KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education

مَمْلَكَة البَحْرَيْن

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيم

فيز 210/217

الفيزياء 2

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم

2030 البحرين BAHRAIN

فيز ٢١٠/فيز 217

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الدليل لتدريس الفيزياء ٢ بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الفيزياء2

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم

الطبعة الثانية
١٤٣٥ هـ - ٢٠١٤ م

منهاجي
متعة التعليم الهادف

العبيكان Obeikan

McGraw Hill Education

الفيزياء

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمراجعة والمواءمة

د.أحمد محمد رفيع
ربحي سعيد حميدي
زهير يوسف حداد

التعريب

موسى جابر عبابنة
هنادي لطفي القرعان
محي الدين جابر عبابنة

التحرير اللغوي

عمر الصاوي
أحمد عبدالمنعم عليان
حسن فرغلي

المواءمة المحلية لنسخة مملكة البحرين

د. سمير عبد سالم الخريسات
طه محمود صافي

مراجعة نسخة مملكة البحرين

يوسف عبدالسلام محفوظ
فاطمة جاسم الأحمد

إعداد الصور

د. سعود بن عبدالعزيز الفراج

Original Title:
Physics
Principles and Problems
By:
Paul W. Zitzewitz
Todd George Elliott
David G. Haase
Kathleen A. Harper
Michael R. Herzog
Jane Bray Nelson
Jim Nelson
Charles A. Schuler
Margaret K. Zorn

التأليف والتطوير

فريق متخصّص من وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين.

www.macmillanmh.com

English Edition Copyright © 2009 the McGraw-Hill Companies. Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies. Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٩م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين و الاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المعظم

أخي المعلم/ أختي المعلمة

يأتي دليل المعلم لكتاب الفيزياء ٢ في إطار مشروع تطوير مناهج الفيزياء وتحديثها في مملكة البحرين، والذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم الفيزياء وتعلمها.

لقد وضع هذا الدليل بحيث يرتبط مباشرة بكتاب الطالب، ويتضمن كمًّا كبيرًا من المعلومات والإرشادات المتعلقة باستراتيجيات التدريس والتقويم والمعارف الإضافية، والعروض العملية بأشكالها المختلفة، فضلاً عن المصادر التقنية واستعمال الإنترنت، مما يوفر لك خيارات لا حصر لها في إنجاح عملية التعليم والتعلم، وتنفيذها وفق أحدث الأساليب التربوية. وإننا نرجو منك خلال تنفيذك للدروس التركيزَ على مشاركة الطلبة الفاعلة، ومنها التعلم الذاتي، والعمل في مجموعات، والمشاركة في النقاشات، والنشاطات العملية، والعروض الصفية، والمشاريع البحثية وغيرها.

ونحن إذ نضع بين يديك هذا الدليل، فإننا نأمل أن يكون لك مرشدًا، ومصدرًا مهمًّا في تخطيط الدروس، وتنفيذها، بما يتلاءم مع مستويات الطلبة، والبيئة الصفية، وأهداف المنهاج، وفي الوقت نفسه نرجو ألا يقيدك هذا الدليل، بل يكون مساعدًا على تنمية مهاراتك التعليمية، وإبراز قدراتك الإبداعية في وضع البدائل، حيثما رأيت ذلك مناسبًا.

والله نسأل أن يحقق هذا الدليل الأهداف المتوخاة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (للطالبات)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

أدوات تدريس الفيزياء

جدول المحتويات

نسخة الطالب T2

نسخة دليل المعلم T6

مصادر المعلم في غرفة الصف T8

السلامة في المختبر T10

قائمة التجهيزات T12

جدول توزيع الحصص T14

جدول توزيع الموضوعات ..... T 15

التهيئة

كتاب الفيزياء: يوضح للطلبة كيفية ارتباط الفيزياء بحياتهم وبالعالم من حولهم، ولقد جاء التصميم جذابًا وسهل المتابعة، ومن خلال العرض سيتم مراجعة الرياضيات ومهارات حل المسائل وتعزيزها.

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على تقديم لأهداف الفصل.

الأهمية توفر إجابة مقنعة للسؤال التالي: لماذا نتعلم هذا؟

فكّر يُطرح فيه سؤال يربط محتويات الفصل بالحياة اليومية بحسب ما جاء في صورة غلاف الفصل.

تطوير المهارات الرياضية

استراتيجية حل المسائل تُركز انتباه الطلبة على الأساليب التي تجعل حل المسائل أكثر سهولة.

الرياضيات في الفيزياء تُراجع أهم المبادئ الرياضية المرتبطة بمحتوى الفصل.

دليل الرياضيات تركيز على المهارات الرياضية المستخدمة في حل المسائل الرياضية.

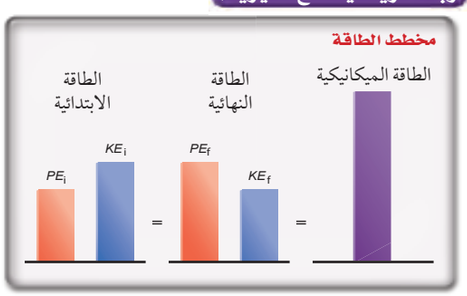
استراتيجية حل المسائل

حفظ الطاقة

استعن بالاستراتيجيات التالية، عند حل المسائل المتعلقة بحفظ الطاقة:

1. حدّد النظام بدقة، وتأكد أنه مغلق؛ فالنظام المغلق لا يدخل إليه جسم ولا يخرج منه.
2. عين نوع الطاقة في النظام.
3. حدّد الوضع الابتدائي والنهائي للنظام.
4. هل النظام معزول؟
   a. إذا لم تكن هناك قوة خارجية تؤثر في النظام يكون هذا النظام مغلقًا، ويكون مجموع الطاقة الكلية فيه ثابتًا.
   $$E_{\text{بعد}} = E_{\text{قبل}}$$
   b. إذا كان هنالك قوة خارجية تؤثر في النظام فإنّ $E_{\text{بعد}} + W = E_{\text{قبل}}$
5. إذا كانت الطاقة الميكانيكية محفوظةً فحدّد مستوى إسناد طاقة الوضع، ومثّل بيانيًّا بالأعمدة كلاً من الطاقة الابتدائية والطاقة النهائية كما في الشكل.

ربط الرياضيات مع الفيزياء



التدريب على حل المسائل

الأمثلة توفر للطالب نماذج لأمثلة محلولة على بعض المسائل الواردة في النص، وتوفر الاستراتيجيات باللون الأزرق أفكارًا مفيدة لحل المسائل.

المسائل التدريبية تعزز المفاهيم الواردة في النص بالإضافة إلى المفهوم في الأمثلة المحلولة.

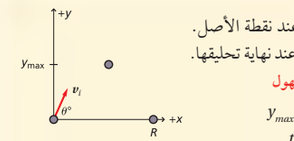
مسائل متقدم تزوّد الطالب بالفرصة لتطبيق المبادئ التي تعلّمها على أمثلة أكثر تعقيدًا.

مثال 1

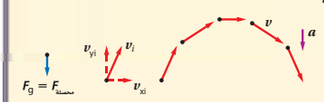
تحليق الكرة قذفت كرة بسرعة 4.5 m/s في اتجاه يصنع زاوية 66° فوق المستوى الأفقي. ما أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟ وما زمن تحليقها؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نظام المحاور على أن يكون الموقع الابتدائي للكرة عند نقطة الأصل.
- بين مواقع الكرة عند بداية حركتها، وعند أقصى ارتفاع تصله، وعند نهاية تحليقها.



المعلوم	المجهول
$y_i = 0.0\ m \quad \theta_i = 66°$	$y_{max} = ?$
$v_i = 4.5\ m/s \quad a_y = -g$	$t = ?$



2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المركبة الصادية للسرعة الابتدائية v_{yi}

بالتعويض عن $v_i = 4.5\ m/s$ ، $\theta_i = 66°$

$$v_{yi} = v_i \sin\theta_i$$
$$v_{yi} = (4.5\ m/s)(\sin 66°)$$
$$= 4.1\ m/s$$

أوجد صيغة أو معادلة للزمن t.

$$v_y = v_{yi} + a_y t$$

مسائل تدريبية

1. قُذف حجر أفقيًّا بسرعة 5.0 m/s من فوق سطح بناية ارتفاعها 78.4 m، اجب عما يلي:
   - a. ما الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى أسفل البناية؟
   - b. على أي بعد من قاعدة البناية يرتطم الحجر بالأرض؟
   - c. ما مقدار المركبتين الرأسية والأفقية لسرعة الحجر قبل لحظة اصطدامه بالأرض مباشرة؟
2. يشترك عمر وصديقه في إعداد نموذج لمصنع ينتج زرافات خشبية. وعند نهاية خط الإنتاج تنطلق الزرافات أفقيًّا من حافة حزام ناقل وتسقط داخل صندوق في الأسفل. فإذا كان الصندوق يقع أسفل الحزام بـ 0.6 m وعلى بعد أفقي مقداره 0.4 m منه، فما مقدار السرعة الأفقية للزرافات عندما تترك الحزام الناقل؟

ربط الفيزياء بالحياة الواقعية

الإثراء العلمي يتناول الموضوعات التي يراها الطالب مثيرة للاهتمام، وتحتوي مواد هذه الموضوعات على مفاهيم فيزيائية متقدمة.
التقنية والمجتمع نصوص توضح للطالب كيف تُستخدم مبادئ الفيزياء في الأدوات والأجهزة المألوفة.

التجارب العملية

يوفر كتاب الفيزياء خبرة عملية من خلال عدة تجارب مختارة، تعكس طبيعة العلم بصورة عامة، وتزداد معها ثقة الطلبة وتنمو خبراتهم لاستكشاف تقدم العلم وتطبيق مبادئ الفيزياء التي تعلموها.

تجارب قصيرة

تجربة استهلالية توضع في بداية كل فصل، وهي طريقة فعالة وسهلة مهمتها تقديم محتويات الفصل للطالب.

تجربة توجد في كتاب الطالب وأخرى إضافية في كتاب المعلّم، وهي أنشطة سهلة العمل، وتساعد الطالب على فهم المبادئ الفيزيائية. ويمكن أن تجد تجربة واحدة على الأقل من هذا النوع في كل فصل.

تجارب متكاملة (مختبر الفيزياء)

يحتوي كل فصل على صفحتين من التجارب المتكاملة التي تستغرق حصة كاملة أو أكثر.

تجربة

أثر الزاوية

الهدف تستكشف مركبتي المتّجه وجمع المتّجهات.

المواد والأدوات ميزان نابضيّ تدريجه 5 N، كتلة تعليق مقدارها 500 g، منقلة، لوح أملس أو ورق مقوى.

النتائج المتوقعة عندما يُعلق الجسم بوساطة الميزان تكون قراءة الميزان 4.9 N، وبما أن السطح المائل عديم الاحتكاك نسبيًّا، فإنّ قراءة الميزان عند سحب الجسم عليه تكون ما بين 3.5 N إلى 3.6 N

التحليل والتطبيق

3. $F_x = m\sin\theta$

$= (0.5\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)\ (0.707)$

$= 3.5\ \text{N}$

4. قد تختلف الإجابات. لكن يجب أن تكون قراءة الميزان على السطح المائل هي تقريبًا قيمة المركبة نفسها التي حصلنا عليها من السؤال 3

مختبر الفيزياء

الاصطدامات الملتحمة

في هذا النشاط تصطدم عربة متحركة بعربة ثابتة، فتلتحمان معًا في أثناء التصادم. سوف تقيس كلًّا من السرعة المتجهة وكتلة العربتين قبل التصادم وبعده، ثم تحسب الزخم قبل التصادم وبعده.

سؤال التجربة

كيف يتأثر زخم نظامٍ ما بالاصطدام الملتحم؟

الأهداف

- تصف كيفية انتقال الزخم في أثناء التصادم.
- تحسب الزخم المطلوب.
- تفسر البيانات الناتجة عن التصادم.
- تستخلص نتائج تدعم قانون حفظ الزخم.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

استخدام الإنترنت

الخطوات

1. اعرض مقطع الفيديو 1 المفصل 2 الموجود على الموقع: physicspp.com / internet_lab لتحديد كتل العربات.
2. سجل كتلة كل عربة.
3. شاهد مقطع الفيديو 2: العربة 1 تصدم العربة 2.
4. بدئل كل ثلاثة أسطر في مقطع الفيديو 0.1 s، وتتباعد الخطوط المتشابكة الرئيسة مسافة 10 cm. سجل المسافة التي قطعتها العربة 1 في 0.1 s قبل التصادم، في جدول البيانات.
5. تابع مشاهدة التصادم، وسجل المسافة التي تحركتها العربتان الملتحمتان خلال 0.1 s بعد التصادم.
6. أعد الخطوات 3–5 من مقطع الفيديو 3، حيث تصطدم العربتان 1 و 3 بالعربة 2.
7. أعد الخطوات 3–5 إلى مقطع الفيديو 4، حيث تصطدم العربة 1 بالعربتين 2 و 3.
8. أعد الخطوات 3–5 من مقطع الفيديو 5، حيث تصطدم العربتان 1 و 3 بالعربتين 2 و 4.

جدول البيانات

رقم العربة	الكتلة (kg)
1	
2	
3	
4	

زمن الوصول المتطلوبة للوصول (s)	المسافة المتطلوبة للوصول (cm)	السرعة المتجهة الابتدائية (cm/s)	كتلة العربات الوسطة (g)	الزخم الابتدائي (g. cm/s)	زمن المغادرة (s)	المسافة المتطلوبة خلال المغادرة (cm)	السرعة المتجهة النهائية (cm/s)	كتلة العربات المغادرة (g)	الزخم النهائي (g. cm/s)
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				

التحليل

1. احسب السرعات المتجهة الابتدائية والنهائية لكل نظام من العربات.
2. احسب الزخم الابتدائي والنهائي لكل نظام من العربات.
3. **استخدام الرسوم البيانية** مثّل الزخم النهائي والزخم الابتدائي لجميع مقاطع الفيديو في رسمٍ بياني.

الاستنتاج والتطبيق

1. ما العلاقة بين الزخم الابتدائي والزخم النهائي لأنظمة العربات في التصادمات الملتحمة؟
2. ماذا يُمثل ميل الخط في رسمك البياني نظريًّا؟
3. يمكن للأرقام في البيانات الابتدائية والنهائية ألّا تكون نفسها في الواقع. ويعود هذا إلى دقة الأدوات، والاحتكاك، وعوامل أخرى. فهل يكون الزخم الابتدائي أكبر أم أقل من الزخم النهائي؟ فسّر إجابتك.

التوسع في البحث

1. صف، كيف ستبدو بيانات السرعة المتجهة والزخم إذا لم تلتحم العربات معًا، بل ارتدّ بعضها عن بعض.
2. صمّم تجربة لتختبر تأثير الاحتكاك في أنظمة العربات في أثناء التصادم. توقع كيف يختلف ميل الخط في الرسم البياني عمّا في التجربة، ثم اختبر تجربتك.

الفيزياء في الحياة

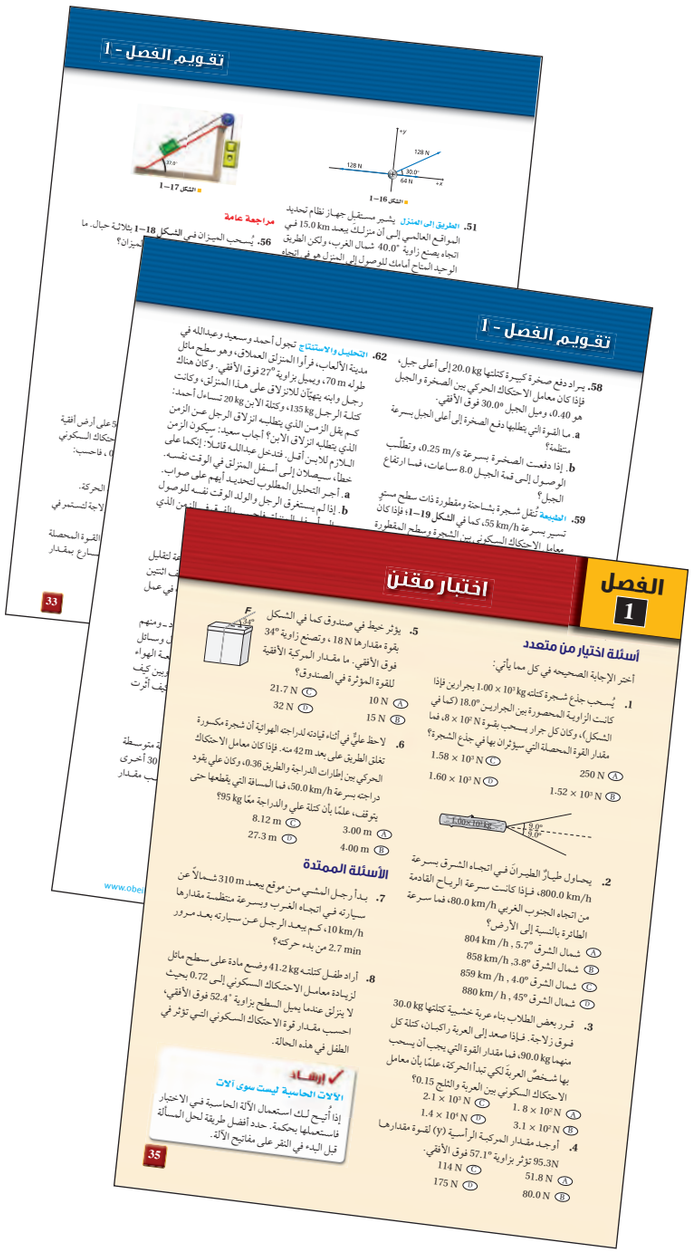
1. افترض أن لاعبًا في مباراة كرة قدم اصطدم بلاعب آخر في وضع السكون، فالتحما معًا. ما الذي يحدث للسرعة المتجهة للنظام المكون من اللاعبين إذا كان الزخم محفوظًا؟
2. إذا ضربت سيارة متحركة مؤخرة سيارة ثابتة والتحمتا معًا، فما الذي يحدث للسرعتين المتجهتين لكل من السيارتين؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمعرفة المزيد عن الزخم وحفظه، زر الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

التقويم

يقدم لك **كتاب الفيزياء** الأدوات التي تحتاج إليها لتهيئ طلبتك للنجاح في أي اختبار.
وستجد مسائل وأنشطة تقويمية متنوعة في كل درس.



المراجعة

تشير مسائل المراجعة إلى مدى استعداد الطلبة للانتقال إلى الدرس اللاحق.

دليل الدراسة

مراجعة سريعة تلخص المفردات والمفاهيم الأساسية، بالإضافة إلى أهم المعادلات في كل جزء من الفصل.

تقويم الفصل

يحتوي ثلاث إلى ست صفحات من المسائل والتمارين التي تتنوع بين تطوير المفاهيم وتطبيقها والتفكير الناقد والكتابة في الفيزياء .... إلخ. ويستطيع المعلم اختيار نوع المسائل ومستواها المناسب للطلبة.

اختبار مقنن

تقوّم مسائل الاختبار المقنن في نهاية كل فصل مدى تمكن الطالب من المفاهيم والمهارات. ويشتمل دليل المعلم على إجابات كل من أسئلة الاختيار من متعدد، وسلم التقدير لأسئلة الإجابات المفتوحة، وبقية المسائل.

لمحة عن مخطط الدروس

كتاب المعلم هو دليلك إلى مصادر التعليم في كتاب الفيزياء، بالإضافة إلى استراتيجيات التدريس وبعض الاقتراحات.

أدوات التخطيط

مخطط الفصل يوفر التخطيط للتجارب والعروض.

نظرة عامة إلى الفصل مقدمة توضع بجوار صورة الفصل بحيث تصف محتوياته.

فكّر الإجابة عن السؤال الموجود في كتاب الطالب وربطه بمادة الفصل.

المفردات الرئيسة قائمة بأهم المفاهيم والمصطلحات مرتبة كما سترد في الفصل.

الفصل 4

الحركة الدورانية

نظرة عامة إلى الفصل

تخضع الحركة الدورانية لقوانين نيوتن، كما في الحركة الخطية، إلا أن الجسم الذي يتحرك حركة دورانية، تتحرك أجزاؤه المختلفة بسرعات وتسارعات مختلفة. لذا ظهرت مفاهيم فيزيائية جديدة مثل العزم وعزم القصور الذاتي، هذا بالإضافة إلى استخدام رموز جديدة يتطلبها وصف هذا النوع من الحركة، فضلاً عن حاجتنا لمعرفة العزم الكلي لتحديد فيما إذا كان الجسم في حالة اتزان دوراني.

فكّر

صممت عربات الركوب الدوارة في مدينة الألعاب بحيث تُسارع الراكب بعدة طرق.

المفردات الرئيسة

- الراديان
- الإزاحة الزاويّة
- السرعة الزاوية المتجهة
- التسارع الزاويّ
- ذراع القوة
- العزم
- مركز الكتلة
- القوة الظاهرية (القوة الطاردة المركزية)

84

الفصل 4

الحركة الدورانية

Rotational Motion

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- وصف الحركة الدورانية وقياسها.
- تعرّف كيفية تغيير العزم للسرعة الدورانية.
- استكشاف العوامل التي تؤثر في استقرار جسم ما.
- توضيح المقصود بالقوة الطاردة المركزية الوهمية.

الأهمية

تشاهد الكثير من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية في حياتك اليومية، ومنها قرص الحاسوب المدمج CD، والإطارات، وبعض الألعاب في مدينة الألعاب.

العربة الدوّارة عربة تتحرك حركة دورانية في مدينة الألعاب، وقد صُمّمت هذه العربة بحيث تهز الراكب في أثناء دورانها اعتمادًا على قوانين الفيزياء في الحركة الدورانية ، فيشعر الراكب بالإثارة (بوساطة قوة تظهر فقط أثناء دوران هذه العربة).

فكّر

لماذا يتعرض الراكب في العربة الدوّارة لردود فعل فيزيائية قوية؟

84

الفيزياء

تجربة استهلالية

الهدف تستكشف تسارع أجسام مختلفة تتحرك حركة دورانية.

المواد والأدوات أجسام قابلة للدحرجة (علبة حساء مفتوحة الطرفين، وكرة مصمتة، وعمود خشبي ذو قطر كبير، أو اسطوانة خشبية)، ومسطرة مترية، ولوح بلاستيكي أو خشبي.

استراتيجيّات التدريس اختر أجسامًا لها القطر نفسه، وتأكد أنه لا توجد حواف حادة للعلبة، وبإمكان الطلبة استخدام أجسام أخرى على أن تدور وتتدحرج إلى أسفل السطح المائل دون أن تنزلق. واختر أيضًا أجسامًا لها الشكل نفسه وطريقة الدوران نفسها، ولكنها بكتل وأطوال مختلفة.

النتائج المتوقعة سيكون تسارع الكرة هو الأكبر ثم تسارع الأسطوانة الخشبية، ثم تسارع علبة الحساء.

84

مستويات وأنماط التعلم

طرائق تدريس متنوعة

وُضعت رموز المستويات في دليل المعلم لمساعدتك على التعامل مع الطلبة من مختلف المستويات.

المستوى 1: 1م أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.

المستوى 2: 2م أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.

المستوى 3: 3م أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط)

وقد أُدرجت أنماط التعلم المناسبة بعد الرموز 1م ، 2م ، 3م ، وهي:

- **حسي – حركي**: يتعلم الطلبة من خلال اللمس والحركة واللعب بالأشياء.
- **بصري–مكاني**: يتعلم الطلبة من خلال الصور، والصور التوضيحية، والنماذج.
- **منطقي–رياضي**: يستوعب الطلبة الأرقام بسهولة ويمتلكون مهارات تفكير على درجة عالية من التطور.
- **لغوي**: يكتب الطلبة بوضوح ويستوعبون الكلمات المكتوبة بسهولة.
- **سمعي**: يتذكر الطلبة الكلمات المنطوقة، ويمكنهم عمل إيقاعات وألحان.
- **متفاعل**: يستوعب الطلبة ويتعلمون بشكل جيد من خلال العمل مع الآخرين.
- **ذاتي**: يفيد في تحليل مواطن القوة والضعف لدى الطلبة الذين يميلون إلى العمل بمفردهم.

نشاط — **طرق تدريس متنوعة**

طرائق تدريس متنوعة أنشطة تظهر استراتيجيات تدريس متنوعة صُممت لمساعدتك في مواجهة الاحتياجات الخاصة للطلبة الذين لديهم ضعف في الرؤية، أو السمع، أو لديهم إعاقات حركية.

نشاط — **تحدٍّ**

تحفيز أنشطة تمكّن الطلبة الموهوبين من تطبيق معارفهم، واستخدام تفكير أكثر تعقيدًا فيها، وفي مشاريع الأبحاث بوصفها امتدادًا لمفاهيم الفصول.

نشاط — **مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلم**

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلم توفر تلميحات لتعليم أي طالب يعاني من صعوبة في استيعاب المفاهيم الأساسية.

دورة التعليم الفعّال

تم ترتيب عناصر نسخة المعلم بما يتناسب مع كل درس في نسخة الطالب وتنظيمها في ثلاث خطوات تشكّل دورة التعليم هي:

1. **التركيز** عناصر لتقديم الدرس.
2. **التدريس** عناصر تزودك بمقترحات للتعليم، وتساعدك على توصيل محتوى الدرس للطلبة.
3. **التقويم** عناصر تساعدك على مراقبة تطور معرفة الطلبة.

سوف تشتمل كل خطوة من دورة التعليم على بعض العناصر الموضحة أدناه أو جميعها:

2–1 الاحتكاك والحركة

1. التركيز

نشاط محفّز

المستوى المائل اطلب إلى الطلبة ملاحظة قراءة ميزان نابضي متصل بجسم يتحرك نحو أعلى مستوى مائل بسرعة منتظمة، ثم اسأل الطلبة كيف يمكن تغيير قراءة الميزان؟ م1 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

المقاومة سُمّي مفهوم الاحتكاك في الفصول السابقة بالمقاومة، وضّح للطلبة هذا الربط عندما تُعرِّف لهم الاحتكاك، آخذا بعين بالاعتبار معرفتهم بتأثيرات الاحتكاك من خلال حياتهم اليومية.

2. التدريس

استعمال الشكل 11 – 1

يبين الشكل تمثيلًا للقوى المؤثرة في جسم ينزلق على مستوى مائل خشن ومخطط الجسم الحر لهذه القوى، وكذلك اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه. م2

ناقش الطلبة في أثر زيادة خشونة السطح، وكذلك أثر زيادة ميل السطح في القوة المحصلة المؤثرة في الجسم وكذلك ناقشهم في كيفية تحليل وزن الجسم.

1. التركيز

نشاط محفّز عرض قصير أو نشاط يوضح محتوى الدرس، ويجذب انتباه الطلبة.

الربط مع المعرفة السابقة يربط الدرس الحالي بالفصول أو الدروس السابقة.

2. التدريس

نشاط يعزز المفاهيم المهمة من خلال التجريب اليدوي.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة تناقش الأفكار غير الصحيحة التي تكونت لدى الطلبة حول بعض المفاهيم العلمية.

استخدام الشكل التركيز على الأشكال التي تتطلب مساعدة المعلم في تفسيرها، أو التي تصلح أن تكون موضوع للمناقشة، أو النشاط بين الطلبة.

مثال صفي مسائل تظهر دائمًا بجانب الأمثلة في نسخة الطالب. استخدم هذه المسائل لتعزيز المفاهيم الواردة في الفصل.

تطوير المفهوم استراتيجيات التدريس تزيد من فهم الطالب لموضوع ما.

التفكير الناقد أسئلة تشجع الطلبة على تحليل المفاهيم التي يعرفونها، أو يقرؤون عنها، واستخلاص نتائج جديدة حولها.

تعزيز الفهم أنشطة تؤكد على المفردات والمفاهيم والعلاقات التي ترد في الفصل.

مصادر المعلم في غرفة الصف

استخدام النماذج نشاط يقوم الطالب من خلاله بعمل أو استخدام نموذج لتوضيح مفاهيم مجردة.

استخدام التشابه استخدام المقارنة مع أحداث شائعة لجعل المفاهيم المجردة أكثر رسوخًا لدى الطلبة.

المناقشة تشتمل على سؤال يمكن أن يناقش من قبل مجموعات صغيرة أو من طلبة الصف، وتحتاج الإجابة إلى التفكير الناقد وتطبيق المفاهيم التي وردت في الفصل.

تطبيق الفيزياء تقدم معلومات تشكل خلفية نظرية و/ أو استراتيجية تدريس، ترتبط بالموضوع الوارد في نسخة الطالب.

الفيزياء في الحياة تلقي الضوء على أمثلة تطبيقية للفيزياء من الحياة الواقعية.

مهن في الحياة تصف المهن التي تشتمل على الفيزياء.

من معلم لآخر تقدم أفكارًا تعليمية صحيحة ومجرّبة، واستراتيجيات تدريس أو أنشطة قام بها مدرسو الفيزياء وطبقوها بنجاح في غرف الصف.

الخلفية النظرية للمحتوى تقدم معلومات إضافية حول مفهوم لم يرد في نسخة الطالب. ربما تكون المعلومات معقدة كثيرًا لتقدمها للطلبة، لكنها تساعد على توضيح لماذا يحدث شيء ما؟

مشروع فيزياء نشاط يستمر لفترة طويلة نسبيًّا يقوم فيه الطالب بالبحث في موضوعات أو مفاهيم معينة.

3. التقويم

التحقق من الفهم سؤال أو نشاط يمكنك القيام به لإجراء تقويم سريع لاختبار مدى تعلم الطلبة لمفهوم معين.

إعادة التدريس يقترح استراتيجية لعرض المادة بطريقة مختلفة لمساعدة الطلبة على استيعاب محتوى الدرس.

التوسع يقدم سؤالاً أو نشاطًا ذا مستوى متقدم تتطلب معرفته التركيز بعمق أكبر على مفهوم معين.

تطوير المفهوم

القوة المحصّلة وضّح للطلبة أنّه أينما وجِد تسارع مركزي، فلابد من تولُّد قوة في اتجاه المركز.

عرض سريع

التسارع المركزي

الزمن المقترح 5 دقائق.

المواد والأدوات مقعد دوّار، ومقياس تسارع.

الخطوات

1. اطلب إلى طالب أن يجلس على مقعد دوّار، ثم يدير المقعد وهو ممسك بمقياس تسارع على امتداد يده.
2. اطلب إلى الطالب مَسك مقياس التسارع بصورة مماسية للمسار الدائري واطلب إلى الطلبة الآخرين ملاحظة قراءة مقياس التسارع.
3. أعد الخطوة 2 بتكليف الطالب بحمل مقياس التسارع على امتداد نصف قطر الدائرة. سوف يشير المقياس إلى انعدام التسارع في الخطوة 2، وسيكون هناك تسارع في اتجاه المركز في الخطوة 3.

3. التقويم

التحقّق من الفهم

عرض السرعة والتسارع اقذف كرة رأسيًّا في اتجاه الأعلى واطرح على الطلبة الأسئلة التالية: كيف تتغيّر السرعة في أثناء صعود الكرة؟ تتناقص السرعة. ما سرعة الكرة عند أقصى ارتفاع لها؟ صفر. كيف تتغيّر السرعة في أثناء سقوط الكرة؟ تتزايد السرعة في اتجاه الأسفل. ما تسارع الكرة في أثناء صعودها؟ التسارع الناشئ عن قوة الجاذبية الأرضية $9.80 m/s^2$ ويكون في اتجاه الأسفل. ما تسارع الكرة في أثناء سقوطها؟ $9.80 m/s^2$ في اتجاه الأسفل. م 2

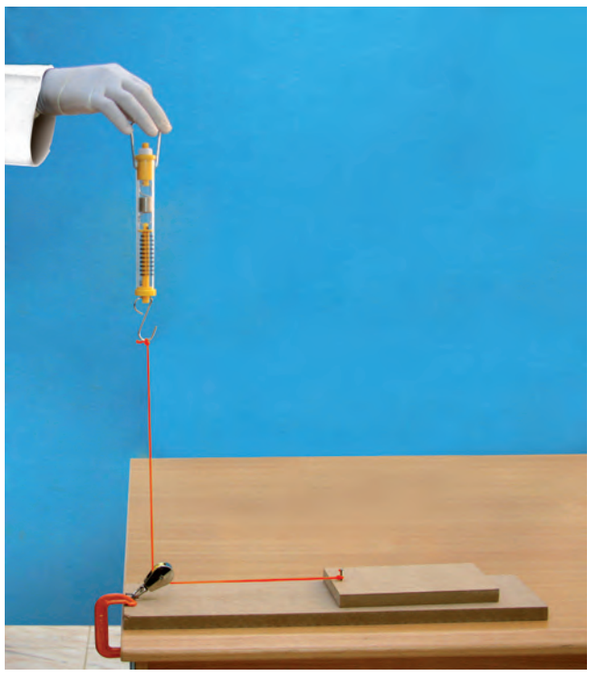
إعادة التدريس

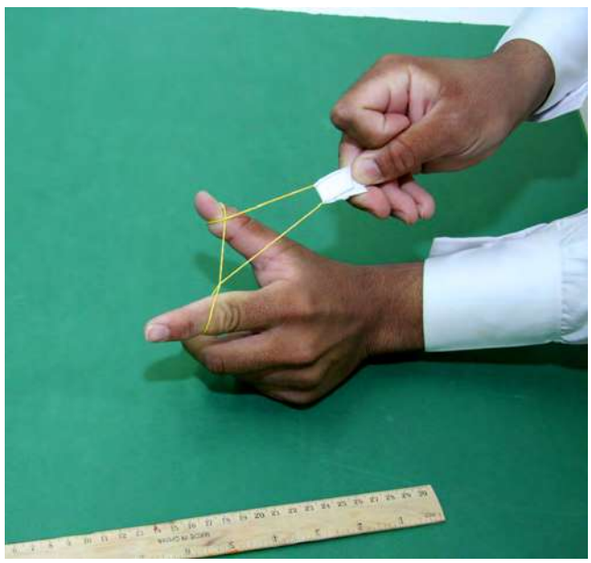
التوسّع

المحطات الفضائية شاهد مع الطلبة أحد مشاهد الفيلم السينمائي A Space Odyssey الذي يبين محطة فضاء تدور في مدار قطره 305 m، ثمّ اطلب إليهم قياس الزمن الدوري للمركبة وحساب التسارع المركزي لشخص داخلها، وحساب قيمة "g" في المركبة.

إدارة الأنشطة في مختبر الفيزياء

يُعد مختبر الفيزياء مكانًا آمنًا لإجراء التجارب إذا ما تم اتخاذ تدابير الحيطة والحذر. وعليك أن تتحمل مسؤولية سلامتك وسلامة طلبتك، وتقدم لهم قواعد السلامة التالية لتجنب وقوع أي حادثة في المختبر:





1. يجب أن يستخدم مختبر الفيزياء للعمل الجاد.
2. لا تقم بإجراء أي من التجارب غير المصرح بها، واحصل دائمًا على إذن من معلمك.
3. ادرس التجربة قبل مجيئك إلى المختبر، واسأل معلمك إذا كان لديك شك أو استفسار حول أي خطوة.
4. استخدم أدوات السلامة المقدمة لك، واعرف مكان طفاية الحريق، والبطانية المقاومة للحريق، وقواطع الكهرباء وقائمة بمواد السلامة، وموقع غسل العيون، وصندوق الإسعافات الأولية.
5. ارتد دائمًا أدوات السلامة المناسبة كالنظارات الواقية، ومعطف المختبر، وانتعل أحذية السلامة.
6. بلّغ معلمك على الفور عن أيّ حادث أو إصابة أو أي خطأ في الخطوات.
7. أخمد النيران باستخدام بطانية مقاومة للحريق، وإذا تعرضت الملابس للحريق فأخمدها بالبطانية أو بمعطف، أو ضعها تحت الدش، دون أن تركض على الإطلاق.
8. تعامل مع المواد السامة والقابلة للاشتعال أو المشعّة بإشراف مباشر من معلمك. وإذا سكبت حامضًا أو مادة كيميائية تسبب التآكل فأزلها حالًا باستخدام الماء. ولا تتذوق أي مادة كيميائية، ولا تسحب أي مادة سامة بوساطة أنبوب زجاجي باستخدام الفم، واحفظ المواد القابلة للاشتعال بعيدًا عن مصادر اللهب.
9. ضع الزجاج المكسور والمواد الصلبة في الحاويات المخصصة لها. واحتفظ بالمواد غير الذائبة في الماء خارج المغسلة.
10. استخدم الأدوات الكهربائية تحت إشراف معلمك فقط. وتأكد أن المعلم قد تفحص الدائرة الكهربائية قبل أن تُغلقها.
11. تأكد من إغلاق صنبور الماء وأسطوانة الغاز، وفصل التوصيلات الكهربائية بعد الانتهاء من التجربة، ونظّف مكان عملك، وأعد جميع المواد التي استخدمتها إلى أماكنها المناسبة.

الإسعافات الأولية في المختبر

إذا كان مختبر الفيزياء يتطلب احتياطات سلامة خاصة به فسيشار إلى ذلك من خلال رموز السلامة، انظر رموز السلامة في بداية الكتاب.

اطلب إلى الطلبة تقديم تقرير بالحوادث والجروح والمواد المسكوبة جميعها متى لزم.

وعلى الطالب أن يعرف:

- أساليب السلامة في العمل المختبري.
- كيف تقدم تقريرًا بحادث، أو إصابة أو جرح أو مادة مسكوبة؟ ومتى تقدمه؟
- معرفة مكان مواد الإسعافات الأولية ومستلزماتها، وإنذار الحريق، والهاتف، ومكتب الممرض في المدرسة.

الموقف	الاستجابة الآمنة
الحروق	سكب الماء على الإصابة بشكل كثيف.
الجروح والكدمات	اتباع التعليمات والإرشادات الموجودة في صندوق الإسعافات الأولية.
الصدمة الكهربائية	تزويد المصاب بالهواء المنعش، ووضعه بشكل مائل بحيث يكون رأس المصاب منخفضًا عن باقي الجسم، وإجراء عملية التنفس الاصطناعي إذا كان ذلك ضروريًّا، وتغطية المصاب ببطانية ليبقى دافئًا.
الإغماء أو الانهيار	استدعاء الإسعاف فورًا.
الحريق	إغلاق صنابير الغاز وإخماد ألسنة اللهب جميعها، ولف الشخص المحترق ببطانية الحريق، واستعمال طفاية الحريق لإخماد النار. واستدعاء رجال الاطفاء إن لزم. لا يجب استخدام الماء لإطفاء الحريق. لأن الماء ربما يتفاعل مع المواد المحترقة مما يسبب ازدياد الحريق.
وجود مادة مجهولة في العين	اغسلها بكمية كبيرة من الماء مدة 15 دقيقة على الأقل، وقم بإرسال المصاب إلى المستشفى.
التسمم	ملاحظة العامل السام المشتبه به، والاتصال بمركز مراقبة السموم للحصول على مضاد التسمم (الترياق).
النزف الشديد	استخدام قفازات مطاطية خاصة، والضغط باليد أو بمادة ضاغطة مباشرة على الجرح، وطلب المساعدة الطبية في الحال.
انسكاب مواد حامضية	غسل المنطقة المصابة بالحمض بكمية كبيرة من الماء، واستخدام رشاش ماء آمن، واستخدام كربونات الصوديوم، أو صودا الخبيز (بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$) .
حروق قاعدة (القلويات)	استخدام حمض البوريك H_3BO_3، وغسل المنطقة بكمية كافية من الماء.
أجسام حادة تخترق الجلد	لا تنزع الجسم المخترق، واحفظ المصاب ساكنًا، وسيطر على النزف واطلب المساعدة الطبية.

قائمة التجهيزات

هذه قوائم الأدوات والمواد المطلوبة لتنفيذ كل من التجربة الاستهلالية، والتجربة، ومختبر الفيزياء، والتجربة الإضافية، والعرض السريع، وتتضمن هذه القوائم الفصل والبند الذي تستخدم فيه كل أداة، مما يساعد على إعداد مختبرات الفيزياء لتدريس هذا الكتاب.

مواد غير مستهلكة

الأدوات والمواد	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
كرات ذات كتل مختلفة	ف (6)	ف (2) (1-2) ف (4) (3-4)	ف (2) ف (4) ف (5) ف (6)
كرة (جولف)		ف (2) (1-2) ف (3) (1-3)	
لوح		ف (1) (1-1)	
قطعة خشب	ف (1) ف (2) ف (6)	ف (1) (1-2)	
ملزمة	ف (4)		
مطرقة صغيرة	ف (2)		
منشار صغير	ف (2)		
كتلة للتعليق 200g	ف (4)		ف (1)
كتلة للتعليق 500g		ف (1) (1-2)	
كتلة للتعليق 1kg		ف (3) (2-3) ف (5) (2-5) ف (6) (1-6)	
مسامير	ف (2)		
أنبوب PVC	ف (2)	ف (4) (2-4)	
قطع بلاستيكية	ف (2) ف (6)		
منقلة بلاستيكية شفافة		ف (1) (1-2) ف (6) (1-6)	ف (1) ف (3)
بكرة	ف (1)		
خطاطيف		ف (1) (1-1)	
مسطرة مترية	ف (3) ف (4) ف (6)	ف (1) (1-1) ف (4) (1-4) ف (5) (2-5) ف (6) (3-6)	ف (3) ف (6)
ميزان زنبركي	ف (1) ف (4) ف (6)	ف (1) (1-1) ف (1) (1-2) ف (2) (2-3) ف (5) (2-5) ف (6) (1-6) ف (6) (2-6)	ف (1)
ساعة وقف	ف (6)	ف (2) (1-2)	
سطح خشبي	ف (1)		ف (4)
ثلاثة حبال مرنة تتصل بها رؤوس أسهم		ف (1) (1-1)	
كتل (200g، 100g، 50g)		ف (3) (2-3)	
قطعة قماش ناعم		ف (1) (1-2)	
نصل منشار		ف (2) (1-2) ف (3) (2-3)	
كرتان زجاجيتان متماثلتان		ف (2) (1-2)	
كاميرا فيديو			ف (2)

قائمة التجهيزات

المادة الكمية لكل مجموعة أو عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
مقعد دوّار		ف (2) (2-2) ف (4) (4-3) ف (5) (5-2)	
مقياس تسارع		ف (2) (2-2)	
مقص	ف (2)	ف (4) (4-3)	
قاطع أسلاك	ف (2)		
شريط قياس مصنوع في القماش		ف (4) (4-1)	
قضبان دعم فولاذ 0.3 m		ف (4) (4-2)	
حامل رأسي	ف (4)		
قضيب معدني طوله 0.15 m		ف (4)	
كرة بيسبول		ف (5) (5-2)	
ميزان ذو كفة واحدة		ف (5) (5-2)	
عربة ميكانيكية ذات نابض		ف (6) (6-3)	

مواد مستهلكة

المادة الكمية لكل مجموعة أو عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
شبك من السلك	ف (2)		
علاقة ملابس	ف (2)		
كوب من الورق أو الفلين		ف (3) (3-2)	
مشابك ورق	ف (2)		
ورق رسم بياني			ف (2)
ورق أبيض	ف (2) ف (3)		
ألواح من الورق المقوى	ف (3)	ف (1) (2-1) ف (4) (4-3) ف (5) (5-2)	
دبابيس تثبيت	ف (3)		
رباط مطاطي	ف (2) ف (3)		
خيوط	ف (1) ف (3) ف (6)	ف (1) (1-1) ف (1) (2-1) ف (3) (3-2) ف (6) (6-1)	ف (1)
شريط لاصق		ف (3) (3-2)	
شريط لاصق عريض أو ورق مانع لالتصاق للحلويات	ف (1)	ف (1) (2-1)	
شريط من الورق	ف (2)		

جدول توزيع الحصص لمقرر الفيزياء٢

الفصل	الدروس	عدد الحصص	المجموع
الفصل الأول القوى في بعدين	1–1 المتجهات	3	9
	1–2 الاحتكاك والحركة	3	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الثاني الحركة في بعدين	2–1 حركة المقذوف	3	9
	2–2 الحركة الدائرية	2	
	2–3 السرعة النسبية	1	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الثالث الجاذبية	3–1 حركة الكواكب والجاذبية	2	7
	3–2 استعمال قانون الجذب الكوني	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الرابع الحركة الدورانية	4–1 وصف الحركة الدورانية	2	8
	4–2 ديناميكا الحركة الدورانية	2	
	4–3 الاتزان	1	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الخامس الزخم وحفظه	5–1 الدفع والزخم	2	7
	5–2 حفظ الزخم	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل السادس الشغل والطاقة وحفظها	6–1 الطاقة والشغل	3	10
	6–2 أشكال الطاقة المتعددة	2	
	6–3 حفظ الطاقة	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
المجموع			50

جدول توزيع الموضوعات لمساقي فيز ٢١٠ / فيز ٢١٧

أولًا: فيز 210 **البديل: الأول** **عدد الساعات: 2**

الفصل	الموضوع
الأول	القوى في بعدين
الثاني	الحركة في بعدين
الثالث	الجاذبية

ثانيًا: فيز 217 **البديل: الثاني** **عدد الساعات: 4**

الفصل	الموضوع
الأول	القوى في بعدين
الثاني	الحركة في بعدين
الثالث	الجاذبية
الرابع	الحركة الدورانية
الخامس	الزخم وحفظه
السادس	الشغل والطاقة وحفظها

قائمة المحتويات

الفصل 1

القوى في بُعدين 8

تجربة استهلالية 9

هل من الممكن أن 2 N + 2 N = 2 N ؟

1-1 المتّجهات 9

1-2 الاحتكاك والحركة 18

تجربة: أثر الزاوية 21

مختبر الفيزياء: معامل الاحتكاك 28

الفصل 2

الحركة في بُعدين 36

تجربة استهلالية 37

كيف يمكن وصف حركة المقذوف؟

2-1 حركة المقذوف 37

تجربة: السقوط من فوق الحافة 38

2-2 الحركة الدائريّة 43

2-3 السرعة النسبيّة 47

مختبر الفيزياء: نحو الهدف 50

الفصل 3

الجاذبية 58

تجربة استهلالية 59

هل يمكنك عمل نموذج لحركة عطارد؟

3-1 حركة الكواكب والجاذبية 59

3-2 استعمال قانون الجذب الكوني 68

تجربة: ماء عديم الوزن 71

مختبر الفيزياء: نمذجة مسارات الكواكب والأقمار 76

قائمة المحتويات

الفصل 4

الحركة الدورانية 84

تجربة استهلالية 85

كيف تدور الأجسام المختلفة أثناء دحرجتها؟

4-1 وصف الحركة الدورانية 85

4-2 ديناميكا الحركة الدورانية 90

4-3 الاتزان 95

تجربة: التدوير والاستقرار 97

مختبر الفيزياء: الاتـــــزان الانتقالـــي والاتــزان الدوراني 102

الفصل 5

الزخم وحفظه 110

تجربة استهلالية 111

ماذا يحدث عندما تصطدم كرة بلاستيكية جوفاء بكرة مصمتة؟

5-1 الدفع والزخم 111

5-2 حفظ الزخم 118

تجربة: ارتفاع الارتداد 121

مختبر الفيزياء: الاصطدامات الملتحمة 124

الفصل 6

الشغل والطاقة وحفظها 132

تجربة استهلالية 133

ما العوامل المؤثرة في الطاقة؟

6-1 الطاقة والشغل 133

6-2 أشكال الطاقة المتعددة 144

6-3 حفظ الطاقة 152

تجربة: تحويل الطاقة 162

مختبر الفيزياء: حفظ الطاقة 164

الفصل 1

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
1-1 المتجهات 1. **تحسب** مجموع متّجهين أو أكثر في بعدين بطريقة الرسم (بيانيًّا). 2. **تحدّد** المركّبات في بعدين لكل متجه. 3. **تحسب** مجموع متّجهين أو أكثر جبريًّا. 4. **تحدّد** القوة الموازنة لعدة قوى مؤثرة في جسم ما.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** ميزانان نابضيان تدريج كل منهما 5N، وخيط طوله 70 cm، وخيط طوله 15 cm، وجسم كتلته 200 g، ومنقلة. **عرض المعلم** **عرض سريع** ثلاثة خيوط تتصل بها رؤوس أسهم، ولوح مثبت عليه خطاطيف، ومسطرة متريّة.
1-2 الاحتكاك والحركة 5. **تحلّل** حركة جسم على سطح مائل أملس أو خشن. 6. **تتعرّف** قوة الاحتكاك. 7. **تميّز** بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.	**عرض المعلم** **عرض سريع** شريط لاصق عريض، وقطعة خشبيّة مغطّاة بقماش ناعم أبعادها (15 cm × 7.5 cm × 2.5 cm). **تجارب الطالب** **تجربة إضافيّة** ثلاثة موازين نابضيّة تدريج كل منها 5 N، وخيط طوله 1m. **تجربة** ميزان نابضي بتدريج 5 N، وكتلة تعليق مقدارها 500 g، ومنقلة، ولوح أملس أو ورق مقوى. **مختبر الفيزياء** بكرة، وملزمة، وشريط لاصق، وسطح خشبي، وخيط طوله 1m، وميزان نابضي، وقطعة خشبيّة.

طرائق تدريس متنوعة

م1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الأول

الفصل 1

القوى في بُعدين

نظرة عامة إلى الفصل

يعتبر هذا الفصل امتدادًا لمناقشة قوانين نيوتن التي درستها في الفيزياء 1 ولكن في بعدين بدلاً من بعد واحد. في القسم الأول من هذا الفصل تُراجع عمليّات جمع المتّجهات في بُعد واحد ثمّ تتعرّف كيفية جمعها في بُعدين. وفي القسم الثاني منه تتعرّف مفهومي الاحتكاك الحركي والسكوني، ويتم توضيح كيفية إجراء التحليلات النيوتونية في وجود الاحتكاك. أخيرًا تناقش حالات إضافيّة للحركة في بُعدين تشتمل على المستويات المائلة إضافة إلى مفهوم القوة الموازنة.

فكِّر

يزيد المتسلق من الاحتكاك السكوني بين يديه وقدميه وبين الصخرة باستعمال مسحوق الطباشير والأحذية الخاصة. وهذا يُمكّنه من التأثير بقوى في اتجاهات متعدّدة ليبقي في حالة اتزان.

المفردات الرئيسة

- المركّبات
- تحليل المتّجه
- القوة الموازنة
- الاحتكاك الحركي
- الاحتكاك السكوني
- معامل الاحتكاك الحركي
- معامل الاحتكاك السكوني

الفصل 1

القوى في بُعدين
Forces in Two Dimensions

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تمثيل الكميات المتجهة بطريقتي الرسم والحساب.
- استعمال قوانين نيوتن لتحليل الحركة مع وجود الاحتكاك.
- استعمال قوانين نيوتن في تحليل الحركة في بُعدين.

الأهمية

تتأثر معظم الأجسام بقوى تعمل في أكثر من اتجاه. فعلى سبيل المثال، عندما تُسحب سيارة بشاحنة السحب فإنها تتأثر بقوى عديدة إلى أعلى وإلى الأمام، بالإضافة إلى قوة الجاذبية التي تؤثر فيها إلى أسفل، وقوى الاحتكاك التي تؤثر في اتجاه معاكس لحركة السيارة.

تسلّق الصخور كيف يحمي متسلقو الصخور أنفسهم من السقوط؟ يرتكز هذا المتسلق على أكثر من نقطة داعمة، كما أن هناك قوى متعددة في اتجاهات متعددة تؤثر فيه.

فكِّر

قد يصل متسلق الصخور إلى صخرة يُجبره ميلها أن يتعلق بها، بحيث يكون ظهره مقابلاً للأرض. فكيف يمكنه استعمال أدواته لتطبيق قوانين الفيزياء للتغلب على هذه العقبة وتجاوز هذه الصخرة؟

تجربة استهلالية

الهدف تطوير مفهوم جمع المتّجهات.

المـوادّ والأدوات ميزانان نابضيّان مدرّجان لغاية 5 N، وخيطان طولاهما (35 cm، 15 cm)، وجسم كتلته 200 g، ومنقلة.

استراتيجيّات التدريس إذا تردد الطلبة بشأن النتائج فاطلب إليهم أن يحمل كل منهم كرة معلقة رأسيًّا بخيط إلى جانبه، وينتظر قليلًا، ثم اطلب إليهم تحريك الكرة ببطءٍ لأعلى حتى تصبح أذرعهم أفقية وموازية لأرضية غرفة الصف. والانتظار قليلًا ثم اسألهم: ما الموضع الذي يكون عنده حمل الكرة أكثر سهولة؟

النتائج المتوقّعة يلاحظ الطلبة أن قراءة كل ميزان تساوي 2 N عندما تكون الزاوية بين الخيطين 120°. وتزداد قراءة الميزانين كلّما زادت الزاوية.

التحليل يكون مجموع مقدار القوتين المقيستين في الميزانين النابضيين أكبر من وزن الجسم المعلّق، ولكن إذا جُمعت القوتان جمعًا اتجاهيًّا فمن الممكن أن يكون 2N+2N=2N؛ لأن عملية جمع المتّجهات تأخذ بعين الاعتبار مقدار كل متّجه واتجاهه.

تجربة استهلالية

هل من الممكن أن 2 N + 2 N = 2 N؟

سؤال التجربة كيف يمكن لمجموع قوتين متساويتين تؤثران في جسم أن يساوي إحدى هاتين القوتين؟

الخطوات

1. **قياس** خذ جسمًا كتلته 200 g، وقس وزنه بميزان نابضي، وسجّله.
2. اربط طرفيْ خيط طوله 35 cm بخطافي ميزانين نابضيين.
3. اربط طرف خيط طوله 15 cm بالجسم ولفّ طرفه الآخر على الخيط المثبت بخطافي الميزانين.

تحذير: تجنب سقوط الكتل.

4. أمسك الميزانين النابضيين أحدهما باليد اليمنى والآخر باليد اليسرى، على أن يشكّل الخيط الواصل بينهما زاوية مقدارها 120°. وللتأكد أن مقدار الزاوية يساوي 120° حرّك الخيط الذي يُعلق به الجسم حتى تكون قراءتا الميزانين متساويتين، وسجّل قراءة كل منهما.
5. **جمع البيانات وتنظيمها** اسحب ببطء الخيط الذي يُعلَّق به الجسمُ أكثر فأكثر نحو الأفقي، وصف مشاهداتك.

التحليل

هل مجموع القوتين المقيستين بالميزانين يساوي وزن الجسم المعلق؟ وهل المجموع أكبر من الوزن أم أقل منه؟

التفكير الناقد استعمل ورقة رسم بياني، لرسم مثلث متساوي الأضلاع على أن يكون أحد أضلاعه رأسيًّا. إذا كان كل من ضلعي المثلث يُمثِّل قوة شد مقدارها 2 N، فما مقدار قوة الشد التي يُمثلها الضلع الثالث؟ وكيف يمكن أن يكون 2N + 2 N = 2 N ؟

الأهداف

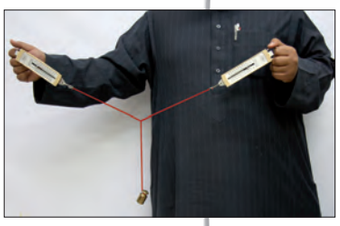
- **تمثل** مجموع متجهين أو أكثر في بُعدين بطريقة الرسم (بيانيًا).
- **تحدّد** مركبتا متجه في بعدين.
- **تحسب** مجموع متجهين أو أكثر جبريًا.
- **تحدّد** القوة الموازنة لعدة قوى مؤثرة في جسم ما.

المفردات

المركبات

القوة الموازنة

تحليل المتجه



كيف يمكن لمتسلقي الصخور تجنب السقوط في حالات كالحالة المبينة في الصفحة السابقة؟ لاحظ أن للمتسلق أكثر من نقطة داعمة يرتكز عليها، كما أن هناك قوى متعددة تؤثر فيه. يمسك المتسلق بإحكام بالصدوع أو الشقوق الموجودة في الصخرة، كما يثبت قدميه على أيّ نتوء أو بروز يجده في الصخرة. وهكذا يكون هناك عدة قوى تلامُس تؤثر فيه، بالإضافة إلى تأثير الجاذبية الأرضية فيه بقوة إلى أسفل.

ومما يميز هذه الحالة من الحالات التي درستها سابقًا أن القوى التي يؤثر بها سطح الصخرة في المتسلق ليست قوى أفقية أو عمودية بالضرورة. ولعلك تعلم من الفصول السابقة أنه يمكن اختيار نظام إحداثي، وتوجيهه بالطريقة المناسبة لتحليل حالة ما. ولكن ماذا يحدث عندما لا تكون القوى متعامدة؟ وكيف يمكن وضع نظام إحداثي وإيجاد قوة محصلة عندما تتعامل مع أكثر من بعد؟

1–1 المتجهات

1. التركيز

نشاط محفّز

إزاحة شخص اطلب إلى الطلبة افتراض أن شخصًا ما تحرك مسافة 100 m في اتجاه الشمال ثمّ لم يعد بمقدوره معرفة الاتجاه. فتحرك مسافة 100 m أخرى دون معرفة الاتجاه. اسأل الطلبة: ما مقدار إزاحته بالنسبة إلى نقطة البداية الأولى؟ يجب أن يأخذ الطلبة المسافة في خط مستقيم من نقطة البداية. اطلب رسم أسهم لتمثيل متّجهي 100 m عند تحليل المسألة. يمكن أن يكون مقدار إزاحة هذا الشخص في أيّ مكان بين صفر و 200 m م2

الربط مع المعرفة السابقة

المتّجهات، والتسارع، والقوى لقد تعلّم الطلبة في الفيزياء 1 كيفية جمع المتّجهات، وطرحها وطبيعة القوى وكيفية تطبيق قوانين نيوتن في بُعد واحد. وفي هذا الفصل يتم التركيز على القوى في بُعدين، إلا أنّه من الضروري تحديد الإزاحة والسرعة والتسارع عند تحليل بعض الحالات والأمثلة الواردة في هذا الفصل.

التفكير الناقد لتوضيح مفهوم القوة المحصلة المؤثّرة في جسم ما اطلب إلى الطلبة تخيل عملية الاستعاضة عن جميع القوى المؤثرة في الجسم بقوة وحيدة مفردة لها التأثير نفسه للقوى مجتمعة. إن الهدف من التحليل الاتجاهي هو تحديد مقدار واتجاه القوة المحصلة. وضح للطلبة أنه عندما تكون القوى المؤثرة في جسم ما في حالة اتزان فإنّ متّجهات القوى يُلغي بعضها بعضًا، ولا يكون لها تأثير في الجسم. فعلى سبيل المثال اللوحة المعلقة بشكل مائل على جدار تؤثر فيها عدة قوى في اتجاهات مختلفة، لكن القوى المحصلة المؤثرة فيها تساوي صفرًا.

2. التدريس

استعمال النماذج

عرض المسطرة ذات العجلة لمساعدة الطلبة على تصّور وفهم الطرائق التي يمكن استعمالها عند تحريك المتّجهات دون تغيير مقدارها أو اتجاهها يمكنك استعمال المسطرة ذات العجلة لتوضيح مجموعة من الطرائق الصحيحة المستعملة لتحريك المتجهات. تتوافر هذه المساطر في المكتبات ومحلات بيع أدوات الرسم.

تطوير المفهوم

ترميز المتّجهات وضح للطلبة الطريقة التي ستستخدمها لتشير إلى الكميّات المتّجهة عند كتابتها على السبورة أو الشفافيات. وذلك من خلال وضع سهم فوق الرمز الذي يمثل الكمية المتجهة، التي تم التعبير عنها بالخط الغامق في الكتاب.

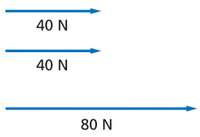
تعزيز الفهم

المقدار اطرح على الطلبة السؤال التالي بغرض استذكار المفاهيم السابقة: ما الذي تعنيه كلمة *مقدار*؟ تعني هذه الكلمة في الفيزياء قياس كمية ما، ويُمثّلُها هنا طول السهم الذي يعبر عن الكمية المتجهة. ناقش لماذا نحتاج دائمًا إلى تعيين مقدار واتجاه الكميّات المتّجهة. م2 **لغوي**

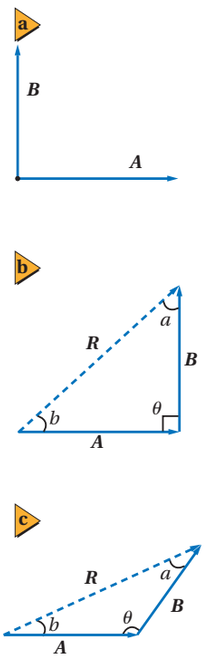
استعمال الشكل 2 - 1

إنَّ عمليّة جمع المتّجهات عمليّة إبداليّة، لذا يمكن جمعها بأيّ ترتيب. فإذا وضعت ذيل المتّجهة الذي يشير في اتجاه الشرق على رأس المتّجه الذي يشير في اتجاه الشمال فلن يتغيّر مقدار المحصلة أو اتجاهها على الرّغم من أنّ المخطّطين يبدوان مختلفين. م2

الشكل 1–1 مجموع القوتين يوضحه متجه القوة أسفلهما.



الشكل 2–1 جمع المتجهات بوضع رأس متجه على ذيل متجه آخر ورسم المتجه المحصل بتوصيل ذيل المتجه الأول برأس المتجه الأخير.



المتجهات في بُعدين Vectors in Two Dimensions

إذا دفعت أنت وصديقك طاولة، وأثّر كل منكما بقوة 40 N نحو اليمين، فإن متجه القوة المحصلة لقوتيكما يساوي 80 N والشكل **1–1** يمثل مخطط الجسم الحر للمتجهين المثلين لقوتيكما. ولكن كيف حصلنا على متجه القوة المحصلة؟

يمكن تطبيق عملية جمع المتجهات حتى لو لم تكن في البعد نفسه بطريقة الرسم باستخدام المسطرة والمنقلة؛ حيث يمكن جمع المتجهات بوضع ذيل متجه على رأس متجه آخر، ثم رسم المتجه المحصل بتوصيل ذيل المتجه الأول مع رأس المتجه الثاني. ويبين **الشكل 1–2a** مخطط الجسم الحر لقوتين. وفي **الشكل 1–2b** حُرّك أحد المتجهين، فأصبح ذيله عند رأس المتجه الآخر. لاحظ أن طول المتجه المنقول واتجاهه لم يتغيرا. ولأنّ طول المتجه واتجاهه هما فقط ما يميز المتجه، لذا فإن المتجه لم يتغير بسبب هذه الحركة. وهذا صحيح دائمًا؛ فعند تحريك المتجه لا يتغير طوله ولا اتجاهه. ويمكنك الآن رسم المتجه المحصل الذي يتجه من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير، ثم قياس طوله للحصول على مقداره وفق مقياس الرسم المستخدم، واستعمال منقلة لقياس اتجاه المتجه المحصل. وإذا أردت جمع متجهين عندما تكون الزاويةُ بينهما قائمة – مثل المتجه ***A*** الذي يشير إلى الشرق والمتجه ***B*** الذي يشير إلى الشمال – يمكنك استعمال نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المحصلة ***R*** كما يأتي:

$$R^2 = A^2 + B^2$$

مربع مقدار المتجه المحصل يساوي مجموع مربعي مقداري المتجهين.

ولتحديد اتجاه المحصلة يمكن حساب الزاوية b بين المحصلة R والمتجهة A باستخدام العلاقة: $b = tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$، أما إذا كانت الزاوية بين المتجهين المراد جمعهما لا تساوي 90° كما في **الشكل 2c–1**، فإنه يمكنك استعمال قانون جيب التمام لحساب مقدار المحصلة.

$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta$$

مربع مقدار المتجه المحصل يساوي مجموع مربعي مقداري المتجهين مطروحًا منه ضِعفا حاصل ضرب مقداري المتجهين مضروبًا في جيب تمام الزاوية التي بينهما.

كما يمكنك استخدام قانون الجيب لحساب اتجاه محصلة متجهين.

$$\frac{R}{\sin\theta} = \frac{A}{\sin a} = \frac{B}{\sin b}$$

مقدار المحصلة مقسومًا على جيب الزاوية التي بين المتجهين يساوي مقدار أي من المتجهين مقسومًا على جيب الزاوية التي تقابله.

مثال 1

إيجاد مقدار محصلة متجهين إزاحتان؛ الأولى 25 km، والثانية 15 km، احسب مقدار واتجاه المحصلة عندما تكون الزاوية بينهما 90°، وعندما تكون الزاوية 135°.

1 تحليل المسألة ورسمها

- استعن بالشكلين **1–2b** و**1–2c** لحل المسألة.

المعلوم	المجهول
$A = 25\ \text{km}\quad \theta_1 = 90°$	$R = ?$
$B = 15\ \text{km}\quad \theta_2 = 135°$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استعمل نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المتجه المحصل، عندما تكون الزاوية بين المتجهين 90°.

$R^2 = A^2 + B^2$

$R = \sqrt{A^2 + B^2}$

بالتعويض عن $A = 25\ \text{km}$ و $B = 15\ \text{km}$

$R = \sqrt{(25\ \text{km})^2 + (15\ \text{km})^2}$

$R = 29\ \text{km}$

وتصنع المحصلة R الزاوية b مع المتجه A

$b = tan^{-1}\left(\frac{15}{25}\right) = 30.0°$

لأن الزاوية بين المتجهين 135°، نستعمل قانون جيب التمام لإيجاد مقدار المتجه المحصل.

$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB\,(cos\,\theta_2)$

$R = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB\,(cos\,\theta_2)}$

بالتعويض عن A وB والزاوية بينهما.

$R = \sqrt{(25\ \text{km})^2 + (15\ \text{km})^2 - 2(25\ \text{km})\,(15\ \text{km})(\cos 135°)}$

$R = 37\ \text{km}$

وتصنع المحصلة R الزاوية b مع المتجه A

$\frac{37}{sin\,135} = \frac{15}{sin\,b}$

$b = 16.7°$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** كل جواب عبارة عن طول يُقاس بالكيلومترات.
- **هل للإشارة معنى؟** حاصل الجمع في كل حالة موجب.
- **هل المقادير منطقية؟** مقدار المحصلة في كل حالة أقل من مجموع المتجهين، ولكنه أطول من أيّ منهما. والإجابة الثانية أكبر من الأولى. وهذا يتفق مع تمثيل المتجهات بالرسم.

مسائل تدريبية

1. قطعت سيارة 125 km نحو الغرب، ثم 65 km نحو الجنوب. ما مقدار محصلة إزاحتيها؟ حل المسألة بطريقتي الرسم والحساب.
2. سار شخص 4.5 km في اتجاه ما، ثم انعطف بزاوية 45° نحو اليمين، وسار مسافة 6.4 km، ما مقدار إزاحته؟

مثال صفي

سؤال أوجد مقدار محصلة قوتين إحداهما 20.0 N والأخرى 7.0 N عندما تكون الزاوية بينهما 30.0°

الإجابة استعمل قانون جيب التمام

$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta$

$= (20.0\,\text{N})^2 + (7.0\,\text{N})^2 - 2(20.0\,\text{N})(7.0\,\text{N})\cos 30.0°$

$= 207\ \text{N}$

$R = 14.4\ \text{N}$

$= 14\ \text{N}$

مسائل تدريبية

1.

$R = 141\ \text{km}$

2. $1.0 \times 10^1\ \text{km}$

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

جمع المتّجهات لقد تم شرح عملية جمع المتّجهات بطريقة الرأس مع الذيل. إذا لم تكن هذه الطريقة مناسبة لبعض الطلبة فيمكنك الطلب إليهم استعمال طريقة متوازي الأضلاع لجمع المتجهات؛ حيث يرسم الطلبة عند اتباع هذه الطريقة متجهًا جديدًا مساويا للمتجه الأول، بحيث يكون ذيله على رأس المتّجه الثاني وله طول المتّجه الأول نفسه وموازيًا له أيضًا، ثمّ يرسمون بالطريقة نفسها متجهًا آخر مساوٍ للمتجه الثاني على أن يكون ذيله على رأس المتّجه الأول. يجب أن تُشكِّل هذه المتّجهات متوازي أضلاع. بعد ذلك يجد الطالب المتّجه المحصل برسم متّجه ينطبق ذيله على ذيلي المتّجهين الأصليين ورأسه على رأسي المتجهين الجديدين. م 1 **بصري - مكاني**

نشاط

شدّ الحبل وضّح للطلبة أنّك إذا سحبت طرف حبل وبقي خصمك ثابتًا في مكانه يمسك بالطرف الآخر للحبل، فإنّ هذا الطرف يؤثر في خصمك بقوة مساوية للقوة التي تؤثّر أنت بها في الحبل. وعندما يبدأ خصمك بالحركة فإنّ القوتين في طرفي الحبل تبقيان متساويتين. ارسم مخطّط الجسم الحرّ لتبيّن للطلبة أنّه عندما تكون القوة المحصلة المؤثرة في الحبل تساوي صفرًا، فإنّ أيًّا من الفريقين لا يفوز. وحتى يفوز أحدهما يجب أن تكون القوى غير متساوية. م2 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

الاتزان يجب أن يكون مفهوم الاتزان مألوفًا للطلبة من خلال دراستهم السابقة، حيث استعمل الطلبة هذا المفهوم في بُعد واحد.

استعمال الشكل 3 – 1

يُبين الشكل ثلاث قوى جُمعت لتنتج قوة محصلة مساوية للصفر. ويمكن الحصول على النتيجة نفسها وذلك بإبطال القوة A مع المركّبة الرأسية للقوة B، ثمّ إبطال القوة C مع المركّبة الأفقيّة للقوة B. م2

تطوير المفهوم

عرض الاتزان اربط جسمًا بميزانين نابضيّين باستعمال خيطين متساويين في الطول. ارفع الجسم باستعمال الميزانين، ثمّ بيّن للطلبة من خلال العرض أنّه يمكن أن يتحقّق الاتزان بطرق عدّة بتغيير الزاوية بين الخيطين، وذلك بتغيير ميل الميزانين وبالتالي تتغيّر القوة التي يؤثر بها كل خيط.

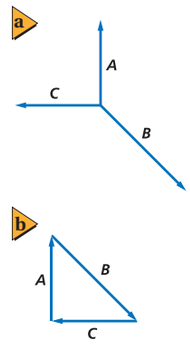
اتزان القوى Forces equilibrium

يتزن الجسم عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا. وطبقًا للقانون الثاني لنيوتن لا يتسارع الجسم عندما لا توجد قوة محصلة تؤثر فيه، لذا فإن اتزانه يعني أنه ساكن أو يتحرك بسرعة منتظمة في خط مستقيم. ويحدث الاتزان مهما كان عدد القوى التي تؤثر في الجسم. فإذا كانت محصلة القوى المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا كان الجسم متزنًا.

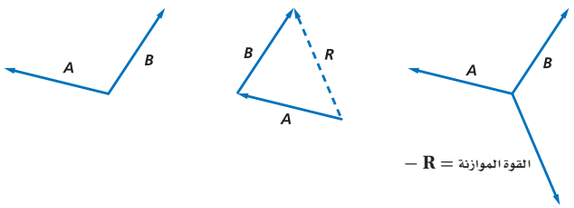
يبين **الشكل 3a–1** ثلاث قوى تؤثر في جسم نقطي. ما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم؟ يبين **الشكل 3b–1** جمع المتجهات الثلاثة A وB وC. لاحظ أن المتجهات الثلاثة تشكل مثلثًا مغلقًا، لذا فإن القوة المحصلة تساوي صفرًا، لذا يكون الجسم متزنًا.

لنفترض أن قوتين تؤثران في جسم ما وأن محصلتهما لا تساوي صفرًا، فكيف يمكن إيجاد قوة ثالثة، بحيث إذا جُمعت هذه القوة مع القوتين السابقتين تصبح المحصلة صفرًا، ويكون عندها الجسم مُتزنًا؟

لكي تجد هذه القوة عليك أن تجد أولاً محصلة القوتين اللتين تؤثران في الجسم. فتكون القوة الثالثة المطلوبة تساوي القوة المحصلة في المقدار، ولكنها تعاكسها في الاتجاه. وتسمى القوة التي تجعل الجسم متزنًا **القوة الموازنة**. ويوضح **الشكل 4–1** خطوات إيجاد هذه القوة المتجهة، وهي خطوات عامة يمكن استعمالها مهما كان عدد المتجهات.



الشكل 3–1 يتزن جسم عندما يكون مجموع القوى المؤثرة فيه يساوي صفرًا.



الشكل 4–1 للقوة الموازنة مقدار القوة المحصلة نفسها، ولكنها تعاكسها في الاتجاه.

مسألة تحدٍّ

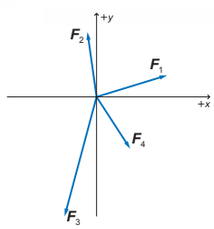
احسب القوة الموازِنة للقوى التالية:

$F_1 = 61.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية 17° شمال الشرق.

$F_2 = 54.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية 8° غرب الشمال.

$F_3 = 102.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية 15° غرب الجنوب.

$F_4 = 51.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية 33° شرق الجنوب.



مسألة تحدٍّ

$F_{1x} = 58.3\ N$, $F_{1y} = 17.8\ N$

$F_{2x} = -7.52\ N$, $F_{2y} = 53.5\ N$

$F_{3x} = -26.4\ N$, $F_{3y} = -98.5\ N$

$F_{4x} = 27.8\ N$, $F_{4y} = -42.8\ N$

$F_x = 52.18\ N$, $F_y = -70.0\ N$

$F_{محصلة} = \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2}$

$= \sqrt{(52.18\ N)^2 + (-70.0\ N)^2}$

$= 87.31\ N$

$\theta_{محصلة} = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$

$= \tan^{-1}\left(\frac{-70.0\ N}{52.18\ N}\right)$

$= -53.3°$

القوة الموازنة تساوي 87.13 N وتصنع زاوية 126.7° أو 36.7° غرب الشمال

تحليل المتجهات Components of Vectors

نظام الإحداثيات إن اختيار نظام إحداثي كما في **الشكل 5a–1** يشبه وضع شبكة مرسومة على شريحة بلاستيكية شفافة فوق الرسم التخطيطي للمسألة. وعليك اختيار الموضع الذي يحدد مركز الشبكة (نقطة الأصل)، وتثبيت الاتجاهات التي تشير إليها المحاور؛ حيث يرسم سهم على المحور x يمر بنقطة الأصل، ويشير إلى الاتجاه الموجب، ويُرسم محور y الموجب على أن يصنع زاوية 90° في عكس اتجاه عقارب الساعة من محور x ويتقاطع معه في نقطة الأصل.

كيف تختار اتجاه محور x؟ عندما تكون الحركة التي يتم وصفها محصورة في بُعد واحد يكون من الأسهل اختيار المحور x ليشير نحو الشرق، والمحور y ليشير نحو الشمال. وإذا كانت الحركة في بعدين كحركة جسم على تل أو مستوى مائل، فإنه من المناسب اختيار المحور x الموجب في اتجاه الحركة، والمحور y عموديًّا عليه.

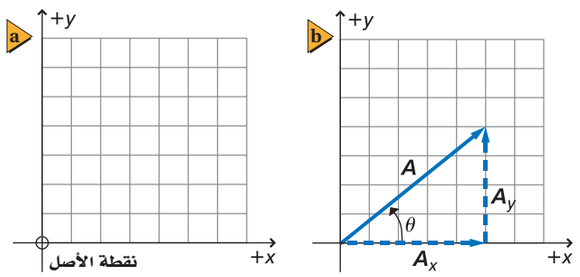
مركبتا المتجه يمكن وصف المتجه $\boldsymbol{A}$ كما في **الشكل 5b–1**، على أنه يمثل الانتقال بمقدار 5 وحدات على المحور x و4 وحدات على المحور y. ويمكن تمثيل هذه المعلومات في صورة متجهين يُرمز إليهما بـ $\boldsymbol{A}_x$ و $\boldsymbol{A}_y$. لاحظ أن $\boldsymbol{A}_x$ يوازي المحور x، و $\boldsymbol{A}_y$ يوازي المحور y، وتسمى عملية تجزئة المتجه إلى مركبتيه **تحليل المتجه**. ولاحظ كذلك أنه إذا جمع $\boldsymbol{A}_x$ مع $\boldsymbol{A}_y$ فإن المحصلة تساوي المتجه الأصلي $\boldsymbol{A}$. حيث:

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{A}_x + \boldsymbol{A}_y$$

ويمكن تعريف **اتجاه المتجه** على أنه الزاوية θ التي يصنعها المتجه مع محور x الموجب مقيسة في عكس اتجاه عقارب الساعة. ويُمكن قياس أطوال مركّبات المتجهات بطريقة الرسم، كما يمكن أيضًا إيجاد المركبات باستعمال علم المثلثات. فتحسب المركبات باستعمال المعادلات المبينة أدناه.

$$\cos\theta = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{A_x}{A} \Rightarrow A_x = A\cos\theta$$

$$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{A_y}{A} \Rightarrow A_y = A\sin\theta$$



الشكل 5–1 يتكون النظام الإحداثي من نقطة الأصل ومحورين متعامدين (a). يقاس اتجاه المتجه A في عكس اتجاه عقارب الساعة من محور x الموجب (b)

التفكير الناقد

العمليّات المسموح بإجرائها اسأل الطلبة: ما العمليّات الحسابية التي يجوز إجراؤها بين كمية متّجهة وأخرى عددية؟ لا يمكن إجراء عمليّة الجمع أو الطّرح بين الكميات المتجهة والكميّات العددية، ولكن يمكن إجراء عمليتي الضرب والقسمة. يُغيّر الضرب طول المتّجه دون أن يغيّر اتجاهه، إلا إذا كانت الكميّة العددية سالبة فينعكس اتجاه المتجه. مثلاً عمليّة طرح المتّجهات عبارة عن ضرب المتّجه الثاني في الرقم 1–، ثم جمعه مع المتجه الأول. م2

تجربة إضافية

الاتزان

الهدف تحقيق الاتزان بين ثلاث قوى وتحليل متّجهات القوى.

الموادّ والأدوات ثلاثة موازين نابضية بتدريج 5 N، وخيط طوله 1 m

الخطوات اثنِ الخيط من المنتصف حول خطّاف الميزان A، واربط الميزان B بأحد طرفي الخيط والميزان C في الطرف الآخر. ثمّ اطلب إلى الطلبة توقّع قراءة الميزان A إذا ابتعد الميزانان B و C عن بعضهما بعضًا وبقيت قراءتهما ثابتة. حرّك كلا الميزانين B و C بعيدًا عن بعضهما بعضًا حتى تتكوّن بينهما زاوية مقدارها 45°، وسجّل القراءات جميعها. تكون قراءة الميزان A أقلّ من مجموع قراءتي الميزانين B و C.

التقويم ناقش لماذا كانت قراءة الميزان A أقلّ من مجموع قراءتي الميزانين B و C؟ واسأل الطلبة: ما قراءة الميزان A إذا ابتعد الميزانان B و C عن بعضهما بعضًا بحيث يصبح الخيط مستقيمًا؟ (صفر) ناقش الطلبة في كيفية تأثير هذه المشاهدات في استنتاجاتهم.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

نظريّة فيثاغورس يطبق الطلبة غالبًا نظريّة فيثاغورس عند جمع متّجهين. بيِّن لهم أن هذه النظريّة تُطبق فقط عندما تكون الزاوية بين المتجهين قائمة.

عرض سريع

جمع المتجهات

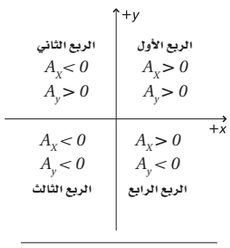
الزمن المقدر 10 دقائق.

المواد والأدوات ثلاثة خيوط تتصل بها رؤوس أسهم. ولوح مثبت عليه خطاطيف أو مسامير، ومسطرة متريّة.

الخطوات استعمل اللّوح والخيوط لتوضيح عمليّة جمع المتّجهات، ثمّ صمّم عددًا من المسائل التي تتضمّن عمليّة جمع المتّجهات، واستعمل الخيوط لتمثيل متّجهات مختلفة. يمكن أن تبدأ المتّجهات من نقطة الأصل نفسها كما يمكن وضع بعضها فوق بعض لتوضيح الجمع بيانيًّا. استعمل المسطرة لقياس طول كل متّجه وطول متجه المحصلة أيضًا.

نشاط

جمع المتّجهات ربما يكون من السهل على الطلبة فهم عمليتي جمع المتّجهات وطرحها عندما تُطبق مباشرة على حركتهم. لذا اختر مكانًا مناسبًا مثل الصّالة الرياضيّة أو الملعب، حيث يمكن للطلبة تحديد إزاحتهم بطريقة الرسم البياني. اطلب إليهم الانتقال من موقع إلى آخر ثمّ قياس وحساب المتّجهات الممثلة لكل من مواقعهم الجديدة وإزاحاتهم باستخدام مقياس رسم مناسب. أخيرًا عليهم مقارنة القيمة المقيسة للإزاحة بالقيمة الحسابية لها.



الشكل 6–1 تعتمد إشارة مركبة المتجه على الربع الذي تقع فيه.

لاحظ أنه عندما تكون الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور x الموجب أكبر من 90° فإن إشارة إحدى المركبتين أو كلتيهما تكون سالبة، كما في **الشكل 6–1**.

جمع المتجهات جبريًا Algebraic Addition of Vectors

يمكن جمع متجهين أو أكثر مثل A و B و C و .... إلخ، بتحليل كل متجه إلى مركبتيه الأفقية والرأسية، ثم جمع المركبات الأفقية (مركبات المحور x) للمتجهات لتكوّن المركبة الأفقية للمحصلة:

$$R_x = A_x + B_x + C_x$$

وبالمثل تجمع المركبات الرأسية (مركبات المحور y) للمتجهات لتكوّن محصلة المركبة الرأسية للمحصلة:

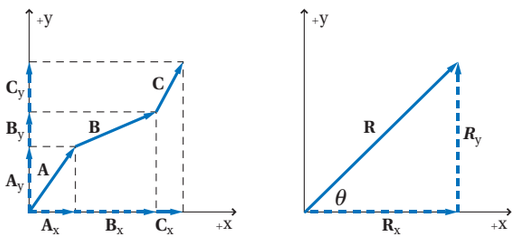
$$R_y = A_y + B_y + C_y$$

وهذه العملية موضحة بيانيًّا في **الشكل 7–1**. ولأن R_x و R_y متعامدتان؛ فإنه يمكن حساب مقدار المتجه المحصل بالعلاقة:

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2$$

وتحديد اتجاه المتجهة المحصل بحساب ظل الزاوية التي يصنعها المتجه المحصل مع محور x من العلاقة:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$$



الشكل 7–1 R_x هي مجموع المركبات الأفقية للمتجهات A و B و C. R_y هي مجموع المركبات الرأسية للمتجهات A و B و C. الجمع الاتجاهي لـ R_x و R_y هو الجمع الاتجاهي للمتجهات A و B و C.

14

تعزيز الفهم

جمع المتّجهات تعد المتجهات من المواضيع صعبة الفهم، لذا ربما يلجأ الطلبة إلى إجراء عملية الجمع العادية على المتجهات عندما تعرض عليهم مسائل تحتوي على كميات متجهة، ولتجنب ذلك اطلب إليهم تخيّل أن لاعبًا يركض 50 m في ملعب، ثمّ ينعطف بزاوية 90° ويركض 50 m إضافيّة. ثم اسألهم: كم يُبعد اللاعب عن نقطة البداية؟ 71 m تقريبًا إذا كانت إجابتهم 100 m، فاسألهم: لماذا قام اللاعب بهذه الجولة ولم يذهب من نقطة البداية إلى نقطة النهاية مباشرة (قطريًّا) ؟

م 1

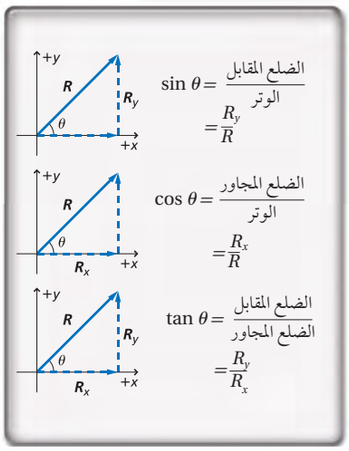
استراتيجية حل المسائل

جمع المتجهات

استعمل الخطوات التالية لحل المسائل التي تحتاج فيها إلى جمع المتجهات أو طرحها:

1. اختر نظامًا إحداثيًّا.
2. حلِّل المتجهات إلى مركباتها الأفقية x باستعمال المعادلة $A_x = A\cos\theta$، وإلى مركباتها العمودية y باستعمال $A_y = A\sin\theta$، وتقاس الزاوية θ في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x الموجب.
3. اجمع المركبات التي على المحور x للحصول على R_x.
4. اجمع المركبات التي على المحور y للحصول على R_y.
5. طبِّق نظرية فيثاغورس $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ لإيجاد مقدار المتجه المحصل.
6. طبق العلاقة $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$ لإيجاد اتجاه المتجه المحصل.

الربط مع الرياضيات

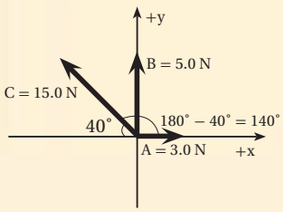


مثال 2

إيجاد محصلة أكثر من متجهين أثرت ثلاث قوى في حلقة، إذا كانت القوة الأولى A = 3.0 N في اتجاه الشرق، والثانية B = 5.0 N في اتجاه الشمال، والثالثة C = 15.0 N في اتجاه يصنع زاوية 40° شمال الغرب. احسب مقدار واتجاه محصلة هذه القوى.

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل القوى الثلاث في نظام إحداثي مناسب.



المعلوم

$\mathbf{A} = 3.0$ N نحو الشرق

$\mathbf{B} = 5.0$ N نحو الشمال

$\mathbf{C} = 15.0$ N في اتجاه يصنع 40° شمال الغرب

المجهول

$\mathbf{R} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المركبات الأفقية والرأسية للقوى الثلاث.

مثال صفي

سؤال اجمع المتجهين التّاليين باستعمال طريقة تحليل المتجهات: مقدار المتّجه **A** يساوي 4 m ويتّجه إلى الجنوب، ومقدار المتّجه **B** يساوي 7.3 m ويتجه إلى الشمال الغربي.

الإجابة مثّل الاتجاه إلى الشرق على المحور x+، والاتجاه إلى الشمال على المحور y+.

$$A_x = (4.0\text{ m})\cos 270^\circ = 0$$

$$B_x = (7.3\text{ m})\cos 135^\circ = -5.16\text{ m}$$

$$A_y = (4.0\text{ m})\sin 270^\circ = -4.0\text{ m}$$

$$B_y = (7.3\text{ m})\sin 135^\circ = 5.16\text{ m}$$

$$R_x = A_x + B_x = 0 + (-5.16\text{ m}) = -5.16\text{ m}$$

$$R_y = A_y + B_y = (-4.0\text{ m}) + (5.16\text{ m}) = 1.16\text{ m}$$

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2$$

$$R^2 = (-5.16\text{ m})^2 + (1.16\text{ m})^2$$

$$R = 5.3\text{ m}$$

الاتجاه:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1.16\text{ m}}{-5.16\text{ m}}\right) = 167^\circ$$

أو 12.7°

في اتجاه شمال الغرب.

نشاط

طرائق تدريس متنوعة

إعاقة بصرية يمكن توضيح خصائص عمليّة جمع المتّجهات للطلبة الذين يعانون من ضعف البصر، وذلك باستعمال ورق مقوى أو أسهم بلاستيكيّة أطوالها مختلفة. استعمل مشابك لتثبيت رأس متّجه إلى ذيل متّجه آخر واستعمل سهمًا ثالثًا لتمثيل متجه المحصلة. كما يمكن استعمال أقلام الرصاص وتثبيتها بوساطة شريط لاصق على سطح مستوٍ كي يلاحظ الطلبة الترتيب الهندسي. عند تحريك الأسهم أو أقلام الرصاص يمكنك نقلها إلى الأعلى أو للأسفل، أو إلى اليمين أو لليسار، ولكن لا تجعلها تدور؛ إذ يغيّر الدوران من قيمة المتّجه في حين لا يغيّر نقل المتّجه من قيمته. **م 1 حسي حركي**

التفكير الناقد

جمع ثلاثة متّجهات ذكّر الطلبة بأنهم تعلموا جمع متّجهين، ثم اسألهم: كيف يمكن استعمال ذلك لحلّ مسألة تشتمل على ثلاثة متّجهات؟ اختر متجهين واجمعهما ثمّ اجمع المتّجه الثالث مع محصلة المتجهين. ثم وضِّح للطلبة أنه يمكنهم إيجاد مقدار محصلة أول متّجهين باستعمال نظريّة فيثاغورس أو قانون جيب التمام ولكن لا يمكنهم إيجاد اتجاهها. م 2

مسائل تدريبية

3. 0.87 km في اتجاه يصنع زاوية 77° غرب الشمال.
4. القوة المحصلة تساوي 0.8 N في اتجاه الأعلى
5. 6.0 km
6. 4.44 N في اتجاه الأعلى
7. لا يمكن أن يكون المتّجه أقصر من إحدى مركّبتيه. ولكن إذا انطبق المتّجه على المحور x أو المحور y فإنّ إحدى مركّبتيه تساوي طوله.
8. تكون المركّبة x موجبة عند الزوايا الأقلّ من 90° والأكبر من 270°، وتكون سالبة عند الزوايا الأكبر من 90° والأقلّ من 270°.

$A_x = 3.0\ \text{N},\ A_y = 0\ \text{N}$

$B_x = 0\ \text{N},\ B_y = 5.0\ \text{N}$

$C_x = C\cos\theta = 15.0\ \text{N}\ (\cos 140°) = -11.50\ \text{N}$

$C_y = C\sin\theta = 15.0\ \text{N}\ (\sin 140°) = 9.64\ \text{N}$

بالتعويض $A_x = 3.0\ \text{N}$ ، $B_x = 0\ \text{N}$ ، $C_x = -11.50\ \text{N}$

$R_x = A_x + B_x + C_x = 3\ \text{N} + 0 + (-11.5\text{N})$

$= -8.50\ \text{N}$

الإشارة السالبة تعني أن النقاط الإحداثية في اتجاه الغرب

$R_y = A_y + B_y + C_y = 0 + 5\ \text{N} + 9.64\ \text{N} = 14.64\ \text{N}$

بالتعويض $A_y = 0\ \text{N},\ B_y = 0\ \text{N},\ C_y = 9.64\ \text{N}$

$R^2 = R_x^2 + R_y^2$

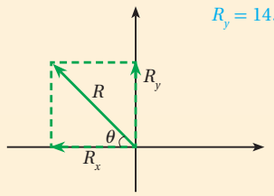
$= (-8.50)^2 + (14.64)^2$

بالتعويض عن $R_x = 8.50\ \text{N},\ R_y = 14.64\ \text{N}$

$R = 16.92\ \text{N}$

$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$

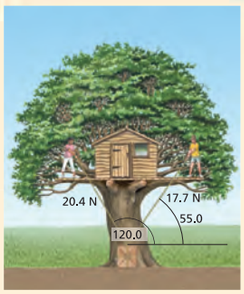
$= \tan^{-1}\left(\frac{14.64}{-8.5}\right) = -59.9°$



3 تقويم الجواب

- **هل الاتجاه صحيح؟** نعم؛ فالزاوية تقع في الربع الثاني.
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارات مع المخطط.
- **هل الجواب منطقي؟** إن طول المتجه ***R*** أكبر من كل من المركبتين الأفقية والرأسية للمحصلة.

مسائل تدريبية



الشكل 8–1

3. يمشي أحمد مسافة 0.40 km بزاوية 60° غرب الشمال، ثم يمشي 0.50 km غربًا. ما إزاحة أحمد؟
4. يقضي الأخوان أحمد وعبد الله بعض الوقت في بيت بنياه فوق شجرة. وقد استعملا بعض الحبال لرفع صندوق كتلته 3.20 kg يحوي أمتعتهم. فإذا وقفا على غصنين مختلفين؛ كما في **الشكل 8–1** وسحبا بالزاويتين والقوتين الموضحتين في الشكل، فاحسب كلًّا من المركبتين x و y للقوة المحصلة المؤثرة في الصندوق. (تنبيه: ارسم مخطط الجسم الحر حتى لا تنسى أي قوة).
5. إذا بدأت الحركة من منزلك فقطعت 8.0 km شمالاً، ثم انعطفت شرقًا حتى أصبحت إزاحتك من المنزل 10.0 km، فما مقدار إزاحتك شرقًا؟
6. أرجوحة طفل معلقة بحبلين رُبطا إلى فرع شجرة يميلان على الرأسي بزاوية 13.0°. فإذا كان الشد في كل حبل 2.28 N، فما مقدار واتجاه القوة المحصلة التي يؤثر بها الحبلان في الأرجوحة؟
7. هل يمكن لمتجه أن يكون أقصر من إحدى مركبتيه أو مساويًا لطولها؟ وضح ذلك.
8. في النظام الإحداثي الذي يشير فيه المحور x نحو الشرق، ما مدى الزوايا الذي تكون فيه المركبة x موجبة؟ وما المدى الذي تكون فيه سالبة؟

نشاط

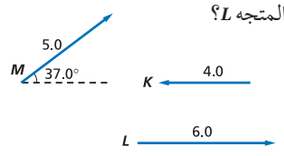
مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

جمع المتّجهات الجمع الاتجاهي لضلعي زاوية لا يساوي مجموعهما الجبري. تحتاج إلى مكان واسع لتنفيذ هذا النشاط، وشريط لاصق ومسطرة متريّة وآلة حاسبة. اختر مساحة كبيرة واضحة للطلبة ثم ارسم مثلثًا قائم الزاوية كبيرًا نسبيًّا على الأرضيّة التي اخترتها باستعمال الشريط اللاصق. اطلب إلى طالبين التدرّب على المشي بخطوات متساوية الطول، ثمّ اطلب إليهما الوقوف على رأس المثلث عند إحدى الزوايا الحادّة، ثمّ اطلب إليهما البدء بالمشي في اللحظة نفسها بحيث يتّجه أحدهما إلى الزاوية الحادة الأخرى عن طريق الوتر، بينما يتجه الآخر إلى الزاوية نفسها ولكن عن طريق الضلعين الآخرين للمثلث. تأكد من أن خطواتهما متساوية أثناء المشي. سيصل أولاً الطالب الذي يسير على الوتر. م 1 **حسي - حركي**

1-1 مراجعة

9. **المسافة مقابل الإزاحة** هل المسافة التي تمشيها تساوي مقدار إزاحتك؟ أعط مثالاً يدعم استنتاجك.

10. **طرح مُتّجه** في **الشكل 9–1** ما ناتج طرح المُتّجه K من المتجه L؟



الشكل 9–1

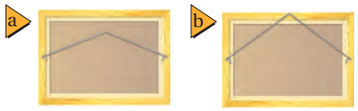
11. **مركّبات** أوجد مركبتي المتجه M المبين في **الشكل 9–1**.

12. **جمع مُتّجه** أوجد محصلة المُتّجهات الثلاثة المبينة في **الشكل 9–1**.

13. **عمليات إبدالية** إن الترتيب في جمع المتجهات غير مهم. ويقول علماء الرياضيات إن عملية جمع المتجه عملية إبدالية. فأيُّ العمليات الحسابية المألوفة عملية إبدالية، وأيها غير إبدالية؟

14. **الكتلة** تُعلَّق لوحة نتائج إلكترونية في سقف صالة ألعاب رياضية بـ 10 أسلاك غليظة، ستة منها تصنع زاوية 8.0° مع الرأسي، في حين تصنع الأسلاك الأربعة الأخرى زاوية 10.0° مع الرأسي. فإذا كان الشد في كل سلك 1300 N، فما مقدار كتلة اللوحة الإلكترونية؟

15. **الاتزان** تُعلّق لوحة فنية بسلكين طويلين. إذا كانت القوة المؤثرة في السلكين كبيرة فسوف ينقطعان. فهل يجب أن تُعلّق اللوحة كما في **الشكل 10a–1** أم كما في **الشكل 10b–1**؟ فسر ذلك.



الشكل 10–1

16. **التفكير الناقد** أزيح صندوق إزاحة ما، ثم أزيح إزاحة أخرى يختلف مقدارها عن مقدار الإزاحة الأولى. فهل يمكن أن يكون للإزاحتين اتجاهان بحيث يجعلان الإزاحة المحصلة تساوي صفرًا؟ افترض أن الصندوق حُرّك خلال ثلاث إزاحات مقاديرها غير متساوية، فهل يمكن أن تكون الإزاحة المحصلة تساوي صفرًا؟ ادعم استنتاجك برسم تخطيطي.

3. التقويم

التحقّق من الفهم

جمع المتّجهات اطلب إلى الطلبة صياغة مسألة تتضمّن جمع المتّجهات في بُعد واحد، واطلب إليهم توضيح حلّ المسألة، ثمّ اطلب إليهم صياغة مسألة أخرى تتضمّن جمع المتّجهات في بُعدين بحيث تكون الزاوية بينهما قائمة، مع توضيح حلّ المسألة. أخيرًا اطلب إليهم صياغة مسألة تتضمّن جمع المتّجهات في بُعدين بحيث لا تكون الزاوية بينهما قائمة، مع توضيح حلّ المسألة. م 2 **لغوي**

إعادة التدريس

جمع المتّجهات راجع طريقتي جمع المتّجهات (طريقة الرسم البياني والطريقة الجبرية)، ووضّح للطلبة متى نستعمل نظريّة فيثاغورس ومتى لا نستعملها. ارسم عدة مجموعات من المتّجهات على السبورة، واطلب إلى مجموعة من الطلبة اختيار مجموعة من المتجهات واستعمال المسطرة المتريّة لقياس متّجهات مجموعتهم وتحديد المتّجه المحصل بالرسم. ثمّ اطلب إليهم حساب قيمة المحصلة باستعمال علم المثلثات. م 2 **بصري - مكاني**

1-1 مراجعة

9. ليس ضروريًّا؛ فعلى سبيل المثال يمكنني المشي حول منطقة سكنية على شكل مربع طول ضلعه 1 km، والعودة إلى النقطة نفسها التي بدأت منها، فتكون الإزاحة في هذه الحالة صفرًا ولكن المسافة تساوي 4 km.

10. 10.0 إلى جهة المحور السيني (+x).

11. M_x=4.0 في اتجاه المحور السيني (+x).
M_y=3.0 في اتجاه المحور الصادي (+y).

12. R=6.7 في اتجاه يصنع زاوية 27° مع الأفقي.

13. عمليتا الجمع والضرب عمليتان إبداليتان، أمّا عمليتا الطّرح والقسمة فليستا كذلك.

14. $1.31 \times 10^3 \text{kg}$

15. $F_T = \frac{F_g}{2 \sin \theta}$، لذا فإنّ F_T تقل كلّما زادت قيمة θ. وفي الشكل 1-14b، تكون الزاوية θ هي الأكبر.

16. لا. ولكن إذا كان هناك ثلاث إزاحات، وشكّلت المتّجهات الممثلة لهذه الإزاحات مثلثًا مغلقًا عند رسمها بطريقة الرأس إلى الذيل، أو إذا كان مجموع متّجهي إزاحتين يساوي متجه الإزاحة الثالث في المقدار ويعاكسه في الاتجاه، فإنّ محصلتها تساوي صفرًا.

2–1 الاحتكاك والحركة

1. التركيز

نشاط محفّز

المستوى المائل اطلب إلى الطلبة ملاحظة قراءة ميزان نابضي متصل بجسم يتحرك نحو أعلى مستوى مائل بسرعة منتظمة، ثم اسأل الطلبة كيف يمكن تغيير قراءة الميزان؟ م1 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

المقاومة سُمّي مفهوم الاحتكاك في الفصول السابقة بالمقاومة، وضّح للطلبة هذا الربط عندما تُعرِّف لهم الاحتكاك، آخذا بعين بالاعتبار معرفتهم بتأثيرات الاحتكاك من خلال حياتهم اليومية.

2. التدريس

استعمال الشكل 11 – 1

يبين الشكل تمثيلًا للقوى المؤثرة في جسم ينزلق على مستوى مائل خشن ومخطط الجسم الحر لهذه القوى، وكذلك اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه. م2

ناقش الطلبة في أثر زيادة خشونة السطح، وكذلك أثر زيادة ميل السطح في القوة المحصلة المؤثرة في الجسم وكذلك ناقشهم في كيفية تحليل وزن الجسم.

المناقشة

سؤال إذا انزلق جسم في اتجاه أسفل سطح مائل فهل يعتمد مقدار تسارع الجسم على كتلته؟ وهل يعتمد مقدار تسارعه على معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين؟ أو على زاوية ميل السطح؟

الجواب

لا يعتمد مقدار تسارع الجسم على كتلة الجسم، وإنما يعتمد على زاوية ميل السطح وعلى معامل الاحتكاك الحركي. م2

التفكير الناقد

مُركبّتا القوة اطلب إلى الطلبة مشاهدة بعض الصور أو أفلام الفيديو لرافعي الأثقال وتحديد كيف تكون المادّة التي قدّمت في هذا الجزء مناسبة للحصول على تكنولوجيا ناجحة لرفع الأثقال. من الممكن أن يساعد رسم مخطّط القوى الطلبةَ على توضيح تفسيراتهم. فالقوة التي يؤثر بها رافع الأثقال عموديًّا على القضيب الحامل للأثقال هي التي تؤدي إلى رفعه، حيث يُمسك رافعو الأثقال هذا القضيب بإحكام لتمكينهم من زيادة هذه القوة العموديّة. م2 **بصري - مكاني**

الأهداف

- **تحلل** حركة جسم على سطح مائل أملس أو خشن.
- **تتعرف** قوة الاحتكاك.
- **تميز** بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.

المفردات

الاحتكاك الحركي
الاحتكاك السكوني
معامل الاحتكاك الحركي
معامل الاحتكاك السكوني

درست سابقًا حالات تتضمن قوى في بعدين، وطبقت قوانين نيوتن على حالات متنوعة، اقتصرت فيها حركة الجسم على الاتجاه الأفقي أو الرأسي، وفي هذا الدرس سنعرض لحالات تتضمن حركة جسم على مستوى مائل أملس أو خشن، وحالات لقوى تؤثر في جسم بزوايا مختلفة.

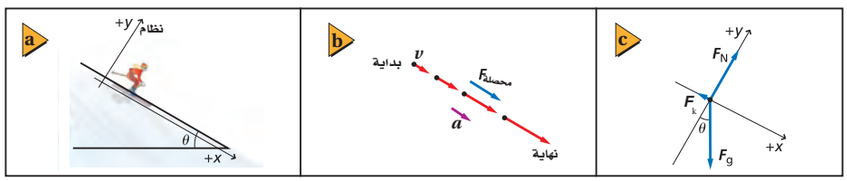
الحركة على مستوى مائل Motion Along an Inclined Plane

يمثل **الشكل 1–11a** ، حركة متزلج على مستوى مائل، كما يبين **الشكل 1–11b** اتجاه تسارعه واتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه. عند رسم مخطط الجسم الحر فإن قوة الجاذبية الأرضية تؤثر في المتزلج إلى أسفل في اتجاه مركز الأرض، وتؤثر القوة العمودية في اتجاه عمودي على السطح في اتجاه المحور (y+)، إضافةً إلى قوة الاحتكاك الموازية للسطح والتي تؤثر في عكس اتجاه حركة المتزلج ويبين **الشكل 1–11c** مخطط الجسم الحر الناتج. من خبرتك السابقة تعلم أن تسارع المتزلج يكون في اتجاه المستوى المائل في اتجاه المحور(X). فكيف يمكن إيجاد القوة المحصلة التي تجعل المتزلج يتسارع؟

الخطوة الأهم في تحليل المسائل التي تتضمن حركة جسم على سطح مائل هي اختيار نظام إحداثي مناسب. ولأن تسارع الجسم يكون موازيًا للسطح المائل فإن أحد المحاور يجب أن يكون في هذا الاتجاه. وعادة ما يكون المحور x هو الموازي للسطح. أما محور y فيكون عموديًّا على المحور x وعلى السطح المائل. وفي هذا النظام الإحداثي يكون هناك قوتان في اتجاه المحاور، هما قوة الاحتكاك والقوة العمودية، ولا تكون قوة الوزن في اتجاه أي من هذه المحاور. وهذا يعني أنه عند وضع جسم ما على سطح مائل فإنّ مقدار القوة العمودية بين الجسم والسطح المائل لا تساوي وزن الجسم.

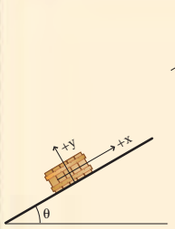
لاحظ أنك تحتاج إلى تطبيق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور x مرة، وفي اتجاه المحور y مرة أخرى. ولأن الوزن لا يشير إلى اتجاه أي من المحورين فإننا نقوم بتحليله إلى مركّبتين، إحداهما في اتجاه المحور x، والأخرى في اتجاه المحور y، وذلك قبل جمع القوى في هذين الاتجاهين. وهذه الخطوات موضحة في المثال 3.

الشكل 1–11 ينزلق متزلج على مستوى مائل (a). حدد القوى التي تؤثر في المتزلج (b) وارسم مخطط الجسم الحر الذي يصف هذه القوى (c). من المهم أن ترسم اتجاه قوة الاحتكاك والقوى العمودية بصورة صحيحة لتحليل مثل هذه الحالات على نحو مناسب.



مثال 3

مركبتا الوزن لجسم على سطح مائل يستقر صندوق وزنه 562 N على سطح مائل يصنع زاوية 30.0° فوق الأفقي. جد مركبتي قوة الوزن الموازية للسطح والعمودية عليه.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نظامًا إحداثيًّا يكون فيه المحور x موازيا للسطح المائل.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا F_g ومركبتيها F_{gy} ، F_{gx} والزاوية θ .

المعلوم	المجهول
$F_g = 562\ N,\ \theta = 30.0°$	$F_{gx} = ?\ ,\ F_{gy} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

F_{gx} ، F_{gy} سالبتان؛ لأنهما تشيران إلى اتجاهات تعاكس المحاور الموجبة.

بالتعويض عن $F_g = 562\ N$ ، $\theta = 30.0°$

$$F_{gx} = -F_g\ (\sin\theta)$$
$$= -(562\ N)\ (\sin 30.0°) = -281\ N$$

بالتعويض عن $F_g = 562\ N,\ \theta = 30.0°$

$$F_{gy} = -F_g\ (\cos\theta)$$
$$= -(562\ N)\ (\cos 30.0°)$$
$$= -487\ N$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوة بوحدة نيوتن.
- **هل للإشارات معنى؟** تشير المركبتان إلى اتجاهات تعاكس المحاور الموجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** قيمة كل من المركبتين أقل من قوة الوزن F_g.

مسائل تدريبية

17. يصعد شخص بسرعة منتظمة تلًّا يميل على الرأسي بزاوية 60°، ارسم مخطط الجسم الحر لهذا الشخص.

18. ينزلق سامي في حديقة الألعاب على سطح مائل يصنع زاوية 35° فوق الأفقي. فإذا كانت كتلته 43 kg فما مقدار القوة العمودية بين سامي والسطح المائل؟

19. إذا وضعت حقيبة سفر على سطح مائل، فما مقدار الزاوية التي يجب أن يميل بها هذا السطح بالنسبة إلى المحور الرأسي حتى تكون مركّبة وزن الحقيبة الموازية للسطح مساوية لنصف مقدار مركبتها العمودية؟

19

مثال صفي

سؤال يجلس شخص وزنه 640.0 N على سطح مائل يميل بزاوية 35.0° فوق الأفقي ما مقدار مركبتي وزنه الموازية للسطح المائل والعموديّة عليه؟

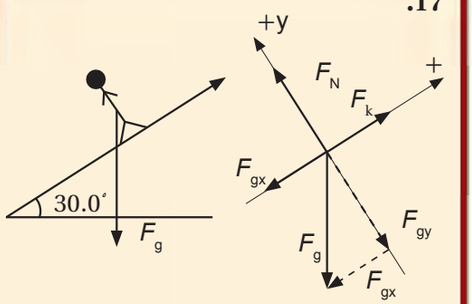
الإجابة اختر المحاور على أن يكون المحور y+ عموديًّا على السطح المائل إلى الأسفل، والمحور x+ في اتجاه أسفل السطح المائل وموازيًا له. ينتج عن ذلك:

$$F_{gx} = (640.0\ N)(\sin 35.0°) = 524\ N$$

$$F_{gy} = (640.0\ N)(\cos 35.0°) = 367\ N$$

مسائل تدريبية

17.



18. 345 N

19. 63.4° بالنسبة للمحور الرأسي.

الفيزياء في الحياة

معلومة للمعلم

الاتزان السكوني إن أحد أهم تطبيقات متّجهات القوة هو ما يقوم به المصممون والمهندسون للحصول على اتزان يُعرف بالاتزان السكوني في البناء الذي يصمّمونه. والاتزان من الأمور الضرورية، سواء أكان البناء جسرًا أم بناية أم طريقًا سريعًا. وكذلك تُبنى البنايات التي تكون سقوفها مدببة(على شكل كوخ) بحيث تتوازن القوة الخارجية مع الحائط. ويمكن عمل ذلك من خلال دعامات بناء خارجية أو داخلية. وتطبق في أيّ حالة من الدعامات قوة أفقيّة موازِنة متّجهة إلى الداخل بحيث تُوازِن المركّبة الخارجية لمتّجه وزن السقف. م 2

تجربة

أثر الزاوية

الهدف تستكشف مركبتي المتّجه وجمع المتّجهات.

المواد والأدوات ميزان نابضيّ تدريجه 5 N، كتلة تعليق مقدارها 500 g، منقلة، لوح أملس أو ورق مقوى.

النتائج المتوقعة عندما يُعلق الجسم بوساطة الميزان تكون قراءة الميزان 4.9 N، وبما أن السطح المائل عديم الاحتكاك نسبيًّا، فإنّ قراءة الميزان عند سحب الجسم عليه تكون ما بين 3.5 N إلى 3.6 N

التحليل والتطبيق

3. $F_x = m \sin\theta$

$= (0.5\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)\ (0.707)$

$= 3.5\ \text{N}$

4. قد تختلف الإجابات. لكن يجب أن تكون قراءة الميزان على السطح المائل هي تقريبًا قيمة المركبة نفسها التي حصلنا عليها من السؤال 3

استعمال الشكل 12 – 1

ارسم الأشكال 12c–1 و 12b–1 ومتّجهات القوة على السبّورة، مبينًا القوة المؤثرة وقوة الاحتكاك في كل حالة. وضّح للطلبة أنّ قوة الاحتكاك السكوني في الشكل 12b–1 تتساوى مع القوة المؤثرة لمنع حركة الجسم، وعندما تزيد القوة المؤثرة وتصبح أكبر من قوة الاحتكاك يتحرّك الجسم، كما في الشكل 12c–1.

تجربة

أثر الزاوية

ارفع لوح خشب من أحد طرفيه وثبته بدعامة على أن يشكّل سطحًا مائلاً بزاوية 45°، وعلّق جسمًا كتلته 500 g بميزان نابضي.

1. **قس** وزن الجسم وسجّله. ثم ضع الجسم أسفل السطح، واسحبه ببطء وبسرعة منتظمة إلى أعلى السطح المائل.
2. **راقب** قراءة الميزان وسجّلها.

التحليل والاستنتاج

3. **احسب** مركبة وزن الجسم الموازية للسطح المائل.
4. **قارن** قراءة الميزان في أثناء سحب الجسم على السطح المائل بمركّبة الوزن الموازية للسطح.

الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي Static and Kinetic Friction

عند تحريك يدك فوق سطح مقعد تشعر بقوة تمانع الحركة. هذه القوة تسمى قوة الاحتكاك. وإذا دفعت كتابًا فوق سطح طاولة فإن الكتاب يستمر في الحركة فترة قصيرة ثم يتباطأ وبعد ذلك يتوقف. قوة الاحتكاك التي تؤثر في الكتاب تسبب له تسارعًا في اتجاه يعاكس اتجاه حركته. وعلى الرغم من أننا نهمل الاحتكاك في حل المسائل أحيانًا، إلا أن هذا لا يعني عدم وجوده؛ فالاحتكاك موجود من حولنا. ونحن نحتاج إلى الاحتكاك كثيرًا عند حركة السيارة أو الدراجة الهوائية، وعند وقوفنا. فإذا مشيت يومًا على الجليد أو على أرض زلقة، فستدرك حينها أهمية الاحتكاك.

هناك نوعان من الاحتكاك يمانعان الحركة دائمًا. فعند دفع الكتاب فوق سطح المقعد يتأثر بنوع من الاحتكاك الذي يؤثر في الأجسام المتحركة، ويُعرف بقوة **الاحتكاك الحركي**؛ وهي تؤثر في السطح عندما يتحرك ملامسًا سطحًا آخر. ولفهم النوع الآخر من الاحتكاك تخيل أنك تحاول دفع أريكة على أرضية الغرفة، ففي البداية ستدفعها ولكنها لن تتحرك. ولأنها لا تتحرك فهذا يعني أن هناك قوة أفقية أخرى تؤثر في الأريكة. وهذه القوة لابد أنها تعاكس القوة التي تؤثر أنت بها، وتساويها مقدارًا طبقًا للقانون الثاني لنيوتن، وتعرف بقوة **الاحتكاك السكوني**، وهي عبارة عن قوة تؤثر في سطح بوساطة سطح آخر عندما لا تكون هناك حركة بينهما. وربما تزيد من قوة دفعك كما في **الشكلين 12a–1 و 12b–1**. فإذا لم تتحرك الأريكة أيضًا فهذا يعني أن قوة الاحتكاك أصبحت أكبر من ذي قبل، أما إذا دفعت الأريكة بقوة كافية، كما في **الشكل 11c–1** فإنها تبدأ في الحركة. من الواضح إذن أن هناك قيمة قصوى لقوة الاحتكاك السكوني، وعندما تصبح قوتك أكبر من القيمة القصوى للاحتكاك السكوني تبدأ الأريكة عندئذٍ في الحركة، ويبدأ الاحتكاك الحركي في التأثير بدلاً من الاحتكاك السكوني.

الشكل 12–1 هناك حد لقوة الاحتكاك السكوني للتناسب مع القوة المؤثرة.

معلومة للمعلم

الخلفية النظريّة للمحتوى

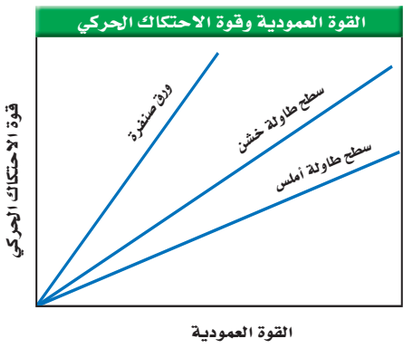
بناء البيوت الثلجية المُقبّبة والقوى الموازنة يستعمل شعب الأسكيمو القوى الموازِنة في بناء البيوت المُقبّبة، وهو عبارة عن بناء على شكل قبة يُبنى من مكعبات جليدية. تسحب الجاذبية هذه المكعبات فيقترب بعضها من بعض، ويضغط كل مكعب على المكعبات المجاورة له من الجانبين ومن الأعلى ومن الأسفل. إن المكعب الذي في مركز القبة هو المكعب الأكثر أهميّة، حيث يبقى الصف العلوي للقبة متحرّكًا حتى يوضع المكعب المركزيّ فينتج عن ذلك قوة محصلة مساوية للصفر وهذا ينطبق على الأبنية ذات القبب بما فيها المساجد.

الشكل 13–1 يسحب الميزان النابضي الكتلة بقوة ثابتة.

نموذج لقوى الاحتكاك علامَ تعتمد قوة الاحتكاك؟ تعتمد قوة الاحتكاك بشكل أساسي على المواد التي تتكون منها السطوح. فعلى سبيل المثال قوة الاحتكاك بين نعل حذائك والأسمنت تكون أكبر منها بين نعل الحذاء والسطح الجليدي. وقد يبدو منطقيًّا أن تعتمد قوة الاحتكاك أيضًا على مساحة سطح الجسمين المتلامسين أو سرعة حركتيهما، ولكن التجارب أثبتت أن ذلك غير صحيح؛ إذ المهم هو القوة العمودية بين الجسمين. فكلما زادت قوة دفع جسم للآخر كانت قوة الاحتكاك الناتجة أكبر.

ويمكن التحقق من ذلك عن طريق سحب جسم معلوم الكتلة بواسطة ميزان نابضي على سطح طاولة أفقي بسرعة منتظمة، كما في **الشكل 13–1**، وتسجيل قراءة الميزان لتمثل قوة الاحتكاك الحركي طبقًا لقوانين نيوتن، ثم يمكنك بعد ذلك وضع كتلة إضافية فوق الجسم لزيادة القوة العمودية، وتسجيل كل من قراءة الميزان النابضي والقوة العمودية في كل حالة. وعند رسم العلاقة البيانية بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية لأنواع مختلفة من السطوح ستحصل على مخطط بياني، كما في **الشكل 14–1**.

لاحظ أن هناك تناسبًا طرديًّا بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية؛ فالخطوط المختلفة تقابل سحب الجسم على سطوح مختلفة. ولاحظ كذلك أن ميل الخط الذي يقابل سطح ورق الصنفرة أكبر من ميل الخط الذي يقابل سطح طاولة أملس. فسحب الكتلة على سطح ورق الصنفرة أصعب من سحبها على السطح الأملس للطاولة. ويُسمى ميل هذا الخط **معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين**، ويرمز إليه بـ μ_k،



الشكل 14–1 هناك علاقة خطية بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية.

عرض سريع

الاحتكاك

الزمن المقدر عشر دقائق

المـوادّ والأدوات شريط لاصق وقطعة خشبيّة مغطّاة بالقماش الناعم أبعادها (15 cm × 7.5 cm × 2.5 cm).

الخطوات اطلب إلى الطلبة توقّع أيّ جانب من القطعة الخشبيّة يحتاج إلى قوة أكبر لدفعها بسرعة منتظمة على طول الشريط اللاصق. ثبّت الشريط اللاصق على سطح الطاولة ثمّ اطلب إلى أحد الطلبة أن يحرّك القطعة الخشبيّة المرتكزة على الجانب الأكبر مساحة لها فوق الشريط، ثم أعد الخطوة السابقة نفسها على أن تكون القطعة الخشبيّة مرتكزة على الجانب الأصغر مساحة لها. اطلب إلى الطلبة تلخيص نتائجهم وعرضها على زملائهم في الصف. تبقى قوة الاحتكاك نفسها في الحالتين بغض النظر عن مساحة السطحين المتلامسين.

التفكير الناقد

احتكاك كبير أو قليل اسأل الطلبة: أيّهما أفضل: أن يكون الاحتكاك بين الأسطح كبيرًا أم قليلاً؟ يعتمد ذلك على الحالة موضع الدراسة. اطلب إلى الطلبة إعطاء أمثلة على كل منهما. حالات تتطلب احتكاكًا قليلًا مثل: حركة المكابس في المحركات، وحركة الزلاجات على الثلج. ومن الأمثلة على حالات تتطلب احتكاكًا كبيرًا: حركة المحاة على الورق، أو الكتابة بالقلم على الورق. م 2 **منطقي - رياضي**

استعمال التشابه

البحث في الاحتكاك إنّ التفاعل المتبادل بين شريطين لهما خطاطيف (نتوءاتٍ) دقيقة- كما هو موضح أدناه- تشبيه مبسط على قوة الاحتكاك بين جسمين. حيث يلتحم السطحان المتلامسان جزئيًّا بعضهما ببعض على المستوى المجهري. اطلب إلى الطلبة البحث حول كيفية عمل هذا الشريط ورسم بعض المخطّطات التي تساعد على توضيح ذلك. م 2

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

السرعة المنتظمة يستعمل بعض الطلبة الاحتكاك كغطاء يعلق عليه الخطأ المفاهيمي التالي: تنتج الحركة بسرعة منتظمة فقط عندما تؤثّر قوة في جسم بصورة متواصلة. ولتجنب الوقوع في مثل هذا الخطأ المفاهيمي لا تدع الطلبة يعتادون الإجابة أنّ الاحتكاك هو المسؤول عن أيّ نقص في السرعة، كما في حالة تباطؤ جسم قُذف إلى أعلى في الهواء.

نشاط **مشروع فيزياء**

الاحتكاك السطحي اسأل الطلبة: لماذا تُخدش سطوح بعض الموادّ عندما ينزلق بعضها على بعض، بينما ينزلق بعضها الآخر دون أيّ جهد؟ تُظهر دراسات الاحتكاك على المستوى الذري التأثير المحدود لتركيبة السطح. بعض السطوح تكون أقل انزلاقًا عندما تكون رطبة، وتنزلق بعض الأجسام الخشنة أحيانًا أسهل من انزلاق الأجسام الملساء. اطلب إلى الطلبة زيارة المكتبة وجمع معلومات حول هذا الموضوع. م 2 **لغوي**

تطبيق الفيزياء

أسباب الاحتكاك تُعد جميع السطوح خشنة عند النظر إليها بالمجهر، حتى تلك التي تبدو لنا ملساء. فإذا نظرت إلى صورة بلورة الجرافيت المكبّرة بمجهر خاص يبيِّن السطوح على المستوى الذري (Scannig tunneling microscope) فسوف ترى نتوءات سطح البلورة. وعندما يتلامس سطحان فإن النتوءات البارزة من السطحين تتلامس وتتشكل بينها روابط مؤقتة. وهذا هو أصل الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي. وتفاصيل هذه العملية ما تزال غير معروفة، وهي قيد البحث في الفيزياء والهندسة.

ويربط معامل الاحتكاك الحركي بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية على النحو التالي:

قوة الاحتكاك الحركي: $F_k = \mu_k F_N$

قوة الاحتكاك الحركي تساوي حاصل ضرب معامل الاحتكاك الحركي في القوة العمودية

ومن جانب آخر فإن قوة الاحتكاك السكوني هي استجابة لقوة أخرى تحاول أن تجعل الجسم الساكن يبدأ حركته، فإذا لم يكن هناك قوة تؤثر في الجسم فإن قوة الاحتكاك السكوني تساوي صفرًا. أما إذا كان هناك قوة تحاول أن تسبب الحركة فإن قوة الاحتكاك السكوني تزداد لتصل إلى القيمة القصوى قبل أن تتغلب عليها القوة المؤثرة، ويبدأ الجسم بالحركة، وترتبط قوة الاحتكاك السكوني القصوى مع القوة العمودية بطريقة مشابهة لتلك التي ترتبط بها قوة الاحتكاك الحركي.

قوة الاحتكاك السكوني: $F_s \leq \mu_s F_N$

قوة الاحتكاك السكوني أقل من أو تساوي حاصل ضرب معامل الاحتكاك السكوني في القوة العمودية.

في معادلة قوة الاحتكاك السكوني القصوى يمثل الرمز μ_s **معامل الاحتكاك السكوني** بين السطحين. أما $\mu_s F_N$ فيمثل قوة الاحتكاك السكوني القصوى التي يجب التغلب عليها قبل بدء الحركة.

لاحظ أن كلًّا من معادلة الاحتكاك الحركي ومعادلة الاحتكاك السكوني تحتوي على مقادير القوى فقط، كما أنّ الزاوية بين القوتين F_N و F_f قائمة. ويبين **الجدول 1-1** معاملات الاحتكاك بين سطوح مختلفة.

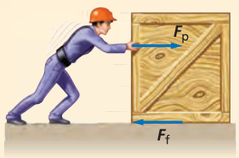
الجدول 1-1

معاملات الاحتكاك

السطح	μ_s	μ_k
مطاط فوق خرسانة جافة	0.80	0.65
مطاط فوق خرسانة رطبة	0.60	0.40
خشب فوق خشب	0.50	0.20
فولاذ فوق فولاذ جاف (بدون زيت)	0.78	0.58
فولاذ فوق فولاذ (مع الزيت)	0.15	0.06

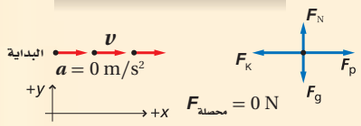
مثال 4

قوى احتكاك موازنة إذا دفعت صندوقًا خشبيًّا كتلته 25.0 kg على أرضية خشبية بسرعة منتظمة مقدارها 1.0 m/s فما مقدار القوة التي أثّرتَ بها في الصندوق؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القوى وارسم نظامًا إحداثيًّا.
- ارسم مخطط الحركة، موضحًا أن السرعة v منتظمة، و a = صفرًا.
- ارسم مخطط الجسم الحر.



المعلوم	المجهول
$m = 25.0\ kg$	$F_p = ?$
$v = 1.0\ m/s$	
$a = 0.0\ m/s$	
$\mu_k = 0.20$ (الجدول 1–1)	

2 إيجاد الكمية المجهولة

تكون القوة العمودية في الاتجاه الرأسي (y)، وليس هناك تسارع.

بالتعويض عن $F_g = mg$

$$F_N = F_g = mg$$
$$= (25.0\ kg)\ (9.80\ m/s^2)$$
$$= 245\ N$$

بالتعويض عن كل من m، g

تكون قوة الدفع في الاتجاه الأفقي (x)، وحيث إن السرعة منتظمة لا يكون هناك تسارع

بالتعويض عن كل من μ_k و m وكذلك g

$$F_k = \mu_k mg$$
$$= (0.20)\ (25.0\ kg)\ (9.80\ m/s^2)$$
$$= 49\ N$$
$$F_p = 49\ N \quad \text{نحو اليمين}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القوة بوحدة $kg.m/s^2$ أو (N).
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارة الموجبة مع المخطط.
- **هل الجواب منطقي؟** القوة منطقية لتحريك صندوق كتلته 25.0 kg.

مسائل تدريبية

20. يؤثر فتى بقوة أفقية مقدارها 36 N في زلاجة وزنها 52N عندما يسحبها على رصيف أسمنتي بسرعة منتظمة. ما معامل الاحتكاك الحركي بين الرصيف والزلاجة المعدنية؟ أهمل مقاومة الهواء.

21. تستقر زلاجة وزنها 52 N على أرضية يغطيها الثلج. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.12، وجلس شخص وزنه 650 N على الزلاجة فما مقدار القوة اللازمة لسحب الزلاجة بسرعة منتظمة؟

مثال صفي

سؤال يسحب طفل سيارة لعبة بوساطة خيط على أرضية خرسانة جافة بسرعة منتظمة. إذا كانت كتلة السيارة 1.56 kg، فما مقدار المركبة الأفقيّة للقوة التي يؤثر بها الطفل في السيارة؟

الإجابة

$$F_{محصلة} = ma = 0$$
$$F_{محصلة} = F_x - F_f$$
$$= ma = 0$$
$$F_x = F_f$$
$$F_x = \mu F_N = \mu\ mg$$
$$= (0.65)(1.56\ kg)(9.80\ m/s^2)$$
$$= 9.9\ N$$

المناقشة

سؤال ما الحالات التي يكون عندها معامل الاحتكاك الكبير بين سطحين مفيدًا؟

الجواب بعض الأمثلة: أحذية الركض على المضمار، وورق الصنفرة على الخشب، وكوابح السيارة على العجلات، وإطارات السيارة على الطريق.

مسائل تدريبية

20. 0.69

21. 84 N

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

الانزلاق المائي يُظهر الجدول 1 – 1 أنّ معامل الاحتكاك بين الإطارات المطاطية وبين خرسانة الطريق الرطبة أقلّ من قيمة معامل الاحتكاك عندما تكون الخرسانة جافة. وإذا كان هناك تجمع مائي على سطح الطريق تتشكّل طبقة من الماء بين الطريق والإطارات فلا يحدث تقريبًا أيّ تلامس بين الإطارات والطريق، وهكذا فإنّ الإطارات تتحرّك على طبقة من الماء. وبما أنّ معامل الاحتكاك بين المطاط والماء يساوي صفرًا تقريبًا، فمن المستحيل التوقف خلال مسافة قصيرة.

مثال صفي

سؤال في المثال الصفي السابق، إذا سحب الطفل السيارة بنصف القوة السابقة، فصف ما يحدث؟

الإجابة إذا كانت القوة الجديدة نصف القوة السابقة، فإنّ التسارع يساوي صفرًا ولن تتحرّك السيارة.

سؤال إذا سحب الطفل السيارة في الاتجاه الأفقي بقوة إضافيّة لقوته السابقة مقدارها 2 N، فما تسارع السيارة؟

الإجابة

$F_{محصلة} = ma$

$F_x - F_k = ma$

$a = \frac{F_x - F_k}{m} = \frac{11.9\ \text{N} - 9.9\ \text{N}}{1.56\ \text{Kg}}$

$= 1.3\ \text{m/s}^2$

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

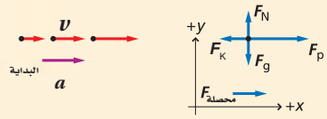
القوة الموازنة عند محاولة إيجاد القوة الموازِنة لقوتين، يقوم معظم الطلبة عادةً بإيجاد محصلة المتّجهين وتسميتها القوة الموازِنة. ولمساعدة الطلبة على تجنب الوقوع في هذا الخطأ، اسألهم: ما اتجاه تأثير القوة الموازِنة؟ ثمّ ذكّرهم بأنّ القوة الموازِنة متّجه له مقدار القوة المحصلة نفسه ولكنّه يخالفها في الاتجاه. م 2

مثال 5

قوى احتكاك غير موازنة في المثال 4 السابق، إذا تضاعفت القوة التي تؤثر بها في الصندوق الذي كتلته 25.0kg، فما تسارع الصندوق؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الحركة مبينًا v و a.
- ارسم مخطط الجسم الحر على أن تكون F_p ضعفي ما كانت عليه في المثال 4.



المعلوم	المجهول
$m = 25.0\ kg$ ، $\mu_K = 0.20$ $F_p = 2(49\ N) = 98\ N$	$a = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

تكون القوة العمودية في اتجاه محور y، وليس هناك تسارع على هذا المحور.

بالتعويض عن $F_g = mg$

$F_N = F_g = mg$

يتحرك الصندوق بتسارع في الاتجاه الأفقي (x)، لذا فإن القوى غير متساوية.

بالتعويض عن $F_{محصلة} = ma$

$F_{محصلة} = F_p - F_k$

$ma = F_p - F_k$

$a = \frac{F_p - F_k}{m}$

أوجد قيمة F_k.

بالتعويض عن $F_N = mg$

$F_k = \mu_k F_N$

$= \mu_k (mg)$

بالتعويض عن F_k في معادلة التسارع a

$a = \frac{F_p - \mu_k (mg)}{m}$

بالتعويض عن كل من m، F_p، μ_k، g

$a = \frac{98\ \text{N} - (0.20)\ (25.0\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)}{25.0\ \text{kg}}$

$= 2.0\ \text{m/s}^2$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التسارع بوحدة m/s^2.
- **هل للإشارات معنى؟** في هذا النظام الإحداثي يجب أن تكون الإشارة موجبة (التسارع في اتجاه القوة المحصلة).
- **هل الجواب منطقي؟** إذا استعملت نصف القوة المؤثرة فإن التسارع سيساوي صفرًا.

24

عند التعامل مع الحالات التي تتضمن قوى الاحتكاك ينبغي تذكر الأمور التالية:

أولاً: يؤثر الاحتكاك دائما في اتجاه يعاكس اتجاه الحركة (أو عندما يكون الجسم على وشك الحركة في حالة الاحتكاك السكوني).

ثانيًا: يعتمد مقدار قوة الاحتكاك على مقدار القوة العمودية بين السطحين، ولكن ليس من الضروري أن يعتمد على وزن أي من الجسمين.

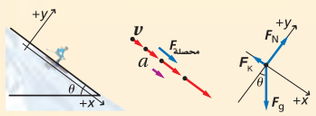
ثالثًا: حاصل ضرب معامل الاحتكاك السكوني في القوة العمودية يعطي القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني.

مثال 6

التزلج على منحدر يقف شخص كتلته 62 kg على زلاجة، ثم ينزلق إلى أسفل منحدر ثلجي يصنع زاوية 37° فوق الأفقي. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.15 ، فما سرعة الشخص بعد مرور 5.0 s من بدء الحركة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- كوّن نظامًا إحداثيًّا.
- ارسم مخطط الحركة مبينًا تزايد السرعة v وكل من a و $F_{\text{محصلة}}$ على محور x الموجب كما في **الشكل 11–1**.
- ارسم مخطط الجسم الحر.



المعلوم

$m = 62\ \text{kg}$, $\theta = 37°$

$\mu_k = 0.15$, $v_i = 0.0\ \text{m/s}$, $t = 5.0\ \text{s}$

المجهول

$a = ?$, $v_f = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

في اتجاه المحور y:

لا يوجد تسارع في اتجاه المحور (y)، لذا فإن $a_y = 0.0\ \text{m/s}^2$

$$F_{\text{محصلة}y} = ma_y = 0.0\ \text{N}$$

حل لإيجاد القوة العمودية F_N

F_{gy} سالبة لأنها في اتجاه محور y السالب

بالتعويض عن $F_{\text{محصلة}y} = 0.0\ N$ ، $F_{gy} = mg\cos\theta$

$$F_N - F_{gy} = F_{\text{محصلة}y}$$

$$F_N = F_{gy} = mg\,(\cos\theta)$$

في اتجاه المحور x:

حل لإيجاد التسارع a.

F_k سالبة لأنها في اتجاه محور x السالب للنظام الإحداثي

بالتعويض عن كل من F_k , F_{gx} , $F_{\text{محصلة}x}$

بالتعويض عن $a = a_x$, $F_N = mg\cos\theta$

$$F_{\text{محصلة}x} = F_{gx} - F_k$$

مثال صفي

سؤال تنزلق زلاجة من السكون من أعلى تلة مغطاة بالثلج، فإذا كانت زاوية ميل التلة 30.0° فوق الأفقي ومعامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.18 ، فما مقدار تسارع الزلاجة؟

الإجابة

$$F_{gx} - F_{kx} = ma_x$$

$$mg\,(\sin\theta) - \mu_k mg(\cos\theta) = ma_x$$

$$a_x = g(\sin\theta) - \mu_k g(\cos\theta)$$

$$= (9.80\ m/s^2)(\sin 30.0°) -$$

$$0.18\ (9.80\ \text{m/s}^2)(\cos 30.0°)$$

$$= 3.4\ \text{m/s}^2$$

نشاط

عرض الاحتكاك والقوة العمودية اطلب إلى أحد الطلبة أن يدفع صندوقًا فارغًا على أرضيّة أفقية مستوية بسرعة منتظمة، ثمّ ضع أثقالًا في الصندوق واطلب إليه دفع الصندوق مرة أخرى على الأرضيّة نفسها. واطلب اليه أن يقارن بين القوة اللازمة لدفع الصندوق في الحالتين. واسأل الطلبة: لماذا تكون القوة اللازمة أكبر عند دفع الصندوق في الحالة الثانية؟ تزداد القوة اللازمة؛ لأنّ زيادة القوة العمودية تزيد من قوة الاحتكاك. م2 **حسي - حركي**

تعزيز الفهم

عرض الاحتكاك السكوني مقابل الاحتكاك الحركي استعمل ميزانًا نابضيًّا ملائمًا للعروض العملية بحيث يتمكّن الطلبة من قراءة تدريجه، وذلك عندما تسحب به كتابًا على سطح طاولة. وضّح لهم أنّ القوة اللازمة لبدء حركة الكتاب أكبر بكثير من القوة اللازمة لاستمرار حركته. اطلب إلى الطلبة توضيح مشاهداتهم بدلالة قوتي الاحتكاك السكوني والحركي. يمكن إجراء هذا النشاط في مجموعات صغيرة باستعمال موازين نابضيّة بتدريجات صغيرة. م2 **بصري – مكاني**

تطبيق الفيزياء

تختلف معاملات الاحتكاك بين المواد باختلاف هذه المواد، وكذلك تختلف أيضًا قابلية الالتصاق بين المواد، ولمنع الكتابة على الجدران في الأماكن العامة يتم طلاء سطوحها بمادّة تُشكّل طبقة يستحيل معها الكتابة بأقلام الحبر أو الرصاص أو أقلام التلوين الدائمة وذلك لأن قوى التلاصق بينها وبين الجدران تكون ضعيفة.

مسائل تدريبية

22. 74 N

23. 0.15

24. 5.5 m

25. 66 m، لذا فإنّه يصطدم بالفرع قبل أن يتمكّن من التّوقف.

26. 5.2 m /s²

27. 0.75

$ma_x = mg(\sin\theta) - \mu_k F_N$

بقسمة كلا الطرفين على m

$ma_x = mg(\sin\theta) - \mu_k mg(\cos\theta)$

$a = g(\sin\theta - \mu_k \cos\theta) = (9.80\ \text{m/s}^2)(\sin 37° - (0.15)\cos 37°)$

$a = 4.7\ \text{m/s}^2$

بما أن v_i و a و t قيمها معلومة، لذا يمكن استعمال المعادلة التالية:

$v_f = v_i + at$

بالتعويض عن كل من t, a, v_i

$= 0.0 + (4.7\ \text{m/s}^2)(5.0\ \text{s})$

$= 24\ \text{m/s}$

3 تقويم الجواب:

- **هل الوحدات صحيحة؟** يبين تحليل الوحدات أن وحدة v_f هي m/s، ووحدة a هي m/s^2.
- **هل للإشارات معنى؟** بما أن v_f و a كلتاهما في اتجاه x الموجب، لذا فإن الإشارات صحيحة.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة كبيرة لأن الانحدار كبير (37°)، إضافةً إلى أنّ الاحتكاك بين الزلاجة والثلج صغير.

مسائل تدريبية

22. يدفع عامر صندوقًا يحتوي على كتب من مكتبه إلى سيارته. فإذا كان وزن الصندوق والكتب معًا 134 N ومعامل الاحتكاك السكوني بين سطح الأرض والصندوق 0.55، فما مقدار القوة التي يجب أن يدفع بها عامر الصندوق حتى يبدأ في الحركة؟

23. ساعدت والدك لتحرّكا خزانة كتب كتلتها 41 kg في غرفة المعيشة. فإذا دُفعت الخزانة بقوة 65 N وتسارعت بمعدل $0.12\ \text{m/s}^2$، فما معامل الاحتكاك الحركي بين الخزانة وأرضية الغرفة؟

24. تسارَع قرص على أرضية خرسانية طولها 15.8 m حتى وصلت سرعته 5.8 m/s، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين القرص والأرضية هو 0.31، فما المسافة التي يقطعها القرص قبل أن يتوقف؟

25. عندما كان عبد الله يقود سيارته في ليلة ممطرة بسرعة 23 m/s شاهد فرع شجرة ملقًى على الطريق فضغط على المكابح. فإذا كانت المسافة بين السيارة وبين الفرع 60.0 m، وكان معامل الاحتكاك الحركي بين إطارات السيارة والطريق 0.41، فهل تتوقف السيارة قبل أن تصطدم بالفرع، علمًا بأن كتلة السيارة 2400 kg؟

26. ينزلق شخص كتلته 45 kg إلى أسفل سطح مائل يصنع زاوية 45° فوق الأفقي، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الشخص والسطح يساوي 0.25، فما مقدار تسارعه؟

27. في المثال رقم 6 إذا ازداد الاحتكاك بين الشخص والثلج فجأة إلى أن أصبحت القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا بعد مرور 5.0 s من بدء حركته، فما معامل الاحتكاك الحركي الجديد؟

1-2 مراجعة

28. **احتكاك** قارن بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.

29. **احتكاك** انزلق صندوق كتلته 25 kg على أرضية صالة رياضية ثم توقف. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق وأرضية الصالة 0.15، فما مقدار قوة الاحتكاك التي أثرت فيه؟

30. **قوة** إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين طاولة كتلتها 40.0 kg وسطح الأرض يساوي 0.43، فما أكبر قوة أفقية يمكن أن تؤثر في الطاولة دون أن تحركها؟

31. **تسارع** انتقل سامي إلى شقة جديدة فوضع خزانته على أرضية مؤخرة الشاحنة. ما القوة التي تجعل الخزانة تتسارع عندما تتسارع الشاحنة نحوَ الأمام؟ ومتى تنزلق الخزانة؟ وفي أي اتجاه؟

32. **القوى** من طرائق تخليص سيارتك من الوحل أن تربط طرف حبل غليظ بالسيارة وطرفه الآخر بشجرة، ثم يُسحب الحبل من نقطة المنتصف بزاوية 90° بالنسبة إلى الحبل. ارسم مخطط الجسم الحر، ثم وضح لماذا أنتجت القوة الصغيرة التي أثرت فيها بالحبل قوة كبيرة على السيارة؟

33. **التسارع** يُسحب صندوقٌ كتلته 63 kg بحبل على سطح مائل يصنع زاوية 14.0° فوق الأفقي. فإذا كان الحبل يوازي السطح، والشد فيه 512 N، ومعامل الاحتكاك الحركي 0.27، فما مقدار تسارع الصندوق واتجاهه؟

34. **التفكير الناقد** هل يمكن أن يكون لمعامل الاحتكاك قيمة، بحيث يتمكّن متزلج من الوصول إلى قمة تل بسرعة منتظمة؟ ولماذا؟ (مع افتراض عدم وجود قوى أخرى تؤثر فيه إلا وزن المتزلج).

3. التقويم

التحقّق من الفهم

القوى الموازِنة اسأل الطلبة: كيف يمكن التأثير في جسم بقوتين مقدار إحداهما 6.0 N، والأخرى 8.0 N بحيث تكون القوة المحصلة 10.0 N؟ تُؤثر القوتان في الجسم بحيث تكون الزاوية بينهما 90°، ارسم مخطّطًا بيانيًّا لهاتين القوتين، ثمّ اسأل: كيف يمكن التأثير بقوة ثالثة لكي يحدث الاتزان؟ يجب أن يكون مقدار القوة الثالثة 10.0 N في اتجاه يعاكس اتجاه القوة المحصلة. ذكّر الطلبة بأنّ القوة الثالثة هي القوة الموازِنة. م2 منطقي - رياضي

إعادة التدريس

تحليل المتّجه إحدى أكثر طرائق تحليل المتّجهات شيوعًا هي تلك المستعملة في تحليل وزن جسم ما موضوع على سطح مائل. أعد التحليل خطوة خطوة مع توضيح اتجاه كل مركّبة مبينًا أن كلًّا من المركّبتين لا يمكن أن تكون أكبر من وزن الجسم. قد يساعدك رسم مثلث كبير على ذلك.

توضيح الاحتكاك السكوني وضّح للطلبة أنّ مقدار قوة الاحتكاك السكوني يمكن أن يتغير، وأن معامل الاحتكاك السكوني يعطي القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني. اسحب جسمًا ثقيلاً بقوى مختلفة مستعملاً ميزانًا نابضيًّا ملائمًا، واطلب إلى الطلبة وصف التغير في القوى. م2

1-2 مراجعة

28. يؤثر كل منهما في اتجاه يعاكس حركة الجسم (عندما يكون متحركًا أو على وشك الحركة)، وينتجان عن احتكاك سطحين مع بعضهما بعضًا إلا أن الاحتكاك السكوني ينشأ عندما لا يكون هناك حركة نسبية بين سطحين، أمّا الاحتكاك الحركي فينتج عندما يكون هناك حركة نسبية بينهما. ومعامل الاحتكاك السكوني بين سطحين أكبر من معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين نفسيهما.

29. 37 N

30. 170 N

31. إنّ الاحتكاك بين الخزانة وأرضيّة صندوق الشاحنة يجعل الخزانة تتسارع إلى الأمام. وتنزلق الخزانة إلى الخلف إذا كانت القوة التي تتسبب في تسارعها أكبر من $\mu_s mg$.

32. توضّح المتّجهات المبينة في مخطّط الجسم الحرّ أن تأثير قوة عموديّة، مهما كانت صغيرة، على الحبل تؤدي إلى زيادة قوة الشدّ فيه إلى الحدّ الذي يمكن بوساطته التغلب على قوة الاحتكاك. وحيث إنّ $T = \frac{F}{2 \sin \theta}$، فإنّ قيم صغيرة لـ θ تؤدي إلى زيادة كبيرة في قوة الشدّ (حيث تمثّل θ الزاوية بين الموضع الابتدائي للحبل والموضع الذي أزيح إليه).

33. $3.2\ m/s^2$ والاتجاه إلى أعلى السطح المائل.

34. لا؛ لأنّ اتجاه قوة الاحتكاك في عكس اتجاه حركة المتزلج، إضافةً إلى أن مركبة قوة الوزن الموازية للتل تكون في اتجاه أسفل التل وليس إلى أعلاه.

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة.

المهارات العمليّة القياس باستعمال النظام الدولي، واستعمال الأرقام، وجمع البيانات وتنظيمها، والتقدير الكمي.

احتياطات السلامة تأكد من أنّ الملزمة مثبتة إلى الطاولة بإحكام. كما يجب أن يكون الطلبة حذرين في أثناء استعمال الكتل الخشبيّة خوفًا من احتوائها على تشققات.

الموادّ البديلة يمكن استبدال السطح الخشبي بورق الصنفرة بعد تثبيته على سطح متحرّك مثل الورق المقوى، كذلك فإن أيّ جسم جوانبه مستوية يمكن أن يكون بديلاً عن الكتل الخشبيّة.

استراتيجيّات التدريس اطلب إلى الطلبة التأثير فقط بالقوة اللّازمة لسحب الكتلة بسرعة منتظمة. ومن المهم ألاّ يُسارع الطلبة الكتلة حالما تبدأ في الحركة.

عيّنة بيانات

مادّة الكتلة = خشب

مادّة السطح = خشب

جدول البيانات 1

F_N(N)	قوة الاحتكاك السكوني F_s(N)			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	القيمة المتوسطة
2.1	1.5	1.7	1.4	1.5

جدول البيانات 2

F_N(N)	قوة الاحتكاك الحركي F_k(N)			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	القيمة المتوسطة
2.10	0.85	0.65	0.75	0.75

جدول البيانات 3

F_N(N)	F_s(N)	F_k(N)	μ_s	μ_k
2.10	1.53	0.75	0.73	0.36

جدول البيانات 4، الزاوية θ عندما يبدأ الانزلاق على المستوى المائل

θ	tan θ
21^0	0.38

مختبر الفيزياء

معامل الاحتكاك

تنشأ قوتا الاحتكاك السكوني والحركي بين سطحين متلامسين؛ فالاحتكاك السكوني قوة يجب أن يُتغلَّب عليها ليبدأ الجسم في الحركة. أما الاحتكاك الحركي فيحدث بين جسمين متحركين أحدهما بالنسبة إلى الآخر. وتحسب قوة الاحتكاك الحركي F_k بالعلاقة $F_k = \mu_k F_N$ ، حيث يمثل μ_k معامل الاحتكاك الحركي، و F_N القوة العمودية المؤثرة في الجسم. أمّا القيمة القصوى للاحتكاك السكوني F_s فتُحسب باستعمال العلاقة $F_s = \mu_s F_N$ حيث يمثل μ_s معامل الاحتكاك السكوني، و F_N القوة العمودية المؤثرة في الجسم. إن القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني التي يجب أن يتغلب عليها الجسم حتى يبدأ حركته هي $\mu_s F_N$. فإذا أثرت بقوة ثابتة F_p لسحب جسم على سطح أفقي بسرعة منتظمة فإن قوة الاحتكاك التي تعارض حركة الجسم تساوي في المقدار القوة المؤثرة F_p ، ولكنها تعاكسها في الاتجاه، أيْ أن $F_p = F_k$. وعندما يكون الجسم على سطح أفقي والقوة المؤثرة فيه أفقية؛ فإن القوة العمودية تساوي وزن الجسم في المقدار وتعاكسه في الاتجاه.

سؤال التجربة

كيف يمكن تحديد معاملي الاحتكاك السكوني والحركي لجسم على سطح أفقي؟

الأهداف

- **تقيس** القوة العمودية وقوة الاحتكاك المؤثرة في جسم على وشك الحركة، وعندما يكون متحركًا.
- **تستعمل** الأرقام لحساب μ_s و μ_k.
- **تقارن بين** قيم μ_s و μ_k.
- **تحلل** نتائج الاحتكاك الحركي.
- **تقدّر** الزاوية التي يبدأ عندها الجسم في الانزلاق على سطح مائل.

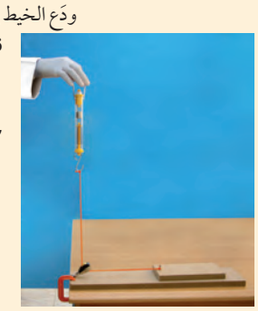
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

بكرة، ملزمة، شريط لاصق، سطح خشبي، خيط طوله 1 m، ميزان نابضي، قطعة خشبية.

الخطوات

1. افحص الميزان النابضي للتحقق من أن قراءته تكون صفرًا عندما يُعلّق بصورة رأسية، وإذا لم تكن كذلك فانتظر تعليمات المعلم لجعل القراءة صفرًا.
2. استعمل الملزمة لربط البكرة مع حافة الطاولة والسطح الخشبي.
3. اربط طرف الخيط بخطاف الميزان النابضي وطرفه الآخر بالقطعة الخشبية.
4. قِسْ وزن القطعة الخشبية، وسجّل القراءة لتمثل القوة العمودية في جداول البيانات 1 و 2 و 3 .
5. فك طرف الخيط المربوط بخطاف الميزان النابضي، ودَع الخيط يمر خلال البكرة، ثم أعد ربط طرفه بالميزان.
6. حرك القطعة الخشبية بعيدًا عن البكرة إلى الحد الذي يسمح به الخيط مع المحافظة على بقاء القطعة على السطح الخشبي.
7. اجعل الميزان النابضي رأسيًّا بحيث تتشكل زاوية قائمة عند البكرة بين قطعة الخشب والميزان. ثم اسحب الميزان ببطء إلى أعلى، وراقب القوة اللازمة لجعل القطعة الخشبية تبدأ في الانزلاق، وسجّل هذه القيمة على أنها قوة الاحتكاك السكوني في جدول البيانات 1 .



جدول المواد	
مادة الجسم	
مادة السطح	

جدول البيانات 1				
$F_N(N)$	قوة الاحتكاك السكوني F_s (N)			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط

جدول البيانات 2				
$F_N(N)$	قوة الاحتكاك الحركي F_k (N)			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط

8. كرر الخطوتين 6 و 7 مرتين.
9. عندما تبدأ القطعة في الانزلاق اسحب بدرجة كافية لجعلها تتحرك بسرعة منتظمة على السطح الأفقي. سجّل هذه القوة على أنها قوة الاحتكاك الحركي في الجدول رقم 2.
10. كرر الخطوة 9 مرتين.
11. ضع القطعة عند نهاية السطح ثم ارفعه من جهة القطعة ببطء حتى يصبح مائلاً. وانقر القطعة برفق حتى تتحرك وتتغلب على قوة الاحتكاك السكوني. وإذا توقفت القطعة فأعدها إلى أعلى السطح المائل، وكرر الخطوة مرة أخرى. استمر في زيادة الزاوية θ المحصورة بين السطح المائل والأفقي، وانقر القطعة حتى تنزلق بسرعة منتظمة إلى أسفل السطح، وسجل الزاوية θ في جدول البيانات 4 .

التحليل

1. أوجد القيمة المتوسطة لقوة الاحتكاك السكوني $F_{s_{\text{متوسط}}}$ من المحاولات الثلاث، وسجّل النتيجة في العمود الأخير لجدول البيانات 1 وفي جدول البيانات 3.
2. أوجد القيمة المتوسطة لقوة الاحتكاك الحركي F_k من المحاولات الثلاث، وسجّل النتيجة في العمود الأخير لجدول البيانات 2 وفي جدول البيانات 3 .
3. استعمل البيانات التي في الجدول رقم 3 لحساب معامل الاحتكاك السكوني μ_s وسجّل قيمته في الجدول نفسه.

جدول البيانات 3				
F_N(N)	F_s (N)	F_k (N)	μ_s	μ_k

جدول البيانات 4 (θ الزاوية عندما يبدأ الجسم الانزلاق)	
θ	$\tan\theta$

4. استعمل البيانات التي في الجدول رقم 3 لحساب معامل الاحتكاك الحركي μ_k، وسجّل قيمته في الجدول نفسه.
5. احسب $\tan\theta$ للزاوية الواردة في جدول البيانات رقم 4.

الاستنتاج والتطبيق

1. **قارن** اختبر قيم μ_s و μ_k التي حصلت عليها. وتحقق من النتائج.
2. **استخدام النماذج** ارسم مخطط الجسم الحر موضحًا القوى المؤثرة في القطعة الخشبية عندما توضع على السطح المائل بزاوية θ فوق الأفقي. وتحقق أن المخطط يتضمن القوة الناشئة عن الاحتكاك.
3. ما الذي يمثله $\tan\theta$ اعتمادًا على مخططك، مع الأخذ في الحسبان أن الزاوية θ هي الزاوية التي يبدأ عندها الجسم في الانزلاق؟

التوسع في البحث

كرر التجربة باستعمال سطوح أخرى ذات خصائص مختلفة.

الفيزياء في الحياة

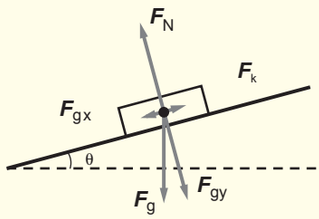
إذا ذهبت في رحلة إلى متنزه عين عذاري، وأردت التزلج على السطح المائل الموجود فيها، ورغبت في تحديد معامل الاحتكاك الحركي بين جسمك والسطح، فكيف يمكنك القيام بذلك؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن الاحتكاك ارجع إلى الموقع الالكتروني
www.obeikaneducation.com

التحليل

1. الإجابات في جدولي البيانات 1 و 3
2. الإجابات في جدولي البيانات 2 و 3
3. الإجابة في جدول البيانات 3
4. الإجابة في جدول البيانات 3
5. الإجابة في جدول البيانات 4

الاستنتاج والتطبيق

1. يستنتج الطلبة من خبراتهم اليومية ومشاهداتهم على الأجسام المتحركة أنّ القوة اللازمة لبدء حركة جسم ما تكون أكبر من القوة اللازمة للمحافظة عليه متحركًا. لذا فإنّ قيمة μ_s أكبر من قيمة μ_k، أي أنّ $\mu_s > \mu_k$.
2. 

3. تمثّل قيمة $\tan\theta$ معامل الاحتكاك الحركي لأنّ

$$\tan\theta = \frac{F_k}{F_{gy}} = \frac{F_k}{F_N} = \mu_k$$

التوسّع في البحث

ستختلف الإجابات باختلاف الموادّ المستعملة، على أن تكون قيم μ في قاعة الصف ما بين صفر وواحد.

الفيزياء في الحياة

بما أنّ $\mu_k = \tan\theta$ ، فإنه يمكن تحديد معامل الاحتكاك الحركي بمعرفة زاوية ميل السطح المائل.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية وزع الطلبة في مجموعات واطلب إليهم اختيار سطوحًا وموادّ مختلفة لمقارنة نتائجهم بقيم μ الواردة في هذا الفصل. يحدّد الطلبة كيفية قياس القوى المختلفة من خلال سحب الكتلة على السطح، ويستعملون البيانات التي حصلوا عليها لتحديد معامل الاحتكاك.

الخلفيّة العلميّة

من المناسب هنا مناقشة السلوك وعلم وظائف الأعضاء؛ وذلك لأنّهما يحدّدان كيفية إدراكنا لحركة أجسامنا وتسارعها، ومن المهم التأكيد على أنّ المواضيع التي تناقش السلوك وعلم وظائف الأعضاء وتفصيلاتها هي مواضيع معقدة وغير مفهومة أحيانًا وهي ما زالت قيد البحث.

استراتيجيّات التدريس

- أشرك الطلبة في مناقشة حول كيفيّة إدراكنا للحركة والقوة والتسارع عندما تؤثّر في أجسامنا، وهذه ليست مهمة بسيطة؛ لأنّها تتطلب اختبارًا موضوعيًّا للأحاسيس التي تلازمنا منذ الولادة.
- استعمل صورة أو مخطّطًا بيانيًّا لعربة دوارة في مدينة ألعاب، واطلب إلى الطلبة وصف القوى التي تؤثّر فيها عند النقاط المختلفة على طول المسار الذي تسلكه.

نشاط

نظام رد الفعل الهيكلي في الجسم اطلب إلى الطلبة البحث عن آخر ما توصّل إليه العلماء في دراسة فهم نظام التوازن (الأذن الداخلية) وأنظمة ردود الفعل الهيكلية الأخرى في الجسم ومعرفة كيف تساعدنا هذه الأنظمة على حفظ توازن الجسم. حيث تمكننا هذه الأجهزة من الإحساس بالمكان والاتجاه وحركة الجسم وأعضائه، واطلب إلى الطلبة المقارنة بين نتائج دراستهم.

لماذا تبعث الأفعوانية على البهجة؟ إن ركوب الأفعوانية لا يبعث على السرور لولا القوى المؤثرة في العربة والراكب. ما القوى المؤثرة في راكب العربة؟ تؤثر قوة الجاذبية في الراكب وفي العربة إلى أسفل. كما يؤثر مقعد العربة في الراكب في الاتجاه المعاكس. وعندما تنعطف العربة يتأثر الراكب بقوة في الاتجاه المعاكس. وهناك قوى أخرى ناتجة عن احتكاك الراكب بالمقعد، وجانب العربة بقضيب الحماية.

تنتج المتعة التي تعتري راكب الأفعوانية عن القوى المؤثرة فيه وردود فعله على المنبهات المرئية.

معامل القوة يهتم مصممو الأفعوانية بمقدار القوى المؤثرة في الراكب، ويصممونها حتى تهز القوى الراكب دون أن تؤذيه أو تزعجه. ويقيس المصممون مقدار القوى المؤثرة في الراكب من خلال معامل القوة الذي يساوي حاصل قسمة القوة التي يؤثر بها المقعد في الراكب مقسومًا على وزنه. افترض أن وزن الراكب 600 N، فإذا كان الراكب أسفل التل فقد يكون معامل القوة 2. وهذا يعني أن الراكب يشعر أسفل التل أن وزنه ضعف وزنه الحقيقي، أيْ 1200 N. وعلى العكس من ذلك يشعر الشخص عند القمة وكأن وزنه نصف وزنه الحقيقي. وهكذا فإن المصممين يولّدون الإثارة بتغيير الوزن الظاهري للراكب.

عوامل الإثارة يعالج مصممو الأفعوانيات الطريقة التي تجعل الجسم يشعر بالإثارة. فمثلاً تتحرك الأفعوانية فوق أول التل ببطء شديد إلى أن تخدع الراكب، فيشعر أن التل أعلى كثيرًا من حقيقته. تشعر أعضاء الأذن الداخلية بموقع الرأس في حالتي سكونه وحركته.

وتساعد هذه الأعضاء على اتزان الجسم بتزويد الدماغ بالمعلومات، فيرسل الدماغ بدوره رسائل عصبية إلى العضلات لتحقيق الاتزان. ونظرًا إلى التغير المستمر في موقع الراكب خلال الأفعوانية ترسل الأعضاء رسائل متضاربة إلى الدماغ، فتتمدد العضلات وتتقلص خلال الرحلة، وتدرك أنك تتحرك بسرعة كبيرة من خلال مشاهدتك الأجسام التي تمر بالقرب منك بسرعة كبيرة.

لذا يستغل المصممون المناظر المحيطة بالمنعطفات والانحناءات والأنفاق لإعطاء الراكب قدرًا كبيرًا من المشاهد المثيرة.

وفقدان التوازن جزء من إثارة المتحمسين. ولجذب المزيد من الزوار تصمم متنزهات التسلية باستمرار أفعوانيات تزيد من مستوى الإثارة. وقد تؤدي المثيرات ورسائل الأذن الداخلية إلى الغثيان.

التوسع

1. **قارن** بين تجربتك في ركوب الأفعوانية في المقاعد الأمامية وفي المقاعد الخلفية، وفسر إجابتك من خلال القوى التي تؤثر فيك.
2. **تفكير ناقد** تستعمل الأفعوانيات القديمة نظام السلاسل والتروس لرفع الأفعوانية إلى قمة التل الأول، أمّا الحديثة منها فتستعمل النظام الهيدروليكي. ابحث في هذين النظامين مبينًا مزايا كل منهما وعيوبه.

التوسع

1. يشعر كل راكب بالتأثيرات نفسها عند النقاط نفسها على طول الرحلة، فالركاب الذين يكونون في الخلف يتأثرون بقوى تتزايد بشكل تراكمي؛ نظرًا إلى تسارع العربات الأمامية. ولذا فعند قمة تلةٍ ما، تتسارع العربة الأخيرة بمقدار أكبر من تسارع العربة الأولى، ويشعر الركاب في العربة الخلفية بمقدار أكبر من انعدام الوزن.
2. يتميز النظام الهيدروليكي أنّه يشغل حيّزًا صغيرًا، وتؤثر القوة في هذا النظام بدقة، ويمكن أيضًا الوصول إلى السرعة القصوى في زمن قصير. ولكن يحتاج هذا النظام إلى نظام كوابح أكثر فعالية من غيره.

1–1 المتجهات Vectors

المفردات

- المركّبات
- القوة الموازنة
- تحليل المُتّجه

الأفكار الرئيسة

- يمكن استعمال نظرية فيثاغورس لتحديد مقدار المتجه المحصل عندما تكون الزاوية بين المتجهين 90°.

$$R^2 = A^2 + B^2$$

- يستعمل قانون جيب التمام وكذلك قانون الجيب لإيجاد مقدار محصلة متجهين إذا كان مقدار الزاوية بينهما لايساوي 90°.

$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta$$
$$\frac{R}{\sin\theta} = \frac{A}{\sin a} = \frac{B}{\sin b}$$

- تُسمى القوة التي تؤثر في جسم لتجعله يتزن القوةَ الموازنة.
- يمكن الحصول على القوة الموازنة بإيجاد القوة المحصلة لمجموعة القوى المؤثرة في الجسم، ثم التأثير بقوة تساويها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.
- مركّبات المتجه عبارة عن متجهات تسقط على المحاور.

$$\cos\theta = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{A_x}{A} \Rightarrow A_x = A\cos\theta$$
$$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{A_y}{A} \Rightarrow A_y = A\sin\theta$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$$

- يمكن جمع المتجهات من خلال جمع المركّبات التي في اتجاه المحور x وفي اتجاه المحور y بشكل منفصل.

1–2 الاحتكاك والحركة Friction and motion

المفردات

- الاحتكاك الحركي
- الاحتكاك السكوني
- معامل الاحتكاك الحركي
- معامل الاحتكاك السكوني

الأفكار الرئيسة

- الجسم الموجود على سطح مائل أملس له مركّبة وزن في اتجاه يوازي السطح تجعل الجسم يتسارع في اتجاه أسفل السطح.
- تؤثر قوة الاحتكاك عندما يتلامس سطحان.
- تتناسب قوة الاحتكاك مع القوة العمودية.
- قوة الاحتكاك الحركي تساوي معامل الاحتكاك الحركي مضروبًا في القوة العمودية.

$$F_k = \mu_k F_N$$

- قوة الاحتكاك السكوني أقل من أو تساوي معامل الاحتكاك السكوني مضروبًا في القوة العمودية.

$$F_s \le \mu_s F_N$$

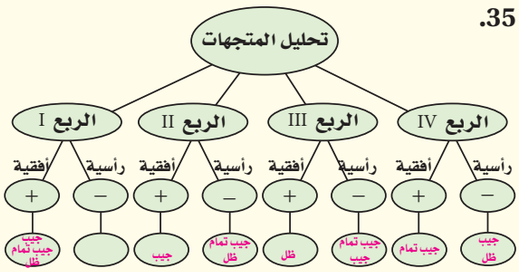
الأفكار الرئيسة

يمكن أن يستعمل الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
قم بزيارة الموقع الإلكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

خريطة المفاهيم

35.



إتقان المفاهيم

36. ارسم مستعملًا مقياس رسم مناسب سهمين يُمثلان الكميتين المتجهتين، اجمع بطريقة الرأس مع الذيل، ثم ارسم سهمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتّجه الأخير، ثمّ قس طول هذا السهم وحدّد اتجاهه.

37. يمكن تحريك المتّجه دون تغيير طوله أو اتجاهه.

38. المحصلة هي الجمع الاتجاهي لمتجهين أو أكثر، وهي تمثل الكمية الناتجة من إضافة المتجهات إلى بعضها بعضًا.

39. لا تتأثّر.

40. اعكس اتجاه المتّجه الثاني (المطروح) ثمّ اجمعهما.

41. تُقاس الزاوية في اتجاه عكس حركة عقارب الساعة من المحور x +.

42. لا يحدث أيّ اختلاف لأن قوة الاحتكاك لا تعتمد على مساحة السطح.

43. **a.** المركبة الموازية للسطح تزداد.

b. المركبة العمودية على السطح تنقص، وكذلك قوة الاحتكاك تنقص.

تطبيق المفاهيم

44. 10 mm

45. تزداد المحصلة.

46. المركّبة المتّجهة شمالًا (y) هي الأطول.

إتقان حل المسائل

47. **a.** $E_x = 3.5$، $E_y = 3.5$

b. $A_x = -3$، $A_y = 0$

c. $B_x = 3$، $B_y = 0$

d. $D_x = 4$ ، $D_y = 0$

e. $C_x = 6$، $C_y = 0$

f. $F_x = -3.5$، $F_y = -3.5$

48. **a.** انظر دليل حلول المسائل.

b. انظر دليل حلول المسائل.

c. انظر دليل حلول المسائل.

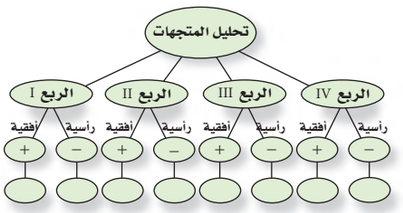
d. انظر دليل حلول المسائل.

49. 1.3 m/s

50. 79 N في اتجاه يصنع زاوية 54° فوق الأفقي.

خريطة المفاهيم

35. أكمل الخريطة أدناه لتحديد إشارة كل من المركبتين الأفقية والرأسية للمتجه في كل ربع.



إتقان المفاهيم

36. كيف يمكن جمع متجهين بيانيًّا؟

37. أي الإجراءات التالية يُسمح بها عند جمع متجه مع متجه آخر بطريقة الرسم: تحريك المتجه، تدوير المتجه، تغيير طول المتجه؟

38. اكتب بكلماتك الخاصة تعريفًا واضحًا لمحصلة متجهين أو أكثر. فسر ما تمثله هذه المحصلة.

39. كيف تتأثر الإزاحة المحصلة عند جمع متجهي إزاحة بترتيب مختلف؟

40. وضح الطريقة التي يمكن أن تستعملها لطرح كميّتين متجهتين بيانيًّا.

41. وضح كيف يمكن تحديد زاوية ميل متجه أو اتجاهه بالنسبة إلى محاور نظام إحداثي.

42. **سيارات** هل يزداد احتكاك إطار السيارة بالطريق عند تغير عرض الإطار بالزيادة أو النقصان؟ وضح ذلك مستعملاً معادلتي الاحتكاك اللتين درستهما في هذا الفصل.

43. وضع كتاب على سطح مائل. صف ما يحدث لمركبة وزن الكتاب الموازية للسطح، وقوة الاحتكاك على الكتاب بزيادة الزاوية التي يميل بها السطح على الأفقي.

a. أي مركبتي القوة تزداد بزيادة الزاوية؟

b. أي مركبتي القوة تقل بزيادة الزاوية؟

تطبيق المفاهيم

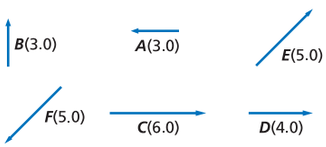
44. رُسم متجه طوله 15 mm ليمثل سرعة مقدارها 30 m/s، كم يجب أن يكون طول متجه يُرسم ليمثل سرعة مقدارها 20 m/s؟

45. كيف تتغير الإزاحة المحصلة؛ عندما تزداد الزاوية بين متجهين من 0° إلى 180°؟

46. **السفر بالسيارة** سيارة سرعتها 50 km/h تسير في اتجاه 60° شمال الشرق. تم اختيار نظام إحداثي يشير فيه محور x الموجب إلى اتجاه الشرق ومحور y الموجب إلى اتجاه الشمال. أي مركّبتي متجه السرعة أكبر: التي في اتجاه المحور x، أم التي في اتجاه المحور y؟

إتقان حل المسائل

47. أوجد المركّبة الأفقية والمركبة العمودية للمتجهات المبينة في **الشكل 15–1**.



الشكل 15–1

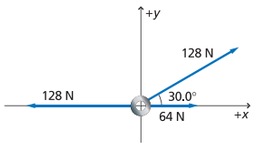
48. أوجد بطريقة الرسم مجموع كل زوجين من المتجهات التالية، علمًا بأن مقدار كل متجه واتجاهه مبينان في **الشكل 15–1**.

a. A و D **b.** C و D

c. A و C **d.** E و F

49. **سرعة** ألقى أحمد بطاقة، فانزلقت على سطح الطاولة مسافة 0.35 m قبل أن تتوقف. فإذا كانت كتلة البطاقة 2.3 g، ومعامل الاحتكاك الحركي بينها وبين سطح الطاولة 0.24، فما السرعة الابتدائية للبطاقة؟

50. ما القوة المحصلة التي تؤثر في الحلقة المبينة في **الشكل 16–1**؟



الشكل 1–16

51. **الطريق إلى المنزل** يشير مستقبل جهاز نظام تحديد المواقع العالمي إلى أن منزلكَ يبعد 15.0 km في اتجاه يصنع زاوية 40.0° شمال الغرب، ولكن الطريق الوحيد المتاح أمامك للوصول إلى المنزل هو في اتجاه الشمال. فإذا سلكت هذا الطريق وتحركت مسافة 5.0 km، فما المسافة التي يجب أن تقطعها بعد ذلك حتى تصل إلى منزلك؟ وفي أي اتجاه تسير؟

52. يتزن جسم تحت تأثير ثلاث قوى، إذ تؤثر القوة الأولى 33.0 N في اتجاه يصنع زاوية 90.0° بالنسبة إلى المحور x، أما القوة الثانية 44.0 N فتؤثر في اتجاه يصنع زاوية 60.0° بالنسبة إلى المحور x. ما مقدار القوة الثالثة واتجاهها؟

53. يُسحب صندوق كتلته 225 kg أفقيًّا تحت تأثير قوة مقدارها 710 N، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي 0.20، فاحسب تسارع الصندوق.

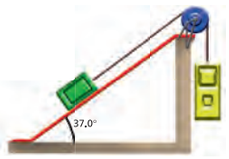
54. تؤثر قوة مقدارها 40.0 N في جسم كتلته 5.0 kg موضوع على سطح أفقي فتكسبه تسارعًا مقداره 6.0 m/s² في اتجاهها. احسب مقدار:

a. قوة الاحتكاك بين الجسم والسطح.

b. معامل الاحتكاك الحركي.

55. رُبط جسمان بخيط يمر فوق بكرة ملساء مهملة الكتلة، بحيث يستقر أحدهما على سطح مائل، والآخر مُعلق كما في **الشكل 17–1**. إذا كانت كتلة الجسم المعلّق 16.0 kg وكتلة الجسم الثاني 8.0 kg، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح المائل 0.23، وسمح للجسمين بالحركة من السكون، فاحسب:

a. مقدار تسارع المجموعة. **b.** مقدار الشد في الخيط.



الشكل 1–17

مراجعة عامة

56. يُسحب الميزان في **الشكل 18–1** بثلاثة حبال. ما مقدار القوة المحصلة التي يقرؤها الميزان؟

الشكل 1–18

57. **التزلج** تُسحب زلاجة كتلتها 50.0 kg على أرض أفقية مكسوة بالثلج. فإذا كان معامل الاحتكاك السكوني 0.30، ومعامل الاحتكاك الحركي 0.10 ، فاحسب:

a. وزن الزلاجة.

b. القوة اللازم بذلها لكي تبدأ الزلاجة الحركة.

c. القوة التي يجب التأثير بها في الزلاجة لتستمر في الحركة بسرعة منتظمة.

d. بعد أن تبدأ الزلاجة الحركة، ما القوة المحصلة التي ستحتاج إليها الزلاجة لتتسارع بمقدار 3.0 m/s²؟

التقويم

51. 12 Km، في اتجاه يصنع زاوية 158° فوق الأفقي.

52. 74.4 N، في اتجاه يصنع زاوية 253° فوق الأفقي.

53. 1.2 m /s²

54. **a.** 1.0×10^{1} N

b. 0.20

55. **a.** 4.0 m /s²

b. 93 N

مراجعة عامة

56. 283.6 N

57. **a.** 4.90×10^{2} N

b. 1.5×10^{2} N

c. 49 N

d. 2.0×10^{2} N

التقويم

58. a. 166 N

b. 3.6 km

59. 24 m

التفكير الناقد

60. $\mu_k = 0.17, 0.16 \leq \mu_s < 0.20$

61. 49 m

62. a. كلام عبد الله هو الصحيح، سيصلان إلى أسفل المنزلق في الوقت نفسه.

b. سيصلان إلى أسفل المنزلق في الوقت نفسه.

الكتابة في الفيزياء

63. ستختلف الإجابات. قد تتضمّن زيوت التشحيم وإنقاص القوة العموديّة لتقليل قوة الاحتكاك.

64. ستختلف الإجابات.

مراجعة تراكمية

65. 10 km /h

58. يراد دفع صخرة كبيرة كتلتها 20.0 kg إلى أعلى جبل، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصخرة والجبل هو 0.40، وميل الجبل 30.0° فوق الأفقي.

a. ما القوة التي يتطلبها دفع الصخرة إلى أعلى الجبل بسرعة منتظمة؟

b. إذا دفعت الصخرة بسرعة 0.25 m/s، وتطلّب الوصول إلى قمة الجبل 8.0 ساعات، فما ارتفاع الجبل؟

59. **الطبيعة** تُنقل شجرة بشاحنة ومقطورة ذات سطح مستوٍ تسير بسرعة 55 km/h، كما في **الشكل 19–1**؛ فإذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين الشجرة وسطح المقطورة يساوي 0.50، فما أقل مسافة يتطلبها توقف الشاحنة بحيث تتسارع بانتظام دون أن تنزلق الشجرة أو تنقلب؟

■ الشكل 19–1

التفكير الناقد

60. تُدفع طاولة كتلتها 13 kg بقوة أفقية مقدارها 20 N، دون أن تحركها. وعندما دفعت بقوة أفقية 25 N اكتسبت تسارعًا مقداره 0.26 m/s²، ما الذي يمكن أن تستنتجه عن معاملي الاحتكاك السكوني والحركي؟

61. **استعمال النماذج** اعتبر أن الأمثلة التي استعملتها في هذا الفصل نماذج مستفيدًا من هذه الأمثلة لحل المسألة الآتية، على أن تتضمن الخطوات التالية: تحليل المسألة ورسمها، واستخراج الكمية المجهولة، وتقويم الجواب: سيارة كتلتها 975 kg تسير بسرعة 25 m/s ، ضغط سائقها على المكابح. ما أقصر مسافة تحتاج إليها السيارة لتتوقف؟ افترض أن الطريق مصنوعة من الخرسانة، وقوة الاحتكاك بين الطريق والعجلات ثابتة، والعجلات لا تنزلق.

62. **التحليل والاستنتاج** تجول أحمد وسعيد وعبدالله في مدينة الألعاب، فرأوا المنزلق العملاق، وهو سطح مائل طوله 70 m، ويميل بزاوية 27° فوق الأفقي. وكان هناك رجل وابنه يتهيّآن للانزلاق على هذا المنزلق، وكانت كتلة الرجل 135 kg، وكتلة الابن 20 kg تساءل أحمد: كم يقل الزمن الذي يتطلبه انزلاق الرجل عن الزمن الذي يتطلبه انزلاق الابن؟ أجاب سعيد: سيكون الزمن اللازم للابن أقل. فتدخل عبدالله قائلاً: إنكما على خطأ، سيصلان إلى أسفل المنزلق في الوقت نفسه.

a. أجر التحليل المطلوب لتحديد أيهم على صواب.

b. إذا لم يستغرق الرجل والولد الوقت نفسه للوصول إلى أسفل المنزلق فاحسب الفرق في الزمن الذي استغرقه كل منهما بالثواني.

الكتابة في الفيزياء

63. استقصِ بعض التقنيات المستعملة في الصناعة لتقليل الاحتكاك بين الأجزاء المختلفة للآلات. وصف اثنتين أو ثلاثًا من هذه التقنيات موضحًا دور الفيزياء في عمل كل طريقة.

64. **أولمبياد** بدأ حديثًا الكثير من لاعبي الأولمبياد ـ ومنهم لاعبو القفز والتزلج والسباحون ـ استعمال وسائل متطورة لتقليل أثر الاحتكاك وقوى ممانعة الهواء والماء. ابحث في واحدة من هذه الوسائل، وبين كيف تطورت لتواكب ذلك عبر السنين؟ ووضح كيف أثّرت الفيزياء في هذه التطورات؟

مراجعة تراكمية

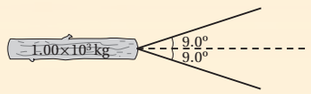
65. قدت دراجتك الهوائية مدة 1.5 h بسرعة متوسطة مقدارها 10 km/h، ثم قدتها مدة 30 min أخرى بسرعة متوسطة مقدارها 15 km/h احسب مقدار سرعتك المتوسطة في هذه الرحلة.

أسئلة اختيار من متعدد

أختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. يُسحب جذع شجرة كتلته 1.00×10^3 kg بجرارين فإذا كانت الزاوية المحصورة بين الجرارين 18.0^o (كما في الشكل)، وكان كل جرار يسحب بقوة 8×10^2 N، فما مقدار القوة المحصلة التي سيؤثران بها في جذع الشجرة؟

(A) 250 N
(B) 1.52×10^3 N
(C) 1.58×10^3 N
(D) 1.60×10^3 N



2. يحاول طيارٌ الطيرانَ في اتجاه الشرق بسرعة 800.0 km/h، فإذا كانت سرعة الرياح القادمة من اتجاه الجنوب الغربي 80.0 km/h، فما سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض؟

(A) شمال الشرق 5.7^o ,804 km /h
(B) شمال الشرق 3.8^o ,858 km/h
(C) شمال الشرق 4.0^o ,859 km /h
(D) شمال الشرق 45^o ,880 km/ h

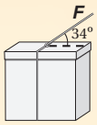
3. قرر بعض الطلاب بناء عربة خشبية كتلتها 30.0 kg فوق زلاجة. فإذا صعد إلى العربة راكبان، كتلة كل منهما 90.0 kg، فما مقدار القوة التي يجب أن يسحب بها شخصٌ العربةَ لكي تبدأ الحركة، علمًا بأن معامل الاحتكاك السكوني بين العربة والثلج 0.15؟

(A) 1.8×10^2 N
(B) 3.1×10^2 N
(C) 2.1×10^3 N
(D) 1.4×10^4 N

4. أوجد مقدار المركبة الرأسية (y) لقوة مقدارها 95.3N تؤثر بزاوية 57.1^o فوق الأفقي.

(A) 51.8 N
(B) 80.0 N
(C) 114 N
(D) 175 N

5. يؤثر خيط في صندوق كما في الشكل بقوة مقدارها 18 N ، وتصنع زاوية 34^o فوق الأفقي. ما مقدار المركبة الأفقية للقوة المؤثرة في الصندوق؟



(A) 10 N
(B) 15 N
(C) 21.7 N
(D) 32 N

6. لاحظ عليٌّ في أثناء قيادته لدراجته الهوائية أن شجرة مكسورة تغلق الطريق على بعد 42 m منه. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين إطارات الدراجة والطريق 0.36، وكان علي يقود دراجته بسرعة 50.0 km/h، فما المسافة التي يقطعها حتى يتوقف، علمًا بأن كتلة علي والدراجة معًا 95 kg؟

(A) 3.00 m
(B) 4.00 m
(C) 8.12 m
(D) 27.3 m

الأسئلة الممتدة

7. بدأ رجل المشي من موقع يبعد 310 m شمالاً عن سيارته في اتجاه الغرب وبسرعة منتظمة مقدارها 10 km/h، كم يبعد الرجل عن سيارته بعد مرور 2.7 min من بدء حركته؟

8. أراد طفل كتلته 41.2 kg وضع مادة على سطح مائل لزيادة معامل الاحتكاك السكوني إلى 0.72 بحيث لا ينزلق عندما يميل السطح بزاوية 52.4^o فوق الأفقي، احسب مقدار قوة الاحتكاك السكوني التي تؤثر في الطفل في هذه الحالة.

إرشاد ✓

الآلات الحاسبة ليست سوى آلات

إذا أُتيح لك استعمال الآلة الحاسبة في الاختبار فاستعملها بحكمة. حدد أفضل طريقة لحل المسألة قبل البدء في النقر على مفاتيح الآلة.

اختبار مقنن الفصل 1–

سلّم تقدير

يمثّل الجدول التالي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة:

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة الاختيار من متعدد

1. C
2. B
3. B
4. B
5. B
6. D

الأسئلة الممتدة

7. 5.5×10^2 m
8. 1.8×10^2 N

الفصل 2

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
2-1 حركة المقذوف 1. **تُلاحظ** أن الحركتين الأفقيّة والرأسيّة للمقذوف مستقلتان. 2. **تحلل** حركة المقذوف. 3. **تفسّر** كيف يعتمد شكل مسار المقذوف على الإطار المرجعي الذي يُلاحَظ منه؟	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** خلفية مقسمة إلى مربعات، كرة. **تجربة** كرتان كتلة إحداهما ضعفي كتلة الثانية، طاولة سطحها أفقي. **تجربة إضافيّة** كرة جولف، ساعة وقف. **عرض المعلم** **عرض سريع** طاولة، كرتان زجاجيتان متماثلتان.
2-2 الحركة الدائرية 4. **تفسّر** سبب تسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة منتظمة في مسار دائري. 5. **تبين** كيف يعتمد مقدار التسارع المركزي على سرعة الجسم، ونصف قطر الدائرة؟ 6. **تحدّد** القوة التي تسبب التسارع المركزي.	**عرض المعلم** **عرض سريع** مقعد دوّار، مقياس تسارع.
2-3 السرعة النسبية 7. **تحلّل** حالات تكون عندها مجموعة المحاور متحركة. 8. **تحلّ** مسائل تتعلق بالسرعة النسبيّة.	**تجارب الطالب** **مختبر الفيزياء** شريط ورق، وقطع بلاستيكية، وأربطة مطاطية، وورق، ومسامير، ومقص، ومطرقة صغيرة، وأنابيب PVC، ومشابك ورق، وقطع خشبيّة، وقاطع أسلاك، ومنشار صغير.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثاني

الفصل 2

الحركة في بُعدين

نظرة عامة إلى الفصل

ستُعمّمُ في هذا الفصل مبادئ الكينماتيكا (علم الحركة) والديناميكا (علم التحريك) التي طوّرت سابقًا لتشمل الحركة في بُعدين. وستحلّل حركة المقذوفات إلى حركتين: إحداهما أفقيّة بسرعة منتظمة، والأخرى رأسية بتسارع ثابت، كما ستستعمل قوانين نيوتن في تحليل الحركة الدائريّة، وسيختتم الفصل بمناقشة السرعة النسبيّة.

فكِّر

نعم؛ لأنّ التسارع هو التغيّر في السرعة مقسومًا على الفترة الزمنية اللازمة لإحداث هذا التغيّر، وحيث إنّ السرعة كميّة متّجهة فإنّ التغيّر في اتجاه السرعة على الرغم من بقاء مقدارها ثابتًا يحدث تسارعًا أيضًا.

المفردات الرئيسة

- المقذوف
- مسار المقذوف
- الحركة الدائريّة المنتظمة
- التسارع المركزي
- القوة المركزيّة

الفصل 2

الحركة في بُعدين
Motion in Two Dimensions

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تطبيق قوانين نيوتن، وما تعلمته عن المتجهات لتحليل الحركة في بُعدين.
- حل مسائل تتعلق بحركة المقذوفات والحركة الدائرية.
- حل مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.

الأهمية

إن وسائل النقل والألعاب في مدينة الألعاب لا تخلو من آلات أو أجزاء آلات تتحرك على صورة مقذوفات أو في حركة دائرية، أو تتأثر بالسرعة النسبية.

أرجوحة دوّارة قبل أن تبدأ هذه الأراجيح في الدوران تكون المقاعد معلقة رأسيًّا، وعندما تتسارع تتأرجح المقاعد بعيدًا؛ مائلة بزاوية ما.

فكِّر

عندما تدور هذه الأراجيح بسرعة منتظمة هل يكون لها تسارع؟

تجربة استهلالية

الهدف توضيح أن الحركة الأفقيّة مستقلة عن الحركة الرأسيّة.

الموادّ والأدوات خلفية مقسمة إلى مربعات، وكرة.

استراتيجيّات التدريس

- لعمل خلفية مقسمة إلى مربعات على لوحة، ارسم مربعات بخطوط عريضة ببعد 12 cm، قَسِّم هذا المربعات إلى مربعات أصغر بأبعاد مناسبة وخطوطًا رفيعةً بمسافات فاصلة مقدارها 4 cm بين الخطوط العريضة.

2–1 حركة المقذوف

1. التركيز

نشاط محفّز

حركة المقذوف اطلب إلى طالبين تبادل قذف كرة أمام الطلبة. واطلب إلى الطلبة الآخرين التركيز على كل من الحركتين الأفقيّة والرأسيّة للكرة من خلال وصف الحركة كما تبدو لمراقب يُشاهد هذه الحركة من موقع مرتفع عن الطالبين، ثمّ كما تبدو للطالب الذي يقذف الكرة. م 1 حركي.

الربط مع المعرفة السابقة

الكينماتيكا (علم الحركة) نماذج الحركة التي طوّرها الطلبة سابقًا في تحليل الحركة بسرعة متجهة ثابتة وفي تحليل الحركة بتسارع منتظم، ستُستعمل في تحليل الحركتين الأفقيّة والرأسيّة للمقذوفات.

الأهداف

- **تُلاحظ** أن الحركتين الأفقية والرأسية للمقذوف مستقلتان.
- **تحلل** حركة المقذوف.
- **تفسر** كيف يعتمد شكل مسار المقذوف على الإطار المرجعي الذي يُلاحَظ منه؟

المفردات

المقذوف

مسار المقذوف

عند ملاحظتك لحركة كرة القدم أو ملاحظة ضفدع يقفز سوف تُلاحظ أن هذه الأجسام تتحرك في الهواء عبر مسارات متشابهة، كما في حركة السهام والطلقات بعد إطلاقها، وكل مسار من هذه المسارات عبارة عن منحنى يتحرك الجسم فيه إلى أعلى مسافة ما، ثم يغير اتجاهه بعد فترة، ثم يتحرك إلى أسفل، وربما تكون معتادًا على رؤية هذا المنحنى الذي يُسمى في الرياضيات بالقطع المكافئ.

الجسم الذي يطلق في الهواء يُسمى **مقذوفًا**. فما القوى التي تؤثر في الجسم المقذوف بعد إطلاقه؟ يمكنك رسم مخطط الجسم الحر للمقذوف، وتعرُّف كل القوى المؤثرة فيه، بغض النظر عن نوع الجسم المقذوف. فبعد إطلاقه واكتسابه سرعة ابتدائية، وبإهمال مقاومة الهواء تكون القوة الوحيدة التي تؤثر فيه أثناء حركته في الهواء هي قوة الجاذبية الأرضية، وهذه القوة هي التي تجعله يتحرك في مسار منحنٍ أو على شكل قطع مكافئ. إن حركة الجسم المقذوف في الهواء تسمى **مسار المقذوف**، وإذا عرفت السرعة الابتدائية للمقذوف فستتمكن من تحديد مسار الجسم.

تجربة استهلالية

كيف يمكن وصف حركة المقذوف؟

سؤال التجربة هل يمكنك وصف حركة مقذوف ما في كلا الاتجاهين الأفقي والرأسي؟

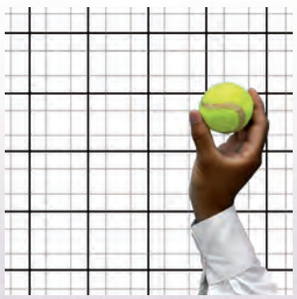
الخطوات

1. استعن بخلفية مقسمة إلى مربعات على تصوير كرة مقذوفة بالفيديو، على أن تبدأ حركتها بسرعة ابتدائية في الاتجاه الأفقي فقط.
2. **إنشاء الرسوم البيانية واستعمالها** ارسم موقع الكرة كل 0.1 s على ورقة رسم بياني.
3. ارسم شكلين للحركة، أحدهما يوضح الحركة الأفقية للكرة، والآخر يوضح حركتها الرأسية.

التحليل

كيف تتغير سرعة الكرة في الاتجاه الرأسي؟ هل تزداد، أو تقل، أو تبقى ثابتة؟ كيف تتغير سرعة الكرة في الاتجاه الأفقي؟ هل تزداد، أو تقل، أو تبقى ثابتة؟

التفكير الناقد صف حركة جسم يُقذف أفقيًّا.



- اترك الكرة تتدحرج على طاولة سطحها أفقيٌّ وذلك للتأكد من أنّ لها حركة أفقيّة فقط.

النتائج المتوقعة السرعة الأفقيّة منتظمة في حين تتزايد السرعة الرأسيّة في اتجاه الأسفل.

التحليل

تزداد السرعة الرأسيّة في اتجاه الأسفل في حين تبقى السرعة الأفقيّة منتظمة.

التفكير الناقد

يتضمن مسار الجسم الذي يُقذف أفقيًّا مركّبة أفقيّة للسرعة وأخرى رأسيّة، وتكون النتيجة مسارًا منحنيًا في اتجاه الأسفل.

2. التدريس

تجربة

السقوط من فوق الحافة

الهدف توضح أن مسار المقذوف لا يعتمد على كتلته.

المواد والأدوات كرتان كتلة إحداهما ضعفي كتلة الأخرى وطاولة سطحها أفقي.

النتائج المتوقعة ستصطدمان بالأرض معًا وعلى البعد نفسه من الطاولة.

التحليل والاستنتاج

5. لا. الكتلة ليست عاملاً مؤثرًا في هذه التجربة، ولا تظهر الكتلة في أيّ من المعادلات التي تصف حركة المقذوفات.

عرض سريع

استقلاليّة الحركة

الزمن المقترح 5 دقائق.

الموادّ والأدوات كرتان زجاجيتان متماثلتان، وطاولة.

الخطوات وضّح الطبيعة المستقلة للحركتين الأفقيّة والرأسيّة. ثم ارفع كرة لتصبح بموازاة سطح الطاولة وضع الكرة الأخرى على سطح الطاولة عند حافتها، ثم أفلت الكرة الأولى واقذف الثانية أفقيًّا في اللحظة نفسها. سيلاحظ الطلبة أن الكرتين تصطدمان بالأرض معًا، ويسمعون صوت اصطدامهما في الوقت نفسه.

تطوير المفهوم

استقلاليّة السرعتين

وضِّح للطلبة أنّ الحركة الأفقيّة (المركبة الأفقية للسرعة) للمقذوف منتظمة في غياب مقاومة الهواء، في حين أن المركبة الرأسية لسرعة المقذوف تتغيّر، حيث تؤدي قوة الجاذبيّة الأرضية إلى إنقاصها في أثناء الصعود كما تؤدي إلى زيادتها في أثناء الهبوط.

تجربة

السقوط من فوق الحافة

أحضر كرتين، كتلة إحداهما ضعفي كتلة الثانية.

1. **توقع** أي الكرتين سوف تصل الأرض أولاً عندما تُدحرجهما على سطح طاولة، بحيث تكون سرعتاهما متساويتين، ثم تسمح لهما بالسقوط عن الحافة؟
2. **توقع** أي الكرتين ستلامس الأرض عند مسافة أبعد عن الطاولة؟
3. فسر توقعاتك.
4. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

5. هل تؤثر كتلة الكرة في حركتها؟ وهل الكتلة عامل مؤثر في أي معادلة من معادلات الحركة للمقذوفات؟

استقلالية الحركة في بُعدين

Independence of Motion in Two Dimensions

إذا شاهدت طالبين يقف أحدهما أمام الآخر، ويتقاذفان الكرة جيئة وذهابًا، فما شكل مسار حركة الكرة في الهواء؟ إنه مسار منحنٍ (قطع مكافئ)، كما سبق وتعلمت. تُرى، لماذا تتخذ الكرة هذا المسار؟ تخيل أنك تقف مباشرة خلف أحد اللاعبين، وتراقب حركة الكرة عندما تُضرب. بم تُشبِّه حركتَها؟ ستلاحظ أنها تصعد إلى أعلى، ثم تعود في اتجاه الأسفل كأي جسم يتم قذفه رأسيًّا في اتجاه الأعلى في الهواء. ولو كنت تراقب حركة الكرة من منطاد مرتفع فوق اللاعبين، فأي حركة ترى عند ذلك؟ ستلاحظ أن الكرة تسير أفقيًّا بسرعة ثابتة من لاعب إلى آخر، كأي جسم ينطلق بسرعة أفقية ابتدائية، مثل حركة قرص مطاطي على جليد ناعم. إن حركة المقذوف تركيب لهاتين الحركتين.

لماذا تتحرك المقذوفات بهذه الكيفية؟ أي قوى تؤثر في الكرة بعد أن تغادر يد اللاعب؟ إذا أهملت مقاومة الهواء فإن القوة الوحيدة المؤثرة هي قوة الجاذبية الأرضية في اتجاه الأسفل. كيف يؤثر ذلك في حركة الكرة؟ تعطي قوةُ الجاذبية الأرضية الكرةَ تسارعًا في اتجاه الأسفل.

يبين **الشكل 1–2** مساري كرتين، أسقطت الأولى من السكون في اتجاه الأسفل، وفي اللحظة نفسها اطلقت الثانية بسرعة أفقية ابتدائية مقدارها 2 m/s من الارتفاع نفسه. ما وجه الشبه بين المسارين اللذين اتخذتهما كلٌّ من الكرتين؟ انظر إلى موقعيهما الرأسيين. إن ارتفاع الكرتين خلال كلتا الصورتين متساوٍ. لذا فإن سرعتيهما المتوسطتين الرأسيتين متساويتان خلال الفترة الزمنية نفسها. وتدل المسافة الرأسية المتزايدة التي يقطعانها على أن الحركة متسارعة في اتجاه الأسفل، وهذا بسبب قوة الجاذبية الأرضية. لاحظ أن الحركة الأفقية للكرة المقذوفة لم تؤثر في حركتها الرأسية. إنّ الجسم المقذوف أفقيًّا ليس له سرعة ابتدائية رأسية، لذلك فحركته الرأسية تشبه حركة الجسم الذي يسقط رأسيًّا من السكون، وتتزايد السرعة في اتجاه الأسفل بانتظام بسبب قوة الجاذبية الأرضية.

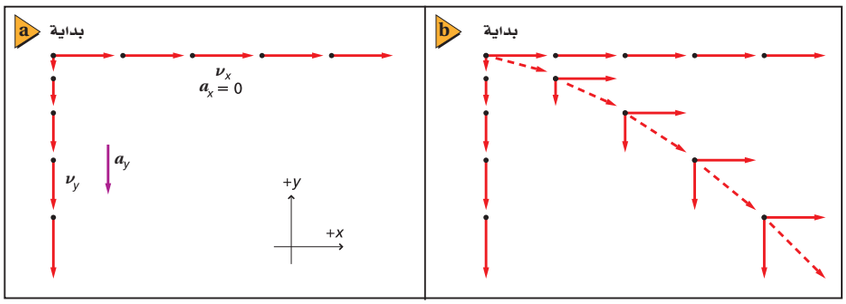
الشكل 1–2 استقلالية الحركة في البعدين الأفقي والرأسي.

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

المركبة الرأسيّة للحركة زوّد الطلبة بنسخة مشابهة عن الشكل 1–2. اطلب إليهم استعمال المسطرة، ورسم خطٍّ يصل بين كل صورتين متجاورتين للكرتين. واطلب إليهم استعمال مستوى أو منقلة لإثبات أنّ هذه الخطوط مستقيمة وذلك بالاعتماد على أحد طرفي الصورة، حيث يجب أن تصنع هذه الخطوط زاوية مقدارها 90° مع كل طرف. وضِّح للطلبة أن الموقع الرأسيّ للجسمين هو نفسه في كل فترة، وبهذا فإنهما يسقطان بالمعدّل نفسه بغض النظر عن المركبة الأفقيّة للحركة. **م ١ بصري - مكاني**

الشكل 2–2 يمكن فصل حركة الجسم إلى مركباتها الأفقية في اتجاه محور x والرأسية في اتجاه محور y. ويبين **الشكل 2a–2** تحليل السرعة إلى المركبتين الأفقية والرأسية. أما **الشكل 2b–2** فيبين جمع المركبتين الأفقية والرأسية لتشكلا السرعة المتجهة الكلية المماسية للمسار.



يبين **الشكل 2a–2** أشكالاً منفصلة للحركتين الأفقية والرأسية لجسم مقذوف، حيث يمثل الشكل الحركة الرأسية للكرة التي أسقطت في اتجاه المحور y، كما يمثل الشكل الحركة الأفقية بسرعة منتظمة للكرة المقذوفة باتجاه المحور x. إنَّ السرعة في الاتجاه الأفقي ثابتة دائمًا بسبب عدم وجود قوى أفقية تؤثر في الكرة في هذا الاتجاه.

جُمعت السرعتان الأفقية والرأسية في **الشكل 2b–2** لتشكّلا السرعة المتجهة الكلية للمقذوفه. ويمكن ملاحظة أن السرعة الأفقية المنتظمة والتسارع الرأسي المنتظم قد أنتجا معًا مسارًا ذا قطع مكافئ.

استراتيجية حل المسائل

الحركة في بُعدين

يمكن تحديد حركة المقذوف في بُعدين عن طريق تحليل الحركة إلى مركبتين متعامدتين.

1. حلل حركة المقذوف إلى حركة رأسية (في اتجاه المحور y)، وأخرى أفقية (في اتجاه المحور x).
2. الحركة الرأسية للمقذوف هي نفسها حركة جسم قُذف رأسيًّا إلى أعلى أو أُسقط أو قذف رأسيًّا إلى أسفل، حيث تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الجسم وتسبب تسارعه بمقدار g.
3. الحركة الأفقية كما في حركة جسم يتحرك بسرعة منتظمة. وعند إهمال مقاومة الهواء لا توجد قوة أفقية تؤثر في الجسم. ولأنَّه ليس هناك قوى تؤثر في المقذوف في الاتجاه الأفقي فإنّه لا يوجد تسارع أفقي، أيْ أن $a_x = 0$.
4. الحركتان الأفقية والرأسية لهما الزمن نفسه، فالزمن منذ انطلاق المقذوف حتى اصطدامه بالهدف هو الزمن نفسه للحركتين الأفقية والرأسية.

نشاط

السرعة الأفقيّة المنتظمة ثبّت قارورة كبيرة قطر فوهتها 5 cm تقريبًا على الأرض بحيث يستطيع الطلبة المرور بجانبها، وأعط كل طالب كرة بحيث تمر من خلال فوهة القارورة. ثم اطلب إليهم المرور بالقرب من القارورة بسرعة منتظمة والكرة بيد كل واحدٍ منهم إلى جانبه، ثم يلقيها في القارورة أثناء سيره عندما يكون بجانبها. اسأل الطلبة بعد تنفيذ النشاط، عند أيّ نقطة يفضل إفلات الكرة لتسقط داخل القارورة؟ يجب أن تفلت الكرة قبل أن تكون فوق فوهة القارورة. **2م**

حسي-حركي.

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

علاقة المدى الأفقي مع الزمن لا تكون الرميات الحرة في كرة السلّة بسيطة كما يتوقعها البعض. فمن أجل ضمان دخول الكرة في الحلقة على اللاعب أخذ زاوية إطلاق الكرة ومقدار سرعتها الابتدائية بعين الاعتبار؛ وذلك لعلاقتهما بزمن تحليق الكرة والارتفاع الرأسي المطلوب؛ حيث يكون مسارها على شكل قطع مكافئ. ولزمن تحليق الكرة دور مهم في الوصول إلى المدى الأفقي المناسب من أجل سقوط الكرة داخل السلّة.

مسائل تدريبية

1. 4.00 s **a.**

b. 2.0×10^{1} m

c. $\upsilon_x = 5.0\ m/s\ ,\ \upsilon_y = 39.2\ m/s$

2. 1 m/s

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

التسارع عند قمة المسار اطلب إلى الطلبة رسم مخطّط الجسم الحرّ لمقذوف عند قمة مساره. يعتقد بعض الطلبة أن تسارع المقذوف عند قمة مساره يساوي صفرًا، أو قد يشيرون إلى أنّه لا يوجد قوة تؤثّر فيه عند هذه النقطة. وضّح لهم أنّ قوة الجاذبية الأرضية هي القوة الوحيدة المؤثرة في الجسم وتؤثّر فيه في اتجاه الأسفل. لذلك يكون للمقذوف تسارع في اتجاه الأسفل. م2 بصري - مكاني

تجربة إضافية

علاقة زمن التحليق بالحركتين الرأسية والأفقية

الهدف تستقصي استقلالية الحركتين: الأفقيّة والرأسيّة.

الموادّ والأدوات كرة جولف، وساعة وقف.

الخطوات

1. ضع الكرة في يدك، ومدّ يدك بحيث تصبح الكرة على مستوى كتفك.
2. أفلت الكرة واطلب إلى زميلك في المختبر تحديد الفترة الزمنية بين وقت إفلاتها ووقت اصطدامها بالأرض.
3. كرّر الخطوة 2 في أثناء سيرك بسرعة منتظمة.

التقويم ستكون الفترتان الزمنيتان متساويتين. اسأل الطلبة: ماذا يعني تساوي الفترتين الزمنيتين بالنسبة للحركتين الرأسيّة والأفقيّة للكرة؟ ستختلف الإجابات. فنظرًا لأن الفترتين الزمنيتين متساويتان فإنّ الحركة الأفقية للمقذوف لم تؤثر في حركته الرأسية. والمسؤول عن تحديد الفترة الزمنية هو حركته الرأسية.

مسائل تدريبية

1. قُذف حجر أفقيًّا بسرعة 5.0 m/s من فوق سطح بناية ارتفاعها 78.4 m، اجب عما يلي:

a. ما الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى أسفل البناية؟

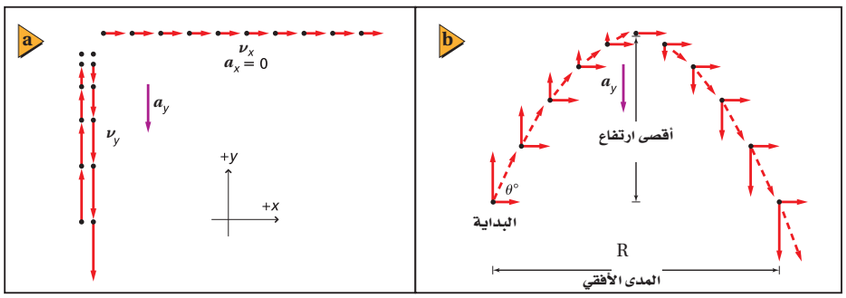
b. على أي بعد من قاعدة البناية يرتطم الحجر بالأرض؟

c. ما مقدار المركبتين الرأسية والأفقية لسرعة الحجر قبل لحظة اصطدامه بالأرض مباشرة؟

2. يشترك عمر وصديقه في إعداد نموذج لمصنع ينتج زرافات خشبية. وعند نهاية خط الإنتاج تنطلق الزرافات أفقيًّا من حافة حزام ناقل وتسقط داخل صندوق في الأسفل. فإذا كان الصندوق يقع أسفل الحزام بـ 0.6 m وعلى بعد أفقي مقداره 0.4 m منه، فما مقدار السرعة الأفقية للزرافات عندما تترك الحزام الناقل؟

المقذوفات التي تطلق بزاوية Projectiles Launched at an Angle

عندما يُطلَق مقذوف بزاوية ما يكون لسرعته الابتدائية مركبتان، إحداهما أفقية والأخرى رأسية. فإذا قُذف جسم رأسيًّا إلى أعلى فإن سرعته تتناقص باستمرار حتى يصل أقصى ارتفاع له، ثم يأخذ في السقوط بسرعة متزايدة. لاحظ **الشكل 2–3a** حيث تظهر الحركتان الأفقية والرأسية بصورة منفصلة للمقذوف. وفي نظام المحاور يكون المحور x الموجب أفقيًّا، والمحور y الموجب رأسيًّا. لاحظ التماثل في مقادير السرعة الرأسية، حيث يتساوى مقدار السرعة في أثناء الصعود والنزول عند كل نقطة في الاتجاه الرأسي، ويكون الاختلاف الوحيد بينهما هو اتجاه السرعة فهما؛ متعاكستان في الاتجاه. **الشكل 2–3b** يُظهر كميتين ترافقان مسار المقذوف، إحداهما أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم، حيث يكون للمقذوف هناك سرعة أفقية فقط؛ لأن سرعته الرأسية صفر. أما الكمية الأخرى فهي المدى الأفقي R، وهي المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف. أما زمن التحليق فهو الزمن الذي يقضيه المقذوف في الهواء.



الشكل 2–3 الجمع الاتجاهي لـ v_y ، v_x عند كل موضع يشير إلى اتجاه التحليق.

نشاط — طرائق تدريس متنوعة

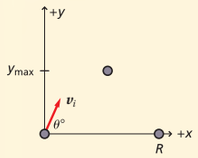
إعاقة بصرية لمساعدة الطلبة على تكوين تصور عن شكل مسار المقذوف، ثبّت خيوطًا على مسطرة متريّة بحيث تكون المسافات الفاصلة بينها متساوية، حيث تمثّل هذه المسافات فترات زمنية متساوية. كما يجب أن تكون أطوال الخيوط بالنسب التالية: 1 : 4 : 9 : 16 : 25 وهكذا. تمثّل أطوال الخيوط المسافة الرأسيّة التي يقطعها الجسم المقذوف. ثبّت مشبك غسيل صغير (يُمثل الجسم المقذوف) في نهاية كل خيط لكي يستطيع الطلبة إدراك شكل مسار المقذوف. وعند مسك المسطرة وإمالتها بزوايا مختلفة بالنسبة للأفقي يستطيع الطلبة محاكاة المسارات التي يسلكها المقذوف عند إطلاقه بزوايا مختلفة. م2 حسي - حركي

مثال 1

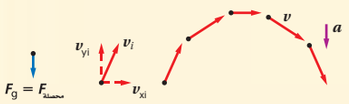
تحليل الكرة قذفت كرة بسرعة 4.5 m/s في اتجاه يصنع زاوية 66° فوق المستوى الأفقي. ما أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟ وما زمن تحليقها؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نظام المحاور على أن يكون الموقع الابتدائي للكرة عند نقطة الأصل.
- بين مواقع الكرة عند بداية حركتها، وعند أقصى ارتفاع تصله، وعند نهاية تحليقها.



المعلوم	المجهول
$y_i = 0.0\ m \quad \theta_i = 66°$	$y_{max} = ?$
$v_i = 4.5\ m/s \quad a_y = -g$	$t = ?$



2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المركبة الصادية للسرعة الابتدائية v_{yi}

بالتعويض عن $\theta_i = 66°$ ، $v_i = 4.5\ m/s$

$$v_{yi} = v_i \sin\theta_i$$
$$v_{yi} = (4.5\ m/s)(\sin 66°)$$
$$= 4.1\ m/s$$

أوجد صيغة أو معادلة للزمن t.

بالتعويض عن $a_y = -g$

احسب الزمن t

$$v_y = v_{yi} + a_y t$$
$$v_y = v_{yi} - gt$$
$$t = \frac{v_{yi} - v_y}{g} = \frac{4.1\ m/s - 0.0\ m/s}{9.80\ m/s^2}$$
$$= 0.42\ s$$

أوجد أقصى ارتفاع.

بالتعويض عن $a_y = -g, y_i = 0.0$

$t = 0.42\ s, v_{yi} = 4.1\ m/s$

$g = 9.80\ m/s^2, v_{yf} = 0.0\ m/s$

$$y_{max} = y_i + v_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2$$
$$y_{max} = 0.0\ m + (4.1\ m/s)(0.42\ s) + \frac{1}{2}(-9.80\ m/s^2)(0.42\ s)^2$$
$$= 0.86\ m$$

احسب الزمن اللازم للعودة إلى الارتفاع نفسه لحظة الإقلاع.

زمن الصعود = زمن النزول

زمن التحليق = زمن الصعود + زمن النزول

$$\text{زمن التحليق} = 2t$$
$$= 2(0.42\ s)$$
$$= 0.84\ s$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يبين تحليل الوحدات أن الوحدات صحيحة.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن تكون كلها موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** يبدو الزمن صغيرًا ولكن كبر مقدار السرعة الابتدائية يبرر ذلك.

مثال صفي

سؤال يضرب طالب كرة ساكنة على أرض أفقيّة لتنطلق بسرعة ابتدائية 7.8 m/s وتميل بزاوية 32° على الأفقي.

a. ما زمن تحليق الكرة في الهواء؟

b. ما أقصى ارتفاع تصله الكرة؟

c. ما المدى الأفقي للكرة؟

الإجابة

$$v_{yi} = v_i \sin\theta = (7.8\ m/s)\sin 32° = 4.1\ m/s$$

$$v_{xi} = v_i \cos\theta = (7.8\ m/s)\cos 32° = 6.6\ m/s$$

a. عند الهبوط $y = 0$

$$0 = 0 + v_{yi}t - \frac{1}{2}gt^2$$
$$t = \frac{2v_{yi}}{g} = \frac{2(4.1\ m/s)}{(9.80\ m/s^2)}$$
$$t = 0.84\ s$$

b.

$$y_{max} = v_{yi}\left(\frac{1}{2}t\right) - \frac{1}{2}g\left(\frac{1}{2}t\right)^2$$
$$= (4.1\ m/s)(0.42\ s) - \frac{1}{2}(9.80\ m/s^2)(0.42\ s)^2$$
$$= 0.86\ m$$

c.

$$R = v_{xi}t = (6.6\ m/s)(0.84\ s) = 5.5\ m$$

تعزيز الفهم

المقذوفات، والكينماتيكا، والمتّجهات اطلب إلى الطلبة وضْع قائمة بالمفاهيم التي درسوها سابقًا والتي يحتاجون إليها لتحليل حركة المقذوفات، بحيث تتضمّن هذه القوائم: السرعة المتجهة، التسارع، السقوط الحرّ، تحليل المتجه، واستقلالية المتجهات المتعامدة. م2 لغوي

التفكير الناقد

حركة المقذوف وضِّح للطلبة أنه تم قذف ثلاثة أجسام متساوية الكتلة رأسيًّا إلى الأعلى بسرعات ابتدائية متساوية، وكان أحد هذه الأجسام على سطح القمر، والثاني على سطح الأرض، والثالث في قاع بركة ماء على الأرض. ثم اطلب إليهم مقارنة شكل مسارات الأجسام الثلاثة مع بعضها بعضًا. المدى الأفقي للأجسام الثلاثة يساوي صفرًا، أما ترتيب الأجسام تنازليًّا من أقصى ارتفاع تصله إلى أقل ارتفاع فيكون على النحو التالي: القمر، الأرض، قاع البركة.

نشاط تحدٍّ

مسار المقذوف شاهد مع الطلبة شريط فيديو يوضح رمي كرة سلة في اتجاه الحلقة، ثمّ اطلب إليهم قياس زمن التحليق، وتسجيل المسافة بين نقطتي البداية والنهاية، وبوساطة هذه القياسات اطلب إليهم حساب السرعة المتجهة الابتدائية الأفقيّة، والسرعة المتجهة الابتدائيّة الرأسيّة، مع الأخذ بالاعتبار زاوية الاطلاق للسرعة المتجهة الابتدائية، وأقصى ارتفاع. ثم اطلب إليهم اختيار رياضة أخرى فيها حركة مقذوفات؛ مثل: التنس، أو الجولف. اطلب إلى الطلبة تحليل حركة المقذوف (التنس – الجولف)، ومقارنتها مع حركة كرة السلة. م3 بصري - مكاني

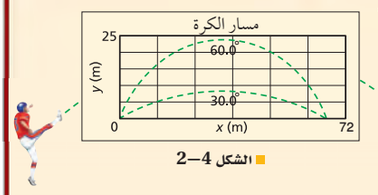
مسائل تدريبية

3. قـذف لاعبٌ كرةً من مستوى الأرض بسـرعة ابتدائيـة 27.0 m/s وفي اتجاه يميل فوق الأفقـي بزاوية مقدارها 30.0°، كمـا في **الشـكل 4–2**. جد كلًّا من الكميـات التالية، علمًا أن مقاومة الهواء مهملة:

a . زمن تحليق الكرة.

b . أقصى ارتفاع تصله الكرة.

c . المدى الأفقي للكرة.



الشكل 4–2

4. في السؤال 3 ، إذا قذف اللاعب الكرة بالسرعة نفسها، ولكن في اتجاه يميل بزاوية 60.0° فوق الأفقي، فما زمن تحليق الكرة؟ وما المدى الأفقي؟ وما أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟

5. تُقذف كرة من أعلى بناية ارتفاعها 50.0 m بسرعة ابتدائية 7.0 m/s وفي اتجاه يصنع زاوية 53.0° فوق الأفقي. أوجد مقدار واتجاه سرعة الكرة لحظة اصطدامها بالأرض.

مقاومة الهواء لاحظ أنه تـم إهمال أثر مقاومة الهواء في حركـة المقذوفات حتى الآن. ففـي حين تكون مقاومة الهـواء قليلة جدًّا تجاه بعض المقذوفات فإنها تكون كبيرة تجاه مقذوفـات أخرى. في كرة الجولف مثلاً تؤدي النتوءات الصغيرة على سـطح الكرة إلى تقليـل مقاومـة الهواء، ثـم إلى زيادة المدى الأفقـي. من المهم أن نتذكـر أن قوة مقاومة الهواء موجودة دائمًا، وقد تكون مهمة.

2-1 مراجعة

6. رسم تخطيطي للجسم الحر ينزلق مكعب من الجليد على سـطح طاولة دون احتكاك وبسـرعة منتظمة، إلـى أن يغـادر حافـة الطاولـة سـاقطًا فـي اتجـاه الأرض. ارسـم مخطـط الجسـم الحـر للمكعب، وكذلـك مخطط حركة الجسـم عنـد نقطتين على سطح الطاولة ونقطتين في الهواء.

7. حركـة المقذوف تُقذف كرة في الهواء بزاوية 50.0° بالنسبة للمحور الرأسي وبسرعة ابتدائية 11.0 m/s احسب أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة.

8. حركـة المقـذوف قذفـت كـرة تنـس مـن نافـذة ترتفـع 28 m فوق سـطح الأرض بسـرعة ابتدائية 15.0m/s، وبزاوية 20.0° تحت الأفقي. ما المسافة التي تتحركها الكرة أفقيًّا قبيل ارتطامها بالأرض؟

9. التفكير الناقد افترض أن جسـمًا قُذف على كل من الأرض والقمر بالسرعة نفسها باتجاه يصنع زاوية θ فوق الأفقي، وضح كيف تتغير الكميات التالية:

a. مركبة السرعة الأفقية (v_x)

b. زمن تحليق الجسم

c. مركبة السرعة الرأسية (y_{max})

d. المحصلة (R)

مسائل تدريبية

3. **a.** 2.76 s

b. 9.30 m

c. 64.5 m

4. زمـن التحليـق 4.77 s، المـدى الأفقـي 64.4 m، أقصى ارتفاع 27.9 m

5. 32 m /s في اتجـاه يميـل فـوق الأفقـي بزاوية 83°

3. التقويم

التحقّق من الفهم

عرض السرعة والتسارع اقذف كرة رأسـيًّا في اتجاه الأعـلى واطرح على الطلبة الأسـئلة التالية: كيف تتغيّر السرعـة في أثنـاء صعود الكـرة؟ تتناقـص السرعة. ما سرعـة الكرة عند أقصى ارتفاع لهـا؟ صفر. كيف تتغيّر السرعة في أثناء سـقوط الكـرة؟ تتزايد السرعة في اتجاه الأسـفل. ما تسـارع الكرة في أثناء صعودها؟ التسارع الناشئ عن قوة الجاذبية الأرضية $9.80 m/s^2$ ويكون في اتجاه الأسـفل. ما تسـارع الكرة في أثناء سـقوطها؟ $9.80 m/s^2$ في اتجاه الأسفل. م 2

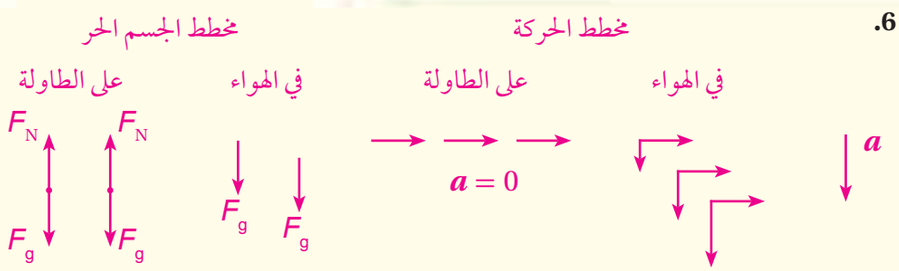
إعادة التدريس

استقلاليّـة السرعـات المتجهـة حدد للطلبـة مقدار المركّبتـين الأفقيّـة والرأسـيّة للسرعة المتجهـة الابتدائية لمقـذوف، ثـم اطلـب إليهـم حسـاب مركبتـي السرعة المتجهة عند لحظات زمنية مختلفة خلال تحليق المقذوف. نبِّـه الطلبـة إلى أنّ السرعـة المتجهـة الأفقيّـة منتظمـة في حـين تتغـيّر السرعـة المتجهـة الرأسـيّة باسـتمرار.

م 2 منطقي - رياضي

2-1 مراجعة

6.



7. 2.55 m

8. 27.1 m

9. **a.** لن تتغيّر.

b. تكون أكبر على القمر.

c. تكون أكبر على القمر (إذا قُذف الجسم بزاويةٍ فوق الأفقي).

d. تكون أكبر على القمر.

إذا تحرك جسم بسرعة منتظمة في مسار دائري، كأن يدور حجر مثبت في نهاية خيط، فهل يكون لهذا الجسم تسارع؟ قد يتبادر إلى ذهنك في البداية أن هذا الجسم لا يتسارع لأن مقدار سرعته لا يتغير، لكن تذكر أن التسارع هو التغير في السرعة المتجهة (مقدارًا واتجاهًا)، وليس في مقدار السرعة فقط. ولأن اتجاه الحجر يتغير لحظيًّا فإن السرعة المتجهة للحجر تتغير، لذلك فهو يتسارع.

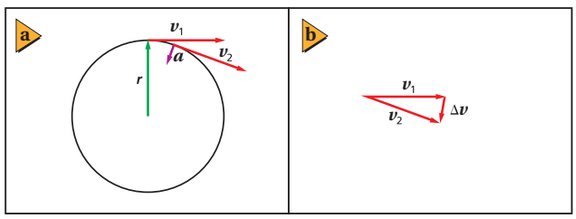
الأهداف
- **تفسر** سبب تسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة منتظمة في مسار دائري.
- **تبين** كيف يعتمد مقدار التسارع المركزي على سرعة الجسم، ونصف قطر الدائرة؟
- **تحدد** القوة التي تسبب التسارع المركزي.

المفردات
الحركة الدائرية المنتظمة
التسارع المركزي
القوة المركزية

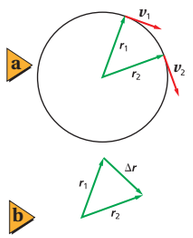
وصف الحركة الدائرية Describing Circular Motion

الحركة الدائرية المنتظمة هي حركة جسم أو جسيم بسرعة منتظمة حول دائرة نصف قطرها ثابت. ويُحدد موقع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة بالنسبة لمركز الدائرة بمتجه الموقع r ، كما في **الشكل 2–5a**. وعندما يدور الجسم حول الدائرة فإن طول متجه الموقع لا يتغير، لكن اتجاهه يتغير. ولإيجاد سرعة الجسم تحتاج إلى إيجاد متجه الإزاحة والزمن المستغرق، ويعرف التغير في متجه الموقع بـ Δr. **الشكل 2–5b** يبين متجهي موقع r_1 عند بداية فترة زمنية و r_2 عند نهايتها. وتذكر أن متجه الموقع هو متجه إزاحة ذيله عند نقطة الأصل. ولعلك تلاحظ من رسم المتجهات أن r_1 ، r_2 تُطرحان لإعطاء المحصلة Δr خلال الفترة الزمنية. وكما تعلم فإن السرعة المتجهة المتوسطة تساوي $\bar{v}=\frac{\Delta d}{\Delta t}$ ، لذا فإن السرعة المتجهة المتوسطة في الحركة الدائرية تساوي $\bar{v}=\frac{\Delta r}{\Delta t}$. ولمتجه السرعة اتجاه الإزاحة نفسه، لكن بطول مختلف. في **الشكل 2–6a** يمكنك ملاحظة أن متجه السرعة عموديّ على متجه الموقع، أيْ مماسّ لمحيط الدائرة، وعندما يدور متجه السرعة حول الدائرة يبقى مقداره ثابتًا، لكن اتجاهه يتغير.

كيف تحدد اتجاه تسارع الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة؟ يبين **الشكل 2–6a** متجهي السرعة v_1 ، v_2 عند بداية الفترة الزمنية ونهايتها. ويمكن إيجاد الفرق بين متجهي السرعة Δv بطرح السرعتين v_1 ، v_2 كما في **الشكل 2–6b**. ويكون التسارع المتوسط $\bar{a}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ في اتجاه Δv نفسه، أيْ في اتجاه مركز الدائرة عندما تكون Δt صغيرة جدًّا. ولاحظ أن متجه التسارع في الحركة الدائرية المنتظمة يشير دائمًا إلى مركز الدائرة، لذا يسمَّى هذا التسارع **التسارع المركزي**.



الشكل 2–6 يكون اتجاه التغير في السرعة في اتجاه مركز الدائرة، لذا فإن التسارع يشير نحو المركز أيضًا.



الشكل 2–5 الإزاحة Δr لجسم في حركة دائرية مقسومة على الزمن تساوي السرعة المتجهة المتوسطة خلال هذه الفترة الزمنية.

2–2 الحركة الدائرية

1. التركيز

نشاط محفّز

القوة المركزيّة ارسم دائرة كبيرة قطرها 50 cm على الأقلّ على لوح من الكرتون. اطلب إلى الطلبة أن يلاحظوا محاولة طالب أو أكثر المحافظة على حركة كرة على محيط الدائرة بوساطة دفعها فقط. ثمّ اطلب إليهم اعتبار أنّ كل دفعة تمثّل قوة، واسألهم ما الذي يلاحظونه على اتجاه كل قوة؟ تكون كل قوة في اتجاه مركز الدائرة. م1 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

الكميّات المتّجهة ذكِّر الطلبة أنّ السرعة المتجهة والتسارع، هما من الكميّات المتّجهة؛ لأنّ لكل منهما مقدارًا واتجاهًا.

2. التدريس

استعمال الشكل 6 - 2

وضِّح للطلبة أن الشكل 2–6 b يوضح كيفية الإفادة من تعريف Δv، حيث: $\Delta v = v_2 - v_1$ ، وذلك بإعادة كتابته على الصورة $v_1 + \Delta v = v_2$. م2

تطبيق الفيزياء

اطلب إلى الطلبة رسم مخطّط الجسم الحر للثقل الموازن، وأن يوضحوا أنه يتولد قوة في السلك في اتجاه الداخل تُسبب تسارعًا مركزيًا للثقل الموازن، وبالتالي فإنّ الثقل الموازن يؤثر بقوة في اتجاه الخارج في السلك فيبقى السلك مشدودًا تبعًا للقانون الثالث لنيوتن. م 2

بصري - مكاني

تطوير المفهوم

القوة المحصّلة وضّح للطلبة أنّه أينما وجِد تسارع مركزي، فلابد من تولُّد قوة في اتجاه المركز.

عرض سريع

التسارع المركزي

الزمن المقترح 5 دقائق.

الموادّ والأدوات مقعد دوّار، ومقياس تسارع.

الخطوات

1. اطلب إلى طالب أن يجلس على مقعد دوّار، ثم يدير المقعد وهو ممسك بمقياس تسارع على امتداد يده.
2. اطلب إلى الطالب مَسك مقياس التسارع بصورة مماسية للمسار الدائري واطلب إلى الطلبة الآخرين ملاحظة قراءة مقياس التسارع.
3. أعد الخطوة 2 بتكليف الطالب بحمل مقياس التسارع على امتداد نصف قطر الدائرة. سوف يشير المقياس إلى انعدام التسارع في الخطوة 2، وسيكون هناك تسارع في اتجاه المركز في الخطوة 3.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

القوة المركزية قد يعتقد الطلبة أنّه إذا زال تأثير القوة المركزية فسيبقى الجسم يتحرك في مسار دائري. ولمساعدة الطلبة على تصحيح هذا الخطأ المفاهيمي، دوّر كرة فلّين مربوطة في نهاية خيط فوق رأسك في مسار دائري ثمّ أفلت الخيط، ستلاحظ أن الكرة تتحرك في خط مستقيم مماسٍّ للمسار الدائري عند نقطة الإفلات.

تطبيق الفيزياء

المصاعد الفضائية يعتبر العلماء استعمال المصاعد الفضائية نظامًا قليل التكاليف للنقل إلى الفضاء. حيث يتم ربط كبل بمحطة فضائية فوق خط الاستواء الأرضي، ويمتد بطول 35,800 km من سطح الأرض، ويثبت في نهايته ثقل موازن، ويبقى مشدودًا بسبب القوة المركزية. وستتحرك مركبات ذات قدرة مغناطيسية خاصة على طول هذا الكبل.

التسارع المركزي Centripetal Acceleration

كيف يمكنك أن تحسب مقدار التسارع المركزي لجسم ما؟ قارن بين المثلث الناتج عن متجهات الموقع في **الشكل 2–5a** والمثلث الناتج عن متجهات السرعة في **الشكل 2–6b**. الزاوية بين r_1، r_2 هي الزاوية نفسها بين v_1، v_2، لذا يكون المثلثان متشابهين. وهكذا فإن $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$، وبقسمة الطرفين على الزمن Δt ينتج:

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

لكن $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$، وكذلك $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

لذا، فإن: $\frac{1}{r}\left(\frac{\Delta r}{\Delta t}\right) = \frac{1}{v}\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$

وبالتعويض نجد أن: $\frac{v}{r} = \frac{a}{v}$

حل هذه المعادلة لإيجاد a وارمز لها بالرمز a_c تعبيرًا عن التسارع المركزي.

التسارع المركزي $a_c = \frac{v^2}{r}$

يشير اتجاه التسارع المركزي إلى مركز الدائرة دائمًا، ومقداره يساوي حاصل قسمة مربع السرعة على نصف قطر دائرة الحركة.

كيف يمكنك أن تحسب مقدار سرعة جسم يتحرك في مسار دائري؟ من الطرائق المستخدمة، قياس الزمن اللازم لإكمال دورة كاملة T ويسمى الزمن الدوري، حيث يقطع الجسم خلال هذا الزمن مسافة تساوي محيط الدائرة، $2\pi r$، وبهذا يكون مقدار السرعة يساوي $v = \frac{2\pi r}{T}$؛ لذا فإن التسارع المركزي يساوي:

$$a_c = \frac{\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

وبما أن تسارع الجسم الذي يتحرك في مسار دائري يكون دائمًا في اتجاه المركز، فلا بد أن تكون القوة المحصلة نحو مركز الدائرة أيضًا. ويمكن توضيح هذه القوة بأمثلة متعددة، فالقوة المسبِّبة لدوران الأرض حول الشمس مثال على قوة جذب مركزية ناتجة عن قوة جذب الشمس للأرض، والقوة المسبِّبة لدوران المطرقة في مسار دائري ناتجة عن قوة الشد في اتجاه المركز، كما في **الشكل 2–7**. وهذه القوة تسمى **القوة المركزية**. كذلك فإن القانون الثاني لنيوتن يمكن تطبيقه في الحركة الدائرية المنتظمة على النحو الآتي:

القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدائرية $F_{\text{محصلة}} = ma_c$

القوة المحصلة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك في مسار دائري تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في تسارعه المركزي.

الشكل 2–7 عندما تفلت المطرقة من الرامي تسير في خط مستقيم، حيث يكون مماسيًا للمسار الدائري الذي كانت تدور فيه عند نقطة الإفلات، ثم تُكمل مسارًا يُشبه مسار أي جسم يُقذف بسرعة ابتدائية أفقية في الهواء.

الفيزياء في الحياة

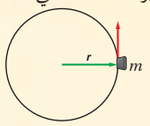
معلومة للمعلم

قوى g يتعرّض الطيارون الذين يقودون الطائرات المقاتلة أو طائرات عروض البهلوانيات الجوية لقوى تُعرف بقوى g؛ وهي مقياس للزيادة الظاهريّة في قوة الجاذبية الناتجة عن القوة التي يؤثر بها المقعد في الطيار. فعند الانعطاف بمقدار يتراوح بين 4 g و 5 g فإنّ الوزن الظاهري للطيار يكون أربعة أو خمسة أمثال وزنه الحقيقي، فإذا كان وزنه 900 N فسيبدو وزنه عندئذ 4500 N. وكلّما كان الانعطاف حادًّا كانت القوة التي يؤثر بها المقعد أكبر؛ أي أن قوى g تزداد بشكل كبير. وعند قوة 9 g يبدأ نظر الطيار بالتدهور، إذ يعاني الطيار من انكماش في مجال الرؤية، كما يتعرّض للحظات لحالة يكون فيها كل شيء يراه باللونين الأسود والأبيض فقط.

عند حل مسائل على الحركة الدائرية المنتظمة من المفيد اختيار محورين، أحدهما في اتجاه التسارع؛ حيث يكون دائمًا في اتجاه مركز الدائرة، وبدلاً من تسمية هذا المحور بمحور x أو y فإنه يسمى المحور المركزي (c). أما المحور الثاني فيكون في اتجاه السرعة المماسية للدائرة، ويرمز له بالرمز *tang* أيْ مماسيًّا. وستطبق القانون الثاني لنيوتن على هذه الاتجاهات، كما فعلت في مسائل الحركة في البُعدين. تذكر أن القوة المركزية تسمية أخرى لمحصلة القوى المؤثرة في اتجاه المركز؛ فهي تمثل مجموع القوى التي تؤثر في اتجاه المركز. بالرجوع إلى حالة المطرقة، **الشكل 7–2**، ما الاتجاه الذي تسلكه المطرقة لحظة انطلاقها من السلسلة؟ عند اختفاء قوة السلسلة لا تبقى هناك قوة تؤدي إلى تسارع المطرقة نحو المركز، لذا تنطلق المطرقة في اتجاه سرعتها المماسية للدائرة عند نقطة إفلاتها. تذكر أنه إذا لم تستطع تحديد مصدر القوة فإن هذه القوة تكون غير موجودة.

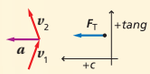
مثال 2

الحركة الدائرية المنتظمة سدادة مطاطية كتلتها 13 g، مثبتة عند طرف خيط طوله 0.93 m، أُديرت السدادة في مسار دائري أفقي لتكمل دورة كاملة خلال 1.18 s، احسب قوة الشد التي يؤثر بها الخيط في السدادة.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الجسم الحر للسدادة.
- بيّن نصف القطر واتجاه الحركة.
- كوّن مجموعة المحاور: المركزي c، والمماسيّ tang.



المعلوم	المجهول
$r = 0.93\ \text{m}$ ، $T = 1.18\ \text{s}$ ، $m = 13\ \text{g}$	$F_T = ?$ قوة الشد

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب التسارع المركزي.

$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

بالتعويض عن $r = 0.39\ \text{m}$ ، $T = 1.18\ \text{s}$

$$a_c = \frac{4\pi^2(0.93\ \text{m})}{(1.18\ \text{s})^2}$$

$$a_c = 26\ \text{m/s}^2$$

استعمل القانون الثاني لنيوتن لحساب قوة الشد في الخيط.

$$F_T = ma_c$$

بالتعويض عن $a_c = 26\ \text{m/s}^2$ ، $m = 0.013\ \text{kg}$

$$F_T = (0.013\ \text{kg})\ (26\ \text{m/s}^2)$$
$$= 0.34\ \text{N}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يعطي تحليل الوحدات التسارع بـ m/s^2 والقوة بـ N.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن تكون الإشارات كلها موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** نعم، قوة الشد تساوي ثلاثة أمثال وزن السدادة. وهذا منطقي لمثل هذه الأجسام الخفيفة.

نشاط تحدٍّ

المنعطفات المائلة اطلب إلى الطلبة البحث في مواصفات المنعطفات المائلة على طريق سريع، أو تقدير مقادير هذه المواصفات. وباستعمال زاوية ميل المنعطف والسرعة القصوى المسموح بها على الطريق اطلب إليهم تحديد أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين الطريق وعجلات السيارة اللازمة لمنع السيارة من الانزلاق. م3 **منطقي - رياضي**

المناقشة

سؤال ما أوجه التشابه والاختلاف بين متجهي السرعة والتسارع في الحركة الدائريّة؟

الجواب كلاهما له مقدار ثابت واتجاه متغيّر، ولكنّهما مختلفان في الاتجاه؛ فاتجاه السرعة يكون مماسيًّا للمسار، بينما يكون اتجاه التسارع في اتجاه المركز. م2

مثال صفي

سؤال يذهب أحمد في رحلة صيد سمك، وأراد أن يدوّر طعمًا كتلته 0.028 kg مربوطًا بطرف صنارة طول خيطها 0.75 m فإذا دار الطعم دورة واحدة في 1.2 s فما مقدار القوة التي يؤثر بها خيط الصنارة في الطعم؟

الإجابة

$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 4\pi^2 \frac{(0.75\ \text{m})}{(1.2\ \text{s})^2}$$
$$= 21\ \text{m/s}^2$$

$$F_T = ma_c = (0.028\ \text{kg})(21\ \text{m/s}^2)$$
$$= 0.59\ \text{N}$$

تعزيز الفهم

القوة المحصّلة ألصق عدّة أنابيب مع بعضها لتُصبح على شكل نصف دائرة على قطعة خشب أو كرتون مقوى، ثمّ دحرج كرة زجاجية صغيرة عبر هذه الأنابيب، واطلب إلى الطلبة ملاحظة أن الكرة عند خروجها من الأنابيب تسير في خط مستقيم.

م2 **بصري - مكاني**

مسائل تدريبية

10. يسير متسابق بسرعة مقدارها 8.8 m/s، في منعطف نصف قطره 25 m ما مقدار التسارع المركزي للمتسابق؟ وما مصدر القوة المؤثرة فيه؟

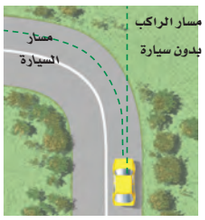
11. تسير سيارة سباق بسرعة مقدارها 22 m/s في منعطف نصف قطره 56 m، احسب مقدار التسارع المركزي للسيارة. وما أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين العجلات والأرض لمنع السيارة من الانزلاق؟

12. تطير طائرة بسرعة مقدارها 201 m/s عند دورانها في مسار دائري. ما أقل نصف قطر لهذا المسار بوحدة km يستطيع أن يشكّله القبطان على أن يُبقي مقدار التسارع المركزي دون $5.0\ m/s^2$؟

القوة الوهمية A Nonexistent Force

عندما تنعطف سيارة فجأة نحو اليسار فإن الراكب بجوار السائق سيندفع نحو باب السيارة الأيمن. فهل هناك قوة خارجية أثرت في الراكب؟ افترض موقفًا آخر مشابهًا، لو أن السيارة التي تستقلها توقفت بصورة مفاجئة، فإنك ستندفع نحو الأمام داخل حزام الأمان، فهل تؤثر فيك قوة نحو الأمام؟ لا؛ لأنه حسب القانون الأول لنيوتن فإنك ستستمر في الحركة بالسرعة نفسها ما لم تؤثر فيك قوة خارجية، وحزام الأمان هو الذي يؤثر فيك بقوة تدفعك إلى التوقف.

يبين **الشكل 8–2** سيارة تنعطف نحو اليسار كما تُرى من أعلى. سيندفع الراكب في السيارة نحو الأمام مباشرة لولا القوة التي تؤثر فيه من الباب في اتجاه التسارع أي في اتجاه مركز الدائرة. لا توجد قوة تؤثر في الراكب نحو الخارج. لكن يشعر الراكب في أثناء الدوران كأن قوة تدفعه للخارج وهي تسمى القوة الطاردة المركزية، إلا أن هذه القوة لا وجود لها. إن قوانين نيوتن قادرة على تفسير الحركة في الخطوط المستقيمة والحركة الدائرية.



الشكل 8–2 الراكب سيتحرك نحو الأمام في خط مستقيم إذا لم تؤثر فيه السيارة بقوة نحو الداخل.

2-2 مراجعة

13. الحركة الدائرية المنتظمة ما اتجاه القوة المؤثرة في الملابس في أثناء دوران الغسالة؟ وما الذي يولد هذه القوة؟

14. مخطط الجسم الحر إذا كنت تجلس على المقعد الخلفي لسيارة تنعطف نحو اليمين، فارسم مخطط الحركة، ومخطط الجسم الحر للإجابة عن الأسئلة التالية:

a. ما اتجاه تسارعك؟

b. ما اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيك؟ وما مصدرها؟

15. القوة المركزية إذا حُرِّك حجر كتلته 40.0 g مربوط في نهاية خيط طوله 0.6 m في مسار دائري أفقي بسرعة مقدارها 2.2 m/s، فما مقدار قوة الشد في الخيط؟

16. التسارع المركزي ذكر مقال في صحيفة أنه عندما تتحرك سيارة في منعطف؛ فإن على السائق أن يُوازن بين القوة المركزية وقوة الطرد المركزي. اكتب رسالة للصحيفة تنقُدُ فيها هذا المقال.

17. القوة المركزية كرة كتلتها 7.3 kg، إذا حركتها في مسار دائري نصف قطره 0.75 m بسرعة مقدارها 2.5 m/s، فما مقدار القوة التي يجب عليك التأثير بها لعمل ذلك؟

18. التفكير الناقد نتيجة لدوران الأرض اليومي، أنت تتحرك حركة دائرية منتظمة. ما المصدر الذي يولد هذه القوة التي تؤدي إلى تسارعك؟ وكيف تؤثر هذه الحركة في وزنك الظاهري؟

مسائل تدريبية

10. $3.1\ m/s^2$، قوة الاحتكاك التي تؤثر بها الطريق في حذاء العدّاء هي التي تسبب القوة المؤثرة في العدّاء.

11. $a_c = 8.6\ m/s^2$، $\mu_s = 0.88$

12. 8.1 km

التفكير الناقد

المنعطفات المائلة اسأل الطلبة: لماذا تكون سطوح المنعطفات على الطرق السريعة مائلة للداخل؟ لأنّ الطريق المائلة تُنتج مركّبة أفقيّة لوزن السيّارة تضاف إلى القوة المحصلة، والتي تسبب التسارع المركزي للسيارة عند حركتها خلال المنعطف. م2

المناقشة

سؤال لماذا تندفع في اتجاه الخارج عندما تكون في مركبة تتحرّك في منعطف؟

الجواب إذا لم تكن قوة الاحتكاك السكوني بينك وبين المقعد كافية عندما تنعطف المركبة، فإنّ القصور الذاتي لجسمك يجعله يستمر في الحركة في خطّ مستقيم حتى يلامس باب المركبة. م2

3. التقويم

التحقّق من الفهم

الحركة الدائريّة المنتظمة اطلب إلى الطلبة وصف مقدار السرعة، والسرعة المتّجهة، والتسارع لجسم يتحرّك حركةً دائريّة منتظمةً. م

التوسّع

المحطات الفضائية شاهد مع الطلبة أحد مشاهد الفيلم السينمائي A Space Odyssey الذي يبين محطة فضاء تدور في مدار قطره 305 m، ثمّ اطلب إليهم قياس الزمن الدوري للمركبة وحساب التسارع المركزي لشخص داخلها، وحساب قيمة "g" في المركبة.

2-2 مراجعة

13. القوة في اتجاه مركز حوض الغسالة. تولد الجدران القوة المؤثرة في الملابس عند الدوران.

14. a. باتجاه اليمين.

b. اتجاه القوة المحصلة إلى اليمين، تنتج القوة من مقعد السيارة.

15. 0.32 N

16. يوجد تسارع في اتجاه المركز لأنّ اتجاه السرعة متغيّر، ولذلك لا بدّ من وجود قوة محصلة في اتجاه مركز الدائرة التي يُشكِّلها المنعطف. تُنتج الطريق تلك القوة، وبسبب الاحتكاك بين الطريق والعجلات تؤثر هذه القوة في العجلات. ويؤثر المقعد بقوة في السائق في اتجاه مركز الدائرة. كما يجب أن تؤكد على أنّ قوة الطرد المركزي هي قوة غير حقيقيّة.

17. 61 N

18. تُسبب الجاذبية الأرضية القوة التي تعمل على تسارعك، وتُؤدي حركتك الدائريّة المنتظمة إلى تقليل وزنك الظاهري.

افترض أنك في قطار يتحرك بسرعة 20 m/s في اتجاه موجب، وأن صديقك يقف بجانب سكة الحديد ويراقب حركة القطار الذي تستقله عند مروره أمامه ويرصد السرعة، فما مقدار السرعة التي يسجلها صديقك للقطار ولحركتك؟ إذا كان القطار يسير بسرعة 20 m/s ، وأنت تجلس في القطار فهذا يعني أن سرعتك 20 m/s كما يقيسها صديقك الذي يرصد الحركة من نقطة ثابتة على الأرض. وعندما تقف في القطار ثابتًا فإن سرعتك بالنسبة للأرض هي أيضًا 20 m/s، لكن سرعتك بالنسبة للقطار تساوي صفرًا. وإذا كنت تسير بسرعة 1m/s نحو مقدمة القطار فهذا يعني أن سرعتك تقاس بالنسبة للقطار. فما مقدار سرعتك بالنسبة لكل من القطار ولصديقك الثابت على الأرض لحظة مرور القطار أمامه؟ يُمكن إعادة صياغة السؤال كما يلي: إذا أُعطيت سرعة القطار بالنسبة للأرض وسرعتك بالنسبة للقطار، فكيف تقيس سرعتك بالنسبة لراصد ثابت على الأرض؟

يبين **الشكل 2–9a**، تمثيلاً اتجاهيًا لهذه المسألة، بعد دراسته ستجد أن سرعتك بالنسبة لراصد ثابت يقف على الأرض هي 21 m/s، أيْ مجموع سرعتك بالنسبة للقطار وسرعة القطار بالنسبة للأرض. افترض الآن أنك كنت تسير بالسرعة نفسها لكن نحو مؤخرة القطار، فما سرعتك الآن بالنسبة لراصد ثابت يقف على الأرض؟ يبين **الشكل 2–9b** أنه نظرًا إلى أن السرعتين متعاكستان فإن سرعتك بالنسبة لذلك الراصد تكون 19 m/s لحظة مرورك أمامه، أي الفرق بين سرعة القطار بالنسبة للأرض وسرعتك بالنسبة للقطار، وهكذا تجد أنه إذا كانت الحركة في خط مستقيم فإن الجمع والطرح يستعملان لإيجاد السرعة النسبية.

في المثال السابق، لو أمعنت النظر في كيفية الحصول على نتائج السرعة، وحاولت وضع صيغة رياضية لحساب السرعة النسبية، فإنك ستتوصل إلى الصيغة الآتية:

$$\boldsymbol{v}_{y/e} = \boldsymbol{v}_{y/t} + \boldsymbol{v}_{t/e}$$

حيث $\boldsymbol{v}_{y/e}$ سرعتك بالنسبة للأرض، و $\boldsymbol{v}_{y/t}$ سرعتك بالنسبة للقطار، و $\boldsymbol{v}_{t/e}$ سرعة القطار بالنسبة للأرض.

وتكتب المعادلة الرياضية السابقة بصورة عامة على النحو التالي:

السرعة النسبية $\boldsymbol{v}_{a/c} = \boldsymbol{v}_{a/b} + \boldsymbol{v}_{b/c}$

سرعة الجسم a بالنسبة للجسم c هي حاصل الجمع الاتجاهيّ لسرعة الجسم a بالنسبة للجسم b وسرعة الجسم b بالنسبة للجسم c.

مسألة تحدٍّ

يُدوّر طارق حجرًا كتلته m مربوطًا بحبل في مسار دائري أفقي فوق رأسه، بحيث يكون هذا الحجر على ارتفاع h فوق سطح الأرض. ويمثل r نصف قطر الدائرة، ويمثل T مقدار قوة الشد في الحبل. وفجأة انقطع الحبل وقطع الحجر مسافة أفقية d من لحظة انقطاع الحبل إلى ارتطام الحجر بالأرض. أوجد تعبيرًا رياضيًّا للمسافة بدلالة كل من T و r و m و h. هل يتغير التعبير الرياضي إذا تحرك طارق بسرعة 0.50 m/s بالنسبة للأرض؟

الأهداف
- **تحلل** حالات تكون عندها مجموعة المحاور متحركة.
- **تحل** مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.

a
$\boldsymbol{v}$ قطار بالنسبة للأرض
$\boldsymbol{v}$ لك بالنسبة للقطار
$\boldsymbol{v}$ لك بالنسبة للأرض

b
$\boldsymbol{v}$ قطار بالنسبة للأرض
$\boldsymbol{v}$ لك بالنسبة للقطار
$\boldsymbol{v}$ لك بالنسبة للأرض

الشكل 2–9 عندما يتحرك نظام المحاور فإن السرعتين تُضافان إذا كانت الحركتان في اتجاه واحد، وتُطرح إحداهما من الأخرى إذا كانت الحركتان متعاكستين.

2–3 السرعة النسبية

1. التركيز

نشاط محفّز

الأرصفة المتحركة ضع سيّارة صغيرة ثابتة السرعة على سطح لوح ورق مقوّى طويل موضوع على سطح طاولة، ثمّ اتركها تتحرّك. اطلب إلى الطلبة وصف حالتين يكون فيها للسيارة المتحركة سرعة نسبية تساوي صفرًا بالنسبة للطالب. اسحب الورق المقوى في عكس اتجاه حركة السيارة أو تحرّك بالسرعة والاتجاه نفسه الذي تتحرّك فيه السيارة. م 2

الربط مع المعرفة السابقة

السرعة المتجهة وجمع المتّجهات يوسِّع الطلبة فهمهم للسرعة ليتضمّن السرعة النسبيّة، ويطبقون عمليّة جمع المتّجهات على متّجهات السرعة.

2. التدريس

تطوير المفهوم

الأطر (المحاور) المرجعيّة وضّح أنّ $v_{a/b}$ تمثّل سرعة الجسم a عندما تُقاس بالنسبة للمحاور المرجعيّة للمُشاهد b، وأنّ $v_{b/c}$ تمثّل حركة المحاور المرجعيّة للمُشاهد b عندما تُقاس بالنسبة للمحاور المرجعيّة للمُشاهد c، وأنّ $v_{a/c}$ تمثّل سرعة الجسم a عندما تُقاس بالنسبة للمحاور المرجعيّة للمُشاهد c.

تعزيز الفهم

جمع المتّجهات المتجهات التي تؤثر في البعد نفسه تجمع جبريًّا، (أخذ إشارة المتجه بعين الاعتبار).

مسألة تحدٍّ

$$s = vt, T = ma_c = \frac{mv^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{Tr}{m}} : h = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

أي أنّ: $$s = vt = \sqrt{\frac{Tr}{m}}\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2Trh}{mg}}$$

نعم، يتغيّر التعبير إذا تحرّك طارق بسرعة 0.50 m/s بالنسبة إلى الأرض. وإذا تحرّك الحجر في اتجاه حركة طارق نفسها، فإنّ سرعة الحجر بالنسبة إلى الأرض ستكون أكبر، وعليه فإن المسافة يكون لها قيمة أكبر.

استعمال التشابه

الحركة المحصلة وصافي الأجر استعمل التشابه التالي لمساعدة الطلبة على فهم أنّ $v_{y/e}$ هي سرعتهم المحصلة بالنسبة إلى الأرض في الشكل 9b–2. فإذا كان أجرك هو 2 دينارًا في الساعة، وكنت تدفع 0.4 دينارًا في الساعة، أجرة لوقوف سيارتك أثناء العمل، فإنّ صافي أجرك هو 1.6 دينارًا في الساعة.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

مسار السرعة النسبيّة اطلب إلى الطلبة رسم إزاحة الكرة في المثال 3. المسار هو خطّ مستقيم باتجاه $v_{m/w}$. قد يرسم بعض الطلبة المسار على شكل منحنٍ (قطع مكافئ). لذا ساعدهم على صنع نموذج للحركة النسبيّة باستعمال الاستراتيجيّة الواردة في "استخدام النّماذج" في الصفحة التالية. م 2 بصريّ – مكاني

استعمال الشكل 10 - 2

بيّن للطلبة كيف يطبقون قانوني الجيب وجيب التمام لإيجاد مقدار $v_{p/g}$ (سرعة الطائرة بالنسبة للأرض) واتجاهها. م 2

مثال صفي

سؤال يضع حسن حقيبة أمتعته في المطار على الحزام الناقل الذي يتحرّك في اتجاه الغرب بسرعة 0.150 m/s، وكان هناك خنفساء تمشي على الحقيبة إلى الشمال بسرعة 0.050 m/s، فما سرعة الخنفساء بالنسبة إلى الأرض؟

الإجابة

باستعمال الرموز التالية: l (للخنفساء)، b (للحقيبة)، و g (للأرض).

$$v_{l/g}^2 = v_{b/g}^2 + v_{l/b}^2$$

$$v_{l/g}^2 = (0.150\ \text{m/s})^2 + (0.050\ \text{m/s})^2$$

$$v_{l/g} = 0.16\ \text{m/s}$$

الاتجاه:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{l/b}}{v_{b/g}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\frac{(0.050\text{m/s})}{(0.150\ \text{m/s})}$$

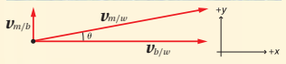
$= 18^\circ$ في اتجاه شمال الغرب

الشكل 10–2 يمكن إيجاد سرعة الطائرة بالنسبة للأرض عن طريق الجمع الاتجاهي.

ينطبق هذا المبدأ في جمع السرعات النسبية على الحركة في بُعدين أيضًا، فمثلاً لا يتوقع الملاحون الجويّون الوصول إلى هدفهم فقط بتوجيه طائراتهم في اتجاه البوصلة. لذلك عليهم الأخذ بعين الاعتبار سرعتهم بالنسبة إلى الهواء واتجاهها، وكذلك سرعة الرياح واتجاهها عند الارتفاع الذي يطيرون عنده، ويجب جمع هذين المتجهين، كما في **الشكل 10–2**، للحصول على سرعة الطائرة بالنسبة للأرض. وسوف يُرشد المُتَّجهُ المُحصّل الطيارَ إلى السرعة التي يجب أن تسير بها الطائرة، والاتجاه الذي تسلكه للوصول إلى مقصدهم. وهذا وضع مشابه عند حركة قارب في تيار متحرك من الماء.

مثال 3

السرعة النسبية لكرة يركب أحمد وجمال قاربًا يتحرك نحو الشرق بسرعة 4 m/s، دحرج أحمد كرة بسرعة 0.75 m/s نحو الشمال في اتجاه عرض القارب نحو جمال. ما سرعة الكرة بالنسبة للماء؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- أنشئ مجموعة محاور.
- ارسم متجهات لتمثل سرعة القارب بالنسبة إلى الماء، وسرعة الكرة بالنسبة للقارب.

المعلوم	المجهول
$v_{b/w} = 4.0\ \text{m/s}$	$v_{m/w} = ?$
$v_{m/b} = 0.75\ \text{m/s}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن السرعتين متعامدتان استعمل نظرية فيثاغورس

$$(v_{m/w})^2 = (v_{m/b})^2 + (v_{b/w})^2$$

$$v_{m/w} = \sqrt{(v_{m/b})^2 + (v_{b/w})^2}$$

بالتعويض عن $v_{b/w} = 4.0\ \text{m/s}$

$v_{m/b} = 0.75\ \text{m/s}$

$$v_{m/w} = \sqrt{(0.75\ \text{m/s})^2 + (4.0\ \text{m/s})^2}$$

$$v_{m/w} = 4.1\ \text{m/s}$$

لحساب مقدار الزاوية التي تحركت بها الكرة

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{m/b}}{v_{b/w}}\right)$$

بالتعويض عن $v_{b/w} = 4.0\ \text{m/s}$

$v_{m/b} = 0.75\ \text{m/s}$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0.75\ \text{m/s}}{4.0\ \text{m/s}}\right)$$

$= 11^\circ$ شمال الشرق

تتحرك الكرة بسرعة 4.1m/s في اتجاه يصنع زاوية 11° شمال الشرق

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يبين تحليل الوحدات أن السرعة ستكون بوحدة m/s.
- **هل للإشارات معنى؟** ستكون الإشارات موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة المحسوبة قريبة من القيم الأخرى للسرعة المعطاة في المثال.

معلومة للمعلم **الخلفية النظرية للمحتوى**

التيارات النفاثة وحركة الرياح التيارات النفاثة هي رياح تهبّ بسرعة كبيرة على شكل تيارات هوائية على ارتفاع 12 km تقريبًا. هذه التيارات النفاثة أكثر شيوعًا في نصف الكرة الشمالي بين خطي عرض 70°–30° وبين خطي عرض 50° – 20°. وتعتمد سرعة الرياح على تدرّج الحرارة، حيث إن متوسط سرعتها في الصيف 55 km/h تقريبًا، وفي الشتاء 120 km/h تقريبًا، وقد ترتفع سرعتها إلى 400 km/h. إنّ معرفة مواقع هذه التيارات مهم جدًّا لحركة الطائرات. فمثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية، عند حركة الطائرات من الشرق إلى الغرب قد ينقص زمن الرحلة أو يزيد 30 دقيقة تقريبًا بحسب حركة الطائرة في اتجاه التيارات النفاثة أو ضدّها، على الترتيب.

مسائل تدريبية

19. إذا كنت تركب قطارًا يتحرك بسرعة مقدارها 15.0 m/s بالنسبة إلى الأرض، وركضت مسرعًا نحو مقدمة القطار بسرعة 2.0 m/s بالنسبة إلى القطار، فما سرعتك بالنسبة إلى الأرض؟

20. يتحرك قارب في النهر بسرعة 2.5 m/s بالنسبة إلى الماء. بينما يسجل سرعة ذلك القارب راصد يقف على الشاطئ فيجدها 0.5 m/s بالنسبة إليه. فما سرعة ماء النهر؟ وهل يتحرك ماء النهر في اتجاه حركة القارب أم في اتجاه معاكس؟

21. تطير طائرة نحو الشمال بسرعة 150 km/h بالنسبة إلى الهواء، وتهب عليها رياح نحو الشرق بسرعة 75 km/h بالنسبة إلى الأرض. ما سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض؟

تذكر أن مفتاح التحليل الصحيح لمسائل السرعة النسبية في بعدين هو الرسم الصحيح لمثلث يمثل السرعات الثلاث. وعند رسم هذا المثلث يمكنك تطبيق معرفتك عن مبدأ جمع المتجهات. فإذا كان المثلث الناتج قائم الزاوية، أمكنك تطبيق نظرية فيثاغورس للحل ، أما إذا كانت الزاوية غير قائمة، فلا بد من استعمال قانون الجيب أو جيب التمام أو كليهما.

2-3 مراجعة

22. السرعة النسبية قارب صيد سرعته القصوى 3 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يجري بسرعة 2 m/s ما أقصى سرعة يصل إليها القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وما أدنى سرعة يصل إليها؟ اذكر اتجاه القارب بالنسبة إلى الماء في الحالتين السابقتين.

23. السرعة النسبية لقارب يسير قارب سريع في اتجاه الشمال الغربي بسرعة 13 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يتجه نحو الشمال بسرعة 5.0 m/s بالنسبة إلى ضفته. ما مقدار سرعة القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وما اتجاهها؟

24. السرعة النسبية تطير طائرة في اتجاه الجنوب بسرعة 175 km/h بالنسبة إلى الهواء، وهناك رياح تهب في اتجاه الشرق بسرعة 85 km/h بالنسبة إلى الأرض. ما مقدار سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟

25. السرعة النسبية لطائرة تطير طائرة شمالاً بسرعة 235 km/h بالنسبة إلى الهواء، وهناك رياح تهب في اتجاه الشمال الشرقي بسرعة 65 km/h بالنسبة إلى الأرض. احسب مقدار سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض.

26. التفكير الناقد إذا كنت تقود قاربًا عبْر نهر يتحرك ماؤه بسرعة كبيرة، وتريد أن تصل إلى الرصيف في الجهة المقابلة تمامًا لنقطة انطلاقك، فصف كيف توجه القارب بدلالة مركبتي سرعتك بالنسبة إلى الماء.

2-3 مراجعة

22. أقصى سرعة يصل إليها بالنسبة لضفة النهر هي عندما يتحرّك القارب بأقصى سرعة له في اتجاه تيار النهر نفسه وتساوي 5 m/s، وأدنى سرعة له عندما يتحرّك القارب في عكس اتجاه التيار وتساوي 1 m/s

23. 17 m/s، في اتجاه يصنع زاوية 33° غرب الشمال.

24. 190 km/h ، في اتجاه يصنع زاوية 64° جنوب الشرق.

25. 2.8×10^2 km/h في اتجاه يصنع زاوية 72° شمال الشرق.

26. اجعل مركبة سرعتك الموازية لاتجاه النهر مساويةً لسرعة النهر في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه.

استعمال النماذج

عرض السرعة النسبيّة يمكنك استعمال سيارة لعبة ثابتة السرعة وشريط ورقي طويل من الورق لمحاكاة حركة قارب ثابت السرعة في نهر. فحركة السيارة تمثّل $v_{b/w}$، ويمكن سحب الورقة بسرعة منتظمة لمحاكاة حركة التيار $v_{w/g}$. اطلب إلى الطلبة ملاحظة أن سرعة القارب بالنسبة إلى الأرض، $v_{b/g}$، تكون في خط مستقيم.

مسائل تدريبية

19. 17 m/s

20. 2.0 m/s، في عكس اتجاه حركة القارب.

21. 1.7×10^2 km/h

3. التقويم

التحقّق من الفهم

معادلة السرعة النسبيّة راجع الشكل العام لمعادلة السرعة النسبيّة، ثمّ اطلب إلى الطلبة أن يوضّحوا إذا كانت سرعة جسم ما تتأثر بحركة المحاور المرجعية أم لا، وذلك عندما تقاس سرعته بوساطة شخص يقف في محور مرجعيّ متحرك بسرعة منتظمة. لا؛ لو كانت تتأثر فلن نستطيع استعمال معادلة السرعة النسبيّة.

م 2

إعادة التدريس

السرعة النسبيّة اطلب إلى كل طالب أن يكتب مسألة عن موضوع السرعة النسبيّة على ورقة ويكتب حلّها خلف الورقة نفسها. ثم اطلب إليهم تبادل الأوراق فيما بينهم وحل المسائل. اطلب إليهم بعد ذلك عرض حلولهم لطلبة الصف الذين يحددون بدورهم إذا كانت هناك اختلافات في حلول المسألة نفسها أم لا. م 2 **متفاعل.**

مختبر الفيزياء

الزمن المقترح حصة مختبر واحدة.

المهارات العملية تصميم النماذج، والتلخيص، واستعمال النماذج، والتوقع.

احتياطات السلامة نبِّه الطلبة إلى ضرورة الحذر عند استعمالهم الأدوات والأجسام الحادّة فقد تسبب لهم الجروح.

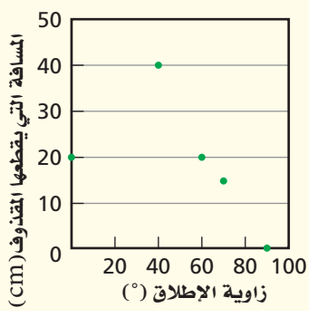
المواد البديلة يمكن للطلبة أن يحضروا لعبًا تطلق مقذوفات، كما يمكنهم استعمال كاميرة فيديو إذا أرادوا قياس سرعة الإطلاق باعتبارها متغيرًا.

استراتيجيات التدريس

- وضّح توقعاتك حول حركة المقذوفات قبل أن يبدأ الطلبة تنفيذ التجربة.
- خصّص مساحات محدّدة لكل مجموعة في المختبر، وأكد على اتباع احتياطات السلامة عند البدء بتنفيذ التجربة.
- شجع الطلبة على ابتكار أداة تَقذف في مستوى واحد فقط؛ أي التركيز على دراسة الحركة في بُعدين (في الاتجاه الرأسي والاتجاه الأفقي). واطلب إليهم الانتباه إلى أي مؤثرات خارجية قد تؤثر في التجربة مثل: نسمات الهواء الجانبية، أو نفخ الطلبة الهواء في اتجاه المقذوف.
- لملاحظة العوامل المؤثرة في المدى، غيّر أولًا زاوية إطلاق المقذوف ولاحظ أثر ذلك. ثم غيّر مسافة استطالة قطعة المطاط ولاحظ أيضًا أثر ذلك.

التحليل

1. تعدّ الإجابات التالية مثالًا لبيانات نموذجية.



زاوية الإطلاق (°)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)
0	20
40	40
60	20
70	15
90	0

استطالة قطعة المطاط (cm)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)
0.0	36
0.5	55
1.0	141
1.5	182
2.0	236

مختبر الفيزياء

نحو الهدف

في هذا النشاط ستحلّل عوامل متعددة تؤثر في حركة المقذوف، وتوظف مدى استيعابك لهذه العوامل لتوقع مسار المقذوف. وأخيرًا ستصمم قاذفة لتضرب هدفًا يبعد مسافة معلومة.

سؤال التجربة

ما العوامل التي تؤثر في مسار مقذوف ما؟

الأهداف

- **تصمم** نماذج توضح العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف.
- **تستعمل** النماذج لتوقع مكان سقوط المقذوف.

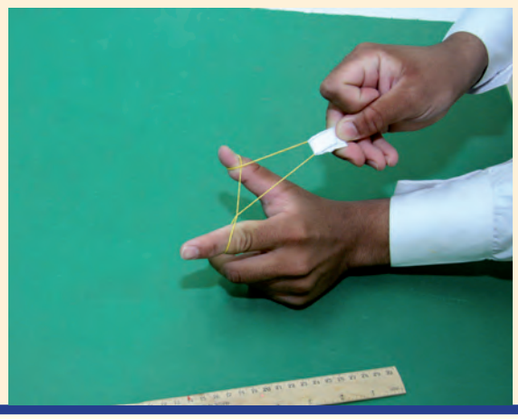
احتياطات السلامة

المواد والأدوات المقترحة

شريط ورق	مطرقة صغيرة
قطع بلاستيك	أنابيب بلاستيكية
أربطة مطاطية	مشابك ورق
ورق	قطع خشبية
مسامير	قاطع أسلاك
مقص	منشار صغير
مسطرة مترية	منقلة

الخطوات

1. فكّر في العوامل التي قد تؤثر في مسار المقذوفات ودوّنها.
2. ضع تصميمك الخاص بجهاز إطلاق المقذوفات، وحدّد أي جسم سيكون هدفًا للمقذوفات؟
3. خذ في الاعتبار تصميم جهاز إطلاق المقذوفات، وحدّد العاملين الرئيسين المؤثرين في مسار المقذوفات التي ستطلقها.
4. اختبر الجهاز الذي صمّمته، وناقش العوامل المؤثرة فيه مع معلمك، ثم أجرِ التعديلات الضرورية.
5. اقترح أسلوبًا لتحديد أثر العوامل التي دونتها في مسار المقذوفات.
6. احصل على موافقة المعلم على الطريقة التي ستتبعها قبل جمع البيانات.



50

جدول البيانات 1	
زاوية الإطلاق (الدرجات)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)

جدول البيانات 2	
المسافة التي تتمدد إليها قطعة المطاط (cm)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)

التحليل

1. **إنشاء الرسوم البيانية واستعمالها** مثل بيانيًّا البيانات التي حصلت عليها لتتوقع كيف يمكنك إصابة الهدف.
2. **حلّل** ما العلاقات بين كل متغير اختبرته وبين المسافة التي يقطعها المقذوف؟

الاستنتاج والتطبيق

1. ما العوامل الرئيسة المؤثرة في مسار المقذوف؟
2. توقع الشروط الضرورية لإصابة الهدف الذي زودك به المعلم.
3. **فسّر** إذا وضعت خطة متكاملة ونفذتها، ولكنك لم تصب الهدف في المحاولة الأولى، فهل يمكن أن تكمن المشكلة في قوانين الفيزياء؟ وضح ذلك.
4. أطلق مقذوفك نحو الهدف، وإذا أخطأت الهدف فأجرِ التعديلات الضرورية، ثم حاول ثانية.

التوسع في البحث

1. كيف يمكن أن تتغير نتائجك لو أجريت التجربة خارج المختبر؟ هل هناك عوامل إضافية تؤثر في حركة مقذوفاتك؟
2. كيف تتغير نتائج تجربتك إذا وضع الهدف في مكان أعلى من القاذف؟
3. كيف تختلف تجربتك إذا كان القاذف أعلى من الهدف؟

الفيزياء في الحياة

في لعبة كرة القدم، يقال إن الرياح تلعب مع الفريق أو تلعب ضده.

- لماذا يتم تبديل مرمى الفريقين في الشوط الثاني؟
- ما الزاوية التي يقذف بها حارس المرمى الكرة لتصل إلى أبعد مدى ممكن؟

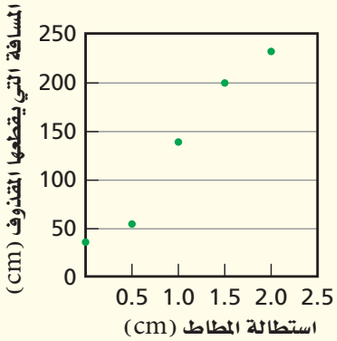
الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن حركة المقذوفات ارجع إلى الموقع الالكتروني

www.obeikaneducation.com

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية ما العوامل التي تؤثّر في حركة المقذوف؟ اطلب إلى الطلبة أن يقرروا أيًّا من جوانب حركة المقذوفات (المدى الأفقي، الارتفاع، زمن التحليق) سيستقصون عنه؟، وأيّ العوامل المؤثرة في حركة المقذوف (زاوية الإطلاق، السرعة الابتدائية، شكل المقذوف، تركيب المقذوف) سيستقصون عنه أيضًا في هذه التجربة؟ اطلب إلى الطلبة صياغة فرضيّة قابلة للاختبار، واختيار موادّهم بأنفسهم، وكذلك اختيار الطريقة التي سيختبرون بها فرضيتهم، وناقشهم في خطتهم وفي احتياطات السلامة قبل بدء تنفيذ التجربة.



2. كلّما استطالت قطعة المطاط أكثر زاد المدى الأفقي، وكلما تغيّرت الزاوية يتغيّر المدى الأفقي أيضًا. ويكون أكبر مدى عندما تكون زاوية الإطلاق 45° بالنسبة للأفقي.

الاستنتاج والتطبيق

1. العاملان الرئيسان المؤثران في مسار المقذوف هما: سرعة الإطلاق وزاوية الإطلاق.
2. ستختلف الإجابات.
3. القوانين التي تحكم الفيزياء لا تخضع للأخطاء المنتظمة والعشوائية ذاتها التي يحدثها الطلبة عند إجراء قياساتهم أو عند تنفيذهم خطوات العمل.

التوسع في البحث

1. إذا أجريت هذه التجربة خارج المختبر قد تؤدي الرياح دورًا مهمًّا عن طريق تأثيرها في مسار المقذوف.
2. إذا كان الهدف مرتفعًا بالنسبة للقاذف فعلى الطالب أن يزيد زاوية الإطلاق أو يزيد السرعة الابتدائية للمقذوف لكي يصل إلى الهدف.
3. إذا كان القاذف أعلى من الهدف فإنك تحتاج إلى تقليل زاوية الإطلاق أو تقليل سرعة الإطلاق.

الفيزياء في الحياة

- لإعطاء كل فريق الفرصة نفسها للاستفادة من حركة الرياح.
- إذا أهملت مقاومة الهواء فيجب قذف الكرة بزاوية 45° بالنسبة للأفقي. أما في حالة وجود مقاومة الهواء فيجب قذفها بزاوية أقلّ من 45° قليلاً.

الخلفية العلمية

يعود الاهتمام بهذا المفهوم إلى عقود عدة، فقد وضع آرثر كلارك الفكرة في ستينيات القرن الماضي في كتابه ضمن قصص الخيال العلمي المنشور عام 2001 أوديسا الفضاء A Space Odyssey.

وأكبر عقبة في بناء هذه المحطة هي أنّ المحطات الصغيرة يجب أن تدور بسرعة كبيرة لمحاكاة 1g. وهذا يمكن أن يُحدث مشكلة، لأنّ الأذن الداخلية تشعر الإنسان بالدوران، حيث إنّ الدوران بمعدل 1 rpm (دورة واحدة في الدقيقة) قد لا يشكّل معضلة، في حين أن الدوران بمعدل 2 rpm أو أكثر يسبب الأذى لكثير من الناس.

استراتيجيّات التدريس

- اطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات صغيرة لتصميم محطة فضائية، بحيث تكون الخطوة الأولى لكلّ فريق هي تحديد الهدف من ذهابهم إلى الفضاء. أما الخطوة الثانية فهي البحث عن نماذج لهذه المحطات، فمثلاً على الطلبة البحث عن نماذج اقترحها د. فيرنر فون براون، وجيرارد أونيل وآرثر كلارك. اطرح على الطلبة أسئلة محدّدة للبحث ، من مثل: ما قطر محطتكم الفضائية؟ ما السرعة المماسية التي يجب الوصول إليها لمحاكاة الجاذبية الأرضيّة؟ وكم سيكون الزمن الدوري لهذه المحطة؟ واطلب إليهم تلخيص استقصائهم في تقرير مكتوب.

نشاط

قُطر المحطة الفضائية اطلب إلى الطلبة تحديد قيمة أقلّ قطر للمحطة الفضائيّة بحيث يمكنها محاكاة تسارع الجاذبية الأرضية، $10\ m/s^2$، وذلك عند دورانها بمعدل 1.0 rpm.

$$a_c = g = (4\pi^2 r)/T^2$$

$$d = 2r = 2\frac{(T^2 g)}{4\pi^2}$$

$$= \left[\frac{2\,(1.0\,\text{min})^2\,(10.0\,\text{m/s}^2)}{(4\pi^2)}\right]\left(\frac{60\,\text{s}}{1\,\text{min}}\right)$$

$$= 1.8\ \text{km}$$

الإبحار الشمسي Solar Sailing

هناك الكثير مما يجري على متن محطة الفضاء الدولية ISS. إذ يُجري العلماء من دول مختلفة تجارب ومشاهدات في هذه المحطة. لقد شاهدوا تشكل قطرات الماء بوصفها كرات طافية، واستنبتوا الفاصولياء في الفضاء لاختبار الزراعة في حالة انعدام الوزن.

ومن أهداف ISS اختبار المؤثرات في جسم الإنسان عند العيش في الفضاء فترات زمنية طويلة. وملاحظة أي مؤثرات سلبية في الصحة، ودراسة إمكانية منعها، ممّا يمكّن الإنسان من العيش في الفضاء زمنًا أطول. وقد شوهدت آثار سلبية لحالة انعدام الوزن؛ إذ تعمل العضلات على الأرض ضد قوة الجاذبية، لكن في غياب هذه القوة فإن عدم استعمال هذه العضلات يضعفها، وكذلك تضعف العظام للسبب نفسه، فيقل حجم الدم. وتؤدي جاذبية الأرض إلى تجمع الدم في القدمين، بينما في حالة انعدام الوزن قد يتجمع الدم في رأس رجل الفضاء، فيستشعر الدماغ الدم الإضافي فيرسل إشارات للتقليل من إنتاجه. تعرقل هذه التحديات العملية الحياة الطويلة المدى في الفضاء بسبب انعدام الوزن. تخيل كيف تتغير الحياة اليومية عندئذ؟ يجب أن يكون كل شيء مربوطًا أو مثبتًا. فمثلاً يجب أن تُربط مع السرير عند نومك. وستكون حياتك في محطة الفضاء صعبة، إلا إذا عُدلت محطة الفضاء لتحاكي الجاذبية. فكيف يمكن تحقيق ذلك؟

دوران محطة الفضاء هل سبق أن ركبت لُعبة في مدينة الألعاب تعمل بالقوة المركزية؟ يقف كل شخص مستندًا إلى حائط أسطواني كبير، ثم تأخذ الأسطوانة في الدوران أسرع فأسرع، بحيث يشعر كل شخص أنه مضغوط إلى الجدار، ونتيجة للتسارع المركزي يلتصق كل شخص بالجدار ويبقى على هذه الحال حتى لو فتحت أرضية الأسطوانة الدوّارة.

يمكن تصميم المركبة الفضائية على أن تستغل الحركة الدورانية بدلاً من قوة الجاذبية.

عمل فني لمحطة فضاء دوّارة

تخيل محطة فضاء على هيئة حلقة كبيرة! إن الأشياء والأجسام كلها داخل المحطة سوف تطفو في حالة انعدام الوزن. وإذا دارت الحلقة في حركة مغزلية فإن الأجسام داخلها ستلتصق بها بسبب الحركة الدورانية. وإذا سُرّعت المحطة بمعدل صحيح وكان لها قطر مناسب فإن الحركة الدورانية تجعل من في الداخل يشعرون بقوة مساوية لقوة الجاذبية.

تتناسب القوة المركزية طرديًّا مع البعد عن مركز الجسم الدوّار عند ثبات الزمن الدوري. لذا يمكن بناء محطة فضاء دوّارة مكوّنة من حلقات متحدة في المركز، ولكل حلقة جاذبية مختلفة. فالحلقة الداخلية يكون لها أصغر جاذبية، في حين تتأثر الحلقة الخارجية بأكبر قوة.

التوسع

1. **ابحث** عن العوامل التي ينبغي أن يراعيها المصممون لعمل محطة دوّارة تُحاكي جاذبية الأرض.
2. **طبّق** إذا كنت رائد فضاء في محطة دوّارة، وتشعر بقوة تسحبك نحو أرض المحطة ففسر ما يجري بدلالة قوانين نيوتن والقوة المركزية.
3. **تفكير ناقد** ما المزايا التي تمنحها المحطة الدوّارة لروادها؟ وما سلبياتها؟

التوسع

1. يجب أن يأخذ المهندسون بعين الاعتبار معدل دوران محطة الفضاء إضافةً إلى قطرها لمحاكاة جاذبية الأرض.
2. بالاعتماد على محاور مرجعيّة خارج محطة الفضاء فإنّ القوة المحصلة للإطار الخارجي للمحطة تؤثّر في رائد الفضاء بقوة دفع في اتجاه الداخل، فتزوّده بتسارع مركزيّ. وتؤثّر قوة الرائد في الإطار الخارجي للمحطة في اتجاه الخارج؛ إذ تعمل بوصفها جاذبية اصطناعية وفقًا للقانون الثالث لنيوتن.
3. ستختلف الإجابات. إحدى الفوائد أنّ الحركة تُنتج "جاذبية اصطناعية". ومن سلبيّاتها أنّ الأعضاء الحساسة في الأذن الداخلية ستشعر الإنسان بالدوران، وقد يؤدي ذلك إلى ظهور أعراض مَرضيّة يشبه تأثير دُوارِ البحر.

2-1 حركة المقذوف Projectile Motion

المفردات

- المقذوف
- مسار المقذوف

الأفكار الرئيسة

- الحركتان الرأسية والأفقية للمقذوف مستقلتان.
- المركبة الرأسية لحركة المقذوف لها تسارع ثابت.
- لا يكون للمركبة الأفقية لحركة المقذوف تسارع، وتكون سرعتها منتظمة بإهمال مقاومة الهواء.
- تحل مسائل حركة المقذوفات أولاً باستعمال الحركة الرأسية لربط الارتفاع، وزمن التحليق، والسرعة الابتدائية الرأسية، ثم نجد المسافة المقطوعة أفقيًّا.
- يعتمد المدى الأفقي على تسارع الجاذبية وعلى مركبتي السرعة الابتدائية.
- يُسمى المسار المنحني الذي يتبعه المقذوف في الهواء بالقطع المكافئ.

2-2 الحركة الدائرية Circular Motion

المفردات

- الحركة الدائرية المنتظمة
- التسارع المركزي
- القوة المركزية

الأفكار الرئيسة

- الجسم الذي يسير بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري يتسارع نحو مركز الدائرة، لذا يكون له تسارع مركزي.
- مقدار التسارع المركزي يساوي حاصل قسمة مربع السرعة على نصف قطر المسار الدائري.

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

- يمكن التعبير عن التسارع المركزي بدلالة الزمن الدوري T.

$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

- لا بد من وجود قوة محصلة في اتجاه المركز للحصول على تسارع مركزي.

$$F_{\text{محصلة}} = ma_c$$

- متجه السرعة لجسم له تسارع مركزي يكون دائمًا في اتجاه المماس للمسار الدائري.

2-3 السرعة النسبية Relative Velocity

الأفكار الرئيسة

- يمكن استعمال الجمع الاتجاهي لحل مسائل السرعة النسبية.

$$v_{a/c} = v_{a/b} + v_{b/c}$$

- مفتاح الحل لمسائل السرعة النسبية هو رسم المثلث الذي يمثل السرعات الثلاث.

الفصل 2
دليل الدراسة

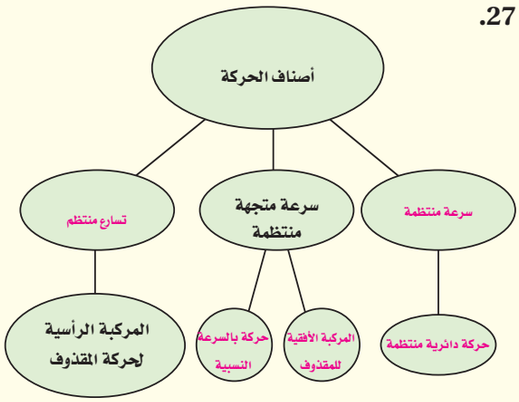
الأفكار الرئيسة

يمكن أن يستعمل الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
قم بزيارة الموقع الالكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

خريطة المفاهيم

27.



إتقان المفاهيم

28. a. أكبر مركبة رأسية للسرعة عند النقطة E.

b. عند إهمال مقاومة الهواء، فإنّ السرعة الأفقيّة هي نفسها عند النقاط جميعها. والسرعة الأفقيّة ثابتة ومستقلة عن السرعة الرأسيّة.

c. أقلّ سرعة رأسية تكون عند النقطة B.

d. التسارع هو نفسه عند النقاط جميعها.

29. ستكون الطائرة فوق الرزمة مباشرة عندما تصطدم الرزمة بالأرض. كلتاهما لها السرعة الأفقيّة نفسها، وستبدو الرزمة كأنّها تتحرّك أفقيًّا في أثناء سقوطها رأسيًّا بالنسبة لمراقب على الأرض.

30. a. لا، في أثناء الحركة في منعطف يتغيّر اتجاه السرعة، وبالتالي لا يمكن للتسارع أن يساوي صفرًا.

b. لا، قد يكون مقدار التسارع منتظمًا، ولكن اتجاهه متغيّر.

31. تتناسب القوة المركزية طرديًّا مع مربع سرعة الجسم.

32. يمكن الحصول على مقدار السرعة النسبيّة لتلك السيارة بالنسبة إلى سيارتك عن طريق جمع مقدار سرعتي السيارتين معًا. وحيث إنّه من المحتمل أن تتحرّك كلٌّ من السيارتين حسب السرعة المحدّدة، فإنّ السرعة النسبيّة تكون أكبر من السرعة المحدّدة.

تطبيق المفاهيم

33. $-20\ m/s$؛ تشير الإشارة السالبة إلى أنّ الاتجاه إلى الأسفل.

34. $6.0\ s$

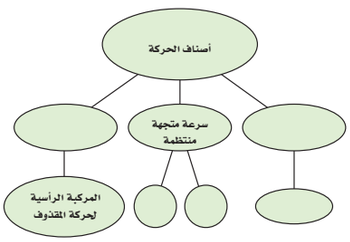
35. يؤثر كل من سرعة الوثبة وزمنها وزاوية الوثبة في طول الوثبة. ويتحقّق أكبر مدى أفقي عندما تتساوى المركبتان الأفقيّة والرأسيّة لسرعة القفز؛ أيْ عندما تكون زاوية الوثب 45° على الأفقي. إذًا يؤثر كل من الارتفاع ومقدار السرعة في المدى.

36. a. ستسقط الكرة في يدك؛ لأنك والكرة والسيّارة تتحركون بالسرعة الأفقية نفسها.

b. ستسقط الكرة بجانبك في اتجاه خارج المنعطف. سيُبيّن منظر علويّ أنّ الكرة تتحرّك في خطّ مستقيم بينما أنت والسيارة تتحركان في اتجاه الخارج من تحت الكرة.

خريطة المفاهيم

27. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستعمال المصطلحات التالية: سرعة ثابتة، المركبة الأفقية لحركة المقذوف، تسارع منتظم، حركة بالسرعة النسبية، حركة دائرية منتظمة.



إتقان المفاهيم

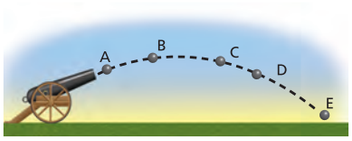
28. ادرس الشكل 11–2 الذي يمثل مسار قذيفة مدفع، ثم أجب عن الأسئلة التالية:

a. أين يكون مقدار المركبة الرأسية للسرعة أكبر ما يمكن؟

b. أين يكون مقدار المركبة الأفقية للسرعة أكبر ما يمكن؟

c. أين تكون السرعة الرأسية أقل ما يمكن؟

d. أين يكون مقدار التسارع أقل ما يمكن؟



■ الشكل 11–2

29. ألقي قائد طائرة تطير بسرعة منتظمة على ارتفاع ثابت رزمة ثقيلة. إذا أُهملت مقاومة الهواء فأين تكون الطائرة بالنسبة إلى الرزمة عندما ترتطم الرزمة بالأرض؟ ارسم مسار الرزمة كما يراه الناظر من الأرض.

30. هل يمكنك الدوران حول منعطف بالتسارعين الآتيين؟ فسّر إجابتك.

a. تسارع يساوي صفرًا.

b. تسارع منتظم.

31. كيف تعتمد القوة المركزية على مقدار سرعة الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة؟

32. لماذا تبدو سرعة السيارة المتحركة على الخط السريع، وفي اتجاه معاكس للسيارة التي تركبها أكبر من السرعة المحددة؟

تطبيق المفاهيم

33. كرة القدم قذفت كرة رأسيًّا إلى أعلى بسرعة $20\ m/s$، ما سرعة الكرة عند عودتها إلى نقطة الإطلاق نفسها؟ أهمل مقاومة الهواء.

34. كرة القدم يرمي لاعبٌ كرةً بسرعة $24\ m/s$ في اتجاه يصنع زاوية 45° فوق الأفقي، فإذا استغرقت الكرة $3.0\ s$ للوصول إلى أقصى ارتفاع لها، ثم التُقطت عند الارتفاع نفسه الذي أطلقت منه، فما زمن تحليقها في الهواء، مع إهمال مقاومة الهواء؟

35. إذا كنت تعتقد أن ما تعلمته في هذا الفصل يؤدي إلى تحسين أدائك في الوثب الطويل، فهل الارتفاع الذي تصل إليه يكون له أي تأثير في وثبتك؟ وما الذي يؤثر في طولها؟

36. تخيل أنك تجلس في سيارة وتقذف كرة رأسيًّا إلى أعلى.

a. إذا كانت السيارة تتحرك في خط مستقيم بسرعة منتظمة، فهل تسقط الكرة أمامك، أم خلفك، أم في يدك؟

b. إذا كانت السيارة تتحرك في منعطف بسرعة منتظمة المقدار، فأين تسقط الكرة؟

37. القيـادة على الطريـق السريـع إذا تجاوزت سـيارةٌ سيارةً أخرى على الطريق السريع، وكانت السيارتان تسـيران فـي الاتجاه نفسـه، فسـوف تسـتغرق زمنًا أطول مما لو كانت السـيارتان تسـيران في اتجاهين متعاكسين. فسر ذلك.

إتقان حل المسائل

38. إذا قذفت بقلمك أفقيًّا من فوق سطح بناية ارتفاعها 64 m، بسـرعة 8.0 m/s، فعلـى أي بعـد مـن قاعدة البناية يجب أن تبحث عنه؟

39. يبيـن **الشـكل 12–2** سـيارة لعبة تسـقط مـن حافة طاولـة ارتفاعهـا 1.225 m لتصطـدم بالأرض على بعد 0.400 m من قاعدة الطاولة، فما:

a. الزمن الذي تستغرقه السيارة في الهواء؟

b. مقـدار سـرعة السـيارة لحظـة مغادرتها سـطح الطاولة؟

الشكل 12–2

40. الرمايـة قذف سـهم في اتجـاه يصنع زاويـة 30.0° فـوق الأفقي، فـإذا كانت سـرعته 49 m/s وأصاب الهدف، أجب عما يأتي:

a. ما أقصى ارتفاع يصل إليه السهم؟

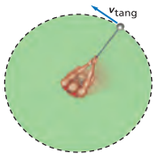
b. إذا كان ارتفـاع لوحـة الهدف هو الارتفاع نفسـه لنقطـة إطـلاق السـهم، فمـا بعـد اللوحة عـن نقطة إطلاق السهم؟

41. سباق السيارات سيارة كتلتها 615 kg تكمل دورة سباق واحـدة في 14.3 s، ودورة السـباق عبارة عن مضمـار دائـري نصـف قطـره 50.0 m، فإذا تحركت السـيارة بسرعة ثابتة المقدار، فما مقدار:

a. تسارع السيارة؟

b. القـوة التـي تؤثـر بها الطريـق في عجلات السـيارة لتنتج هذا التسارع؟

42. قـذف المطرقة يُدوّر لاعبٌ مطرقـةً كتلتها 7.00 kg، وتبعد مسـافة 1.8 m عن محور الدوران، وتتحرك في مسـار دائريٍّ أفقي كما في **الشـكل 13–2**، فإذا أتمت المطرِّقـة دورة واحـدة فـي 1.0 s، فاحسـب مقـدار التسـارع المركزي لها، واحسـب مقدار قوة الشـد في السلسلة؟



الشكل 13–2

43. يوفر الاحتكاك للسـيارة القوة اللازمة للمحافظة على حركتهـا في مسـار دائري أفقي مسـتوٍ خلال السـباق. ما أقصى سـرعة يمكن للسـيارة أن تتحـرك بها؟ علمًا بـأن نصف قطر المسـار 80.0 m، ومعامـل الاحتكاك السكوني بين العجلات والشارع 0.40

44. السفـر بالطـائـرة إذا كـنـت تركـب طـائـرة صغيـرة وتـريـد الـوصـول إلى مطار يبعـد 450 km جنوبًا في ثلاث سـاعات، وكانت الرياح تهب من الغرب بسرعة 50 km/h، فما مقدار واتجاه سرعة الطائرة التي يجب أن تطير بها لكي تصل في الوقت المناسب؟

التقويم

37. السرعة النسبيّة لسيارتين تتحركان في الاتجاه نفسـه أقلّ مـن السـرعـة النسبيّة لهـما عنـدمـا تتحركان في اتجاهين متعاكسين، وبالتالي فإنّ تجاوز السيارتين لبعضهما بعضًا بسرعة نسبيّة أقلّ يستغرق زمنًا أطول.

إتقان حلّ المسائل

38. 29 m

39. a. 0.500 s

b. 0.800 m/s

40. a. 31 m

b. 2.1×10^{2} m

41. a. $9.59\ m/s^{2}$

b. 5.90×10^{3} N

42. $F_T = F_{\text{محصلة}} = ma_c = 5.0 \times 10^{2}\ N$، $71\ m/s^{2}$

43. 18 m/s

44. 1.6×10^{2} km/h في اتجاه يصنع زاوية 18° غرب الجنوب.

التقويم

45.a. 5.0 m/s في اتجاه يصنع زاوية 53° بالنسبة لضفة النهر

b. الموازية: 3.0 m/s، العمودية: 4.0 m/s

مراجعة عامة

46. 1157 m/s

47. 24 N

التفكير الناقد

48. لا. تُغيّر قوة الجاذبية الرأسيّة سرعة السيارات، لذلك لا تكون حركة السيارات حركة دائريّة منتظمة.

49. إنّ النظام لا يتحرك حركة دائريّة منتظمة؛ فقوة الجاذبية الأرضية تزيد مقدار سرعة الكرة عندما تتحرّك نزولاً في اتجاه الأسفل وتقلّل من مقدار سرعتها عندما تتحرّك الكرة صعودًا في اتجاه الأعلى. لذلك فالتسارع المركزي الذي يحافظ على حركتها في مسار دائري يكون أكبر في الأسفل وأقلّ عند قمة مسارها. فعند القمة تكون قوة الجاذبية وقوة الشدّ في الاتجاه نفسه، لذلك تكون قوة الشدّ المطلوبة أقلّ. أمّا في الأسفل فتكون قوة الجاذبية وقوة الشدّ في اتجاهين متعاكسين (قوة الجاذبية في اتجاه الأسفل وقوة الشدّ في اتجاه الأعلى)، لذلك تكون قوة الشدّ في الخيط أكبر.

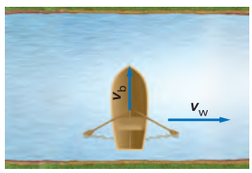
مراجعة تراكميّة

50. السرعة المتوسطة = 8 m/s

45. عبور نهر إذا كنت تجدف بقارب كما في الشكل 14–2 في اتجاه عمودي على ضفة نهر يتدفق الماء فيه بسرعة 3.0 m/s، وكانت سرعة قاربك 4.0 m/s بالنسبة إلى الماء، فاحسب:

a. سرعة قاربك بالنسبة لضفة النهر.

b. مُركّبتي سرعة قاربك: الموازية لضفة النهر، والعمودية عليها.



الشكل 14–2

مراجعة عامة

46. إطلاق قذيفة تتحرك طائرة بسرعة 375 m/s بالنسبة إلى الأرض، فإذا أطلقت قذيفة في اتجاه الأمام بسرعة 782 m/s بالنسبة إلى الطائرة، فما سرعة القذيفة بالنسبة إلى الأرض؟

47. كرة كتلتها 1.13 kg مربوطة في نهاية خيط طوله 0.50 m، وتتحرك حركة دائرية منتظمة في مستوى رأسي بسرعة ثابتة مقدارها 2.4 m/s، احسب مقدار قوة الشد في الخيط عند أخفض نقطة في المسار الدائري.

التفكير الناقد

48. تطبيق المفاهيم انظر الأفعوانية في الشكل 15–2، هل تتحرك العربات في هذه الأفعوانية في حركة دائرية منتظمة؟ فسّر إجابتك.

الشكل 15–2

49. التحليل والاستنتاج كرة مربوطة في نهاية خيط خفيف، وتتحرك في مسار دائري في المستوى الرأسي، حلّل حركة هذا النظام وصفه، مع أخذ قوة الجاذبية الأرضية وقوة الشد في الاعتبار. هل هذا النظام يمثل حركة دائرية منتظمة؟ فسّر إجابتك.

مراجعة تراكمية

50. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) مستعملاً البيانات الواردة في الجدول أدناه، ثم احسب السرعة المتوسطة للفترة الزمنية بين 0.00 s و 5.0 s

الموقع — الزمن	
الزمن t (s)	الموقع d (m)
0.0	30
1.0	30
2.0	35
3.0	45
4.0	60
5.0	70

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة في كل ممايأتي:

1. طالب طوله 1.60 m، يرمي كرة قدم في اتجاه يصنع زاوية 41.0° فوق الأفقي، وبسرعة ابتدائية 9.40 m/s، على أي بعد من الطالب تسقط الكرة؟

Ⓐ 4.55 m Ⓒ 8.90 m
Ⓑ 5.90 m Ⓓ 10.5 m

2. يقف يعسوب على حافة دوّامة، وعلى بعد 2.8 m من المركز، فإذا كان مقدار السرعة المماسية لليعسوب 0.89 m/s، فما مقدار تسارعه المركزي؟

Ⓐ 0.11 m/s² Ⓒ 0.32 m/s²
Ⓑ 0.28 m/s² Ⓓ 2.2 m/s²

3. جسم كتلته 0.82 kg مربوط في نهاية خيط مهمل الكتلة طوله 2.0 m، ويتحرك في مسار دائري أفقي، فإذا كان مقدار القوة المركزية المؤثرة فيه تساوي 4.0 N، فما مقدار السرعة المماسية لهذه الكتلة؟

Ⓐ 2.8 m/s Ⓒ 4.9 m/s
Ⓑ 3.1 m/s Ⓓ 9.8 m/s

4. سيارة كتلتها 1000 kg، تدخل مسارًا دائريًّا نصف قطره 80.0 m، بسرعة مقدارها 20.0 m/s، ما مقدار القوة المركزية التي سبّبها الاحتكاك بحيث لا تنزلق السيارة؟

Ⓐ 5.0 N Ⓒ 5.0×10^{3} N
Ⓑ 2.5×10^{2} N Ⓓ 1.0×10^{3} N

5. يركض طالب على ضفة نهر بسرعة مقدارها 10 km/h، ويرى قاربًا يتقدم نحوه بسرعة مقدارها 20 km/h، ما مقدار سرعة اقتراب الطالب من القارب؟

Ⓐ 3 m/s Ⓒ 40 m/s
Ⓑ 8 m/s Ⓓ 100 m/s

6. أُسقطت برتقالة من ارتفاع ما في اللحظة نفسها التي أُطلقت فيها رصاصة أفقيًّا من بندقية من الارتفاع نفسه. أي العبارات التالية صحيحة؟

Ⓐ تسارع الجاذبية الأرضية أكبر على البرتقالة؛ لأن البرتقالة أثقل.

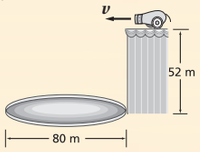
Ⓑ الجاذبية تؤثر في الرصاصة بصورة أقل من البرتقالة؛ لأن الرصاصة أسرع كثيرًا.

Ⓒ ستكون سرعتاهما متساويتين.

Ⓓ سيصطدم الجسمان بالأرض في اللحظة نفسها.

الأسئلة الممتدة

7. تُطلق قذيفة مدفع (كرة مملوءة بريش ملون) أفقيًّا بسرعة مقدارها 25 m/s، من منصة ارتفاعها 52 m، فوق حلقة قطرها 80 m في قاعة سيرك كما في الشكل. هل تسقط الكرة ضمن حلقة السيرك أم تتجاوزها؟



8. يحرك محارب صولجانًا كتلته 5.6 kg، مربوطًا في نهاية سلسلة مهملة الكتلة طولها 86 cm، ويبدو شكل مسار حركة الصولجان دائرة أفقية فوق رأس المحارب. فإذا أكمل الصولجان دورة كاملة في 1.8 s، فاحسب قوة الشد في السلسلة.

✓ إرشاد

تدريب تحت ظروف مشابهة للاختبار

أجب عن جميع الأسئلة خلال الزمن الذي يحدِّده لك المعلم دون الرجوع إلى الكتاب. هل أتممت الاختبار؟ هل تعتقد أنه كان بإمكانك استثمار الوقت بصورة أفضل؟ وما المواضيع التي تحتاج إلى مراجعتها؟

سلّم تقدير

يمثّل الجدول التالي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة:

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يُدَرَّس، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، ولكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا فقط للمواضيع الفيزيائيّة، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلاً صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلاً غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة الاختيار من متعدد

1. D **2.** B **3.** B **4.** C
5. B **6.** D

الأسئلة الممتدة

7. 82 m، فتسقط الكرة خارج الحلقة، لذا يجب ضبط المدفع ليطلق القذيفة قليلاً في اتجاه الأسفل.

8. 59 N

الفصل 3

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
3-1 حركة الكواكب والجاذبية 1. **تربط** بين قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني. 2. **تحسب** الزمن الدوريّ والسرعة المدارية. 3. **تصف** أهميّة تجربة كافندش.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** منقلة، ومسطرة مترية. **عرض المعلم** **عرض سريع** كرتا جولف.
3-2 استعمال قانون الجذب الكوني 4. **تحلّ** مسائل على الحركة المداريّة. 5. **تربط** انعدام الوزن مع أجسامٍ في حالة سقوطٍ حرّ. 6. **تصف** مجال الجاذبية. 7. **تقارن** بين مشاهد في الجاذبية.	**تجارب الطالب** **تجربة** قلم رصاص، وكأس ورقية، وماء ملون. **تجربة إضافيّة** خيط، وميزان نابضي، وجسم كتلته 1 kg. **مختبر الفيزياء** قطعة من ورق مقوى، وطبق ورقي أبيض، ودبوسان، ومسطرة مترية، وقلم رصاص أو حبر ذو سن حادة، وأربعة أربطة مطاطية، وخيط طوله 25 cm . **عرض المعلم** **عرض سريع** نصل منشار، وكتل مختلفة، وشريط لاصق.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثالث

الفصل 3

الجاذبية

نظرة عامة إلى الفصل

يعرض هذا الفصل القوانين التي تحكم حركة الكواكب من منظور تاريخي. كما يتضمّن مناقشة قوانين كبلر وتفسيرها من خلال قانون الجذب الكوني، ومناقشة الوزن وحالة انعدام الوزن في المدار. كما يعرض الفصل مفهوم مجالات الجاذبية.

فكِّر

هذه صورة للمذنب هال – بوب عند أقرب نقطة له من الشمس، ويمكن الحكم من خلال ذيل المذنب بأنّ المذنب هال – بوب يتوجّه نحو الشمس التي تقع على يمين الصورة بالنسبة لموقع المذنب. وللمذنب هال –بوب زمن دوري كبير، ويدور حول الشمس في مدار إهليلجيّ.

المفردات الرئيسة

- القانون الأول لكبلر
- القانون الثاني لكبلر
- القانون الثالث لكبلر
- قوة الجاذبية
- قانون الجذب الكوني (العام)
- مجال الجاذبية
- الكتلة القصورية
- كتلة الجاذبية

الفصل 3 الجاذبية Gravitation

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تعلم طبيعة قوة الجاذبية.
- الربط بين قوانين كبلر في حركة الكواكب وقوانين نيوتن في الحركة.
- وصف مدارات الكواكب والأقمار الاصطناعية باستعمال قانون الجذب الكوني.

الأهمية

تساعدك قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني على فهم حركة الكواكب والأقمار الاصطناعية.

المُذنّبات اكتُشف مذنب هال– بوب على يد العالمين ألن هال وتوماس بوب عام 1995م. ودخل هذا المذنب نظامنا الشمسي عام 1997م، وظهرت مناظر لذيله الغباري الأبيض وذيله الأيوني الأزرق.

فكِّر

تدور المذنبات حول الشمس كما تفعل الكواكب. كيف تستطيع وصف مدار مذنب مثل مذنب هال– بوب؟

N/A

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

الهدف تبيّن أنّ الكواكب تسير في مدارات إهليلجيّة، وذلك من خلال رسم البيانات على ورق رسم بياني مناسب.

الموادّ والأدوات منقلة، ومسطرة متريّة.

استراتيجيّات التدريس راجع مع الطلبة كيفية استعمال المنقلة لرسم الزوايا. كمثال على مقياس المسافة استعمل

وحدة فلكية (AU) 3.5 cm=0.35

تجربة استهلالية

هل يمكنك عمل نموذج لحركة عطارد؟

سؤال التجربة هل تتحرك الكواكب في نظامنا الشمسي في مدارات دائرية أم في مدارات لها أشكال أخرى؟

الخطوات

1. استعمل جدول البيانات أدناه لرسم مدار عطارد باستعمال مقياس الرسم $1\ AU = 10\ cm$. ولاحظ أن الوحدة الفلكية الواحدة AU تساوي بُعْدَ الأرض عن الشمس. $1\ AU = 1.5 \times 10^8\ km$
2. احسب المسافة بوحدة cm لكل مسافة مقيسة بوحدة AU.
3. عيّن مركز ورقتك، وارسم خطًّا صفريًّا أفقيًّا وخطًّا صفريًّا رأسيًّا عند هذه النقطة.
4. ضع المنقلة على الخط الأفقي على أن يكون مركزها منطبقًا على مركز الورقة، وقس الدرجات، ثم ضع علامات عندها.
5. ضع المسطرة بحيث تمر بالمركز وعلامة الزاوية، وارسم خطًّا بين المركز وكل علامة. قد تحتاج إلى وضع المنقلة على الخط الرأسي لقياس بعض الزوايا.
6. عندما تنتهي من وضع علامات لنقاط البيانات كلها ارسم خطًّا يصل بينهما.

التحليل

صف شكل مدار عطارد، وارسم خطًّا يمر بالشمس يمثل أطول محور للمدار، وسمّه المحور الرئيس.

التفكير الناقد كيف يمكن مقارنة مدار عطارد بمدار المذنب هال – بوب الظاهر في الصفحة السابقة ؟

مسار عطارد

$d\ (AU)$	$\theta\ (°)$
0.35	4
0.31	61
0.32	122
0.38	172
0.43	209
0.46	239
0.47	266
0.44	295
0.40	330
0.37	350

الأهداف

- **تربط** بين قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني.
- **تحسب** الزمن الدوري والسرعة المدارية.
- **تصف** أهمية تجربة كافنديش.

المفردات

القانون الأول لكبلر	قوة الجاذبية
القانون الثاني لكبلر	قانون الجذب الكوني (العام)
القانون الثالث لكبلر	

كان يُعتقد قديمًا أن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تدور كلها حول الأرض، إلا أن العالم البولندي كوبرنيكس لاحظ أن المشاهدات المتوافرة لحركة الكواكب والنجوم لا تتفق كليًّا مع هذا النموذج الذي مركزه الأرض. وقد نُشرت نتائج أعمال كوبرنيكس عام 1543م، حيث بيّن أن حركة الكواكب يمكن فهمها بصورة أفضل إذا افترضنا أن الأرض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس.

ثم جاء تايكو براهي بعد سنوات قليلة من موت كوبرنيكس. وفي الرابعة عشرة من عمره في الدنمارك لاحظ كسوفًا للشمس عام 1560م، قرّر بعدها أن يُصبح فلكيًّا، فدرس الفلك خلال سفره عبر أوربا مدة خمس سنوات. ولم يستعمل التلسكوب، بل استعمل أجهزة صممها بنفسه. وتوصل خطأً – كما سيتبين لك– إلى أن الشمس والقمر يدوران حول الأرض، في حين تدور الكواكب الأخرى حول الشمس.

N/A

3–1 حركة الكواكب والجاذبية

1. التركيز

نشاط محفّز

مقياس أمسك كرة بيدك وأخبر الطلبة بأنّها تمثّل الشمس، ثمّ اطلب إليهم أن يجدوا جسمًا آخر يمثّل الأرض مستعملين المقياس نفسه. يُمكنك الاستعانة بالجدول 1 – 3. المقياس هو $1:6 \times 10^9$ ، حيث تكون الأرض بقطر 2 mm تقريبًا. أحضر أجسامًا مثل: كرة تنس وحبة ذرة وحبة بلوط وحبوب فلفل وحبة جوز ورأس دبوس. وضّح للطلبة أنّهم في النشاطات القادمة سيستعملون الكرة وحبوب الفلفل لبناء نموذج للنظام الشمسي. م 2

بصري - مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

الجاذبية يُطبق الطلبة القانون الثاني لنيوتن في الحركة على قوة جديدة، وهي قوة الجاذبية، التي تُسبّب ظهور التسارع المركزي لقمر يتحرك في مداره.

النتائج المتوقعة ستختلف إجابات الطلبة.

التحليل مدار عطارد له شكل إهليلجيّ حيث تكون الشمس في إحدى بؤرتيه.

التفكير الناقد إنّ مذنب هال – بوب يدور حول الشمس في مدار إهليلجيّ مثل عطارد، ولكن مدار عطارد أصغر بكثير.

2. التدريس

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الشمس مركز النظام الشمسي قد يعتقد الطلبة أن فكرة الشمس مركز النظام الشمسي كانت موجودة أيام كوبرنيكس، أو جاليلو، أو نيوتن. فعليًّا لم يُقبل البرهان المبني على المشاهدات والملاحظات حتى الثلاثينيات من القرن التاسع عشر، حيث قُبل نظام كوبرنيكس لأنّه كان أسهل من النظام الذي مركزه الأرض، كما أنّ قوانين نيوتن استطاعت أن تصف حركة الكواكب في نظام كوبرنيكس (الشمس مركز النظام الشمسي). أمّا في النظام الذي مركزه الأرض فلم يكن ممكنًا تطبيق قوانين نيوتن على اعتبار أنّ مدارات الكواكب تكون حول الأرض.

تطوير المفهوم

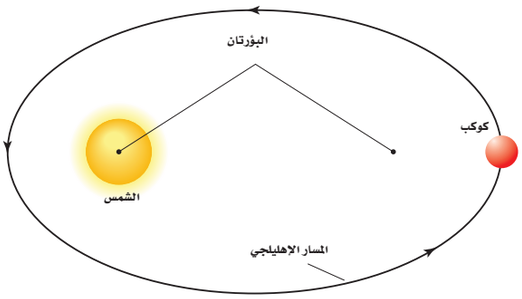
بناء نموذج لحركة الكواكب تعرّف معلومات الطلبة عن الأرض، والشمس، والنّظام الشمسيّ، وذلك من خلال مشاهداتهم اليوميّة، مثل الحركة الظاهريّة للشمس حول الأرض، وتفاصيل حركتها في السماء، وحركة النجوم خلال الليل وعلى مدار السنة. ثمّ اطلب إليهم بناء نموذج يوضح هذه المشاهدات. إذا اختار الطلبة نموذجًا مركزه الشمس، فاسألهم: ما المشاهدات التي تدعم هذا الاختيار؟ م 2 بصري - مكاني

الشكل 1–3 من بين الأجهزة الضخمة التي وضعها براهي ليستعملها على جزيرة هيفين جهاز الأسطرلاب (b و a)، وآلة السدس (c).

قوانين كبلر Kepler's Laws

أصبح يوهان كبلر الألماني مساعدًا لبراهي عندما انتقل إلى براغ. ودرّب براهي مساعديه على كيفية استعمال الأجهزة المبيَّنة في **الشكل 1–3**. وعندما تُوفي براهي ورث كبلر نتائج مشاهداته، ودرس البيانات، وكان مقتنعًا أن علمي الهندسة والرياضيات جديران أن يوصّلا إلى عدد الكواكب وأبعادها وحركاتها. اعتقد كبلر أن الشمس تولّد قوة على الكواكب المحيطة، واعتبرها مركز المجموعة الشمسية. وبعد عدة سنوات من الدراسة التحليلية لبيانات حركة المريخ اكتشف كبلر القوانين التي تصف حركة كل كوكب.

القانون الأول لكبلر ينص على أن مدارات الكواكب إهليلجية وتقع الشمس في إحدى البؤرتين؛ فالشكل الإهليلجي له بؤرتان، كما في **الشكل 2–3**. و تسير المذنبات في مدارات إهليلجية أيضًا مثل الكواكب والنجوم، وتقسم إلى مجموعتين اعتمادًا على الزمن الدوري لها – وهو الزمن اللازم للمذنب ليكمل دورة واحدة – المجموعة الأولى لها زمن دوري أكبر من 200 سنة مثل الزمن الدوري للمذنب هال – بوب 2400 سنة، أما الزمن الدوري للثانية فأقل من 200 سنة، مثل الزمن الدوري لمذنب هالي 76 سنة.



الشكل 2–3 تدور الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.

نشاط **مشروع فيزياء**

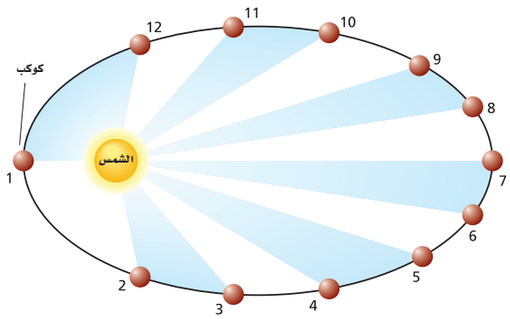
مدارات لامركزيّة اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا عن نماذج تاريخيّة مختلفة للنظام الشمسي، لتفسر كيف أثر ذلك في كبلر؟ واسألهم: لماذا يجب معرفة أنّ مدارات الكواكب إهليلجيّة على الرّغم من أنّ كوبرنيكس عمل على فرضية أن المدارات دائريّة؟ ثمّ اطلب إليهم العمل معًا لرسم وتوضيح المدارات اللامركزيّة لبعض الكواكب. واسألهم: هل بلوتو هو الكوكب الأبعد دائمًا عن الشمس؟ لا؛ لأنّه بسبب المدار الإهليلجيّ وحسب موقعه هل هو في النقطة الأقرب أو الأبعد عن الشمس، يكون بلوتو أقرب إلى الأرض من نبتون أحيانًا. م 2 بصري - مكاني

وجد كبلر أن الكواكب تتحرك بسرعة أكبر عندما تكون قريبة من الشمس، بينما تتحرك بسرعة أبطأ عندما تكون بعيدة عنها. وهكذا ينص القانون الثاني لكبلر، على أن الخط الوهمي الواصل بين الشمس والكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية، كما في الشكل 3–3.

وقد توصل كبلر كذلك إلى علاقة رياضية تربط بين الزمن الدوري للكوكب وبين متوسط بعده عن الشمس، حيث ينص القانون الثالث لكبلر على أن مربع النسبة بين زمنين دوريين لكوكبين حول الشمس يساوي مكعب النسبة بين متوسطي بعديهما عن الشمس. وهكذا إذا كان الزمنان الدوريان T_B, T_A وبعداهما المتوسطان عن الشمس r_B, r_A فيصبح القانون الثالث لكبلر على النحو التالي:

القانون الثالث لكبلر $\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3$

لاحظ أن القانونين الأول والثاني يطبقان على كل كوكب أو قمر على حدة، أما القانون الثالث فيربط بين حركة عدة أجسام تدور حول جسم واحد. فهو على سبيل المثال يستعمل لمقارنة أبعاد الكواكب عن الشمس بأزمانها الدورية، كما في الجدول 1–3، كما يستعمل هذا القانون أيضًا لمقارنة الأبعاد والأزمان الدورية للقمر وللأقمار الاصطناعية حول الأرض.



الشكل 3–3 يتحرك الكوكب بأقصى سرعة عندما يكون قريبًا من الشمس، ويتحرك أبطأ عندما يكون بعيدًا عنها. ويمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية.

الجدول 1–3

بيانات الأجرام

الجِرم	متوسط نصف القطر (m)	الكتلة (kg)	متوسط البعد عن الشمس (m)
الشمس	6.96×10^{8}	1.99×10^{30}	—
عطارد	2.44×10^{6}	3.30×10^{23}	5.79×10^{10}
الزهرة	6.05×10^{6}	4.87×10^{24}	1.08×10^{11}
الأرض	6.38×10^{6}	5.98×10^{24}	1.50×10^{11}
المريخ	3.40×10^{6}	6.42×10^{23}	2.28×10^{11}
المشتري	7.15×10^{7}	1.90×10^{27}	7.78×10^{11}
زحل	6.03×10^{7}	5.69×10^{26}	1.43×10^{12}
أورانوس	2.56×10^{7}	8.68×10^{25}	2.87×10^{12}
نبتون	2.48×10^{7}	1.02×10^{26}	4.50×10^{12}

61

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

المدارات الإهليلجية ارسم على السبّورة دائرة قطرها 1 m ثم ضع الشمس على بعد 1 cm من مركز الدائرة. إنّ الفرق بين مركزي المدار الدائري والمدار الإهليلجي في هذه الحالة يساوي 0.07 mm. ثم اسأل: أين يكون موقع الأرض بالنسبة إلى الشمس خلال فصل الشتاء في نصفها الشمالي؟ تكون الأرض قريبة من الشمس خلال شهر يناير. بيّن للطلبة أنّ الفصول الأربعة على الأرض ليست ناتجة عن موقع الأرض بالنسبة إلى الشمس، ولكن بسبب ميل محور الأرض. فعند ميل نصف الكرة الشمالي بعيدًا عن الشمس، لا تسقط أشعة الشمس عمودية عليه، خاصة كلما اتجهنا إلى القطب الشمالي، حيث تسقط الأشعة بزوايا سقوط كبيرة وبالتالي تكون تلك المناطق باردة. م 2

نشاط

اختلاف الموقع النجمي تتغيّر مواقع النجوم القريبة إلى الأرض مع تغيّر موقع الأرض حول الشمس. اطلب إلى الطلبة عمل هذا النشاط لنمذجة اختلاف الموقع النجمي. تحتاج في هذا النشاط إلى كوبين سعة كل منهما 1 L، مزودين بغطاءين بلاستيكيين، ومصباحين كهربائيين (ضع أحدهما في منتصف غرفة الصف والآخر في الجهة البعيدة)، وشريط لاصق. اثقب مركز قاعدة كل كوب ثقبًا صغيرًا، ثمّ اربط الكوبين بحيث يكونان متجاورين. سيمثّل الكوبان تلسكوبين، حيث يمثّل أحدهما موقع الأرض في شهر فبراير، ويمثّل الآخر موقعها في شهر يوليو، ضع أحد المصباحين في وسط الغرفة ليمثل نجمًا قريبًا والآخر في الطرف البعيد منها ليمثل نجمًا بعيدًا. ضع الكوبين بعيدًا عن المصباحين في غرفة الصف ثمّ عتّم الغرفة، سيتكون صورتان على غطاء كل كوب، إحدى الصورتين للمصباح القريب، والأخرى للمصباح البعيد. وتكون صورة المصباح القريب مزاحة قليلًا عند مقارنتها بصورة المصباح البعيد. وهذا ما يراه الفلكيون ولكن على نحو مضخم. م 2 حسي - حركي

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

علم الفلك في الحضارات القديمة كان علم الفلك يشكّل جزءًا رئيسًا في العديد من الثقافات والأديان. حيث كانت معرفة طول السنة أساسًا للحضارات التي تعتمد على الزراعة، فأجرت شعوب أمريكا الوسطى مشاهدات دقيقة لكوكب الزهرة، وبنى المسلمون الأسطرلاب في بغداد في القرن الثامن وهو جهاز لقياس مواقع النجوم والكواكب، وقد شاهد سكان الصين انفجار السديم Nebula عام 1054، وهذا الحدث لم يُشاهد في الغرب.

مثال صفي

سؤال يوروبا هو أحد أقمار كوكب المشتري وزمنه الدوري 3.55 يومًا. فكم وحدة يبعُد عن مركز المشتري؟

الإجابة

$$r_E^3 = (4.2 \text{ وحدة})^3 \left(\frac{3.55 \text{ يوم}}{1.8 \text{ يوم}}\right)^2$$

$$= 288 \text{ (وحدة)}^3$$

$$r_E = 6.6 \text{ وحدة}$$

تعزيز الفهم

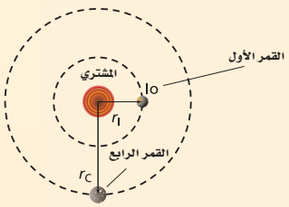
قوانين كبلر قارن بين مداري قمري كوكب المشتري الأول والرابع في المثال 1. ثم اسأل الطلبة كيف استعمل جاليليو القانون الثالث لكبلر؟ عامل جاليلو المشتري كالشمس، والأقمار كما لو كانت كواكب سيّارة تدور حوله. م 2

مثال 1

بُعد القمر الرابع عن المشتري قاس جاليليو أبعاد مدارات أقمار المشتري مستعملًا قطر المشتري كوحدةَ قياس. ووجد أن الزمن الدوري لأقرب قمر هو 1.8 يوم، وكان على بعد 4.2 وحدات من مركز المشتري. أما الزمن الدوري للقمر الرابع فهو 16.7 يومًا. احسب بُعد القمر الرابع عن المشتري باستعمال الوحدات التي استعملها جاليليو.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مداري القمر الأول والرابع للمشتري.
- عيّن أنصاف الأقطار.



المعلوم	المجهول
$T_C = 16.7$ يومًا	$r_c = ?$
$T_I = 1.8$ يوم	
$r_I = 4.2$ وحدة	

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل القانون الثالث لكبلر لإيجاد r_c.

$$\left(\frac{T_c}{T_I}\right)^2 = \left(\frac{r_c}{r_I}\right)^3$$

$$r_c^3 = r_I^3 \left(\frac{T_c}{T_I}\right)^2$$

$$= \sqrt[3]{r_I^3 \left(\frac{T_c}{T_I}\right)^2}$$

بالتعويض عن $r_I = 4.2$ وحدة
$T_c = 16.7$ يومًا
$T_I = 1.8$ يوم

$$= \sqrt[3]{(4.2 \text{ وحدة})^3 \left[\frac{16.7 \text{ يومًا}}{1.8 \text{ يوم}}\right]^2}$$

$$= \sqrt[3]{6.4 \times 10^3 \text{ (وحدة)}^3}$$

$$= 19 \text{ وحدة}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** ستكون r_C بوحدات جاليليو مثل r_I.
- **هل الجواب منطقي؟** الزمن الدوري كبير، لذلك سيكون نصف القطر كبيرًا.

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

مدارات إهليلجيّة ارسم مدارًا دائريًّا، ثم راجع مع الطلبة موضوع الحركة الدائريّة. استعمل رسوم الحركة الدائريّة لتوضيح كيف يؤدي التسارع إلى تغيير اتجاه السرعة، وبيّن أنّ القوة التي تسبّب هذا التسارع تكون في اتجاه المركز. ثمّ ارسم مدارًا إهليلجيًّا بحيث تكون الشمس في إحدى بؤرتيه، وارسم خطوطًا من الشمس إلى نقاط مختارة على المدار الإهليلجي، مع ملاحظة أنّ القوة المؤثرة في الكوكب تكون على امتداد الخط الواصل بين الكوكب والشمس، ويكون التسارع في هذا الاتجاه أيضًا. وضّح للطلبة أنّ التسارع يكون عموديًّا على المدار (حيث لا يوجد تغير في مقدار السرعة) عند أقرب نقطة وأبعد نقطة عليه، أمّا عند النقاط الأخرى فلا يكون التسارع عموديًّا على المدار بسبب وجود مركّبة للسرعة في اتجاه المدار (حيث تزيد سرعة الكوكب أو تقل). م 1 بصري – مكاني

مسائل تدريبية

1. إذا كان لأحد أقمار المشتري زمن دوري قدره 32 يومًا، فكم وحدة يبلغ نصف قطر مداره؟ استعمل المعلومات المُعطاة في مثال 1.
2. يدور كويكب حول الشمس في مدار متوسط نصف قطره ضعفا متوسط نصف قطر مدار الأرض. احسب زمنه الدوري بالسنوات الأرضية.
3. إذا استعملت **الجدول 1–3** يمكنك إيجاد أن بعد المريخ عن الشمس أكبر بـ 1.52 مرة من بعد الأرض عن الشمس. احسب الزمن اللازم لدوران المريخ حول الشمس بالأيام الأرضية.
4. الزمن الدوري لدوران القمر حول الأرض 27.3 يومًا، ومتوسط بعد القمر عن مركز الأرض 3.90×10^5 km، اجب عما يلي:

a. استعمل قوانين كبلر لحساب الزمن الدوري لقمر اصطناعي موضوع في مدار يبعد 6.70×10^3 km عن مركز الأرض.

b. كم يبعد القمر الاصطناعي عن سطح الأرض؟

قانون نيوتن في الجذب العام Newton's Law of Universal Gravitation

في عام 1666م، وبعد مضي 45 سنة على نشر كبلر لنتائجه، بدأ نيوتن دراسته لحركة الكواكب، فوجد أن مقدار قوة جذب الشمس F المؤثرة في كوكب تتناسب عكسيًّا مع مربع البعد r بين مركز الكوكب ومركز الشمس. أيْ أن F تتناسب مع $\frac{1}{r^2}$، وتؤثر القوة F في اتجاه الخط الواصل بين مركزي الجسمين.

يُقال إن مشاهدة سقوط تفاحة جعلت نيوتن يتساءل: ماذا لو امتد أثر هذه القوة التي تسببت في سقوط التفاحة إلى القمر أو حتى أبعد من ذلك؟ وجد نيوتن أن تسارع كل من التفاحة والقمر متوافق مع العلاقة $\frac{1}{r^2}$. وحسب القانون الثالث لنيوتن فإن القوة التي تؤثر بها الأرض في التفاحة تساوي تلك القوة التي تؤثر بها التفاحة في الأرض. ويجب أن تتناسب قوة التجاذب بين أي جسمين مع كتل هذه الأجسام، وتُسمى هذه القوة **قوة الجاذبية**.

كان نيوتن واثقًا أن قوة التجاذب هذه موجودة بين أي جسمين في أي مكان من هذا الكون. وقد صاغ **قانونه في الجذب الكوني** الذي ينص على أن الأجسام تجذب أجسامًا أخرى بقوة تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلها، وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مراكزها. ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة التالية:

قانون الجذب الكوني $F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$

قوة الجاذبية تساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كلٍّ من كتلة الجسمين الأول والثاني، مقسومًا على مربع المسافة بين مركزي الجسمين.

تبعًا لقانون نيوتن هذا، تتناسب F طرديًّا مع m_1 و m_2، ولذلك إذا تضاعفت كتلة

مسائل تدريبية

1. 29 وحدة.
2. 2.8 سنة.
3. 684 يومًا.
4. **a.** 88.6 min **b.** 3.2×10^2 km

التفكير الناقد

تناسب التربيع العكسي يتضمّن قانون نيوتن في الجاذبية أمثلة على التناسب الطردي وتناسب التربيع العكسي. وضّح للطلبة باستعمال الأرقام كيف تتغيّر القوة المحسوبة بوساطة قانون الجذب الكوني (العام)، عندما تأخذ الكتلة الأولى مع نصف الكتلة الثانية، أو ضعفيها، أو ثلاثة أضعافها. ثمّ أعد الحسابات لعدد من التغيّرات في المسافة. عندما نأخذ نصف إحدى الكتلتين تقلّ القوة إلى النصف، وعند مضاعفة الكتلة تتضاعف القوة، وعندما تتضاعف الكتلة إلى ثلاثة أمثالها تتضاعف القوة ثلاثة أمثالها أيضًا، وهكذا.

أمَّا عندما تقلّ المسافة بين الجسمين إلى النصف، فإن القوة تتضاعف إلى أربعة أمثال مقدارها، في حين تؤدي مضاعفة المسافة مرتين (ضعفين) إلى تقليل القوة إلى ربع مقدارها، وتقلّل مضاعفة المسافة لثلاثة أمثالها القوةَ إلى تسع مقدارها. م2

عرض سريع

قانون نيوتن في الجاذبية

الزمن المقترح 5 دقائق

الموادّ والأدوات كرتا جولف

الخطوات أمسك كرة جولف في كل يد، بحيث تكون الكرة الأولى على ارتفاع 1 m من أرضية الصف والأخرى على ارتفاع 2 m من الأرضية نفسها. ثمّ اطلب إلى الطلبة تأمّل معادلة قانون الجذب الكوني $F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$، والمقارنة بين القوتين المؤثرتين في الكرتين. تكون القوتان متساويتين لأنّ r تقاس بحساب البعد عن مركز الأرض.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

التلسكوب أجرى كل من براهي وكبلر عملهما دون تلسكوب، بينما استعمل جاليليو تلسكوبًا بسيطًا عند اكتشافه أقمار المشتري، وحلقات كوكب زُحل، وأطوار كوكب الزهرة. ولقد دعمت هذه الاكتشافات نموذج الشمس كمركز للنظام الشمسي. اسأل الطلبة: ما الذي تتميّز به التلسكوبات عن العين المجردة؟ اطلب إليهم مراقبة النجوم بالاشتراك مع نادٍ فلكي، وأن يلخصوا مشاهداتهم ويوضحوا كيف ساعد التلسكوب على تحقيق ذلك. يجمع التلسكوب ضوءًا أكثر مما تستطيعه العين، ممّا يمكّن من رؤية الأجسام ذات الإضاءة الخافتة. م1

تطوير المفهوم

قانون نيوتن في الجاذبية لم يكن واضحًا من خلال قانون الجذب الكوني أنّه يمكن تفسير قوة جذب جسم كبير كالأرض على تفاحة. فقد استغرق نيوتن 20 عامًا في تطوير حساب التفاضل والتكامل لإثبات هذه الحقيقة. ارسم على السبّورة مخطّطًا للأرض والتفاحة، واسأل الطلبة: ماذا يمكن أن يحدث لو كانت الأرض مجزأة إلى مجموعة من الصخور؟ ثم ارسم أسهمًا تمثّل القوى المتبادلة بين هذه الصخور والتفاحة، ووضّح كيف يبطل التماثل القوى من جهتي اليسار واليمين. فمن خلال رسم أشكال مخروطية صغيرة لها زوايا مختلفة نلاحظ أنّ كمية الصخور البعيدة عن التفاحة أكبر من كمية الصخور القريبة منها، وهذا من شأنه أن يعوّض عن القوة الضعيفة بين التفاحة وأجزاء الأرض البعيدةعنها. م 2 بصري-مكاني

المناقشة

سؤال صمّم شفافيّة توضح فيها شخصًا يقف على سطح كويكب، واطلب إلى الطلبة تقدير قيمة g على سطح الكويكب، علمًا بأنّ نصف قطر الكويكب يساوي 1.5 m وكثافته مساوية لكثافة كوكب فيستا وهي $3.3\times10^3\,kg/m^3$. اعتمادًا على قيمة g التي حسبتها، صف ما الذي يحدث عندما يقفز هذا الشخص إلى الأعلى؟

الجواب

$$V=\frac{4}{3}\pi r^3=14\,m^3$$

$$m=(3.3\times10^3\,kg/m^3)(14\,m^3)$$

$$=4.6\times10^4\,kg$$

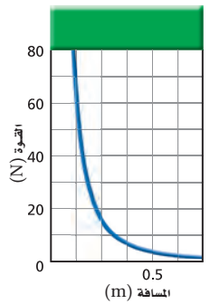
$$g=\frac{Gm}{r^2}$$

$$=\frac{(6.67\times10^{-11}\,N.m^2/kg^2)\,(4.6\times10^4\,kg)}{(1.5\,m)^2}$$

$$=1.4\times10^{-6}\,m/s^2$$

سيكون ارتفاع قفزته عاليًا جدًّا م 2

الشكل 4–3 يتّبع تغيرُ قوة الجاذبية بتغير المسافة قانونَ التربيع العكسي.



الكوكب القريب من الشمس فإن القوة ستتضاعف. استعمل الرياضيات في الفيزياء في الجدول التالي، لمساعدتك على إدراك أن تغير أحد المتغيرات يؤثر في الآخر. و يبين **الشكل 4 –3** منحنًى لقانون التربيع العكسي (العلاقة بين قوة الجاذبية والمسافة).

الرياضيات في الفيزياء

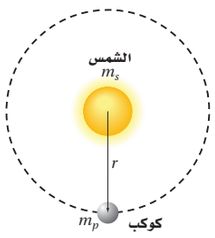
العلاقات الطردية والعكسية يحتوي قانون نيوتن في الجذب الكوني كلا التناسبين الطردي والعكسي.

$F\propto\frac{1}{r^2}$		$F\propto m_1m_2$	
التغير	النتيجة	التغير	النتيجة
$2r$	$\frac{1}{4}F$	$2\,m_1\,m_2$	$2F$
$3r$	$\frac{1}{9}F$	$3\,m_1\,m_2$	$3F$
$\frac{1}{2}r$	$4F$	$2\,m_1 3m_2$	$6F$
$\frac{1}{3}r$	$9F$	$\frac{1}{2}m_1\,m_2$	$\frac{1}{2}F$

الجذب الكوني والقانون الثالث لكبلر
Universal Gravitation and Kepler's Third Law

وضع نيوتن قانون الجذب الكوني بتعابير تنطبق على حركة الكواكب حول الشمس. وهذا يتفق مع القانون الثالث لكبلر، ويؤكد أن قانون نيوتن في الجذب الكوني يتطابق مع المشاهدات الحديثة.

إذا افترضت كوكبًا ما يدور حول الشمس في مدار دائري، كما في **الشكل 5–3**. فإنه يمكن كتابة القانون الثاني لنيوتن في الحركة على الصورة $\boldsymbol{F}_{\text{محصلة}}=m_p\boldsymbol{a}_c$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ قوة الجاذبية، و m_p كتلة الكوكب، و a_c التسارع المركزي للكوكب. ويعطي التسارع المركزي في الحركة الدائرية المنتظمة من العلاقة $\boldsymbol{a}_c=\frac{4\pi^2r}{T^2}$ ، لذا يمكن كتابة $\boldsymbol{F}_{\text{محصلة}}=m_p\boldsymbol{a}_c$ على النحو التالي: $\boldsymbol{F}_{\text{محصلة}}=\frac{m_p4\pi^2r}{T^2}$. والمقصود بـ T في هذه المعادلة الزمن اللازم لدوران الكوكب دورة كاملة حول الشمس. وإذا ساويت الحد الأيمن في هذه المعادلة بالحد الأيمن لقانون الجذب الكوني تحصل على النتيجة التالية:



الشكل 5–3 كوكب كتلته m_p ونصف قطر مداره r، يدور حول الشمس التي كتلتها m_s.

$$G\frac{m_sm_p}{r^2}=\frac{m_p4\pi^2r}{T^2}$$

$$T^2=\left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right)r^3$$

$$T=\sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right)r^3}$$

64

ويمكن التعبير عن الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس كما يأتي:

الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس

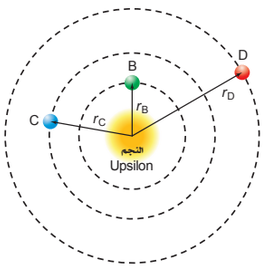
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس يساوي 2π مضروبًا في الجذر التربيعي لمكعب نصف القطر مقسومًا على ثابت الجذب الكوني وكتلة الشمس.

وبتربيع طرفي المعادلة يتبين أن هذه المعادلة هي القانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. حيث يتناسب مربع الزمن الدوري طرديًّا مع مكعب المسافة الفاصلة بين مراكز الأجسام. ويعتمد المعامل $\frac{4\pi^2}{Gm_s}$ على كتلة الشمس وثابت الجذب الكوني. وقد وجد نيوتن أن هذا الاشتقاق ينطبق كذلك على المدارات الإهليلجية.

مسألة تحدٍّ

اكتشف الفلكيون ثلاثة كواكب تدور حول النجم Upsilon وهذه الكواكب هي: الكوكب B الذي يبلغ نصف قطر مداره 0.059 AU وزمنه الدوري 4.6170 يومًا، والكوكب C يبلغ نصف قطر مداره 0.829 AU وزمنه الدوري 241.5 يومًا، والكوكب D الذي يبلغ نصف قطر مداره 2.53 AU وزمنه الدوري 1284 يومًا. (المسافة بين الأرض والشمس تساوي 1.00 AU)



1. هل تخضع هذه الكواكب للقانون الثالث لكبلر؟
2. أوجد كتلة النجم Upsilon بدلالة كتلة الشمس.

قياس ثابت الجذب الكوني
Measuring the Universal Gravitational Constant

ما قيمة الثابت G؟ كما تعرف، تبدو قوة التجاذب بين جسمين على الأرض ضعيفة نسبيًّا، ويصعب الكشف عن هذه القوة بين كتلتي كرتي البولنج مثلًا. وفي الواقع استغرق الأمر 100 عام بعد نيوتن ليتمكن العلماء من تصميم جهاز حساس بما يكفي لقياس قوة الجاذبية.

تجربة كافندش استعمل العالم الإنجليزي هنري كافندش في عام 1798م جهازًا كما في **الشكل 6–3** لقياس قوة الجاذبية بين جسمين. وللجهاز ذراع أفقية تحمل كرتين من الرصاص عند نهايتيها. وهذه الذراع معلقة من منتصفها بسلك رفيع قابل للدوران، ولأن الذراع معلقة بسلك رفيع فهي حساسة لأي قوة أفقية. ولقياس G، وضع كافندش

الشكل 6–3 تستعمل موازين كافندش الحديثة لقياس قوى الجذب بين جسمين.

استعمال الشكل 6 – 3

اعرض صورًا لموازين الليّ وموازين كافندش المحوسبة. حيث تعمل قوة الجاذبية التي تؤثّر بها الكتل الكبيرة في الكتل الصغيرة على التواء السلك. ويمكن قياس مقدار الليّ بملاحظة انحراف شعاع الضوء، حيث يولّد السلك عزمًا يتناسب مع مقدار زاوية انحراف الشعاع. ويمكن حساب ثابت التناسب من خلال قياس الزمن الدوري لاهتزازه، ثم تُقاس زاوية الاتزان، وبَعدها يمكن استخلاص قوة الجاذبية. م 2

مسألة تحدٍّ

1. للكوكب B: $\frac{r_B^3}{T_B^2} = 9.6\times10^{-6}\ \text{AU}^3/\text{days}^2$

للكوكب C: $\frac{r_C^3}{T_C^2} = 9.77\times10^{-6}\ \text{AU}^3/\text{days}^2$

للكوكب D: $\frac{r_D^3}{T_D^2} = 9.82\times10^{-6}\ \text{AU}^3/\text{days}^2$

وهذا يتفق مع القانون الثالث لكبلر.

2. لنظام الأرض – الشمس

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{(1.000\ \text{AU})^3}{(1.000\ \text{yr})^2} = 1.000$$

لنظام الكوكب Upsilon – C

$$\frac{r^3}{T^2} = 9.77\times10^{-6}\ \text{AU}^3/\text{days}^2$$

$$= (9.77\times10^{-6}\ \text{AU}^3/\text{day}^2)(365\ \text{day/yr})^2$$

$$= 1.3\ \text{AU}^3/\text{yr}^2$$

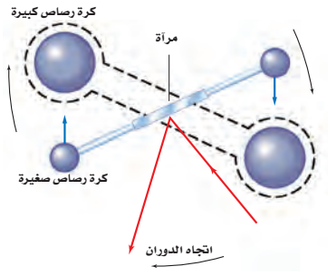
كتلة النجم تساوي 1.3 مرة كتلة الشمس.

تطوير المفهوم

قيمة الثابت G مشتقة من قانون نيوتن في الجذب الكوني، حيث إنّ الثابت G هو الرقم المستعمل في حساب قوة الجاذبية. كانت القيمة المقبولة للثابت G في ثمانينيات القرن الماضي هي:

$$6.67260 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kg.s^2}$$

مع نسبة خطأ مرتفعة تساوي 0.01% أمّا القيمة المقبولة حديثًا فهي $G = 6.67390 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kg.s^2}$ ونسبة الخطأ فيها تساوي 0.0014 % ولا زال العلماء يبحثون في طبيعة الجاذبية.



■ **الشكل 7–3** عند وضع الكرات الكبيرة بالقرب من الصغيرة فإن قوة الجاذبية تؤدي إلى دوران الذراع. ويقاس الدوران بمساعدة الشعاع الضوئي المنعكس.

كرتين ثقيلتين من الرصاص قريبتين من الكتلتين الصغيرتين كما يبين **الشكل 7–3**. وقد أدت قوة التجاذب بين الكرتين الكبيرة والصغيرة إلى دوران الذراع. وعند تساوي قوة اللّيّ للسلك الرفيع وقوة التجاذب بين الكرات، تتوقف الذراع عن الدوران. وقد تمكن كافندش من قياس قوة التجاذب بين الكتل من خلال قياسه للزاوية التي شكّلها دوران الذراع، حيث يتم قياس الزاوية التي يشكلها دوران الذراع بوساطة الشعاع المنعكس عن مرآة مستوية. وقد تمكن كافندش من خلال قياس الكتل والمسافة بين مراكز الكرات، والتعويض بذلك مستعملًا قانون نيوتن في الجذب الكوني – من تحديد قيمة تجريبية للثابت G، حيث $G = 6.67 \times 10^{-11} N.m^2/kg^2$، وذلك عندما تكون وحدة قياس m_1 و m_2 هي (kg) و r بـ (m) و F بـ (N).

أهمية الثابت G يطلق على تجربة كافندش أحيانًا "إيجاد وزن الأرض"؛ لأن تجربته ساعدت على حساب كتلة الأرض. وبمعرفة قيمة الثابت G يمكن حساب كتلة الشمس أيضًا، إضافةً إلى حساب قوة الجاذبية بين أي كتلتين، وذلك بتطبيق قانون نيوتن في الجذب الكوني. فمثلاً، قوة التجاذب بين كرتي بولنج كتلة كل منهما 7.26 Kg والمسافة بين مركزيهما 0.30 m يمكن حسابها على النحو التالي:

$$F_g = \frac{(6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2)\ (7.26\ kg)\ (7.26\ kg)}{(0.30\ m)^2}$$

$$F_g = 3.9 \times 10^{-8}\ N$$

وتعلم أن وزن جسم كتلته m على سطح الأرض هو مقياس لقوة جذب الأرض له $F_g = mg$. فإذا سميت كتلة الأرض m_E ونصف قطر الأرض r_E فإن:

$$g = G\frac{m_E}{r_E^2} \text{ وينتج عن ذلك أن } F_g = G\frac{m_E m}{r_E^2} = mg$$

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بدلالة m_E، أي $m_E = \frac{g\, r_E^2}{G}$

وبما أن $r_E = 6.38 \times 10^6\ m$؛ $g = 9.80\ m/s^2$؛ وكذلك $G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{N.m^2}{kg^2}$

فإننا نحصل على القيمة التالية لكتلة الأرض:

$$m_E = \frac{(9.80\ m/s^2) \times (6.38 \times 10^6\ m)^2}{(6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2)} = 5.98 \times 10^{24}\ kg$$

وعندما تقارن كتلة الأرض بكتلة كرة البولنج تدرك لماذا لا تظهر بوضوح قوة التجاذب بين الأجسام التي نشاهدها في حياتنا اليومية. لقد ساعدت تجربة كافندش على تحديد قيمة الثابت، وأكدت توقعات نيوتن من حيث وجود قوة تجاذب بين أي جسمين، وساعدت أيضًا على حساب كتلة الأرض.

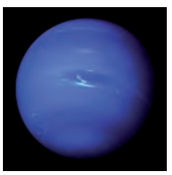
الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

قوة الجاذبية اطلب إلى الطلبة مناقشة الأسئلة التالية: ما مدى شمولية قانون نيوتن في الجذب الكوني؟ هل تعتمد قوة الجاذبية على الكتلة فقط، ولا تعتمد على نوع مادة الكتلة؟ هل يمكن أن تعتمد على عدد البروتونات والنيوترونات في المادّة؟ كانت الاختبارات المبكرة على يد العالم الهنغاري لورند اتفوس (Lorand Eotvos) المولود في عام 1848م الذي اخترع ميزان اللّيّ الحساس إذ قارن بين قوى الجاذبية المؤثرة في أجسام مختلفة لها الكتلة القصورية نفسها، مستخدمًا أنواعًا مختلفة من الخشب والمعادن. وتوصل إلى أنّ القوى متساوية لخمسة أجزاء في البليون.

3-1 مراجعة

5. **الزمن الدوري لنبتون** يدور كوكب نبتون حول الشمس في مدار نصف قطره 4.495×10^{12} m، مما يسمح للغازات ـ ومنها الميثان ـ بالتكاثف وتكوين غلاف جوي كما يوضحه **الشكل 8–3**. فإذا كانت كتلة الشمس 1.99×10^{30} kg، احسب الزمن الدوري لهذا الكوكب.



الشكل 8–3

6. **الجاذبية** إذا بدأت الأرض في الانكماش، ولكن كتلتها بقيت ثابتة، فماذا يمكن أن يحدث لتسارع الجاذبية g على سطحها؟

7. **قوة الجاذبية** ما قوة الجاذبية بين جسمين كتلة كل منهما 15 kg والمسافة بين مركزيهما 35 cm؟ وما نسبة هذه القوة إلى وزن كلٍ منهما؟

8. **ثابت الجذب الكوني** أجرى كافندش تجربته باستعمال كرات مصنوعة من الرصاص. افترض أنه استبدل كرات الرصاص بكرات من النحاس ذات كتل متساوية فهل تكون قيمة G هي نفسها أم تختلف؟ وضح ذلك.

9. **التفكير الناقد** يحتاج رفع صخرة على سطح القمر إلى قوة أقل من التي تحتاج إليها على الأرض.

   a. كيف تؤثر قوة الجاذبية الضعيفة على سطح القمر في مسار الحجر عند قذفه أفقيًّا؟

   b. إذا سقط حجر على إصبع قدم شخص، فأيهما يؤذيه أكثر: سقوطه من الارتفاع نفسه على سطح القمر، أم على سطح الأرض؟ فسّر ذلك.

3. التقويم

التحقّق من الفهم

رسم مخطّط الجسم الحرّ ارسم مدارًا دائريًّا يُمثّل مدار قمر اصطناعي حول الأرض، وحدّد موقعين للقمر الاصطناعي في مداره، ثمّ اطلب إلى الطلبة نسخ الرسم في دفاترهم، ورسم مخطّط الجسم الحرّ للقمر الاصطناعي. ثم اطلب إليهم تحديد القوة أو القوى المؤثرة فيه واتجاه تسارعه على الرسم. يكون هناك قوة واحدة فقط مؤثرة فيه هي F_g ويجب أن تكون في اتجاه الأرض، كما يجب أن يكون متّجه التسارع في اتجاه القوة نفسه. ناقش الطلبة: لماذا لا يوجد قوى أخرى تُؤثر في القمر الاصطناعي؟ حيث إنّه لا يوجد أيّ جسم يُلامس القمر، فإنّ قوى التلامس غير موجودة. إنّ القوة بعيدة المدى المؤثرة في القمر الاصطناعي هي قوة الجاذبية الأرضيّة، لذلك يوجد قوة واحدة فقط. إذا ذكر الطلبة القوة المركزيّة أو قوة الطرد المركزي كقوة إضافيّة تُؤثر في القمر، فاسألهم: ما مصدر هذه القوة؟ وذكّرهم أنّه يجب ألا تُحسب القوة مرتين. م 2

بصري - مكاني

إعادة التدريس

عرض الكتلة أمسك كرة ذات كتلة صغيرة (كرة جولف مثلًا) في يد وكرة ذات كتلة أكبر (كرة بولينغ مثلًا) باليد الأخرى، ثمّ اسأل الطلبة، هل طريقة سقوط الكرتين تساعدنا على معرفة كتلتيهما أو معرفة كتلة الأرض؟ وكيف ينطبق هذا السؤال على الأقمار الاصطناعية؟ للجسمين التسارع نفسه، ولا يعتمد على كتلتيهما، ولكنه يعتمد على كتلة الأرض، وينطبق الشيء نفسه على حركة الأقمار الاصطناعية. م 2

3-1 مراجعة

5. 6.02×10^{5} يوم

6. ستزداد قيمة g.

7. 1.2×10^{-7} N، 0.82 جزء من بليون من الوزن.

8. تكون قيمة G نفسها؛ لأنّه باستعمال قيمة G نفسها تمَّ بنجاح وصف التجاذب بين أجسام ذات تراكيب كيميائية مختلفة.

9. a. يبقى المسار قطعًا مكافئًا، ولكنه سيكون أعرض بكثير (المدى الأفقي كبير مما لو قذف من على سطح الأرض).

   b. يكون الأذى أكبر على سطح الأرض؛ لأنّ قيمة g على الأرض أكبر من قيمتها على القمر.

2–3 استعمال قانون الجذب الكوني

1. التركيز

نشاط محفّز

حركة المقذوفات *تحذير: ضع نظارات واقية.* ارفع كرة (جولف مثلًا) في اتجاه الأعلى بطول ذراعك. أفلت الكرة على أرضية الصف ثمّ أمسكها عند أعلى موقع بعد ارتدادها عن الأرضية. اطرح على الطلبة الأسئلة التالية: ما المسافة التي قطعتها الكرة في الثانية الأولى من سقوطها؟ (4.9 m). اعتبر أنّ الكرة قُذفت أفقيًّا بالسرعات التالية: 50 m/s و 10 m/s و 500 m/s، ما المسافة الرأسيّة التي ستقطعها الكرة في الثانية الأولى؟ (4.9 m). ما المسافة الأفقيّة التي ستقطعها الكرة في الثانية الأولى في كل حالة؟ 10 m و 50 m و 500 m وما شكل مسارها؟ سيكون منحنيًا. اطلب إلى الطلبة ربط هذا النشاط بالشكل 9 – 3. م1 **بصري – مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

حركة الأقمار الاصطناعية اطلب إلى الطلبة تطبيق قانون نيوتن في الجاذبية على حركة الأقمار الاصطناعية. يحتاج الطلبة إلى مراجعة مفهومي الوزن والكتلة. م2

2. التدريس

تطوير المفهوم

- **المسارات** ابدأ مع الطلبة بالحقيقة التالية: يسقط الجسم القريب من سطح الأرض في اتجاهها ويقطع مسافة مقدارها 4.9 m في الثانية الأولى. أنشئ جدولاً للمسافات الأفقيّة التي سيقطعها الجسم في تلك الثانية وذلك عند سرعات أفقيّة مختلفة.
- **المحاكاة بالرسم البياني** ساعد الطلبة على تقدير انحناء سطح الأرض من خلال رسم مخطط مناسب للكرة الأرضية، وتقديم التفسيرات التالية: عندما تسير مسافة أفقيّة x على سطح الأرض، فإنك تجتاز سطحها بزاوية θ، ويُعبّر عن هذه الزاوية بالعلاقة: $\tan\theta = x/r_E$، حيث تُمثّل r_E نصف قطر الأرض ويساوي 6.37×10^3 km وعندما تقطع هذه الزاوية فإنّ سطح الأرض ينخفض عن الخط الأفقي مسافة رأسية y تُعطى بالعلاقة: $y = r_E(1-\cos\theta)$. فمثلًا إذا كانت x = 8 km، فإنّ $\tan\theta = 1.3 \times 10^{-3}$ و y = 5 m م2

الأهداف
- **تحل** مسائل على الحركة المدارية.
- **تربط** انعدام الوزن مع أجسام في حالة سقوط حر.
- **تصف** مجال الجاذبية.
- **تقارن** بين مشاهد في الجاذبية.

المفردات
مجال الجاذبية
الكتلة القصورية
كتلة الجاذبية

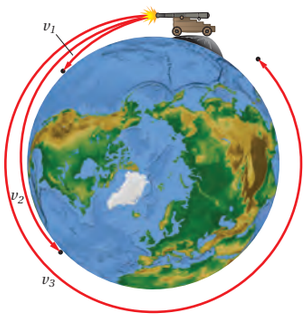
اكتُشف الكوكب أورانوس عام 1781م، وبحلول عام 1830م كان واضحًا أن مدار أورانوس الذي تم حسابه بوساطة قانون الجاذبية لا يتّفق مع المدار الفعلي لهذا الكوكب. فاقترح عالمان فلكيان أن هناك كوكبًا آخر غير مكتشف يجذب أورانوس بالإضافة إلى جذب الشمس له. وقد قاما بحساب مدار هذا الكوكب عام 1845م، وبعد سنة من ذلك أعلن فلكيون في مرصد برلين أنهم وجدوا ذلك الكوكب الذي يعرف اليوم بنبتون.

مسارات الكواكب والأقمار الاصطناعية
Orbits of Planets and Satellites

استعمل نيوتن رسمًا – كما في **الشكل 9–3** – ليوضح فكرة تجربة حول حركة الأقمار الاصطناعية، فتخيل مدفعًا يطلق قذيفة في اتجاه أفقي بسرعة معينة. هذه القذيفة لها سرعة أفقية وأخرى رأسية، ولذلك يكون مسارها قطعًا مكافئًا، ثم تسقط على الأرض.

إذا زادت السرعة الأفقية للقذيفة فإنها ستقطع مسافة أطول على سطح الأرض، ولكنها ستسقط في النهاية على سطحها. أمّا إذا كان هناك مدفع ضخم تنطلق منه القذيفة بسرعة كبيرة جدًّا فإن القذيفة ستسير المسافة كاملةً حول الأرض وتستمر في ذلك. وبعبارة أخرى، ستتحرك القذيفة في مدار دائري حول الأرض.

لقد أهملت فكرة تجربة نيوتن مقاومة الهواء المحيط بالأرض. ولكي تتخلص القذيفة من مقاومة الهواء يجب أن تُطلق من مدفع على جبل ارتفاعه أكثر من 150 km فوق سطح الأرض. وبالمقارنة فإن الجبل سيكون أعلى بكثير من قمة جبل إفرست التي يبلغ ارتفاعها 8.85 km إن قذيفة تطلق من ارتفاع 150 km لن تواجه مقاومة الهواء، لأنها تكون خارج معظم الغلاف الجوي الأرضي. ولذا فإن قذيفة أو قمرًا اصطناعيًّا عند هذا الارتفاع سيدور في مدار ثابت حول الأرض.



الشكل 9–3 السرعة الأفقية v_1 ليست كبيرة، لذا ستسقط القذيفة على الأرض. وعند سرعة أكبر v_2 فإن القذيفة ستقطع مسافة أكبر. وتقطع القذيفة المسار كله حول الأرض عندما تكون السرعة v_3 كبيرة بدرجة كافية.

يتحرك القمر الاصطناعي الذي يدور على ارتفاع ثابت عن الأرض حركة دائرية منتظمة. تذكر أن تسارعه المركزي يُعبّر عنه بالعلاقة التالية: $a_c = \frac{v^2}{r}$، لذا يكتب القانون الثاني لنيوتن على الصورة التالية: $F_{\text{محصلة}} = \frac{mv^2}{r}$ فإذا كانت كتلة الأرض m_E، ثم دُمج هذا القانون بقانون نيوتن في الجذب الكوني فإنه يُعبّر عنه بالعلاقة التالية:

$$G\frac{m_E m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

ولذا تحصل على مقدار سرعة القمر الاصطناعي الذي يدور حول الأرض بالعلاقة:

سرعة القمر الاصطناعي الذي يدور حول الأرض $v = \sqrt{\frac{G m_E}{r}}$

سرعة القمر الاصطناعي الذي يدور حول الأرض يساوي الجذر التربيعي لثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الأرض ومقسومًا على نصف قطر المدار.

الزمن الدوري للقمر الاصطناعي مدار القمر الاصطناعي حول الأرض يشبه مدار الكواكب حول الشمس. وتعلم أن الزمن الدوري للكوكب حول الشمس يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

لذا فإن الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض يُعبّر عنه بالعلاقة:

الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$

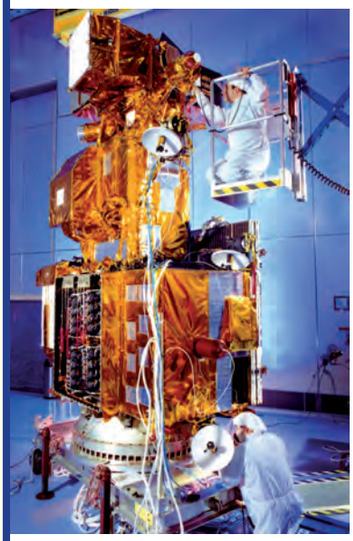
الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض يساوي 2π مضروبًا في الجذر التربيعي لمكعب نصف قطر المدار مقسومًا على ثابت الجذب الكوني وكتلة الأرض.

يمكن استعمال معادلات سرعة الأقمار الاصطناعية وزمنها الدوري لأي جسم آخر يتحرك في مدار حول جسم ثان. ويعوض عن m_E في المعادلات بكتلة الجسم المركزي، وr بالمسافة بين مركز الجسم الذي يتحرك في مدار وبين مركز الجسم المركزي. إن السرعة المدارية v والزمن الدوري T مستقلان عن كتلة القمر الاصطناعي. فهل هناك أي عوامل تحدد كتلة القمر الاصطناعي؟

كتلة القمر الاصطناعي يزودنا القمر الاصطناعي لاندسات 7 في **الشكل 10–3** بصور سطحية للأرض. وتستعمل هذه الصور في رسم الخرائط ودراسة استغلال الأراضي، كما يقوم هذا القمر بعمل مسح للمصادر الأرضية والخامات والتغيرات التي تحدث على الكرة الأرضية. ويمكن تسريع (تعجيل) مثل هذه الأقمار باستعمال الصواريخ التي تزوِّدها بالسرعة المناسبة من أجل وضعها في مساراتها حول الأرض. وكلما زادت كتلة القمر تطلّب ذلك صاروخًا أقوى لإيصاله إلى مداره.

تطبيق الفيزياء

المدار المتزامن مع الأرض يدور القمر الاصطناعي GOES–12 للتوقعات الجوية حول الأرض دورة كل يوم وعلى ارتفاع 35,785 km، وتتفق السرعة المدارية للقمر مع معدل دوران الأرض، فيبدو القمر بالنسبة لمراقب على الأرض كأنه فوق بقعة معينة على خط الاستواء. ولذلك يُوجّه الطبق على الأرض في اتجاه معين، ولا يحتاج إلى تغيير لالتقاط الإشارات المرسلة من القمر الاصطناعي.



الشكل 10–3 يوجه القمر الاصطناعي لاندسات 7 عن بعد، وكتلته تساوي 2200 kg، ويدور حول الأرض على ارتفاع 705 km

تطبيق الفيزياء

قمران اصطناعيان للاستشعار عن بعد يسميان GOES يعملان على تغطية النصف الغربي من الكرة الأرضية، يُسمى الأول GOES–East وهو ثابت فوق خطّ الطول 75° W. ويُسمى الآخر GOES–West وهو ثابت فوق خطّ الطول 135° W. كتلة كلّ منهما مقدارها 2100 kg حيث تم إطلاق كل منهما بوساطة صاروخ. وقد حلّ القمر الاصطناعي GOES–12 المعروف باسم القمر GOES–East محلّ القمر الاصطناعي GOES–8 وذلك بعد أكثر من ست سنوات من الخدمة. وهناك قمر اصطناعي ثالث في المدار يمكن أن يتحرّك إلى الموقع إذا حدث عطل في أيّ من القمرين.

تعزيز الفهم

السرعة المداريّة اطلب إلى الطلبة أن يفسروا كيف يعتمد مقدار سرعة جسم ما يتحرك في مدار دائريّ على نصف قطر المدار، وذلك من خلال السؤالين التاليين: إذا ضاعفت نصف القطر فماذا يحدث لمقدار السرعة؟ سيصبح مقدار السرعة $\frac{1}{\sqrt{2}}$، أو 70.7% من مقدار سرعته الأصلية. وإذا ضاعفت نصف القطر فماذا يحدث للزمن الدوري؟ سيكون مقدار السرعة $\sqrt{2^3}$ أو 2.8 مرة ضعف السرعة الأصلية. م 2

استعمال النماذج

أين سيكون المريخ عند منتصف الليل؟ اطلب إلى كل طالب رسم دائرتين تمثّلان مداري الأرض والمريخ بمقياس رسم مناسب على ورقة كبيرة، مثلاً يمكن أن يرسموا مدار الأرض بنصف قطر يساوي 15 cm ومدار المريخ بنصف قطر يساوي 23 cm، ثمّ اطلب إليهم تحديد مواقع الأرض في مدارها حول الشمس في كل شهر، والبحث عن التواريخ التي يكون فيها المريخ في أقرب مكان إلى الأرض أو في أبعد مكان عنها. واطلب إليهم استعمال الزمن الدوري للمريخ (684 يومًا) لتحديد موقع المريخ في كل شهر من شهور الأرض. وحيث إنّ الجزء المظلم من السماء يكون في منتصف الليل في الاتجاه البعيد عن الشمس، لذا اسألهم: ما الشهور التي يُمكن فيها رؤية المريخ؟ ومتى يكون المريخ في الشرق أو في الجنوب (بالنسبة إلى سكان النصف الشمالي للكرة الأرضيّة) أو في الغرب؟ م 2 **بصري - مكاني**

معلومة للمعلم

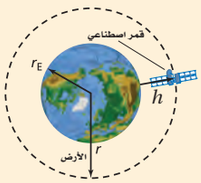
وظائف في الحياة

الفلكي يدرس الفلكي المتخصص في الأبحاث أصل الكون وتطوّر تركيبه، ويدرس فلكيون آخرون ظواهر كانت قبل عقود مواضيع مهمة في كتب العلوم؛ كأصداء الضوء حول النجوم المنفجرة، والرياح الكونية، وعدسات الجاذبية. إنّ أفضل طريقة لإعداد الشخص للعمل بوصفه عالم فلك هي تلقي تعليم متقدّم في الرياضيّات، حيث تُعدّ دراسة الرياضيّات أفضل طريقة للتحضير لدراسة الفيزياء التي تُعتبر جزءًا مكمّلاً لدراسة أيّ فلكي.

مثال 2

السرعة المدارية والزمن الدوري افترض أن قمرًا اصطناعيًّا يدور حول الأرض على ارتفاع 225 km فوق سطحها. فإذا علمت أن كتلة الأرض تساوي 5.97×10^{24} kg ونصف قطر الأرض 6.38×10^{6} m، فما مقدار سرعة القمر المدارية وزمنه الدوري؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم الوضع مبينًا مدار القمر الاصطناعي.

المعلوم	المجهول
$h = 2.25\times10^{5}$ m	$v = ?$
$r_E = 6.38\times10^{6}$ m	$T = ?$
$m_E = 5.97\times10^{24}$ kg	
$G = 6.67\times10^{-11}$ N.m^2/kg^2	

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد نصف قطر المدار بإضافة ارتفاع القمر عن الأرض إلى نصف قطر الكرة الأرضية.

بالتعويض عن $r = h + r_E$

$h= 2.25\times10^{5}$ m, $r_E= 6.38\times10^{6}$ m $=2.25\times10^{5}\text{ m} + 6.38\times10^{6}\text{ m} = 6.61\times10^{6}\text{ m}$

أوجد السرعة $v=\sqrt{\frac{G m_E}{r}}=\sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\text{ N.m}^2/\text{kg}^2)\ (5.97\times10^{24}\text{kg})}{6.61\times10^{6}\text{m}}}$

بالتعويض عن كل من G, m_E, r $v = 7.76\times10^{3}$ m/s

احسب الزمن الدوري $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$

بالتعويض عن كل من G, m_E, r $=2\pi\sqrt{\frac{(6.61\times10^{6}\text{ m})^3}{(6.67\times10^{-11}\text{ N.m}^2/\text{kg}^2)\ (5.97\times10^{24}\text{kg})}}$

$T = 5.35\times10^{3}$ s

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة السرعة هي m/s، ووحدة الزمن الدوري هي s.

مثال صفي

سؤال يخطّط المهندسون لوضع محطة الفضاء الدوليّة (ISS) في مدار على ارتفاع 450 km من سطح الأرض، فكم سيكون مقدار سرعتها المدارية؟ وكم سيكون زمنها الدوري؟

الإجابة

المعطيات

$h=4.50\times10^{5}$ m

$r_E=6.38\times10^{6}$ m

$G=6.67\times10^{-11}$ N.m^2/kg^2

$m_E=5.97\times10^{24}$ kg

لتحديد نصف قطر المدار:

أضف ارتفاع القمر عن سطح الأرض إلى نصف قطر الأرض.

$r = h + r_E$

$=4.50\times10^{5}\text{ m}+6.38\times10^{6}\text{ m}$

$=6.83\times10^{6}\text{ m}$

لحساب مقدار السرعة:

$v=\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$

$v=\sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\text{N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24}\text{kg})}{6.83\times10^{6}\text{m}}}$

$= 7640$ m/s

$=27{,}500$ km/h أو

لحساب الزمن الدوري:

$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$

$T=2\pi\sqrt{\frac{(6.83\times10^{6}\text{m})^3}{(6.67\times10^{-11}\text{N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24}\text{kg})}}$

$=5620$ s

≈ 94 min أو

نشاط

طرائق تدريس متنوعة

إعاقة بصرية يمكن للمعلم أن يعتمد على كتب تم تطويرها تحوي صورًا تراعي الأشخاص من ذوي الإعاقة البصرية. حيث تم إنتاج صور نُقش عليها خطوط ونتوءات وملامح أخرى معقدة. تترجِم الألوانَ، والأشكال، والتفاصيل الأخرى المعقدة للأجسام، مما يسمح لذوي الإعاقة البصرية بالإحساس بها. وقد بدأت هذه الكتب دراستها بالأرض، وصولًا إلى النظام الشمسي وانتهاءً بالصور البعيدة والصور الملتقطة بتلسكوب هابل.

مسائل تدريبية

اعتبر مدارات الأقمار دائرية عند حل المسائل التالية:

10. افترض أن القمر في المثال السابق تحرك إلى مدار نصف قطره أكبر بـ 24 km من نصف القطر السابق، فكم يصبح مقدار سرعته؟ وهل هذه السرعة أكبر أو أقل ممّا في المثال السابق؟

11. استعمل فكرة تجربة نيوتن في حركة الأقمار الاصطناعية لحساب:

a. مقدار سرعة إطلاق قمر اصطناعي من مدفع بحيث يصبح في مدار يبعد 150 km عن سطح الأرض.

b. الزمن الذي يستغرقه القمر (بالثواني والدقائق) لإكمال دورة واحدة كاملة حول الأرض ويعود إلى المدفع.

12. استعمل البيانات المتعلقة بعطارد المعطاة في **الجدول 1–3** لإيجاد:

a. مقدار سرعة قمر اصطناعي في مدار على بعد 260 km من سطح عطارد.

b. الزمن الدوري لهذا القمر.

تسارع الجاذبية الأرضية Acceleration Due To Gravity

يمكن إيجاد تسارع الأجسام الناشئ عن الجاذبية الأرضية باستعمال القانون الثاني لنيوتن وقانون الجذب الكوني، وذلك من خلال تطبيق المعادلة التالية على الجسم الذي كتلته m ويسقط سقوطًا حرًّا:

$$F = \frac{G m_E m}{r^2} = ma$$

$$a = \frac{G m_E}{r^2}$$

وبما أن $r = r_E$ ، $a = g$ عند السطح، لذا يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقات التالية:

$$g = G\frac{m_E}{r_E^2} \qquad m_E = \frac{g r_E^2}{G}$$

وإذا عوضنا عن m_E في العلاقة $a = \frac{G m_E}{r^2}$ للجسم الساقط سقوطًا حرًّا فسوف نحصل على ما يلي:

$$a = G\frac{\frac{g r_E^2}{G}}{r^2}$$

$$a = g\left(\frac{r_E}{r}\right)^2$$

وهذا يوضح أنه كلما ابتعدت عن مركز الأرض فإن التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يقل تبعًا لعلاقة التربيع العكسي.

ماذا يحدث لوزنك F_g كلما ابتعدت أكثر وأكثر عن مركز الأرض؟

تجربة

ماء عديم الوزن

يُجرى هذا النشاط خارج الصف. استعمل قلم رصاص لإحداث فتحتين في كأس ورقية، إحداهما في قاع الكأس، والأخرى في جانبها، ثم أغلق الفتحتين بإصبعيك واملأ ثلثي الكأس بالماء الملون.

1. توقع ما يحدث عندما تُسقط الكأس سقوطًا حرًّا.

2. اختبر توقعك أسقط الكأس، وراقب ما يحدث.

التحليل والاستنتاج

3. صف مشاهداتك.

4. فسر النتائج.

مسائل تدريبية

10. 7.75×10^3 m/s ، السرعة أقل

11. a. 7.8×10^3 m/s

b. 88 min

12. a. 2.86×10^3 m/s

b. 1.65 h

تجربة

ماء عديم الوزن

الهدف ملاحظة تأثير انعدام الوزن في السقوط الحرّ.

المواد والأدوات قلم رصاص، وكأس ورقية، وماء ملوّن.

النتائج المتوقعة يتوقع الطلبة انسكاب الماء من الفتحة السفلية وليس من الفتحة الجانبية، ناقش توقعاتهم قبل اختبارها.

التحليل والاستنتاج

3. عند إسقاط الكأس سيبقى الماء فيها.

4. لا يوجد ضغط من الماء على الكأس أو العكس، حيث إنّهما يتسارعان بتسارع الجاذبية الأرضية نفسه، وهما في حالة انعدام وزن ظاهري.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

انعدام الوزن يعتقد كثير من الناس أن جاذبية الأرض تتوقف عند نهاية الغلاف الجوي، ويُعزّز هذا المفهوم غير الصحيح من خلال الاستعمال غير الصحيح لمفهومي انعدام الوزن والجاذبية الميكروية (microgravity). عند مناقشة التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية بعيدًا عن الأرض وضّح للطلبة أن تطوير نيوتن لقانون الجذب الكوني يستند إلى إدراكه أنّ جاذبية الأرض تمتد إلى القمر كما تمتد إلى أبعد من ذلك بكثير.

المناقشة

سؤال كيف يمكن استعمال برك الماء لنمذجة انعدام الوزن، بما يماثل ما يواجهه رواد الفضاء على القمر أو في المحطات الفضائية؟

الجواب يشعر الشخص أنّ وزنه أقل؛ وذلك بسبب قوة الطفو الناتجة عن الماء والمؤثرة فيه في اتجاه الأعلى. ويمكن للشخص أن يُجرّب الشعور بانعدام الوزن إلى حدّ ما من خلال أدائه بعض الأعمال داخل البركة. م 2

تجربة إضافية

الوزن في حالة السقوط الحر

الهدف تحديد أثر السقوط الحرّ على الكتلة.

الموادّ والأدوات خيط وميزان نابضي وجسم كتلته 1 kg.

الخطوات اطلب إلى الطلبة ربط الخيط في أعلى الميزان، ثم تعليق جسم كتلته 1 kg بخطّاف الميزان، وفي أثناء الإمساك بالخيط اطلب إليهم أن يسقطوا الميزان وملحقاته.

التقويم ما قراءة الميزان عند إفلات الخيط (عند سقوط الكتلة والميزان معًا)؟ فسر إجابتك. ستكون القراءة صفرًا، وعلى الطلبة ملاحظة أنّ القراءة تصبح صفرًا مباشرة، ويتسارع كل من الكتلة والميزان في اتجاه الأسفل معًا.

الشكل 11–3 يختبر أحد رواد الفضاء ظاهرة انعدام الوزن في مكوك الفضاء كولومبيا، وذلك عندما يسقط المكوك بما فيه سقوطًا حرًا نحو الأرض

الوزن وانعدام الوزن لعلك شاهدت صورًا كما في **الشكل 11–3**، حيث يكون رواد الفضاء في حالة تُدعى انعدام الوزن أو(zero – g) . يدور المكوك على ارتفاع 400 km فوق سطح الأرض. وعند هذه المسافة يكون $g=8.7\ m/s^2$، أيْ أقل بقليل من قيمتها على سطح الأرض. ولذا فإن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في المكوك لا تساوي صفرًا بالتأكيد. وتسبب هذه الجاذبية دوران المكوك حول الأرض. فلماذا يبدو الرواد إذًا عديمي الوزن؟ تذكّر أنك تشعر بوزنك عندما يؤثر فيك شيء بقوة تماسٍّ كالأرض أو الكرسي. لكن إذا كنت أنت والكرسي، وأرض الغرفة، تتسارعون بالكيفية نفسها نحو الأرض فلا توجد قوى تماس تؤثر فيك. لذا يكون وزنك الظاهري صفرًا، وتشعر بانعدام الوزن. وهو ما يشعر به رواد الفضاء في المكوك.

مجال الجاذبيّة The Gravitational Field

تذكر أن الكثير من القوى هي قوى تماس. فالاحتكاك يتولد عند تلامس جسمين. ومن الأمثلة على ذلك دفع الأرض أو الكرسي عليك، لكن الجاذبية مختلفة، فهي تؤثر في التفاحة التي تسقط من الشجرة، وتؤثر في القمر. أيْ أن الجاذبية تؤثر عن بُعد، وهي تعمل بين أجسام غير متلامسة، أو قد تكون بعيدة. انشغل نيوتن بذلك وكان يتساءل: كيف تؤثر الشمس بقوة في الأرض البعيدة؟

جاء الجواب عن هذا التساؤل من خلال دراسة المغناطيسية. ففي القرن التاسع عشر طوّر فراداي مفهوم المجال لتفسير كيف يجذب المغناطيس الأشياء. وبعد ذلك طُبق مبدأ المجال على الجاذبية. فكل جسم له كتلة M محاط **بمجال الجاذبية** يؤثر من خلاله بقوة في أي جسم آخر كتلته m يوجد في ذلك المجال نتيجة التفاعل المتبادل بين كتلته والمجال الجاذبي للجسم M. ويوصف ذلك بالمعادلة التالية:

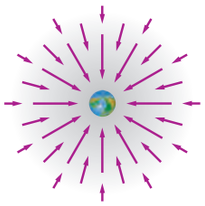
مجال الجاذبية $$g = \frac{GM}{r^2}$$

مجال الجاذبية يساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم، مقسومًا على مربع البعد عن مركز الجسم. ويكون اتجاهه في اتجاه مركز كتلة الجسم.

افترض أن هناك مجالاً جاذبيًا ناتجًا عن الشمس، فإن أي كوكب كتلته m سيخضع لقوة تؤثر فيه تعتمد على كتلة الكوكب ومقدار المجال الجاذبي للشمس في ذلك المكان؛ أيْ $F = mg$ ، في اتجاه الشمس.

تنتج القوة بسبب تفاعل كتلة الكوكب مع مجال الجاذبية في مكان وجود الكوكب وليس مع الشمس نفسها التي تبعد ملايين الكيلومترات. إذا أردنا إيجاد مجال الجاذبية الذي يسببه أكثر من جسم فيجب حساب مجال الجاذبية لكل جسم، ثم تُجمع جمعًا اتجاهيًا. ويمكن حساب مجال الجاذبية بوضع جسم كتلته m في المجال، ثم تقاس القوة المؤثرة فيه، وتقسم القوة F على الكتلة m، كما في العلاقة التالية: $g = F/m$، حيث يُقاس مجال الجاذبية بوحدة N/kg التي تساوي أيضًا m/s^2.

إن مقدار مجال الجاذبية عند سطح الأرض يساوي 9.80 N/kg في اتجاه مركز الأرض. ويمكن تمثيل المجال بمتجه طوله g يشير إلى مركز الجسم الذي يُنتج هذا المجال. ويمكنك تصور مجال الأرض بمجموعة من المتجهات تحيط بالأرض وتشير إلى مركزها، **الشكل 12–3**. ويتناسب المجال عكسيًا مع مربع البعد عن مركز الأرض كما يعتمد على كتلة الأرض، لا على كتلة الجسم.



الشكل 12–3 تشير كل المتجهات الممثلة لمجال الجاذبية نحو مركز الأرض. ويضعف المجال كلما ابتعدنا عن الأرض.

نوعا الكتلة Two Kinds of Mass

تذكر من دراستك لمفهوم الكتلة، أنه قد تم تعريفها بأنها "ميل المنحنى في الرسم البياني للقوة–التسارع"، أيْ أن الكتلة هي النسبة بين مقدار القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما ومقدار تسارعه. ويدعى هذا النوع من الكتلة المرتبط مع قصور الجسم **بالكتلة القصورية**، وتُمثل بالمعادلة:

الكتلة القصورية $m_{\text{قصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$

الكتلة القصورية تساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم مقسومة على مقدار تسارعه.

الشكل 13a–3 ميزان القصور الذاتي.

تُقاس الكتلة القصورية عن طريق التأثير بقوة في الجسم، ثم قياس تسارعه. وكلما كانت كتلة الجسم أكبر كان الجسم أقل تأثرًا بأي قوة، ولذا كان تسارعه أقل. كما يمكن قياسها باستعمال ميزان القصور الذاتي كما في **الشكل 13a–3** وتُعد الكتلة القصورية مقياسًا لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من أنواع القوى المؤثرة فيه.

الشكل 13b–3 الميزان ذو الكفتين المبين في الشكل يسمح بقياس القوة المؤثرة في كتلة ما بسبب جاذبية الأرض.

قانون نيوتن في الجذب الكوني يتضمن كتلة أيضًا، غير أنها نوع آخر من الكتل؛ إذ تحدد الكتل المستعملة في هذا القانون مقدار قوة الجاذبية بين جسمين، وتسمى **كتلة الجاذبية**. ويمكن قياسها باستعمال الميزان ذي الكفتين كما في **الشكل 13b–3**.

عرض سريع

قياس الكتلة القصورية

الزمن المقدر 15 دقيقة

المواد والأدوات نصل منشار، وكتل مختلفة، وشريط لاصق.

الخطوات اربط أحد طرفي نصل منشار بجانب المقعد على أن يُسمح له بالاهتزاز أفقيًا. ثبّت أجسامًا ذات كتل مختلفة بالطرف الآخر للنصل باستعمال الشريط اللاصق، ثمّ قس الزمن الدوري للاهتزاز. لاحظ أن الزمن الدوري يعتمد على الجذر التربيعي للكتلة، والتي هي الكتلة القصورية هنا.

نشاط تحدٍّ

المقاييس والموازين اجمع أكبر عدد ممكن من الأدوات التي يمكن استعمالها لقياس الوزن، ثمّ حدّد طريقة عمل كل منها. مثلاً يقيس الميزان النابضي استطالة النابض الناتجة عن القوة (الوزن) المؤثرة فيه، ويستعمل الميزان الإلكتروني الاستطالة أيضًا، ولكنه يستعمل المقاومة الكهربائية لقياسها، بينما يقارن الميزان ذو الأذرع بين قوة الجاذبية على الجسم وقوة الجاذبية على كتلة المعايرة، أمّا ميزان الكتلة القصورية فيقيس الزمن الدوري للاهتزاز الذي يعتمد على كل من: الكتلة القصورية للجسم والقوة التي يؤثر بها نابض الميزان. م 3 **حسي - حركي**

استعمال الشكل 14–3

اسأل الطلبة لماذا لا تتحرك الكرة الصغيرة في خط مستقيم؟ الكرة تسلك مسارًا منحنيًا على شبكة المطاط وذلك بسبب انحناء الشبكة.

اسأل الطلبة ماذا سيحدث للكرة الكبيرة إذا أصبحت الكرة الصغيرة أكبر كتلة؟ الكرة الصغيرة ستكون انخفاضًا خاصًّا بها على الشبكة مما يسبب التأثير بقوة على الكرة الكبيرة يؤدي إلى تسارعها.

التفكير الناقد

الجاذبية تؤثّر قوة الجذب المتبادلة بين جسمين في مركزي الجسمين وتكون على امتداد الخط الواصل بين المركزين. ارسم على السبّورة الأرض وقمرًا اصطناعيًّا في مداره حولها. ثم اسأل الطلبة أن يفسروا لماذا تكون القوة المحصلة في اتجاه مركز الأرض على الرّغم من وجود كتل تجذب القمر الاصطناعيّ إلى يمين ويسار الخطّ الذي يربطه بمركز الأرض؟ *مساعدة: افرض أنّ الأرض مكوّنة من صخور منفصلة تجذب كل منها القمر الاصطناعي.* ارسم أسهمًا تمثّل القوى الناتجة عن كل هذه الصخور، واطلب إلى الطلبة تحديد مركبات القوى الناتجة عن الصخور التي على يمين الخط الواصل بين المركزين و مركبات القوى الناتجة عن الصخور التي على يسار الخطّ نفسه. المركّبات التي تعامد الخطّ الواصل بين مركزي الجسمين من جهة اليمين تُوازِن المركبات المقابلة لها الموجودة على يسار الخط. ثم اسألهم: ما المركبات التي تُجمع؟ المركبات التي تُجمع هي التي توازي الخطّ الواصل بين مركزي الجسمين. م 3 **بصري - مكاني**

استعمال التشابه

انحناء الفضاء الشبكة المطاطية هي تشبيه للانحناء في الفضاء الذي تسببه الكتلة. ذكر الطلبة أن الفضاء له ثلاثة أبعاد وليس بعدين كما في تناظر الشبكة المطاطية ومع ذلك فإن هذا التناظر يجعل المفاهيم المجردة أكثر واقعية. فهو يوضح كيف يمكن للكتلة أن تشوه الفضاء وكيف يبذل الفضاء المشوه قوة.

فإذا قست قوة الجذب المؤثرة في جسم من جسم آخر كتلته m، وعلى بعد r أمكنك تعريف كتلة الجاذبية بالطريقة التالية:

كتلة الجاذبية $m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{G\,m}$

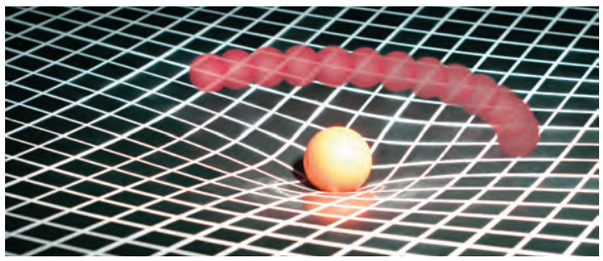
كتلة الجاذبية لجسم ما تساوي مربع المسافة بين الجسمين مضروبة في مقدار قوة الجاذبية بين الجسمين مقسومة على حاصل ضرب ثابت الجذب الكوني في كتلة الجسم الثاني.

كيف يختلف نوعا الكتلتين؟ افترض أن لديك بطيخة في أرضية صندوق سيارتك، فإذا تسارعت السيارة نحو الأمام فإن البطيخة ستبدو وكأنها تتدحرج نحو الخلف بالنسبة إلى السيارة. وهذا بسبب الكتلة القصورية للبطيخة التي تقاوم التسارع. والآن افترض أن السيارة بدأت صعود منحدر، فإن البطيخة ستتدحرج إلى الخلف مرة أخرى، ولكنها ستنجذب هذه المرة بسبب كتلة الجاذبية نحو الأسفل في اتجاه الأرض. وقد تنبأ نيوتن أن الكتلة القصورية وكتلة الجاذبية متساويتان من حيث المقدار. وتُسمى هذه الفرضية مبدأ التكافؤ. وكل التجارب التي أُجريت حتى الآن توصلت إلى نتائج تدعم صحة هذا المبدأ.

نظرية أينشتين في الجاذبية Einstein's Theory of Gravity

إن مفهوم مجال الجاذبية يتيح لنا تصور طريقة تأثير الجاذبية في الأجسام عندما تكون بعيدة بعضها عن بعض. افترض أينشتين أن الجاذبية ليست مجرد قوة، بل هي تأثير من الفضاء نفسه، وبناءً على فرضية أينشتين فإن الكتل تغير الفضاء المحيط بها، فتجعله منحنيًا، وتتسارع الأجسام الأخرى بسبب الطريقة التي تسير بها في هذا الفضاء المنحني.

من طرائق تصور كيفية تأثر الفضاء بالكتلة، مقارنة الفضاء بشبكة كبيرة من المطاط ثنائية الأبعاد، كما هو موضح في **الشكل 14–3**، حيث تمثل الكرة الصفراء جسمًا كتلته كبيرة جدًّا على الشبكة، وهي تسبب الانحناء. والكرة الحمراء تدور عبر الشبكة، وتحاكي حركة جسم في الفضاء.



الشكل 14–3 المادة تسبب تقوس في الفضاء تمامًا كما يؤثر جسم في شبك مطاطي حوله. الاجسام المتحركة بالقرب من الكتلة تسلك المسارات المتحدبة في الفضاء. تتحرك الكرة الحمراء مع عقارب الساعة حول مركز الكتلة.

معلومة للمعلم — الخلفية النظرية للمحتوى

النظرية النسبية العامة كثير من تنبؤات آينشتين تم تأكيدها. فضوء النجوم ينحرف مرتين أكثر مما توقعته جاذبية نيوتن. وقدرة الأجسام ذات الكتل الكبيرة مثل المجرات على العمل كعدسة تم تأكيدها بطريقة مذهلة من خلال الصور الملتقطة بوساطة تلسكوب هابل الفضائي. إضافة إلى ذلك فقد وجد أن النجوم النيوترونية أو النجوم النابضة التي تدور بسرعات عالية جدًّا تبطيءُ من سرعة دورانها (غزلها) بطريقة تتفق مع نظرية النسبية العامة. ويسبب الإشعاع الجاذبي إبطاء غزل النجوم النابضة. وستبحث تجارب (LIGO) في الإشعاع الجاذبي الصادر عن الانفجارات الضخمة والنجوم النابضة.

عندما تتحرك الكرة الحمراء بالقرب من المنطقة المنحنية من الشبكة فإنها تتسارع. وبالطريقة نفسها فإن كلًّا من الشمس والأرض تجذب إحداهما الأخرى، بسبب طريقة تشوه الفضاء الناجم عن الجسمين.

تنبأت نظرية أينشتين ـ التي تسمى النظرية النسبية العامة ـ بعدة تنبؤات حول كيفية تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة بعضها في بعض. وقد أعطت نتائج صحيحة لكل الاختبارات التي أجريت في الفترات اللاحقة.

انحراف الضوء تنبأت نظرية أينشتين أن انحراف الضوء ناتج عن وجود أجسام ذات كتل كبيرة جدًّا، حيث يتبع الضوء الفضاء المنحني حول الأجسام ذات الكتل الكبيرة مما يؤدي إلى انحنائه، كما موضح **بالشكل 15 –3**.

لاحظ علماء الفلك في أثناء كسوف الشمس سنة 1919م أن الضوء القادم من النجوم البعيدة والذي يمر بالقرب من الشمس قد انحرف عن مساره بما يحقق تنبؤات أينشتين.

ومن نتائج النسبية العامة أيضًا تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة في الضوء. إذا كانت كتلة الجسم كبيرة جدًّا وكثافته كبيرة بشكل كاف فإن الضوء الخارج منه يرتدّ إليه بشكل كامل، وبذلك لا يستطيع الضوء الخروج منه أبدًا. وتسمى مثل هذه الأجسام الثقوب السوداء. ويستدل على وجود الثقوب السوداء من خلال تاثيرها في النجوم القريبة منها.

وعلى الرغم من أن نظرية أينشتين تنبأت بشكل دقيق في تأثيرات الجاذبية، إلا أنها لا تزال غير مكتملة؛ فهي لا توضح أصل الكتلة، ولا كيف تعمل الكتلة على تحدب (انحناء) الفضاء. ويعمل الفيزيائيون على فهم الجاذبية وأصل الكتلة نفسها بشكل أعمق.

الشكل 15–3 الضوء القادم من النجوم البعيدة يتأثر بمجال جاذبية الشمس. الرسم للتوضيح ولا يمثل مقياس رسم حقيقي.

3-2 مراجعة

13. **مجال الجاذبية** كتلة القمر 7.3×10^{22} kg ونصف قطره 1785 km ، ما مقدار مجال الجاذبية على سطحه؟

14. **الزمن الدوري والسرعة** قمران اصطناعيان في مدارين دائريين حول الأرض، يبعد الأول 150 km، والثاني 160 km عن سطح الأرض. فأي:

a. القمرين له زمن دوري أكبر؟

b. القمرين سرعته أكبر؟

15. **حالة انعدام الوزن** تكون المقاعد داخل محطة الفضاء عديمة الوزن. إذا كنت على متن إحدى هذه المحطات وكنت حافي القدمين، فهل تشعر بالألم إذا ركلت كرسيًّا؟ فسر ذلك.

16. **التفكير الناقد** لماذا يُعد إطلاق قمر اصطناعي من الأرض إلى مدار ليدور نحو الشرق أسهل من إطلاقه ليدور نحو الغرب؟ وضّح ذلك.

3. التقويم

التحقّق من الفهم

مجال الجاذبية راجع مع الطلبة كيفية حساب وزن جسم ما باستعمال العلاقة التالية: $F_g = mg$، حيث إنّ

F_g: وزن الجسم بوحدة N.

m: كتلة الجسم بوحدة kg.

g: مجال الجاذبية بوحدة N /kg.

اطلب إلى الطلبة أن يحسبوا شدّة مجال الجاذبية حول الأرض. عليهم أن يحسبوا g بوحدة N /kg عند مسافات تساوي nr_E ، حيث n = 1،2،3،4،5. ثم اطلب إلى كل منهم حساب وزنه (بوحدة N) عند تلك المسافات باستعمال كتلته (بوحدة kg). م2

إعادة التدريس

انعدام الوزن راجع مع الطلبة الطرائق المستعملة في قياس الكتلة القصورية وكتلة الجاذبية والوزن، وناقش ثلاث حالات يكون فيها وزنك الظاهري قريبًا من الصفر. ابدأ بمسافات تكون فيها بعيدًا جدًّا عن أيّ كوكب أو قمر اصطناعي أو نجم حيث لا تؤثّر فيك قوة جاذبية. ثم عندما تؤثر فيك قوة مثل قوة الطفو أو تكون متسارعًا بمعدل g، أو أيّة مؤثرات أخرى تؤثر فيك. اسأل الطلبة: ما الذي سيشعرون به عندما يختبرون أو يُجربون مثل تلك الحالات؟ سيختبرون شعور انعدام الوزن. م1

3-2 مراجعة

13. سُدس شدة مجال الجاذبية الأرضية تقريبًا، أو 1.5 N /kg

14. **a.** القمر الذي على بعد 160 km من سطح الأرض.

b. القمر الذي على بعد 150 km من سطح الأرض.

15. نعم؛ لأنّ الكرسي عديم الوزن وليس عديم الكتلة، فلا يزال له قصور ويمكنه توليد قوى تماس مع قدمك.

16. تدور الأرض في اتجاه الشرق وتضاف سرعتها إلى سرعة القمر الاصطناعي الناتجة عن الصاروخ، وبذلك تقلّل السرعة التي يتعين على الصاروخ تزويدها له.

مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة

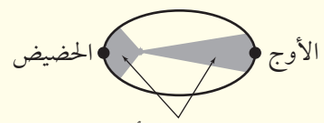
المهارات العمليّة استعمال التفسيرات العلمية، والملاحظة والاستنتاج، والمقارنة، وصياغة النماذج، والتفكير الناقد، والقياس، واستخلاص النتائج، وجمع البيانات وتنظيمها.

احتياطات السلامة يمكن أن تؤذي الدبابيس الحادّة أيدي الطلبة، إضافة إلى ضرورة حماية العينين لكلّ من ينفذ الأنشطة العلميّة أو يشاهدها.

الموادّ البديلة لا يوجد

استراتيجيّات التدريس

- ذكّر الطلبة بأنه عند حساب d (المسافة بين البؤرتين) يجب عليهم حساب $\frac{d}{2}$ لإيجاد بُعد البؤرة عن المركز.
- وضّح القانون الثاني لكبلر بالاستعانة بالشكل أدناه:



مساحات متساوية في أزمنة متساوية

- وضّح للطلبة أنّ الخط الذي يصل الكوكب مع الشمس يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية عندما يسير الكوكب في مدار إهليلجي.
- ذكّر الطلبة بأنّهم في هذه التجربة يقارنون بين شكل المدارات فقط وأن أبعادها المرسومة ليست أبعادها الحقيقية، ولو رُسمت المدارات الحقيقية لكان مدار بلوتو أكبر بكثير من مدار الأرض.

مختبر الفيزياء

نمذجة مسارات الكواكب والأقمار

ستحلل في هذه التجربة نموذجًا يبين كيف يُطبق القانونان الأول والثاني لكبلر في الحركة على مدارات الأجسام في الفضاء. ينص القانون الأول لكبلر على أن مدارات الكواكب هي مدارات إهليلجية وتقع الشمس في إحدى بؤرتيها. في حين ينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي الواصل بين الشمس والكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية. ويعرف شكل المدار الإهليلجي باللامركزية e، والتي تساوي نسبة البعد بين البؤرتين إلى المحور الرئيس. وعندما يكون الجسم في أبعد مكان له عن الشمس على طول المحور الرئيس فإنه يكون في الأوج. وعندما يكون في أقرب مسافة له من الشمس على طول المحور الرئيس فإنه يكون في الحضيض.

سؤال التجربة

ما شكل مدارات الكواكب والأقمار في النظام الشمسي؟

الأهداف

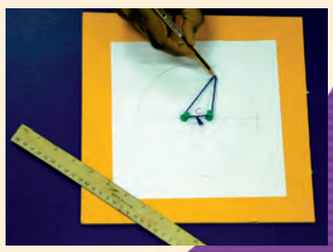
- **تصوغ نماذج** للاستدلال على شكل مدارات الكواكب والأقمار.
- **تجمع وتنظم البيانات** لمسافات الأوج والحضيض للأجسام عندما تدور حول الشمس.
- **تستخلص نتائج** حول القانونين الأول والثاني لكبلر في الحركة.

احتياطات السلامة

الدبابيس حادة ويمكن أن تخدش الجسم.

المواد والأدوات

قطعة ورق مقوى، وطبق ورقي أبيض، ودبوسان، ومسطرة مترية، وقلم رصاص، وخيوط (25 cm).



الخطوات

1. ثبت قطعة الورق البيضاء على الورق المقوى.
2. ارسم خطًا عبر منتصف الورقة في اتجاه طولها. يمثل هذا الخط المحور الرئيس.
3. عين منتصف الخط وسمّه C.
4. اربط أحد الخيوط لتكون حلقة بحيث يكون طولها عند سحبها 10 cm. واحسب المسافة بين البؤرتين و(d)، لكل جسم في الجدول باستعمال المعادلة:
$$d = \frac{2e\,(10.0\text{ cm})}{e+1}$$
5. بالنسبة للدائرة، ثبت دبوسًا عند C، وضع الحلقة فوق الدبوس واسحبها بوساطة القلم. وحرك القلم بصورة دائرية حول المركز على أن يتحكم الخيط بحركة القلم.
6. للجسم الثاني، ثبت أحد الدبوسين على بعد $\frac{d}{2}$ من C على المحور الرئيس.
7. ثبّت دبوسًا آخر على بعد $\frac{d}{2}$ من الجهة الأخرى بالنسبة لـ C، حيث يمثل الدبوسان البؤرتين.
8. ضع الحلقة فوق الدبوسين واسحبها بقلم الرصاص، بحيث يتحكم الخيط في حركته.
9. كرر الخطوات 8–6 لجميع الأجسام المبينة في الجدول.
10. بعد رسم جميع المدارات، علّم كل مدار بوضع اسمه وقيمة (e) اللامركزية له.

عينة بيانات

الجسم	e	d(cm)	A المقيسة	P المقيسة	e المقيسة	% الخطأ
دائرة	0	0.00	10.0	10.1	0.0050	*
الأرض	0.017	0.33	10.2	9.9	0.15	12 %
مذنب	0.70	8.2	17.3	2.7	0.73	4.3 %
بلوتو	0.25	4.0	12.4	7.6	0.24	4.0 %

- لاحظ أن حساب الخطأ للدائرة غير ممكن؛ لأنّ ذلك يعني أنّنا نقسم على صفر.

قائمة البيانات						
الجسم	اللامركزية (e)	d (cm)	الأوج A	الحضيض P	e التجريبية	الخطأ %
الدائرة	0					
الأرض	0.017					
المذنب	0.70					
بلوتو	0.25					

التحليل

1. قس مسافة الأوج A، وهي البعد بين إحدى البؤرتين وأبعد نقطة على المدار على امتداد المحور الرئيس. وسجل النتيجة في قائمة البيانات.
2. قس مسافة الحضيض P، وهي البعد بين نفس البؤرة وأقرب نقطة على المدار على امتداد المحور الرئيس.
3. احسب اللامركزية التجريبية e من المعادلة:
$$e = \frac{A-P}{A+P}$$
4. **حلّل الخطأ** احسب الخطأ النسبي بين القيمة التجريبية والقيمة المحسوبة لـ e.
5. **حلّل** لماذا يكون المدار ذو القيمة $(e = 0)$ دائريًّا؟
6. **قارن** بين مدار الأرض وشكل الدائرة.
7. **لاحظ** أي المدارات يكون إهليلجيًّا في الواقع؟

الاستنتاج والتطبيق

1. هل ينطبق القانون الأول لكبلر على المدار الذي رسمته؟ وضح.
2. درس كبلر بيانات مدار المريخ $(e = 0.093)$، واستنتج أن الكواكب تتحرك حول الشمس بمدارات إهليلجية، فماذا كان يستنتج لو كان على المريخ ودرس حركة الأرض؟
3. أين تكون سرعة الكوكب أكبر: عند الأوج أو الحضيض؟ ولماذا؟
4. يساعد القانون الثاني لكبلر على تحديد نسبة سرعة الأرض في الأوج والحضيض (v_A/v_P).

لتحديد هذه النسبة احسب أولاً المساحة التي تمسحها الأرض في مدارها، وهذه المساحة تساوي تقريبًا مساحة مثلث
مساحته = $\frac{1}{2}$ البعد عن الشمس× سرعته في تلك الفترة × الزمن. إذا كانت المساحة التي يمسحها الكوكب في فترات زمنية محددة (30 يوما مثلًا) متساوية عند الأوج والحضيض فإنه يمكن كتابة هذه العلاقة على النحو التالي:

$$\frac{1}{2}\, pv_p t = \frac{1}{2}\, Av_A t$$

ما النسبة $\frac{v_p}{v_A}$ لكوكب الأرض؟

التوسع في البحث

1. استعملت طريقة تقريبية للنظر إلى القانون الثاني لكبلر. اقترح تجربة للحصول على نتائج أدق لإثبات القانون الثاني.
2. صمّم تجربة لإثبات القانون الثالث لكبلر.

الفيزياء في الحياة

يدور قمر اصطناعي للاتصالات أو الأرصاد الجوية حول الأرض. هل يخضع هذا القمر لقوانين كبلر؟ اجمع بيانات لإثبات إجابتك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن الجاذبية ارجع إلى الموقع الإلكتروني
www.obeikaneducation.com

77

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اقترح على الطلبة اختيار أسئلتهم للاستقصاء مستعملين موادّ التجربة والمعادلات المعطاة. فمثلًا قد يختار الطلبة أحد كواكب النظام الشمسي، أو يقيسون مساحات متساوية لتحديد سرعة الكوكب في أماكن مختلفة من مداره. وتصميم مثل هذه التجارب يساعد الطلبة على تطوير التفكير الناقد لديهم ومهارة حل المسائل أيضًا.

التحليل

1. انظر عينة البيانات.
2. انظر عينة البيانات.
3. انظر عينة البيانات، فمثلًا للمذنب
$$e = \frac{14.6}{20} = 0.73$$
4. انظر عينة البيانات.
5. كلتا البؤرتين عند المركز.
6. مدار الأرض قريب جدًّا من شكل الدائرة.
7. مدار المذنب يبدو مفلطحًا أكثر من المدارات الأخرى.

الاستنتاج والتطبيق

1. نعم، يسير المذنب والكواكب في مدارات إهليلجية.
2. لأنّ لامركزية الأرض صغيرة جدًّا، فلم يستطع كبلر استنتاج أنّ مدارها إهليلجيّ.
3. السرعة أكبر عندما تكون في الحضيض؛ حسب القانون الثاني لكبلر فإنّ مساحات متساوية تُمسح في أزمنة متساوية، ولأنّ المساحة صغيرة عندما تكون الكواكب في الحضيض، لذا فإنها تتحرك فيه بسرعة كبيرة.
4. $\frac{v_p}{v_A} = \frac{A}{P} = \frac{10.2}{9.9} = 1.03$

التوسّع في البحث

1. اجمع معلومات عن أزمنة ومواقع وجود كوكب ما، واستعمل المساحات والأزمنة لتحقيق القانون الثاني لكبلر.
2. استعمل نموذجًا حاسوبيًّا مزودًا بالحركة الحقيقية لكوكب ما لتُثبت القانون الثالث لكبلر، وبذلك يمكن قياس الزمن الدوري والبعد.

الفيزياء في الحياة

يمكن للطلبة البحث في المدارات الإهليلجيّة للأقمار الاصطناعية. شجعهم على اختيار قمر واحد على الأقل؛ لكي يرسموا بيانات المدار ويحدّدوا شكل المدار الذي يسلكه هذا القمر.

الخلفية العلمية

ينكمش النجم وينهار عندما يموت، وعند ذلك تصبح المسافات بين مكونات النجم صغيرة جدًّا، والمجال الجاذبي كبير جدًّا. ذكّر الطلبة بالمعادلة $F=\frac{Gm_1m_2}{r^2}$ ووضّح لهم أنّ الذرات تحوي حيزًا كبيرًا، فالنواة في الذرة مثل حبة البازلاء في الملعب. وعندما تضغط قوة الجاذبية الكبيرة الفراغات الداخلية في الذرات، يزداد انكماش النجم المنهار وينتج عن ذلك زيادة كبيرة في قوة جاذبيته.

هكذا تنهار النجوم الكبيرة مكوّنة الثقوب السوداء، في حين تنكمش النجوم المتوسطة ويُصبح شكلها كرويًّا حيث يكون الضغط عليها أقل وتتعادل فيها قوة الجاذبية مع القوى الناتجة عن مبدأ الاستبعاد لباولي.

ينصّ مبدأ الاستبعاد لباولي على أنّه لا يمكن لإلكترونين أو نيوترونين أن يشغلا مستوى الكم نفسه؛ أي لا يمكن أن يمتلكا الأرقام الكميّة نفسها. ولكن جاذبية النجوم الكبيرة ذات الكتلة الأكبر من كتلة الشمس بعشرين مرّة تتغلب على مبدأ الاستبعاد لباولي فيصبح المقام r^2 عمليًّا صفرًا، وهذا يمثل الجسم المفرد (الاستثنائي).

استراتيجيّات التدريس

- تُغيّر الجاذبية مسار الضوء، ويمكن مشاهدة ذلك فقط عندما تكون المسافات أو قوة الجاذبية كبيرة جدًّا. وضّح ذلك من خلال عرض تفسير أينشتاين للموقع المشاهد لكوكب عطارد.

المناقشة

بحث ما الأدلة على وجود الثقوب السوداء؟ يمكن تعرّف الثقوب السوداء من خلال انحراف خطوط الطيف النجمي للنجوم التي تدور حولها. كما أنّ انبعاث الأشعة السينية من مصدر غير مرئي وتذبذب نجم يدور حول ثقب أسود تستعمل لتعرّف وجود ثقب أسود.

ما المقصود رياضيًّا بـ " الجسم المفرد "؟

$d=\frac{m}{V}$ ، عندما تقترب V من الصفر فإنّ d تقترب من اللانهاية. حيث تُمثل d الكثافة، وV الحجم، و m الكتلة.

الإثراء العلمي

الثقوب السوداء Black Holes

ماذا يحدث لو كنت تسافر إلى ثقب أسود؟ سوف يتمدد جسمك، ويصبح مفلطحًا ومن ثم يسحب إلى أجزاء ويتمزق. ما الثقب الأسود؟ وماذا تعرف عن الثقوب السوداء؟

يعد الثقب الأسود أحد المراحل النهائية المحتملة لتطور النجم. فعندما تتوقف تفاعلات الاندماج في قلب نجم كتلته أكبر من كتلة الشمس 20 مرة، ينهار قلب النجم إلى الأبد، وتتجمع الكتلة في أصغر حجم. ويُدعى هذا الجسم المتناهي في الصغر ذو الكثافة المتناهية في الكبر الجسمَ المفرد (الاستثنائي). وتكون قوة الجاذبية هائلة حول هذا الجسم، فلا يفلت منها شيء حتى الضوء، وتُعرف هذه المنطقة بالثقب الأسود.

لا شيء يستطيع الإفلات في عام 1917 م استنتج العالم الألماني شوارتزشيلد – رياضيًّا – إمكانية وجود الثقوب السوداء. وقد استعمل حلاًّ لنظرية أينشتاين في النسبية العامة لوصف خصائص الثقب الأسود. واشتق صيغة لنصف قطر يُدعى نصف قطر شوارتزشيلد، لا يمكن للضوء ولا للمادة الإفلات من قوة الجاذبية خلاله. ويعبَّر عن نصف قطر شوارتزشيلد بالعلاقة:

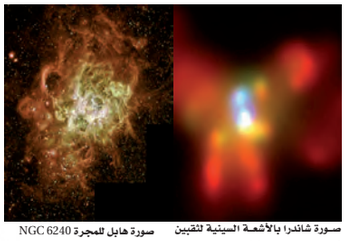
$$R_s=\frac{2GM}{c^2}$$

حيث تمثل G : ثابت نيوتن في الجذب الكوني، و M: كتلة الثقب الأسود، و c: سرعة الضوء.

تُعرف حافة الكرة التي نصف قطرها R_s بأفق الحدث. وسرعة الإفلات عند أفق الحدث تساوي سرعة الضوء؛ ولأنه لا يوجد شيء يسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء فإن الأجسام التي تقترب من هذه المنطقة لا يمكن أن تنجو أو تفلت.

دلائل مباشرة وغير مباشرة للثقوب السوداء ثلاث خصائص يمكن قياسها نظريًّا، هي: الكتلة، والزخم الزاوي، والشحنة الكهربائية. ويمكن تحديد كتلة الثقب الأسود من خلال المجال الجاذبي الذي يولده. وتحسب الكتلة باستعمال صيغة معدلة للقانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. وقد أثبتت دراسات (ناسا) أن الثقب الأسود يدور حول نفسه مثل النجوم والكواكب. ويدور الثقب الأسود لأنه يحتفظ بالزخم الزاوي للنجم الذي كوّنه. ويفترض العلماء أن الثقب الأسود يمكن أن يشحن كهربائيًّا عندما يسقط عليه أحد أنواع الشحنة الكهربائية الزائدة، على الرغم من عدم قدرة العلماء على قياس شحنته حتى الآن. كما أمكن الكشف عن الأشعة السينية الناتجة عن الغازات الفائقة الحرارة.

رغم أننا لا نعرف كل شيء عن الثقوب السوداء إلا أن هناك دلائل مباشرة وغير مباشرة على وجودها. وسوف تؤدي الأبحاث المتواصلة والبعثات الخاصة إلى فهم أكبر لحقيقة الثقوب السوداء.



صورة شاندرا بالأشعة السينية لثقبين أسودين في NGC 6240. صورة هابل للمجرة NGC 6240

التوسع

حل يمكن تحديد سرعة الإفلات لجسم لدى مغادرته لجرم فضائي وفقًا للمعادلة التالية :

$$v=\sqrt{\frac{2GM}{R_s}}$$

حيث: G ثابت نيوتن في الجذب الكوني، وM كتلة الثقب الأسود وR_s نصف قطر الثقب الأسود. بيّن أن هذه السرعة تساوي سرعة الضوء c.

التوسع

$$v=\sqrt{\frac{2GM}{R_s}}$$

$$R_s=\frac{2GM}{c^2}$$ عوض مستخدمًا

$$v=\sqrt{\frac{2GM}{2GM}\times c^2}$$

$v=c$ وينتج أنّ

3-1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

المفردات

- القانون الأول لكبلر
- القانون الثاني لكبلر
- القانون الثالث لكبلر
- قوة الجاذبية
- قانون الجذب الكوني (العام)

الأفكار الرئيسة

- ينص القانون الأول لكبلر على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.
- ينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية.
- ينص القانون الثالث لكبلر على أن مربع النسبة بين الزمنين الدوريين لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين بعديهما عن الشمس.

$$\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3$$

- ينص قانون نيوتن في الجذب الكوني على أن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما، ويعبر عن قوة الجذب بالعلاقة: $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$
- يمكن استعمال قانون نيوتن في الجذب الكوني لإعادة كتابة القانون الثالث لكبلر على الصورة التالية، حيث m_s هي كتلة الشمس:

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right)r^3$$

3-2 استخدام قانون الجذب الكوني Using the law of Universal Gravitation

المفردات

- مجال الجاذبية
- الكتلة القصورية
- كتلة الجاذبية

الأفكار الرئيسة

- يُعبر عن سرعة جسم يتحرك في مدار دائري بالقانون: $v = \sqrt{\frac{G m_E}{r}}$
- يُعبر عن الزمن الدوري لقمر اصطناعي يتحرك في مدار دائري بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

- كل الأجسام لها مجالات جاذبية تحيط بها.

$$g = \frac{G m}{r^2}$$

- الكتلة القصورية وكتلة الجاذبية مفهومان مختلفان، إلا أنهما متساويان في مقدار الكتلتين.

$$m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm} \qquad m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$$

الأفكار الرئيسة

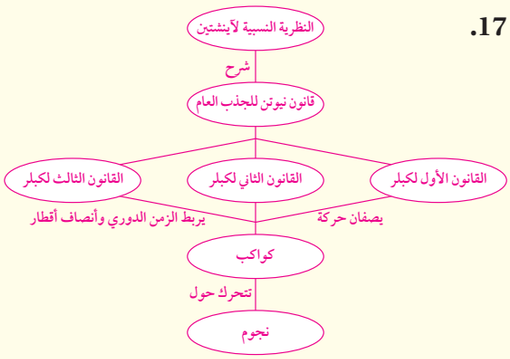
يمكن أن يستعمل الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
قم بزيارة الموقع الالكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

التقويم

خريطة المفاهيم

17.



إتقان المفاهيم

18. تتحرك الأرض في مدارها ببطء أكبر خلال الصيف، ومن القانون الثاني لكبلر، يجب أن تكون أبعد عن الشمس، لذلك تكون الأرض أقرب إلى الشمس في أشهر الشتاء.

19. لا. إنّ تَساوي المساحات المقطوعة في وحدة الزمن يُطبّق على كل كوكب على حدة.

20. عرف نيوتن أنّ القمر يتحرك في مدارٍ منحنٍ لذلك فهو متسارع، والتسارع يتطلّب وجود قوة مؤثرة فيه.

21. قاس الكتل بدقة وقاس المسافة وقوة التجاذب بينها، ثمّ حسب قيمة G باستعمال قانون نيوتن في الجذب الكوني.

22. وفقًا لقانون نيوتن، فإنّ $F \propto \frac{1}{r^2}$. فإذا ضاعفنا المسافة قلّت القوة إلى الربع.

23. سرعته، حيث إنّه يسقط طوال الوقت في اتجاه الأرض.

24. تعتمد السرعة فقط على البعد عن الأرض b وكتلة الأرض c.

25. قوة الجاذبية بينه وبين الأرض في اتجاه مركز الأرض.

26. $\frac{N}{kg} = \frac{kg.m/s^2}{kg} = m/s^2$

27. تتضاعف قيمة g.

تطبيق المفاهيم

28. لا يعتمد التسارع على كتلة الجسم، حيث تحتاج الأجسام ذات الكتلة الأكبر إلى قوة أكبر لتتسارع بالمعدّل نفسه.

29. يجب أن تعرف الزمن الدوري ونصف قطر المدار لأحد الأقمار على الأقل.

30. d هو المدار الممكن فقط ، أمّا في a و b فلا تكون الشمس في البؤرة، وفي c فإنّ الكوكب ليس في مدار حول الشمس.

31. لا؛ حيث إنّ القوتين تمثّلان كلًّا من الفعل ورد الفعل، وتبعًا للقانون الثالث لنيوتن فهما متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

32. لا يتغير؛ لأنّ الثابت G ثابت كوني لا يعتمد على كتلة الأرض. أمّا قوة جذبها فإنها ستتضاعف.

خريطة المفاهيم

17. كوّن خريطة مفاهيمية مستعملاً هذه المصطلحات: كواكب، نجوم، قانون نيوتن للجذب الكوني، القانون الأول لكبلر، القانون الثاني لكبلر، القانون الثالث لكبلر.

إتقان المفاهيم

18. تتحرك الأرض في مدارها خلال الصيف ببطء في نصفها الشمالي أكبر ممّا هي عليه في الشتاء، فهل هي أقرب إلى الشمس في الصيف أم في الشتاء؟

19. هل المساحة المقطوعة في وحدة الزمن التي تمسحها الأرض عند دورانها حول الشمس تساوي المساحة المقطوعة في وحدة الزمن التي يمسحها المريخ عند دورانه حول الشمس؟

20. لماذا اعتقد نيوتن أن هناك قوة تؤثر في القمر؟

21. كيف أثبت كافندش وجود قوة جاذبية بين جسمين صغيرين؟

22. ماذا يحدث لقوة الجذب بين كتلتين عندما تصبح المسافة بينهما ضعفي ما كانت عليه؟

23. ما الذي يبقي القمر الاصطناعي في مداره؟ وضح ذلك.

24. يدور قمر اصطناعي حول الأرض. أي العوامل التالية تعتمد عليها سرعته؟

a. كتلة القمر.

b. البعد عن الأرض.

c. كتلة الأرض.

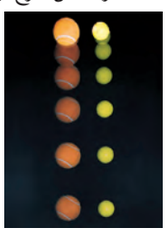
25. ما مصدر القوة التي تسبب التسارع المركزي لقمر اصطناعي في مداره؟

26. بين أن وحدات g في المعادلة $g=F/m$ هي m/s^2.

27. لو كانت كتلة الأرض ضعفي ما هي عليه مع بقاء حجمها ثابتًا، فماذا يحدث لقيمة g؟

تطبيق المفاهيم

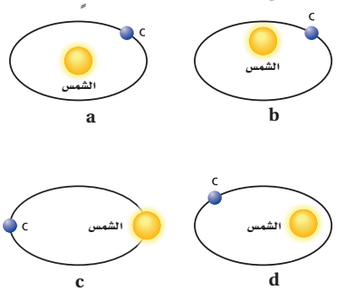
28. **كرة الجولف** قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم ما قرب سطح الأرض تتناسب مع كتلة الجسم. يبين **الشكل 16–3** كرة تنس وكرة جولف في حالة سقوط حر. لماذا لا تسقط كرة التنس أسرع من كرة الجولف؟



الشكل 16–3

29. ما المعلومات التي تحتاج إليها لإيجاد كتلة المشتري باستعمال صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر؟

30. قرّر ما إذا كان كل مدار من المدارات الموضحة في **الشكل 17–3** مدارًا ممكنًا لكوكبٍ ما؟



الشكل 17–3

31. يجذب القمر والأرض كل منهما الآخر، فهل تجذب الأرض ذات الكتلة الأكبر القمر بقوة أكبر من قوة جذب القمر لها؟ فسر ذلك.

32. ماذا يحدث للثابت G إذا كانت كتلة الأرض ضعفي قيمتها، و بقي حجمها ثابتًا؟

33. إذا ارتفع مكوك فضاء إلى مدار أبعد من مداره، فماذا يحدث لزمنه الدوري؟

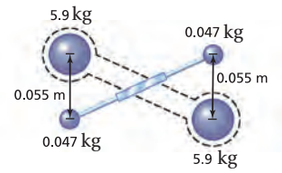
34. كتلة المشتري أكبر 300 مرة من كتلة الأرض، ونصف قطره أكبر عشر مرات من نصف قطر الأرض. احسب بالتقريب قيمة g على سطح المشتري.

35. إذا ضاعفنا كتلة تخضع لمجال الجاذبية الأرضية، فماذا يحدث للقوة التي يولدها مجال الجاذبية الأرضية على هذه الكتلة؟

إتقان حل المسائل

36. المشتري أبعد من الأرض عن الشمس 5.2 مرات. احسب الزمن الدوري له بالسنوات الأرضية.

37. يبين **الشكل 18–3** جهاز كافندش المستعمل في حساب G. وهناك كتلة رصاص كبيرة 5.9 kg وكتلة صغيرة 0.047 kg المسافة بين مركزيهما 0.055 m، جد قوة التجاذب بينهما.



الشكل 18–3

38. باستعمال الجدول **1–3**، احسب قوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في المشتري.

39. كرتان متماثلتان كتلة كل منهما 6.8 kg، والبعد بين مركزيهما 21.8 cm، ما قوة الجاذبية التي تؤثر بها كل منهما في الأخرى؟

40. **أورانوس** يحتاج أورانوس إلى 84 سنة ليدور حول الشمس. جد نصف قطر مدار أورانوس بدلالة نصف قطر مدار الأرض.

41. كرتان المسافة بين مركزيهما 2.6 m، وقوة الجاذبية بينهما 2.75×10^{-12} N، ما كتلة كل منهما إذا كانت كتلة إحداهما مثلي كتلة الأخرى؟

42. تُقاس المساحة بوحدة m^2، ولذا فإن المعدل الزمني للمساحة التي يمسحها كوكب أو قمر هي m^2/s. ما معدل:

a. المساحة التي تمسحها الأرض في مدارها حول الشمس؟

b. المساحة التي يمسحها القمر في مداره حول الأرض؟ اعتبر متوسط المسافة بين الأرض والقمر 3.9×10^8 m، والزمن الدوري للقمر حول الأرض 27.33 يومًا.

43. كتاب كتلته 1.25 kg، ووزنه في الفضاء 8.35 N، ما مقدار مجال الجاذبية في ذلك المكان؟

44. إذا كانت كتلة القمر 7.34×10^{22} kg، وبعد مركزه عن مركز الأرض 3.8×10^8 m، وكتلة الأرض 5.97×10^{24} kg، احسب مقدار:

a. قوة الجذب الكتلي بينهما.

b. مجال الجاذبية للأرض على القمر.

45. **رائد فضاء** إذا كانت كتلة رائد فضاء 80 kg، وفقد 25% من وزنه عند نقطة في الفضاء، فما مجال الجاذبية الأرضية عند هذه النقطة؟

مراجعة عامة

46. استعمل البيانات الخاصة بالأرض المتضمنة في الجدول **1–3** لحساب كتلة الشمس باستخدام صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر.

47. استعمل البيانات في الجدول **1–3**، لحساب مقدار السرعة والزمن الدوري لقمر اصطناعي يدور حول المريخ على ارتفاع 175 km من سطحه.

التقويم

33. إذا زاد نصف قطر المدار يزداد الزمن الدوري.

34. قيمة g على المشتري تساوي ثلاثة أمثال قيمتها على الأرض.

35. ستتضاعف أيضًا.

إتقان حلّ المسائل

36. 12 سنة أرضية.

37. 6.1×10^{-9} N

38. 4.17×10^{23} N

39. 6.5×10^{-8} N

40. $19\ r_E$

41. $m_1 = 0.37$ kg, $m_2 = 2\ m_1 = 0.75$ kg

42. **a.** $2.24\times10^{15}\ m^2/s$

b. $2.0\times10^{11}\ m^2/s$

43. 6.68 N /kg

44. **a.** 2.0×10^{20} N

b. 0.0028 N /kg

45. $7.35\ m/s^2$

مراجعة عامة

46. 2.01×10^{30} kg

47. مقدار السرعة: $v = 3.46 \times 10^3$ m/s

الزمن الدوري: $T = 6.45 \times 10^3$ s

أو $= 1.79$ h

48. ما سرعة دوران كوكب بحجم الأرض وكتلتها، بحيث يبدو الجسم الموضوع على خط الاستواء عديم الوزن؟ احسب الزمن الدوري للكوكب بالدقائق.

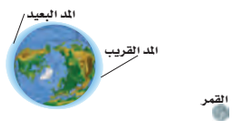
التفكير الناقد

49. **حلل واستنتج** يقول بعض الناس إن المد على سطح الأرض تسببه قوة سحب من القمر. هل هذه العبارة صحيحة؟

a. أوجد القوى التي يؤثر بها كلٌ من الشمس والقمر في كتلة m من الماء على سطح الأرض. اجعل إجابتك بدلالة m.

b. أي الجسمين يجذب الماء الموجود على سطح الأرض بقوة أكبر، الشمس أم القمر؟

c. أوجد الفرق بين القوتين اللتين يؤثر بهما القمر في الماء الموجود على سطح الأرض القريب منه، والبعيد عنه، كما يبين **الشكل 19–3** وذلك بدلالة الكتلة m.



الشكل 19–3

d. أوجد الفرق بين القوتين اللتين تؤثر بهما الشمس في الماء الموجود على سطح الأرض، القريب منها، والبعيد عنها.

e. أي الجسمين، الشمس أم القمر، له فرق كبير بين القوتين اللتين يسببهما على الماء الموجود على سطح الأرض القريب منه والسطح البعيد عنه؟

f. لماذا تُعد العبارة التالية مضلّلة؟ "ينتج المد عن قوة جذب من القمر" استبدل بها عبارة صحيحة توضح كيف يسبب القمر ظاهرة المدّ على الأرض.

الكتابة في الفيزياء

50. ابحث في التطور التاريخي لقياس البعد بين الشمس والأرض، وصفه.

51. استكشف جهود الفلكيين في اكتشاف كواكب حول نجوم أخرى غير الشمس. ما الطرائق التي استعملها الفلكيون؟ وما القياسات التي أجروها وحصلوا عليها؟ وكيف استعملوا القانون الثالث لكبلر؟

مراجعة تراكمية

52. **الطائرات** أقلعت طائرة من مدينة الرياض عند الساعة 2:20 بعد الظهر، وحطت في مطار البحرين عند الساعة 3:15 بعد الظهر من اليوم نفسه. فإذا كان متوسط سرعة الطائرة في الهواء 441.0 km/h، فما مقدار المسافة بين المدينتين؟

التقويم

48. 84.5 min ، 7900.2 m/s

التفكير الناقد

49. **a.** $F_{Sm} = (5.90 \times 10^{-3}\text{N})m$

$F_{Mm} = (3.40 \times 10^{-5}\text{N})m$

b. تجذب الشمس الماء الموجود على سطح الأرض بقوة أكبر مئة مرة من قوة جذب القمر له.

c. $(2.28 \times 10^{-6}\text{N})m$

d. $(1.00 \times 10^{-6}\text{N})m$

e. القمر.

f. ينتج المد بسبب الفرق بين قوة جذب القمر للماء الموجود على سطح الأرض القريب منه، وقوة جذبه للماء الموجود على سطح الأرض البعيد عنه.

الكتابة في الفيزياء

50. أحد القياسات البسيطة التقريبيّة تمت على يد العالم جيمس برادلي James Bradley عام 1732. كما يجب أن تناقش الإجابات القياسات التي تمت لمرور كوكب الزهرة والتي رصدت في تسعينيات القرن السابع عشر.

51. تمكّن علماء الفلك من قياس السرعة الصغيرة للنجوم الناتجة عن قوى جاذبية الكواكب الضخمة المؤثرة فيها، حيث تمّ حساب السرعة من خلال قياس انزياح دوبلر لضوء النجم والناتج عن هذه الحركة. وتتذبذب السرعة بسبب دوران الكواكب حول النجم، مما أتاح لهم حساب الزمن الدوري للكوكب. وبمعرفة السرعة يمكن تقدير أبعاد الكوكب وكتلته.
وبمقارنة أبعاد الكواكب في المجموعة الشمسية وأزمانها الدوريّة بكواكب متعدّدة، وباستعمال القانون الثالث لكبلر، يمكن للفلكيين أن يحصلوا على أبعاد النجوم والكواكب وكتلها بصورة أفضل.

مراجعة تراكمية

52. 404 km تقريبًا.

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي.

1. قمران في مداريهما حول كوكب. نصف قطر مدار أحد القمرين 8.0×10^{6} m وزمنه الدوري 1.0×10^{6} s، ونصف قطر مدار القمر الثاني 2.0×10^{7} m، ما الزمن الدوري لهذا القمر؟

Ⓐ 5.0×10^{5} s Ⓒ 4.0×10^{6} s

Ⓑ 2.5×10^{6} s Ⓓ 1.3×10^{7} s

2. يبين الرسم التالي قمرًا نصف قطر مداره 6.7×10^{4} km، ومقدار سرعته 2.0×10^{5} m/s، يدور حول كوكب صغير. ما كتلة الكوكب الذي يدور حوله القمر؟

Ⓐ 2.5×10^{18} kg Ⓒ 2.5×10^{23} kg

Ⓑ 4.0×10^{20} kg Ⓓ 4.0×10^{28} kg

3. يدور قمر حول كوكب بسرعة مقدارها 9.0×10^{3} m/s، فإذا كانت المسافة بين مركزي القمر والكوكب تساوي 5.4×10^{6} m، فما الزمن الدوري للقمر؟

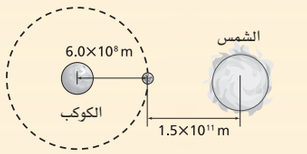
Ⓐ $1.2\ \pi\times10^{2}$ s Ⓒ $1.2\ \pi\times10^{3}$ s

Ⓑ $6.0\ \pi\times10^{2}$ s Ⓓ $1.2\ \pi\times10^{9}$ s

4. يدور قمر حول كوكب، ويخضع في أثناء ذلك لقوة جذب من الكوكب وقوة جذب من الشمس أيضًا. يبين الرسم أدناه القمر في حالة كسوف الشمس عندما يكون الكوكب والقمر والشمس على خط واحد. فإذا كانت كتلة القمر تساوي 3.9×10^{21} kg، وكتلة الكوكب 2.4×10^{26} kg، وكتلة الشمس تساوي 2.0×10^{30} kg، وبُعد القمر عن مركز الكوكب يساوي 6.0×10^{8} m، وبُعد القمر عن مركز الشمس يساوي، فما النسبة بين قوة الجاذبية على القمر الناتجة عن الكوكب وبين قوة الجاذبية على القمر الناتجة عن الشمس، خلال الكسوف الشمسي؟

Ⓐ 0.5 Ⓒ 5.0

Ⓑ 2.5 Ⓓ 7.5



الأسئلة الممتدة

5. قمران في مداريهما حول كوكب، فإذا كان القمر S_1 يستغرق 20 يومًا ليدور حول الكوكب و يبعد عن مركزه 2×10^{5} km، في حين أن القمر S_2 يستغرق 160 يومًا، فما بعد القمر S_2 عن مركز الكوكب؟

إرشاد

خطّط لعملك ونفّذ خطتك

خطط لعملك على أن تعمل قليلاً ولكن بشكل يومي منتظم، بدلاً من العمل الكثير المتقطع. فمفتاح فهم المعلومات يكون بتكرار المراجعة والممارسة. فإذا درست ساعة واحدة في اليوم مدة خمسة أيام متتالية فسيكون فهم المعلومات أفضل من الاعتكاف على الدراسة طوال ليلة الاختبار.

اختبار مقنن الفصل 3–

سلّم تقدير

يمثّل الجدول التالي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة:

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملًا لموضوع الفيزياء الذي يُدرّس، ويمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لاتعوق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائيّة التي درسها، الاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا فقط للمواضيع الفيزيائية، وقد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة الاختيار من متعدد

1. C **2.** D **3.** C

4. D

الأسئلة الممتدة

5. 8.0×10^{5} km

الفصل 4

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
4-1 وصف الحركة الدورانية 1. **تصف** الإزاحة الزاويّة. 2. **تحسب** السرعة الزاويّة. 3. **تحسب** التسارع الزاويّ. 4. **تحل** مسائل تتعلق بالحركة الدورانية.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** أجسام قابلة للدحرجة (كرة وعلبة مصمتة، وأخرى مفرَّغة) ومسطرة مترية، ولوح خشبي أملس. **عرض المعلم** **عرض سريع** دولاب (عجلة) دراجة هوائية، ومسطرة مترية، وشريط قياس مصنوع من القماش.
4-2 ديناميكا الحركة الدورانية 5. **تصف** العزم. 6. **تحدد** العوامل التي يعتمد عليها العزم. 7. **تحسب** محصّلة العزوم.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافيّة** ذراع التوازن، وكتل تعليق ذات قيم مختلفة (50 g و 100 g و 200 g). **عرض المعلم** **عرض سريع** أنبوبان طول كل منهما 1 m مصنوعان من البلاستيك المقوّى وقياس قطريهما 2 cm، أربعة قضبان دعم فولاذية طول كل منها 0.3 m
4-3 الاتزان 8. **تعرّف** مركز الكتلة. 9. **توضّح** تأثير موقع مركز الكتلة في استقرار الجسم. 10. **تتعرّف** شروط الاتزان.	**تجارب الطالب** **تجربة** قلم رصاص، وكرتون مقوى (قطع أبعادها 11cm × 8.5 cm)، ومقص. **تجربة إضافيّة** كرسي دوّار قابل للدوران بسهولة، ولوح خشبي طوله 2.5 m وأبعاده الأخرى 10 cm × 2، وملازم ثقيلة، وكرة. **مختبر الفيزياء** مسطرة مترية، وميزانان نابضيان 5 N، وحاملان حلقيان رأسيان، وملزمتان قابلتان للحركة Buret clamps، وكتلة تعليق 500 g، وكتلة تعليق 200 g . **عرض المعلم** **عرض سريع** قطعة خشب كبيرة سمكها 10 cm وأبعادها الأخرى(30 cm × 50 cm)، وقضيبان طول كل منهما 15 cm تقريبًا.

طرائق تدريس متنوعة

م1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الرابع

الفصل 4

الحركة الدورانية

نظرة عامة إلى الفصل

تخضع الحركة الدورانية لقوانين نيوتن، كما في الحركة الخطية، إلا أن الجسم الذي يتحرك حركة دورانية، تتحرك أجزاؤه المختلفة بسرعات وتسارعات مختلفة. لذا ظهرت مفاهيم فيزيائية جديدة مثل العزم وعزم القصور الذاتي، هذا بالإضافة إلى استخدام رموز جديدة يتطلبها وصف هذا النوع من الحركة، فضلاً عن حاجتنا لمعرفة العزم الكلي لتحديد فيما إذا كان الجسم في حالة اتزان دوراني.

فكِّر

صممت عربات الركوب الدوارة في مدينة الألعاب بحيث تُسارع الراكب بعدة طرق.

المفردات الرئيسة

- الراديان
- الإزاحة الزاويّة
- السرعة الزاوية المتجهة
- التسارع الزاويّ
- ذراع القوة
- العزم
- مركز الكتلة
- القوة الظاهرية (القوة الطاردة المركزية)

الفصل 4

الحركة الدورانية
Rotational Motion

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- وصف الحركة الدورانية وقياسها.
- تعرّف كيفية تغيير العزم للسرعة الدورانية.
- استكشاف العوامل التي تؤثر في استقرار جسم ما.
- توضيح المقصود بالقوة الطاردة المركزية الوهمية.

الأهمية

تشاهد الكثير من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية في حياتك اليومية، ومنها قرص الحاسوب المدمج CD، والإطارات، وبعض الألعاب في مدينة الألعاب.

العربة الدوّارة عربة تتحرك حركة دورانية في مدينة الألعاب، وقد صمّمت هذه العربة بحيث تهز الراكب في أثناء دورانها اعتمادًا على قوانين الفيزياء في الحركة الدورانية ، فيشعر الراكب بالإثارة (بوساطة قوة تظهر فقط أثناء دوران هذه العربة).

فكِّر

لماذا يتعرض الراكب في العربة الدوّارة لردود فعل فيزيائية قوية؟

تجربة استهلالية

الهدف تستكشف تسارع أجسام مختلفة تتحرك حركة دورانية.

الموادّ والأدوات أجسام قابلة للدحرجة (علبة حساء مفتوحة الطرفين، وكرة مصمتة، وعمود خشبي ذو قطر كبير، أو اسطوانة خشبية)، ومسطرة مترية، ولوح بلاستيكي أو خشبي.

استراتيجيّات التدريس اختر أجسامًا لها القطر نفسه، وتأكد أنه لا توجد حواف حادة للعلبة، وبإمكان الطلبة استخدام أجسام أخرى على أن تدور وتتدحرج إلى أسفل السطح المائل دون أن تنزلق. واختر أيضًا أجسامًا لها الشكل نفسه وطريقة الدوران نفسها، ولكنها بكتل وأطوال مختلفة.

النتائج المتوقّعة سيكون تسارع الكرة هو الأكبر ثم تسارع الأسطوانة الخشبية، ثم تسارع علبة الحساء.

4-1 وصف الحركة الدورانية
Describing Rotational Motion

الأهداف
- **تصف** الإزاحة الزاويّة.
- **تحسب** السرعة الزاويّة.
- **تحسب** التسارع الزاويّ.
- **تحل** مسائل تتعلق بالحركة الدورانية.

المفردات

الراديان	السرعة الزاويّة المتجهة
الإزاحة الزاويّة	التسارع الزاويّ

لا بدّ أنك لاحظت كثيرًا من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية. فكيف تقيس الحركة الدورانية لهذه الأجسام؟ خذ جسمًا دائريًا مثل قرص CD، وضع إشارتين: إحداهما على القرص، والأخرى في المكان الذي تحدّد فيه نقطة البداية، ثم دوّر القرص إلى اليسار (في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة)، وراقب موضع العلامة. وعندما تعود الإشارة إلى نقطة البداية يكون قرص CD قد أكمل دورة كاملة واحدة. ولكن كيف ستقيس جزءًا من الدورة؟ هناك وحدات مختلفة لقياس زوايا الدوران، منها: وحدة الدرجة، وهي تعادل $\frac{1}{360}$ من الدورة الكاملة. وهناك وحدة تُستعمل كثيرًا في الرياضيات والفيزياء لقياس زوايا الدوران، وهي وحدة الراديان؛ فعندما يتمُّ قرصٌ دورة كاملة فإن أي نقطة واقعة على حافته تقطع مسافة تساوي 2π مضروبة في نصف قطر القرص. لذا يُعرّف الراديان بأنه $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة الكاملة، وبعبارة أخرى فإن الدورة الكاملة تساوي 2π راديان (ويرمز إلى الراديان بالرمز " rad ").

تجربة استهلالية

كيف تدور الأجسام المختلفة أثناء دحرجتها؟

سؤال التجربة هل تدور الأنواع المختلفة من الأجسام المتساوية في الكتلة والحجم بالسرعة نفسها على سطح مائل؟

الخطوات

1. ستحتاج في هذه التجربة إلى مسطرة مترية، ولوح أملس، وكرة، وعلبة أسطوانية الشكل مصمتة، وعلبة أخرى فارغة مماثلة للأولى من حيث الحجم والشكل.
2. ثبت اللّوح بوصفه سطحًا مائلاً، على أن يميل بزاوية مقدارها 20° فوق الأفقي.
3. ضع المسطرة المترية أفقيًّا، على أن توضع حافتها عند الطرف العلوي للسطح المائل، وأمسكها بيدك.
4. ضع كلاً من الكرة، والعلبتين عند حافة المسطرة المترية على أن توضع العلبتان على جانبيهما كما في الشكل.
5. ارفع المسطرة المترية عموديًّا على السطح بسرعة تاركا الأجسام الثلاثة تنزلق وتتدحرج بحرية إلى أسفل السطح المائل.
6. ستتسارع الأجسام الثلاثة على السطح المائل تحت تأثير الجاذبية الأرضية. لاحظ ترتيب وصول الأجسام إلى نهاية السطح، ثم رتبها حسب سرعة وصولها إليه.
7. كرّر الخطوات من 2 – 5 مرتين.

التحليل

رتب الأجسام الثلاثة تنازليًّا حسب تسارعها.

التفكير الناقد أيّ خصائص الأجسام ساهمت في تحديد سلوكها وحركتها؟ اذكر الخصائص المتشابهة والمختلفة بين هذه الأجسام.

التحليل الكرة تسبق الأسطوانة الخشبية دائمًا، كما أن الأسطوانة الخشبية تسبق العلبة المفرَّغة.

التفكير الناقد إن الكيفية التي تتوزع فيها كتلة الجسم تحدد تسارع الجسم الدوّار (المتدحرج) إلى أسفل المنحدر. تذكّر أن تسارع الجسم الساقط سقوطًا حرًا لا يعتمد على كتلته، وهذا ينطبق على الأجسام الدوّارة (المتدحرجة). وللتحقق من ذلك؛ ألصق علبتين متماثلتين معًا ودحرجهما بجوار علبة منفردة مماثلة للعلبتين السابقتين. يعتمد عزم الكرة وعزم العلبتين على نصف قطر كل منهما، و على ميل اللوح أيضًا.

4–1 وصف الحركة الدورانية

1. التركيز

نشاط محفّز

كرة القدم الدوّارة استعمل كرة قدم، ثم اسأل الطلبة: متى يمكننا التعامل مع الكرة على أنها جسيم نقطي؟ عندما تتحرك الكرة بعيدًا بما فيه الكفاية بحيث لا يكون حجمها عاملاً مهمًّا. امسك الكرة بيدك ثم دوّرها بالاتجاهات الممكنة كلها. ناقش الطلبة واطلب إليهم تبادل الأفكار حول تحديد كل الكميات التي تصف موقع كرة القدم، وكيفية حركتها وكيف يُحدَّد اتجاهها. يجب ألا تتضمن هذه الكميات موقع الكرة فقط وفقًا للمحاور x و y و z، (والسرعة بالإتجاهات الثلاثة) لمركز الكرة، بل يجب أن تتضمن اتجاه الكرة حول محاور الدوران الثلاثة أيضًا (محور رأسي ومحوران أفقيان) ومقدار سرعة دورانها حول المحاور الثلاثة. ناقش الطلبة بصورة موجزة في أجسام أخرى يكون دورانها مهمًا بالنسبة لهم. م2 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

الحركة الخطية سيستعمل الطلبة الكميات التي تصف الحركة الخطية (الموقع، السرعة المتجهة، والتسارع) كما سيستعملون هندسة الدائرة للوصول الى معادلات للحركة الدورانية.

2. التدريس

تطوير المفهوم

■ **الرموز الإغريقية** الرموز المستخدمة في الكميات التي تتضمنها الحركة الدورانية θ (ثيتا)، ω (أوميجا)، ∝(ألفا)، و τ (تاو) غير مألوفة لمعظم الطلبة. لذا بيّن لهم أن هذه الرموز تستخدم في كثير من الأحيان للتمييز بين الحركة الخطية والحركة الدورانية.

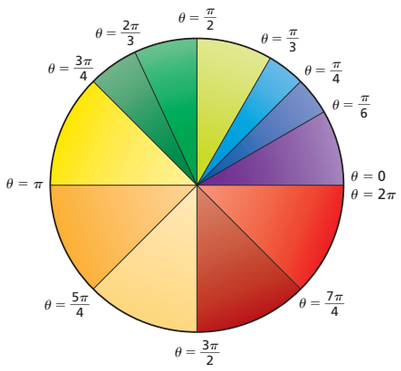
■ **الراديان** تعتمد زاوية الدوران بالراديان (rad) على النسبة بين طول القوس ونصف قطر الدائرة. لذا بين للطلبة أن وحدات الراديان في الحسابات هي في الواقع كميات دون أبعاد.

تقوية

الدرجات والراديان لمساعدة الطلبة على جعل قياسات الراديان مألوفة لديهم، انشيء مخطط يبين دائرة واستخدم الزوايا (30° و45° و60° و90° و...) على التوالي وما يقابلها بقياسات الراديان ($\frac{\pi}{6}$ و$\frac{\pi}{4}$ و$\frac{\pi}{3}$ و$\frac{\pi}{2}$ و...)، وبين لهم أين يكون موقع 1 راديان م 1 **بصري - مكاني**

التفكير الناقد

الزوايا الطبيعية بداية اسأل الطلبة بماذا يفكرون إذا أرادوا قياس الزوايا بالطريقة العادية، ثم ارسم على السبورة دائرة كبيرة، ونصفي قطر في تلك الدائرة على أن تكون الزاوية بينهما تساوي تقريبا ($\frac{\pi}{3}$ rad) 60°، ثم قس طول كل من نصفي قطر الدائرة وطول القوس المحصور بينهما بدقة. واطلب إلى الطلبة مقارنة نسبة طول القوس بطول نصف القطر، وبيّن الطريقة التي يكون فيها قياس الزاوية عدديًا أقرب إلى هذه النسبة. ستكون النسبة قريبة من 1، و $\frac{\pi}{3}$ راديان، وعلى هذا الأساس فإن الراديان يُعد الشكل الطبيعي لقياس الزاوية. م 2 **بصري - مكاني**



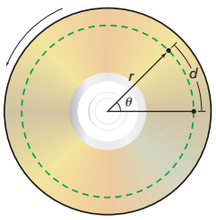
الشكل 1–4 يبين الرسم البياني الدائري قياس الراديان لزوايا مقيسة في عكس اتجاه عقارب الساعة، وكل زاوية مقيسة من الزاويّة $\theta = 0$.

الإزاحة الزاويّة Angular Displacement

يبين **الشكل 1 – 4** القياس بالراديان لمعظم الزوايا الشهيرة والتي تمثل أجزاء من الدورة الكاملة، ويرمز لزاوية الدوران بالرمز θ، وقد اعتُبِرَ أن اتجاه الدوران في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة يكون موجبًا، ومع عقارب الساعة سالبًا، والتغير في الزاويّة في أثناء دوران الجسم يُسمّى **الإزاحة الزاويّة**.

وكما تعرف فإن الأرض تكمل دورة واحدة 2 π rad في 24 h، وتدور π rad خلال 12 h. فما زاوية دوران الأرض خلال 6 h؟ بما أن 6 h تمثل ربع اليوم، فإن الأرض تدور بزاوية ($\frac{\pi}{2}$ rad) خلال هذه الفترة. ويُعد دوران الأرض كما يُرى من القطب الشمالي موجبًا، فهل يكون دوران الأرض موجبًا أم سالبا عندما تُشاهده من القطب الجنوبي؟

ما المسافة التي تتحركها نقطة على جسم يدور؟ تتحرك النقطة الموضوعة على حافة جسم يتحرك دائريًّا عند إتمامه دورة كاملة مسافة تساوي 2 π مضروبة في نصف قطر الجسم الدائر. فإذا دارت نقطة موضوعة على بعد r من المركز بزاوية θ كما في **الشكل 2–4** فإن المسافة التي تتحركها النقطة يُعبّر عنها بالعلاقة $d = r\theta$. وإذا قيست r بالمتر؛ فإن ذلك يجعلك تعتقد أن d تقاس بوحدة m.rad، وهذا ليس صحيحًا؛ فالراديان يمثل النسبة بين d و r، لذا فإن d تقاس بوحدة m.



الشكل 2–4 الخط المنقط يوضح مسار النقطة الموضوعة على الـ CD في أثناء الدوران.

السرعة الزاويّة المتجهة Angular Velocity

ما سرعة دوران قرص الـCD؟ وكيف تُحدّد مقدار سرعته الدورانية؟ تعرف أن السرعة هي حاصل قسمة الإزاحة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الإزاحة، وبالمثل، فإن السرعة الزاويّة المتجهة لجسم ما هي حاصل قسمة الإزاحة الزاويّة على الزمن الذي يتطلبه حدوث هذه الإزاحة. لذا يُعبر عن **السرعة الزاويّة المتجهة** (ω) بالمعادلة الآتية:

السرعة الزاويّة المتجهة $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

السـرعة الزاويّة المتجهة تسـاوي الإزاحة الزاويّة مقسومة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الدوران.

تذكّر أنه إذا تغيرت السـرعة المتجهة خلال فترة زمنية فإنّ متوسـط السـرعة المتجهة عندئذ لا يسـاوي السـرعة المتجهة اللحظية. وبالمثل عند حسـاب السـرعة الزاويّة (ω) بهذه الطريقة فإنه يعطي متوسط السرعة الزاويّة خلال فترة زمنية Δt. أما السرعة الزاويّة اللحظية فتساوي ميل المنحنى الممثل للعلاقة البيانية بين الموقع الزاويّ والزمن.

وتقاس السرعة الزاويّة المتجهة بوحدة rad /s . فمثلاً، تكون السرعة الزاويّة للأرض

$$\omega_E = (2\ \pi\ \text{rad})\ /\ (24.0\ \text{h})\ (3600\ \text{s/h}) = 7.27\times10^{-5}\ \text{rad/s}$$

إن الدوران في عكس اتجاه عقارب السـاعة يجعل الإزاحـة الزاويّة موجبة، ويجعل السـرعة الزاويّة المتجهة موجبة أيضًا. فإذا كانت السـرعة الزاويّة المتجهة لجسم ما ω، فإن السرعة الخطية المتجهة لنقطة على بعد r من محور الدوران تساوي $v = r\omega$، ويعبر عن مقدار سرعة جسم على خط الاستواء يتحرك نتيجة دوران الأرض بالعلاقة:

$$v = r\omega = (6.38\times10^{6}\ \text{m})\ (7.27\times10^{-5}\ \text{rad/s}) = 464\ \text{m/s}$$

وتُعـد الأرض مثالاً على جسـم صلـب يتحرك حركـة دورانية. وعلـى الرغم من أن النقـاط المختلفـة على الأرض تدور مسـافات مختلفة فـي كل دورة، إلا أن هذه النقاط جميعهـا تدور خلال الزاويّة نفسـها، ولأن جميع أجزاء الجسـم الصلـب تدور بالمعدل نفسـه. إن الشـمس ليسـت جسـمًا صلبًا، لـذا فالأجـزاء المختلفة منها تـدور بمعدلات مختلفة. وستدرس في هذا الفصل دوران الأجسام الصلبة .

التسارع الزاويّ Angular Acceleration

ماذا لو تغيرت السـرعة الزاويّة المتجهة؟ على سـبيل المثال، إذا تسـارعت سيارة من 0.0 m /s إلى 25 m /s خلال 15.0 s، فإن السـرعة الزاويّة المتجهة لإطارات السيارة – نصف قطر الإطار 32cm تقريبًا – تتغير أيضًا من 0.0 rad /s إلى 78 rad /s خلال الفترة نفسـها. أيْ يكون لإطارات السـيارة **تسـارع زاويّ** يُعرّف بأنه التغير في السـرعة الزاويّة ($\Delta\omega$) المتجهة مقسـومًا علـى زمن حدوث التغير(Δt)، فالتسـارع الـزاويّ α يُعبر عنه بالعلاقة:

التسارع الزاويّ $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$

التسارع الزاويّ يساوي التغير في السرعة الزاويّة المتجهة مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث خلالها هذا التغير.

ويقاس التسارع الزاويّ بوحدة rad /s² ، فإذا كان التغير في السرعة الزاويّة المتجهة موجبًا يكون التسـارع الزاويّ موجبًا أيضًا. إن التسـارع الـزاويّ المعبر عنه بهذه العلاقة

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

المتوسط واللحظي تكون القيم المتوسـطة واللحظية للسرعة الزاويّة والتسـارع الزاويّ عادة مربكة ومحيّرة كـما في الحركة الخطية. فإذا تغيرت السرعة الزاويّة فإنه يمكن تعيين متوسـطها، أما السرعـة الزاوية اللحظية فيمكـن تعيينها عند أي لحظة زمنية. وإذا رسـم الموقع الـزاويّ كدالـة رياضيـة مـع الزمـن فسـيكون ميـل المـماس ممثلاً للسرعـة الزاويّة اللحظيـة عند أي لحظة. وإذا تغـيرت السرعة الزاويّة بنسـبة ثابتة فإن التسـارع الزاويّ اللحظي سـيكون مسـاويًا لمتوسـط التسـارع الزاويّ. م2 منطقي - رياضي

عرض سريع

الإزاحة الزاويّة

الزمن المقترح 10 دقائق.

المـوادّ والأدوات دولاب (عجلـة) دراجـة هوائية، ومسطرة مترية، وشريط قياس مصنوع من القماش.

الخطوات قـس نصف قطر الـدولاب، وأشر بنقطـة على أحد جوانب الدولاب عند الطرف الخارجـي، ثـم ضـع الـدولاب عـلى الأرض ليدور على أن تكون إشـارة النقطة في الأسفل، ثم دوّره دورة واحدة وقس المسافة التي تحركها الدولاب على الأرض.

اسـتعن بهـذه المعلومة على وضـع علاقة بين θ والمسافة المقطوعة. ستساوي المسافة المقطوعة $2\pi r$.

استعمال الجدول 1–4

أنشئ رسمًا توضيحيًّا على السبورة يوضح العلاقة بين الإزاحة الخطية والإزاحة الزاويّة، ووضح كيف تزداد d مع r عند ثبوت الزاوية θ. ووضح أيضًا العلاقة المشابهة بين v و r عند ثبوت ω باستخدام مخططات الحركة. م 2 **بصري - مكاني**

مسائل تدريبية

1. **a.** $-377\ \text{rad}$، أو $-120\ \pi\ \text{rad}$
   b. $-6.28\ \text{rad}$، أو $-2\ \pi\ \text{rad}$
   c. $-0.524\ \text{rad}$ ، أو $-\frac{\pi}{6}\ \text{rad}$
2. القطر يساوي $0.707\ \text{m}$
3. **a.** أنهما الشيء نفسه أيْ "متساويان".
   b. لأن نصف قطر الدولاب نقص (قل) من $35.4\ \text{cm}$ إلى $24\ \text{cm}$، فإن التسارع الزاويّ يزيد.
4. ستقل السرعة الزاويّة ω، وسيقل عدد الدورات.

هو نفسه متوسط التسارع الزاويّ خلال الفترة الزمنية Δt. ومن طرائق حساب التسارع الزاويّ اللحظي إيجاد ميل منحنى العلاقة البيانية بين السرعة الزاويّة المتجهة والزمن.

ويعبرعن التسارع الخطي لنقطة ما على بعد r من محور جسم يدور بالعلاقة $a = r\alpha$. **والجدول 1– 4** يبين ملخص العلاقات الخطية والزاويّة.

الجدول 1–4

قياسات خطية وزاويّة			
الكمية	الخطّية	الزاويّة	العلاقة
الإزاحة	d (m)	θ (rad)	$d = r\theta$
السرعة المتجهة	v (m/s)	ω (rad/s)	$v = r\omega$
التسارع	a (m/s²)	α (rad/s²)	$a = r\alpha$

مسائل تدريبية

1. ما الإزاحة الزاويّة لعقارب ساعة يد خلال 1 h؟
   a. عقرب الثواني.
   b. عقرب الدقائق.
   c. عقرب الساعات.
2. إذا كان التسارع الخطي لعربة نقل $1.85\ \text{m/s}^2$ ، والتسارع الزاويّ لإطاراتها $5.23\ \text{rad/s}^2$، فما قطر الإطار الواحد للعربة؟
3. إذا كانت العربة التي في السؤال السابق تسحب قاطرة قطر كل من إطاراتها 48 cm، فأجب عمّا يأتي:
   a. قارن بين التسارع الخطي للقاطرة والتسارع الخطي للعربة.
   b. قارن بين التسارع الزاويّ للقاطرة والتسارع الزاويّ للعربة.
4. إذا استبدلت إطارات سيارتك بإطارات أخرى قطرها أكبر فكيف تتغير السرعة الزاويّة المتجهة وعدد الدورات إذا قمت بالرحلة نفسها، وقطعت المسافة نفسها، والتزمت بالسرعة السابقة؟

التردد الزاويّ يكمل الجسم المتحرك حركة دورانية عدة دورات خلال فترة زمنية محددة. فمثلاً تدور عجلة عدة دورات في زمن مقداره دقيقة واحدة، وقد سُمّي عدد الدورات الكاملة التي يدورها الجسم في الثانية الواحدة بالتردد الزاويّ f، حيث $f=\frac{\omega}{2\pi}$.

4-1 مراجعة

5. **السرعة الزاويّة المتجهة** يدور القمر حول محوره دورة كاملة خلال 27.3 يومًا، فإذا كان نصف قطر القمر $1.74\times10^{6}\ m$، فما:
   a. زمن دوران القمر بوحدة الثانية؟
   b. تردد دوران القمر بوحدة rev/s؟
   c. مقدار السرعة الخطية لصخرة على خط الاستواء للقمر الناتجة فقط عن دوران القمر؟
6. **الإزاحة الزاويّة** إذا كان قطر الكرة المستخدمة في فأرة الحاسوب 2.0 cm، وحَرّكت الفأرة 12 cm، فما الإزاحة الزاويّة للكرة؟
7. **الإزاحة الزاويّة** هل لكل أجزاء عقرب الدقائق الإزاحة الزاويّة نفسها؟ وهل لها إزاحة خطية متماثلة؟
8. **التسارع الزاويّ** يدور الملف الأسطواني في محرك غسالة الملابس بمعدل 635 rev/min، وعند فتح غطاء الغسالة يتوقف المحرك عن الدوران. فإذا احتاج المحرك 8.0 s حتى يتوقف بعد فتح الغطاء، فما التسارع الزاويّ للمحرك الأسطواني؟
9. **التفكير الناقد** يبدأ مسار لولبي على قرص مضغوط (CD) من نقطة تبعد 2.7 cm من المركز، وينتهي على بعد 5.5 cm، انظر الشكل أدناه. ويدور القرص المضغوط، بحيث تتغير الزاويّة كلما ازداد نصف قطر المسار، ويبقى مقدار السرعة الخطية المتجهة للمسار اللولبي ثابتًا، ويساوي 1.4 m/s، أوجد ما يلي:
   a. السرعة الزاويّة المتجهة للقرص (بوحدة rad/s و rev/min) عند بداية المسار.
   b. السرعة الزاويّة المتجهة للقرص عند نهاية المسار.
   c. التسارع الزاويّ للقرص إذا كان زمن قراءته كاملًا 76 min

المسار اللولبي على قرص (CD)

3. التقويم

التحقق من الفهم

عرض السرعة الزاويّة استخدم دولابًا كبيرًا ويفضل أن يكون متصلاً بحبل يمر على بكرة صغيرة. ضع إشارة على الطرف الخارجي للدولاب، ولف حبلًا حوله، ثم اسحب طرف الحبل الثاني بسرعة ثابتة، واطلب إلى الطلبة ملاحظة السرعة الزاويّة للدولاب، وكرر سحب الحبل بالسرعة نفسها. بعد أن تلف الحبل حول البكرة الصغيرة المتصلة بالدولاب، واسأل الطلبة، هل ستتغير السرعة الزاويّة للدولاب، ثم اسحب الحبل. السرعة الزاويّة: $\frac{v}{r}=\omega$، وبما أن نصف القطر قلّ، فإن السرعة الزاويّة ستزيد.

التوسع

تحديد التسارع الزاويّ اطلب إلى الطلبة أن يفترضوا أن هناك جسمًا ثقيلاً عُلّق بنهاية حبل متصل بدولاب، فكيف يمكن استعمال مجس لقياس التسارع الزاويّ للدولاب؟ يمكن توصيل جهاز حساس (مجس) للحركة الدورانية وتوصيله بأدوات التجربة. اسأل: هل سيختلف التسارع الخطي إذا استعملنا بكرة في التجربة؟ من العلاقة الآتية: $\alpha=\frac{a}{r}$ فإن α تعتمد على r وعند استعمال البكرة فإن a ستكون أقل بكثير.

4-1 مراجعة

5. a. $2.36\times10^{6}\ s$
   b. $2.66\times10^{-6}\ rad/s$
   c. $4.63\ m/s$
6. $12\ rad$
7. الإزاحة الزاويّة– نعم، المسافة الخطية – لا، لأنها دالة لنصف القطر.
8. $-8.3\ rad/s^2$
9. a. $5.0\times10^{2}\ rev/min$ أو $52\ rad/s$
   b. $2.4\times10^{2}\ rev/min$ أو $25\ rad/s$
   c. $-5.9\times10^{-3}\ rad/s^2$

4–2 ديناميكا الحركة الدورانية

1. التركيز

نشاط محفّز

ذراع القوة استخدم باب الصف أو أي جسم قابل للدوران حول أحد طرفيه. واطلب إلى الطلبة اكتشاف كيف يؤثر كل من موقع القوة واتجاهها في دوران الباب، ثم بين كيف يحدث اكبردوران بأقل قوة عندما تؤثر القوة عموديًا في الباب، وبعيدًا ما أمكن عن المفصّل. م2 حسي حركي

الربط مع المعرفة السابقة

القوة سيستعمل الطلبة مفهوم الحركة الزاويّة، والقانون الثاني لنيوتن وهندسة الدائرة.

2. التدريس

تطوير المفهوم

■ **القيمة العظمى للعزم** عندما يُلف خيط حول جسم ما، يكون الخيط دائما مماسًّا للدائرة عند كل نقطة منها، وعموديًا على نصف القطر. ويكون مقدار العزم الناتج عندما تؤثر قوة F في الخيط مساويًا لـ $\tau = rF$.

المناقشة

سؤال عند أي نقطة بين مفصلات الباب وطرفه الخارجي يجب أن تؤثر قوة عمودية في الباب لتولد العزم نفسه الذي تولده قوة مساوية في المقدار ولكن تميل بزاوية 30° عن طول الطرف الخارجي للباب؟

الجواب تكون العزوم متساوية عندما تؤثر القوة عند منتصف المسافة بين طرفي الباب. م2

الأهداف
- تصف العزم.
- تحدد العوامل التي يعتمد عليها العزم.
- تحسب محصلة العزوم.

المفردات
ذراع القوة
العزم

كيف تبدأ الحركة الدورانية لجسم ما؟ أيْ، كيف يمكنك تغيير سرعته الزاويّة المتجهة؟ إذا كان لديك علبة أسطوانية وأردت أن تديرها حول نفسها، فما عليك إلا ان تلف خيطًا حولها ثم تسحبه بقوة فتدور، وكلما سحبت الخيط بقوة أكبر فإن سرعة دورانها ستزيد. من جهة أخرى فإن قوة شد الخيط تؤثر في الحافة الخارجية للعلبة بزاوية قائمة على الخط الواصل من مركز العلبة إلى النقطة التي يبتعد عندها الخيط عن سطح العلبة.

وكما تعلمت فإن القوة المؤثرة في جسم نقطي تغير من سرعته المتجهة. أما في حالة الجسم غير النقطي، والذي يكون له شكل وحجم ثابتان- كما في حالة العلبة الأسطوانية- فإن تأثير القوة فيه بطريقة معينة يغير سرعته الزاويّة المتجهة. تأمل حالة فتح باب مغلق؛ أنت بكل تأكيد تؤثر في الباب بقوة لكي تفتحه، ولكن كيف تؤثر بهذه القوة لتفتح الباب بأسهل طريقة؟ إن ما يعنينا هو الحصول على أكبر أثر عند التأثير بأقل قوة ممكنة. ولتحقيق ذلك، نجعل نقطة تأثير القوة أبعد ما يمكن عن محور الدوران، أنظر إلى **الشكل 3–4** إن محور الدوران في حالة الباب هو خطٌ وهميٌّ رأسيٌّ يمرّ من خلال مُفصّلات الباب. أما نقطة تأثير القوة فهي مقبض الباب الذي يكون بجانب الطرف الخاجي للباب. ولضمان أثر فعال للقوة فإننا نؤثر بها في مقبض الباب (بعيدًا عن المُفصّلات) بزاوية قائمة بالنسبة للباب؛ حيث يحدّد كل من مقدار القوة واتجاهها، والمسافة من المحور حتى نقطة تأثير القوة، التغيرَ في السرعة الزاويّة المتجهة.

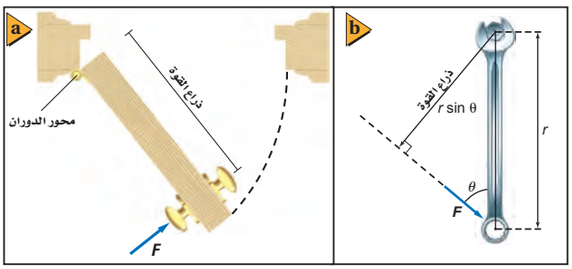
الشكل 3 – 4 (a) عند فتح باب قابل الدوران حول المُفصّلات، يتولد أكبر عزم عندما تؤثر القوة في أبعد نقطة عن المُفصّلات (b) بزاوية متعامدة مع الباب.

ذراع القوة عند التأثير بقوة معينة، فإن التغير في السرعة الزاويّة المتجهة يعتمد على **ذراع القوة** وهي المسافة العمودية من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. فإذا كانت القوة متعامدة مع نصف قطر الدوران كما هو في العلبة الأسطوانية، فإن ذراع القوة تساوي البعد عن المحور r. وبالنسبة للباب، فيكون ذراع القوة مساويًا للمسافة بين المفصّلات ونقطة تأثير القوة. انظر **الشكل 4a– 4** . وإذا لم تكن القوة متعامدة مع محور الدوران نأخذ المركبة العمودية للقوة. القوة التي يؤثر بها الخيط حول العلبة متعامدة مع نصف قطر العلبة. وإذا كانت القوة المؤثرة غير متعامدة مع نصف القطر فإن مقدار ذراع القوة يقل. ولإيجاد ذراع القوة مُدّ خط متّجه القوة حتى يشكّل زاوية قائمة مع الخط الممتد من مركز الدوران، فتكون المسافة بين نقطة التقاطع والمحور تشكّل ذراع القوة. وباستخدام حساب المثلثات يمكن إيجاد طول ذراع القوة L من خلال المعادلة $L = r \sin\theta$، انظر إلى **الشكل 4b – 4**. وتمثل r المسافة بين محور الدوران ونقطة تأثير القوة، وتكون الزاويّة θ بين القوة المؤثرة ونصف القطر من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة.

نشاط

طرائق تدريس متنوعة

إعاقة بصرية الشعور بعزم القوة! ثبّت أحد طرفي عصا مكنسة طويلة على حافة، وثبت مجموعة من الخطاطيف أسفل العصا وعلى مسافات مختلفة من محور الارتكاز، ثم دع أحد الطلبة ضعيفي البصر يتفحص عملية رفع جسم ثقيل، وذلك بأن يرفع الطرف الحر لعصا المكنسة، وفي أثناء ذلك علق جسمًا بأحد هذه الخطاطيف، واسأل الطالب أن يصف القوة المؤثرة في عصا المكنسة، ثم وضح (صف) له موضع الخُطّاف. أعد خطوات التجربة باستخدام خطاف آخر واطلب إلى الطالب أن يجد العلاقة بين العزم وذراع القوة. م2 حسي - حركي



الشكل 4 – 4 (a) تكون ذراع القوة على امتداد عرض الباب من المُفصّلات حتى نقطة تأثير القوة. **(b)** ذراع القوة تساوي $L = r \sin \theta$ عندما تكون الزاوية θ بين القوة ونصف قطر الدوران لا تساوي 90°.

العزم هو مقياس لمقدرة القوة في إحداث الدوران، ومقدار العزم يساوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها. حيث إنّ القوة مقيسة بوحدة النيوتن، والمسافة بوحدة المتر؛ فإن العزم يقاس بوحدة (N.m)، ويرمز إليه بالحرف اللاتيني τ، ويُعبر عنه بالمعادلة التالية:

العزم $\tau = Fr \sin \theta$

العزم يساوي حاصل ضرب القوة العمودية في طول ذراعها

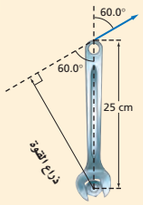
مثال 1

ذراع القوة يتطلب شد برغي في محرك سيارة عزمًا مقداره 35 N.m باستخدام مفتاح شد طوله 25 cm، وذلك بسحب المفتاح من نهايته بزاوية 60.0° مع الرأسي. كم يجب أن يكون طول ذراع القوة؟ وما مقدار القوة التي يجب أن تُؤثر بها؟

1 تحليل المسألة ورسمها

مثّل الوضع، وارسم ذراع القوة بسحب متجه القوة من نهايته حتى يتقاطع الخط العمودي عليه مع محور الدوران.

المعلوم	المجهول
$r = 0.25$ m ، $\tau = 35$ N.m	$L = ?$
$\theta = 60.0^\circ$	$F = ?$



2 إيجاد الكميات المجهولة

أوجد طول ذراع القوة باستخدام العلاقة

بالتعويض عن $r = 0.25$ m ، $\theta = 60.0^\circ$

$$L = r \sin \theta$$
$$= (0.25 \text{ m})(\sin 60.0) = 0.22 \text{ m}$$

بالتعويض عن $\tau = 35$ N . m ، $r = 0.25$ m ، $\theta = 60.0^\circ$

$$\tau = Fr \sin \theta \text{ ، } F = \frac{\tau}{r \sin \theta}$$
$$= \frac{35 \text{ N.m}}{(0.25 \text{ m})(\sin 60^\circ)}$$
$$F = 1.6 \times 10^2 \text{ N}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القوة بوحدة النيوتن.
- **هل للإشارات معنى؟** تم حساب مقدار القوة اللازمة فقط لتدوير المفتاح في اتجاه حركة عقارب الساعة.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

العزم في مفتاح الشد يعد التأثير بالعزم المناسب عند شد البرغي أمرًا مهمًا جدًا، فإذ كان العزم الذي تولده القوة قليلاً فلن يتأثر البرغي بقوة كافية لتثبيت القطعتين معًا. على حين أنه إذا أثرت القوة بعزم كبير جدًا فيمكن أن ينكسر البرغي. ويصمم مفتاح الشد بحيث لا يُنتج الشخص عزمًا كبيرًا جدًا. والنموذج البسيط من مفاتيح الشد يكون لها مقبض مرن ومؤشر خفيف يحوّل مقدار الإنحناء في المقبض إلى عزم. وأما بعضها الآخر ذات الثمن المرتفع فلها أداة تصدر طقطقات مسموعة عند تطبيق عزم مناسب. وتُزوَّد معظم مفاتيح الشد الكهربائية و التي تعمل بوساطة الهواء المضغوط بمؤشرات عزم لكي لا يُطبَّق عزم زائد عليها.

استعمال الشكل 4–4b

تأمل معادلة العزم: $\tau = Fr \sin \theta$ لاحظ أنه يمكن كتابتها على الصورة $\tau = r(F \sin \theta)$، أو $\tau = F(r \sin \theta)$. ويمكن تفسير الصورة الأولى على أن القوة قلت عند ضربها بـ $\sin \theta$، وبقيت r ثابتة، أما في الصورة الثانية فيمكن تفسيرها على أن r قلت عند ضربها بـ $\sin \theta$، وبقيت F ثابتة.

م 2 منطقي-رياضي

مثال صفي

سؤال ما القوة المؤثرة عندما يستخدم مفتاح الشد نفسه (المستخدم في المثال 1) بعزم مقداره 35 N.m ويؤثر بزاوية تميل 75° عن الأفقي؟.

الإجابة أنشئ رسمًا تخطيطيًّا للسؤال، إذا كانت الزاوية تميل عن الأفقي بمقدار 75°، إذن سيكون ميلان الزاوية عن الرأسي 15°، وعليه فسيكون ذراع القوة:

$$r \sin \theta = (0.25 \text{ m})(0.26) = 0.065 \text{ m}$$

وستكون القوة اللازمة:

$$\frac{35 \text{ N.m}}{0.065 \text{ m}} = 5.4 \times 10^2 \text{ N}$$

استعمال التشابه

المتوسطات تُحدد نقطة الاتزان بحيث يكون مجموع الإسهامات في محصلة العزم كلها يساوي صفرًا، يمكن مقارنة ذلك بمتوسطات رياضية أخرى، فعلى سبيل المثال، لو أخذنا متوسط درجات طلبة صف ما في امتحان العلوم، وأضفنا له درجة جديدة، وكانت هذه الدرجة أقل من المتوسط بكثير أو أعلى منه بكثير، فإن المتوسط سيتحرك أكثر مما لو كانت الدرجة المضافة قريبة من المتوسط.

التفكير الناقد

التمثيل البياني لذراع القوة اسأل الطلبة؛ كيف يمكنهم تمثيل ذراع القوة بيانيًّا. لرؤية كيف يؤثر بذل قوة تميل بزاوية على ذراع القوة في تقليل طول الذراع اللازم لحدوث الدوران. على الطلبة استخدام **الشكل 4b–4** لرسم ذراع القوة عندما تؤثر قوة في مفتاح شد طوله 25 cm بالزوايا التالية: 15° و30° و45° و60° و75°، كم أطوال أذرع هذه القوة؟ 6.5 cm و 13 cm و 18 cm و 22 cm و 24 cm

م 2 منطقي-رياضي

مسائل تدريبية

10. 1.4×10^2 N

11. 0.407 m

12. 36.6°

13. 94 N.m ، 0.0 N.m

المناقشة

سؤال دع الطلبة يتخيلوا لوحًا منتظمًا ثقيلاً جدًا طوله l، وكتلته m_1 يمتد مسافة مقدارها r عن حافة منصة صغيرة، وغير مثبت بها.

اسأل الطلبة، ما العوامل التي تحدد القيمة العظمى للمسافة r حتى يتمكن شخص كتلته m_2 من السير إلى نهاية اللوح الخشبي؟ وهل يستطيع الطلبة كتابة معادلة للقيمة العظمى للمسافة؟

الجواب إن طول اللوح، وموقع مركزه بالنسبة إلى حافة المنصة، وكتلة الشخص جميعها تحدد المسافة العظمى. اكتب المعادلة أولاً معتبرا أن اللوح منتظم، لذا يمكن أن نعتبر أن تأثير الكتلة في مركزه، ونقطة الاتزان هي طرف المنصة. ثم افترض أن الشخص عند طرف اللوح وأن موقعه عند القيمة العظمى للمسافة r، وذلك عندما يكون اللوح على وشك الإنقلاب. وتكون محصلة العزم صفرًا، أي أن العزم باتجاه حركة عقارب الساعة مساويًا للعزم بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وعند حل المعادلة بالنسبة لـ r نحصل على:

$$m_1 g \left(\frac{l}{2} - r\right) = m_2 g r$$

$$r = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2}\right)\frac{l}{2}$$

مسائل تدريبية

10. بالرجوع إلى مفتاح الشد في المثال 1، ما مقدار القوة التي يجب التأثير بها بشكل عمودي في مفتاح الشد؟

11. إذا لزم عزم مقداره 55.0 N.m لتدوير جسم، في حين كانت أكبر قوة يمكن التأثير بها 135 N، فما طول ذراع القوة الذي يجب استخدامه؟

12. لديك مفتاح شد طوله 0.234 m، تريد أن تستخدمه في إنجاز مهمة تتطلب عزمًا مقداره 32.4 N.m، عن طريق التأثير بقوة مقدارها 232 N، فما مقدار أقل زاوية تصنعها القوة المؤثرة بالنسبة للرأسي، وتسمح بتوفير العزم المطلوب؟

13. إذا كان مقدار كتلتك 65 kg، وقفت على بدالة دراجة هوائية، بحيث تصنع البدّالة زاوية مقدارها 35° فوق الأفقي وتبعد مسافة 18 cm عن مركز حلقة السلسلة، فما مقدار العزم الذي تؤثر فيه؟ وما مقدار العزم الذي تؤثر فيه إذا كانت البدّالات رأسيّة؟

إيجاد محصلة العزم Finding Net Torque

نفذ التجربة التالية: خذ قلمي رصاص، وقطع نقد معدنية، وشريطًا لاصقًا شفافًا. وثبت قطعتي نقد متماثلتين في نهايتي أحد القلمين، ودعه يتزن فوق القلم الثاني كما في **الشكل 5 – 4**. تؤثر كل من قطعتي النقد بعزم مساو لوزنها F_g مضروبًا في المسافة r من نقطة الاتزان إلى مركز قطعة النقد على النحو التالي:

$$\tau = F_g r$$

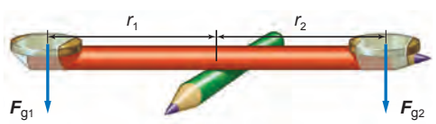
ولأن العزمين متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه، لذا فإن محصلة العزوم تساوي صفرًا.

$$\tau_1 + \tau_2 = 0$$

أو

$$F_{g1} r_1 - F_{g2} r_2 = 0$$

والآن، كيف تجعل القلم يدور؟ يجب إضافة قطعة نقد أخرى فوق إحدى القطعتين النقديتين، ممّا يجعل القوتين مختلفتين. كما يمكن إزاحة نقطة الاتزان نحو إحدى قطعتي النقد، مما يجعل المسافتين مختلفتين.



الشكل 5 – 4 عندما يتزن قلم الرصاص فإن العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الأولى $F_{g1}\ r_1$ يساوي في المقدار العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الثانية $F_{g2}\ r_2$ ويعاكسه في الاتجاه.

معلومة للمعلم

الخلفية النظريّة للمحتوى

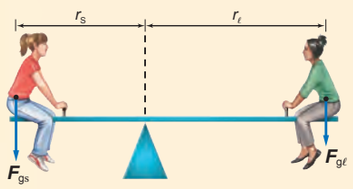
السيسو تكون التغيرات كلها في الحركة الدورانية نتيجة محصلة العزوم. فإذا أخذنا حالة لعبة السيسو، فإنك تحتاج إلى أن تذكّر بعض الطلبة بأن متجه العزوم يشبه متجهات القوة ولكن بتحريك دوراني. لذا فقد يكونون في حالة اتزان أو عدم اتزان، وإذا كان الطرفان غير متزنين، فعندئذ يدور لوح السيسو. ويؤثر الشخصان عند طرفي السيسو كل منهما بعزم في الاتجاه المعاكس. فإذا كان العزم الذي يؤثر به كل منهما مساو في المقدار ومعاكسًا في الاتجاه للآخر فإن اللوح لا يدور. وإذا كان للشخصين الوزن نفسه فإن اللوح يتزن في هذه الحالة، إذا جلس الشخصان على البعد نفسه من نقطة الارتكاز. وإذا كان الشخصان مختلفين في الوزن، فإنه يتعين على الشخص ذي الوزن الأكثر الجلوس في وضع أقرب إلى نقطة الارتكاز حتى يبقى اللوح متزنًا. م 2

مثـال 2

اتـزان العـزوم تلعب سـعاد وليلـى على لعبة ميزان (السيسـو) طولها 1.75 m بحيث تحافظان علـى وضع الاتزان للعبة فإذا كانت كتلة سعاد 56 kg وكتلة ليلى 43 kg فما موضع نقطة الارتكاز عن كل منهما؟ (اهمل وزن لوح لعبة الميزان).

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع
- ارسم المتجهات ثمّ سمِّها.



المعلوم

$m_s = 56\ \text{kg}$

$m_\ell = 43\ \text{kg}$

$r_s + r_\ell = 1.75\ \text{m}$

المجهول

$r_s = ?$

$r_\ell = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب القوتين.

سعاد

بالتعويض عن $g = 9.80\ \text{m/s}^2$, $ms = 56\ \text{kg}$

$$F_{gs} = m_s g = (56\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 5.5 \times 10^2\ \text{N}$$

ليلى

بالتعويض عن $g = 9.80\ \text{m/s}^2$, $m_\ell = 43\ \text{kg}$

$$F_{g\ell} = m_\ell g = (43\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 4.2 \times 10^2\ \text{N}$$

احسب بُعد سعاد بدلالة طول لعبة السيسو وبُعد ليلى.

$$r_s = 1.75\ \text{m} - r_\ell$$

عندما لا يحدث الدوران يكون مجموع العزوم صفرًا.

$$F_{gs} r_s = F_{g\ell} r_\ell \rightarrow F_{gs} r_s - F_{g\ell} r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$

بالتعويض عن $r_s = 1.75\ \text{m} - r_\ell$

$$F_{gs}(1.75\ \text{m} - r_\ell) - F_{g\ell} r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$

حل المعادلة لايجاد r_ℓ

$$F_{gs}(1.75\ \text{m}) - F_{gs} r_\ell - F_{g\ell} r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$
$$F_{gs} r_\ell + F_{g\ell} r_\ell = F_{gs}(1.75\ \text{m})$$
$$(F_{gs} + F_{g\ell}) r_\ell = F_{gs}(1.75\ \text{m})$$

بالتعويض عن $F_{g\ell} = 4.3 \times 10^2\ \text{N}$, $F_{gs} = 5.5 \times 10^2\ \text{N}$

$$r_\ell = \frac{F_{gs}(1.75\ \text{m})}{(F_{gs} + F_{g\ell})}$$
$$= \frac{(5.5 \times 10^2\ \text{N})(1.75\ \text{m})}{(5.5 \times 10^2\ \text{N} + 4.2 \times 10^2\ \text{N})}$$
$$r_\ell = 0.99\ \text{m}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس المسافة بالمتر.
- **هل للإشارات معنى؟** المسافات تكون موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** ليلى على بعد 1 m تقريبًا من المركز، لذا تكون سـعاد على بعد 0.75 m من المركز، وبما أن وزن سعاد أكبر من وزن ليلى، فيكون ذراع القوة لديها أقل منه لدى ليلى، أيْ أن ليلى على بعد أكبر من نقطة الاتزان.

نشاط

المسـافة والعزم وضح للطلبة أن العزوم تُجمع إذا كانـت بالاتجـاه نفسـه، وتُطـرح إذا كانت متعاكسـة في الاتجـاه. فعندمـا يدفـع الطالب بابًـا مفتوحًا، فإن مكان دفعـه واتجاهه يُعدان عاملـين مهمين في دفع البـاب المفتوح بطريقة سـهلة. ونلاحظ أنـه حتى الأطفـال الصغار عندمـا يريدون فتح البـاب يدفعونه من نقطة بعيـدة عـن المفصـلات (نقطـة الارتـكاز) ليفتحـوه بسـهولة. وبمعنـى آخر، فـإن زيادة ذراع القـوة (المسـافة) تزيـد العـزم. م 1

بصري-مكاني

مثال صفي

سؤال في المثال 2 افرض أن ابتسام التي كتلتها 52 kg حلـت محل ليـلى، فأين يجـب أن تجلس ابتسام حتى توازن سعاد؟.

الإجابة

$$F_g = mg = (52\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 5.1 \times 10^2\ \text{N}$$

استبدل 4.2 بـ 5.1 في آخر معادلة لإيجاد:

$$r = \frac{(5.5 \times 10^2\ \text{N})(1.75\ \text{m})}{5.5 \times 10^2\ \text{N} + 5.1 \times 10^2\ \text{N}}$$
$$= 0.91\ \text{m}$$

تجربة إضافية

العزوم المتزنة

الهـدف تزويـد الطلبـة بخـبرة لحسـاب العـزوم وإيجاد شروط الاتزان.

المواد والأدوات ذراع التوازن، وكتل تعليق ذات قيم مختلفة (200 g , 100 g , 50 g)

الخطـوات علق كتلـة التعليق 100 g في منتصف أحـد طـرفي ذراع التـوازن، واسـأل الطلبـة: أين يجب أن نضـع كتلة تعليق أخرى مقدارها 200 g بحيث يتزن ذراع التوازن؟ على بعد يساوي نصف البعد الذي علقت عنده الكتلة 100 g. أعد السؤال باستعمال كتلة 50 g، على بعد يساوي ضعفي البعد الـذي علقت عنده الكتلة 100 g وأخيرًا، ضع كتلة تعليـق مقدارها 50 g بالجهة نفسـها التـي فيها كتلة التعليـق 100 g. وعلى الطلبة موازنة الكتلتين بكتلة تعليق مقدارها 200 g.

التقويم يتعين على الطلبة استخدام المعادلة:

$$\tau_B + \tau_g = 0$$

حيث إن $\tau_B = (m_B g)\, r_B$

و $\tau_g = -(m_g g) r_g$

لذا فإن $r_g = r_A \left(\frac{m_b}{m_g}\right)$

$$r_g = r_B \left(\frac{m_B}{m_g}\right)$$

مسائل تدريبية

14. +2.70 N.m

15. 0.056 kg

16. 789 N

3. التقويم

التحقق من الفهم

توضيح إذا ركبت دراجة هوائية ذات ناقل حركة مزودة بدواسات على جانبيها، فاسأل الطلبة أي أوضاع الدواسة ستختارون لبدء الحركة من السكون، واطلب إليهم استخدام العزم للإجابة عن السؤال.

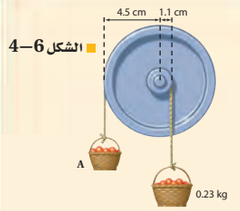
يكون عزم القوة المؤثرة أكبر ما يمكن عندما تكون الدواسة في وضع أفقي، أما إذا بدأت الحركة للدواسة بزاوية 45°– 30° فوق الأفقي فسيقل العزم ليصبح بنسبة 87% فقط أو 71% من القيمة العظمى، لكن الدواسة يمكنها أن تتحرك أكثر قبل أن يصبح العزم صفرًا في الأسفل. م 2

مسائل تدريبية

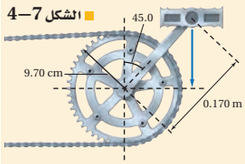
14. إذا كان نصف قطر إطار دراجة هوائية 7.70 cm، وأثرت السلسلة بقوة عمودية مقدارها 35.0 N في الإطار في اتجاه عقارب الساعة، فما مقدار العزم اللازم لمنع إطار الدراجة من الدوران؟

15. عُلقت سلتا فواكه بحبلين يمران على بكرتين قطراهما مختلفان، فاتزنتا كما في **الشكل 6 – 4**. ما مقدار كتلة السلة A؟

16. يقف شخص كتلته 65.0 kg على بدّالة دراجة هوائية، فإذا كان طول ذراع التدوير 0.170 m ويصنع زاوية 45.0° بالنسبة للرأسي كما في **الشكل 7 – 4**. وكان ذراع التدوير متصلا بالإطار الخلفي (الذي تديره السلسلة عادة) فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر فيها السلسلة لمنع الإطار من الدوران علمًا بأن نصف قطر الإطار 9.70 cm؟



الشكل 6–4



الشكل 7–4

4-2 مراجعة

17. **العزم** يريد عبد الرحمن أن يدخل من باب قابل للدوران، وضّح كيف سيدفع الباب ليولد عزمًا بأقل مقدار من القوة المؤثرة؟ وأين يجب أن تكون نقطة تأثير تلك القوة ؟

18. **ذراع القوة** حاولت فتح باب، ولم تستطع دفعه بزاوية قائمة، فدفعته بزاوية 55° بالنسبة للعمودي، قارن بين قوة دفعك للباب في هذه الحالة والقوة اللازمة لدفعه عندما تكون القوة عمودية عليه (90°) مع تساوي سرعة حركة الباب في الحالتين.

19. **محصلة العزم** يسحب شخصان حبلين ملفوفين حول حافة إطار كبير. فإذا كانت كتلة الإطار 12 kg وقطره 2.4 m. ويسحب أحد الشخصين الحبل الأول في اتجاه عقارب الساعة بقوة 43 N، بينما يسحب الشخص الآخر الحبل الثاني في اتجاه معاكس لاتجاه عقارب الساعة بقوة 67 N، فما محصلة العزم على الإطار؟

20. **التفكير الناقد** إذا وضعت كرة عند أعلى سطح مائل مهمل الاحتكاك فإنها ستنزلق إلى أسفل السطح دون دوران، ولكن إذا كان السطح خشنًا فإنّ الكرة ستدور في أثناء الانزلاق إلى أسفل. وضح سبب ذلك، مستخدمًا مخطط الجسم الحر.

4-2 مراجعة

17. لتوليد عزم بأقل قوة، عليك دفع الباب مقتربًا ما أمكن من الحافة وبزاوية قائمة بالنسبة للباب.

18. عليك زيادة القوة بالنسبة التالية: $\frac{1}{0.57} = 1.75$ للحصول على العزم نفسه.

19. 29 N.m

20. العزم $\tau = Fr \sin\theta$، القوة ناتجة عن الاحتكاك، والعزم يجعل الكرة تدور باتجاه حركة عقارب الساعة، وإذا كان السطح أملس فلا توجد قوة موازية للسطح في هذه الحالة ولا يوجد عزم ولا دوران.

لماذا تكون بعض المركبات أكثر قابلية للانقلاب من غيرها عند تعرضها لحادث ما؟ ما الذي يجعل المركبة تنقلب؟ يكمن السبب في تصميم المركبة. وستتعرّف في هذا البند بعض العوامل التي تؤدي إلى انقلاب الأجسام.

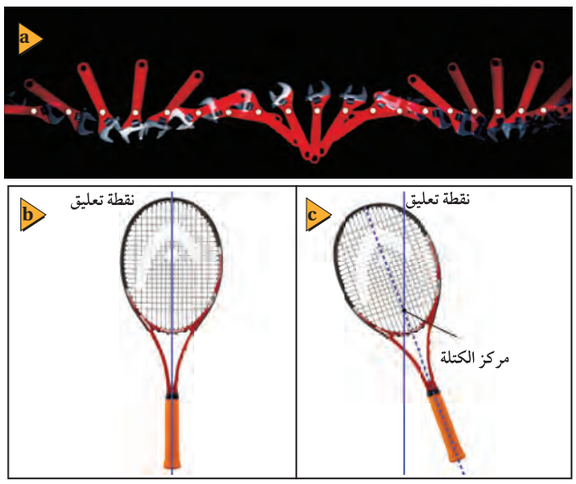
الأهداف
- **تعرف** مركز الكتلة.
- **توضح** تأثير موقع مركز الكتلة في استقرار الجسم.
- **تتعرف** شروط الاتزان.

المفردات
مركز الكتلة
القوة الظاهرية (القوة الطاردة المركزية)

مركز الكتلة The Center of Mass

كيف يدور الجسم حول مركز كتلته؟ قد يدور مفتاح الشد حول مقبضه أو حول أحد طرفيه، فهل تتحرك أي نقطة مادية على مفتاح الشد في مسار مستقيم؟ يوضح **الشكل 4–8a** حركة مفتاح الشد، ويمكنك ملاحظة أن هناك نقطة واحدة تسلك مسارًا على صورة خطّ مستقيم، كما لو أنه استعيض عن مفتاح الشد بجسم نقطي موضوع في تلك النقطة. إن **مركز الكتلة** لجسم ما عبارة عن نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسيم النقطي.

تحديد موقع مركز الكتلة كيف تحدّد موقع مركز الكتلة لجسم ما؟ أولاً علِّق جسمًا من أي نقطة تشاء، وعندما يتوقف الجسم عن التأرجح يكون مركز الكتلة على الخط الرأسي المرسوم من نقطة التعليق، كما في **الشكل 8b – 4**. ارسم هذا الخط ثم علِّق الجسم مرة أخرى من أي نقطة، ارسم خطًا رأسيًّا من نقطة التعليق الجديدة، ومرة أخرى سيكون مركز الكتلة على الخط المستقيم تحت نقطة التعليق، وهذا يعني أن مركز الكتلة في النقطة التي يتقاطع فيها الخطان، كما في **الشكل 8c – 4**. يدور مفتاح الشد والمضرب. وكل الأجسام التي تتحرك حركة دورانية حرة، تدور حول محور يمر خلال مركز كتلتها، والآن، أين يقع مركز الكتلة لشخص ما؟



الشكل 8 – 4 (a) يكون مسار مركز الكتلة لمفتاح شد خطًا مستقيمًا. (b) يمكن إيجاد مركز الكتلة لجسم مثل مضرب تنس بتعليقه من نقاط عدة. (c) النقطة التي تتقاطع عندها الخطوط المرسومة هي مركز الكتلة للمضرب.

4–3 الاتزان

1. التركيز

نشاط محفز

نقطة الاتزان استعمل مسطرة وثلاثة خيوط وثلاثة كتل (اثنتان منهما متساويتان والثالثة كتلتها نصف كتلة كل من الكتلتين)، علق بخيطين الكتلتين المتساويتين في نقطتين مختلفتين من المسطرة، واطلب إلى الطلبة توقع موضع نقطة اتزان المسطرة، علق المسطرة بالخيط الثالث عند النقطة التي حددها الطلبة، ودع الطلبة يستمروا في محاولاتهم الافتراضية حتى تتزن المسطرة، غير في مقادير الكتل المعلقة ومواضعها، ودع الطلبة يتوصلوا إلى مواضع نقاط الاتزن.

م 2 بصري-مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

الاتزان يتعين على الطلبة التكامل بين مفاهيم محصلة القوى ومحصلة العزوم لتحليل حالات الاتزان. ثم إثراء معرفتهم بالسرعة الزاويّة والسرعة الخطية للحالات التي تحدث فيها الحركة ضمن مرجع إسناد دوراني.

2. التدريس

تطوير المفهوم

أهمية مركز الكتلة أي جسم أو مجموعة أجسام لها مركز كتلة، وهي النقطة التي نعتبر ان الكتلة تتركز عندها. فعلى سبيل المثال، اطلب إلى الطلبة تحديد مركز الكتلة لجسم كتلته 10 kg وآخر كتلته 20 kg والبعد بينهما 3 m. في هذه الحالة يكون مركز الكتلة على الخط المستقيم الواصل بينهما عند النقطة التي تبعد 1 m عن الجسم الذي كتلته 20 kg وتبعد 2 m عن الجسم الذي كتلته 10 kg م 2 بصري-مكاني

عرض سريع

مركز الكتلة

الزمن المقدر 10 دقائق.

الموادّ والأدوات قطعة كبيرة من ورق البوليسترين سمكها 10 cm وأبعادها (30 × 50) cm، وقضيبا توهج يتألقان عند ليهما (طول كل منهما 15 cm تقريبًا).

الخطوات

1. اثقب قطعة البوليسترين عند أحد أطرافها، وضع أحد قضيبي التوهج فيه.
2. حدد مركز كتلة قطعة البوليسترين وقضيب التوهج معًا.
3. أثقب قطعة البوليسترين عند مركز الكتلة وضع قضيب التوهج الثاني فيه.
4. اقذف قطعة البوليسترين عبر الغرفة بحيث تدور حول نفسها، واسأل الطلبة عن المسار الذي تأخذه. هل تأخذ جميع أجزائها المسار نفسه؟ سيكون المسار على شكل قوس؛ لا.
5. اقذف قطعة البوليسترين مرة أخرى في غرفة مظلمة. ثم اسأل الطلبة أن يصفوا مسار كل من قضيبي التوهج. يسلك قضيب التوهج الثاني المثبت في مركز الكتلة مسار قطع مكافئ، والأجزاء الأخرى تسلك مسارًا دائريًّا حوله.

تطبيق الفيزياء

يستطيع الطلبة متابعة جسم اللاعب الذي يقفز بالزانة في لعبة القفز العالي، من خلال متابعتهم للعبة عبرشاشة الحاسوب، وسوف يشاهدون مسار مركز الكتلة للاعب، أو مركز الجذب – وهو عبارة عن قطع مكافئ تمامًا.

نشاط

قلب الصندوق حضر صناديق مختلفة الأشكال، واملأ بعضها إلى حد ما بمواد ثقيلة وثابتة بحيث لا تتحرك داخل الصندوق. وعلى الطلبة محاولة قلب الصناديق بلطف وتحليل متى تكون مستقرة ومتى لا تكون كذلك. تحدّ الطلبة في إيجاد مركز الكتلة للصناديق. م 2 حسي - حركي

الشكل 9 – 4 الحركة الرأسية لرأس لاعب الجمباز أقل من الحركة الرأسية لمركز الكتلة، حيث إنّ الرأس والجذع يتحركان أفقيًا تقريبًا، فيبدو ذلك وكأنه طيران في الهواء.

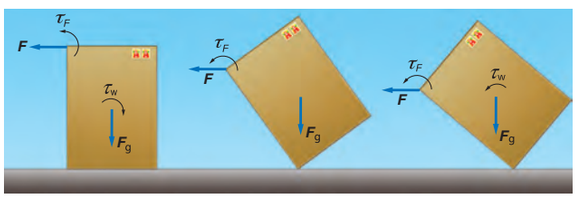
تطبيق الفيزياء

قفزة فوسبري هناك تقنية في القفز بالزانة تسمى قفزة فوسبري، وهي تسمح للاعب بالمرور فوق العارضة دون أن يمسها عندما يكون عند أعلى موضع له. وهذا ممكن لأن مركز كتلة اللاعب يكون عند أسفل العارضة عندما ينقلب فوقها، بحيث يكون ظهره في اتجاهها.

مركز الكتلة لجسم الإنسان بالنسبة لشخص يقف ويداه مسبلتان إلى جانبيه يكون مركز الكتلة على بعد سنتمترات أسفل السرة في منتصف المسافة بين جزئي الجسم الأمامي والخلفي. ويكون أعلى بقليل لدى الأطفال؛ لأن رأس الطفل يكون كبيرًا بالنسبة لجسمه. وبما أن جسم الإنسان مرن فإن مركز الكتلة غير ثابت، فإذا رفعت يديك رأسيًّا إلى الأعلى فإن مركز كتلتك يرتفع من 6 cm إلى 10 cm. فمثلاً، يظهر لاعب الجمباز وكأنه يطير في الهواء وذلك بتغيير مركز كتلته عندما يقفز، فيرفع ذراعيه ورجليه في الهواء، كما في **الشكل 9 – 4**، حيث يرتفع مركز كتلته و يُصبح أقرب إلى رأسه، ويكون مسار مركز الكتلة على صورة قطع مكافئ، لذا يبقى رأس اللاعب غالبًا على الارتفاع نفسه لوقت طويل.

مركز الكتلة والاستقرار Center of Mass and Stability

ما العوامل التي يعتمد عليها استقرار مركبة أو قابليتها للانقلاب عند تعرضها لحادث ما؟ لكي تتعرف كيفية حدوث ذلك فكر في عملية قلب صندوق. لماذا ينقلب الصندوقُ المرتفع قليل العرض بصورة أسرع من الصندوق المنخفض والعريض؟ لقلب صندوق كما في **الشكل 10 – 4** يجب تدوير إحدى حوافه (زواياه)، بحيث تؤثر في أعلى الصندوق بقوة F لتولد عزمًا τ_F، ويؤثر وزن الصندوق في مركز الكتلة بقوة F_g، فتولد عزمًا معاكسًا τ_w، وعندما يصبح مركز الكتلة مباشرة فوق النقطة الداعمة (الإسناد) يصبح τ_w صفرًا، ويبقى تأثير العزم الخارجي فقط، وبدوران الصندوق أكثر يبتعد مركز الكتلة عن النقطة الداعمة، وعندئذٍ يؤثر العزمان في الاتجاه نفسه فينقلب الصندوق بسرعة.



الشكل 10 – 4 توضح الأسهم المنحنية اتجاه العزم الناتج من القوة المؤثرة لقلب الصندوق.

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

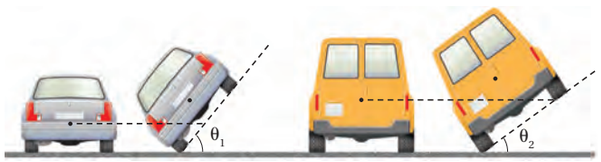
مركز الكتلة ومركز الجذب يمكن استبدال كتلة الجسم كاملة في حالة الأجسام الصلبة بكتلة نقطية مساوية لكتلة الجسم على أن توضع في مركز كتلته. سيدور الجسم حول مركز كتلته، ومركز الكتلة هو أيضا نقطة الاتزان للجسم ، وإذا علق الجسم بمركز كتلته فلن يدور، لأنه يكون في حالة اتزان. وبالمثل، فإن كل خطوط تعليق الكتلة يجب أن تمر خلال مركز الكتلة؛ لأنه لا يوجد محصلة عزوم تؤثر على الجسم المتزن عند تعليقه. وهذا هو المبدأ الأساسي في الطريقة المستخدمة لإيجاد مركز الكتلة من خلال تقاطع خطوط التعليق. وعبارتا "مركز الكتلة، ومركز الجذب" تستخدمان بصورة متبادلة.

الاستقرار يُعد الجسم في حالة استقرار إذا احتاج إلى قوة خارجية لقلبه أو تحريكه، ويكون الصندوق في **الشكل 10 – 4** مستقرًّا عندما يكون اتجاه العزم الناتج عن وزنه τ_w في الاتجاه الذي يبقيه عموديًّا إلى أعلى. ويتحقق ذلك ما دام مركز كتلة الصندوق فوق قاعدته. ولقلب الصندوق أو تدويره يجب تدوير مركز كتلته حول محور الدوران حتى يبتعد مركز الكتلة عن القاعدة، ولتدوير الصندوق يجب أن ترفع مركز كتلته. لذا كلما كانت قاعدة الجسم عريضة كان أكثر استقرارًا، فعندما تقف في حافلة تتمايل في أثناء سيرها، فإنك تباعد بين قدميك قليلًا بحيث تزيد المسافة بين القدمين لتتجنب السقوط.

لماذا تنقلب السيارات؟ يُبين **الشكل 11 – 4** سيارتين توشكان على الانقلاب، لاحظ أن السيارة ذات الارتفاع الأكبر يكون مركز كتلتها مرتفعًا، لذلك يؤدي ميل قاعدتها قليلًا إلى خروج المحور الرأسي المار في مركز الكتلة عن القاعدة، فتنقلب السيارة، وكلما كان مركز كتلة الجسم منخفضًا تكون السيارة أكثر استقرارًا.

وأمّا بالنسبة إليك فإنك تكون أكثر استقرارًا عندما تقف مستويًا على قدميك، أما عندما تقف على أصابع قدميك فيتحرك مركز الكتلة إلى الأمام مباشرة، وتصبح أقل استقرارًا. وفي لعبة الجودو وألعاب الدفاع عن النفس الأخرى يستخدم فيها اللاعب العزم لتدوير خصمه وجعله في وضع أقل استقرارًا أو ثباتًا عن طريق جعل مركز كتلته غير واقع فوق قدميه.

نستنتج مما سبق أنه إذا كان مركز الكتلة خارج قاعدة الجسم يكون الجسم غير مستقر، ويدور أو ينقلب دون تأثير عزم إضافي. وإذا كان مركز الكتلة فوق قاعدة الجسم فإن الجسم يكون مستقرًا، وإذا كانت قاعدة الجسم ضيقة ومركز الكتلة عاليًا يكون الجسم مستقرًّا، ولكن أي قوة صغيرة تجعله ينقلب أو يدور.



الشكل 11 – 4 مركز كتلة السيارة الصفراء أعلى من مركز كتلة السيارة الرمادية. فكلما كان مركز كتلة السيارة مرتفعًا احتجنا إلى ميل أقل لجعله يتحرك خارج القاعدة مسببًا انقلابها.

تجربة

التدوير والاستقرار

1. اقطع قرصين من الكرتون المقوى أقطارهما 10 cm و 15 cm.
2. استخدم قلم رصاص ذا ممحاة على ألّا يكون لها حواف، وإذا كانت كذلك فافركها على ورق لكي تزيل الحواف المستقيمة.
3. دوّر قلم الرصاص حول نفسه وحاول أن تجعله يقف على الممحاة، كرّر هذه الخطوة عدة مرات وسجل ملاحظاتك.
4. ادفع قلم الرصاص برفق في مركز القرص الأول (10 cm).
5. دوّر القلم والقرص معًا محاولاً جعل القلم يقف على الممحاة.
6. حرّك القرص على نقاط مختلفة على القلم وأدرهما معًا وسجل ملاحظاتك.
7. كرّر الخطوات من 6 – 4 مع القرص الآخر 15 cm

التحليل والاستنتاج

8. رتب المحاولات التجريبية الثلاث تصاعديًّا حسب استقرارها.
9. صف موقع مركز كتلة قلم الرصاص.
10. حلل تأثير موقع القرص في الاستقرار.

تجربة

التدوير والاستقرار

الهدف تطوير مفهوم مركز الكتلة، والقانون الأول لنيوتن المتعلق بالأجسام الدوّارة "القصور الدوراني".

الموادّ والأدوات قلم رصاص، وطبق كرتون، ومقصات.

النتائج المتوقعة سوف يسقط قلم الرصاص ولا يقف على أحد طرفيه. وسيكون قلم الرصاص المثبت بالقرص الأكبر والقرص المنخفض (القريب من سطح الأرض) أكثر ثباتية عند تدويره كما يستمر في الدوران فترة زمنية أطول.

التحليل والاستنتاج

8. قلم رصاص بلا قرص، قلم رصاص مع قرص 10 cm، قلم رصاص مع قرص 15 cm
9. مركز الكتلة لقلم الرصاص في منتصف محوره أو في مركز القلم.
10. قد تختلف الإجابات، لأن طبق الكرتون يزيد الكتلة، وعندما يوضع قريبًا من الطاولة، يخفض من مركز كتلة الأجسام. ومن الصعب أن تنقلب نتيجة القصور الدوراني.

نشاط

مشروع فيزياء

اتزان المركبات يعد اتزان المركبات وخاصة تلك التي يكون مركز كتلتها عاليًا أو مرتفعًا عن سطح الأرض مثل السيارات الرياضية، قضية مهمة وشائعة وموضوع نقاش. وعلى الطلبة أن يقدموا بحثًا حول وجهات نظر مصممي السيارات والمستشارين المستقلين في إدارة السلامة المرورية للمركبات على الطرق السريعة. لاحظ أن مناقشة الثباتية في هذا الفصل قد اقتصر على الاتزان الساكن. ومن ناحية أخرى، إذا كان الجسم في وضع دوران فإنك بحاجة إلى عزم إضافي لتقليل السرعة الزاويّة. ويمكن استخدام الصناديق لإظهار هذه الحالة. ويتعين على الطلبة إحضار نتائج بحثهم إلى الصف. م 2 **لغوي**

عرض سريع

التوازن ومركز الكتلة

الزمن المقدر 5 دقائق

الموادّ والأدوات لا يوجد

الخطوات يتعين على الطلبة الوقوف على أصابع أقدامهم باتجاه الحائط، ثم يحاولون الوقوف على رؤوس أصابعهم، وسيجدون ذلك أمرًا صعبًا جدًّا، إن لم يكن مستحيلاً، ناقش معهم لماذا يكون ذلك.

التفكير الناقد

الاتـزان السكـوني أخـبر الطلبـة بـأن الإسـتاتيكا (السـكون) هـو عدم التغـير في الوضـع أو الحالة، ثم اسألهم هل يعني ذلك أيضًا أنه لا يجب أن تؤثر قوة في الجسم الذي يكون في حالة الاتزان السكوني. لا، أكد عـلى أن هناك قوى تؤثر في الأجسـام في حالة الاتزان السـكوني، وأن هـذه القـوى متزنـة، ولذلـك تكـون محصلتها صفرًا.

تطوير المفهوم

مركز الكتلة اسـأل الطلبة أين سـيكون موقع مركز كتلـة سـلم منتظـم؟ في وسـط السـلم (وذلـك عـلى افتراض أن الكثافة ثابتة). واطلب إليهم رسـم مخطط الجسـم الحـر للقـوى المؤثـرة في السـلم المسـتقر عـلى الدعامتين.

وليكـن رمز الدعامة اليـسرى F_A، والدعامـة اليمنى F_B. وهاتان القوتـان متوازيتان وتؤثران نحو الأعلى. اطلب إلى الطلبة إيجاد محصلة القوى المؤثرة في السـلم حتى يكون في حالة اتزان.

$F_A + F_B = F_g$ أو $F_A + F_B - F_g = 0$ م 2 **بصري-مكاني**

شروط الاتزان Conditions of Equilibrium

إذا كان قلـم الحبـر سـاكنًا، فماذا يحتاج لكـي يبقى كذلك؟ يمكنـك أن تحمله بيدك بحيـث يكون في وضع رأسـي أو تضعه عـلى الدرج أو على أي سـطح آخر، أي، يجب أن تؤثـر فـي القلم بقوة إلى الأعلـى حتى تعادل قوة الجاذبية التي تؤثر فيه إلى الأسـفل. وكذلـك يجـب أن تمنعه من الدوران كأن تمسـك به بيدك، ويُعد الجسـم في حالة اتزان اسـتاتيكي إذا كانت سـرعته المتجهة وسـرعته الزاويّة المتجهة صفرًا، أو ثابتتين، وحتى يكون الجسم في حالة اتزان استاتيكي- يجب توافر شرطين:

الأول: يجب أن يكون في حالة اتزان انتقالي، أيْ أن محصلة القوى المؤثرة فيه تسـاوي صفرًا.

$$\Sigma F = 0$$

الثاني: يجب أن يكون في حالة اتزان دوراني، أيْ أن محصلة العزوم المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

$$\Sigma \tau = 0$$

98

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

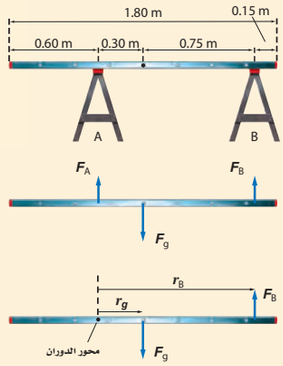
المهندس المعماري والمهندسون تُسـتخدم الإسـتاتيكا لتحليل القوى المؤثرة في الأجسـام المتزنة. كما يسـتخدم المهندس المعماري والمهندس المدني الإسـتاتيكا لتحديد سلامة تركيب تصاميمهم. لذلك فإن اسـتخدامهم للحسـابات الدقيقة أمر أساسي: والخطأ في الحسابات قد يتسبب في مآسٍ كارثية وحرجة. وقد بنت إحدى أكبر الجامعات المشهورة حرمًا (مبنى) جامعيًّا جديدًا، وكان ينبغي تغطية مبنى المكتبة بالقرميد كما هو الحال بالنسـبة لسـائر المباني في فنـاء الجامعة، وذلك انسـجامًا مع التقاليد المتبعة في المدينة؛ غير أن المهندسـين المعماريين أهملـوا أوزان الكتـب في رفـوف المكتبـة، وقد نجم عن ذلـك تقوس الأرضية ممـا أدّى إلى تحدب الجدران وتحطم القرميد.

مثال 3

الاتزان الاستاتيكي سُلّم خشبي كتلته 5.8 kg، وطوله 1.80 m، يستقر أفقيًّا على حاملين داعمين. يبعد الحامل الأول A مسافة 0.60 m عند طرف السلّم، ويبعد الحامل الثاني B مسافة 0.15 m عن الطرف الآخر له. ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل من الحاملين في السلّم؟

1 تحليل المسألة ورسمها

مثّل الوضع، ثم اختر محور الدوران عند النقطة التي تؤثر فيها F_A في السُلّم، فيكون العزم الناتج عن هذه القوة F_A صفرًا.



المعلوم	المجهول
$m = 5.8\ kg$	$F_A = ?$
$\ell = 1.8\ m$	$F_B = ?$
$\ell_A = 0.60\ m$	
$\ell_B = 0.15\ m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يكون مركز كتلة السلم الذي كثافته ثابتة في مركزه (منتصف الطول والعرض)، ومحصلة القوى المؤثرة في السلّم هي مجموع جميع القوى المؤثرة فيه.

السلّم في وضع اتزان انتقالي. لذا، فمحصلة القوى المؤثرة فيه صفر.

$$F_{\text{محصلة}} = F_A + F_B + (-F_g)$$

$$0.0\ N = F_A + F_B - F_g$$

أوجد F_A

$$F_A = F_g - F_B$$

أوجد العزم الناشئ عن F_B ، F_g

τ_g في اتجاه عقارب الساعة

$$\tau_g = -r_g F_g$$

τ_B في عكس اتجاه عقارب الساعة

$$\tau_B = +r_B F_g$$

محصلة العزوم هي مجموع كل العزوم المؤثرة في الجسم.

مثال صفي

سؤال افرض أن شخصًا رفع طرف السلم القريب من الدعامة B في المثال 3، فما القوة التي يجب أن يؤثر بها في السلم؟ وكم تصبح القوة التي تؤثر بها الدعامة A عندئذ؟

الإجابة

$$F_B = \frac{(0.30\ m)(56.84\ N)}{(1.20\ m)} = 14\ N$$

$$F_A = 1 - (\frac{0.30\ m}{1.20\ m})(56.84\ N) = 43\ N$$

تطوير المفهوم

العزم ذكّر الطلبة بأن العزم هو حاصل ضرب القوة F في ذراعها r ($\tau = rF$) . ففي المثال 3، F_A، F_B و F_g جميعها متعامدة مع السلم. اطلب إلى الطلبة تعريف ذراع القوة لكل قوة. هي المسافة عبر السلم من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة. م 2

التفكير الناقد

الاتزان الدوراني ارجع الطلبة مرة أخرى إلى المثال3، وأشر إلى أن المعادلة $F_A+F_B-F_g=0$ أو $(F_A+F_B=F_g)$، لتبين محصلة القوى المؤثرة في السلم. واسأل الطلبة كيف يتم إيجاد F_A و F_B. استخدم الشرط الثاني للاتزان الاستاتيكي (السكوني). كذلك يجب أن يكون السلم في حالة اتزان دوراني. واسألهم أيضًا: ما الذي يتطلبه السلم حتى يكون في حالة اتزان دوراني. يجب أن تكون محصلة العزوم المؤثرة فيه تساوي صفرًا. م 2

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

المعادلات المتزامنة تتضمن مسائل الاتزان عادة معادلة لمحصلة القوى، حيث يكون مجموع القوى الاتجاهي عند الاتزان صفرًا. كما تتضمن أيضًا معادلة أخرى لمحصلة العزوم، إذ يكون مجموع العزوم عند الاتزان صفرًا. ومن المشاكل التي يواجهها الطلبة تلك التي تتضمن جسمًا تتوزع كتلته بانتظام، ووزنًا منفصلاً يؤثر عند نقطة معينة في الجسم، ونقطتي دعم. لذا ينبغي على الطلبة اختيار محور الدوران عند إحدى النقط التي تؤثر فيها إحدى القوى، أو أن يكون في مركز كتلة الجسم ذي الكتلة المتوزعة، ثم يتم تبسيط المسألة. والتأكد من أن الطلبة يستطيعون استعمال هذه المبادئ لتوظيفها في اختيار المعادلات الصحيحة، ثم يعالجون الصعوبات التي تواجههم في إكمال الحل الجبري (الرياضي).

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

القوى الظاهرية قد يوافقك الطلبة على أنهم يشعرون بقوة تدفعهم إلى الخلف في سيارة تتسارع نحو الأمام، أو تدفعهم نحو الخارج في أثناء دورانها عند المنعطف. لذا أكّد عليهم مرة أخرى أن القانون الأول لنيوتن يطبق فقط في الأطر المرجعية غير المتسارعة. وعليه، فعندما تتسارع السيارة نحو الأمام يشعر الطلبة بقوة تدفعهم إلى الخلف. وفي الحقيقة تدفع القوة الطالب نحو الأمام مع السيارة. والتي تسبب ارتداد جسم الطالب إلى الخلف في المقعد. وهذا الشعور يشبه القوة التي تدفع الطالب إلى الخلف، ولكنها تكون نتيجة القصور الذاتي لجسم الطالب لمقاومة التسارع. وينطبق الشيء نفسه على القوى الطاردة المركزية.

تعزيز الفهم

القوى الظاهرية تظهر القوة الطاردة المركزية في الأطر المرجعية الدورانية. وتبدو حقيقية من وجهة نظر الشخص أو الجسم في الإطار المرجعي. فما يسمى بالقوة الطاردة المركزية على سبيل المثال من أكثر الأخطاء الشائعة العامة بالتحديد، لأنها تبدو حقيقية جدًا. ومع ذلك فإن فهم القوى الظاهرية مهم، لأن قوانين نيوتن تطبق فقط على الأطر المرجعية الثابتة.

م 2 منطقي - رياضي

$\tau_{\text{محصلة}} = \tau_B + \tau_g$

$0.0\ \text{N.m} = \tau_B + \tau_g$ السلّم في وضع اتزان دوراني. لذا فإن

$\tau_B = -\tau_g$

$r_B F_B = r_g F_g$ بالتعويض عن τ_g ، τ_B

$F_B = \frac{r_g F_g}{r_B} = \frac{r_g mg}{r_B}$ أوجد F_B

$F_B = \frac{r_g mg}{r_B}$ بالتعويض عن

$F_A = F_g - F_B$ استخدم العلاقة $F_A = F_g - F_B$ وعوض F_g ، F_B

$F_A = F_g - \frac{r_g mg}{r_B}$ بالتعويض عن $F_g = mg$

$= mg - \frac{r_g mg}{r_B}$

$= (1 - \frac{r_g}{r_B})\, mg$

يكون مركز كتلة السلم الذي كثافته ثابتة في مركزه.

$r_g = \frac{1}{2}\ell - \ell_A = 0.90\ \text{m} - 0.60\ \text{m} = 0.30\ \text{m}$ بالتعويض عن $\frac{1}{2}\ell = 0.90\ \text{m}$ ، $\ell_A = 0.60\ \text{m}$

أوجد r_B:

$r_B = (\frac{1}{2}\ell - \ell_B) + r_g$

$= (0.90\ \text{m} - 0.15\ \text{m}) + 0.30\ \text{m}$ بالتعويض عن $\ell_B = 0.15\ \text{m}$ ، $\ell_A = 0.60\ \text{m}$، $r_g = 0.30\ \text{m}$

$= 1.05\ \text{m}$

احسب F_B :

$F_B = r_g \frac{mg}{r_B}$

بالتعويض عن $r_g = 0.30\ \text{m}$ ، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$، $m = 5.8\ \text{kg}$، $r_B = 1.05\ \text{m}$

$F_B = \frac{(0.30)(5.8\ \text{kg})\,(9.80\ \text{m/s}^2)}{(1.05\ \text{m})} = 16\ \text{N}$

احسب F_A:

$F_A = mg\,(1 - \frac{r_g}{r_B})$ بالتعويض عن $m = 5.8\ \text{kg}$ ، $r_g = 0.30\ \text{m}$

$= (5.8)\,(9.8\ \text{m/s}^2)\,(1 - \frac{(0.30\ \text{m})}{(1.05\ \text{m})}) = (5.8\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2)$ $r_B = 1.05\ \text{m}$ ، $g = 9.8\ \text{m/s}^2$

$= 41\ \text{N}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوى بوحدة النيوتن.
- **هل للإشارات معنى؟** نعم؛ فالقوتان إلى أعلى.
- **هل الجواب منطقي؟** مجموع القوتين للأعلى يساوي وزن السلم، والقوة التي يؤثر فيها الحامل القريب من مركز الكتلة قيمتها كبيرة، وهذا صحيح.

100

مسائل تدريبية

21. لوح خشبي مستقر كتلته 24 kg وطوله 4.5 m مثبت على حاملين، أحدهما تحت مركز اللّوح مباشرة، والثاني عند الطرف. ما مقدار القوتين اللتين يؤثر فيهما كل من الحاملين الرأسيين؟

22. يتحرك غطاس كتلته 85 kg نحو الطرف الحر للوح القفز، فإذا كان طول اللّوح 3.5 m وكتلته 14 kg، وثبت بوساطة داعمين، أحدهما عند مركز الكتلة، والآخر عند أحد طرفي اللّوح، فما مقدار القوة المؤثرة في كل مثبت داعم؟

قوة ظاهرية Apparent Force

افترض أنك ثبّتّ إحدى نهايتي نابض في مركز منصة دوارة، وثبّتّ جسمًا في النهاية الأخرى للنابض فكيف تبدو حركة الجسم في أثناء دوران المنصة بالنسبة لمراقبين أحدهما ثابت على المنصة، والثاني واقف على الأرض؟ عندما تبدأ المنصة حركتها الدورانية يلاحظ المراقب الموجود على المنصة أن الجسم يشد النابض في اتجاه الخارج بعيدًا عن مركز الدوران، معتقدًا وجود قوة تسحب الجسم في اتجاه الخارج، ولكن هذه القوة فعليًّا غير موجودة؛ لأنه لا يوجد مصدر يولِّد هذه القوة لتدفع الجسم إلى الخارج. ويطلق على هذه **القوة الظاهرية (الوهمية)** اسم **القوة الطاردة المركزية**. ويمكن الشعور بهذه القوة الوهمية في أثناء ركوب الألعاب الدوارة في مدينة الألعاب.

أما بالنسبة للمراقب الواقف على الأرض فسيلاحظ شيئًا مختلفًا؛ إذ يلاحظ أن الجسم يتحرك حركة دائرية، وأن تسارعه في اتجاه المركز بسبب القوة المركزية التي تولِّدها قوة الشد في النابض.

وهذه القوة الوهمية تحقق الإثارة والمتعة في الدواليب والعربات والألعاب الدوارة والمسارات المتعرجة في الافعوانيات.

4-3 مراجعة

23. **مركز الكتلة** هل يمكن أن يكون مركز الكتلة لجسم ما في نقطة خارج الجسم؟ وضح ذلك.

24. **استقرار الجسم** لماذا تكون المركبة المعدّلة التي أضيف إليها نوابض لتبدو مرتفعة، أقلَّ استقرارًا من مركبة مشابهة غير معدلة؟

25. **شروط الاتزان** أعط مثالاً على جسم في الحالات التالية:

a. متزن دورانيًّا، ولكنه غير متزن انتقاليًّا.

b. متزن انتقاليًّا، ولكنه غير متزن دورانيًّا.

26. **مركز الكتلة** أين يقع مركز كتلة لفة شريط لاصق؟

27. **تعيين مركز الكتلة** وضّح كيف يمكنك تعيين مركز كتلة كتاب الفيزياء؟

28. **دوران الأطر المرجعية** إذا وضعت قطعة نقد على قرص دوّار، وبدأت بالانزلاق إلى الخارج عند زيادة سرعة دورانها، فما القوى المؤثرة فيها؟

29. **التفكير الناقد** عندما تضغط على كوابح السيارة ينخفض الجزء الأمامي لها إلى أسفل. لماذا؟

مسائل تدريبية

21. $F_{\text{مركز}} = 2.4 \times 10^2\ \text{N}$

22. $F_{\text{نهاية}} = 0\ \text{N}$

$F_{\text{نهاية}} = -8.3 \times 10^2\ \text{N}$

$F_{\text{مركز}} = 1.8 \times 10^3\ \text{N}$

3. التقويم

التحقّق من الفهم

الثباتية يتعين مراجعة الثباتية (الاستقرار) والاتزان بسؤال الطلبة كيف تتزن كرة قدم على أصبع اليد. اطلب إلى الطلبة محاولة جعل كرة قدم تتزن على أحد أصابع أيديهم.

إعادة التدريس

عرض الاتزان اسأل الطلبة ما الذي يتطلبه الإبقاء على جسم ما ساكنًا. عندما يكون مجموع مركبات القوى في الاتجاهات الثلاثة جميعها يساوي صفرًا، فإن الجسم لا يتسارع. وضح كيف يحدث الإخلال بالاتزان أثناء محاولة موازنة مسطرة مترية على إصبعك، ثم دوّر إصبعك ببطء بحيث تدور المسطرة، وناقش العزوم والقوى التي تبذل شغلاً عندما تتزن المسطرة.

4-3 مراجعة

23. نعم.

24. لأن مركز الكتلة يرتفع ولكن لا تزداد مساحة قاعدتها.

25. **a.** سقوط كتاب دون دوران.

b. دوران السيسو غير المتزن حتى تضرب القدم بالأرض.

26. تكون في وسط اللفة.

27. اربط الخيط بإحدى زوايا الكتاب، ثم علق الكتاب، وارسم خطًا على طول الخيط. كرر العملية مرتين من نقطتين أخريين، و في كل مرة ارسم خطًا على طول الخيط. فسيكون مركز الكتلة عند نقطة تقاطع الخطوط.

28. تؤثر كتلة الأرض بقوة إلى الأسفل. أما سطح القرص الدوّار فيؤثر بقوة إلى الأسفل وإلى الأعلى.

29. تؤثر الطريق بقوة في الإطارات مما يؤدي إلى توقف السيارة. ويقع مركز الكتلة للسيارة فوق الطريق، لذا توجد محصلة عزم على السيارة يحاول تدويرها في الاتجاه الذي يجعل مقدمتها تنخفض إلى أسفل.

مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة

المهارات العمليّة الملاحظة، وجمع البيانات وتنظيمها، والمقارنة، والتفكير الناقد، وتفسير البيانات.

احتياطات السلامة يتعين على الطلبة التدرب على استخدام الكتل والحذر من إسقاطها.

الموادّ البديلة لا يوجد

استراتيجيّات التدريس

- إذا واجه الطلبة مشكلة في انزلاق الكتل على المسطرة المترية، فاقترح عليهم تعليقها بالمسطرة من الخلف.
- اختبر الموازين النابضية قبل إجراء التجربة، وتأكد من تصفيرها(جعل قراءتها صفرا). وبيّن للطلبة كيفية معايرة الجهاز وتصفيره. وذكّرهم بالتحقق من الموازين النابضية وتصفيرها في كل محاولة.
- اطلب إلى الطلبة النظر إلى قراءة الميزان النابضي على مستوى النظر، على غرار ما يتم في قراءة مستوى السائل في المخبار المدرج.

مختبر الفيزياء

الاتزان الانتقالي والاتزان الدوراني

عند صيانة البنايات العالية تستخدم السقالات وتثبّت من الخارج، ولكي تثبت هذه السقالات وتكون آمنة يجب أن تكون في اتزان انتقالي واتزان دوراني. فإذا أثرت قوتان أو أكثر في السقالة أمكن أن تحدث كل منها حركة دورانية حول طرفيها. تؤثر كتلة السقالة إذا كانت موزعة بانتظام في مركزها. وفي حالة الاتزان الانتقالي لا تتسارع السقالة؛ فالقوى إلى أعلى مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه للقوى إلى أسفل.

وللحصول على اتزان دوراني يجب أن يكون مجموع العزوم في اتجاه عقارب الساعة يساوي مجموع العزوم في عكس اتجاه عقارب الساعة. أي أن محصلة العزوم تساوي صفرًا. وستستخدم في هذا النشاط نموذج سقالة معلقة بحبلين، وذلك باستخدام مسطرة مترية، وميزانين نابضيين لقياس القوى المؤثرة في السقالة.

سؤال التجربة

ما الشروط اللازمة للاتزان عندما تؤثر قوتان متوازيتان في جسم؟

الأهداف

- **تجمع البيانات** حول القوى المؤثرة في السقالة وتنظمها.
- **تصف العزم** في اتجاه حركة عقارب الساعة وفي عكس اتجاه حركتها.
- **تقارن** بين الاتزان الانتقالي والاتزان الدوراني.

احتياطات السلامة

- كن حذرًا من سقوط الكتل.

المواد والأدوات

مسطرة مترية، ميزانان نابضيان 5N–0، حاملان رأسيان، ملزمتان قابلتان للحركة، كتلتا تعليق 500 g، 200 g .

سنعتبر الميزان الأيسر هو نقطة الدوران المحورية في هذا النشاط، حيث يقاس ذراع القوة من هذه النقطة.

1. ضع الحاملين على بعد 80.0 cm من بعضهما.
2. ثبّت كلاً من الملزمتين على الحاملين.
3. تأكد أن تدريج الميزانين النابضيين صفر قبل استخدامهما، وإذا كانا في حاجة إلى ضبط فاطلب مساعدة المعلم.
4. علق كلاً من الميزانين بملزمة قابلة للحركة ومثبتة على الحامل.
5. ثبّت المسطرة المترية باستخدام الخطافين في نهاية النابضيين، على أن يكون النابض الأيسر عند العلامة 10 cm، والنابض الأيمن عند العلامة 90 cm.
6. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كل من الميزانين.
7. علق الكتلة 500 g على المسطرة المترية عند العلامة 30 cm، حيث تكون هذه النقطة على بعد 20 cm من الميزان الأيسر.
8. سجّل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كل من الميزانين.
9. علق الكتلة 200 g على المسطرة المترية عند العلامة 70 cm حيث تكون هذه النقطة على بعد 60 cm من الميزان الأيسر.
10. سجّل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كل من الميزانين.

عينة بيانات

جدول بيانات -1

الأجسام المضافة	المسافة من الميزان الأيسر (m)	قراءة الميزان الأيسر (N)	قراءة الميزان الأيمن
المسطرة المترية	0.40	0.40	0.40
كتلة 500 g	0.20	4.1	1.7
كتلة 200 g	0.60	4.6	3.1

جدول بيانات -2

الأجسام المضافة	τ_c	τ_{cc}	ذراع القوة (N)	القوة (N)
المسطرة المترية	×		0.40	0.80
كتلة 500 g	×		0.20	4.9
كتلة 200 g	×		0.6	2.0
الميزان الأيمن		×	0.8	3.1

جدول بيانات -3

الأجسام المضافة	τ_c (N.m)	τ_{cc} (N.m)
المسطرة المترية	0.32	
كتلة 500 g	0.98	
كتلة 200 g	1.2	
الميزان الأيمن		2.5
$\sum\tau$	2.5	2.5

جدول البيانات-1			
الأجسام المضافة	المسافة من التدريج الأيسر (m)	قراءة الميزان الأيسر (N)	قراءة الميزان الأيمن (N)
المسطرة المترية	0.4		
كتلة 500 g	0.2		
كتلة 200 g	0.6		

جدول البيانات-2				
الأجسام المضافة	τ_c	τ_{cc}	ذراع القوة (m)	القوة (N)
المسطرة المترية				
كتلة 500 g				
كتلة 200 g				
القيمة الصحيحة				

جدول البيانات-3		
الأجسام المضافة	τ_c (N.m)	τ_{cc} (N.m)
المسطرة المترية		
كتلة 500 g		
كتلة 200 g		
القيمة الصحيحة		
$\sum\tau$		

التحليل

1. **احسب** كتلة المسطرة المترية.
2. **احسب** القوة أو الوزن الناتج عن كل جسم، وسجل قيمته في جدول البيانات 2. اقرأ القوة المؤثرة في النابض الأيمن وسجلها في جدول البيانات 2.
3. استخدم النقطة التي عُلق عندها الميزان الأيسر بوصفها نقطة دوران محوري. وحدِّد جميع القوى التي تسبب دوران السقالة في اتجاه عقارب الساعة أو في عكس اتجاهها. وضع إشارة × عند هذه القوى في جدول البيانات 2.
4. سجل طول ذراع القوة لكل من هذه القوى من نقطة الدوران المحورية في جدول البيانات 2.
5. **استخدم الأرقام** احسب العزم لكل جسم وذلك بضرب القوة في طول ذراع القوة، وسجل هذه القيم في جدول البيانات 3.

الاستنتاج والتطبيق

1. هل النظام في وضع اتزان انتقالي؟ وكيف عرفت ذلك؟
2. ارسم مخطّط الجسم الحر لهذا النظام، مبينًا جميع القوى على الرسم.
3. قارن بين مجموع العزوم في اتجاه عقارب الساعة (τ_c) ومجموع العزوم في عكس اتجاه عقارب الساعة (τ_{cc}).
4. ما النسبة المئوية للفرق بين $\Sigma\tau_c$ و $\Sigma\tau_{cc}$؟

التوسع في البحث

استخدم كتلاً إضافية في مواضع تختارها باستشارة المعلم، وسجّل البيانات التي تحصل عليها.

الفيزياء في الحياة

ابحث في متطلبات الأمن والسلامة لاستخدام السقالة في منطقتك وتركيبها وفكها.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن الحركة الدورانية ارجع إلى الموقع الإلكتروني
www.obeikaneducation.com

تجربة استقصاء بديلة

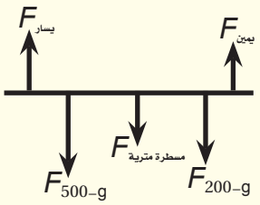
لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية وزع الطلبة على مجموعات، اطلب إلى الطلبة طرح أسئلة عصف ذهني حول الاتزان الذي يرغبون في استكشافه، ودعهم يختاروا السؤال الذي يرغبون في بناء الاستقصاء حوله، واطلب إليهم أن يعملوا في مجموعات لتصميم خطوات اختباره. وتأكد من مراجعة خططهم لاعتبارات الأمن والسلامة.

التحليل

1. كتلة المسطرة = مجموع قراءتي الميزانين الأيمن والأيسر.

2 – 5 لاحظ عينة البيانات.

الاستنتاج والتطبيق

1. النظام في حالة اتزان انتقالي؛ لأنه لا يتسارع.
2. 

3. العزم باتجاه حركة عقارب الساعة، والعزم بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة متساويان.
4. ستختلف الإجابات.

التوسّع في البحث

ستختلف الإجابات اعتمادًا على الكتل المختارة ومواقعها.

الفيزياء في الحياة

ستختلف الإجابات وستتضمن معلومات مرتبطة مباشرة بالتجربة. فعلى سبيل المثال:

- تثبيت السقالات على ارتفاعات عالية تحتاج إلى مهندسين لتصميمها. نحن بحاجة إلى تثبيت البرج الداعم وتقويته أو إسناده للتأكد من السلامة والاتزان (الثبات) عند تركيب السقالة.
- العوامل التالية تحدد ثبات السقالة واستقرارها: ارتفاع السقالة نسبة إلى الحد الأدنى لعرض القاعدة، وتأثير الرياح، واستخدام أسلاك التثبيت، والقاعدة الموضوعة فوق السقالة والتي يقف عليها العمال، والأحمال الإضافية الموضوعة عليها.

الخلفيّة العلميّة (معلوماتية)

اعتمدت هذه الفقرة على المعلومات الحديثة المتوفرة من الإدارة العامة للمرور في مملكة البحرين.

شهدت مملكة البحرين، خلال العام 2009 ارتفاعًا في عدد ضحايا حوادث المرور، أدت إلى وفاة 69 شخصًا، و437 إصابة بليغة و1373 إصابة بسيطة. ومعظم هذه الحوادث ناتجة عن ظروف غير طبيعية كانتهاء صلاحية الدواليب، أو عدم صلاحية المركبة للقيادة، وتجاوز الحد المقرر للسرعة القصوى، ومناورات الالتفاف الحاد. فهل تسبب القيادة بسرعة كبيرة مخاطر حوادث الانقلاب؟ يعتمد الجواب على صلاحية المركبة وأدائها، وظروف الطريق واحتياطات السلامة المتبعة، ومدى وعي السائق وبرامج التدريب ... إلخ. صحيح أن المركبات التي يكون مركز كتلتها مرتفعًا لها قابلية أكبر للانقلاب مقارنة بالمركبات ذات مركز الكتلة المنخفض، وذلك عند السرعة نفسها والظروف نفسها.

استراتيجيات التدريس

السؤال حول الأمن والسلامة في السيارات الرياضية، قضية معقدة تطلبت كثيرًا من البحث. اطلب إلى الطلبة أن يكتبوا بحرية مدة خمس دقائق حول احتياطات الأمن والسلامة للسيارات الرياضية.

المناقشة

ناقش الطلبة في الطرق التي يمكن أن تقلل من مخاطر حوادث الانقلاب في السيارات الرياضية أو غيرها من المركبات. ومنها على سبيل المثال:

1. وضع حزام الأمان. تقدر المنظمة الدولية للأمن والسلامة على الطرق أن سائقي السيارات الذين يستخدمون حزام الأمان تكون فرصهم في النجاة من حوادث السير أكثر ممن لا يستخدمونه.
2. تجنب الظروف التي تؤدي إلى فقدان السيطرة على المركبة مثل القيادة تحت تأثير المنبهات والعقاقير، والقيادة بسرعة كبيرة. أو أن تكون دواليب المركبة غير صالحة أو منفوخة بصورة غير صحيحة.
3. تحميل المركبات على نحو صحيح، ومراجعة دليل الحمولة القصوى، ودليل توزيع الحمولة. تأكد من التزام المركبة بالحمولة المسموح بها. فأي حمولة زائدة على سطح المركبة يزيد من ارتفاع مركز كتلتها.
4. الحذر أثناء القيادة على الطرق الريفية لتجنب جنوح المركبة عن الطريق وسقوطها في الحفر وارتطامها بالمطبات.
5. الحذر من الفزع أو الذعر في أثناء القيادة لأن ذلك قد يؤدي إلى فقدان السيطرة على المركبة.

التوسع

1. السيارات الرياضية أثقل وقاعدتها أعرض من معظم سيارات الركاب المشابهة لها.
2. اقبل جميع الإجابات المنطقية.

الاستقرار في السيارات الرياضية The Stability of Sport - Utility Vehicles

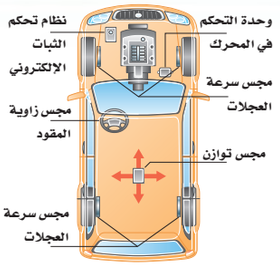
لماذا تكون السيارات الرياضية أكثر عرضة للانقلاب؟ يعتقد الكثيرون أن كبر حجم السيارة الرياضية يجعلها أكثر استقرارًا وأمانًا، ولكن هذه السيارة مثلها مثل السيارات الأخرى كسيارات الشحن، حيث تكون أكثر عرضة للانقلاب.

المشكلة أن للسيارات الرياضية مركز كتلة مرتفعًا يجعلها أكثر قابلية للانقلاب. وهناك عامل آخر يؤثر في الانقلاب هو معامل الاتزان الاستاتيكي؛ وهو النسبة بين عرض المسار وارتفاع مركز الكتلة، حيث يعرّف عرض المسار بأنه نصف المسافة بين العجلتين الأماميتين. وكلما كان معامل الاتزان الاستاتيكي أكبر كان للسيارة قدرة أكبر على البقاء في وضع رأسي. وفي معظم السيارات الرياضية يكون مركز الكتلة أعلى لمسافة 13 cm إلى 15 cm من سيارات الركاب العادية، ويكون عرض المسار للسيارات الرياضية مقاربًا لقيمته في السيارات العادية. افترض أن معامل الاتزان لسيارة رياضية 1.06ولسيارة عادية 1.43، فيكون احتمال انقلاب السيارة الرياضية في أي حادث 37٪ حسب الإحصائيات، في حين يكون احتمال انقلاب سيارة الركاب العادية 10.6٪ .

وليست المشكلة كلها في معامل الاتزان الاستاتيكي؛ فظروف الطقس وسلوك السائق وخصائص القصور الذاتي وأنظمة التعليق الحديثة وعوامل أخرى مرتبطة مع المركبة- ومنها الإطارات وأنظمة التوقف- جميعها لها دور في انقلاب السيارة.

إن معظم حوادث الانقلاب تحدث عندما تنحرف السيارة عن الطريق وتقع في حفرة أو تسير على تراب ناعم أو أي سطح غير منتظم، وهذا يحدث عادة عندما يكون السائق غير منتبه أو يقود السيارة بسرعة كبيرة.

إلا أن السائق الحذر يقلل كثيرًا من وقوع حوادث الانقلاب، وذلك من خلال الانتباه المستمر، والالتزام بالسرعة المحددة، ويبقى كل من الظروف الجوية وسلوك السائق في المستوى نفسه من الأهمية. في حين توضح قوانين الفيزياء أن السيارات الرياضية خطرة جدًّا.



ما الذي يحدث الآن؟

تصمم بعض السيارات الحديثة في الوقت الحاضر بحيث يكون عرض مسارها كبيرًا، أو سقفها قويًّا، وتكون الحقيبة الهوائية مزودة بجهاز حساس يبقيها منفوخة 6 s بعكس الوضع الطبيعي وهو جزء من ثانية. كل ذلك لحماية الركاب عندما تنقلب السيارة أكثر من مرة.

وهناك تقنيات حديثة واعدة تُسمى النظام الإلكتروني للتحكم في الثبات (ESC) الذي يستخدم لمنع حدوث الانقلاب. إذ يحوي هذا النظام جهازًا إلكترونيًّا حساسًا يعطي إشارات عندما تبدأ السيارة في الدوران لأسباب خارج السيطرة، وكذلك عندما تبدأ في الانزلاق لأسباب تحت السيطرة، حيث يطبق نظام ESC بشكل آلي على واحد أو أكثر من الإطارات، لذا فإنه يعيد التوازن إلى السيارة، ويجعلها في الاتجاه الصحيح.

والقيادة السليمة للسيارة هي مفتاح الحل لمشكلة حوادث السيارات، ومعرفة قوانين الفيزياء التي تبحث في حوادث الانقلاب والعوامل الأخرى تساعد كثيرًا على تثقيف السائق وجعله يقود سيارته بطريقة آمنة.

التوسع

1. **الفرضية** عند تعرض عدة سيارات لحادث ما، تكون السيارات الرياضية عادة أفضل من سيارات الركاب العادية المشتركة في الحادث. فسر ذلك.
2. **مناقشة القضية** يُعد نظام ESC تقنية حديثة لإنقاذ حياة الركاب، فهل يجب أن يكون إلزاميًّا في السيارات الرياضية كلها؟ ولماذا؟

4-1 وصف الحركة الدورانية Describing Rotational Motion

المفردات

- الراديان
- الإزاحة الزاويّة
- السرعة الزاويّة المتجهة
- التسارع الزاويّ

الأفكار الرئيسة

- يقاس الموقع الزاويّ وتغيراته بالراديان، وتكون الدورة الكاملة الواحدة 2π rad.
- يُعبر عن السرعة الزاويّة المتجهة بالمعادلة التالية: $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$
- يُعبر عن التسارع الزاويّ بالمعادلة التالية: $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$.
- عند دوران جسم صلب، يرتبط كلٌّ من الإزاحة والسرعة والتسارع الزاويّ مع الإزاحة والسرعة والتسارع الخطي عند أي نقطة على الجسم بالمعادلات التالية:

$$a = r\alpha \qquad v = r\omega \qquad d = r\theta$$

4-2 ديناميكا الحركة الدورانية Rotational Dynamics

المفردات

- ذراع القوة
- العزم

الأفكار الرئيسة

- تتغير السرعة الزاويّة المتجهة لجسم ما عندما يؤثر فيه عزم.
- يعتمد العزم على مقدار القوة المؤثرة والمسافة من محور الدوران المستخدم والزاويّة بين اتجاه القوة ونصف القطر من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. $\tau = Fr\sin\theta$

4-3 الاتزان Equilibrium

المفردات

- مركز الكتلة
- القوة الظاهرية (القوة الطاردة المركزية)

الأفكار الرئيسة

- مركز الكتلة لجسمٍ هو نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسيم النقطي.
- يكون الجسم ثابتًا ضد الانقلاب إذا كان مركز كتلته فوق قاعدته.
- يكون الجسم في وضع اتزان إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا، وكذلك إذا كانت محصلة العزوم المؤثرة فيه صفرًا.
- القوى الطاردة المركزية قوة وهمية.

الفصل 4
دليل الدراسة

الأفكار الرئيسة

يمكن أن يستعمل الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
ارجع إلى الموقع الالكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

خريطة المفاهيم

30.

إتقان المفاهيم

31. نعم، لأن جميع أجزاء الجسم المتماسك تدور بالمعدل نفسه.

32. لأنه يمكن الحصول على عزوم متعددة لقوة واحدة عن طريق تغيير طول ذراع القوة.

33. $A > B > C > D > E = 0$

34. عندما تتزن العجلة يصبح مركز كتلتها على محور الدوران لذلك لا تميل بأي اتجاه.

35. يكون مباشرة فوق الخط الواصل بين نقطتي تلامس الدولابين مع سطح الأرض. لا يوجد محصلة عزم على السيارة لذا فهي متزنة ومستقرة بشكل مؤقت.

36. يجب أن يكون مركز كتلتك فوق نقطة الدعم. لذا يجب أن يكون نصف جسمك وأنت على رؤوس أصابعك أمامك،(أمام مركز الكتلة) والنصف الآخر خلفك، فعندما تكون رؤوس أصابعك تلامس الحائط، فلا يكون أي جزء من جسمك أمامها.

37. لأنه يحرك مركز كتلته ليصبح قريبًا من رأسه.

38. يقع مركز كتلة السيارة ذات العجلات الكبيرة عند نقطة أعلى.

تطبيق المفاهيم

39. تكون السرعات الخطية للأسنان متماثلة، وتكون السرعات الزاويّة مختلفة، لأن أنصاف الأقطار مختلفة و $\omega = \frac{v}{r}$.

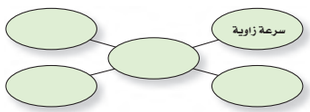
40. الآلة تدير البكرة فتدور بسرعة زاويّة ثابتة. بالقرب من النهاية يكون للشريط أكبر نصف قطر. وبما أن $v = r\omega$، لذا يكون الشريط أسرع عندما يكون نصف القطر أكبر.

41. يخضع كل من الماء والملابس في دائرة الدوران لتسارع مركزي. وتؤثر أسطوانة الدوران نتيجة ذلك بقوة في الملابس. ولكن عندما يصل الماء للثقوب في أسطوانة الدوران، فلا تؤثر فيه قوى داخلية، وعندئذٍ تتحرك بخط مستقيم بعيدا عن أسطوانة الدوران.

42. يزداد معدل دوران الكرة إذا أثر فيها عزم، وعند انطلاق الكرة تبدأ قوة الاحتكاك بالتأثير عليها، وتزداد هذه القوة تدريجيًّا مما يزيد معدل دوران الكرة حتى تصل قوة الاحتكاك إلى قيمتها العظمى وبعدها يتوقف الدوران لعدم وجود عزم يؤثر فيها.

خريطة المفاهيم

30. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستخدام المصطلحات التالية: التسارع الزاويّ، نصف القطر، التسارع الخطي، التسارع المركزي.

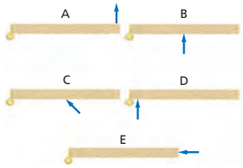


إتقان المفاهيم

31. هل تدور جميع أجزاء الأرض بالمعدل نفسه؟ وضح ذلك؟

32. لماذا يُعد عزم الدوران أهم من القوة عند محاولة شدّ البرغي؟

33. رتب العزوم المؤثرة في الأبواب الخمسة في **الشكل 12 – 4** من الأقل إلى الأكبر. لاحظ أنّ مقدار القوة هو نفسه في الأبواب كلها.



الشكل 12 – 4

34. لمعايرة العجلات توضع عجلة السيارة على محور أفقي لتدور العجلة بشكل رأسي، وتضاف إليها قطع رصاصية بأوزان مختلفة لجعل محور الدوران أفقي تمامًا. فسر ذلك.

35. يقود سائقٌ سيارةً بطريقة خطرة، حيث يقودها على دولابين فقط، فأين يكون مركز كتلة السيارة؟

36. لماذا تتزن عندما تقف على أطراف أصابع قدميك حافيًا، ولا تستطيع الاتزان إذا وقفت في مواجهة الجدار وأصابع قدميك تلامسه؟

37. لماذا يظهر لاعب الجمباز وكأنه يطير في الهواء عندما يرفع ذراعيه فوق رأسه في أثناء القفز؟

38. لماذا يكون احتمال انقلاب سيارة لها عجلات أقطارها كبيرة، أكبر من احتمال انقلاب سيارة ذات عجلات أقطارها صغيرة؟

تطبيق المفاهيم

39. ناقلا حركة، أحدهما صغير، والآخر كبير، متصلان أحدهما بالآخر، ويدوران كما في **الشكل 13 – 4**. قارن أولاً بين سرعتيهما الزاويّة المتجهة، ثم بين السرعتين الخطيتين لسنّين متصلين معًا.

الشكل 13 – 4

40. **شريط الفيديو** لماذا تزداد سرعة دوران شريط الفيديو في نهاية الدوران؟

41. **دائرة الدوران** ماذا تعمل دائرة الدوران في الغسالة؟ اشرح ذلك بدلالة القوى المؤثرة على كل من الملابس والماء.

42. **كرة البولنج** عندما تنطلق كرة البولنج من يد اللاعب لا تدور، وبعد أن تقطع نصف طول المسار تبدأ في الدوران. اشرح كيف يتزايد معدل دورانها، ولماذا لا يستمر معدل الدوران في الزيادة؟

43. **الإطار المثقوب** افترض أن إحدى عجلات سيارة والدك قد ثُقبت وقمت بمساعدته؛ فأخرجت العدة

فوجدت أن هنالك مشكلة في مقبض مفتاح الشد المستخدم لفك صمولة البراغي الثابتة، وأنه من المستحيل فك الصواميل، فاقترح عليك والدك عدة طرائق لزيادة العزم المؤثر لفكها. اذكر ثلاثًا من هذه الطرائق.

44. لماذا نجعل عادةً محورَ الدوران عند نقطة تؤثر بها قوة أو أكثر في الجسم عند حل مسائل في الاتزان الاستاتيكي؟

إتقان حل المسائل

وصف الحركة الدورانية

45. نصف قطر الحافة الخارجية لعجلة سيارة 45 cm وسرعتها 23 m / s، ما مقدار السرعة الزاويّة للعجلة بوحدة rad / s؟

46. يدور مقود سيارة خلال زاوية 128°، انظر إلى **الشكل 14 – 4**، فإذا كان نصف قطره 22 cm، فما المسافة التي تتحركها نقطة على الطرف الخارجي لعجلة القيادة؟

الشكل 14 – 4

47. **المروحة** تدور مروحة بمعدل 1880 rev /min، احسب مقدار:

a. سرعتها الزاويّة المتجهة بوحدة rad /s

b. الإزاحة الزاويّة للمروحة خلال 2.50 s

48. تناقص دوران المروحة في السؤال السابق من 475 rev /min إلى 187 rev /min خلال 4.00 s، فما مقدار تسارعها الزاويّ؟

الديناميكا الدورانية Rotational Dynamics

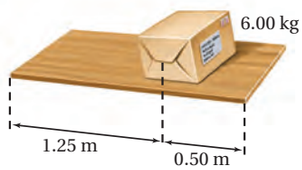
49. **مفتاح الشد** شُدّ برغي بعزم مقداره 8.0 N.m، فإذا كان لديك مفتاح شد طوله 0.35 m، فما مقدار أقل قوة يجب التأثير بها في المفتاح؟

50. لوح كتلته 12.5 kg وطوله 4.00 m، رفعه أحمد من أحد طرفيه، ثم طلب المساعدة فاستجاب له جواد. أوجد:

a. أقل قوة يؤثر بها جواد لرفع اللّوح إلى الوضع الأفقي. وعند أي جزء من اللّوح، يجب أن يرفع جواد ليؤثر بهذه القوة؟

b. أكبر قوة يؤثر بها جواد لرفع اللّوح إلى الوضع الأفقي. عند أي جزء من اللّوح يجب أن يرفع جواد ليؤثر بهذه القوة؟

51. يرفع شخصان لوحًا خشبيًّا من طرفيه إلى الأعلى، فإذا كانت كتلة اللّوح 4.25 kg وطوله 1.75 m، ويوضع على بعد 0.50 m من طرفه الأيمن صندوق كتلته 6.00 kg، كما في **الشكل 15 – 4**، فما القوتان اللتان يؤثر بهما الشخصان في اللّوح؟



الشكل 15 – 4

التقويم

43. ضع أنبوب إطالة في طرف مفتاح الشد لزيادة ذراع القوة. وأثر بقوتك بزاوية عمودية في مفتاح الشد، أو زد القوة المؤثرة (قد يكون بالوقوف) على طرف مفتاح الشد.

44. العزم الناتج عن هذه القوى يساوي صفرًا عند هذه النقطة؛ لأن طول ذراع القوة يساوي صفر.

إتقان حلّ المسائل

45. 51 rad /s

46. 0.49 m

47. **a.** 197 rad /s

b. 492 rad

48. $-7.54\ rad/s^2$

49. 23 N

50. **a.** $F_{\text{أقل}} = 61.2\ N$ في الطرف البعيد عن أحمد.

b. $F_{\text{أكبر}} = 122\ N$ عند مركز كتلة اللوح (الوسط).

51. $F_{\text{يمين}} = 63\ N$ $F_{\text{يسار}} = 37\ N$

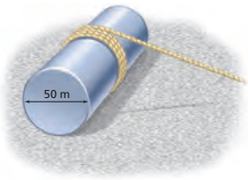
مراجعة عامة

52. يوضح **الشكل 16 – 4** أسطوانة قطرها 50 m في حالة سكون على سطح أفقي، فإذا لف حولها حبل ثم سحب، وأصبحت تدور دون أن تنزلق.

a. فما المسافة التي يتحركها مركز كتلة الأسطوانة عند سحب الحبل مسافة 2.5 m بسرعة منتظمة؟

b. إذا سحب الحبل مسافة 2.5 m خلال زمن 1.25 s، فما سرعة حركة مركز كتلة الأسطوانة؟

c. ما السرعة الزاويّة المتجهة للأسطوانة؟



الشكل 16 – 4

53. **القرص الصلب** يدور قرص صلب في حاسوب 7200 rpm (دورة لكل دقيقة). فإذا صمّم على أن يبدأ الدوران من السكون، ويصل السرعة الفعّالة خلال 1.5 s، فما التسارع الزاويّ للقرص؟

التفكير الناقد

54. **تطبيق المفاهيم** تتحرك نقطة على حافة عجلة حركة دورانية، أجب عن الأسئلة التالية:

a. تحت أيّ شروط يكون التسارع المركزي صفرًا؟

b. تحت أي شروط يكون التسارع الخطي صفرًا؟

c. هل يمكن ألاّ يساوي التسارع الخطي صفرًا عندما يساوي التسارع المركزي صفرًا؟ وضح ذلك.

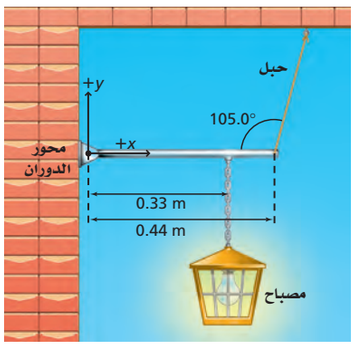
d. هل يمكن ألا يساوى التسارع المركزي صفرًا عندما يساوي التسارع الخطي صفرًا؟

55. **تطبيق المفاهيم** عندما تستخدم الكوابح، ينخفض الجزء الأمامي للسيارة إلى أسفل. لماذا؟

56. **التحليل والاستنتاج** مصباح معلق بقضيب مثبت بحبل، انظر إلى **الشكل 17 – 4**. إذا كان وزن القضيب 27 N، ووزن المصباح 64 N، فما:

a. العزم المتولد من كل قوة؟

b. قوة الشد في الحبل الداعم لقضيب المصباح؟



الشكل 17 – 4

57. تصنف محركات السيارات وفق عزم الدوران الذي تنتجه. ابحث عن أهمية قياس كمية عزم الدوران.

مراجعة تراكمية

58. رُبطت كتلتان معًا بحبل مهمل الكتلة يمر حول بكرة ملساء حرة مهملة الكتلة أيضًا، فإذا كان مقدار الكتلة الأولى 2.0 kg، والكتلة الثانية 3.0 kg، وبدأت الكتلتان الحركة من السكون، فجد كلاً مما يلي:

a. قوة الشد في الحبل.

b. تسارع الكتلتين.

59. يجلس علي على لعبة السيسو، ما مقدار الزاويّة بالنسبة إلى الرأسي، لكي تكون مركّبة وزنه الموازية للمستوى مساوية لثلث المركبة العمودية لوزنه؟

التقويم

مراجعة عامة

52. a. يكون مركز الكتلة دائمًا في هذه الحالة فوق نقطة الاتصال بسطح الأسطوانة المتظمة، لذا تحرك مركز الكتلة 2.50 m.

b. 2.00 m /s

c. 8×10^{-2} rad /s

53. 5.0×10^{2} rad /s^2

التفكير الناقد

54. a. عندما $\omega = 0.0$

b. عندما $\alpha = 0.0$

c. عندما $\omega = 0.0$ لحظيًّا، ولكن α ليست صفرًا، ستستمر ω في التغير.

d. نعم، طالما أن قيمة السرعة الزاوية ثابتة وليست صفرًا.

55. تؤثر الطريق بقوة في الإطارات مما يؤدي إلى توقف السيارة. مركز الكتلة فوق الطريق، لذلك يوجد محصلة عزم على السيارة، يجعلها تدور باتجاه يجعل مقدمة السيارة تنزل إلى الأسفل.

56. a. 21 N.m

b. قوة الشد في الحبل 64 N

57. تؤدي القوة التي تؤثر بها الأرض في الإطارات إلى تسارع السيارة، ومصدر هذه القوة محرك السيارة الذي يولد قوة تدير المحور بين الإطارات، مما ينتج عزمًا يساوي حاصل ضرب القوة على حافة الإطار بنصف القطر، وقد يسبب ناقل الحركة تغير القوة على حين لا يتغير العزم. لذا، فإن مقدار العزم المتولد من المحرك ينتقل إلى الإطارات.

مراجعة تراكمية

58. a. 24 N

b. 1.96 m /s^2

59. 71.6°

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي.

1. يبين الشكل صندوقين عند نهايتي لوح خشبي طوله 3.0 m، مدعوم عند منتصفه بوساطة رافعة (محور ارتكاز)، فإذا كانت كتلة الصندوق الأيسر $m_1 = 25\ kg$ وكتلة الصندوق الأيمن $m_2 = 15\ kg$، فما بعد النقطة التي يجب وضع الرافعة عندها عن الطرف الأيسر ليتزن اللّوح الخشبي والصندوقان أفقيًّا؟

Ⓐ 0.38 m Ⓒ 1.1 m
Ⓑ 0.60 m Ⓓ 1.9 m

2. أثرت قوة مقدارها 60 N في أحد طرفي سلم منتظم طوله 1.0 m وطرفه الآخر يتصل بقضيب دوّار متعامد مع الذراع، ويمكن تدوير القضيب بدفع أحد طرفي الذراع إلى أسفل. فإذا كان اتجاه القوة المؤثرة في الذراع يميل °30، فما العزم المؤثر في الذراع؟

Ⓐ 30 N.m Ⓒ 60 N.m
Ⓑ 52 N.m Ⓓ 69 N.m

3. يحاول سالم استخدام مفتاح شدّ لفك برغي في دراجته الهوائية. ويحتاج فك البرغي إلى عزم مقداره 10 N.m، وأقصى قوة يستطيع أن يؤثر بها الطفل عموديًّا في المفتاح 50 N، ما طول مفتاح الشد الذي يجب أن يستخدمه سالم حتى يفك البرغي؟

Ⓐ 0.1m Ⓒ 0.2 m
Ⓑ 0.15 m Ⓓ 0.25 m

4. تتحرك سيارة قطر كل عجلة من عجلاتها 42 cm مسافة 420 m، فأي مما يأتي يبين عدد الدورات التي تدورها كل عجلة عند قطع هذه المسافة؟

Ⓐ $\frac{5.0 \times 10^{1}}{\pi}$ rev Ⓒ $\frac{1.5 \times 10^{2}}{\pi}$ rev
Ⓑ $\frac{1.0 \times 10^{2}}{\pi}$ rev Ⓓ $\frac{1.0 \times 10^{3}}{\pi}$ rev

5. عجلة سيارة نصف قطرها 3.0 m، تدور بسرعة زاوية متجهة مقدارها 1.2 rad/s، ما مقدار السرعة الخطية المتجهة لها؟

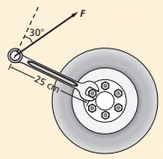
Ⓐ 3.6 m/s Ⓒ 0.4 m/s
Ⓑ 4 m/s Ⓓ 36 m/s

6. إذا كان قطر إطاري جرّار زراعي 1.5 m، وقاد المزارع الجرّار بسرعة خطية 3.0 m/s، فما مقدار السرعة الزاويّة لكل إطار؟

Ⓐ 2.0 rad/s Ⓒ 4.0 rad/s
Ⓑ 2.3 rad/s Ⓓ 4.5 rad/s

الأسئلة الممتدة

7. استُخدم مفتاح شد طوله 25 cm لفك صمولة برغي في عجلة سيارة. انظر إلى الشكل أدناه. وقد سُحب الطرف الحر للمفتاح إلى أعلى بقوة مقدارها $2.0 \times 10^{2}\ N$ وبزاوية °30، ما مقدار العزم المؤثر في مفتاح الشد؟



✓ إرشاد

حذف الخيار عند استبعاده

تأمّل وفكّر في كل اختيار على حدة، واشطب الاختيار الذي تستبعد أن يكون صحيحًا. وإذا كنت لا تستطيع الكتابة على الكتاب المقرر فاستخدم ورقة خارجية لشطب الاختيار المستبعد. ولكسب المزيد من الوقت في اختيار الإجابة الصحيحة استخدم الاستبعاد الذهني.

اختبار مقنن الفصل 4–

سلّم تقدير

يمثّل الجدول التالي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة:

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، وقد تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلاً صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلاً غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة الاختيار من متعدد

1. C **2.** A **3.** C
4. D **5.** A **6.** C

الأسئلة الممتدة

7. 43.3 N.m

الفصل 5

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
5-1 الدفع والزخم 1. **تتعرّف** مفهوم الزخم. 2. **تحدد** مقدار الدفع الواقع على جسم.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** كرة مصمتة، وكرة بلاستيكية فيها فتحات في أحد نصفيها. **عرض المعلم** **عرض سريع** غطاء سرير، وبيضة نيئة، ونظارات واقية.
5-2 حفظ الزخم 3. **تربط** بين القانون الثالث لنيوتن وقانون حفظ الزخم. 4. **تعرّف** الشروط اللازمة لحفظ الزخم. 5. **تحل** مسائل على حفظ الزخم.	**تجارب الطالب** **تجربة** كرة صلبة صغيرة مطاطية بحجم كرة تنس الطاولة، وأخرى كبيرة بحجم كرة التنس، ومسطرة مترية. **تجربة إضافيّة** صندوق من الورق المقوى، ومادة حشو، وكرة بيسبول، ومسطرة مترية، وميزان نابضي مدرج بالنيوتن، وميزان ذو كفة واحدة. **مختبر الفيزياء** الموقع المطلوب في الإنترنت . **عرض المعلم** **عرض سريع** كرسي دوّار وكتلتان ثقيلتان.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الخامس

الفصل 5

الزخم وحفظه

نظرة عامة إلى الفصل

يناقش الجزء الأول من هذا الفصل التغيرات في حركة جسم ما، وذلك بدراسة زخم الجسم قبل الدفع المؤثر فيه وبعده. ويبين الجزء الثاني الأشياء التي يتطلبها نظام ما حتى يكون الزخم فيه محفوظًا. فعندما لا تؤثر محصلة قوى خارجية في جسم أو مجموعة أجسام، فإن زخمها لا يتغير ، أيْ يكون الزخم محفوظًا.

فكِّر

يعتمد الدفع على الفترة الزمنية التي استغرقتها القوة في التأثير على المضرب. وفي هذه الحالة فإن القوة القصوى تساوي 110 N تقريبًا. وتمت مناقشة هذا الموضوع بالتفصيل في بند استعمال **الشكل 1–5**.

المفردات الرئيسة

- الدفع
- الزخم
- نظرية الدفع – الزخم
- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

الفصل 5

الزخم وحفظه

Momentum and Its Conservation

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- وصف الزخم والدفع وتطبيقهما على التفاعل بين الأجسام.
- ربط القانون الثالث لنيوتن في الحركة مع قانون حفظ الزخم.

الأهمية

الزخم هو مفتاح النجاح في العديد من الألعاب الرياضية، ومنها البيسبول، وكرة القدم ، والتنس، وغيرها.

كرة التنس تتعلَّق أحلام لاعبي كرة التنس بضرب الكرة، فعندما يقوم لاعب بضرب الكرة يغير الحالة الحركية لكل من الكرة وشبكة المضرب عند لحظة تصادمهما. ويحدّد التغير الحاصل في الزخم لكل منها نجاح اللاعب في ضرب الكرة أو صدها بشكل صحيح.

فكِّر

ما القوة المؤثرة في مضرب كرة التنس عند ضرب الكرة بشبكة المضرب؟

تجربة استهلالية

الهدف تحديد أثر كل من الكتلة والسرعة المتجهة في اتجاه حركة الجسم بعد التصادم المباشر.

الموادّ والأدوات كرة بلاستيكية جوفاء فيها فُتَحات في أحد نصفيها، وكرة مصمتة.

استراتيجيّات التدريس شجع الطلبة على تغيير زوايا التصادمات وإعادة التجربة أكثر من مرة.

النتائج المتوقّعة ينبغي أن يكون للكرة المصمتة الأثر المسيطر أو المهيمن في السرعات المتجهة الناتجة؛ وذلك بسبب كبر كتلتها. وعلى الطلبة أن يدحرجوا الكرة الجوفاء بسرعة كافية ليكون تأثيرها كبيرًا.

التحليل تؤثر كل من الكتلة والسرعة المتجهة في مقدار سرعة حركة الكرتين بعد التصادم واتجاههما. فالكرة التي تمتلك زخمًا أكبر ستؤثر أكثر في الكرة الأخرى. أما إذا كان للكرتين الزخم نفسه تقريبًا، فسترتدان على الأرجح إلى الخلف؛ ولكن إذا كان هناك فرق كبير في الكتلة أو السرعة لهما، فعندئذٍ سوف تتحرك الكرة التي تمتلك زخمًا أكبر إلى الأمام بعد التصادم، ولكن بسرعة أقل.

الأهداف

- **تتعرّف** مفهوم الزخم.
- **تحدد** مقدار الدفع الواقع على جسم.

المفردات

الدفع

الزخم

نظرية الدفع – الزخم

إن مشاهدة لاعب كرة التنس وهو يضرب الكرة مثيرة للدهشة؛ حيث يرمي اللاعب الأول الكرة في اتجاه اللاعب المقابل له بمضربه، فترتد الكرة عن شبكة مضرب اللاعب الثاني بسرعة كبيرة، وبدلاً من التركيز على القوة بين الكرة وشبكة المضرب وما ينتج عنها من تسارع كما تعلمت سابقًا. ستقوم بدراسة التصادم بطريقة مختلفة. إن الخطوة الأولى في تحليل التفاعل الفيزيائي بين الجسمين هي وصف ما حدث للكرة وشبكة المضرب قبل التصادم وفي أثنائه وبعده. ويمكن توضيح التصادم بين الكرة وشبكة المضرب بافتراض أن جميع الحركات تمت في الاتجاه الأفقي. حيث تحركت الكرة في اتجاه شبكة المضرب قبل التصادم، وتأثرت الشبكة بالكرة في أثناء التصادم مما أدى إلى حركة الكرة بسرعة أكبر مبتعدة عن المضرب بعد تصادمهما، وأكملت شبكة المضرب حركتها ولكن بسرعة أقل.

تجربة استهلالية

ماذا يحدث عندما تصطدم كرة بلاستيكية جوفاء بكرة مصمتة؟

سؤال التجربة ما الاتجاه الذي ستتحرك فيه الكرتان البلاستيكيّة الجوفاء والمصمتة بعد اصطدامهما مباشرة؟

الخطوات

1. دحرج كرة مصمتة وكرة بلاستيكية جوفاء إحداهما في اتجاه الأخرى على سطح أملس.
2. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معًا.
3. أعد التجربة، على أن تحافظ على الكرة المصمتة ساكنة، وتدحرج الكرة البلاستيكية الجوفاء نحوها.
4. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معًا.
5. أعد التجربة مع المحافظة على بقاء الكرة البلاستيكية الجوفاء ساكنة، ودحرج الكرة المصمتة نحوها.
6. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معًا.

التحليل

ما العوامل التي تؤثر في سرعة الكرتين بعد التصادم؟ وما العوامل التي تحدّد اتجاه حركة كل منهما بعد التصادم؟

التفكير الناقد

ما العامل أو العوامل التي تسبب حركة الكرة المصمتة المرتدة إلى الخلف بعد اصطدامها بالكرة البلاستيكية الجوفاء؟

التفكير الناقد ستكون السرعة المتجهة هي العامل الوحيد الأكثر أهمية. فإذا تحركت الكرة الجوفاء بسرعة متجهة كبيرة واصطدمت مباشرة بالكرة المصمتة (التي كانت ساكنة لحظة التصادم $v = 0$)، فعندئذٍ سوف ترجع الكرة المصمتة إلى الوراء. الكرة الجوفاء (التي لها كتلة أقل مقارنة بالكرة المصمتة) يجب أن تتحرك بسرعة متجهة أكبر بشكل ملحوظ لتحدث تأثيرًا في الكرة المصمتة.

5–1 الدفع والزخم

1. التركيز

نشاط محفّز

قوة التصادم أسقط جسمًا ثقيلاً، مثل كتاب على مقعدك. ثم أعد المحاولة، ولكن بوضع وسادة على المقعد وإسقاط الكتاب عليها. اطلب إلى الطلبة أن يستعملوا معرفتهم السابقة في إدراج الأشياء التي يمكنهم أو لا يمكنهم تحديدها عن طبيعة التصادم. يمكنهم أن يجدوا كتلة الجسم، كما ينبغي أن يكونوا قادرين على حساب سرعته المتجهة لحظة اصطدامه بالمقعد، بالإضافة إلى معرفتهم أنَّ السرعة المتجهة بعد التصادم تكون صفرًا. ولا يمكنهم تحديد تسارع الجسم في أثناء توقفه، ولا القوة التي أثر بها المقعد في الجسم دون معرفتهم للزمن الذي استغرقه الجسم في التوقف. م2 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

قوانين الحركة تعرفت سابقًا القانون الثاني لنيوتن في الحركة، إذ يستخدم هذا القانون للتعبير عن العلاقة بين الزخم والدفع. وسوف يقرأ الطلبة الرسم البياني الذي يمثل العلاقة بين القوة والزمن ويفسّرونه.

2. التدريس

استعمال الشكل 1 – 5

اطلب الى الطلبة دراسة **الشكل 1–5**، واطلب إليهم إيجاد القوة العظمى. $(1.47\times10^4\ N)$ 14700 N واسألهم فيما إذا كان بإمكانهم تحديد الزمن الذي استغرقه التصادم؟ نعم، ولكن كيف؟ تمثّل المساحة التي تحت المنحنى الدفع. واسألهم كيف يمكنهم تحديد مقدار الدفع. بما أنّ المساحة التي تحت المنحنى تمثل الدفع، فهناك طرق مختلفة منها، وذلك بنسخ الشكل على ورقة رسم بياني وعدّ المربعات، وإيجاد مساحة كل مربع وضرب الناتج في عدد المربعات، ويمكنهم أيضًا إيجاد مساحة المثلث الذي يكون رأسه عند القوة العظمى ويمس نقطتي منتصف القوة العظمى. ثم دع الطلبة يقارنوا مساحة المثلث بالمساحة الصحيحة 13.1 N.s علمًا بأن المساحة بوساطة عدّ المربعات هي 12 N.s **م 2 بصري - مكاني**

تطوير المفهوم

■ **الزخم والسرعة المتجهة** استعمل المعادلة $\boldsymbol{p = mv}$ للتفريق بين الزخم والسرعة المتجهة.

■ **الزخم والدفع** استعمل المعادلة التالية:

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i) = mv_f - mv_i = p_f - p_i$$

للتفريق بين الزخم والتغير في الزخم (الدفع). وأكّد على أن الزخم والدفع هما كميتان متجهتان، كلاهما له مقدار واتجاه. ووضح أيضًا أنّ اتجاه الدفع يكون في نفس اتجاه التغير في الزخم.

الدفع والزخم

Impulse and Momentum

كيف ترتبط السرعتان المتجهتان للكرة قبل التصادم وبعده والقوة المؤثرة فيها؟ يصف القانون الثاني لنيوتن في الحركة كيف تتغير السرعة المتجهة لجسم بفعل القوة المحصلة المؤثرة فيه. ففي لعبة التنس يحدث التغير في السرعة المتجهة للكرة بسبب قوة المضرب المؤثرة في الكرة، وتتغير القوة خلال الزمن كما في **الشكل 1 – 5**. تنضغط شبكة المضرب بعد التلامس مباشرة، فتزداد القوة. وتستمر بالتزايد حتى وصول القوة إلى أقصى قيمة، والذي يكون أكبر من وزن الكرة أكثر من 10,000 مرة، تستعيد شبكة المضرب شكلها، فتتحرك الكرة مبتعدة عن المضرب بسرعة. ويصبح مقدار القوة مباشرة صفرًا. ويستغرق هذا الحدث فترة زمنية مقدارها 3.0 ms كيف تستطيع حساب التغير في السرعة المتجهة لكرة التنس؟

الدفع يمكن إعادة كتابة القانون الثاني لنيوتن، $\boldsymbol{F = ma}$، باستخدام تعريف التسارع بأنه حاصل قسمة التغير في السرعة المتجهة، على الزمن اللازم لإحداث هذا التغير. ويمثل ذلك بالمعادلة التالية:

$$\boldsymbol{F = ma = m\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)}$$

بضرب طرفي المعادلة في الفترة الزمنية، Δt ، نحصل على المعادلة التالية:

$$\boldsymbol{F\Delta t = m\Delta v}$$

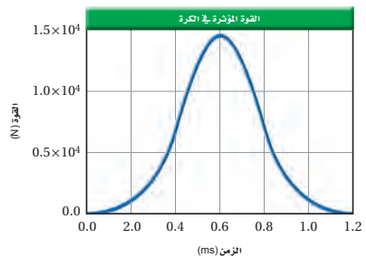
يطلق على $\boldsymbol{F\Delta t}$ **الدفع**، وهو حاصل ضرب متوسط القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثير القوة، ويقاس الدفع بوحدة N.s، يمكن إيجاد مقدار الدفع في الحالات التي تتغير فيها القوة مع الزمن من خلال تحديد المساحة تحت منحنى العلاقة البيانية للقوة مع الزمن، انظر **الشكل 1 – 5**.

يحتوي الجانب الأيمن من المعادلة، $\boldsymbol{m\Delta v}$ على التغير في السرعة المتجهة:

$\boldsymbol{\Delta v = v_f - v_i}$. حيث يكون $\boldsymbol{m\Delta v = mv_f - mv_i}$. ويعرف حاصل ضرب كتلة الجسم، m، في سرعته المتجهة $\boldsymbol{v}$ **بزخم الجسم** (كمية التحرك)؛ حيث يقاس الزخم بوحدة kg .m/s. ويطلق على زخم الجسم الزخم الخطي أيضًا، ويُعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$\boldsymbol{p = mv}$$

بالرجوع إلى المعادلة $\boldsymbol{F\Delta t = m\Delta v = p_f - p_i}$ ، حيث إن $\boldsymbol{mv_f = p_f}$ و $\boldsymbol{mv_i = p_i}$



■ **الشكل 1 – 5** تزداد القوة المؤثرة في الكرة، ثم تتناقص بسرعة خلال عملية التصادم، والشكل يوضح علاقة القوة مع الزمن.

فيمكن إعادة كتابة هذه المعادلة على النحو التالي:

$$F\Delta t = m\Delta v = p_f - p_i$$

الزخم $p = mv$

زخم الجسم يساوي كتلته مضروبة في السرعة المتجهة له.

ويصف الجانب الأيمن من المعادلة $p_f - p_i$، التغير في زخم جسم ما، وبذلك يكون الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه، وهذا يسمى **نظرية الدفع – الزخم**. ويعبر عن هذه النظرية بالمعادلة التالية:

نظرية الدفع – الزخم $F\Delta t = p_f - p_i$

"الدفع على جسم ما يساوي حاصل طرح زخمه الابتدائي من زخمه النهائي".

إذا كانت القوة المؤثرة في جسم ما ثابتة يكون **الدفع** هو حاصل ضرب القوة في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها هذه القوة. وبشكل عام لا تكون القوة ثابتة، لذا يتم إيجاد الدفع باستخدام متوسط القوة مضروبًا في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها، أو عن طريق إيجاد المساحة تحت منحنى (القوة – الزمن).

ولأن السرعة المتجهة كمية متجهة، فإن الزخم أيضًا كمية متجهة، وكذلك يكون الدفع كمية متجهة أيضًا؛ لأنَّ القوة كمية متجهة. وهذا يعني أن الإشارات ستكون ضرورية للحركة في بعد واحد.

استعمال نظرية الدفع – الزخم

Using the Impulse–Momentum Theorem

ما التغير في زخم كرة التنس؟ بناءً على نظرية الدفع–الزخم فإن التغير في الزخم يساوي الدفعَ المؤثر في الجسم. ويمكن حساب الدفع المؤثر في كرة التنس، باستعمال منحنى (القوة – الزمن)، حيث تساوي عدديًا المساحة تحت المنحنى ويكون اتجاه الدفع في اتجاه القوة نفسه.

افترض أنَّ لاعبًا ضرب كرة كتلتها 0.145 kg بمضرب، وقبل التصادم بين الكرة والمضرب كانت سرعة الكرة 38 m /s –، بافتراض أن الاتجاه الموجب نحو اللاعب، وأن التغير في زخم الكرة يساوي 13.1 N.s فإن الزخم الابتدائي للكرة:

$$p_i = (0.145\ kg)\ (-38\ m/s) = -5.5\ kg\ .\ m/s$$

ما زخم الكرة بعد التصادم؟ طبّق نظرية الدفع – الزخم لإيجاد الزخم النهائي:

$p_f = p_i + F\Delta t$. يكون الزخم النهائي عبارة عن مجموع الزخم الابتدائي والدفع. ويحسب الزخم النهائي للكرة على النحو الآتي:

$$p_f = p_i + 13.1\ kg\ .\ m/s$$

تطبيق الفيزياء

أحذية الركض إنّ الركض على الأقدام يُعد عملاً شاقًّا، لأنّه عندما يضرب العدّاء قدمه بالأرض، فإنَّها تؤثر في القدم بقوة تساوي أربعة أمثال وزنه. ويصمم الحذاء الرياضي بحيث يكون مزودًا بوسائد امتصاص، لتقليل شدة القوة المؤثرة في القدم من خلال إطالة الفترة الزمنية التي تؤثر فيها القوة.

تطبيق الفيزياء

اطلب الى الطلبة أن يختبروا أحذيتهم الرياضية لتحديد مقدار انضغاط النعل عندما تؤثر فيه قوة. ثم اقترح عليهم تصميم جهاز فاحص أحذية يؤثر بقوة قابلة للقياس في جسم بحجم كرة القدم، وقس المسافة التي ينضغطها الحذاء بفعل تلك القوة. ويجب فحص القوى المقاربة لأربعة أمثال وزن الطالب. ثم اطلب إليهم كتابة بحث عن نموذج لحذاء يقلل كثيرًا من القوة المؤثرة في القدم عند الركض. يستطيع الطلبة جمع أحذية متنوعة لفحص أي نوع يؤدي إلى تقليل القوة المؤثرة في القدم.

عرض سريع

الدفع

الزمن المقدر 5 دقائق.

المواد والأدوات غطاء سرير، وبيضة نيئة، ونظارات واقية.

الخطوات اصطحب طلابك إلى خارج البناية أو إلى مكان آمن يسهل تنظيفه. ودع اثنين منهم يمسكا بغطاء السرير رأسيًا. واطلب إلى الطلبة أن يتوقعوا فيما إذا كان باستطاعتك كسر البيضة عند رميها بكل ما أوتيت من قوة نحو الغطاء، ثم ارمِ البيضة النيئة بسرعة كبيرة باتجاه مركز الغطاء. سيوقف الغطاء البيضة دون أن يكسرها. واشرح لهم أنّ الغطاء يوقف البيضة خلال فترة زمنية Δt أطول مما لو رميت على حائط من الطوب. وأكد على أن الفترة الزمنية الأطول Δt تعني أن القوة المؤثرة في البيضة أقل.

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

دالة القوة كيف يمكن لشخص أن يطور دالة رياضية لقوة متغيرة (كما في **الشكل 1–5**)؟ إحدى هذه الطرق هي تقريب القوة والتعامل معها بوصفها قوة ثابتة. ومن الناحية الرياضية، فهذا مكافئ لعمل مستطيلات لها المساحة نفسها تحت منحنى $F - t$. وبالطبع فإن شكل المستطيل لا يغير الدفع. وأحد الخيارات هو اعتبار أنه مساويًا للقوة العظمى وضبط الفترة الزمنية للحصول على المساحة الصحيحة. وأما الخيار الثاني فيمكن اختيار الزمن الفاصل الذي يمثل أفضل فترة زمنية لتأثير القوة، ثم ضبط القوة للحصول على المساحة الصحيحة. ولا توجد طريقة واحدة صحيحة دون قياسات مفصلة للقوة بوصفها دالة للزمن.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الزخم والسرعة المتجهة الزخم ليس السرعة المتجهة نفسها. ففي جميع الأمثلة يرتبط الزخم بالسرعة المتجهة بنسبة ثابتة هي الكتلة. ولهذا السبب فإن بعض الطلبة لا يرون سببًا حتى يكون لديهم كمية أخرى، لذا فإنهم يتعاملون مع الزخم كأنه سرعة متجهة. ولن يكون الاختلاف واضحًا وجليًا قبل دراسة البند التالي في التصادمات.

تعزيز الفهم

المتجهات صمّم بعض التمارين حول طرح المتجهات باستخدام متجهات الزخم الابتدائي والنهائي. وأكّد على أنّ الفرق الناتج سيكون الدفع، مُضمنًا بعض التمارين زخمًا نهائيًا أو ابتدائيًا يساوي صفرًا ومتجهي زخم ابتدائي ونهائي بالاتجاه نفسه وبعكس الاتجاه.

م 2 بصري - مكاني

مثال صفي

سؤال تخيل وجود مسافر كتلته 85.0 kg على متن المركبة في مثال 1. احسب كلًّا من الدفع ومتوسط القوة اللازمة لإيقاف المسافر مع المركبة عند الضغط مرة برفق ومرة بشدة على الكوابح؟

الإجابة

$$p_i = (85\ kg)(26\ m/s)$$

$$= 2.2\times10^3\ kg.m/s\ ،\ p_f = 0$$

$$F\Delta t = -2.2\times10^3\ kg.m/s$$

لذا عندما

$$\Delta t = 21\ s\ ،\ F = -1.1\times10^2\ N$$

وعندما

$$\Delta t = 3.8\ s\ ،\ F = -5.8\times10^2\ N$$

الشكل 2 – 5 تنتفخ الوسادة الهوائية أثناء التصادم، حيث تؤدي قوة الضربة إلى تفاعل المواد الكيميائية داخل الوسادة مما ينتج كمية من الغاز تؤدي إلى انتفاخها.

$$= -5.5\ kg.m/s + 13.1\ kg.m/s$$

$$= +7.6\ kg\ .\ m/s$$

ما السرعة المتجهة النهائية للكرة؟ بما أنّ $p_f = m v_f$ ، فإنّ v_f تساوي:

$$v_f = \frac{p_f}{m} = \frac{+7.6\ kg.m/s}{0.145\ kg} = +52\ m/s$$

وهذه السرعة كبيرة بما يكفي لإخراج الكرة خارج أسوار الملعب، إذا وجهت في الاتجاه الصحيح.

نظرية الدفع – الزخم والحفاظ على الحياة

Using the Impulse–Momentum Theorem to Save Lives

يتم تزويد السيارات الحديثة بوسائد هوائية (air bags) للمحافظة على حياة الركاب عند حدوث تصادم؛ فالتغير الكبير في الزخم يحدث عندما يكون الدفع كبيرًا. وينتج الدفع الكبير إما عن قوة كبيرة تؤثر خلال فترة زمنية قصيرة، أو قوة صغيرة تؤثر خلال فترة زمنية طويلة. ماذا يحدث للسائق عندما تتوقف السيارة فجأة نتيجة تصادم ما؟ يكون هنالك حاجة إلى قوة دفع تجعل زخم السائق صفرًا. واستنادًا إلى معادلة الدفع – الزخم، $F\Delta t = p_f - p_i$ ، فإن الزخم النهائي p_f يساوي صفرًا، والزخم الابتدائي p_i، هو نفسه بوجود الوسادة الهوائية أو عدمه. فسيكون الدفع $F\Delta t$ نفسه أيضًا. لذلك تعمل الوسادة الهوائية على تقليل القوة بزيادة الفترة الزمنية لتأثيرها، كما في **الشكل 2 – 5**، كما أنّها توزع القوة على مساحة أكبر من جسم الشخص، ممّا يقلّل من احتمالية حدوث الإصابات.

مثال 1

متوسط القوة تتحرك مركبة كتلتها 2200 kg بسرعة 26 m/s، حيث يمكنها التوقف خلال 21 s، عن طريق الضغط على الكوابح برفق، ويمكن أن تتوقف المركبة خلال 3.8 s إذا ضغط السائق على الكوابح بشدة، بينما يمكن أن تتوقف خلال 0.22 s إذا اصطدمت بحائط أسمنتي، فما متوسط القوة المؤثرة في المركبة في كل حالة من حالات التوقف هذه؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم النظام.
- اختر نظام إحداثيات وحدِّد الاتجاه الموجب ليكون في اتجاه السرعة المتجهة للسيارة.
- اعمل رسمًا تخطيطيًّا لمتجهات الزخم والدفع.

المعلوم			المجهول
$\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = 21\ s$	$m = 2200\ kg$		$F_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = ?$
$\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = 3.8\ s$	$v_i = +26\ m/s$		$F_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = ?$
$\Delta t_{\text{الاصطدام بحائط}} = 0.22\ s$	$v_f = +0.0\ m/s$		$F_{\text{الاصطدام بحائط}} = ?$

نشاط — مشروع فيزياء

حزام الأمان والوسائد الهوائية اطلب الى الطلبة أن يستكشفوا كيف تؤدي الأكياس الهوائية إلى تقليل القوى الناتجة عن تصادمات السيارات. ودعهم يبحثوا عن أفلام ومقاطع فيديو توضح كيف يعمل انتفاخ الكيس الهوائي على التخفيف من حدة التصادم على الدمى الموجودة في السيارة. وكذلك يمكنهم أن يطوروا عروضًا مستخدمين عربة ميكانيكية، وراكبًا من الصلصال، واستخدام أساليب مختلفة لحماية الراكب عندما تصطدم العربة بحاجز. ويمكن تغطية طرف العربة الذي يصطدم بالحاجز بمطاط. كما يمكن عمل نموذج حزام أمان بوساطة شريط، أما نموذج الكيس الهوائي فيمكن عمله باستعمال البالون. ويمكن أن يختار بعض الطلبة تزويد عرباتهم بمصدات مصنوعة من البولسترين. م 2 حسي - حركي

2 إيجاد الكمية المجهولة

أولاً: نحسب الزخم الابتدائي p_i :

بالتعويض عن $m = 2200\ kg$، $v_i = +26\ m/s$

$$p_i = m\,v_i = (2200\ kg)\ (+26\ m/s)$$
$$= +5.7 \times 10^4\ kg.m/s$$

ثانيًا: نحسب الزخم النهائي، p_f :

بالتعويض عن $m = 2200\ kg$، $v_f = +0.0\ m/s$

$$p_f = m\,v_f = (2200\ kg)\ (+0.0\ m/s)$$
$$= 0.0\ kg.m/s$$

ثالثًا: نطبق نظرية الدفع – الزخم للحصول على القوة المطلوبة لإيقاف المركبة في كل حالة:

$$F\,\Delta t = p_f - p_i$$

بالتعويض عن $p_i = 5.7 \times 10^4\ kg.m/s$، $p_f = 0.0\ kg.m/s$

$$F\,\Delta t = (+0.0\ kg.m/s) - (5.7 \times 10^4\ kg.m/s)$$
$$= -5.7 \times 10^4\ kg.m/s$$
$$F = \frac{-5.7 \times 10^4\ kg.m/s}{\Delta t}$$

بالتعويض عن $\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = 21\ s$

$$F_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = \frac{-5.7 \times 10^4\ kg.m/s}{21\ s}$$
$$= -2.7 \times 10^3\ N$$

بالتعويض عن $\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = 3.8\ s$

$$F_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = \frac{-5.7 \times 10^4\ kg.m/s}{3.8\ s}$$
$$= -1.5 \times 10^4\ N$$

بالتعويض عن $\Delta t_{\text{الاصطدام بحائط}} = 0.22\ s$

$$F_{\text{الاصطدام بحائط}} = \frac{-5.7 \times 10^4\ kg.m/s}{0.22\ s}$$
$$= -2.6 \times 10^5\ N$$

3 تقويم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القوة بالنيوتن، وكان الجواب بالوحدة N نفسها.
- **هل للاتجاه معنى؟** تؤثر القوة في الاتجاه المعاكس لسرعة السيارة، ولذا يكون اتجاه القوة في الاتجاه السالب.
- **هل الجواب منطقي؟** يزن الشخص عدة مئات نيوتن، لذا فمن المنطقي أن تكون القوة اللازمة لإيقاف سيارة عدة آلاف نيوتن، وحيث الدفع في عمليات الإيقاف الثلاثة هو نفسه. فكلّما قلّ زمن التوقف أكثر من عشر مرات، تزداد القوة أكثر من عشر مرات.

115

نشاط — من معلم لآخر

فيزيـاء سقوط البيض اطلب الى الطلبة أن يصمموا أوعية للبيض والتي سترمى بها فيها من بيض من ارتفاع معين؛ كأن تُلقى مثلاً، من أعلى درج المدرسة، عدل كتلة كل وعاء حتى يكون التغير في الزخم أو الدفع من أثر الصدمة نفسه لجميع الأوعية، بهدف تقليل قوة تأثير الصدمة على البيض حتى لاينكسر. ويمكن للطلبة أن يفعلوا ذلك باستخدام مقاومة الهواء لتقليل السرعة القصوى للوعاء، أو بزيادة زمن تصادم البيضة داخل الوعاء لإنقاص القوة.

م 2 حسي - حركي

مسائل تدريبية

1. **a.** 2.32×10^4 kg.m /s شرقًا.

   b. 38.4 km /h شرقًا.

2. 1.0×10^4 N.s غربًا

3. بالنسبة للشكل (a) 2.7 m /s باتجاه السرعة المتجهة الأصلية نفسها.

   بالنسبة للشكل (b) 1.3 m /s باتجاه السرعة المتجهة الأصلية نفسها.

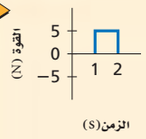
4. **a.** 7.8×10^3 N في عكس اتجاه الحركة

   b. 8.0×10^2 kg ومثل هذه الكتلة ثقيلة جدا لرفعها. لذا لا يمكن لذراعيك إيقاف جسمك بأمان.

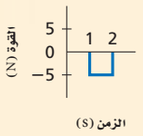
مسائل تدريبية

1. تتحرك سيارة كتلتها 725 kg بسرعة متجهة 115 km / h في اتجاه الشرق.
   a. أوجد مقدار زخمها واتجاهه.
   b. إذا امتلكت سيارة أخرى كتلتها 2175 kg الزخم نفسه، فما سرعتها المتجهة؟
2. إذا ضغط السائق في السؤال السابق على الكوابح بشدة لتتوقف السيارة خلال 2.0 s. وكان متوسط القوة المؤثرة في السيارة لإبطائها يساوي 5.0×10^3 N، فما مقدار التغير في زخم السيارة؟ وما اتجاهه؟
3. تتدحرج كرة بولينج كتلتها 7.0 kg على ممر إنزلاق بسرعة متجهة 2.0 m /s أوجد مقدار سرعة الكرة واتجاه حركتها بعد تأثير كل من الدفعين المبينيين في **الشكلين 3a – 5 و 3b – 5**.
4. افترض أنَّ شخصًا كتلته 60.0 kg موجود في المركبة التي اصطدمت بالحائط الأسمنتي في المثال 1، حيث تكون السرعة المتجهة للشخص مساوية للسرعة المتجهة للمركبة قبل التصادم وبعده، وتغيرت هذه السرعة المتجهة خلال 0.20 s ارسم مخططًا يمثل المسألة.
   a. ما متوسط القوة المؤثرة في الشخص؟
   b. يعتقد بعض الأشخاص أنّ بإمكانهم أن يوقفوا اندفاع أجسامهم إلى الأمام في مركبة ما عندما تتوقف فجأة، وذلك بوضع أيديهم على لوحة العدادات. أوجد كتلة جسم له وزن يساوي القوة التي حسبتها في الفرع a. وهل تستطيع رفع مثل هذه الكتلة؟ وهل أنت قويّ بدرجة كافية لتوقف جسمك باستخدام ذراعيك؟

a



b



الشكل 3 – 5

5-1 مراجعة

5. **الزخم** هل يختلف زخم سيارة تتحرك جنوبًا عن زخم السيارة نفسها عندما تتحرك شمالاً وبمقدار السرعة نفسه؟ ارسم متجهات الزخم لتدعم إجابتك.

6. **الدفع والزخم** عندما تقفز من ارتفاع ما إلى الأرض فإنك تثني رجليك لحظة ملامسة قدماك للأرض. فسر لماذا تفعل هذا اعتمادًا على المفاهيم الفيزيائية التي تعلمتها في هذا الفصل.

7. **الزخم** أيهما له زخم أكبر، ناقلة نفط مثبتة برصيف ميناء، أم قطرة مطر ساقطة؟

8. **الدفع والزخم** رميت كرة كتلتها 0.174 kg أفقيًا بسرعة 26.0 m/s، وبعد أن ضربت الكرة بالمضرب تحركت في الاتجاه المعاكس، بسرعة 38.0 m/s، أجب عن الأسئلة التالية:
   a. ارسم متجهات الزخم للكرة قبل وبعد ضربها بالمضرب.
   b. ما التغير في زخم الكرة؟
   c. ما الدفع الناتج عن المضرب؟
   d. إذا بقي المضرب متصلاً بالكرة مدة 0.80 ms، فما متوسط القوة التي أثر فيها المضرب في الكرة؟

9. **التفكير الناقد** يصوّب رام أسهمه في اتجاه هدف، فينغرس بعضها بالهدف وبعضها الآخر يرتد عنه. افترض أن كتل الأسهم وسرعاتها المتجهة متساوية، فأيّ الأسهم ينتج دفعًا أكبر على الهدف؟
   مساعدة: *ارسم مخططًا تبيّن فيه زخم الأسهم قبل وبعد إصابة الهدف.*

3. التقويم

التحقق من الفهم

الدفع الارتدادي اقذف كرة نحو الأرض حتى ترتد عنها. واطلب إلى الطلبة إنشاء رسم تخطيطي لكل من الزخم الابتدائي النهائي والدفع. واسألهم: ما الذي يسبب الدفع؟ الأرض تسبب الدفع. اطلب إليهم أيضًا مقارنة الدفع على كرتين مختلفتين في الكتلة. تصطدم الكرتان بالأرض بالسرعة المتجهة نفسها، ولكن الكرة الأكثر كتلة سوف تمتلك زخمًا أكبر، لذا سوف يكون لها دفع أكبر. م2

التوسّع

الدفع النوعي وضح للطلبة المهتمين بعلم الصواريخ كيف أن الدفع والزخم يسهمان في مبدأ عمل الصاروخ. فالدفع الخاص بالصاروخ هو مقياس تقريبي لسرعة خروج الغاز من الجزء الخلفي للصاروخ. لأن الرحلة الفضائية تُعنى بالتسارع، ويُحدَّد التسارع من خلال الدفع، فكلما كانت سرعة خروج الغاز من العادم أكبر، كان الدفع أكبر. وليس الهدف في تصميم الصواريخ ذات الوقود الكيميائي، هو تقليل كمية الوقود بل زيادة القوة لكل وحدة وقود محترق. م3 منطقي–رياضي

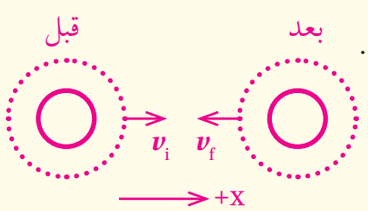
5-1 مراجعة

5. نعم، فالزخم كمية متجهة ويكون زخم السيارتين في اتجاهين متعاكسين.

6. لقد قلّلْتَ القوة المؤثرة في جسمك بزيادة الفترة الزمنية التي استغرقتها القوة في إيقاف حركة جسمك.

7. تمتلك قطرة المطر الساقطة زخمًا أكبر لأنّ ناقلة النفط في وضع السكون تمتلك زخمًا يساوي صفرًا.

8. **a.**



b. 11.1 kg.m/s

c. 11.1 N.s

d. 1.4×10^4 N

9. تنتج الأسهم المرتدة عن الهدف دفعًا أكبر، لأنها تمتلك بعض الزخم أثناء الإرتداد للخلف. وهذا يعني أن التغير في زخمها يكون أكبر.

2–5 حفظ الزخم

1. التركيز

نشاط محفز

جهاز التصادم أحضر جهاز التصادم الذي يتكون من كرات فولاذية معلقة قابلة للاهتزاز، (ست أو سبع كرات معلقة على قضيبين معدنيين متوازيين). واسحب الكرات جميعها إلى الخارج باستثناء كرتين، ثم اسحب واحدة منهما ودعها تصطدم بالكرة الأخرى. واطلب إلى الطلبة أن يصفوا التصادم. ثم كرر التجربة، على أن تدع، هذه المرة، كرة واحدة تصطدم بثلاث كرات. وقبل أن تترك الكرة اسألهم: ما الذي يتوقعونه؟ م 1 **بصري – مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

قوانين نيوتن في الحركة يرتبط قانونا نيوتن الأول والثالث في الحركة بحفظ الزخم. إذ تتطلب التصادمات في بُعدين جمع المتجهات.

2. التدريس

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

نظام الأجسام كانت الأنظمة في البند 1–5 مقتصرة على الأجسام المنفردة. اسأل الطلبة، هل صحيح أن النظام يتكون من جسم واحد فقط؟ لا، فالنظام يمكن أن يحتوي أكثر من جسم واحد، حتى لو لم تكن الأجسام مرتبطة بعضها ببعض. ثم صف لهم نظام الأرض – القمر وكيف يتحرك هذا النظام في مدار حول الشمس كنظام واحد على الرغم من أنّ الأرض والقمر ليسا مرتبطين ببعضهما ماديًا ويتحركان نسبيا إلى بعضهما بعضًا. ولا يعد نظام الأرض – القمر نظامًا مغلقًا بسبب الدور الذي تؤديه الشمس.

في البند الأول من هذا الفصل درست كيف تعمل القوة المؤثرة في جسم خلال فترة زمنية معينة على تغيير زخم كرة التنس، وتعلمت من القانون الثالث لنيوتن أنّ القوى هي نتيجة التفاعلات بين جسمين. فعندما يؤثر المضرب في كرة بقوة فإنّ الكرة تؤثر في المضرب بمقدار القوة نفسها، ولكن في الاتجاه المعاكس. فهل يتغير زخم المضرب؟

الأهداف
- **تربط** بين القانون الثالث لنيوتن وقانون حفظ الزخم.
- **تعرّف** الشروط اللازمة لحفظ الزخم.
- **تحل** مسائل حفظ الزخم.

المفردات
النظام المغلق
النظام المعزول
قانون حفظ الزخم

تصادم جسمين Two - Particle Collisions

عندما يضرب اللاعب كرة تنس فإنّ المضرب ويد اللاعب وذراعيه والأرض التي يقف عليها تتفاعل معًا، لذا لا يمكن اعتبار المضرب جسمًا منفصلاً. ولتسهيل دراسة التصادم يمكن اختبار نظام أبسط مقارنة بهذا النظام المركب، انظر **الشكل 4 – 5** الذي يمثل نظامًا يتكون من كرتين في حالة تصادم.

إن كل كرة تؤثر بقوة في الكرة الأخرى في أثناء عملية تصادم الكرتين معًا، وإن هاتين القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه استنادًا إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة، على الرغم من اختلاف الكرتين في حجميهما وسرعتيهما المتجهتين، وتمثل هاتان القوتان بالمعادلة التالية:

$$\boldsymbol{F}_{\text{C على D}} = -\boldsymbol{F}_{\text{D على C}}$$

كيف تقارن بين الدفع الناتج عن كل من الكرتين؟ بما أنّ الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوتان هي نفسها، فإنّ دفع كلّ من الكرتين يجب أن يكون متساويًا في المقدار ومعاكسًا للآخر في الاتجاه.

كيف يتغير زخم الكرتين نتيجة للتصادم؟ استنادًا إلى نظرية الدفع–الزخم فإنّ التغير في الزخم يساوي الدفع. وبالمقارنة بين تغير زخم الكرتين، فإن تغير الزخم:

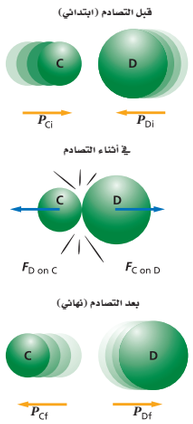
للكرة C هو $\boldsymbol{P}_{\text{Cf}} - \boldsymbol{P}_{\text{Ci}} = \boldsymbol{F}_{\text{D على C}}\,\Delta t$

وللكرة D هو $\boldsymbol{P}_{\text{Df}} - \boldsymbol{P}_{\text{Di}} = \boldsymbol{F}_{\text{C على D}}\,\Delta t$

حيث إن الفترة الزمنية التي تؤثر خلالها القوتان هي نفسها، فإنّ دفع كل من الكرتين متساوٍ في المقدار ومتعاكس في الاتجاه. وبالاعتماد على القانون الثالث لنيوتن في الحركة، فإن $\boldsymbol{F}_{\text{C على D}} = -\boldsymbol{F}_{\text{D على C}}$:

$$\boldsymbol{P}_{\text{Cf}} + \boldsymbol{P}_{\text{Df}} = \boldsymbol{P}_{\text{Ci}} + \boldsymbol{P}_{\text{Di}}$$

وتشير هذه المعادلة إلى أنّ مجموع زخم الكرتين قبل التصادم يساوي مجموع زخميهما بعد التصادم. وهذا يعني أنّ الزخم المكتسب من الكرة D، يساوي الزخم المفقود من الكرة C، فإذا كان النظام يتكوّن من الكرتين، فإنّ زخم النظام يكون ثابتًا (محفوظًا).



الشكل 4 – 5 عندما تصطدم كرتان، تؤثر إحداهما في الأخرى بقوة، وتتغيران زخميهما.

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

شرطي مرور معاينة الحادث المروري يتطلب التحقيق في حوادث السيارات فهم التصادمات، والاحتكاك، وقوانين نيوتن في الحركة. فخبراء إعادة تمثيل الحوادث يعملون بطرق مختلفة لتحديد أسباب حوادث السيارات، مستخدمين أدلة مثل أثر مسارات الإطارات على الأرض. ويؤدون بصورة متكررة دور شهود وخبراء في المحاكم. وقد أنتجت مؤخرًا معدات متخصصة في جمع البيانات وبرمجيات حاسوبية لجعل عملهم أسهل. حيث شكّل هؤلاء الخبراء عشرين منظمة متخصصة على الأقل تساعدهم على تحسين مهاراتهم وتبادل المعلومات فيما بينهم. وتقدم الكليات الأهلية والجامعات برامج تدريب قصيرة للمحققين.

الزخم في نظام مغلق معزول Momentum in a Closed, Isolated System

ما الشروط التي يكون عندها زخم النظام المكون من كرتين محفوظًا؟ إنّ الشرط الأول والأكثر وضوحًا هو أنّه لا توجد كرات تفقد ولا أخرى تُكتسب. فالنظام الذي لا يكتسب كتلة ولا يفقدها يسمى **النظام المغلق**. أما الشرط الثاني لحفظ الزخم في أيّ نظام فهو أن تكون القوى المؤثرة فيه قوة داخلية؛ وهذا يعني أنّه لا توجد قوى تؤثر في النظام من أجسام موجودة خارجه.

وعندما تكون محصلة القوى الخارجية على نظام ما صفرًا، فإن هذا النظام يوصف بأنه **نظام معزول**. ولا يوجد على سطح الكرة الأرضية نظام يمكن وصفه بأنّه معزول تمامًا، بسبب وجود تفاعلات بين النظام ومحيطه. وغالبًا ما تكون هذه التفاعلات صغيرة جدًّا لدرجة أنه يمكن إهمالها عند حل المسائل الفيزيائية.

يمكن للأنظمة أن تحتوي على أيّ عدد من الأجسام. وهذه الأجسام يمكن أن يلتصق بعضها ببعض أو تتفكك عند التصادم. وعلى ذلك فإن **قانون حفظ الزخم** ينص على أن الزخم لأيّ نظام مغلق ومعزول لا يتغير. وهذا القانون سيجعلك قادرًا على الربط بين الشروط قبل التفاعل وبعده دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل هذا التفاعل.

دلالة الألوان

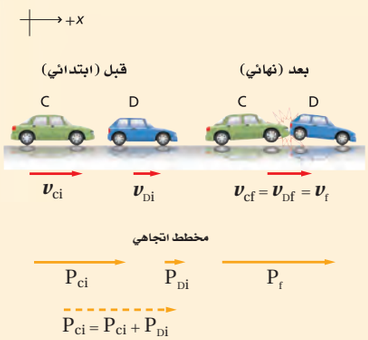
- تكون متجهات الزخم والدفع باللون البرتقالي.
- تكون متجهات القوة باللون الأزرق.
- تكون متجهات التسارع باللون البنفسجي.
- تكون متجهات السرعة باللون الأحمر
- تكون متجهات الإزاحة باللون الأخضر.

مثال 2

السرعة تتحرك سيارة كتلتها 1875 kg بسرعة 23 m/s ، فتصطدم بمؤخرة سيارة كتلتها 1025 kg، تسير على الجليد بسرعة 17 m/s في الاتجاه نفسه، فالتحمت السيارتان إحداهما بالأخرى. ما السرعة التي تتحرك بها السيارتان معًا بعد التصادم مباشرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- تعريف النظام
- بناء نظام إحداثيات
- رسم الوضع الذي يمثل السيارتين قبل التصادم وبعده.
- رسم مخطط لمتجهات الزخم.



المعلوم	المجهول
$m_C = 1875\ kg$	$v_f = ?$
$v_{Ci} = +23\ m/s$	
$m_D = 1025\ kg$	
$v_{Di} = +17\ m/s$	

المناقشة

سؤال كيف ترتبط قوانين نيوتن في الحركة بكل من النظامين المغلق والمعزول لجسمين متصادمين؟

الجواب يتبع الجسمان القانون الثالث لنيوتن في الحركة عند تصادمهما. فكل جسم يؤثر في الآخر بقوة، وتكون القوتان متساويتين مقدارًا ومتعاكستين في الاتجاه. وسوف يستمر الجسمان في الحركة معًا، وإذا استطعت حساب مركز الكتلة للنظام، فسوف تجد أنه يتحرك بسرعةٍ ثابتة قبل التصادم وخلاله وبعده، وفقًا للقانون الأول لنيوتن في الحركة. م2

مثال صفي

سؤال تتحرك سيارة كتلتها 1875 kg بسرعة 23 m/s، فتصطدم بسيارة أخرى كتلتها 1025 kg متحركة بسرعة 17 m/s باتجاه معاكس للسيارة الأولى، فالتحمت السيارتان وتحركتا على الجليد ، فما سرعة السيارتين الملتحمتين بعد التصادم؟

الإجابة

$$v_f = \frac{(1875\ kg)(23 m/s) + (1025\ kg)(-17 m/s)}{(1875\ kg + 1025 kg)}$$

$$v_f = 8.9\ m/s$$

لاحظ أن هذه السرعة أبطأ من السرعة الناتجة عن تصادم السيارتين في المثال 2.

نشاط — من معلم لآخر

الدرع الواقي من القوة ضع كتلة كبيرة في يدك، ثم اضربها بمطرقة صغيرة. وبيّن للطلاب أن هذه الضربة لم تؤذ يدك؛ وذلك بفعل حفظ الزخم. فكتلة الجسم الكبيرة الموضوعة في يدك مقارنةً بكتلة المطرقة، تسبب تحول السرعة الكبيرة للمطرقة إلى سرعة صغيرة للجسم، لذا لا تتضرر يدك. م2 منطقي – رياضي

2 إيجاد الكمية المجهولة

الزخم محفوظ لأنّ الجليد يجعل القوة الخارجية الكلية على السيارتين صفرًا تقريبًا.

$$P_i = P_f$$

$$P_{Ci} + P_{Di} = P_{Cf} + P_{Df}$$

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = m_C v_{Df} + m_D v_{Df}$$

بما أن السيارتين التحمتا معًا بعد التصادم فتكون سرعتاهما المتجهتان (v_f) متساويتين.

$$v_{Cf} = v_{Df} = v_f$$

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = (m_C + m_D) v_f$$

بالتعويض عن $m_c = 1875\ \text{kg}$, $v_{ci} = +23\ \text{m/s}$

$m_D = 1025\ \text{kg}$, $v_{Di} = +17\ \text{m/s}$

$$v_f = \frac{(m_C v_{Ci} + m_D v_{Di})}{(m_C + m_D)}$$

$$= \frac{(1875\ \text{kg})(+23\ \text{m/s}) + (1025\ \text{kg})(+17\ \text{m/s})}{(1875\ \text{kg} + 1025\ \text{kg})}$$

$$= +21\ \text{m/s}$$

3 تقويم الإجابة:

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بـ m/s، وكان الجواب بهذه الوحدة m/s نفسها.
- **هل يوجد معنى للاتجاه؟** v_i و v_f ، في الاتجاه الموجب، لذا يجب أن تكون v_f موجبة أيضًا.
- **هل الجواب منطقي؟** إنّ مقدار السرعة النهائية v_f يقع بين سرعة كل من السيارتين قبل التصادم، ولكنه أقرب إلى سرعة السيارة الكبيرة، وهذا منطقي.

مسائل تدريبية

10. يتحرك قرص لعبة هوكي كتلته 0.105 kg بسرعة 24 m/s ، فيمسك به حارس مرمى كتلته 75 kg في حالة سكون. ما السرعة التي ينزلق بها حارس المرمى على الجليد؟

11. تصطدم رصاصة كتلتها 35.0 g بقطعة خشب ساكنة كتلتها 5.0 kg، فتستقر فيها، فإذا تحركت قطعة الخشب والرصاصة معًا بسرعة 8.6 m/s، فما السرعة الابتدائية للرصاصة قبل التصادم؟

12. أطلقت رصاصة كتلتها 35.0 g بسرعة 475 m/s ، فاصطدمت بكيس من الطحين كتلته 2.5 kg موضوع على الجليد في حالة سكون، فاخترقت الرصاصة الكيس، انظر إلى **الشكل 5 – 5**، وخرجت منه بسرعة 275 m/s ما سرعة الكيس لحظة خروج الرصاصة منه؟

الشكل 5–5

13. تحركت كرة كتلتها 0.50 kg بسرعة 6.0 m/s فاصطدمت بكرة أخرى كتلتها 1.00 kg، وتتحرك في الاتجاه المعاكس بسرعة مقدارها 12.0 m/s، فارتدت الكرة الأقل كتلة إلى الخلف بسرعة مقدارها 14 m/s بعد التصادم. أوجد مقدار سرعة الكرة الأخرى بعد التصادم.

مسائل تدريبية

10. 0.034 m/s

11. 1.2×10^3 m/s

12. 2.8 m/s

13. 2.0 m/s في الاتجاه نفسه.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

دفع الصاروخ عندما بدأ روربرت جودارد Robert Goddard تجاربه على الصاروخ، قالت صحيفة مشهورة إن تجاربه محكوم عليها بالفشل، وذلك لأنّه كما يعلم أيّ طالب في الصفوف العليا، فإن الصاروخ لا يتحرك إلا إذا دفعت الغازات المقذوفة الهواء، وأنه لا يوجد هواء في الفضاء. فكيف إذن ستتحرك الصواريخ؟ لقد كانت الصحيفة مخطئة تمامًا: فالغازات المقذوفة من الصاروخ لا تدفع الهواء، وإنما تدفع الصاروخ نفسه، وعليه فيتقدم الصاروخ إلى الأمام ويتسارع. م 2

استعمال النماذج

الصاروخ متعدد المراحل صمّم نموذجًا لصاروخ متعدد المراحل مستعينًا بأربعة طلبة أو أكثر على زلاجات. على أن يكونوا ذوي أوزان مختلفة، ويصطفوا في خط مستقيم، ويكون أخفهم وزنًا في المقدمة، ويضع كل طالب يديه على كتفي الطالب الموجود أمامه، على أن يكون ثانيًا مرفقيه. يقوم الطالب الأخير بدفع الطالب الموجود أمامه باتجاه الطالب الأول ثم يترك المجموعة، يمثل هذا انبعاث الغازات في المرحلة الأولى لانطلاق الصاروخ. سوف يتحرك بقية الطلبة ببطء إلى الأمام، وبعد فترة قصيرة يدفع الطالب الذي أصبح في آخر الصف الأخير الطالب الذي يقف أمامه مرة أخرى، وتستمر هذه العملية حتى يندفع جميع الطلبة. يمثل الطالب الأول والأقل وزنًا الحمولة، كما ينبغي في نهاية المطاف أن يتحرك بصورة سريعة جدًا. (تحذير: يجب أن يرتدي الطلبة ملابس آمنة، وأن يزيل العوائق من المنطقة ويؤدي النشاط بحذر). م 1 **حسي - حركي**

معلومة للمعلم

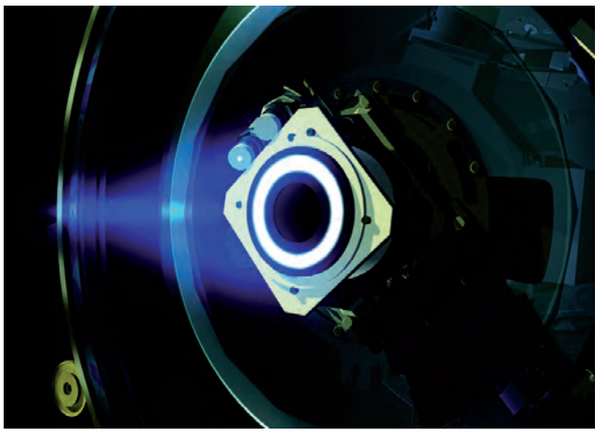
الفيزياء في الحياة

البقعة المرغوبة تُصمَّم مضارب التنس بحيث تزيد من سرعة الكرة، وتساعد اللاعب على السيطرة على اتجاه الكرة، وتقلل قوة المضرب المؤثرة في يد اللاعب أيضًا. ويستعمل اللاعبون تعبير (البقعة المرغوبة) للدلالة على الموقع الموجود على المضرب والتي يشعر عندها اللاعب بالراحة عندما يضرب الكرة. فعندما تضرب الكرة عند البقعة المرغوبة يقل التردد العالي لاهتزازات المضرب. ويكون معامل الارتداد (COR) عند هذه النقطة كبيرًا أيضًا. ويُقاس معامل الارتداد من خلال إسقاط كرة على مضرب محمول ومقبوض بقوة. ويُعرَّف معامل الارتداد على أنه النسبة بين مقدار السرعة المتجهة للكرة عندما ترتد عن المضرب إلى مقدار سرعتها المتجهة قبل أن تصطدم به.

الدفع في الفضاء Propulsion in Space

كيف تتغير السرعة المتجهة للصاروخ في الفضاء؟ يزوَّد الصاروخ بالوقود و المواد المؤكسدة، وعندما يمتزجان معًا في محرك الصاروخ تنتج غازات حارة نتيجة الاحتراق، وتخرج من فوهة العادم بسرعة كبيرة. فإذا كان الصاروخ والموادّ الكيميائية هما النظام؛ فإن هذا النظام يكون مغلقًا، وتكون القوى التي تنفث الغازات قوى داخلية، لذا يكون النظام معزولاً أيضًا. ولذا، فإنّ الأجسام الموجودة في الفضاء يمكنها أن تتسارع، باستخدام قانون حفظ الزخم والقانون الثالث لنيوتن في الحركة.

يحلق مسبار ناسا الفضائي والذي يسمى "Deep Space 1" في اتجاه كويكب منذ عدة سنوات. و التقنية غير العادية على متنه هي المحرك الأيوني الذي يؤثر بقوة مماثلة للقوة الناتجة من ورقة مستقرة على يد شخص. والمحرك الأيوني الذي يظهر في **الشكل 6–5**، يعمل بشكل مختلف عن محرك الصاروخ التقليدي. ففي المحرك التقليدي للصاروخ تندفع نواتج التفاعل الكيميائي التي تحدث داخل حجرة الاحتراق بسرعة عالية من الجزء الخلفي للصاروخ. أما في المحرك الأيوني فإنّ ذرات من الزينون تنطلق بسرعة مقدارها 30 km/s ، مولدة قوة مقدارها 0.092 N فقط. ولكن كيف يمكن لمثل هذه القوة الصغيرة أن تنتج تغيرًا كبيرًا في زخم المسبار؟ على عكس الصواريخ الكيميائية التقليدية والتي يعمل محركها لدقائق قليلة فقط، فإنّ المحرك الأيوني في المسبار يمكن أن يعمل لأيام، أو أسابيع أو حتى أشهر. لذا فإنّ الدفع الذي يوفّره المحرك كبير بدرجة كافية تسمح بزيادة زخم المركبة الفضائية التي كتلتها 490 kg حتى تصل إلى السرعة المطلوبة لإنجاز مهمتها.



الشكل 6 – 5 تتأين ذرات الزينون الموجودة في محرك الأيونات عن طريق قذفها بالإلكترونات، ثم تُسرَّع الأيونات الموجبة إلى سرعات عالية.

تجربة

ارتفاع الارتداد

زخم أيّ جسم يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة.

1. أسقط كرة مطاطية من ارتفاع 15 cm فوق طاولة.
2. سجل ارتفاع ارتداد الكرة.
3. أعد الخطوتين 1 و 2 مستخدمًا كرة مطاطية أصغر.
4. ارفع الكرة الصغيرة وضعها فوق الكرة الكبيرة على أن تكونا متصلتين معًا.
5. اترك الكرتين لتسقطا معًا من الارتفاع نفسه.
6. قس ارتفاع ارتداد كلتا الكرتين معًا.

حلّل ثم استنتج

7. صف ارتفاع ارتداد كل من الكرتين عندما تسقط كل كرة على حدة.
8. قارن بين ارتفاعات الارتداد في الخطوتين 6 و7.
9. فسّر ملاحظاتك.

تجربة

ارتفاع الارتداد

الهدف ملاحظة ارتفاع ارتداد كرات مطاطية تسقط منفردة ومجتمعة وقياس ارتفاعاتها والمقارنة بينها.

المواد والأدوات كرة صلبة صغيرة مطاطية كتلتها 250g وأخرى كبيرة كتلتها 500g، ومسطرة مترية.

***تحذير:** عندما تسقط الكرتان معًا تأكد من ابتعاد الطلبة عن مكان الارتداد.*

النتائج المتوقعة ستختلف ارتفاعات الكرات عند ارتدادها حسب نوع الكرات المطاطية المستعملة. وعلى أية حال، فإنّ (75–80)% من الارتدادات تكون مثالية للكرات المنفردة. على حين سترتد الكرة الصغرى عند إسقاط الكرات مجتمعة إلى ارتفاعات أعلى بأربع مرات تقريبًا، في حين سترتد الكرة الكبرى إلى ارتفاع أقل.

التحليل والاستنتاج

7. ستختلف الإجابات، سوف ترتد الكرة الصغيرة والكرة الكبيرة إلى 80% من الارتفاع الذي أُسقطتا منه.
8. ستختلف الإجابات، سوف ترتد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع أقل من الكرة الصغيرة، فهنا سوف ترتد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع 3 cm تقريبًا من 15 cm، بينما ترتد الكرة الصغيرة إلى ارتفاع 60 cm تقريبًا.
9. تحول الزخم من الكرة الكبيرة إلى الكرة الصغيرة مسببًا ارتداد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع أقل ولكن الكرة الصغيرة تمتلك كتلة أقل فترتد إلى ارتفاع أعلى. وهكذا، يكون الزخم محفوظًا خلال التصادم.

نشاط — طرائق تدريس متنوعة

إعاقة بصرية دع الطلبة يشعروا بالارتداد، لذا انفخ بالونًا واطلب إلى أحدهم الإمساك بفوهته جيدًا حتى لا يخرج الهواء، ثم دعه يضع الجهة المعاكسة من البالون على راحة يده، واطلب إليه أن يفتح فوهة البالون لينطلق الهواء منه، على أن يشعر الطالب بقوة الهواء في البالون على يده. سيندفع البالون إلى الأمام بفعل قوة الهواء المؤثرة على مقدمته من الداخل وبذلك سيفقد اتزانه بفعل قوة الهواء على مؤخرة البالون بسبب اندفاع الهواء من الفوهة.

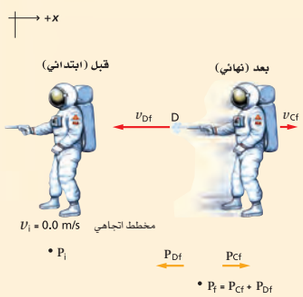
م ٢ حسي - حركي

مثال 3

مقدار السرعة أطلق رائد فضاء في حالة سكون غازًا من مسدس دفع، ينفث 35 g من الغاز الساخن بسرعة 875 m/s فإذا كانت كتلة رائد الفضاء والمسدس معًا 84 kg، فكم تكون سرعة رائد الفضاء؟ وفي أيّ اتجاه يتحرك بعد أن يطلق الغاز من المسدس؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- تعريف النظام
- بناء محور إحداثيات
- رسم الظروف "قبل" و"بعد"
- رسم مخطط يبين متجهات الزخم.



المعلوم	المجهول
$m_C = 84$ kg	$v_{cf} = ?$
$m_D = 0.035$ kg	
$v_{Ci} = v_{Di} = +0.0$ kg	
$v_{Df} = -875$ m/s	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يتكون النظام من رائد الفضاء، والمسدس، والمواد الكيميائية التي أنتجت الغاز.

قبل أن يطلق المسدس الغاز كانت جميع أجزاء النظام في حالة سكون، لذا يكون الزخم الابتدائي صفرًا.

$$P_i = P_{Ci} + P_{Di} = +0.0 \text{ kg.m/s}$$

نستعمل قانون حفظ الزخم لإيجاد P_f

زخم رائد الفضاء يساوي زخم الغاز المنطلق من المسدس في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.

$$P_i = P_f$$
$$+0.0 \text{ kg.m/s} = P_{Cf} + P_{Df}$$
$$P_{Cf} = -P_{Df}$$

نحل لإيجاد السرعة المتجهة النهائية للرائد، v_{Cf}.

$$m_C v_{Cf} = -m_D v_{Df}$$
$$v_{Cf} = \left(\frac{-m_D v_{Df}}{m_C}\right)$$

بالتعويض عن $m_D = 0.035$ kg , $v_{Df} = -875$ m/s , $m_C = 84$ kg

$$= \frac{(-0.035 \text{ kg})(-875 \text{ m/s})}{84 \text{ kg}}$$
$$= +0.36 \text{ m/s}$$

3 تقويم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بـ m/s، والجواب كان بوحدة m/s.
- **هل للاتجاه معنى؟** إنّ سرعة الرائد المتجهة في الاتجاه المعاكس لاتجاه انبعاث الغاز.
- **هل الجواب منطقي؟** إنّ كتلة الرائد أكبر كثيرًا من كتلة الغاز المنبعث، لذا فإنّه من المنطقي أن تكون سرعة الرائد المتجهة أقل بكثير من سرعة الغاز المتجهة.

مثال صفي

سؤال ماذا لو كانت كتلة رائد الفضاء في (المثال 3) 62 kg فقط؟ وكم ستصبح السرعة النهائية له؟

الإجابة

يمكن استخدام التحليل نفسه والمعادلة الأخيرة، ولكن بكتلة مختلفة:

$$v_{cf} = \left(\frac{-m_D v_{Df}}{m_c}\right) = \left(\frac{-(0.035 \text{ kg})(-875 \text{ m/s})}{62 \text{ kg}}\right)$$
$$= 0.49 \text{ m/s}$$

تجربة إضافية

التصادم والزخم

الهدف استخدام قانون حفظ الزخم لإيجاد السرعة المتجهة.

المواد والأدوات صندوق من الورق المقوى، ومادة حشو، وكرة مطاطية، ومسطرة مترية، وميزان نابضي مدرج بالنيوتن، وميزان ذو كفة واحدة.

الخطوات

1. ضع مادة الحشو في الصندوق المقوى بحيث تبقى كرة البيسبول في الصندوق عندما ترمي بها، وجهز جدولاً للبيانات.
2. قس كتلة الصندوق ومادة الحشو وسجلها، ثم ضع الصندوق على أرض ملساء وأشر إلى موضعه الابتدائي.
3. ارمِ الكرة نحو الصندوق وقس المسافة التي يتحركها الصندوق والكرة، وسجلها في الجدول.
4. قس قوة الاحتكاك وذلك باستخدام الميزان النابضي لسحب الصندوق والكرة على السطح بسرعة ثابتة، وسجل البيانات.
5. قس كتلة الصندوق مع الحشوة والكرة وسجلها.

التقويم اطلب إلى الطلبة استخدام قانون حفظ الزخم ومعادلات الحركة التي درسوها سابقًا لحساب سرعة الكرة قبل أن تصطدم بالصندوق. استعمل $F=ma$ لحساب التسارع السالب للصندوق والكرة عندما تنزلقان على السطح. واستعمل $v_2^2 = 0 = v_1^2 + 2ad$ لحساب سرعتهما المتجهة الابتدائية. مساعدة: إن زخم الكرة قبل التصادم يساوي زخم الكرة ومادة الحشو والصندوق بعد التصادم.

مسائل تدريبية

14. أطلق نموذج لصاروخ كتلته 4.00 kg، بحيث نفث 50.0 g من الوقود المحروق من العادم بسرعة مقدارها 625 m/s، فما سرعة الصاروخ المتجهة بعد احتراق الوقود؟ مساعدة: أهمل القوتين الخارجيتين الناتجتين عن الجاذبية ومقاومة الهواء.

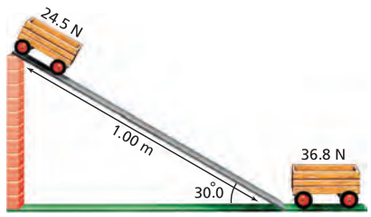
15. تربط عربتان بينهما نابض مضغوط بخيط كي لا تتحركا. عند احتراق الخيط اندفعت العربتان في اتجاهين متعاكسين، فإذا اندفعت إحدى العربتين والتي كتلتها 1.5 kg بسرعة متجهة 27 m/s إلى اليسار، فما السرعة المتجهة للعربة الأخرى والتي كتلتها 4.5 kg ؟

5-2 مراجعة

16. **السرعة** تحركت عربة وزنها 24.5 N من السكون على مستوى مائل طوله 1.0 m ويميل بزاوية 30.0° بالنسبة للأفقي. انظر إلى **الشكل 7–5**. فإذا اندفعت العربة على المستوى المائل إلى الأمام، وصدمت عربة أخرى وزنها 36.8 N، موضوعة عند أسفل المستوى المائل.

a. احسب مقدار سرعة العربة الأولى عند أسفل المستوى المائل.

b. إذا التحمت العربتان معًا، فما سرعة انطلاقهما بعد التصادم؟



الشكل 7 – 5

17. **حفظ الزخم** يستمرّ مضرب لاعب كرة التنس في التقدم إلى الأمام بعد ضرب الكرة، فهل يكون الزخم محفوظًا في التصادم؟ فسّر ذلك، وتنبه إلى أهمية تعريف النظام.

18. **الزخم** يركض لاعب القفز بالزانة في اتجاه نقطة الانطلاق بزخم أفقي. فمن أين يأتي الزخم الرأسي عندما يقفز اللاعب فوق العارضة؟

19. **الزخم الابتدائي** ركض لاعبان في مباراة كرة قدم من اتجاهين مختلفين فاصطدما وجهًا لوجه عندما حاولا ضرب الكرة برأسيهما، فاستقرا في الجو، ثم سقطا على الأرض. صف زخميهما الابتدائيين.

20. **التفكير الناقد** إذا التقطت كرة وأنت واقف على لوح تزلج فسوف تندفع إلى الخلف. أما إذا كنت تقف على الأرض فإنه يمكنك تجنب الحركة عندما تلتقط الكرة. اشرح كلتا الحالتين باستخدام قانون حفظ الزخم، موضحًا أي نظام استخدمت في كلتا الحالتين.

مسائل تدريبية

14. 7.91 m/s

15. 9.0 m/s إلى اليمين

3. التقويم

التحقق من الفهم

تناسب الزخم دع الطلبة يقدروا مقدار الزخم الخطي الذي تكتسبه الأرض عندما يقفز شخص في الهواء وذلك باستخدام مبدأ حفظ الزخم. إذا قفز شخص إلى فوق 0.80 m، فتكون سرعته المتجهة عندما يترك الأرض هي 4.0 m/s، فإذا كانت كتلته 60.0 kg فإن الزخم يساوي 240 kg.m/s. ثم اسأل الطلبة السؤال التالي: ما التغير الذي سيحدث للسرعة المتجهة للأرض؟ إن كتلة الأرض تساوي 6.0×10^{24} kg لذا يجب أن تكون سرعتها المتجهة 4.0×10^{-23} m/s ماذا سيحدث للسرعة المتجهة للأرض لو أنّ مليون شخص قفزوا معًا؟ سيكون التغير في السرعة المتجهة 4.0×10^{-17} m/s **م 2 منطقي – رياضي**

5-2 مراجعة

16. **a.** 3.13 m/s **b.** 1.25 m/s

17. لا، وذلك لأن كتلة المضرب أكبر كثيرًا من كتلة الكرة، ويتطلب تغيرًا صغيرًا في سرعته. بالإضافة إلى أنّه يبقى محمولاً بكتلة كبيرة وهي الذراع المتحركة المرتبطة بالجسم المتصل بالأرض. وهكذا فإن المضرب والكرة لا يشكلان نظامًا معزولاً.

18. يأتي الزخم الرأسي من قوة دفع الأرض للزانة.

19. لأن الزخم النهائي لهما يساوي صفرًا فإن الزخم الابتدائي لهما متساوٍ في المقدار ومتعاكس بالاتجاه.

20. في حالة لوح التزلج، فإنك والكرة ولوح التزلج تشكلون نظامًا معزولًا، ويكون زخم الكرة مشتركًا. أما في الحالة الثانية، فبالرغم من أن الارض متضمنة إلا انه توجد قوة خارجية، لذا يكون الزخم غير محفوظ.

مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة.

المهارات العمليّة التفسير، والقياس باستعمال النظام العالمي للوحدات SI، وتفسير البيانات، والتحليل، واستخلاص النتائج، وإنشاء الرسوم البيانية واستعمالها.

احتياطات السلامة إذا نفّذ الطلبة التجربة فذكّرهم بأن يبتعدوا عن الكتل الساقطة.

الموادّ البديلة إذا نفّذ الطلبة هذه التجربة في المختبر بدلاً من الإنترنت فسوف تحتاج إلى أربع عربات مختبر، 50 g من الصلصال، أو مسطرة مترية وكاميرا فيديو.

استراتيجيّات التدريس

- راجع الأمثلة مع الطلبة ليتدربوا على الحل ويجدوا الزخم.

مختبر الفيزياء

الاصطدامات الملتحمة

في هذا النشاط تصطدم عربة متحركة بعربة ثابتة، فتلتحمان معًا في أثناء التصادم. سوف تقيس كلًّا من السرعة المتجهة وكتلة العربتين قبل التصادم وبعده، ثم تحسب الزخم قبل التصادم وبعده.

سؤال التجربة

كيف يتأثر زخم نظامٍ ما بالاصطدام الملتحم؟

الأهداف

- **تصف** كيفية انتقال الزخم في أثناء التصادم.
- **تحسب** الزخم المطلوب.
- **تفسر** البيانات الناتجة عن التصادم.
- **تستخلص** نتائج تدعم قانون حفظ الزخم.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

استخدام الإنترنت

الخطوات

1. اعرض مقطع الفيديو 1 للفصل 2 الموجود على الموقع: physicspp.com / internet_lab لتحديد كتل العربات.
2. سجل كتلة كل عربة.
3. شاهد مقطع الفيديو 2: العربة 1 تصدم العربة 2.
4. بمثل كل ثلاثة أسطر في مقطع الفيديو 0.1 s، وتتباعد الخطوط المتشابكة الرئيسة مسافة 10 cm. سجل المسافة التي قطعتها العربة 1 في 0.1 s قبل التصادم، في جدول البيانات.
5. تابع مشاهدة التصادم، وسجل المسافة التي تحركتها العربتان الملتحمتان خلال 0.1 s بعد التصادم.
6. أعد الخطوات 3–5 من مقطع الفيديو 3، حيث تصطدم العربتان 1 و 3 بالعربة 2.
7. أعد الخطوات 3–5 إلى مقطع الفيديو 4، حيث تصطدم العربة 1 بالعربتين 2 و 3.
8. أعد الخطوات 3–5 من مقطع الفيديو 5، حيث تصطدم العربتان 1 و 3 بالعربتين 2 و 4.

عينة بيانات

رقم العربة	الكتلة (g)
1	4.35×10^2
2	4.25×10^2
3	3.83×10^2
4	4.16×10^2

المسافة المقطوعة للوصول (cm)	السرعة المتجهة الابتدائية (cm/s)	كتلة العربات الواصلة (g)	الزخم الابتدائي (g.cm/s)
9.00	90.0	4.35×10^2	4.00×10^4
9.00	90.0	8.18×10^2	7.00×10^4
10.0	1×10^2	4.35×10^2	4.00×10^4
9.00	90.0	8.18×10^2	7.00×10^4

المسافة المقطوعة خلال المغادرة (cm)	السرعة المتجهة النهائية (cm/s)	كتلة العربات المغادرة (g)	الزخم النهائي (g.cm/s)
5.00	50.0	8.60×10^2	4.00×10^4
6.0	60.0	1.24×10^3	7.00×10^4
3.00	30.0	1.24×10^3	4.00×10^4
4.00	40.0	1.66×10^3	7.00×10^4

جدول البيانات

رقم العربة	الكتلة (kg)
1	
2	
3	
4	

زمن الوصول (s)	المسافة المقطوعة للوصول (cm)	السرعة المتجهة الابتدائية (cm/s)	كتلة العربات الواصلة (g)	الزخم الابتدائي (g. cm/s)	زمن المغادرة (s)	المسافة المقطوعة خلال المغادرة (cm)	السرعة المتجهة النهائية (cm/s)	كتلة العربات المغادرة (g)	الزخم النهائي (g. cm/s)
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				

التحليل

1. احسب السرعات المتجهة الابتدائية والنهائية لكل نظام من العربات.
2. احسب الزخم الابتدائي والنهائي لكل نظام من العربات.
3. **استخدام الرسوم البيانية** مثّل الزخم النهائي والزخم الابتدائي لجميع مقاطع الفيديو في رسمٍ بياني.

الاستنتاج والتطبيق

1. ما العلاقة بين الزخم الابتدائي والزخم النهائي لأنظمة العربات في التصادمات الملتحمة؟
2. ماذا يُمثل ميل الخط في رسمك البياني نظريًّا؟
3. يمكن للأرقام في البيانات الابتدائية والنهائية ألاّ تكون نفسها في الواقع. ويعود هذا إلى دقة الأدوات، والاحتكاك، وعوامل أخرى. فهل يكون الزخم الابتدائي أكبر أم أقل من الزخم النهائي؟ فسّر إجابتك.

التوسع في البحث

1. صف، كيف ستبدو بيانات السرعة المتجهة والزخم إذا لم تلتحم العربات معًا، بل ارتدّ بعضها عن بعض.
2. صمّم تجربة لتختبر تأثير الاحتكاك في أنظمة العربات في أثناء التصادم. توقع كيف يختلف ميل الخط في الرسم البياني عمّا في التجربة، ثم اختبر تجربتك.

الفيزياء في الحياة

1. افترض أن لاعبًا في مباراة كرة قدم اصطدم بلاعب آخر في وضع السكون، فالتحما معًا. ما الذي يحدث للسرعة المتجهة للنظام المكون من اللاعبين إذا كان الزخم محفوظًا؟
2. إذا ضربت سيارة متحركة مؤخرة سيارة ثابتة والتحمتا معًا، فما الذي يحدث للسرعتين المتجهتين لكل من السيارتين؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

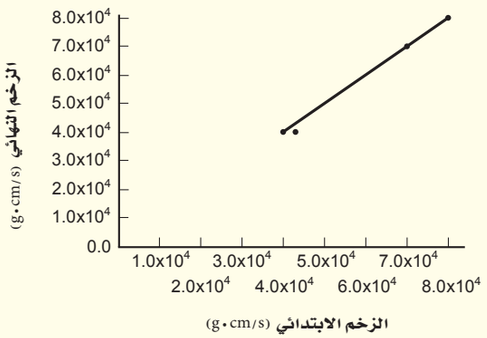
لمعرفة المزيد عن الزخم وحفظه، زُر الموقع الإلكتروني
www.obeikaneducation.com

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اطلب إلى كل طالب أن يصمم تجربة تختبر قانون حفظ الزخم وينفذها عمليًا. يستطيع الطلبة دراسة التصادمات الملتحمة، والتصادمات غير المتلحمة. دع الطلبة يطوروا خطواتٍ لإيجاد حلّ للسؤال التالي: "هل الزخم محفوظ في التصادم بين جسمين؟"، ودعهم يوسعوا دراستهم لرؤية فيما إذا كان بإمكانهم تطبيق نتائجهم على التصادم بين ثلاثة أجسام. كما يتعين على الطلبة أن يصفوا خططهم وأي احتياطات ضرورية قبل أن يبدؤوا بالدراسة.

التحليل

1. العربة 1:	90 cm /s	العربة 2	90 cm /s
العربة 3	100 cm /s	العربة 4	90 cm /s
2. العربة 1:	$P_i = 4 \times 10^4$ g.cm/s	$P_f = 4 \times 10^4$ g.cm/s	
العربة 2:	$P_i = 7.0 \times 10^4$ g.cm/s	$P_f = 7.0 \times 10^4$ g.cm/s	
العربة 3:	$P_i = 4.3 \times 10^4$ g.cm/s	$P_f = 4.0 \times 10^4$ g.cm/s	
العربة 4:	$P_i = 8.0 \times 10^4$ g.cm/s	$P_f = 8.0 \times 10^4$ g.cm/s	



الاستنتاج والتطبيق

1. يكون الزخم الابتدائي والنهائي متساويين ضمن أخطاء القياس.
2. يجب أن يكون ميل الخط المستقيم في الرسم البياني الذي يمثل العلاقة بين الزخم النهائي والزخم الابتدائي مساويًا 1.0.
3. سوف يكون الزخم الابتدائي أكبر قليلاً من الزخم النهائي، وذلك لأن الزخم في هذا النظام يمكن أن يفقد بفعل القوى الخارجية المؤثرة في النظام، مثل الاحتكاك على محاور العربة.

التوسع في البحث

يمكن أن لا تمتلك العربات الواصلة سرعة متجهة، أو أن تمتلك سرعة متجهة سالبة بعد التصادم، ويمكن أن تمتلك العربات المغادرة سرعة مساوية أو أكبر اعتمادًا على حجم العربتين.

الفيزياء في الحياة

1. إن السرعة المتجهة للاعبين معًا بوصفها نظامًا واحدًا سوف تكون أقل من سرعة اللاعب الأول وحده.
2. عندما تصطدم سيارة متحركة بسيارة ساكنة من الخلف، تقل سرعة السيارة المتحركة وتتحرك السيارة الساكنة وتزداد سرعتها.

الخلفيّة العلمية

ما زالت الجهود جارية لإطلاق الشراع الشمسي الأول "Cosmos 1"، من غواصة نووية روسية، وتعد أول مهمة فضائية دولية ممولة من القطاع الخاص في التاريخ. وقد كتب عن الأشرعة الشمسية في كتب الخيال العلمي، وتحدث عنها العلماء، ولكن لم يتم بناء أو إطلاق أيّ شراع شمسي حتى الآن.

الهدف من هذه المهمة هو إطلاق أول رحلة للشراع الشمسي والتي يمكن أن تؤدي إلى التحليق بين النجوم في أحد الأيام. الأشرعة الشمسية تستخدم التكنزلوجياالتي تسمح بالتنقل البعيد في الفضاء واكتشاف النجوم البعيدة. وستستعمل الفوتونات الليزرية لهذه المهام المستقبلية أكثر من الفوتونات الشمسية؛ لأن المركبة الفضائية ستكون بعيدة جدًا عن إشعاع ضوء الشمس. وتعد المهمة ناجحة إذا كانت المركبة الفضائية خلال تحليقها قادرة على زيادة زخمها وهي في مدارها باستخدام ضغط ضوء الشمس – الزخم المنقول بفعل الفوتونات المنعكسة-. وربما ستكون هذه الخطوة صغيرة، ولكن ستكون الخطوة الأولى من الأرض إلى النجوم.

استراتيجيّات التدريس

- اطلب إلى الطلبة تصميم نموذج أولي للأشرعة الشمسية، ويمكنهم العمل في مجموعات صغيرة للتحقق من صحة تصاميمهم الشمسية، ثم تطبيق ما يكتشفونه لتطويرها. واطلب إليهم أيضًا عمل نماذج أو رسوم تخطيطية لعرضها على الصف، على أن يستعد الطلبة للإجابة عن أسئلة المستمعين.
- دع الطلبة المهتمين أن يكتبوا قصص خيال علمي تدمج بين التنقل في الفضاء والأشرعة الشمسية.

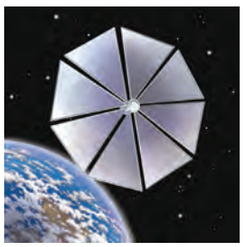
المناقشة

الإبحار الشمسي والرياح الشمسية أشر إلى المفهوم غير الصحيح بأنّ الإبحار الشمسي يتضمن الانزلاق بوساطة الرياح الشمسية. ففي الحقيقة، يؤدي الشراع الشمسي إلى ضغط أشعة الشمس؛ حيث يستخدم الزخم المنقول بوساطة الفوتونات المنعكسة، على حين تنتج الرياح الشمسية من ناحية أخرى بفعل الإلكترونات والبروتونات المنبعثة من الشمس عند الانفجارات النووية الهيدروجينية. إذ تتدفق الجسيمات بعيدًا عن الشمس خلال النظام الشمسي ويكون ضغط ضوء الشمس أكبر بمقدار يتراوح بين 1000 إلى 10000 مرة من ضغط الرياح الشمسية.

الإبحار الشمسي Solar Sailing

لاحظ يوهانس كبلر **قبل 400 سنة تقريبًا** أنّ ذيول المذنبات تبدو وكأنها واقعة تحت تأثير ريح خفيفة مصدرها هبّات قادمة من الشمس، فاعتقد أنّ السفن ستكون قادرة على التنقل في الفضاء بوساطة أشرعة مصممة لالتقاط هذه الهبّات، ومن هنا وُلدت فكرة الأشرعة الشمسية.

كيف يعمل الشراع الشمسي؟ الشراع الشمسي مركبة فضائية دون محرك؛ حيث يعمل الشراع وكأنه مرآة عملاقة حرة الحركة من النسيج. وتصنع الأشرعة الشمسية عادة من غشاء من البولستر والألومنيوم سمكه 5 مايكرون، أو غشاء من البولي أميد مع طبقة من الألومنيوم سمكها 100 nm يتم ترسيبها بالتساوي على أحد الوجهين لتشكّل سطحًا عاكسًا.



رسم تنبؤي لكيفية ظهور Cosmos 1، الشراع الشمسي الأول في الفضاء.

توفر أشعة الشمس المنعكسة قوة للصواريخ بدلًا من الوقود، حيث تتكون أشعة الشمس من جسيمات تسمى فوتونات، تنقل الفوتونات زخمها إلى الشراع عندما ترتد عنه بعد اصطدامها به. لكن اصطدام الفوتونات يولد قوة صغيرة مقارنة بالقوة التي يولدها وقود الصواريخ، وكلما زاد اتساع الشراع حصل على قوة أكبر من اصطدام عدد أكبر من الفوتونات، ولذلك تصل أبعاد الأشرعة الشمسية إلى ما يقرب من الكيلومتر.

الإبحار الشمسي وسرعة الشراع الشمسي تستمر الشمس في تزويد الشراع بالفوتونات بكميات ثابتة تقريبًا طوال وقت الرحلة الفضائية، مما يسمح للمركبة الفضائية بالوصول إلى سرعات عالية بعد فترة من بدء الارتحال. وبالمقارنة بالصواريخ التي تحمل كميات كبيرة من الوقود لدفع كتل كبيرة، لا تحتاج الأشرعة الشمسية إلا إلى فوتونات من الشمس. ولذلك قد تكون الأشرعة الشمسية طريقة متقدمة لتحريك كتل كبيرة عبرمسافات شاسعة في الفضاء خلال زمن معقول.

الرحلات المستقبلية يُعد Cosmos 1 – وهو مشروع عالمي تموله جهة خاصة- نموذج الشراع الشمسي الأول. أطلق Cosmos 1 من منصة إطلاق صواريخ مائية في 21 يونيو من العام 2005. وقد بدت المركبة الفضائية مثل وردة لها ثماني أوراق كبيرة (بتلات) من الأشرعة الشمسية. وعلى الرغم من تواضع وجهة مهمة Cosmos 1 إلا أنه لم يتح له المجال لاختبار التكنولوجيا الجديدة التي يحملها؛ وذلك بسبب عدم استكمال احتراق المرحلة الأولى من مراحل الصاروخ، كما هو محدد له، مما منع Cosmos 1 من دخول المدار كما هو مفترض.

تتخطى أهمية الأشرعة الشمسية كونها تقنية مثالية لقطع المسافات الشاسعة في الفضاء، كالارتحال بين الكواكب دون وقود، فهي تعِدُ أيضًا بإمكانات جديدة لمحطات مراقبة الطقس الأرضية والفضائية؛ إذ تمكنها من تغطية أشمل للأرض، كما تتيح التحذير المبكر من العواصف الشمسية لتجنب أضرارها.

التوسع

1. **ابحث** كيف تساعد الأشرعة الشمسية في التحذير المسبق من العواصف الشمسية؟
2. **تفكيرناقد** يتوقع لنموذج شراع شمسي معين أن يستغرق وقتًا أطول للوصول إلى المريخ من مركبة فضائية يدفعها صاروخ يعمل بالوقود، ولكنه سيستغرق وقتًا أقل للوصول إلى نبتون من المركبة الفضائية التي يدفعها صاروخ. فسّر ذلك.

التوسع

1. شجع الطلبة لعمل نماذج صغيرة لمحطات مراقبة الحالات الجوية الأرضية تعمل بوساطة الأشرعة الشمسية.
2. يزداد زخم الشراع الشمسي بمعدل قليل وثابت، لذا يستغرق وقتًا أطول قبل أن تصبح سرعة الشراع الشمسي أكبر من سرعة السفن ذات الدفع الصاروخي الكيميائي.

5–1 الدفع والزخم Impulse and Momentum

المفردات

- الدفع
- الزخم
- نظرية الدفع – الزخم

الأفكار الرئيسة

- عندما تحل مسألة زخم، اختبر أولاً النظام قبل الحدث وبعده.
- زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة ويكون كمية متجهة.

$$P = m v$$

- الدفع على جسم ما يساوي حاصل ضرب متوسط القوة المحصلة المؤثرة فيه في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.

$$\text{الدفع} = F\Delta t$$

- الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه.

$$F\Delta t = P_f - P_i$$

5–2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

المفردات

- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

الأفكار الرئيسة

- استنادًا إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة وقانون حفظ الزخم تكون القوتان المؤثرتان في جسمين متصادمين نتيجة تصادمهما معًا متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.
- يكون الزخم محفوظًا في نظام مغلق ومعزول.

$$P_f = P_i$$

- يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لتفسير دفع الصواريخ.

الفصل 5
دليل الدراسة

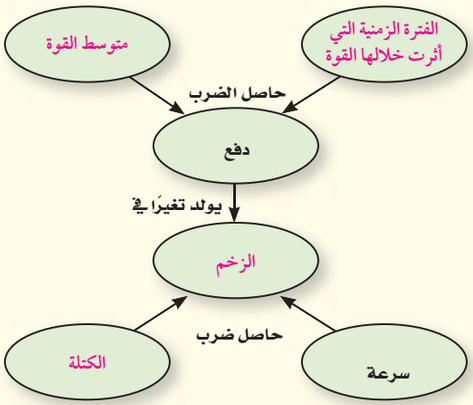
الأفكار الرئيسة

يمكن أن يستعمل الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
ارجع إلى الموقع الالكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

خريطة المفاهيم

21.



إتقان المفاهيم

22. a. ضارب الكرة ومتلقيها يؤثران بنفس مقدار الدفع في الكرة ولكن باتجاهين متعاكسين.

b. يؤثر متلقي الكرة بقوة أكبر في الكرة لأن زمن تأثير قوته أقل.

23. عدم وجود قوة محصلة على النظام، يعني أنه لا توجد محصلة دفع على النظام ولا تغير على محصلة الزخم. على حين أنه يمكن أن أجزاء منفردة من النظام تمتلك تغيرًا في الزخم حتى لو كان التغير المحصل في الزخم صفرًا.

24. بما أن الزخم محفوظ، لذا يجب أن يكون التغير في زخم الغازات في اتجاه ما مساوٍ للتغير في زخم المركبة الفضائية في اتجاه معاكس.

25. يجب أن تتحرك الكرة الثانية بنفس سرعة الكرة الأولى قبل التصادم.

26. a. يكون سطح الأرض خارج النظام، لذا فإنه يؤثر بقوة خارجية في الكرة، وعليه فإنها تؤثر فيه بدفع.

b. يكون الزخم محفوظًا عندما يكون النظام مكونًا من الكرة والأرض.

تطبيق المفاهيم

27. نعم، إذا أثرت قوة صغيرة لفترة زمنية طويلة فإنها تنتج دفعًا أكبر.

28. يتعين عليك تحريك يديك في اتجاه حركة الكرة نفسه، لزيادة الفترة الزمنية للتصادم، وعليه فإن القوة تقل.

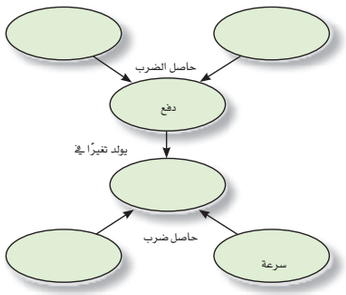
29. تستغرق الرصاصة الخارجة من البندقية زمنًا أطول حتى تخرج من سبطانتها ، وعليه فإنها تكتسب زخمًا أكبر.

30. يتحرك الجسم في الفترة A بسرعة موجبة وثابتة. وفي الفترة B يصبح ساكنًا. وفي الفترة C يتحرك بسرعة ثابتة وسالبة.

31. عندما ينطلق الغاز من المسدس في الاتجاه المعاكس لموقع السفينة، سيتولد دفعًا يؤدي إلى تحريك الرائد باتجاه السفينة.

خريطة المفاهيم

21. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستخدام المصطلحات التالية: الكتلة، الزخم، متوسط القوة، الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.



إتقان المفاهيم

22. إذا رمى لاعب الكرة بشكل قوسي فأمسكها لاعب آخر، مفترضًا أن مقدار سرعة الكرة لم يتغير في أثناء تحليقها في الجوّ؛ فأي اللاعبين أثر في الكرة:

a. بدفع أكبر؟

b. بقوة أكبر؟

23. ينص القانون الثاني لنيوتن على أنه إذا لم تؤثر قوة محصلة في نظام ما فإنه لا يمكن أن يكون هناك تسارع، فهل نستنتج أنه لا يمكن أن يحدث تغير في الزخم؟

24. تشغل مركبة فضائية صواريخها في الفضاء الخارجي لتزيد من سرعتها المتجهة. فكيف يمكن للغازات الحارة الخارجة من محرك الصاروخ أن تغير سرعة المركبة المتجهة، حيث لا يوجد شيء في الفضاء يمكن للغازات أن تدفعه؟

25. تتحرك كرة على طاولة بلياردو، وتصطدم بكرة ثانية ساكنة. فإذا كان للكرتين الكتلة نفسها، وسكنت الكرة الأولى بعد تصادمهما معًا، فما الذي نتوقعه فيما يتعلق بسرعة الكرة الثانية بعد التصادم؟

تطبيق المفاهيم

26. أسقطت كرة سلة في اتجاه الأرض، وقبل أن تصطدم بالأرض كان الزخم إلى أسفل، وبعد أنّ اصطدمت بالأرض أصبح الزخم إلى أعلى.

a. لماذا لم يكن زخم الكرة محفوظًا، مع أن الارتداد عبارة عن تصادم؟

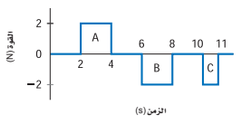
b. أي نظام يكون فيه زخم الكرة محفوظًا؟

27. هل يمكن لجسم ما أن يكتسب دفعًا كبيرًا من قوة صغيرة أكبر من الدفع الذي يكتسبه الجسم نفسه من قوة كبيرة؟ فسّر ذلك.

28. إذا كنت جالسًا في ملعب بيسبول واندفعت الكرة نحوك بصورة خاطئة، فأيهما أكثر أمانًا لإمساك الكرة بيدك، تحريك يدك نحو الكرة للإمساك بها، أم تحريك يدك في اتجاه حركة الكرة نفسه؟ فسّر ذلك.

29. إذا انطلقت رصاصة كتلتها 0.11 g من مسدس بسرعة 323 m/s، بينما انطلقت رصاصة أخرى مماثلة من بندقية بسرعة 396 m/s، ففسّر الاختلاف في مقدار سرعتي الرصاصتين، على افتراض أنّ الرصاصتين تعرضتا لمقدار القوة نفسه من الغازات المتمددة.

30. إذا تعرض جسم ساكن إلى قوى دفع تم تمثيلها بالمنحنى الموضح في **الشكل 8–5**. فصف حركة الجسم بعد الدفع في كل من A و B و C.



الشكل 8 – 5

31. بينما كان رائد فضاء يسبح في الفضاء، انقطع الحبل الذي كان يربطه بالسفينة الفضائية، فاستخدم الرائد مسدس الغاز ليرجع إلى الوراء حتى يصل السفينة. استخدم نظرية الدفع – الزخم والرسم التخطيطي لتوضيح كيف تكون هذه الطريقة فعالة.

32. تخيل أنك تقود السفينة الفضائية Zeldon التي تتحرك بين الكواكب بسرعة كبيرة، فكيف تستطيع إبطاء سرعة سفينتك من خلال تطبيق قانون حفظ الزخم؟

33. اصطدمت شاحنتان تبدوان متماثلتين على طريق جليدي. وكانت إحدى الشاحنتين ساكنة، فالتحمت الشاحنتان معًا وتحركتا بسرعة مقدارها أكبر من نصف مقدار السرعة الأصلية للشاحنة المتحركة. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن حمولة كل من الشاحنتين؟

34. لماذا يُنصح بإسناد كعب البندقية على الكتف عند بداية تعلم الإطلاق؟ فسّر ذلك بدلالة الدفع والزخم.

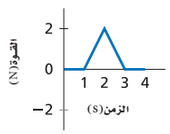
35. أُطلقت رصاصتان متساويتان في الكتلة بالسرعة نفسها على قالب خشبي موضوع في حلبة تزلج، فإذا كانت إحدى الرصاصتين مصنوعة من المطاط والأخرى من الألومنيوم، وارتدت الرصاصة المطاطية عن القالب، في حين استقرت الرصاصة الأخرى في الخشب. أي الحالتين سيتحرك فيها القالب الخشبي بسرعة أكبر؟ فسّر ذلك.

إتقان حل المسائل

الدفع والزخم

36. ضُربت كرة جولف كتلتها 0.058 kg بقوة مقدارها 272 N بوساطة مضرب، فأصبحت سرعتها المتجهة 62.0 m /s، ما زمن تلامس الكرة بالمضرب؟

37. تتحرك كرة كتلتها 0.150 kg في الاتجاه الموجب بسرعة متجهة 12 m /s، بفعل الدفع المؤثر فيها والموضح في الرسم البياني في **الشكل 9–5**، ما مقدار سرعة الكرة عند 4.0 s؟



الشكل 9 – 5

38. الكرة الطائرة اقتربت كرة كتلتها 0.24 kg من أروى بسرعة متجهة 3.8 m/s، في لعبة الكرة الطائرة، فضربت أروى الكرة بسرعة مقدارها 2.4 m /s في الاتجاه المعاكس. ما متوسط القوة التي أثرت بها أروى في الكرة إذا كان زمن تلامس يديها بالكرة 0.025 s؟

39. إذا تحرك جزيء نيتروجين كتلته 4.7×10^{-26} kg بسرعة 550 m/s، وبعد اصطدامه بحاجز ارتد عنه بالسرعة نفسها. فما:

a. الدفع الذي أثر به الجزيء في الحاجز؟

b. متوسط القوة المؤثرة في الحاجز إذا كان عدد التصادمات التي تحدث في الثانية الواحدة 1.5×10^{23}؟

40. الصواريخ تُستخدم صواريخ صغيرة لعمل تعديل بسيط في مقدار سرعة الأقمار الاصطناعية. فإذا كانت قوة دفع أحد هذه الصواريخ 35 N، وأُطلق لتغيير السرعة المتجهة لمركبة فضائية كتلتها 72,000 kg بمقدار 63 cm/s، فما مقدار الفترة الزمنية التي يجب أن يُطلق فيها؟

حفظ الزخم

41. كرة القدم يركض لاعب كرة قدم كتلته 95 kg بسرعة 8.2 m/s، فاصطدم في الهواء بلاعب دفاع كتلته 80 kg، تحرك في الاتجاه المعاكس، وبعد تصادمهما معًا في الجو أصبحت سرعة كل منهما صفرًا.

a. ارسم مخطط الوضعين "قبل" الاصطدام و"بعده".

b. ما زخم اللاعب الأول قبل التصادم؟

c. ما التغير في زخم اللاعب الأول؟

d. ما التغير في زخم لاعب الدفاع؟

e. ما زخم لاعب الدفاع قبل التصادم؟

f. ما سرعة لاعب الدفاع قبل التصادم؟

التقويم

32. يتم ابطاء سرعتها بإطلاق كمية من الغاز العادم بسرعة كبيرة بنفس اتجاه حركة السفينة، فيعمل زخمه على التقليل من زخم السفينة الفضائية فتقل سرعتها.

33. إذا امتلكت الشاحنتان الكتلة نفسها، فسوف تتحركان بنصف سرعة الشاحنة المتحركة. لذا يجب أن تمتلك الشاحنة المتحركة حمولة أكبر.

34. عندما تحمل البندقية بشكل حر، فإن زخم ارتدادها سوف يؤثر في كتلتها فقط، وبهذه الطريقة سوف تنتج سرعة كبيرة مما يؤدي إلى اصطدامها بالكتف. أما عند إسنادها للكتف فإن زخم ارتدادها يؤثر على كتلتها وكتلتك معًا مما يؤدي إلى سرعة ارتداد قليلة.

35. الزخم محفوظًا، لذا فإن زخم القالب والرصاصة بعد التصادم مساويًا لزخمها قبل التصادم. تمتلك الرصاصة المطاطية زخمًا سالبا بعد التصادم بالقالب، لذا يجب أن يكون زخم القالب الخشبي أكبر في هذه الحالة.

إتقان حلّ المسائل

36. 0.013 s

37. 25 m /s

38. -6.0×10^{1} N

39. a. $+5.2 \times 10^{-23}$ N.s

b. 7.8 N

40. 1.3×10^{3} s أو 22 min

41. b. 7.8×10^{2} kg.m /s

c. -7.8×10^{2} kg.m /s

d. $+7.8 \times 10^{2}$ kg.m /s

e. -7.8×10^{2} kg.m /s

f. −9.75 m /s

التقويم

42. b. 1.0×10^{-3} kg.m /s

1.0×10^{-3} kg.m /s

c. 4.0×10^{-4} kg.m /s

d. 1.6×10^{-3} kg.m /s

e. 16 cm /s

43. 1.26 m /s في نفس الاتجاه الذي كان يتحرك فيه.

44. 11 m /s

مراجعة عامة

45. a. 2.12×10^{4} kg.m /s

b. 312 N

46. a. 1.5×10^{2} kg.m /s إلى الأسفل.

b. 1.5×10^{2} N.s – إلى الأعلى

c. 3.0×10^{3} N

d. 5.98×10^{2} N تساوي القوة 5 أضعاف الوزن تقريبًا.

التفكير الناقد

47. b. 0.041 m /s

الكتابة في الفيزياء

48. لا يعتمد التغير في زخم السيارة على الكيفية التي ستتوقف فيها السيارة ، وهكذا فإنّ الدفع أيضًا لا يتغير. ولتقليل القوة يجب زيادة الفترة الزمنية التي تستغرقها السيارة في التوقف. واستعمال الحواجز يؤدي إلى زيادة الفترة الزمنية الضرورية لتوقف السيارة، وعليه فتقل القوة. وتستعمل عادة الحاويات البلاستيكية المرنة المملوءة بالرمل لذلك.

49. هناك طريقتان تؤدي فيهما الأكياس الهوائية إلى تقليل الإصابات هما:

أولاً: أن تنتفخ الأكياس الهوائية طوال فترة تأثير الدفع، وعليه فتقل القوة.

ثانيًا: أن ينشر الكيس الهوائي القوة فوق مساحة أكبر، وعليه فيقل الضغط، وهكذا، فإن الإصابات الناجمة عن القوى الناتجة من الأجسام الصغيرة تقل. إن معظم أخطار الأكياس الهوائية تتكئ على حقيقة أنّ هذه الأكياس يجب أن تنتفخ بسرعة كبيرة. ويستطيع سطح الكيس الهوائي أن يصل الراكب بسرعة تصل إلى 322 km /h ، وتحدث الإصابات عندما يصطدم الكيس الهوائي المتحرك بالراكب. وما زالت هذه الأنظمة تتطور حتى يضبط معدل امتلاء الغازات بالكيس الهوائي لتطابق حجم الراكب.

مراجعة تراكمية

50. −6.0 N

51. 4.3×10^{7} m

42. تتحرك كرة زجاجية C كتلتها 5.0 g بسرعة مقدارها 20.0 cm/s، فاصطدمت بكرة زجاجية أخرى D كتلتها 10.0 g، تتحرك بسرعة 10 cm/s في الاتجاه نفسه. فأكملت الكرة C حركتها بعد الاصطدام بسرعة مقدارها 8.0 cm/s ، وفي الاتجاه نفسه.

a. ارسم الوضع وعرّف النظام.

b. احسب زخم الكرتين قبل التصادم.

c. احسب زخم الكرة C بعد التصادم.

d. احسب زخم الكرة D بعد التصادم.

e. ما مقدار سرعة الكرة D بعد التصادم.

43. لوح التزلج يركب أحمد الذي كتلته 42 kg على لوح تزلج كتلته 2.00 kg، يتحرك بسرعة 1.20 m/s، فإذا قفز أحمد وتوقف لوح التزلج تمامًا في مكانه، فما مقدار سرعة قفزه؟ وما اتجاهه؟

44. اصطدمت شاحنة كتلتها 2575 kg، بمؤخرة سيارة صغيرة ساكنة كتلتها 825 kg، فتحركتا معًا بسرعة 8.5 m/s احسب مقدار السرعة الابتدائية للشاحنة، وذلك بإهمال الاحتكاك بالطريق.

مراجعة عامة

45. تغيرت السرعة المتجهة لسيارة كتلتها 625 kg من 10.0 m/s إلى 44.0 m/s خلال 68.0 s، بفعل قوة خارجية ثابتة. فما:

a. التغير الناتج في زخم السيارة؟

b. مقدار القوة التي أثرت في السيارة؟

46. يقفز لاعب كتلته 60.0 kg إلى ارتفاع 0.32 m،

a. ما زخمه عند وصوله إلى الأرض؟

b. ما الدفع اللازم لإيقاف اللاعب؟

c. عندما يهبط اللاعب على الأرض تنثني ركبتاه مؤديتين إلى إطالة زمن التوقف إلى 0.050 s أوجد متوسط القوة المؤثرة في جسم اللاعب.

d. قارن بين قوة إيقاف اللاعب ووزنه.

التفكير الناقد

47. تطبيق المفاهيم يركض لاعب كتلته 92 kg بسرعة 5.0 m/s، محاولاً الوصول إلى المرمى مباشرة، وعندما وصل خط المرمى اصطدم بلاعبين من الفريق الثاني في الهواء كتلة كل منهما 75 kg، وقد كانا يركضان في عكس اتجاهه وكان أحدهما يتحرك بسرعة 2.0 m/s والآخر بسرعة 4.0 m/s فالتحموا جميعًا وأصبحوا كأنهم كتلة واحدة.

a. ارسم الحدث موضحًا الوضع قبل الاصطدام وبعده.

b. ما السرعة المتجهة للاعبي الكرة بعد التصادم؟

الكتابة في الفيزياء

48. كيف يمكن أن تصمم حواجز الطريق السريع لتكون أكثر فاعلية في حماية أرواح الأشخاص؟ ابحث في هذه القضية، وصف كيف يمكن استخدام الدفع والتغير في الزخم في تحليل تصاميم الحواجز.

49. على الرغم من أن الأكياس الهوائية تحمي العديد من الأرواح، إلا أنها يمكن أن تسبب إصابات، وقد تؤدي إلى الموت أيضًا. ابحث، ثم اكتب عن آراء صانعي السيارات في ذلك. وحدّد إذا كانت المشاكل تتضمن الدفع والزخم أو أشياء أخرى.

مراجعة تراكمية

50. كرة كتلتها 0.72 kg، متصلة بخيط طوله 0.6 m، تتحرك رأسيًّا حركة دائرية منتظمة بسرعة مقدارها 3.3 m/s، ما الشدّ في الخيط عند أعلى نقطة تصل إليها الكرة؟

51. إذا أردت إطلاق قمر صناعي، بحيث يبقى فوق منطقة محددة على سطح الأرض، أي أن يكون الزمن الدوري للقمر الصناعي يومًا واحدًا بالضبط. احسب نصف قطر مدار القمر الصناعي ليحقق هذا الشرط. *(مساعدة: يدور القمر حول الأرض أيضًا، ويحقق كل من القمر والقمر الصناعي القانون الثالث لكبلر، حيث إن نصف قطر مدار القمر حول الأرض يساوي 3.9×10^{8} m، والزمن الدوري له يساوي 27.33 يومًا).*

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. ينزلق متزلج كتلته 40.0 kg على الجليد بسرعة مقدارها 2 m/s، في اتجاه زلاجة ثابتة كتلتها 10.0 kg، وعندما وصل المتزلج إليها اصطدم بها، وبعدها واصل انزلاقه مع الزلاجة في الاتجاه الأصلي نفسه لحركته. ما مقدار سرعة المتزلج والزلاجة بعد تصادمهما؟

Ⓐ 0.4 m/s Ⓒ 1.6 m/s
Ⓑ 0.8 m/s Ⓓ 3.2 m/s

2. يقف متزلج كتلته 45.0 kg على الجليد في حالة سكون عندما رمى إليه صديقه كرة كتلتها 5.0 kg، فانزلق المتزلج والكرة إلى الوراء بسرعة مقدارها 0.50 m/s، ما مقدار سرعة الكرة قبل أن يمسكها المتزلج مباشرة؟

Ⓐ 2.5 m/s Ⓒ 4.0 m/s
Ⓑ 3.0 m/s Ⓓ 5.0 m/s

3. ما فرق الزخم بين شخص كتلته 50.0 kg يركض بسرعة مقدارها 3.00 m/s، وشاحنة كتلتها 3.00×10^3 kg، تتحرك بسرعة مقدارها 1.00 m/s؟

Ⓐ 1275 kg.m/s Ⓒ 2850 kg.m/s
Ⓑ 2550 kg.m/s Ⓓ 2950 kg.m/s

4. أثرت قوة مقدارها 16 N في صخرة وبدفع مقداره 0.8 kg. m/s، فتحركت الصخرة بسرعة مقدارها 4.0 m/s ما كتلة الصخرة؟

Ⓐ 0.2 kg Ⓒ 1.6 kg
Ⓑ 0.8 kg Ⓓ 4.0 kg

5. أثرت قوة مقدارها 20.0 N على جسم، فتغير زخمه من 6.0 kg.m/s إلى 10.0 kg.m/s، ما مقدار زمن تأثير تلك القوة؟

Ⓐ 0.20 s Ⓒ 20.0 s
Ⓑ 5.0 s Ⓓ 80.0 s

الأسئلة الممتدة

6. اصطدمت سيارة متحركة بسرعة 10.0 m/s بحاجز وتوقفت خلال 0.050 s، وكان داخل السيارة طفل كتلته 20.0 kg، افترض أن سرعة الطفل المتجهة تغيرت بنفس مقدار تغير سرعة السيارة المتجهة وفي الفترة الزمنية نفسها، أجب عن الأسئلة التالية:

a. ما الدفع اللازم لإيقاف الطفل؟

b. ما متوسط القوة المؤثرة في الطفل؟

c. ما الكتلة التقريبية لجسم وزنه يساوي القوة المحسوبة في الفرع b؟

d. هل يمكنك رفع مثل هذا الوزن بذراعك؟

e. لماذا يُنصح باستخدام كرسي أطفال في السيارة، بدلاً من احتضان الطفل؟

✓ إرشاد

لقد صيغت البدائل بحيث تبدو جميعها صحيحة. لذا، كن حذرًا من بدائل إجابة أسئلة الاختيار من متعدد التي تبدو جميعها صحيحة، وتذكّر أن بديلاً واحدًا فقط هو الصواب. لذا تفحص جميع البدائل بدقة.

اختبار مقنن الفصل 5–

سلّم تقدير

يمثّل الجدول التالي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة:

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، وقد تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلاً صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلاً غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة الاختيار من متعدد

1. C **2.** D **3.** C
4. A **5.** D

الأسئلة الممتدة

6. a. -2.00×10^2 kg.m/s

b. -4.0×10^3 N

c. 4.1×10^2 kg

d. لا

e. لن تكون قادرا على حماية الطفل في حضنك عند حدوث التصادم.

الفصل 6

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
6-1 الطاقة والشغل 1. **تصف** العلاقة بين الشغل والطاقة. 2. **تحسب** الشغل. 3. **تحسب** القدرة المستهلكة.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** طبق، ورمل ناعم، ومسطرة مترية، وكرات معدنية أو كرات من الزجاج الرخامي بأحجام مختلفة. **تجربة إضافيّة** ميزان نابضي، وكتلة 1.0 kg، وخيط، ومنقلة.
6-2 أشكال الطاقة المتعددة 4. **تستخدم** نموذجًا لتربط بين الشغل والطاقة. 5. **تحسب** الطاقة الحركية. 6. **تحـــدِّد** طاقة وضع الجاذبية للنظام. 7. **تبيّن** كيفية تخزين طاقة الوضع المرونية.	**عرض المعلم** **عرض سريع** نابض قوي.
6-3 حفظ الطاقة 8. **تحل** مسائل باستخدام قانون حفظ الطاقة. 9. **تحلّل** التصادم لإيجاد التغير في الطاقة الحركية.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافيّة** بندول متصل بقضيب تثبيت. **تجربة** ثلاث كرات فولاذية مختلفة الكتلة، وعربة ميكانيكية ذات نابض، ومسطرة مترية. **مختبر الفيزياء** قطعتان خشبيتان أو بلاستيكيتان حُفر فيهما أخدود (مسار)، وكرة فولاذية أو كرة زجاجية، وساعة وقف، وقطعة خشب، وميزان إلكتروني، ومسطرة مترية، وآلة حاسبة بيانية . **عرض المعلم** **عرض سريع** خيط، صلصال (طين)، وحامل مخبري، وعلبة صودا فارغة. **عرض سريع** كرة مطاطية كبيرة، وكرة مطاطية صغيرة.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل السادس

الفصل 6

الشغل والطاقة وحفظها

نظرة عامة إلى الفصل

تُوضح العلاقات بين كل من القوة، والإزاحة، والشغل، والطاقة من خلال الأنشطة العملية والرسوم التوضيحية والمعادلات. والشغل عبارة عن انتقال الطاقة بوساطة وسائل ميكانيكية، ويعرّف على أنه حاصل ضرب القوة في الإزاحة باتجاه القوة.

يناقش هذا الفصل أنواعًا محددة من الطاقة (الطاقة الحركية وطاقة الوضع). حيث أن مفهوم حفظ الطاقة قدم وعرف من خلال مفهوم حفظ الطاقة الميكانيكية.

فكِّر

إن نظام القيادة للدراجة الهوائية كآلة مركبة تتكون من دولاب مسنن ومحور دوران (الكرنك) متصلاً بوساطة ناقلات الحركة (التروس) وسلسلة للدولاب المسنن الآخر ومجموعة المحور الخلفية. إن القدرة على اختيار حجوم ناقل الحركة في كل من الكرنك والدولاب الخلفي يسمح للسائق بتعديل ميكانيكية الدراجة الهوائية. يختار السائق تركيبًا معينًا لناقل الحركة الذي يتوافق مع متطلبات الدراجة الهوائية ومع قدرة السائق على بذل قوة جهد وسرعة معتدلتين.

المفردات الرئيسة

- الشغل
- الطاقة
- الطاقة الحركية
- نظرية الشغل – الطاقة
- الجول
- القدرة
- الواط
- طاقة وضع الجاذبية
- مستوى الإسناد
- طاقة الوضع المرونية
- الطاقة السكونية
- قانون حفظ الطاقة
- الطاقة الميكانيكية
- الطاقة الحرارية
- التصادم المرن
- التصادم عديم المرونة

الفصل 6

الشغل والطاقة وحفظها

Work, Energy and Its Conservation

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- التمييز بأن الشغل والقدرة يصفان كيف يؤثر المحيط الخارجي في تغيير طاقة النظام.
- الربط بين القوة والشغل.
- التوصل إلى أن الطاقة خاصية في الجسم تغير من موقعه، وسرعته، ومحيطه.
- التوصل إلى أن الطاقة تتغير من شكل إلى آخر، وأن المجموع الكلي للطاقة يبقى ثابتًا في النظام المغلق.

الأهمية

الطاقة تدير عجلة الحياة، حيث يشتري الناس الطاقة ويبيعونها لتشغيل الأجهزة الكهربائية، والسيّارات والمصانع.

الدراجات الهوائية الجبلية الدراجات الهوائية الجبلية ذات سرعات متعددة، كما أنها تحوي ماصات الصدمات التي تسمح لك بإيجاد توافق بين قدرة جسمك على توليد قوة لانجاز شغل، وبين توفير قدرة لتسلق التلال الشديدة الانحدار، والنزول من فوقها بأمان، واجتياز التضاريس المنبسطة بسرعة كبيرة جدًّا.

فكِّر

كيف تُساعد الدراجة الهوائية الجبلية ذات السرعات المتعددة السائق على القيادة فوق التضاريس المختلفة بأقل جهد؟

تجربة استهلالية

الهدف تحديد العوامل التي تؤثر في طاقة الأجسام الساقطة وقدرتها على إنجاز شغل.

المواد والأدوات طبق، ورمل ناعم، ومسطرة مترية، وكرات معدنية أو كرات من الزجاج الرخامي بأحجام مختلفة.

استراتيجيّات التدريس

- يجب على الطلبة مراعاة أخذ القياسات بدقة لتجنب مشكلة اختلاف زاوية النظر.
- يجب ألا تكون الكرات مختلفة في الحجم بمقدار كبير. والشيء المهم هو الاختلاف في الكتلة. وتُجرى التجربة بطريقة مثالية باستخدام كرات لها نفس الحجم ولكن مختلفة في كتلها.

النتائج المتوقّعة سيجد الطلبة أنه كلما زادت الكتلة، ازداد حجم الفوهة ومقدار انتشار الرمل. وكلما ازداد الارتفاع الذي تسقط منه الكرات المعدنية ازداد حجم الفوهة ومقدار انتشار الرمل.

تجربة استهلالية

ما العوامل المؤثرة في الطاقة؟

سؤال التجربة ما العوامل التي تؤثر في طاقة الأجسام الساقطة رأسيًّا ومقدرتها على إنجاز شغل؟

الخطوات

1. ضع 2 cm من الرمل الناعم في طبق.
2. أحضر مجموعة من الكرات المعدنية أو من الزجاج الرخامي بحجوم مختلفة.
3. أمسك مسطرة مترية رأسيًّا بإحدى يديك، بحيث تلامس نهايتها السفلية سطح الرمل، وأسقط إحدى الكرات باليد الأخرى على الرمل. وسجل الارتفاع الذي أسقطت منه الكرة.
4. أزل الكرة من الرمل بعناية على ألاّ تؤثر في الفوهة التي أحدثتها، وسجّل عمق الفوهة والمسافات التي وصل إليها الرمل بعد تناثره منها.
5. سجّل كتلة الكرة.
6. أعد تسوية سطح الرمل في الطبق، وكرر الخطوات 5 – 3 باستخدام كرات مختلفة الحجوم على أن تسقطها من الارتفاع نفسه، وأسقط أيضًا الكرة نفسها من ارتفاعات مختلفة.

التحليل

قارن بين البيانات التي سجلتها، هل تأخذ هذه البيانات نمطًا محددًا؟ وضح ذلك.

التفكير الناقد عندما تسقط الكرات على الرمل فإنها تنجز شغلاً. وعليه، فإنه يمكن تعريف الطاقة على أنها قدرة جسم ما على إنجاز شغل على نفسه أو على الوسط المحيط فيه. اربط بين بياناتك وطاقة الكرات. ووضح كيف يمكن أن تزداد طاقة الكرة؟

الأهداف

- تصف العلاقة بين الشغل والطاقة.
- تحسب الشغل.
- تحسب القدرة المستهلكة.

المفردات

الشغل	الجول
الطاقة	القدرة
الطاقة الحركية	الواط
نظرية الشغل – الطاقة	

درست في الفصل السابق حفظ الزخم، وتعلمت كيفية اختبار حالة نظام قبل أن يؤثر فيه دفع وبعده، دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل عن هذا الدفع. إن لقانون حفظ الزخم فائدة، وخاصة عند دراسة التصادمات التي تتغير خلالها القوى تغيرات كبيرة جدًّا أحيانًا.

تذكّر المناقشة التي وردت في الفصل السابق التي تتعلق بالمتزلجين اللذين يدفع كل منهما الآخر بعيدًا. وبما أن الزخم محفوظ، لذلك يستمر المتزلجان في الحركة بعد أن يدفع كل منهما الآخر، على الرغم من أنهما كانا ساكنين قبل التصادم.

عندما تصطدم سيارتان يكون الزخم محفوظًا أيضا، فتتوقفان عن الحركة على الرغم من أنهما كانتا متحركتين قبل التصادم، على عكس مثال المتزلجين. إذ يؤدي التصادم أحيانًا إلى التواء كبير في المعادن وتحطم الزجاج. في هذه الحالات يجب أن تتغير بعض الكميات نتيجة تأثير القوة في كل نظام.

6–1 الطاقة والشغل

1. التركيز

نشاط محفّز

تحذير: ضع النظارات الواقية

انتقال الطاقة ضع الدولاب والمحور على طاولة العرض. وامسك الدولاب واربط كتلة 500 g بخيط حول الجزء الخارجي من محور الدولاب ثم اسقطه. واسأل الطلبة: ماذا سيحدث عندما تربط كتلة 100 g أو 200 g في الخيط وتعيد التجربة؟ تأكد من أن الخيط الموجود على الدولاب طويل بحيث تستطيع كتلة صغيرة السقوط إلى مسافة كبيرة. تتزايد سرعة الدولاب بمقدار أكبر عندما تكون الكتلة 500 g مربوطة بالخيط. ويتحرك ببطء أكثر عندما تكون الكتلة 200 g مربوطة به، على حين يبطئ أكثر فأكثر عندما يكون الخيط مربوطًا بالكتلة 100 g. وضح أنه عندما تسقط كتل أكبر خلال المسافة نفسها، فإنه يبذل شغل أكبر، كما تنتقل طاقة حركية أكبر للدولاب. م2 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

القوة والحركة يقدم هذا الفصل مفاهيم القوة والحركة معًا. ويبدأ الفصل من جانب آخر بتوضيح وجود كمية مهمة أخرى غير الزخم تؤثر في تفاعل الأجسام بعضها مع بعض. ويتم تطوير مفهوم الطاقة الحركية من خلال تطبيق معادلات الحركة، وذلك لتعريف كمية جديدة تُسمى الشغل.

التحليل الكرات المعدنية الأكبر تُحدث فوهات ذات حجم أكبر. كما يزداد انتشار الرمل وابتعاده عن الفوهة أيضًا. وعندما تسقط الكرة نفسها من ارتفاعات مختلفة، ستلاحظ أنه كلما ازداد الارتفاع فإن حجم الفوهة ومقدار الانتشار يزدادان أيضًا.

التفكير الناقد الكرة ذات الكتلة الأكبر ستمتلك طاقة أكبر لحظة ارتطامها بالرمل، وتحدث فوهة أكبر. وكذلك الحال للكرة التي تصطدم بالرمل بسرعة أكبر فإنها تمتلك طاقة أكبر وتكون فوهة أكبر. وتزداد السرعة بإسقاطها من ارتفاع أكبر.

2. التدريس

تطوير المفهوم

تتبع مسار الشغل عند بذل شغل، فإن ذلك يعني وفق نظرية الشغل – الطاقة بأن هناك تغيرًا في الطاقة الحركية. ولتحقيق هذه العلاقة فإنه يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار الشغل الكلي المبذول في التفاعل. استعمل الأمثلة الآتية لتوضيح كيفية تحقيق نظرية الشغل – الطاقة في حالات مختلفة.

دفع الحائط تؤثر قوة في حالة الدفع. وفي المقابل يؤثر الحائط بقوة مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه للقوة المؤثرة. ويكون الشغل المبذول بوساطة قوة الدفع وقوة رد الفعل، والشغل الكلي المبذول يساوي صفرًا لأنه لم تحدث إزاحة للحائط، ولم تتغير الطاقة الحركية لأن الحائط بقي ساكنًا.

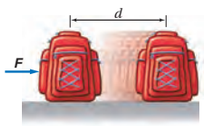
الدفع بسرعة ثابتة في هذه الحالة فإن الجسم قد يكون صندوقًا يُدفع على سطح بقوة تتوازن مع قوة الاحتكاك المعاكسة. تبذل قوة الدفع شغلاً على الجسم خلال المسافة التي يتحركها الجسم، ولكن قوة الاحتكاك تبذل شغلاً مساويًا في المقدار وسالبًا على الصندوق، لذا فإن المجموع الكلي للشغل يساوي صفرًا. ولا يوجد تغير في الطاقة الحركية لأن السرعة ثابتة.

الرفع بسرعة ثابتة هذه الحالة مماثلة لحالة دفع الجسم بسرعة ثابتة، عدا قوة الجاذبية الأرضية التي تمثل القوة المعاكسة في هذه الحالة. فالشغل الكلي المبذول والتغير في الطاقة الحركية للجسم يساوي صفرًا. والشغل المبذول في النظام المكون من الجسم والأرض أثناء رفع الجسم يتحول إلى زيادة في طاقة وضع الجاذبية.

السقوط الحر عندما يتوقف تأثير القوة المعاكسة لقوة الجاذبية عن الجسم، فإن قوة الجاذبية ستبذل شغلاً على الجسم في اتجاه الأسفل. وتتزايد الطاقة الحركية بمقدار

$Fd = mgh = \frac{1}{2}mv^2$ حيث h تمثل مسافة سقوط الجسم.

الشكل 1–6 يبذل الشغل عندما تؤثر قوة ثابتة F في حقيبة كتب في اتجاه الحركة وتتحرك الحقيبة مسافة d.



الشغل والطاقة Work and Energy

تذكّر أن التغير في الزخم يكون نتيجة تأثير دفع، وهو حاصل ضرب متوسط القوة المؤثرة في جسم ما في زمن تأثير القوة. افترض أن قوة ما تؤثر في جسم يتحرك مسافة معينة، بسبب وجود قوة محصلة، فإن الجسم سيتسارع وفق العلاقة $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}/m$، وستتغير سرعته المتجهة. وهنالك معادلات تصف العلاقة بين الموقع والسرعة المتجهة وزمن الحركة بتسارع ثابت. مثل المعادلة: $2ad = v_f^2 - v_i^2$ التي تتضمن التسارع والسرعة المتجهة والمسافة.

إذا استخدمت القانون الثاني لنيوتن لتعويض $\frac{\boldsymbol{F}}{m}$ بدلاً من $\boldsymbol{a}$، وضربت طرفي المعادلة في الحدّ $\frac{m}{2}$، فستحصل على المعادلة التالية:

$$Fd = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

الشغل يصف الطرف الأيسر من المعادلة ما حدث للنظام نتيجة تأثير الوسط الخارجي (المحيط). فقد أثرت القوة $\boldsymbol{F}$ في جسم بينما كان هذا الجسم يتحرك مسافة d كما في **الشكل 1–6**. فإذا كانت $\boldsymbol{F}$ قوة ثابتة تؤثرّ في الاتجاه نفسه لحركة الجسم، فإن **الشغل** W، يكون حاصل ضرب القوة في إزاحة الجسم.

الشغل $W = Fd$

الشغل يساوي حاصل ضرب القوة الثابتة المؤثرة في جسم ما باتجاه حركته في إزاحة هذا الجسم.

ربما استخدمت كلمة شغل لتعطي معاني أخرى غير هذا المعنى، فمثلاً تقول إن جهاز الحاسوب يشتغل بشكل جيد، أو إن تعلم الفيزياء شغل شاق، أو تستطيع أن تشتغل بعد انتهاء العمل في المدرسة. ولكن بالنسبة للفيزيائيين فإن للشغل معنى آخر أكثر دقة.

تذكّر أن $Fd = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$، وبإعادة كتابة هذه المعادلة مستخدمين $W = Fd$ ينتج:

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

فالطرف الأيمن للمعادلة يتضمن كتلة الجسم وسرعته قبل وبعد تأثير القوة، والكمية $\frac{1}{2}mv_f^2$ تصف خاصية النظام.

الطاقة الحركية ما خاصية النظام التي تصفها الكمية $\frac{1}{2}mv_f^2$؟ إن المركبة الثقيلة التي تتحرك بسرعة كبيرة تستطيع تدمير الأجسام من حولها، وكرة التنس تتحرك مسافات كبيرة عند قذفها بسرعة كبيرة في الهواء، أيْ أن امتلاك جسم ما لهذه الخاصية يمكن أن يُحدث تغيرًا في ذاته أو بما يحيط به. وهذه الخاصية المتمثلة في قدرة الجسم على إحداث التغيير في ذاته أو فيما يحيط به تسمى **الطاقة**. فالمركبة المتحركة بسرعة كبيرة وكرة التنس تكتسبان طاقة مرتبطة مع حركة كل منهما. والطاقة الناتجة عن الحركة تسمى **الطاقة الحركية**، ويعبر عنها بالرمز KE.

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

الطاقة الحركية لجسمٍ ما تساوي حاصل ضرب نصف كتلة الجسم في مربع مقدار سرعته.

عوّض KE في المعادلة $W = KE_f - KE_i$ فينتج $W = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$، الطرف الأيمن من المعادلة يمثل الفرق أو التغير في الطاقة الحركية للجسم. وهذا يسمى نظرية **الشغل – الطاقة** والتي تنص على أنه إذا بُذل شغل على جسمٍ ما فإن طاقة حركته تتغير، ويمكن تمثيل هذه النظرية بالمعادلة التالية:

نظرية الشغل – الطاقة $W = \Delta KE$

الشغل يساوي التغير في الطاقة الحركية.

إن العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة الحركية الناتجة قد تم تحديدها في القرن التاسع عشر على يد العالم جيمس جول، وتكريمًا لجهوده فقد أطلق اسمه "جول" على وحدة قياس الطاقة (Joule (J.

فمثلاً، إذا تحرّك جسم كتلته 2 kg بسرعة 1 m/s فإنه يمتلك طاقة حركية مقدارها 1 J أو 1 kg.m²/s²

تذكّر أن النظام هو الجسم موضع الدراسة، والمحيط الخارجي هو كل شيء إلا الجسم. فمثلاً قد يكون أحد الأنظمة صندوقًا في مستودع، ويمكن أن يتكون المحيط الخارجي منك أنت، وكتلة الأرض وأي شيء آخر خارج الصندوق. ويمكن أن تنتقل الطاقة بين المحيط الخارجي والنظام خلال عملية إنجاز الشغل.

كما يمكن أن تنتقل الطاقة في كلا الاتجاهين. فإذا بذل المحيط الخارجي شغلاً على النظام، فإن الشغل W يكون موجبًا، وطاقة النظام تزداد. أما إذا بذل النظام شغلاً على المحيط الخارجي فإن الشغل W يكون سالبًا، وتتناقص طاقة النظام، أيْ أن الشغل هو انتقال الطاقة بطرائق ميكانيكية.

تعزيز الفهم

القوة باتجاه الحركة ارسم مثلثًا قائم الزاوية على السبورة، وراجع الدوال المثلثية $\tan\theta$ ، $\cos\theta$ ، $\sin\theta$ (جيب، جتا، وظل الزاوية θ)، على أن يمثل الضلعان الأفقي والرأسي المركبات المتعامدة للقوة الممثلة بالوتر. فإذا كانت الحركة على الضلع الأفقي، فإن القوة بذلك الاتجاه هي المركبة الأفقية للمثلث.

الزاوية θ مجاورة للمركّبة باتجاه الحركة. اسأل الطلبة: أي الدوال المثلثية يساوي الضلع المجاور مقسومًا على الوتر للمثلث القائم الزاوية؟ دالة جيب التمام. ثم اسألهم: ما مقدار مركبة القوة على طول اتجاه الحركة؟

$F_x = F\cos\theta$

م 2 **بصري – مكاني**

التفكير الناقد

قوة الاحتكاك والقوة العمودية اطلب إلى الطلبة أن يجدوا علاقة رياضية لمركبة القوة باتجاه الحركة، عندما تُسحب زلاجة منتظمة الشكل أفقيًّا بسرعة ثابتة، بوساطة خيط مثبت في وسطها. يصنع الخيط زاوية θ فوق الأفقي، وتمثل m كتلة المزلجة، و μ معامل الاحتكاك الحركي، F القوة المؤثرة على امتداد طول الحبل، F_N القوة العمودية، و g تسارع الجاذبية الأرضية. إن القوة العمودية بين الزلاجة والسطح تساوي وزن الزلاجة مطروحًا منها المركبة الرأسية للقوة على طول الخيط. ومقدار المركبة الأفقية للقوة على طول الخيط يجب أن تساوي قوة الاحتكاك عندما ينزلق الجسم بسرعة ثابتة، لذا فإن:

$F\cos\theta = \mu F_N = \mu(mg - F\sin\theta)$

م 3 **منطقي - رياضي**

معلومة للمعلم — الخلفية النظريّة للمحتوى

تغير الطاقة الحركية والقوة إن المناقشة التي تمت سابقا والمتعلقة بتكافؤ الشغل المبذول والتغير في الطاقة الحركية تفترض أن القوة ثابتة. وليس من الضروري أن تحدِّث هذه الحالة. وهناك مثال على القوة المتغيرة مذكور في الصفحة 142. وتتضمن الطرق المستعملة في حساب الشغل المنجز عن قوة متغيرة، إيجاد المساحة تحت المنحنى البياني القوة – الإزاحة، أو حساب تكامل دالة القوة – الإزاحة على المدى المطلوب من الإزاحة.

نشاط

قياس الشغل اطلب إلى الطلبة استعمال الميزان النابضي لملاحظة المركبات الأفقية والرأسية للقوة المؤثرة في جسم. وعليهم أولاً تعليق كتلة 1.0 kg بخيط وتعليقه بالميزان النابضي، ثم رفع الكتلة إلى الأعلى بشكل مستقيم وتسجيل قراءة الميزان.

اطلب إلى الطلبة بعد ذلك تسجيل قراءة الميزان مرة أخرى أثناء تحريك الجسم بسرعة منتظمة لمسافة 1.0 m على سطح طاولة أفقية. وهذا يمثل قياس احتكاك الانزلاق بين سطح الطاولة والكتلة. ثم اسأل الطلبة: ما مركبة القوة المسؤولة عن بذل الشغل بالنسبة للقوة التي يمكن قياسها؛ وهل هي المركبة الأفقية أم المركبة الرأسية، وكيف يجب حساب الشغل؟ يجب أن تعتمد القوة المقيسة على المركبة الأفقية لأن هذا هو اتجاه الحركة. ويؤثر كل من نعومة سطح الطاولة، وصلابته في قوة الاحتكاك. والشغل المبذول عبارة عن متوسط القوة مضروبًا في الإزاحة. م 2 **بصري – مكاني**

المناقشة

سؤال ما مقدار الشغل المبذول بوساطة كل من قوة الاحتكاك، وشخصا يدفع صندوقًا مسافة 10.0 m بسرعة ثابتة على سطح الأرض؟ علما بأن كتلة الصندوق 40.0 kg ومعامل الاحتكاك الحركي $\mu = 0.470$.

الجواب أولاً أوجد قوة الاحتكاك على النحو التالي:

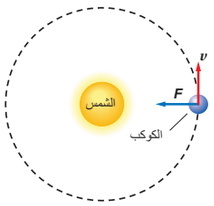
$$F = \mu mg = (0.470)\ (40.0\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 184\ \text{N}.$$

ثم أوجد الشغل المبذول بوساطة الشخص:

$$W = Fd = (184\ \text{N})\ (10.0\ \text{m}) = 1840\ \text{J}$$

لذا، فإن الشغل المبذول بوساطة قوة الاحتكاك مساوٍ في المقدار ومخالف في الإشارة، $W = -1840\ \text{J}$ م 2

الشكل 2–6 إذا كان مسار الكوكب دائريًا فإن القوة التي يتأثر بها تكون متعامدة مع اتجاه حركته. لذلك فإنها لا تبذل شغلًا على الكوكب.



حساب الشغل Calculating Work

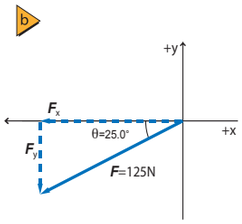
إن المعادلة الأولى التي استخدمت لحساب الشغل هي $W = Fd$، وهذه المعادلة تستخدم عندما تؤثر القوى الثابتة في اتجاه حركة الجسم فقط. والآن ماذا يحدث عندما تؤثر القوة في اتجاه متعامد مع اتجاه الحركة؟ للإجابة عن هذا السؤال سندرس حركة كوكب ما حول الشمس، انظر إلى **الشكل 2–6**. حيث افتُرض أن مسار الكوكب دائري. وقد درست سابقًا أن القوة العمودية على اتجاه حركة جسم ما لا تغير مقدار سرعته، وإنما تغير اتجاه حركته، وعليه، فإن مقدار سرعة الكوكب لا يتغير، أيْ أن طاقته الحركية ثابتة أيضًا.

وباستخدام المعادلة $W = \Delta KE$ ستلاحظ أنه عندما تكون الطاقة الحركية ثابتة، فإن $\Delta KE = 0$، لذا فإن $W = 0$. وهذا يعني أنه إذا كانت القوة $\boldsymbol{F}$ والإزاحة $\boldsymbol{d}$ متعامدتين فإن $W = 0$.

ولأن الشغل المبذول على جسم ما يساوي التغير في الطاقة فإن الشغل يُقاس بوحدة الجول أيضًا.

فيبذل جول واحد من الشغل عندما تؤثر قوة مقدارها 1 N في جسم، وتحركه مسافة 1 m في اتجاهها، وعندما ترفع تفاحة تزن 1 N مسافة 1 m فإنك تبذل عليها شغلاً مقداره 1 J.

قوة ثابتة تؤثر بزاوية تعلمت سابقًا أن القوة التي تؤثر في اتجاه الحركة تبذل شغلاً يُعبر عنه بالمعادلة $W = \boldsymbol{Fd}$، وأن القوة التي تؤثر في اتجاه متعامد مع اتجاه الحركة لا تبذل شغلاً. فما الشغل الذي تبذله القوة التي تؤثر بزاوية مع اتجاه الحركة؟ فمثلاً، ما الشغل الذي يبذله شخص يدفع مركبة؟ انظر **الشكل 3a–6**. تعلم أنه يمكن التعويض عن أي قوة بمركبتيها. فإذا استخدمت نظام المحاور في **الشكل 3b–6**، فإن القوة $\boldsymbol{F}$ التي مقدارها 125N، والتي تؤثر في اتجاه ذراع الشخص، سيكون لها مركبتان هما: المركبة الأفقية ومقدارها F_x يرتبط مع مقدار القوة $\boldsymbol{F}$ من خلال اقتران جيب التمام؛ لنحصل على: $F_x = -F\cos 25.0° = -(125\text{N})\ (\cos 25.0°) = -113\ \text{N}$



الشكل 3–6 عندما تؤثر قوة في جسم، فإن مركبة القوة التي تؤثر في اتجاه إزاحة الجسم هي التي تبذل شغلًا في إزاحته.

والإشارة السالبة تعني أن مركبة القوة في اتجاه اليسار، ومركبة رأسية F_y يمكن حسابها بطريقة التحليل نفسها لتحصل على:

$$F_y = -F\sin 25.0° = -(125\ \text{N})\ (\sin 25.0°) = -52.8\ \text{N}$$

والإشارة السالبة تعني أن القوة إلى أسفل. وحيث إن الإزاحة في اتجاه المحور x فقط، لذا فإن مركبة القوة الأفقية F_x هي فقط التي تبذل الشغل، في حين أن المركبة الرأسية (F_y) لا تبذل شغلاً.

فالشغل الذي تبذله عندما تؤثر بقوة في جسم ما في اتجاه يصنع زاوية مع اتجاه حركته يساوي حاصل ضرب مركبة القوة في اتجاه إزاحة الجسم في المسافة التي تحركها.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

السيارات ونظرية الشغل – الطاقة: تخيّل أن سيارة كتلتها 1200 kg وتتزايد سرعتها من السكون حتى 20.0 m/s خلال 80.0 m على مستوى الرصيف. وكان التغير في الطاقة الحركية لها يساوي 2.4×10^5J . يجب بذل الشغل نفسه بوساطة قوة تحدِّث احتكاكًا لكي يوقف المركبة. اشرح للطلبة كيفية استخدام نظرية الشغل – الطاقة لإيجاد المسافة اللازمة للتوقف بدءًا من سرعة 20.0 m/s بوساطة تثبيت الدواليب إذا كان معامل الاحتكاك بين الإطارات والطريق على رصيف جاف $\mu = 0.70$. القوة المؤثرة بوساطة الطريق لإيقاف المركبة $F=(0.70)(1200\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)=8.2\times10^3\ \text{N}$

لذا، فإن مسافة التوقف $2.4\times10^5\ \text{J}/8.2\times10^3\ \text{N} = 29\ \text{m}$ م 2

ويمكن إيجاد مقدار مركبة القوة المؤثرة في اتجاه الإزاحة، وذلك بضرب مقدار القوة **F** في جيب تمام الزاوية المحصورة بين اتجاه القوة **F** واتجاه الإزاحة، $F_x = F\cos\theta$. ويمكن تمثيل الشغل المبذول بالمعادلة التالية:

الشغل (في حالة وجود زاوية بين القوة والإزاحة) $W = Fd\cos\theta$

الشغل يساوي حاصل ضرب القوة والإزاحة في جيب تمام الزاوية المحصورة بين القوة واتجاه الإزاحة.

والسيارة في أثناء دفعها تتأثر بقوى خارجية أخرى. أيّ هذه القوى تبذل شغلاً؟

تؤثر قوة الجاذبية إلى أسفل، ويؤثر سطح الأرض بقوة رأسية إلى أعلى، ويؤثر الاحتكاك بقوة أفقية في عكس اتجاه الحركة. فالقوتان المؤثرتان إلى أعلى وإلى أسفل تكونان متعامدتين مع اتجاه الحركة ولا تبذلان شغلاً، حيث تصنع كل من القوتين زاوية $\theta = 90°$، مما يجعل $\cos\theta = 0$. وعليه، فإن $W = 0$.

إن الشغل المبذول من قوة الاحتكاك يؤثر في اتجاه معاكس لاتجاه الحركة، أي بزاوية 180°، ولأن $\cos 180° = -1$ فإن الشغل المبذول من قوة الاحتكاك يكون دائمًا سالبًا. والشغل السالب المبذول من القوة المؤثرة من المحيط الخارجي يقلل من الطاقة الحركية للنظام. فإذا توقف الشخص في **الشكل 3a–6** عن الدفع، فإن السيارة ستتوقف عن الحركة. لذا سوف تقل طاقتها الحركية.

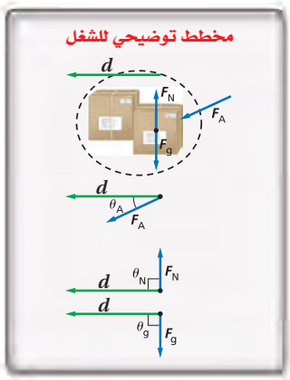
الشغل الموجب المبذول بوساطة قوة يزيد من طاقة النظام. في حين يؤدي الشغل السالب إلى نقصانها.

استراتيجية حلّ المسائل

الشغل

إذا أردت حل مسائل تتعلق بالشغل فاستخدم استراتيجية الحل التالية:

1. ارسم مخطّطًا توضيحيًّا للنظام، ثم وضّح القوة التي تبذل شغلاً.
2. ارسم متجهات القوة والإزاحة للنظام.
3. أوجد الزاوية θ بين كل قوة والإزاحة.
4. احسب الشغل المبذول من كل قوة باستخدام المعادلة $W = Fd\cos\theta$.
5. احسب الشغل الكلي المبذول. وتأكد من إشارة الشغل معتمدًا على اتجاه انتقال الطاقة، فإذا ازدادت طاقة النظام فإن الشغل المبذول من تلك القوة يكون موجبًا، أما إذا تناقصت طاقة النظام فإن الشغل المبذول من تلك القوة يكون سالبًا.



تجربة إضافية

القوة المؤثرة بزاوية

الهدف استقصاء العلاقة بين الشغل واتجاه القوة.

المـوادّ والأدوات ميزان نابضي، وكتلة مقدارها 1.0 kg، وخيط، ومنقلة.

الخطوات اقرأ تدريج الميزان أثناء سحب الكتلة أفقيًّا مع المحافظة على بقاء السرعة ثابتة والميزان موازيًا لسطح الطاولة، وكرر الخطوة السابقة وذلك بزيادة الزاوية المحصورة بين الخيط والأفق، ثم سجل قراءات الميزان عند زوايا مختلفة متضمنة الزاوية 30°.

التقويم ما مقدار الشغل المبذول عند سحب الكتلة مسافة 1.0 m بوساطة الخيط مرة أفقيًا ومرة بزاوية 30°؟ ستتراوح الإجابات تقريبا بين 3J ، 7J وذلك حسب خشونة السطح. ماذا يحدث للقوة عندما تزداد الزاوية؟ القوة اللازمة والشغل المبذول ينقصان قليلًا.

مثال صفي

سؤال يؤثر لاعب جولف في كرة كتلتها 46 g بقوة ثابتة مقدارها 2300 N أثناء تلامس كل من يد اللاعب والكرة عند قذفها، فتكتسب الكرة طاقة حركة مقدارها 43 J، ما المسافة التي تبقى فيها يد اللاعب والكرة متلامستان؟

الإجابة

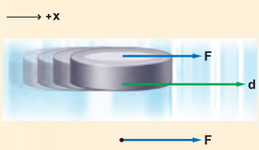
$d = W/F = 43\ \text{J}/2300\ \text{N}$

$d = 1.9 \times 10^{-2}\ \text{m}$

مثال 1

الشغل والطاقة ينزلق قرص هوكي كتلته 105 g على سطح جليدي، فإذا أثر لاعب بقوة ثابتة مقدارها 4.50 N في القرص، فحرّكه لمسافة 0.150 m في اتجاه القوة نفسه، فما مقدار الشغل الذي بذله اللاعب على القرص؟ وما مقدار التغير في طاقة القرص؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطّطًا توضيحيًّا للحالة يوضح الظروف الابتدائية.
- كوّن نظامًا إحداثيًّا على أن تكون x+ في اتجاه اليمين.
- ارسم مخطط المتجهات.

المعلوم	المجهول
$m = 105\ \text{g}$	$W = ?$
$F = 4.50\ \text{N}$	$\Delta KE = ?$
$d = 0.150\ \text{m}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة الشغل عندما تؤثر قوة ثابتة في اتجاه إزاحة الجسم نفسه.

$W = Fd$

$= (4.50\ \text{N})(0.150\ \text{m})$ بالتعويض عن $d = 0.150\ \text{m}, F = 4.50\ \text{N}$

$= 0.675\ \text{N.m}$

$= 0.675\ \text{J}$ $1\ \text{J} = 1\ \text{N.m}$

استخدم نظرية الشغل – الطاقة لحساب التغير في طاقة النظام.

$W = \Delta KE$

$\Delta KE = 0.675\ \text{J}$ بالتعويض عن $W = 0.675\ \text{J}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس الشغل بوحدة الجول.
- **هل للإشارة معنى؟** إن اللاعب (المحيط الخارجي) يبذل شغلاً على القرص (النظام)، لذا فإن إشارة الشغل يجب أن تكون موجبة.

مسائل تدريبية

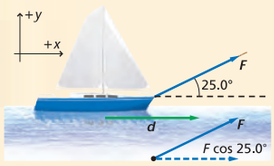
1. اعتمد على المثال 1 لحل المسألة التالية:
   a. إذا أثر لاعب الهوكي بضعفي القوة، أيْ 9.00 N، في القرص، فكيف تتغيّر طاقة حركة القرص؟
   b. إذا أثر اللاعب بقوة مقدارها 9.00 N في القرص، ولكن بقيت العصا ملامسة للقرص لنصف المسافة فقط، أيْ 0.075 m، فما مقدار التغير في الطاقة الحركية؟
2. يؤثر طالبان معًا بقوة مقدارها 825 N لدفع سيارة مسافة 35 m، ما مقدار الشغل:
   a. الذي يبذله الطالبان على السيارة؟
   b. المبذول لدفع السيارة إلى المسافة نفسها إذا تضاعفت القوة المؤثرة؟

مثال 2

القوة والإزاحة بزاوية يسحب بحّار قاربًا مسافة 30.0 m في اتجاه رصيف الميناء مستخدمًا حبلاً يصنع زاوية 25.0 فوق الأفقي. ما مقدار الشغل الذي يبذله البحّار على القارب إذا أثر بقوة مقدارها 255 N في الحبل؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- أرسم محاور الإسناد.
- ارسم مخطّطًا توضيحيًّا للحالة يوضح الشروط الابتدائية للقارب.
- ارسم مخطط المتجهات موضحًا القوة ومركبتها في اتجاه الإزاحة.



المعلوم	المجهول
$F = 255\ \text{N}$	W = ?
$d = 30.0\ \text{m}$	
$\theta = 25.0°$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة الشغل عندما توجد زاوية بين القوة والإزاحة.

$W = Fd\cos\theta$

بالتعويض عن $F = 255\ \text{N}, d = 30.0\ \text{m}, \theta = 25.0°$

$= (255\ \text{N})(30.0\ \text{m})(\cos 25.0°)$

$= 6.93 \times 10^3\ \text{J}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس الشغل بوحدة الجول.
- **هل للإشارة معنى؟** يبذل البحار شغلاً على القارب، يتوافق مع الإشارة الموجبة للشغل.

139

مسائل تدريبية

1. a. إن مضاعفة القوة سوف تؤدي إلى مضاعفة الشغل، الذي يؤدي بدوره إلى مضاعفة التغير في الطاقة الحركية بمقدار 1.35 J

   b. إن تقليل المسافة إلى النصف سيخفض الشغل إلى النصف، الذي يؤدي بدوره إلى تخفيض التغير في الطاقة الحركية بمقدار النصف إلى 0.68 J

2. a. 2.9×10^4 J

   b. 5.8×10^4 J

مثال صفي

سؤال ما مقدار الشغل المبذول في دفع صندوق مسافة 15 m، بوساطة قوة مقدارها 4.0×10^2 N وتميل بزاوية $10.0°$ على الأفقي؟

الإجابة

$W = Fd\cos\theta$

$= (4.0 \times 10^2\ \text{N})(15\ \text{m})\cos 10.0°$

$= 5900\ \text{J}$

نشاط

تحدٍّ

المنحنى البياني للقوة مع زاوية ميلان الخيط عُد إلى التجربة الإضافية في الصفحة 139. واسأل كيف ترتبط قوة الاحتكاك بمعامل الاحتكاك والزاوية التي يصنعها الخيط. إن قوة الاحتكاك تساوي معامل الاحتكاك μ مضروبًا في القوة العمودية F_N. تقلل المركبة الرأسية لقوة السحب من القوى العمودية كلما زادت الزاوية، لذا فإن:

$F\cos\theta = \mu F_N = \mu(mg - F\sin\theta)$ وأن $F = \mu mg/(\cos\theta + \mu\sin\theta)$ ارسم هذه الدالة باستخدام العلاقة $\mu = F/mg$ عندما تكون $\theta = 0$، F تقاس في المختبر. إذا كانت $\mu = 0.6$، فإن المنحنى يبدأ عند $F = 6$ N عندما تكون $\theta = 0°$ وتقترب إلى المقدار 5 N عندما تكون الزاوية $30°$ تقريبا، وتتزايد القوة إلى المقدار $F = 10$ N عندما تكون $\theta = 90°$

م 3 منطقي - رياضي

مسائل تدريبية

3. 6.5×10^3 J

4. a. 903 J

b. −903 J

استعمال الشكل 4–6

a اطلب إلى الطلبة ذكر مثالين على قوى لا تتغير بتغيير الموقع، كما في **الشكل 4a–6**. إن السيارة التي تتحرك بتسارع منتظم، والجسم في حالة سقوط حر دون مقاومة الهواء بالقرب من سطح الأرض يُعدّان أمثلة على أجسام تحت تأثير قوة محصلة ثابتة.

b ومن الأمثلة على القوة المتغيرة خطيًا مع الإزاحة القوة الناتجة عن النابض. إن ميل المنحنى البياني في الرسم البياني الذي يمثل القوة – الإزاحة يُسمى ثابت النابض k. اسأل الطلبة كيف يمكن إيجاد الشغل الذي يبذل عند تمدد النابض لمسافة x؟ ترتبط القوة بالإزاحة بوساطة العلاقة $F = kx$. إن الشغل يمثل المساحة تحت المثلث. لذا فإن الحالة العامة تمثل بالعلاقة:

$$W = (\tfrac{1}{2})\,(kx)\,(x)$$
$$= \tfrac{1}{2}\,kx^2$$

مسائل تدريبية

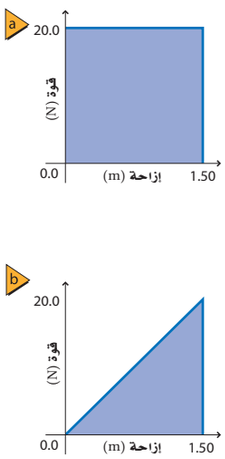
3. يرفع شخصان صندوقًا ثقيلاً مسافة 15 m بحبلين يصنع كل منها زاوية 15° مع الرأسي، ويؤثر كل من الشخصين بقوة مقدارها 225 N، ما مقدار الشغل الذي يبذلانه؟

4. يحمل مسافر حقيبة سفر وزنها 215 N إلى أعلى سُلّم، وكانت الإزاحة في الاتجاه الرأسي 4.20 m، وفي الاتجاه الأفقي 4.60 m، أجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار الشغل الذي بذله المسافر؟

b. إذا حمل المسافر حقيبة سفره إلى أسفل السلم، فما مقدار الشغل الذي يبذله المسافر؟

الشكل 4–6 يمكن حساب الشغل المبذول بيانيًا بإيجاد المساحة تحت المنحنى البياني للقوة – الإزاحة



إيجاد الشغل المبذول عندما تتغير القوى المؤثرة إن الرسم البياني للقوة – الإزاحة يمكّنك من حساب الشغل الذي تبذله القوة، وتستخدم هذه الطريقة البيانية في حل مسائل قد تكون فيها القوة المؤثرة متغيرة. ويوضح **الشكل 4a–6** الشغل المبذول من خلال قوة ثابتة مقدارها 20.0 N والتي تؤثر في رفع جسم ما إلى أعلى مسافة 1.50 m، الشغل الذي تبذله هذه القوة الثابتة يمكن تمثيله بالمعادلة:

$$W = Fd = (20.0\text{ N})\,(1.50\text{ m}) = 30.0\text{ J}$$

والمساحة المظللة تحت المنحنى البياني تساوي (1.50 m) (20.0 N)، أو 30.0 J. فالمساحة تحت المنحنى البياني القوة – الإزاحة تساوي عدديًا الشغل الذي تبذله تلك القوة حتى إذا تغيرت القوة.

يوضح **الشكل 4b–6** القوة التي تؤثر في نابض، والتي تتغير خطيًا من 0.0 N إلى 20.0 N عند تعرضه للانضغاط مسافة 1.50 m، إن الشغل الذي تبذله القوة التي تؤدي إلى انضغاط النابض يساوي عدديًا المساحة تحت المنحنى البياني، والتي تمثل مساحة المثلث.

$$W = \tfrac{1}{2}\,(20.0\text{ N})\,(1.50\text{ m}) = 15.0\text{ J}$$

الشغل المبذول بعدة قوى يربط القانون الثاني لنيوتن في الحركة القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما مع تسارعه. وبالطريقة نفسها، تربط نظرية الشغل – الطاقة مجموع الشغل المبذول على نظام ما مع التغير في طاقته. فإذا أثرت عدة قوى في نظام، فاحسب الشغل الذي تبذله كل قوة، ثم اجمع النتائج.

القدرة Power

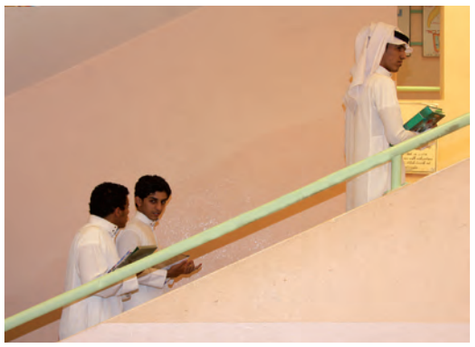
لـم تتطرق المناقشـات السـابقة المتعلقة بالشـغل إلـى الزمن اللازم لتحريك جسـم ما. فعندما يرفع شـخص صندوق كتب، سـواء رُفع الصندوق على الرف خلال 2 s، أم رُفع كل كتاب على حدة واستغرق ذلك 20 min لوضع جميع الكتب على الرف، فإن الشغل الذي يبذله يكون متساويًا في كلتا الحالتين. وعلى الرغم من تساوي الشغل في الحالتين إلا أن معدل بذل الشـغل يكون مختلفًا في كل حالة. لذا فإن **القدرة** هي الشـغل المبذول مقسـومًا على الزمن اللازم لبذل الشـغل، أيْ أن القدرة هي المعدل الذي تغيّر فيه القوة الخارجية طاقة النظام، والتي يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية:

القدرة $P = \frac{W}{t}$

القدرة تساوي الشغل المبذول مقسومًا على الزمن اللازم لإنجاز الشغل.

انظر إلى **الشكل 5–6** الذي يوضّح طالبين ومعلمًا وهم يرتقون سُلمًا، حيث تكون قدرة المعلم الذي يرتقي السلم وهو مسرع أكبر من قدرة الطالبين اللذين يرتقيان السلم ببطء، على الرغم من أن كليهما يُنجزان الشـغل نفسه (حيث تكون كتلتاهما متساويتين) إلا أن المعلم ينجز الشغل في وقت أقل، لذا فإن قدرته أكبر.

تُقاس القدرة بوحدة **الواط** (W)؛ حيث يسـاوي الواط الواحد انتقال طاقة مقدارها 1 J خلال فترة زمنية 1 s، والواط وحدة صغيرة بالنسبة للقدرة. فمثلاً، إذا رفعت كأس ماء وزنها 2 N مسـافة 0.5 m إلى فمك فإنك تكون قد بذلت شـغلاً مقداره 1 J، وإذا رفعت الكأس خلال 1 s، فإنك تكون قد بذلت شغلاً بمعدل 1 W، ولأن وحدة الواط صغيرة فـإن القـدرة تُقاس غالبًا بوحـدة الكيلوواط (kW)؛ حيث يسـاوي الكيلـوواط الواحد 1000 W.



الشكل 5–6 الطلاب والمعلم يبذلون شغلا بمعدلات مختلفة عندما يرتقون السُلم.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الطاقـة مقابـل القـدرة يحـدث الخلـط غالبًـا بـين مفهومـي كل مـن الطاقـة والقـدرة. لذا اسـأل الطلبة أولاً هـل باسـتطاعتهم إخبـارك عـن مدى كـبر الآلة وضخامتهـا بدلالـة عـدد الجـولات من الطاقـة التي تسـتهلكها. لا، فيمكن أن تسـتهلك الآلة أي عدد من وحدات الطاقة عند تشـغيلها زمنًا كافيًا. وكيف تقدر قـدرة الآلة؟ تقدّر قدرتها إما بوحدة الواط أو الحصان الميكانيكي. وتشـير القـدرة إلى سرعة الآلة في الإنجاز أو نقل الطاقة. م2 **منطقي - رياضي**

نشاط **طرائق تدريس متنوعة**

تـحـدٍّ فيزيائـي إيجاد القدرة الميكانيكيـة الناتجة عن اجتياز ممر منحـدر بكرسي متحرك يتطلـب إجـراء ثلاثـة قياسـات هـي: التغـير في ارتفـاع المنحدر، وكتلـة الكرسي مـع كتلة الشـخص، والزمـن الذي يتطلبـه اجتياز الممر. اسـتعمل مدخـل البنايـة أو أي موقع آخر واحصـل على هذه القياسـات. ثم احسـب الزمن الذي يحتاج إليه طالـب لاجتياز المنحدر مـن أدنى نقطـة فيه إلى أعلى نقطة، وكلـف طلابا بأن يجتازوه أيضا وبطريقـة طبيعية. وبعد ذلـك اطلب إلى الطلبة حسـاب القـدرة الناتجة باسـتخدام العلاقـة $p = mgh/t$، حيث تمثل p القدرة بوحدة الواط (W)، وm الكتلة الكلية بوحدة الكيلوجرام (kg) و g تسارع الجاذبية الأرضية، و h ارتفاع المنحدر. م2 **حسي - حركي**

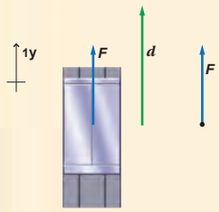
141

مثال 3

القدرة يرفع محرك كهربائي مصعدًا مسافة 9.00 m خلال 15.0 s بالتأثير بقوة رأسيَّة إلى أعلى مقدارها 1.20×10^4N . ما القدرة التي ينتجها المحرك بوحدة kW؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططًا توضيحيًّا للحالة يوضح المصعد مع الشروط الابتدائية.
- اختر محاور إسناد على أن يكون الاتجاه الموجب رأسيًّا إلى أعلى.
- ارسم مخطط المتجهات للقوة والإزاحة.



المعلوم	المجهول
$d = 9.00$ m	$P = ?$
$t = 15.0$ s	
$F = 1.20\times10^4$ N	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لإيجاد القدرة.

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

بالتعويض عن $W=Fd$

$$= \frac{Fd}{t}$$

بالتعويض عن $F=1.20\times10^4$ N, $d=9.00$ m, $t=15.0$ s

$$= \frac{(1.20\times10^4\ \text{N})(9.00\ \text{m})}{(15.0\ \text{s})}$$

$$= 7.20\ \text{kW}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القدرة بوحدة J/s.
- **هل للإشارة معنى؟** تتفق الإشارة الموجبة مع الاتجاه الرأسي للقوة المؤثرة إلى أعلى.

مسائل تدريبية

5. رُفع صندوق يزن 575 N رأسيًّا إلى أعلى مسافة 20.0 m، بحبل قوي موصول بمحرك. فإذا تم إنجاز العمل خلال 10.0 s، فما القدرة التي يولدها المحرك بوحدة W، ووحدة kW؟
6. ما مقدار القدرة التي تولدها مضخة في رفع 35 L من الماء كل دقيقة من عمق 110 m؟ [كل 1 L من الماء كتلته 1.00 kg]

لاحظت في المثال **3** أنه عندما تكون القوة والإزاحة في الاتجاه نفسه فإن $P = Fd/t$. ولأن النسبة d/t تمثل مقدار السرعة، فإن القدرة يمكن حسابها باستخدام العلاقة $P = Fv$ أيضًا.

مثال صفي

سؤال تتسارع مركبة نتيجة تأثرها بمحصلة قوة مقدارها 2800 N لمدة 8.0 s فقطعت مسافة 80.0 m خلال هذا الزمن، فما مقدار القدرة الناتجة؟

الإجابة

$$P = W/t$$

$$= Fd/t$$

$$= (2800\ \text{N})(80.0\ \text{m})/8.0\ \text{s}$$

$$= 28\ \text{kW}$$

مسائل تدريبية

5. 1.15 kW : 1.15×10^3 W
6. 0.63 kW

تطبيق الفيزياء

اسأل الطلبة الأسئلة الآتية فيما يتعلق بسباق فرنسا للدراجات: ما متوسط المسافة المقطوعة؟ وما متوسط الطاقة الناتجة التي يبذلها سائق الدراجة الهوائية خلال ٦ ساعات؟ وما متوسط القوة التي تؤثر بها الطريق في الدراجة الهوائية؟

$$d = (8.94\ \text{m/s})(2.16\times10^4\text{s})$$

$$= 1.93\times10^5\ \text{m} = 193\ \text{km}$$

$$E = (1.00\text{kW})(2.16\times10^4\ \text{s}) = 2.16\times10^7\ \text{J}$$

يتحول ربع ناتج الطاقة فقط إلى شغل ميكانيكي، لذا فعند حساب القوة، ينبغي أن نعرف أنه يستهلك 25.0% فقط من ناتج الطاقة.

$$F_{ave} = \frac{(2.16\times10^7\ \text{J})(0.25)}{(1.93\times10^5\text{m})}$$

$$= 28.0\ \text{N}$$

ومن الناحية العملية، فإن القوة الأمامية تتغير بمقدار كبير خلال القيادة. م2

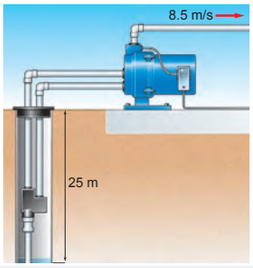
نشاط — مشروع فيزياء

وزن المركبة والاقتصاد في استهلاك الوقود يجب أن يعمل بعض الطلبة معًا للحصول على البيانات المتعلقة بوزن المركبات ومعدل استهلاكها للوقود (خمس على الأقل وذات حجوم مختلفة). وينبغي أن يتحول معدل الاستهلاك للوقود إلى كيلو مترات لكل لتر من الوقود. ويتعين على كل مشارك أن يسجل بدقة المسافة المقطوعة وحجم الوقود المضاف من ثلاث أو أربع محطات وقود يمرون بها. ويقدم المشاركون بعد عدة أسابيع تقريرًا يوضحون فيه ما إذا كان وزن المركبة يؤثر في استهلاك الوقود أم لا؛ وتفسير ذلك. ستختلف النتائج. ولكن في حالة المركبات الثقيلة، يبذل المزيد من الشغل الميكانيكي عند تسارع المركبة أو عند الصعود إلى أعلى التلة، كما يتطلب ذلك المزيد من الوقود لكل كيلومتر. م2

مسألة تحدٍّ

تسحب مضخة كهربائية الماء بمعدل $0.25\ m^3/s$ من بئر عمقها 25 m فإذا كان مقدار سرعة تدفق الماء من المضخة 8.5 m/s، أوجد:

1. القدرة اللازمة لرفع الماء إلى السطح.
2. الزيادة اللازمة في قدرة المضخة لجعل الماء يتدفق منها بسرعة 8.5 m/s



تطبيق الفيزياء

سباق فرنسا للدراجات قائد دراجة هوائية يقود دراجته بسرعة 8.94 m/s أكثر من 6 h يوميًّا. استعدادًا لمسابقة في فرنسا وقدرة المتسابق للمتسابق 1 kw تقريبًا. يُستهلك ربع تلك القدرة في تحريك الدراجة الهوائية ضد مقاومة الهواء، ومبدّل السرعات والإطارات، وثلاثة أرباع تلك القدرة تستهلك لتبريد جسم المتسابق.

6-1 مراجعة

7. **الشغل** تدفع مريم جسمًا كتلته 20 kg مسافة 10 m على أرضية غرفة بقوة أفقية مقدارها 80 N، احسب مقدار الشغل الذي تبذله مريم.
8. **الشغل** يحمل عاملٌ ثلاجةً كتلتها 185 kg على عربة نقل متحركة، ويدفعها الى أعلى مسافة 10.0 m على مستوى مائل عديم الاحتكاك يميل بزاوية 11.0° فوق الأفقي. ما مقدار الشغل الذي يبذله العامل؟
9. **الشغل** تسقط كرة كتلتها 0.180 kg مسافة 2.5 m، ما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرة؟
10. **الكتلة** ترفع رافعةٌ صندوقًا مسافة 1.2 m وتبذل عليه شغلاً مقداره 7.0 kJ ما مقدار كتلة الصندوق؟
11. **الشغل** تحمل أنت وزميلك صندوقين متماثلين من الطابق الأول في مبنى إلى غرفة تقع في نهاية ممر في الطابق الثاني. فإذا اخترت أن تحمل الصندوق إلى أعلى الدرج، ثم تمر عبر الممر لتصل إلى الغرفة، في حين يحمل زميلك صندوقه من الممر في الطابق الأول، ثم يصعد به السلّم الرأسي حتى يصل إلى الغرفة. أيكما يبذل شغلاً أكبر؟
12. **الشغل وطاقة الحركة** إذا بذل شغل على جسم ما فتضاعفت طاقته الحركية، فهل تتضاعف سرعته؟ وما النسبة التي تتغير بها سرعة الجسم إذا لم تتضاعف؟
13. **الشغل والقدرة** هل يعتمد الشغل اللازم لرفع كتاب إلى رف عالٍ على مقدار سرعة رفعه؟ وهل القدرة اللازمة لرفع الكتاب تعتمد على سرعة رفعه؟ وضح إجابتك.
14. **القدرة** يرفع مصعد جسمًا كتلته 1.1×10^3 kg مسافة 40.0 m، خلال 12.5 s، ما مقدار القدرة التي يولدها المصعد؟
15. **التفكير الناقد** وضح كيفية إيجاد التغير في طاقة نظام تؤثر فيه ثلاث قوى في آنٍ واحد.

مسألة تحدٍّ

1. الشغل المبذول في عملية الرفع يساوي $F_g d = mgh$. لذا، فإن القدرة:

$$P_{\text{lift}} = \frac{W}{t} = \frac{F_g d}{t} = \frac{mgd}{t}$$

$$P_{\text{lift}} = \frac{(0.25\,\text{m}^3)(1.00\times10^3\,\text{kg/m}^3)(9.80\,\text{m/s}^2)(25\text{m})}{1.0\,\text{s}}$$

$$= 6.1\times10^4\,\text{W} = 61\,\text{kW}$$

2. الشغل المبذول لزيادة طاقة الحركة

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

$$P_{\text{lift}} = \frac{W}{t} = \frac{\Delta KE}{t} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{t} = \frac{mv^2}{2t}$$

$$= \frac{(0.25\,\text{m}^3)\,(1.00\times10^3\,\text{kg/m}^3)\,(8.5\,\text{m/s}^2)}{2(1.0\,\text{s})}$$

$$= 9.0\times10^3\,\text{W} = 9.0\,\text{kW}$$

3. التقويم

التحقق من الفهم

الشغل والقدرة في عملية الرفع يرفع يوسف جسمًا كتلته 20.0 kg إلى ارتفاع 2.0 m خلال 5.0 s ويرفع عمر جسمًا كتلته 30.0 kg إلى ارتفاع 1.5 m خلال 8.0 s اطلب إلى الطلبة إجراء مقارنة بين الشغل والقدرة لكل طالب وتوضيح إجاباتهم.

الشغل الذي يبذله يوسف:

$W = (20.0\,\text{kg})\,(9.80\,\text{m/s}^2)\,(2.0\,\text{m}) = 392\,\text{J}$

الشغل الذي يبذله عمر:

$W = (30.0\,\text{kg})\,(9.80\,\text{m/s}^2)\,(1.5\,\text{m}) = 441\,\text{J}$

قدرة يوسف: $P = \frac{392\,\text{J}}{5.0\,\text{s}} = 78.4\,\text{W}$

وقدرة عمر: تقريبا $P = \frac{441\,\text{J}}{8.0\,\text{s}} = 55\,\text{W}$

م 2 منطقي – رياضي

6-1 مراجعة

7. $8\times10^2\,\text{J}$
8. $3.46\times10^3\,\text{J}$
9. $4.4\,\text{J}$
10. $6.0\times10^2\,\text{kg}$
11. كلانا ينجز مقدار الشغل نفسه.
12. الطاقة الحركية تتناسب طرديا مع مربع السرعة، لذا فإن مضاعفة الطاقة تؤدي إلى مضاعفة مربع السرعة. فتتزايد السرعة بالمعامل $\sqrt{2}$ أو 1.4
13. لا، الشغل ليس دالة رياضية بدلالة الزمن. لكن القدرة دالة رياضية بدلالة الزمن. لذا فإن مقدار القدرة يعتمد على مقدار سرعة الصعود.
14. $3.5\times10^4\,\text{W}$
15. بما أن الشغل عبارة عن تغير في الطاقة الحركية، نحسب الشغل المبذول بوساطة كل قوة. يمكن أن يكون الشغل موجبًا، أو سالبًا، أو صفرًا، اعتمادًا على الزاوية بين القوة المؤثرة وإزاحة الجسم. ومجموع الكميات الثلاث للشغل تمثل التغير في طاقة النظام.

6–2 أشكال الطاقة المتعددة

1. التركيز

نشاط محفّز

ألعاب، وطاقة حركية، ومصادر طاقة احضر مجموعة ألعاب. بعضها يعمل بوساطة الطاقة المخزنة في البطاريات، وبعضها يعمل بوساطة طاقة النابض، والأخرى تعمل بوساطة طاقة وضع الجاذبية. توضح جميع الألعاب السابقة تحولات الطاقة. اطلب إلى الطلبة تشغيل هذه الألعاب وملاحظتها، ثم اسألهم: ما شكل الطاقة التي تظهر في عمل الألعاب السابقة؟ طاقة وضع وطاقة حركية. ثم ناقشهم حول بعض مصادر الطاقة التي يمكنها تحريك العربة. الجواب المحتمل: البطاريات، النوابض، الجاذبية.

م 1 **بصري - مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

نظرية الشغل - الطاقة يتعين على الطلبة تعرّف النماذج المالية لدعم وتعزيز فهم نظرية الشغل والطاقة التي عرضت سابقًا. ويمكن توسيع هذه النماذج لتتضمن أنواعًا أخرى من الطاقة غير الطاقة الحركية.

الأهداف

- **تستخدم** نموذجًا لتربط بين الشغل والطاقة.
- **تحسب** الطاقة الحركية.
- **تحدد** طاقة وضع الجاذبية للنظام.
- **تبين** كيفية تخزين طاقة الوضع المرونية.

المفردات

طاقة وضع الجاذبية
مستوى الإسناد
طاقة الوضع المرونية
الطاقة السكونية

تستخدم كلمة طاقة في مجالات مختلفة في حياتنا اليومية؛ فيعلن مثلًا عن بعض أنواع الفواكه والحبوب على أنها مصادر للطاقة. كما يستخدم الرياضي الطاقة في تمارينه، وتسمى الشركات التي تزود منزلك بالكهرباء والغاز الطبيعي أو وقود التدفئة بشركات الطاقة. يستخدم العلماء والمهندسون كلمة الطاقة بصورة أوسع. وكما تعلمت سابقًا فإن الشغل يسبب التغير في طاقة النظام، أيْ أن الشغل ينقل الطاقة بين النظام والوسط الخارجي.

وستتعرف الآن كيف يمتلك الجسم الطاقة بطرائق مختلفة، وكيف تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، وكيف نتتبع هذه التغيرات.

نموذج لنظرية الشغل – الطاقة

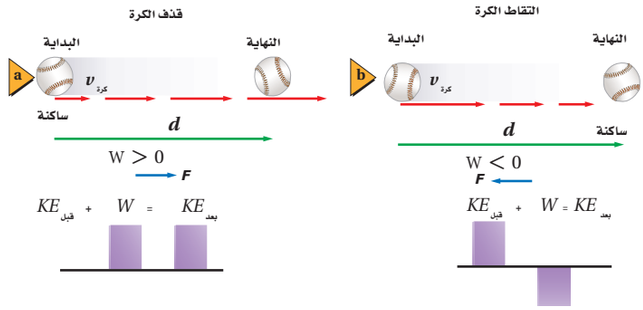
A model of the work – Energy Theorem

تعرّفت سابقًا نظرية الشغل – الطاقة، وأنه عندما يُبذل شغل على نظام معين تزداد طاقته. ومن جهة أخرى إذا بَذل النظام شغلاً تقل طاقته، وهذه هي فكرة الدرس عمومًا، ولكن تتبع الطاقة يشبه إلى حد كبير تتبع إنفاق المال.

فإذا كان لديك عمل فإن كمية المال الذي تمتلكه ستزداد في كل مرة تتسلّم فيها مخصصاتك(راتبك).ويمكن تمثيل هذه العملية بيانيًّا بالأعمدة كما في **الشكل 6a–6**، حيث يمثل العمود البرتقالي مقدار المال الذي بدأت به، ويمثل العمود الأزرق مقدار المال الذي دفعته أو اكتسبته. أما العمود الأخضر فيمثل مجموع المال (راتبك). ماذا يحدث لو أنفقت من مالك؟ سيقل مجموع النقود الكلي كما في **الشكل 6b–6**. فالعمود الذي يمثل مقدار المال الذي تمتلكه قبل أن تشتري قرصًا مدمجًا لحاسوبك (**CD**) أعلى من العمود الذي يمثل مقدار المال المتبقي بعد شراء ذلك القرص، والاختلاف هو أن تكلفة القرص والتدفق المالي يبينه العمود الذي في أسفل المحور لأنه يمثل المال الخارج، ويكون الإنفاق سالبًا. والطاقة تشبه عملية صرفك للمال. فالطاقة إما أن يبذلها النظام أو تبذل عليه.

الشكل 6–6 (**a**)عندما تكسب مالاً، يزيد مقدار المال لديك. (**b**) وعندما تصرف المال يقل مقداره لديك. والطاقة يمكن أن يبذلها النظام أو تبذل عليه

قذف الكرة، يمكن أن نبين كيفية كسب الطاقة أو فقدانها أيضًا بقذف الكرة والتقاطها. تعلمت سابقًا أنه إذا أثرت بقوة ثابتة ***F*** في جسم، فتحرك هذا الجسم مسافة d في اتجاه القوة، فإنك تكون قد بذلت شغلاً يُعبر عنه بالعلاقة $W = Fd$، ويكون الشغل موجبًا؛ لأن القوة والحركة في الاتجاه نفسه، كما أن طاقة الجسم ازدادت بمقدار يساوي الشغل نفسه W. افترض أن هذا الجسم كرة، وأثرت فيها بقوة وحركتها أفقيًّا، فتكتسب الكرة طاقة حركية نتيجة لتأثير القوة، **لاحظ الشكل 7–6**، يمكنك استخدام التمثيل البياني بالأعمدة لتوضيح هذه العملية، حيث يمثل ارتفاع العمود مقدار الشغل المبذول أو الطاقة بالجول. الطاقة الحركية بعد بذل الشغل تساوي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل المبذول على الكرة.



الشكل 7–6 (a) الطاقة الحركية بعد قذف الكرة أو التقاطها تساوي الطاقة الحركية قبل قذفها أو التقاطها + الشغل المبذول. (b) الشغل المبذول على الكرة سالب، والطاقة الحركية النهائية صفر.

التقاط الكرة، ماذا يحدث عندما تلتقط الكرة؟ بما أن الكرة كانت متحركة فإنها تمتلك طاقة حركية قبل أن ترتطم بيدك. وعندما تلتقطها تؤثر فيها بقوة في الاتجاه المعاكس لاتجاه حركتها، لذا فإنك بذلت عليها شغلاً سالبًا مما جعلها تتوقف، والآن أصبحت طاقتها الحركية صفرًا. وهذه العملية ممثلة في **الشكل 7b–6**، حيث تكون الطاقة الحركية موجبة دائمًا. لذا، فالطاقة الحركية الابتدائية للكرة موجبة، والشغل المبذول على الكرة سالب، والطاقة الحركية النهائية صفر، مرة أخرى فإن الطاقة الحركية بعد توقف الكرة هي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل الذي بُذل على الكرة.

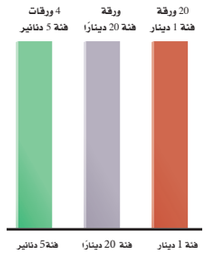
تخزين الطاقة Stored Energy

تخيل مجموعة من القطع الصخرية في أعلى تلة، حيث رُفعت هذه الصخور إلى الأعلى نتيجة عمليات جيولوجية ضد قوة الجاذبية الأرضية. لذا فإن طاقة قد تخزنت في هذه الصخور، وتحركت هذه الصخور بحرية أثناء انزلاق الطبقات، حيث أخذت تتساقط وتتسارع نتيجة تحول الطاقة المختزنة فيها إلى طاقة حركية.

والألعاب التي تعمل بشد النابض تخزن طاقة في النابض المشدود بالطريقة نفسها. والمثالان السابقان يمثلان عملية تخزين الطاقة بالمعنى الميكانيكي، وهناك طرق أخرى لتخزين الطاقة، ومن هذه الطرق، أن السيارة مثلاً تخزن الطاقة على صورة طاقة كيميائية في البنزين. وبصورة عامة، فإن للطاقة فائدة كبيرة فهي تسبب الحركة عندما تتحول من شكل إلى آخر.

كيف يوضح نموذج المال الذي نوقش مؤخرًا تحولات الطاقة من شكل إلى آخر؟ يأتي المال أيضًا بطرائق مختلفة، إذ يمكن أن يكون لديك ورقة نقدية من فئة 20 دينار، أو أربعة أوراق من فئة 5 دنانير أو عشرون ورقة من فئة 1 دينار.

سيكون معك في جميع الحالات عشرون دينارا، وارتفاع العمود الذي يمثل مقدار المال في كل حالة موضّح في الرسم البياني في **الشكل 8–6**. ويمكن استخدام الرسم البياني بالأعمدة لتمثيل كمية الطاقة في أوضاع مختلفة للنظام وبالطريقة نفسها.



الشكل 8–6 المال في فئات نقدية مختلفة. والطاقة يمكن أن يبذلها النظام أو تبذل عليه.

2. التدريس

المناقشة

سؤال يظهر من خلال **الشكل 7–6** أن الشغل الذي بذلته في رمي الكرة يساوي مقدار الشغل الذي بذلته في التقاطها. فهل يبين الشكل أن القوة اللازمة لرمي الكرة تساوي دائمًا القوة اللازمة لالتقاطها؟

الجواب ليس بالضرورة. $W=Fd$، عند التقاط الكرة، يؤثر متوسط القوة في مسافة أقل، لذا فمتوسط القوة اللازمة عند التقاط الكرة أكبر من متوسط القوة اللازمة لرميها. والتحليل باستعمال نظرية الدفع – الزخم يدعم هذه النتيجة. م 1 **متفاعل**

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الطاقة كمية غيرمتجهة ارسم جسمين متساويين في الكتلة يتحركان في اتجاهين متعاكسين بسرعتين هما: $+v$ و $-v$ ، واسأل الطلبة: أي الكتلتين لها زخم أكبر؟ الكتلة ذات السرعة الموجبة. واسألهم أيضًا: أي الكتلتين لها طاقة حركية أكبر؟ الطاقة الحركية للكتلتين متساوية.

بين للطلبة أنه عند تربيع السرعة المتجهة تصبح الطاقة الحركية كمية موجبة لكنها بلا اتجاه. ثم اكتب على السبورة أن الطاقة كمية غير متجهة. م 2 **منطقي - رياضي**

معلومة للمعلم

الخلفية النظريّة للمحتوى

قانون هوك ينص قانون هوك على أن القوة اللازمة لاستطالة نابض مسافة قصيرة x تتناسب طرديًا مع الاستطالة الحادثة له $F \propto x$. ويمكن كتابة هذا التناسب بالمعادلة $F = kx$ ، حيث يمثل k ثابت النابض. والشغل المبذول لإطالة النابض يساوي $\frac{1}{2}kx^2$. وطاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض المستطيل يُعبر عنها بالعلاقة $PE_{نابض} = \frac{1}{2}kx^2$.

استعمال الشكل 6–9

اطلب إلى الطلبة رسم مخطط الجسم الحر للكرتين اليسرى والوسطى اللتين في الصورة. وبين لهم أن محصلة القوة على كل كرة هي وزنها. ثم اطلب إليهم اعتبار الكرة الوسطى في قمة مسار القذف، واسألهم فيما إذا كان مقدارا KE و PE على التوالي لها قيمة عظمى أم قيمة صغرى أثناء ارتفاع الكرة. قيمة KE تتناقص تصبح الأقل (صفرًا)، بينما قيمة PE تزداد لتصبح الأعظم. وأخيرًا اسألهم: هل بذلت الجاذبية شغلاً موجبًا أم شغلاً سالبًا على الكرة اليسرى؟ شغل سالب. مبينًا لهم أن الشغل سالب؛ لأن القوة المؤثرة في الكرة باتجاه معاكس للإزاحة.

$$W = Fd\cos\theta$$

$$\theta = 180^\circ \Rightarrow \cos 180^\circ = -1$$

اسأل الطلبة أين يكون للكرة اليسرى أكبر PE وأقل KE.

عند قمة مسار القذف. م2 **بصري – مكاني**

عرض سريع

الشغل وطاقة الوضع

الزمن المقدر 5 دقائق

الموادّ والأدوات نابض قوي، ونظارات واقية.

الخطوات اطلب إلى أحد الطلبة المتطوعين الوقوف في مقدمة الصف، ووضع النظارات الواقية على عينيه، واطلب إليه أن يسحب النابض بحيث يستطيل مسافة واضحة. ثم اسأل الطلبة هل بُذل شغل عند إطالة النابض؟ نعم القوة التي بذلها الطالب أحدثت مسافة استطالة باتجاهها. اكتب على السبورة $W=Fd$، هل يعرف الطلبة ماذا تعني F و d. تمثل F القوة اللازمة لإطالة النابض، وتمثل d المسافة التي استطالها النابض من وضع السكون.

اسأل الطلبة فيما إذا بُذلت طاقة لإطالة النابض، وهل الطاقة ما زالت موجودة في النابض المستطيل؟ نعم، زوَّد الطالب النابض بطاقة لاستطالته، وما زالت الطاقة موجودة لأنه يمكن استخدام النابض المستطيل لتحريك جسم.

طاقة وضع الجاذبية Gravitational Potential Energy

انظر إلى الكرات المقذوفة في الهواء في **الشكل 9–6**، فإذا اعتبرنا أن النظام يتكون من كرة واحدة فسيكون هناك عدة قوى خارجية تؤثر فيها. حيث تبذل قوة من يد اللاعب الذي يقذفها، فيبذل عليها شغلاً يزودها بطاقة حركية ابتدائية. وبعد أن تخرج الكرة من يد اللاعب تتأثر بقوة الجاذبية فقط، فما مقدار الشغل المبذول من قوة الجاذبية على الكرة في أثناء تغير ارتفاعها؟

الشكل 9 –6 تتغير طاقة وضع الكرة وطاقتها الحركية باستمرار عند قذفها إلى أعلى كما يفعل الولد.

الشغل المبذول من قوة الجاذبية، إذا كانت h تمثل ارتفاع الكرة فوق يد اللاعب؛ تكون الإزاحة رأسية إلى أعلى، أما قوة الجاذبية على الكرة F_g فتكون إلى أسفل، لذا سيكون شغل الجاذبية سالبًا: $W_g = -mgh$. أمّا في طريق العودة (السقوط) إلى الأسفل فإن قوة الجاذبية والإزاحة تكون في الاتجاه نفسه، وعندئذ يكون شغل الجاذبية موجبًا $W_g = mgh$، أيْ في أثناء صعود الكرة تبذل الجاذبية شغلاً سالبًا يبطئ سرعة الكرة حتى تتوقف. وفي أثناء السقوط تبذل الجاذبية شغلاً موجبًا يزيد من سرعتها، ولذلك يزيد من طاقتها الحركية، أيْ تستعيد الكرة طاقتها الحركية الابتدائية التي كانت فيها لحظة قذفها من يد اللاعب إلى الأعلى. وكأن الطاقة الحركية اختزنت في الكرة عندما ارتفعت إلى أعلى، ثم تحولت إلى طاقة حركية ثانية عندما سقطت إلى أسفل.

لو أخذنا نظامًا مكوّنًا من جسم ما والأرض نجد أن قوة الجاذبية الأرضية تبذل دائمًا شغلاً على الجسم عندما يتحرك رأسيًا. فإذا تحرك الجسم بعيدًا عن الأرض تختزن الطاقة في النظام نتيجة قوة الجاذبية بين الجسم والأرض، وتسمى هذه الطاقة **طاقة وضع الجاذبية** ويرمز إليها بالرمز PE، ويُحدّد الارتفاع الذي يصل إليه الجسم باستخدام **مستوى الإسناد**، وهو المستوى الذي تكون طاقة الوضع PE عنده صفرًا، فإذا كانت كتلة الجسم m، ويرتفع الجسم عن مستوى الإسناد مسافة h، فإن طاقة وضع الجاذبية يعبر عنها بالعلاقة:

طاقة وضع الجاذبية $PE = mgh$

طاقة وضع الجاذبية الأرضية لجسم ما تساوي حاصل ضرب كتلته في تسارع الجاذبية الأرضية وارتفاعه عن مستوى الإسناد.

تمثل g تسارع الجاذبية الأرضية، وتقاس طاقة الوضع كما تقاس الطاقة الحركية بوحدة الجول.

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

الحركة البهلوانية بيّن للطلبة أن الحركة المعقدة للكرة في **الشكل 9–6** يمكن أن تحلل في أربعة أجزاء. (1) القوة الرأسية تبذل شغلاً موجبًا على الكرة تعمل على زيادة طاقتها الحركية وتسارعها قبل أن يقذف الولد الكرة إلى الأعلى. (2) لحظة انطلاق الكرة من اليد تبدأ PE في الزيادة بينما تتناقص KE بسبب تأثير قوة غير متزنة (قوة الجاذبية الأرضية) فيها. وعند أعلى نقطة تصل إليها الكرة يكون فيها PE أكبر. (3) يتناقص مقدار PE في أثناء سقوط الكرة، مع زيادة في KE. (4) يبذل الولد عند التقاط الكرة، شغلاً سالبًا حتى تبطئ الكرة لتتوقف عن الحركة، قبل تكرار الخطوة الأولى. م1 **بصري – مكاني**

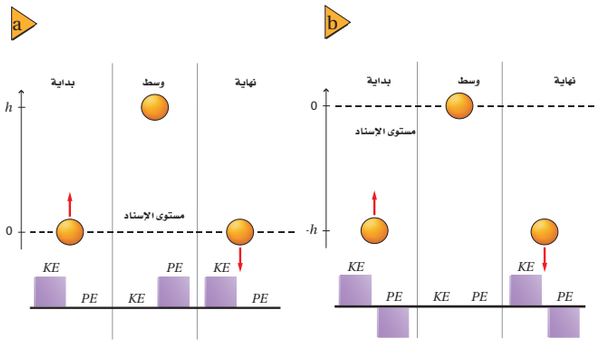
الطاقة الحركية وطاقة الوضع للنظام إذا كان النظام يتكون من الكرة والأرض في الألعاب البهلوانية كانت الطاقة في النظام على شكل طاقة حركية وطاقة وضع الجاذبية. وتكون الطاقة عند بداية قذف الكرة إلى أعلى على شكل طاقة حركية كما في **الشكل 10a–6**، وفي أثناء صعود الكرة تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع الجاذبية، وعندما تصل الكرة إلى أقصى ارتفاع تصبح سرعتها صفرًا، وتصبح الطاقة كلها طاقة وضع الجاذبية فقط، وفي أثناء السقوط تتحول طاقة وضع الجاذبية إلى طاقة حركية. ويبقى مجموع الطاقة الحركية وطاقة وضع الجاذبية ثابتًا في جميع الأوقات؛ لأنه لم يُبذل شغل على النظام من قوة خارجية.

يكون مستوى الإسناد عند يد اللاعب كما في **الشكل 10a–6**، أيْ يقاس ارتفاع الكرة من يد اللاعب.

لذا يكون عند يد اللاعب $h = 0$ و $PE = 0\ J$، ويمكن أخذ مستوى الإسناد عند أي ارتفاع مناسب في أثناء حل المسألة.

ولو افترضنا أننا أخذنا مستوى الإسناد عند أقصى ارتفاع للكرة، فعندئذ تكون $h = 0\ m$، وتكون طاقة الوضع للنظام $PE = 0J$ عند هذه النقطة كما في **الشكل 10b–6**، وتكون طاقة الوضع للنظام سالبة عند بداية قذف الكرة إلى أعلى.

وعند حساب المجموع الكلي للطاقة في النظام في **الشكل 10a–6** سيكون مختلفًا عن مجموع الطاقة الكلي للنظام في **الشكل 10b–6**، وهذا يعود إلى اختلاف مستوى الإسناد في الحالتين. لذا يبقى مجموع الطاقة الكلي للنظام ثابتًا في كل وضع وفي جميع الأوقات خلال تحليق الكرة، وتغير الطاقة فقط يحدّد حركة النظام.



الشكل 10–6 (a) تتحوّل طاقة الكرة من شكل إلى آخر في مراحل مختلفة في أثناء تحليقها (b)، لاحظ أنه يمكن تغيير مستوى الإسناد، ولكن يبقى مجموع الطاقة ثابتًا.

تطبيق الفيزياء

طاقة وضع الذّرة من المثير للاهتمام معرفة المقادير النسبية لطاقة الوضع لكل ذرة. فعلى سبيل المثال تكون كتلة ذرة الكربون $2 \times 10^{-26}\ kg$ ؛ وإذا رفعتها مسافة 1 m فوق سطح الأرض تصبح طاقة وضع الجاذبية لها $2 \times 10^{-25}\ J$، وتكون طاقة الوضع الكهربائية التي تربط الإلكترون بالذرة نحو $10^{-19}J$، وطاقة الوضع النووية التي تربط مكونات النواة أكبر من $10^{-12}\ J$، أيْ أن طاقة الوضع النووية أكبر مليون مرة من طاقة وضع الجاذبية.

تطبيق الفيزياء

تعتمد مصانع الأغذية المعلبة لفحص مواد الطعام على آلات متنوعة للتحليل الطيفي، الذي يعتمد على فهم كيفية توزيع الطاقة في الذرات والجزيئات. وتتضمن طاقة الوضع للجزيء مصادر متعددة للطاقة، مثل الطاقة الكهربائية، والنووية، والدورانية، والانتقالية (الحركية)، والاهتزازية.

يهدف التحليل الطيفي إلى دراسة التفاعل بين الإشعاع الكهرومغناطيسي والمادة، لتحليل الخصائص التركيبية والديناميكية للجزيء. يستطيع الطلبة العمل في مجموعات صغيرة، للبحث حول الآلات المتنوعة المستعملة في تحليل الطعام، واستكشاف كيف تستعمل الفيزياء فيها، ثم يكتبوا تقريرًا عمّا وجدوه ويعرضونه في الصف.

التفكير الناقد

منصة الغطس اسأل الطلبة: هل يمتلك الغطاسون جميعهم في أثناء وقوفهم على منصة الغطس طاقة الوضع نفسها؟ لا، لأنهم يمتلكون كتل مختلفة. وإذا غطسوا بالطريقة نفسها فهل يمتلك جميع الغطاسين الطاقة الحركية نفسها وهم في الماء؟ لا، لأنهم يمتلكون طاقات وضع مختلفة. وإذا غطسوا بالطريقة نفسها فهل يتحركون بالسرعة نفسها وهم في الماء؟ نعم، الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًا تتسارع بالمقدار نفسه. وهل يحتاج الغطاسون جميعهم الفترة الزمنية نفسها للسقوط من المنصة إلى الماء؟ نعم، تتسارع الأجسام الساقطة سقوطًا حرًا بالمعدل نفسه وإن اختلفت الكتل. م 2 **منطقي - رياضي**

147

مهن في الحياة اليومية

معلومة للمعلم

مهندسو الطاقة يدرك المهندسون تمامًا في محطات طاقة الرياح، أن الطاقة الحركية للرياح يمكن تسخيرها بوساطة توربينات الرياح لتوليد الطاقة الكهربائية. وتعتمد القدرة (معدل الطاقة الميكانيكية المتحولة إلى التوربين بوساطة الرياح) على مكعب سرعة الرياح. فالقيمة العظمى للقدرة المتحولة في توربين الرياح تساوي $\frac{\pi}{8} \rho D^2 v^3$، حيث تمثل ρ كثافة الهواء، وD قطر توربين الرياح، و v سرعة الرياح. وتعتمد الكفاءة التي تتحول فيها القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية على عوامل أخرى مثل كفاءة توربين الرياح والمولد الكهربائي.

مثال صفي

سؤال ما مقدار الشغل الذي يبذله العامل عند حمل 30.2 kg من الطوب من الأرض إلى أعلى الطابق الثالث الذي يبلغ ارتفاعه 11.1 m، في بناء تحت الإنشاء؟ وما مقدار طاقة الوضع للطوب عندما يصل العامل إلى الطابق الثالث؟

الإجابة

$$W = Fd = (mg)h$$

$$= (30.2\,\text{kg})\,(9.80\,\text{m/s}^2)(11.1\,\text{m})$$

$$= 3.29\,\text{kJ}$$

$$PE = mgh$$

$$= (30.2\,\text{kg})\,(9.80\,\text{m/s}^2)\,(11.1\text{m})$$

$$= 3.29\,\text{kJ}$$

تعزيز الفهم

خريطة مفاهيم يتعين على الطلبة أن يعملوا في مجموعات ثنائية لرسم خريطة المفاهيم المتعلقة بالمفاهيم الرئيسة التالية: نظرية الشغل – الطاقة وطاقة الوضع والطاقة الحركية والسرعة المتجهة والارتفاع والجاذبية والكتلة. م 1 **متفاعل**

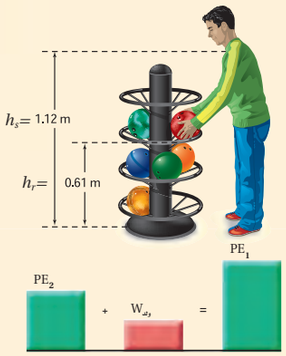
مثال 4

طاقة وضع الجاذبية إذا رفعت كرة البولنج التي كتلتها 7.30 kg من سلة الكرات إلى مستوى كتفك، وكان ارتفاع سلة الكرة عن سطح الأرض 0.610 m، وارتفاع كتفك 1.12 m، فما مقدار:

a. طاقة وضع الجاذبية لكرة البولنج وهي على كتفك بالنسبة إلى سطح الأرض PE_1؟

b. طاقة وضع الجاذبية لكرة بولنج على كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات PE_2؟

c. شغل الجاذبية عندما ترتفع الكرة من السلة إلى مستوى كتفك؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطّطًا للحالة.
- اختر مستوى إسناد.
- ارسم أعمدة بيانية تبين طاقة وضع الجاذبية على اعتبار أن سطح الأرض هو مستوى الإسناد.

المعلوم	المجهول
$m_{\text{كرة حمراء}}$ = 7.30 kg h_r = 0.610 m نسبة إلى سطح الأرض h_s = 1.12 m نسبة إلى سطح الأرض g = 9.8 m/s²	PE_1 = ? PE_2 = ?

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. افترض أن مستوى الإسناد هو سطح الأرض.
احسب طاقة وضع الجاذبية للكرة عند مستوى الكتف.

$$PE_1 = mgh_s$$

بالتعويض عن m= 7.30 kg, g = 9.8 m /s², h = 1.12m

$$= (7.30\,\text{kg})\,(9.8\,\text{m/s}^2)\,(1.12\,\text{m})$$

$$= 80.1\,\text{J}$$

b. افترض أن مستوى الإسناد هو سلة الكرات.
احسب ارتفاع كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات

$$h = h_s - h_r$$

احسب طاقة وضع الكرة.

$$PE_2 = mgh$$

بالتعويض عن m = 7.30 kg, g = 9.80 m/ s²

$$= mg(h_s - h_r)$$

$$= (7.30\,\text{kg})(9.8\,\text{m/s}^2)(1.12\,\text{m} - 0.610\,\text{m})$$

$$= 36.5\,\text{J}$$

148

نشاط — طرائق تدريس متنوعة

إعاقة بصرية يستفيد الطلبة كلهم من الشعور بما يحدث في التجربة. فعلى سبيل المثال، إذا نوقش مفهوم الشغل، فاطلب إليهم وضع كتلة منزلقة ذات شق على مسطرة مترية رأسية، وعندئذٍ يستطيعون حساب مقدار الشغل المبذول عند رفع الكتلة، ثم رتب التصادم بين القطع المنزلقة بحيث يستطيع الطالب الإمساك بها بعد التصادم بيده. فمثل هذا الوضع يعطي الطلبة معلومات ملموسة حول زخم الجسم بعد التصادم. م 1 **حسي - حركي**

c. الشغل المبذول من الجاذبية هو وزن الكرة مضروبًا في الارتفاع الذي وصلت إليه.

بما أن اتجاه الوزن معاكس لاتجاه حركة الكرة، فيكون الشغل سالبًا.

$$W = Fd$$
$$= -(mg)h$$
$$= -(mg)\,(h_s - h_r)$$

بالتعويض عن m=7.30 kg, g=9.80 m/s^2 و h_s = 1.12 m , h_r=0.610 m

$$= -(7.30\text{ kg})\,(9.80\text{ m/s}^2)(1.12\text{ m} - 0.610\text{ m})$$
$$= -36.5\text{ J}$$

3 تقويم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** طاقة الوضع والشغل كلاهما يُقاس بوحدة الجول.
- **هل القيمة منطقية؟** يجب أن يكون للكرة طاقة وضع أكبر بالنسبة لسطح الأرض مقارنة بطاقتها بالنسبة لسلة الكرات؛ لأن ارتفاع الكرة أكبر فوق مستوى الإسناد.

مسائل تدريبية

16. رفع طالب كتابًا كتلته 2.2 kg من فوق سطح طاولة ارتفاعها 0.80 m عن سطح الأرض، ثم وضعه على رف الكتب الذي يرتفع عن سطح الأرض مسافة2.10 m، ما مقدار طاقة وضع الجاذبية للكتاب بالنسبة إلى سطح الطاولة؟

17. إذا سقطت قطعة قرميد كتلتها 1.8 kg، على الأرض من مدخنة ارتفاعها 6.7 m، فما مقدار التغير في طاقة وضعها؟

18. يرفع عامل صندوقًا كتلته 10.0 kg إلى سطح طاولة ارتفاعها 1.1 m عن سطح الأرض، ثم دفع الصندوق على سطح الطاولة مسافة 5.0 m، ثم أسقطه على الأرض. ما التغيرات في طاقة الصندوق؟ وما مقدار التغير في طاقته الكلية؟ (أهمل الاحتكاك).

مسائل تدريبية

16. 28 J

17. -1.2×10^2 J

18. لرفع الصندوق إلى الطاولة:

$W=1.1 \times 10^2$ J

عند انزلاق الصندوق على الطاولة فإن $W = 0.0$ لأن الارتفاع لم يتغير ولأننا أهملنا الاحتكاك.

لإنزال الصندوق إلى الأرض:

$W = -1.1 \times 10^2$ J

مجموع التغير في الطاقات الثلاث يساوي:

$1.1\times10^2\text{ J} + 0.0\text{ J} + (-1.1\times10^{-2}\text{ J}) = 0.0\text{ J}$

معلومة للمعلم

الخلفية النظريّة للمحتوى

المرونة تنتج مرونة المواد جميعها عن التفاعلات الكهرومغناطيسية بين الذرات في المواد. وفي الغالب تستطيل جميع المواد الصلبة تقريبًا أو تنضغط قليلاً، أما النوابض فصممت للقيام بذلك بطريقة يمكن توقعها والتحكم فيها. ويمكن أن تستطيل المواد بشكل دائم، وتُسمى الاستطالة هنا بالتشوه اللدن، الذي ينتج عن تغير الذرات لمواضعها النسبية نتيجة الاستطالة. حتى أن القوى القليلة تسبب التشوه اللدن لكرات الصلصال.

تطوير المفهوم

الشغل المبذول على القوس وضح للطلبة أن الشغل المبذول على وتر القوس موجب؛ لأن كلاً من القوة وإزاحة وتر القوس في الاتجاه نفسه. وكذلك فإن الشغل المبذول على القوس موجب أيضًا ؛ لأن القوس تحرك بالاتجاه نفسه الذي سُحب به خيط القوس.

3. التقويم

التحقق من الفهم

طاقة الوضع اطلب إلى الطلبة وصف التغيرات في طاقة الوضع لهم عندما يصعدون الدرج إلى الأعلى، ثم يعودون بوساطة المصعد الكهربائي. التغير في طاقة الوضع يساوي mgh عند صعود الدرج. كما يساوي $-mgh$ عند العودة بوساطة المصعد الكهربائي، لأن h سالبة. م1

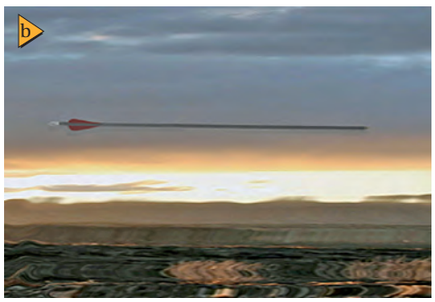
التوسع

مركز الكتلة في تحليل الحركة، فإن كتلة الجسم جميعها تعد كأنها متركزة في نقطة واحدة هي مركز الكتلة. وبالنسبة للشخص فإن هذه النقطة عادة تقع خلف أسفل البطن. في لعبة الوثب العالي يقفز اللاعب بحيث يتحرك فوق العارضة الأفقية. خلال العقود الخمسة الماضية يتحرك معظم لاعبي الوثب العالي فوق العارضة بحيث يكون الجزء العلوي من الجسم قائمًا ومعتدلاً من مثل عدّائي الحواجز. اطلب إلى الطلبة استقصاء التغيرات في طاقة الوضع الحادثة في لعبة الوثب العالي، وما الذي يفعله اللاعبون في هذه الأيام كي يتمكنوا من الوثب إلى ارتفاعات أكبر. يستعمل الرياضيون أسلوبًا جديدا بحيث لا يضطرون إلى رفع مركز كتلتهم إلى الارتفاع الذي يصله اللاعب الذي يستعمل أسلوب الجسم القائم والمعتدل، ولأن الطاقة الحركية الابتدائية أقل، تكون سرعة الشخص الذي يقفز أقل ليتعدى ارتفاعًا معينًا للعارضة. م

طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy

عند سحب الخيط المربوط بالقوس كما في **الشكل 11–6** يُبذل شغل على القوس فيخزن طاقة فيه، لذا تزداد طاقة النظام المكوّن من القوس والسهم والأرض. وعند إفلات الخيط يندفع السهم إلى الأمام، وتتحول طاقته إلى طاقة حركية. وتسمى الطاقة المخزونة عند سحب الخيط **طاقة الوضع المرونية** والتي تُختزن عادة في كرات المطاط والأربطة المطاطية والمقاليع ولوح القفز.

وتختزن الطاقة أيضًا في الجسم المثني أو المحني. عند استعمال قضبان الحديد الصلبة أو قضبان الخيزران في لعبة القفز العالي بالعصا، حيث لا تنثني القضبان بسهولة. حيث يبذل عليها قليلاً من الشغل، وبناءً على ذلك، فإن القضبان لا تخزن الكثير من طاقة الوضع، لذا تستخدم الألياف الزجاجية المرنة التي تساعد على تسجيل قفزات عالية.



الشكل 11–6 تختزن طاقة الوضع المرونية في القوس، (a) وقبل إفلات الخيط تكون الطاقة كلها طاقة وضع. (b) وعند إفلات الخيط تتحول الطاقة إلى طاقة حركية في السهم.

الشكل 12–6 عندما يقفز اللاعب مستعينًا بالزانة تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية وطاقة وضع الجاذبية.

عندما يركض لاعب الوثب العالي حاملاً عصًا مرنة (الزانة)، ويغرز طرفها السفلي في تراب الملعب، وعندما يثني اللاعب العصا كما في **الشكل 12–6** فإن جزءًا من الطاقة الحركية للاعب تتحول إلى طاقة وضع مرونية، وعندما تعتدل العصا تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة وضع جاذبية وطاقة حركية، فيرتفع اللاعب بالزانة إلى ارتفاع 6 m فوق سطح الأرض. وعلى عكس القضبان الحديدية الصلبة وعصي الخيزران فإن قضبان الألياف الزجاجية لها قابلية أكبر لتخزين طاقة الوضع المرونية. ويكون لاعب الوثب العالي قادرًا على التحرر من الزانة التي تكون قد استقامت.

الكتلة عرف ألبرت أينشتاين شكلاً آخر لطاقة وضع الكتلة. حيث يقول إن الكتلة هي طاقة بطبيعتها، وتسمى هذه الطاقة E_0 **الطاقة السكونية** ويعبر عنها بالعلاقة التالية:

الطاقة السكونية $E_0 = mc^2$

"الطاقة السكونية لجسم تساوي كتلة الجسم مضروبة في مربع سرعة الضوء".

6-2 مراجعة

19. طاقة الوضع المرونية، لديك مسدس ألعاب بداخله نابض يطلق خرزات سريعة نتيجة انضغاط النابض، وتعمل طاقة الوضع المرونية للنابض على دفع الخرزات المطاطية خارج المسدس. فإذا استخدمت هذا النظام لإطلاق الخرزات المطاطية إلى الأعلى، فارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة يصف أشكال الطاقة في اللحظات التالية:

a. لحظة دفع الخرزات داخل ماسورة المسدس وبذلك ينضغط النابض.

b. لحظة تمدد النابض وخروج الخرزات من ماسورة المسدس بعد سحب الزناد.

c. لحظة وصول الخرزات إلى أقصى ارتفاع.

20. طاقة الوضع، أطلقت قذيفة كتلتها 25.0 kg من مدفع على سطح الأرض. فإذا كان مستوى الإسناد هو سطح الأرض، فما مقدار طاقة وضع الجاذبية عندما تصبح القذيفة على ارتفاع 425 m؟ وما التغير في طاقة الوضع عندما تصل القذيفة إلى ارتفاع 225 m؟

21. نظرية الشغل – الطاقة كيف تطبق نظرية الشغل – الطاقة عند رفع كرة البولينج من سلة الكرات إلى كتفك؟

22. طاقة الوضع متسلق صخور كتلته 90.0 kg، تسلق في البداية 45.0 m فوق السطح العلوي لطبقة صخرية، ثم هبط 85.0 m من أعلى الطبقة الصخرية إلى أسفلها. فإذا كان الارتفاع الابتدائي هو مستوى الاسناد، احسب طاقة وضع الجاذبية للنظام (المتسلق والأرض) في أعلى الطبقة وفي أسفلها. وارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة لكلا الوضعين.

23. التفكير الناقد، يستخدم زياد خرطومًا هوائيًّا ليؤثر بقوة أفقية ثابتة في القرص المطاطي في لعبة الهوكي الموجود على لوح هوائي عديم الاحتكاك. فجعل الخرطوم مصوبًا على القرص وذلك للتأثير بقوة ثابتة فيه عندما يتحرك القرص مسافة محددة.

a. وضح ماذا حدث بدلالة الشغل والطاقة، وارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة للحالتين.

b. افترض أن زيادًا استخدم قرصًا مطاطيًّا آخر كتلته نصف كتلة القرص الأول، وبقيت الظروف كلها كما هي، فكيف تتغير طاقة الحركة والشغل في هذا الوضع عن الوضع الأول؟

c. فسر ما حدث في الجزأين السابقين (**a**) و (**b**) بدلالة الزخم والدفع.

6-2 مراجعة

19. a.

b.

c.

20. 4.89×10^4 J ، 1.04×10^5 J

21. الطاقة الحركية لكرة البولينج تساوي صفرًا عندما تكون مستقرة في سلة الكرات، وكذلك عندما تصل الى كتفك. لذا، فإن الشغل الكلي الذي بذلته أنت والجاذبية على الكرة يجب أن يكون صفرًا.

22. عند الحافة $PE = 3.97 \times 10^4$ J

في الأسفل $PE = -3.53 \times 10^4$ J

23. a. أثر زياد بقوة ثابتة F خلال مسافة d، وبذل شغلاً $W = Fd$ على القرص المطاطي. وهذا الشغل يغير الطاقة الحركية للقرص المطاطي $W = KE_f - kE_i = \frac{1}{2} mv_f^2$.

b. يأخذ القرص المطاطي المقدار نفسه من الشغل، والتغير نفسه في الطاقة الحركية، وبالتالي فإن القرص يتحرك بشكل أسرع بمعامل مقداره 1.414

c. القرص المطاطي الثاني له زخم أقل من القرص الأول. القرص الثاني يكتسب دفع أقل.

6–3 حفظ الطاقة

1. التركيز

نشاط محفز

حفظ الطاقة اطلب إلى الطلبة ملاحظة حركة الكرة المطاطية الصلبة عندما تسقطها نحو الأرض من ارتفاع 1 m. وكرر هذه الخطوة عدة مرات حتى يلاحظ الطلبة أن الكرة لا ترتد إلى ارتفاع أكبر من الارتفاع الذي أُسقطت منه. ثم أعد التجربة بسقوط الكرة على شبكة مضرب تنس بدلاً من سقوطها على الأرض. ثم أسقطها على وعاء مملوء بالرمل وموضوع على الأرض. واسأل الطلبة: ما أوجه الاختلاف في ملاحظتهم؟ ولماذا لا ترتفع الكرة إلى الارتفاع نفسه الذي سقطت منه؟ وماذا يحدث لطاقة الوضع؟ م 1

بصري - مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

قوانين الحفظ يتعين على الطلبة أن يتذكروا قانون حفظ الزخم الذي درسوه سابقًا، بالإضافة إلى قانون حفظ الطاقة، وقانون حفظ الكتلة خلال التفاعل الكيميائي.

الأهداف

- **تحل** مسائل باستخدام قانون حفظ الطاقة.
- **تحلّل** التصادم لإيجاد التغير في الطاقة الحركية.

المفردات

قانون حفظ الطاقة
الطاقة الميكانيكية
الطاقة الحرارية
التصادم المرن
التصادم عديم المرونة

عندما تتحرك كرة قريبًا جدًّا من سطح الأرض يكون المجموع الكلي لطاقة وضع الجاذبية والطاقة الحركية في النظام مقدارًا ثابتًا. وعند تغير ارتفاع الكرة تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع، ولكن يبقى المجموع الكلي للطاقة نفسه.

حفظ الطاقة Conservation of Energy

قد لا تبدو الطاقة محفوظة في حياتنا اليومية. فالقرص المطاطي في لعبة الهوكي يفقد طاقته الحركية ويتوقف عن الحركة في النهاية، حتى على السطح الجليدي الأملس. ويتوقف البندول عن الحركة بعد فترة ليست طويلة. ويمكنك الاستعانة بنموذج المال لتفسير مايحدث في هذه الحالات.

افترض أن لديك 50 دينارًا، وقمت في أحد الأيام بعدّ نقودك فوجدتها ناقصة **3** دنانير، فهل اختفت النقود؟ ربما تحاول أن تتذكّر ما إذا كنت قد صرفتها، وقد تحاول البحث عنها، وستطبق مبدأ حفظ المال.

قانون حفظ الطاقة، يعمل العلماء كما فعلت عندما لم يكن مجموع المال صحيحًا، وقد لاحظوا دائمًا أن الطاقة تُفقد من النظام. وقد بحثوا عن شكل جديد تتحول الطاقة إليه. هذا لأن المجموع الكلي للطاقة في أي نظام يبقى ثابتًا ما دام النظام مغلقًا ومعزولاً عن القوى الخارجية. وينصّ **قانون حفظ الطاقة** على أنه في النظام المعزول المغلق، لا تفنى الطاقة ولا تُستحدث، أيْ أن الطاقة تبقى محفوظة تحت هذه الشروط، وتتحول الطاقة من شكل إلى آخر، بحيث يبقى المجموع الكلي للطاقة في النظام ثابتًا.

حفظ الطاقة الميكانيكية يُسمى مجموع الطاقة الحركية وطاقة وضع الجاذبية للنظام **الطاقة الميكانيكية**. وفي أي نظام، إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة فإن الطاقة الميكانيكية يُعبر عنها بالمعادلة:

الطاقة الميكانيكية للنظام $E = KE + PE$

"الطاقة الميكانيكية للنظام تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة.

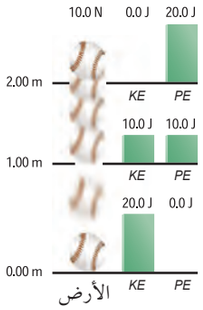
تخيل نظامًا يتكون من كرة وزنها 10.0 N والأرض، كما في **الشكل 13–6**، ومع افتراض أن الكرة سقطت من ارتفاع 2.00 m فوق سطح الأرض الذي سنعتبره مستوى الإسناد، وقبل أن تتحرك الكرة فليس لها طاقة حركية. ويعبر عن طاقة وضعها بالمعادلة التالية:

$$PE = mgh = (10.0\ \text{N})(2.00\ \text{m}) = 20.0\ \text{J}$$

المجموع الكلي للطاقة الميكانيكية للكرة 20.0 J ، وبسقوط الكرة فإنها تفقد طاقة وضع وتكسب طاقة حركية، وعندما تصبح الكرة على ارتفاع 1.0 m فوق سطح الأرض فإن

$$PE = mgh = (10.0\ \text{N})(1.00\ \text{m}) = 10.0\ \text{J}$$

ما مقدار الطاقة الحركية للكرة عندما تكون على ارتفاع 1.00 m عن سطح الأرض؟ يتكون النظام من الكرة والأرض وهو مغلق ومعزول لأنه لا يوجد قوى خارجية تؤثر



الشكل 13–6 النقص في طاقة الوضع يساوي الزيادة في الطاقة الحركية.

فيه، لذا فالمجموع الكلي لطاقة النظام E تبقى ثابتة عند 20.0 J.

$$E = KE + PE$$

$$KE = E - PE$$

$$KE = 20.0\ \text{J} - 10.0\ \text{J} = 10.0\ \text{J}$$

وعندما تصل الكرة إلى سطح الأرض، تصبح طاقة وضعها صفرًا، وطاقتها الحركية **20.0 J**، وتكتب المعادلة التي تصف حفظ الطاقة الميكانيكية على النحو التالي:

حفظ الطاقة الميكانيكية $KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}} = KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}}$

عندما تكون الطاقة الميكانيكية محفوظة فإن مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع في النظام قبل وقوع الحدث تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع في النظام بعد الحدث.

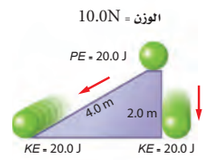
ماذا يحدث إذا تدحرجت الكرة على سطح مائل، ولم تسقط إلى الأسفل كما في **الشكل 14–6**، وإذا كان السطح مهمل الاحتكاك ولم تؤثر قوى خارجية في النظام، أيْ أن النظام مغلق ومعزول، وسقطت الكرة مسافة رأسية 2.00 m، فسوف تفقد طاقة وضع مقدارها 20.0 J. أيْ أنها اكتسبت طاقة حركية مقدارها 20.0 J ولا يؤثر المسار الذي تسلكه الكرة لأنّ السطح أملس.

عربة التزلج

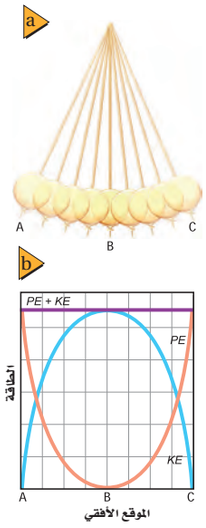
في حالة التزلج على المنحدرات المتعرجة، إذا كانت العربة ساكنة في أعلى منحدر فعند هذه النقطة يكون مجموع الطاقة الميكانيكية في النظام يساوي طاقة وضع الجاذبية. افترض وجود منحدر آخر على المسار أكثر ارتفاعًا من المنحدر الأول فإن العربة لا تستطيع الصعود إليه؛ لأن الطاقة اللازمة لذلك أكبر من الطاقة الميكانيكية في النظام.

التزلج افترض أنك تتزلج إلى أسفل منحدر عال شديد الانحدار، وبدأت من السكون من أعلى المنحدر، فسيكون مجموع طاقتك الميكانيكية هي طاقة وضع الجاذبية، ستبدأ أولاً بالتزلج إلى أسفل التل. فتتحول طاقة وضع الجاذبية لديك إلى طاقة حركية، وفي أثناء تزلجك إلى أسفل المنحدر تزداد سرعتك كلما تحولت طاقة وضع الجاذبية إلى طاقة حركية. وفي القفزة الهوائية فإن ارتفاع المنحدر هو الذي يحدد الارتفاع ومقدار الطاقة التي ستتحول إلى طاقة حركة للمتزلج.

البندول يبرهن التذبذب البسيط للبندول على مبدأ حفظ الطاقة، حيث يتكوّن النظام من البندول المتذبذب والأرض، وعادة ما يُختار مستوى الإسناد عند أسفل نقطة، وذلك عندما يسكن البندول ويتوقف عن الحركة. وإذا سُحب البندول بفعل قوة خارجية إلى أحد الطرفين، فإن هذه القوة تبذل شغلاً يُخزّن في النظام على صورة طاقة وضع . وعند الإفلات وبدء البندول المتذبذب في التحرك إلى الأسفل، تبدأ طاقة وضعه في التحول إلى طاقة حركية. و**الشكل 15–6** يوضح العلاقة البيانية لتغير طاقة الوضع وطاقة الحركة للبندول. فعندما يكون البندول عند أسفل نقطة تكون طاقة الوضع له صفرًا، وطاقة حركته تساوي الطاقة الميكانيكية الكلية، وتبقى الطاقة الميكانيكية الكلية في النظام ثابتة إذا أهملنا المقاومات.



الشكل 14–6 لا يؤثر المسار الذي يتبعه الجسم حتى يصل الأرض في مقدار الطاقة الحركية النهائية للجسم.



الشكل 15-6 (a) حركة البندول البسيط (b) الطاقة الميكانيكية هي مجموع طاقتي الحركة والوضع وهي مقدار ثابت.

2. التدريس

تطوير المفهوم

■ **الطاقة والزخم** تستخدم الطاقة لوصف حركة الجسم، بينما يستخدم الزخم والطاقة معًا لوصف التصادمات.

■ **حفظ الطاقة الميكانيكية الكلية** من الضروري تحديد جميع أشكال الطاقة التي يمتلكها الجسم، ثم تحديد فيما إذا كانت حالة الجسم، ووضعه يسمحان بحفظ الطاقة الميكانيكية الكلية.

استعمال الشكل 15–6

اشرح للطلبة أن قيمة y خلال منحنى PE الموضح في **الشكل 15–6** هو mgh. لذا فإذا قسمت قيمة PE على mg، فإن قيمة y خلال المسار هي h، وسيكون المنحنى على شكل قوس يمثل مسار ثقل البندول.

نشاط تحدٍّ

تشارك الطاقة استقصِ كيف تتحول الطاقة خلال بندولين متصلين معًا اتصالًا ضعيفًا. علق جسمين كتلة كل منهما 1 kg بالسقف أو بأي نقطة ثابتة بوساطة خيطين لهما الطول نفسه، وصل البندولين برباط مطاطي بصورة غير قوية، عند نقطة على بعد 0.5 m من النقطة العلوية للخيط، على أن يؤدي الرباط المطاطي إلى سحب أحد البندولين نحو البندول الآخر أحيانًا. ثم اسحب أحد البندولين إلى الخلف واتركه، ولاحظ حركة البندولين خلال عدة اهتزازات وصفهما بدلالة تحولات الطاقة من أحدهما إلى الآخر. م 3 بصري - مكاني

عرض سريع

حفظ الطاقة الميكانيكية

الزمن المقدر 5 دقائق

المـوادّ والأدوات خيـط وصلصـال وحامـل وعلب صودا فارغة.

الخطـوات اصنـع بنـدولاً مستخدمًا حجـم قبضـة من الصلصـال، وخيطًا طولـه 1.5 m، ثم علقة بنقطة تثبيت أو بحامل، واسحب ثقل البنـدول جانبًـا، وضع علبـة الصـودا الفارغة على مسـار الثقـل بحيث أن الثقـل المعلق يكاد يلامـس جانب العلبة أثناء اهتـزازه، ثم اطلب إلى الطلبـة قبل ترك الثقـل أن يضعوا فرضيات لما سـيحدث عند افلات البندول. بسبب حفظ الطاقة يتذبذب الثقل على جانبي نقطة التعليق، ويكاد يلامس علبة الصودا.

تجربة إضافية

البندول المهتز

الهـدف يلاحظ الطلبـة الارتفاع الـذي يصل إليه البندول المتأرجح.

الموادّ والأدوات بندول متصل بقضيب تثبيت.

الخطوات

1. اسحب ثقل البندول، ولاحظ ارتفاعه، ثم اترك الثقل، ولاحظ حركته.
2. كرر الخطوة 1 ، على أن تثبت قلم رصاص وتضعه أفقيًا في مسار الخيط الحامل للثقل.
3. اكتب عبارة تلخص ملاحظاتك. يعود ثقل البندول إلى ارتفاعه الابتدائي تقريبًا في كل مرة.

التقـويم وضح فيـما إذا كانت الطاقـة الميكانيكية محفوظـة في البندول. بما أن ثقل البندول يرتفع دائمًا إلى ارتفاعه الابتدائي نفسـه فطاقة وضعه الابتدائية والنهائية كانت متساوية، لذا فإن الطاقة الميكانيكية الكلية محفوظة.

فقدان الطاقة الميكانيكية

سـيتوقف تذبذب البندول أخيرًا، وستسـكن الكرة المرتدة عن سـطح الأرض، وسـيقل الارتفاع الذي تصل إليه عربة التزلج تدريجيًّا، فأين تذهب الطاقة في النظام؟

يتعـرض أي جسـم يتحرك في الهواء لمقاومة الهواء، وهنـاك أيضًا قوة احتكاك في عربة التزلج بين العجلات والممر.

وعندمـا ترتد الكرة عن سـطح الأرض لا تتحول جميع طاقـة الوضع المرونية المختزنة فيها إلى طاقة حركية فقط بعد الارتداد، بل يتحول جزء من هذه الطاقة إلى طاقة حرارية وطاقة صوتية وغيرها. وفي حالتي البندول وعربة التزلج تتحول بعض الطاقة الميكانيكية الابتدائيـة في النظام إلى أشـكال أخرى من الطاقة، إما داخل النظـام أو خارجه، كما في مقاومة الهواء. وعادة تعمل هذه الطاقة على رفع درجة حرارة الجسم تدريجيًّا.

استراتيجية حلّ المسائل

حفظ الطاقة

استعن بالاستراتيجيات التالية، عند حل المسائل المتعلقة بحفظ الطاقة:

1. حدّد النظام بدقة، وتأكد أنه مغلق؛ ففي النظام المغلق لا يدخل إليه جسم ولا يخرج منه.
2. عين نوع الطاقة في النظام.
3. حدّد الوضع الابتدائي والنهائي للنظام.
4. هل النظام معزول؟
   - **a.** إذا لـم تكـن هنـاك قـوة خارجيـة تؤثر في النظام يكون النظام مغلقًا، ويكون مجموع الطاقة الكلية فيه ثابتًا.

$$E_{\text{بعد}} = E_{\text{قبل}}$$

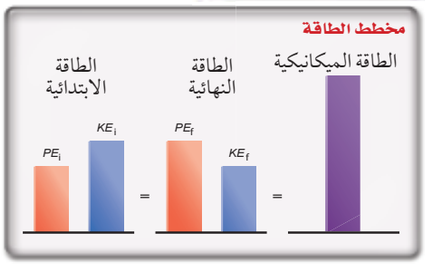
   - **b.** إذا كان هنالـك قوة خارجية تؤثر في النظام فإنّ

$$E_{\text{بعد}} = E_{\text{قبل}} + W$$

5. إذا كانـت الطاقة الميكانيكيـة محفوظةً فحدّد مسـتوى إسـناد طاقـة الوضـع، ومثّـل بيانيًّـا بالأعمـدة كلاًّ مـن الطاقـة الابتدائيـة والطاقة النهائية كما في الشكل.

ربط الرياضيات مع الفيزياء

مخطط الطاقة



معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

مسّـاح الأراضي المخـترع بنجامين بانكر مخترع أمريكي من أصـل إفريقي عاش في الفترة 1731 إلى 1806م. جورج واشنطون هو الذي عيّنه في وظيفة مسّاح أراضٍ لتخطيط مدينة واشـنطن العاصمـة اعترافًا منـه بقدراته ومهاراته في المسـاحة والرياضيـات. لم يكن بانكر مخطط مدن ومسّـاح أراضٍ فقط، بل كان نجارًا ماهرًا أيضًا، ومن إنجازاته سـاعة صنعت كاملة من الخشـب المنحوت. وكانت هذه السـاعة تعمل بوسـاطة إسقاط الأثقال. وعندما تسـحب الجاذبية الأثقال إلى الأسـفل، تحـرك مجموعة معقدة من الـتروس (نواقل الحركة) عقارب السـاعة لتشـير إلى الوقت. فتتحول طاقة وضع الأثقال إلى طاقة حركية عند حركة العقارب.

مثال 5

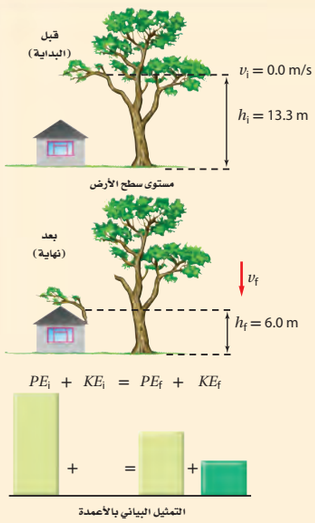
حفظ الطاقة الميكانيكية خلال عاصفة هوائية سقط غصن شجرة كبيرة كتلته 22.0 kg ومتوسط ارتفاعه عن سطح الأرض 13.3 m على سقف كوخ يرتفع 6.0 m عن سطح الأرض. احسب مقدار:

a. الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف، مع إهمال مقاومة الهواء.

b. سرعة الغصن عندما يصل إلى السقف؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع الابتدائي والوضع النهائي.
- اختر مستوى الإسناد.
- مثّل بيانيًا بالأعمدة.



المعلوم		المجهول
$m = 22.0$ kg	$g = 9.80$ m/s²	$KE_f = ?$
$h_{غصن} = 13.3$ m	$v_i = 0.0$ m/s	$PE_i = ?$
$h_{سقف} = 6.0$ m	$KE_i = 0.0$ J	$v_f = ?$
		$PE_f = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. افترض أن مستوى الإسناد هو ارتفاع السقف، ثم أوجد الارتفاع الابتدائي للغصن بالنسبة للسقف.

$h = h_{غصن} - h_{سقف}$

$= 13.3\text{ m} - 6.0\text{ m}$

$= 7.3\text{ m}$

بالتعويض عن $h_{سقف} = 6.0$ m $h_{غصن} = 13.3$ m

أوجد طاقة الوضع الابتدائية للغصن

$PE_i = m\,g\,h$

$= (22.0\text{ kg})(9.80\text{m/s}^2)(7.3\text{ m})$

$= 1.6\times10^3\text{J}$

بالتعويض عن $m=22.0$ kg, $g=9.80$ m/s², $h=7.3$ m

حدد الطاقة الحركية الابتدائية للغصن

غصن الشجرة في البداية ساكن. $KE_i = 0.0$ J

الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف تساوي طاقة الوضع الابتدائية لأن الطاقة محفوظة.

155

مثال صفي

سؤال يقفز غطاس كتلته 68.2 kg، عن منصة ارتفاعها 5.0 m. بإهمال مقاومة الهواء. ما الطاقة الحركية للغطاس، وما سرعته لحظة دخوله إلى الماء؟

الإجابة

$KE_f = PE_i = mgh$

$= (68.2\text{ kg})(9.80\text{m/s}^2)(5.0\text{m})$

$= 3.3\times10^3\text{ J}$

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

$= 3.3\times10^3\text{ J} = \frac{1}{2}(68.2\text{ kg})(v^2)$

$v = 9.8\text{ m/s}$

نشاط

عربات المختبر اطلب إلى الطلبة أن يضغطوا نابضي عربتي أحمال، على أن يتم ربط نابضي العربتين بعضهما مقابل بعض بخيط، ثم اطلب إليهم إفلات النابضين -لتنطلق العربتان -، وقياس المسافة التي تحركتها كل عربة. وأخيرًا اطلب إليهم أن يكرروا النشاط، بوضع كتل مختلفة على إحدى العربتين ويجيبوا عن الأسئلة التالية: ما المسافة التي تحركتها كل عربة بالنسبة إلى سرعتها المتجهة الابتدائية؟ المسافة التي تحركتها كل عربة تتناسب طرديًا مع سرعتها المتجهة الابتدائية. هل الزخم محفوظ في كل حالة؟ نعم، هل تبين نتائجك أن النابض يحرر المقدار نفسه من الطاقة في كل مرة يترك فيها؟ نعم.

نشاط — مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

طاقة الوضع والطاقة الحركية الفت انتباه الطلبة إلى أن طاقة الوضع والطاقة الحركية ترتبطان معًا بمفاهيم عُرضت سابقًا. فعلى سبيل المثال، إذا قُذفت كرة إلى الأعلى وغادرت سطح الأرض بسرعة متجهة v_i فسيُحدد أقصى ارتفاع تصله وفق العلاقة التالية: $v_f^2 = v_i^2 + 2ah$. الارتفاع $h = \frac{-v_i^2}{2a}$، حيث $a = -g$، الآن حلّل الحالة نفسها بدلالة الطاقة. الطاقة الكلية للكرة عند مستوى سطح الأرض تساوي $PE_i + KE_i = 0 + \frac{1}{2}mv_i^2$، وهذا يساوي الطاقة عند أقصى ارتفاع $PE_i + KE_i = mgh + 0$. فإذا ساويت بين المعادلتين ينتج $\frac{1}{2}mv_i^2 = mgh$، وعند حلها لإيجاد h سيكون الجواب نفسه كما كان من قبل $h = \frac{v_i^2}{2g}$. م 2 حسي - حركي

$KE_f = PE_i$

$= 1.6 \times 10^3\ \text{J}$

b. أوجد سرعة الغصن.

$$v_f = \sqrt{\frac{2KE_f}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(1.6 \times 10^3\text{J})}{22.0\text{kg}}}$$

$= 12\ \text{m/s}$

بالتعويض عن $KE_f = 1.6 \times 10^3\ \text{J}$، $m = 22.0\ \text{kg}$

3 تقويم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بوحدة m/s، والطاقة بوحدة $\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$.
- **هل الإشارات منطقية؟** الطاقة الحركية (KE) ومقدار السرعة دائمًا موجب.

مسائل تدريبية

24. يقترب سائق دراجة من أسفل تل بسرعة 8.5 m/s فإذا كانت كتلة السائق والدراجة 85.0 kg، فاختر النظام المناسب لطاقة الحركة الإبتدائية للنظام، ثم احسب طاقة الحركة الابتدائية للنظام. وإذا صعد السائق بالدراجة التلة؛ فاحسب الارتفاع الذي ستتوقف عنده الدراجة بإهمال المقاومات.

25. بدأ متزلج الانزلاق من فوق تل ارتفاعه 45.0 m وكان يميل بزاوية 30° عن الأفقي عند أسفل الوادي، واستمرّ في الحركة حتى وصل إلى التل الآخر الذي يبلغ ارتفاعه 40.0 m حيث يقاس ارتفاع التَّلَّين من سطح الوادي. ما مقدار سرعة مرور المتزلج من أسفل الوادي مع إهمال الاحتكاك وتأثير أعمدة الزلاجة؟ وما مقدار سرعة المتزلج عند أعلى التل الثاني؟ وهل لزاوية ميل التل أي تأثير في الجواب؟

مسائل تدريبية

24. النظام مكون من السائق والدراجة والأرض، $3.1 \times 10^3\text{J}$ ، 3.7 m

25. أسفل الوادي 29.7 m/s، قمة التلة التالية 9.90 m/s ، لا.

تحليل التصادمات Analyzing collisions

من الحالات الشائعة التي تطرح في مواضيع الفيزياء، التصادم بين السيارات أو اللاعبين أو الجسيمات الذرية. وتكون استراتيجية الحل بدراسة حركة الأجسام قبل التصادم وبعده؛ لأن تفاصيل التصادم يمكن أن تكون معقدة جدًّا في أثناء التصادم. ما قانون الحفظ الذي يمكن استخدامه لتحليل النظام؟ إذا كان النظام معزولاً فإن الزخم والطاقة محفوظان، في حين أن طاقة الوضع أو **الطاقة الحرارية** في النظام قد تقل أو تبقى ثابتة، أو تزداد. لذا لا تستطيع أن تقرر هل الطاقة الحركية محفوظة أم لا. ويبين **الشكلان 16–6 و 17–6** ثلاثة أنواع مختلفة من التصادمات. ففي الحالة **1** زخم النظام قبل التصادم وبعده يعبر عنه بالمعادلة:

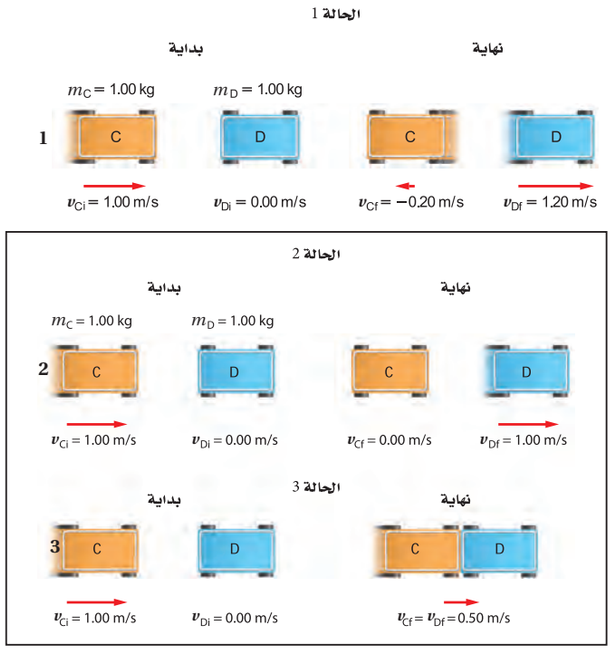
$$P_i = P_{ci} + P_{Di} = (1.00\ kg)\ (1.00\ m/s) + (1.00\ kg)\ (0.00\ m/s)$$
$$= 1.00\ kg\ m/s$$

$$P_f = P_{cf} + P_{Df} = (1.00\ kg)\ (-0.20\ m/s) + (1.00\ kg)\ (1.20\ m/s)$$
$$= 1.00\ kg.m/s$$

لذا، فإن الزخم في الحالة **1** محفوظ. انظر إلى **الشكل 17–6** وبين أن الزخم محفوظ في الحالتين **2** و **3**.

بداية / ابتدائي = i

نهاية/ نهائي = f



■ **الشكل 16–6** يمكن أن يُحدث جسمان متحركان تصادمات مختلفة. الحالة 1 يتحرك الجسمان بعد التصادم في اتجاهين متعاكسين.

■ **الشكل 17–6** الحالة 2 يتوقف الجسم المتحرك ويتحرك الجسم الساكن.
وفي الحالة 3 يلتحم الجسمان ويتحركان كجسم واحد.

عرض سريع

تحولات الطاقة

الزمن المقدر 5 دقائق

المـوادّ والأدوات كرتـان مطاطيتـان إحداهمـا كبيرة والأخرى صغيرة.

الخطـوات أسـقط كلاً مـن الكرتـين بصـورة منفـردة مـن ارتفـاع محـدد مقـارب لارتفـاع صـدرك. اطلـب إلى الطلبة ملاحظـة الارتفاع الـذي ترتـد إليـه كل منهـا، ثـم ضـع الكـرة الصغيرة فوق الكبيرة واطلب إليهم أن يضعوا فرضيات لما سيحدث في حال أُسقطت الكرتان كما فعلت سـابقًا، ثم أسـقطها. واطلب إليهم تفسـير ملاحظاتهـم. تتحـول الطاقـة الحركية خـلال التصادم مـن الكـرة الكبـيرة إلى الكرة الصغـيرة. وسـترتد الكـرة الكبيرة إلى مسـافة أقل، أما الكرة الصغيرة فسترتد إلى مسافة أعلى من ارتفاع النقطة التي سقطت منها.

نشاط — مشروع فيزياء

تصميـم الأفعوانيـة يتعـين عـلى كل طالـب أن يصمـم أفعوانيـة باسـتخدام أنبوب بلاسـتيكي صلب عازل منحنٍ تثبت عليه مرتكزات كروية لتثبيت العربات بالأنبوب. اطلب إلى الطلبة تدارس سمات مسار الأفعوانية الجيدة، وكيف تستعمل الطاقة لتحقيق هـذه السـمات. اسـألهم في أثناء تصميم الأفعوانيـة، ماذا يجب أن يعرفـوا عن الاحتكاك الـدوراني وتأثـير الطاقـة الحركيـة الدورانية. ثـم اطلب إليهـم إجراء اختبـارات أولية لتصاميمهم، عـلى أن يبين تقرير كل مشروع كيف صُممت الأفعوانية، وما الاختبارات الأولية التي أجريت، وكيف يمكن مقارنة الأفعوانية الحقيقية بالنتائج المتوقعة للتصميم المقترح. ثم اطلب إليهم عرض نتائجهم على زملائهم. م 2 **حسي - حركي**

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الزخم والطاقة للتمييز بين الزخم والطاقة الحركية اطلب إلى الطلبة أن يتحاوروا فيما بينهم للإجابة على الأسئلة التالية: كيف يكون لجسمين نفس الكتلة و نفس الطاقة، ولكن زخمهما مختلف؟ $v_1 = -v_2$ هل يكون لجسمين نفس الكتلة و نفس الزخم، ولكنهما مختلفان في الطاقة؟ لا يكون ذلك. م 2 **متفاعل**

التفكير الناقد

الزخم والطاقة اسأل الطلبة السؤال الآتي. كيف يكون لجسمين الزخم نفسه، ولكنهما مختلفان في الطاقة؟ م 2

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

وهذا لا يعني بالضرورة أن $m_1 = m_2$ ، $v_1 = v_2$

أي أن $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 \neq \frac{1}{2} m_2 v_2^2$

استعمال النماذج

تحوّل الطاقة استعمل نموذج تبادل المال لوصف تحول الطاقة من شكل إلى آخر. في التصادمات فإن الطاقة والزخم تنتقلان من جسم إلى آخر. اطلب إلى الطلبة استحداث نموذج يُبقي تداول الزخم مستقلًا عن تداول الطاقة. م 1 **بصري - مكاني**

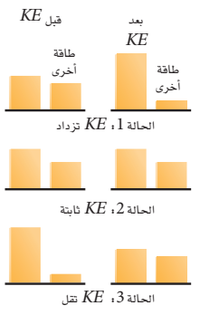
المناقشة

سؤال تخيل تصادم زلاجتين متساويتين في الكتلة على الجليد، هل يمكن أن يتغير زخم زلاجة دون أن تتغير طاقة حركتها؟

الجواب لا، في بعض الحالات يمكنك اعتبار كلٍّ من الطاقة الحركية والزخم مقياسًا لمقدار حركة الجسم. افترض أن إحدى الزلاجتين كانت ساكنة قبل التصادم. واكتسبت بعد التصادم مقدارًا معينًا من طاقة الوضع، فيكون ذلك ناجمًا عن كمية مساوية من طاقة الحركة التي انتقلت إليها من الزلاجة الأخرى.

م 2

الشكل 18–6 التمثيل البياني بالأعمدة لأنواع التصادمات الثلاثة.



ولتدرس الطاقة الحركية في النظام في كل حالة من الحالات الثلاث: ففي الحالة **1** يعبر عن الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم وبعده بالمعادلة التالية:

$$KE_{ci} + KE_{Di} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(1.00\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.00\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.50\ \text{J}$$

$$KE_{cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(-0.20\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(1.20\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.74\text{J}$$

أيْ أن الطاقة الحركية للنظام في الحالة **1** ازدادت. وإذا كانت الطاقة محفوظة في النظام فإن شكلاً من أشكال الطاقة أو أكثر يقل. ربما انفلت نابض مضغوط في أثناء تصادم العربتين مما زوّد النظام بطاقة حركية، وهذا النوع من التصادم يُسمى التصادم فوق المرن أو الانفجاري.

أمّا الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة **2** فتساوي:

$$KE_{cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(1.0\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.00\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.50\ \text{J}$$

وتبقى الطاقة الحركية كما هي بعد التصادم، ويسمى هذا النوع من التصادم الذي لا تتغير فيه الطاقة الحركية **التصادم المرن**. إن التصادم الذي يحدث بين الأجسام المرنة الصلبة – ومنها الأجسام المصنوعة من الفولاذ والزجاج أو البلاستيك الصلب – عادة ما يسمى بالتصادم المرن. أما الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة **3** فتساوي

$$KE_{cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.50\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.50\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.25\ \text{J}$$

أي أن الطاقة الحركية تقل ويتحول جزء منها إلى طاقة حرارية. ويسمى هذا النوع من التصادم الذي تقل فيه الطاقة الحركية **بالتصادم العديم المرونة**، والأجسام المصنوعة من مواد ناعمة أو لزجة مثل الطين تناسب هذه الحالة.

يمكن تمثيل أنواع التصادم الثلاثة باستخدام التمثيل البياني بالأعمدة. انظر إلى **الشكل 18–6**، كما يمكن أيضًا حساب الطاقة الحركية قبل التصادم وبعده. ويمكن إيجاد التغير في الأنواع الأخرى من الطاقة؛ إذْ تتحول الطاقة الحركية في تصادم السيارات إلى أنواع أخرى من الطاقة، ومنها الطاقة الحرارية أو الطاقة الصوتية.

158

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

المدارات الإهليلجية يوضح مبدأ حفظ الطاقة لماذا تغيّر الكواكب سرعتها في المدار الإهليلجي. لذا افترض أن القوة الوحيدة المؤثرة في الكوكب هي قوة الجاذبية بين الكوكب والنجم. ففي أثناء حركة الكوكب في مداره تتغير طاقة وضعه PE بسبب تغير بعده عن النجم. لذا يجب أن يكون للكواكب أقل KE عند النقطة التي يكون له عندها أكبر PE. والسبب في ذلك هو أن مجموع PE و KE ثابت، فأقل KE تكون عند النقطة التي تكون فيها PE عظمى وهذه النقطة هي الأبعد عن النجم. وبما أن KE تعتمد على السرعة فيكون للكواكب أقل سرعة عند أبعد مسافة، وبالعكس تكون PE أقل ما يمكن عند أقرب نقطة لذلك يجب أن تكون KE أكبر ما يمكن عندما يكون الكوكب أقرب إلى الشمس؛ لذا يكون للكوكب أكبر سرعة عند أقرب نقطة في المدار.

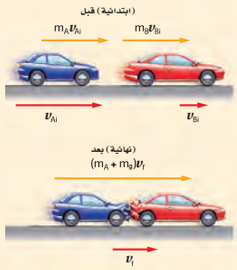
مثال 6

الطاقة الحركية تحركت سيارة كتلتها 575 kg بسرعة 15.0 m/s، ثم اصطدمت بسيارة أخرى كتلتها 1575 kg تتحرك بسرعة 5.00 m/s في الاتجاه نفسه. ما:

a. السرعة النهائية للسيارتين إذا التحمتا معًا وكوّنتا جسمًا واحدًا؟

b. مقدار الطاقة الحركية المفقودة نتيجة التصادم؟

c. نسبة الطاقة المفقودة إلى مقدار الطاقة الأصلية؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع الابتدائي والوضع النهائي.
- مثّل مخطط الزخم.

المعلوم

$m_A = 575\ \text{kg}$ $\quad m_B = 1575\ \text{kg}$

$v_{Ai} = 15.0\ \text{m/s}$ $\quad v_{Bi} = 5.00\ \text{m/s}$

$v_{Af} = v_{Bf} = v_f$

المجهول

$v_f = ?$ $\quad \Delta KE = KE_f - KE_i = ?$

$\Delta KE \ / \ KE_i = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم معادلة حفظ الزخم لإيجاد السرعة النهائية.

$$P_{Ai} + P_{Bi} = P_{Af} + P_{Bf}$$

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_f$$

$$v_f = \frac{(m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi})}{(m_A + m_B)}$$

بالتعويض عن $m_A = 575\ \text{kg}$، $v_{Ai} = 15.0\ \text{m/s}$، $m_B = 1575\ \text{kg}$، $v_{Bi} = 5.00\ \text{m/s}$

$$= \frac{(575\ \text{kg})(15.0\ \text{m/s}) + (1575\ \text{kg})(5.00\ \text{m/s})}{(575\text{kg} + 1575\text{kg})}$$

$$= 7.67\ \text{m/s}$$

في اتجاه الحركة نفسه قبل التصادم

b. لتحديد التغير في الطاقة الحركية للنظام نحتاج إلى KE_f و KE_i

$$KE_f = \frac{1}{2} m v^2$$

بالتعويض عن $m = m_A + m_B$

$m_A = 575\ \text{kg}$, $m_B = 1575\ \text{kg}$, $v_f = 7.67\ \text{m/s}$

$$= \frac{1}{2}(m_A + m_B)\, v_f^2$$

$$= \frac{1}{2}(575\ \text{kg} + 1575\ \text{kg})\,(7.67\ \text{m/s})^2$$

$$= 6.32 \times 10^4\ \text{J}$$

نشاط

طرائق تدريس متنوعة

إعاقة سمعية يتعين على الطالب وضع كرة جولف في كل يد وتحريكهما بالاتجاه نفسه، على أن تكون سرعة إحداهما ضعفا سرعة الأخرى. اعرض الشفافية مع طرح الأسئلة الآتية:

1. قارن بين الطاقة الحركية لكل من الكرتين. الكرة ذات السرعة الأكبر لها طاقة حركية أكبر.
2. إذا كانت سرعة إحدى الكرتين ضعفي سرعة الأخرى، فهل تكون طاقة حركتها ضعفي الطاقة الحركية للكرة الأخرى (ذات السرعة الأقل)؟ لا، تعتمد KE على v^2، لذا تكون الطاقة الحركية للكرة الأسرع أربعة أضعاف الطاقة الحركية للكرة الأخرى (ذات السرعة الأقل). م1 بصري - مكاني

مثال صفي

سؤال تتحرك زلاجة كتلتها 54.5 kg بسرعة 3.2 m/s. اصطدمت بزلاجة أخرى ساكنة كتلتها 44.7 kg، ثم انزلقتا معًا على سطح جليد عديم الاحتكاك. احسب سرعتهما المتجهة بعد التصادم. وما مقدار الطاقة الحركية المفقودة نتيجة هذا التصادم؟ وما نسبة الطاقة الحركية المفقودة بالنسبة إلى الطاقة الحركية الابتدائية؟

الإجابة

$$m_A v_A + m_B v_B = (m_A + m_B)\, v_f$$

$$(54.5\ \text{kg})(3.2\ \text{m/s}) + (44.7\ \text{kg})(0\ \text{m/s}) = (54.5\ \text{kg} + 44.7\ \text{kg})\, v_f$$

$$v_f = 1.8\ \text{m/s}$$

$$KE_f = \frac{1}{2}(m_A + m_B)\,(v_f)^2$$

$$= \frac{1}{2}(54.5 + 44.7)\,(1.8\ \text{m/s})^2 = 160\ \text{J}$$

$$KE_i = \frac{1}{2}(m_A v_A^2) + (m_B v_B^2)$$

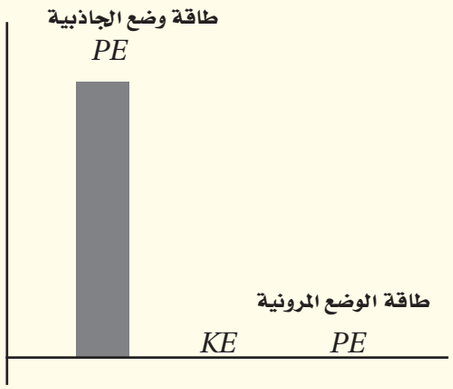
$$= \frac{1}{2}(54.5)\,(3.2\ \text{m/s}^2)^2 + \frac{1}{2}(44.7)\,(0\text{m/s}^2)$$

$$= 280\ \text{J}.\ KE_i - KE_f = 280\ \text{J} - 160\ \text{J}$$

$$= 120\ \text{J}.\ \frac{\Delta KE}{KE_i} = \frac{120\ \text{J}}{280\ \text{J}} = 0.43 \text{ or } 43\%$$

تعزيز الفهم

طاقة الوضع والطاقة الحركية ارسم التمثيل البياني التالي بوساطة الأعمدة على السبورة.



وضح أن الرسم البياني يبين توزيع الطاقة في نظام يتضمن لاعب الجمباز، وعمود الزانة، والأرض. فعندما يكون لاعب الجمباز عند أعلى نقطة من عمود الزانة، اطلب إلى الطلبة وصف الرسم البياني لحظة وصول اللاعب إلى المستوى الذي قفز منه.

م1 بصري - مكاني $PE_{g2} = PE_{e2} = 0$ ، $KE_2 = PE_{g1}$

$KE_i = KE_{Ai} + KE_{Bi}$

$= \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$

$= \frac{1}{2}(575\ \text{kg})(15.0\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1575\ \text{kg})(5.00\ \text{m/s})^2$

$= 8.44 \times 10^4\ \text{J}$

بالتعويض عن $KE_{Bi} = \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2$, $KE_{Ai} = \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$

بالتعويض عن $m_A = 575\ \text{kg}$, $m_B = 1575\ \text{kg}$,

$v_{Ai} = 15.0\ \text{m/s}$, $v_{Bi} = 5.00\ \text{m/s}$

أوجد التغير في الطاقة الحركية للنظام.

$\Delta KE = KE_f - KE_i$

$= 6.32 \times 10^4\text{J} - 8.44 \times 10^4\text{J}$

$= -2.12 \times 10^4\text{J}$

بالتعويض عن $KE_f = 6.32 \times 10^4\ \text{J}$, $KE_i = 8.44 \times 10^4\ \text{J}$,

c. أوجد نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى الطاقة الأصلية.

$\frac{\Delta KE}{KE_i} = \frac{-2.12 \times 10^4\text{J}}{8.44 \times 10^4\text{J}}$

$= -0.251$

بالتعويض عن $\Delta KE = -2.12 \times 10^4\ \text{J}$, $KE_i = 8.44 \times 10^4\ \text{J}$

أي أن 25%من الطاقة الأصلية للنظام فقدت.

3 تقويم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بوحدة **m /s** وتقاس الطاقة بوحدة **J**.
- **هل الإشارات منطقية؟** السرعة موجبة، تتوقف على السرعات الابتدائية.

مسائل تدريبية

26. هدف مغناطيسي كتلته 0.73 kg معلق بخيط، أُطلق عليه أفقيًّا سهم كتلته 0.0250 kg، فاصطدم به، والتحما معًا، وتحركا كبندول ارتفع 12.0 cm فوق المستوى الابتدائي قبل السكون اللحظي.

a. مثّل الحالة (الوضع)، ثم اختر النظام.

b. حدّد المقدار المحفوظ في كل جزء، ثم فسر ذلك.

c. ما السرعة الابتدائية للسهم؟

27. يتزلج لاعب كتلته 91.0 kg على الجليد بسرعة 5.50 m/s، ويتحرك لاعب آخر له الكتلة نفسها بسرعة 8.1 m/s في الاتجاه نفسه ليضرب اللاعب الأول من الخلف، فينزلقا معًا. احسب:

a. المجموع الكلي للطاقة والزخم في النظام قبل التصادم؟

b. سرعة اللاعبين بعد التصادم؟

c. الطاقة المفقودة في التصادم؟

مسائل تدريبية

26. a. يتضمن النظام الهدف المعلق والسهم.

b. فقط الزخم محفوظ في التصادم عديم المرونة بين السهم والهدف، لذا فإن $(m + M)v_f = mv_i + Mv_i$ حيث تكون $v_i = 0$ ، حيث أن الهدف كان ساكنا في البداية، v_f تمثل سرعة الجسمين بعد التصادم والالتحام. فتكون الطاقة أثناء التحام السهم بالهدف وارتفاعهما إلى أعلى، محفوظة، لذا فإن $\Delta PE = \Delta KE$، أو عند أعلى ارتفاع للتأرجح:

$(m+M)\ gh_f = \frac{1}{2}(m+M)\ (v_f)^2$

c. 46 m /s

27. a. $1.2 \times 10^3\ \text{kg.m/s}$ ، $4.4 \times 10^3\ \text{J}$

b. 6.8 m /s

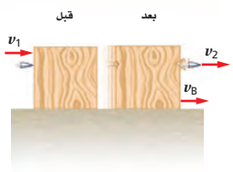
c. $2 \times 10^2\ \text{J}$

يمكنك أن ترى أن هناك اختلافًا حقيقيًّا بين الزخم والطاقة. فالزخم يكون دائما محفوظًا في التصادم ، أمّا الطاقة فتكون محفوظة في التصادمات المرنة فقط، والزخم هو الذي يوقف الأجسام . فمثلاً، يتحرك جسم كتلته 10.0 kg بسرعة 5.00 m/s وكان يمكنه إيقاف جسم آخر كتلته 20.0 kg يتحرك بسرعة 2.5 m/s عندما يصطدمان، وفي هذه الحالة فإن الطاقة الحركية للجسم الأصغر تكون أكبر، وهي $KE = \frac{1}{2}(10.0\text{ kg})(5.0\text{ m/s})^2 = 125\text{ J}$. أما الطاقة الحركية للجسم الأكبر فهي $KE = \frac{1}{2}(20.0\text{ kg})(2.50\text{ m/s})^2 = 62.5\text{ J}$. ويمكنك اعتمادًا على نظرية الشغل– الطاقة أن تستنتج أنه لجعل الجسم الذي كتلته 10.0 kg يتحرك بسرعة 5.00 m/s فإنه يتطلب شغلاً أكبر من الشغل اللازم لجعل الجسم الذي كتلته 20.0 kg يتحرك بسرعة 2.50 m/s. ويقال أحيانًا إنه في تصادم السيارات فإن الزخم يوقف السيارات، أما الطاقة فإنها تسبب التحطم للسيارات المتصادمة.

ومن الممكن إيجاد تصادم دون حدوث تصادم فعلي بين الأجسام. فإذا وصلت عربتان في مختبر بوساطة نابض مضغوط دون حركة على طاولة، يكون مجموع الزخم للعربتين صفرًا، وعند إفلات النابض تتأثر العربتان بقوة وتبتعد إحداهما عن الأخرى، حيث تتحول طاقة الوضع في النابض إلى طاقة حركية في العربتين. ولأن العربتين تبتعد إحداهما عن الأخرى، فيكون مجموع الزخم صفرًا.

مسألة تحدٍّ

انطلقت رصاصة كتلتها m بسرعة v_1 فاخترقت قطعة خشب ساكنة وخرجت منها بسرعة v_2، فإذا كانت كتلة القطعة الخشبية m_B وتحركت بعد التصادم بسرعة v_B، ما مقدار:



1. السرعة النهائية لقطعة الخشب v_B؟
2. الطاقة التي فقدتها الرصاصة؟
3. الطاقة التي فقدت بسبب الاحتكاك داخل القطعة الخشبية؟

مسألة تحدٍّ

1. حفظ الزخم

$$mv_1 = mv_2 + m_B v_B$$

$$m_B v_B = m(v_1 - v_2)$$

$$v_B = \frac{m(v_1 - v_2)}{m_B}$$

2. بالنسبة للرصاصة وحدها

$$KE_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$KE_2 = \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2)$$

3. الطاقة المفقودة نتيجة الاحتكاك =

$$KE_1 - KE_2 - KE_{\text{قطعة}}$$

$$KE_{\text{مفقودة}} = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}m_B v_B^2$$

نشاط تحدٍّ

التصادمات يستخدم اللاعبون في أثناء استقصائهم حول قذف كرة الجولف أبعد فأبعد عن نقطة الانطلاق، أنواعًا جديدة من رؤوس المضارب وكرات الجولف؛ إذ يمكن اعتبار ضرب الكرة تصادمًا تامّ المرونة تقريبًا بين المضرب والكرة. لذا، اطلب إلى الطلبة أن يفكروا كيف يؤثر كل من جودة الكرة، وكتلة رأس المضرب مثلاً، في طول زمن الضربة. واطلب إليهم أيضًا إعداد قائمة بمواصفات العوامل السابقة ومقارنتها بالمواصفات المعلنة في مجلة رياضية. واسألهم: أي الإعلانات تشير إلى فهم للفيزياء، وفيما إذا كانت المبادئ الفيزيائية تدعم المزاعم التي وردت في الإعلانات؟ م 3 **لغوي**

تجربة

تحويل الطاقة

الهدف استقصاء تحوّل الطاقة الميكانيكية.

المـوادّ والأدوات ثـلاث كـرات فولاذيـة مختلفـة الكتلة،وعربة ميكانيكية ذات نابض، ومسطرة مترية.

النتائج المتوقعة عينة بيانات

القطر	الكتلة
صغير (16 mm)	0.028 kg
متوسط (25 mm)	0.066 kg
كبير (32 mm)	0.13 kg

تعتمـد المسـافة التـي تتحركها الكرة المتوسـطة على النابض، والقيمة المثالية تساوي 0.8 m.

التحليل والاستنتاج

9. التوقع: سوف تتحرك الكرة الصغيرة ضعفي الارتفـاع، أما الكـرة الكبيرة فسـوف تتحرك نصـف الارتفـاع. فعليًـا: لـن ترتفـع الكـرة الصغـرى إلى المسـتوى المحـدد، أمـا الكـرة الكبرى فسـوف ترتفع أكثر قليـلاً من نصف الارتفاع؛ إذ تُستهلك بعض الطاقة في تحريك النابض والقضيب المعدني.

تجربة

تحويل الطاقة

1. اختـر كـرات مختلفـة الحجـم مـن مادة مـا، ثم جد كتلها.

2. ضع نابضًا بشـكل رأسي على طاولة المختبر

3. ضع مسطرة بشكل رأسي بجوار النابض.

4. ضع إحدى الكرات على الطـرف العلوي للنابض، واضغـط النابـض إلـى الأسفل إلى ارتفاع معيَّن.

5. اتـرك الكـرة بسـرعة ليدفعهـا النابـض رأسـيًّا إلى أعلى.

6. قس أقصى ارتفـاع تصله الكرة.

تحذير: ثبـت الكرة جيدًا قبل قذفها.

7. كـرر الخطـوات عـدة مـرات للكرة نفسـها، ثم احسب متوسط الارتفاع.

8. قـدر الارتفـاع الـذي ستصله كرات أخرى.

التحليل والاستنتاج

9. رتـب الكـرات وفـق الارتفاع الذي تصل إليه. ماذا تستنتج؟

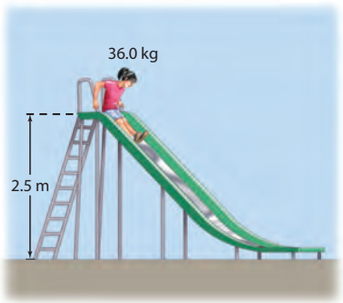
مـن المفيد هنا أن نذكر مثالين بسـيطين علـى التصادم المرن والتصـادم عديم المرونة. الأول بين جسـمين متسـاويين في الكتلة، مثـل تصادم كرة البليـاردو البيضاء المتحركة بسرعة v ، بكرة بلياردو ساكنة، حيث تتوقف الكرة البيضاء في هذا الوضع بعد التصادم، وتتحرك الكرة السـاكنة بالسـرعة نفسها v. ومن السـهل إثبات مبدأ حفظ الزخم وحفظ الطاقة في هذا التصادم.

والمثال الآخر هو التصادم الذي يحدث بين المتزلجين. فإذا فرضنا أن متزلجًا كتلته m يتحرك بسـرعة v نحو متزلج آخر سـاكن وله نفس كتلة المتزلج الأول. فالتصقا معًا بعد التصادم وتحركا كجسم واحد بسرعة $\frac{v}{2}$ نتيجة حفظ الزخم. فإن الطاقة الحركية النهائية للمتزلجين تساوي KE، حيث $KE = \frac{1}{2}(2m)\left(\frac{1}{2}v\right)^2 = \frac{1}{4}mv^2$ أيْ نصف الطاقة الحركية الابتدائيـة، وذلك لأن التصادم عديم المرونة. وقد أعطيت أمثلة توضح كيف يسـتخدم قانـون حفظ الطاقة، وأحيانًا حفظ الزخم، للتعرف على الحركة في نظام من الأجسـام، يصعب فهم حركتها باسـتخدام القانون الثاني لنيوتن فقط. لذا ينبغي فهم شـكل الطاقة في النظام، وكيفية تحولها من شـكل إلى آخر؛ لأنه أحد أكثر المفاهيم فائدة في العلوم. ويظهـر مفهوم حفظ الطاقة في كل شـيء، من الأوراق البحثيـة إلى الأجهزة الكهربائية. ويسـتخدم العلمـاء مفهوم الطاقة لاكتشـاف موضوعـات أكثر تعقيدًا مـن تصادم كرات البلياردو.

162

6-3 مراجعة

28. طاقة انزلق طفل كتلته 36.0 kg إلى أسفل منزلق ارتفاعه 2.5 m ، كما في **الشكل 19–6**. وتحرك عند أسفل المنزلق بسرعة 3.0 m/s، فما مقدار الطاقة المفقودة خلال انزلاقه؟



الشكل 19–6

29. النظام المغلق هل الأرض نظام مغلق ومعزول؟ دعّم إجابتك.

30. الطاقة الحركية افترض أن كرة من الصلصال تصادمت بكرة مطاطية صغيرة في الهواء، ثم ارتدت مسافة ما. فهل تتوقع أن تبقى الطاقة الحركية محفوظة؟ وإذا لم تكن كذلك، فماذا حدث للطاقة؟

31. طاقة الوضع سقطت كرة مطاطية من ارتفاع 8.0 m على أرض أسمنتية صلبة، فاصطدمت بها وارتدت عنها عدة مرات، وفي كل مرة كانت تخسر $\frac{1}{5}$ مجموع طاقتها، كم مرة ستصطدم الكرة بالأرض لتصل إلى ارتفاع 4 m بعد الارتداد؟

32. التفكير الناقد سقطت كرة من ارتفاع 20.0 m، وعندما وصلت إلى نصف الارتفاع كان نصفُ طاقتها طاقةَ وضع، عندما تستغرق الكرة نصف الزمن اللازم لسقوطها، هل يكون معظم طاقتها طاقة وضع، أم جزء قليل منها، أم نصفها؟

3. التقويم

التحقق من الفهم

ارسم الشكلين 16–6 و17–6، واطلب إلى الطلبة وصف تغيرات كل من الزخم والطاقة. في كل حالة الزخم محفوظ؛ الحالة 1، تزداد *KE* مع بعض التناقص الداخلي في *PE* للنظام، في الحالة 2، تبقى *KE* كما هي، وفي الحالة 3 تقل *KE* بسبب الزيادة في *PE* للنظام.

م2 **بصري - مكاني**

التوسع

وضح للطلبة أن السيارات صُمّمت لمواجهة تصادمات عديمة المرونة. واسألهم ما سبب ذلك؟ بتقليل الـ KE للسيارة خلال التصادم، يبذل على الراكب شغل أقل لتقليل طاقته الحركية KE إلى الصفر. لذا فإن القوة اللازمة لبذل الشغل على الراكب سوف تقل أيضًا. م2

6-3 مراجعة

28. 720 J.

29. الأرض نظام مغلق. وليست نظامًا معزولاً؛ لأنها تتأثر بقوة الجاذبية والطاقة المشعة من الشمس .

30. لن تكون الطاقة الحركية محفوظة، ومن المحتمل أن تتشوه العلكة (اللبان).

31. بعد ثلاثة ارتدادات.

32. سيكون للكرة طاقة الوضع أكثر.

مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة

المهارات العمليّة الملاحظة، والاستنتاج، والمقارنة والقياس، وتفسير البيانات.

الموادّ البديلة يمكن استعمال المنحدر والعربات بديلاً عن القطعتين الخشبيتين أو البلاستيكيتين المحفور فيهما أخدود (مسار)، والكرات الفولاذية، غير أن الاحتكاك يكون له تأثير أكبر في السرعة النهائية.

استراتيجيّات التدريس

- تأكد من أن الطلبة يعملون على سطح مستوٍ قدر الإمكان.
- إن أمكن، زوّد الطلبة بأسلاك توصيل للراسمة البيانية وحاسوب لمساعدتهم على طباعة رسومهم البيانية، كما يمكن استخدام ميزات برنامج إكسل Excel لإنشاء الرسوم البيانية.
- يمكن استخدام البوابات الضوئية أو كواشف الحركة لقياس الزمن.

التحليل

1. تبقى سرعة الكرة نفسها؛ لأن ارتفاعها الأولي كان دائمًا نفسه.

2.

$$PE = mgh$$

$$= (5.0 \times 10^{-3}\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2)\ (8.0 \times 10^{-2}\ \text{m})$$

$$= 3.9 \times 10^{-3}\ \text{J}$$

مختبر الفيزياء

Conservation of Energy حفظ الطاقة

هناك أمثلة عديدة لتحولات الطاقة، منها سقوط الصخور من ارتفاع معين. فإذا بدأت الصخور في السقوط ففي هذه اللحظة تكون طاقتها طاقةَ وضع فقط، وفي أثناء السقوط تقل طاقة الوضع بتناقص الارتفاع، وتزداد الطاقة الحركية. ويبقى مجموع طاقتي الحركة والوضع ثابتًا إذا أهملنا الاحتكاك. وعند لحظة الاصطدام بالأرض فإن طاقة الوضع كلها تكون قد تحولت إلى طاقة حركية. وستصمم في هذه التجربة نموذجًا لإسقاط جسم من ارتفاع معين وتحسب سرعته عندما يرتطم بالأرض.

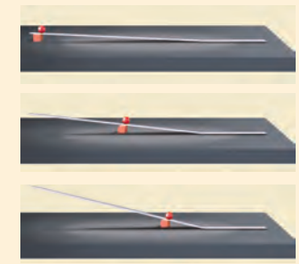
سؤال التجربة

كيف يبرهن "تحول طاقة الوضع لجسم ما إلى طاقة حركية" مبدأ حفظ الطاقة؟

الأهداف

- **تحسب** سرعة الجسم الساقط عند لحظة ارتطامه بالأرض باستخدام النموذج.
- **تفسر البيانات** لإيجاد علاقة بين طاقة وضع الجسم الساقط وطاقته الحركية.

احتياطات السلامة



المواد والأدوات

- قطعتان خشبيتان أو بلاستيكيتان محفور فيهما أخدود (مسار) مستقيم يتكون من جزأين
- ميزان إلكتروني
- ساعة وقف
- كرات فولاذية أو زجاجية
- آلة حاسبة
- مسطرة مترية
- قطعة خشبية

الخطوات

1. ثبت القطعتين ذواتي الأخدود كما في **الشكل 1**. وارفع أحد المسارين مسافة 5 cm وضعه على القطعة الخشبية. تأكد أنه يمكن للكرة التدحرج بسهولة فوق الوصلة بين جزئي المسار.
2. سجل طول الجزء الأفقي للمسار في جدول البيانات. وضع كرة على المسار فوق القطعة الخشبية مباشرة، واترك الكرة تتدحرج. شغل ساعة الوقف عندما تصل الكرة إلى الجزء الأفقي، ثم أوقفها عندما تصل إلى نهاية المسار الأفقي. وسجل الزمن الذي استغرقته لقطع المسافة الأفقية في جدول البيانات.
3. حرّك القطعة الخشبية بحيث تصبح تحت نقطة منتصف الجزء المائل من المسار، كما في **الشكل 2**. وضع الكرة على المسار فوق القطعة الخشبية مباشرة، ثم اترك الكرة تتدحرج، وقس الزمن اللازم لقطع الجزء الأفقي من المسار وسجله في جدول البيانات.
4. احسب سرعة الكرة فوق المسار الأفقي في الخطوتين 2 و3 .
5. حرّك القطعة الخشبية الآن إلى نقطة تشكّل ثلاثة

عينة بيانات

ارتفاع نقطة السقوط (m)	المسافة الأفقية (m)	الزمن (s)	السرعة (m/s)
(Fig 1) 0.050	0.5750	0.92	0.63
(Fig 2) 0.050	0.5750	0.90	0.64
(Fig 3) 0.050	0.5750	0.91	0.63
0.010	0.5750	2.05	0.281
0.020	0.5750	1.27	0.453
0.030	0.5750	1.09	0.528
0.040	0.5750	0.95	0.61
0.050	0.5750	0.85	0.68
0.060	0.5750	0.71	0.81

قائمة البيانات			
ارتفاع نقطة السقوط (m)	المسافة الأفقية (m)	الزمن (s)	السرعة (m/s)
0.05			
0.05			
0.05			
0.01			
0.02			
0.03			

أرباع طول السطح المائل، كما في **الشكل 3**.

5. توقع الزمن اللازم لوصول الكرة إلى نهاية السطح الأفقي للمسار، وسجل توقعك ثم اختبره.
6. ضع القطعة الخشبية بصورة ثابتة عند منتصف السطح المائل كما في **الشكل 2**، ثمّ حدد نقطة على السطح المائل، على أن ترتفع 1 cm عن المستوى الأفقي للمسار، وليس 1 cm فوق سطح الطاولة.
7. دع الكرة تتدحرج من هذه النقطة، وقس الزمن اللازم لقطع طول المسار الأفقي، وسجله في جدول البيانات.
8. حدّد نقطة على السطح المائل باستخدام مسطرة، على أن ترتفع هذه النقطة 2 cm فوق السطح الأفقي للمسار، ودع الكرة تسقط من هذه النقطة، ثم قس الزمن اللازم لقطع طول المسار الأفقي، وسجله في جدول البيانات.
9. أعد الخطوة **8** من ارتفاع 3 cm، 4 cm، 5 cm، 6 cm، 7 cm، 8 cm، وسجل الزمن.

التحليل

1. **استدل** على أثر تغير ميل السطح المائل في سرعة الكرة على السطح الأفقي للمسار في الخطوات 2 – 6.
2. استخدم المعلومات في الخطوة **9** عند نقطة السقوط 8 cm لإيجاد طاقة الوضع للكرة قبل سقوطها مباشرة.
3. استخدم الميزان الإلكتروني لإيجاد كتلة الكرة، ولاحظ أن الارتفاع يجب أن يكون مقيسًا بوحدة m والكتلة بوحدة kg .

الاستنتاج والتطبيق

1. حل المعادلة بالنسبة للسرعة y بدلالة الارتفاع x، وابدأ بوضع $PE_i = KE_f$.
2. وضح كيف تمثل هذه التجربة فقط سقوط كرة وإيجاد طاقتها الحركية لحظة ارتطامها بالأرض.
3. قارن بين طاقة الوضع للكرة قبل السقوط (الخطوة **8**) والطاقة الحركية للكرة على السطح الأفقي (الخطوة **9**)، ووضح لماذا تساوتا أو اختلفتا.
4. **التوصل للنتائج** هل تثبت هذه التجربة قانون حفظ الطاقة؟ وضح ذلك.

التوسع في البحث

ما مصادر الخطأ في هذه التجربة؟ وكيف تستطيع التقليل منها؟

الفيزياء في الحياة

كيف تثبت الحركة على منحدرات ذات ارتفاعات غير منتظمة مبدأ حفظ الطاقة بتحوّل طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمعرفة المزيد عن الشغل والطاقة وحفظها زُر الموقع الإلكتروني

www.obeikaneducation.com

الاستنتاج والتطبيق

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

$\frac{1}{2}my^2 = mgx$

$y^2 = 2gx \Rightarrow y = 4.4\sqrt{x}$

2. من الصعب جمع المعلومات عن سقوط الجسم واصطدامه بالأرض، بل يمكن استخدام الممر المنحدر لأن الارتفاع فوق مستوى المسار يحدد سرعة الكرة على مستوى المسار، وتكون سرعتها المتجهة ثابتة بسبب حفظ الطاقة.
3. ستختلف الإجابات، ستكون PE_i و KE_f هي نفسها بسبب حفظ الطاقة. وعمليًا، سوف يبذل الشغل بوساطة الاحتكاك مما يؤدي إلى تقليل الطاقة الحركية.
4. حتى بوجود الاحتكاك فإن النتائج تشير بصورة كافية لإثبات أن الطاقة محفوظة.

التوسع في البحث

ستختلف الإجابات، تتمثل المشكلة الكبيرة في الطاقة الدورانية في حجم الكرة وطول المسار،إذ يمكن لطاقة الحركة الدورانية أن تكون مساوية أو أكبر من طاقة الحركة الانتقالية. وأيضا إذا لامس المسار الكرة بجانب محور دورانها فيمكن أن تدور الكرة. لذا فإن استعمال كرة أصغر يساعد على تقليل طاقة الحركة الدورانية.

الفيزياء في الحياة

تتحول طاقة وضع الجاذبية للكرة في أثناء هبوط العربة من على المنحدرات المتعرجة إلى طاقة حركية ويظهر ذلك في زيادة سرعة الكرة.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اطلب إلى الطلبة أن يستقصوا مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية لجسم متحرك، ويبتكروا وضعًا تكون فيه كل من ΔPE و ΔKE للجسم متغيرة، وسيحتاجون إلى تطوير إجراءات لقياس ΔPE و ΔKE وبيان أن $\Delta PE + \Delta KE = 0$. وينبغي على الطلبة أن يختاروا موادهم الخاصة بالنشاط، ومناقشة خططهم وإجراءات الأمن والسلامة الضرورية قبل البدء بتنفيذ هذا النشاط.

التقنية والمجتمع

الخلفيّة العلميّة

يلعب كل جزء من الحذاء دوراً مهمًا، فبالإضافة إلى دور الحذاء في المحافظة على الأرجل والذي صمم في الأصل لهذا الغرض، فقد تطورت صناعة الأحذية تطوراً كبيراً خلال الفترة 1945 – 1937، وشهد هذا التطور قفزات كبيرة بعد ذلك، وأصبحت صناعة الأحذية على درجة عالية من التخصص، وتحديد أغراضها، فمن الأحذية ما هي مخصصة للمهندسين ولها من الصفات والخصائص التي تساعد على ذلك، وأخرى لها من الخصائص التي تساعد الرياضيين على أداء مهامهم بدرجة كبيرة من الفاعلية والإتقان، فمنها في هذا المجال ما يساعد على أداء المهارات الرياضية المتعلقة بالجري، وأخرى تساعد اللاعب على الوثب العالي والأفقي، ومنها ما يساعد المرء على المشي الصحي من خلال مجسات توضع في الحذاء، ومنها ما يعالج بعض التشوهات الخلقية أو الإصابات في القدمين، وكل ذلك يتم من خلال دراسة ميكانيكية المشي أو الجري أو الوثب، وفي جميع هذه الأحوال فإنها تصمم بأوزان وأحجام وأشكال يراعى فيها مقدمة الحذاء ووسطه ومؤخرته، مع ما يتطلب ذلك كله من وجود وسائد تخميد مصنعة من مواد مختلفة تعطي القدم الراحة والإمكانية الميكانيكية التي تساعد على أداء المهمات.

استراتيجيات التدريس

- اطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات ثنائية لتصميم نموذج أولي لحذاء ركض رياضي. يجب أن يكون التصميم الأولي للحذاء متكاملًا ومتوافقًا مع البحوث الرياضية الحديثة؛ للوصول إلى حذاء يناسب المبتدئين والعدّائين المحترفين.
- يمكن أن يعمل الطلبة لوحة جدارية يصفوا فيها خصائص التصميم الجديد للحذاء، بالإضافة إلى المبادئ العلمية المتضمنة في التصميم.

المناقشة

أحذية الجري إذا كان في الصف طلبة أعضاء في فريق الجري، فاطلب إليهم أن يحضروا أحذيتهم الرياضية إلى الصف. واطلب إلى الطلبة مناقشة الفروق بين تصميم ووظيفة الأحذية المسطحة وبين أحذية التدريب المستعملة في مسابقات الجري لمسافات طويلة.

تطبيق الفيزياء في صناعة أحذية الجري

تصنع أحذية الجري اليوم بتقنية عالية ؛ فهي تحسّن الأداء، وتحمي جسم اللاعب عندما تعمل على امتصاص الصدمات. فكيف يساعد حذاء الجري على الفوز في السباقات؟

يساعد حذاء الجري اللاعب على استهلاك الطاقة بفاعلية أكبر، ويكون حذاء الجري الجيد مرنًا بصورة كافية للانحناء مع قدم اللاعب في أثناء الجري، وقادرًا على دعم القدمين، وتثبيتها في مكانها، ومنعها من الانزلاق.

حذاء الجري يمتص الصدمات

هناك اهتمام كبير اليوم بتقنية نظام الوسائد المستعملة في تبطين أحذية الجري وتطويرها بحيث تعمل على امتصاص الصدمات. ففي كل مرة يضرب اللاعب بحذائه الأرض، تؤثر الأرض في الحذاء بقوة مساوية في المقدار، ومضادة في الاتجاه للقوة التي ضرب بها حذاء اللاعب الأرض، وهي تعادل أربعة أضعاف وزن اللاعب تقريبًا، والتي تسبب بدورها ألمًا في عظام ومفاصل القدم خلال الجري لمسافات طويلة.

عندما يضرب حذاء اللاعب الأرض ويتوقف يتغير زخمه، ويحسب التغير في الزخم بالعلاقة $\Delta P = F\Delta t$، حيث F هي القوة التي تؤثر بها الأرض في اللاعب و Δt هو زمن تأثير القوة.

ويعمل نظام الوسائد في حذاء الجري على جعل التغير في الزخم خلال فترة زمنية أطول، مما يقلّل من القوة التي تؤثر بها الأرض في اللاعب، وتقليل الضرر الذي يلحق بجسمه.

حذاء الجري لتحسين الأداء

تشكل عظام وعضلات وأربطة جسم اللاعب نظام وسائد طبيعي، والذي يتطلب عمله استعمال الطاقة المختزنة في جسم اللاعب لانقباض عضلاته. وإن استعمال اللاعب لنظام الوسائد يقلل من استهلاكه للطاقة المختزنة واستثمارها للجري أسرع ولمسافة أطول.

تقوم فكرة عمل نظام الوسائد على قانون حفظ الطاقة؛ فعندما تضرب قدم اللاعب الأرض تتحول الطاقة الحركية للاعب إلى طاقة وضع مرونية وطاقة حرارية. إذا استطاع اللاعب التقليل من الطاقة الحرارية المفقودة تتحول طاقة الوضع المرونية مرة أخرى إلى طاقة حركية مفيدة. تستعمل المواد المرنة المقاومة للصدمات ومنها جل السيليكون، أو نظام الموائع المعقدة، أوالنوابض – في صناعة نظام الوسائد – وذلك بغرض استهلاك اللاعب للطاقة بكفاءة أكبر.

التوسع

1. **التفسير العلمي** استعمل الفيزياء لتفسير وضع نظام الوسائد في أحذية الجري.
2. **التحليل** أي الأسطح تزود اللاعب بنظام مشابه لنظام الوسائد المستخدم في أحذية الجري: الملعب العشبي أم الرصيف؟ وضح إجابتك.
3. **البحث** لماذا يفضل البعض الجري وهم حفاة حتى في سباق الماراثون؟

التوسع

1. يستعمل المصنِّعون وسادة تخميد في النعل الأوسط لإطالة الزمن الذي يتم خلاله تأثير الزخم، مما يقلل من القوة وتعمل على حماية الجسم.
2. الجري على السطح العشبي أفضل كثيرًا لأنه يسمح بحدوث التغير في زخم قدمي العداء خلال فترة زمنية أطول، وهذا يقلل من تأثير القوة في القدم.
3. يقدم بعض العدائين أدلة قصصية تثبت أن العدو حافيًا قد يقلل الإصابات والضرر في القدم.

6–1 الطاقة والشغل Energy and Work

المفردات

- الشغل
- الطاقة
- الطاقة الحركية
- نظرية الشغل – الطاقة
- الجول
- القدرة
- الواط

الأفكار الرئيسة

- الشغل هو انتقال الطاقة بطرائق ميكانيكية. $W = Fd$
- للجسم المتحرك طاقة حركية. $KE = \frac{1}{2}mv^2$
- الشغل المبذول على نظام يساوي التغير في طاقة النظام. $W = \Delta KE$
- الشغل يساوي حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم ما في المسافة التي يتحركها الجسم في اتجاه القوة. $W = Fd\cos\theta$
- يمكن تحديد الشغل المبذول بحساب المساحة تحت منحنى القوة – الإزاحة.
- القدرة هي معدل بذل الشغل، أي المعدل الذي تنتقل خلاله الطاقة.
- الواط قدرة جهاز يستهلك طاقة مقدارها 1 J خلال فترة زمنية 1 s.

6–2 أشكال الطاقة المتعددة The Many Forms of Energy

المفردات

- طاقة وضع الجاذبية
- مستوى الإسناد
- طاقة الوضع المرونية
- الطاقة السكونية

الأفكار الرئيسة

- تتناسب الطاقة الحركية لجسم طرديًّا مع كتلته ومع مربع سرعته.
- عندما تشكّل الأرض جزءًا من نظام معزول فإن الشغل المبذول من الجاذبية يستبدل به طاقة وضع الجاذبية.
- تعتمد طاقة وضع الجاذبية لجسم ما على وزن الجسم وعلى بعده عن سطح الأرض. $PE = mgh$
- موقع مستوى الإسناد في النقطة التي نفترض طاقة وضع الجاذبية الأرضية عندها صفرًا.
- يقول أينشتاين إن للكتلة نفسها طاقة وضع، وتُسمى هذه الطاقة الطاقة السكونية. $E_0 = mc^2$

6–3 حفظ الطاقة Conservation of Energy

المفردات

- قانون حفظ الطاقة
- الطاقة الميكانيكية
- الطاقة الحرارية
- التصادم المرن
- التصادم عديم المرونة

الأفكار الرئيسة

- إذا لم يدخل أي جسم إلى النظام أو يخرج منه فإن هذا النظام يعدّ نظامًا مغلقًا. إذا لم تؤثر قوة خارجية في النظام، فإن هذا النظام يعد نظامًا معزولاً.
- يُسمّى مجموع طاقتي الوضع والحركة بالطاقة الميكانيكية. $E = KE + PE$
- مجموع الطاقة في النظام المغلق المعزول ثابت داخل النظام الواحد.
- تتغير الطاقة من شكل إلى آخر ويبقى مجموعها ثابتًا، لذا فالطاقة محفوظة $KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}} = KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}}$
- التصادم العديم المرونة تكون فيه الطاقة الحركية بعد التصادم أقل منها قبله. أما التصادم المرن فتكون فيه الطاقة الحركية قبل التصادم مساوية لما بعده.

الفصل 6
دليل الدراسة

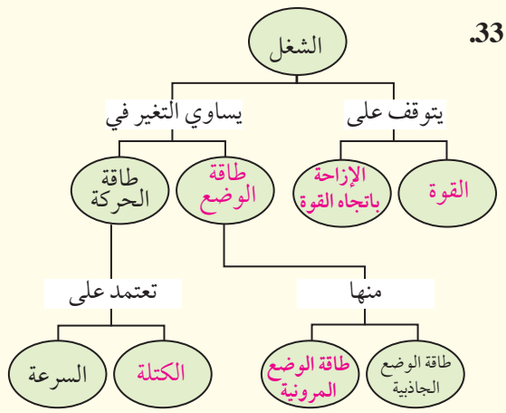
الأفكار الرئيسة

يمكن أن يستعمل الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
ارجع إلى الموقع الإلكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

خريطة المفاهيم

33.



إتقان المفاهيم

34. لا، إن قوة الجاذبية تتجه نحو مركز الأرض ومتعامدة مع اتجاه إزاحة القمر الصناعي.

35. تؤثر قوة الجاذبية وقوة عمودية رأسية إلى الأعلى فقط في الجسم. لا يُبذل شغلٌ، لأن الإزاحة متعامدة مع هذه القوى.

36. $P = \frac{W}{t}$ ، لكن $W = Fd\cos\theta$

$$P = \frac{Fd\cos\theta}{t}$$

$$P = Fv\cos\theta$$

$$v = \frac{d}{t}$$

37. **a.** تختلف طاقات الوضع باختلاف مستويات الإسناد.

b. التغيرات في طاقات الوضع الناتج عن السقوط متساوية؛ لأن التغير في h هو نفسه بالنسبة لمستويي الإسناد.

c. الطاقة الحركية للكرة عند أي نقطة متساوية؛ لأن السرعة المتجهة هي نفسها.

38. لا يمكن أن تكون الطاقة الحركية لكرة التنس سالبة؛ لأن الطاقة الحركية تعتمد على مربع السرعة المتجهة وهي دائمًا موجبة.

39. طاقة الوضع لكرة التنس قد تكون سالبة إذا كان ارتفاع الكرة تحت مستوى الإسناد.

40. تزداد الطاقة الحركية للعدّاء 9 أضعاف.

41. يمكن أن يختزن قضيب الليف الزجاجي المرن طاقة وضع مرونية لأنه ينثني بسهولة. ويمكن لهذه الطاقة أن تتحرر وتدفع اللاعب إلى الأعلى رأسيًّا. أما قضيب الخشب فلا يخزن طاقة وضع مرونية فيكون أقصى ارتفاع للاعب القفز العالي محدد بسبب التحول المباشر للطاقة الحركية إلى طاقة وضع جاذبية.

42. لقد بذلت شغلًا لأن القوة والإزاحة في نفس الاتجاه. الجاذبية بذلت شغلًا سالبا على الصندوق لأن القوة والإزاحة كانتا باتجاهين متعاكسين. الشغل الذي بذلته أنت وشغل الجاذبية منفصلان ولا يلغيان بعضهما.

43. تذهب الطاقة في انحناء الصفائح المعدنية لهياكل السيارتين وقوة احتكاك بين اطارات السيارتين والشارع وطاقة حرارية وطاقة صوتية وغيرها.

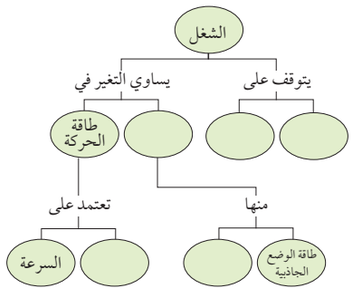
44. يساوي الشغل المبذول على الجسم التغير في الطاقة الميكانيكية الكلية للجسم. $W = \Delta(KE + PE)$. إذا كانت W موجبة و ΔPE سالبة، فإنه يجب أن تكون ΔKE موجبة وأكبر من W.

45. ستقطع الزلاجة الأكبر مسافة أكبر قبل التوقف.

خريطة مفاهيمية

افترض أن مقاومة الهواء مهملة إلا إذا أعطيت قيمتها.

33. أكمل الخريطة المفاهيمية باستخدام المصطلحات التالية: القوة، الإزاحة باتجاه القوة، طاقة الوضع، طاقة الوضع المرونية، الكتلة.



إتقان المفاهيم

34. افترض أنه يوجد قمر صناعي يدور حول الأرض في مدار دائري، فهل تبذل قوة الجاذبية الأرضية أي شغل على القمر؟

35. ينزلق جسم بسرعة مقدارها ثابت على سطح مهمل الاحتكاك، فما القوى المؤثرة في الجسم؟ وما مقدار الشغل التي تبذله كل قوة؟

36. وضح أن القدرة المنقولة يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$P = F v \cos\theta$$

37. أُسقطت كرة من أعلى مبنى، فإذا اخترت أعلى المبنى كمستوى إسناد، على حين اختار زميلك أسفل المبنى كمستوى إسناد. فوضح هل تكون الطاقة المحسوبة نفسها أم مختلفة بالنسبة لمستويي الإسناد في الحالات التالية؟

a. طاقة وضع الكرة عند أية نقطة.

b. التغير في طاقة وضع الكرة كنتيجة للسقوط.

c. الطاقة الحركية للكرة عند أية نقطة.

38. هل يمكن أن تكون الطاقة الحركية لكرة التنس سالبة؟

39. هل يمكن أن تكون طاقة الوضع لكرة التنس سالبة؟ وضح ذلك دون استخدام علاقات.

40. إذا زادت سرعة العدّاء ثلاثة أضعاف سرعته الابتدائية، فكم ضعفًا تزداد الطاقة الحركية؟

41. لماذا تتغير الوثبة بصورة كبيرة في رياضة الوثب العالي بالعصا عند استبدال عصا مصنوعة من الألياف الزجاجية بالعصا الخشبية القاسية؟

تطبيق المفاهيم

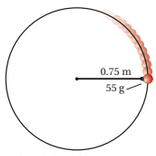
42. **الرفع** إذا رفعت صندوق كتب من الأرض ووضعته على سطح طاولة، تؤثر فيه قوة الجاذبية الأرضية بقوة مقدارها mg إلى الأسفل وتؤثر فيه أنت بقوة مقدارها mg إلى الأعلى. وبما أن هاتين القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه فيبدو كأنه لا يوجد شغل مبذول، ولكنك تعلم أنك بذلت شغلاً. فسر ما الشغل الذي بذل.

43. تصادمت سيارتان وتوقفتا تمامًا بعد التصادم، فأين ذهبت طاقتهما؟

44. بُذل شغل موجب على نظام خلال عملية معينة، فقلّت طاقة الوضع، فهل زادت الطاقة الحركية للنظام أم قلت، أم بقيت كما هي؟ وضح ذلك.

45. **التزلج** تتحرك زلاجتان مختلفتان في الكتلة بالسرعة وبالاتجاه نفسيهما، فإذا أثر الجليد في كلتا الزلاجتين بقوة الاحتكاك نفسها. فقارن بين مسافة التوقف لكل منهما.

46. إذا دوّرت جسمًا كتلته 55 g في نهاية خيط طوله 0.75 m فوق رأسك، في مستوى دائري أفقي بسرعة ثابتة، كما في **الشكل 20–6**. ما مقدار الشغل المبذول على الجسم من قوة الشد في الخيط في دورة واحدة؟



الشكل 20–6

47. أعط أمثلة دقيقة توضح العمليات التالية:

a. بُذل شغل على نظام ما فازدادت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

b. تحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية دون أن يُبذل شغل على نظام.

c. بُذل شغل على نظام، فازدادت طاقة الوضع ولم تتغير الطاقة الحركية.

d. بُذل شغل من نظام، فقلت الطاقة الحركية ولكن لم تتغير طاقة الوضع.

48. قُذفت كرتان متماثلتان من على سطح عمارة، بالسرعة نفسها، إحداهما رأسيًا إلى الأعلى والأخرى رأسيًا إلى الأسفل. قارن بين طاقتيهما الحركية وسرعتيهما عندما ترتطمان بالأرض؟

إتقان حل المسائل

الطاقة والشغل

49. **لعبة شد الحبل** بذل الفريق A خلال لعبة شد الحبل شغلاً مقداره 2.20×10^{5} J عندما سحب الفريق B مسافة 8.00 m، ما مقدار القوة التي أثر فيها الفريق A؟

50. تستخدم قوة مقدارها 300.0 N لدفع جسم كتلته 145 kg أفقيًا مسافة 30.0 m، خلال 3.00 s، احسب:

a. الشغل المبذول على الجسم.

b. القدرة المتولدة.

51. **زلاجة** يسحب شخص زلاجة كتلتها 4.5 kg على سطح جليدي بقوة مقدارها 225 N، بوساطة حبل يميل بزاوية 35.0° على الأفقي كما في **الشكل 21–6**. فإذا تحركت الزلاجة مسافة 65.3 m، فما مقدار الشغل الذي بذله الشخص؟

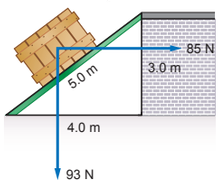
الشكل 21–6

52. يدفع عامل صندوقًا يزن 93 N إلى أعلى مستوى مائل، حيث يدفعه باتجاه أفقي يوازي سطح الأرض. انظر **الشكل 22–6**.

a. إذا أثر العامل بقوة مقدارها 85 N، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

b. ما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية؟ (انتبه إلى الإشارات التي تستخدمها)

c. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي $\mu_k = 0.20$، فما مقدار الشغل المبذول بوساطة قوة الاحتكاك؟ (انتبه إلى الإشارات التي تستخدمها).



الشكل 22–6

53. **مضخة الزيت**، تضخ مضخة $0.550\ m^3$ من الزيت خلال 35.0 s في برميل يقع على منصة ترتفع 25.0 m فوق مستوى أنبوب السحب. فإذا كانت كثافة الزيت $0.820\ g/cm^3$ احسب:

a. الشغل الذي تبذله المضخة.

b. القدرة التي تولدها المضخة.

التقويم

46. لا تبذل قوة الشد على الكتلة شغلاً؛ لأن قوة الشد تسحب الخيط عموديًا على اتجاه حركة الكتلة.

47. **a.** دفع جسم أفقيًّا على الجليد.

b. إسقاط كرة.

c. ضغط النابض في مسدس لعبة.

d. حركة سيارة على طريق مستوٍ، فتؤدي الطريق إلى التقليل من سرعتها.

48. على الرغم من أن الكرتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين، إلا أنهما يمتلكان نفس الطاقة الحركية وطاقة الوضع عند لحظة قذفهما. وسيكون لهما نفس الطاقة الميكانيكية والسرعة عندما ترتطمان بالأرض.

49. 2.75×10^{4} N

50. **a.** 9.00 kJ

b. 3.00 kW

51. 1.20×10^{4} J

52. **a.** 3.4×10^{2} J

b. -2.8×10^{2} J

c. -1.3×10^{2} J

53. **a.** 1.1×10^{2} kJ

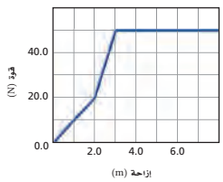
b. 3.14 kW

54. **حزام نقل** يستخدم حزام نقل طوله 12.0 m يميل بزاوية 30.0° على الأفقي لنقل حزم من الصحف من غرفة البريد إلى مبنى الشحن. فإذا كانت كتلة كل صحيفة 1.0 kg، وتتكون كل حزمة من 25 صحيفة، فاحسب القدرة التي يولدها حزام النقل إذا كان ينقل 15 حزمة في الدقيقة.

55. يوضح الرسم البياني في **الشكل 23–6** القوة والإزاحة لعملية سحب جسم. احسب:

a. الشغل المبذول لسحب الجسم مسافة 7.0 m

b. القدرة الناتجة إذا تم إنجاز الشغل خلال 2.0 s



الشكل 23–6

أشكال الطاقة

56. **القطار** استُخدم قطار تجريبي في عام 1950 كتلته 2.5×10^4 kg، وتحرك في مسار مستو باستخدام محرك نفاث يؤثر بقوة دفع مقدارها 5.00×10^5 N خلال مسافة 509 m، احسب:

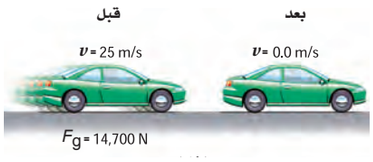
a. الشغل المبذول على القطار.

b. التغير في الطاقة الحركية للقطار.

c. الطاقة الحركية النهائية للقطار إذا بدأ بالحركة من السكون.

d. السرعة النهائية للقطار إذا أهملنا قوى الاحتكاك.

57. **مكابح السيارة** تتحرك سيارة وزنها 14700 N بسرعة 25 m/s، وفجأة استخدم السائق المكابح، وأخذت السيارة بالتباطؤ، كما في **الشكل 24–6**. فإذا كان متوسط قوة الاحتكاك بين عجلات السيارة والطريق تساوي 7100 N، فما المسافة التي تتحركها السيارة قبل أن تتوقف؟



الشكل 24–6

58. تتحرك عربة صغيرة كتلتها 15.0 kg، بسرعة متجهة مقدارها 7.50 m/s في ممر مستوٍ، فإذا أثرت فيها قوة مقدارها 10.0 N، فتغيرت سرعتها، وأصبحت 3.20 m/s. احسب:

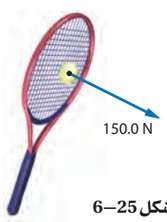
a. التغير في الطاقة الحركية للعربة.

b. الشغل المبذول على العربة.

c. المسافة التي ستتحركها العربة خلال تأثير القوة.

59. أُطلق صاروخ تجريبي كتلته 10.0 kg، رأسيًّا إلى الأعلى من محطة إطلاق. فإذا أعطاه الوقود طاقة حركية مقدارها 1960 J، خلال زمن احتراق وقود المحرك كله. فما الارتفاع الإضافي الذي سيصل إليه الصاروخ؟

60. **التنس** من الشائع عند لاعبي التنس المحترفين أن المضرب يؤثر في الكرة بقوة متوسطة مقدارها 150 N. فإذا كانت كتلة الكرة 0.060 kg، ولامست أسلاك المضرب مدة 0.03 s كما في **الشكل 25–6**. فما مقدار الطاقة الحركية للكرة لحظة ابتعادها عن المضرب؟ " افترض أن الكرة بدأت الحركة من السكون."



الشكل 25–6

التقويم

54. 3.7×10^2 W

55. **a** 2.6×10^2 J

b. 1.3×10^2 W

56. **a.** 2.55×10^8 J

b. 2.55×10^8 J

c. 2.55×10^8 J

d. 143 m/s

57. 66 m

58. **a.** – 345 J

b. – 345 J

c. 34.5 m

59. 20.0 m

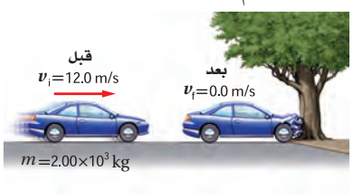
60. 1.7×10^2 J

61. التصادم اصطدمت سيارة كتلتها 2×10^3 kg وسرعتها 12.0 m/s بشجرة، فلم تتحرك الشجرة وتوقفت السيارة كما في **الشكل 26–6**. ما مقدار:

a. التغير في الطاقة الحركية للسيارة؟

b. الشغل المبذول عندما تحطمت مقدمة السيارة نتيجة اصطدامها بالشجرة؟

c. القوة التي دفعت مقدمة السيارة لمسافة 50.0 cm عند التصادم.



الشكل 26–6

62. أثرت محصلة قوى رأسية ثابتة مقدارها 410 N فرفعت حجرًا وزنه 32 N، فإذا أثرت محصلة القوى مسافة 2.0 m، وبعدها انطلق الحجر. فما المسافة الرأسية التي سيرتفعها الحجر من نقطة انطلاقه؟

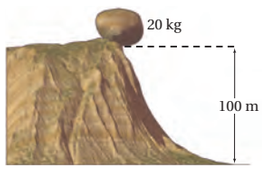
حفظ الطاقة

63. تستقر صخرة كتلتها 20 kg على حافة تل ارتفاعه 100 m كما في **الشكل 27–6**. بإهمال الاحتكاك ما مقدار:

a. طاقة وضعها بالنسبة لقاعدة التل؟

b. الطاقة الحركية للصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟

c. سرعة الصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟



الشكل 27–6

64. الرماية وضع أحد الرماة سهمًا كتلته 0.30 kg في القوس. وكان متوسط القوة المؤثرة عند سحب السهم للخلف مسافة 1.3 m تساوي 201 N، أجب عن الأسئلة التالية:

a. إذا اختزنت الطاقة كلها في السهم، فما سرعة انطلاق السهم من القوس؟

b. إذا انطلق السهم رأسيًا إلى الأعلى، فما الارتفاع الذي سيصل إليه؟

مراجعة عامة

65. يرفع لاعب ثقلاً كتلته 240 kg مسافة 2.35 m، أجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب، لرفع الثقل؟

b. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب للإمساك بالثقل فوق رأسه؟

c. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب، لإنزال الثقل مرة أخرى على الأرض؟

d. هل يبذل اللاعب شغلاً إذا ترك الثقل يسقط باتجاه الأرض؟

e. إذا رفع اللاعب الثقل خلال 2.5 s، فما مقدار القدرة الناتجة؟

66. تبذل سارة شغلاً مقداره 11.4 kJ لجر صندوق خشبي بوساطة حبل مسافة 25.0 m على أرضية غرفة بسرعة ثابتة المقدار حيث يصنع الحبل زاوية 48.0° على الأفقي. ما مقدار:

a. القوة التي يؤثر بها الحبل في الصندوق؟

b. قوة الاحتكاك المؤثرة في الصندوق؟

c. الشغل المبذول من أرضية الغرفة بوساطة قوة الاحتكاك بين الأرض والصندوق؟

التقويم

61. a. -1.44×10^5 J

b. -1.44×10^5 J

c. -2.88×10^5 J

62. 26 m

63. a. 2×10^4 J

b. 2×10^4 J

c. 40 m/s

64. a. 42 m/s

b. 8.9×10^1 m

65. a. 5.5×10^3 J

b. d = 0، لذلك فإنه لا يبذل شغل

c. -5.5×10^3 J

d. لا، لا يؤثر بقوة. لذلك فإنه لا يبذل شغلاً سواء أكان موجبًا أو سالبًا.

e. 2.2 kW

66. a. 681 N

b. 456 N، بعكس اتجاه الحركة.

c. -1.14×10^4 J

67. تطبيـق المفاهيـم يقطع عدّاء كتلتـه 75 kg مضمار سـباق طولـه 50.0 m خـلال 8.50 s، افتـرض أن تسارع العدّاء ثابت في أثناء السباق. ما:

a. متوسط قدرة العداء خلال السباق؟

b. أقصى قدرة يولدها العدّاء؟

التفكير الناقد

68. تطبيـق المفاهيـم يعـد اصطـدام طائـر بالزجـاج الأمامي لسـيارة متحركة مثالاً على تصادم جسـمين كتلـة أحدهما عدة أضعاف كتلـة الآخر، ومن ناحية أخـرى يعد تصـادم كرتي بلياردو مثـالاً على تصادم جسمين متسـاويين في الكتلة، فكيف تتحول الطاقة في هـذه التصادمـات؟ ادرس تصادمًا مرنًـا بين كرة بليـاردو كتلتها m_1 وسـرعتها v_1 بكرة أخرى سـاكنة كتلتها m_2.

a. إذا كانـت $m_1 = m_2$ ، فما نسـبة الطاقـة الابتدائية التي تنتقل إلى m_2؟

b. إذا كانـت $m_1 >> m_2$، فما نسـبة الطاقة الابتدائية التي تنتقل إلى m_2؟

الكتابة في الفيزياء

69. إن المصطلحـات: القوة، الشـغل، القـدرة والطاقة غالبًا ما تعني في الاسـتخدام اليومي الشـيء نفسـه. ابحـث عـن أمثلـة لذلـك فـي الصحـف، أو خلال سـماعك للاذاعة أو مشـاهدة التلفـاز توضح معاني هذه المصطلحات وتختلـف عما هو في الفيزياء ثم اكتب عنها.

70. الشـمس مصدر طاقة. بأي شكل من أشكال الطاقة تصـل إلينـا الطاقـة الشمسـية لتجعلنا نحيـا وتجعل مجتمعنا يعمل؟ ابحث فـي الطرق التي تتحول فيها الطاقة الشمسـية إلى الشكل الذي نسـتخدمه. وأين تذهـب هذه الطاقة بعد اسـتخدام الطاقة الشمسـية؟ وضح ذلك.

مراجعة تراكمية

71. يقـول بعـض النـاس أحيانًـا إن القمـر يبقى في مسـاره لأن " قـوة الطـرد المركـزي تـوازن تمامًا قـوة الجذب المركزي، والنتيجة أن القوة المحصلة تسـاوي صفرًا ". وضح مدى صحة هذا القول.

72. تنطلـق رصاصـة كتلتهـا 5.00 g بسـرعة 100.0 m/s، نحو جسـم صلـب كتلته 10.0 kg، مسـتقر على سـطح مستوٍ عديم الاحتكاك.

a. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا استقرت داخل الجسم الصلب؟

b. مـا مقـدار التغيـر فـي زخـم الرصاصـة إذا ارتـدت بالاتجاه المعاكس بسرعة 99 m/s؟

c. في أية حالة سيتحرك الجسم بسرعة أكبر؟

الفصل 6

التقويم

67. a. 6.1×10^2 W

b. 1.2×10^3 W

68. a. الطاقة كلها.

b. سوف تقل الطاقة المنتقلة إلى m_2.

69. سـتختلف الإجابـات. فمثلاً نقول "إنها ليسـت مجرد طاقة، إنها قدرة" تظهر في المراجع الشائعة.

70. تُمتَص الطاقة الشمسـية على شـكل طاقة حرارية وتحـول النباتـات جزءًا مـن الإشـعاع المرئي إلى طاقة كيميائية. ويُشـعُّ جـزءًا من الطاقة عائدًا إلى الفضاء.

71. توجـد قـوة واحدة عـلى القمر هي قـوة الجاذبية الأرضيـة المؤثرة فيه. وهذه القوة المحصلة تؤدي إلى تسارع القمر وهو تسارع مركزي باتجاه مركز الأرض.

72. a. -5.0 kg.m /s

b. -0.995 kg.m /s

c. عندما ترتد الرصاصة.

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي.

1. ينزلق متزلج كتلته 50.0 kg على سطح بحيرة جليدية مهملة الاحتكاك، وحينما اقترب من زميله، مدَّ هو وزميله أيديهما باتجاه بعضهما بعضًا، حيث أثر فيه زميله بقوة باتجاه معاكس لحركة المتزلج مما أدّى إلى تباطؤ مقدار سرعته من $2.0\ m/s^2$ إلى $1.0\ m/s^2$، فما مقدار التغير في الطاقة الحركية للمتزلج؟

A 25 J
B 75 J
C 100 J
D 150 J

2. تستقر كرة قدم وزنها 4 N على أرض ملعب، فإذا أثرت بها قدم لاعب بقوة 5 N مسافة 0.1 m، وتدحرجت مسافة 10 m، فما مقدار الطاقة الحركية التي اكتسبتها الكرة من اللاعب؟

A 0.5 J
B 0.9 J
C 9 J
D 50 J

3. أثرت قوة 75 N على جسم ساكن كتلته 25 kg فحركته باتجاهها لمدة 20. s. فما مقدار قدرة هذه القوة.

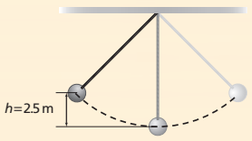
A 450 W
B 500 W
C 2250 W
D 4500 W

4. زادت سرعة دراجة هوائية من 4.0 m/s إلى 6.0 m/s، فإذا كانت كتلة راكب الدراجة والدراجة 55 kg، فما الشغل الذي بذله سائق الدراجة لزيادة سرعتها؟

A 11.0 J
B 28.0 J
C 55.0 J
D 550.0 J

5. يبين الشكل أدناه كرة معلقة بخيط تتأرجح بشكل حر في المستوى الرأسي، فإذا كانت كتلة الكرة 4.0 kg ومقاومة الهواء مهملة، فما الطاقة الحركية العظمى للكرة في أثناء حركة الكرة إلى الأمام والخلف؟

A 0.14 J
B 7.0 J
C 49.0 J
D 98.0 J



6. إذا أسقطت كرة كتلتها 6.0×10^{-2} kg من ارتفاع 1.0 m فوق سطح مستوى صلب، وعندما ضربت الكرة بالسطح فقدت 0.14 J من طاقتها، وارتدت مباشرة رأسيًا إلى الأعلى، فما مقدار الطاقة الحركية للكرة لحظة ارتدادها عن السطح المستوي؟

A 0.20 J
B 0.45 J
C 0.59 J
D 0.73 J

7. عندما ترفع صندوقًا كتلته 4.5 kg من الأرض إلى رف يرتفع 1.5 m فوق سطح الأرض، فما مقدار الطاقة التي استخدمتها في رفع الصندوق؟

A 9.0 J
B 11 J
C 49 J
D 66 J

اختبار مقنن الفصل 6-

سلّم تقدير

يمثّل الجدول التالي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة:

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، وقد تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلاً صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلاً غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

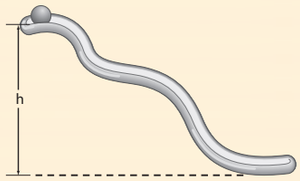
أسئلة الاختيار من متعدد

1. B
2. A
3. C
4. D
5. D
6. B
7. D

8. يبين الشكل أدناه كرة على مسار منحن، فإذا انزلقت الكرة من السكون وصلت السطح الأفقي بسرعة 14 m/s، وبإهمال الاحتكاك، فما الارتفاع h الذي انزلقت منه الكرة؟

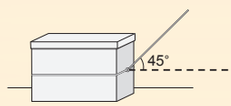
A 7 m　　C 14 m

B 10 m　　D 20 m



الأسئلة الممتدة

9. يبين الرسم التوضيحي أدناه صندوقًا يُسحب بوساطة حبل بقوة مقدارها 200.0 N على سطح أفقي، بحيث يصنع الحبل زاوية 45° على الأفقي، احسب الشغل المبذول على الصندوق، والقدرة اللازمة لسحبه مسافة 5.0 m في زمن قدره 10.0 s. (sin 45° = cos 45° = 0.7)



10. وضع صندوق كتلته 1.0 kg فوق منصة نابض مضغوط، وعند إفلات النابض اكتسب الصندوق طاقة 4.9 J، وانطلق رأسيًا إلى أعلى، فما أقصى ارتفاع يصل إليه الصندوق قبل أن يبدأ بالسقوط؟

إرشاد

استخدام عمليات الحذف

أثناء الإجابة عن سؤال الاختيار من متعدد، هناك طريقتان للوصول إلى الإجابة عن كل سؤال. إحداهما، اختيار الجواب الصحيح مباشرة (فورًا)، والأخرى حذف الإجابات التي تعرف أنها غير صحيحة.

8. B

الأسئلة الممتدة

9.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd\cos\theta}{t}$$
$$= \frac{(200.0\text{ N})(5.0\text{ m})(\cos 45°)}{10.0\text{ s}}$$
$$= 71\text{ W}$$

10. 0.50 m

مصادر تعليمية

- دليل الرياضيات
- حلول بعض المسائل التدريبية
- الجداول
- المصطلحات

الرموز symbols

Δ التغير في الكمية	$a \times b$ ab $a(b)$	a مضروبة في b
$\pm$ زائد أو ناقص الكمية	$a \div b$ a/b $\frac{a}{b}$	a مقسومة على b
$\propto$ يتناسب مع	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$=$ يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$\approx$ تقريبًا يساوي	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\cong$ تقريبًا يساوي		
$\leq$ أقل من أو يساوي		
$\geq$ أكبر من أو يساوي		
$<<$ أقل بكثير من		
$\equiv$ يعرف كـ		

القياسات والأرقام المعنوية Measurement and significant Digits

ارتباط الرياضيات بالفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء، فباستخدام الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس برمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز بالمتغيرات.

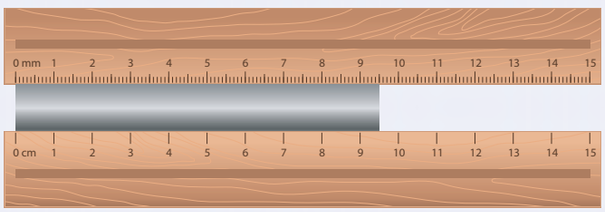
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس، وتعتبر الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الأصغر في أداة القياس، بحيث يتم تقدير الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مساطر القياس الموضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب؟

باستخدام أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب بين 9 cm و 10 cm. لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

وعند استخدام أداة القياس العليا، فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm، فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm .



كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. بعض الأصفار أرقام معنوية وبعضها ليست أرقامًا معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية.

استخدم القواعد التالية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية.

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستخدم بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات التالية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استخدم القواعد 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استخدم القواعد 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًا واحدًا	استخدم القواعد 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استخدم القواعد 1و2و3
5.06s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استخدم القواعد 1و3
304s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استخدم القواعد 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استخدم القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استخدم القواعد 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات التالية:

a. 1405 m
b. 2.50 km
c. 0.0034 m
d. 12.007 kg
e. 5.8×10^{6} kg
f. 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًا من الأرقام المعنوية.
2. معادلات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًا من الأرقام المعنوية.

1. a. 4
b. 3
c. 2
d. 5
e. 2
f. 3

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدد المنزلة المراد تقريبها، ثم استخدم القواعد التالية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن أقصى يسار العدد والمراد إسقاطه أقل من 5 يجب إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثَم فإن الرقم الأخير في العدد المقرّب يبقى دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم عن أقصى يسار العدد والمراد إسقاطه أكبر من 5، يجب إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم زيادة الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع عن أقصى اليسار والمراد إسقاطه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري، فإن ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تتبعه يتم إسقاطها، ومن ثم يقرّب الرقم الأخير في العدد بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير يساوي 5 متبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فقم بزيادته بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تقربه.

أمثلة: قرّب الأرقام التالية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية

8.7645 فإن تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استخدم القاعدة 1
8.7676 فإن تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استخدم القاعدة 2
8.7519 فإن تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استخدم القاعدة 3
92.350 فإن تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استخدم القاعدة 4
92.25 فإن تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استخدم القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس.

a. 1405 m (2) c. 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2) d. 12.007 kg (3)

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستخدم الآلة الحاسبة، نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرّب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

2. a. 1400 m
b. 2.5 km
c. 0.003 m
d. 12.0 kg

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m لأن كليهما يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{rr} 1.456 & \text{m} \\ 4.1 & \text{m} \\ +20.3 & \text{m} \\ \hline 25.856 & \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة فإن دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الأكبر 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوي فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: جد حاصل ضرب الكميتين 20.1m و 3.6m

$$(20.1\ \text{m})(3.6\ \text{m}) = 72.36\ \text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية التي في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية التالية مستخدمًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية

a. 2.33km + 3.4 km + 5.012 km
b. 3.40 cm × 7.125 cm
c. 45g - 8.3g
d. 54m ÷ 6.5s

3. a. 10.7 km
b. 24.2 cm
c. 37 g
d. 8.3 m/s

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استخدم قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d = 19m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}\ (-10.0\ m/s^2)(2.50\ s)^2$$
$$= 5.0\times10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك فإن النتيجة يجب أن تتضمن رقمين معنويين .

$$\text{الميل} = \frac{70.0\ m - 10.0\ m}{29\ s - 11\ s}$$
$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11s يتضمنان رقمين معنويين فقط في كل منهما، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك، قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل فعليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

لا تجر التقريب إلى $580\ N^2$ و $1300N^2$

لا تجر التقريب إلى $1800\ N^2$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

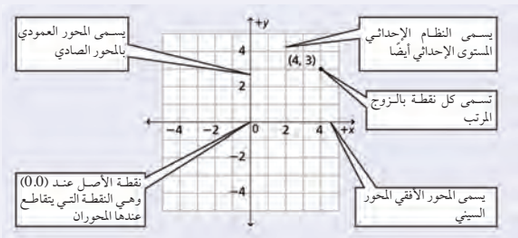
$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$
$$= \sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$
$$= \sqrt{1872\ N^2}$$
$$= 43\ N$$

التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، و يسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x،y) اللذين يسميان أيضًا الزوج المرتب.

تَرد دائمًا قيمة المتغير التابع (x) أولاً في الزوج المرتب، ويمثل الزوج المرتب (0.0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.



استخدام التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استخدم الخطوات التالية لعمل رسوم بيانية

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستخدمًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنًى بيانيًا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني؟

نوع الخدمة	دينار	الدولار
الفندق (الإقامة)	150	398
الوجبات	85	225
الترفيه	67	178
المواصلات	22	58

الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستخدم طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استخدم طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 50 دينارًا.

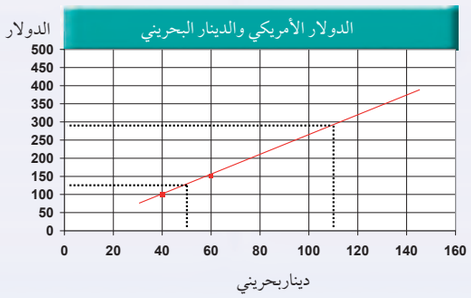
حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 50 (40 دينارًا، 60 دينارًا)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.

ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (50دينارًا) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه سيتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال2: استخدم الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة

لـ 110 دنانير.

ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (110 دنانير) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال (1)، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.



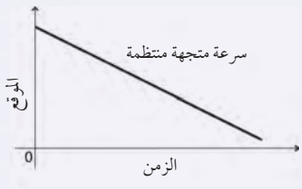
تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graphs

يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين، وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة، والتي تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات بالفيزياء

يوضح الرسم البياني أدناه علاقة بين المتغيرين الممثلين بيانيًّا.

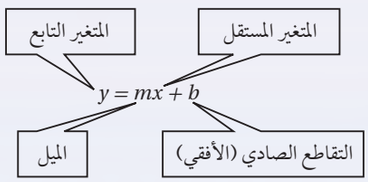
الخط البياني يوضح علاقة خطية ثابتة بين متغيرين ممثلين بيانيًّا



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$.

حيث m ، b أعداد حقيقية، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



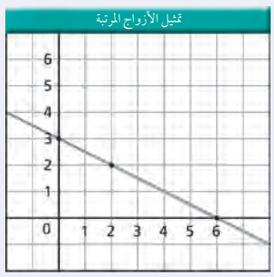
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم. ولتمثيلها بيانيًّا. قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين $(y \, ، \, x)$، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

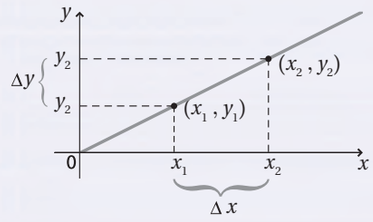
الأزواج المرتبة	
y	x
3	0
2	2
0	6



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك عن كيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقماً موجبًا أو سالبًا.

ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين$(x_1 ، y_1)$ ، $(x_2 ، y_2)$، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين ، واحسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم أوجد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. هذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$

ارتباط الرياضيات بالفيزياء في معادلة قوة الاسترداد للنابض المثالي $F = -kx$ ، حيث F قوة استرداد النابض، k ثابت النابض و x استطالة النابض. تتغير قوة استرداد النابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك فإن قوة استرداد النابض تزداد عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. هذه ليست معادلة خطية لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

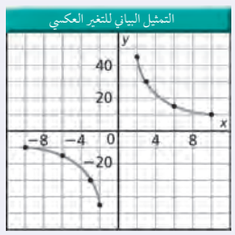
$$xy = m$$

$$y = m\,\frac{1}{x}$$

$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9



ارتباط الرياضيات بالفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة. نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما ازداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، وأما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

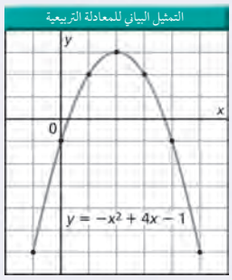
الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$



الأزواج المرتبة	
y	x
−6	−1
−1	0
2	1
3	2
2	3
−1	4
−6	5

ارتباط الرياضيات بالفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أنه يمثل جسمًا يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18

علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

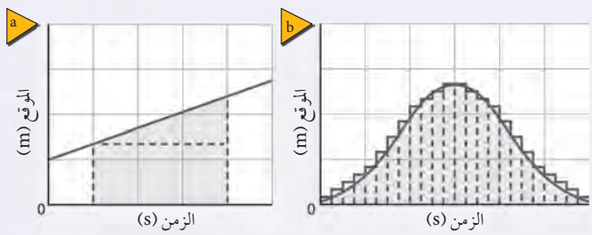
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P=4a$	$A=a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P=2l+2w$	$A=lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A=(\frac{1}{2})\,bh$		
المكعب الضلع a			$SA=6a^2$	$V=a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C=2\pi r$	$A=\pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA=2\pi rh+2\pi r^2$	$V=\pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA=4\pi r^2$	$V=(\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات بالفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون هذه الأشكال ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. يمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

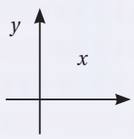
المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستخدمًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق، لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني لغاية المنحنى كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



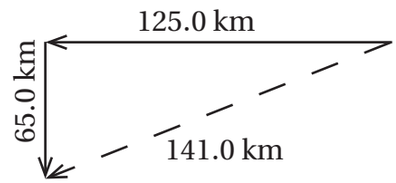
المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

جدول دلالات الألوان	
متجهات الإزاحة ($\boldsymbol{d}$) Displacement vectors	
متجهات السرعة ($\boldsymbol{v}$) Velocity vectors	
متجهات التسارع ($\boldsymbol{a}$) Acceleration vectors	
متجهات القوة ($\boldsymbol{F}$) Force vectors	
المحاور الإحداثية Coordinates Axes	

الفصل الأول

1.



$$R^2 = A^2 + B^2$$
$$R = \sqrt{A^2 + B^2}$$
$$= \sqrt{(65.0)^2 + (125.0)^2}$$
$$= 141 \text{ km}$$

2. $R^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos\theta$

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta}$$
$$= \sqrt{(4.5)^2 + (6.4)^2 - 2(4.5)(6.4)(\cos 135^\circ)}$$
$$= 1.0 \times 10^1 \text{ km}$$

3. على اعتبار أن اتجاهي الشرق والشمال موجبان

$$d_{1W} = d_1(\sin\theta) = (0.40 \text{ km})(\sin 60^\circ) = 0.35 \text{ km}$$
$$d_{1N} = d_1(\cos\theta) = (0.40 \text{ km})(\cos 60^\circ) = 0.20 \text{ km}$$
$$d_{2W} = 0.50 \text{ km} \qquad d_{2N} = 0.00 \text{ km}$$
$$R_W = d_{1W} + d_{2W} = 0.35 \text{ km} + 0.50 \text{ km} = 0.85 \text{ km}$$
$$R_N = d_{1N} + d_{2N} = 0.20 \text{ km} + 0.00 \text{ km} = 0.20 \text{ km}$$
$$R = \sqrt{R_W^2 + R_N^2}$$
$$= \sqrt{(0.85)^2 + (0.20)^2}$$
$$= 0.87 \text{ km}$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_W}{R_N}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.85 \text{ km}}{0.20 \text{ km}}\right)$$
$$= 77^\circ$$

0.87 km في اتجاه يضع زاوية 77° غرب الشمال

5. المحصلة تساوي 10.0 km، وباستخدام نظرية فيثاغورس يكون مقدار الإزاحة شرقًا

$$R^2 = A^2 + B^2$$

لذا فإن $B = \sqrt{R^2 - A^2}$

$$= \sqrt{(10.0 \text{ km})^2 - (8.0 \text{ km})^2}$$
$$= 6.0 \text{ km}$$

18. $F_N = mg = 52 \text{ N}$

بما أن السرعة منتظمة فإن قوة الاحتكاك تساوي القوة التي يؤثر بها الفتى وتساوي 36 N

$$f_k = \mu_k F_N$$

لذا فإن $\mu_k = \frac{f_k}{F_N} = \frac{36 \text{ N}}{52 \text{ N}} = 0.69$

19.

$$F_{\text{احتمال عامر على الصندوق}} = F = \mu_S F_N = \mu_S mg$$
$$= (0.55)(134\,\mu) = 74\text{N}$$

21.

$$F_{\text{محصلة}} = F - \mu_k F_N$$
$$= F - \mu_k mg = ma$$
$$\mu_k = (F - ma)/mg = \frac{65 \text{ N} - (41 \text{ kg})(0.12 \text{ m/s}^2)}{(41 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)}$$
$$= 0.15$$

25.

$$a = g(\sin\theta - \mu_k \cos\theta)$$
$$a = g(\sin\theta) - g\,\mu_k \cos\theta = 0$$
$$a = 0$$
$$\mu_k = (\cos\theta) = \sin\theta$$
$$\mu_k = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{\sin 37^\circ}{\cos 37^\circ}$$
$$= 0.75$$

الفصل الثاني

1. a. لأن $v_y = 0$

فإنه يمكن كتابة المعادلة التالية $y - v_y t = -\frac{1}{2} g t^2$

على الصورة التالية: $y = -\frac{1}{2} g t^2$

أو $t^2 = -\frac{2y}{g}$

$$t = \sqrt{-\frac{2y}{g}}$$
$$= \sqrt{\frac{-2(-78.4\ \text{m})}{(9.80\ \text{m/s}^2)}}$$
$$= 4.00\ \text{s}$$

b.

$$x = v_x t$$
$$= (5.0\ \text{m/s})(4.00\ \text{s})$$
$$= 2.0 \times 10^1\ \text{m}$$

c. $v_x = 5\ \text{m/s}$، وهي السرعة الابتدائية الأفقية نفسها؛ وذلك لأن تسارع الجاذبية الأرضية يؤثر فقط في الحركة الرأسية.

لحساب المركبة الرأسيّة، نستخدم

$$v = v_i + gt$$

بتعويض v_y

و $v_i = 0$ (المركّبة الابتدائية للسرعة الرأسيَّة).

عند $t = 4.00\ \text{s}$ ، تكون

$$v_y = gt = (9.80\ \text{m/s}^2)(4.00\ \text{s})$$
$$= 39.2\ \text{m/s}$$

4.

زمن التحليق:

$$t = \frac{2 v_i \sin\theta}{g}$$
$$= \frac{2\,(27.0\ \text{m/s})(\sin 60.0°)}{9.80\ \text{m/s}^2}$$
$$= 4.77\ \text{s}$$

المدى الأفقي:

$$x = (v_i \cos\theta)t$$
$$= (27.0\ \text{m/s})(\cos 60.0°)(4.77\ \text{s})$$
$$= 64.4\ \text{m}$$

أقصى ارتفاع:

يكون عند منتصف زمن التحليق

$$t = \frac{1}{2}(4.77\ \text{s}) = 2.38\ \text{s}$$
$$y = (v_i \sin\theta)t - \frac{1}{2} g t^2$$
$$= (27.0\ \text{m/s})(\sin 60.0°)(2.38\ \text{s})^2$$
$$-\frac{1}{2}(9.80\ \text{m/s}^2)(2.38\ \text{s})^2$$
$$= 27.9\ \text{m}$$

11.

$$a_c = v^2/r = \frac{(22\ \text{m/s})^2}{56\ \text{m}} = 8.6\ \text{m/s}^2$$

$F_s = \mu_s F_N$ تعلم أن

حيث تنشأ القوة المركزية نتيجة لتأثير قوة الاحتكاك هذه، لذا فإن

$F_s = m a_c$

$F_N = m g$ وقيمة القوة العمودية

فتكون أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني

$$\mu_s = F_s / F_N = \frac{m a_c}{m g} = \frac{a_c}{g} = \frac{8.6\ \text{m/s}^2}{9.80\ \text{m/s}^2}$$
$$= 0.88$$

21.

$$v = \sqrt{v_p^{\,2} + v_w^{\,2}}$$
$$= \sqrt{(150\ \text{km/h})^2 + (75\ \text{km/h})^2}$$
$$= 1.7 \times 10^2\ \text{km/h}$$

الفصل الثالث

1. بإعطاء رمز G لهذا القمر

$$\left(\frac{T_G}{T_I}\right)^2 = \left(\frac{r_G}{r_I}\right)^3$$
$$r_G = \sqrt[3]{(4.2\ \text{وحدة})^3 \left(\frac{32\ \text{يوم}}{1.8\ \text{يوم}}\right)^2}$$
$$= \sqrt[3]{23.4 \times 10^3 (\text{وحدة})^3}$$
$$= 29\ \text{وحدة}$$

3. بإعطاء رمز M للمريخ E و للأرض

$$\left(\frac{T_M}{T_E}\right)^2 = \left(\frac{r_M}{r_E}\right)^3 \text{ , } r_M = 1.52\, r_E$$

لذا فإن

$$T_M = \sqrt{\left(\frac{r_M}{r_E}\right)^3 T_E^{\,2}}$$
$$= \sqrt{\left(\frac{1.52\, r_E}{r_E}\right)^3 (365 \text{ يوم})^2}$$
$$= \sqrt{4.68 \times 10^5 \text{ (يوم)}^2}$$
$$= 684 \text{ يوم}$$

4. a.

$$\left(\frac{T_s}{T_M}\right)^2 = \left(\frac{r_s}{r_M}\right)^3$$

وينتج أن

$$T_s = \sqrt{\left(\frac{r_s}{r_M}\right)^3 T_M^{\,2}}$$
$$= \sqrt{\left(\frac{(6.70\times10^3 \text{ km}}{3.90 \times 10^5 \text{ km}}\right)^3 (27.3 \text{ days})^2}$$
$$= 6.15 \times 10^{-2} \text{ days}$$
$$= 88.6 \text{ min}$$

b.

$$h = r_s - r_f$$
$$= 6.70 \times 10^6 \text{m} - 6.38 \times 10^6 \text{m}$$
$$= 3.2 \times 10^5 \text{ m}$$
$$= 3.2 \times 10^2 \text{ km}$$

11. a.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r_E + h}}$$
$$= \sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24} \text{ kg})^3}{(6.38\times10^6 \text{ m} + 1.5\times10^5 \text{ m})}}$$
$$= 7.8\times10^3 \text{ m/s}$$

b.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(r_E + h)^3}{Gm_E}}$$
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{((6.38\times10^6 \text{ m}) + (1.5\times10^5 \text{ m}))^3}{(6.67\ 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97\ 10^{24} \text{ kg})}}$$
$$= 5.3\times10^3 \text{ s}$$
$$\approx 88 \text{ min}$$

الفصل الرابع

1. a. $\Delta\theta = (60)(-2\pi \text{ rad}) = -120\pi \text{ rad or } -377 \text{ rad}$

b. $\Delta\theta = -2\pi \text{ rad or } -6.28 \text{ rad}$

c. $\Delta\theta = \left(\frac{1}{12}\right)(-2\pi \text{ rad}) = \frac{-\pi}{6} \text{ rad or } -0.524 \text{ rad}$

3. a. التغير في السرعة المتجهة نفسه لذلك يبقى التسارع الخطي نفسه.

b. لأن نصف قطر إطار القاطرة نقص من 35.4cm إلى 24cm فإن التسارع الزاوي سيزيد.

$$\alpha_1 = 5.23 \text{ rad/s}^2$$
$$\alpha_2 = \frac{a_2}{r}$$
$$= \frac{1.85 \text{ m/s}^2}{0.24 \text{ m}}$$
$$= 7.7 \text{ rad/s}^2$$

10.

$$\tau = Fr \sin\theta$$
$$\text{so } F = \frac{\tau}{r \sin\theta}$$
$$= \frac{35 \text{ N·m}}{(0.25\text{m})(\sin 90.0°)}$$
$$= 1.4 \times 10^2 \text{ N}$$

12.

$$\tau_{\text{سلسلة}} = Fr \sin\theta$$
$$\text{so } \theta = \sin^{-1}\frac{\tau}{Fr}$$
$$= \sin^{-1}\left(\frac{32.4 \text{ N·m}}{(232 \text{ N})(0.234 \text{ m})}\right)$$
$$= 36.6°$$

14. $\tau_{\text{سلسلة}} = F_g r = (-35.0 \text{ N})(0.0770 \text{ m}) = -2.70 \text{ N·m}$

فإن عزمً مقداره +2.70 N·m يجب أن يؤثر لموازنة هذا العزم.

22. حدد مركز كتلة اللوح فقوة الجاذبية الأرضية ستؤثر في اللوح عند نقطة أسفل مركز الثقل.

$$\tau_{\text{end}} = -\tau_{\text{diver}}$$
$$F_{\text{end}} r_{\text{end}} = -F_{\text{diver}} r_{\text{diver}}$$
$$\text{ومنه , } F_{\text{end}} = \frac{-F_{\text{diver}} r_{\text{diver}}}{r_{\text{end}}}$$
$$= \frac{-m_{\text{diver}} g r_{\text{diver}}}{r_{\text{end}}}$$
$$= \frac{(85 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(1.75 \text{ m})}{1.75 \text{ m}}$$
$$= -8.3 \times 10^2 \text{ N}$$

لحساب القوة عند مركز اللوح الداعم لاحظ أن اللوح لا يتحرك

$$F_{\text{نهاية}} + F_{\text{مركز}} = F_{\text{غطاس}} + F_g$$

لكن

$$F_{\text{مركز}} = F_{\text{غطاس}} + F_g - F_{\text{نهاية}}$$

$$= 2F_{\text{غطاس}} + F_g$$

$$= 2m_{\text{غطاس}} + m_{\text{لوح}}g$$

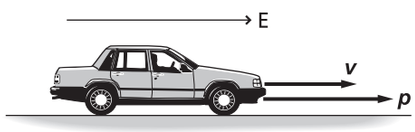
$$= g(2m_{\text{غطاس}} + m_{\text{لوح}})$$

$$= (9.80\ \text{m/s}^2)(2(85\ \text{kg}) + 14\ \text{kg})$$

$$= 1.8\times10^3\ \text{N}$$

الفصل الخامس

1.



a.

$$p = mv$$

$$= (725\ \text{kg})(115\ \text{km/h})\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)$$

$$= 2.32\times10^4\ \text{kg·m/s}$$ نحو الشرق

b.

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

$$= \frac{(2.32\times10^4\ \text{kg·m/s})\left(\frac{3600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)\left(\frac{1\ \text{km}}{1000\ \text{m}}\right)}{2175\ \text{kg}}$$

$$= 38.4\ \text{km/h}$$ نحو الشرق

3. a.

$$F\Delta t = p_f - p_i = mv_f - mv_i$$

$$v_f = \frac{F\Delta t + mv_f}{m}$$

$$= \frac{(5.0\ \text{N})(1.0\ \text{s}) + (7.0\ \text{kg})(2.0\ \text{m/s})}{7.0\ \text{kg}}$$

$$= 2.7\ \text{m/s}$$ في نفس اتجاه السرعة المتجهة الأصلية

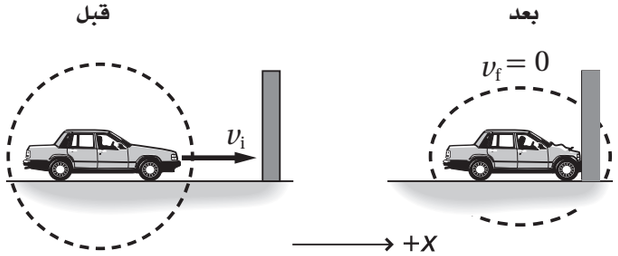
b.

$$v_f = \frac{F\Delta t + mv_f}{m}$$

$$= \frac{(-5.0\ \text{N})(1.0\ \text{s}) + (7.0\ \text{kg})(2.0\ \text{m/s})}{7.0\ \text{kg}}$$

$$= 1.3\ \text{m/s}$$ في نفس اتجاه السرعة المتجهة الأصلية

4.



a.

$$F\Delta t = \Delta p = p_f - p_i$$

$$F = \frac{p_f - p_i}{\Delta t}$$

$$F = \frac{p_f - mv_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.0\ \text{kg·m/s}) - (60.0\ \text{kg})(26\ \text{m/s})}{0.20\ \text{s}}$$

$$= 7.8\times10^3\ \text{N}$$ عكس اتجاه الحركة

b.

$$F_g = mg$$

$$m = \frac{F_g}{g} = \frac{7.8\times10^3\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2} = 8.0\times10^2\ \text{kg}$$

وهذه الكتلة كبيرة جدًّا لرفعها ولذلك فمن غير الآمن أن توقف جسمك بوساطة ذراعيك

14. $p_{ri} + p_{fuel,\,i} = p_{rf} + p_{fuel,\,f}$

where $p_{rf} + p_{fuel,\,f} = 0.0\ \text{kg·m/s}$

إذا كانت الكتلة الابتدائية للصاروخ $m_r = 4.00\ \text{kg}$,

فإن الكتلة النهائية للصاروخ:

$$m_{rf} = 4.00\ \text{kg} - 0.0500\ \text{kg} = 3.95\ \text{kg}$$

$$0.0\ \text{kg·m/s} = m_{rf}v_{rf} + m_{fuel}v_{fuel,\,f}$$

$$v_{rf} = \frac{-m_{fuel}v_{fuel,\,f}}{m_{rf}}$$

$$= \frac{-(0.0500\ \text{kg})(-625\ \text{m/s})}{3.95\ \text{kg}}$$

$$= 7.91\ \text{m/s}$$

الفصل السادس

1. a. مضاعفة القوة سيضاعف الشغل والذي سيضاعف التغير في طاقة الحركة 1.35J.

b. انقاص المسافة للنصف سيقلل الشغل للنصف والذي سيقلل التغير في طاقة الحركة للنصف 0.68J.

3.

$$W = Fd\cos\theta$$

$$= 2(255\ \text{N})(15\ \text{m})(\cos 15°)$$

$$= 6.5\times10^3\ \text{J}$$

5.

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

$$= \frac{(575\ \text{N})(20.0\ \text{m})}{10.0\ \text{s}}$$

$$= 1.15\times10^3\ \text{W}$$

$$= 1.15\ \text{kW}$$

6.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgd}{t}$$

$$\frac{m}{t} = (35\ \text{L/min})(1.00\ \text{kg/L})$$

$$= 35\ \text{kg/min}$$

حيث

$$P = \left(\frac{m}{t}\right)gd$$

$$= (35\,\text{kg /min})(1\ \text{min}/60\ \text{s})(9.80\ \text{m/s}^2)(110\ \text{m})$$

$$= 0.63\ \text{kW}$$

17. اعتبر أن الأرض هي مستوى الإسناد

$$\Delta PE = m\ (h_f - h_i)$$

$$= (1.8\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.00\ \text{m} - 6.7\ \text{m})$$

$$= -1.2\times10^2\ \text{J}$$

24. النظام هو الدراجة + السائق + الأرض ولا توجد قوة خارجية فالطاقة الكلية محفوظة

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

$$= \frac{1}{2}(85.0\ \text{kg})(8.5\ \text{m/s})^2$$

$$= 3.1\times10^3\ \text{J}$$

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$\frac{1}{2}mv^2 + 0 = 0 + m\ h$$

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(8.5\ \text{m/s})^2}{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)} = 3.7\ \text{m}$$

25. أسفل الوادي

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + 0$$

$$v = \sqrt{2\ h}$$

$$= \sqrt{2(9.80\ \text{m/s}^2)(45.0\ \text{m})}$$

$$= 29.7\ \text{m/s}$$

Top of the next hill:

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$0 + mgh_i = \frac{1}{2}mv^2 + m_g h_f$$

$$v = \sqrt{2g(h_i - h_f)}$$

$$= \sqrt{2(9.80\ \text{m/s}^2)(45.0\ \text{m} - 40.0\ \text{m})}$$

$$= 9.90\ \text{m/s}$$

لا. زاوية ميل التل ليس لها تأثير في الجواب.

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	bascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1\ m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5\ N/m^2$	$1\ mol = 6.022 \times 10^{23}$

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
البادئة	الرمز	الدلالة العلمية
femto	f	10^{-15}
baico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
mile	m	10^{-3}
cm	c	10^{-2}
disa	d	10^{-1}
dica	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
terra	T	10^{12}
beta	P	10^{15}

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (C°)	درجة الغليان (C°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار وحرارة التبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	حرارة الانصهار (J/kg)	حرارة التبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

المصطلحات

أ

الاحتكاك الحركي Kinetic Friction القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في السطح الآخر عندما يحتك السطحان أحدهما بالآخر؛ بسبب حركة أحدهما أو كليهما.

الاحتكاك السكوني Static Friction القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في السطح الثاني عندما لا توجد حركة بينهما.

الإزاحة Velocity كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين خلال فترة زمنية محددة.

ت

تحليل المتجه Vector Resolution عملية تجزئة المتجه إلى مركّبتيه المتعامدتين.

التسارع الزاوي Angular Acceleration حاصل قسمة التغير في السرعة الزاوية على الزمن اللازم للتغير، وتقاس بوحدة Rad/S^2.

التسارع المركزي Centripetal Acceleration تسارع جسم يتحرك حركة دائرية بسرعة ثابتة حول المركز.

التصادم المرن Elastic Collision أحد أنواع التصادمات التي تبقى فيها الطاقة الحركية قبل التصادم وبعده متساوية.

ج

الجول joule الشغل المبذول عندما تؤثر قوة مقدارها 1 N في جسم خلال مسافة 1 m في اتجاهها.

ح

الحركة الدائرية المنتظمة Uniform Circular Motion حركة جسم في مسار بسرعة منتظمة حول دائرة نصف قطرها ثابت.

د

الدفع Impules حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثيرها.

ر

الراديان Radian تساوي $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة، ويرمز لها بالرمز "Rad".

ز

الزخم Momentum حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته، وتقاس بوحدة kg.m /s.

ش

الشغل Work تحوّل الطاقة بالمعنى الميكانيكي، ويتم عندما تؤثر قوة ثابتة في جسم في اتجاه الحركة نفسه مضروبًا في إزاحة الجسم.

المصطلحات

ط

الطاقة Energy قدرة الجسم على إحداث تغيير في ذاته أو في الأشياء المحيطة به.

الطاقة الحركية Kinetic Energy طاقة الجسم التي تنتج عن حركته.

الطاقة الميكانيكية Mechanical Energy مجموع طاقتي الحركة والوضع في النظام.

طاقة وضع الجاذبية Gravitationl Potential الطاقة المخزنة في النظام الناتجة عن قوة الجاذبية بين الأرض والجسم.

طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy طاقة الوضع المخزنة في جسم مرن (مطاطي) نتيجة لتغير الشكل.

ع

العزم Torgue مقياس لمدى قابلية القوة على التدوير، وتساوي القوة مضروبة في طول ذراعها.

ق

القانون الأول لكبلر Kepler'S F Irst Law الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، حيث تكون الشمس في إحدى البؤرتين.

القانون الثاني لكبلر Kepler'S Second Law الخط التخيلي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية.

القانون الثالث لكبلر Kepler'S Third Law مربع نسبة الزمن الدوري لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعدهما عن الشمس.

قانون الجذب الكوني Law Of Universal Gravitation قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما.

قانون حفظ الزخم Law Of Conservation Of Momentum الزخم في أي نظام مغلق معزول لا يتغير.

قانون حفظ الطاقة Law Of Conservation Of Energy المجموع الكلي للطاقة ثابت في النظام المعزول.

قوة الجاذبية Gravitational Force قوة التجاذب بين جسمين، وتتناسب طرديًّا مع كتل الأجسام.

القوة الطاردة المركزية Centrifugal Force قوة وهمية تظهر كما لو كانت تؤثر نحو الخارج في الجسم المتحرك حركة دورانية.

القوة المركزية Centripetal Force محصلة القوى التي تؤثر نحو مركز دائرة، والتي تسبب التسارع المركزي للجسم.

القوة الموازنة Equilibrant Force القوة التي تجعل الجسم متزنًا، وتكون مساوية في المقدار لمحصلة القوى ومعاكسة لها في الاتجاه.

ك

كتلة الجاذبية Gravitational Mass مقياس لقوة الجاذبية بين جسمين.

الكتلة القصورية Inertial Mass مقياس لممانعة الجسم لأي نوع من الحركة.

م

مجال الجاذبية Gravitational Field المجال المحيط بجسم له كتلة، والذي يساوي ثابت الجذب العام مضروبًا في كتلة الجسم ومقسومًا على مربع البُعد عن مركز الجسم.

المصطلحات

مركبة المتجه Component إحدى مركبتي المتجه بعد تحليله.

مركز الكتلة Center Of Mass نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي تتحرك فيها النقطة المادية.

مسار المقذوف Trajectory المسار الذي يسلكه الجسم المقذوف في الفضاء.

مستوى الإسناد Reference الموضع الذي تكون فيه طاقة وضع الجاذبية صفرًا.

معامل الاحتكاك الحركي Coefficient Of Kinetic Friction، يستعمل لحساب قوة الاحتكاك بين سطحين أحدهما أو كلاهما متحرك.

معامل الاحتكاك السكوني Coefficient Of Static Friction، يستعمل لحساب قوة الاحتكاك السكونية العظمى الضرورية قبل بداية الحركة.

المقذوف Projectile جسم يُطلق في الهواء وله سرعة أفقية وأخرى رأسية مستقلة، يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبية فقط.

ن

النظام المغلق Closed System النظام الذي لا يكسب كتلة أو يفقدها.

نظرية الدفع–الزخم Impulse- Momentum Theorem الدفع على جسم يساوي الزخم النهائي للجسم مطروحًا منه زخمه الابتدائي.

نظرية الشغل- الطاقة Work- Energy Theorem عند بذل شغل على جسم ما فإنه يحدث تغييرًا في الطاقة الحركية.

و

الواط watt وحدة القدرة W، وتساوي مقدار 1 J من الطاقة المتحولة (المنقولة) في الثانية 1 s.

التعليم
مستقبل البحرين