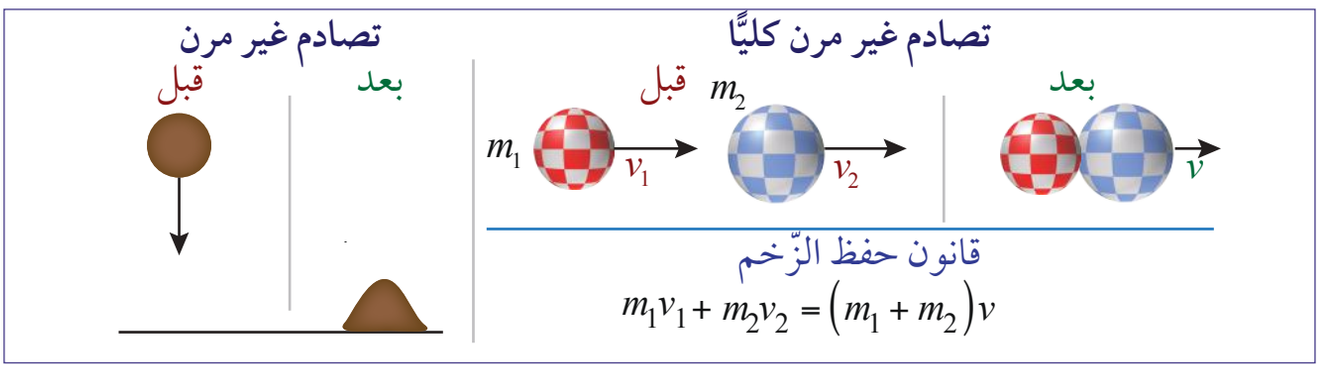
$$(v_{1i} + v_{1f}) = (v_{2f} + v_{2i}) \quad ...(3)$$

بحل المعادلتين (1) و (3) نحصل على:

$$v_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) v_{1i} + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right) v_{2i} \; ; \; v_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right) v_{1i} + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) v_{2i}$$

التّصادم غير المرِن

ليس كل التصادمات تكون فيها الطاقة الحركيّة محفوظة. يبقى الزخم محفوظا في **التصادم غير المرن Inelastic collision** أما الطاقة الحركيّة فلا تكون محفوظة. فعند رمي كتلة من معجون اللعب على الأرض يتغير شكلها عند التصادم ولا ترتد لتعود الى الأعلى. وهنا يحصل تحوّل للطاقة الحركيّة يؤدي إلى تُغيّر في شكل كتلة المعجون. **التصادم غير المرن كليًّا Totally inelastic collision** هو التصادم الذي يلتصق فيه الجسمان المتصادمان معًا. يكون للجسمين الملتصقين بعد التصادم نفس السرعة النهائية.

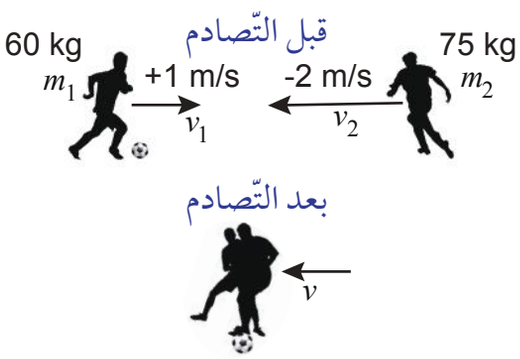


الشّكل 2-25 أمثلة حول التّصادمات غير المرِنة.

لعلّ معظم التّصادمات الحقيقيّة ليست تامّة المرونة ولا عديمة المرونة. ذلك أنّ جزءًا من الطّاقة الحركيّة يتحوّل إلى شكل آخر من أشكال الطّاقة. وعلى الرّغم من ذلك، يبقى الزّخم محفوظًا في التّصادمات السّريعة.

مثال (13)

تخيّل لاعب كرة قدم كتلته 60 kg يتحرّك بِسرعة 1 m/s، ليصطدم بِشكل مباشر بِلاعب آخر كتلته 75 kg وسرعته 2 m/s يتحرّك في الاتّجاه المعاكس. يلتحم اللّاعبان معًا ويتحرّكان معًا. ما سرعتهما بعد التّصادم؟



المطلوب: سرعة اللّاعبين $v = ?$

المعطى: $m_1 = 60\ \text{kg}, m_2 = 75\ \text{kg}, v_1 = 1\ \text{m/s}, v_2 = -2\ \text{m/s}$

العلاقات: $p = mv$، وقانون حفظ الزّخم

الحل:

الزّخم محفوظ $\longleftarrow$ $m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$

$$(60\ \text{kg})(1\ \text{m/s}) + (75\ \text{kg})(-2\text{m/s}) = (60\ \text{kg} + 75\ \text{kg})v$$

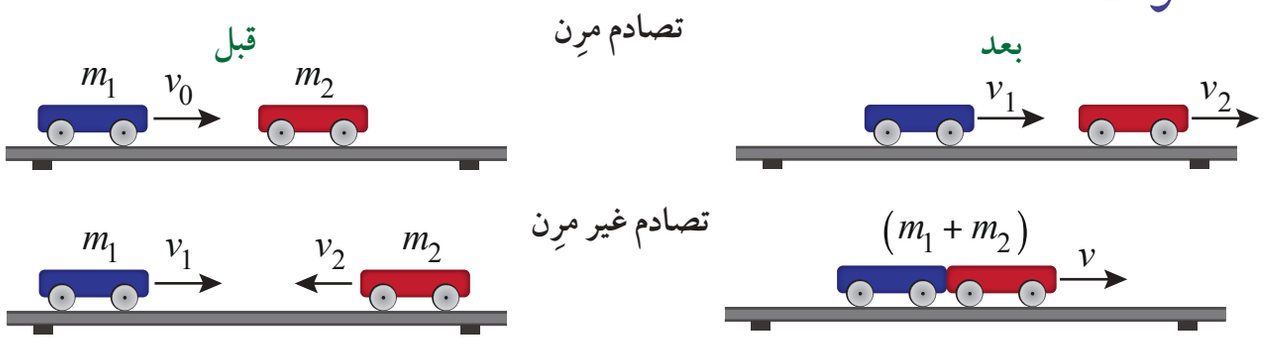
$$v = \frac{-90\ \text{kgm/s}}{135\ \text{kg}} = \boxed{-0.67\ \text{m/s}}$$ الإجابة

نشاط عمليّ

4-2 التّصادمات المرِنة والتّصادمات غير المرِنة

سؤال الاستقصاء	كيف نقوم بتحليل التّصادم؟
الموادّ المطلوبة	عربتان، قارئ البيانات ، مضمار ميكانيكي

الخطوات



1. هيّء المسار ليكون أفقي على مستوى واحد قدر الامكان.
2. جهّز العربتين لتصادم غير مرن ثمّ اجمع البيانات لثلاث مجموعات من الكتل على الأقل.
3. للحصول على تصادم غير مرن، ضع العربتين بحيث يتصادم الجزأين اللاصقين، لتلتصق العربتان ببعضهما. استخدم ميزانًا لقياس كتلة كل عربة وقارئ البيانات لمعرفة سرعتها.
4. جهّز العربتين لتصادم غير مرن بحيث تكون احداهما في حالة سكون. اجمع البيانات لثلاث مجموعات من الكتل على الأقل.
5. للحصول على تصادم مَرِن، جهّز العربتين بحيث يكون للجزأين المتصادمَين قطبين مغناطيسيين متشابهين فيتنافران بدلاً من أن يلتصقا. استخدم ميزانًا لقياس كتلة كل عربة وقارئ البيانات لمعرفة سرعتها.

الجدول 2-1 بيانات التصادم.

للتصادم المرن								
m_1 (kg)	v_0 (m/s)	m_2 (kg)	$p_{\text{نظام}}$ (kgm/s)	$E_{\text{نظام}}$ (J)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)	$p_{\text{نظام}}$ (kgm/s)	$E_{\text{نظام}}$ (J)

للتصادم غير المرن								
m_1 (kg)	v_1 (m/s)	m_2 (kg)	v_2 (m/s)	p (kgm/s)	E (J)	v (m/s)	p (kgm/s)	E (J)

الأسئلة

a. احسب الزخم الكلي والطاقة الحركيّة للنظام قبل التصادم وبعده لكل اختبار ثمّ دوّن النتائج في **الجدول 2-1**.

b. هل تدعم نتائجك مبدأ حفظ الزخم؟ برّر اجابتك. اقترح تفسيرات في حال لاحظت أيّ اختلاف.

تقويم الدرس 2-4

1. أيّ من الأجسام التّالية تمتلك زخمًا أكبر: شاحنة كتلتها 5,000 kg تتحرّك بِسرعة 0.1 m/s أو قطعة من حطام قمر صناعي كتلتها (0.1 kg) تتحرك بسرعة (1000 m/s)؟

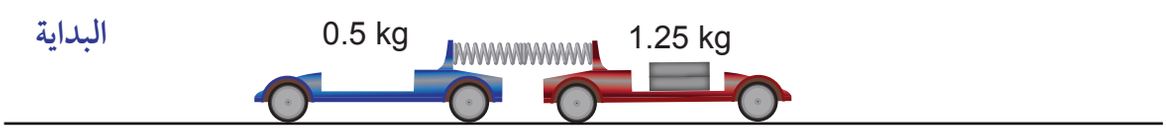
2. اذكر القانون الثّاني لِنيوتن بِدلالة الزّخم.

3. ما العلاقة بين الدّفع والزّخم؟ اكتب إجابتك نصًّا، ثم مثلها بمعادلة رياضيّة.

4. سيّارة كتلتها 1,200 kg تتحرّك بِسرعة 28 m/s.
   a. ما متوسّط القوّة اللّازمة لإيقاف السّيّارة خلال 5 ثوانٍ؟
   b. ما متوسّط القوّة اللّازمة لإيقاف السّيّارة في ثانية واحدة؟
   c. قارن بين هاتَين القوّتَين وبين وزن السّيّارة.

5. تتحرّك كرة قدم كتلتها 0.43 kg بِسرعة 18 m/s لِترتدّ عن رأس لاعب. افترض أنّ الكتلة الأكبر لِلّاعب أدّت إلى ارتداد الكرة في الاتّجاه المعاكس بِسرعة 16 m/s. احسِب مقدار القوّة المؤثّرة في رأس اللّاعب علمًا أنّ زمن التصادم قد استغرق 0.1 s.

6. خلال حصّة المختبر، «تنفصل» عربتان في وضع السكون وبينهما نابض مضغوط عن بعضهما. كتلة إحدى العربتَين 0.5 kg وكتلة الأخرى 1.25 kg. ما سرعة العربة ذات الكتلة 0.5 kg إذا كانت سرعة العربة الأخرى 2.5 m/s؟



7. تقوم شاحنة بِتفريغ حمولة 15,000 kg من الرّمل في شاحنة أخرى كتلتها 6,000 kg متحرّكة بِسرعة 1.2 m/s. كم ستصبح سرعة الشّاحنة الثّانية بعد أن يَتِمّ تحميلها بِالرّمل؟ افترض عدم وجود احتكاك، وأن نقل الحمولة بين الشاحنتين حدث أثناء سيرهما.

8. يُطلِق محرّك طائرة نفّاثة في كلّ ثانيّة 1,000 kg من الهواء السّاخن جدًّا بِسرعة 277 m/s. ما قوّة دفع المحرّك الّتي تحرّك الطّائرة إلى الأمام؟

9. تتحرّك كرة كتلتها 2 kg بِسرعة 5 m/s لِتدخل في تصادم مرِن مع كرة ساكنة كتلتها 1 kg. كم ستكون سرعة الكُرتَين بعد التّصادم؟

10. تتحرّك شاحنة كتلتها 4,500 kg بِسرعة 15 m/s لِتصطدم بِسيّارة ساكنة كتلتها 1,300 kg. عند التّصادم، تلتصق الشاحنة بالسيارة، وتشكلان كتلة واحدة. ما سرعتهما المشتركة بعد التّصادم مباشرة؟

ضوء على العلماء

الثّورة العلميّة هي الفترة الّتي تحصل خلالها تغيّرات كبيرة في المُعتقدات التّاريخيّة المتجذّرة. تجادل العلماء كثيرًا حول تاريخ بداية ونهاية الثّورة العلميّة في أوروبا. لكنّ معظمهم يعتقدون أنّ الخطّ الزّمنيّ المقبول يبدأ مع النّتائج الّتي قدمها نيكولاس كوبيرنيكوس (1543–1473) وينتهي مع قبول القوانين الّتي قدّمها اسحق نيوتن (1727–1642).

الشّكل 2-26 تمثال كوبيرنيكوس في وارسو، بولندا.

اقترح الرّياضيّ وعالم الفلك البولنديّ نيكولاس كوبيرنيكوس نظام مركزيّة الشّمس المضاد لِنظام مركزيّة الأرض الّذي كان يُعتقَدُ به في ذلك الوقت. لم يكن كوبيرنيكوس أوّل من طرح هذه الفكرة، فقد تناولها من قبله عالم الرياضيات الإغريقي أرسطرخس (270 ق.م) وسيليوسوس (190 ق.م) فضلًا عن العالم العربي المسلم الحسن ابن الهيثم (1028 م) الّذي دحض نموذج مركزيّة الأرض مُعتبِرًا أنّه "كان مستحيلًا". لكنّ كوبيرنيكوس دعم زعمه بِبيانات دقيقة ومشاهدات علميّة فأصبحت نظريّته بداية لِعلم الفلك الحديث. نُشِر عمله في سنة وفاته، فأثار العديد ممّن لحقوا به مثل جاليليو وكيبلر وديكارت ونيوتن.

الشّكل 2-27 اسحق نيوتن يفسّر طبيعة الضّوء بِمساعدة المنشور.

بعد حوالى قرن ونصف من الزّمن تقريبًا، تمكّن اسحق نيوتن من حساب مدارات الكواكب، مُثبتًا بِذلك أنّ كوبيرنيكوس كان على حقّ. وُلِد الرّياضيّ والفيزيائيّ نيوتن في السّنة نفسها الّتي توفي فيها جاليليو. كان نيوتن لامعًا فقد أمضى مُعظم وقته يبحث في حقول الفيزياء والرّياضيات. وقد عُرِف من خلال "قانون الجاذبيّة" و"قوانين الحركة الثّلاثة"، كذلك أسهم نيوتن أيضًا في نقل علم البصريّات إلى مرحلة الفهم الحديث وقام بابتكار فرعٍ جديدٍ كلّيًّا في الرّياضيّات عُرِف بِاسم حساب التّفاضُل والتّكامل (التّحليل). وهو من اكتشف أنّ الضّوء الأبيض هو مزيج من جميع الألوان.

الوحدة 2

مراجعة الوحدة

الدّرس 2-1: القانونان الأوّل والثّالث لِنيوتن

- ينُصّ **القانون الأوّل لِنيوتن في الحركة** أنّ الجسم السّاكن يبقى ساكنًا والجسم المتحرّك يتابع حركته الخطّيّة بسرعة ثابتة ما لم تؤثّر فيه قوّة محصّلة. يُعرَف هذا القانون بِـ«قانون القصور الذّاتيّ».
- **القصور الذّاتيّ** هو خاصّيّة الجسم لِمُمانعة التّغيّر في حركته. يؤدي القصور الذّاتيّ إلى التأثير المسمّى **قوة الطرد المركزيّة** وهي الإحساس بِالاندفاع نحو الخارج عند السّير في مسارٍ دائري.
- **القانون الثّالث لنيوتن**: القوى دائمًا عبارة عن أزواج متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتّجاه وتؤثر في جسمين مختلفين. يسمّى كل زوجين من القوى: **قوة الفعل وقوة ردّ الفعل**.

الدّرس 2-2: القانون الثّاني لِنيوتن

- ينُصّ **القانون الثّاني لِنيوتن** على أنّ مُتَّجَه تسارع الجسم يُساوي حاصل قسمة متّجه مُحصِّلة القوى المؤثرة فيه على كتلته.

الدّرس 2-3: حركة المقذوفات والسّطح المائل

- **المقذوف** هو الجسم الذي يتحرك في بُعدين تحت تأثير وزنه فقط.
- **المدى** هو المسافة الأفقيّة الّتي يقطعها المقذوف.

الدّرس 2-4: الزّخم الخطّيّ وحفظ الزّخم

- **الزّخم الخطّيّ** لجسم هو حاصل ضرب كتلة الجسم بمتَّجَه سرعته، وهو متَّجه يصف ميل الأجسام على متابعة حركتها بالسّرعة نفسها.
- **الدّفع** هو حاصل ضرب القوّة بِالزّمن، ويساوي التغيّر في زخم الجسم.
- **قانون حفظ الزّخم الخطّي** ينص على أن الزّخم الكلّي لنظام معزول يكون محفوظًا ما لم تؤثّر فيه قوة خارجيّة من خارج النّظام.
- **التّصادم** هو تفاعل بين أجسام متحركة تتبادل فيما بينها الزّخم.
- **التّصادم المرِن** يحفظ كلّ من الزّخم والطّاقة الحركيّة للنظام ككل.
- **التّصادم غير المرِن** يحفظ الزّخم الكلي للنظام ولا يحفظ طاقته الحركيّة.

اختيار من متعدد

1. أيّ من الأشكال تصف مسار المقذوف في بُعدين بشكل أفضل؟

   a. القطع المكافئ
   b. القطع الناقص
   c. الخط المستقيم
   d. نصف الدائرة

2. ماذا يمثّل حاصل ضرب كتلة جسم بسرعته المتّجهة؟

   a. الدّفع
   b. التّصادم
   c. الزّخم
   d. قانون حفظ الزّخم

3. ما الكمّيات المحفوظة في التّصادم اللامَرِن؟

   a. الزّخم فقط.
   b. الطّاقة الحركيّة فقط.
   c. الزّخم والطّاقة الحركيّة.
   d. السّرعة والطّاقة الحركيّة.

4. ماذا تسمّى المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف؟

   a. المدى
   b. المسافة
   c. القوّة الأماميّة
   d. المسافة الأماميّة.

5. أيّ من هذه الأجسام له قصور ذاتي أكبر؟

   a. كرة تنس كتلتها 58 g تتحرك بسرعة 5 m/s.
   b. كرة تنس طاولة كتلتها 2.7 g تتحرك بسرعة 2 m/s.
   c. كرة قدم كتلتها 420 g تتحرك بسرعة 1 m/s.
   d. كرة سلة كتلتها 625 g تتحرك بسرعة 2 m/s.

6. بينما تسبح في الفضاء الخارجي قمت برمي كرة. ما الذي يحدث لهذه الكرة؟

   a. تسبح الكرة في الفضاء ولا تحافظ على اتجاه ثابت.
   b. ستتباطأ الكرة بتسارع ثابت ثم تعود إليك.
   c. ستتباطأ الكرة إلى أن تتوقّف بعد رميها.
   d. ستتحرك بسرعة ثابتة مقدارًا واتجاهًا، وتبقى كذلك حتى تتأثر بقوة.

7. اذا كنت تقف في باص متحرّك واندفعتَ فجأةً إلى الأمام، ماذا تستنتج بالنسبة لحركة الباص؟

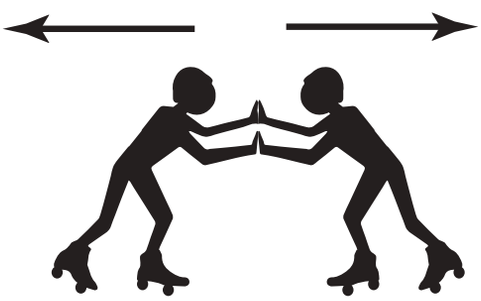
   a. أنقص من سرعته.

   b. زاد من سرعته.

   c. اتّجه نحو اليمين بسرعة ثابتة.

   d. اتّجه نحو اليسار بسرعة ثابتة.

8. يتزلج كل من أحمد وعلي مستخدمين حذاء تزلج بعجلات. يضغط كل منهما راحتي زميله براحتي يديه، فيندفع كل منهما إلى الخلف بسرعة 0.8 m/s. أي من العبارات التالية صحيح بالنسبة لكتلتيهما؟



   a. كتلة أحمد أكبر من كتلة علي.

   b. كتلة أحمد أقل من كتلة علي.

   c. لعلي وأحمد الكتلة نفسها.

   d. لا يوجد معلومات كافية لمقارنة كتلتيهما.

9. يتحرك صندوق كتلته 2 kg بسرعة 5 m/s على سطح عديم الاحتكاك. متى يتوقّف الصندوق عن الحركة.

   a. بعد ثانية واحدة.

   b. بعد عشر ثوان.

   c. بعد عشرين ثانية.

   d. لن يتوقّف أبدًا.

10. كم تكون زاوية انطلاق المقذوف بالنسبة للأفقي إذا كان مداه أقل ما يمكن؟

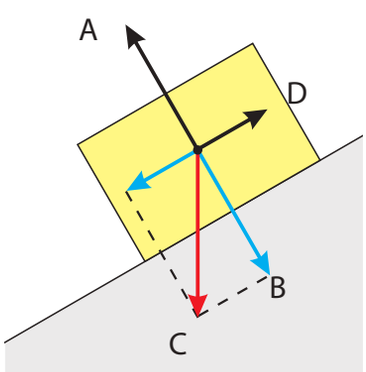
   a. 0^{o}

   b. 30^{o}

   c. 60^{o}

   d. 75^{o}

11. أيّ من الأحرف الموجودة على اتّجاهات المخطّط المجاور يمثّل وزن الصّندوق؟



   a. A

   b. B

   c. C

   d. D

12. يستقر صندوق كتلته 5 kg على سطح عديم الاحتكاك، إذا دفعتَ الصندوق بقوة ثابتة مقدارها 10 N، فما المسافة التي يقطعها خلال 4 s؟

a. 16 m
b. 8 m
c. 4 m
d. 2 m

13. ما محصّلة القوى المؤثّرة في جسم كتلته 30 kg إذا أكسَبته تسارع $10\ m/s^2$؟

a. 300 N
b. 3 N
c. 10 N
d. 0.3 N

14. يمرّر خالد كرة سَلّة كتلتها 1.5 kg لزميله فيؤثر فيها بقوة 60 N. ما تسارع الكرة؟

a. $40\ m/s^2$
b. $90\ m/s^2$
c. $0.025\ m/s^2$
d. $25\ m/s^2$

15. أُطلقت عربتان كتلة إحداهما 200 g والأخرى 800 g كانتا مرتبطتين معًا في قاذف زنبركي واحد فتحرّكت العربة الخفيفة بسرعة +1 m/s. ما سرعة العربة الثانية؟

a. –0.25 m/s
b. +0.25 m/s
c. –4 m/s
d. +4 m/s

16. تصطدم شاحنة كتلتها 2,000 kg تسير بسرعة 15 m/s بمركبة كتلتها 1,000 kg تقف إلى جانب الطريق. تلتصق المركبتان ببعضهما وتتابعان السير إلى الأمام. ما زخم النظام المؤلف من المركبتين؟

a. 2,000 kg m/s
b. 3,000 kg m/s
c. 15,000 kg m/s
d. 30,000 kg m/s

الدّرس 2-1: القانون الأوّل والثّالث لنيوتن

17. يركل لاعب كرة قدم بإحدى قدميه. ما قوتا الفعل وردّ الفعل وفي أي جسم تؤثّر كل منهما؟

18. هل القصور الذاتي خاصيّة الكتلة أم الوزن؟ اشرح إجابتك.

19. كيف يمكنك معرفة القصور الذاتيّ الأكبر لكتابين موضوعَين على طاولة دون أن ترفعهما؟

20. يتحرّك جسم كتلته 3 kg أفقيًا بسرعة 6 m/s. أي قوّة تُمكِّن الجسم من متابعة سيره بالسرعة نفسها؟ وما اتّجاه تلك القوّة؟

21. لماذا يكون ركل كرة البولينج أصعب من ركل كرة الشاطئ؟

22. تقوم أنت وصديقك بشدّ حبل في اتّجاهين متعاكسين بأكبر قُوَّة ممكنة. أي قوّة تكون مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه لقوّة شد يدك للحبل، والتي أشار إليها القانون الثالث لنيوتن.

23. أيُّ من قوانين نيوتن يوضح بشكل أفضل سبب الألم الذي تشعُر به يدك عندما تطرق الطاولة؟ اشرح.

24. وفقًا للقانون الثالث لنيوتن (لكل فعل رد فعل يساويه في المقدار ويعاكسه في الاتّجاه). بناءً عليه، كيف تحدث حركة سيرنا على الأرض؟ ولماذا لا يُلغى فعل أيّة قوة بتأثير رد فعلها؟

الدّرس 2-2: القانون الثّاني لِنيوتن

25. اشرح بكلماتك الخاصة القانون الثاني لنيوتن.

26. كيف يتغير تسارع جسم إذا تزايدت القوة المؤثّرة فيه ثلاث مَرّات؟ اشرح باستخدام القانون الثاني لنيوتن.

27. ألقيت كرة تنس وكرة فولاذية لهما الحجم نفسه من الارتفاع ذاته وفي اللحظة ذاتها. أي الكرتين يكون تسارعها أكبر في غياب مقاومة الهواء؟ لماذا؟

28. ما محصلة القوى المطلوبة لتحريك قالب كتلته 4 kg بتسارع $2\ m/s^2$؟

29. تبدأ عربة محملة بالحلوى الحركة من السُّكون تحت تأثير قوّة مقدارها 80 N. كم تصبح سرعة العربة بعد 5 s إذا كانت كتلتها الإجمالية مع الحلوى 55 kg؟

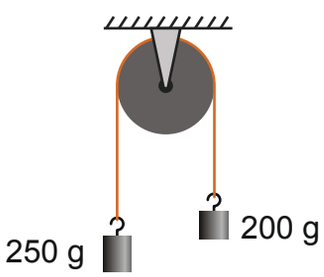
30. ما تسارع درّاجة ناريّة كتلتها 200 kg إذا كانت قُوّة محرّكها 6,000 N وقوة الاحتكاك 200 N؟

31. تؤثر قوّة مقدارها 250 N في مركبة فضائية كتلتها 950 kg تسير بسرعة 25,000 m/s كم ستكون السرعة النهائية للمركبة خلال زمن قدره 5.5 s؟

a. اتجاه القوة في اتّجاه حركة المركبة الفضائية؟

b. اتجاه القوة في اتّجاه معاكس لاتّجاه حركة المركبة الفضائية.

32. احسب تسارع كتلتي آلة آتوود في الشكل المجاور. افترض أن كتلة البكرة مهملة وهي عديمة الاحتكاك.



33. إذا كانت احدى كتلتي آلة آتوود 1.1 kg، كم تكون كتلتها الثانية إذا كان تسارعها $1.2\ m/s^2$؟ افترض أن البكرة مهملة الكتلة عديمة الاحتكاك.

34. إحدى طرق فحص الأمان لسيَّارة هو دراسة إمكانية توقفها عند استخدام المكابح (الفرامل). تسير سيارة كتلتها 1,100 kg بسرعة 15 m/s لحظة تطبيق المكابح بشكل مفاجئ. ما المسافة التي تقطعها السيّارة قبل أن تتوقف نهائيًا إذا كانت قوة المكابح 6,000 N؟

الدّرس 3-2: حركة المقذوفات والسّطح المائل

35. اشرح لماذا تبقى المُركّبة الأفقية لحركة المقذوف ثابتة السرعة بالرغم من التأثير الدائم لقوة الجاذبية.

36. تُدفع عربة مختبر إلى أعلى سطح مائل. تسير العربة إلى أعلى إلى أن تتوقّف وتعود ثانية إلى أسفل السطح المائل. قارن تسارع العربة في حالتي الصُّعود والنزول، واشرح إجابتك.

37. عند دراسة المدى في حركة المقذوفات.

a. كيف يتأثّر مدى المقذوف إذا تزايدت مقدار السّرعة الابتدائية مرتين ؟

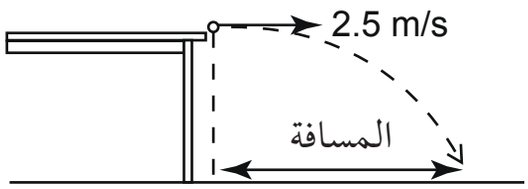
b. كيف تشرح معادلات الحركة مدى المقذوفات عند زاويتي قذف 0^o و 90^o؟

38. ما أقل زاوية قذف إبتدائية لصخرة بركانيَّة إذا قطعت مدى 9,000 m؟

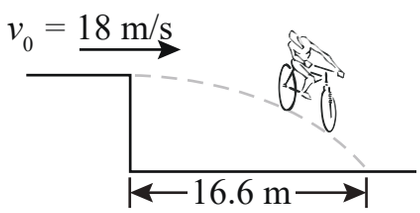
39. ما زاوية السطح المائل التي تحقّق تسارع $2\ m/s^2$ لجسم يتدحرج عليه نزولاً؟

40. ما القوة اللازمة لتحريك جسم كتلته m صعودًا على سطح يميل بزاوية θ مع الأفقي وبسرعة ثابتة؟ افترض عدم وجود قوى احتكاك.

41. يَتِمّ إطلاق كرة زجاجيّة بِشكل أفقيّ من أعلى طاولة بِسرعة ابتدائيّة 2.5 m/s باستخدام مُطلِق لِلكُرات. إذا علمْتَ أنّ ارتفاع الطّاولة هو 0.8 m كم ستكون المسافة الأفقيّة الّتي تقطعها الكرة الزّجاجيّة قبل أن تصل إلى الأرض؟



42. يقفز درّاج عن جرف بِسرعة ابتدائيّة أفقيّة مقدارها 18 m/s. يقطع الدرّاج مسافة أفقيّة 16.6 m قبل أن يلامس الأرض. احسِب ارتفاع الجرف.



الدّرس 4-2: الزّخم الخطّيّ وحفظ الزّخم

43. ما نوع التصادم الذي يلتصق فيه الجسمان المتصادمان معًا بعد تصادمهما.

44. عرّف الدفع واكتب معادلته.

45. صف حالتين اثنتين يكون فيهما لجسم ما الزّخم نفسه.

46. يتصادم لاعبا كرة قدم اثناء الجري، فيتغيّر زخم كلّ منهما بعد التصادم. هل الزّخم محفوظ في هذه الحالة؟

47. ما التغيُّر الحاصل في زخم مركبة فضائية كتلتها 5,000 kg لا تتعرض لأي محصلة قوى لمدة تصل إلى ساعة واحدة.

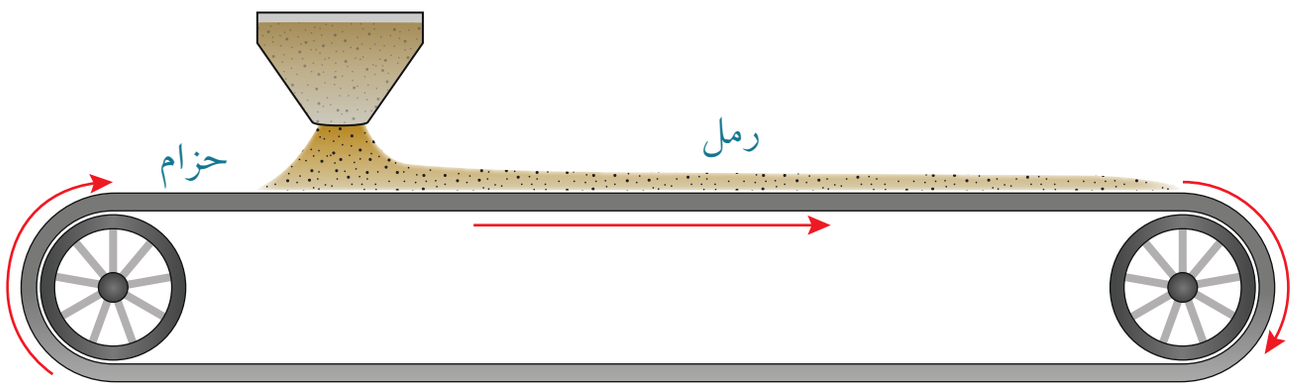
48. أيّ من الجسمّين التّاليّين يتحرّك بِسرعة أكبر بعد أن يتسارعا من السّكون:

a. قارب كتلته 500 kg يَتِمّ تحريكه بِدفع قيمته 10,000 N.s.

b. قارب كتلته 780 kg يَتِمّ تحريكه بِدفع قيمته 14,000 N.s.

49. تسير عربة كتلتها 10,000 kg على سكّة حديد بِاتّجاه الشّمال بِسرعة 10 m/s لِتصطدم بعِربة أخرى كتلتها 5,000 kg على السّكّة الحديديّة نفسها متحرّكة إلى الشّمال أيضًا بِسرعة مجهولة. بعد التّصادم، تلتحم العربتان بِبعضهما لِتتحركا شمالًا بِسرعة 8 m/s. كم كانت سرعة العربة الثّانية قبل التّصادم؟

50. يسقط الرّمل بشكل عموديّ بِمعدّل σ kg/s على حزام نقل متحرِّك. حدّد القوّة الّتي يجب أن تُطبَّق على الحزام لِيبقى متحرّكًا بِسرعة ثابتة v، على افتراض أنّ طول الحزام لا نهائيّ بِحيث لا ينسكب الرّمل من نهايته.



الاستقصاء والبحث

السقوط الآمن

صمّم وِعاء أو طرد يحتوي على بيضة نيئة، يحميها من الانكسار عند إسقاطها من عُلوٍّ 2 m. اختر مُتَغيِّرًا واحدًا مثل: موادّ تبطين الطّرد، ترتيب موادّ التّبطين (محشوّة بِالقطن، مجعّدة، ذات طبقات)، شكل الوِعاء. صِف النّظريّة الّتي استفدت منها في تصميمك مُبيِّنًا حساباتك لِلزّخم قبل التّصادم بالإضافة إلى تقديرك لِلفترة الزّمنيّة الّتي استغرقها التّصادم. استخدم الفترة الزّمنيّة لِلتّصادم لِتقدير أقصى قوّة تؤثّر في البيضة.

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.

يُعدّ القانون الأوّل للديناميكا الحراريّة من أهم القوانين في الفيزياء، والذي ينص على أنّ الطاقة الكليّة لنظام مُغلق تبقى ثابتة قبل حدوث أي تغيير داخل النظام، وبعده. ويُعدّ مبدأ حفظ الطاقة من الأمور المهمة التي يجب مراعاتها عند حلّ المسائل وتحليل العديد من المواقف المُختلفة.

يُعدّ اعتبار الطاقة والقُدرة الشيء نفسه من أكثر الأخطاء شيوعًا. فمع 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.

حفارة هيدروليكية — مجراف يدوي

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:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{و} \quad E_p = mgh$$

ويستخدم مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكيّة في حل مسائل حسابية.

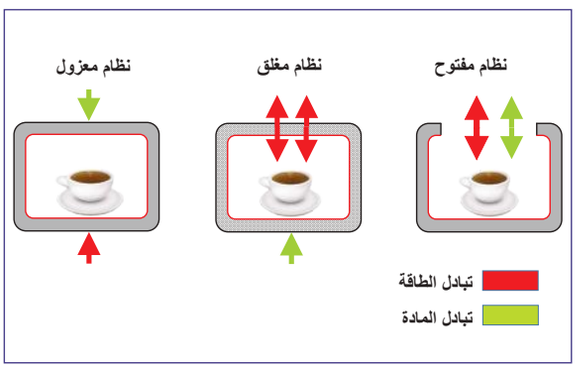
المفردات

الشغل	Work
جول	Joule (J)
طاقة	Energy
نظام مغلق	Closed system
نظام مفتوح	Open system
طاقة حركية	Kinetic energy
إطار مرجعي	Reference frame
طاقة وضع	Potential energy
طاقة وضع تجاذبية	Gravitational potential energy
طاقة وضع مرونية	Elastic potential energy
ثابت الزنبرك	Spring constant

ما النظام؟

يبدأ فهم الطاقة بتعريف النظام، والنظام **System** هو مجموعة أجسام تتفاعل معًا، ويجري النظر إليها ودراستها كجسم واحد. فإذا كنا نريد دراسة سرعة كرة تسقط من ارتفاع معيَّن، فقد نختار نظامًا يتضمّن الارتفاع والكتلة والسرعة الابتدائية وقوة الجاذبية. ولهذا نختار النظام الذي يشمل فقط الأجسام والتفاعلات المهمّة لما نبحث عنه في دراستنا.

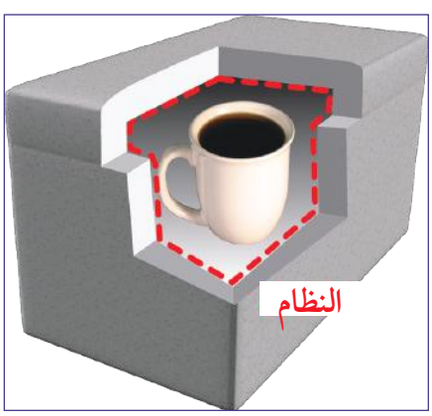
لكل نظام حدود، نمثلها بصندوق وهمي يحيط بالنظام. وتوجد ثلاثة انواع من النظم؛ المفتوح والمغلق والمعزول. **فالنظام المفتوح Open system** هو النظام الذي يمكنه تبادل الطاقة والمادة بينه وبين محيطه. أما **النظام المغلق Closed system**، هو النظام الذي يمكنه تبادل الطاقة مع محيطه و لا يمكنه تبادل المادة.



الشكل 2-3 الأنظمة الثلاث المفتوح والمغلق والمعزول.

والنظام المعزول Isolated system: النظام الذي لا يمكنه تبادل الطاقة أو المادة مع محيطة، ويبين **الشكل (2-3)** أنواع الأنظمة الثلاث.

إذا وضعنا كوبًا من القهوة الساخنة، مثلا، في الهواء الطلق، نلاحظ أن درجة حرارته ستنخفض، حيث تنتقل حرارته إلى المحيط. وبعد عدة أيام يتبخّر ماؤه إلى الهواء المجاور. يعني ذلك أن النظام مفتوح، لأننا سمحنا للطاقة والمادة بالانتقال من كوب القهوة وإليه.



الشكل 3-3 مثال عن النظام المعزول.

لكن إذا وضعنا الكوب الساخن نفسه داخل صندوق عازل للحرارة، كما هو موضح في **الشكل (3-3)**، فإن حرارة الكوب تبقى كما هي، لأننا منعنا الحرارة والمادة من الانتقال إلى خارج الكوب. فهذا النظام يعتبر نظامًا معزولاً، لأننا حافظنا على الطاقة والمادة.

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

لا يوجد في الحقيقة نظام معزولْ عزلًا كليًا. ومع ذلك، نفترض وجوده لكي نستطيع فهم الأحداث والعمليات وتحليلها بشكل أسهل، كما نفعل عندما نفترض عدم وجود الاحتكاك ومقاومة الهواء في مسائل الميكانيكا. في كثير من الأحيان، يبدأ العلماء بافتراض نظام مغلق بسيط، ثم يضيفون التفاصيل بناء على مقارنة تنبؤات النموذج مع البيانات الفعلية.

الطاقة

ينقل الإنسان الأشياء من مكان إلى آخر، كما تنقل وسائل النقل الناس بين المدن والبلدان. وتحرّك الرياح أشرعة السفن، وتنقل المياه الجارية الزوارق، وتساهم أشعة الشمس في نمو الأشجار. كل الأشياء التي ذكرناها لديها طاقة تمكّنها من بذل شغل، يُقاس بوحدة الجول (J). تُسبّب الطاقة حدوث تغيّرات في العديد من الكميّات، كالسرعة والارتفاع والضغط وحتى درجة الحرارة. والطاقة قادرة على تحويل المادة من حالة الى أخرى. ومع أن الشُّغل هو أحد أشكال الطاقة، فإن **التعريف الرئيس للطاقة** هو القُدرة على بذل شُغل. فالنظام الذي يملك 10 J من الطاقة يمكنه بذل شغل أقصاه 10 N.m وذلك تحت تأثير قوى مختلفة وإزاحات مختلفة. فمن دون إضافة طاقة أكثر، لن يستطيع النظام بذل شُغل يتعدى 10 N.m. توجد أنواع مختلفة من الطاقة، وهي قابلة للتحوُّل من نوع إلى آخر، ومن هذه الأنواع:

الشكل 3-4 أمثلة على أنواع الطاقة.

الطاقة الميكانيكيّة وتنتج إمّا من الحركة، وتسمّى الطاقة الحركية، وإمّا من الموضع، وتسمى طاقة الوضع. ومن صورها ان تكون طاقة الوضع تجاذبية أو مرونية.

الطاقة الحرارية وتعتمد على درجة حرارة الأجسام. فالأجسام الساخنة تمتلك طاقة حراريّة أكثر من التي تمتلكها الأجسام الباردة.

الطاقة الكيميائيّة وتكون مُختزنة في روابط المُركّبات الكيميائيّة. يمكن تحرير هذه الطاقة عن طريق إعادة ترتيب الذرّات إلى جزيئات مُختلفة، مثل احتراق الغاز الطبيعي، لإعطاء بخار الماء وثاني أكسيد الكربون.

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

الطاقة النوويّة (الطاقة الذريّة) هي طاقة موجودة في الروابط بين البروتونات والنيوترونات في نواة الذرّة. يمكن تحرير هذه الطاقة عندما تتغيّر الذرّات من عنصر إلى آخر، كالذي يجري في المفاعل النووي أو في داخل الشمس.

الطاقة الإشعاعيّة وتشمل جميع أشكال الموجات الكهرومغناطيسيّة كالضوء المرئي، وموجات الميكروويف وموجات الراديو، والأشعة السينية. ومن المهم أن نشير إلى أنّ كلّ أنواع الطاقة على سطح الأرض، مصدرها الطاقة الإشعاعيّة الآتية من الشمس.

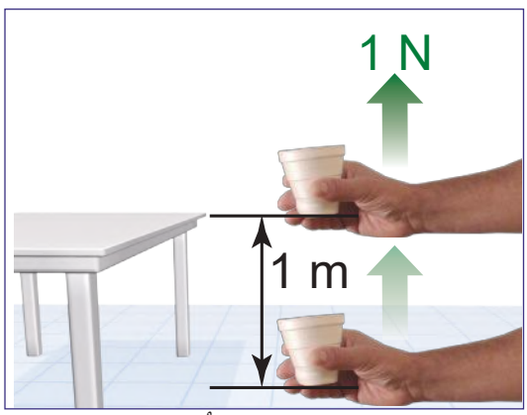
الشُّغل المبذول

سؤال للمناقشة

كم من الشُّغل تبذل كل يوم؟

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

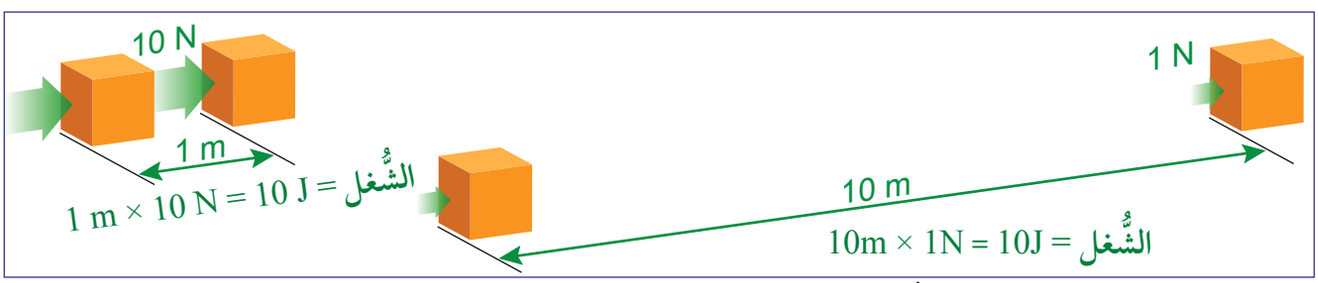
تُعرّف كميّة **الشُّغل المبذول** على جسم نتيجة تأثير قوة معيّنة على أنها حاصل ضرب الإزاحة التي يتحرّكها الجسم في مُركّبة القوة باتجاه تلك الإزاحة. فإذا استخدمنا قوة مقدارها نيوتن واحد لرفع كوب إلى الأعلى مسافة متر واحد، كما في **الشكل 3-5**، نكون قد أنجزنا شُغلاً على الكوب مقداره واحد نيوتن متر (1N.m)،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



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 الجول على أنّه **واحد** نيوتن.متر (N.m) . ومع أن الجول هو الوحدة الرئيسيّة للطاقة، لكنه ليس الوحيد. فوحدتا الكالوري والكيلو واط.ساعة هما أيضًا وحدتان للطاقة تُستخدمان في حالات كثيرة.



الشكل 3-6 طريقتان لبذل 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 إزاحة d تبذل شغلًا موجبًا لأن القوة تحرك العربة في اتجاه الإزاحة وتكون الزاوية بين الاتجاهين صفرًا (الشكل 3-7) $W = Fd\cos\theta = Fd$. $\cos(0) = 1$

ويكون الشغل موجبًا إذا كانت الزاوية بين متجه القوة والإزاحة حادة أي اكبر من أو تساوي صفرًا وأصغر من 90 وتكون أكبر قيمة للشغل الموجب عندما تكون القوة في اتجاه الإزاحة

إذا اعتبرنا العربة نظامًا مفتوحًا، فإن القوة التي تؤثر فيها تؤدي إلى شغل موجب يُبذل على العربة وتزداد بالتالي طاقتها الحركية.

سؤال للمناقشة

هل يمكن للشغل أن يكون أقل من صفر؟

الشكل 3-7 الشغل المبذول على عربة.

الشغل الصفري

يمكن أن يكون الشغل المبذول صفرًا، فالقوة العمودية التي تؤثر بها الأرض في العربة هي في الاتجاه الرأسي بينما حركة العربة في الاتجاه الأفقي وهكذا تكون الزاوية بين الاتجاهين 90°، ويكون الشغل المبذول $W = Fd\cos\theta = Fd\cos 90^\circ = 0$

الشغل الخارجي 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 مبذولًا بواسطة النظام وليس على النظام. وكذلك يكون الشغل المبذول من العربة على الشخص الذي يدفع العربة هو شغل سالب لأنه يتحرك إلى الأمام بينما تدفعه قوة رد فعل العربة إلى الخلف.

الشكل 3-8 الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك.

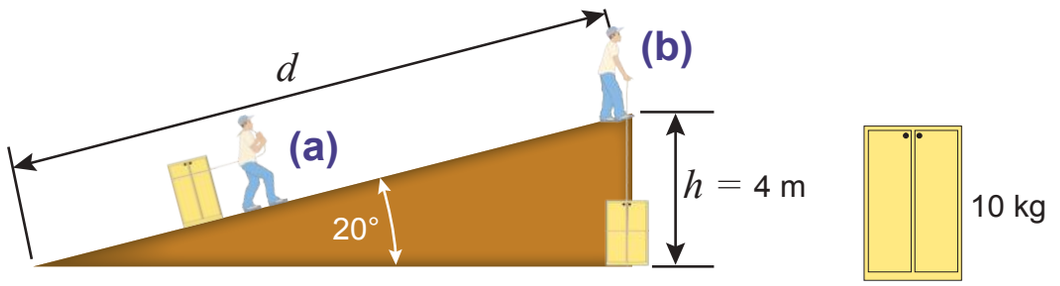
مثال (1)

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

a. احسب الشغل الذي يبذله الشخص الأول إذا كان يبذل قوة مساوية ومعاكسة لمركبة الوزن في اتجاه المنحدر.

b. احسب الشغل الذي يبذله الشخص الثاني لسحب القالب.

c. قارن الشغل الذي بذله الشخص الأول مع الشغل الذي بذله الشخص الثاني.



المطلوب الشغل الذي يبذله كل من الشخص الأول والشخص الثاني.

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

العلاقات $W = fd$ ؛ $\sin\theta = \frac{h}{d}$ ؛ $F_W = mg$

الحلّ:

a. نحسب المسافة المقطوعة والقوة المبذولة والشغل الذي يقوم به الشخص الأول.

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

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

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

b. نحسب المسافة المقطوعة والقوة المبذولة والشغل الذي يقوم به الشخص الثاني.

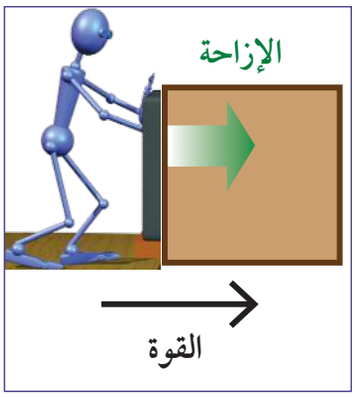
$$F_b = mg = (10\ \text{kg})\ (9.8\ \text{N/ kg}) = 98\ \text{J}$$

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

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

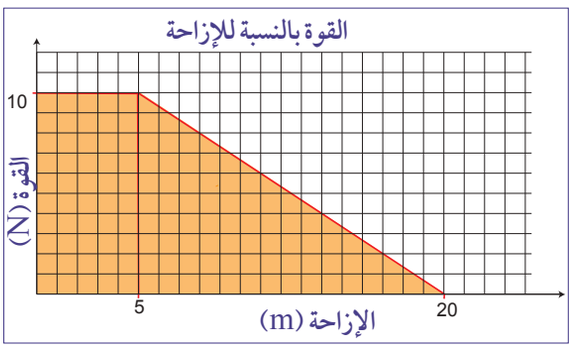
c. لاحظ بأن الشغل W_a يساوي الشغل W_b. الشخص الأول يبذل قوة أقل ولكن يحرك القالب الأول مسافة أطول على المنحدر. الشخص الثاني يبذل الشغل نفسه ولكن بتطبيق قوة أكبر لتحريك القالب الثاني مسافة أقل. فالشغل المبذول ضد الجاذبية الأرضية لا يعتمد على المسار المُتّبَع في أي نظام غير احتكاكي.

الشُّغل المبذول باستخدام قوة غير ثابتة



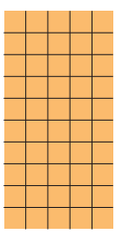
الشكل 3-9 القوة والإزاحة.

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)**

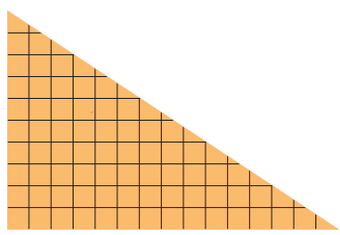


الشكل 3-10 يُظهر الرسم البياني تغيّر القوة بالنسبة إلى الإزاحة.

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.



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

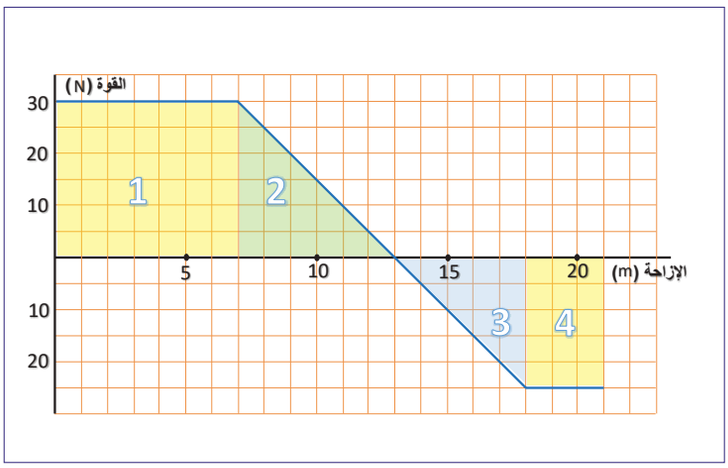


$$A = \frac{1}{2} \times b \times h$$
$$= \frac{1}{2} \times 15\text{m} \times 10\text{N}$$
$$= 75\text{N m}$$

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.

مثال (2)



نموذج طائرة يعمل بدفع المروحة، شُغلت المروحة لتوليد قوة تحرك الطائرة للأمام، ثم أنقصت سرعة المروحة حتى توقفت، ثم شُغلت لتوليد قوة عكسية لإيقاف الطائرة. والشكل التالي يوضح العلاقة البيانية بين الإزاحة والقوة المتغيرة المؤثرة في الطائرة.

1. أحسب الشغل الذي بذلته قوة المروحة على الطائرة في كل مرحلة من المراحل (1, 2, 3, 4).
2. احسب الشغل الكلي الذي بذلته قوة المروحة في المراحل جميعها.

المطلوب: الشغل W_1 ، الشغل W_2 ، الشغل W_3 ، الشغل W_4 ، الشغل الكلي W

المعطى: العلاقة البيانية المجاورة

العلاقات: المساحة = W، $W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$

الحل:

1. المرحلة الأولى من حركة النموذج، الشغل= مساحة المستطيل:

$$W_1 = 30 \times 7 = 210 \text{ J}$$

المرحلة الثانية من حركة النموذج، الشغل= مساحة المثلث:

$$W_2 = \frac{1}{2} \times 30 \times 6 = 90 \text{ J}$$

المرحلة الثالثة من حركة النموذج، الشغل= مساحة المثلث:

$$W_3 = \frac{1}{2} \times (-25) \times 5 = -62.5 \text{ J}$$

المرحلة الرابعة من حركة النموذج، الشغل= مساحة المستطيل:

$$W_4 = -25 \times 3 = -75 \text{ J}$$

2. الشغل الكلي لقوة المروحة يساوي ناتج الجمع الجبري للمراحل الأربع:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 210 + 90 - 62.5 - 75 = 162.5 \text{ J}$$

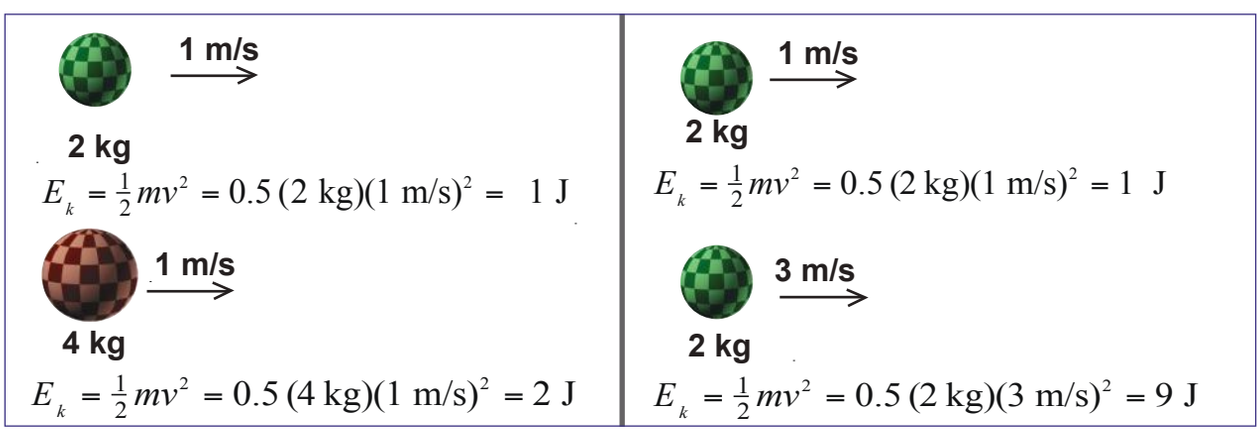
نلاحظ أن الشغل كان سالبًا عندما كان اتجاه قوة المروحة بعكس اتجاه الإزاحة.

الطاقة الحركيّة

الطاقة الحركيّة Kinetic energy (E_k) هي الطاقة الناتجة من حركة أي جسم له كتلة. ولتقدير التغيُّرات التي تُسبِّبها الطاقة الحركيّة، تخيّل كُرتين، لهما الكتلة نفسها وسرعتان مختلفتان، تصطدمان بحائط من مادة لينة. تترك كل كرة تجويفًا فيه لامتصاصه الطاقة الحركية لإيقاف كل كرة. ولكن أي الكرتين تصنع تجويفًا أكبر في الحائط؟ لا شك، في أن الكرة ذات الطاقة الحركية الأكبر تصنع التجويف الأكبر، وبما أن لهما الكتلة نفسها، فإن الكرة الأسرع لها طاقة حركية أكبر.

2-3	الطاقة الحركيّة	E_k	الطاقة الحركيّة (J)
	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	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.

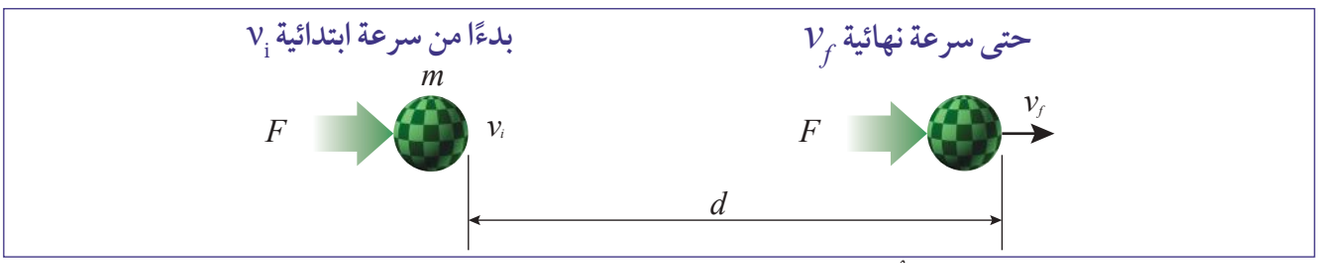
وفقًا للمعادلة (**2-3**) تعتمد الطاقة الحركيّة لجسم متحرّك على مربّع سرعته. فإذا قمت بمضاعفة السرعة فسوف تزداد الطاقة الحركيّة بمعامل أربعة أمثال. فالكرة ذات الكتلة 2 kg، والتي تتحرّك بسرعة 1 m/s، لها طاقة حركيّة مقدارها 1 J. وإذا ازدادت سرعة الكرة نفسها إلى 3 m/s، تصبح طاقتها الحركية 9 J. أي إن ضرب السرعة في 3 يؤدي إلى ضرب الطاقة الحركيّة في معامل $3^2 = 9$.

إذًا تكون العلاقة بين الطاقة الحركيّة والكتلة علاقة خطيّة، أما العلاقة بين الطاقة الحركيّة والسرعة فهي علاقة غير خطيّة. والعلاقة الطردية بين المتغير التابع ومربّع المتغيِّر المستقل، هي علاقة رياضية من الدرجة الثانية (علاقة تربيعية).

الشُّغل والطاقة الحركيّة

علمنا أن الطاقة تمثّل أقصى كميّة من الشُّغل يمكن بذلها، والعكس صحيح. عندما تؤثر قوة خارجية ثابتة في جسم ساكن فتكسبه سرعة نهائية (v_f)، فإنها تكون قد بذلت عليه شغلاً فأصبح الجسم يمتلك طاقة حركية نهائية. يمكن إثبات ذلك رياضيًّا عن طريق حساب الشُّغل المبذول بتطبيق قوة ثابتة F، تقوم بتسريع جسم ذو كتلة m، من سرعة ابتدائية v_i إلى سرعة نهائية v_f

$$F = ma \text{ و } W = Fd$$



الشكل 3-12 الطاقة الحركيّة تساوي الشُّغل المبذول لتغيير سرعة جسم، من سرعة ابتدائية v_i إلى سرعة نهائية v_f.

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

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

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

بالتعويض عن الإزاحة d والتسارع a في معادلة الشغل، نحصل على:

$$W = m \left(\frac{v_f - v_i}{t}\right) \left(\frac{v_f + v_i}{2}\right) t = \frac{1}{2} m (v_f - v_i)(v_f + v_i)$$

$$W = \frac{1}{2} m (v^2_f - v^2_i) = \frac{1}{2} m v^2_f - \frac{1}{2} m v^2_i$$

$$W = E_{kf} - E_{ki} = \Delta E_k$$

أي أن الشغل المبذول يساوي التغير في الطاقة الحركية للجسم. وإذا بدأ الجسم حركته من السكون تكون $E_{ki} = 0$، ويكون الشغل المبذول $W = E_{kf}$.

وهي نتيجة عامة لها تطبيقات في كل مجالات الفيزياء. يكون التغيّر في الطاقة الحركيّة لنظام مثالي مساويًا للشُّغل المبذول في النظام. ونعني بكلمة «مثالي» انعدام الاحتكاك. إذا أخذنا الاحتكاك في الحسبان، فإنّ بعض الشُّغل المبذول يضيع للتغلب على قوة الاحتكاك، والكمية المتبقية من الشغل المبذول تتحول إلى طاقة حركية يختزنها الجسم.

إذا بُذِلَ الشُّغل في نظام مثالي سوف تزداد الطاقة الحركية بمقدار يساوي كميّة الشُّغل المبذول.

يمكن حساب طاقة النظام بإيجاد الشُّغل المبذول لتغيير النظام من حالة، ساكنة مثلاً، إلى حالة أخرى تكون سرعتة فيها v مثلاً.

مثال (3)

تبلغ كتلة سيّارة رياضيّة 1600 kg، عندما يكون خزّان وقودها فارغًا.

1. احسب الطاقة الحركيّة للسيارة، عندما تصل إلى سرعة 90 km/h لحظة فراغها من الوقود.
2. احسب كتلة الوقود، إذا كان للسيّارة الطاقة الحركيّة نفسها عند سرعة 88 km/h، وكان خزّانها ممتلأً.

المطلوب 1) الطاقة الحركيّة E_k

2) كتلة الوقود m_{fuel}

المُعطى كتلة السيّارة $m = 1600\ \text{kg}$

سرعة السيّارة $v = 90\ \text{km/h}$،

و $v = 88\ \text{km/h}$

العلاقات $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

الحل

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

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

باستخدام معادلة الطاقة الحركيّة، نجد:

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

2. الطاقة الحركيّة في هذه الحالة هي نفسها؛ لكن السرعة تصبح 24.44 m/s.

نحل معادلة الطاقة الحركيّة لإيجاد كتلة مجهولة.

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

$m = 1674.2\ \text{kg}$ هي كتلة السيّارة، بالإضافة إلى الوقود. تُحتَسب كتلة الوقود من الفرق بين الكتلتين:

$$1674.2\ \text{kg} - 1600\ \text{kg} = \boxed{74.2\ \text{kg}}$$

مثال (4)

نفترض نظام سيّارة متوقّفة كتلتها 1,500 kg.

a. يبذل المحرّك قوة مقدارها 7,350 N. احسب الطاقة الحركية للنظام إذا طُبّقت القوة لمسافة 500 m. استنتج سرعة السيّارة بعد قطع هذه المسافة.

b. تبذل المكابح شغلًا سالبًا نتيجة لقوة احتكاك تؤثر بها الطريق في اتجاه معاكس للحركة. احسب المسافة التي تقطعها السيّارة قبل أن تتوقف تمامًا إذا كانت قوة المكابح تساوي وزن السيّارة.

المطلوب (a) الطاقة الحركية للسيارة E_k وسرعتها v (b) مسافة التوقّف d

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

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

الحل:

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

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

وهذه القيمة هي أيضًا الطاقة الحركية التي تكتسبها السيّارة في غياب قوى الاحتكاك. وبمعرفة الطاقة الحركية والكتلة، يمكننا حساب سرعة السيارة، حيث: $E_{kf} = W$:

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

b. مقدار قوة الاحتكاك يساوي مقدار وزن السيّارة، وهو افتراض معقول على أرض جافة.

$$F_b = mg = (1{,}500\ \text{kg})\ (9.8\ \text{N/ kg}) = 14{,}700\ \text{N}$$

لحل السؤال نجعل الطاقة الحركية النهائية للسيّارة صفرًا لأن السيّارة تتوقف. ثم نحسب الشغل السالب للاحتكاك الذي يُخَفّض الطاقة الحركية للسيّارة إلى الصفر.

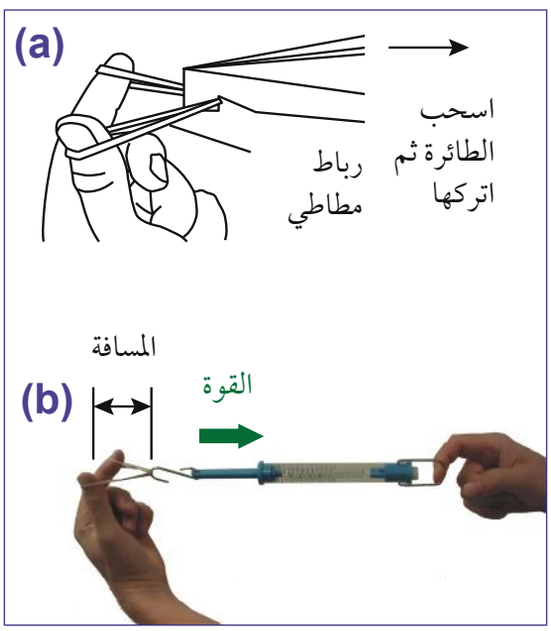
$$E_{kf} = E_{ki} - F_b d \qquad d = \frac{E_{ki}}{F_b} = \frac{3{,}675{,}000\ \text{J}}{14{,}700\ \text{N}} = 250\ \text{m}$$

1-3 الشغل المبذول

سؤال الاستقصاء	كيف يؤدي الشغل إلى تغيير الطاقة؟
الموادّ المطلوبة	ميزان زنبركي أو مستشعر قوة، رباط مطاطي، شريط لاصق، مسطرة، مقص.

للأمان: يتطلب هذا النشاط استخدام نظارات واقية من قِبَل جميع الطلاب.

خطوات التّجربة



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

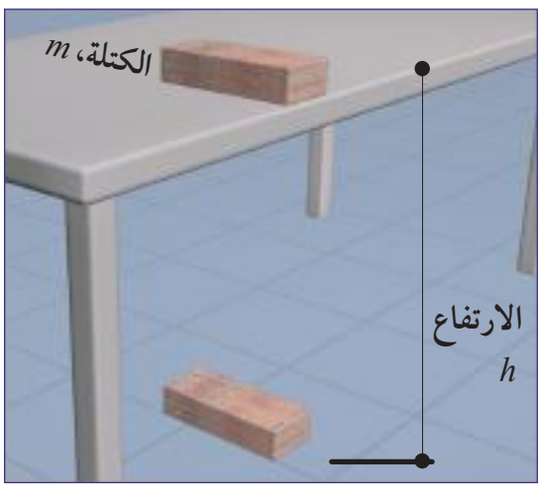
1. اصنع طائرة ورقية مع شقٍّ في مقدمتها، وعلّق بها رباطًا مطاطيًّا.
2. اسحب الرباط المطاطي إلى الأمام والطائرة إلى الخلف ثم اتركها لتنطلق إلى الأمام (**الشكل 3-13a**).
3. احسب سرعة انطلاق الطائرة بمعرفة المسافة التي تقطعها ومُدَّة الطيران.
4. قِس القوة الناتجة في الرباط المطاطي لمسافات سحب مختلفة باستخدام الميزان الزنبركي (**الشكل 3-13b**).
5. مَثِّل بيانيًّا القوة المبذولة على الرباط المطاطي بدلالة الإزاحة.
6. استخدم المساحة تحت الرسم البياني لحساب الشغل المبذول على الطائرة خلال إطلاقها.
7. استخدم بياناتك لتوقع سرعة انطلاق الطائرة بمعرفة الشغل المبذول لسحب الرباط المطاطي وإحداث استطالة فيه.

الأسئلة

a. اشتق علاقة رياضية تربط الشغل المبذول على الرباط المطاطي بسرعة انطلاق الطائرة.
b. احسب أقصى سرعة انطلاق نظرية للطائرة بمعرفة طاقة الرباط المطاطي.
c. قارن بين السرعة التي توقعتها والسرعة الناتجة عن النموذج. اشرح الأسباب التي قد تؤدي إلى فروق بين القيمة المتوقعة والقيمة النظرية.

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**).

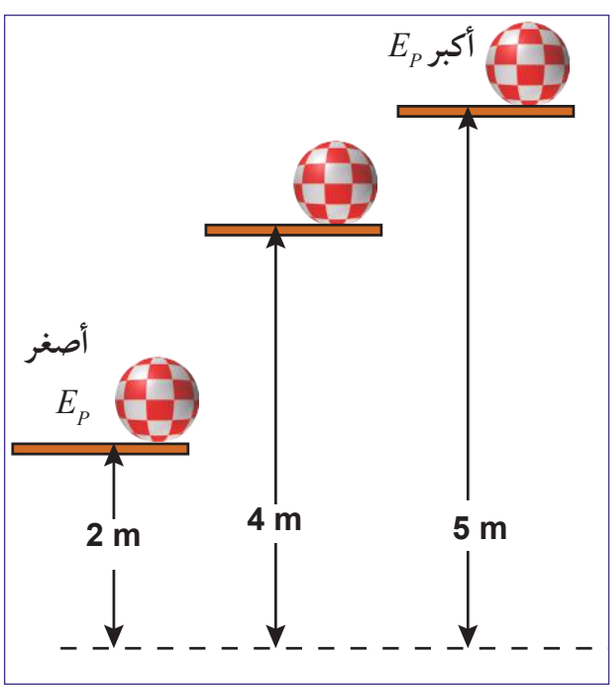
يمكن تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركيّة، بترك القالب يسقط تحت تأثير الجاذبيّة نحو الأسفل.

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 الزيادة 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 التجاذبية (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 طرديًا مع كل من الكتلة وشدة مجال الجاذبيّة والارتفاع (في المواقع القريبة نسبيًا من سطح الأرض).

لنفترض أنّ لدينا ثلاث كرات لها الكتلة نفسها 1kg، لكنها موضوعة عند ارتفاعات مختلفة من سطح الأرض الذي نعتبره الإطار المرجعي، كما هو مبيّن في **الشكل 3-15**. إذا اعتبرنا أنّ شدّة مجال الجاذبيّة ثابتة: 9.8 N/kg، تكون طاقة الوضع 19.6 J للكرة الأولى الموضوعة على ارتفاع 2 m. و 39.2 J للكرة الثانية الموضوعة على ارتفاع 4 m، و 49 J للكرة الثالثة الموضوعة على ارتفاع 5 m. وهذه القيم تتفق مع العلاقة الطردية بين طاقة الوضع التجاذبية والارتفاع عن سطح الأرض.



الشكل 3-15 تعتمد طاقة الوضع على الارتفاع.

الشُّغل وطاقة الوضع التجاذبيّة

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

ناقشنا إمكانية اكتساب طاقة الوضع التجاذبيّة، عندما نبذل شغلاً ضد قوة الجاذبيّة. للتوصل إلى معادلة طاقة الوضع التجاذبيّة، نقوم بمساواة طاقة الوضع مع الشُّغل المبذول.

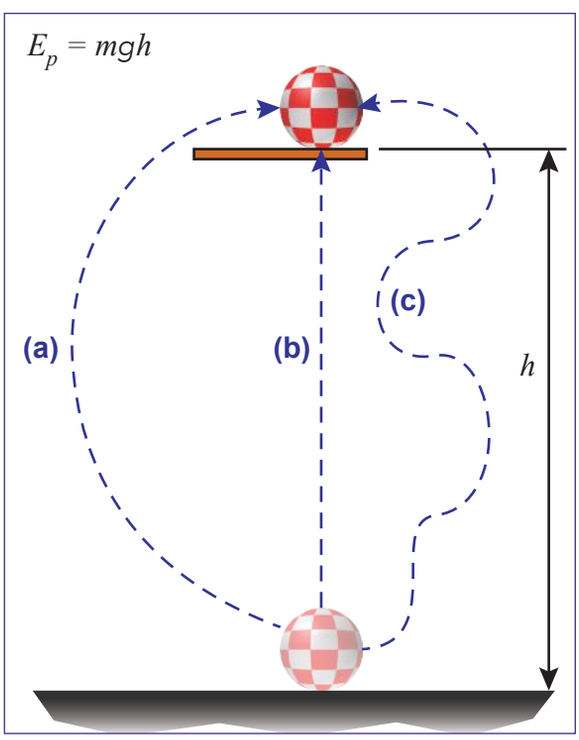
الشُّغل الذي تبذله قوة F عند تحريك جسم إزاحة d في اتجاه القوة يُعطى بالعلاقة: $W=Fd$

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

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

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

يفترض البرهان السابق أنّ الجسم يتحرّك في مسار مستقيم رأسيًّا لبلوغ الارتفاع النهائي h . ماذا لو أنّ الجسم يتحرّك على مسار مختلف؟ هل كانت طاقة الوضع التجاذبيّة ستختلف، إذا سلك الجسم مسارًا منحنيًا أطول من المسار الرأسي المباشر؟ **(الشكل 3-17)**

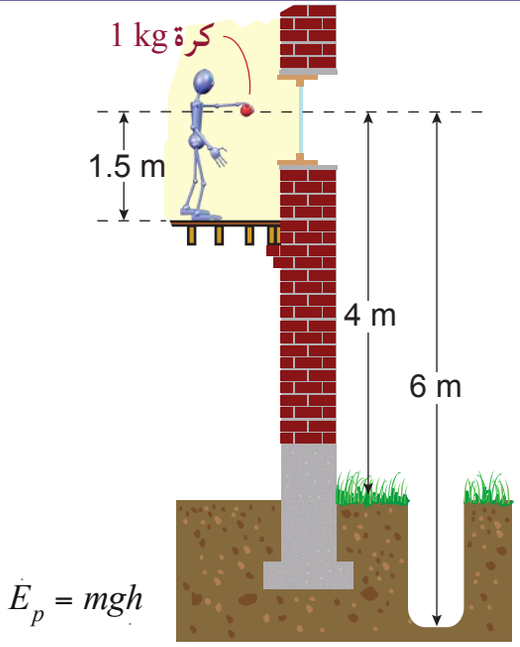


الشكل 3-17 طاقة الوضع النهائية لا تعتمد على المسار الذي تسلكه الكرة: (a) أو (b) أو (c).

في الحقيقة، يعتمد التغيّر في طاقة الوضع التجاذبية على نقطتي البداية والنهاية فقط، ولا يعتمد على شكل المسار الذي يسلكه الجسم بين هاتين النقطتين، لأن وزن الجسم يعتبر ثابتًا في تغيُّرات الارتفاع القصيرة. وفضلاً عن ذلك، فإن الشغل المبذول بواسطة 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 1 kg المبيّنة في **الشكل 3-18**؟ تقع الكرة على ارتفاع 1.5 m من أرضيّة الغرفة، أو 4 m فوق سطح الأرض، أو 6 m فوق قاع حفرة تقع خارج النافذة. بإجراء الحسابات سنجد أنّ $E_{P1} = 14.7\ \text{J}$، وَ $E_{P2} = 39.2\ \text{J}$ وَ $E_{P3} = 58.8\ \text{J}$، وذلك بالاعتماد على الارتفاع المُختار.

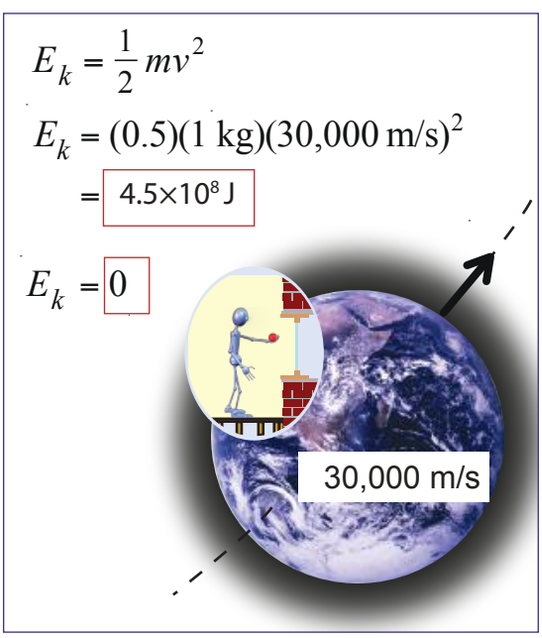


الشكل 3-18 الإطار المرجعي لطاقة الوضع.

تعتمد طاقة وضع الجسم على الإطار المرجعي الذي من خلاله يجري قياسها. ففي الإطار المرجعي للغرفة، تكون الكرة على ارتفاع 1.5 m من الأرضيّة، وتمتلك طاقة وضع 14.7 J. لكن في الإطار المرجعي للأرض والذي يكون أسفل الكرة بـ 4 m فإن الكرة ستمتلك طاقة وضع مقدارها 39.2 J.

إنّ اختيار الإطار المرجعي (القيمة الصفرية لطاقة الوضع التجاذبية) يكون اختيارًا حُرًّا. لأنّ ما يهم فعلاً هو التغيّر في طاقة الوضع، وليس قيمها المُطلقة. فالكرة التي تسقط مسافة 1.5 m تخسر 14.7 J من طاقة الوضع، ولا يهم عندها إذا سقطت من ارتفاع 1.5 m الى الصفر أو من 7.5 m إلى 6 m. إنّ التغيُّر في طاقة الوضع، سواء كان اكتسابًا أو فقدًا، لا يعتمد على اختيار الإطار المرجعي الصفري. فلدينا حريّة اختيار أي إطار مرجعي نريد ما دام يظلّ ثابتًا أثناء حل المسألة.

تعتمد الطاقة الحركيّة أيضًا على الإطار المرجعي. فالكرة الساكنة على يدك تكون سرعتها صفرًا بالنسبة إلى الإطار المرجعي ليدك. ينطبق الأمر نفسه على إطارك المرجعي المثبّت على الأرض، حيث تكون الطاقة الحركيّة للكرة صفرًا. وبالنسبة إلى الشمس، فإن الأرض والكرة تتحرّكان بسرعة 30,000 m/s ، وتكون الطاقة الحركية للكرة بالنسبة للشمس $4.5\times10^8\ \text{J}$.



الشكل 3-19 الإطار المرجعي للطاقة الحركيّة.

في الدرس اللاحق، سوف نرى كيفية استخدام تبادل الطاقة للتحليل والتنبؤ بالتغيُّرات في الأنظمة. من المفيد جدًا القُدرة على اختيار الإطار المرجعي الأنسب للمسألة.

مثال (5)

الرقم القياسي العالمي في رفع الأثقال والبالغ 263 kg مسجّل في العام 2004.

1. كم تكون طاقة الوضع التجاذبيّة لثقل كتلته 263 kg، إذا رُفع 2.0 m فوق سطح الأرض؟

2. كم يكون الشُّغل الذي يبذله شخص لرفع الثقل من الأرض إلى موضع فوق الرأس ارتفاعه 2.0 m؟

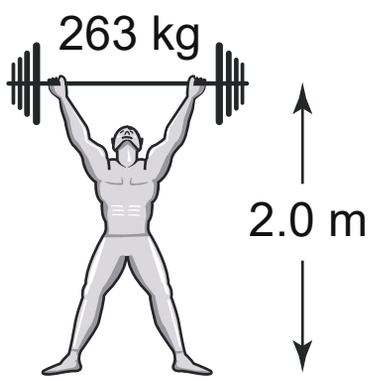
3. يتطلّب رفع الثقل نفسه إلى الارتفاع نفسه، ولكن على المِرّيخ، بذل شغل مقداره 1946 J . احسب قيمة g على المِرّيخ.

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

$g = 9.8 \text{m/s}^2$ ، $E_P = mgh$

الحل

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

2. بحسب المُعطى في الفرع (1)، فإنّ طاقة الوضع للثقل عند سطح الأرض ($E_P = 0$) وعند موضع أعلى الرأس هو 5,155 J. وبالتالي فإنّ أقل شُغل مبذول من الربّاع يساوي التغيّر في E_P، حيث:

$$W = \Delta E_p = 5155 \text{ J} - 0 \text{ J} = 5155 \text{ J}$$

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

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

طاقة الوضع المُرونيّة

سؤال للمناقشة

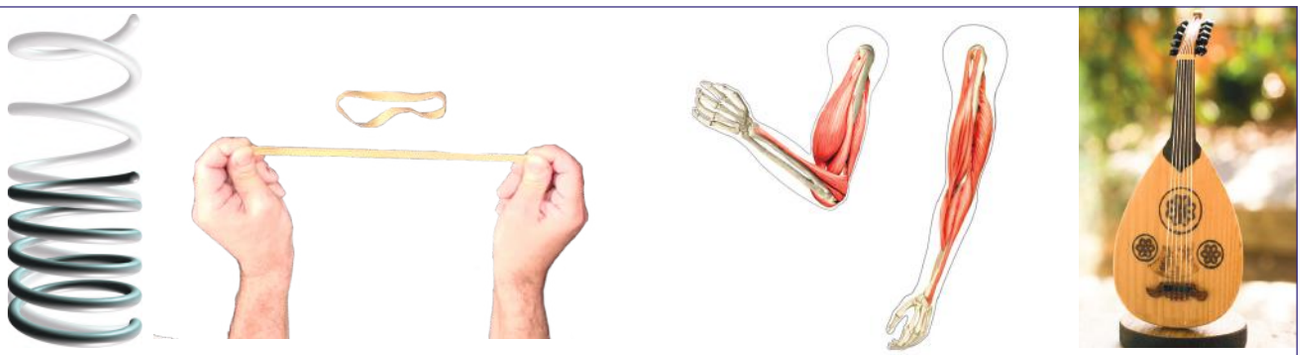
هل يمكنك التفكير في نظام آخر يختزن طاقة وضع؟

تنشأ طاقة الوضع بمجرّد وجود قوة ممنوعة من التأثير. عند السماح للقوة بالتأثير في الجسم تتحرّر طاقة الوضع الكامنة في الجسم، وتتحوّل إلى نوع آخر من الطاقة. في حالة طاقة الوضع التجاذبيّة، تكون قوة الجاذبيّة هي القوة المعنية . وفي حالة انضغاط زنبرك فإن قوة مرونة الزنبرك هي القوة المعنية، فهو يختزن طاقة وضع مرونية بداخله؛ وتتحرّر هذه الطاقة عند السماح للزنبرك بالتّحرر.

علينا بذل شغل ضد قوة شد الزنبرك لتغيير شكله عن طريق الاستطالة أو الانضغاط. يختزن الزنبرك طاقة **وضع مرونيّة Elastic potential energy** ما دام مشوّهًا (منضغطًا أو مشدودًا). وتتحرّر هذه الطاقة عندما يُسمح للزنبرك بالعودة إلى شكله الأصلي.

4-3	طاقة الوضع المرونيّة	E_E	طاقة الوضع المرونيّة (J)
	$E_E = \frac{1}{2}kx^2$	k	ثابت الزنبرك (N/m)
		x	مسافة الانضغاط أو الإستطالة (m)

المعادلة (4-3) نموذج لطاقة الوضع المرونيّة لزنبرك تشوّه (انضغط أو استطال) بمقدار، x، من طوله الحر، عندما تكون قوة الشد فيه صفرًا. تُسمّى الكميّة، k، **ثابت الزنبرك Spring constant** وهي تصف مقدار القوة التي يؤثر بها الزنبرك لكل متر من الاستطالة أو الانضغاط. يُعتبر الثابت k خاصيّة مميزة للزنبرك، وتختلف من زنبرك إلى آخر أو إلى موادّ مرنة أخرى. يقاوم الزنبرك قوى الانضغاط والاستطالة؛ وبالتالي تكون قيمة ثابته k كبيرة جدًّا. أما الزنبرك الرخو، فيكون ثابته مُنخفضًا.



أوتار العود — عضلات الإنسان — رباط مطاطي — 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 لتعيد الجسم إلى شكله أو موضعه الأصلي. يعرض **الشكل 3-20** أمثلة على أجسام تستطيع اختزان طاقة وضع مرونيّة.

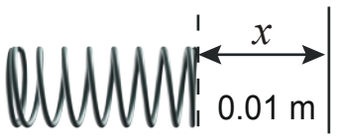
مثال (6)

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_E

المُعطى ثابت الزنبرك $k = 1000\ \text{N/m}$

الانضغاط $x = 1\ \text{cm}\ ،\ 2\ \text{cm}$

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 $(1\ \text{cm} = 0.01\ \text{m})$

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

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

$$= \boxed{0.05\text{J}}$$

2. الانضغاط هو $2\ \text{cm} = 0.02\ \text{m}$

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

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

تقويم الدرس 1.3

1. يجلس فتى كتلته 30 kg على عربة كتلتها 10 kg عند قمة هضبة ارتفاعها 10 m.

a. ما مقدار طاقة الوضع الابتدائيّة للفتى والعربة معًا؟

b. ما مقدار طاقتهما الحركيّة الابتدائية؟

2. تتحرّك سيّارة كتلتها 1,000 kg بسرعة 15 m/s فتوقفت نتيجة استخدام المكابح لمسافة 20.0 m.

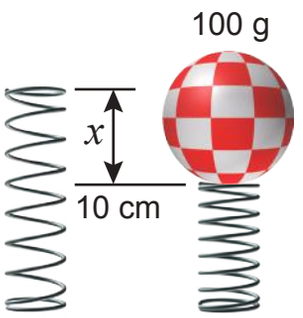
a. ما مقدار الطاقة الحركيّة الابتدائيّة للسيّارة؟

b. ما مقدار الطاقة الحركيّة النهائيّة للسيّارة؟

c. ما مقدار الشُّغل المبذول من قوّة الفرامل لإيقاف السيّارة؟

d. ما متوسّط القوة المُطبّقة لإيقاف السيّارة؟

3. زنبرك عمودي ثابته k = 100 N/m يُضغط بمقدار 10 cm بواسطة كتلة 100 g.



a. ما مقدار طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في الزنبرك المضغوط؟

b. كم يجب أن تكون طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في النابض إذا ضغطناه المسافة السابقة نفسها، لكن بواسطة كتلة 300 g؟

4. اذا اقتطعنا من صندوق نصف كتلته، وقمنا برفعه إلى ارتفاع أربعة أمثال ما هو عليه. فهل تتغيّر طاقة وضعه؟ وضح اجابتك بالحساب.

5. ما مقدار الاستطالة التي يجب أن تحدث لزنبرك لتصبح طاقة وضعه المرونية 1 J علمًا أنّ ثابته هو 1,000 N/m.

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

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

7. تتحرك سيارة كتلتها 2000 kg إلى أعلى سطح يميل بزاوية 30° عن الأفقي تحت تأثير قوة محرك 30,000 N وقوة احتكاك 500 N . احسب الشغل الذي يبذله كل من القوى التالية إذا قطعت إزاحة 100 m.

a. وزن السيارة

b. القوة العمودية للسطح المائل

c. قوة الاحتكاك

d. قوة المحرك

الدّرس 3-2
حفظ الطاقة

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

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

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 ومسار الحركة للعربة، وتَحوّل طاقتها إلى شغل مبذول ضد الاحتكاك، يظهر معظمه على شكل حرارة.

مخرجات التّعلُّم

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

المفردات

نظام	System
طاقة ميكانيكية	Mechanical energy

تحوُّلات الطاقة

تشهد كل عملية تحدث في الطبيعة، أو في عالم التكنولوجيا، تحوُّلًا للطاقة من شكل إلى شكل آخر. تعلّمنا في الدرس السابق عن الأنظمة والأجسام التي لديها طاقة حركية وطاقة وضع. وهذان شكلان من أشكال الطاقة الشائعة في مسائل الفيزياء. يوضح **الشكل 3-22** عددًا قليلًا من تحوُّلات الطاقة الكثيرة التي تحدث قبل سباق السيارات وخلاله.

سؤال للمناقشة

ما نوع الطاقة التي تحملها السيارة خلال حركتها؟

من أين تحصل السيارة على الطاقة؟

الشكل 3-22 تدفُّق الطاقة من الشمس إلى سيارة السباق.

يعدّ اختراع السيارة سببا لمضاعفة استهلاك الطاقة. يقوم الإنسان العامل 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 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.

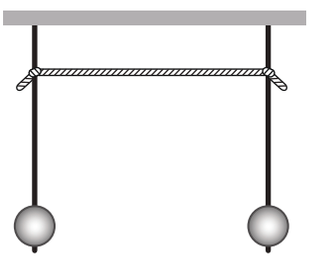
خطوات التّجربة

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

1. أضئ شعلة الغاز بعود ثقاب.

تحوُّلات الطاقة، هي:

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

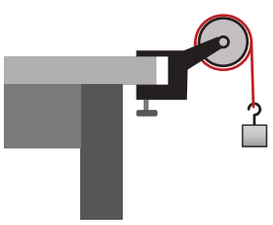


تحوُّلات الطاقة، هي:

3. اسحب الكُتلة إلى الأسفل، ثم دعها تتحرَّك.

تحوُّلات الطاقة، هي:

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

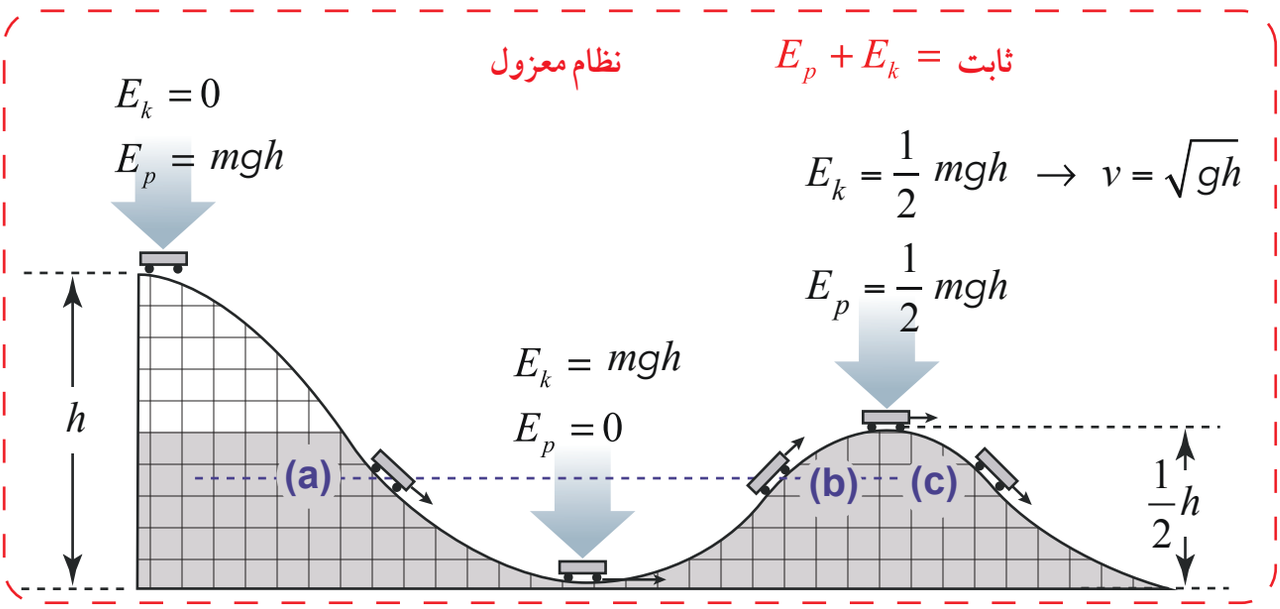


تحوُّلات الطاقة، هي:

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

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.

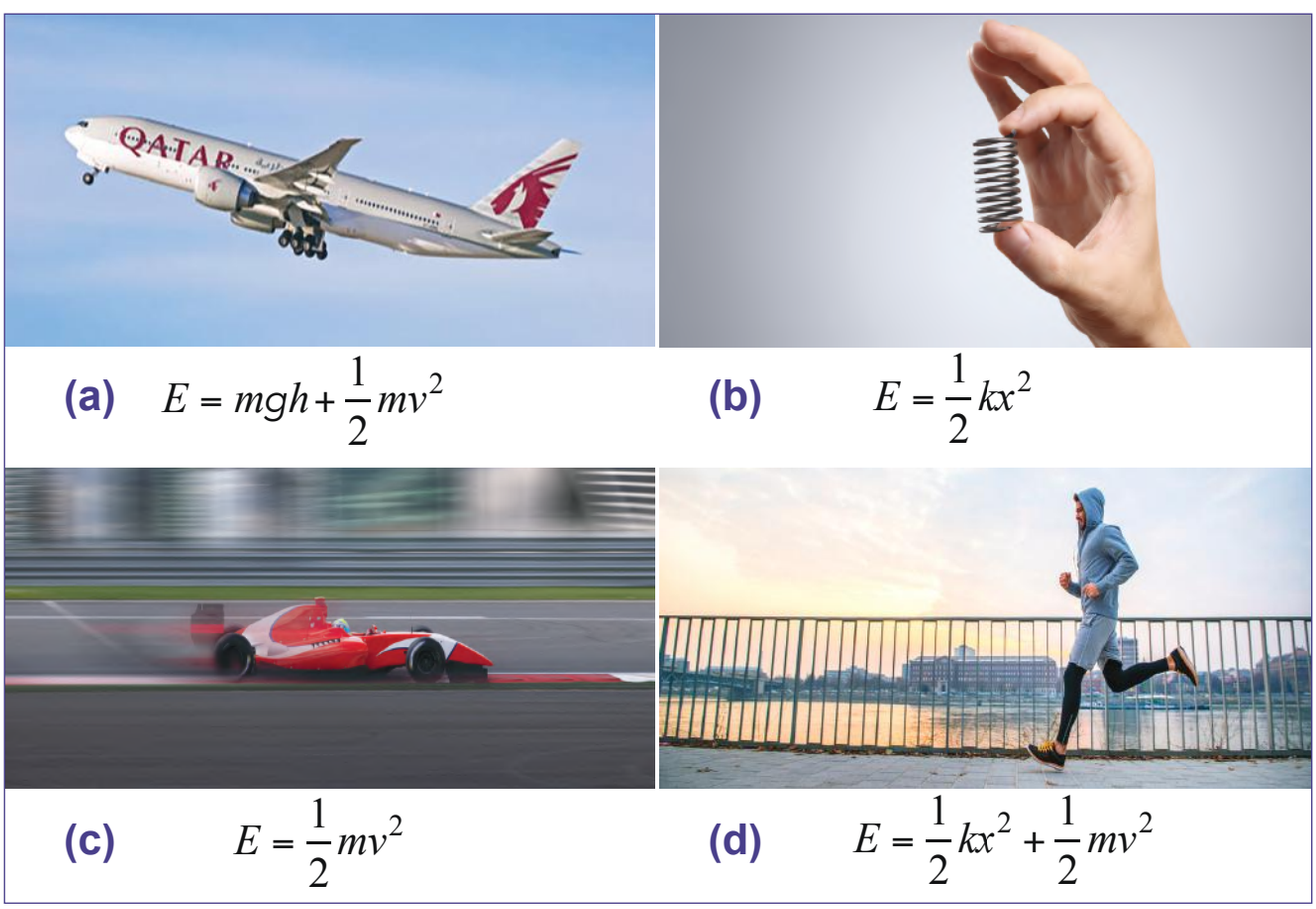
يمكننا اعتبار النظام السابق معزولًا إذا أهملنا قوة الاحتكاك ومقاومة الهواء، إلا أن ذلك غير صحيح عمليًّا. يؤدي وجود الاحتكاك إلى تحويل جزء من الطاقة الميكانيكية الكليّة إلى حرارة، الأمر الذي يعني تناقص الطاقة الميكانيكية باستمرار. أما الطاقة الحرارية المفقودة فهي ليست ضائعة؛ ولكن لا يجري احتسابها بالتحليل 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 الطاقة التي تريد حسابها مثل، الطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، وطاقة الوضع المرونية، والشغل المبذول.
2. طبّق قانون حفظ الطاقة قبل التغيير وبعده؛ ذلك أن قيمة الطاقة الكلية قبل التغير تساويها بعد التغيير.
3. حل المعادلة للحصول على إجابتك.

كرة تسير بسرعة v، على مسار أفقي مهمل الاحتكاك. عند نهاية هذا المسار، تصعد الكرة على مسار رأسي. بإهمال احتكاك الهواء، ماهو أقصى ارتفاع يمكن للكرة أن تصله؟

الخطوة 1 النظام هو الكرة المتفاعلة مع قوة الجاذبية. تتغيّر طاقة الكرة من طاقة حركية بسبب سرعتها v، إلى طاقة وضع تجاذبية، لوصولها إلى ارتفاع h بسرعة $v = 0$. نختار النظام، ثم نحدّد أنواع الطاقة قبل التغيُّر وبعده.

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

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

الخطوة 2 نطبِّق قانون حفظ الطاقة الكلّية: الطاقة الكلية قبل التغيُّر تساوي الطاقة الكلية بعد التغيُّر، ثم نحذف العناصر التي تكون قِيَمها أصفارًا.

قبل التغير: $mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd$ (0, 0, 0)

$=$

بعد التغير: $mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd$ (0, 0, 0)

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

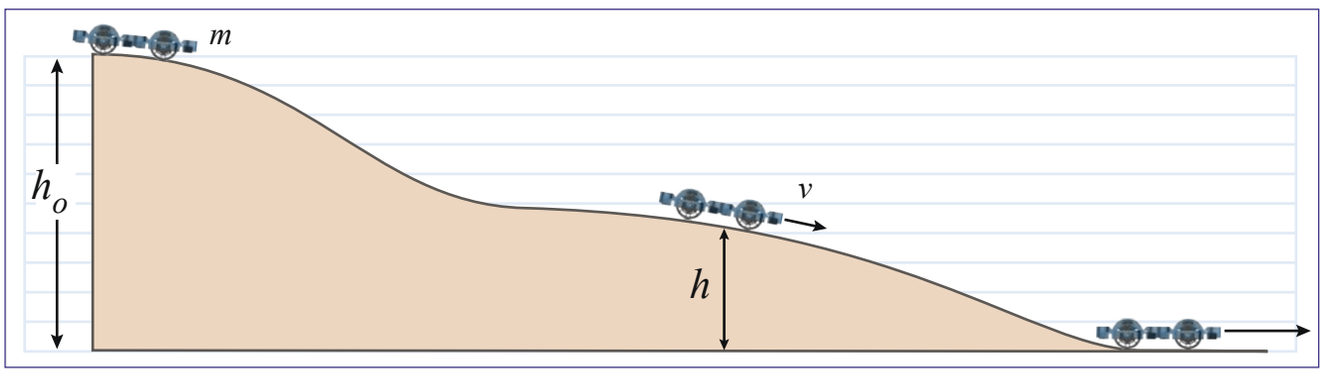
$$h = \frac{v^2}{2g}$$

الجواب

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

مثال (7)

عربة كتلتها m، موضوعة على تلّة مهملة الاحتكاك. بدأت الحركة من السكون نزولًا من ارتفاع h_o. جد علاقة تربط بين سرعة العربة v والارتفاع h.



الشكل 3-25 عربة تتحرّك نزولًا على تلة.

السؤال علاقة تربط السرعة v بالارتفاع h .

المعطيات الكتلة m، الارتفاع الابتدائي h_o، السرعة الابتدائية $v_o = 0$

الحل

1. اكتب أشكال الطاقة عند نقطة البداية، ثم عند ارتفاع h.
2. اكتب قانون حفظ الطاقة، واحذف الكمّيات التي قيمتها أصفار.
3. احسب قيمة v.

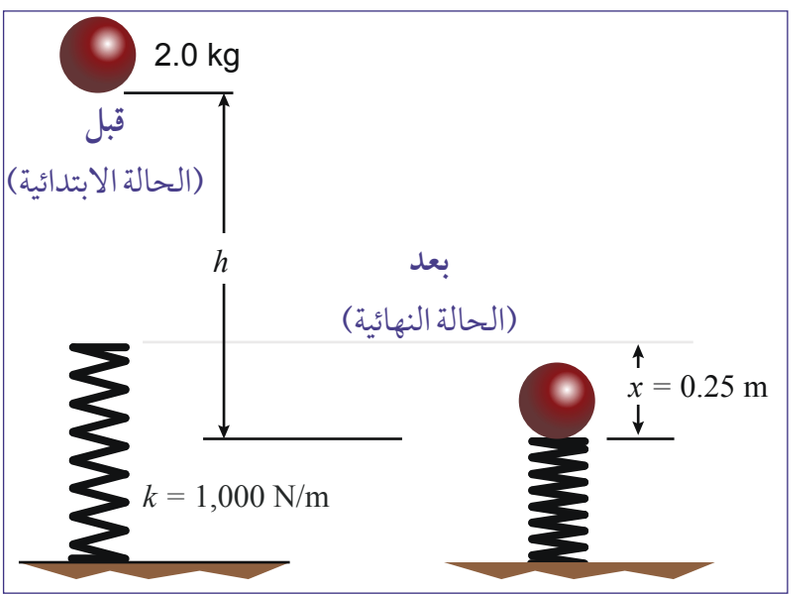
	البداية عند h_o		الوصول عند h
1	$mgh_o + \frac{1}{2}mv^2$		$mgh + \frac{1}{2}mv^2$
2	$mgh_o + \frac{1}{2}mv^2$	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2$
	($\frac{1}{2}mv^2 \to 0$)		
3	mgh_o	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2$

الجواب $v = \sqrt{2g(h_o - h)}$

حل مسائل الطاقة التي تشتمل على زُنبرك

عندما يرد الزنبرك في مسألةٍ لا بدّ أن يظهر النوع الثالث من الطاقة، وهو طاقة الوضع المرونية. لذلك ستكون الطاقة الميكانيكية في أي مسألة فيها زنبرك، مشتملة على الطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، وطاقة الوضع المرونية.

لنفترض أن كرة كتلتها 2 kg أُسقِطت من السكون ومن ارتفاع h على زنبرك رأسي ثابته $k = 1000\ \text{N/m}$، كما في **الشكل 3-26**. بإهمال احتكاك الهواء، احسب الارتفاع h بين نقطة السقوط الابتدائية والنقطة التي كان انضغاط الزنبرك فيها عند قيمته القصوى، مع العلم أن الزنبرك قد انضغط بقيمة قصوى تساوي 25 cm.



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، واحذف الكمّيات التي قيمتها صفر.
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 ←
$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$
(الحدود $\frac{1}{2}mv^2$ و $\frac{1}{2}kx^2$ في الطرف الأيسر تساوي 0، والحدود mgh و $\frac{1}{2}mv^2$ في الطرف الأيمن تساوي 0)

3 ←
$$mgh = \frac{1}{2}kx^2$$

الجواب
$$h = \frac{kx^2}{2mg}$$

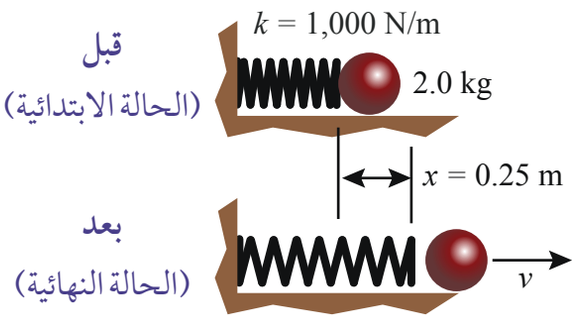
نحوّل 25 cm إلى 0.25 m، ونعوّض عن القيم للحصول على الارتفاع الابتدائي:

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

مثال (8)

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

احسب الطاقة الميكانيكية للنظام. (أهمل جميع أنواع الاحتكاكات)



المطلوب الطاقة الميكانيكية والسرعة

المعطى
$k = 1000\ \text{N/m}$
$x = 0.25\ \text{m}$
$m = 2\ \text{kg}$

العلاقات الطاقة الميكانيكية

الحل

الطاقة الميكانيكية للنظام في الحالتين الابتدائية والنهائية تبقى ثابتة. ففي الحالة الابتدائية، تعتمد الطاقة الميكانيكية على طاقة الوضع المرونية للزنبرك. وتعتمده في الحالة النهائية، على الطاقة الحركية للكرة. تكون الطاقة الميكانيكية الابتدائية:

$$E_p = \frac{1}{2}Kx^2 = \frac{1}{2}(1{,}000\ \text{N/m})(0.25\ \text{m})^2$$

$$E_P = 31.25\ \text{J}$$

والآن سنحسب قيمة السرعة القصوى:

	الحالة الابتدائية		الحالة النهائية
اكتب قانون حفظ الطاقة ←	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$
اشطب القيم التي تساوي أصفارًا ←	$mg\cancel{h}_{0} + \frac{1}{2}m\cancel{v}^2_{0} + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mg\cancel{h}_{0} + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k\cancel{x}^2_{0}$
عوض بالقيم المعطاة لكي تجد قيمة المطلوب ←	$\frac{1}{2}kx^2$	=	$\frac{1}{2}mv^2$

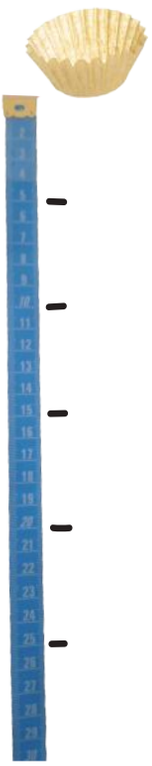
الحل ← $v = x\sqrt{\frac{k}{m}}$

$$v = (0.25\ \text{m})\sqrt{\frac{1{,}000}{2.0}} = \boxed{5.6\ \text{m/s}}$$

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 الكاميرا أمام الورقة، حيث يمكنك التقاط مشهد كل المسافات التي تقطعها مصفاة القهوة، وتصوّرها.
4. قف على الكرسي، والتقط المصفاة بيدك، وضعها على العلامة 0 cm للورقة 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

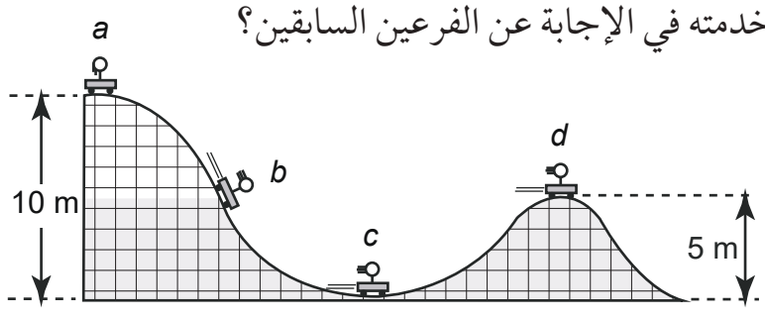
a. استخدام تسجيلات الكاميرا، لكي تدوِّن على جدول الأوقات المسجَّلة لحظة عبور المصفاة نهاية الورقة.
b. سجِّل المسافات التي قطعتها المصفاة، ثم احسب السرعة بتحليل المعطيات المتوافرة (يمكن للمعلّم مساعدتك في ذلك).
c. احسب طاقة الوضع التجاذبية الابتدائية باستخدام الارتفاعات التي دوّنتها.
d. احسب الطاقة الحركية النهائية باستخدام السرعات التي حسبتها.
e. قارن بين قيمتي الطاقتين في البندين c و d.هل هما متساويتان؟ اذا كانت القيم مختلفة، فاذكر سبب ذلك؟

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 أقصى ارتفاع خلال حركتها؟
b. ما الطاقة الكلّية للكرة عندما تصل إلى الحلقة؟
c. ما المبدأ الذي استخدمته في الإجابة عن الفرعين السابقين؟

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:

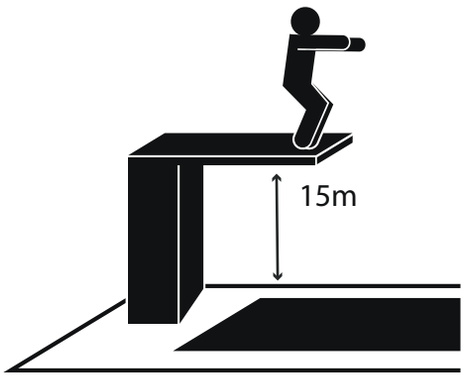


a. عند أي نقطة تكون طاقة الوضع التجاذبية للعربة أقصى ما يمكن؟
b. عند أي نقطة تحقّق العربة سرعتها القصوى؟
c. عند أي موقع أو مواقع، تكون للطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، القيمة ذاتها؟

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



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

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 محرِّكات 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 واط هذه الفكرة لاحقًا في بحوث المحرِّكات البخارية الخاصة به، والترويج لبيعها، حيث قاس واط الزمن اللازم كي يدوّر المهرُ حجر الرحى في مطحنة الحبوب، وضرب المسافة التي يمشيها المُهر في دورته بكتلته وقسم الناتج على الزمن المستغرق، وبما أن هذا البحث جرى باستخدام المهور؛ وضع واط أفتراضًا بأن قوة الحصان يجب أن تكون مثليّ قوة المُهر، واليوم نعرف أن قدرة الحصان الواحد هي في الواقع 0.7 وحدة قدرة حصانية (hp).

الشكل 3-27 قدرة الحصان الواحد =0.7 hp

مخرجات التّعلُّم

P1108.1 يعرّف القدرة بأنها المعدل الزمني لإنجاز كمية محددة من الشغل، أو المعدل الزمني لتحويل الطاقة،

ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة: $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$

P1108.2 يوضّح أن القدرة مرتبطة بانتقال الطاقة بين أجزاء النظام المختلفة وتقاس بوحدة الواط (Watt).

P1108.3 يشرح أنه في جميع عمليات تحولات الطاقة يحدث تبديد (فقد) لجزء من الطاقة ولا يمكن تخزينه أو استخدامه بطريقة مفيدة.

P1108.4 يحسب الكفاءة لنظام باستخدام المعادلة:
الكفاءة = الطاقة المتحولة المفيدة / الطاقة الكلية الداخلة.

المفردات

قدرة حصانية (hp)	Horsepower (hp)
الكفاءة	Efficiency
مُخطَّط سانكي	Sankey diagram

القدرة

سؤال للمناقشة

كيف تصف نفسك بأنك حيوي؟
كيف تصف نفسك بأنك قوي؟
هل يمكنك التمييز بين الحالتين؟ أم أنهما متشابهتان؟

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؟

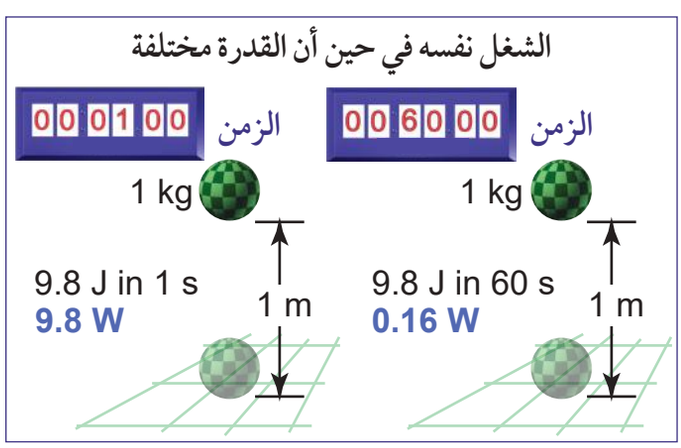
في الواقع، يكون الشغل الكلّي المبذول هو نفسه في كلتا الحالتين؛ لكن **القدرة Power** المطلوبة مختلفة. فالقدرة هي المعدَّل الزمني الذي يُبذل فيه الشغل، أو المُعدَّل الزمني الذي تتنقل فيه الطاقة. ويقاس الشغل بالجول، في حين تقاس القدرة بالجول لكل ثانية. فقدرة مقدارها جول واحد لكل ثانية (J/s) هي **واط واحد watt (W)**، والواط سمي بهذا الاسم تكريمًا للعالم جيمس واط وهو المهندس الاسكتلندي الذي طوّر أول محرِّك بخاري عملي، أمكن بواسطته 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 60 s يعني بذل قدرة مقدارها 0.16 W، وهي قدرة حيوان صغير بحجم فأر صغير تقريبًا. أما إنجاز الشغل 9.8 J نفسه في 1 s فيتطلّب 9.8 W من القدرة، وهذه أكبر بـ 60 مرة من حالة إنجازه في 60 s.



الشكل 3-28 مثال على القدرة عند رفع الكرة.

الشُّغل المبذول 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 العلاقة $F = \frac{W}{d}$. تذكّر أن تحوّل الكتلة إلى وزن.) هذه هي كمية الطاقة التي تبذل خلال ثني الذراع مرة واحدة.
3. الآن، وبمساعدة زميلك وساعة إيقاف، قم بإحصاء عدد مرات ثني الذراع التي يمكنك إنجازه في 60 s.
4. اقسم 60 s على عدد مرات ثني الذراع للحصول على زمن ثنيّ الذراع في المرة الواحدة .
5. اقسم الطاقة على زمن ثني الذراع لمرّة واحدة وذلك لحساب قدرة الذراع.
6. كرّر خطوات النشاط باستخدام كتل مختلفة.

الشكل 3-29 موقعا البداية والنهاية لثنيّ الذراع.

الأسئلة

a. ما رأيك في مدى دقة 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 (9)

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

المطلوب الطاقة ΔE التي يستخدمها المصباح .

المعطى قدرة المصباح الكهربائي $P = 100\ \text{W}$

الفترة الزمنية لتشغيل المصباح $\Delta t = 1\ \text{hr}$

الفترة الزمنية لتشغيل المصباح $\Delta t = 24\ \text{hr}$

العلاقات القدرة $P = \dfrac{\Delta E}{\Delta t}$

الحل يجب التعبير عن الزمن بالثواني، فنحوّله من ساعات إلى ثوان، كما يأتي:

$$\Delta t = 1\text{hr}\left(\frac{60\,\text{min}}{1\text{hr}}\right)\left(\frac{60\text{s}}{1\,\text{min}}\right) = \boxed{3,600\ \text{s}}$$

لإيجاد ΔE نضرب معادلة القدرة في الزمن المُستغرَق

$$P \times \Delta t = \frac{\Delta E}{\Delta t} \times \Delta t \Rightarrow \Delta E = P\Delta t$$

$$\Delta E = P\Delta t = (100\text{W})(3,600\text{s}) = \boxed{360,000\ \text{J}}$$

لحساب الطاقة المستهلكة في 24 ساعة (يوم كامل) للمصباح نفسه، نحتاج إلى مضاعفة الزمن في الجزء الأول 24 مرة.

$$\Delta t = \frac{3,600\text{s} \times 24\text{hr}}{1\text{hr}} = 86,400\ \text{s}$$

$$\Delta E = P\Delta t = (100\text{W})(86,400\text{s}) = \boxed{8,640,000\ \text{J}}$$

فالمصباح الذي قدرته 100 w يستخدم 8.64 ملايين جول من الطاقة في اليوم الواحد.

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 **قدرة حصانية «hp»** **Horsepower**، وهي تساوي 746 W.

قـدرة المحرك الكهربائي في الغسّالة المثالية تساوي $\frac{1}{2}$ hp أو 373 W، وهي القدرة نفسها تقريبًا التي يستهلكها رياضي ذو لياقة عالية خلال سباق. قدرة المحرِّك في المنشار الكهربائي تبلغ حوالي 1.5 hp، في حين يعمل محرِّك سيارة صغير بقدرة 100 hp تقريبًا. ويمكن أن يبذل 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 وحدة قدرة حصانية يحتاج منزلك لتزويده بالطاقة؟

الشكل 3-30 أمثلة يومية للقدرة.

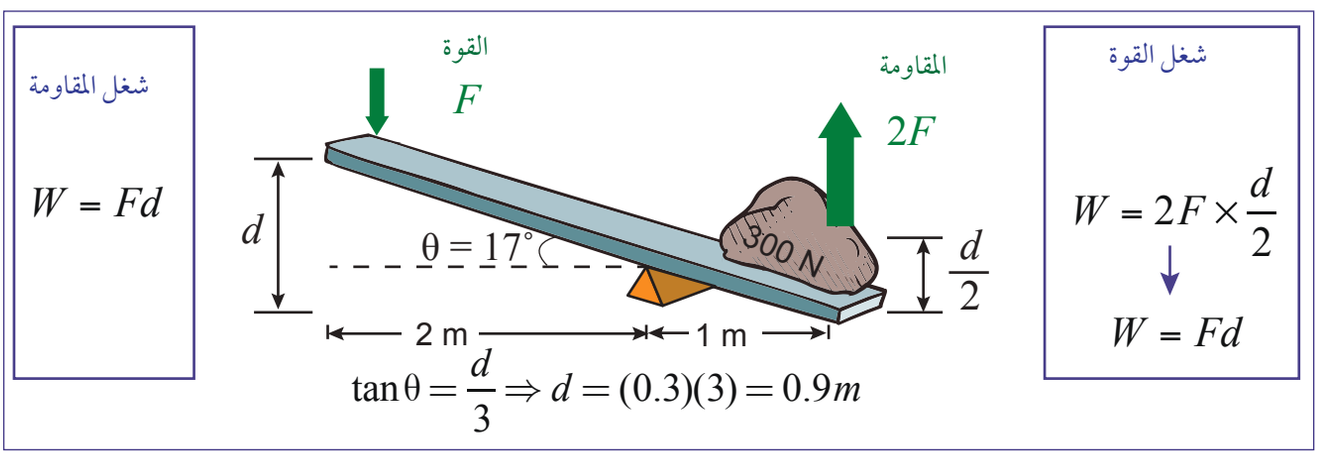
جدول 3-1 القدرة المستهلكة في الأجهزة المستخدمة يوميًّا.

الجهاز	القدرة المستهلكة (hp)	القدرة المستهلكة (W)
مكيّف هواء	4.7	3,500
مكنسة كهربائية	1.9	1,400
تلفزيون lcd /led	0.13	91.5
فرن ميكروويف	1.6	1,200
حاسوب مكتب	0.4	300
شاحن هاتف	0.003-0.008	2-6
غسّالة كهربائية	1.3	1000
مكواة كهربائية	2	1,500
مجفف شعر	2	1,500
ثلاجة	0.3	200

الآلات المثالية

في الآلة المثالية يكون الشغل المبذول على الآلة مساويًا للشغل الذي تنتجه. وإذا لم يتم تخزين الطاقة، تكون القدرة الداخلة مساوية للقدرة الناتجة.

تعتبر الرافعة مثالًا جيدًا لهذه الحالات، فالرافعة التي تكون مقاومتها (المخرج) ضعفي قوتها (المدخل) تستطيع تحريك المقاومة مسافة تساوي نصف المسافة التي تقطعها القوة **الشكل (3-31)**. في الآلة المثالية، يتم نقل الشغل من القوة إلى المقاومة بدون أي طاقة مفقودة. يمكن أن تتغير المسافات والقوى، كل على حدة، ولكن شغل القوة يساوي شغل المقاومة.



الشكل 3-31 الشغل المبذول عند طَرَفَي رافعة.

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

قدرة القوة والمقاومة

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

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

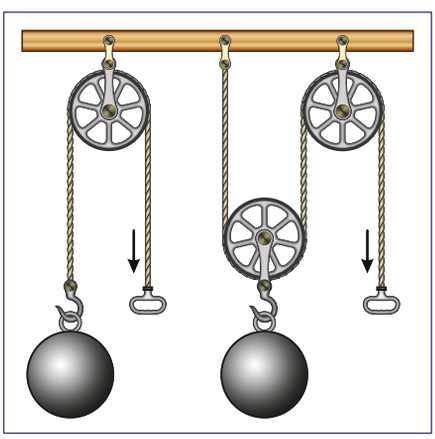
شغل القوة والمقاومة

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

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

البكرات هي مثال آخر على الآلات البسيطة التي تستخدم القوى للحصول على شغل ناتج، باستخدام قوة أقل من المقاومة. كما في **الشكل (3-32)**. يمكن ترتيب البكرات من أجل مضاعفة القوى، إلا أن الحبل يجب أن يُسحب مسافة أطول من أجل رفع ثقل أكبر.

يكون شغل القوة مساويًا لشغل المقاومة وكذلك قدرتيهما في حالة البكرات الخفيفة غير الإحتكاكية. فالناقل هو آلة بسيطة تنقل القدرة نفسها من القوة إلى المقاومة من خلال تغيير القوى والمسافات.

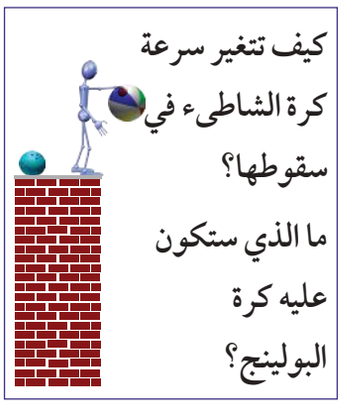


الشكل 3-32 البكرات آلات بسيطة.

الكفاءة

تخيّل أنك أسقطت كرة شاطئ من قمة بناء كما في (**الشكل 3-33**). تتفق السرعة عند بداية السقوط تمامًا مع الصيغة المشتقّة من قانون حفظ الطاقة، ولكن مقاومة الهواء لسقوط الكرة تزداد بازدياد السرعة إلى درجة أن سرعة الكرة لا يمكن أن تزداد بعد ذلك.

تصف **الكفاءة Efficiency** مدى جودة عملية تحوّل الطاقة الداخلة إلى طاقة خارجة مفيدة. فالسرعة المقيسة لكرة الشاطئ تكون أقل من السرعة النظرية المتوقعة، لأن كفاءة تحوّل طاقة الوضع إلى طاقة حركية تتناقص حتى تصل إلى الصفر عندما تبلغ الكرة سرعتها القصوى، بسبب تأثير إعاقة الهواء لحركتها.



الشكل 3-33 إسقاط كرات مختلفة من الارتفاع نفسه.

يمكنك بسهولة التعرف على مفهوم 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

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

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

بما أن الشغل والطاقة يرتبط كل منهما بالآخر مباشرة، يمكن التعبير عن الكفاءة أيضًا كنسبة الشغل الذي يؤدّيه النظام إلى الشغل الداخل إليه.

يعدّ المصباح المتوهِّج مثالًا شائعًا على الكفاءة المنخفضة جدًا للطاقة. فالمصباح المتوهِّج يستهلك طاقة داخلة 100 J من الطاقة الكهربائية، وينتج طاقة خارجة 2 J من الطاقة الضوئية، وكفاءته هي 2% فقط، حيث أن 98 J الأخرى تُهدر على شكل حرارة. أما مصباح الفلورسنت فإن كفاءته أعلى كثيرًا، إذ تصل إلى 9%. فطاقة داخلة مقدارها 23 J من الطاقة الكهربائية تعطي الطاقة الخارجة من المصباح المتوهِّج نفسها أي 2 J من الطاقة الضوئية (**الشكل 3-34**).

الشكل 3-34 مقارنة بين المصباح المتوهِّج ومصباح الفلورسنت.

مثال (10)

يبذل رجل 2,000 J من الشغل عند دفعه صندوقًا إلى أعلى منحدر. فإذا استهلك 800 J من الطاقة للتغلّب على الاحتكاك:

a. ما مقدار الشغل المفيد الذي بذله؟

b. ما هي كفاءة العملية؟ اكتب الكفاءة كنسبة مئوية.

المطلوب

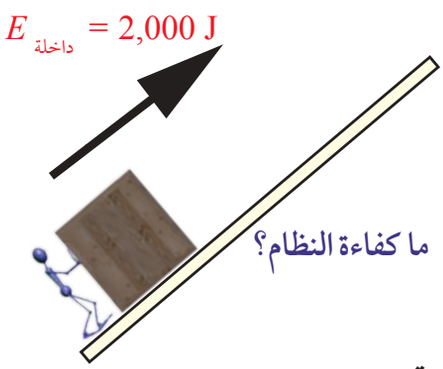
الشغل المفيد المبذول

الكفاءة

المعطى

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

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



العلاقات

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

الحل

a. نحتاج أولًا أن نحسب الشغل المفيد الناتج، 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:

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

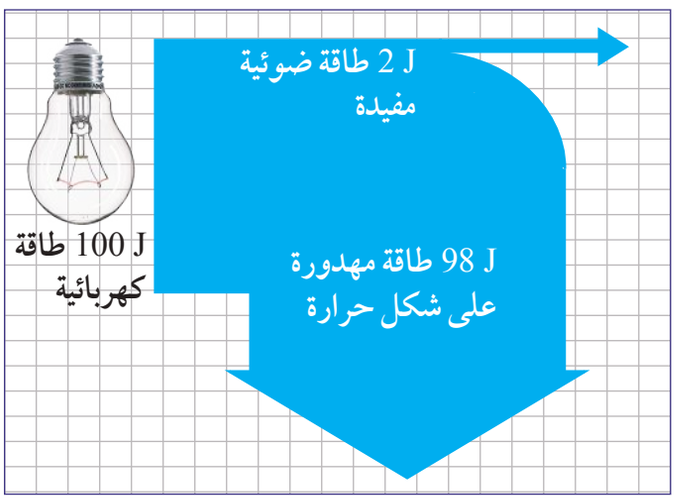
وبتحويلها إلى نسبة مئوية تصبح: $0.6 \times 100\% = \boxed{60\%}$

يُفضّل في بعض الحالات تحويل الكفاءة إلى نسبة مئوية؛ لأن إدراك أن كفاءة النظام 60% أكثر سهولة من إدراك 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.

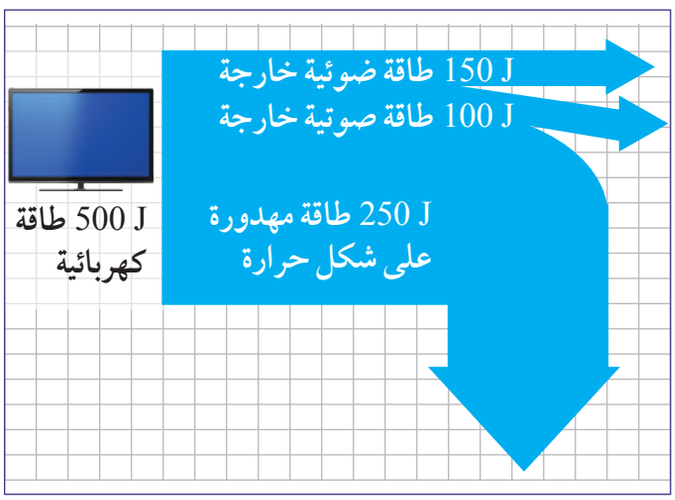
تُستخدَم مُخطَّطات سانكي أساسًا عند الإشارة إلى الكفاءة. فالمصباح المتوهِّج، كما في المُخطَّط، يستهلك 100 J من الطاقة الكهربائية، وينتج 2 J فقط من الطاقة الضوئية، في حين تتحوّل 98 J، وهي الطاقة المتبقية، إلى حرارة (**الشكل 3-35**).



الشكل 3-35 مخطط سانكي لمصباح متوهّج.

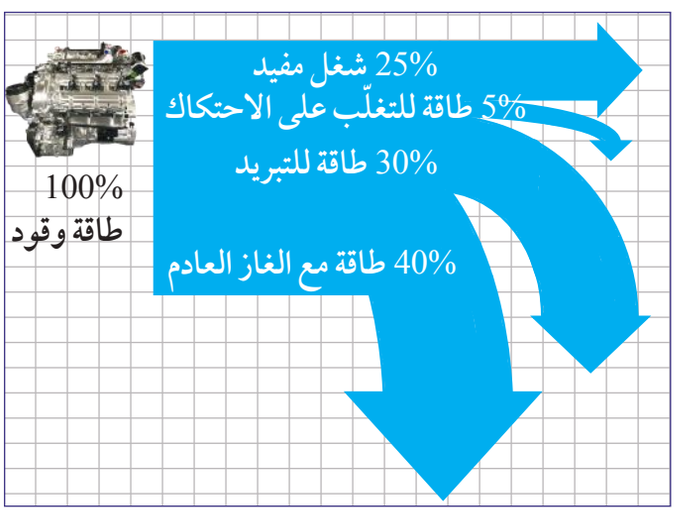
هذا هو السبب في أن المصابيح المتوهِّجة تكون حارّة جدًا عند لمسها، ولا تستبدل إلا عندما تكون مطفأة.

يطبّق قانون حفظ الطاقة على كمّية الطاقة التي تدخل النظام، وعلى كمية الطاقة التي تخرج منه. ومع ذلك، لا تكون كل الطاقة الخارجة مفيدة لنا، بل معظمها يُعدّ طاقة مفقودة. فجهاز التلفزيون الحديث (**الشكل 3-36**) يستهلك حوالي 500 J من الطاقة الكهربائية؛ وينتُج في هذه الحالة نوعان من الطاقة المفيدة الخارجة هما الضوء والصوت؛ وهذا يجعل كفاءة جهاز التلفزيون الحديث حوالي 50%.



الشكل 3-36 مخطط سانكي لتلفزيون.

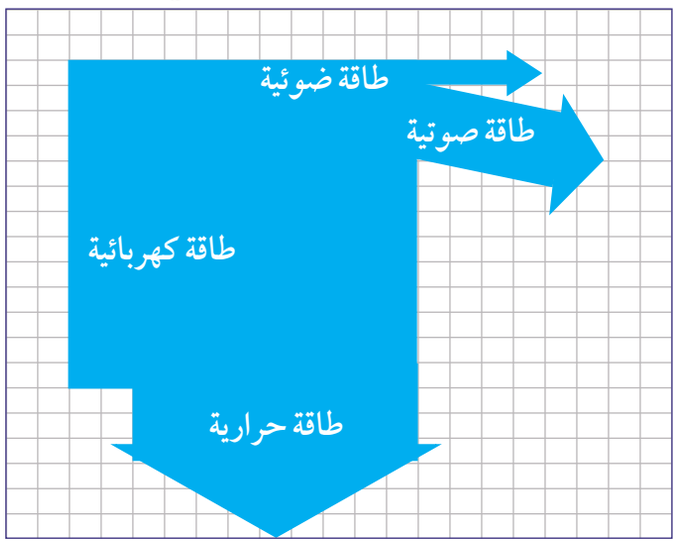
لا نعتمد فقط على الجول في مخطّطات سانكي، إذ يمكننا استخدام الواط، أو حتى النسب المئوية، فمحرِّك السيارة المثاليّ يستخدم فقط 25% من الوقود للسير ولتشغيل الأجهزة الإضافيّة المكمّلة (**الشكل 3-37**)، وتهدر بقية الطاقة أو تُستخدَم في تبريد محرك السيارة لمنع ارتفاع درجة حرارته .



الشكل 3-37 مخطّط سانكي لآلة.

مثال (11)

يمثِّل مُخطَّط سانكي تدفق 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

توجد 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: $10\text{ J} + 30\text{ J} = 40\text{ J}$

أما الطاقة المهدورة، فهي طاقة حرارية يبلغ عرض الطاقة الحرارية بعرض 9 مربّعات، أي إن الطاقة الحرارية تساوي: $9 \times 10 = 90$ J

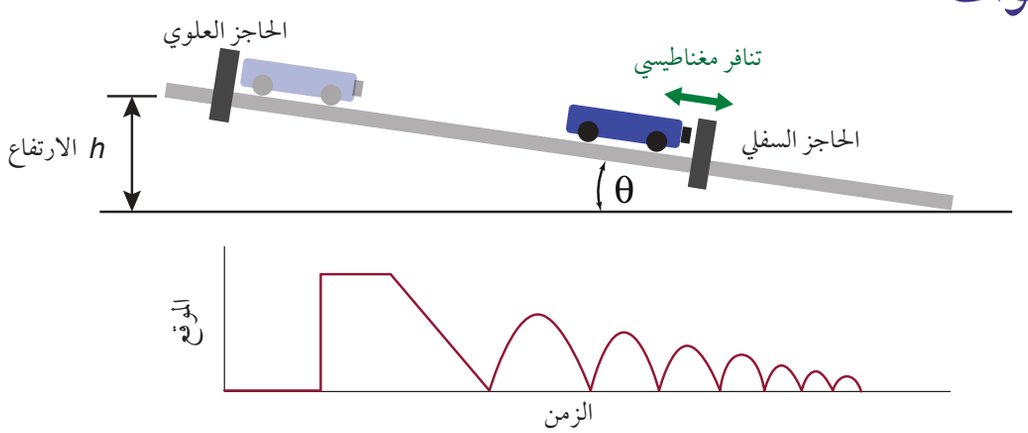
مجموع الطاقة الخارجة: $40\text{ J} + 90\text{ J} = 130\text{ J}$

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. ضع العربة عند الحاجز العلوي ثم اتركها تتحرك على المنحدر. ستحصل على عدّة تصادمات بين العربة والحاجز السفلي.
4. احصل على رسم بياني لمنحنى الموقع على المنحدر (المحور الرأسي) بدلالة الزمن (على المحور الأفقي). باستخدام قارئ البيانات.
5. سيكون رسمك البياني شبيهًا بالرسم أعلاه.

الأسئلة

a. احسب زاوية ميل θ بدلالة طول المنحدر وارتفاعه.
b. قِس ارتفاع كل قيمة قصوى على الرسم البياني بعد كل تصادم واحصل على الارتفاع الرأسي للعربة.
c. احسب طاقة الوضع التجاذبية للعربة عند كل قيمة قصوى على الرسم البياني وذلك بمعرفة الكتلة والارتفاع.
d. استخدم بياناتك لحساب الكفاءة في نقل الطاقة بين المجال المغناطيسي والعربة عند كل تصادم.
e. صف تغير الكفاءة في تحولات الطاقة.

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 رأسيًا إلى الأعلى ووضعها على المنصة في 3.0 s؟
   b. ما مقدار القدرة اللازمة لرفع العربة إلى المنصة بتحريكها 6 m على سطح مائل؛ حيث تستغرق عملية التحريك هذه 20 s؟
   c. ما مقدار القدرة اللازمة لرفعها إلى المنصة إذا كان طول السطح المائل 12 m وزمن الحركة 20 s؟

2. a. ما فوائد السيارة ذات القدرة الحصانية العالية؟
   b. ما 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. احسب بالثواني الزمن الّذي ستستمر فيه البطارية بتزويد الهاتف بالطاقة.
   b. كم من الزمن بالدّقائق ستستمر البطارية بتزويد الهاتف بالطاقة ؟
   c. كم يبلغ زمن استمرار البطاريّة بتزويد الهاتف بالطاقة بالسّاعات ؟

5. عندما يصل الجسم الساقط إلى سرعته النهائية القصوى قبل وصوله إلى سطح الأرض، 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 كفاءة لوح التزلّج؟

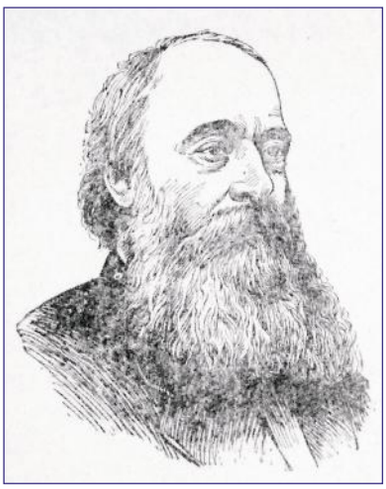
7. ارسم مخطط سانكي لمحطة توليد طاقة كهربائية تعمل على الوقود حيث تخسر 40% من طاقتها كحرارة 5% كإشعاعات و 15% كأشكال أخرى، بينما يتحول الباقي إلى طاقة كهربائية.

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 كفاءة عالية.

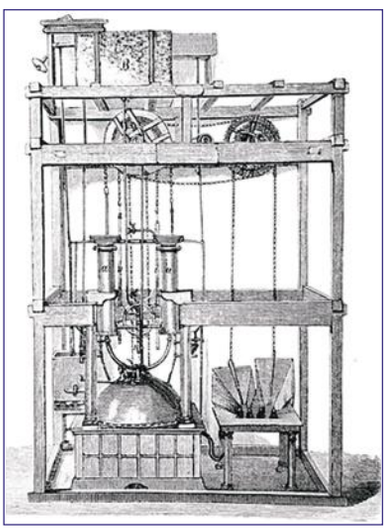
سُمّيَت وحدة الطاقة بالجول نسبة للفيزيائي وعالِم الرياضيات جيمس بريسكون جول. وُلِدَ جول في إنكلترا في سنة 1818 واكتشف في سنة 1840 ما عُرف لاحقا بـ «قانون جول» وهو أن الحرارة والشغل الميكانيكي ليسا إلا شكَلا من أشكال الطاقة، وأن وحدة قياسهما هي وحدة قياس الطاقة نفسها، وهو ما عُرِف لاحقًا بالقانون الأول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



الشكل 3-38 جيمس بريسكوت جول.

اختراع المحرّك البخاري

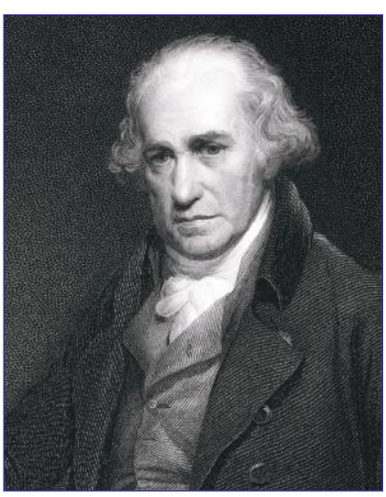
جاء اختراع المحرّك البخاري وجَعلِه أكثر فاعلية كي يؤسِّس لتطوّر نمط حياتنا الحديثة وإيصالها إلى ما تبدو عليه اليوم. جرى تطوير أول محرّك بخاري على يد توماس سافري في سنة 1698 لضخّ المياه التي كانت تملأ منجمًا للفحم. لم يكن محرّك سافري بتلك الفاعلية الجيدة، لكن جرى تطوير فكرته على يد توماس نيوكومن سنة 1712. 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 بواسطة قوة تؤثّر في جسم، وتؤدي إلى تحرّكه مسافة معيّنة.
- **الجول** (J) أو نيوتن.متر (N.m) هي وحدة قياس الشُّغل في النظام الدولي للوحدات.
- **الطاقة** تتشابه مع الشُّغل لكنهما ليسا الشيء نفسه. فالطاقة هي القُدرة على القيام بشغل؛ أما الشُّغل فهو كميّة الطاقة المُستخدمة.
- **الطاقة الحركيّة** هي الطاقة التي يمتلكها الجسم خلال حركته. فالأجسام الساكنة تكون طاقتها الحركيّة صفرًا.
- **طاقة الوضع التجاذبيّة** هي الطاقة المُختزنة في الجسم الذي يقع عند ارتفاع ما، نتيجة لقوة الجاذبية. تتحرّر طاقة الوضع عندما يُترَك الجسم ليسقط. تكون طاقة الوضع التجاذبيّة للجسّم عند سطح الأرض صفرًا، إذا اعتبرنا سطح الأرض الإطار المرجعي لقياس هذه الطاقة.
- **طاقة الوضع المرونيّة** هي الطاقة المُختزنة في جسم مَرِن عندما ينضغط أو يتمدّد. تتحرّر الطاقة عند عودة الجسم إلى شكله الأصلي. المواد التي يُمكن 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 تفنى أو تُستَحدَث. ذلك أن معظم أنواع الطاقة المفقودة تتحوَّل إلى طاقة حراريّة أو طاقة صوتيّة.
- **مُخطّط تدفُّق الطاقة** يُستخدم لتمثيل تدفّق الطاقة.
- **الطاقة الميكانيكيّة** الطاقة الكلّية التي لها شكل ميكانيكي. وتكون في العادة مجموع الطاقة الحركيّة وطاقة الوضع التجاذبيّة وطاقة الوضع المرونيّة. يتغيّر مقدار كلّ شكل من أشكال الطاقة في النظام المعزول بصورة منفردة كشغل مبذول، لكن تبقى الطاقة الميكانيكيّة دائمًا ثابتة.

الدرس 3-3: القُدرة والكفاءة

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

اختيار من مُتعدّد

1. يُستخدم محرّك كهربائي كبير لرفع حاويّة من على سفينة. أي من القيم الآتية ضرورية لحساب قدرة المحرّك؟

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

2. يتمّ تطبيق قوة ثابتة على سيّارة لمسافة 13 m مع إهمال الاحتكاك. تكتسب السّيارة خلال هذه المسافة طاقة مقدارها 91 J. ما 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 صحيحة حول القُدرة المُنتجة؟

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

4. يبذل علي شُغلاً مقداره 18 J لرفع صندوق 1 kg بسرعة ثابتة. إذا أسقط علي الصندوق بعد رفعه، 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 500 N/m إذا انضغط مسافة 0.4 m؟

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

تقويم الوحدة

6. ما الطاقة اللازمة لتسارع 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 مقدار 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 طالب على قمّة مبنى ارتفاعه 10 m، حاملاً بيده كرة بولينج كتلتها 7 kg. قام طالب أخر بإحداث حفرة عمقها 2 m، قرب أسفل المبنى. كم ستكون طاقة الوضع التجاذبيّة لكرة البولينج 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 الكهربائية > الطاقة النووية.
d. الطاقة الكيميائية > الطاقة الكهربائية > 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 m

11. وُضِعَت كرة كتلتها 0.70 kg على زنبرك رأسي ثابته 200 N/m، فانضغط مسافة 40 cm. كم سيكون الارتفاع الذي تبلغه الكرة فوق نقطة 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 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 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. ولا يستخدم وسائل الأمان والسلامة، فإذا سقط 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؟

تقويم الوحدة

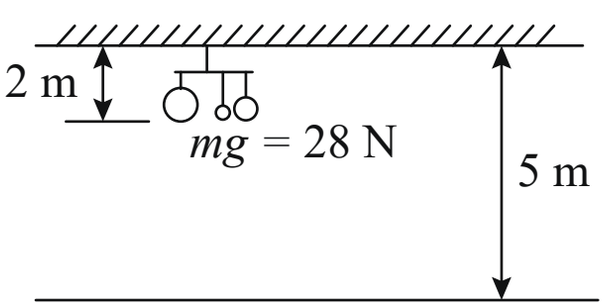
18. يتجادل أخَوان يقيمان في طابق علوي حول طاقة الوضع التجاذبية لتلفاز كتلته 10 kg معلّق على الحائط. يدّعي الأول أنّ التلفاز موجود على ارتفاع 2 m من الأرض، وبالتالي تكون طاقة وضعه: 10 kg × 9.8 N/kg × 2 m = 196 J. أمّا الثاني فيقول: بما أنّنا في الطابق العلوي، سيكون التلفاز على ارتفاع 12 m فوق الأرض؛ فتكون طاقة وضع التلفاز: 10 kg × 9.8 N/kg × 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 التي يؤثر بها الحائط في جسمك قد بذلت أيّ شُغل؟

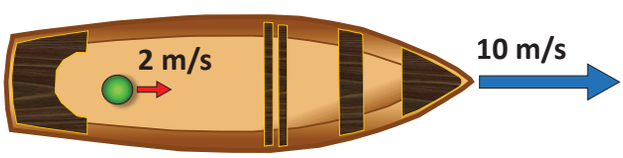
20. ما طاقة الوضع المرونيّة لحزام مطّاطي ثابت مرونته 25.0 N/m، في حال تمدُّده بمقدار 10 cm عن موضعه الأصلي؟

21. ما الطاقة الحركيّة لطائر كتلته 0.6 kg يحلّق بسرعة 15 m/s؟

22. مصباح كهربائي وزنه 28 N معلّق على مسافة 2 m أسفل سقف الغرفة، الذي يرتفع 5 m عن الأرض. احسب طاقة الوضع التجاذبية للمصباح بالنسبة إلى الأرض، ثمّ بالنسبة إلى السقف، ثمّ بالنسبة إلى نقطة تقع عند مستوى ارتفاع المصباح؟



23. كرة كتلتها 150 g تتدحرج باتجاه الشمال بسرعة 2 m/s على ظهر قارب إذا كان القارب نفسه يتحرّك باتجاه الشمال أيضًا، بسرعة 10 m/s بالنسبة إلى جزيرة قريبة.



a. ما مقدار الطاقة الحركيّة للكرة بالنسبةإلى الإطار المرجعي (القارب)؟

b. ما مقدار الطاقة الحركيّة للكرة بالنسبة إلى الإطار المرجعي (الجزيرة)؟

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 بولينج 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، فتمرّ من نقطة على 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 أقصى سرعة يستطيع الركض بها، مستخدمًا الطاقة التي حصل عليها من قطعة الشوكولاته؟

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. إذا كان ارتفاع لوح القفز 10 m فوق سطح الماء. ما 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 لأقل قُدرة تلزم لرفع كتلة 60 kg رأسيًّا نحو الأعلى مسافة 14 m، خلال مدّة زمنية مقدارها 5 s.

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

35. ما أقصى ارتفاع يمكن أن يبلغه صندوق كتلته 10 kg خلال 5 s، وذلك عن طريق دفعه بواسطة 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 الأرض، مستخدمًا مظلة صغيرة تجعل مقاومة الهواء كبيرة. عند وصوله إلى سطح الأرض كانت سرعته 2 m/s.

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

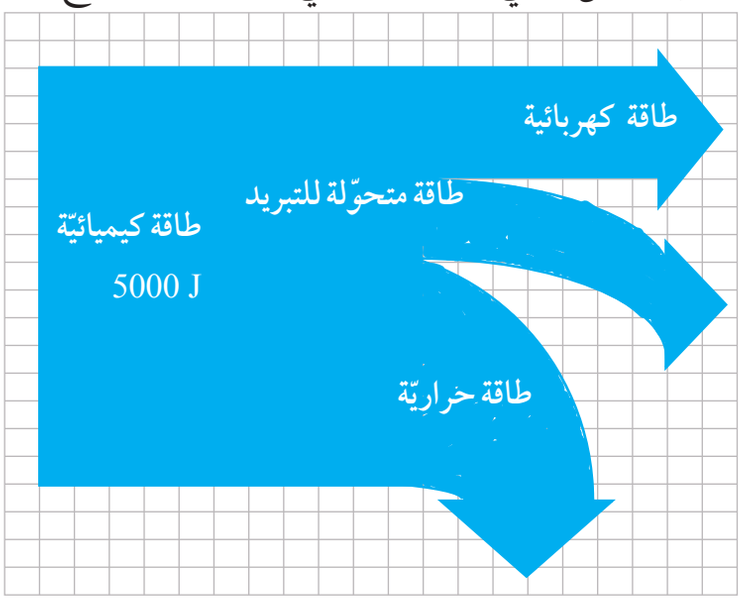
b. احسب الطاقة التي اكتسبها محيطه جرّاء قفزته.

37. تَتّصِف كرة مطّاطيّة بأن لها 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. ما الارتفاعات التي تصل إليها الكرة بعد الارتداد الثاني، والثالث، والرابع؟

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



a. ما قيمة الطاقة الكهربائيّة التي تُنتجها المحطَّة.

b. ما قيمة الطاقة المُستخدمة في المبرّد؟

c. ما قيمة الطاقة الحراريّة المفقودة في تسخين الغازات والوسط؟

d. ما كفاءة محطة الطاقة؟

39. نظام لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، كفاءة تحويله تساوي 15% تغطي ألواحه مساحة تبلغ $10\ m^2$. فإذا كانت شدّة الإشعاع الشمسي تصل في يومٍ صافٍ إلى حوالي $600\ W/m^2$.

a. ما قيمة الطاقة الشمسية المُجمّعة خلال ساعة واحدة؟

b. ما الفترة الزمنية التي يمكن لهذه الطاقة المجمعة في ساعة إضاءة مصباح كهربائي واحد قدرته 25 W؟

c. تستخدِم مقصورة ذات حوالي 400 W من القدرة الكهربائية لفترة 24 ساعة. هل بإمكان المحطة تزويد المقصورة بالقدرة المتوسطة اللازمة؟

40. تبدأ سيارة كتلتها 1,500 kg حركتها من السكون، بواسطة قوة مقدارها 2,000 N تؤثر في السيّارة لمسافة 20 m . بعد قطع هذه المسافة، تكون سرعة السيارة 5 m/s، وتنتقل إلى الوسط المحيط طاقة حراريّة قيمتها 21,250 J.

a. هل كانت الطاقة محفوظة؟

b. ما سبب انتقال الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط؟

تقويم الوحدة

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

يتقدّم المؤلّفون والناشرون بجزيل الشكر إلى السادة الآتي ذكرهم، لسماحهم باستخدام ملكياتهم الفكرية، وبوافر الامتنان لموافقتهم على نشر الصور.

Kateryna Kon /Shutterstock; hfgimages/Shutterstock; Cal Holman/ GI; AppleZoomZoom/Stutterstock; GualtieroBoffi Merdan/Shutterstock; Davide Sarrus/ Shutterstock; Panos Karras/ Shutterstock; KrimKate/ Shutterstock; Mario Savioa/ Shutterstock; Spaskov/ Shutterstock; LeonidAndronov/Shutterstock; PlavUSA87/ Shutterstock; NatureArt/ Shutterstock; KristpovBurgstadt/ Shutterstock; SimoneN/Shutterstock; MrsYa/Shutterstock; vnlit/Shutterstock; travelerpix/ Shutterstock; petarg/Shutterstock; montreep/Shutterstock; EverettHistorical/Shutterstock; Phongphan/Shutterstock; MarcoTomasini/Shutterstock; BigChem/Shutterstock; ColinHayes/ Shutterstock; designhua/ Shutterstock; EricIsalee/ Shutterstock; Amineaya/Shutterstock; JoseLuisCalvo/Shutterstock; kurhan/ Shutterstock; Lebenkulturen.de/Shutterstock; Peter Olsonn/Shutterstock; Robynmac/GoGraph; grafvision/ GoGraph; artjazz/ GoGraph; jgroup/ GoGraph; FitreaRamli/ GoGraph; Yanikstock1188/ GoGraph; monkeebusiness/ GoGraph; pixelrobot/ GoGraph; FotoYou123/ GoGraph; Paulista/ GoGraph; tomwang/ GoGraph; michael812/ GoGraph; Kaferphoto/ GoGraph; OleksandrLysenko/ GoGraph; Sparkla/ GoGraph; SURZ/ GoGraph; kadmy/ GoGraph; joebelanger/ GoGraph; Lsaloni/ GoGraph; AlexanderPokeusay/ GoGraph; KumbThong/ GoGraph; 3DSculptor/ GoGraph; Nirodesign/ GoGraph; shotsstudio/GoGraph; believeinme/GoGraph; sframe/GoGraph; Lonely11/GoGraph; Eraxion/GoGraph; woodoo/GoGraph; mikos/GoGraph; phillipus/GoGraph; Coprid/GoGraph; PixelChaos/GoGraph; AllenCat/GoGraph; Andreus/GoGraph; chyennezj/GoGraph; bdspn/GoGraph; ia_64/GoGraph; AntonioGuillem; /GoGraph; Gigava/GoGraph; Krisdog/GoGraph; malajski/GoGraph; 4374344sean/GoGraph; alila/GoGraph; normaals/GoGraph; Jaron Ontakrai/Shutterstock; Maxx-Studio/Shutterstock; WikipediaCreativeCommons; SergeiteLegin/GoGraph; elippigraphica/Shutterstock; Pop Paul Catain/Shutterstock; magann/GoGraph; Prykhodov/GoGraph; ronstik/GoGraph; Designus/ Shutterstock; Robert Hooke, Micrographia, 1665., Public Domain; Billion Photos/Shutterstock; Woods Hole Oceanographic Institute; NASA; ESA; Halfdark/GettyImages; ifong/Shutterstock ; petarg/ Shutterstock; Matteo Colombo/Getty Images;