الفيزياء

كتاب الطالب

المستوى الحادي عشر

PHYSICS

STUDENT BOOK

GRADE 11

الفصل الدراسي الأول

FIRST SEMESTER

2021 - 2020

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

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

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

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

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

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة الأولى 2020 - 2021 م

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءْ ... قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءْ
قَطَرٌ سَتَبْقَى حُرَّةً ... تَسْمُو بِرُوحِ الأَوْفِيَاءْ
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الأُلَى ... وَعَلَى ضِيَاءِ الأَنْبِيَاءْ
قَطَرٌ بِقَلْبِي سِيرَةٌ ... عِزٌّ وَأَمْجَادُ الإِبَاءْ
قَطَرُ الرِّجَالِ الأَوَّلِينْ ... حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّدَاءْ
وَحَمَائِمُ يَوْمَ السَّلاَمْ ... جَوَارِحٌ يَوْمَ الفِدَاءْ

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة التّوجيه التّربويّ

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

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

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

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

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

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

- تـوزّع المعرفـة والأفـكار العلميّـة المخصّصـة لـكلّ عـام دراسـيٍّ ضمـن وحـدات بطريقـة متسلسـلة مصمّمـة لتحقيـق التّنـوّع والتّطـوّر.
- تعـدّد الـدّروس فـي كلّ وحـدة، بحيـث يعالـج كلّ درس موضوعًـا جديـدًا، منطلقًـا ممّـا تـمّ اكتسـابه فـي الـدّروس السّـابقة.
- إتاحـة الفرصـة للطّـلّاب، فـي كلِّ درسٍ، للتّحقّـق الذّاتـيّ مـن معارفهـم ولممارسـة قدرتهـم علـى حـلّ المشـكلات.
- احتـواء كلّ وحـدة علـى تقويـم للـدّرس وتقويـم الوحـدة الّتـي تمكّـن الطّـلّاب والأهـل والمدرّسـين مـن تتبّـع التّعلّـم والأداء.

العلـوم مجموعـة مـن المعـارف الّتـي تشـمل الحقائـق والأشـكال والنّظريّـات والأفـكار. ولكـنَّ العالِـم الجيّـد يفهـم أنّ «طريقـة العمـل» فـي العلـوم أكثـر أهمّيّـة مـن المعرفـة الّتـي تحتويهـا.

سـوف يسـاعد هـذا الكتـاب الطُّـلّاب علـى تقديـر جميـع هـذه الأبعـاد واعتمادهـا ليصبحـوا علماء ناجحيـن وليواجهـوا مجموعـة واسـعة مـن التّحدّيـات فـي حياتهـم المهنيّة المسـتقبليّة.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

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

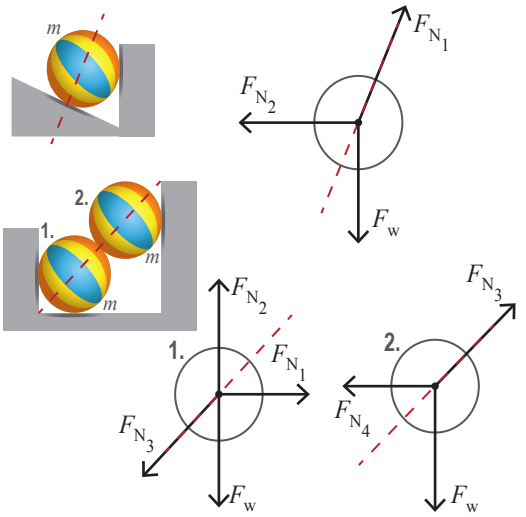
الفيزياء

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

ما هي الفيزياء؟ وما ضرورة فهمها؟

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

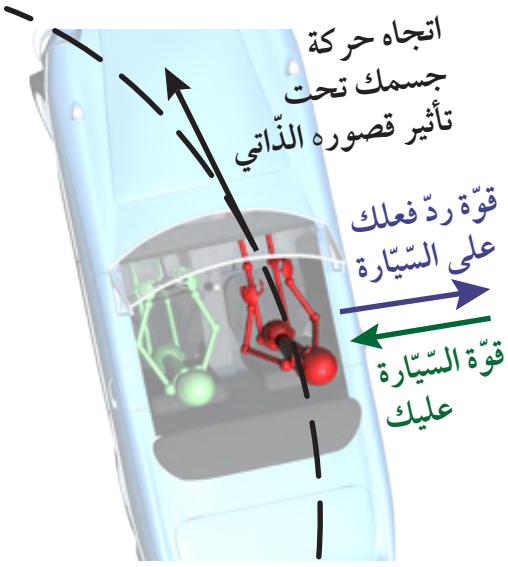
وبشكل عامّ فإنّ الفيزياء تهتم بشكل أساسيّ بخصائص وتفاعلات المادّة والطاقة. فهي تصف القوى الأساسيّة وطبيعة الذّرّات والمادّة، بالإضافة الى عمليّات التّفاعل بين المادّة والطّاقة.



يمثّل مخطّط الجسم الحر القوى بين الأجسام.

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

الطّاقة والقُدرة هو الموضوع الأخير في الفصل الأوّل. فالطّاقة هي العُملة المتداوَلة 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 الموجودة في مختلف نواحي العلوم.

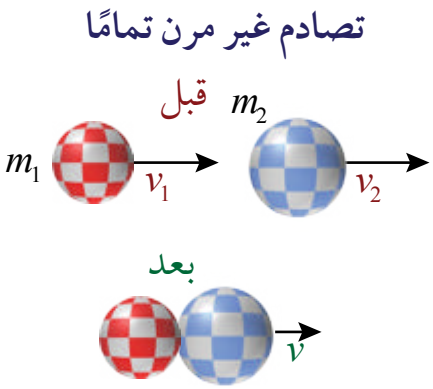


القوى المؤثّرة عند التّسارع في منعطف.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

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



أسئلة للمناقشة

سؤال للمناقشة

ما هي العلاقة بين القوّة والحركة؟

أسئلة المناقشة تزوّد الصّفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات الجديدة.

شريط الأفكار المهمّة

المُتَّجَه 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.

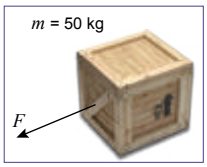
الأمثلة

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 كوبرنيكوس 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؟
الموادّ 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. عجلة الجاذبيّة في طبقات الغلاف الجويّ العليا لِكوكب المُشتري تعادل 2.35 مرّة عجلة جاذبيّة الأرض. 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 عجلة 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. فَكّر

مخطّط المادّة

الوحدة 1

القوى

الوزن والاحتكاك قوتان من العديد من القوى الّتي نختبرها 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 وعجلتها.

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 29

الوحدة 2

قوانين نيوتن والزّخم 46

الدّرس 2-1 القانونان الأوّل والثّالث لنيوتن 48

الدّرس 2-2 القانون الثّاني لنيوتن 56

الدّرس 2-3 حركة المقذوفات والسّطح المائل 64

الدّرس 2-4 الزّخم الخطّيّ وحفظ الزّخم 73

الوحدة 3

الشُّغل والطاقة والقُدرة 94

الدّرس 3-1 الشُّغل المبذول والطاقة 96

الدّرس 3-2 حفظ الطاقة 115

الدّرس 3-3 القُدرة والكفاءة 126

P1101
P1102
P1105
P1103

الوحدة 1

القوى

في هذه الوحدة

الدرس 1-1: القوى والاتزان

الدرس 1-2: المُتَّجَهات والقوى

الدرس 1-3: العزم والاتِّزان الدوراني

1 الوحدة

مقدمة الوحدة

كيف يمكن لجسر أن يبقى متّزناً؟ كيف يمكن لمحرك سيّارة أن يدفعها إلى الأمام؟ كيف يمكن للفرامل أن توقف السيارة؟ تؤثّر القوى على الدوام في كل الأجسام من حولنا. وبما أن القوى لا تُرى، فإننا نطبق قوانين الفيزياء والمنطق لنستنتج تأثيرها.

لكي يبقى الجّسر المعلّق في حالة اتزان، يجب أن تكون محصلة القوى المؤثرة في كل جزء من أجزاء الجّسر صفرا في كافة الاتجاهات. إن وزن الجّسر ووزن المركبات التي تمرّ عليه قوىً معروفة. يجب أن تتوازن هذه القوى بقوى أخرى تقاومها من الجّسر نفسه. يصمم المهندسون الجّسور 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 من خلال دفعه 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	القوّة
Weight	الوزن
Newton	نيوتن
Free-body diagram	مخطّط الجّسم الحر
Normal force	القوة العمودية
Net force	محصّلة القوى
Equilibrium	الاتّزان
Friction	الاحتكاك
Coefficient of friction	معامل الاحتكاك
Static friction	الاحتكاك السكوني
Kinetic friction	الاحتكاك الحركي

مخرجات التّعلُّم

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

P1102.1 يَصف قوى الاحتكاك و اللزوجة بشكل نوعي، بما فيها 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؟

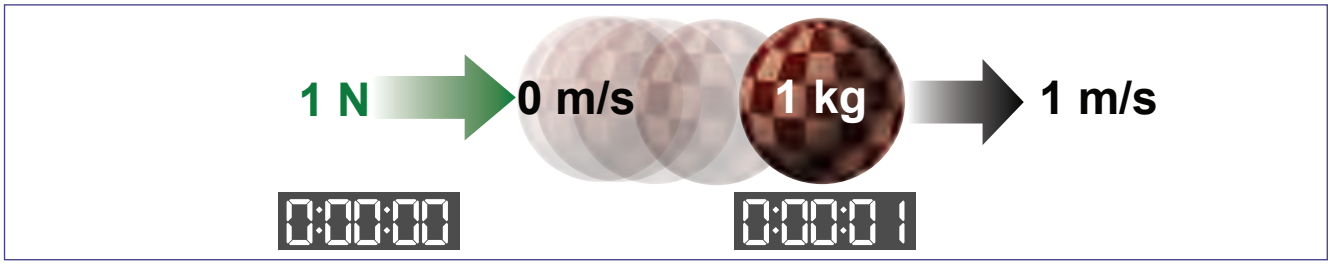
كيف تُقاس القوّة؟

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 تحصل من خلال مؤثرات القوى. لذلك نحتاج إلى فهم القوى من أجل فهم كيفيّة تغيُّر الحركة وللتوصّل إلى تقنيّات تسمح بتغيّر الحركة كما في السّيّارات والطّائرات.

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

الشّكل 1-1 التعريف المفهومي للقوة هو الدفع أو السحب

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



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

القوّة هي المؤثر الّذي يستطيع تغيير أو محاولة تغيير الحركة.

ترتبط القوة بالعجلة (التسارع). ويبقى الجسم السّاكن ساكنًا ما لم تؤثّر فيه قوّة تسبّب عجلته (تسارعه).

الوزن

الوزن Weight هو قوّة تنتج بسبب تأثير قوّة الجاذبيّة في الكتلة. 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؟

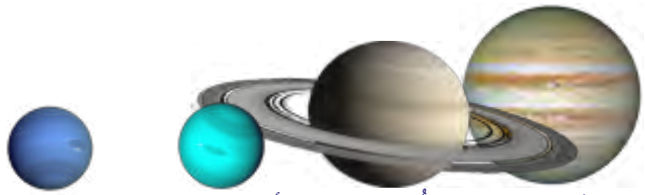
كيف تختلف الكتلة عن الوزن؟

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

تُعتبَر الكتلة خاصّيّة أساسيّة لِلمادة وتُقدَّر بِوحدتَي الجرام (g) أو الكيلو جرام (kg) وهي مقدار ما يحتويه الجسم من مادّة. الوزن هو قوّة تُقدَّر 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 بِقيمة مقدارها g = 9.8 N/kg. كذلك يمكن أن تكتب وحدة g بوحدة m/s^2 ، والوحدتان متكافئتان.

الجدول 1-1 شدة مجال الجاذبيّة على أسطح الكواكب.



عُطارد	الزّهرة	الأرض	المرّيخ	المُشتري	زُحل	أورانوس	نيبتون
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
3.7 N/kg	8.9 N/kg	9.8 N/kg	3.7 N/kg	24.8 N/kg	10.4 N/kg	8.9 N/kg	11.1 N/kg

تعتمد شدة مجال الجاذبيّة على كلّ من كتلة الكوكب وحجمه. يوضح **الجدول 1-1** أنّ كتلة المرّيخ هي أصغر 0.11 مرّة من كتلة الأرض، وهو أصغر حجمًا أيضًا وتكون 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. وعَلى الرّغم من أنّ هذا الكوكب هو كوكبُ غازيّ عملاق بدون سطح صلب، فقد تمّ اعتماد سطح «الجاذبيّة» لِلمشتري عند نصف قطر 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

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

مثال (2)

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

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

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

b. يمكن للمركبة الجوّالة أن ترفع 1/10 من وزنها.

كم ستكون أكبر كتلة صخر يمكن للمركبة أن ترفعها؟

المطلوب الوزن على المرّيخ، كتلة الصّخرة

المعطى الوزن على الأرض 5,488 N

العلاقات $F_w = mg$

الحلّ

وزن المركبة الجوّالة على المرّيخ

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

أكبر كتلة للصّخرة

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

كتلة المركبة الجوّالة

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

وزن أثقل صخرة

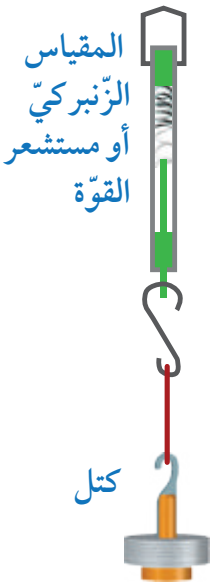
$$(2{,}072\ \text{N})(0.1) = 207.2\ \text{N}$$

نشاط عملي

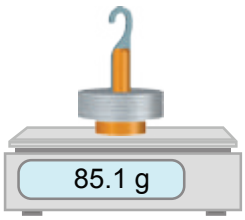
1-1 (a) القوى والكتلة والوزن

سؤال الاستقصاء	ما العلاقة بين الوزن والكتلة؟
الموادّ المطلوبة	الميزان الزّنبركيّ أو مستشعر القوة، حلقات معدنيّة، الميزان العادي، حاملة أثقال.

الخطوات



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



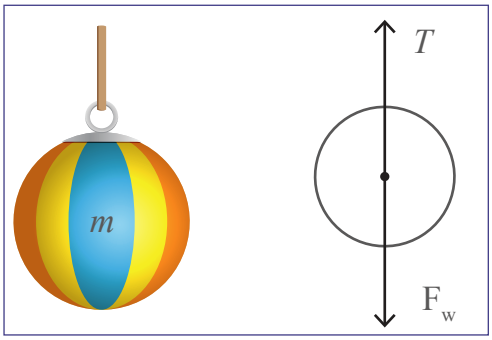
الجدول 1-2 بيانات الوزن والكتلة

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 ومتوسّط القيمة 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



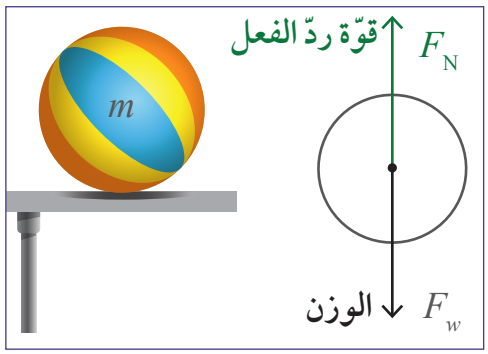
الشّكل 3-1 مخطّط جسم حر

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

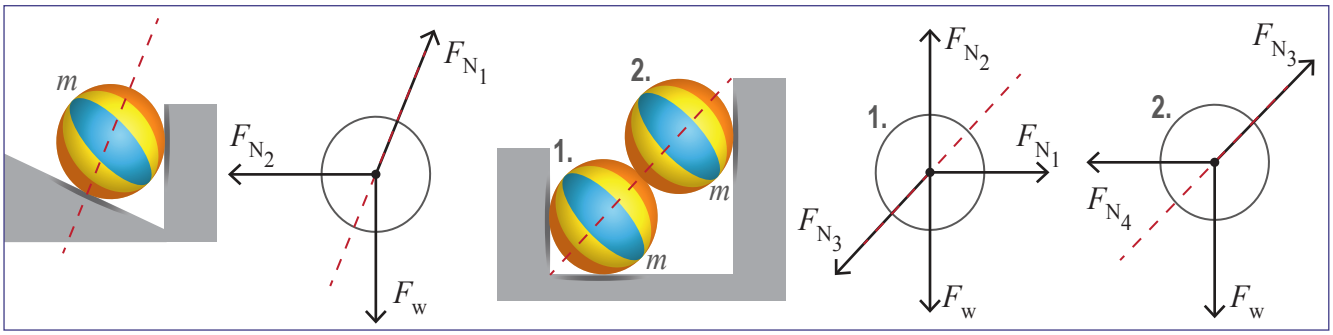
يجب أن يتضمّن مُخطّط الجسم الحرّ جميع القوى المؤثّرة في الجسم. فعبارة «في الجسم» هي عبارة بالغة في الأهميّة إذ من الممكن أن تكون هناك قوى يقوم الجسم بالتّأثير بها في جسم آخر.

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

يُظهِر **الشّكل 4-1** كرة على طاولة. الكرة في حالة سكون وذلك لأنّ القوّتين المؤثّرتين فيها متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتّجاه. تؤثر الكُرة الأرضيّة 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. تكون القوّة عموديّة على سطح الطاولة نحو الأعلى ويُرمَز لها في المخطّط بالرّمز F_N.



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



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

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

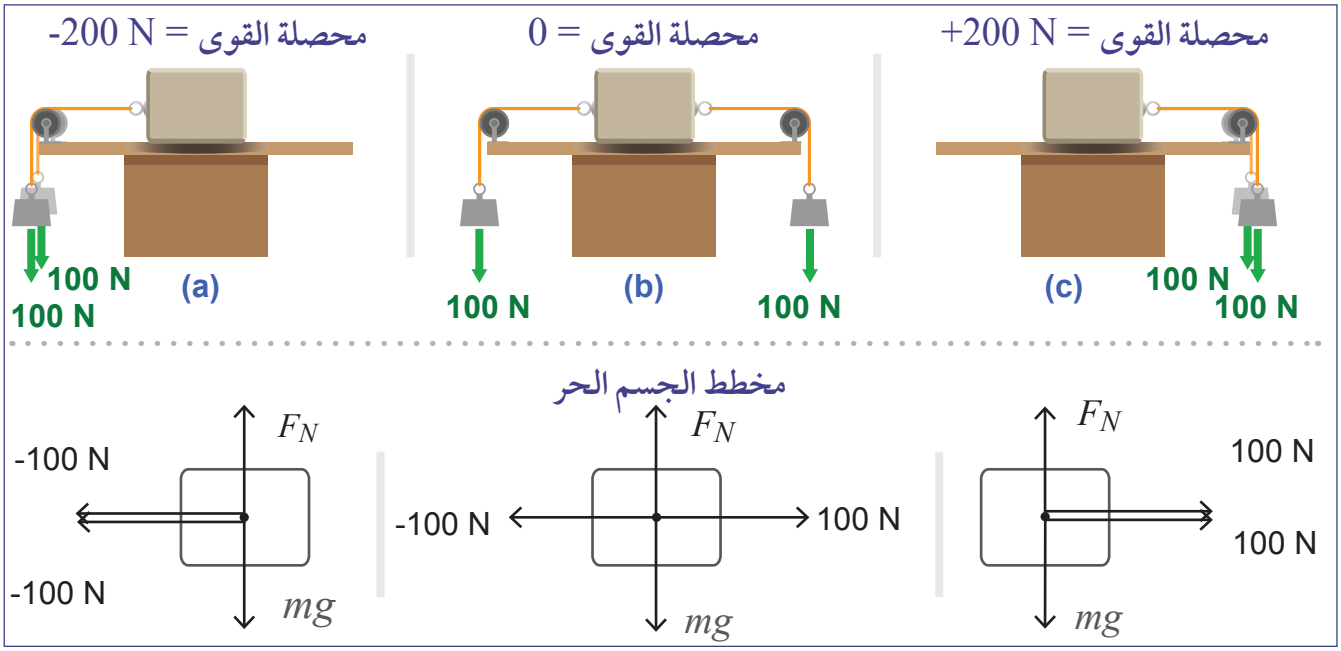
مُحصّلة القوى

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 تُلغي بعضها البعض وذلك عندما تؤثّر في اتّجاهات مختلفة أو متعاكسة. الأجسام الثّابتة مثل الأبنية الضّخمة والجسور تبقى ثابتة لأنّ محصلة القوى عليها تساوي صفرًا، وليس لِعدم وجود قوى مؤثرة فيها.

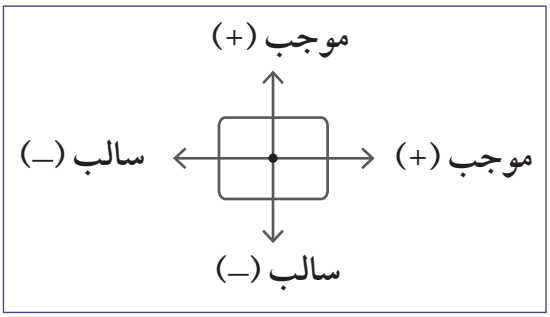
سؤال للمناقشة

ماذا يحصل للجسم عندما تؤثّر عليه عدّة قوى؟

كيف نجمع هذه القوى؟



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



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

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 و/أو إلى الأعلى، والاتّجاه السّالِب إلى اليسار و/أو إلى 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؟

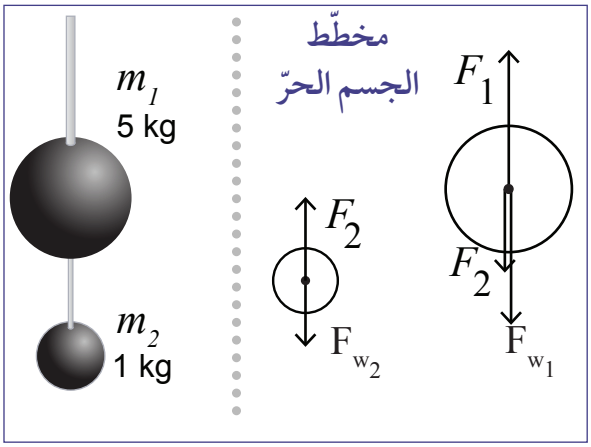
يتحقّق **الاتّزان Equilibrium** عندما تكون مُحصِّلة القوى المؤثّرة في جسم تساوي صفرًا. يُعتبَر أيّ جسم في حالة سكون جسمًا متّزنًا لأنّ الجسم سيتسارع لو كانت مُحصِّلة القوى لا تساوي صفرًا. يُعرَّف اتّزان القوى من خلال **المعادلة 2-1**.

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:

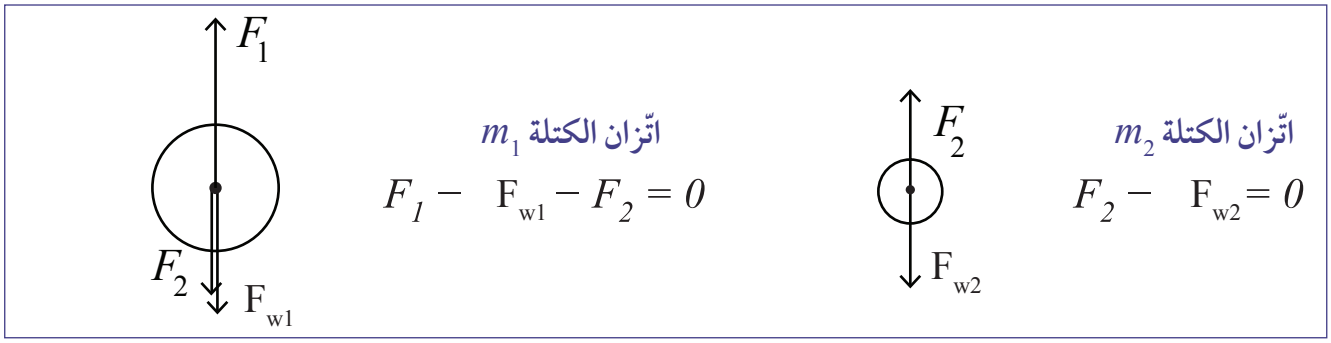
- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور الأفقيّ x صفرًا.
- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور الرّأسيّ y صفرًا.
- يجب أن تكون محصلة القوى في اتّجاه المحور z صفرًا.

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



الشّكل 1-7 مخطّط الجسم الحرّ لِكُرَتَين معلّقتَين

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



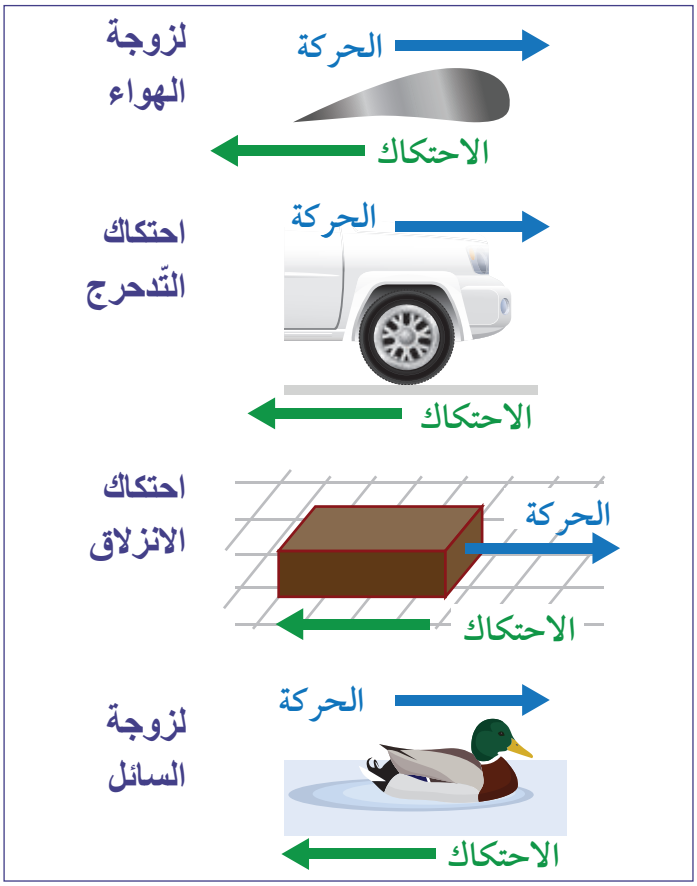
الشّكل 1-8 معادلتا الاتّزان لمثال الكُرَتَين

الاحتكاك

سؤال للمناقشة

ما الاحتكاك
وما مسبّباته؟

ينتج **الاحتكاك Friction** من الحركة التي تقاوم حركة أخرى أو تهدر الطّاقة. وهي ليست قوّة محدّدة كقوّة الجاذبية بين كتلتين. يشمل الاحتكاك عدة أنواع من القوى (**الشّكل 1-9**).



ينتج عن الهواء المندفع نحو الأطراف أو المتدفّق حول السّطوح مثل جسم السّيّارة أو أجنحة الطّائرة.

ينتج من التّدحرج بين سطحَين متلامسَين، ومثال على ذلك تدحرج العجلة على الطّريق.

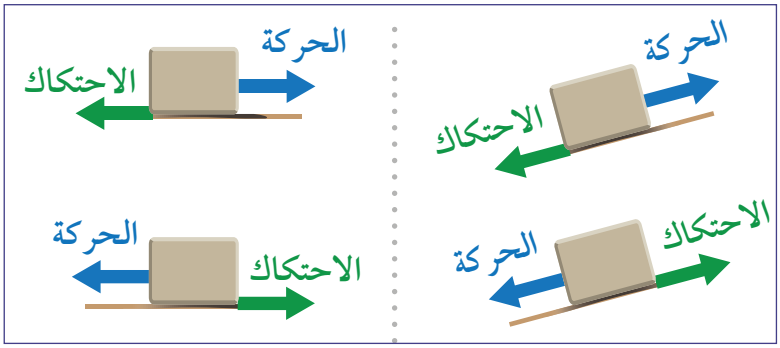
يحدث عند الانزلاق بين جسمَين متلامسَين، ومثال على ذلك انزلاق طابوقة على الأرضيّة.

ينتج عن إزاحة السّوائل أو دفعها للتّدفّق حول أو عبر الأجسام ومثال على ذلك الأنابيب والقوارب.

الشّكل 1-9 الأنواع الأربعة للاحتكاك.

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

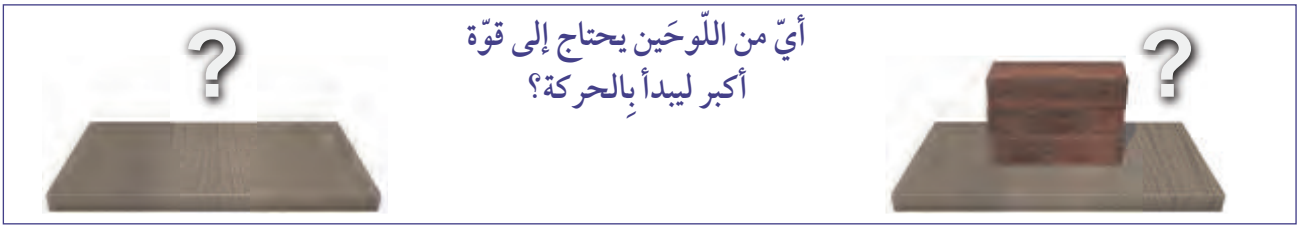
يؤثّر الاحتكاك في الاتّجاه المُعاكس لِلحركة (**الشّكل 1-10**). في حال انزلاق صندوق نحو اليسار، ستكون قوّة احتكاك الانزلاق مُتَّجِهةً نحو اليمين. وإذا سقط جسم نحو الأسفل فإنّ قوّة احتكاك الهواء ستكون مُتَّجِهةً نحو الأعلى.



الشّكل 1-10 يكون اتّجاه قوّة الاحتكاك دائمًا مُعاكسًا لاتّجاه الحركة.

الاحتكاك السّكونيّ

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



الشّكل 1-11 هل يعتمد الاحتكاك على وزن اللّوح المُنزلق؟

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 يحصل تحرّك لِلسّطحَين. **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 وثابت يُدعى **مُعامل الاحتكاك السّكونيّ Coefficient of static friction** μ_s. (μ_s حرف يوناني يُلفظ "ميو") يعتمد 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. يتنبّأ 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 النّموذجيّة لِمُعامل الاحتكاك السّكونيّ μ_s. تعتمد القيم الفعليّة على الشّروط الفعليّة بين السّطحَين. فإطار المطّاط على خَرسانة رطبة مثلًا يمتلك أقل من 1/3 الاحتكاك مقارنةً مع احتكاكه بالخَرسانة الجافّة. وعليه فإنّ قوى الاحتكاك السّكونيّ الحقيقيّة يجب أن يتمّ تحديدها بشكل تجريبيّ.

مواد في حالة تماس		μ_s
مطّاط	خَرسانة جافّة	1.0
مطّاط	خَرسانة رطبة	0.3
خشب	خشب	0.5
خشب	خَرسانة	0.6
فولاذ	فولاذ جاف	0.8
فولاذ	فولاذ مزيّت	0.16
فولاذ	تفلون	0.04

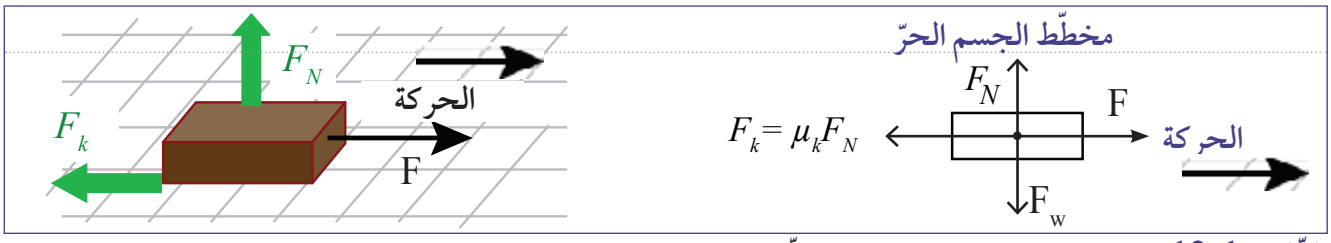
الجدول 1-3 مُعامِل الاحتكاك السكوني لبعض المواد.

الاحتكاك الحركيّ

عادة ما يكون مقدار قوّة الاحتكاك أقلّ عندما يكون الجسم في حالة حركة. 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 4-1**). يبيّن **الجدول 4-1** 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)

تُزوِّدنا الطابوقة المتحرّكة على سطح أرضيّة بمثالٍ جيّد على الاحتكاك الحركيّ (**الشّكل 12-1**). فالقوّة العموديّة مُساوية في القيمة ومعاكسة في الاتّجاه لِقوّة وزن الطابوقة. وقوّة الاحتكاك الحركيّ تعاكس اتّجاه الحركة.



الشّكل 12-1 تمثيل الاحتكاك الحركي على مخطّط الجسم الحر

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

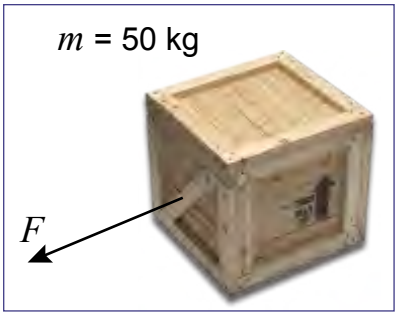
مُعامل الاحتكاك الحركيّ لِلفولاذ الجاف والمُنزلق على الفولاذ هو 0.5. وهو أكبر بكثير من مقدار مُعامل الاحتكاك μ_k = 0.09 والخاصّ بِالفولاذ المُنزلق على فولاذ مزيّت. **التّشحيم Lubrication** هي تقنيّة تُستخدم فيها موادّ كالزّيت لِتقليل الاحتكاك. فالأسطح المشحّمة بِالزّيت تشكّل طبقة من الزّيت تمنع الأسطح المُنزلقة من التّلامس.

نلاحظ أيضا أنّ معامل احتكاك الفولاذ المُنزلق على التفلون قليل جدًا. التفلون هو نوع خاص من البلاستيك الزلق جدًا حتى لو كان جافًا. والسبب يعود لكونه خامل كيميائيًا. تُستعمل الاسطح المغلّفة بالتفلون في العديد من المفاصل الاصطناعيّة والتي تُستبدل بها الركب المصابة والأوراك.

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

الجدول 4-1 مقارنة مُعاملي الاحتكاك السّكونيّ والحركيّ لبعض الموادّ

مثال (3)



يستقر صندوق خشبي كتلته 50 kg على أرض خشبية.

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

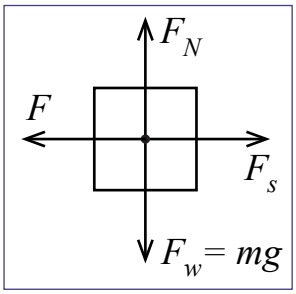
b. ما أقل قيمة مطلوبة للقوة التي تِمكِّن الصندوق من متابعة حركته بسرعة ثابتة بعد أن يبدأ بالحركة.

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 50 kg ، احتكاك الخشب مع الخشب.

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



الحلّ القوة العمودية تساوي وزن الصندوق.

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

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

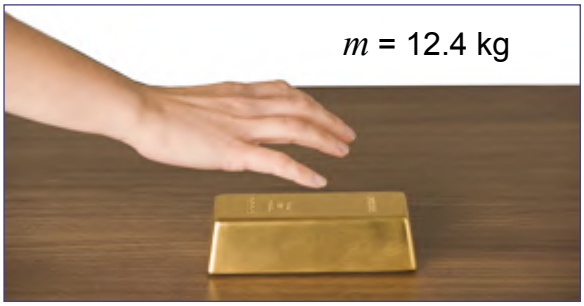
$$F_s = \mu_s F_N = (0.5)(490\ \text{N}) = 245\ \text{N}$$

b. أقل قوة مطلوبة لتمكين الصندوق من متابعة حركته 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 وطاولة أفقية إذا كانت أقل قوة مطلوبة لتمكين القالب من الانزلاق بسرعة ثابتة على الطاولة مقدارها 24 N؟



المطلوب μ_k معامل الاحتكاك الحركي

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

العلاقات $F_k = \mu_k F_N$

الحلّ القوة العمودية تساوي وزن القالب على مسار أفقي.

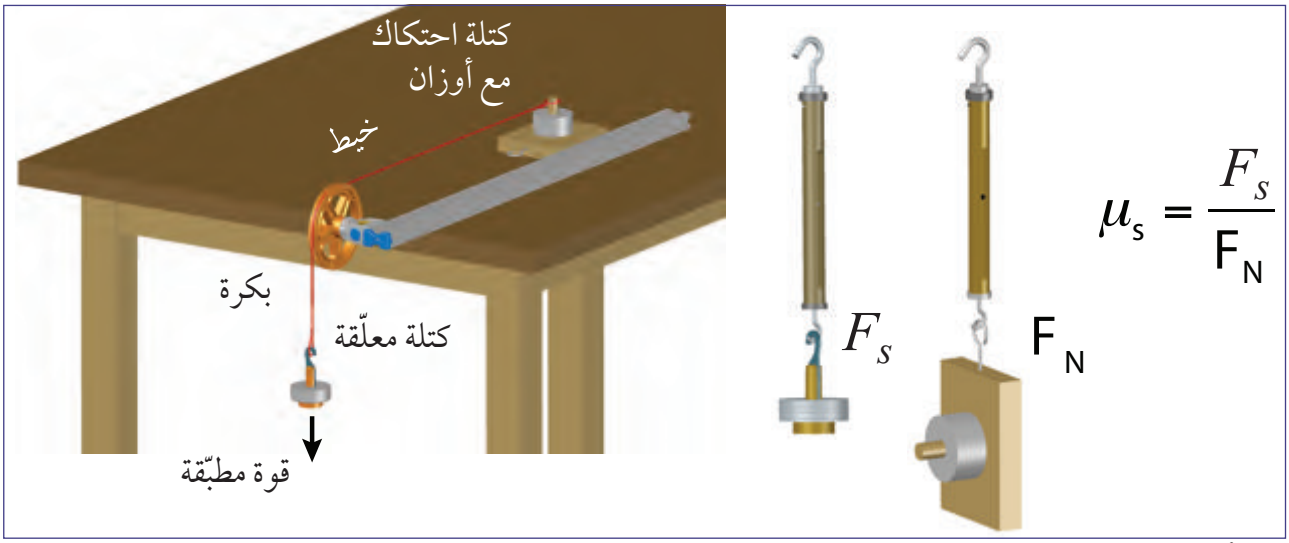
$$F_k = \mu_k F_N \quad \rightarrow \quad \mu_k = \frac{F_k}{F_N} = \frac{F_k}{mg} = \frac{24\ \text{N}}{(12.4\ \text{kg})(9.8\ \text{N/kg})} = 0.2$$

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



1. قُم بتجهيز كتلة الاحتكاك والكتلة المعلّقة والخيط والبكرة.
2. أضِف كتلًا إلى كتلة الاحتكاك، وكتلًا أخرى إلى الكتلة المعلّقة حتّى تصبح قوّة الخيط قادرة على البدء بتحريك كتلة الاحتكاك.
3. قِس وزن كتلة الاحتكاك والكتلة 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؟

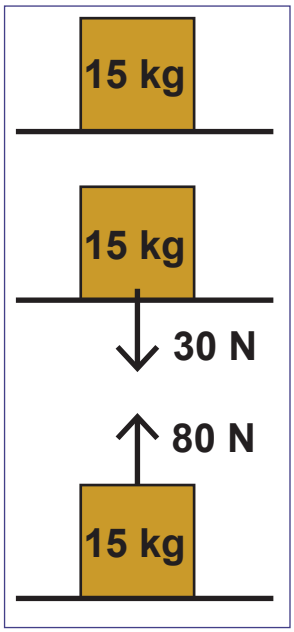
c. ما الّذي سيحصل لِحركة كتلة الاحتكاك بعد أن تبدأ بالانزلاق؟ ما الّذي ستُبيِّنه لك الحركة حول قوة الاحتكاك السّكونيّ مقارنة مع قوة الاحتكاك الحركيّ؟

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. عجلة الجاذبيّة في طبقات الغلاف الجويّ العليا لِكوكب المُشتري تعادل 2.35 مرّة عجلة جاذبيّة الأرض. 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 عجلة 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 على الصّندوق؟

   يقوم الطّالب الآن بِالضّغط على الصّندوق نحو الأسفل بوساطة قوّة مقدارها 30 N.

   c. ما مُحصِّلة القوّى المؤثّرة في الصّندوق؟
   d. ما مقدار القوّة العموديّة على الصّندوق؟

   يقوم الطّالب الآن بِسحب الصّندوق إلى أعلى بوساطة قوّة مقدارها 80 N دون أن يستطيع تحريكه.

   e. ما مُحصِّلة القوّى المؤثّرة في الصّندوق؟
   f. ما مقدار القوّة العموديّة على الصّندوق؟
4. تدفع امرأة قفصًا خشبيًّا كتلته 40 kg على أرض خشبيّة.

   فتؤثّر قوّة أفقيّة مقدارها 120 N دون أن يتحرّك القفص.

   ثمّ تؤثّر قوّة أفقيّة مقدارها 160 N دون تحريك القفص أيضًا.

   وأخيرًا تؤثّر قوّة أفقيّة مقدارها 200 N فيبدأ القفص بِالانزلاق.

   a. ما أقصى قيمة لِقوّة الاحتكاك السّكونيّ (بوحدة النّيوتن)؟
   b. ما مقدار مُعامل الاحتكاك السّكونيّ؟
5. ينزلق طابوق كتلته 1.5 kg بسرعة ثابتة على سطح طاولة. كم يكون مقدار قوّة الاحتكاك الحركيّ إذا كان $\mu_k = 0.35$؟

الدّرس 2-1
المُتَّجَهات والقوى

كيف تقود مركبة فضائية؟ أنت تقود سيّارة باستخدام القوى الّتي تدفع بها الإطارات الطّريق. وكذلك تقود طائرة 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 يمكن القيادة فيه.

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 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

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

القوّة

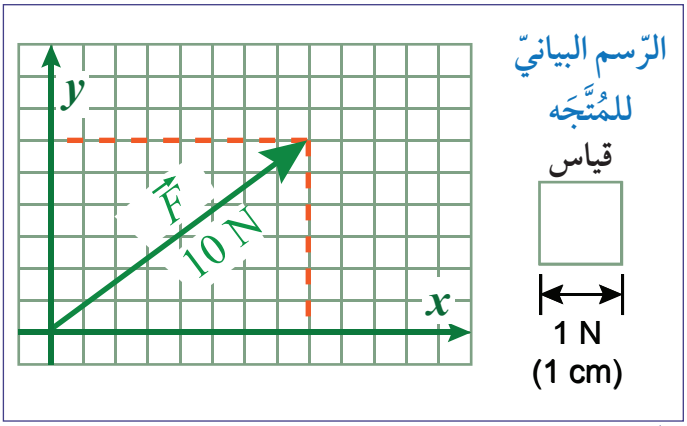
لو طُلِبَ إليك أن تدفع صندوقًا بقوّة 200 N. ماذا كنت لتفعل؟ عليك أن تسأل نفسك: «في أي اتّجاه يجب أن أدفع؟» هل أدفع الصّندوق إلى اليسار أم إلى اليمين أم إلى الأمام أو الخلف؟ ربّما ترفع الصّندوق بقوّة إلى الأعلى.

سؤال للمناقشة

كيف يمكننا تحديد اتجاه كمية مُتَّجهة مثل القوة؟

القوّة هي مُتَّجه لأنّ الوصف الكامل لِلقوّة يشمل المقدار والاتّجاه.

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



الشّكل 1-13 مخطط اتجاهي للقوة.

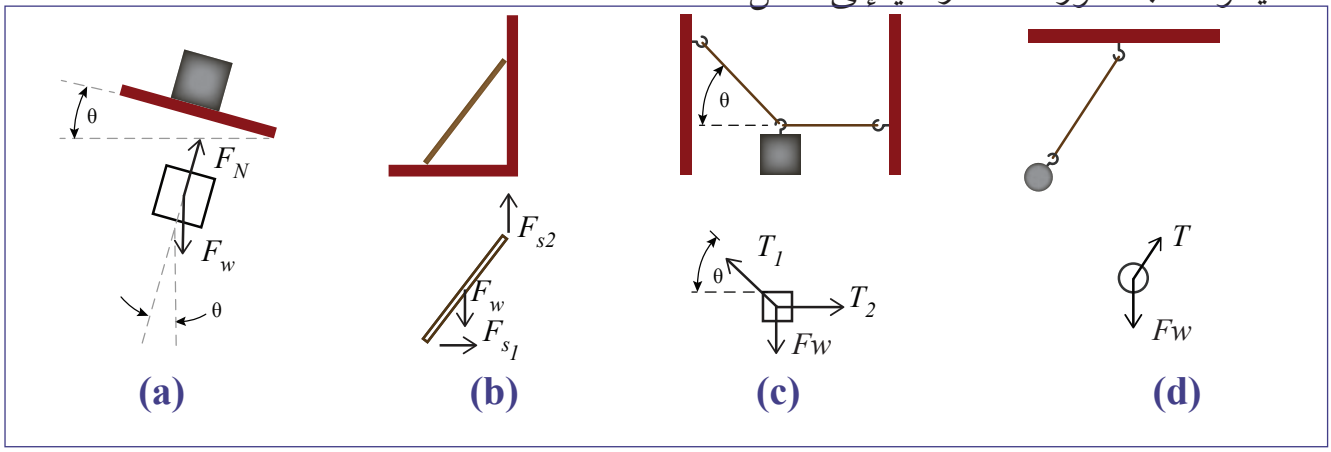
مقياس الرّسم البيانيّ لِلمُتَّجه يربط طول المُتَّجه بِمقدار القوّة. لنفترض، على سبيل المثال، أنّنا اخترنا مقياس 1 N = 1 cm فإنّ قوّة مقدارها 10 N تمثّل بسهم يبدأ من نقطة الأصل بطول 10 cm، بفرض أن المربّع □ يمثّل 1 نيوتن يمكن استنتاج اتجاه القوة من الشّكل الهندسي، في ما يلي حالات شائعة في مسائل الفيزياء:

a. القوّة العموديّة تكون متعامدة مع سطح التّماس.

b. قوى الاحتكاك يكون اتّجاهها معاكسًا للحركة.

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

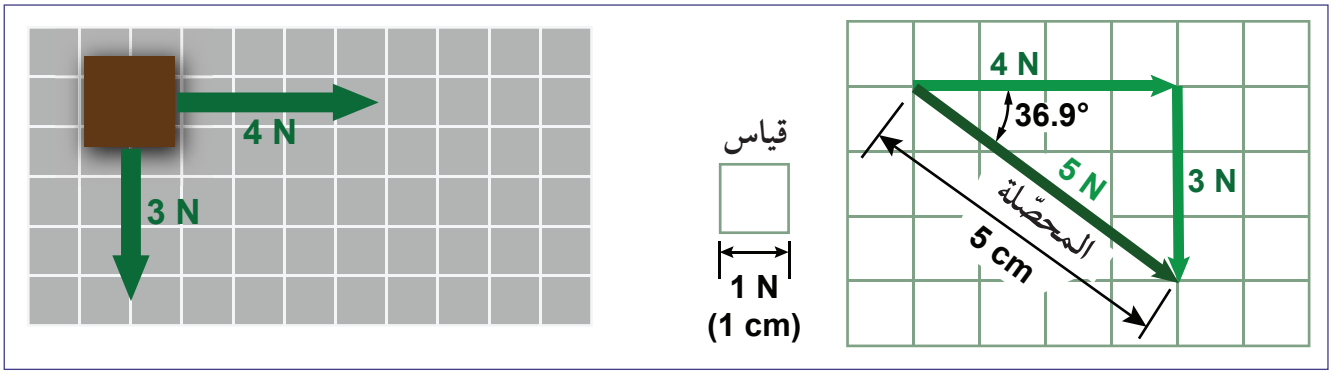
d. يكون اتّجاه الوزن دائمًا رأسيًّا إلى أسفل.



الشّكل 1-14 متجهات قوى في مسائل فيزيائية.

إيجاد المُحصِّلة المُتَّجهة 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 ساكنًا وُضِع على طاولة مُسطّحَة. إذا سحبنا هذا القالب بقوّتَين متعامدتَين مقدارهما 3 N و 4 N ، ففي أيّ اتّجاه يتحرّك القالب؟



الشّكل 1-15 يمكن جمع القوى المُتَّجهة في رسم بيانيّ للمُتَّجهات

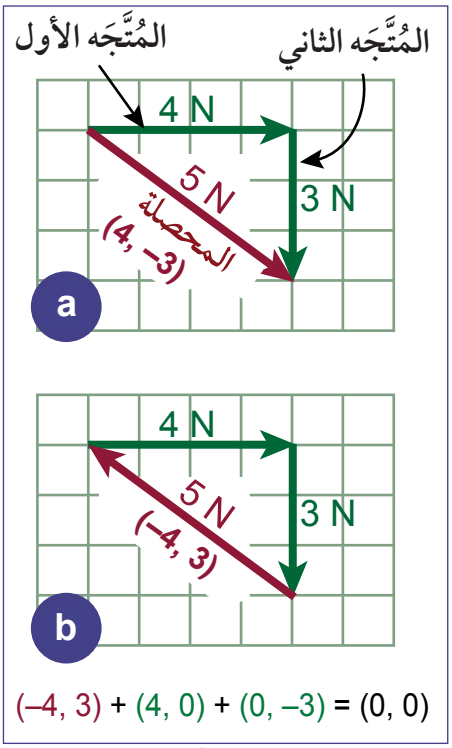
يتطلّب حلّ هذه المسألة جمع القوى ذات اتّجاهات مختلفة. إنّ حاصل الجمع البسيط لِمقدارَي المُتَّجهين هو 3 N + 4 N = 7 N، وهو جواب خاطئ لأنّ هاتَين القوّتَين ليستا في الاتّجاه نفسه. إنّ جمع عدّة مُتَّجهات هو مُتَّجَه واحد يُسمّى **مُحصِّلة Resultant**. القالب على الطّاولة سيتحرّك باتّجاه مُحصِّلة القوّتين. 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 المُتَّجهة بيانيًّا وذلك بتوصيل المُتَّجهات رأسًا بذيل كما في **الشّكل 1-16 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 1-16 a** مقدار المحصّلة واتجاهها الذي يقاس بالمنقلة. ويكون الشّكل مغلقًا في حالة الاتّزان. ومن الطرق المعتمدة لمعرفة قوّة مجهولة في مجموعة قوىً تؤثر في جسم متّزن هي عبر جمع باقي القوى المعروفة. تكون القُوَّة المجهولة هيَ القُوَّة المُعاكسة لمحصّلة باقي القوى المعروفة. فإذا كان اتّجاه المحصلة كما في **الشّكل 1-16 b** فإنّ القوة (–4،3) N هي الّتي تحقق الإتزان أي أنّها تجعل محصّلة القوى الثلاث صفرًا.



الشّكل 1-16 جمع مُتَّجهات القوى.

مُرَكَّبات المُتَّجه

سؤال للمناقشة

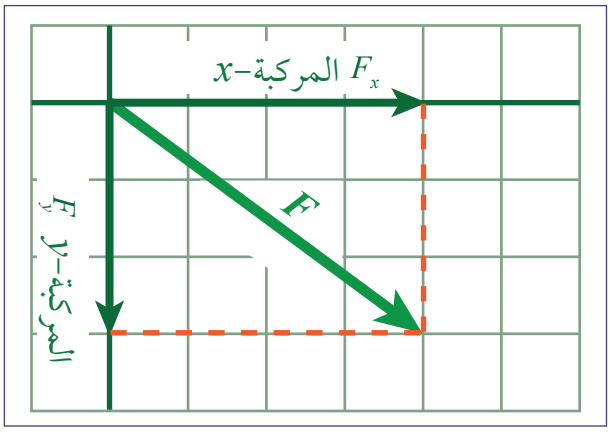
كيف نكتب المُتَّجهات وكيف نتعامل معها حسابيًّا؟

يشير المِثال الأخير إلى طريقة فعّالة لِلتّعامل مع المُتَّجهات. 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.

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

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



الشّكل 1-17 مُرَكَّبتا المُتَّجه

5-1	تدوين المركبة المُتَّجهة		
$\vec{F}=\left(F_x,F_y\right)$ 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 مُرَكَّبتَي أيّ مُتَّجه ضلعَين متجاورَين لِمثلّث قائم الزّاوية حيث يمثّل وتره المُتَّجه الأساسيّ. تكون مُرَكَّبتا المُتَّجه ضلعَي المثلّث على المحورَين x و y. وبهذا تكون المُرَكَّبة x موازية لِلمحور x والمُرَكَّبة y موازية لِلمحور y.

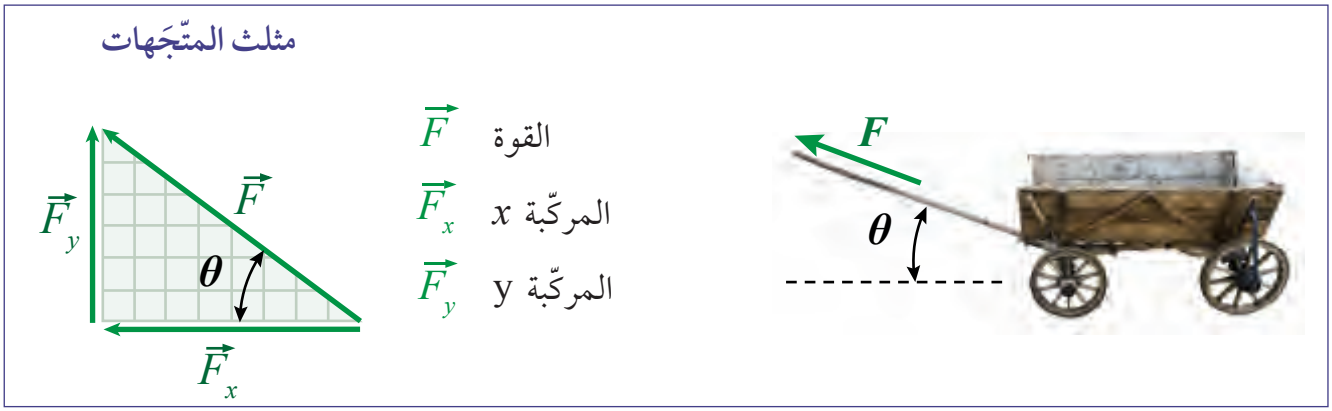
وتُسمّى عمليّة التّعبير عن المُتَّجه بمُرَكَّبتَين تحليل المُتَّجه. عندما يُكتَب المُتَّجه على الشّكل $(F = Fx, Fy)$ نقول بأنّه تمّ تحليل المُتَّجه إلى مُرَكَّبتَيه. في المسائل التي سنعتمدها في هذا الكتاب، كما في **الشّكل 1-17** نستخدم المُرَكَّبتَين x و y فقط، أمّا في المسائل في ثلاثة أبعاد فنحن بحاجة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

إيجاد مُرَكَّبات القوى في بعدَين

يُظهِر **الشّكل 1-18** كيف نحلّل 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.

مثال (5)

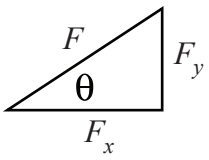
ما المركّبة الأفقية للقوة F التي تجر عربة إذا كانت الزاوية بين القوة والمحور الأفقي هي θ .



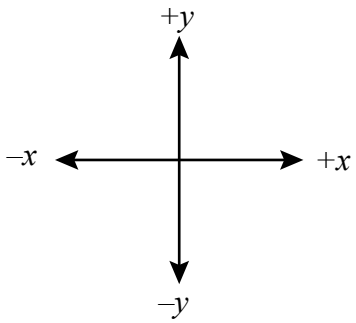
الشّكل 1-18 استخدام مخطّط المتجهات لإيجاد مركبتي القوى.

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



عليك أن تُحدِّد الاتّجاه الموجب والإتجاه السالب في كل مسائل القوى. فالقوة في المثال 5 أعلاه زاويتها θ مع الاتّجاه السّالب للمحور x، لأن الاتّجاه الموجب للمحور x هو نحو اليمين. وعليه تكون المركبة x للقوّة في هذه الحالة سالبة.



الجواب

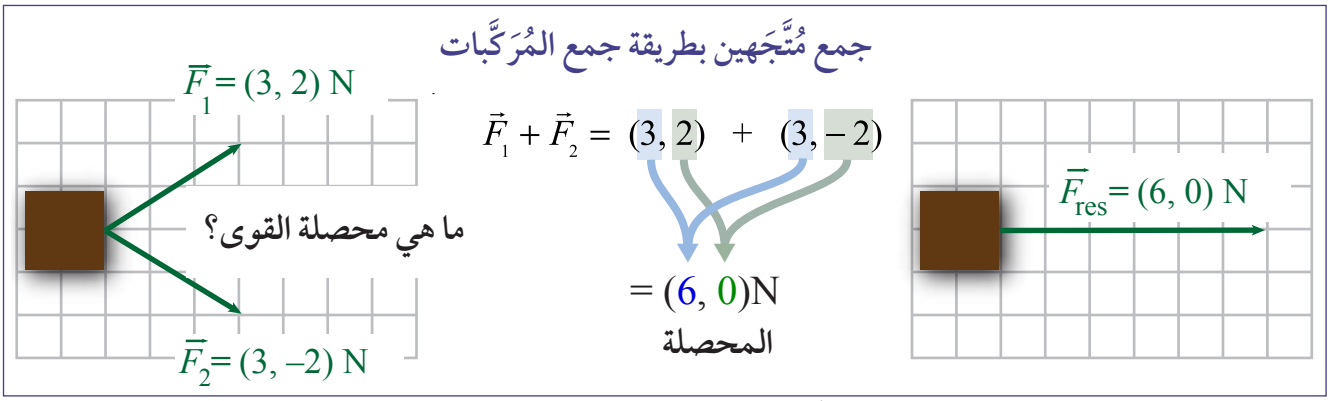
$$F_x = -F\cos\theta$$
$$F_y = F\sin\theta$$
$$\vec{F} = (-F\cos\theta, F\sin\theta)$$

جمع وطرح مُتَّجهات القوى بطريقة جمع المركّبات

لكي نجد حاصل جمع وطرح مُتَّجهين، نجمع ونطرح المركّبتين كلّ على حدة. المُرَكَّبة x لِلمُحصِّلة هي حاصل جمع المركبتين x لكلّ مُتَّجه. والمُرَكَّبة y لِلمحصِّلة هي حاصل جمع المركبتين y للمُتَّجهين. وهذه الطّريقة أسرع وأدقّ من الرّسم البيانيّ لِلمُتَّجهات.

يُظهِر **الشّكل 19-1** المُحصِّلة لِجمع (3,2)N و(3,-2)N . القوّتان المُتَّجهتان تقعان إلى اليسار والمُحصِّلة إلى اليمين.

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

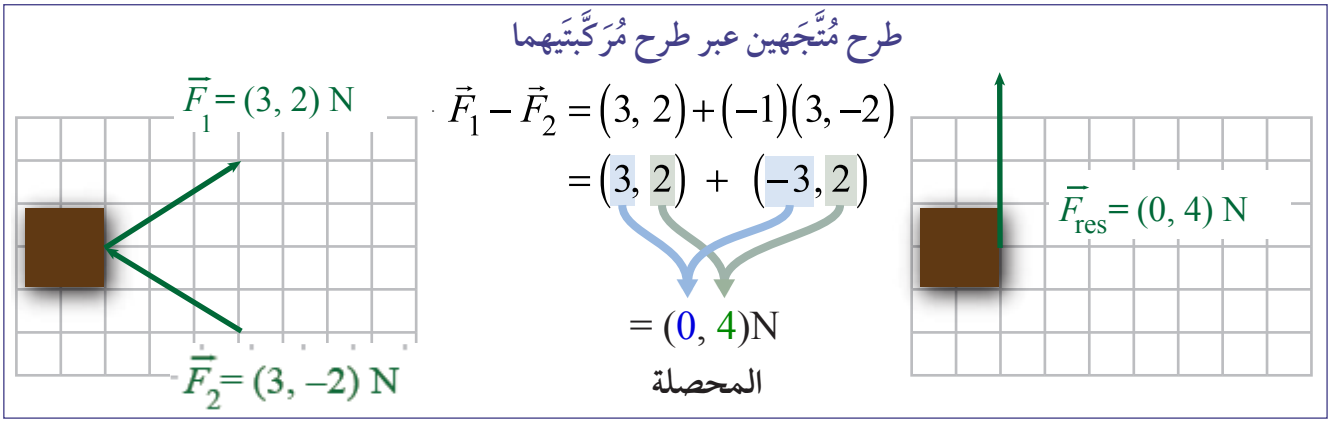


الشّكل 19-1 جمع مُتَّجِهَين عن طريق جمع مُرَكَّبتيهما.

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

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

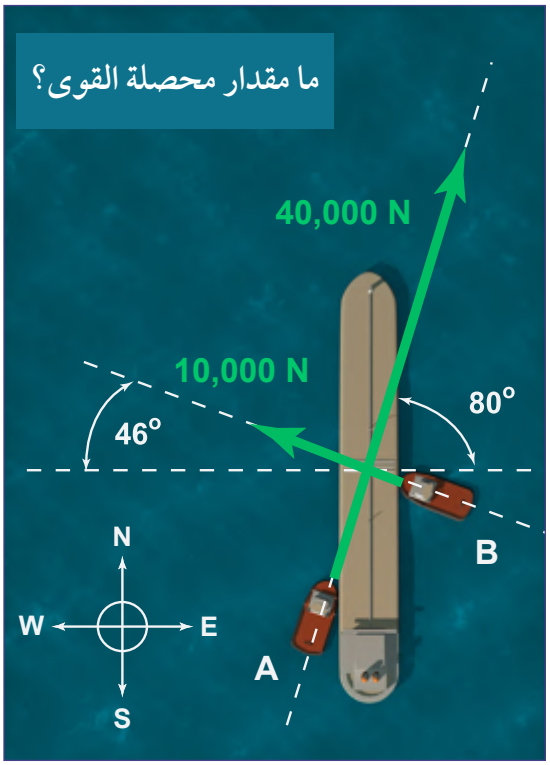
مثل (3,-2)N و(3,2)N هي نفسها (-3,2)N و(3,2)N. والمُحصِّلة هي (0,4)N.



الشّكل 20-1 طرح مُتَّجهين عبر طرح مُرَكَّبتَيهما.

مثال (6)

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



المطلوب مُحصِّلة القوى F

المعطى زاوية ومقدار كلّ من القوّتَين.

العلاقات

$$F_x = F\cos\theta$$

$$F_y = F\sin\theta$$

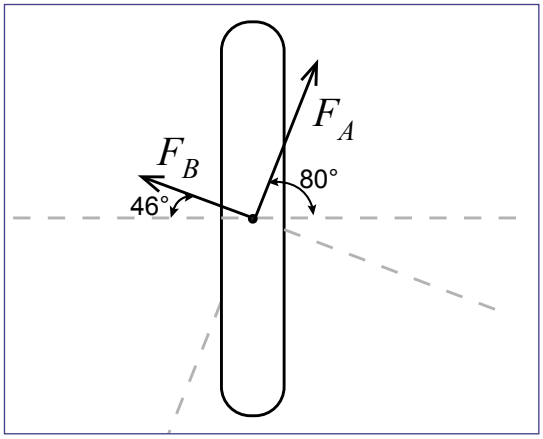
الحلّ

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

مُرَكَّبتا القوّة الّتي يؤثّر فيها 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 فيها الزّورق (B) هي أقلّ مقدارًا. تُحلَّل هذه القوّة الى مُرَكَّبتَين.

مُرَكَّبتا القوّة الّتي يؤثّر فيها الزّورق (B):

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

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

تتضافر مُرَكَّبتا القوّتَين في الاتّجاه y إلى 46585 N+. أمّا مُرَكَّبتا x فيُساوي مجموعهما صفرًا! يكون اتّجاه القوّة المُحصِّلة على النّاقلة مباشرة نحو الشّمال بمقدار: $F_{net} = (0, 46585)$ N

$$F_A + F_B$$

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

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

إيجاد محصّلة مركّبتين متعامدتين حسابيًّا

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

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

للحصول على زاوية المُتَّجه، عليك استخدام تقنيّة الظلّ العكسيّ. يعطيك الظلّ العكسيّ قيمة الزّاوية إذا كنت تعرف حاصل قسمة جانبَي المثلّث القائم الزّاوية كما هو محدَّد في **المعادلة (8-1)**. تتمّ كتابة الظلّ العكسيّ لِـ θ كـ $\tan^{-1}\theta$.

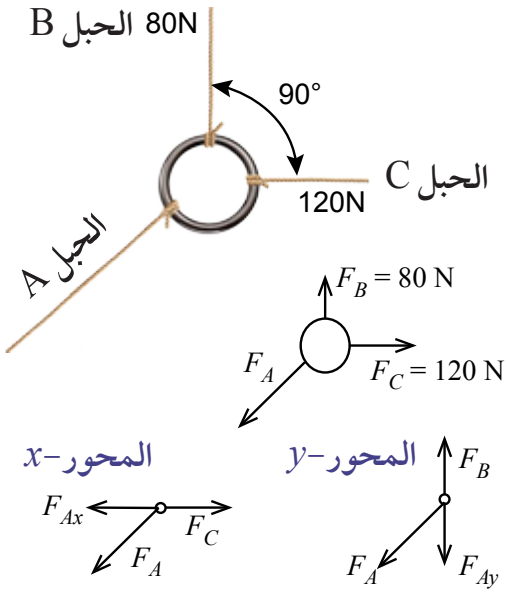
8-1	زاوية المُتَّجه		
$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$ F، F_y، θ، F_x		F	القوة (N)
		F_x	االمركبة الأفقيّة للقوّة (N)
		F_y	االمركبة الرأسيّة للقوّة (N)
		θ	زاوية المتّجه مع المحور x

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 المُرَكَّبتَين F_x و F_y.

مثال (7)

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

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



المطلوب قوّة الشد F_A في الحبل A

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

العلاقات $F_A + F_B + F_C = 0$ في أي اتجاه

الحلّ

- في الاتّجاه x.

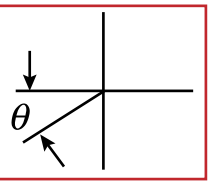
$$F_c - F_{Ax} = 0 \Rightarrow F_{Ax} = 120 \text{ N}$$

- في الاتّجاه y.

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

$$F = \sqrt{(-120)^2 + (-80)^2} = 144\text{N}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{-80}{-120}\right) = 33.7°$$



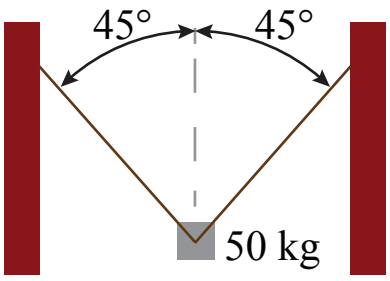
مثال (8)

يُعلَّق جسم كتلته 50 kg بوساطة حبلَين بين جدارَين. ما مقدار قوّة الشّدّ لكلّ من الحبلَين في الرّسم التّوضيحيّ أدناه، 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.

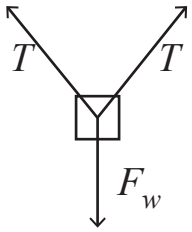
الفكرة الأساسيّة هي تحليل جميع القوى إلى مُرَكَّبَتَيهما x و y بحيث تكون القوّة المُحصِّلة في كلّ من الاتّجاهَين صفرًا. يجب أن يكون حاصل جمع المُرَكَّبات في كلّ من الاتّجاهَين x و y صفرًا.

المسألة



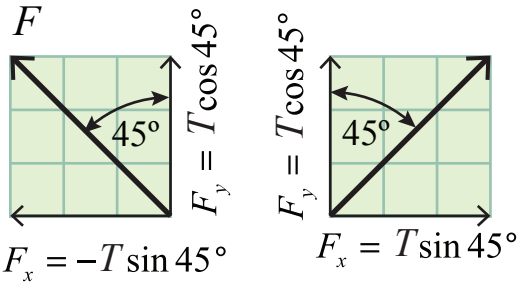
الخطوة 1

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.

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

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

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

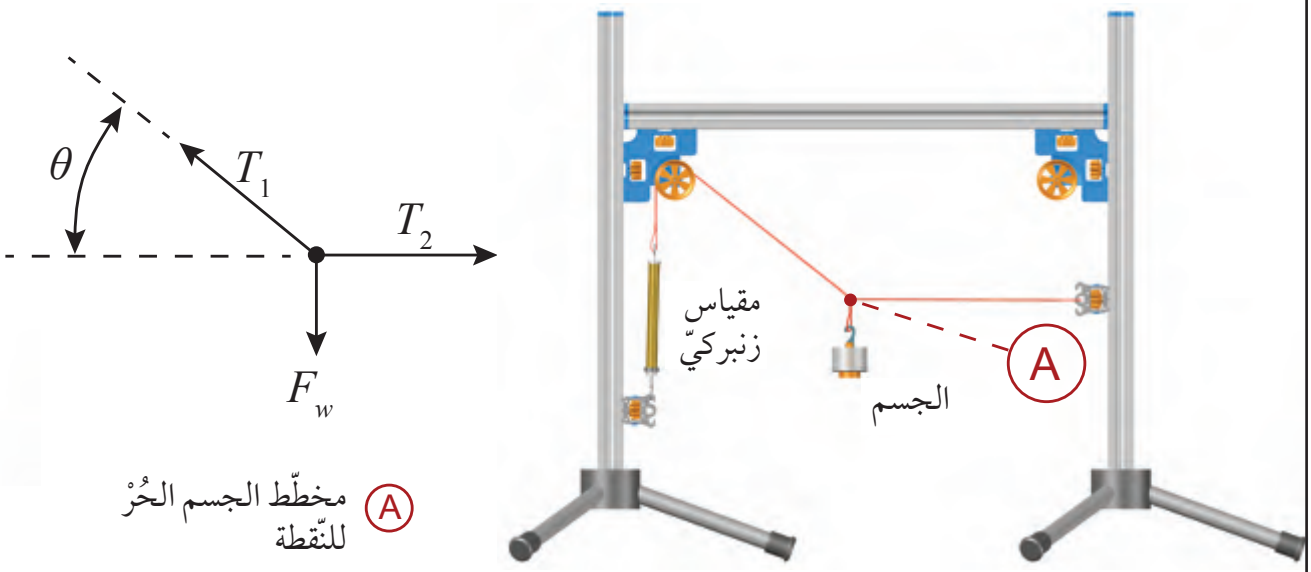
ملحوظة: عندما تضع سهمًا فوق القوّة المجهولة على رسم تخطيطيّ لِلجسم الحرّ، فإنّك تختار اتّجاه القوّة. لا تقلق إذا لم يكن اختيارك صحيحًا! بعد حلّ المسألة، إذا كانت إشارة القوّة سالبة. فذلك يعني أنّ اتّجاه القوّة معاكس لما هو في مخطّطك.

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



1. قُم بإعداد نموذج لقوى متزنة كالنّموذج الوارد في المخطّط أعلاه. يجب أن يكون أحد جوانب الخيط أفقيًّا بينما يميل 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)

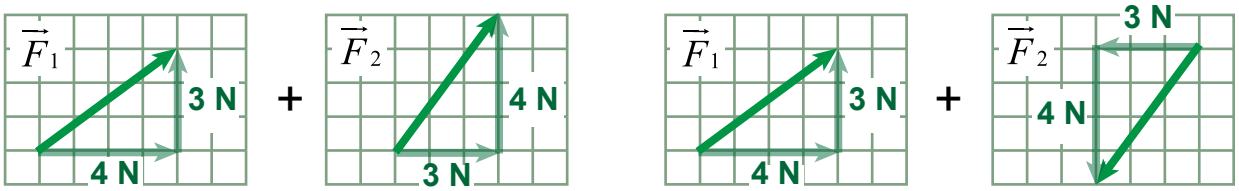
a. اشتقّ معادلة لمقدار قوتي الشّد T_1 و T_2 في الخيطين بدلالة الكتلة والزاوية ثم احسب T_1 و T_2.

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

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

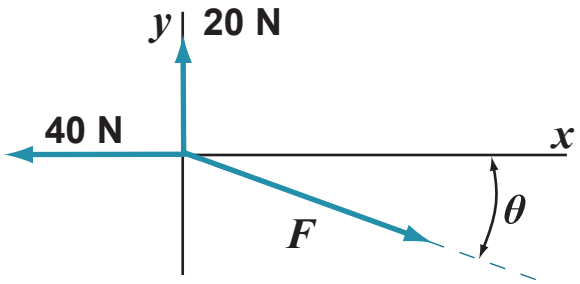
تقويم الدّرس 2-1

1. في الشكلين الموضحيّن في الجزءين (a) و (b)، استخدم المُرَكَّبَتَين 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.

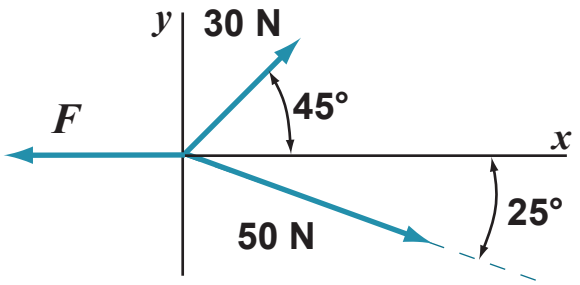


الجزء (a) الجزء (b)

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 ما إذا كانت مُرَكَّبتها الأفقيّة **10 N** ومُرَكَّبتها الرّأسيّة **15 N**؟
5. في الرّسم البيانيّ أدناه، احسب القوّة المطلوبة لِجعل القوى متزنة، عبّر عن إجابتك $\vec{F} = (F_x, F_y)$.

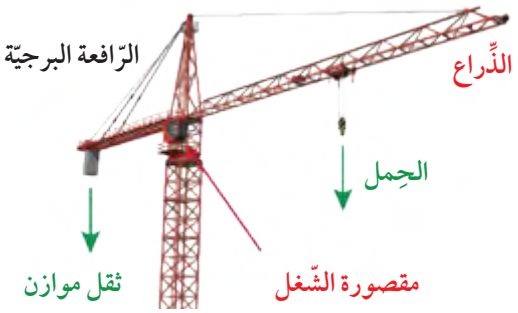


6. احسب القوّة المطلوبة لِجعل مُحصِّلة القوى، المبيَّنة في الرّسم البيانيّ أدناه، صفرًا. عبّر عن إجابتك $F = (F_x, F_y)$.



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 المُشغّل، الّتي تقع في الجزء العُلويّ من الرّافعة.

مخرجات التعلُّم

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

المفردات

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

عزم القوّة

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

سؤال للمناقشة

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

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

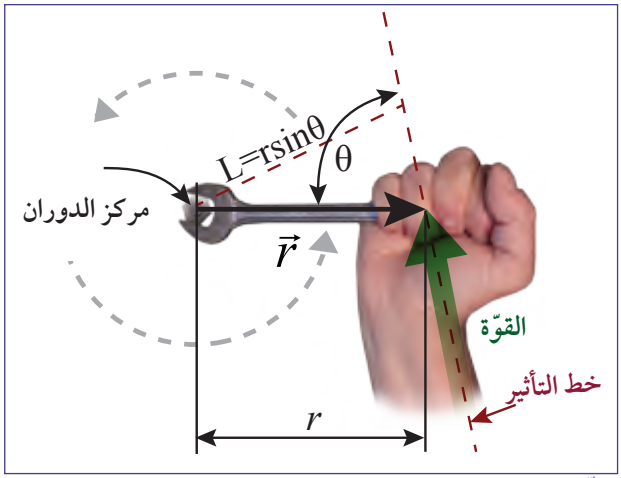
والعزم بالنّسبة إلى الحركة الدّوَرانيّة كما القوّة بالنّسبة إلى الحركة الانتقاليّة. ينشأ العزم عندما لا يمرّ خطّ تأثير القوّة في مركز دوَران الجسم. وخطّ تأثير القوّة هو الخطّ الوهميّ الّذي يكون في اتّجاه القوّة ويمرّ في نقطة تأثيرها.

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

9-1 عزم القوة

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

τ	عزم القوّة (N.m)
r	المسافة من محور الدَّوران إلى نقطة تطبيق 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)

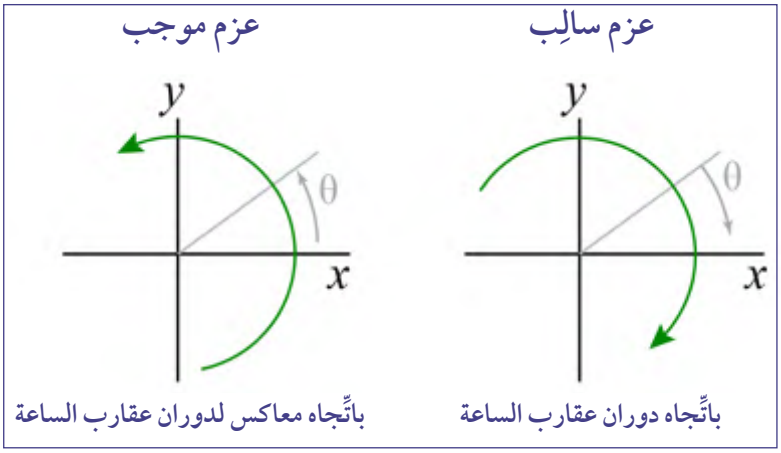


الشّكل 1-22 حساب العزم.

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 $\theta = 90^o$ وصفرًا 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** ببساطة $\tau = rF$

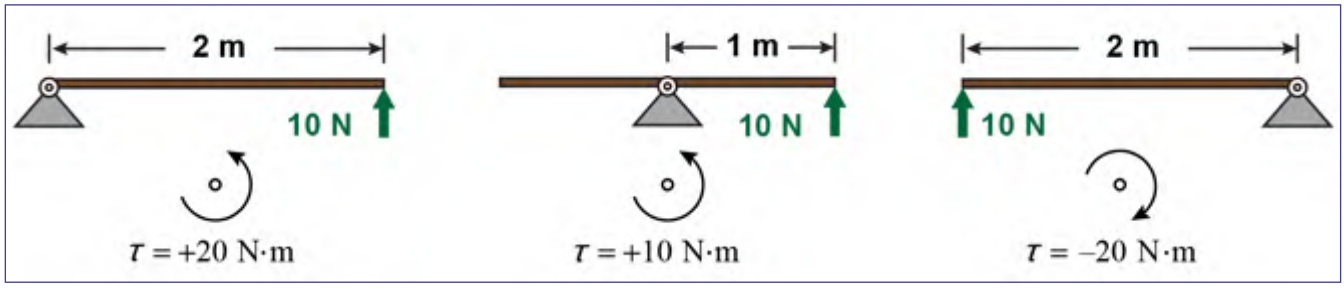
حساب العزم



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.

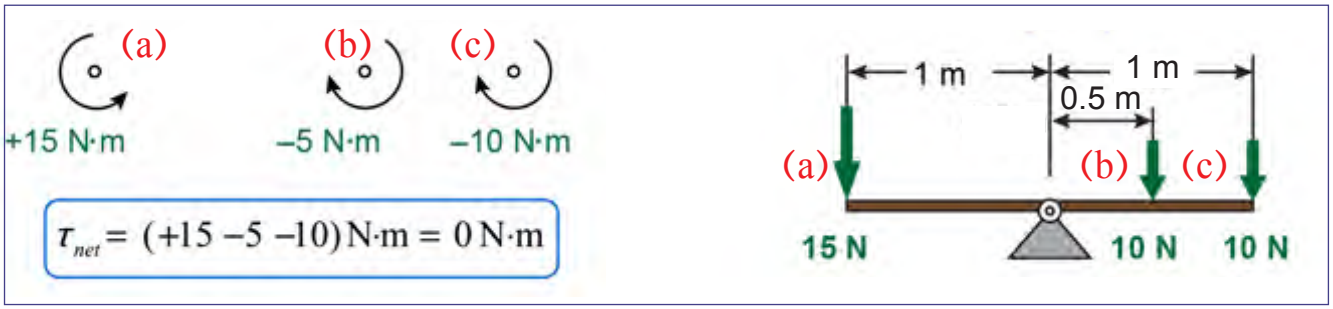
يعتمد عزم أي قوّة على موقع خطّ تأثير هذه القوّة من موقع محور الدّوَران. يمكن لِلقوّة ذاتها أن تنتج عُزومًا مختلفة باختلاف محاور الدّوَران. يُظهِر **الشّكل 1-24** أدناه القوّة ذاتها N 10+ وهي تنتج عُزومًا مقدارها N.m 20+ و N.m 10+ و N.m 20- لدى تطبيقها عند ثلاث نقاط مختلفة في مواقعها من محور الدوران.



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

يعتمد العزم على القوّة ومكان تطبيقها. 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 المحور نفسه. يُظهِر **الشّكل 1-25** لوحًا مُتّزِنًا مُحصِّلة عُزوم القوى الثّلاث المؤثرة فيه صِفر.



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

الاتِّزان الدَّوَرانيّ

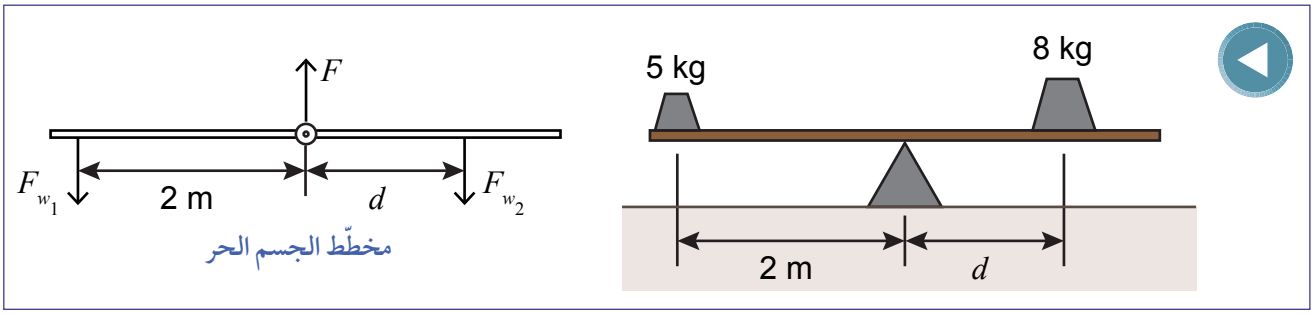
يكون الجسم في حالة اتِّزان دوَرانيّ عندما تكون محصّلة العزوم صفرًا حول أيّ مركز دوَران. توضِح **المعادلة 10-1** هذا الشّرط. فالجسم الّذي لا يدور يكون حتمًا في حالة اتِّزان دوَرانيّ.

10-1	الاتِّزان الدَّوَراني	τ_1	عزم القوة الأولى بوحدة قياس (N·m)
	$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0$	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 المركز أينما تُريد.

تكون محصّلة العزوم على أيّ جسم متّزِن 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، فيكون عزمها صفرًا، لأنّها تمرّ في مركز الدّوَران.



الشّكل 26-1 المحاكاة التّفاعليّة تساعدك في موازنة عارضة مهملة الكتلة وذلك عبر حساب العزوم حول مراكز دوَران مختلفة.

لِحلّ المسألة في **الشّكل 26-1**، اختر المركز عند نقطة تطبيق القوّة المجهولة F . يكون عزم هذه القوّة صفرًا حول المركز.

احسب العزم في كلّ حالة.

$\tau_1 = (+2\text{m})\, m_1 g$

$\tau_2 = -dm_2 g$

تطبيق شرط الاتِّزان

$$2m_1 g + (-dm_2 g) = 0 \longrightarrow d = \frac{2m_1}{m_2} = \frac{2\times 5}{8} = \boxed{1.25\text{m}}$$ الجواب =

قوى ردّ الفعل

تسمّى القوى الناتجة من الدعائم، أو الأجزاء الأخرى من الهيكل، **ردود الفعل Support reaction**. تحدث ردود الفعل حيثما يلمس العُنصر المعزول أيّ عُنصر آخر، أو أي دعامة. يمكن لردود الفعل أن تنقل قوًى أوعُزوم دَوَران، بحسب نوعها يظهر **الشّكل 1-27** دعامات وردود فعل لقوىً وعزوم. يجب أن يتضمَّن مُخطَّط القوى دائمًا قوى ردّ الفعل الصحيحة.

الاتّصال/ الدعامة	قوى ردّ الفعل	
سطح من دون احتكاك	F	**قوّة عموديّة على السطح** كلّ من العجلة أو السّطح عديم الاحتكاك يُؤثر بقوّة عموديّة فقط عند نقطة التّلامس مع السطح.
عجلة		
رابط	F	**قوّة بزاوية معروفة** يؤثّر الحبل أو الرّابط بقوّة منفرِدة ذات خطّ تأثير معروف.
حبل		
سطح خشن	μF_N و F_N	**احتكاك سكوني وقوى عمودية** يؤثّر السّطح الخشن بقوّة احتكاك ذات مركبتين، إحداهما مُوازية للسّطح، والأخرى عموديّة.
محور بدون احتكاك	F_x و F_y	**قوى ذات مركبتين مجهولتين** تؤثّر وصْلة المِحوَر غير الاحتكاكيّ بقوّتَي ردّ فعل x و y مختلفتَين. ويعتبَر ذلك مُقاربة شائعة في حلّ المسائل.
دعامة ثابتة	F_x و F_y و τ	**قوى وعزوم ذات مُركّبات مجهولة** الوصْلة الأكثر تعقيدًا هي الدّعامة الثّابتة الّتي يمكنها نقل كلّ من القوى والعزوم.

الشّكل 1-27 الدّعائم المختلفة الأشكال يمكن أن تؤثّر عن طريق قوًى أو عزوم وفقًا لنوع الدّعامة.

حلّ مسائل الاتِّزان

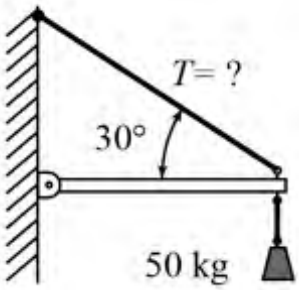
يتكوَّن الشّرط العامّ للاتِّزان السّاكن من جزأين:

- يجب أن تكون محصلة القوى في كلّ الاتِّجاهات صِفرًا، ونحصل بذلك على الاتزان الانتقالي.
- يجب أن تكون محصلة عزوم الدّوَران حول أيّ مركز تختاره صِفرًا، ونحصل عندها على الاتزان الدوراني.

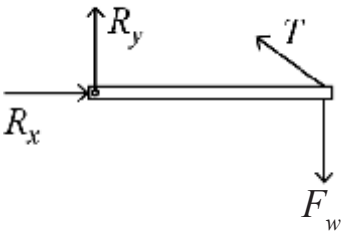
في ما يتعلّق بالمسائل ذات البُعدَين، ينتج من هذين الشّرطَين معادلتان للإحداثيَّين x و y، ومعادلة ثالثة للاتِّزان الدّوَرانيّ.

مثال (9)

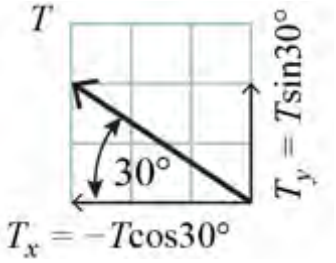
احسب قوّة الشّدّ T في الحبل الّذي يحمل الكتلة المُعلَّقة عند طرف الذّراع المهمل الكتلة.



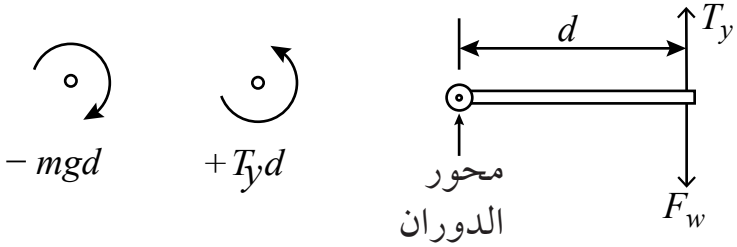
مخطّط الجسم الحر



مُركّبتا القوّة



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)

$$Td\sin 30° - F_w d = 0$$

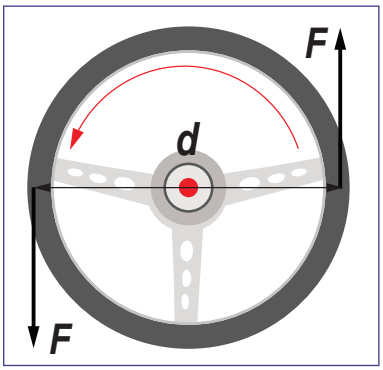
الجواب

$$T = \frac{F_w}{\sin 30°} = 980\ \text{N}$$

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، يُطبّق السّائق عند طَرفَي المِقوَد قوّتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه كما في **الشّكل 1-28**. يسمى نظام القوتين هذا **بالازدواج Couple** ويكون عزمه حاصل جمع عزمي القوتين في اتجاه واحد وهو الاتجاه المعاكس لدوران عقارب الساعة في هذه الحالة. وبما أن عزم كل من القوتين هو $F\frac{d}{2}$، 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.

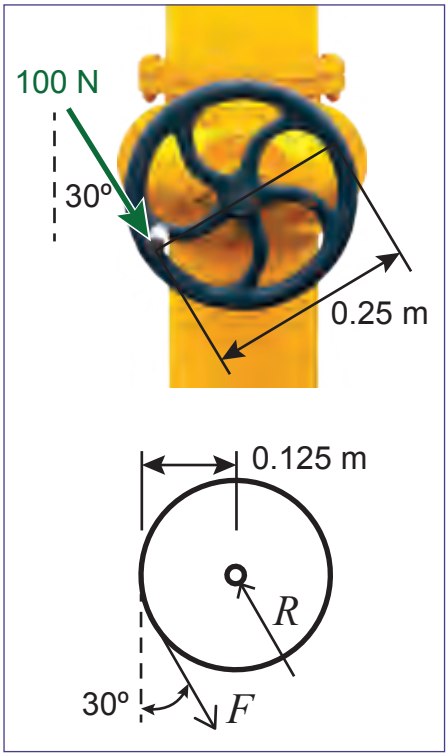


الشّكل 1-28 ازدواج من قوتين في الحركة الدائرية لمقود سيارة.

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

مثال (10)

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 لتحقيق دوران العجلة. افترض أن خط 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 100N 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:

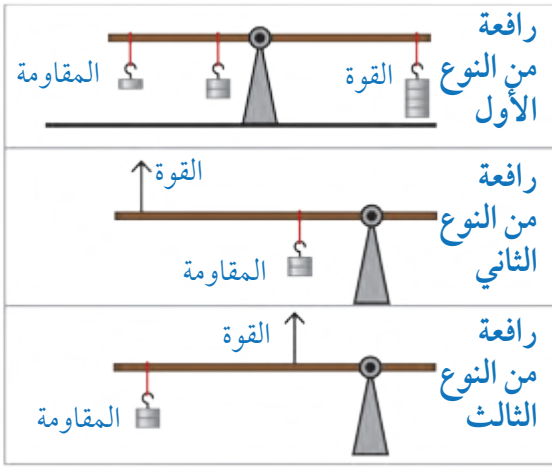
$$\vec{R} + \vec{F} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{R} = -\vec{F} = (-50.0\ ,\ 86.7)\ \text{N}$$

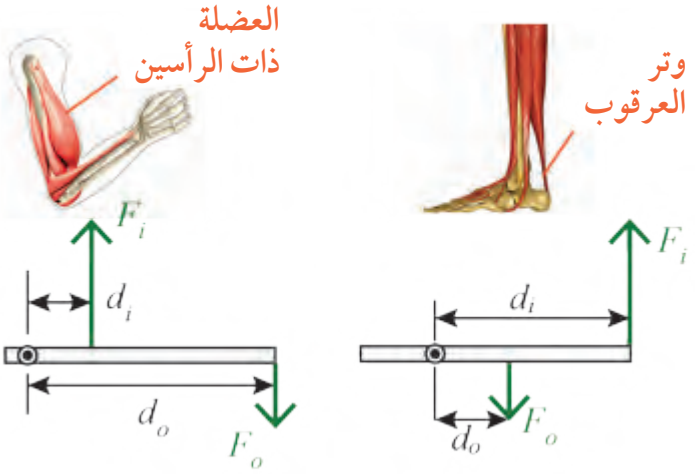
نشاط عمليّ

3-1 العزم والعضلات

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

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 والقوّة لكلّ من الذّراع والقدم مستخدمًا العضلة ذات الرّأسَين ووتر العرقوب كقوّتَي دخل.
3. أنشِئ رافعة مشابهة لكلّ من الذّراع والقدم وقدّر الكفاءة الميكانيكيّة في كلّ حالة.

جانب القوة (F_i)

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

جانب المقاومة (F_o)

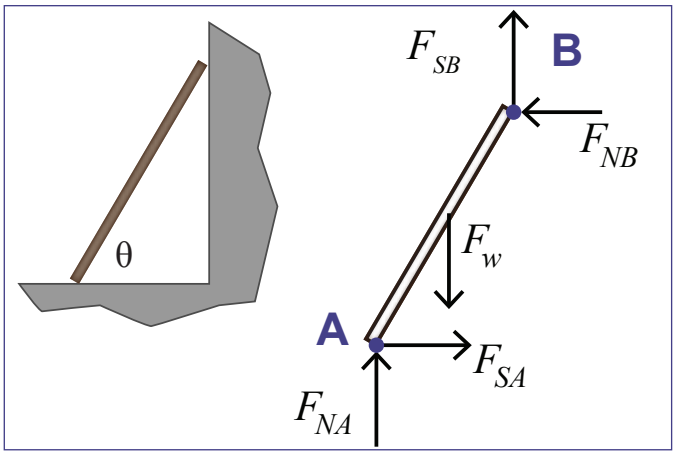
الوزن (N)	المسافة (m)	عزم الدوران (N·m)
متوسط عزم الدّوران		

أسئلة

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

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

مثال (11)



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

المطلوب هل ينزلق السلّم؟

المعطى $\mu_S = 60^o = 0.2$ ، θ

المعادلات $F = \mu_s N$ ، محصلة القوى في أي اتجاه تساوي صفرا، محصلة العزوم في أي اتجاه تساوي صفرا.

الحل

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

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

الاتجاه الأفقي الاتجاه الرأسي العزوم حول المحور A

$$F_{SA} - F_{NB} = 0 \qquad F_{NA} + F_{SB} - F_w = 0 \qquad -F_w \frac{l\cos\theta}{2} + F_{NB} l\sin\theta + F_{SB} l\cos\theta = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

ضوء على العلماء

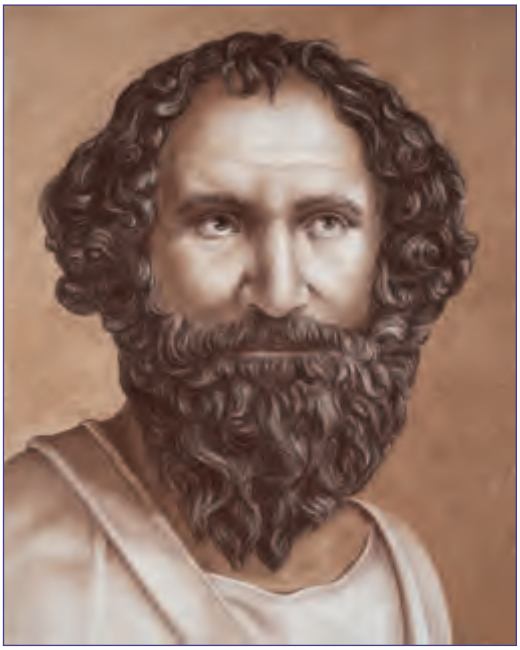
"أعطني رافعة ومكانًا مناسبا لأقف فيه، وسأُحَرّك العالم كله ". نُقِلَ هذا القول عن أرخميدس (287 - 212 قبل الميلاد) عالم الرياضيات اليوناني والفيلسوف والمهندس الذي كتب عن المبدأ الرياضي للرافعة (**الشّكل 1-29**). وعلى الرغم من مرور أكثر من 2000 سنة على وفاته، لا يزال أرخميدس يعتبر واحدا من ألمع العلماء والمهندسين الذين يستحقون كل تقدير.

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.

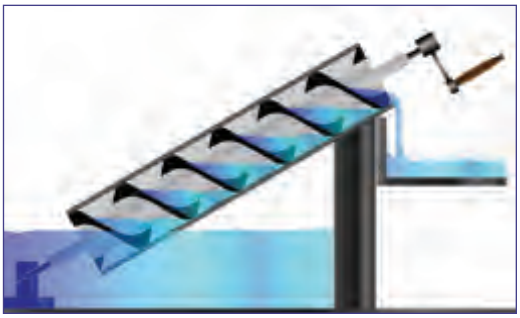
لا نعرف الكثير عن المراحل الأولى من حياة أرخميدس، سِوى أنَّه سافر في صِغَره إلى الإسكندرية للدراسة مع إقليدس، وعاد بعدها إلى سيراكيوز في جزيرة صقلية ومَكَث فيها بقيه حياته.

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 1-31**. ويبقى استخدام الرياضيات لوصف العالم أساسيا في الفيزياء اليوم كما كان في زمن أرخميدس.



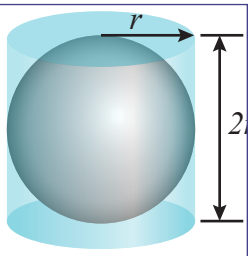
الشّكل 1-29 أرخميدس.



الشّكل 1-30 برغي أرخميدس لرفع المياه إلى أعلى تلّة.

$$V_{sphere} = \frac{2}{3} V_{cylinder}$$

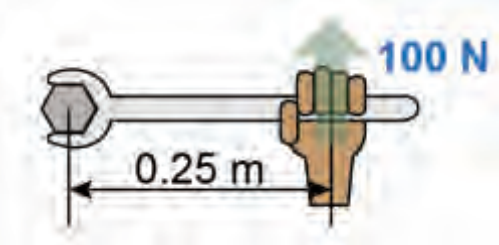
$$V_{sphere} = \frac{4}{3}\pi r^3$$



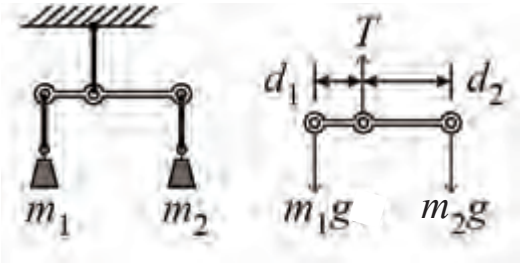
الشّكل 1-31 استنتاج حجم الكرة.

تقويم الدرس 3-1

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



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



a. $m_1g + m_2g + T = 0$

b. $m_1gd_1 + m_2gd_2 = 0$

c. $m_1gd_1 - m_2gd_2 = 0$

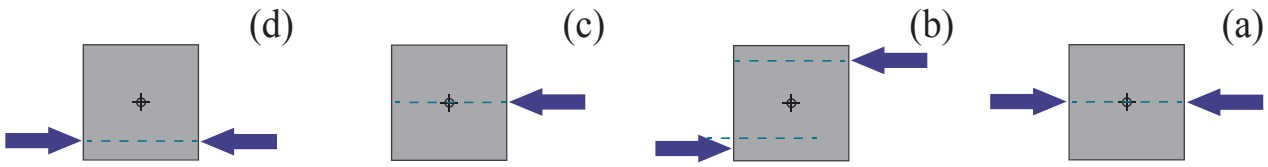
d. $m_1gd_1 + m_2gd_2 + T = 0$

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

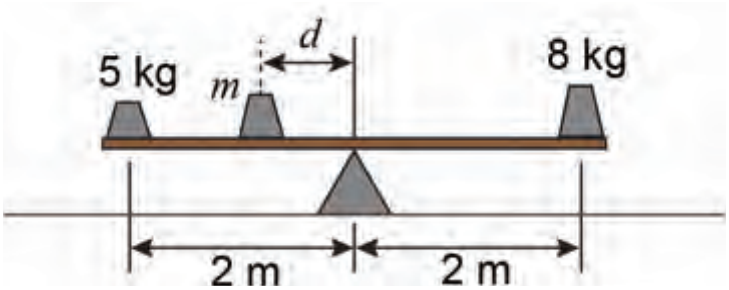
4. تؤثِّر كلّ من القوى المُبيَّنَة أدناه على المُكعَّب بقوّة 100 N. يوضَّح كلّ من مركز الدَّوَران وخطّ (خطوط) التّأثير، في كلّ حالة من الحالات أدناه.

a. أيّ من الحالات الأربع (a) أو (b) أو (c) أو (d) تُظهر توازُنًا إنتقاليًا فعليًّا للقوى. (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 كل من الكتلة m ، والمسافة d ، الّتي تعمل على اتِّزان العارضة الموجودة في الرسم البيانيّ أدناه.



الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدّرس 1-1 القوى والاتزان

- **القوى** هي المؤثّرات التي تؤدّي إلى تغيّر الحركة
- وحدة قياس القوة هي النيوتن **والواحد نيوتن** (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.
- 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 حركتهما بالنسبة إلى بعضهما البعض.
- **الاحتكاك الحركي** هو قوة الإعاقة بين سطحين ينزلقان بالنسبة إلى بعضهما البعض.

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.
- يُنتِجُ **الازدواج** مُحصّلة عزم وتكون قُوّته المُحصّلَة صفراً.

اختيار من متعدد

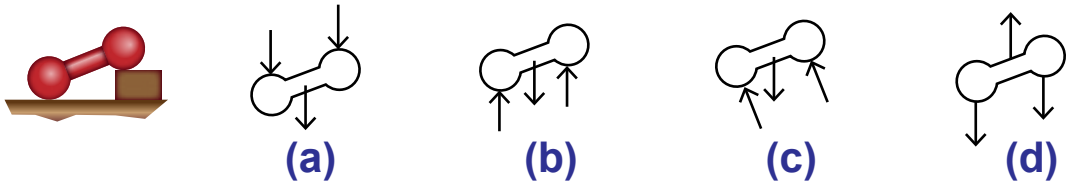
1. أيّ زوج من خصائص الحركة يمكن تغييره تحت تأثير قُوّة؟

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 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؟



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 يكون وزن جسم على سطح الشمس إذا كانت كتلته 100 kg وعجلة 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 تبلغ عجلة 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. يحرّك صندوق تحت تأثير قوتين متعامدتين. كيف يكون اتجاه سيره؟

a. باتّجاه القوة الأكبر
b. باتّجاه معاكس للقوة الأصغر
c. باتّجاه محصّلة القوتين
d. باتّجاه عمودي لمحصّلة القوتين

9. يسحب رجل صندوقاً على أرض أفقيّة بِوساطة قوّة تميل بزاوية θ مع الأفقي. 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؟

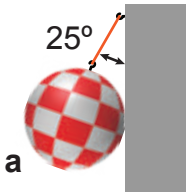
a. تكون القوى الثّلاث في اتّجاه واحد.
b. يكون للقوى الثّلاث اتجاهات متعاكسة.
c. يتطابق رأس القوّة الأولى مع ذيل القوة الثّالثة.
d. يتطابق ذيل القوّة الأولى مع رأس القوة الثّالثة.

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

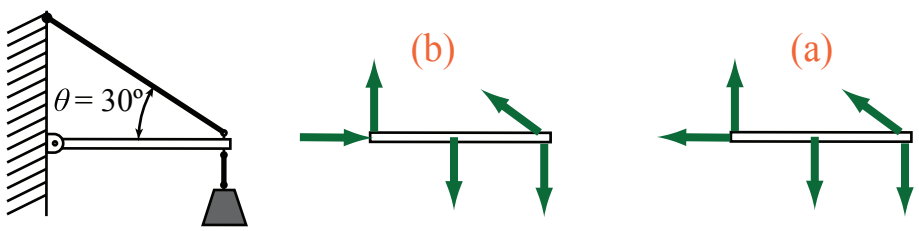
الدّرس 1-1 القوى والاتّزان

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

18. يوضح الشّكل التالي ثلاث أدوات شائعة لِقياس كتلة 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 الأرض وصندوق كتلته 50 Kg هو 0.25. طُبّقَت 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 تطبيقها لِلحفاظ على انزلاق اللّوحة بسرعة ثابتة إذا كان معامل الاحتكاك الحركيّ μ_k؟

21. إذا انزلق جسمان على سطحين مسطّحين وناعمين للغاية، 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

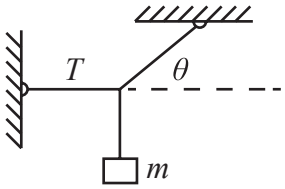
24. أكتب مُرَكَّبَتَي المُتَّجَهين لِقوّتَين لهما المقدار نفسه لكن في اتّجاهَين متعاكسَين. يمكن استخدام أرقام اختياريّة.

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 مدى مقدار مُحصِّلة قوّتَين إذا كان مقدار إحداهما 7 N والأخرى 5 N؟

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

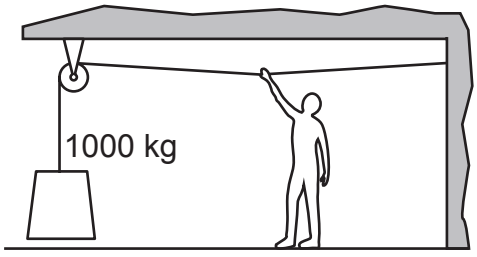


29. ما مُحصِّلة القوّة النّاتجة من جمع القوّتَين المُتَّجهتَين $F_1 = (a, b)$ and $F_2 = (c, d)$؟

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 والاتِّزان 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؟

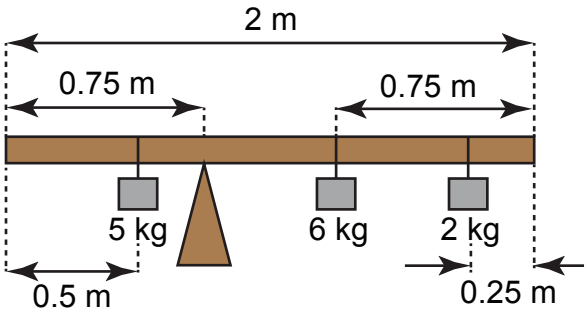
34. يحاول عاملان سحب طاولة على الأرض بتطبيق قوتين أفقيتين مقدار كل منهما 100 N والزاوية بينهما 120° . ما القوة الثالثة التي يجب أن يطبقها عامل ثالث وفي أي اتجاه بحيث يمنع الطاولة من الحركة ويبقيها في حالة اتزان؟ اهمل قوى الاحتكاك بين الطاولة والأرض.

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

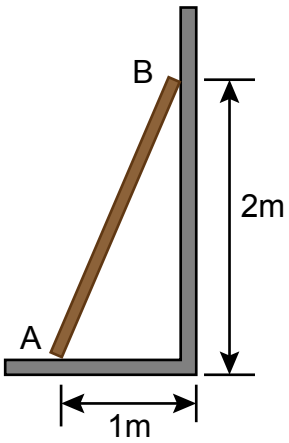
36. من الممكن تطبيق قوّة كبيرة على باب يتأرجح بحرّيّة دون التّمكّن من فتحه. بينما يمكن فتح الباب نفسه عبر تطبيق قوّة صغيرة عليه. اشرح كيف يمكن حصول ذلك.

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 يمكن أن تستمرّ على حالها دون تغيير يُذكَر في غياب القوة. ويوضح القانون الثّالث أنّ القوى تعمل دائمًا في إطار أزواج. بينما يربط القانون الثّاني، وهو المعادلة الأكثر استخدامًا في علم الفيزياء، العجلة بالقوّة والكتلة.

فالقوّة كمّيّة مُتَّجِهة يُمكِن تطبيق قوانين نيوتن عليها في الاتّجاهات الثّلاثة، حيث تكون العجلة في الاتّجاه نفسه لِمُحصِّلة القوى. سنستخدم القانون الثّاني لِقياس العجلة 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 350.000N من قوّة الدّفع لكلّ مُحرِّك. أربعة من هذه المُحرِّكات يُمكِن أن تزيد من سرعة إقلاع الطّائرة الضّخمة بمعدّل 310 km/h كم في السّاعة 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
القصور الذّاتي	Inertia
قوّة الطّرد المركزيّ	Centrifugal force
القانون الثّالث لِنيوتن	Newton’s third law
زوج الفعل وردّ الفعل	Action-reaction pair

قوانين نيوتن لِلحركة

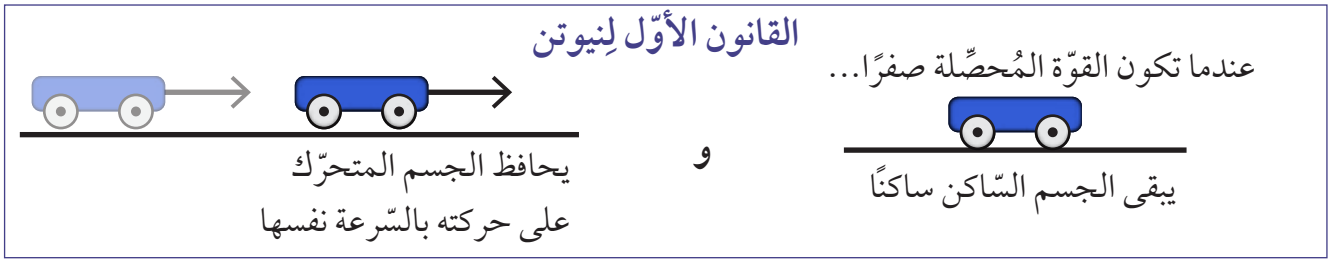
تصف قوانين نيوتن الثّلاثة لِلحركة استجابة الأجسام لِتأثيرات القوى. يصف القانون الأوّل شروط الاتّزان – أو القوّة المُحصِّلة الصّفريّة. ويصف القانون الثّاني عجلة الأجسام تحت تأثير مُحصِّلة قوى معيّنة. بينما يصف القانون الثّالث كيف تكون القوى دائمًا أزواجًا من فعل وردّ فعل.

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.

ينُصّ 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 قوّة معيّنة. لكنّ القانون الأوّل يشير أيضًا إلى أنّ الجسم المتحرّك يحافظ على حالته الحركيّة نفسها ما لم تؤثّر فيه مُحصِّلة قوى ما. والأجسام الحقيقيّة 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.

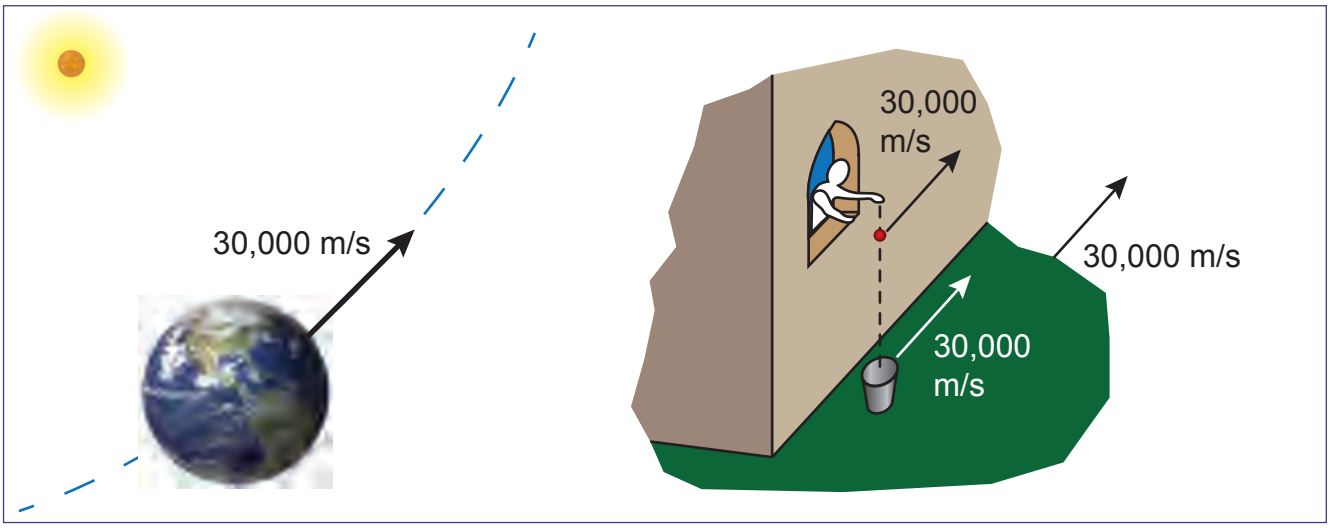
القصور الذّاتيّ

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 في دلو عن ارتفاع خمسة أمتار. 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 على بُعد 30,000 m في وقت هبوط الكرة؟



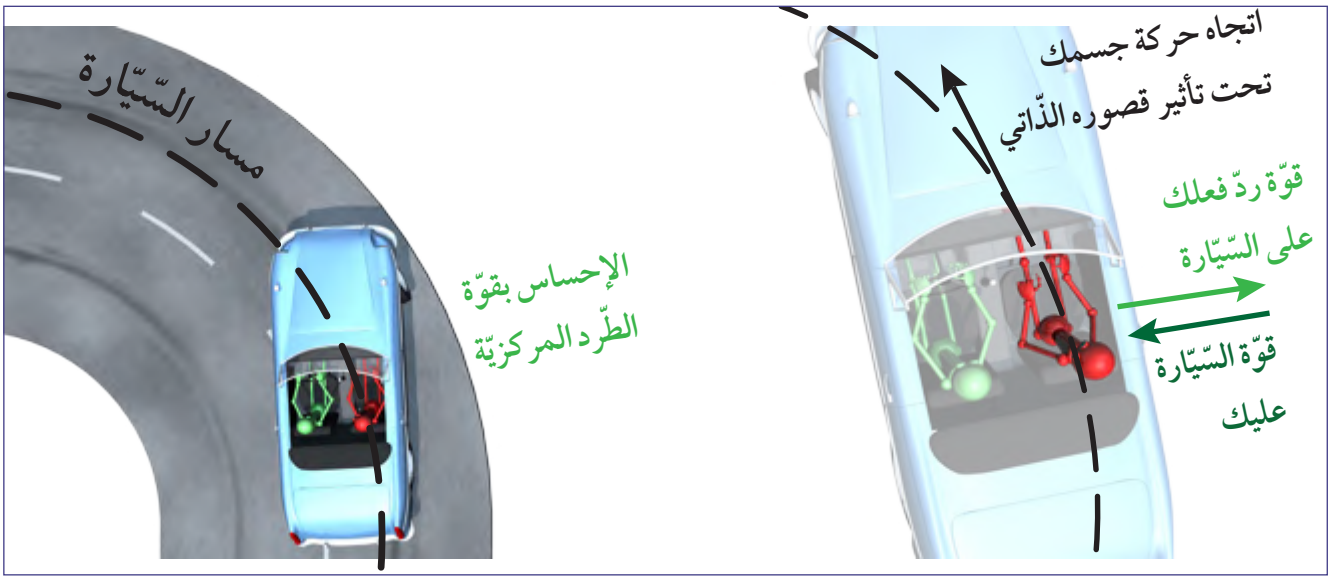
الشّكل 2-3 يبقي القصور الذّاتيّ حركة الأجسام كلّها باتجاه السّرعة المداريّة لِلكرة الأرضيّة.

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

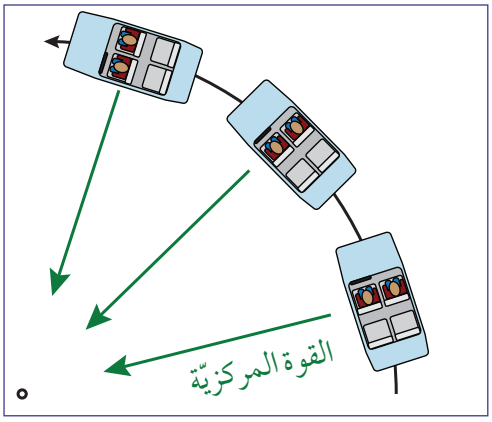
تذكّر آخر مرة كنت فيها في سيّارة تلتفّ عند منعطف بسرعة هائلة. لقد أحسست بِـ «قوّة» تدفعك باتّجاه جانب السّيّارة بعيدًا عن مركز المنعطف. وكلّما زادت سرعة دوَران السّيّارة عند المنعطف، زاد إحساسك بِأنّك «تندفع» إلى الخارج. يُعرَف هذا التّأثير باسم قوّة **الطّرد المركزيّ Centrifugal force** على الرّغم من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



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 عليك إلى داخل المنعطف، فيكون ردّ فعل جسمك قوّة تدفع جانب السّيّارة في الاتّجاه المعاكس. وما يُسمّى «قوّة الطّرد المركزيّ»، هو في الواقع نتيجة لِلقانون الأوّل لِنيوتن (القصور الذّاتيّ) في موقف يتمّ فيه إرغامك على 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 للحركة. 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 عبارة عن 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.

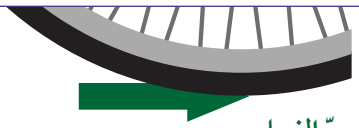
تكون قوّتا الفعل وردّ الفعل مُتساويتَين في المقدار ومُتعاكستَين في الاتّجاه وتؤثّران دائمًا في جسمَين مختلفَين.

لكي تغيّر حركة جسم، عليك أن تؤثر فيه بقوة معيّنة. يؤدّي الضّغط على دوّاسات درّاجة إلى نقل القوّة من خلال السّلسلة إلى الإطارات. تدفع الإطارات الأرض إلى الخلف من خلال قوّة تؤثّر في الأرض. فما القوّة الّتي تؤثّر في الدّرّاجة؟

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

ردّ الفعل	الفعل
قوّة تأثير الأرض في الإطار	قوّة تأثير الإطار في الأرض

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



ردّ الفعل

الأرض تؤثّر بقوّة في إطار الدّرّاجة.

قوّتا الفعل وردّ الفعل تؤثّران دائمًا في جسمَين مختلفَين

الفعل

الإطار يؤثّر بقوّة في الأرض.

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

لا ينبغي أن ترتبك في التّمييز بين أيّ من قوّتَي الفعل وردّ الفعل. 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:

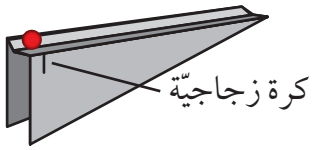
1. جميع القوى تكون أزواجًا من **قوّة فعل وقوّة ردّ الفعل action - reaction pairs**.
2. قوّتا الفعل وردّ الفعل مُتساويتَين في المقدار ومُتعاكستَين في الاتّجاه.
3. تؤثّر قوّتا الفعل وردّ الفعل في اللّحظة نفسها وعلى جسمَين مختلفَين، ولا تلغي إحداهما الأخرى.

نشاط عمليّ

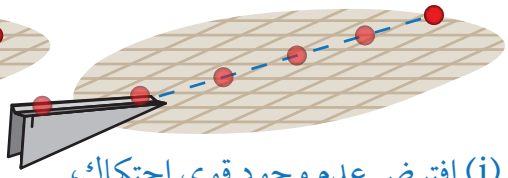
1-2 القانونان الأول والثالث لنيوتن

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

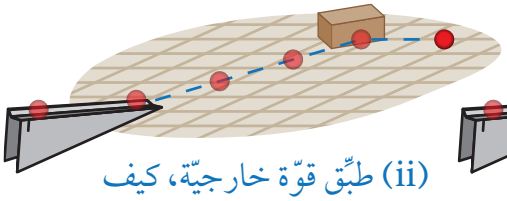
الخطوات



منحدر من الورق المُقوًّى لِتدحرج الكُرات الزّجاجيّة



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



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

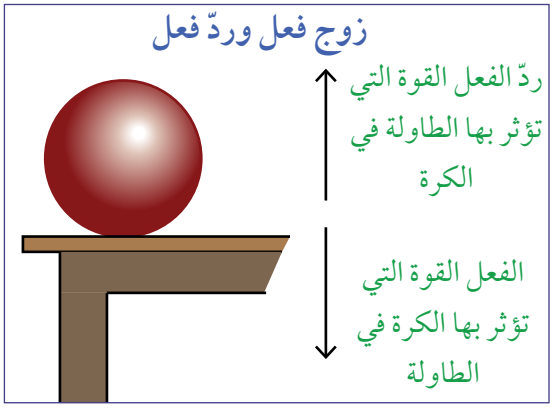
1. صمّم وابنِ منحدرًا تتدحرج عليه الكُرات الزّجاجيّة بِالسّرعة نفسها وفي الاتّجاه نفسه عند تكرار التّجربة.
2. لاحظ حركة الكرة الزّجاجيّة بعد وصولها إلى الأرض المستوية.
3. استخدم القوالب الخشبيّة لِلتّأثير في حركة الكُرات الزّجاجيّة. لاحظ حركة الكُرات.
4. أعِد الملاحظة بعد تغيير كتلة القالب، أو استخدام 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؟

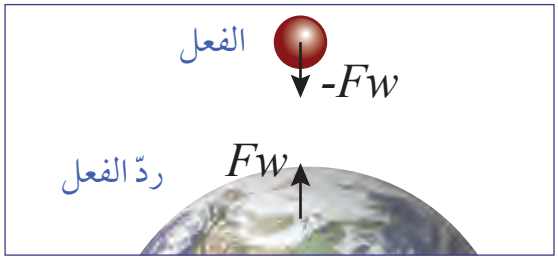
أزواج الفعل وردّ الفعل

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



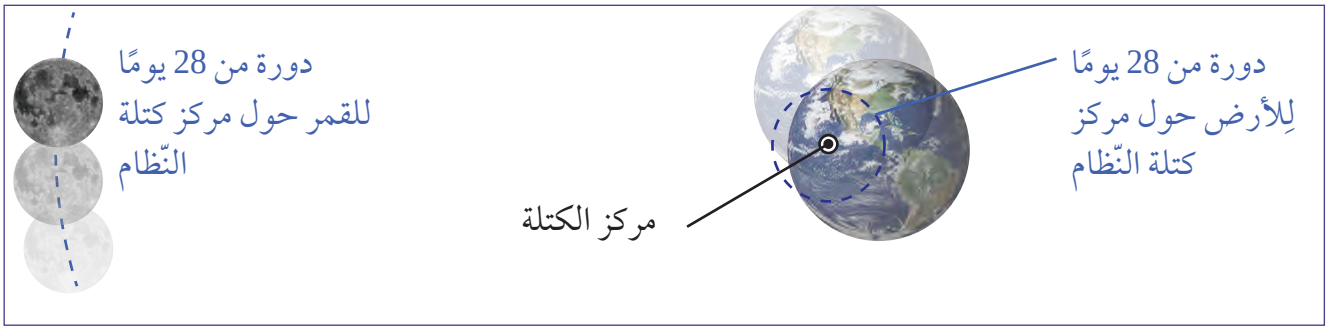
الشّكل 2-8 قوّتا الفعل وردّ الفعل على الكرة والطّاولة .

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. وبما أن وزن الكرة (القوة التي تؤثر بها الكرة الأرضية في الكرة) يساوي ويعاكس القوة العمودية (التي تؤثر بها الطاولة في الكرة) فإن محصلة القوى المؤثرة في الكرة تكون صفرا.



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

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

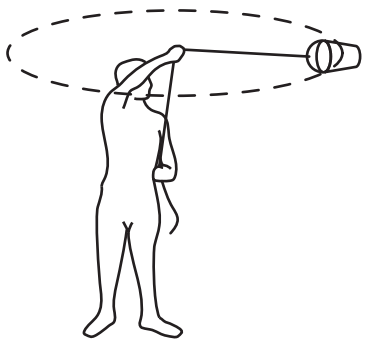
تؤثّر جاذبيّة الأرض في القمر فتحرّكه في مداره. لكنّ جاذبيّة القمر تؤثّر في الأرض بِقوّة مُساوية ومُعاكسة! وهي تحرّك الأرض في مدار حول مركز كتلة نظام الأرض–القمر **(الشّكل 2-10)**.

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. شاحنة محمّلة تحتاج لِقوّة محرّك لتصل إلى السّرعة اللّازمة على الطّريق السّريع.
   d. سيّارة على طريق مبلَّل عليه زيوت لا تستطيع أن تسرع أو تنحرف أو تتوقّف.

2. الكرة الّتي تتدحرج على سطح مُستَوٍ تتحرّك وفقًا لِخطّ 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 الخدَع الشّائعة في الفيزياء 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 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 يسرع وكأنّه يستخدم عجلة أسرع 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.

العجلة ذاتها

العجلة هي 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 بقوّة أكبر يصل مقدارها إلى 16,000 N. يتمّ تحديد القوى الّتي تؤثّر في الأرض من قِبَل السّيّارة والفهد من خلال القانون الثّاني لِنيوتن.

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 هي العلاقة بين القوّة والحركة؟

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

إذا قمت بِالتّأثير في جسم ما بِقوًى أكبر فإنّ هذا الجسم سيتسارع بعجلة أكبر. وبِالنّسبة إلى قوّة معيّنة فإنّ الجسم ذا الكتلة الأكبر تكون عجلته أقل. وإذا كانت مُحصِّلة القوى على جسم ما تساوي صفرًا فإنّ العجلة أيضًا تساوي صفرًا، وهذا يعني عدم حدوث تغيّر في 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	العجلة (التسارع) (m/s^2)
		F_R	محصّلة القوى (N)
		m	الكتلة (kg)

تتناسب عجلة (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 العجلة 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 $t = 1\ s$ ، $\Delta v = 0.25\ m/s$ ، $m = 2{,}200\ kg$

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 العجلة 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 عجلة الجسم ونوع حركته بِمعرفة الكتلة والقوى المؤثّرة فيه.

1. اتّجاه العجلة هو نفسه اتّجاه مُحصِّلة القوى.
2. يتعيّن استخدام الوحدات المُتجانِسة لِلقوّة والعجلة والسّرعة والمسافة والزّمن.
3. عند التعامل مع الكميات المتجهة مثل القوَّة والسرعة والعجلة يجب تحديد الاتجاه الموجب (اليمين، الأعلى)
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 خلال 0.005 s. احسب سرعة الكرة بعد الضّرب.

استخدم القانون الثاني لنيوتن لحساب العجلة

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

استخدم معادلات الحركة لحساب السرعة

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

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

مسائل حول تحديد القوّة بِدلالة الحركة

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

1. استخدام مُعادَلات الحركة لإيجاد مقدار العجلة.
2. استعمال القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد مقدار القوّة.

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 عجلة يُمكِن أن يتحمّلها 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 أقلّ قوّة محرّك 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 العجلة

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

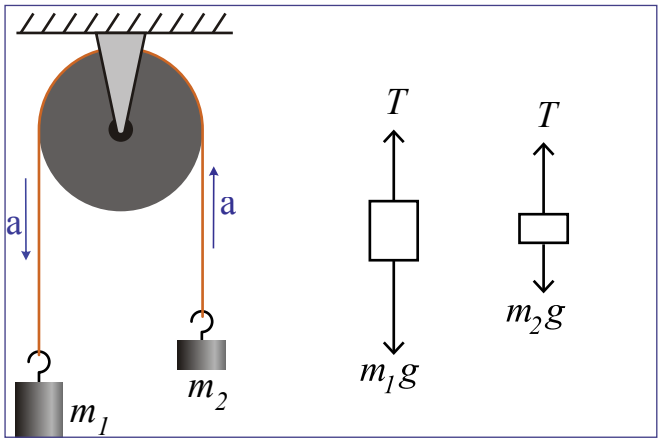
استخدم القانون الثّاني لِنيوتن لإيجاد القوّة

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

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

آلة آتوود

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



الشّكل 2-11 ألة تود النموذجية.

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 العجلة a لِلكتلتَين.

هناك مجهولان في هذه المسألة: قوّة الشّدّ في الحبل T ومقدار العجلة a . كلّ من هاتَين الكتلتَين على حدة تخضع لِلقانون الثّاني، فينتج من ذلك مُعادَلتان.

للكتلة m_1 (للأسفل)

$$T - m_1g = -m_1a_1 \Rightarrow T = -m_1a_1 + m_1g$$

للكتلة m_2 (للأعلى)

$$-m_2g + T = +m_2a \Rightarrow T = m_2g + m_2a_2$$

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

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

ما زال هناك مجهولان وهما عجلة كلّ كتلة. وبما أنّ طول الخيط ثابت فإنّ للكتلتَين العجلة نفسها، لذلك:

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

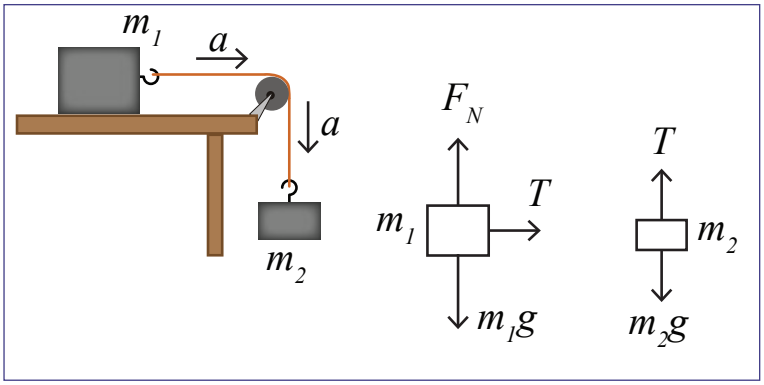
الجواب

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

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

شكل آخر لآلة آتوود

يمكن أن يكون لآلة آتوود شكل آخر. يُظهر **الشّكل 2-12** مثالاً آخر ترتبط فيه الكتلة m_1 بكتلة أصغر m_2 بوساطة خيط يمر فوق بكرة مُثبتة عند حافة طاولة. تتسارع m_2 إلى أسفل تحت تأثير قوة الجاذبية. قوة الشد T هي ذاتها في طرفي الخيط.



الشّكل 2-12 شكل آخر لآلة آتوود.

للكتلة m_1

$$T = m_1 a$$

للكتلة m_2

$$-m_2 g + T = -m_2 a$$

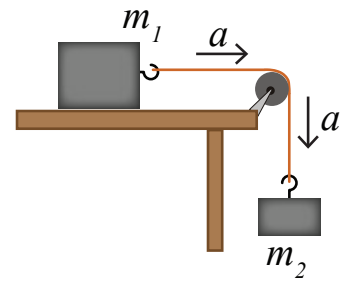
نعوض عن قوة الشد T في معادلة الكتلة m_2، فنحصُل على علاقة تعطينا العجلة a.

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

الجواب

مثال (4)

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

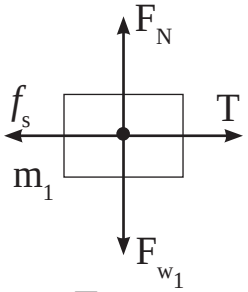


المطلوب أقل قيمة للكتلة m_2 لتحريك النظام

المعطى $\mu_s = 0.2$ ، $m_1 = 2$ kg

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

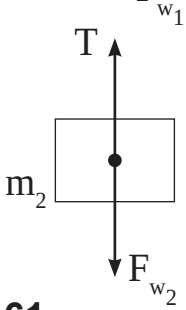
الحل: بتطبيق القانون الثاني لنيوتن للكتلة m_1 نحصل على:



$$T - f_s = m_1 a$$

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

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:

$a = \frac{m_2 - \mu_s m_1}{m_1 + m_2} g$، ولكي يتحرك النظام يجب أن تكون العجلة موجبة أي:

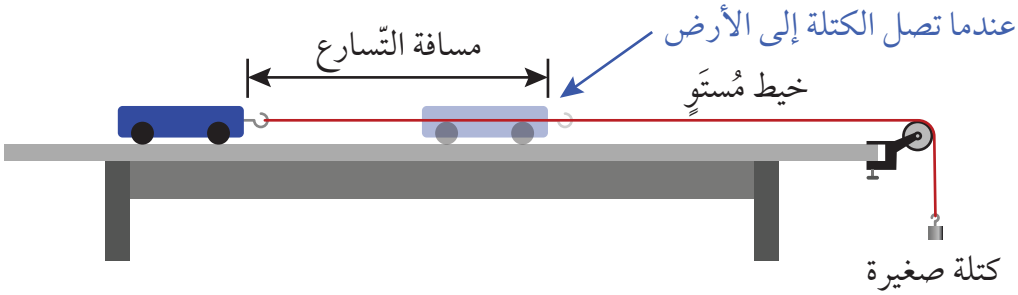
$$a \geq 0 \Rightarrow m_2 - \mu_s m_1 \geq 0 \Rightarrow m_2 = \mu_s m_1 = 0.2 \times 2 = 0.4 \text{ kg}$$ الجواب:

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 والعجلة.
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 والعجلة 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 لِلعجلة، تَوقّع قيمة العجلة 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 وصلت عندها الكتلة إلى الأرض؟
e. ماذا يحدث لِلعجلة عندما تزداد كتلة العربة وتبقى الكتلة الصّغيرة السّاقطة كما هي؟
f. ما هي المُتغيِّرات التّجريبيّة والمُتغيِّرات المضبوطة في البند (c)؟

تقويم الدرس 2-2

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

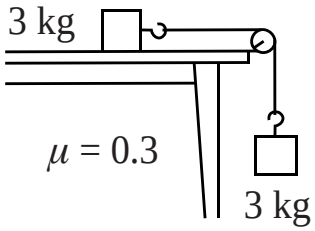
2. ما كتلة رجل يتحرك بعجلة $4\ m/s^2$ تحت تأثير مُحصِّلة قوى مقدارها $300\ N$؟

3. ما قوّة ردّ الفعل العموديّة الّتي يؤثّر بِها سطح في شخص كتلته $40\ kg$ يقفز رأسيًّا إلى الأعلى بِعجلة $3\ m/s^2$ ولا 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 لِكلّ منهما كتلة $3\ kg$ مُتّصلِتان بِخيط يمرّ فوق بكَرة مهملة الكتلة والاحتكاك، كما هو مُوَضَّح في الشّكل المقابل. إذا كان مُعامِل الاحتكاك يُساوي 0.3 ، احسُب عجلة الكتلة المعلّقة.



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

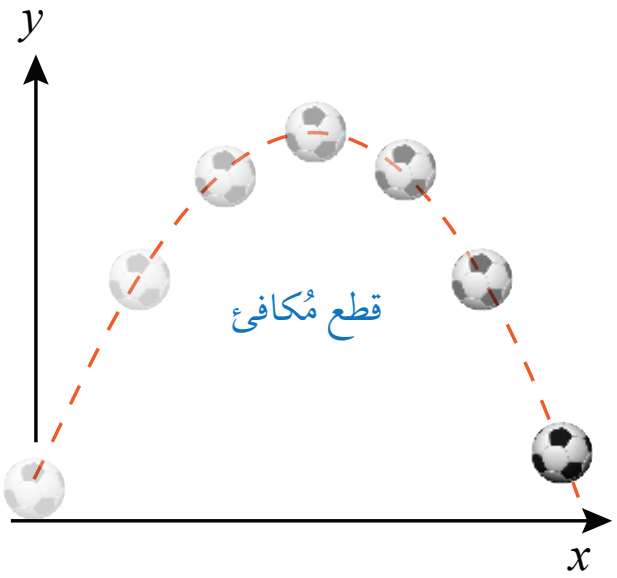
8. سيّارة كتلتها $2{,}200\ kg$ تسارعت من السّكون على طريق أُفقيّ، وحقّقت سرعة $100\ km/h$ خلال $5\ s$. احسُب مُحصِّلة القوى المؤثّرة في السّيّارة.

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

الدّرس 3-2
حركة المقذوفات والسّطح المائل

لا شيء تقريبًا يتحرّك وفقًا لِخطّ مُستقيم. 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 نعرفها بالفعل.

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 بّحفظ المسار المُنحني لِلكرة ثمّ يُصحّحه قليلًا تبعًا لِحركة الرّياح.



مخرجات التّعلُّم

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

المفردات

المقذوف	Projectile
المدى	Range
السطح المائل	Inclined plane

القوى والحركة في بُعدَين

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

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

سؤال للمناقشة

كيف نطبق قوانين نيوتن للحركة على منحنى؟

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

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 مُركّبتَين x و y، ولِمعادَلتي المكان أيضًا مُركّبتَين x وy.

انظر بعناية إلى الرّموز السفلى لِلمُتغيِّرات. من المهمّ تتبُّع المُركّبتَين 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
$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	$v_x = v_{ox} + a_x t$	$v_y = v_{oy} + a_y t$
معادلة الموقع	**اتجاه – x**	**اتجاه – y**
$\vec{x} = \vec{x}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$	$x = x_0 + v_{ox}t + \frac{1}{2}a_x t^2$	$y_0 = y_0 + v_y t + \frac{1}{2}a_y t^2$

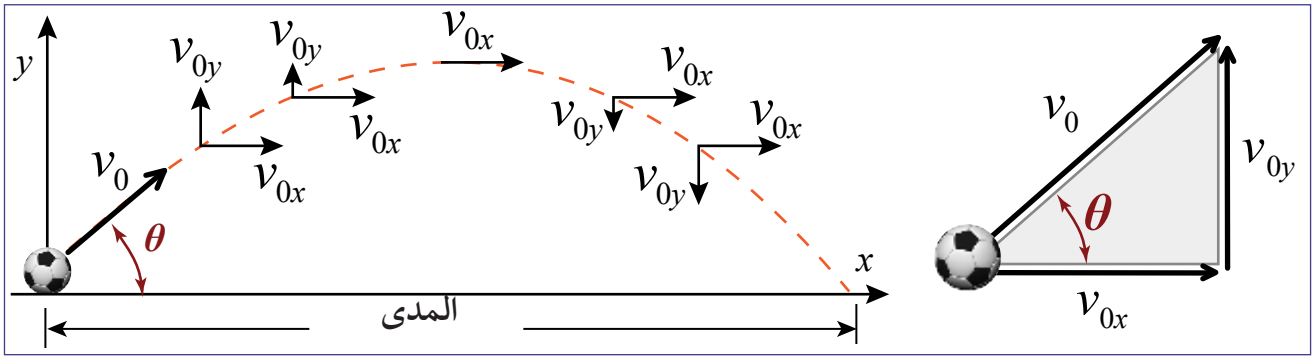
تنقل الصّيَغ الاتّجاهيّة لِلقانون الثّاني لِنيوتن ومُعادَلات الحركة كلّ ما تعلّمناه عن الحركة الخطّيّة في بُعد واحد إلى بعدَين وثلاثة أبعاد. هذه هي الطّريقة الّتي يدرس بوساطتها المهندسون أيّ حركة واقعيّة ويضعون لها النّماذج.

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 بعجلة رأسية 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 تُطَبَّق بِشكل مُنفصِل بِالنّسبة إلى كلّ اتّجاه.

والحقيقة الهامّة هي أنّ قوّة الجاذبيّة تؤثّر فقط في الاتّجاه الرّأسيّ إلى الأسفل. يكون مُتّجِه العجلة $(0, -g)$ 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.

قانون نيوتن الثّاني	الوزن	عجلة الجاذبيّة
$a = \frac{F}{m}$	$F = mg \longrightarrow a = \frac{-mg}{m} \longrightarrow$	$a = -g$

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	$v_x = v_{0x} + a_x t \longrightarrow v_x = v_{0x}$	$v_y = v_{0y} - gt$
معادلة الموقع	$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \longrightarrow x = v_{0x}t$	$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \longrightarrow y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$

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 (5)

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

المطلوب المسافة الأُفقيّة المقطوعة، x

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

العلاقات

اتّجاه x – $x = v_{ox}t$ $\quad v_x = v_{ox}$

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

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.

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

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

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

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

نستخدم هذا الزّمن لحساب المسافة الأُفقيّة المقطوعة (المدى).

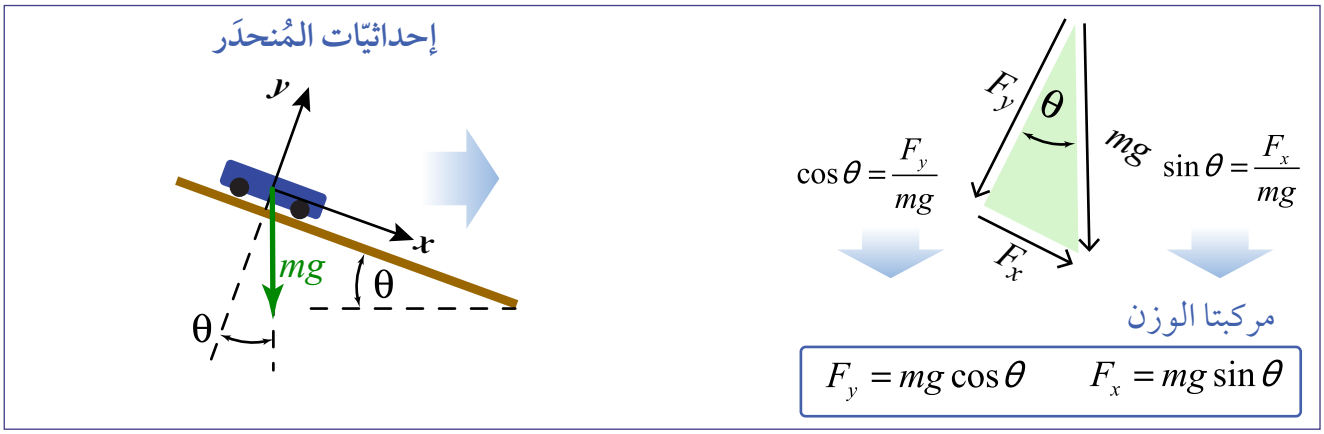
$$x = v_{ox}t \Rightarrow x = 8.67\,(1.02) = 8.8\text{m}$$ الإجابة

السّطح المائل

السّطح المائل Inclined plane عبارة عن مُنحدَر يميل بِزاوية θ بِالنّسبة إلى السّطح الأُفقيّ. السّطح المائل مسألة شائعة في الفيزياء يتِمّ من خلالها استخدام القانون الثّاني لِنيوتن لِتحديد عجلة عربة تتدحرج إلى أسفل المُنحدَر. لِتحليل هذه الحركة، علينا مراعاة ما يلي:

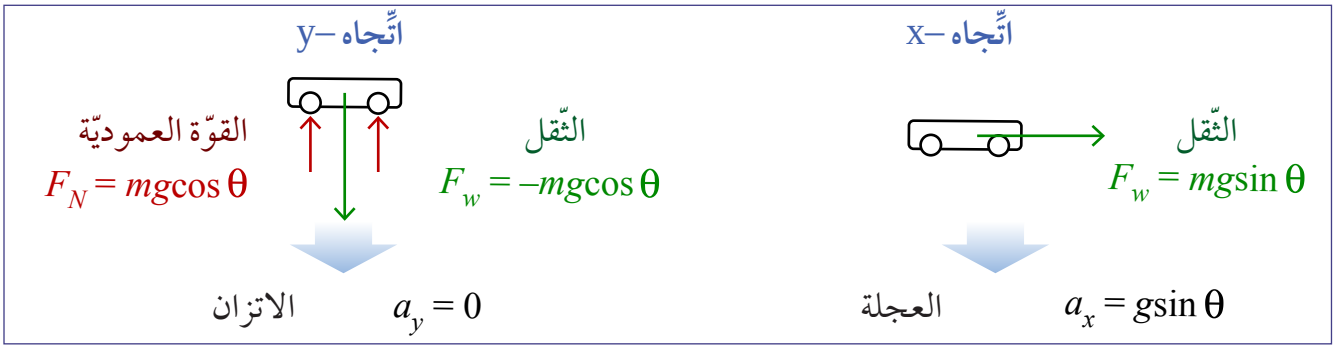
1. العجلة هي دائمًا في اتّجاه مُحصِّلة القوى الّتي تؤثر في جسم ما.
2. عندما يُجبَر أيّ جسم على التسارع في اتّجاه ما، سيكون له دائمًا مُحصِّلة قوى تؤثّر في ذلك الاتّجاه.

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. في **الشّكل 2-15**، تؤثّر قوّة الثّقل بِزاوية مع مُركّبة x في اتّجاه أسفل المُنحدَر. وتُسرِّع المُركّبة المُتّجِهة نحو أسفل المنحدر العربة.



الشّكل 2-15 إحداثيّات المُنحدَر.

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



الشّكل 2-16 القوى في الاتّجاهين x و y.

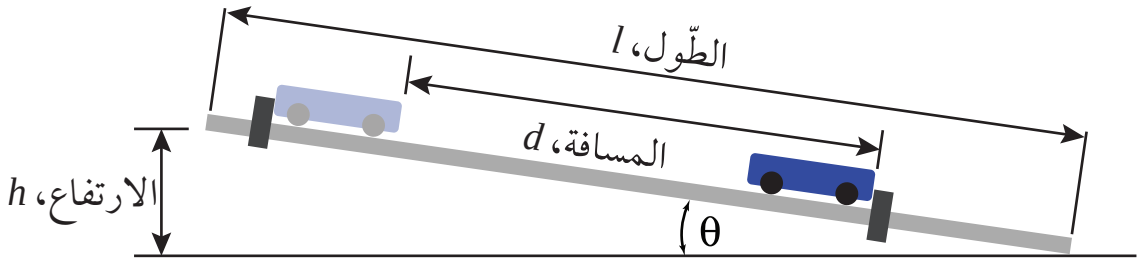
القوى في اتّجاه x ليست في حالة اتزان. تتسارع العربة إلى أسفل المُنحدَر بِعجلة تُساوي $a = g\sin\theta$. يُمكِن استخدام مُعادَلات الحركة لِحساب سرعة العربة وعجلتها عبر استخدام القوّة في الاتّجاه x، والتي تمثل مُحصِّلة القوى المؤثّرة في العربة.

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 والعجلة بالنسبة للزمن.
2. لاحظ الرّسوم البيانيّة لِلموقع والسّرعة والعجلة 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 المُنحدَر من خلال قياس الارتفاع والطّول.

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

c. قارن العجلة المقاسة من جهاز قارئ البيانات مع توقّعك. اشرح أيّ اختلافات.

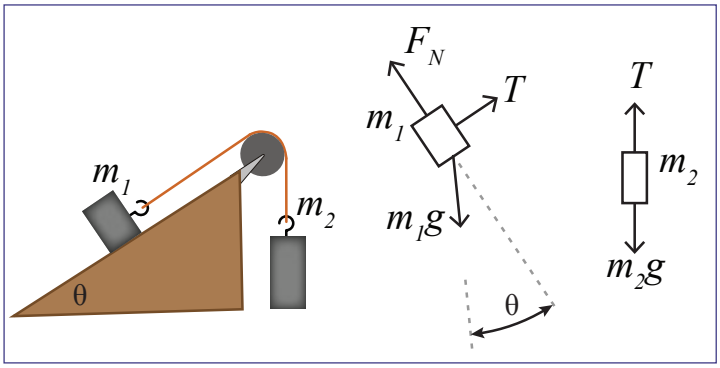
d. استخدم مُعادَلات الحركة لِإشتقاق مُعادلة لِلزّمن الّذي تستغرقه العربة لِقطع المسافة، d، بين نُقطتَي البداية والنّهاية.

e. استخدم القيمة المُقاسة لِلعجلة لِحساب الزّمن المُتوقَّع لِلجزء (d). قارِن بين الزّمن الّذي توقّعتُه والزّمن الفِعليّ الملحوظ. احسُب الفرق المِئويّ بين التّوقُّع والقِياس.

f. كَرِّر التّجربة لِزاوية 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 بوساطة خيط خفيف يمر فوق بكرة خفيفة ومثبتة عند حافة المنحدر. ستتسارع الكتلة m_2 إلى أسفل.



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:

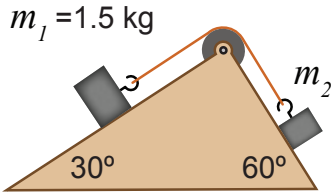
$$-m_2a = -m_2g + m_1a + m_1g\sin\theta \quad \rightarrow \quad \boxed{a = \frac{(m_2 - m_1\sin\theta)g}{m_1 + m_2}}$$

الإجابة

لاحظ أن العجلة هي جزء من عجلة الجاذبية g.

مثال (6)

كتلتان متصلتان بخيط عديم الاحتكاك يمر فوق بكرة عند قمة منحدر مزدوج. احسب العجلة التي يمكن أن تكون في أي من الاتجاهين.

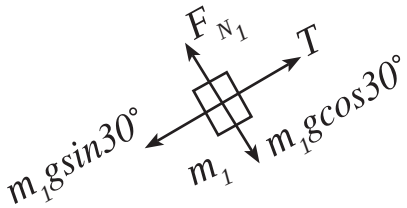


المطلوب العجلة a

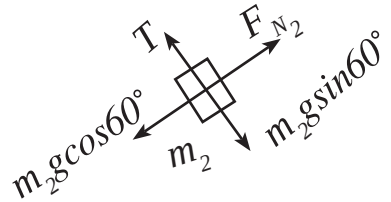
المعطى $\theta = 30°, 60°$ ، $m_2 = 0.5$ kg ، $m_1 = 1.5$ kg

العلاقات $F = ma$

الحل طبق القانون الثاني لنيوتن لكل من الكتلتين:



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



بتعويض T بين العلاقتين نحصل على العجلة:

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

$a = -5.80\ \text{m/s}^2$ ، الكتلة m_1 تتسارع إلى اليسار نحو أسفل المنحدر.

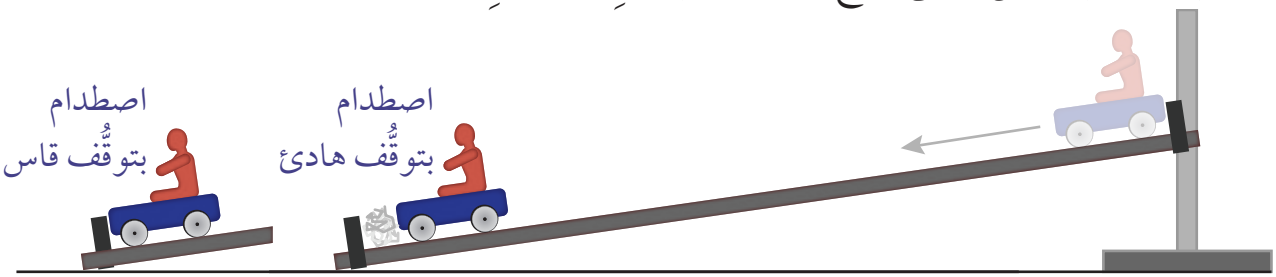
نشاط عمليّ

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 2-3

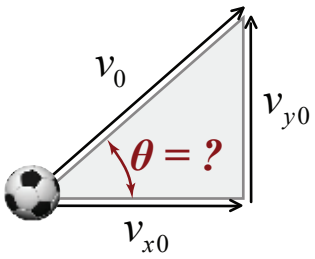
1. يُطلِق مدفع قذيفة بِسرعة 300 m/s بِزاوية 40° . احسُب مدى القذيفة إذا أهملنا احتكاك الهواء.

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.

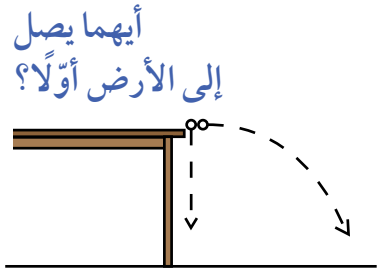
   a. كم من الوقت تستغرق الكرة في الهواء؟

   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 بِلا حراك 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 الكتلتين بِالأرض شارحًا ومُبَرِّرًا تبريرًا علميًّا.



4. إذا أضفْت كتلة ما إلى سيّارة تتسارع إلى أسفل مُنحدَر تحت تأثير وزنها، فإنّ عجلة السّيّارة لا تزداد بازدياد الكتلة. اشرح سبب ذلك.

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

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

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

6. تتسارع عربة بدون أيّ احتكاك على مُنحدَر بِعجلة مقدارها $1.2\ m/s^2$. 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 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 التحرك) لِجسم كحاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة، باستخدام المعادلة: $p = m\,v$.

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

P1104.2 يُعرِّف مبدأ حفظ الزخم (كمية التحرك)، ويطبقه على التصادمات المرنة والتصادمات غير المرنة والانفجارات، متضمنًا جسمين يتحركان في بعد واحد.

المفردات

الزّخم (كمّيّة الحركة)	Momentum
الزّخم الخطّيّ	Linear momentum
الدّفع	Impulse
القوى الدّاخليّة	Internal forces
المَرِن	Elastic
غير المَرن	Inelastic

الزّخم

الزّخم Momentum هو 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.

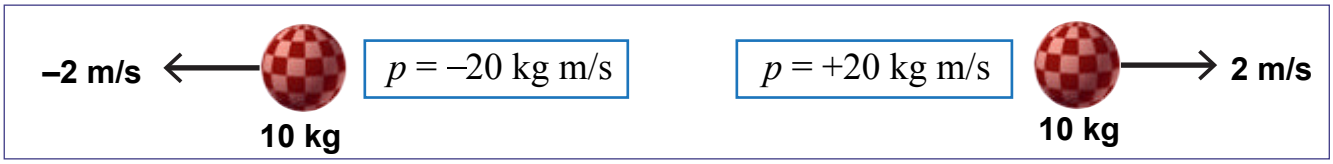
2-2 الزّخم الخطّيّ

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

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

إنّ الزّخم الخطّيّ هو حاصل ضرب الكتلة بالسرعة المتجهة. وهو يمتلك 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. في هذا الدّرس يشير معنى «الزّخم» إلى الزّخم الخطّيّ (كمّيّة الحركة الخطّيّة).

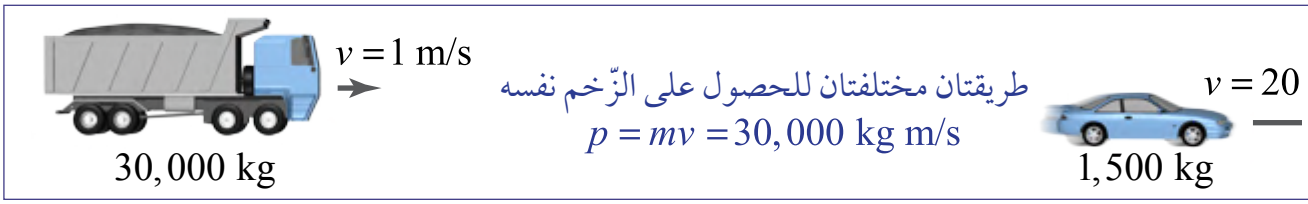
بما أن السّرعة مُتَّجِهًا، يكون الزّخم مُتَّجِهًا أيضًا. سنستخدم في الحركة ذات البُعد الواحد إشارتَي السّالب أو الموجب لِتعيين اتّجاه الزّخم. فالكرة ذات الكتلة 10 kg والمُتحرِّكة بِسرعة 2 m/s إلى اليمين لها زخم +20 kg m/s (**الشّكل 2-18**). ولو تحرّكت الكتلة في الاتّجاه المعاكس أي نحو اليسار فإنّ زخمها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

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

الشّكل 2-20 كلّ من ضغط الهواء والصّواريخ يتمّ تفسيرهما بوساطة 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 (7)

يدور بُرْغٍ كتلته 0.2 kg في الفضاء مع بقيّة المخلّفات الفضائيّة بسرعة 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: $p_{\text{البرغي}} = 614\ \text{kgm/s} = m_{\text{سيارة}} v_{\text{سيارة}} = (1{,}000\ \text{kg}) v_{\text{سيارة}}$

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

الإجابة $= 0.614\ \text{m/s}$

الزّخم والقوّة والقانون الثّاني لِنيوتن

غالبًا ما نعتقد بأنّ القانون الثّاني لِنيوتن هو العلاقة F = ma. إلّا أن نيوتن كان قد 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 النّاجمة من التّصادمات أو تحديدها.

القوّة هي المعدّل الزّمني للتّغيُّر في الزّخم.

مثال (8)

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

العلاقات: $F = \Delta p/\Delta t$ و $p = mv$

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

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

الإجابة

الدّفع

عند ضرب طرفَي العلاقة $F = \Delta p/\Delta t$ 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 القوة (N)
Δt	التّغيّر في الزّمن (s)
I	الدّفع (N.s)

أثناء أيّ عمليّة تصادم بين جسمَين، 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 (9)

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.

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

السّؤال: 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 2.5 s

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

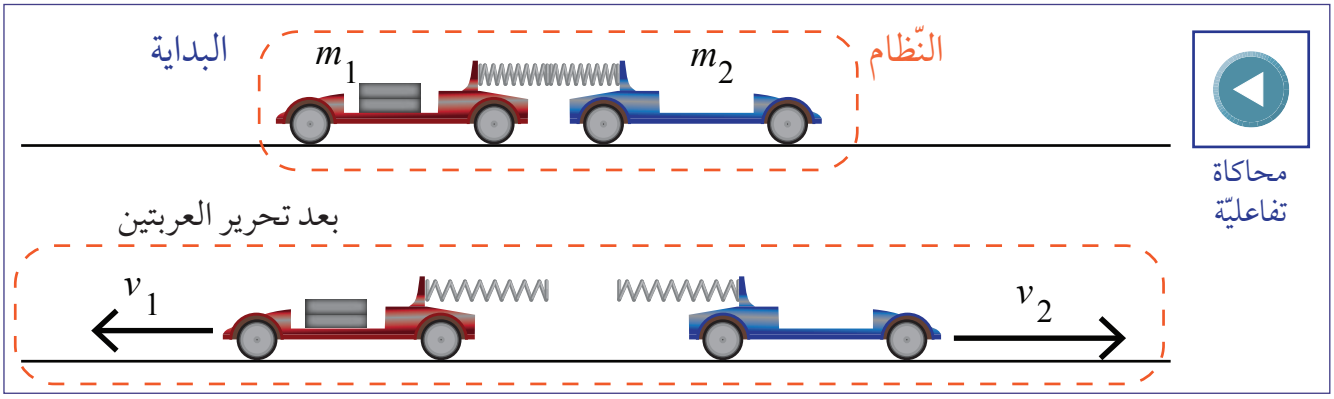
الإجابة 0.3 s

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

حفظ الزّخم

افترض عربتَين متصلتين من خلال 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.

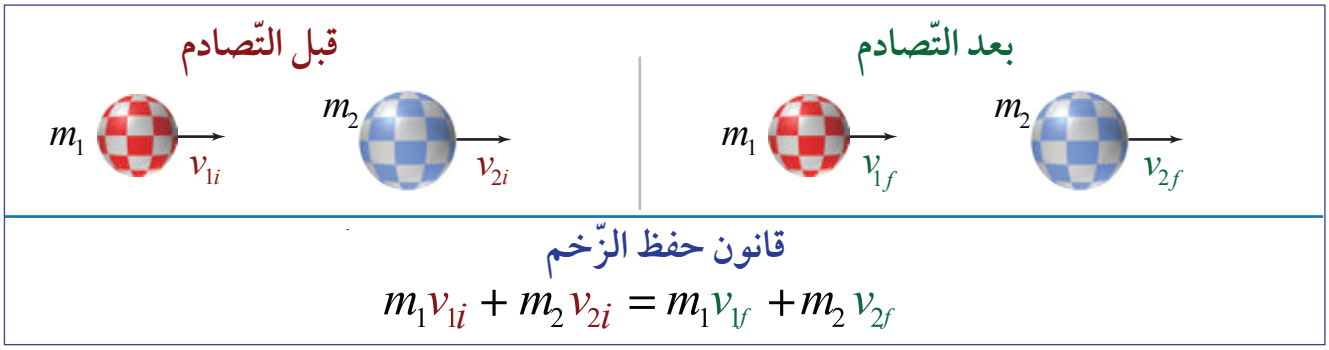
إنّ القوى الخارجيّة هي قوًى تؤثّر في النّظام من خارجه. ففي مثال العربتَين السّابق يُمكن أن يكون الاحتكاك قوّة خارجيّة. وعندها يغيّر الاحتكاك من الزّخم الكلّيّ حيث يكون تأثيره أكبر في العربة الأثقل.

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.



قانون حفظ الزّخم

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

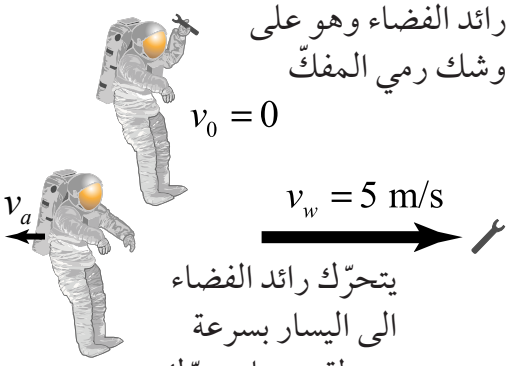
الشّكل 2-23 الزّخم قبل التّصادم وبعده.

لِنتخيَّل نظامًا مؤلّفًا من كُرتَين عديمتَي الاحتكاك، تستطيعان التّحرّك إلى اليمين أو إلى اليسار فقط. من الممكن أن تتصادم الكرتان ببعضهما البعض 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 (10)

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



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

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

العلاقات: $p = mv$، وقانون حفظ الزّخم

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

الزّخم محفوظ

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

نحلّ من أجل $v_{\text{رائد}}$

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

الإجابة

التصادم المَرن

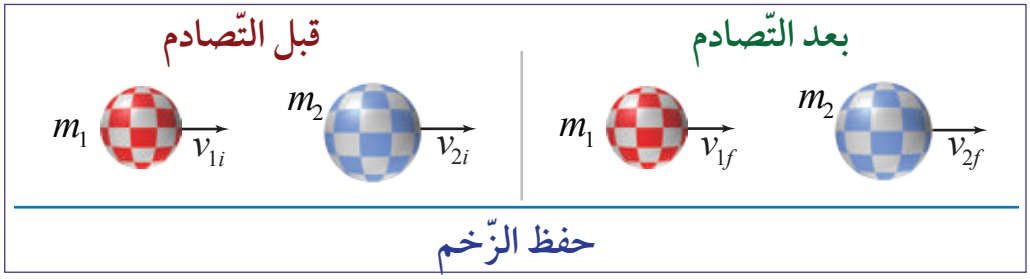
سؤال للمناقشة

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، الوقت الكافي لِلتّأثير في الجسم. يقدّم لنا مبدأ حفظ الزّخم أفضل تقريب على ذلك.

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



الشّكل 2-24
الزّخم محفوظ قبل التّصادم وبعده.

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

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

حفظ الطّاقة الحركيّة

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

تكون الطّاقة الحركيّة في التّصادم المرِن محفوظة.

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

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

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

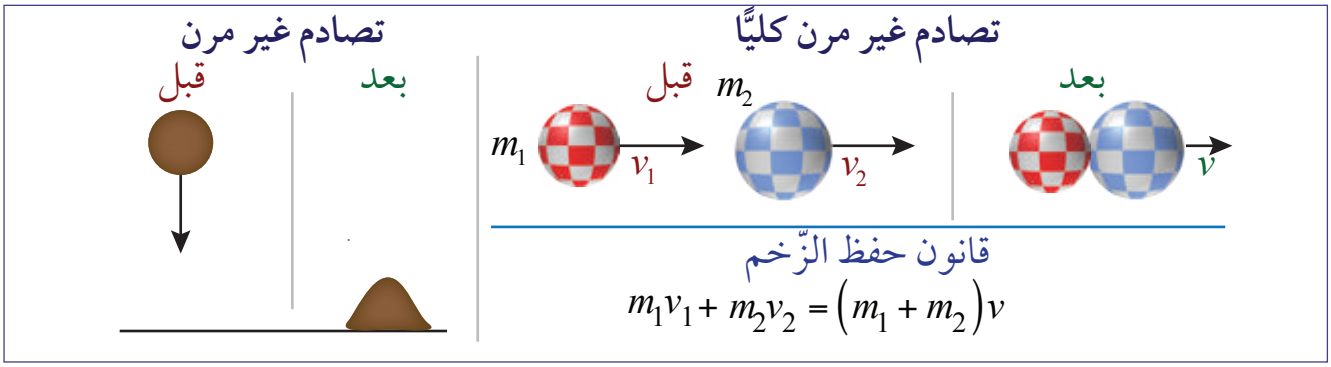
$$(v_{1i} - v_{1f}) = (v_{2f} + v_{2i}) \quad ...(3)$$

بحل المعادلتين (1) و (3) نحصل على:

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

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 ببعضهما البعض. السرعتان النهائيّتان للجسمين تكونا متساويتين بعد التصادم.

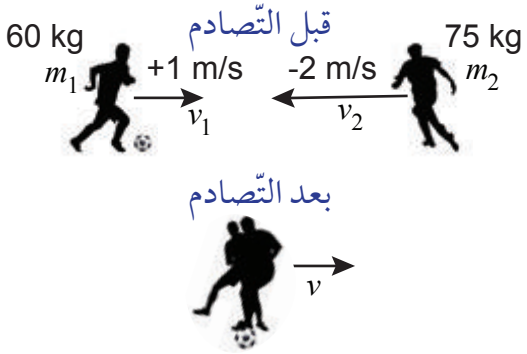


الشّكل 2-25 أمثلة حول التّصادمات غير المرِنة.

لعلّ معظم التّصادمات الحقيقيّة ليست تامّة المرونة ولا غير تامة 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 (11)

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 ببعضهما البعض ويتحرّكان معًا. ما سرعتهما بعد التّصادم؟



السّؤال: سرعة اللّاعبين $v = ?$

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

العلاقات: $p = mv$ ، وقانون حفظ الزّخم

الحل:

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

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

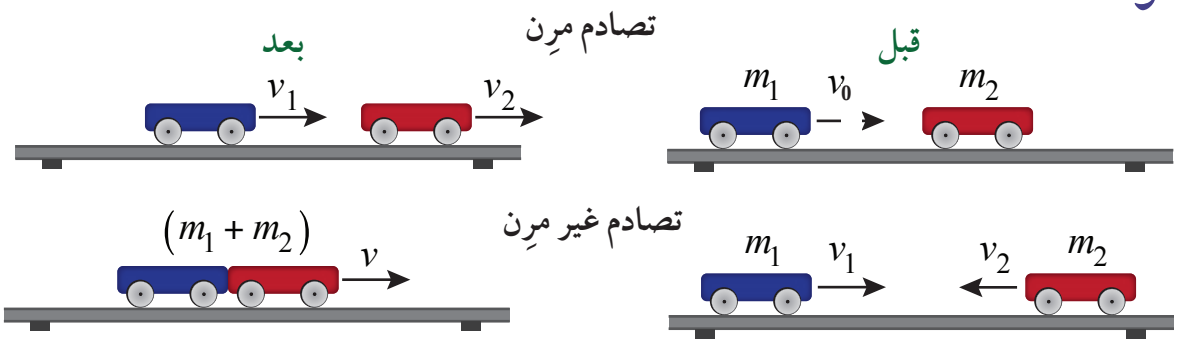
$v = \dfrac{-90\ kgm/s}{135\ kg} =$ **$-0.67\ m/s$** الإجابة

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 على مستوى واحد قدر الامكان.
2. جهّز العربتان لتصادم غير مرن ثمّ اجمع البيانات لثلاث مجموعات من الكتل على الأقل.
3. للحصول على تصادم غير مرن، ضع العربتين بحيث يتصادم الجزئين اللاصقين، لتلتصق العربتان بعضهما ببعض. استخدم ميزانًا لقياس كتلة كل عربة وقارئ البيانات لمعرفة سرعتها.
4. جهّز العربتان 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 للجزءين 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 وبعد التصادم 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 حجر كتلته 0.1 kg يتحرّك بِسرعة 1,000 m/s؟

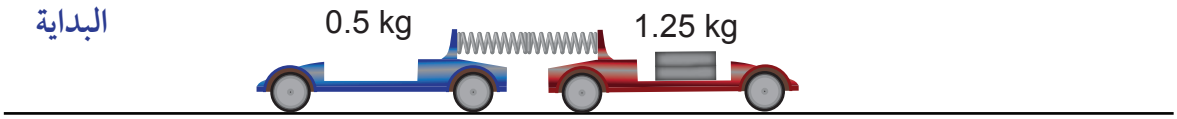
2. اذكر القانون الثّاني لِنيوتن بِدلالة الزّخم.

3. ما العلاقة بين الدّفع والزّخم؟ اكتب إجابتك لفظيا، ثم بالمعادلات.

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 التّصادم قد استغرق 0.1 s.

6. خلال حصّة المختبر، «تنفصل» عربتان عن بعضهما البعض. 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 الاحتكاك.

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 العربتان بِبعضهما البعض. 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).

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 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 2-25 تمثال كوبيرنيكوس في وارسو، بولندا.

الشّكل 2-26 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 فرع 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 ما. يُعرَف هذا القانون بِـ «قانون القصور الذّاتيّ».
- **القصور الذّاتيّ** هو خاصّيّة الجسم لِمُمانعة التّغيّر في حركته. يؤدي القصور الذّاتيّ إلى التأثير المسمّى **القوّة الطّاردة المركزيّة** وهي الإحساس بِالاندفاع نحو الخارج عند السّير في مسارٍ دائري.
- **القانون الثّالث لنيوتن**: القوى هي دائمًا عبارة عن أزواج متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتّجاه وتؤثر في جسمين مختلفين. يسمّى كل من هذه الأزواج **قوة الفعل وقوة ردّ الفعل**.

الدّرس 2-2: القانون الثّاني لِنيوتن

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

الدّرس 2-3: حركة المقذوفات والسّطح المائل

- **المقذوف** هو الجسم الذي يتحرك 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 الجّسم 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 فيها الزّخم.
- **التّصادم المرِن** يحفظ كلّ من الزّخم والطّاقة الحركيّة للنظام ككل.
- **التّصادم اللامرِن** يحفظ الزّخم الكلي للنظام ولا يحفظ طاقته الحركيّة.

تقويم الوحدة

اختيار من متعدد

1. أيّ من الأشكال تصف مسار المقذوف بشكل أفضل؟

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

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

   a. تسبح الكرة في الفضاء ولا تذهب إلى أي مكان.
   b. ستتباطأ الكرة بعجلة ثابتة.
   c. ستتباطأ الكرة إلى أن تتوقّف بعد رميها.
   d. ستستمر بسرعة ثابتة وفي اتّجاه ثابت إلى الأبد إلى أن تتعرّض لقوّة ما.

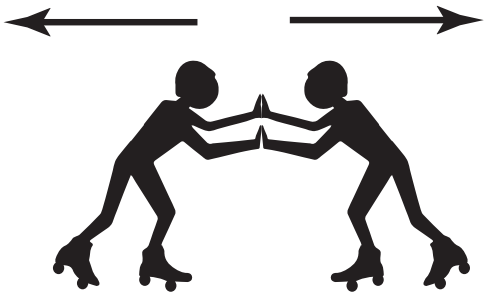
7. اذا كنت تقف في باص متحرّك واندفعتَ فجأةً إلى الأمام، ماذا تستنتج بالنسبة لحركة الباص؟

a. أنقص من سرعته.

b. زاد من سرعته.

c. اتّجه نحو اليمين بسرعة ثابتة.

d. اتّجه نحو اليسار بسرعة ثابتة.



8. يقف كل من أحمد وعلي على لوحي تزحلق. 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؟

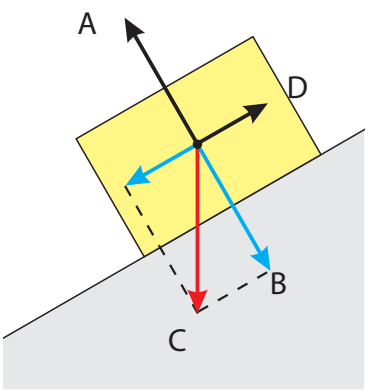
a. 0^{o}

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 عجلة $10\ m/s^2$؟

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

14. يمرّر خالد كرة سَلّة كتلتها 1.5 kg لزميله ببذل قوّة 60 N عليها. ما عجلة 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 من 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 بعضهما ببعض 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 1-2: 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 القوة المساوية والمعاكسة في الاتجاه لقوّة شد يدك على الحبل، 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 تحصل الحركة؟ ولماذا لا يُلغى فعل أيّة قوة بتأثير رد فعلها؟

الدّرس 2-2: القانون الثّاني لِنيوتن

25. اشرح بكلماتك الخاصة القانون الثاني لنيوتن.

26. كيف تتغيَّر عجلة جسم إذا تضاعفت 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 تكون عجلتها أكبر في غياب مقاومة الهواء؟ لماذا؟

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

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

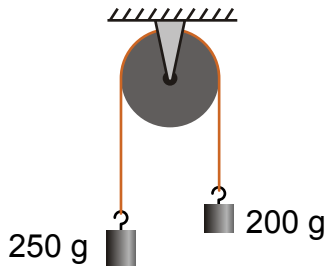
30. ما عجلة درّاجة ناريّة كتلتها 200 kg إذا كانت قُوّة محرّكها 6,000 N وقوة الاحتكاك 200 N؟

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. في اتّجاه حركة المركبة الفضائية؟

b. في اتّجاه معاكس لاتّجاه حركة المركبة الفضائية.

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



33. إذا كانت احدى كتلتي آلة آتوود 1.1 kg، كم تكون كتلتها الثانية إذا كانت عجلتها 1.2 m/s²؟ افترض أن كتلة البكرة مهملة وهي 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 عجلة العربة في حالتي الصُّعود والنزول، واشرح إجابتك.

37. عند دراسة مدى المقذوفات.

a. كيف يتأثّر مدى المقذوف إذا تضاعف مقدار السّرعة الابتدائية؟

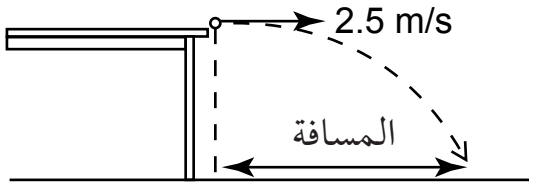
b. كيف تشرح المعادلات مدى المقذوفات عند زاويتي قذف 0° و 90°؟

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

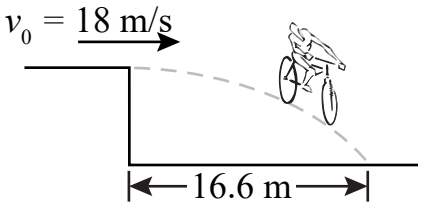
39. ما زاوية السطح المائل التي تحقّق عجلة $2\ m/s^2$ لجسم يتدحرج عليه نزولاً؟

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 ببعضهما البعض؟

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.

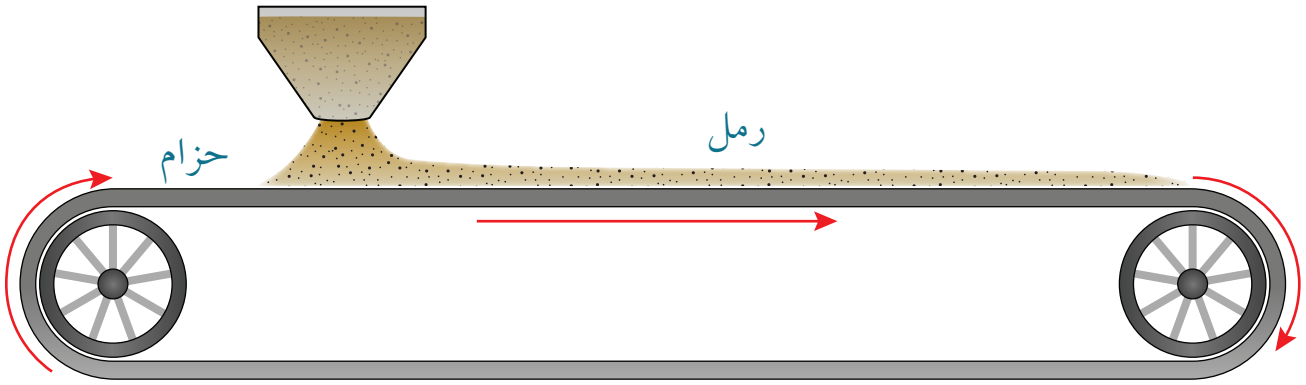
48. أيّ من الجسمّين التّاليّين يتحرّك بِسرعة أكبر بعد أن يتسارعا من السّكون:

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 البعض 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

قُم بِتصميم 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.

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

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

الأنشطة والتجارب

1-3 الشغل المبذول

a2-3 تدفّق الطاقة

b2-3 طاقة مصفاة القهوة

a3-3 كم تبلغ قدرتك؟

b3-3 الكفاءة

الدّرس 3-1
الشُّغل المبذول والطاقة

تخيّل مقدار الجهد والفترة الزمنية التي نحتاجها لحفر أساس لبناء عصري وضخم باستخدام المجراف فقط. إن كمية التربة والرمال والصخور التي يتعيَّن إزالتها لحفر أساس مبنىً متوسط الحجم قد يبلغ حجمها $100.000\ m^3$، بينما حجم الكمية التي يمكن لمجراف كبير أن ينقلها لا يتخطّى $0.01\ m^3$. فإذا استخدمت مجرافًا كبيرًا أربع مرات في الدقيقة وعَمِلت على مدار الساعة (24 ساعة في اليوم) لتطلب الأمر خمس سنوات لإنجاز العمل!

يمكن للعامل العادي أن يبذل قدرة لا تتخطّى بضعة مئات من الواط. بينما تتجاوز قدرة الحفارة الهيدروليكية 500.000 واط ويمكن أن تنجز عملية حفر الأساس خلال أسبوعين فقط. يعود ذلك إلى معلوماتنا الأساسية في الفيزياء حول الشغل والقوى والطاقة.

تُشكِّل هذه الأفكار أساسًا لفهم معظم التكنولوجيا الميكانيكية التي يصنعها الانسان ويستخدمها، ومن بينها الحفّارة الهيدروليكية.

الشكل 3-1 طريقتان لحفر أساسٍ لتشييد مبنى.

مخرجات التّعلُّم

P1106.1 يعرّف الشّغل الذي تبذله قوة بأنّه حاصل ضرب الإزاحة في مركبة القوة باتجاه تلك الإزاحة، ويعبّر عن ذلك رياضيًا باستخدام المعادلة: $W = Fd\cos\theta$

P1106.2 يصف كيفية تخزين الطاقة بطرق مختلفة أو في أجزاء مختلفة من النظام. مثل الطاقة الحرارية وطاقة الوضع التجاذبية وغيرها.

P1107.1 يشتق ويطبق الصيغ:
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ و $E_p = mgh$
ويستخدم مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكيّة في حل مسائل حسابية.

المفردات

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

ما النظام؟

يبدأ فهم الطاقة بتعريف النظام، والنظام **System** هو مجموعة اجسام تتفاعل معًا، ويجري تركيز الاهتمام عليها. فإذا كنا نريد دراسة سرعة كرة تسقط من ارتفاع معيَّن، فقد نختار نظامًا يتضمّن الارتفاع والكتلة والسرعة الابتدائية وقوة الجاذبية. ولهذا نختار النظام الذي يشمل فقط الأجسام والتفاعلات المهمّة لما نبحث عنه في دراستنا. ويحرّرنا اختيار النظام من التفكير في الأجسام كلها، الأمر الذي يجعل المهمة مستحيلة.

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

الشكل 3-2 مثال على النظام المفتوح.

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

الشكل 3-3 مثال عن النظام المغلق.

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

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

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

الطاقة

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

الشكل 3-4 أمثلة على الطاقة.

الطاقة الميكانيكيّة وتنتج إمّا من الحركة، وتسمّى الطاقة الحركية، وإمّا من الموضع، وتسمى طاقة الوضع. وتكون طاقة الوضع تجاذبية أو مرونية.

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

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

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

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

الطاقة الإشعاعيّة وتشمل جميع أشكال الأمواج الكهرومغناطيسيّة كالضوء المرئي، وأمواج الميكروويف وأمواج الراديو، وأشعة إكس. وكل أنواع الطاقة على سطح الأرض، مصدرها الطاقة الإشعاعيّة الآتية من الشمس.

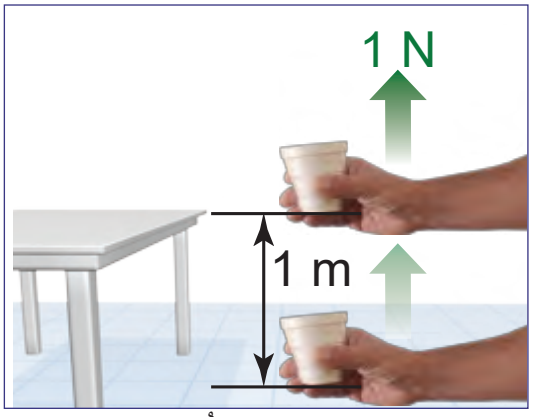
الشُّغل المبذول

سؤال للمناقشة

كم من الشُّغل تبذل كل يوم؟

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

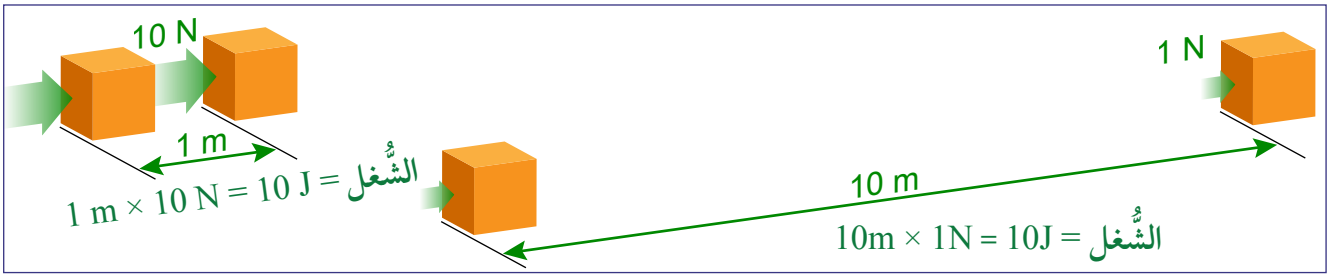
تُعرّف كميّة الشُّغل المبذول على جسم بوساطة قوة معيّنة على أنها حاصل ضرب الإزاحة التي يتحرّكها الجسم في مُركّبة القوة باتجاه تلك الإزاحة. إذا استخدمنا قوة مقدارها نيوتن واحد لرفع كوب إلى الأعلى مسافة متر واحد، كما في **الشكل 3-5**، نكون قد أنجزنا شُغلاً على الكوب مقداره واحد نيوتن متر (1N.m)، يؤدي إلى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



الشكل 3-5 جول واحد من الشُّغل.

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

في النظام الدولّي للوحدات SI، يعرّف واحد جول على أنّه **واحد** نيوتن.متر (N.m) . ومع أن الجول هو الوحدة الرئيسيّة للطاقة، لكنه ليس الوحيد. فوحدتا الكالوري والكيلو واط.ساعة هما أيضًا وحدتان للطاقة تُستخدمان بشكل شائع.



الشكل 3-6 طريقتان لبذل J 10 من الشُّغل.

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

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

الشغل الموجب

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

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

سؤال للمناقشة

هل يمكن للشغل أن يكون أقل من صفر؟

الشكل 7-3 الشغل المبذول على عربة.

الشغل الصفري

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

الشغل المبذول على النظام يزيد من طاقته الحركية، بينماالشغل المبذول بواسطة النظام يُنقص من طاقته الحركية.

الشغل السالب

افترض أن حركة العربة ستتوقف نتيجة لقوة احتكاك F_f بينها وبين الأرض. من الواضح أن اتجاه F_f معاكس لاتجاه الإزاحة d فتكون الزاوية بين الاتجاهين 180° وعليه يكون الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك:

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

ولا يكون هذا الشغل مبذولًا لتحريك العربة، بل لإعاقة حركتها. ولذلك يؤدي هذا الشغل إلى خفض الطاقة الحركية للعربة إلى الصفر. يكون الشغل في هذه الحالة مبذول بواسطة النظام وليس على النظام.

الشكل 8-3 الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك.

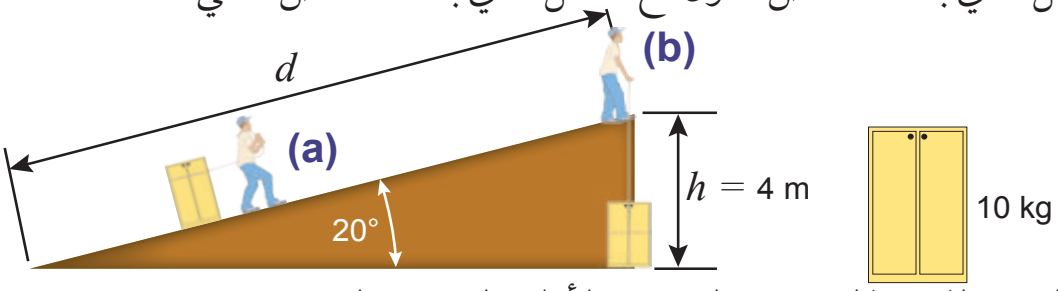
مثال (1)

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

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

b. احسب الشغل الذي بذله الشخص الثاني لسحب القالب إذا طبّق قوة تساوي وتعاكس وزن 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 $m = 10kg$ ؛ $\theta = 20^\circ$ ؛ $h = 4m$

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

الحلّ:

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

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

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

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

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

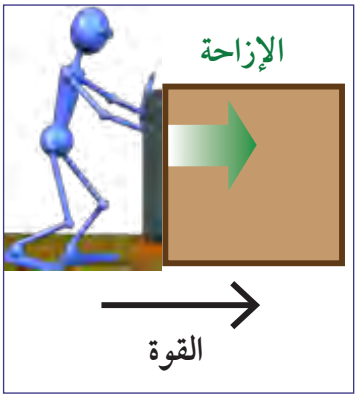
$$F_b = mg = (10 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg}) = 98 \text{ N}$$

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

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

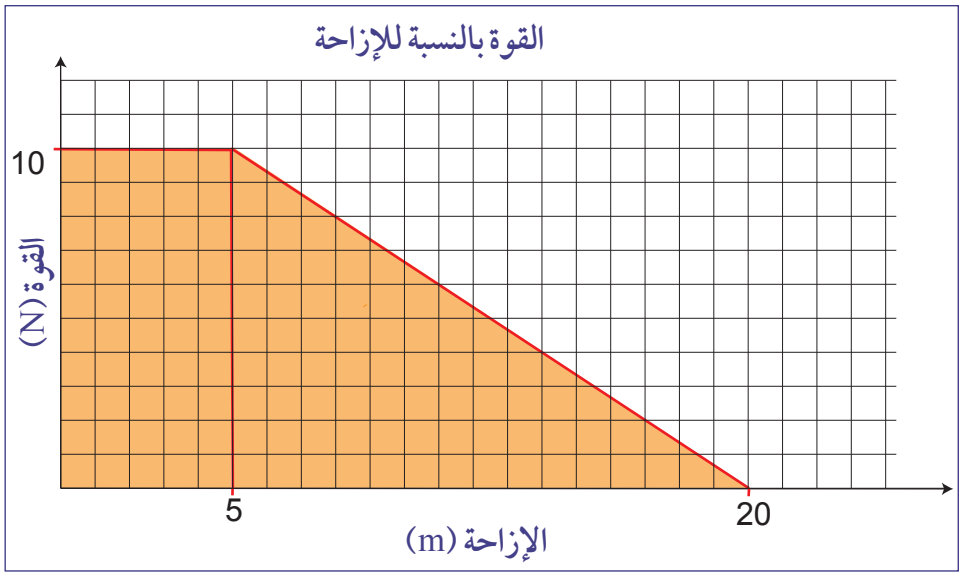
c. لاحظ بأن الشغل W_a يساوي الشغل W_b. الشخص الأول يبذل قوة أقل ولكن يحرك القالب الأول مسافة أطول على المنحدر. الشخص الثاني يبذل الشغل نفسه ولكن بتطبيق قوة أكبر لتحريك القالب الثاني مسافة أقل. فالشغل المبذول ضد الجاذبية الأرضية لا يعتمد على المسار المُتّبَع في أي نظام غير احتكاكي.

الشُّغل المبذول باستخدام قوة غير ثابتة



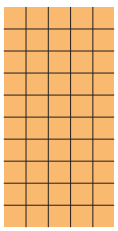
الشكل 3-9 القوة والإزاحة.

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)**

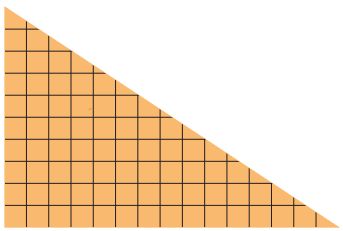


الشكل 3-10 يُظهر الرسم البياني تغيّر القوة بالنسبة إلى الإزاحة.

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 125 J = 125 N.m = 50 N.m + 75 N.m

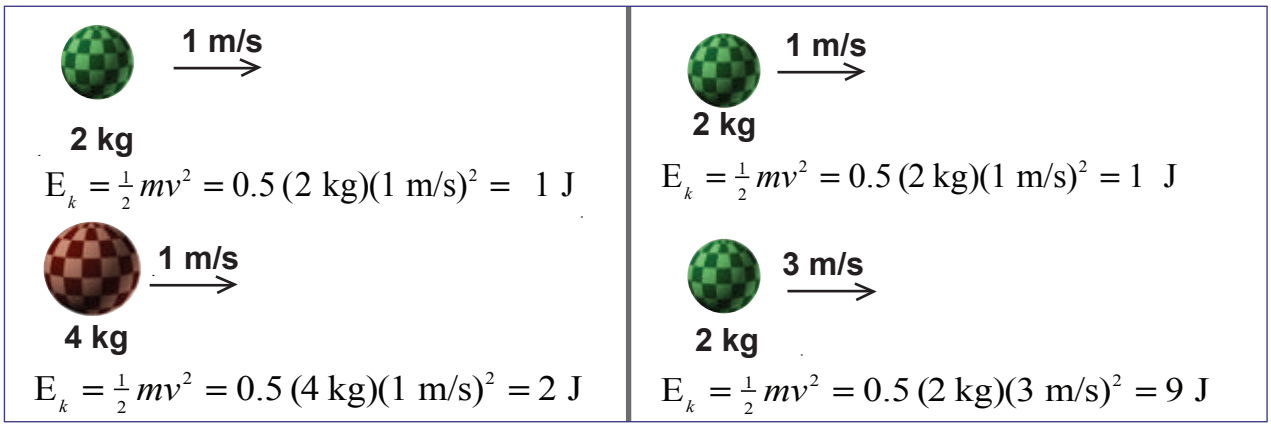
المساحة المحصورة تحت منحنى الرسم البياني للقوة بالنسبة إلى الإزاحة يساوي الشغل الذي تبذله القوة.

الطاقة الحركيّة

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

2-3	الطاقة الحركيّة	E_k	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 طردًا مع كتلة الجسم. فإذا تضاعفت الكتلة تتضاعف الطاقة الحركيّة أيضًا. فَكُرَةٌ كتلتها 2 kg تتحرّك بسرعة 1 m/s تكون طاقتها الحركيّة 1 J، أما الكرة الأخرى التي تبلغ كتلتها 4 kg وتتحرّك بالسرعة نفسها 1 m/s فتكون طاقتها الحركية 2 J، أي مِثلَي الطاقة الحركيّة للكرة الأولى.



الشكل 3-11 تعتمد الطاقة الحركيّة على الكتلة والسرعة.

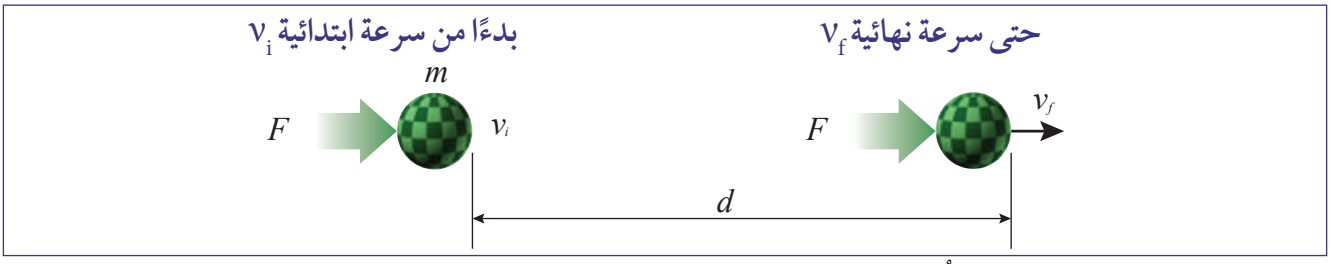
وفقًا للمعادلة (**2-3**) تعتمد الطاقة الحركيّة لجسم متحرّك على مربّع سرعته. فإذا قمت بمضاعفة السرعة فسوف تزداد الطاقة الحركيّة بمعامل أربعة أضعاف. فالكرة ذات الكتلة 2 kg، والتي تتحرّك بسرعة 1 m/s، لها طاقة حركيّة مقدارها 1 J. وإذا ازدادت سرعة الكرة نفسها إلى 3 m/s، تصبح طاقتها الحركية 9 J. أي إن ضرب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

إذًا تكون العلاقة بين الطاقة الحركيّة والكتلة علاقة خطيّة، أما العلاقة بين الطاقة الحركيّة والسرعة فهي علاقة غير خطيّة. والعلاقة الطردية بين المتغير التابع ومربّع المتغيِّر المستقل، هي شكل شائع من أشكال العلاقات غير الخطية.

الشُّغل والطاقة الحركيّة

علمنا أن الطاقة تمثّل أقصى كميّة من الشُّغل يمكن بذلها، والعكس صحيح. تخيّل قوة تقوم بتسريع جسم ما. يمكنك التفكير في الطاقة على أنّها تجميع للشُّغل المبذول على الجسم لتغيير سرعته من الصفر إلى السرعة المطلوبة v. يمكن إثبات ذلك رياضيًّا عن طريق حساب الشُّغل المبذول بتطبيق قوة ثابتة F، تقوم بتسريع جسم ذو كتلة m، من سرعة ابتدائية v_i إلى سرعة نهائية v_f

$$F = ma \text{ و } W = Fd$$



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

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

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

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

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

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

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

$$W = E_{Kf} - E_{Ki} = \Delta E_K$$

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

وهي نتيجة عامة لها تطبيقات في كل مجالات الفيزياء. يكون التغيّر في الطاقة الحركيّة لنظام مثالي مساويًا للشُّغل المبذول في النظام. ونعني بكلمة «مثالي» انعدام الاحتكاك. إذا أخذنا الاحتكاك في الحسبان، فإنّ بعض الشُّغل المبذول ضد الاحتكاك يولِّد لنا طاقة أقل ليجري «تخزينها» على شكل طاقة حركيّة.

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

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

مثال (2)

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

1. احسب الطاقة الحركيّة للسيارة، عندما تصل إلى سرعة 90 km/h لحظة فراغها من الوقود.

2. احسب كتلة الوقود، إذا كان للسيّارة الطاقة الحركيّة نفسها عند سرعة 88 km/h، وكان خزّانها ممتلأً.

المطلوب 1) الطاقة الحركيّة E_k

2) كتلة الوقود m_{fuel}

المُعطى كتلة السيّارة $m = 1600\ kg$

سرعة السيّارة $v = 90\ km/h$،

و $v = 88\ km/h$

العلاقات $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

الحل

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

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

باستخدام معادلة الطاقة الحركيّة، نجد:

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

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

نحل معادلة الطاقة الحركيّة من أجل كتلة مجهولة.

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

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

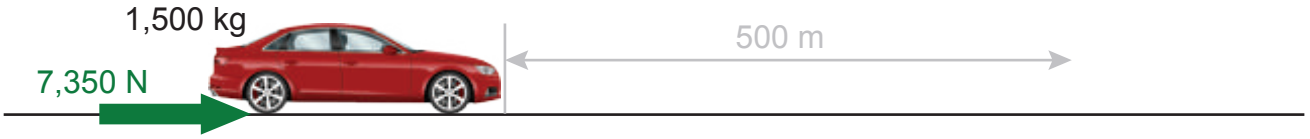
$$1673.6\ kg - 1600\ kg = \boxed{73.6\ kg}$$

مثال (3)

نفترض نظام سيّارة متوقّفة وكتلتها 1,500 kg.

a. يبذل المحرّك قوة مقدارها 7,350 N. احسب الطاقة الحركية للنظام إذا طُبّقت القوة لمسافة 500 m. استنتج سرعة السيّارة بعد قطع هذه المسافة.

b. تبذل المكابح شغلًا سالبًا نتيجة لقوة احتكاك تؤثر بها الطريق في اتجاه معاكس للحركة. احسب المسافة التي تقطعها السيّارة قبل أن تتوقف تمامًا إذا كانت قوة المكابح تساوي وزن السيّارة.



المطلوب (a) الطاقة الحركية للسيّارة وسرعتها (b) مسافة التوقّف

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

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

الحل:

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

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

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

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

b. مقدار قوة الاحتكاك يساوي مقدار وزن السيّارة، وهو افتراض معقول على أرض جافة.

$$F_b = mg = (1{,}500\ \text{kg})(9.8\ \text{N/kg}) = 14{,}700\ \text{N}$$

لحل السؤال نجعل الطاقة الحركية النهائية للسيّارة صفرًا لأن السيّارة تتوقف. ثم نحسب الشغل السالب للاحتكاك الذي يُخَفّض الطاقة الحركية للسيّارة إلى الصفر.

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

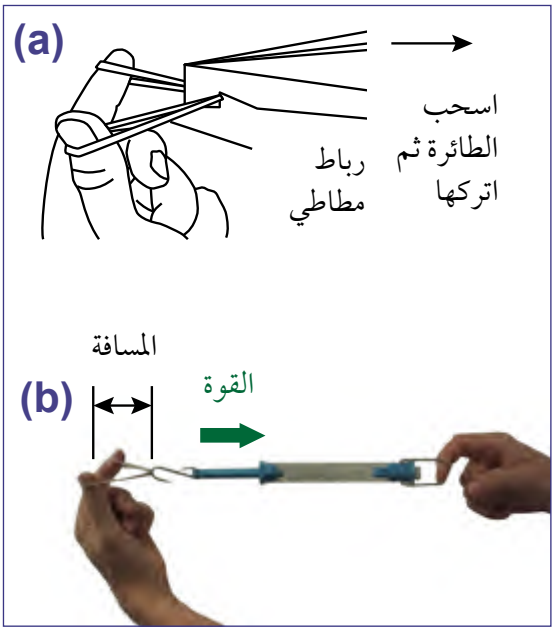
3-1 الشغل المبذول

سؤال الاستقصاء	كيف يؤدي الشغل إلى تغيير الطاقة؟
الموادّ المطلوبة	مقياس زنبركي أو مستشعر قوة، رباط مطاطي، شريط لاصق، مسطرة، مقص.

للأمان: يتطلب هذا النشاط استخدام نظارات واقية من قِبَل جميع الطلاب.

خطوات التّجربة

1. اصنع طائرة ورقية مع شقٍّ في مقدمتها، وعلّق بها رباطًا مطاطيًّا.
2. اسحب الرباط المطاطي إلى الخلف ثم اتركه لإطلاق الطائرة (**الشكل 3-a13**).
3. احسب سرعة انطلاق الطائرة بمعرفة المسافة التي تقطعها ومُدَّة الطيران.
4. قِس القوة الناتجة في الرابط المطاطي لمسافات سحب مختلفة باستخدام الميزان الزنبركي (**الشكل 3-b13**).
5. مَثِّل بيانيًّا القوة المبذولة على الرباط المطاطي بدلالة الإزاحة.



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

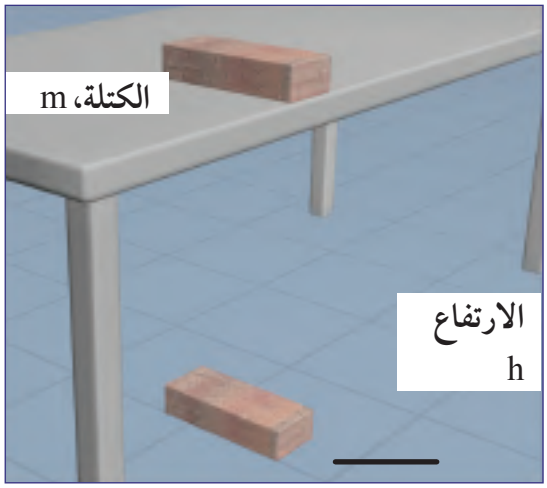
6. استخدم المساحة تحت الرسم البياني لحساب الشغل المبذول على الطائرة خلال إطلاقها.
7. استخدم بياناتك للتنبؤ بسرعة انطلاق الطائرة بمعرفة الشغل المبذول لسحب الرباط المطاطي وإحداث استطالة فيه.

الأسئلة

a. اشتق نموذجًا يربط الشغل المبذول على الرباط المطاطي بسرعة انطلاق الطائرة.
b. احسب أقصى سرعة انطلاق نظرية للطائرة بمعرفة طاقة الرباط المطاطي.
c. قارن بين السرعة التي توقعتها والسرعة الناتجة عن النموذج. اشرح الأسباب التي قد تؤدي إلى فروق بين القيمة المتوقعة والقيمة النظرية.

طاقة الوضع التجاذبيّة

طاقة الوضع التجاذبية Gravitational potential energy (E_P) هي طاقة ناتجة من موقع جسم معيَّن في مجال الجاذبية. وكغيرها من أنواع الطاقة، يمكن تحويل طاقة الوضع التجاذبية إلى أي شكل آخر من أشكال الطاقة.



الشكل 3-14 الكتلة والارتفاع.

ولتوضيح علاقة طاقة الوضع بموقع الجسم، نقارن بين قالب موضوع على طاولة، وآخر له الكتلة نفسها موضوع على الأرض. القالب الموضوع على الطاولة يمتلك طاقة وضع أكبر من ذلك الموضوع على الأرض (**الشكل 3-14**).

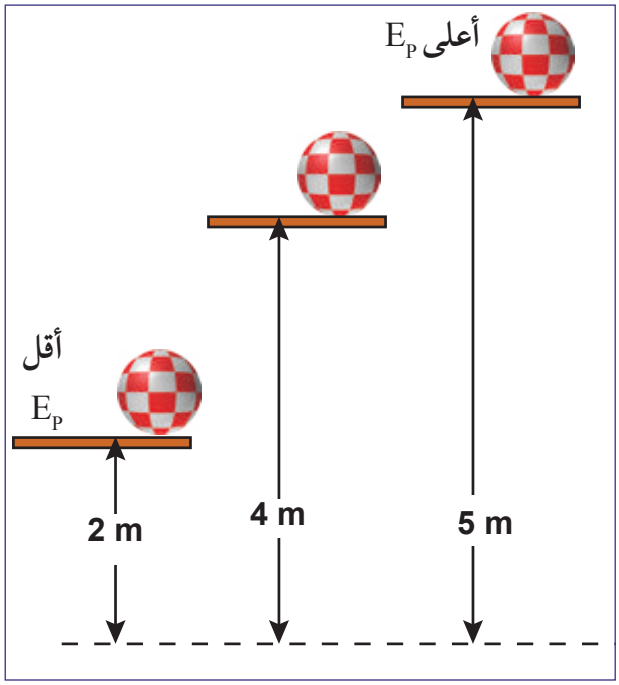
يمكن تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركيّة، بترك القالب يسقط تحت تأثير الجاذبيّة نحو الأسفل.

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

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

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

لنفترض أنّ لدينا ثلاث كرات لها الكتلة نفسها 1kg، لكنها موضوعة عند ارتفاعات مختلفة من سطح الأرض الذي نعتبره الإطار المرجعي، كما هو مبيّن في **الشكل 3-15**. إذا اعتبرنا أنّ شدّة مجال الجاذبيّة ثابتة: 9.8 N/kg، تكون طاقة الوضع 19.6 J للكرة الأولى الموضوعة على ارتفاع 2 m. و 39.2 J للكرة الثانية الموضوعة على ارتفاع 4 m، و 49 J للكرة الثالثة الموضوعة على ارتفاع 5 m. يؤكّد ذلك العلاقة الخطية بين طاقة الوضع التجاذبية والارتفاع عن سطح الأرض.



الشكل 3-15 تعتمد طاقة الوضع على الارتفاع.

الشُّغل وطاقة الوضع التجاذبيّة

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

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

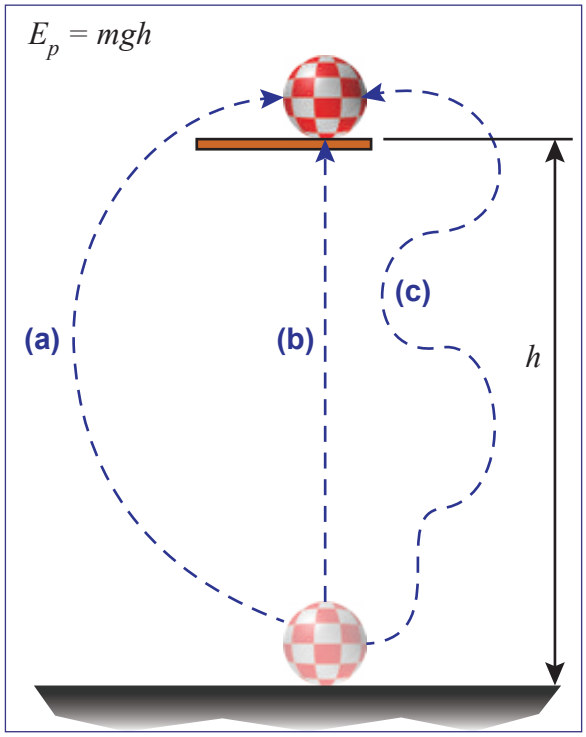
الشُّغل الذي تبذله قوة F عند تحريك جسم إزاحة d في اتجاه القوة يُعطى بالعلاقة: $W=Fd$

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

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

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

يفترض البرهان السابق أنّ الجسم يتحرّك في مسار مستقيم رأسيًّا لبلوغ الارتفاع النهائي h. ماذا لو أنّ الجسم يتحرّك على مسار مختلف؟ هل كانت طاقة الوضع التجاذبيّة لتختلف، إذا سلك الجسم مسارًا منحنيًا أطول من المسار الرأسي المباشر؟ **(الشكل 3-17)**



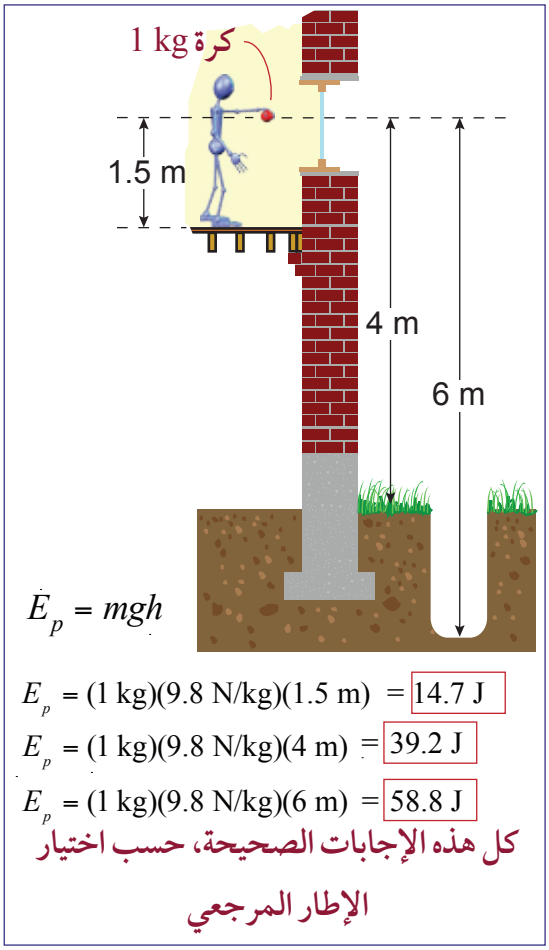
الشكل 3-17 طاقة الوضع هي نفسها بمعزل عن المسار الذي تسلكه الكرة: (a) أو (b) أو (c).

في الحقيقة، يعتمد التغيّر في طاقة الوضع التجاذبية على نقطتي البداية والنهاية فقط، ولا يعتمد على شكل المسار الذي يسلكه الجسم بين هاتين النقطتين، لأن وزن الجسم يعتبر ثابتًا في تغيُّرات الارتفاع القصيرة. وفضلاً عن ذلك، فإن الشغل المبذول بوساطة الوزن لا يعتمد على المسار المتَّبع بين نقطتي البداية والنهاية. أما في حالة الحركة على مسار أفقي (أي على ارتفاع ثابت بالنسبة إلى سطح الأرض)، فإن الوزن لا يبذل أي شغل، وتبقى طاقة الوضع التجاذبية ثابتة.

الإطار المرجعي

ما مقدار طاقة الوضع التجاذبية للكرة الحمراء ذات الكتلة 1kg المبيّنة في **الشكل 3-18**؟ تقع الكرة على ارتفاع 1.5m من أرضيّة الغرفة، أو 4m فوق سطح الأرض، أو 6m فوق قاع حفرة تقع خارج النافذة. بإجراء الحسابات سنجد أنّ $E_{P1} = 14.7\ J$، وَ $E_{P2} = 39.2\ J$ وَ $E_{P3} = 58.8\ J$، وذلك بالاعتماد على الارتفاع المُختار.

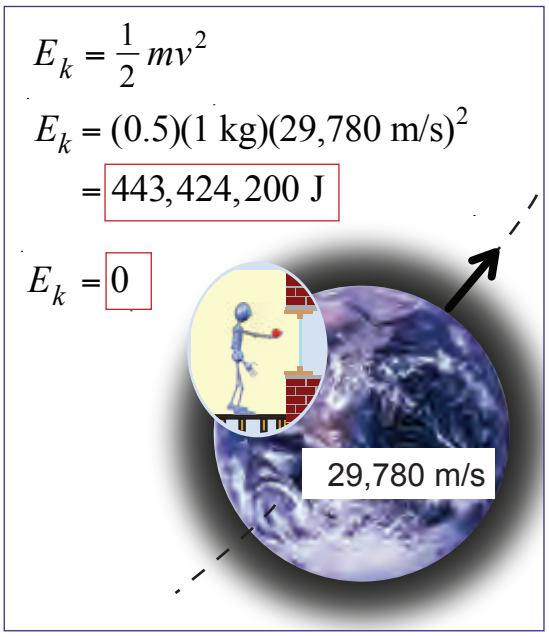
تعتمد طاقة وضع الجسم على الإطار المرجعي الذي من خلاله يجري قياسها. ففي الإطار المرجعي للغرفة، تكون الكرة على ارتفاع 1.5 m من الأرضيّة، وتمتلك طاقة وضع 14.7 J. لكن في الإطار المرجعي للأرض والذي يكون أسفل الكرة بـ 6 m فإن الكرة ستمتلك طاقة وضع مقدارها 39.2 J.



الشكل 3-18 الإطار المرجعي لطاقة الوضع.

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 29,780 m/s ، وتكون الطاقة الحركية للكرة بالنسبة للشمس $443 \times 10^6 J$.



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 (4)

الرقم القياسي العالمي في رفع الأثقال والبالغ 263 kg مسجّل في العام 2004.

1. كم تكون طاقة الوضع التجاذبيّة لثقل كتلته 263 kg، إذا رُفع 2.0 m فوق الأرض؟
2. كم يكون الشُّغل المبذول لرفع الثقل من الأرض إلى موضع فوق الرأس ارتفاعه 2.0 m؟
3. يتطلّب رفع الثقل نفسه إلى الارتفاع نفسه، ولكن على المِرّيخ، طاقة مقدارها 1946 J من الشُّغل. احسب قيمة g على المِرّيخ.

المطلوب

1) طاقة الوضع E_P للثقل فوق الرأس.

2) الشُّغل المبذول W لرفع الثقل 2 m فوق الرأس من الأرضيّة.

3) عجلة الجاذبيّة g على المِرّيخ.

المُعطى

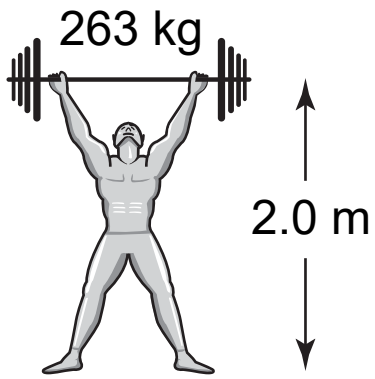
الكتلة $m = 263\ kg$

الارتفاع النهائي للثقل $h = 2.0\ m$

الشغل المبذول على المِرّيخ $W = 1946\ J$

العلاقات

$E_P = mgh$ ،$g = 9.8 m/s^2$



الحل

1. $E_P = mgh = (263\ kg)(9.8\ m/s^2)(2.0\ m) = 5{,}155\ J$
2. بحسب المُعطى في (1)، فإنّ التغيّر في طاقة الوضع للثقل بالنسبة إلى الأرض ($E_P = 0$) الى موضع أعلى الرأس هو 5,155 J. وبالتالي فإنّ أقل شُغل مبذول من الربّاع هو نفسه التغيّر في E_P، حيث:
$$W = -\Delta E_p = -5155\ J$$
3. على المِرّيخ: $E_P = mgh = (263\ kg)(g)(2.0\ m) = 1946\ J$

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

طاقة الوضع المُرونيّة

سؤال للمناقشة

هل يمكنك التفكير في نظام آخر يختزن طاقة وضع؟

تنشأ طاقة الوضع بمجرّد وجود قوة ممنوعة من التأثير. عند إزالة هذا المنع يمكن أن تتحرّر طاقة الوضع الكامنة في الجسم، وتتحوّل إلى نوع آخر من الطاقة. في حالة طاقة الوضع التجاذبيّة، تكون قوة الجاذبيّة هي القوة المعنية . وفي حالة انضغاط زنبرك فإن طاقة تُختَزَن بداخله؛ 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. وتتحرّر هذه الطاقة عندما يُسمح للزنبرك بالعودة إلى شكله الأصلي.

4-3	طاقة الوضع المرونيّة	E_E	طاقة الوضع المرونيّة (J)
$E_E = \frac{1}{2}kx^2$		k	ثابت الزنبرك (N/m)
		x	الانضغاط أو الإستطالة (m)

المعادلة **(4-3)** نموذج لطاقة الوضع المرونيّة لزنبرك تشوّه (انضغط أو استطال) بمقدار، x، من طوله الحر، عندما تكون قوة الشد فيه صفرًا. تُسمّى الكميّة، k، **ثابت الزنبرك Spring constant** وهي تصف مقدار القوة التي يؤثر بها الزنبرك لكل متر من التشوه. يُعتبر الثابت k خاصيّة مميزة للزنبرك، وتختلف من زنبرك إلى آخر أو إلى موادّ مرنة أخرى. يقاوم الزنبرك القوي الانضغاط والاستطالة؛ وبالتالي تكون قيمة ثابته k كبيرة جدًّا. أما الزنبرك الرخو، فيكون ثابته مُنخفضًا.

الشكل 3-20 بعض الأمثلة على طاقة الوضع المرونيّة.

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

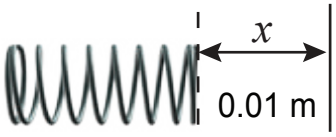
مثال (5)

ينضغط زنبرك ثابته 1000 N/m مسافة 1 cm.

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

الزنبرك قبل الانضغاط

الزنبرك بعد الانضغاط



المطلوب طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة E_{pE}

المُعطى ثابت الزنبرك $k = 1000 N/m$

الانضغاط $x=1\ cm\ ،\ 2\ cm$

العلاقات $E_E = \frac{1}{2}kx^2$

الحل

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

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

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

$$= \boxed{0.05J}$$

2. الانضغاط هو $2\ cm = 0.02\ m$

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

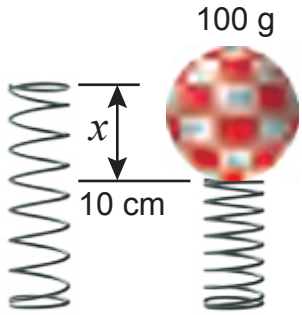
3. زيادة الانضغاط بمعامل 2 زاد الطاقة بمعامل 4؛ وذلك لأنّ الطاقة تتناسب طرديًّا مع مربّع الانضغاط أو الاستطالة.

تقويم الدرس 3-1

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

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

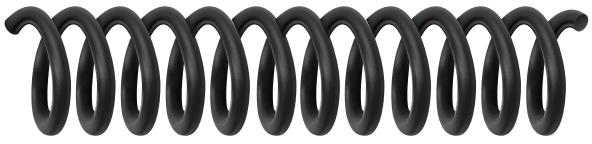
3. زنبرك عمودي ثابته k = 100 N/m يُضغط بمقدار 10 cm بواسطة كتلة 100 g.



   a. ما مقدار طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في الزنبرك المضغوط؟
   b. كم يجب أن تكون طاقة الوضع المرونيّة المُختزنة في النابض إذا ضغطناه المسافة السابقة نفسها، لكن بواسطة كتلة 300 g؟

4. اذا اقتطعنا من صندوق نصف كتلته، وقمنا برفعه إلى ارتفاع أربعة أمثال ما هو عليه. فهل تتغيّر طاقة وضعه؟ اظهر حساباتك لتشرح إجابتك.

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



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

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

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

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

الدّرس 3-2
حفظ الطاقة

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

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

الشكل 3-21 السفينة الدوارة.

تصعد العربة في هذه اللعبة إلى أعلى قمة المسار، حيث تكون طاقة الوضع التجاذبية عند أقصى قيمة لها. وعندما تبدأ العربة بالهبوط والتسارع، تبدأ طاقة الوضع التجاذبية بالتحول إلى طاقة حركية، ومعها تزداد سرعة العربة، حيث تصل إلى قيمتها القصوى عند وصولها إلى مستوى سطح الأرض. وبهذه السرعة تستطيع العربة اجتياز جميع التلال التي تقع على مسار العربة، إلى أن تتوقّف في نهاية المطاف، بسبب وجود الاحتكاك بين العربة ومسار الحركة للعربة، وتَحوّل طاقتها إلى حرارة.

مخرجات التّعلُّم

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

المفردات

النظام	System
الطاقة الميكانيكية	Mechanical energy

تحوُّلات الطاقة

تشهد كل عملية تحدث في الطبيعة، أو في عالم التكنولوجيا، تحوُّلًا للطاقة من شكل إلى شكل آخر. تعلّمنا في الدرس السابق عن الأنظمة والأجسام التي لديها طاقة حركية وطاقة وضع. وهذان شكلان من أشكال الطاقة الشائعة في مسائل الفيزياء. يوضح **الشكل 3-22** 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 وبشكل منتظم. يقوم الإنسان العامل ببذل 14,000 J من الأعمال الميكانيكية خلال دقيقة، بينما تقوم السيارة ببذل 700,000 J من الشغل خلال الفترة نفسها. وهذا يعني أن قدرة السيارة تبلغ 500 ضعف من قدرة الإنسان القوي. لدراسة مصدر الطاقة في سيارة السباق، نجد أن طاقتها هي طاقة حركية ميكانيكية. يعمل المُحرِّك، الموجود في الجزء الخلفي من السيارة، على تحويل الطاقة من ضغط الغاز الساخن إلى طاقة حركية. وتأتي طاقة الغاز الساخن من احتراق الوقود الذي يؤدّي بدوره إلى تحوُّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية. وتنتج الطاقة الكيميائية المخزنة في الوقود، من تراكم النباتات وتحلُّلها على مدار ملايين السنين، ومصدرها الطاقة الإشعاعية الآتية من الشمس، والتي امتصتها النباتات منذ أكثر من 400 مليون سنة. يمكننا القول إن سيارات السباق تعمل بالطاقة الشمسية! وإذا اخذنا في الحسبان التحوُّلات التي حدثت للطاقة على المدى البعيد، يمكننا الاستنتاج أن مصدر معظم أنواع الطاقة التي نستخدمها اليوم، هو الطاقة النووية داخل الشمس.

a2-3 تدفُّق الطاقة

سؤال الاستقصاء	كيف تتحوَّل الطاقة من شكل إلى آخر؟
الموادّ المطلوبة	شُعلة غاز، عود ثقاب، بندول مزدوج، كتلتان، زُنبرك، بكرة، خيط، عربتان.

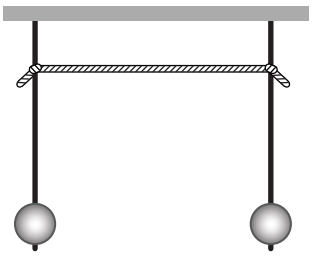
خطوات التّجربة

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

1. أضِئ شعلة الغاز بعود ثقاب.

تحوُّلات الطاقة، هي:

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

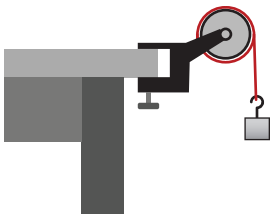


تحوُّلات الطاقة، هي:

3. اسحب الكُتلة إلى الأسفل، ثم دعها تتحرَّك.

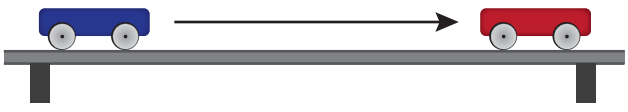
تحوُّلات الطاقة، هي:

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



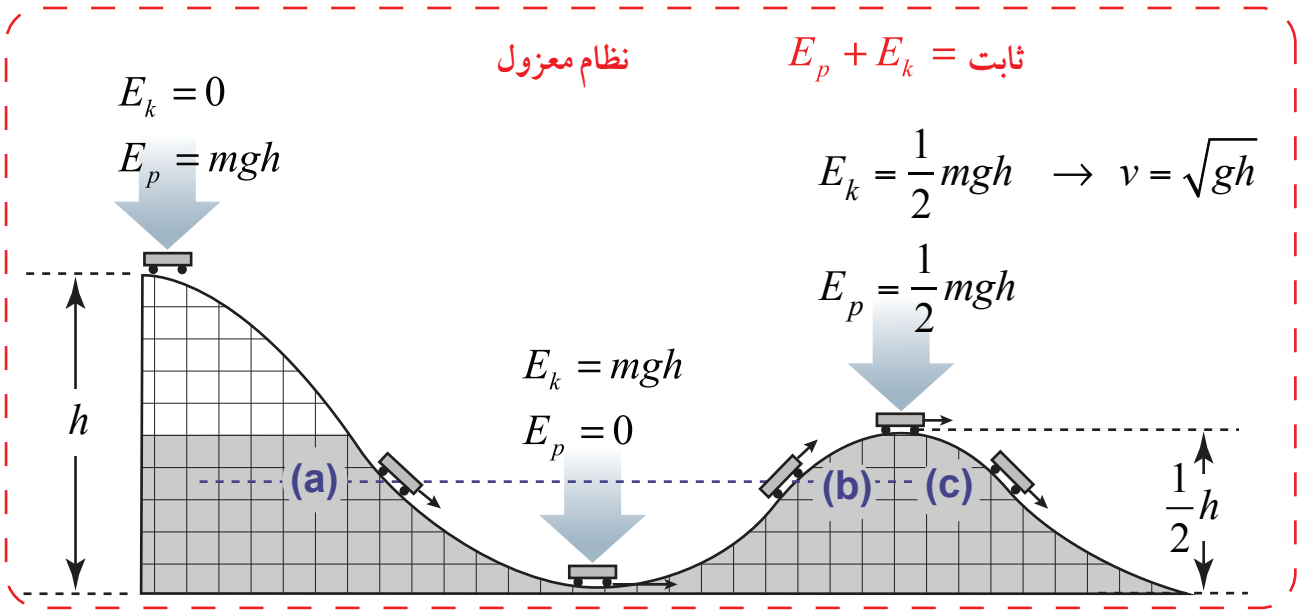
تحوُّلات الطاقة، هي:

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



قانون حفظ الطاقة

الطاقة الكلية لنظام مغلق تبقى ثابتة ولا تتغيَّر. فإذا كان أي نظام معزول يحتوي على نوعين أو أكثر من الطاقة، وحَدَث أن ازداد واحد من هذه الأنواع، فإن نوعًا آخر سينقص حتمًا بالمقدار نفسه، بحيث تبقى الطاقة الكلية ثابتة. ينص **قانون حفظ الطاقة Law of conservation of energy** على الآتي: «الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، لكنّها تتغيَّر من شكلٍ إلى آخر».



الشكل 3-23 حفظ الطاقة للسفينة الدوارة.

لنفترض أن نظام السفينة الدوّارة نظامًا معزولًا، كما هو موضَّح في الشكل **(3-23)**، فإن الطاقة الحركية للعربة تكون صفرًا عند أعلى نقطة، في حين أن طاقة الوضع التجاذبية تكون عند أقصى قيمة لها. عندما تبدأ العربة بالهبوط، فإن سرعتها تزداد، وكذلك طاقة حركتها. وبما أن الارتفاع سيقلّ، فإن طاقة الوضع التجاذبية ستقل أيضًا. تصل سرعة العربة وطاقتها الحركية إلى أقصى قيمة، عند وصولها إلى سطح الأرض، في حين أن طاقة الوضع التجاذبية تنخفض إلى الصفر، لأن الارتفاع يصبح صفرًا. ينص قانون حفظ الطاقة على أن مجموع طاقتي الحركة والوضع عند أي نقطة يكون مقدارا ثابتًا. ونلاحظ كذلك أن طاقة الوضع التجاذبية، عند النقاط(a)، (b) و (c)، لها القيمة نفسها، لأن ارتفاع النقاط الثلاث عن الأرض هو نفسه. نستنتج من قانون حفظ الطاقة أن الطاقة الحركية للعربة تكون لها القيمة نفسها أيضًا عند النقاط الثلاث.

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

حفظ الطاقة في النظام الميكانيكي

يطلق على مجموع الطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، وطاقة الوضع المرونية، عند موقع معيّن، تسمية **الطاقة الميكانيكية Mechanical energy** . للطائرة القطرية، في **الشكل (3-24)** مثلًا، طاقة حركية بسبب سرعتها؛ ولها أيضًا طاقة وضع تجاذبية بسبب ارتفاعها عن سطح الأرض. أما السيارة التي تسير في طريق أفقي على الأرض فلها طاقة حركية فقط؛ في حين أن الشخص الذي يركض لديه طاقة حركية وطاقة وضع مرونية في عضلاته.

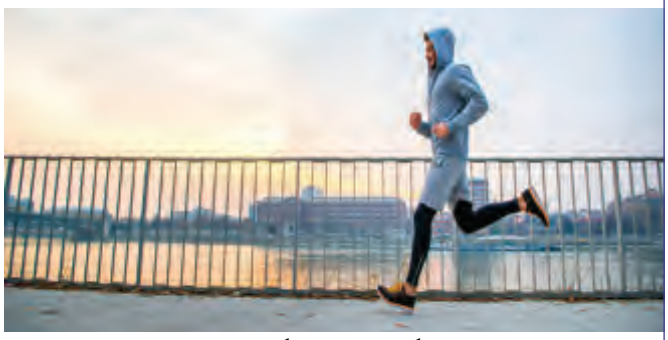
5-3	حفظ الطاقة		
	$E_i = E_f$	E_i	الطاقة الابتدائية (J)
		E_f	الطاقة النهائية (J)

في نظام عديم الاحتكاك تبقى قيمة الطاقة الميكانيكية ثابتة وفقًا لقانون حفظ الطاقة الوارد في المعادلة **(3-5)**. هذه الطاقة يمكن أن تزيد إذا أثّرنا في النظام بقوة خارجية تقوم ببذل شغلٍ باتجاه الحركة. لكن إذا بذلت القوة شغلا معاكسًا للحركة، فإن قيمة الطاقة ستنقص.

(a) $E = mgh + \frac{1}{2}mv^2$

(b) $E = \frac{1}{2}kx^2$

(c) $E = \frac{1}{2}mv^2$



(d) $E = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2$

الشكل 3-24 يقدّم أمثلة على الطاقة الميكانيكية: (a) طائرة تقلع، تزيد قوة محرّكها من طاقة وضعها التجاذبية وطاقتها الحركية. (b) ضغط الزنبرك يزيد من طاقة وضعه المرونية. (c) سيارة سباق تسير على مسار أفقي لها طاقة حركية. (d) شخص يركض لديه طاقة حركية وطاقة وضع مرونية في عضلاته.

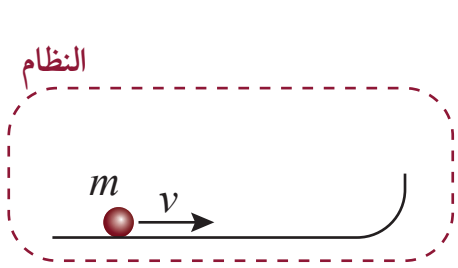
خطوات لحل مسائل حفظ الطاقة

يمكن اختصار حل المسائل المتعلّقة بقانون حفظ الطاقة الميكانيكية بالخطوات الثلاث الآتية:

1. حدِّد عناصر النظام الذي تريد تطبيق قانون حفظ الطاقة عليه؛ وحدِّد أيضًا أنواع الطاقات التي تريد حسابها مثل، الطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، وطاقة الوضع المرونية، والشغل المبذول.
2. طبّق قانون حفظ الطاقة قبل التغيير وبعده؛ ذلك أن قيمة الطاقة الكلية قبل التغير تساويها بعد التغيير.
3. حل المعادلة للحصول على إجابتك.

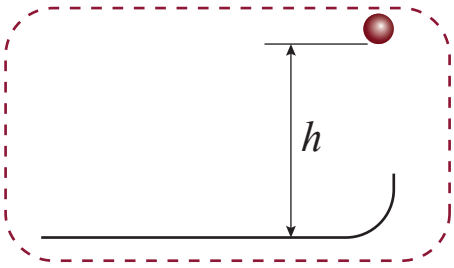
كرة تسير بسرعة v، على مسار أفقي مهمل الاحتكاك. عند نهاية هذا المسار، تصعد الكرة على مسار رأسي. بإهمال احتكاك الهواء، ماهو أقصى ارتفاع يمكن للكرة أن تصله؟

الخطوة 1 النظام هو الكرة المتفاعلة مع قوة الجاذبية. تتغيّر طاقة الكرة من طاقة حركية بسبب سرعتها v، إلى طاقة وضع تجاذبية، لوصولها إلى ارتفاع h بسرعة $v = 0$. نختار النظام، ثم نحدّد أنواع الطاقة قبل التغيُّر وبعده.



قبل التغير

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



بعد التغير

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

الخطوة 2 نطبِّق قانون حفظ الطاقة الكلّية: الطاقة الكلية قبل التغيُّر تساوي الطاقة الكلية بعد التغيُّر، ثم نشطب العناصر التي تكون قِيَمها أصفارًا.

قبل التغير

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd$$

0 0 0

$$=$$

بعد التغير

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fd$$

0 0 0

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

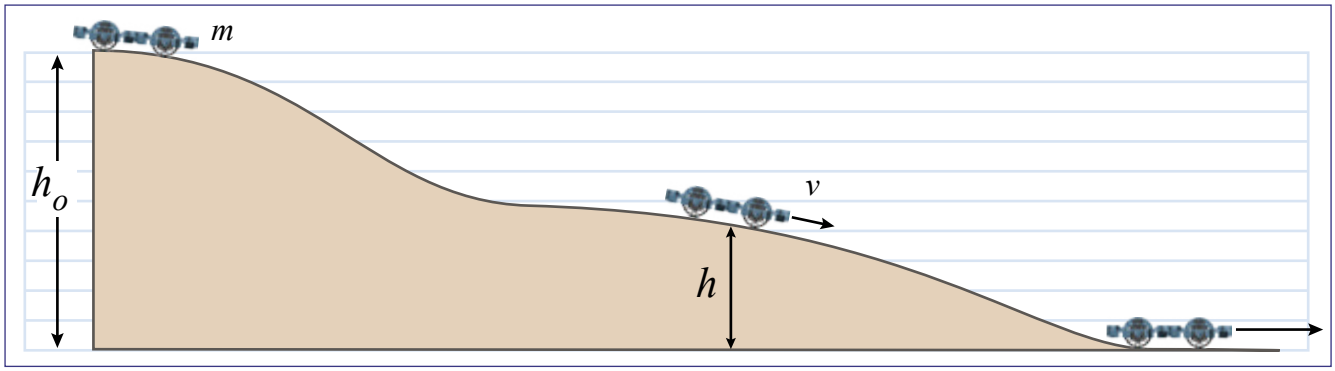
الجواب

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

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

مثال (6)

عربة كتلتها m، موضوعة على تلّة مهملة الاحتكاك. بدأت الحركة من السكون نزولًا من ارتفاع h_o.
جد علاقة تربط بين سرعة العربة v والارتفاع h.



الشكل 3-25 عربة تتحرّك نزولًا على تلة.

السؤال علاقة تربط السرعة v بالارتفاع h .

المعطيات الكتلة m، الارتفاع الابتدائي h_o، السرعة الابتدائية $v_o = 0$

الحل

1. اكتب أشكال الطاقة عند نقطة البداية، ثم عند ارتفاع h.
2. اكتب قانون حفظ الطاقة، واحذف الكمّيات التي قيمتها أصفار.
3. احسب قيمة v.

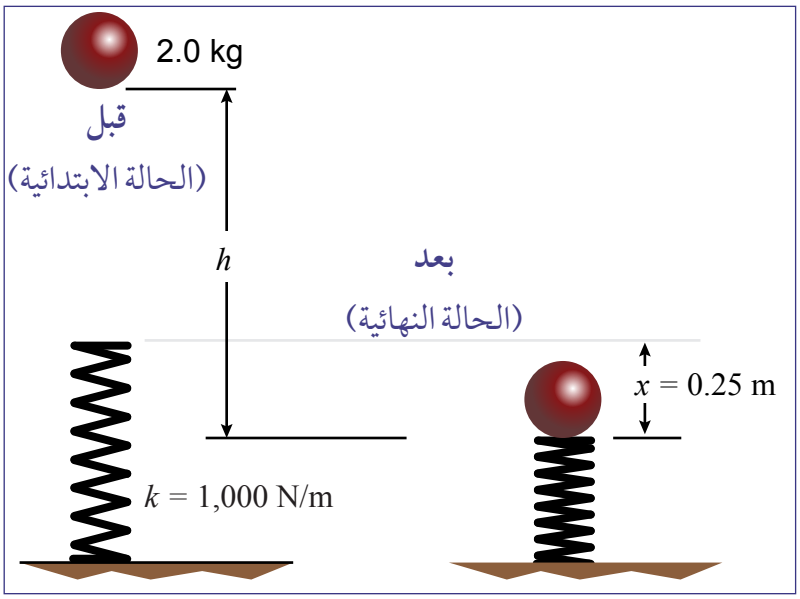
	البداية عند h_o	الوصول عند h
1	$mgh_o + \frac{1}{2}mv^2$	$mgh + \frac{1}{2}mv^2$
2	$mgh_o + \frac{1}{2}mv^2 = mgh + \frac{1}{2}mv^2$ ($\frac{1}{2}mv^2 \to 0$)	
3	$mgh_o = mgh + \frac{1}{2}mv^2$	

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 = 1000N/m، كما في **الشكل 3-26**. بإهمال احتكاك الهواء، احسب الارتفاع h بين نقطة السقوط الابتدائية والنقطة التي كان انضغاط الزنبرك فيها عند قيمته القصوى، مع العلم أن الزنبرك قد انضغط بقيمة قصوى تساوي 25 cm.



الشكل 3-26 سقوط الكرة على الزنبرك.

لحل المسألة، اتَّبع الخطوات الثلاث:

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

الحالة الابتدائية — الحالة النهائية

1 ←

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

2 ←

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

(الحدود $\frac{1}{2}mv^2$ و $\frac{1}{2}kx^2$ في الطرفين 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:

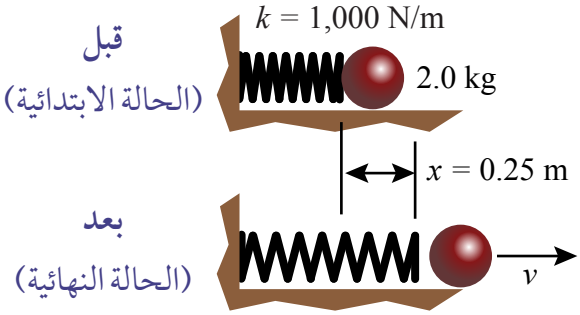
$$h = \frac{kx^2}{2mg} = \frac{(1{,}000N/m)(0.25m)^2}{2(2.0kg)(9.8m/s^2)} = \boxed{1.6\,\text{m}}$$

الجواب

مثال (7)

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

احسب الطاقة الميكانيكية للنظام. (أهمل جميع أنواع الاحتكاكات)



المطلوب الطاقة الميكانيكية والسرعة

المعطى
k = 1000N/m
x = 0.25m
m = 2kg

العلاقات الطاقة الميكانيكية

الحل

الطاقة الميكانيكية للنظام في الحالتين الابتدائية والنهائية تبقى ثابتة. ففي الحالة الابتدائية، تعتمد الطاقة الميكانيكية على طاقة الوضع المرونية للزنبرك. وتعتمده في الحالة النهائية، على الطاقة الحركية للكرة.

تكون الطاقة الميكانيكية الابتدائية:

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

$$E_P = 31.25J$$

والآن سنحسب قيمة السرعة القصوى:

	الحالة الابتدائية		الحالة النهائية
اكتب قانون حفظ الطاقة ⟵	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$
اشطب القيم التي تساوي أصفارًا ⟵	$mgh_0 + \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}kx^2$	=	$mgh_0 + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx_0^2$
عوض بالقيم المعطاة ⟵	$\frac{1}{2}kx^2$	=	$\frac{1}{2}mv^2$

الحل ← $v = x\sqrt{\frac{k}{m}}$

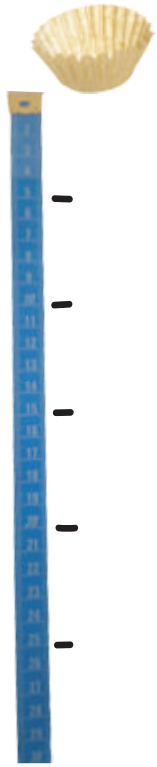
لكي تجد قيمة المطلوب

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

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 الكاميرة أمام الورقة، حيث تستطيع أن تلحظ كل المسافات التي تقطعها مصفاة القهوة، وتصوّرها.
4. قف على الكرسي، والتقط المصفاة بيدك، وضعها على العلامة 0 cm للورقة المُعلَّقة.
5. دعِ المصفاة من يدك، وابدأ بتسجيل الفيديو.
6. أوقف التسجيل عندما تصل المصفاة إلى نهاية الورقة.
7. أعد الخطوات 6–4 مع تغيُّر الموقع الأوّلي بزيادة 5 cm في كل مرة، بمعنى أنك تقلِّل الارتفاع. كرِّر المحاولة لأربعة ارتفاعات مختلفة.

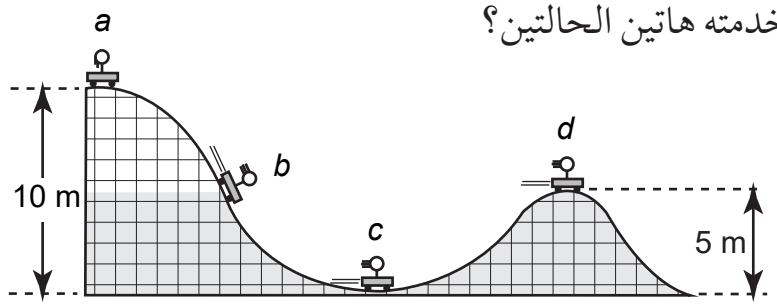
النتائج

a. استخدام تسجيلات الكاميرا، لكي تدوِّن على جدول الأوقات المسجَّلة لحظة عبور المصفاة نهاية الورقة.
b. سجِّل المسافات التي قطعتها المصفاة، ثم احسب السرعة بتحليل المعطيات المتوافرة (يمكن للمعلّم مساعدتك في ذلك).
c. احسب طاقة الوضع التجاذبية الابتدائية باستخدام الارتفاعات التي دوّنتها.
d. احسب الطاقة الحركية النهائية باستخدام السرعات التي حسبتها.
e. قارن بين قيم الطاقتين المحتسبة في البندين c و d.هل قيمَتُها متساوية؟ اذا كانت القيم مختلفة، فاذكر سبب ذلك؟

تقويم الدرس 3-2

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

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

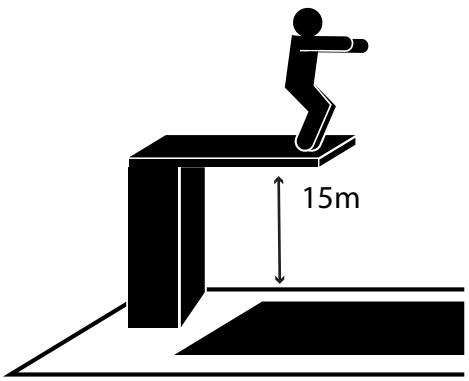


   a. عند أي نقطة تكون طاقة الوضع التجاذبية للعربة أقصى ما يمكن؟
   b. عند أي نقطة تحقّق العربة سرعتها القصوى؟
   c. عند أي موقع أو مواقع، تكون للطاقة الحركية، وطاقة الوضع التجاذبية، القيمة ذاتها؟

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 هي 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. عجلة 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 وات هذه الفكرة لاحقًا في بحوث المحرِّكات البخارية الخاصة به، والترويج لبيعها، حيث قاس وات الزمن اللازم كي يدوّر المهرُ حجر الرحى في مطحنة الحبوب، وضرب المسافة التي يمشيها المُهر في دورته بكتلته وقسم الناتج على الزمن المستغرق، وبما أن هذا البحث جرى باستخدام المهور؛ وضع وات أفتراضًا بأن قوة الحصان يجب أن تكون مثليّ قوة المُهر، واليوم نعرف أن قدرة الحصان الواحد هي في الواقع 0.7 حصان (hp).

الشكل 3-27 قدرة الحصان الواحد =0.7 hp

مخرجات التّعلُّم

P1108.1 يعرّف القدرة بأنها المعدل الزمني لإنجاز كمية محددة من الشغل، أو المعدل الزمني لتحويل الطاقة،

ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة: $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$

P1108.2 يوضّح أن القدرة مرتبطة بانتقال الطاقة بين أجزاء النظام المختلفة وتقاس بوحدة الواط (Watt).

P1108.3 يشرح أنه في جميع عمليات تحولات الطاقة يحدث تبديد (فقد) لجزء من الطاقة ولا يمكن تخزينه أو استخدامه بطريقة مفيدة.

P1108.4 يحسب الكفاءة لنظام باستخدام المعادلة:
الكفاءة = الطاقة المتحولة المفيدة / الطاقة الكلية الداخلة.

المفردات

القدرة الحصانية (hp)	Horsepower (hp)
الكفاءة	Efficiency
مُخطَّط سانكي	Sankey diagram

القدرة

سؤال للمناقشة

متى تكون حيويًّا؟

متى تكون قويًّا؟

هل معايير كل منهما هي نفسها أم أنها مختلفة؟

تُستخدَم مفردتا الطاقة والقدرة عادة بشكل متبادل، ولكنهما في الواقع مختلفتان في المعنى. فالطاقة هي المقدرة على بذل شغل، وتقاس بوحدة الجول، ويمكن أن تُبذل إمّا ببطء وإمّا بسرعة. تخيّل، مثلًا، حَمل حقيبة ممتلئة بالأغراض إلى الطابق العلوي. يمكنك أن تصعد الدرج ببطء في ثلاث دقائق، أو تركض فتصل في 30 ثانية. فكيف تكون هاتان الحالتان مختلفين؟

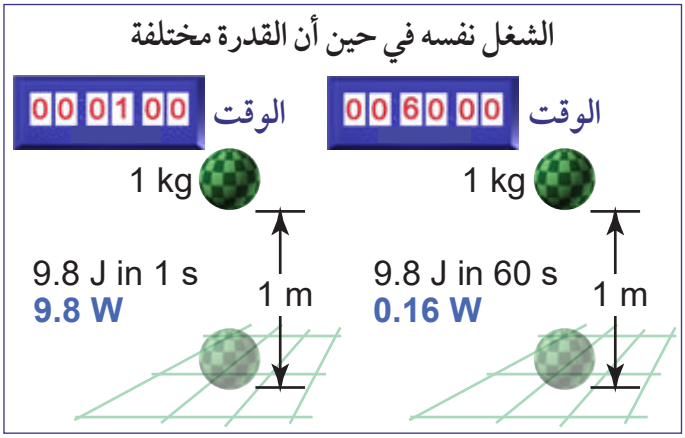
في الواقع، يكون الشغل المبذول الكلّي هو نفسه في كلتا الحالتين؛ لكن **القدرة Power** المطلوبة مختلفة. فالقدرة هي المعدَّل الزمني الذي يُبذل فيه الشغل، أو المُعدَّل الزمني الذي تنتقل فيه الطاقة. ويقاس الشغل بالجول، في حين تقاس القدرة بالجول لكل ثانية. فقدرة مقدارها جول واحد لكل ثانية (J/s) هي **واط واحد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

5-3 القدرة

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

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

تُعدّ القدرة مؤشِّرًا على مستوى «الجهد» المطلوب لإنجاز كمية معطاة من الشغل. فرفع كرة كتلتها 1 kg إلى ارتفاع 1 m يحتاج إلى شغل 9.8 J كحدٍّ أدنى (**الشكل 3-28**). وإنجاز هذا الشغل في 60s يعني بذل قدرة مقدارها 0.16 W، وهي قدرة ينجزها فأر صغير تقريبًا. أما إنجاز الشغل 9.8 J نفسه في 1 s فيتطلّب 9.8 W من القدرة، وهذه أكبر بـ 60 مرة من حالة إنجازه في 60 s.



الشكل 3-28 مثال على القدرة عند رفع الكرة.

الشُّغل المبذول مستقّل عن الزمن المستغرق، في حين أن القدرة تعتمد على الزمن الذي يُنجز فيه الشغل.

a3-3 كم تبلغ قدرتك؟

سؤال الاستقصاء	ما القدرة التي تنتجها عضلاتك عندما تثني ذراعك؟
الموادّ المطلوبة	كتلة 500 g، شريط قياس أو مسطرة ، ساعة إيقاف

الخطوات

1. قس طول ذراعك بمساعدة زميلك، كما هو مبيّن في **الشكل 3-29**.
2. احسب الشغل المبذول لرفع كتلة 500 g بمقدار طول ذراعك. (تلميح: أنت بحاجة إلى الصيغة $F = \frac{W}{d}$. تذكّر أن تحوّل الكتلة إلى وزن.) هذه هي كمية الطاقة التي تبذل خلال ثني الذراع مرة واحدة.
3. الآن، وبمساعدة زميلك وساعة إيقاف، قم بإحصاء عدد مرات ثني الذراع التي يمكنك إنجازه في 60 s.
4. اقسم 60 s على عدد مرات ثني الذراع للحصول على زمن ثنيّ الذراع في المرة الواحدة .
5. 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 (8)

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 $P = 100\ W$

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

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

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

الحل يجب التعبير عن الزمن بالثواني، فنحوّله من ساعات إلى ثوان، كما يأتي:

$$\Delta t = 1\text{hr}\left(\frac{60\,\text{min}}{1\text{hr}}\right)\left(\frac{60\text{s}}{1\,\text{min}}\right) = \boxed{3,600\text{s}}$$

لإيجاد ΔE نضرب معادلة القدرة في الزمن المُستغرَق

$$P \times \Delta t = \frac{\Delta E}{\Delta t} \times \Delta t \Rightarrow \Delta E = P\Delta t$$

$$\Delta E = P\Delta t = (100\text{W})(3,600\text{s}) = \boxed{360,000\text{J}}$$

لحساب الطاقة المستهلكة في 24 ساعة (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 تفكّر بشيئ كم هو «قوي» ، فأنت تفكّر عادة في مقدار القدرة التي ينتجها. تنتج العديد من الأجهزة والسيارات قدرة تقُاس بوحدة **الحصان الميكانيكي** «**hp**» **Horsepower (hp)**، وهي تساوي 746 W.

قـدرة المحرك الكهربائي في الغسّالة المثالية تساوي 1/2 hp أو 373 W، وهي القدرة نفسها تقريبًا التي يستهلكها رياضي ذو لياقة عالية خلال سباق. قدرة المحرِّك في المنشار الكهربائي تبلغ حوالي 1.5 hp، في حين يعمل محرِّك سيارة صغير بقدرة 100 hp تقريبًا. ويمكن أن يبذل الحـوت الأزرق 500 hp أو 370,000 W، في حين يُستهلك 0.13 hp لتشغيل مصباح مثالي قدرته 100 W. يبيّن **الشكل (3-30)** أمثلة إضافية.

فكِّر في جميع الأجهزة الموجودة في منزلك، كم مرة عادة يُستخدم كل منها في اليوم؟ وكم من الزمن يُستغرق استخدام كل منها يوميًّا؟ هل يمكن أن نخفض الاستهلاك اليومي؟ يمكنك استخدام **الجدول 3-1** للمساعدة.

سؤال للمناقشة

كم حصان يحتاج منزلك لتزويده بالطاقة؟

الشكل 3-30 أمثلة يومية للقدرة.

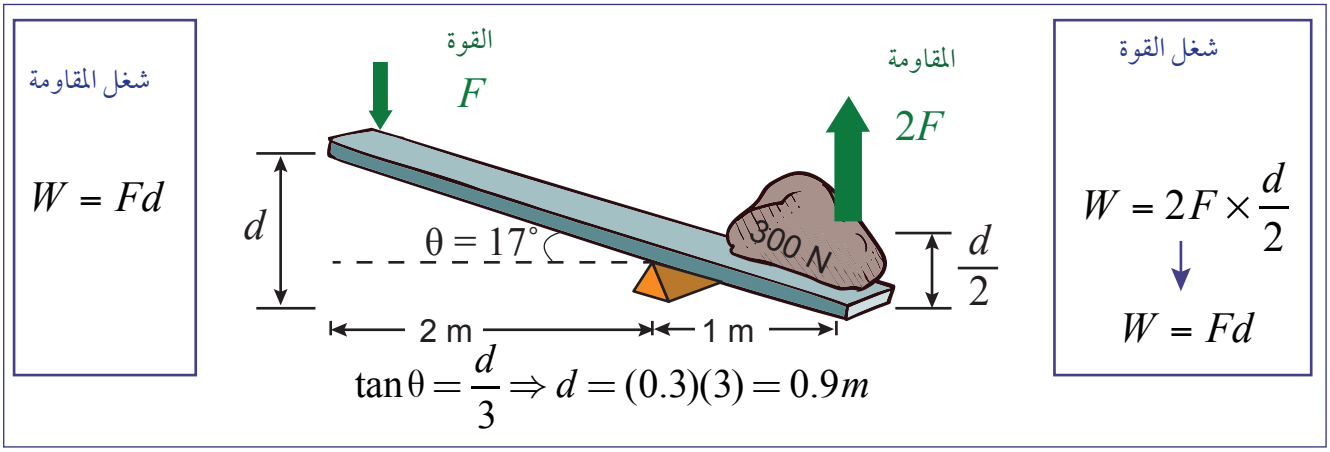
جدول 3-1 القدرة المستهلكة في الأجهزة المستخدمة يوميًّا.

الجهاز	القدرة المستهلكة (hp)	القدرة المستهلكة (W)
مكيّف هواء	4.7	3,500
مكنسة كهربية	1.9	1,400
تلفزيون lcd /led	0.13	91.5
فرن ميكروويف	1.6	1,200
حاسوب مكتب	0.4	300
شاحن هاتف	0.003-0.008	2-6
غسّالة كهربية	1.3	1000
مكواة كهربية	2	1,500
مجفف شعر	2	1,500
ثلاجة	0.3	200

الآلات المثالية

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

تعتبر الرافعة مثالًا جيدًا لهذه الحالات، فالرافعة التي تكون مقاومتها (المخرج) ضعفي قوتها (المدخل) تستطيع تحريك المقاومة مسافة تساوي نصف المسافة التي تقطعها القوة **الشكل (3-31)**. في الآلة المثالية، يتم نقل الشغل من القوة إلى المقاومة بدون أي طاقة مفقودة. يمكن أن تتغير المسافات والقوى، كل على حدة، ولكن شغل القوة يساوي شغل المقاومة.



الشكل 3-31 الشغل المبذول عن طَرَفَي رافعة.

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

قدرة القوة والمقاومة

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

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

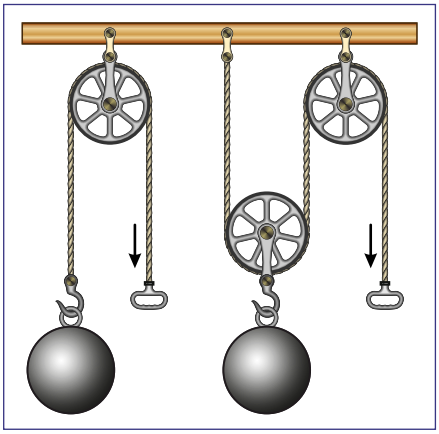
شغل القوة والمقاومة

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

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

البكرات هي مثال آخر على الآلات البسيطة التي تستخدم القوى للحصول على حركة ومسافات مقطوعة كما في **الشكل (3-32)**. يمكن ترتيب البكرات من أجل مضاعفة القوى، إلا أن الحبل يجب أن يُسحب مسافة أطول من أجل رفع ثقل أكبر.

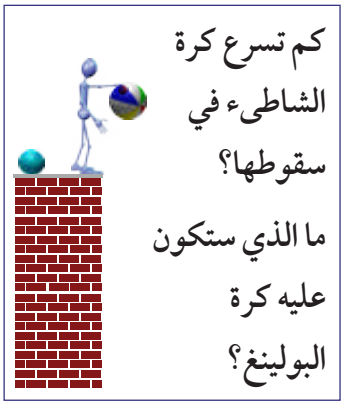
يكون شغل القوة مساويًا لشغل المقاومة وكذلك قدرتيهما في حالة البكرات الخفيفة غير الإحتكاكية. فالناقل هو آلة بسيطة تنقل القدرة نفسها من القوة إلى المقاومة من خلال تغيير القوى والمسافات.



الشكل 3-32 البكرات كآلات بسيطة.

الكفاءة

تخيّل أنك أسقطت كرة شاطئ من قمة بناء كما في (**الشكل 3-33**). تتفق السرعة عند بداية السقوط تمامًا مع الصيغة المشتقّة من قانون حفظ الطاقة، ولكن مقاومة الهواء لسقوط الكرة تزداد بازدياد السرعة إلى درجة أن سرعة الكرة لا يمكن أن تزداد بعد ذلك.



الشكل 3-33 إسقاط كرات مختلفة من الارتفاع نفسه.

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

يمكنك بسهولة رؤية الكفاءة من خلال إسقاط كرة مطّاطية على الأرض. فالكرة لا ترتد مطلقًا إلى النقطة نفسها التي بدأت السقوط منها، ذلك لأن كل مرة ترتد فيها الكرة تتحوّل طاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية، لكن بأقل من 100%. فكفاءة النظام هي الطاقة الخارجة مقسومة على الطاقة الداخلة (المعادلة 3-6).

6-3	الكفاءة		
$\eta = \frac{E_{\text{خارجة}}}{E_{\text{داخلة}}}$		η	الكفاءة
	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 يأخذ طاقة داخلة 100 J من الطاقة الكهربائية، ويعطي طاقة خارجة 2 J من الطاقة الضوئية، وكفاءته هي 2% فقط، حيث الـ 98 J الأخرى تُهدر على شكل حرارة. أما مصباح الفلورسنت فإن كفاءته أعلى كثيرًا، إذ تصل إلى 9%. فطاقة داخلة مقدارها 23 J من الطاقة الكهربائية تعطي الطاقة الخارجة من المصباح المتوهِّج نفسها أي 2 J من الطاقة الضوئية (**الشكل 3-34**).

الشكل 3-34 مقارنة بين المصباح المتوهِّج ومصباح الفلورسنت.

مثال (9)

يبذل رجل 2,000 J من الشغل عند دفعه صندوقًا إلى أعلى منحدر. فإذا استهلك 800 J من الطاقة للتغلّب على الاحتكاك:

a. ما مقدار الشغل المفيد الذي بذله؟

b. ما هي كفاءة العملية؟ اكتب الكفاءة كنسبة مئوية.

المطلوب

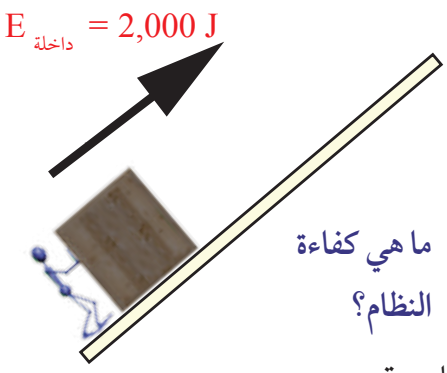
الشغل المفيد المبذول

الكفاءة

المعطى

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

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



العلاقات

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

الحل

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

$$E_{out} = E_{in} - E_f$$

$$E_{out} = 2{,}000\text{J} - 800\text{J}$$

$$= \boxed{1{,}200\text{J}}$$

b. نحسب الكفاءة:

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

$$\eta = \frac{1{,}200\text{J}}{2{,}000\text{J}}$$

$$= 0.6$$

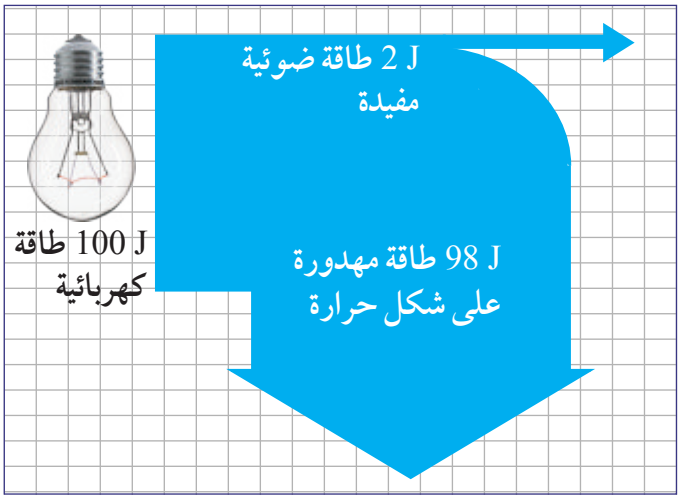
وبتحويلها إلى نسبة مئوية تصبح: $0.6 \times 100\% = \boxed{60\%}$

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

مُخطَّطات سانكي

تعطي سلاسل الطاقة الخطوط العريضة لكيفية تدفُّق الطاقة من شكل إلى آخر، بما في ذلك أصل الطاقة. وتعطي **مُخطَّطات سانكي Sankey diagrams** تصوّرًا أكثر دقة لتدفّق الطاقة، بما تمثّله من كميات الطاقة الفعلية. ويتناسب عرض الأسهم في المخطَّطات طرديًّا مع كمّيات الطاقة المُتدفّقة.

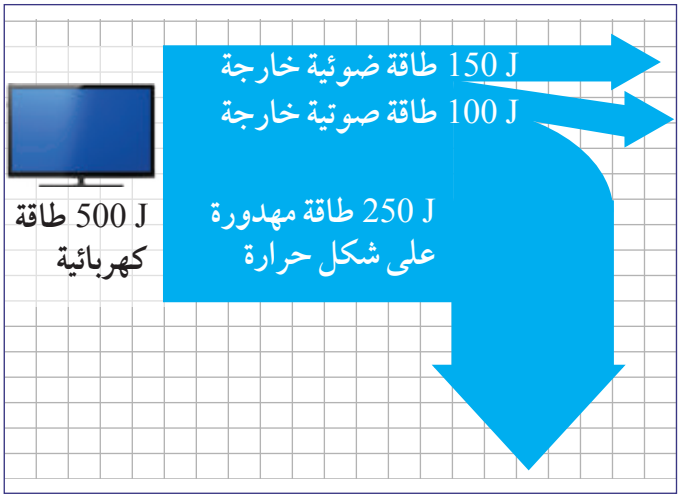
تُستخدَم مُخطَّطات سانكي أساسًا عند الإشارة إلى الكفاءة. فالمصباح المتوهِّج، كما في المُخطَّط، يأخذ 100 J من الطاقة الكهربائية، وينتج 2 J فقط من الطاقة الضوئية، في حين تتحوّل 98 J، وهي الطاقة المتبقية، إلى حرارة **(الشكل 3-35)**.



الشكل 3-35 مخطط سانكي لمصباح متوهّج.

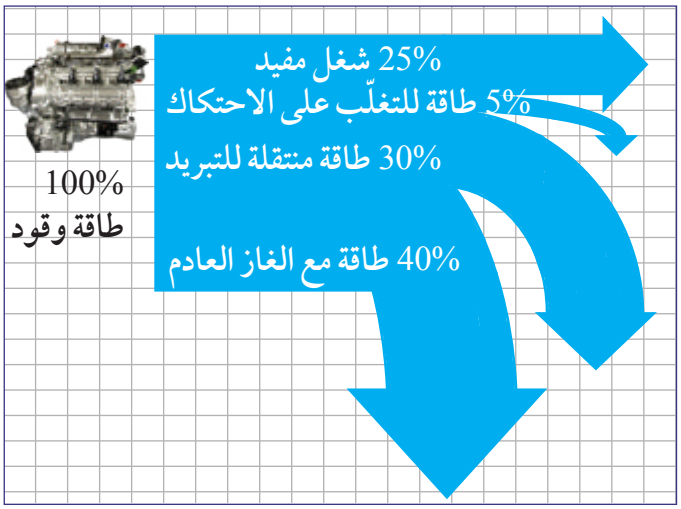
هذا هو السبب في أن المصابيح المتوهِّجة تكون حارّة جدًا عند لمسها، ولا تستبدل إلا عندما تكون مطفأة. يلاحظ أن الأسهم التي تمثّل الطاقة المهدورة تتباعد هابطة إلى أسفل.

يطبّق قانون حفظ الطاقة على كمّية الطاقة التي تدخل النظام، وعلى كمية الطاقة التي تخرج منه. ومع ذلك، لا تكون كل الطاقة الخارجة مفيدة لنا، بل معظمها يُعدّ طاقة مفقودة. فجهاز التلفزيون الحديث **(الشكل 3-36)** يأخذ حوالي 500 J من الطاقة الكهربائية؛ وينتُج في هذه الحالة نوعان من الطاقة المفيدة الخارجة هما الضوء والصوت؛ وهذا يجعل كفاءة جهاز التلفزيون الحديث حوالي 50%.



الشكل 3-36 مخطط سانكي لتلفزيون.

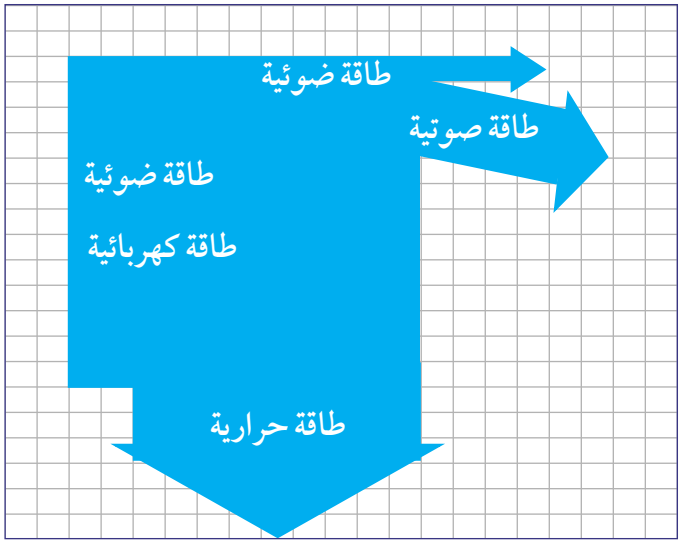
لا نعتمد فقط على الجول في مخطّطات سانكي، إذ يمكننا استخدام الواط، أو حتى النسب المئوية، فمحرِّك السيارة المثاليّ يستخدم فقط 25% من الوقود للسير ولتشغيل الأجهزة الإضافيّة المكمّلة **(الشكل 3-37)**، وتهدر بقية الطاقة أو تُستخدَم في تبريد السيارة لمنع ارتفاع درجة حرارتها.



الشكل 3-37 مخطّط سانكي لآلة.

مثال (10)

يمثِّل مُخطَّط سانكي هذا نقل الطاقة لجهاز لوحي (أي بود)، يمثّل كل مربع في الشبكة 10 J من الطاقة. احسب الطاقة الداخلة، والطاقة المفيدة، والطاقة المفقودة. هل الطاقة محفوظة؟



المطلوب

الطاقة الداخلة

الطاقة المفيدة

الطاقة المفقودة

الحل

لحساب الطاقة الداخلة، يجب عدّ المربعات وضربها في 10 J. يبلغ عدد مربعات الطاقة الداخلة 13 مُرَّبعًا، وعليه تكون الطاقة الداخلة: $13 \times 10 = 130$ J

هنك طاقتان مفيدتان هما الطاقة الضوئية والطاقة الصوتية. ويبلغ عرض الطاقة الضوئية مُرَّبعًا واحدًا؛ وبضربه في 10 J تكون الطاقة الضوئية: $1 \times 10 = 10$ J

يبلغ عرض الطاقة الصوتية 3 مربّعات، أي إن الطاقة الصوتية تساوي: $3 \times 10 = 30$ 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

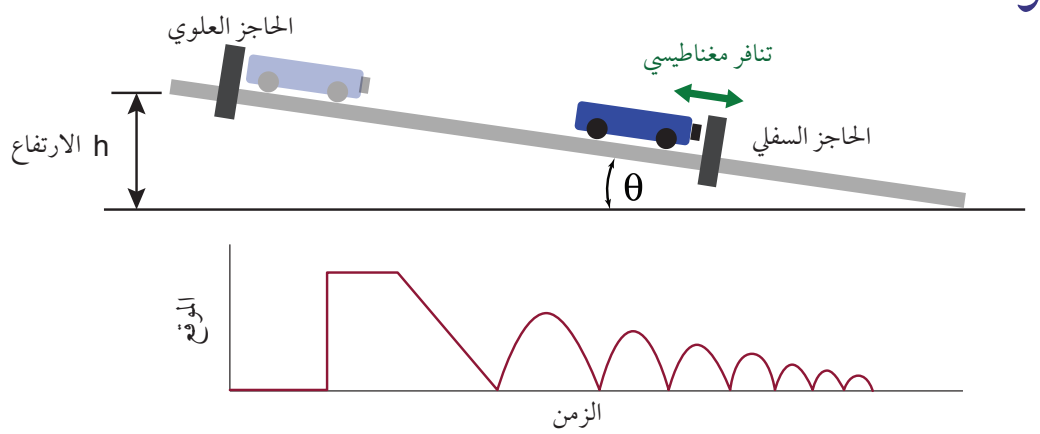
مجموع الطاقة الخارجة: $40\text{ J} + 90\text{ J} = 130\text{ J}$

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. ثبّت العربة عند الحاجز العلوي ثم اتركها لتسقط على المنحدر. ستحصل على عدّة تصادمات بين العربة والحاجز السفلي.
4. احصل على رسم بياني لمنحنى الموقع على المنحدر (المحور الرأسي) بدلالة الزمن (على المحور الأفقي). باستخدام قارئ البيانات.
5. سيكون رسمك البياني شبيهًا بالرسم أعلاه.

الأسئلة

a. احسب زاوية ميل θ بدلالة طول المنحدر وارتفاعه.
b. قِس ارتفاع كل قيمة قصوى على الرسم البياني بعد كل تصادم واحصل على الارتفاع الرأسي للعربة.
c. احسب طاقة الوضع التجاذبية للعربة عند كل قيمة قصوى على الرسم البياني وذلك بمعرفة الكتلة والارتفاع.
d. استخدم بياناتك لحساب الكفاءة في نقل الطاقة بين المجال المغناطيسي والعربة عند كل تصادم.
e. صف تغير الكفاءة مع الطاقة.

تقويم الدرس 3-3

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

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

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

4. تحتوي بطّارية الهاتف المحمول المشحونة بالكامل على 20,000 J من الطاقة الكهربائية المختزنة. في حين يستخدم الهاتف المحمول 2 W من تلك الطاقة.
   a. احسب بالثواني الوقت الّذي ستستمر فيه البطارية بتزويد الهاتف بالطاقة.
   b. كم من الوقت بالدّقائق ستستمر البطارية بتزويد الهاتف بالطاقة ؟
   c. كم يبلغ وقت استمرار البطاريّة بتزويد الهاتف بالطاقة بالسّاعات ؟

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

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

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

ضوء على العلماء

جيمس بريسكوت جول

ساهم العديد من العلماء على مدار السنين في فهمنا للقُدرة والطاقة والكفاءة. وقد سمحت الجهود والبحوث المبكرة لعلماء ومهندسين آخرين ببناء وتطوير أجهزة وتقنيات ذات فاعلية أكبر.

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

الشكل 3-38 جيمس بريسكوت جول.

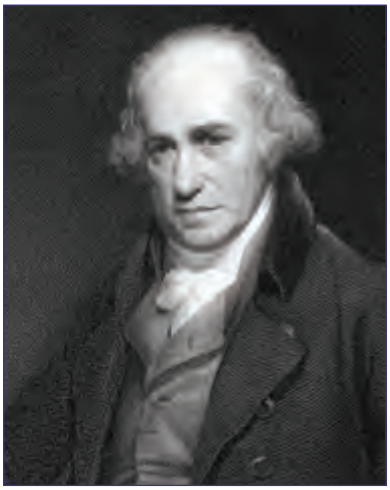
اختراع المحرّك البخاري

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

الشكل 3-39 واحد من أوائل المحرّكات البخاريّة.

جيمس واط

كان جيمس واط مخترعًا اسكتلنديًا وهو الذي طُلب منه إصلاح محرّك نيوكومان. اكتشف واط أن كفاءة محرّك نيوكومان كانت سيّئة للغاية؛ فقام على مدار عدة سنوات بتطويرتصميم جديد فَصَل فيه حجرة التكثيف، الأمر الذي أسهم في الحِفاظ على درجة حرارة المحرّك البخاري. قام واط بنشر تصميم محرّكه البخاري عن طريق مقارنة قدرته بالأحصنة.



الشكل 3-40 جيمس واط.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

- **الشُّغل** يُبذَل بوساطة قوة تؤثّر في جسم، وتؤدي إلى تحرّكه مسافة معيّنة.
- **الجول** (J) أو نيوتن.متر (N.m) هي وحدة قياس الشُّغل في النظام الدولي للوحدات.
- **الطاقة** تتشابه مع الشُّغل لكنهما ليسا الشيء نفسه. فالطاقة هي القُدرة على القيام بشغل؛ أما الشُّغل فهو كميّة الطاقة المُستخدمة.
- **الطاقة الحركيّة** هي الطاقة التي يمتلكها الجسم خلال حركته. فالأجسام الساكنة تكون طاقتها الحركيّة صفرًا.
- **طاقة الوضع التجاذبيّة** هي الطاقة المُختزنة في الجسم الذي يقع عند ارتفاع ما، نتيجة لقوة الجاذبية. تتحرّر طاقة الوضع عندما يُترَك الجسم ليسقط. تكون طاقة الوضع التجاذبيّة للجسّم عند سطح الأرض صفرًا، إذا اعتبرنا سطح الأرض الإطار المرجعي لقياس هذه الطاقة.
- **طاقة الوضع المرونيّة** هي الطاقة المُختزنة في جسم مَرِن عندما ينضغط أو يتمدّد. تتحرّر الطاقة عند عودة الجسم إلى شكله الأصلي. المواد التي يُمكن تغيير شكلها، هي فقط القادرة على تخزين طاقة الوضع المرونيّة مثل الأحزمة المطّاطية والزنبرك والعضلات.

الدرس 3-2: حفظ الطاقة

- **قانون حفظ الطاقة** ينص على أنّ الطاقة تتحوّل من شكل إلى آخر، وتبقى قيمتها الكلّية ثابتة. لا يمكن للطاقة أن تفنى أو تُستَحدَث. ذلك أن معظم أنواع الطاقة المفقودة تتحوَّل إلى طاقة حراريّة أو طاقة صوتيّة.
- **مُخطّط تدفُّق الطاقة** يُستخدم لتمثيل تدفّق الطاقة.
- **الطاقة الميكانيكيّة** هي الطاقة الكلّية التي لها شكل ميكانيكي. وتكون في العادة مجموع الطاقة الحركيّة وطاقة الوضع التجاذبيّة وطاقة الوضع المرونيّة. يتغيّر كل شكل من أشكال الطاقة في النظام المعزول بصورة منفردة كشغل مبذول، لكن تبقى الطاقة الميكانيكيّة دائمًا ثابتة.

الدرس 3-3: القُدرة والكفاءة

- **القُدرة** هي المعدّل الذي يُبذل الشُّغل فيه. وحدة القُدرة هي الواط (W) ، أو الوحدة الحصانية (hp)
- **الكفاءة** هي نسبة الطاقة الخارجة 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** هي مخطّطات دقيقة تمثّل الطاقات المُستخدمة والمُستهلكة. يتناسب عرض السهم في مخطّط سانكي طردياً مع النسب المئويّة للطاقات المُستخدمة والمُستهلكة. كما تُمثَّل فيه الطاقة المفقودة أيضاً.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدّد

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. ما هي الطاقة اللازمة 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 أحمد على قمّة مبنى ارتفاعه 10 m، حاملاً بيده كرة بولينغ كتلتها 7 kg. قام مازن بإحداث حفرة عمقها 2 m، قرب أسفل المبنى. كم ستكون طاقة الوضع التجاذبيّة لكرة البولينغ بالنسبة إلى قاع الحفرة؟

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

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

a. الطاقة النوويّة > الطاقة الحراريّة > الطاقة الضوئيّة.
b. الطاقة الميكانيكيّة >الطاقة الضوئيّة > الطاقة الانضغاطيّة.
c. الطاقة الضوئيّة > الطاقة الكهربية > الطاقة النووية.
d. الطاقة الكيميائية > الطاقة الكهربية > الطاقة الضوئية.

10. رُمِيَت كرة كتلتها 15 kg رأسيًّا إلى الأعلى بسرعة 12 m/s. ما أعلى ارتفاع تبلغه الكرة؟

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

تقويم الوحدة

12. في نموذج لسيّارة، تُصرف حوالي 65% من طاقة الوقود بشكل إشعاعي كحرارة، ويكون 13% من استهلاكها على شكل شغل لتحريك السيّارة، وتُصرف 10% للتغلّب على قوى الاحتكاك، وتُصرف 7% عندما لا تتحرّك، و 5% لتشغيل بعض أجهزتها(كالمكيّف مثلاً). ما هي كفاءة نموذج السيّارة هذا؟

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

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

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

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

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

الدرس 3-1: الشُّغل المبذول والطاقة

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

16. تتحرّك سيّارة على طريق أفقية من دون تشغيل محرِّكها. وتتعرَّض لقوة تعاكس حركتها، مقدارها 530 N؛ فتتوقف بعد قطعها 84 m. احسب الشُّغل المبذول من القوة المعاكسة على السيّارة.

17. يتمدّد كل من الخيط وحبل النايلون بشكل طفيف، لدى سحب أي منهما بقوة معتدلة. إذا طبّقنا القوة نفسها على زنبرك، فإنه يتمدّد بشكل أكبر من الحبل والخيط. كيف نقارن ثابت الخيط والحبل مع ثابت الزنبرك؟

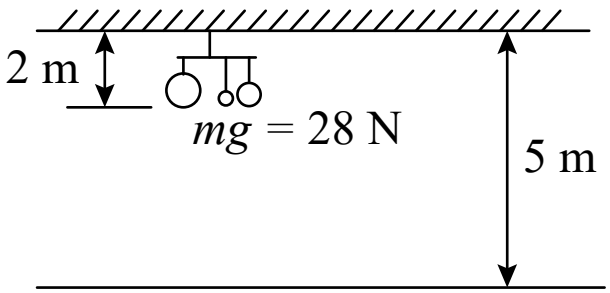
18. يتجادل أخَوان في شقة حول طاقة الوضع التجاذبية لتلفاز كتلته 10 kg معلّق على الحائط. يدّعي الأول أنّ التلفاز موجود على ارتفاع 2 m من الأرض، وبالتالي تكون طاقة وضعه: $10\ kg \times 9.8\ N/kg \times 2\ m = 196\ J$. أمّا الثاني فيقول: بما أنّنا في الطابق الثاني، سيكون التلفاز على ارتفاع 12 m فوق الأرض؛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

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

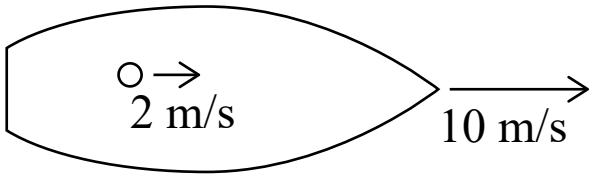
20. ما طاقة الوضع المرونيّة لحزام مطّاطي ثابت زنبركه 25.0 N/m، في حال تمدُّده بمقدار 10 cm عن موضعه الأصلي؟

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

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



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



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

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

الدرس 3-2: حفظ الطاقة

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

25. تنطلق عربة أفعوانيّة من السكون من تلّةٍ أولى على مسارها.

a. ارسم شكلاً يظهر العربة مع تلّة ثانية لا يمكن للعربة الوصول إلى قمتها.

b. ارسم شكلاً آخر يُظهر العربة على مسار مختلف، وتلّة ثانية يمكن للعربة الآن الوصول إلى قمَّتها.

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

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

a. جد السرعة النهائيّة للقالب، مستخدمًا معادلات الحركة.

b. جد السرعة النهائيّة للقالب، مستخدمًا حفظ الطاقة.

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

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

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

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

الدرس 3-3: القُدرة والكفاءة

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

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

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

35. ما هو أقصى ارتفاع يمكن أن يبلغه صندوق كتلته 10 kg خلال 5 s، وذلك عن طريق دفعه بوساطة محرّك قدرته 5 hp؟ يمكنك اعتبار المحرّك جهازًا ميكانيكيًّا مثاليًّا (كفاءته 100%) في نقل الطاقة.

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

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

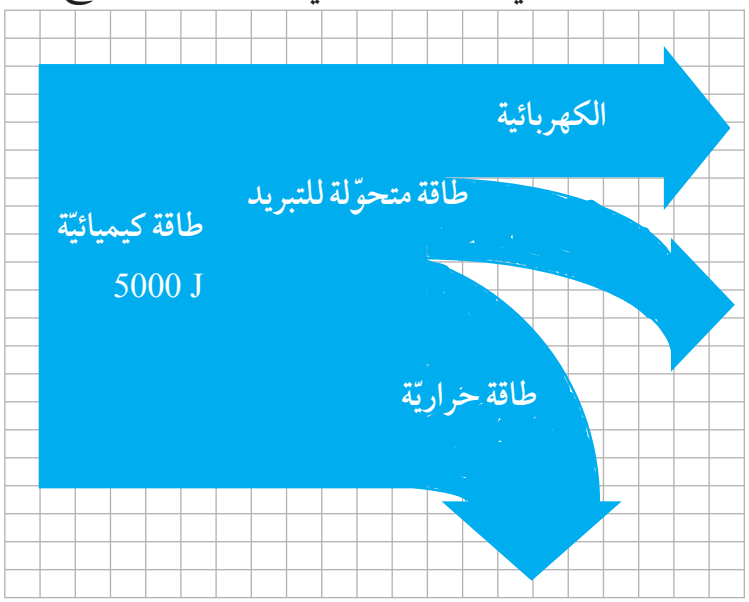
b. احسب الطاقة التي اكتسبها محيطه جرّاء قفزته.

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

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

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

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



a. ما هي قيمة الطاقة الكهربائيّة التي تُنتجها المحطَّة.

b. ما هي قيمة الطاقة المُستخدمة في المبرّد؟

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

d. ما هي كفاءة محطة الطاقة؟

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

a. ما هي قيمة الطاقة المُجمّعة خلال ساعة واحدة؟

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

c. تستخدِم مقصورة ذات فاعليّة كبيرة حوالي 400 W من الطاقة كل 24 ساعة. اذا كانت كفاءة تحويل الطاقة الشمسيّة إلى طاقة كهربائيّة هي 15%، فهل بإمكان المحطة تزويد المقصورة بالقدرة المتوسطة اللازمة؟

40. تبدأ سيارة كتلتها 1,500 kg حركتها من السكون، بوساطة قوة مقدارها 2,000 N تؤثر في السيّارة لمسافة 20 m . بعد قطع هذه المسافة، تكون سرعة السيارة 5 m/s، وتكتسب الطريق طاقة حراريّة قيمتها 21,250 J.

a. هل حُفِظَت الطاقة؟

b. لماذا تكسب الطريق طاقة حراريّة؟

41. سيارة مزوّدة بمحرّك قدرته 300 kW، تُحقّق سرعة قصوى مقدارها 280 km/h. احسب قيمة قوة المقاومة على السيارة، عندما تسير بسرعتها القصوى على طول الطريق.

42. يصل معدّل قدرة محرّك مصعد إلى 2500 W.

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

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

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

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

b. كم تكون سرعته عند بلوغه قاع التلّة؟

44. يُسيِّر قطار لعبة كتلته 0.3 kg، باستخدام بطارية بسرعة ثابتة تبلغ 0.30 m/s على طول مسار مستوٍ. تبلغ قدرة محرّك القطار 2.5 W بينما تبلغ قوة إعاقة حركة القطار 4 N.

حدّد كفاءة محرّك هذا القطار.

الاستقصاء والبحث

المنشآت الصناعيّة في قطر

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

- اختر منشأة صناعيّة.
- ابحث حول وظائفها.
- كم من الطاقة الحراريّة تُهدر عادةً في عمليّة ما؟
- كم من الطاقة الحراريّة تُهدر في هذه المنشأة بالتحديد؟
- هل هناك طريقة مُستخدمة لتقليل الحرارة المفقودة؟
- هل يُستفاد من الحرارة الناتجة من عمليّة ما، في عمليّة أخرى؟
- هل تتشتّت الطاقة عبر المنشأة، لتجنّب الارتفاع في درجة الحرارة؟
- ما هي نتيجتك النهائيّة حول كفاءة هذه المنشأة؟

الشكر والتقدير

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;