KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education

مَمْلَكَةُ البَحْرَيْن

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيم

فيز 210/217

الفيزياء 2

للمرحلة الثانوية

2030

البحرين
BAHRAIN

فيز 210/فيز 217

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الكتاب لتدريس الفيزياء 2 بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الفيزياء 2

للمرحلة الثانوية

الطبعة الثالثة
1444 هـ - 2022 م

منهاجي
متعة التعليم الهادف

Mc Graw Hill Education

العبيكان Obeikan

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

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

يأتي اهتمام مملكة البحرين بتطوير مناهج التعليم وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الأصعدة.

ويأتي كتاب الفيزياء2 للمرحلة الثانوية في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم هاتين المادتين، يكون للطالب فيه الدور الرئيس والمحوري في عمليتي التعليم والتعلّم. وقد جاء هذا الكتاب في ستة فصول شملت: القوى في بُعدين، والحركة في بُعدين، والجاذبية، والحركة الدورانية، والزخم وحفظه، والشغل والطاقة وحفظها.

وقد جاء عرض محتوى الكتاب بأسلوب مشوق، وتنظيم تربوي فاعل، يعكس توجهات المنهج وفلسفته. وقد كتب بأسلوب يساعد الطالب على تنمية مهارات التحليل والتفسير والاستنتاج والتعبير، وذلك من خلال اهتمامه بالجانب التجريبي. كذلك اشتمل المحتوى على أنشطة متنوعة المستوى، تتسم بإمكانية تنفيذ الطلبة لها، وتراعي في الوقت نفسه مبدأ الفروق الفردية بينهم، بالإضافة إلى تضمينه صورًا وأشكالًا ورسومًا توضيحية معبرة تعكس طبيعة الفصل، مع حرص الكتاب على مبدأ التقويم التكويني في فصوله ودروسه المختلفة.

كما أكدت فلسفة الكتاب أهمية اكتساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بالمهارات العقلية والعملية الضرورية، ومنها: التجارب الاستهلالية، والتجارب العملية الأخرى، ومختبر الفيزياء، والإثراء، بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع حياة الطالب، إلى جانب التكامل مع المواد الأخرى مثل: الرياضيات، واللغة، والتقنية، والمجتمع.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

منهاجي
متعة التعليم الهادف

قائمة المحتويات

الفصل 1

القوى في بُعدين 8

تجربة استهلالية 9

1-1 المتجهات 9

1-2 الاحتكاك والحركة 18

التقويم 30

الفصل 2

الحركة في بُعدين 34

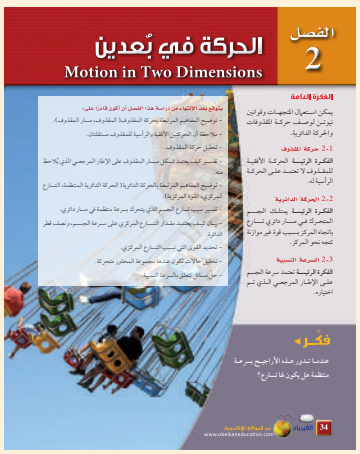
تجربة استهلالية 35

2-1 حركة المقذوف 35

2-2 الحركة الدائرية 41

2-3 السرعة النسبية 45

التقويم 50



الفصل 3

الجاذبية 54

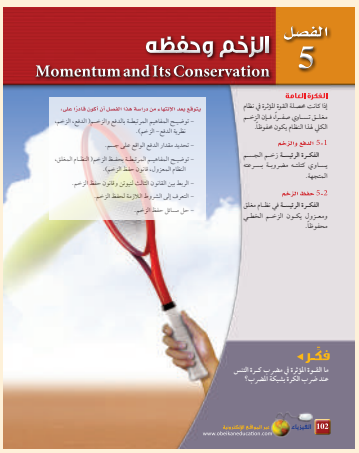
تجربة استهلالية 55

3-1 حركة الكواكب والجاذبية 55

3-2 استخدام قانون الجذب الكوني 64

التقويم 74

قائمة المحتويات



الفصل 4

الحركة الدورانية 78

تجربة استهلالية 79

4-1 وصف الحركة الدورانية 79

4-2 ديناميكا الحركة الدورانية 84

4-3 الاتزان 89

التقويم 98

الفصل 5

الزخم وحفظه 102

تجربة استهلالية 103

5-1 الدفع والزخم 103

5-2 حفظ الزخم 110

التقويم 118

الفصل 6

الشغل والطاقة وحفظها 122

تجربة استهلالية 123

6-1 الطاقة والشغل 123

6-2 أشكال الطاقة المتعددة 134

6-3 حفظ الطاقة 142

التقويم 156

مصادر تعليمية للطالب 163

دليل الرياضيات 164

الجداول 196

المصطلحات 198

الفصل 1

القوى في بُعدين
Forces in Two Dimensions

الفكرة العامة

يمكن وصف القوى في بعدين باستعمال جمع المتجهات.

1-1 المتجهات

الفكرة الرئيسة جميع المتجهات يمكن تحليلها إلى مركبة سينية ومركبة صادية.

1-2 الاحتكاك والحركة

الفكرة الرئيسة الاحتكاك نوع من القوى ينشأ بين سطحين متلامسين.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بالمتجهات(المركبات، القوة الموازنة، تحليل المتجه).
- تمثيل مجموع متجهين أو أكثر في بعدين بطريقة الرسم(بيانيًا).
- تحديد مركبتا متجه في بعدين.
- حساب مجموع متجهين أو أكثر جبريًا.
- تحديد القوة الموازنة لعدة قوى مؤثرة في جسم ما.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بالاحتكاك والحركة(الاحتكاك الحركي، الاحتكاك السكوني، معامل الاحتكاك الحركي، معامل الاحتكاك السكوني).
- تحليل حركة جسم على سطح مائل أملس أو خشن.
- التمييز بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.
- تصميم تجارب وبناء نماذج تتعلق بالقوى في بعدين.
- استخدام الأدوات والأجهزة المتعلقة بالقوى في بعد واحد لإجراء التجارب وتمثيل البيانات وتحليلها.
- إدراك أهمية القوى في بعدين وتطبيقاتها في مجالات الحياة المختلفة.

فكّر

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

عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

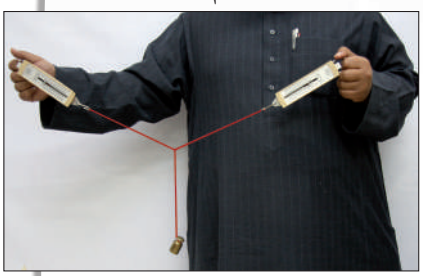
تجربة استهلالية

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 ؟

الفيزياء في حياتك

الكثير من الناس يتمتعون برياضة تسلق الصخور، فكيف يحمي متسلقو الصخور أنفسهم من السقوط؟ إنهم يرتكزون على أكثر من نقطة داعمة، كما أن هناك قوى متعددة في اتجاهات مختلفة تؤثر فيه.

تساؤلات جوهرية:

- كيف يمكن جمع المتجهات بيانياً؟
- ما هي مكونات المتجه؟
- كيف تجمع المتجهات جبرياً؟

المفردات:

- المركبات
- القوة الموازنة
- تحليل المتجه

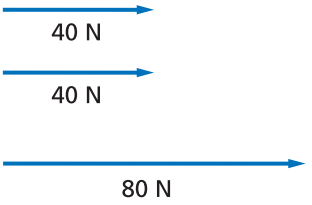
كيف يمكن لمتسلقي الصخور تجنب السقوط في حالات كالحالة المبينة في الصفحة السابقة؟ لاحظ أن للمتسلق أكثر من نقطة داعمة يرتكز عليها، وأن هناك قوى متعددة تؤثر فيه. يمسك المتسلق بإحكام بالصدوع أو الشقوق الموجودة في الصخرة، ويثبت قدميه على أيّ نتوء أو بروز يجده في الصخرة. وهكذا يكون هناك عدة قوى تلامُسٍ تؤثر 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. ويمكن 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؟

المتجهات في بُعدين Vectors in Two Dimensions

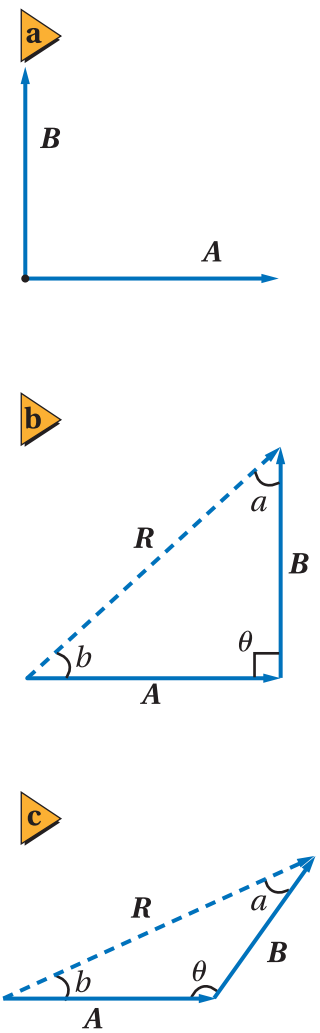
إذا دفعت أنت وصديقك طاولة نحو اليمين، وأثَّر كل منكما بقوة 40 N، فإن متجه القوة المحصلة لقوتيكما يساوي 80 N، و**الشكل 1–1** يمثل مخطط الجسم الحر للمتجهين المثلين لقوتيكما. ولكن كيف حصلنا على متجه القوة المحصلة؟

الشكل 1–1 مجموع القوتين يوضحه متجه القوة أسفلهما.



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 الأخير. 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؛ ولأنَّ طول المتجه واتجاهه هما فقط ما يميز المتجه، لذا فإن المتجه لم يتغير بسبب هذه الحركة. وهذا صحيح دائمًا. 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 اتجاهه. وإذا أردت جمع متجهين حسابيًا عندما تكون الزاوية 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:

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



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

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 1–2c**، 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 المحصورة بين رأس المتجه الأول وذيل المتجه الثاني.

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 المقابلة لها يساوي مقدار أي من المتجهين مقسومًا على جيب الزاوية التي تقابله.

مثـال 1

إيجاد مقدار محصلة متجهين إزاحتان؛ الأولى 25 km، والثانية 15 km، احسب مقدار واتجاه المحصلة عندما تكون الزاوية بين ذيلهما 90°، وعندما تكون الزاوية 45°.

1 تحليل المسألة ورسمها

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

المعلوم | المجهول

$A = 25\ \text{km}$ $\theta_1 = 90°$ | $R = ?$

$B = 15\ \text{km}$ $\theta_2 = 180° - 45°$

$= 135°$

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 ذيلي المتجهين 45°، نستعمل قانون جيب التمام لإيجاد مقدار المتجه المحصل.

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

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

بالتعويض عن A و B 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؟

تحليل المتجهات Components of Vectors

نظام الإحداثيات إن اختيار نظام إحداثي كما في **الشكل 3a–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.

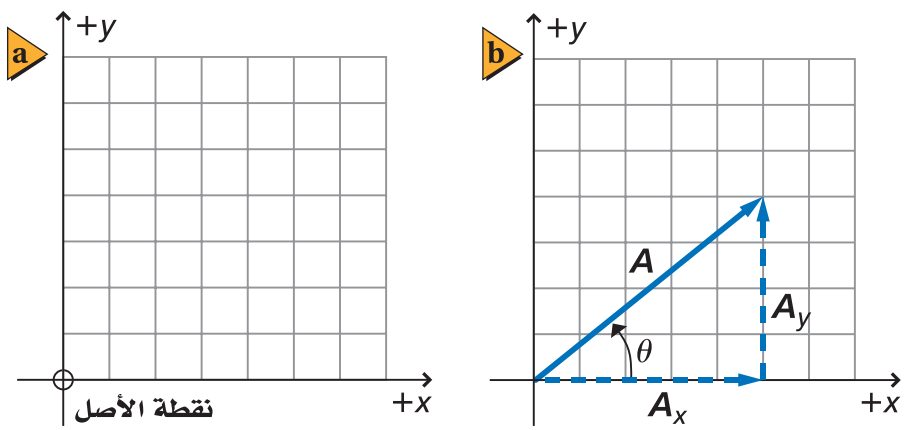
مركبتا المتجه يمكن وصف المتجه $\boldsymbol{A}$ كما في **الشكل 3b–1**، على أنه يمثل الانتقال بمقدار 5 وحدات على المحور x و4 وحدات على المحور y. ويمكن تمثيل هذه المعلومات في صورة متجهين يُرمز إليهما بـ $\boldsymbol{A}_x$ و $\boldsymbol{A}_y$. لاحظ أن $\boldsymbol{A}_x$ يوازي المحور x، و $\boldsymbol{A}_y$ 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.

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

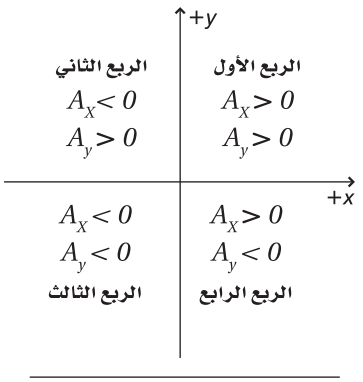
$$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{A_y}{A} \Rightarrow A_y = A\sin\theta$$



الشكل 3–1 يتكون النظام الإحداثي من نقطة الأصل ومحورين متعامدين (a). يقاس اتجاه المتجه A في عكس اتجاه عقارب الساعة من محور x الموجب (b)

لاحظ أنه عندما تكون الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور x الموجب أكبر من 90° فإن إشارة إحدى المركبتين أو كلتيهما تكون سالبة وفقًا لمقدار الزاوية، كما في **الشكل 4–1**. ويمكن اعتماد محاور أخرى لإسناد الزوايا، وتحليل المتجهات وحساب المتجه المحصل وتحديد اتجاهه، كما في المثال **(2)**.

الشكل 4–1 تعتمد إشارة مركبة المتجه على الربع الذي تقع فيه.



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:

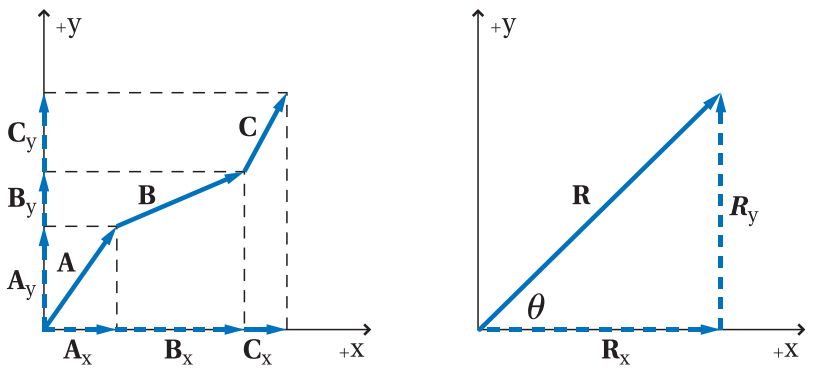
$$R_y = A_y + B_y + C_y$$

وهذه العملية موضحة بيانيًّا في **الشكل 5–1**؛ ولأن المركبات 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 5–1 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***.

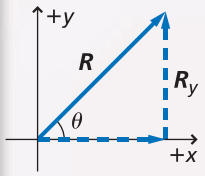
استراتيجية حل المسائل

جمع المتجهات

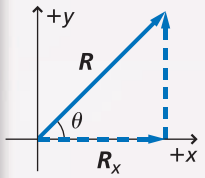
استعمل الخطوات التالية لحل المسائل التي تحتاج فيها إلى جمع المتجهات أو طرحها:

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.

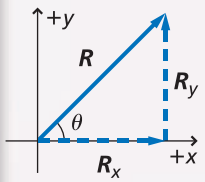
الربط مع الرياضيات



$$\sin\theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{R_y}{R}$$



$$\cos\theta = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{R_x}{R}$$



$$\tan\theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الضلع المجاور}} = \frac{R_y}{R_x}$$

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

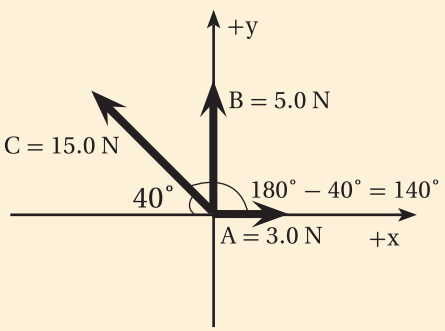
$\boldsymbol{A} = 3.0\ N$ نحو الشرق

$\boldsymbol{B} = 5.0\ N$ نحو الشمال

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

المجهول

$\boldsymbol{R} = ?$



2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المركبات الأفقية والرأسية للقوى الثلاث.

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

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

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

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

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

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

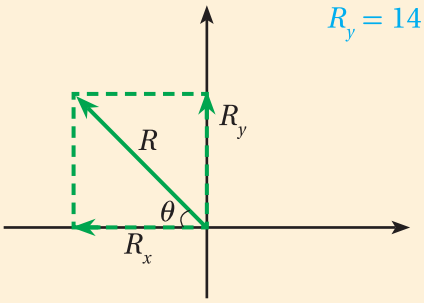
$R^2 = R_x^{\,2} + R_y^{\,2}$

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

$R = 16.92\ \text{N}$

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

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

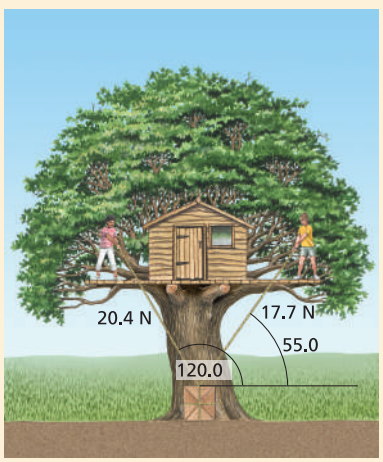


3 تقويم الجواب

- **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

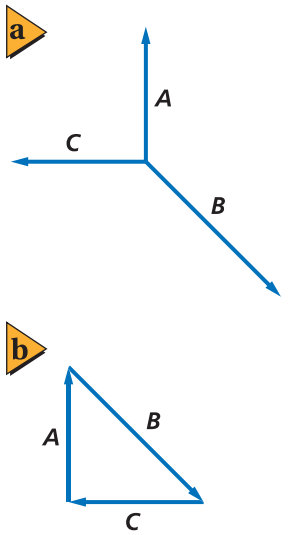
3. يمشي أحمد مسافة 0.40 km بزاوية 60° غرب الشمال، ثم يمشي 0.50 km غربًا. ما إزاحة أحمد؟
4. يقضي الأخوان أحمد وعبد الله بعض الوقت في بيت بنياه فوق شجرة. وقد استعملا بعض الحبال لرفع صندوق كتلته 3.20 kg يحوي أمتعتهم. فإذا وقفا على غصنين مختلفين؛ كما في **الشكل 6–1** وسحبا بالزاويتين والقوتين الموضحتين في 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؟



الشكل 6–1

اتزان القوى Forces equilibrium

طبقًا 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. فعندما تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا كان الجسم متزنًا.

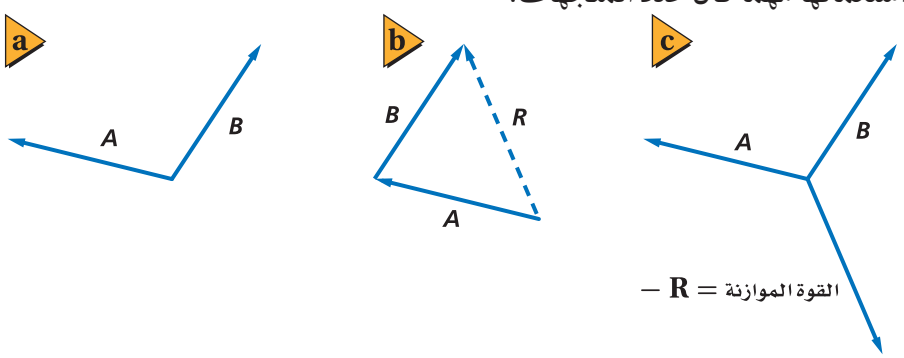


الشكل 1–7 يتزن جسم عندما يكون مجموع القوى المؤثرة فيه يساوي صفرًا.

يبين **الشكل 1–7a** ثلاث قوى تؤثر في جسم نقطي. ما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم؟ يبين **الشكل 1–7b** جمع المتجهات الثلاثة ***A*** و***B*** و***C***. لاحظ أن المتجهات الثلاثة تشكل مثلثًا مغلقًا، وبذلك فإن القوة المحصلة تساوي صفرًا؛ لذا يكون الجسم متزنًا.

لنفترض أن قوتين تؤثران في جسم ما وأن محصلتهما لا تساوي صفرًا **الشكل 1–8a**، فكيف يمكن إيجاد قوة ثالثة، بحيث إذا أثرت 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 **الشكل 1–8b**. فتكون القوة الثالثة المطلوبة تساوي القوة المحصلة في المقدار، ولكنها تعاكسها في الاتجاه. وتسمى القوة التي تجعل الجسم متزنًا **القوة الموازنة**. **الشكل 1–8c** ويمكن اتباع هذه الخطوات لإيجاد القوة الموازنة، وهي خطوات عامة يمكن استعمالها مهما كان عدد المتجهات.



الشكل 1–8 للقوة الموازنة مقدار القوة المحصلة نفسها، ولكنها تعاكسها في الاتجاه.

مسألة تحدٍّ

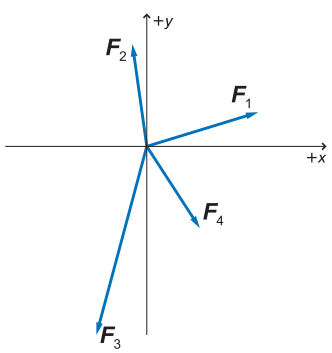
احسب القوة الموازنة للقوى التالية:

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

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

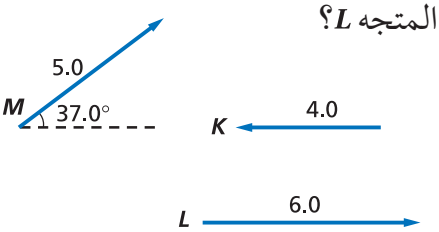
$F_3 = 102.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية 15° غرب الجنوب.

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



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

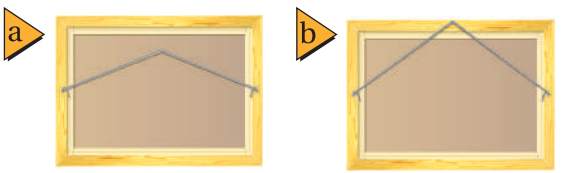
11. **مركّبات** أوجد مركبتي المتجه M المبين في **الشكل 9–1**.

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 تُعلَّق 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.

الفيزياء في حياتك

تخيل أنك تلعب كرة السلة بدون ارتداء أحذية رياضية مناسبة، لا شك أنك ستجد صعوبة في التحرك في أرجاء الملعب، فالأحذية الرياضية تساعد على توفير القوى اللازمة لتغيير الاتجاهات في أثناء الحركة.

تساؤلات جوهرية:

- ما هي قوة الاحتكاك؟
- كيف يختلف معامل الاحتكاك السكوني عن معامل الاحتكاك 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.

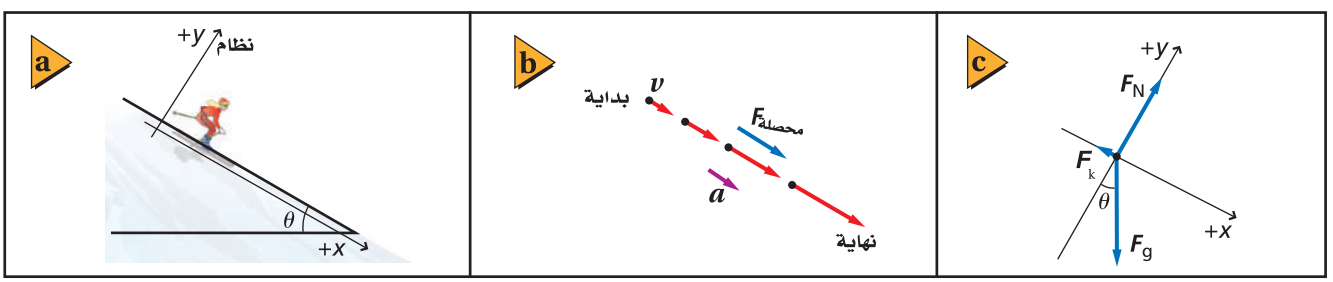
الحركة على مستوى مائل Motion Along an Inclined Plane

يمثل **الشكل 1–11a**، حركة متزلج على مستوى مائل، كما يبين **الشكل 1–11b** اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه واتجاه تسارعه. 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.

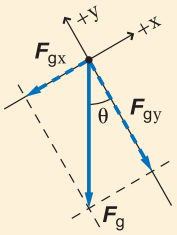
لاحظ أنك تحتاج إلى تطبيق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور x مرة، وفي اتجاه المحور y مرة أخرى. ولأن الوزن لا يشير إلى اتجاه أي من المحورين فإننا نقوم بتحليله إلى مركّبتين، إحداهما في اتجاه المحور x، والأخرى في اتجاه المحور y، وذلك قبل جمع القوى في هذين الاتجاهين. وهذه الخطوات موضحة في المثال 3.

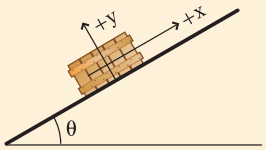
الشكل 1–11 ينزلق متزلج على مستوى مائل **(a)**. حدّد القوى التي تؤثر في المتزلج **(b)** وارسم مخطط الجسم الحر الذي يصف هذه القوى **(c)**. من المهم أن ترسم اتجاه قوة الاحتكاك والقوى العمودية بصورة صحيحة لتحليل مثل هذه الحالات على نحو مناسب.



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 $F_g = 562\ N,\ \theta = 30.0°$

المجهول $F_{gx} = ?\ ,\ F_{gy} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

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

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

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

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 .

التجربة العملية:

كيف يتحرك الجسم المنزلق على سطح مائل؟

مسائل تدريبية

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

18. ينزلق سامي في حديقة الألعاب على سطح مائل أملس 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 أملس، 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؟

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.

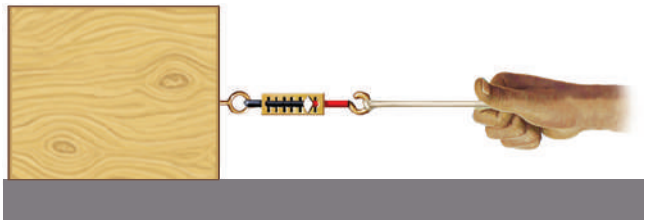
الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي Static and Kinetic Friction

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 حركتنا. فإذا مشيت يومًا على الجليد أو على أرض زلقة، فستدرك حينها أهمية الاحتكاك.

أنواع الاحتكاك هناك نوعان من الاحتكاك يمانعان الحركة. فعند دفع الكتاب فوق سطح طاولة 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 **الشكل 1–12a**، 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 **الشكل 1–12b**. فإذا لم تتحرك الأريكة أيضًا فهذا يعني أن قوة الاحتكاك أصبحت أكبر من ذي قبل ومساوية لقوة دفعك، أما إذا دفعت الأريكة بقوة كافية، كما في **الشكل 1–11c** 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 عندئذ في الحركة، ويبدأ الاحتكاك الحركي في التأثير بدلاً من الاحتكاك السكوني. وهناك أنواع أخرى من الاحتكاك فمنها يكون بين الأجسام الصلبة ومنها ما يكون في السوائل والغازات.

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

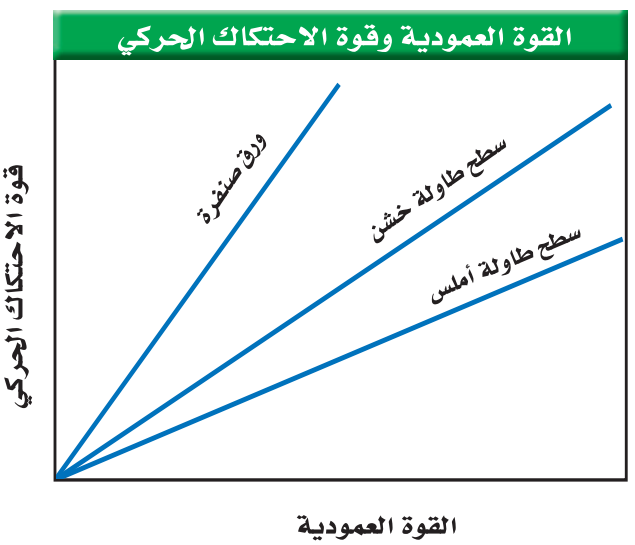


■ **الشكل 13–1** يسحب الميزان النابضي الكتلة بقوة ثابتة.

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 بسبب اختلاف معامل الاحتكاك بين السطوح المختلفة وسطح الجسم. ويُسمى ميل هذا الخط **معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين**، ويرمز إليه بـ μ_k، ويربط معامل



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

المختبر الافتراضي:

توضيح المفاهيم المتعلقة بالاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.

التجربة العملية:

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

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 ويحدث بينهما تفاعلات كهربائية على المستوى الذري. وهذا هو أصل الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي. وتفاصيل هذه العملية ما تزال غير معروفة بسبب كثرة العوامل المتعلقة بالاحتكاك، وهي قيد البحث في الفيزياء والهندسة.

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 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_k قائمة. ويبين **الجدول 1–1** معاملات الاحتكاك بين سطوح مختلفة، ولاحظ أن $\mu_s > \mu_k$ دائمًا، لماذا؟

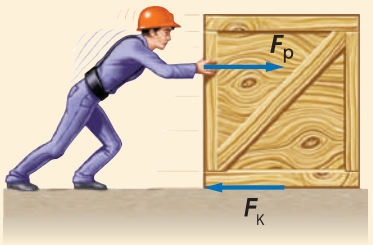
الجدول 1-1

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

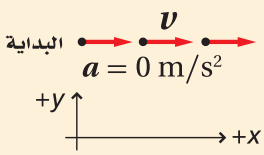
مثـال 4

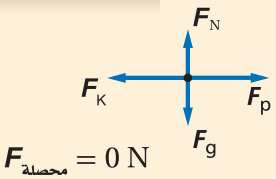
قوى احتكاك موازنة إذا دفعت صندوقًا خشبيًّا كتلته 25.0 kg على أرضية خشبية بسرعة منتظمة مقدارها 1.0 m/s ، فما مقدار القوة التي أثّرتَ بها في الصندوق؟



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

$$F_k = \mu_k mg$$
$$= (0.20)\ (25.0\ kg)\ (9.80\ m/s^2)$$
$$= 49\ N$$

$F_p = 49\ N$ 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 52 N عندما يسحبها على رصيف أسمنتي بسرعة منتظمة. ما معامل الاحتكاك الحركي بين الرصيف والزلاجة المعدنية؟ أهمل مقاومة الهواء.

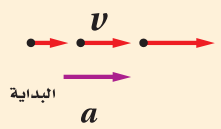
21. تستقر زلاجة وزنها 52 N على أرضية يغطيها الثلج. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.12، وجلس شخص وزنه 650 N على الزلاجة فما مقدار القوة اللازمة لسحب الزلاجة بسرعة منتظمة؟

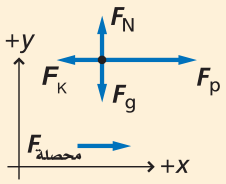
مثـال 5

قوى احتكاك غير موازنة في المثال 4 السـابق، 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.

$$F_{محصلة} = F_p - F_k$$

بالتعويض عن $F_{محصلة} = ma$

$$ma = F_p - F_k$$

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

أوجد قيمة F_k.

بالتعويض عن $F_N = mg$

$$F_k = \mu_k F_N$$

$$F_k = \mu_k mg$$

$$= \mu_k (mg)$$

بالتعويض عن F_k في معادلة التسارع a

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

بالتعويض عن كل من F_p، m، 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.

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

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

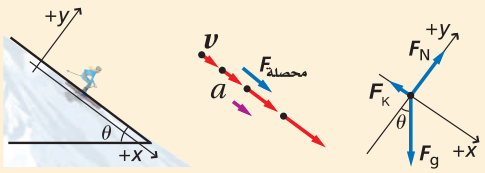
ثانيًا: يعتمد مقدار قوة الاحتكاك على مقدار القوة العمودية بين السطحين، ولكن ليس من الضروري أن يعتمد على وزن أي من الجسمين، فإذا كان السطح مائلًا فيعتمد على مركبة الوزن.

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	المجهول
$m = 62\ \text{kg}$, $\theta = 37°$ $\mu_k = 0.15$, $v_i = 0.0\ \text{m/s}$, $t = 5.0\ \text{s}$	$a = ?$, $v_f = ?$

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 $F_{\text{محصلة}x}$, F_{gx} , F_k

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

$$F_{\text{محصلة}x} = F_{gx} - F_k$$

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

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 لتحرِّكا 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 حتى وصلت سرعته 5.8 m/s، ثم بدأ بالتباطؤ فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين القرص والأرضية هو 0.31، فما المسافة التي يقطعها القرص إلى 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، فسر إجابتك رياضيًا؟

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).

التقنية والمجتمع

الأفعوانيات Roller Coasters

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.

الفصل 1

دليل الدراسة

1–1 المتجهات Vectors

المفردات

- المركّبات
- القوة الموازنة
- تحليل المُتّجه

الفكرة الرئيسة: يمكن وصف القوى في بعدين باستعمال جمع المتجهات.

- 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 بين رأس المتجه الأول وذيل المتجه الثاني 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 عدة المتجهات من خلال جمع المركّبات التي في اتجاه المحور x وفي اتجاه المحور y بشكل منفصل، ثم استعمال نظرية فيثاغورس.

1–2 الاحتكاك والحركة Friction and motion

المفردات

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

الفكرة الرئيسة: الاحتكاك نوع من القوى ينشأ بين سطحين متلامسين.

- 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.

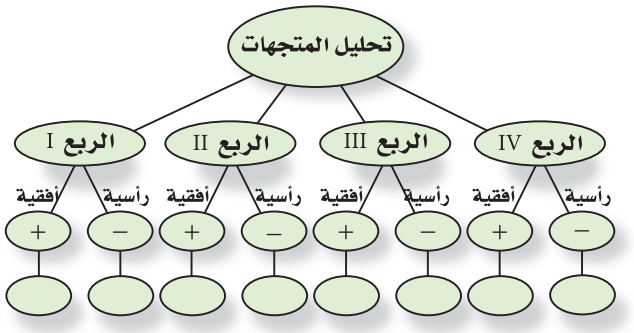
$$F_k = \mu_k F_N$$

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

$$F_s \le \mu_s F_N$$

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 كميَّتين متجهتين بيانيًّا.

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

42. **سيارات** هل تزداد قوة 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 فوق الأفقي.

a. أي من القوى أو مركبات القوى تزداد بزيادة الزاوية؟

b. أي مركبتي القوة تقل بزيادة الزاوية؟

تطبيق المفاهيم

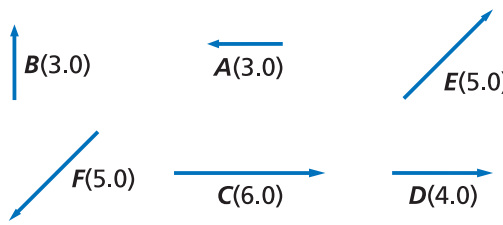
44. رُسم متجه طوله 15 mm ليمثل سرعة مقدارها 30 m/s، كم يجب أن يكون طول متجه يُرسم ليمثل سرعة مقدارها 20 m/s؟

45. كيف تتغير الإزاحة المحصلة؛ عندما تزداد الزاوية بين رأس المتجه الأول وذيل المتجه الثاني 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

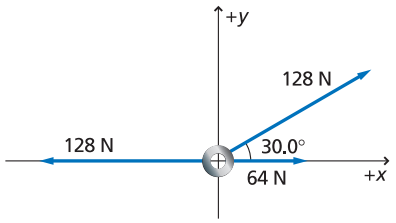
48. أوجد بطريقة الرسم مجموع كل زوجين من المتجهات التالية، علمًا بأن مقدار كل متجه واتجاهه مبينان في **الشكل 15–1**.

a. D و A **b.** D و C

c. C و A **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 الإزاحة 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 أفقيًا تحت تأثير قوة مقدارها 710 N، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي 0.20، فاحسب تسارع الصندوق.

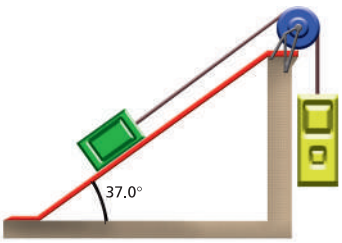
54. تؤثر قوة مقدارها 40.0 N في جسم كتلته 5.0 kg موضوع على سطح أفقي فتكسبه تسارعًا مقداره 6.0 m/s^2 في اتجاهها. احسب مقدار:

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:

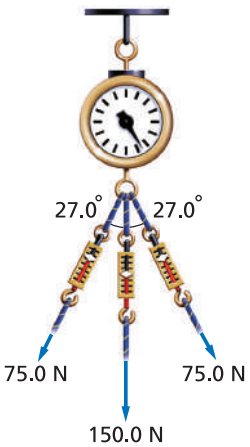
a. مقدار تسارع المجموعة. **b.** مقدار الشد في الخيط.



الشكل 1–17

مراجعة عامة

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



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/s^2؟

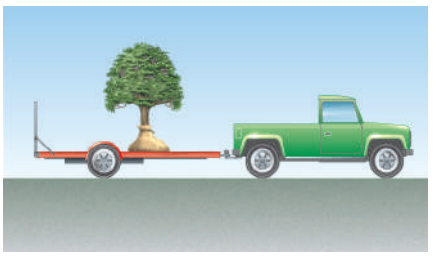
تقويم الفصل - 1

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^{o} فوق الأفقي.

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

b. إذا دُفعت 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 تتباطأ 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 $0.26\ m/s^2$، 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^{o} 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.

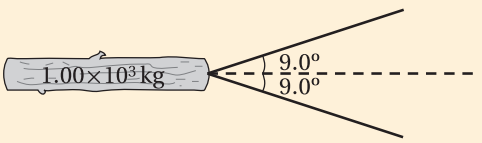
اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

أختر الإجابة الصحيحه 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

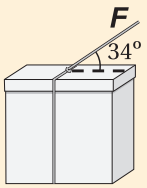
3. قرر بعض الطلاب بناء عربة خشبية كتلتها 30.0 kg فوق زلاجة. فإذا صعد إلى العربة راكبان، كتلة كل منهما 90.0 kg، فما مقدار القوة التي يجب أن يسحب بها شخصٌ العربةَ لكي تبدأ الحركة، علمًا بأن معامل الاحتكاك السكوني بين العربة والثلج 0.15؟

(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° 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.

الفصل 2

الحركة في بُعدين
Motion in Two Dimensions

الفكرة العامة

يمكن استعمال المتجهات وقوانين نيوتن لوصف حركة المقذوفات والحركة الدائرية.

2-1 حركة المقذوف

الفكرة الرئيسة الحركة الأفقية للمقذوف لا تعتمد على الحركة الرأسية له.

2-2 الحركة الدائرية

الفكرة الرئيسة يمتلك الجسم المتحرك في مسار دائري تسارع باتجاه المركز بسبب قوة غير موازنة تتجه نحو المركز.

2-3 السرعة النسبية

الفكرة الرئيسة تعتمد سرعة الجسم على الإطار المرجعي الذي تم اختياره.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بحركة المقذوف(المقذوف، مسار المقذوف).
- ملاحظة أن الحركتين الأفقية والرأسية للمقذوف مستقلتان.
- تحليل حركة المقذوف.
- تفسير كيف يعتمد شكل مسار المقذوف على الإطار المرجعي الذي يُلاحظ منه.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بالحركة الدائرية(الحركة الدائرية المنتظمة، التسارع المركزي، القوة المركزية).
- تفسير سبب تسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة منتظمة في مسار دائري.
- بيان كيف يعتمد مقدار التسارع المركزي على سرعة الجسم، ونصف قطر الدائرة.
- تحديد القوى التي تسبب التسارع المركزي.
- تحليل حالات تكون عندها مجموعة المحاور متحركة.
- حلْ مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.

فكّر

عندما تدور هذه الأراجيح بسرعة منتظمة هل يكون لها تسارع؟

عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

كيف يمكن وصف حركة المقذوف؟

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

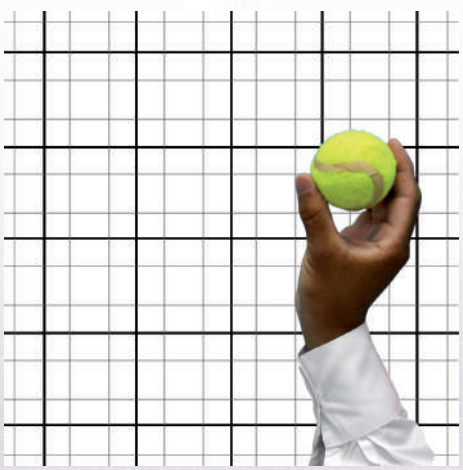
الخطوات

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.



الفيزياء في حياتك

عندما ترمي كرة في الهواء فإنها تتحرك في مسارٍ منحنٍ، وتسمى الكرة في هذه الحالة بالمقذوف.

تساؤلات جوهرية:

- كيف ترتبط الحركة الأفقية بالحركة العمودية للمقذوف؟
- ما العلاقة بين كل من الارتفاع الذي يصله المقذوف، وزمن تحليقه، والمدى الأفقي الذي يقطعه؟

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 وزاوية قذفه وموقعه الابتدائي فستتمكن من تحديد مسار الجسم.

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؟

التجربة العملية :

ما العوامل التي تؤثر في مسار مقذوف ما؟

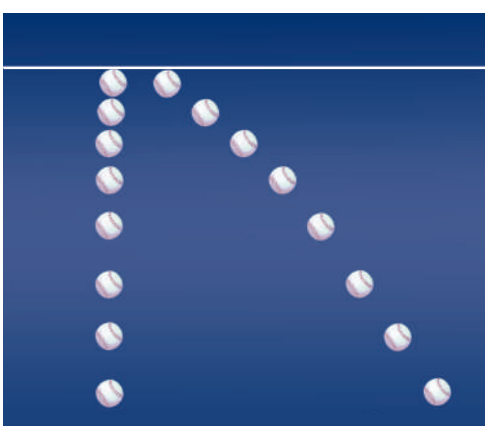
استقلالية الحركة في بُعدين

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)، 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، ستلاحظ أن الكرة تسير أفقيًّا بسرعة منتظمة من لاعب إلى آخر، كأي جسم ينطلق بسرعة أفقية ابتدائية، مثل حركة قرص مطاطي على جليد ناعم. إن حركة المقذوف تركيب لهاتين الحركتين.

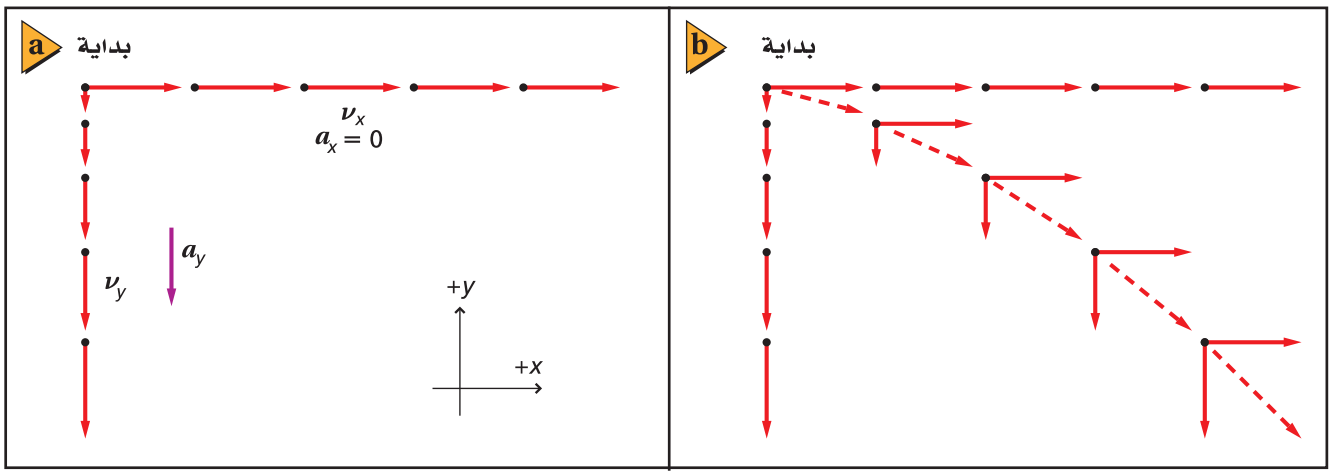
لماذا تتحرك المقذوفات بهذه الكيفية؟ أي قوى تؤثر في الكرة بعد أن تغادر يد اللاعب؟ إذا أهملت مقاومة الهواء فإن القوة الوحيدة المؤثرة هي قوة الجاذبية الأرضية في اتجاه الأسفل. كيف يؤثر ذلك في حركة الكرة؟ تعطي قوةُ الجاذبية الأرضية الكرةَ تسارعًا في اتجاه الأسفل.

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 سقوطًا حرًّا، فتتزايد سرعته في اتجاه الأسفل بانتظام بسبب قوة الجاذبية الأرضية.



الشكل 1–2 استقلالية الحركة في البعدين الأفقي والرأسي.

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 لتشكّلا السرعة المتجهة الكلية المماسية للمسار.



يبين **الشكل 2a–2** مسارات 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 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. ولإنَّه 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.

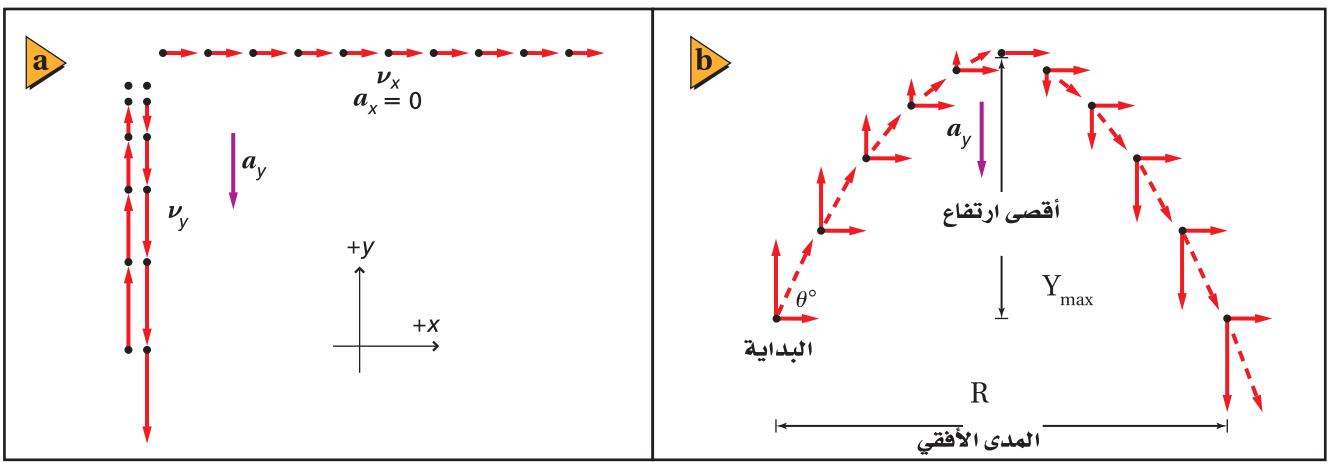
مسائل تدريبية

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 حسين 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

المختبر الافتراضي:
وصف حركة المقذوف.

عند قُذف جسم رأسيًّا إلى أعلى فإن سرعته تتناقص باستمرار حتى تصل الصفر عند أقصى ارتفاع له، ثم يأخذ في السقوط بسرعة متزايدة. أما عندما يُطلَق مقذوف بزاوية ما يكون لسرعته الابتدائية مركبتان، إحداهما أفقية والأخرى رأسية. 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.



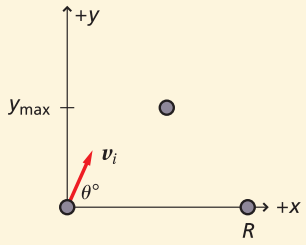
الشكل 2–3 الجمع الاتجاهي لـ v_x ، v_y عند كل موضع يشير إلى اتجاه التحليق.

مثـال 1

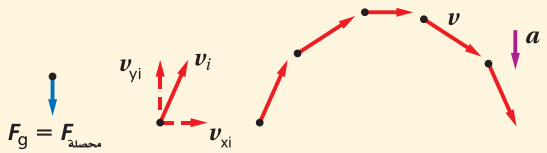
تحليل الكرة قذفت كرة بسـرعة 4.5 m/s في اتجاه يصنع زاوية 66° فوق الأفقي. ما أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟ وما زمن تحليقها؟

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.

بالتعويض عن $a_y = -$

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 المستوى الذي قُذفت منه.

زمن الصعود = زمن النزول

زمن التحليق = زمن الصعود + زمن الهبوط

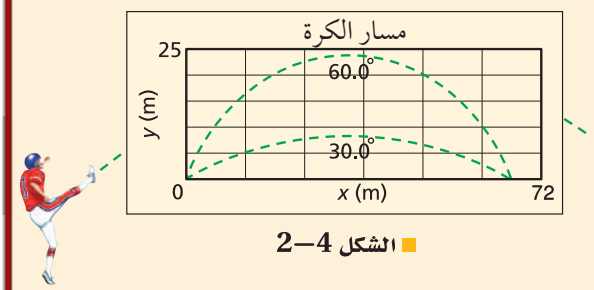
$$\text{زمن التحليق} = 2t$$
$$= 2(0.42\ s)$$
$$= 0.84\ s$$

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.

مسائل تدريبية

3. قذف لاعبٌ كرةً من مستوى الأرض بسرعة ابتدائية 27.0 m/s وفي اتجاه يميل فوق الأفقي بزاوية مقدارها 30.0°، كما في **الشكل 4–2**. جد كلًّا من الكميات التالية، علمًا أن مقاومة الهواء مهملة:



الشكل 4–2

a . زمن تحليق الكرة.

b . أقصى ارتفاع تصله الكرة.

c . المدى الأفقي للكرة.

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 تم إهمال أثر مقاومة الهواء في حركة المقذوفات حتى الآن. ففي حين تكون مقاومة الهواء قليلة جدًّا تجاه بعض المقذوفات فإنها تكون كبيرة تجاه مقذوفات أخرى. في كرة الجولف مثلاً تؤدي النتوءات الصغيرة على سطح الكرة إلى تقليل مقاومة الهواء عند السرعات الكبيرة للكرة، ثم إلى زيادة المدى الأفقي. من المهم أن نتذكر أن قوة مقاومة الهواء موجودة دائمًا كما درست سابقًا، وقد تكون مهمة.

2-1 مراجعة

6. **رسم تخطيطي للجسم الحر** ينزلق مكعب من الجليد على سطح طاولة دون احتكاك وبسرعة منتظمة، إلى أن يغادر حافة الطاولة ساقطًا في اتجاه الأرض. ارسم مخطط الجسم الحر للمكعب، وكذلك مخطط حركة الجسم عند نقطتين على سطح الطاولة ونقطتين في الهواء.

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

8. **حركة المقذوف** قذفت كرة تنس من نافذة ترتفع 28 m فوق سطح الأرض بسرعة ابتدائية 15.0m/s، وبزاوية 20.0° تحت الأفقي. ما المسافة التي تتحركها الكرة أفقيًّا قبيل ارتطامها بالأرض؟

9. **التفكير الناقد** افترض أن جسمًا 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. أقصى ارتفاع (y_{max})

d. المدى الأفقي (R)

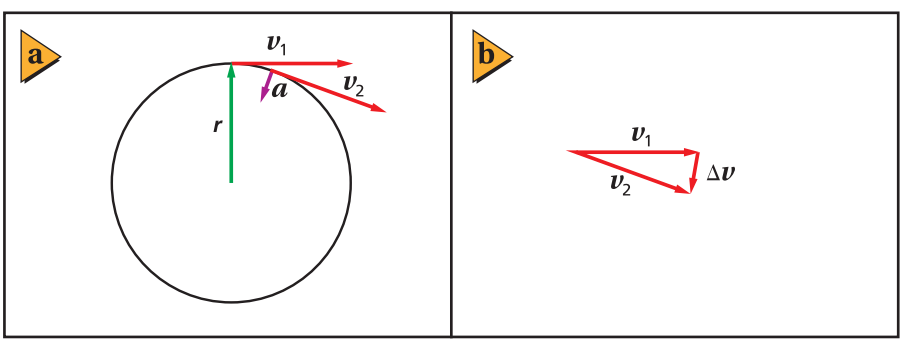
إذا تحرك جسم بسرعة منتظمة في مسار دائري، كأن يدور حجر مثبت في نهاية خيط، فهل يكون لهذا الجسم تسارع؟ قد يتبادر إلى ذهنك في البداية أن هذا الجسم لا يتسارع لأن مقدار سرعته لا يتغير، لكن تذكر أن التسارع هو التغير في السرعة المتجهة (مقدارًا واتجاهًا)، وليس في مقدار السرعة فقط. ولأن اتجاه الحجر يتغير لحظيًّا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

وصف الحركة الدائرية Describing Circular Motion

الحركة الدائرية المنتظمة هي حركة جسم 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. 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.

الفيزياء في حياتك

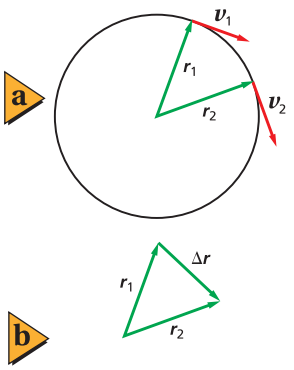
عندما ترمي كرة في الهواء فإنها تتحرك في مسارٍ منحنٍ، وتسمى الكرة في هذه الحالة بالمقذوف.

تساؤلات جوهرية:

- لماذا يكون للجسم المتحرك بسرعة منتظمة في مسار دائري تسارع؟
- كيف يعتمد التسارع المركزي على سرعة الجسم ونصف قطر مساره؟

المفردات:

- الحركة الدائرية المنتظمة
- التسارع المركزي
- القوة المركزية



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

تطبيق الفيزياء

المصاعد الفضائية يعتبر العلماء استعمال المصاعد الفضائية نظامًا قليل التكاليف للنقل إلى الفضاء. حيث يتم ربط كيبل 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 الكيبل. ولكن لا توجد حتى الآن التكنولوجيا والمواد المناسبة لتطبيق هذه الفكرة.

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 $F_{\text{محصلة}} = ma_c$

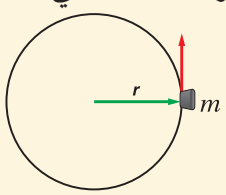
القوة المحصلة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك في مسار دائري تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في تسارعه المركزي.

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

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.

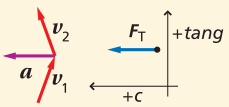
مثال 2

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.

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

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

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

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

استعمل القانون الثاني لنيوتن لحساب قوة الشد في الخيط.

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

$$F_T = ma_C$$

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

$$= 0.34\ \text{N}$$

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.

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؟

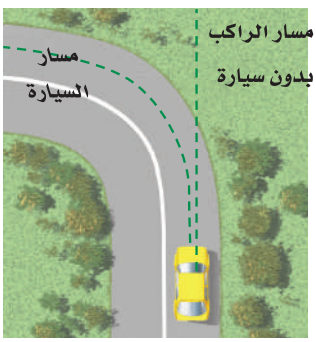
11. تسير سيارة سباق بسرعة مقدارها 22 m/s في منعطف نصف قطره 56 m، احسب مقدار التسارع المركزي للسيارة. وما أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين العجلات والأرض لمنع السيارة من الانزلاق؟

12. تطير طائرة بسرعة مقدارها 201 m/s عند تحليقها 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. وهذه القوة الوهمية تحقق الإثارة والمتعة في العربات والألعاب الدوارة والمسارات المتعرجة في الافعوانيات.



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؟

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 أعطيت سرعة القطار بالنسبة للأرض وسرعتك بالنسبة للقطار، فكيف تقيس سرعتك بالنسبة لراصد ثابت على الأرض؟

يبين **الشكل 9a–2**، 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 9b–2** 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.

ولا تصلح هذه المعادلة إذا كانت الاجسام متحركة بسرعات تقترب من سرعة الضوء.

مسألة تحدٍّ

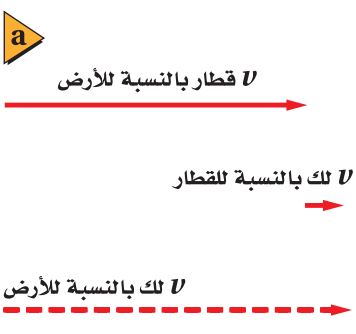
يُدوّر طارق حجرًا كتلته m مربوطًا بحبل في مسار دائري أفقي فوق رأسه، بحيث يكون هذا الحجر على ارتفاع h فوق سطح الأرض. ويمثل r نصف قطر الدائرة، ويمثل T مقدار قوة الشد في الحبل. وفجأة انقطع الحبل وقطع الحجر مسافة أفقية d من لحظة انقطاع الحبل إلى ارتطام الحجر بالأرض. أوجد تعبيرًا رياضيًّا للمسافة بدلالة كل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

الفيزياء في حياتك

هل لاحظت أن الأشخاص الذين ينتقلون عبر سلم كهربائي معك لا يبدو أنهم يتحركون من مكانهم، بينما يبدو الأشخاص بالاتجاه المعاكس يتحركون أسرع؟ هؤلاء الأشخاص ربما في الحقيقة يمتلكون السرعة نفسها بالنسبة للأرض، ولكن سرعتهم بالنسبة لك مختلفة.

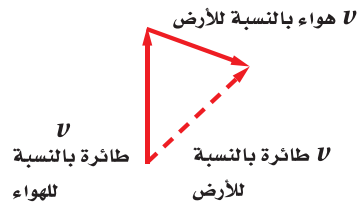
تساؤلات جوهرية :

- ما هي السرعة النسبية؟
- كيف تجد سرعة جسم متحرك بالنسبة لأطر مرجعية مختلفة؟



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

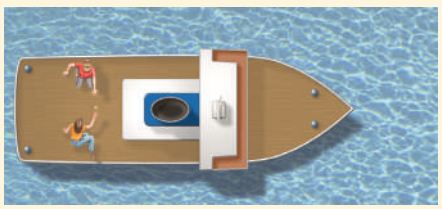
ينطبق هذا المبدأ في جمع السرعات النسبية على الحركة في بُعدين أيضًا، فمثلاً لا يتوقع الملاحون الجويّون الوصول إلى هدفهم فقط بتوجيه طائراتهم في اتجاه البوصلة. بل عليهم الأخذ بعين الاعتبار سرعتهم بالنسبة إلى الهواء واتجاهها، وكذلك سرعة الرياح واتجاهها عند الارتفاع الذي يطيرون عنده، ويجب جمع هذين المتجهين، 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.

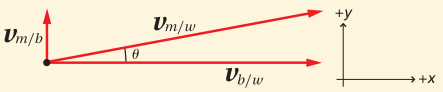


الشكل 10–2 يمكن إيجاد سرعة الطائرة بالنسبة للأرض عن طريق الجمع الاتجاهي.

مثال 3

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

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؟

التجربة العملية:
السرعة النسبية.

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.

المركبات الفضائية الدوارة Spinning Space Stations

هناك الكثير مما يجري على متن محطة الفضاء الدولية ISS. يُجري العلماء من دول مختلفة تجارب ومشاهدات كثيرة. فقد شاهدوا تشكل قطرات الماء بوصفها كرات طافية، واستنبتوا الفاصوليا 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 طويلة 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؟

الفصل 2

دليل الدراسة

2-1 حركة المقذوف Projectile Motion

المفردات

- المقذوف
- مسار المقذوف

الفكرة الرئيسة: الحركة الأفقية للمقذوف لا تعتمد على الحركة الرأسية له.

- الحركتان الرأسية والأفقية للمقذوف مستقلتان.
- المركبة الرأسية لحركة المقذوف لها تسارع منتظم.
- 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 أفقيًا.
- 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

الفكرة الرئيسة: يمتلك الجسم المتحرك في مسار دائري تسارع بإتجاه المركز بسبب قوة غير متوازنة تتجه نحو المركز.

- 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

الفكرة الرئيسة: تعتمد سرعة الجسم على الإطار المرجعي الذي تم اختياره.

- يمكن استعمال الجمع الاتجاهي لحل مسائل السرعة النسبية.

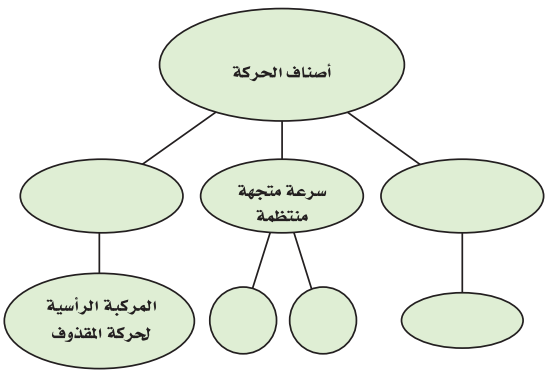
$$\boldsymbol{v}_{a/c} = \boldsymbol{v}_{a/b} + \boldsymbol{v}_{b/c}$$

- مفتاح الحل لمسائل السرعة النسبية هو رسم المثلث الذي يمثل السرعات الثلاث.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية www.obeikaneducation.com

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

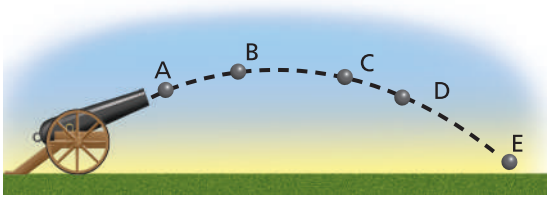
28. ادرس **الشكل 11–2** الذي يمثل مسار قذيفة مدفع، ثم أجب عن الأسئلة التالية:

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 طول الوثبة؟

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. القيادة على الطريق السريع إذا تجاوزت سيارةٌ سيارةً أخرى على الطريق السريع، وكانت السيارتان تسيران في الاتجاه نفسه، فسوف تستغرق زمنًا أطول مما لو كانت السيارتان تسيران في اتجاهين متعاكسين. فسر ذلك.

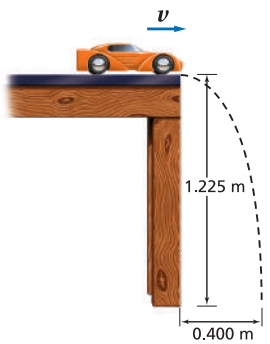
إتقان حل المسائل

38. إذا قذفت بقلمك أفقيًّا من فوق سطح بناية ارتفاعها 64 m، بسرعة 8.0 m/s، فعلى أي بعد من قاعدة البناية يجب أن تبحث عنه؟

39. يبين **الشكل 12–2** سيارة لعبة تسقط من حافة طاولة ارتفاعها 1.225 m لتصطدم بالأرض على بعد 0.400 m من قاعدة الطاولة، فما:

a. الزمن الذي تستغرقه السيارة في الهواء؟

b. مقدار سرعة السيارة لحظة مغادرتها سطح الطاولة؟



الشكل 12–2

40. الرماية قذف سهم في اتجاه يصنع زاوية 30.0^{o} فوق الأفقي، فإذا كانت سرعته 49 m/s وأصاب الهدف، أجب عما يأتي:

a. ما أقصى ارتفاع يصل إليه السهم؟

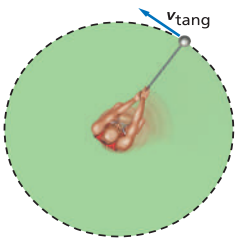
b. إذا كان ارتفاع لوحة الهدف هو الارتفاع نفسه لنقطة إطلاق السهم، فما بعد اللوحة عن نقطة إطلاق السهم؟

41. سباق السيارات سيارة كتلتها 615 kg تكمل دورة سباق واحدة في 14.3 s، ودورة السباق عبارة عن مضمار دائري نصف قطره 50.0 m، فإذا تحركت السيارة بسرعة ثابتة المقدار، فما مقدار:

a. تسارع السيارة؟

b. القوة التي تؤثر بها الطريق في عجلات السيارة لتنتج هذا التسارع؟

42. قذف المطرقة يُدوّر لاعبٌ مطرقةً كتلتها 7.00 kg، وتبعد مسافة 1.8 m عن محور الدوران، وتتحرك في مسار دائريٍّ أفقي كما في **الشكل 13–2**، فإذا أتمت المطرقة دورة واحدة في 1.0 s، فاحسب مقدار التسارع المركزي لها، واحسب مقدار قوة الشد في السلسلة؟



الشكل 13–2

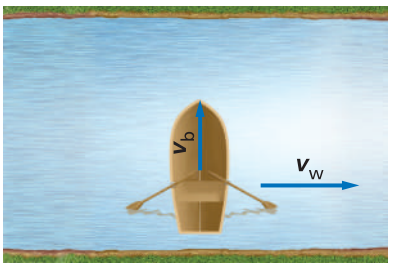
43. يوفر الاحتكاك للسيارة القوة اللازمة للمحافظة على حركتها في مسار دائري أفقي مستوٍ خلال السباق. ما أقصى سرعة يمكن للسيارة أن تتحرك بها؟ علمًا بأن نصف قطر المسار 80.0 m، ومعامل الاحتكاك السكوني بين العجلات والشارع 0.40

44. السفر بالطائرة إذا كنت تركب طائرة صغيرة وتريد الوصول إلى مطار يبعد 450 km جنوبًا في ثلاث ساعات، وكانت الرياح تهب من الغرب بسرعة 50 km/h، فما مقدار واتجاه سرعة الطائرة التي يجب أن تطير بها لكي تصل في الوقت المناسب؟

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

الفصل 2

اختبار مقنن

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.

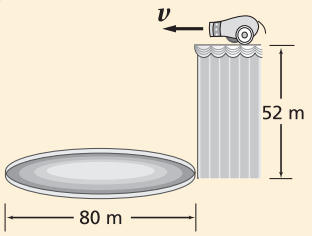
Ⓑ الجاذبية تؤثر في الرصاصة بصورة أقل من البرتقالة؛ لأن الرصاصة أسرع كثيرًا.

Ⓒ 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؟

الفصل 3

الجاذبية Gravitation

الفكرة العامة

الجاذبيـة قـوة تجـاذب تؤثـر في الأجسام التي لها كتلة.

3-1 حركة الكواكب والجاذبية

الفكرة الرئيسة تتناسب قوة الجاذبية بيـن أي جسـمين تناسـباً طردياً مع كتلتيهما وعكسـياً مع مربع المسافة بين مركزيهما.

3-2 استخدام قانون الجذب الكوني

الفكـرة الرئيسـة جميـع الأجسـام محاطة بمجـال الجاذبية الذي يؤثر في حركة الأجسام الأخرى.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيـح المفاهيـم المرتبطـة بحركـة الكواكـب والجاذبيـة(القانـون الأول لكبلـر، القانـون الثاني لكبلـر، القانون الثالـث لكبلر، قوة الجاذبيـة، قانون الجذب الكوني(العام)).
- الربط بين قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني.
- حساب الزمن الدوري والسرعة المدارية.
- وصف أهمية تجربة كافندش.
- توضيـح المفاهيـم المرتبطة باسـتخدام قانون الجذب الكوني(مجـال الجاذبية، الكتلة القصورية، كتلة الجاذبية).
- حلْ مسائل على الحركة المدارية.
- ربط انعدام الوزن مع أجسام في حالة سقوط حر.
- وصف مجال الجاذبية الأرضية.
- المقارنة بين مشاهد في الجاذبية.

فكّـر

تدور المذنبات حول الشـمس كما تفعل الكواكب. كيف تسـتطيع وصف مدار مذنب مثل مذنب هال- بوب؟

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 10 cm = 1 AU . ولاحظ أن الوحدة الفلكية الواحدة AU تساوي بُعْدَ الأرض عن الشمس. $1\ AU = 1.5\times10^{8}\ km$
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	
$d\ (AU)$	$\theta\ (^\circ)$
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

الفيزياء في حياتك

يتضمن نظامنا الشمسي الشمس والأرض، إضافة لسبع كواكب رئيسة وكواكب قزمة، والغبار بين الكواكب والغازات، وأقمار مختلفة تدور حول الكواكب، فما الذي يحافظ عليها معا؟

تساؤلات جوهرية :

- ما العلاقة بين نصف قطر مسار الكوكب وزمنه الدوري؟
- ما هو قانون نيوتن في الجاذبية، وكيف يرتبط بقوانين كبلر؟

المفردات:

- القانون الأول لكبلر
- القانون الثاني لكبلر
- القانون الثالث لكبلر
- قوة الجاذبية
- قانون الجذب الكوني (العام)

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.

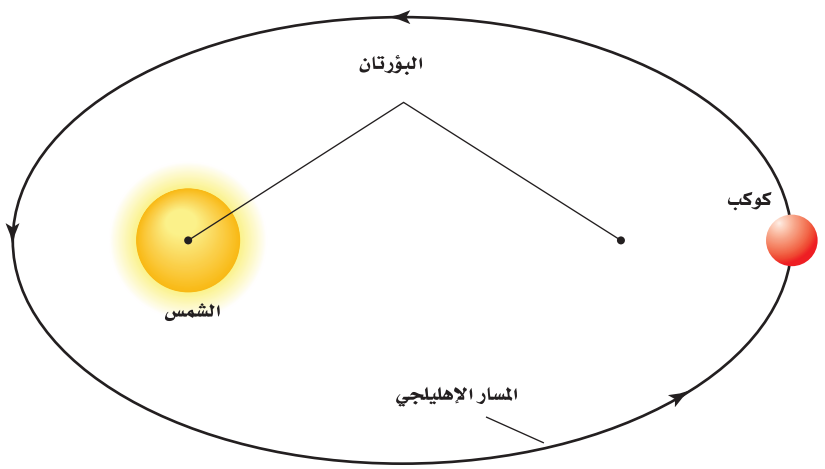
ثم جاء تايكو براهي بعد سنوات قليلة من موت كوبرنيكس. وفي الرابعة عشرة من عمره في الدنمارك لاحظ كسوفًا للشمس عام 1560م، قرّر بعدها أن يُصبح فلكيًّا، فدرس الفلك خلال سفره عبر أوربا مدة خمس سنوات. ولم يستعمل التلسكوب، بل استعمل أجهزة صممها بنفسه. وتوصل خطأً – كما سيتبين لك– إلى أن الشمس والقمر يدوران حول الأرض، في حين تدور الكواكب الأخرى حول الشمس.

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. 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.

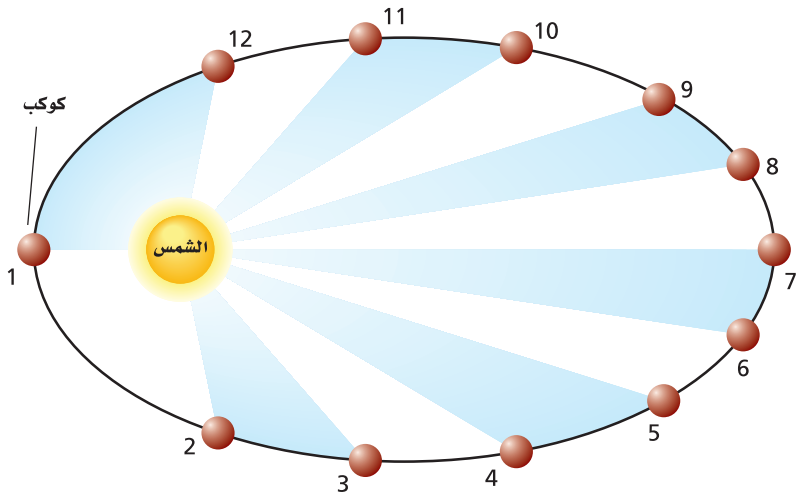
القانون الأول لكبلر ينص على أن مدارات الكواكب إهليلجية (قطع ناقص) وتقع الشمس في إحدى البؤرتين؛ فالشكل الإهليلجي له بؤرتان، كما في **الشكل 2–3**. و تسير المذنبات في مدارات إهليلجية أيضًا، وتقسم إلى مجموعتين اعتمادًا على الزمن الدوري لها – وهو الزمن اللازم للمذنب ليكمل دورة واحدة – المجموعة الأولى لها 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.

القانون الثاني لكبلر 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**.

القانون الثالث لكبلر 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:



■ **الشكل 3–3** يتحرك الكوكب بأقصى سرعة عندما يكون في أقرب موقع من الشمس، ويتحرك أبطأ عندما يكون بعيدًا عنها. ويمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية.

$$\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3$$ القانون الثالث لكبلر

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.

الجدول 1–3

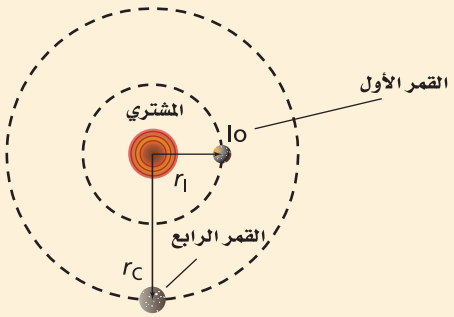
بيانات الأجرام

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}

مثـال 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 وحدة 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

استعمل القانون الثالث لكبلر لإيجاد r_c.

$$\left(\frac{T_c}{T_I}\right)^2 = \left(\frac{r_c}{r_I}\right)^3$$

$$r_c^{\,3} = r_I^{\,3}\left(\frac{T_c}{T_I}\right)^2$$

بالتعويض عن $r_I = 4.2$ وحدة
$T_c = 16.7$ يومًا
$T_I = 1.8$ يوم

$$= \sqrt[3]{r_I^{\,3}\left(\frac{T_c}{T_I}\right)^2}$$

$$= \sqrt[3]{(4.2 \text{ وحدة})^3 \left[\frac{16.7 \text{ يومًا}}{1.8 \text{ يوم}}\right]^2}$$

$$= \sqrt[3]{6.4 \times 10^3 (\text{وحدة})^3}$$

$$= 19 \text{ وحدة}$$

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.

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**.

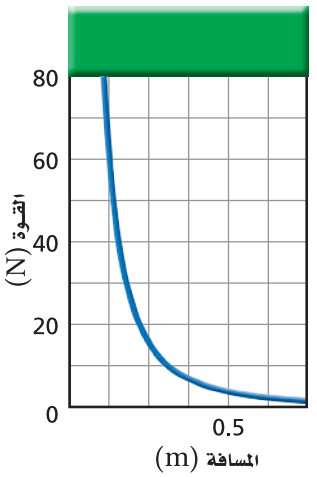
كان نيوتن واثقًا أن قوة التجاذب هذه موجودة بين أي جسمين في أي مكان من هذا الكون. وقد صاغ **قانونه في الجذب الكوني** الذي ينص على أن الأجسام تجذب أجسامًا أخرى بقوة تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلها، وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مراكزها. ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة التالية:

قانون الجذب الكوني $$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

قوة الجاذبية تساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في حاصل ضرب كتلة كل من 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

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).



■ **الشكل 4–3** يتّبع تغيرُ قوة الجاذبية بتغير المسافة قانونَ التربيع العكسي.

الرياضيات في الفيزياء

العلاقات الطردية والعكسية يحتوي قانون نيوتن في الجذب الكوني كلا التناسبين الطردي والعكسي.

$F \propto \frac{1}{r^2}$		$F \propto m_1 m_2$	
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

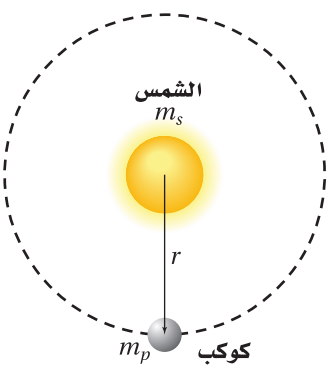
Universal Gravitation and Kepler's Third Law

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 $\boldsymbol{a}_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ ، لذا يمكن كتابة $\boldsymbol{F}_{\text{محصلة}} = m_p \boldsymbol{a}_c$ على النحو التالي: $\boldsymbol{F}_{\text{محصلة}} = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$. 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:

$$G\frac{m_s m_p}{r^2} = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$$

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3$$

$$T = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3}$$



■ **الشكل 5–3** كوكب كتلته m_p ونصف قطر مداره r، يدور حول الشمس التي كتلتها m_s.

ويمكن التعبير عن الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس كما يأتي:

الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس

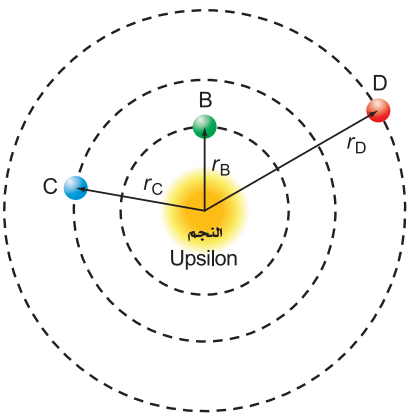
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

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.

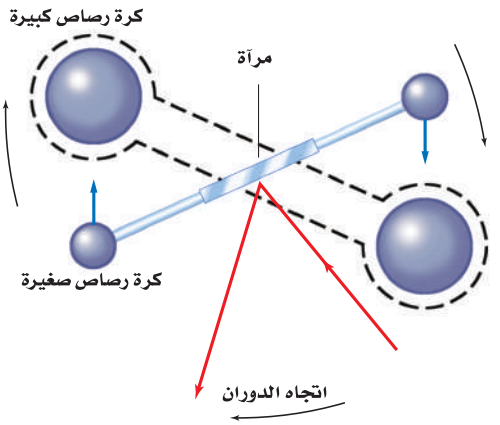
قياس ثابت الجذب الكوني
Measuring the Universal Gravitational Constant

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.

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 تحديد قيمة تجريبية للثابت G، حيث بلغت $G = 6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2$.



الشكل 7–3 عند وضع الكرات الكبيرة بالقرب من الصغيرة فإن قوة الجاذبية تؤدي إلى دوران الذراع. ويقاس الدوران بمساعدة الشعاع الضوئي المنعكس.

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:

$$F_g = \frac{(6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)\ (7.26\ \text{kg})\ (7.26\ \text{kg})}{(0.30\ \text{m})^2}$$

$$F_g = 3.9\times10^{-8}\ \text{N}$$

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:

$$F_g = G\frac{m_E m}{r_E^2} = mg$$ وينتج عن ذلك أن $$g = G\frac{m_E}{r_E^2}$$

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بدلالة m_E، أي $$m_E = \frac{g\,r_E^2}{G}$$

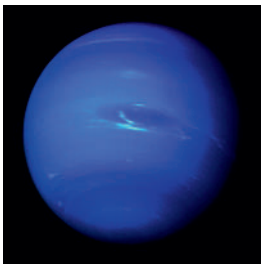
وبما أن $r_E = 6.38\times10^6\ \text{m}$؛ $g = 9.80\ \text{m/s}^2$؛ وكذلك $G = 6.67\times10^{-11}\ \frac{\text{N.m}^2}{\text{kg}^2}$

فإننا نحصل على القيمة التالية لكتلة الأرض:

$$m_E = \frac{(9.80\ \text{m/s}^2)\times(6.38\times10^6\ \text{m})^2}{(6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)} = 5.98\times10^{24}\ \text{kg}$$

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.

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 كلٍّ 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.

الفيزياء في حياتك

هل استخدمت أداة لتحديد موقعك، أو لرسم خريطة لمكان تود الذهاب إليه، من أي تحصل هذه الأداة على المعلومات؟ أن نظام التموضع العالمي (SPG) يتكون من العديد من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض، فالأقمار الصناعية لهذا النظام تعطي بيانات مضبوطة لأي موقع على الأرض أو بالقرب منها؟

تساؤلات جوهرية:

- كيف تصف الحركة المدارية؟
- كيف تتشابه الكتلة القصورية مع كتلة الجذب، وكيف تختلفان؟
- كيف تفسر قوة الجاذبية، وما نظرية أينشتين في الجاذبية؟

المفردات:

- مجال الجاذبية
- الكتلة القصورية
- كتلة الجاذبية
- سرعة الافلات

اكتُشف الكوكب أورانوس عام 1781م، وبحلول عام 1830م كان واضحًا أن مدار أورانوس الذي تم حسابه بوساطة قانون الجاذبية لا يتَّفق 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.

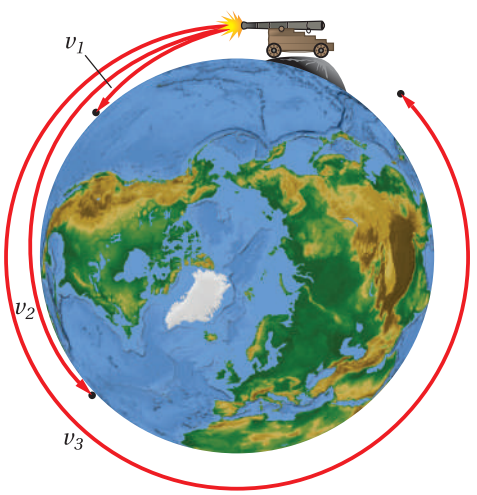
مسارات الكواكب والأقمار الاصطناعية
Orbits of Planets and Satellites

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.

وعندما تكون طاقة الحركة أكبر من أو تساوي طاقة الوضع للجسم فإن الجسم سوف يفلت من نطاق الجاذبية الأرضية بسرعة تسمى سرعة الهروب (الإفلات).



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. ويعبر عن تسارعه المركزي بالعلاقة: $a_c = \frac{v^2}{r}$ ، 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:

$$G\frac{m_E m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

ويمكن حساب مقدار سرعة القمر الاصطناعي الذي يدور حول الأرض من العلاقة:

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 مداره.

الزمن الدوري للقمر الاصطناعي مدار القمر الاصطناعي حول الأرض يشبه مدار الكواكب حول الشمس. وتعلم أن الزمن الدوري للكوكب حول الشمس يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

لذا فإن الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض يُعبّر عنه بالعلاقة:

الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$

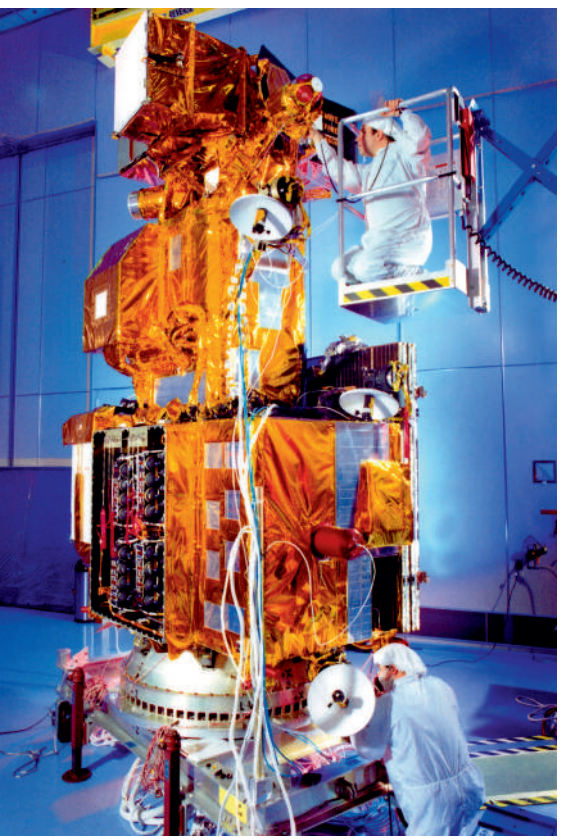
الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض يساوي 2π مضروبًا في الجذر التربيعي لمكعب نصف قطر المدار مقسومًا على حاصل ضرب ثابت الجذب الكوني في كتلة الأرض.

يمكن استعمال معادلات سرعة الأقمار الاصطناعية وزمنها الدوري لأي جسم آخر يتحرك في مدار حول جسم ثانٍ. بحيث تكون كتلة أحد الجسمين أكبر كثيرًا من كتلة الجسم الآخر 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 تطلَّب 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.

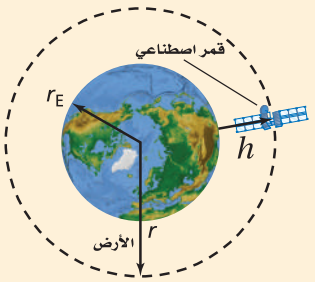


الشكل 10–3 يوجّه القمر الاصطناعي لاندسات 7 عن بعد، وكتلته تساوي 2200 kg، ويدور حول الأرض على ارتفاع 705 km

مثـال 2

السـرعة المداريـة والزمـن الدوري افترض أن قمـرًا اصطناعيًّا يدور حول الأرض على ارتفاع 225 km فوق سـطحها. 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 $h= 2.25\times10^{5}$ m, $r_E= 6.38\times10^{6}$ m

$$r = h + r_E$$

$$=2.25\times10^{5}\text{ m} + 6.38\times10^{6}\text{ m} = 6.61\times10^{6}\text{ m}$$

أوجد السرعة

بالتعويض عن كل من G , m_E, r

$$v = \sqrt{\frac{G\,m_E}{r}} = \sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\text{ N.m}^2/\text{kg}^2)\ (5.97\times10^{24}\text{ kg})}{6.61\times10^{6}\text{ m}}}$$

$$v = 7.76\times10^{3}\text{ m/s}$$

احسب الزمن الدوري

بالتعويض عن كل من G , m_E, r

$$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{(6.61\times10^{6}\text{ m})^3}{(6.67\times10^{-11}\text{ N.m}^2/\text{kg}^2)\ (5.97\times10^{24}\text{ kg})}}$$

$$T = 5.35\times10^{3}\text{ s}$$

3 تقويم الجواب

• **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة السرعة هي m/s، ووحدة الزمن الدوري هي s.

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؟

التجربة العملية:

ما شكل مدارات الكواكب والاقمار في النظام الشمسي؟

الشكل 11–3 يختبر أحد رواد الفضاء ظاهرة انعدام الوزن في مكوك الفضاء كولومبيا، وذلك عندما يسقط المكوك بما فيه سقوطًا حرًّا 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 بالمقدار نفسه نحو الأرض فلا توجد قوى تماس تؤثر فيك، لذا يكون وزنك الظاهري صفرًا، وتشعر بانعدام الوزن. وهو ما يشعر به رواد الفضاء في المكوك.

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.

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

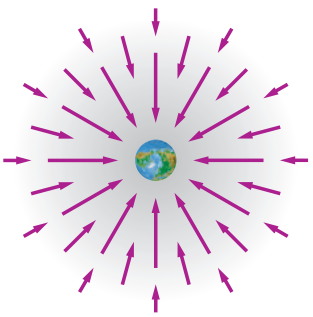
$$g = \frac{GM}{r^2}$$

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 جاذبيًّا 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 تُجْمع جمعًا اتجاهيًّا. ويمكن حساب مجال الجاذبية بوضع جسم كتلته m في المجال، ثم تقاس القوة المؤثرة فيه، وتقسم القوة $\boldsymbol{F}$ على الكتلة m، كما في العلاقة التالية: $\mathbf{g} = \boldsymbol{F}/m$، حيث يُقاس مجال الجاذبية بوحدة N/kg التي تساوي أيضًا m/s^2.

إن مقدار مجال الجاذبية عند سطح الأرض أو قريبًا منها يساوي 9.80 N/kg في اتجاه مركز الأرض. ويمكن تمثيل المجال بمتجه طوله g يشير إلى مركز الكرة الأرضية. ويمكنك تصور مجال الأرض بمجموعة من المتجهات تحيط بالأرض وتشير إلى مركزها، **الشكل 12–3**. ويتناسب المجال عكسيًّا مع مربع البعد عن مركز الأرض ويعتمد على كتلة الأرض، لا على كتلة الجسم، وعلى خط العرض حيث يزداد مجال الجاذبية الأرضية كلما ابتعدنا عن خط الاستواء نحو الاقطاب، كما يعتمد على مقدار الارتفاع أو الانخفاض عن سطح الأرض.



الشكل 12–3 تشير كل المتجهات الممثلة لمجال الجاذبية نحو مركز الأرض. ويضعف المجال كلما ابتعدنا عن سطح الأرض.

نوعا الكتلة Two Kinds of Mass

يمكن تعريف الكتلة 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 $m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$

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**.

فإذا قست قوة الجذب المؤثرة في جسم من جسم آخر كتلته m، وعلى بعد r أمكنك تعريف كتلة الجاذبية بالطريقة التالية:

كتلة الجاذبية $m_{\text{الجاذبية}} = \dfrac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{G\,m}$

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.

التجربة العملية:

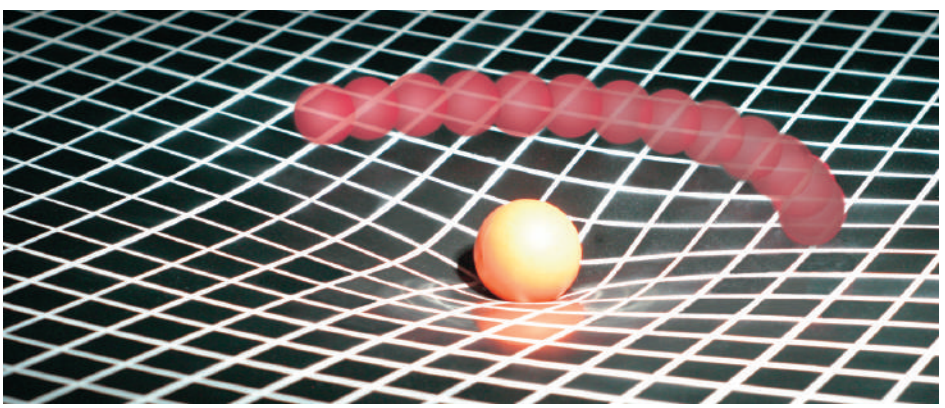
هل تساوي الكتلة القصورية كتلة الجاذبية؟

كيف يختلف نوعا الكتلتين؟ افترض أن لديك بطيخة في منتصف 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 أيضًا، ولكنها ستنجذب هذه المرة نحو الأسفل في اتجاه الأرض بسبب كتلة الجاذبية. 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. ولكن في الواقع فإن الانحناء يجري في نسيج الزمكان ذو الابعاد الأربعة.



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.

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.

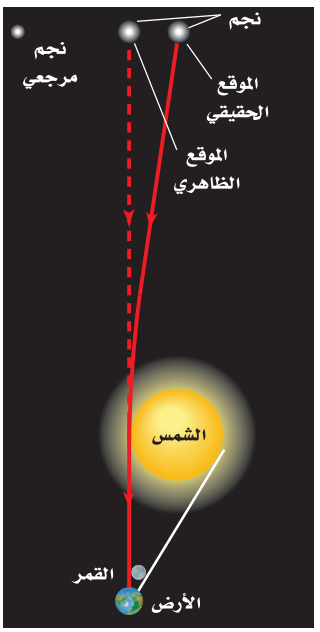
تنبأت نظرية أينشتين ـ التي تسمى النظرية النسبية العامة ـ بعدة تنبؤات حول كيفية تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة بعضها في بعض، وقد أعطت نتائج صحيحة لكل الاختبارات التي أجريت في الفترات اللاحقة. ومن ضمن هذه الاختبارات هو قياس موجات الجاذبية التي تتوقعها النظرية والتي نجح العلماء في قياسها مؤخرًا ونالوا جائزة نوبل في الفيزياء في سنة 2017 لذلك الإنجاز.

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. فأيّ:

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.

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 المفردَ (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 نصفَ قطر شوارتزشيلد، لا يمكن للضوء ولا للمادة الإفلات من قوة الجاذبية خلاله. ويعبَّر عن نصف قطر شوارتزشيلد بالعلاقة:

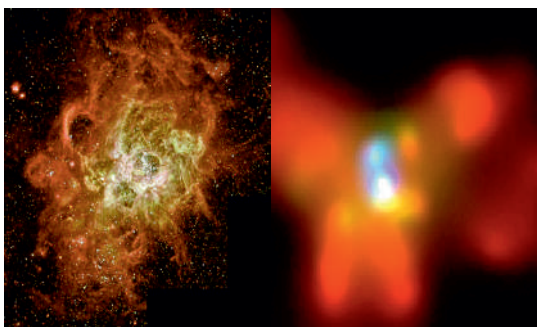
$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

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 كوَّنه، 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.

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)

الفكرة الرئيسة: تتناسب قوة الجاذبية بين أي جسمين تناسبًا طرديًا مع كتلتيهما وعكسيًا مع مربع المسافة بين مركزيهما.

- ينص القانون الأول لكبلر على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.
- ينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي الواصل 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 طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًا 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

الفكرة الرئيسة: جميع الأجسام محاطة بمجال الجاذبية الذي يؤثر في حركة الأجسام الأخرى.

- 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 تحسب من العلاقة:

$$g = \frac{Gm}{r^2}$$

- الكتلة القصورية وكتلة الجاذبية مفهومان مختلفان، إلا أنهما متساويان في مقدار الكتلتين. $m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm}$ $m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$
- النظرية النسبية العامة لأينشتين تصف التجاذب كخاصية للكون نفسه.

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.

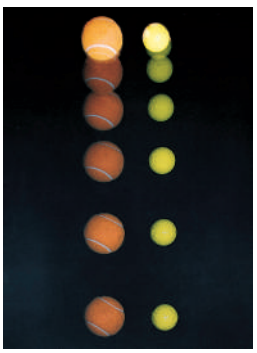
25. ما مصدر القوة التي تسبب التسارع المركزي لقمر اصطناعي في مداره؟

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

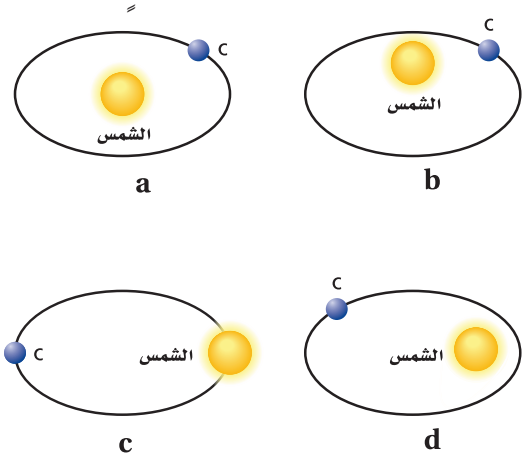
28. **كرة الجولف** قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم ما قرب سطح الأرض تتناسب مع كتلة الجسم. يبين **الشكل 16–3** كرة تنس وكرة جولف في حالة سقوط حر. لماذا لا تسقط كرة التنس أسرع من كرة الجولف؟



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 اصبحت كتلة الأرض ضعفي قيمتها، و بقي حجمها ثابتًا؟

33. إذا ارتفع مكوك فضاء إلى مدار أبعد من مداره، فماذا يحدث لزمنه الدوري؟

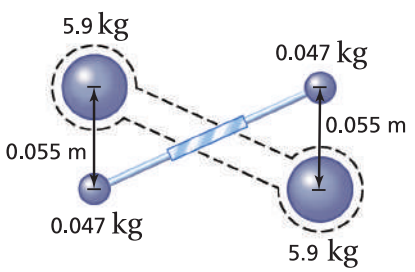
34. كتلة المشتري أكبر 300 مرة من كتلة الأرض، ونصف قطره أكبر عشر مرات من نصف قطر الأرض. احسب بالتقريب قيمة g على سطح المشتري.

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 كتلة إحداهما مثلي كتلة الأخرى والمسافة بين مركزيهما 2.6 m، وقوة الجاذبية بينهما 2.75×10^{-12} N، ما كتلة كل منهما؟

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.

تقويم الفصل - 3

48. ما سرعة دوران كوكب بحجم الأرض وكتلتها، بحيث يبدو الجسم الموضوع على خط الاستواء عديم الوزن؟ احسب الزمن الدوري للكوكب بالدقائق.

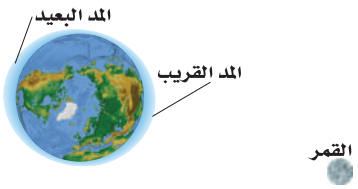
التفكير الناقد

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. أيّ 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؟

عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneduction.com

الفصل 3

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي.

1. قمران في مداريهما حول كوكب. نصف قطر مدار أحد القمرين $8.0\times10^{6}\ m$ وزمنه الدوري $1.0\times10^{6}\ s$، ونصف قطر مدار القمر الثاني $2.0\times10^{7}\ m$ ، ما الزمن الدوري لهذا القمر؟

(A) $5.0\times10^{5}\ s$ (C) $4.0\times10^{6}\ s$

(B) $2.5\times10^{6}\ s$ (D) $1.3\times10^{7}\ s$

2. يبين الرسم التالي قمرًا نصف قطر مداره $6.7\times10^{4}\ km$، ومقدار سرعته $2.0\times10^{5}\ m/s$ ، يدور حول كوكب صغير. ما كتلة الكوكب الذي يدور حوله القمر؟

(A) $2.5\times10^{18}\ kg$ (C) $2.5\times10^{23}\ kg$

(B) $4.0\times10^{20}\ kg$ (D) $4.0\times10^{28}\ kg$

3. يدور قمر حول كوكب بسرعة مقدارها $9.0\times10^{3}\ m/s$ ، فإذا كانت المسافة بين مركزي القمر والكوكب تساوي $5.4\times10^{6}\ m$ ، فما الزمن الدوري للقمر؟

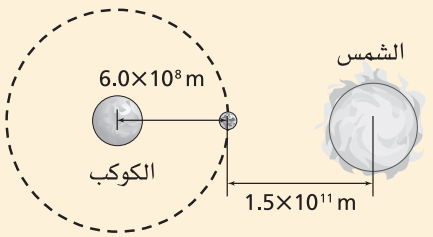
(A) $1.2\ \pi\times10^{2}\ s$ (C) $1.2\ \pi\times10^{3}\ s$

(B) $6.0\ \pi\times10^{2}\ s$ (D) $1.2\ \pi\times10^{9}\ s$

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 $3.9\times10^{21}\ kg$ ، وكتلة الكوكب $2.4\times10^{26}\ kg$، وكتلة الشمس تساوي $2.0\times10^{30}\ kg$ ، وبُعد القمر عن مركز الكوكب يساوي $6.0\times10^{8}\ m$ ، 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؟

(A) 0.5 (C) 5.0

(B) 2.5 (D) 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 $2\times10^{5}\ km$ ، 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.

الفصل 4

الحركة الدورانية
Rotational Motion

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بوصف الحركة الدورانية (الراديان، الإزاحة الزاوية، السرعة الزاوية المتجهة، التسارع الزاوي).
- حساب كلاً من السرعة الزاوية والتسارع الزاوي.
- حلْ مسائل تتعلق بالحركة الدورانية.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بديناميكا الحركة الدورانية(ذراع القوة، العزم).
- تحديد العوامل التي يعتمد عليها العزم، وحساب محصلة العزوم.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بالاتزان(مركز الكتلة، القوة الظاهرية(القوة الطاردة المركزية).
- توضيح تأثير موقع مركز الكتلة في استقرار الجسم.
- التعرف إلى شروط الاتزان.

الفكرة العامة

تطبيق عزم دوراني على جسم يسبب تغيراً في السرعة الزاوية للجسم.

4-1 وصف الحركة الدورانية

الفكرة الرئيسة تساعد الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية المتجهة والتسارع الزاوي في وصف الحركة الدورانية للأجسام.

4-2 ديناميكا الحركة الدورانية

الفكرة الرئيسة يسبب العزم تغيراً في السرعة الزاوية المتجهة.

الفكرة الرئيسة جميع الأجسام محاطة بمجال الجاذبية الذي يؤثر في حركة الأجسام الأخرى.

4-3 الاتزان

الفكرة الرئيسة يكون الجسم في حالة اتزان إذا كانت محصلة القوى ومحصلة العزوم المؤثرة فيه تساوي صفراً.

فكّر

لماذا يتعرض الراكب في العربة الدوّارة لردود فعل فيزيائية قوية؟

عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

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؟

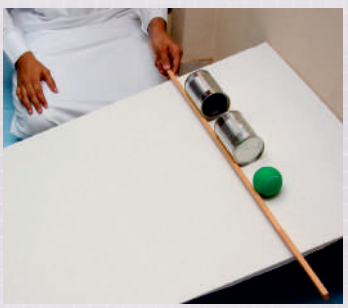
الخطوات

1. ستحتاج في هذه التجربة إلى مسطرة مترية، ولوح أملس، وكرة، وعلبة مصمتة أسطوانية الشكل، 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 كلاًّ من الكرة، والعلبتين عند حافة المسطرة المترية على أن توضع العلبتان على جانبيهما كما في الشكل.
5. ارفع المسطرة المترية عموديًّا على السطح بسرعة تاركًا 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.



4-1 وصف الحركة الدورانية
Describing Rotational Motion

الفيزياء في حياتك

العديد من السيارات تحتوي على عداد يُظهر سرعة دوران المحرك، وتقاس هذه السرعة بآلاف الدورات في الدقيقة الواحدة، لماذا على السائق أن يعرف هذه المعلومات؟

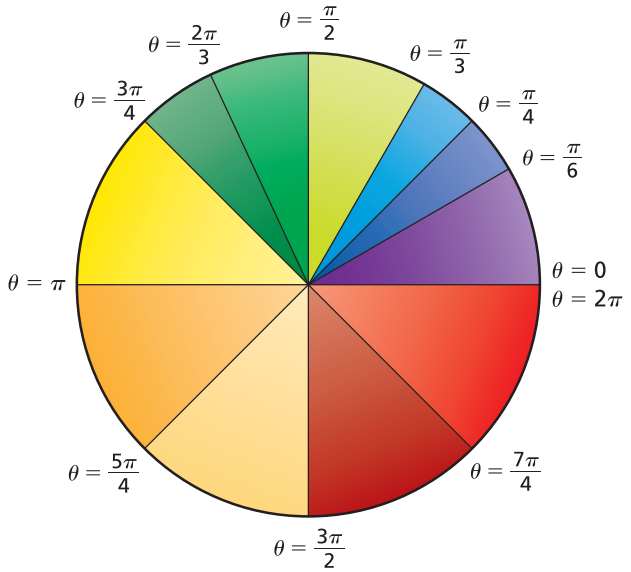
تساؤلات جوهرية:

- ما الازاحة الزاوية؟
- ما السرعة الزاوية؟
- ما التسارع الزاوي؟ وكيف يرتبط بالسرعة الزاوية المتجهة؟

المفردات:

- الراديان
- الزاويّة المتجهة
- السرعة
- التسارع الزاويّ
- الإزاحة الزاويّة

لا بدّ أنك لاحظت كثيرًا من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية. فكيف تقيس الحركة الدورانية لهذه الأجسام؟ خذ جسمًا دائريًّا 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 ").



الشكل 1–4 يبين الرسم البياني الدائري قياس الراديان لزوايا مقيسة في عكس اتجاه عقارب الساعة، وكل زاوية مقيسة من الزاويّة $\theta = 0$.

المختبر الافتراضي:

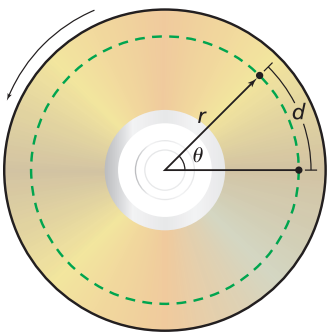
كيف تدور الأجسام أثناء دحرجتها؟

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 $\Delta\theta$ في أثناء دوران الجسم يُسمّى **الإزاحة الزاويّة**.

وكما تعرف فإن الأرض تكمل دورة واحدة 2π 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 2π 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 القرص المدمج في أثناء الدوران.

السرعة الزاويّة المتجهة Angular Velocity

ما سرعة دوران قرص الـ CD؟ 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 $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

السرعة الزاويّة المتجهة تساوي الإزاحة الزاويّة مقسومة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الدوران.

تذكّر أنه إذا تغيرت السرعة المتجهة خلال فترة زمنية فإنّ متوسط السرعة المتجهة عندئذ لا يساوي السرعة المتجهة اللحظية. وبالمثل عند حساب السرعة 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

$$\omega_E = (2\pi \text{ rad}) / (24.0 \text{ h})(3600 \text{ s /h}) = 7.27\times10^{-5} \text{ rad /s}$$

إذا كانت السرعة الزاويّة المتجهة لجسم ما ω، فإن السرعة الخطية المتجهة لنقطة على بعد r من محور الدوران تساوي $\upsilon = r\omega$، ويعبر عن مقدار السرعة الخطية لجسم على خط الاستواء ويتحرك نتيجة دوران الأرض بالعلاقة:

$$\upsilon = r\omega = (6.38\times10^{6} \text{ m})(7.27\times10^{-5} \text{ rad /s}) = 464 \text{ m /s}$$

وتُعد الأرض مثالاً على جسم صلب يتحرك حركة دورانية. وعلى الرغم من أن النقاط المختلفة على الأرض تدور مسافات مختلفة في كل دورة، إلا أن هذه النقاط جميعها تدور خلال الزاويّة نفسها؛ ولأن جميع أجزاء الجسم الصلب تدور بالمعدل نفسه. إن الشمس ليست جسمًا صلبًا، لذا فالأجزاء المختلفة منها تدور بمعدلات مختلفة. وستدرس في هذا الفصل دوران الأجسام الصلبة .

التسارع الزاويّ Angular Acceleration

ماذا لو تغيرت السرعة الزاويّة المتجهة؟ على سبيل المثال، إذا تسارعت سيارة من 0.0 m /s إلى 25 m /s خلال 15.0 s، فإن السرعة الزاويّة المتجهة لإطارات السيارة – نصف قطر الإطار 32cm تقريبًا – تتغير أيضًا من 0.0 rad /s إلى 78 rad /s خلال الفترة نفسها. أيْ يكون لإطارات السيارة **تسارع زاويّ** يُعرّف بأنه التغير في السرعة الزاويّة ($\Delta\omega$) المتجهة مقسومًا على زمن حدوث التغير(Δt)، فالتسارع الزاويّ 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 /s^2 ، فإذا كان التغير في السرعة الزاويّة المتجهة موجبًا يكون التسارع الزاويّ موجبًا أيضًا. إن التسارع الزاويّ المعبر عنه بهذه العلاقة هو نفسه متوسط التسارع الزاويّ خلال الفترة الزمنية Δt. ومن طرائق حساب التسارع

الـزاويّ اللحظي إيجاد ميل منحنى العلاقة البيانية بين السـرعة 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	الخطّيّة	الزاويّة	العلاقة
الإزاحة	d (m)	θ (rad)	$d = r\theta$
السرعة المتجهة	υ (m/s)	ω (rad/s)	$\upsilon = r\omega$
التسارع	a (m/s^2)	α (rad/s^2)	$a = r\alpha$

مسائل تدريبية

1. ما الإزاحة الزاويّة لعقارب ساعة يد خلال 1 h؟

a. عقرب الثواني.

b. عقرب الدقائق.

c. عقرب الساعات.

2. إذا كان التسـارع الخطـي لعربـة نقل 1.85 m /s^2 ، والتسـارع الزاويّ لإطاراتهـا 5.23 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؟

التـردد الـزاويّ يكمـل الجسـم المتحرك حركـة دورانية عـدة دورات خلال فتـرة زمنية محـددة. فمثـلاً تـدور عجلـة عـدة دورات في زمـن مقـداره دقيقـة واحدة، وقد سُـمّي عـدد الـدورات الكاملـة التـي يدورهـا الجسـم فـي الثانيـة الواحدة بالتـردد الـزاويّ f، حيث $f=\frac{\omega}{2\pi}$، ومن جانب آخر فإن الزمن الدوري يساوي مقلوب التردد الزاوّي.

4-1 مراجعة

5. السـرعة الزاويّة المتجهة يـدور 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. مقـدار السـرعة الخطية لصخرة على خط الاسـتواء للقمر الناتجة فقط عن دوران القمر؟

6. الإزاحة الزاويّة إذا كان قطر كرة 2.0 cm، ودحرجت مسـافة أفقيـة مقدارهـا 12 cm، فمـا الإزاحـة الزاويّـة للكرة؟

7. الإزاحـة الزاويّة هل لكل أجزاء طول عقرب الدقائق الإزاحة الزاويّة نفسها؟ وهل لها إزاحة خطية متماثلة؟

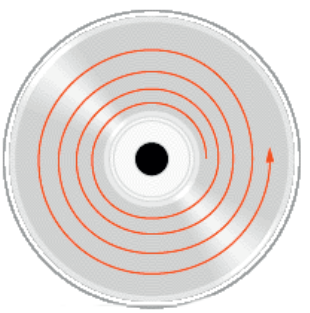
8. التسـارع الـزاويّ يدور الملف الأسـطواني في محرك غسـالة الملابـس بمعـدل 635 rev/min، وعنـد فتـح غطـاء الغسـالة يتوقـف المحـرك عـن الـدوران. فـإذا احتاج المحرك 8.0 s حتى يتوقف بعد فتح الغطاء، فما التسارع الزاويّ للمحرك الأسطواني؟

9. التفكير الناقد يبدأ مسـار لولبي على قرص مدمج (CD) مـن نقطة تبعـد 2.7 cm من المركز، وينتهي على بعد 5.5 cm، انظر الشـكل أدنـاه. ويدور القـرص المضغوط، بحيـث تتغيـر الزاويّـة كلمـا ازداد نصف قطر المسـار، ويبقى مقدار السـرعة الخطية المتجهة للمسـار 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. التسـارع الزاويّ للقـرص إذا كان زمن قراءته كاملا 76 min



المسار اللولبي على قرص (CD)

الفيزياء في حياتك

هل شاهدت يوماً عملية تجفيف الملابس في الغسالة؟ استناداً إلى دورة تجفيف الملابس فإن الحوض يبدأ الدوران ببطْء، ثم تزداد سرعته الزاوية بدرجة كبيرة؛ حيث تسبب الحركة الدورانية للحوض اندفاع الماء عبر الثقوب الموجودة فيه.

تساؤلات جوهرية:

- ما العزم الدوراني؟
- كيف تجد محصلة العزوم؟

المفردات:

- ذراع القوة
- العزم

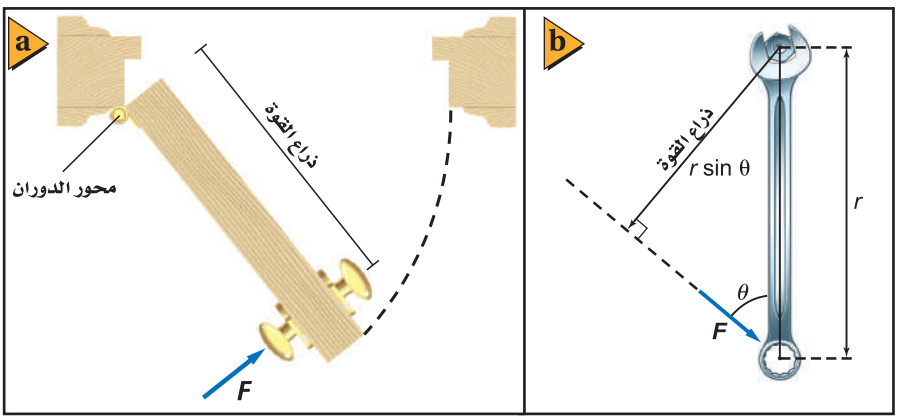
التجربة العملية:

العزوم.

كيف تبدأ الحركة الدورانية لجسم ما؟ 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 خطٌّ وهميٌّ رأسيٌّ يمرّ من خلال مُفصِّلات 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 المُفصِّلات) بزاوية قائمة بالنسبة للباب؛ حيث يحدّد كل من مقدار القوة واتجاهها، والمسافة من المحور حتى نقطة تأثير القوة، التغيرَ في السرعة الزاويّة المتجهة.

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، فإن ذراع القوة يساوي 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. 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.

الشكل 3 – 4 (a) عند فتح باب قابل للدوران حول المُفصّلات، يتولد أكبر عزم عندما تؤثر القوة في أبعد نقطة عن المُفصّلات **(b)** بزاوية متعامدة مع الباب.



■ **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 الزاويّة 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 إنَّ القوة مقيسة بوحدة النيوتن، والمسافة بوحدة المتر؛ فإن العزم يقاس بوحدة (N.m)، ويرمز إليه بالحرف اللاتيني τ، ويُعبر عنه بالمعادلة التالية:

العزم $\tau = Fr \sin \theta$

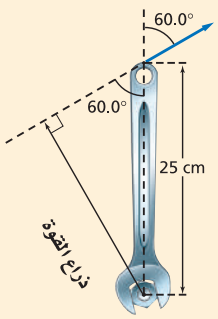
العزم يساوي حاصل ضرب القوة العمودية في طول ذراعها

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
$\tau = 35\ \text{N.m}$، $r = 0.25\ \text{m}$	$L = ?$
$\theta = 60.0^\circ$	$F = ?$

2 إيجاد الكميات المجهولة

أوجد طول ذراع القوة باستخدام العلاقة

بالتعويض عن $r = 0.25\ \text{m}$ ، $\theta = 60.0^\circ$

$$L = r \sin \theta$$
$$= (0.25\ \text{m})(\sin 60.0) = 0.22\ \text{m}$$

بالتعويض عن $\tau = 35\ \text{N.m}$ ، $r = 0.25\ \text{m}$ ، $\theta = 60.0^\circ$

$$\tau = Fr \sin \theta \text{ ، } F = \frac{\tau}{r \sin \theta}$$
$$= \frac{35\ \text{N.m}}{(0.25\ \text{m})(\sin 60^\circ)}$$
$$F = 1.6 \times 10^2\ \text{N}$$

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.

مسائل تدريبية

10. بالرجوع إلى مفتاح الشد في المثال 1، ما مقدار القوة التي يجب التأثير بها بشكل عمودي في مفتاح الشد؟

11. إذا لـزم عـزم مقداره 55.0 N.m لتدوير جسـم، في حين كانت أكبر قوة يمكـن 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 مقـدار كتلتـك 65 kg، وقفـت على بدالة دراجـة هوائية، بحيث تصنـع البدّالة زاويـة مقدارها 35° فوق الأفقـي وتبعـد مسـافة 18 cm عن مركز حلقة السلسـلة، فما مقدار العزم الذي تؤثر فيه؟ ومـا مقدار العزم الذي تؤثر فيه إذا كانت البدّالات رأسيَّة؟

إيجاد محصلة العزم Finding Net Torque

نفـذ التجربـة التالية: خذ قلمي رصاص، وقطع نقد معدنية، وشـريطًا لاصقًا شـفافًا. وثبت قطعتي نقد متماثلتين في نهايتي أحد القلمين، ودعه يتزن فوق القلم الثاني كما في **الشكل 5 – 4**. تؤثر كل من قطعتي النقد بعزم مساوٍ لوزنها F_g مضروبًا في المسافة r من نقطة الاتزان إلى مركز قطعة النقد على النحو التالي:

$$\tau = F_g r$$

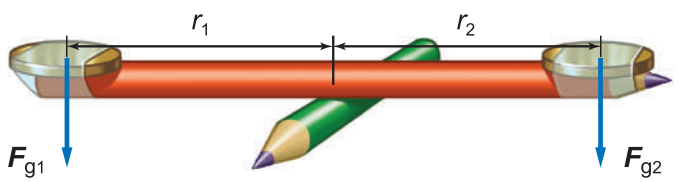
ولأن القلم ساكن ومتزن فسيكون عزمي القطعتين متساويين في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه؛ وعليه فإن محصلة العزوم تساوي صفرًا.

$$\tau_1 + \tau_2 = 0$$

أو

$$F_{g1}\, r_1 - F_{g2}\, r_2 = 0$$

والآن، كيف تجعل القلم يدور؟ يجب إضافة قطعة نقد أخرى فوق إحدى القطعتين النقديتيـن، ممّـا يجعـل القوتيـن مختلفتين. كما يمكـن إزاحة نقطة الاتـزان نحو إحدى قطعتي النقد، مما يجعل المسافتين مختلفتين.



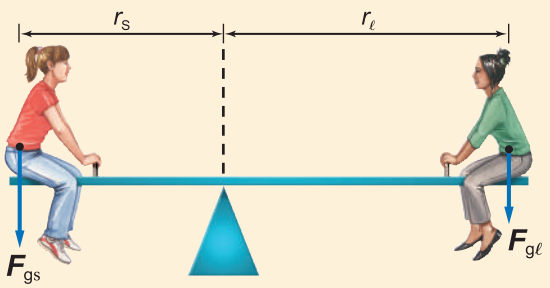
الشكل 5 – 4 عندما يتزن قلم الرصاص فإن العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الأولى $F_{g1}\, r_1$ يساوي في المقدار العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الثانية $F_{g2}\, r_2$ ويعاكسه في الاتجاه.

مثـال 2

اتزان العزوم تلعب سعاد وليلى على لعبة ميزان (السيسو) طولها 1.75 m بحيث تحافظان على وضع الاتزان 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

$$F_{gs} = m_s g = (56\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 5.5 \times 10^2\ \text{N}$$

بالتعويض عن $g = 9.80\ \text{m/s}^2$, $ms = 56\ \text{kg}$

ليلى

$$F_{g\ell} = m_\ell g = (43\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 4.2 \times 10^2\ \text{N}$$

بالتعويض عن $g = 9.80\ \text{m/s}^2$, $m_\ell = 43\ \text{kg}$

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

$$F_{gs}(1.75\ \text{m}) - F_{gs}\, r_\ell - F_{g\ell}\, r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$
$$F_{gs}\, r_\ell + F_{g\ell}\, r_\ell = F_{gs}(1.75\ \text{m})$$
$$(F_{gs} + F_{g\ell})\, r_\ell = F_{gs}(1.75\ \text{m})$$
$$r_\ell = \frac{F_{gs}(1.75\ \text{m})}{(F_{gs} + F_{g\ell})}$$

بالتعويض عن $F_{g\ell} = 4.3 \times 10^2\ \text{N}$, $F_{gs} = 5.5 \times 10^2\ \text{N}$

$$= \frac{(5.5 \times 10^2\ \text{N})(1.75\ \text{m})}{(5.5 \times 10^2\ \text{N} + 4.2 \times 10^2\ \text{N})}$$
$$r_\ell = 0.99\ \text{m}$$

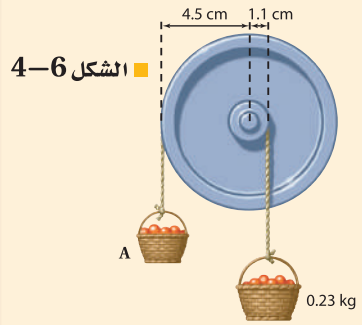
3 تقويم الجواب

- **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 سعاد 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.

مسائل تدريبية

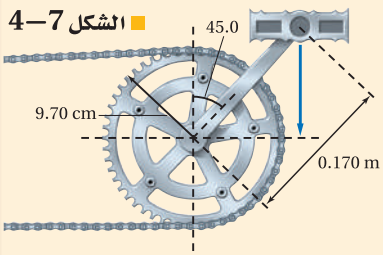
14. إذا كان نصف قطر إطار دراجة هوائية 7.70 cm، وأثرت السلسلة بقوة عمودية مقدارها 35.0 N في الإطار في اتجاه عقارب الساعة، فما مقدار العزم اللازم لمنع إطار الدراجة من الدوران؟

15. عُلقت سلتا فواكه بحبلين يمران على بكرتين قطراهما مختلفان، فاتزنتا كما في **الشكل 6 – 4**. ما مقدار كتلة السلة A؟



الشكل 6–4

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 متصلًا 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 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.

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.

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 على سطح طاولة أفقية، 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 4 – 8b**. ارسم هذا الخط ثم علِّق الجسم مرة أخرى من أي نقطة، ارسم خطًا رأسيًا 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 4 – 8c**. 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؟

الفيزياء في حياتك

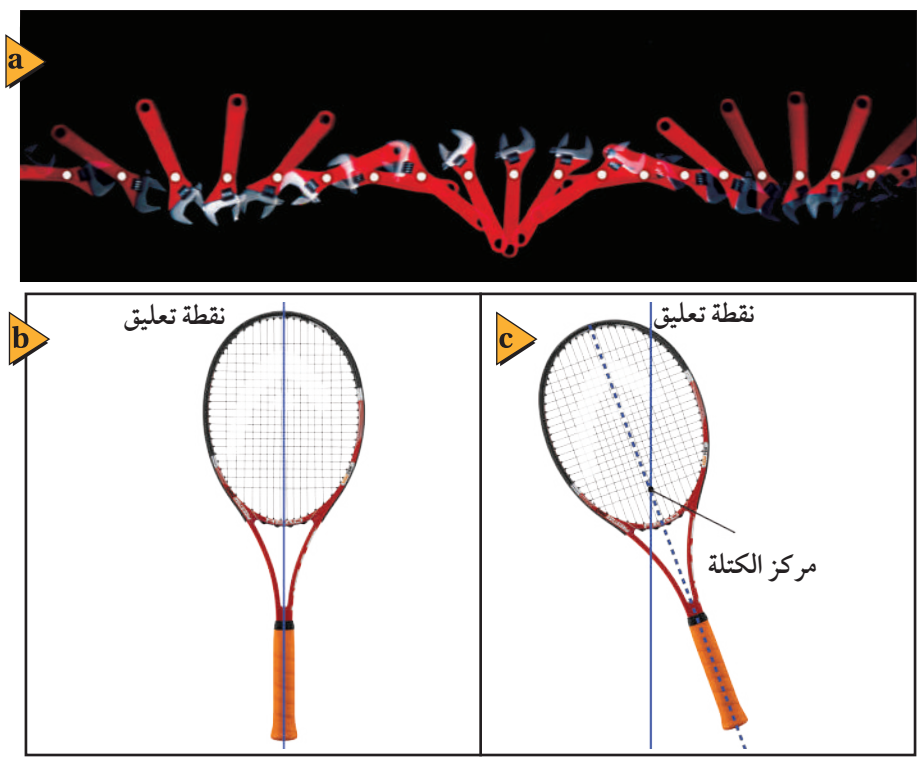
يقوم لاعب الجمباز بتعديل حركاته تبعاً للهدف الذي يسعى لتحقيقه؛ فقد يزيد من عزم قصوره الذاتي لمساعدته على الاتزان، واحياناً أخرى قد يقلل هذا العزم لتسهيل التغيرات السريعة في موقعه.

تساؤلات جوهرية:

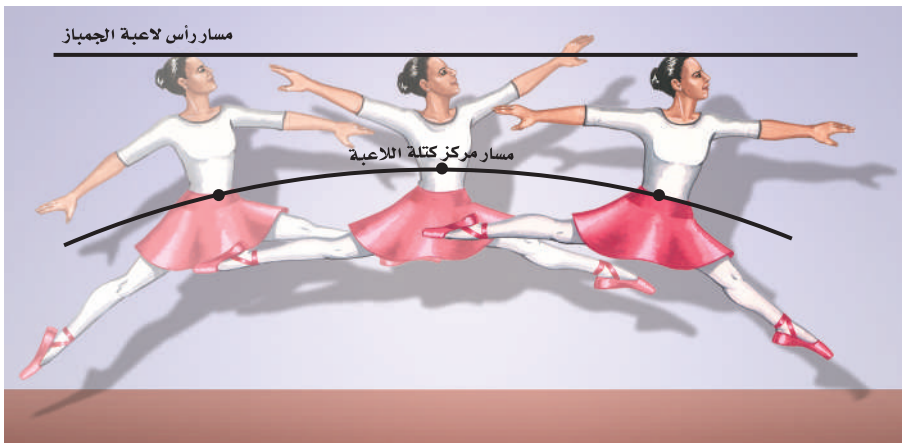
- ما مركز الكتلة؟
- كيف يؤثر موقع مركز الكتلة في استقرار الجسم؟
- ما شروط الاتزان؟
- كيف تعمل محاور الإسناد في توليد القوة الظاهرية؟

المفردات:

- مركز الكتلة
- القوة الظاهرية



■ **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.



الشكل 9 – 4 الحركة الرأسية لرأس لاعب الجمباز أقل من الحركة الرأسية لمركز الكتلة، حيث إنّ الرأس والجذع يتحركان أفقيًّا تقريبًا، فيبدو ذلك وكأنه طيران في الهواء.

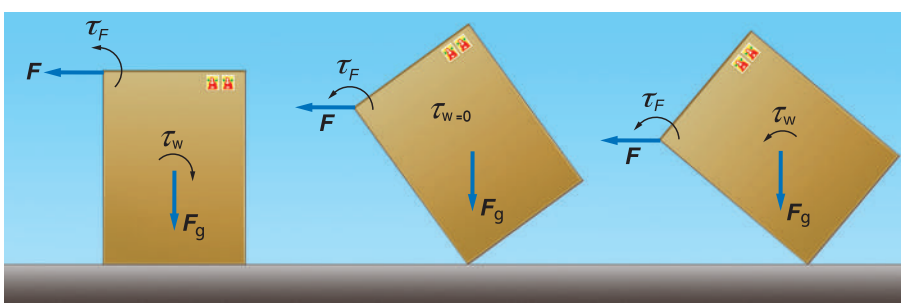
تطبيق الفيزياء

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 الصندوق 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.



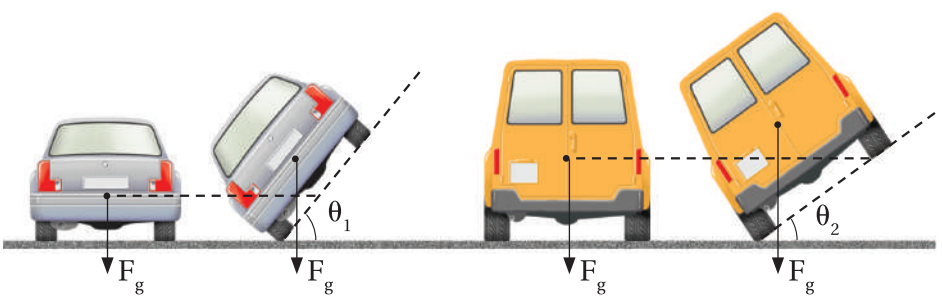
الشكل 10 – 4 توضح الأسهم المنحنية اتجاه العزم الناتج من القوى المؤثرة لقلب الصندوق.

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 يتعد 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 عاليًّا 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.

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 علـى 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:

التجربة العملية:

الاتـزان الانتقالـي والاتزان الدوراني.

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.

$$\Sigma \tau = 0$$

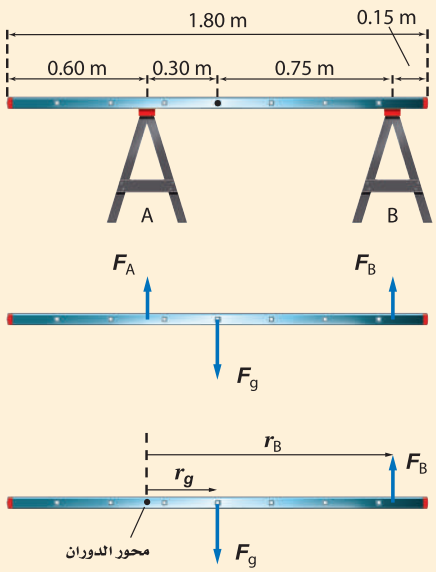
مثـال 3

الاتزان الاستاتيكي سُلّم خشبي كتلته 5.8 kg، وطوله 1.80 m، يستقر أفقيًّا على حاملين داعمين. يبعد الحامل الأول A مسـافة 0.60 m عند طرف السـلّم، 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
$m = 5.8\ \text{kg}$	$F_A = ?$
$\ell = 1.8\ \text{m}$	$F_B = ?$
$\ell_A = 0.60\ \text{m}$	
$\ell_B = 0.15\ \text{m}$	



2 إيجاد الكمية المجهولة

يكـون مركز كتلة السـلم الذي كثافته ثابتة في مركـزه (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.

$$F_{\text{محصلة}} = F_A + F_B + (-F_g)$$

$$0.0\ \text{N} = F_A + F_B - F_g$$

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.

$\tau_{\text{محصلة}} = \tau_B + \tau_g$

السلّم في وضع اتزان دوراني. لذا فإن $0.0\ \text{N.m} = \tau_B + \tau_g$

$\tau_B = -\tau_g$

بالتعويض عن τ_g ، τ_B $r_B F_B = r_g F_g$

أوجد F_B $F_B = \frac{r_g F_g}{r_B} = \frac{r_g mg}{r_B}$

بالتعويض عن $F_B = \frac{r_g m g}{r_B}$

استخدم العلاقة $F_A = F_g - F_B$ وعوض F_B ، F_g $F_A = F_g - F_B$

بالتعويض عن $F_g = mg$

يكون مركز كتلة السلم الذي كثافته ثابتة في مركزه.

بالتعويض عن $\frac{1}{2}\ell = 0.90\ \text{m}$ ، $\ell_A = 0.60\ \text{m}$ $r_g = \frac{1}{2}\ell - \ell_A = 0.90\ \text{m} - 0.60\ \text{m} = 0.30\ \text{m}$

أوجد r_B:

$r_B = \left(\frac{1}{2}\ell - \ell_B\right) + r_g$

بالتعويض عن $r_g = 0.30\ \text{m}$ ، $\ell_A = 0.60\ \text{m}$ ، $\ell_B = 0.15\ \text{m}$ $= (0.90\ \text{m} - 0.15\ \text{m}) + 0.30\ \text{m}$

$= 1.05\ \text{m}$

احسب F_B :

$F_B = r_g \frac{mg}{r_B}$

بالتعويض عن $r_B = 1.05\ \text{m}$ ، $m = 5.8\ \text{kg}$ ، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$ ، $r_g = 0.30\ \text{m}$

$F_B = \frac{(0.30)(5.8\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)}{(1.05\ \text{m})} = 16\ \text{N}$

احسب F_A:

بالتعويض عن $m = 5.8\ \text{kg}$ ، $r_g = 0.30\ \text{m}$ $F_A = mg\left(1 - \frac{r_g}{r_B}\right)$

$r_B = 1.05\ \text{m}$ ، $g = 9.8\ \text{m/s}^2$ $= (5.8)\ (9.8\ \text{m/s}^2)\ (1 - \frac{(0.30\ \text{m})}{(1.05\ \text{m})}) = (5.8\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2)$

$= 41\ \text{N}$

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.

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؟

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؟

التقنية والمجتمع

الاستقرار في السيارات الرياضية The Stability of Sport - Utility Vehicles

لماذا تكون السيارات الرياضية أكثر عرضة للانقلاب؟

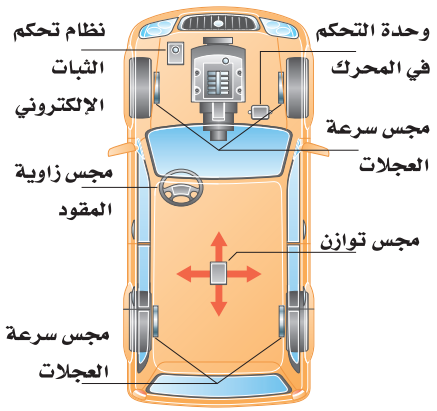
يعتقد الكثيرون أن كبر حجم السيارة الرياضية يجعلها أكثر استقرارًا وأمانًا، ولكن هذه السيارة مثلها مثل السيارات الأخرى كسيارات الشحن، حيث تكون أكثر عرضة للانقلاب.

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 1.06 ولسيارة 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؟

الفصل 4

دليل الدراسة

4-1 وصف الحركة الدورانية Describing Rotational Motion

المفردات

- الراديان
- الإزاحة الزاويّة
- السرعة الزاويّة المتجهة
- التسارع الزاويّ

الفكرة الرئيسة: تساعد الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية المتجهة والتسارع الزاويّ في وصف الحركة الدورانية للأجسام.

- 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:

$$d = r\theta \qquad v = r\omega \qquad a = r\alpha$$

4-2 ديناميكا الحركة الدورانية Rotational Dynamics

المفردات

- ذراع القوة
- العزم

الفكرة الرئيسة: يسبب العزم تغيرًا في السرعة الزاوية المتجهة.

- تتغير السرعة الزاويّة المتجهة لجسمٍ 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. $\tau = F r \sin\theta$

4-3 الاتزان Equilibrium

المفردات

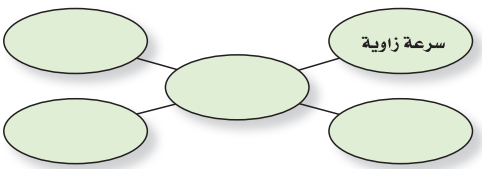
- مركز الكتلة
- القوة الظاهرية (القوة الطاردة المركزية)

الفكرة الرئيسة: يكون الجسم في حالة إتزان إذا كانت محصلة القوى ومحصلة العزوم المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

- 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.

خريطة المفاهيم

30. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستخدام المصطلحات التالية: التسارع الزاويّ، نصف القطر، التسارع الخطي، التسارع المركزي.

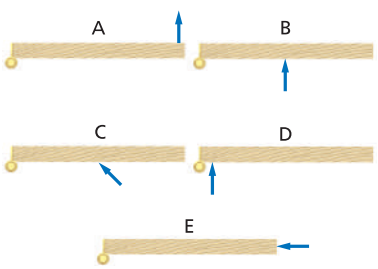


إتقان المفاهيم

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، وأن محور الدوران مُثّل بالدائرة.



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

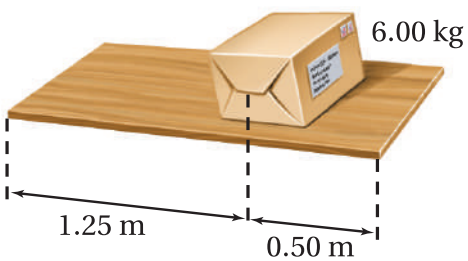
49. مفتاح الشد شُدّ برغي بعزم مقداره 8.0 N.m، فإذا كان لديك مفتاح شد طوله 0.35 m، فما مقدار أقل قوة يجب التأثير بها في المفتاح؟

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

تقويم الفصل - 4

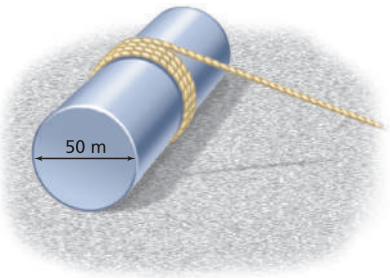
مراجعة عامة

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.

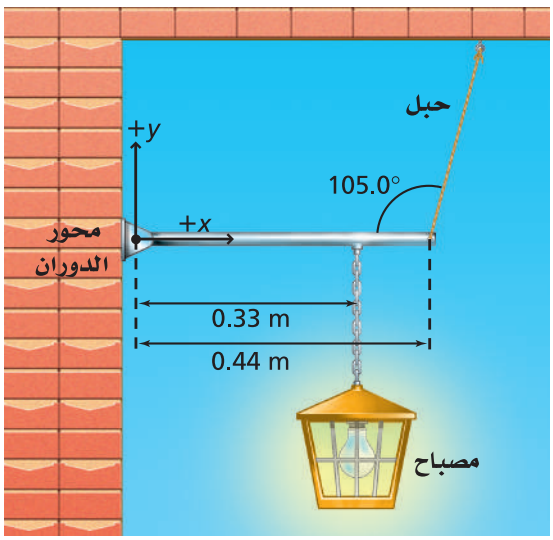
d. هل يمكن ألا يساوى التسارع المركزي صفرًا عندما يساوي التسارع الخطي صفرًا؟

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.

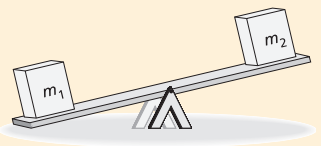
59. يجلس علي على لعبة السيسو، ما مقدار الزاويّة بالنسبة إلى الرأسي، لكي تكون مركّبة وزنه الموازية للمستوى مساوية لثلث المركبة العمودية لوزنه؟

اختبار مقنن

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؟



A) 0.38 m
B) 0.60 m
C) 1.1 m
D) 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؟

A) 30 N.m
B) 52 N.m
C) 60 N.m
D) 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؟

A) 0.1m
B) 0.15 m
C) 0.2 m
D) 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؟

A) $\frac{5.0 \times 10^1}{\pi}$ rev
B) $\frac{1.0 \times 10^2}{\pi}$ rev
C) $\frac{1.5 \times 10^2}{\pi}$ rev
D) $\frac{1.0 \times 10^3}{\pi}$ rev

5. عجلة سيارة نصف قطرها 3.0 m، تدور بسرعة زاوية متجهة مقدارها 1.2 rad/s، ما مقدار السرعة الخطية المتجهة لها؟

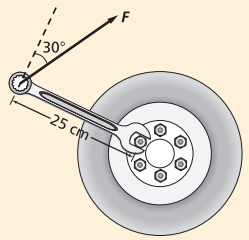
A) 3.6 m /s
B) 4 m /s
C) 0.4 m /s
D) 36 m /s

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؟

A) 2.0 rad/s
B) 2.3 rad/s
C) 4.0 rad/s
D) 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 2.0×10^2 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.

الفصل 5

الزخم وحفظه

Momentum and Its Conservation

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بالدفع والزخم(الدفع، الزخم، نظرية الدفع- الزخم).
- تحديد مقدار الدفع الواقع على جسم.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بحفظ الزخم(النظام المغلق، النظام المعزول، قانون حفظ الزخم).
- الربط بين القانون الثالث لنيوتن وقانون حفظ الزخم.
- التعرف إلى الشروط اللازمة لحفظ الزخم.
- حل مسائل حفظ الزخم.

الفكرة العامة

إذا كانت محصلة القوة المؤثرة في نظام مغلق تساوي صفراً، فإن الزخم الكلي لهذا النظام يكون محفوظاً.

5-1 الدفع والزخم

الفكرة الرئيسة زخم الجسم يساوي كتلته مضروبة بسرعته المتجهة.

5-2 حفظ الزخم

الفكرة الرئيسة في نظام مغلق ومعزول يكون الزخم الخطي محفوظاً.

فكّر

ما القوة المؤثرة في مضرب كرة التنس عند ضرب الكرة بشبكة المضرب؟

عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

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؟

الفيزياء في حياتك

يرتدي لاعبوا تسديد الكرة بالمضرب خوذ لحماية أنفسهم من الكرات الطائرة، على الرغم من أن كتلة الكرة المستخدمة في اللعبة صغيرة (حوالي 145g)، ولكن اللاعبين يقذفون هذه الكرات بسرعات عالية حوالي 40m/s، فلماذا تكون هذه الكرات خطيرة.

تساؤلات جوهرية:

- ما الدفع؟
- ما الزخم؟

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.

الربط مع الفيزياء
الكمية

من المفاهيم المهمة جدًا في مختلف فروع الفيزياء وخاصة في عالم الأجسام ما دون الذرية.

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؟

المختبر الافتراضي:
ماذا يحدث عندما تصطدم كرة بلاستيكية جوفاء بكرة مصمتة.

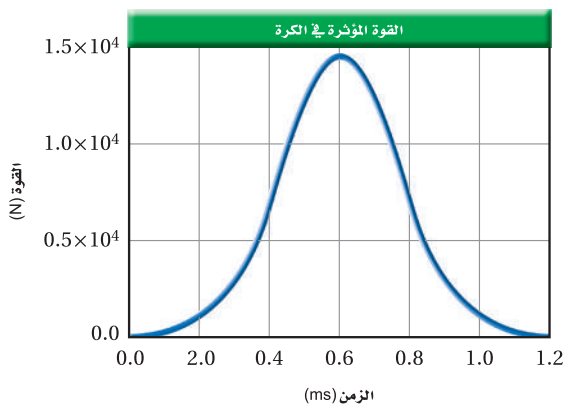
الدفع يمكن إعادة كتابة القانون الثاني لنيوتن، $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$، باستخدام تعريف التسارع بأنه حاصل قسمة التغير في السرعة المتجهة، على الزمن اللازم لإحداث هذا التغير. ويمثل ذلك بالمعادلة التالية:

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} = m\left(\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}\right)$$

بضرب طرفي المعادلة في الفترة الزمنية، Δt ، نحصل على المعادلة التالية:

$$\boldsymbol{F}\Delta t = m\Delta \boldsymbol{v}$$

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**.



الشكل 1 – 5 تزداد القوة المؤثرة في الكرة، ثم تتناقص بسرعة خلال عملية التصادم، والشكل يوضح علاقة القوة مع الزمن.

يحتوي الجانب الأيمن من المعادلة، $m\Delta \boldsymbol{v}$ على التغير في السرعة المتجهة:

$\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i$. حيث يكون $m\Delta \boldsymbol{v} = m\boldsymbol{v}_f - m\boldsymbol{v}_i$. 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:

الزخم $\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$

زخم الجسم يساوي كتلته مضروبة في السرعة المتجهة له.

بالرجوع إلى المعادلة $\boldsymbol{F}\Delta t = m\Delta\boldsymbol{v} = \boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$ ، حيث إن $\boldsymbol{p}_f = m\boldsymbol{v}_f$ و $\boldsymbol{p}_i = m\boldsymbol{v}_i$ فيمكن إعادة كتابة هذه المعادلة على النحو التالي:

$$\boldsymbol{F}\Delta t = m\Delta\boldsymbol{v} = \boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$$

ويصف الجانب الأيمن من المعادلة $\boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$، 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 $\boldsymbol{F}\Delta t = \boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$

"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. ومن الجدير بالذكر أنه عند السرعات القريبة جدًا من سرعة الضوء فإن تعريف الزخم من خلال العلاقة $\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$ يكون غير واقعيًا.

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:

$$\boldsymbol{p}_i = (0.145\ kg)\ (-38\ m/s) = -5.5\ kg\ .\ m/s$$

ما زخم الكرة بعد التصادم؟ طبّق نظرية الدفع – الزخم لإيجاد الزخم النهائي:

$\boldsymbol{p}_f = \boldsymbol{p}_i + \boldsymbol{F}\Delta t$. يكون الزخم النهائي عبارة عن مجموع الزخم الابتدائي والدفع. ويحسب الزخم النهائي للكرة على النحو الآتي:

$$\boldsymbol{p}_f = \boldsymbol{p}_i + 13.1\ kg\ .\ m/s$$

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.

$$= -5.5\ \text{kg.m/s} + 13.1\ \text{kg.m/s}$$

$$= +7.6\ \text{kg . m/s}$$

ما السرعة المتجهة النهائية للكرة؟ بما أنّ $\boldsymbol{p}_f = m\,\boldsymbol{v}_f$ ، فإنّ $\boldsymbol{v}_f$ تساوي:

$$\boldsymbol{v}_f = \frac{\boldsymbol{p}_f}{m} = \frac{+7.6\ \text{kg .m/s}}{0.145\ \text{kg}} = +52\ \text{m/s}$$

وهذه السرعة كبيرة بما يكفي لإخراج الكرة خارج أسوار الملعب، إذا وجهت في الاتجاه الصحيح.

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.

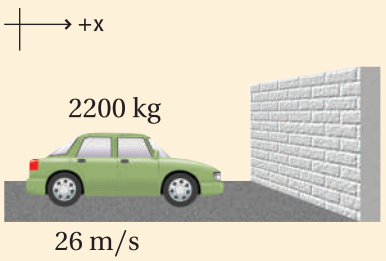
نظرية الدفع – الزخم والحفاظ على الحياة

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، $\boldsymbol{F}\,\Delta t = \boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$ ، فإن الزخم النهائي $\boldsymbol{p}_f$ يساوي صفرًا، والزخم الابتدائي $\boldsymbol{p}_i$، هو نفسه بوجود الوسادة الهوائية أو عدمه. فسيكون الدفع $\boldsymbol{F}\,\Delta t$ 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.

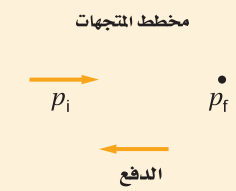
مثال 1

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
$\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = 21\ \text{s}$	$m = 2200\ \text{kg}$	$\boldsymbol{F}_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = ?$
$\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = 3.8\ \text{s}$	$\boldsymbol{v}_i = +26\ \text{m/s}$	$\boldsymbol{F}_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = ?$
$\Delta t_{\text{الاصطدام بحائط}} = 0.22\ \text{s}$	$\boldsymbol{v}_f = +0.0\ \text{m/s}$	$\boldsymbol{F}_{\text{الاصطدام بحائط}} = ?$

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.

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؟

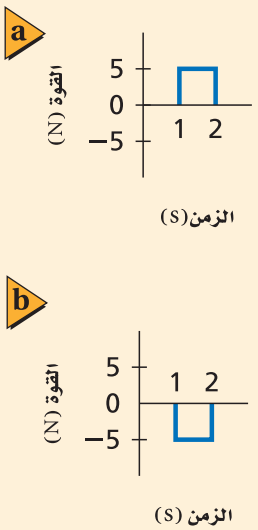
2. إذا ضغط السائق في السؤال السابق على الكوابح بشدة لتتوقف السيارة خلال 2.0 s. وكان متوسط القوة المؤثرة في السيارة لإبطائها يساوي 5.0×10^3 N، فما مقدار التغير في زخم السيارة؟ وما اتجاهه؟

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 المبينين 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؟



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** أيّهما له زخم أكبر، ناقلة نفط مثبتة برصيف ميناء، أم قطرة مطر ساقطة؟

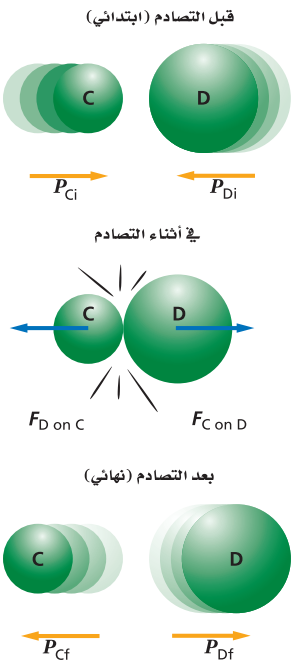
8. **الدفع والزخم** رميت كرة كتلتها 0.174 kg أفقيًّا بسرعة 26.0 m/s، وبعد أن ضربت الكرة بالمضرب تحركت في الاتجاه المعاكس، بسرعة 38.0 m/s، أجب عن الأسئلة التالية:
   a. ارسم متجهات الزخم للكرة قبل وبعد ضربها بالمضرب.
   b. ما التغير في زخم الكرة؟
   c. ما الدفع الناتج عن المضرب؟
   d. إذا بقي المضرب متصلاً 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.*

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؟

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.



الشكل 4 – 5 عندما تصطدم كرتان، تؤثر إحداهما في الأخرى بقوة، وتغيران زخميهما.

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:

$$F_{C\ \text{على}\ D} = -F_{D\ \text{على}\ C}$$

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 الزخم لكل من 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 $P_{Cf} - P_{Ci} = F_{D\ \text{على}\ C}\,\Delta t$

وللكرة D هو $P_{Df} - P_{Di} = F_{C\ \text{على}\ D}\,\Delta t$

حيث إن الفترة الزمنية التي تؤثر خلالها القوتان هي نفسها، فإنّ دفع كل من الكرتين متساو في المقدار ومتعاكس في الاتجاه. وبالاعتماد على القانون الثالث لنيوتن في الحركة، فإن $F_{C\ \text{على}\ D} = -F_{D\ \text{على}\ C}$:

$$P_{Cf} + P_{Df} = P_{Ci} + P_{Di}$$

الفيزياء في حياتك

في لعبة البلياردو تكون الكرات في البداية مرتبة على شكل مثلث، وعند قذف كرة البداية عليهم، فإن الكرات تنتشر في جميع الاتجاهات، فكيف تؤثر الضربة الأولى في حركة اتجاهات الكرات الأخرى؟

تساؤلات جوهرية:

- كيف يرتبط قانون نيوتن الثالث بحفظ الزخم؟
- تحت أي الشروط يكون الزخم محفوظاً؟
- كيف يساعد قانون حفظ الزخم في توضيح حركة الأجسام؟

المفردات:

- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

التجربة العملية:

كيف يتأثر زخم نظام ما بالاصطدام الملتحم؟

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).

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.

التجربة العملية والمختبر الافتراضي:

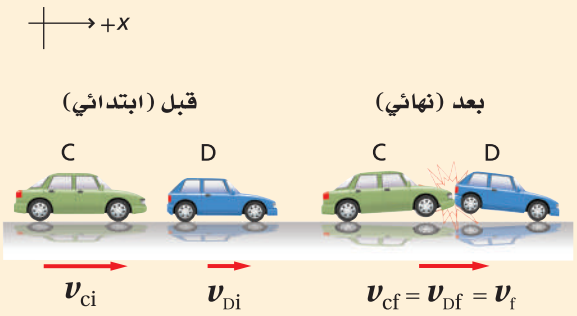
هل الزخم محفوظ؟

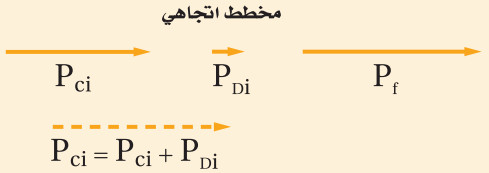
مثال 2

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
$m_C = 1875\ kg$	$v_f = ?$
$v_{Ci} = +23\ m/s$	
$m_D = 1025\ kg$	
$v_{Di} = +17\ m/s$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

الزخم محفوظ لأنّ الجليد يجعل القوة الخارجية الكلية على السيارتين صفرًا تقريبًا.

$$\boldsymbol{P}_i = \boldsymbol{P}_f$$

$$\boldsymbol{P}_{Ci} + \boldsymbol{P}_{Di} = \boldsymbol{P}_{Cf} + \boldsymbol{P}_{Df}$$

$$m_C \boldsymbol{v}_{Ci} + m_D \boldsymbol{v}_{Di} = m_C \boldsymbol{v}_{Df} + m_D \boldsymbol{v}_{Df}$$

بما أن السيارتين التحمتا معًا بعد التصادم فتكون سرعتاهما المتجهتان ($\boldsymbol{v}_f$) متساويتين.

$$\boldsymbol{v}_{Cf} = \boldsymbol{v}_{Df} = \boldsymbol{v}_f$$

$$m_C \boldsymbol{v}_{Ci} + m_D \boldsymbol{v}_{Di} = (m_C + m_D)\, \boldsymbol{v}_f$$

بالتعويض عن $m_c = 1875\ \text{kg}$, $v_{ci} = +23\ \text{m/s}$

$m_D = 1025\ \text{kg}$, $v_{Di} = +17\ \text{m/s}$

$$\boldsymbol{v}_f = \frac{(m_C \boldsymbol{v}_{Ci} + m_D \boldsymbol{v}_{Di})}{(m_C + m_D)}$$

$$= \frac{(1875\ \text{kg})\ (+23\ \text{m/s}) + (1025\ \text{kg})\ (+17\ \text{m/s})}{(1875\ \text{kg} + 1025\ \text{kg})}$$

$$= +21\ \text{m/s}$$

3 تقويم الإجابة:

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بـ m/s، وكان الجواب بهذه الوحدة m/s نفسها.
- **هل يوجد معنى للاتجاه؟** $\boldsymbol{v}_i$ و $\boldsymbol{v}_f$ ، في الاتجاه الموجب، لذا يجب أن تكون $\boldsymbol{v}_f$ موجبة أيضًا.
- **هل الجواب منطقي؟** إنّ مقدار السرعة النهائية $\boldsymbol{v}_f$ 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؟

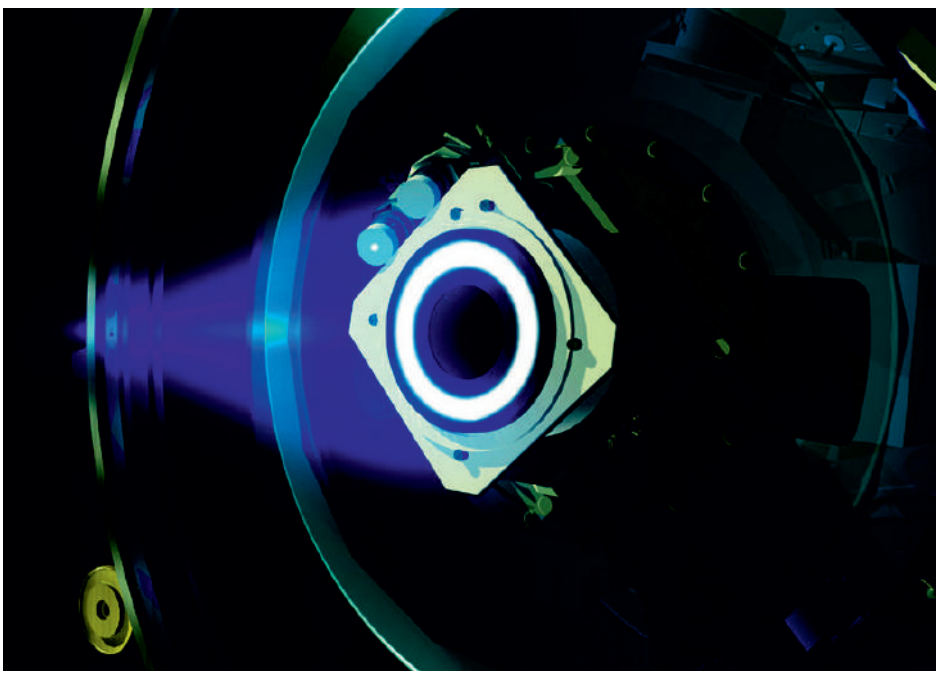
13. تحركت كرة كتلتها 0.50 kg بسرعة 6.0 m/s فاصطدمت بكرة أخرى كتلتها 1.00 kg، وتتحرك في الاتجاه المعاكس بسرعة مقدارها 12.0 m/s، فارتدت الكرة الأقل كتلة إلى الخلف بسرعة مقدارها 14 m/s بعد التصادم. أوجد مقدار سرعة الكرة الأخرى بعد التصادم.

الشكل 5–5

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 يوفِّره 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 تُسرّع 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

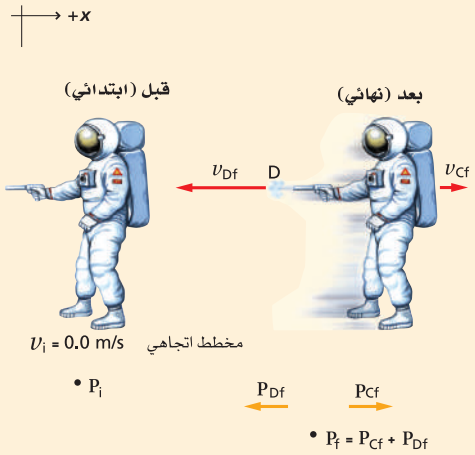
7. صف ارتفاع ارتداد كل من الكرتين عندما تسقط كل كرة على حدة.
8. قارن بين ارتفاعات الارتداد في الخطوتين 6 و7.
9. فسّر ملاحظاتك.

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.

$$P_i = P_{Ci} + P_{Di} = +0.0\ kg.m/s$$

نستعمل قانون حفظ الزخم لإيجاد P_f

زخم رائد الفضاء يساوي زخم الغاز المنطلق من المسدس في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.

$$P_i = P_f$$
$$+0.0\ kg.m/s = P_{Cf} + P_{Df}$$
$$P_{Cf} = -P_{Df}$$

نحل لإيجاد السرعة المتجهة النهائية للرائد، v_{Cf}.

بالتعويض عن
$m_D = 0.035\ kg$. $v_{Df} = -875\ m/s$. $m_C = 84\ kg$

$$m_C\, v_{Cf} = -m_D\, v_{Df}$$
$$v_{Cf} = \left(\frac{-m_D v_{Df}}{m_C}\right)$$
$$= \frac{(-0.035\ kg)(-875\ m/s)}{84\ kg}$$
$$= +0.36\ m/s$$

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.

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.

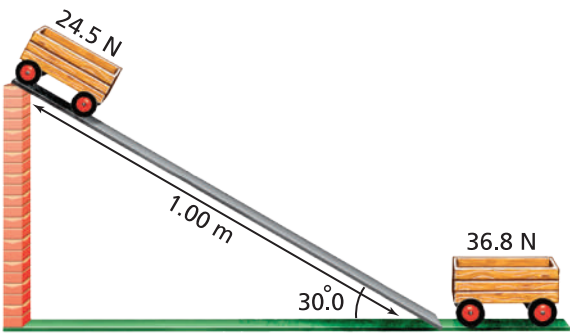
15. تربط عربتان بينهما نابض مضغوط بخيط كي لا تتحركا. عند احتراق الخيط اندفعت العربتان في اتجاهين متعاكسين، فإذا اندفعت إحدى العربتين والتي كتلتها 1.5 kg بسرعة متجهة 27 m/s إلى اليسار، فما السرعة المتجهة للعربة الأخرى والتي كتلتها 4.5 kg ؟

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.

الإبحار الشمسي Solar Sailing

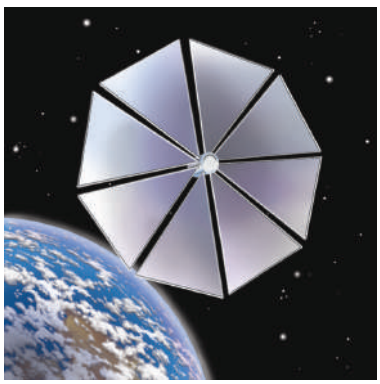
لاحظ يوهانس كبلر **قبل 400 سنة تقريبًا** أنّ ذيول المذنبات تبدو وكأنها واقعة تحت تأثير ريح خفيفة مصدرها هبّات قادمة من الشمس، فاعتقد أنّ السفن ستكون قادرة على التنقل في الفضاء بوساطة أشرعة مصممة لالتقاط هذه الهبّات، ومن هنا وُلدت فكرة الأشرعة الشمسية.

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.

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 عبر مسافات 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.



رسم تنبؤي لكيفية ظهور Cosmos 1، الشراع الشمسي الأول في الفضاء.

تتخطى أهمية الأشرعة الشمسية كونها تقنية مثالية لقطع المسافات الشاسعة في الفضاء، كالارتحال بين الكواكب دون وقود، فهي تعدُ أيضًا بإمكانات جديدة لمحطات مراقبة الطقس الأرضية والفضائية؛ إذ تمكنها من تغطية أشمل للأرض، كما تتيح التحذير المبكر من العواصف الشمسية لتجنب أضرارها. وقد تم إطلاق أول مركبة تعمل بتقنية الشراع الشمسي في سنة 2010م.

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.

الفصل 5

دليل الدراسة

5–1 الدفع والزخم Impulse and Momentum

المفردات

- الدفع
- الزخم
- نظرية الدفع – الزخم

الفكرة الرئيسة: زخم الجسم يساوي كتلته مضروبة بسرعته المتجهة.

- عندما تحل مسألة زخم، اختبر أولاً النظام قبل الحدث وبعده.
- زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة ويكون كمية متجهة.

$$\boldsymbol{P} = m\boldsymbol{v}$$

- الدفع على جسم ما يساوي حاصل ضرب متوسط القوة المحصلة المؤثرة فيه في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.

$$\text{الدفع} = \boldsymbol{F}\Delta t$$

- الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه.

$$\boldsymbol{F}\Delta t = \boldsymbol{P}_f - \boldsymbol{P}_i$$

5–2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

المفردات

- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

الفكرة الرئيسة: في نظام مغلق ومعزول يكون الزخم الخطي محفوظًا.

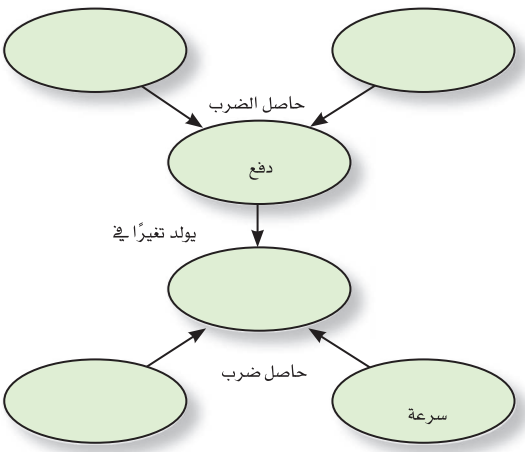
- استنادًا إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة وقانون حفظ الزخم تكون القوتان المؤثرتان في جسمين متصادمين نتيجة تصادمهما معًا متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.
- يكون الزخم محفوظًا في نظام مغلق ومعزول.

$$\boldsymbol{P}_f = \boldsymbol{P}_i$$

- يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لتفسير دفع الصواريخ.

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 الجوِّ؛ 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؟

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؟

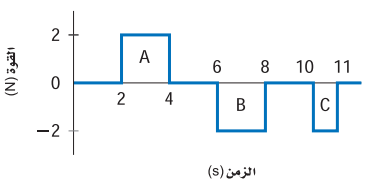
تطبيق المفاهيم

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، ففسِّر 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.

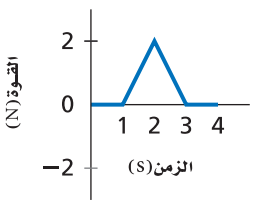
35. أُطلقت رصاصتان متساويتان في الكتلة بالسرعة نفسها على قالب خشبي موضوع في حلبة تزلج، فإذا كانت إحدى الرصاصتين مصنوعة من المطاط والأخرى من الألومنيوم، وارتدت الرصاصة المطاطية عن القالب، في حين استقرت الرصاصة الأخرى في الخشب. أي الحالتين سيتحرك فيها القالب الخشبي بسرعة أكبر؟ فسّر ذلك.

إتقان حل المسائل

الدفع والزخم

36. ضُربت كرة جولف كتلتها 0.058 kg بقوة متوسطة 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؟

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، إلاّ 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).*

اختبار مقنن

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 زلاّجة ثابتة كتلتها 10.0 kg، وعندما وصل المتزلج إليها اصطدم بها، وبعدها واصل انزلاقه مع الزلاّجة في الاتجاه الأصلي نفسه لحركته. ما مقدار سرعة المتزلج والزلاّجة بعد تصادمهما؟

A 0.4 m/s　C 1.6 m/s

B 0.8 m/s　D 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؟

A 2.5 m/s　C 4.0 m/s

B 3.0 m/s　D 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؟

A 1275 kg.m/s　C 2850 kg.m/s

B 2550 kg.m/s　D 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؟

A 0.2 kg　C 1.6 kg

B 0.8 kg　D 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؟

A 0.20 s　C 20.0 s

B 5.0 s　D 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؟

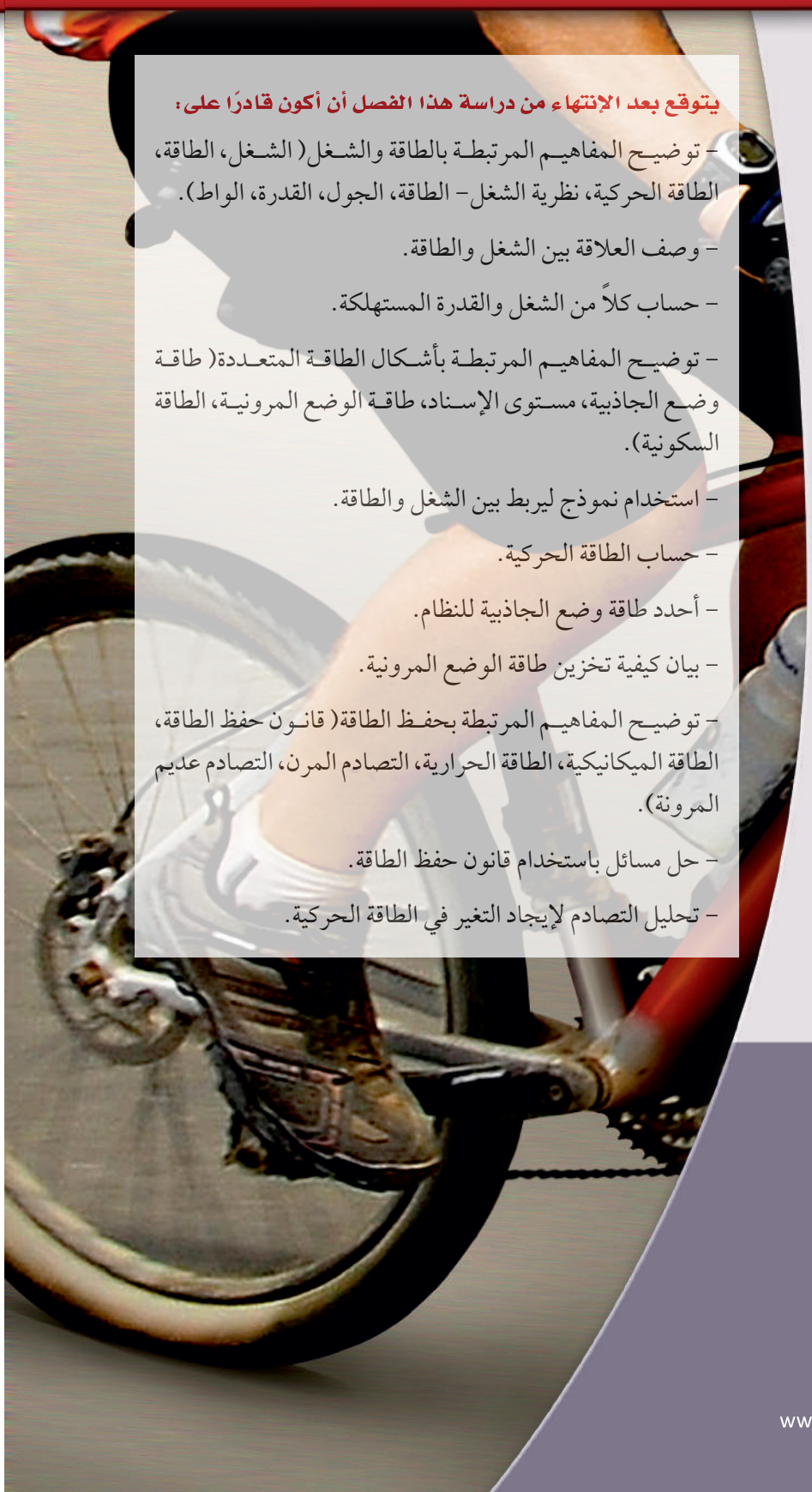
e. لماذا يُنصح باستخدام كرسي أطفال في السيارة، بدلاً من احتضان الطفل؟

✓ 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.

الفصل 6

الشغل والطاقة وحفظها
Work, Energy and Its Conservation



يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بالطاقة والشغل(الشغل، الطاقة، الطاقة الحركية، نظرية الشغل- الطاقة، الجول، القدرة، الواط).
- وصف العلاقة بين الشغل والطاقة.
- حساب كلاً من الشغل والقدرة المستهلكة.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بأشكال الطاقة المتعددة(طاقة وضع الجاذبية، مستوى الإسناد، طاقة الوضع المرونية، الطاقة السكونية).
- استخدام نموذج ليربط بين الشغل والطاقة.
- حساب الطاقة الحركية.
- أحدد طاقة وضع الجاذبية للنظام.
- بيان كيفية تخزين طاقة الوضع المرونية.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بحفظ الطاقة(قانون حفظ الطاقة، الطاقة الميكانيكية، الطاقة الحرارية، التصادم المرن، التصادم عديم المرونة).
- حل مسائل باستخدام قانون حفظ الطاقة.
- تحليل التصادم لإيجاد التغير في الطاقة الحركية.

الفكرة العامة

إن بذل شغل على النظام يعمل على تغيير طاقة النظام.

6-1 الطاقة والشغل

الفكرة الرئيسة الشغل هو انتقال الطاقة الذي يحدث عندما تؤدي قوة إلى إحداث إزاحة للجسم عن موضعه.

6-2 أشكال الطاقة المتعددة

الفكرة الرئيسة الطاقة الحركية تنتج من حركة الأجسام، وطاقة الوضع هي الطاقة المختزنة بسبب التفاعل بين جسمين أو أكثر.

6-3 حفظ الطاقة

الفكرة الرئيسة التصادم في نظام معزول ومغلق تكون الطاقة الكلية محفوظة، ولكن الطاقة الحركية ربما لا تكون محفوظة.

فكّر

كيف تُساعد الدراجة الهوائية الجبلية ذات السرعات المتعددة السائق على القيادة فوق التضاريس المختلفة بأقل جهد؟

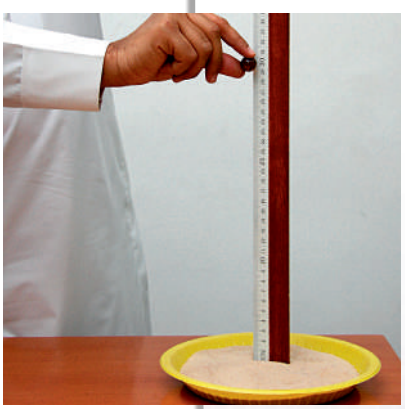
تجربة استهلالية

ما العوامل المؤثرة في الطاقة؟

سؤال التجربة ما العوامل التي تؤثر في طاقة الأجسام الساقطة رأسيًّا ومقدرتها على إنجاز شغل؟

الخطوات

1. ضع كمية من الرمل الناعم في طبق بعمق 2 cm.
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؟

الفيزياء في حياتك

يمارس البعض التمارين الرياضية للمحافظة على صحة أجسامهم، ويبذل الإنسان في أثناء ذلك شغلاً، فكيف يعرّف العلماء الشغل؟

تساؤلات جوهرية:

- ما الشغل؟ – ما الطاقة؟
- كيف ترتبط الطاقة مع الشغل؟
- ما القدرة، وكيف ترتبط بالشغل والطاقة؟

المفردات:

- الشغل
- الجول
- الطاقة
- القدرة المتوسطة
- 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.

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. فقد أثرت القوة $\boldsymbol{F}$ في جسم فحركته مسافة d كما في **الشكل 1–6**. فإذا كانت $\boldsymbol{F}$ قوة ثابتة تؤثر 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.

وعند إعادة كتابة المعادلة السابقة مستخدمين $W = Fd$ ينتج: $W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$

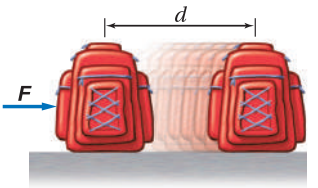
يصف الطرف الأيمن للمعادلة كتلة الجسم وسرعته قبل وبعد تأثير القوة.

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 تسمى **الطاقة**. فالمركبة المتحركة 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.

الشكل 1–6 يبذل الشغل عندما تؤثر قوة ثابتة $\boldsymbol{F}$ في حقيبة كتب في اتجاه الحركة وتتحرك الحقيبة مسافة d.



عـوّض KE فـي المعادلـة $W = KE_f - KE_i$ فينتـج $W = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$، الطـرف الأيمن من المعادلة يمثل الفرق أو التغير في الطاقة الحركية للجسم .وهذا يسمى نظرية **الشـغل – الطاقة** والتي تنص على أنه إذا بُذل شـغل 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 العلاقـة بين الشـغل المبذول والتغير فـي الطاقة الحركية الناتجة قـد تم تحديدها في القرن التاسـع عشر على يد العالم جيمس جول، وتكريمًا لجهوده فقد أطلــق اسمـــه "**جول**" على وحدة قياس الطاقة Joule (J).

فمثـلاً، إذا تحـرّك جسـم كتلتـه 2 kg بسـرعة 1 m/s فإنه يمتلـك طاقة حركيـة مقدارها 1 J أو $1\ kg.m^2/s^2$

ولأن الشـغل المبذول على جسـم ما يسـاوي التغير في الطاقة فإن الشـغل 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.

تذكّر أن النظام هو الجسم موضع الدراسة، والمحيط الخارجي هو كل شيء إلا الجسم. فمثلاً قد يكون أحد الأنظمة صندوقًا في مسـتودع، ويمكن أن يتكون المحيط الخارجي منك أنت، وكتلة الأرض وأي شـيء آخر خـارج الصندوق. ويمكن أن تنتقل الطاقة بين المحيط الخارجي والنظام خلال عملية إنجاز الشغل.

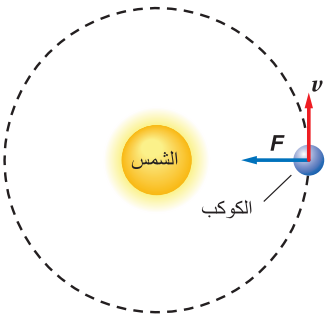
كمـا يمكـن أن تنتقل الطاقة فـي كلا الاتجاهين. فإذا بذل المحيط الخارجي شـغلاً على النظـام، فإن الشـغل W يكون موجبًـا، وطاقة النظام تزداد. أما إذا بذل النظام شـغلاً على المحيط الخارجي فإن الشـغل W يكون سـالبًا، وتتناقص طاقة النظام، أيْ أن الشغل هو انتقال الطاقة بطرائق ميكانيكية.

حساب الشغل Calculating Work

تستخدم المعادلة $W = Fd$ لحساب الشغل 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 6–2**. 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 أن $\Delta KE = 0$، لذا فإن $W = 0$. وهذا يعني أنه إذا كانت القوة $\boldsymbol{F}$ والإزاحة $\boldsymbol{d}$ متعامدتين فإن $W = 0$.

الشكل 6–2 إذا كان مسار الكوكب دائريًا فإن القوة التي يتأثر بها تكون متعامدة مع اتجاه حركته. لذلك فإنها لا تبذل شغلًا على الكوكب.



قوة ثابتة تؤثر بزاوية ما الشغل الذي تبذله القوة التي تؤثر بزاوية مع اتجاه الحركة؟ فمثلاً، ما الشغل الذي يبذله شخص يدفع مركبة؟ انظر **الشكل 6–3a**. تعلم أنه يمكن التعويض عن أي قوة بمركبتيها. فإذا استخدمت نظام المحاور في **الشكل 6–3b**، فإن القوة $\boldsymbol{F}$ التي مقدارها 125 N، والتي تؤثر في اتجاه ذراع الشخص، سيكون لها مركبتان هما: المركبة الأفقية ومقدرها F_x وتساوي:

$$F_x = -F\cos 25.0° = -(125\text{N})\ (\cos 25.0°) = -113\ \text{N}$$

والإشارة السالبة تعني أن مركبة القوة في اتجاه اليسار.

ومركبة رأسية F_y :

$$F_y = -F\sin 25.0° = -\ (125\ \text{N})\ (\sin 25.0°) = -\ 52.8\ \text{N}$$

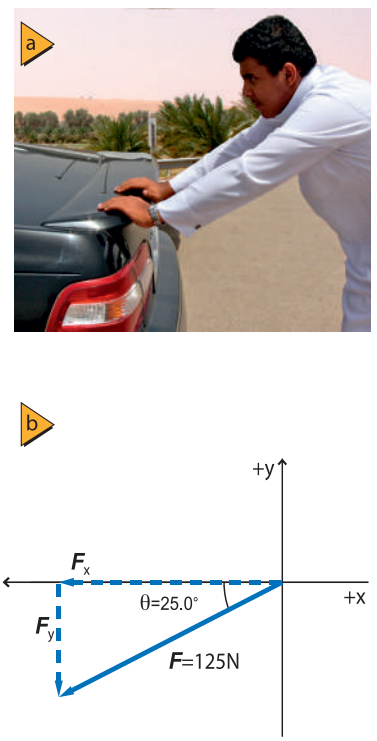
والإشارة السالبة تعني أن القوة إلى أسفل.

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.

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.



الشكل 6–3 عندما تؤثر قوة في جسم، فإن مركبة القوة التي تؤثر في اتجاه إزاحة الجسم هي التي تبذل شغلًا في إزاحته.

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. وتكون القوتان إلى أعلى وإلى أسفل متعامدتين مع اتجاه الحركة ولا تبذلان شغلاً، حيث تصنع كل من القوتين زاوية $\theta = 90°$، مما يجعل $\cos\theta = 0$. وعليه، فإن $W = 0$.

كما إن الشـغل المبـذول من قوة الاحتكاك يؤثـر في اتجاه معاكس لاتجـاه الحركة، أي بزاوية 180°، ولأن cos 180° = −1 فإن الشـغل المبذول من قوة الاحتكاك يكون سالبًا. والشـغل السـالب المبـذول من القـوة المؤثرة مـن المحيـط الخارجي يقلل مـن الطاقة الحركية للنظام. فإذا توقف الشخص في **الشكل 3a–6** عن الدفع، فإن السيارة ستتوقف عن الحركة. لذا سوف تقل طاقتها الحركية.

الشـغل الموجـب المبذول بوسـاطة قوة يزيـد من طاقة النظـام. في حين يؤدي الشـغل السالب إلى نقصانها.

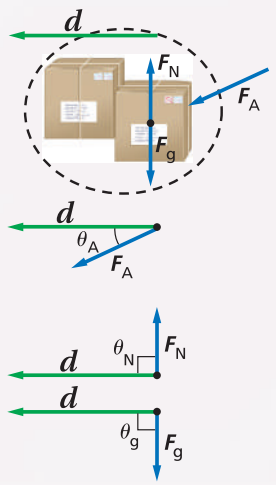
استراتيجية حلّ المسائل

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. احسـب الشـغل الكلي المبذول. وتأكد من إشـارة الشغل معتمدًا على اتجاه انتقال الطاقة، فإذا ازدادت طاقة النظام فإن الشـغل المبذول من تلك القـوة يكـون موجبًا، أمـا إذا تناقصت طاقة النظام فإن الشـغل المبذول من تلك القوة يكون سالبًا.

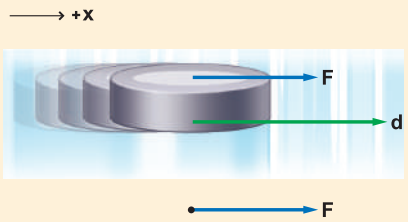
مخطط توضيحي للشغل



مثـال 1

الشـغل والطاقـة ينزلق قرص هوكي كتلته 105 g على سـطح جليدي، فإذا أثر لاعـب 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.

$W = Fd$

بالتعويض عن $d = 0.150\ \text{m}, F = 4.50\ \text{N}$

$= (4.50\ \text{N})(0.150\ \text{m})$

$= 0.675\ \text{N.m}$

$1\ \text{J} = 1\ \text{N.m}$

$= 0.675\ \text{J}$

استخدم نظرية الشغل – الطاقة لحساب التغير في طاقة النظام.

$W = \Delta KE$

بالتعويض عن $W = 0.675\ \text{J}$

$\Delta KE = 0.675\ \text{J}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس الشغل بوحدة الجول.
- **هل للإشـارة معنى؟** إن اللاعب (المحيط الخارجي) يبذل شـغلاً على القرص (النظام)، لذا فإن إشـارة الشغل يجب أن تكون موجبة.

مسائل تدريبية

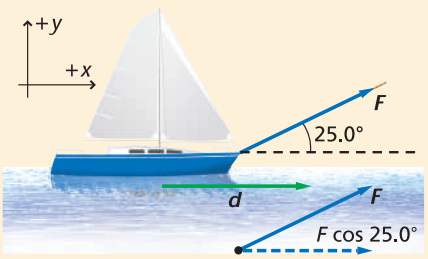
1. اعتمد على المثال 1 لحل المسألة التالية:
   a. إذا أثر لاعب الهوكي بضعفي القوة، أيْ 9.00 N، في القرص، فكيف تتغيّر طاقة حركة القرص؟
   b. إذا أثر اللاعب بقوة مقدارها 9.00 N في القرص، ولكن بقيت العصا ملامسة للقرص لنصف المسافة فقط، أيْ 0.075 m، فما مقدار التغير في الطاقة الحركية؟
2. يؤثر طالبان معًا بقوة 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.

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 سُلَّم، 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؟

الشغل المبذول من قوى متغيرة 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 6–4a** الشغل المبذول من خلال قوة ثابتة مقدارها 20.0 N وترفع جسم ما إلى أعلى مسافة 1.50 m، الشغل الذي تبذله هذه القوة الثابتة يمكن تمثيله بالمعادلة:

$$W = Fd = (20.0\ \text{N})\ (1.50\ \text{m}) = 30.0\ \text{J}$$

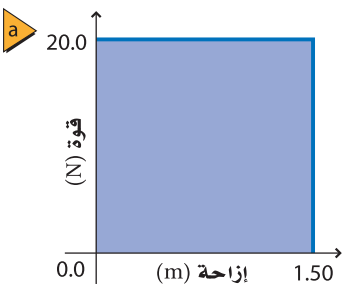
والمساحة المظللة تحت المنحنى البياني تساوي (1.50 m) (20.0 N)، أو 30.0 J. فالمساحة تحت المنحنى البياني القوة – الإزاحة تساوي عدديًا الشغل الذي تبذله تلك القوة حتى إذا تغيرت القوة.

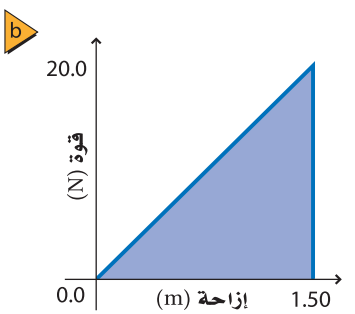
يوضح **الشكل 6–4b** القوة التي تؤثر في نابض، والتي تتغير خطيًّا من 0.0 N إلى 20.0 N عند تعرضه للانضغاط مسافة 1.50 m، إن الشغل الذي تبذله القوة يساوي عدديًا المساحة تحت المنحنى البياني، والتي تمثل مساحة المثلث.

$$W = \frac{1}{2}\ (20.0\ \text{N})\ (1.50\ \text{m}) = 15.0\ \text{J}$$

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.

الشكل 6–4 يمكن حساب الشغل المبذول بيانيًا بإيجاد المساحة تحت المنحنى البياني للقوة – الإزاحة





القدرة Power

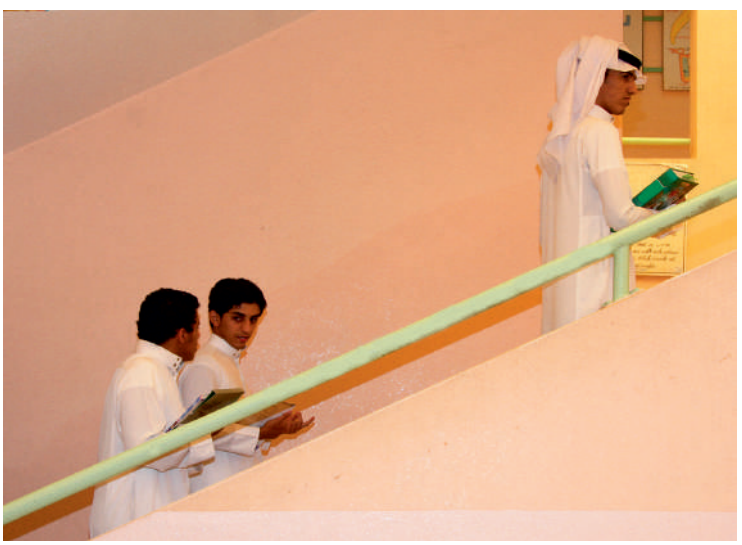
عندما يرفع شخص صندوق كتب، سواء رُفع الصندوق على الرف خلال 2 s، أم رُفع كل كتاب على حدة واستغرق ذلك 20 min لوضع جميع الكتب على الرف، فإن الشغل الذي يبذله يكون متساويًا في كلتا الحالتين. إلا أن معدل بذل الشغل يكون مختلفًا في كل حالة، لذا فإن **القدرة المتوسطة** هي الشغل المبذول مقسومًا على الزمن اللازم لبذل الشغل؛ أيْ أن القدرة هي المعدل الذي تغيّر فيه القوة الخارجية طاقة النظام، والتي يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية:

القدرة المتوسطة $P = \frac{W}{t}$

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 أيّ من الطالبين اللذين يرتقيان السلم ببطء، على الرغم من أن الطالبين والمعلم ينجزون الشغل نفسه (حيث تكون كتلهم متساوية) إلا أن المعلم ينجز الشغل في وقت أقل، لذا فإن قدرته أكبر.

تُقاس القدرة بوحدة **الواط** (W)؛ حيث يساوي 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 مسافة 0.5 m إلى فمك فإنك تكون قد بذلت شغلاً مقداره 1 J، وإذا رفعت الكأس خلال 1 s، فإنك تكون قد بذلت شغلاً بمعدل 1 W، ولأن وحدة الواط صغيرة فإن القدرة تُقاس غالبًا بوحدة الكيلوواط (kW).



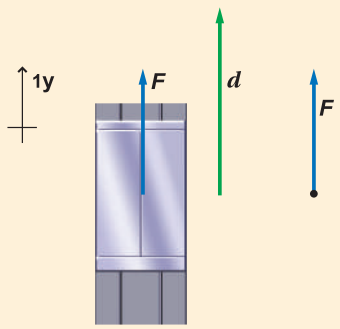
الشكل 5–6 الطلاب والمعلم يبذلون شغلًا بمعدلات زمنية مختلفة عندما يرتقون السُّلم.

مثـال 3

القـدرة يرفـع محـرك كهربائـي مصعـدًا مسـافة 9.00 m خـلال 15.0 s بالتأثيـر بقـوة رأسـيَّة إلـى أعلـى 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

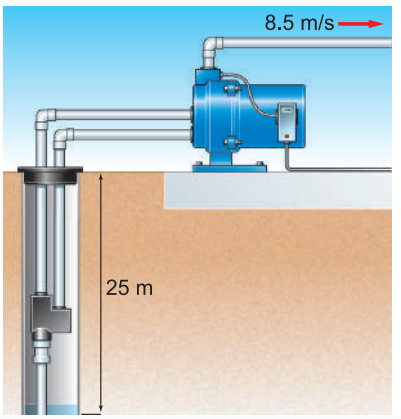
5. رُفع صندوق يزن 575 N رأسيًّا إلى أعلى مسافة 20.0 m، بحبل قوي موصول بمحرك. فإذا تم إنجاز العمل خلال 10.0 s، فما القدرة التي يولدها المحرك بوحدة W، ووحدة kW؟
6. مـا مقـدار القـدرة التي تولدها مضخة في رفـع 35 L من الماء كل دقيقة من عمـق 110 m؟ [كل 1 L من الماء كتلته 1.00 kg]

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.

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.

الفيزياء في حياتك

للماء أشكال متعددة؛ فقد يكون على شكل سائل أو جليد أو بخار، وبالطريقة نفسها، فإن للطاقة أشكال متعددة، فقد تنتج الطاقة عن حركة الأجسام، أو عن التفاعل بينها.

تساؤلات جوهرية:

- كيف ترتبط حركة النظام بالطاقة الحركية؟
- ما طاقة وضع الجاذبية؟
- ما طاقة الوضع المرونية؟
- كيف ترتبط الكتلة مع الطاقة؟

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 والفيزيائيون كلمة الطاقة بصورة أوسع. وكما تعلمت سابقًا فإن الشغل يسبب التغير في طاقة النظام؛ أيْ أن الشغل ينقل الطاقة بين النظام والوسط الخارجي.

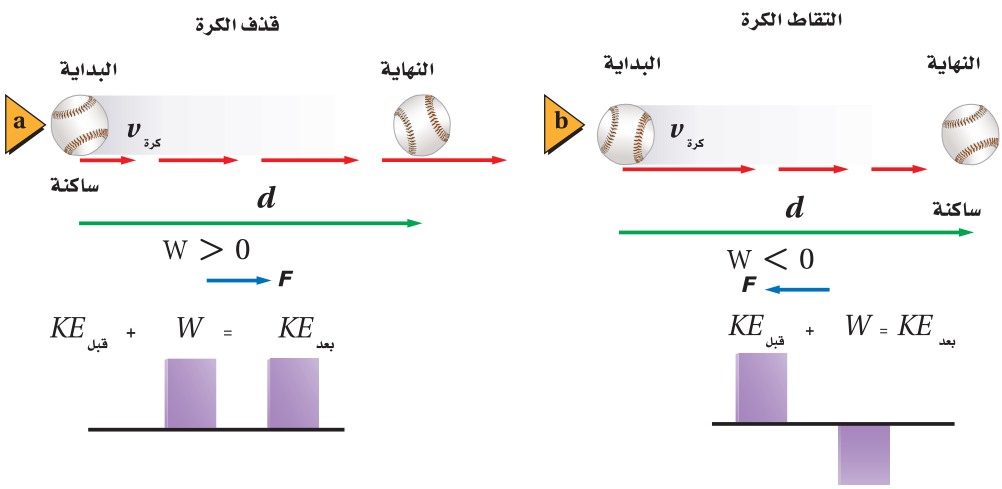
وستتعرف الآن كيف يمتلك الجسم الطاقة بطرائق مختلفة، وكيف تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، وكيف نتتبع هذه التغيرات.

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.

قذف الكرة، يمكن أن نبين كيفية كسب الطاقة أو فقدانها 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 6-6**، يمكنك استخدام التمثيل البياني بالأعمدة لتوضيح هذه العملية، حيث يمثل ارتفاع العمود مقدار الشغل المبذول أو الطاقة بالجول. الطاقة الحركية النهائية بعد بذل الشغل تساوي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل المبذول على الكرة.



الشكل 6-6 (a) الطاقة الحركية النهائية 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 النهائية صفرًا. وهذه العملية ممثلة في **الشكل 6b–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 النهائية 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، وعندما يسمح لها بالحركة فإنها تتساقط وتتسارع نتيجة تحول الطاقة المختزنة فيها إلى طاقة حركية.

والألعاب التي تعمل بشد النابض تخزن طاقة في النابض المشدود بالطريقة نفسها. كما أن السيارة تخزن الطاقة على صورة طاقة كيميائية في البنزين. وبصورة عامة، فإن للطاقة فائدة كبيرة فهي تسبب الحركة عندما تتحول من شكل إلى آخر.

طاقة وضع الجاذبية Gravitational Potential Energy

انظر إلى الكرات المقذوفة في الهواء في **الشكل 7–6**، فإذا اعتبرنا أن النظام يتكون من كرة واحدة فسيكون هناك عدة قوى خارجية تؤثر فيها. حيث تؤثر 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؟

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، وعندئذٍ يكون شغل الجاذبية موجبًا $W_g = mgh$.

وبمعنى آخر في أثناء صعود الكرة تبذل الجاذبية شغلا 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.

الشكل 7 –6 تتغير طاقة وضع الكرة وطاقتها الحركية باستمرار عند قذفها إلى أعلى كما يفعل الولد.

تطبيق الفيزياء

◀ **طاقة وضع الذّرة** من المثير للاهتمام معرفة المقادير النسبية لطاقة الوضع لكل ذرة. فعلى سبيل المثال تكون كتلة ذرة الكربون 2×10^{-26} kg ؛ وإذا رفعتها مسافة 1 m فوق سطح الأرض تصبح طاقة وضع الجاذبية لها 2×10^{-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. ▶

لو أخذنا نظامًا مكوّنًا من جسم ما والأرض نجد أن قوة الجاذبية الأرضية تبذل دائمًا شغلاً على الجسم عندما يتحرك رأسيًّا. 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.

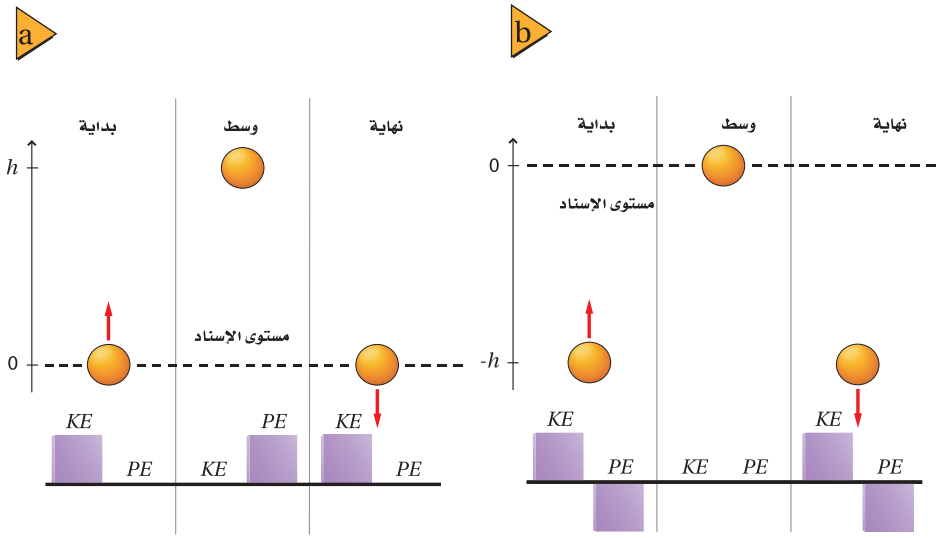
الطاقة الحركية وطاقة الوضع للنظام إذا كان النظام يتكون من الكرة والأرض في الألعاب البهلوانية كانت الطاقة في النظام على شكل طاقة حركية وطاقة وضع الجاذبية. وتكون الطاقة عند بداية قذف الكرة إلى أعلى على شكل طاقة حركية كما في **الشكل 6–8a**، وفي أثناء صعود الكرة تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع الجاذبية، 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 6–8a**، 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 $PE = 0$J عند هذه النقطة كما في **الشكل 6–8b**، وتكون طاقة الوضع للنظام سالبة عند بداية قذف الكرة إلى أعلى.

وعند حساب المجموع الكلي للطاقة في النظام في **الشكل 6–8a** سيكون مختلفًا عن مجموع الطاقة الكلي للنظام في **الشكل 6–8b**، 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 8–6 (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.

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:

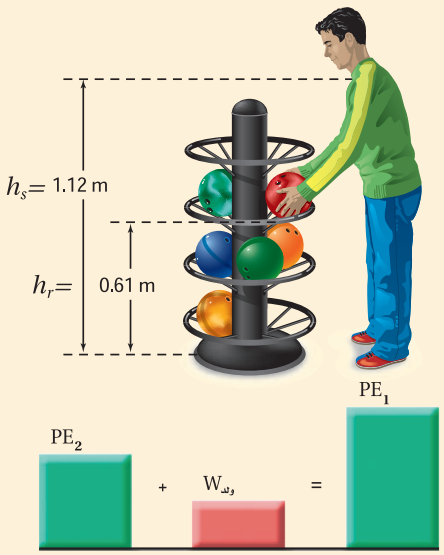
a. طاقة وضع الجاذبية لكرة البولنج وهي على كتفك بالنسبة إلى سطح الأرض PE_1؟

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

$m_{\text{كرة حمراء}} = 7.30\ \text{kg}$

نسبة إلى سطح الأرض $h_r = 0.610\ \text{m}$

نسبة إلى سطح الأرض $h_s = 1.12\ \text{m}$

$g = 9.8\ \text{m/s}^2$

المجهول

$PE_1 = ?$

$PE_2 = ?$

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 $m = 7.30\ \text{kg}$, $g = 9.8\ \text{m/s}^2$, $h = 1.12m$

$= (7.30\ \text{kg})\ (9.8\ \text{m/s}^2)\ (1.12\ \text{m})$

$= 80.1\ \text{J}$

b. افترض أن مستوى الإسناد هو سلة الكرات.
احسب ارتفاع كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات

$h = h_s - h_r$

احسب طاقة وضع الكرة.

$PE_2 = mgh$

$= mg(h_s - h_r)$

بالتعويض عن $m = 7.30\ \text{kg}$, $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$= (7.30\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2)(1.12\ \text{m} - 0.610\ \text{m})$

$= 36.5\ \text{J}$

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 $m = 7.30\ \text{kg}$, $g = 9.80\ \text{m/s}^2$
$h_s = 1.12\ \text{m}$, $h_r = 0.610\ \text{m}$

$= -(7.30\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)(1.12\ \text{m} - 0.610\ \text{m})$

$= -36.5\ \text{J}$

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).

طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy

عند سحب الخيط المربوط بالقوس كما في **الشكل 9–6** 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 في القوس 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. حيث تستخدم الألياف الزجاجية المرنة التي تساعد على تسجيل قفزات عالية.

■ **الشكل 9–6** 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.

عندما يركض لاعب الوثب العالي حاملاً عصًا مرنة (الزانة)، ويغرز طرفها السفلي في تراب الملعب، وعندما يثني اللاعب العصا كما في **الشكل 10–6** 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. ويكون لاعب الوثب العالي قادرًا على التحرر من الزانة التي تكون قد استقامت.

■ **الشكل 10–6** عندما يقفز اللاعب مستعينًا بالزانة تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية وطاقة وضع الجاذبية.

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".

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.

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.

قانون حفظ الطاقة، لاحظ العلماء 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 11–6**، 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 طاقة وضعها

$$PE = mgh = (10.0\ \text{N})(1.00\ \text{m}) = 10.0\ \text{J}$$

ولأن المجموع الكلي لطاقة النظام E تبقى ثابتة عند 20.0 J.

$$E = KE + PE$$

$$KE = E - PE$$

فإن طاقة حركتها $KE = 20.0\ \text{J} - 10.0\ \text{J} = 10.0\ \text{J}$

الفيزياء في حياتك

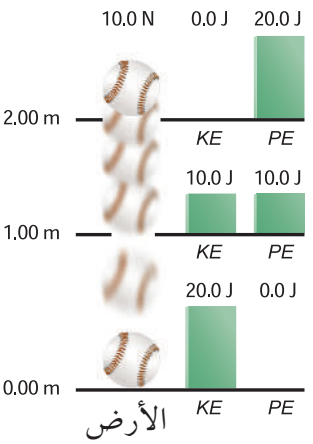
إذا قمت بعد نقودك ووجدتها نقصت بمقدار 10 دنانير، فإنك لا تفترض أن هذه النقود قد اختفت فقط، ربما تبحث عنها، فكما النقود لا تتلاشى في الهواء، فإن الطاقة لا تتلاشى.

تساؤلات جوهرية:

- تحت أي من الشروط تكون الطاقة محفوظة؟
- ما الطاقة الميكانيكية؟ ومتى تكون محفوظة؟
- كيف تُحفظ أو يتغير الزخم والطاقة الحركية في أثناء التصادم؟

المفردات:

- قانون حفظ الطاقة
- الطاقة الميكانيكية
- الطاقة الحرارية
- التصادم المرن
- التصادم عديم المرونة



الشكل 11–6 النقص في طاقة الوضع يساوي الزيادة في الطاقة الحركية.

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:

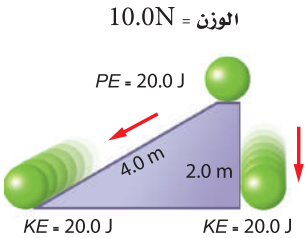
حفظ الطاقة الميكانيكية

$$KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}} = KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}}$$

عندما تكون الطاقة الميكانيكية محفوظة ومعزولة عن القوى الخارجية 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 مهمل الاحتكاك، ولم تسقط إلى الأسفل رأسيًا كما في **الشكل 12-6**، ولم تؤثر قوى خارجية في النظام، أيْ أن النظام مغلق ومعزول، فسوف تفقد طاقة وضع مقدارها 20.0 J. وتكتسب طاقة حركية مقدارها 20.0 J وهذا يشابه سقوط الكرة رأسيًا للأسفل فلا يؤثر المسار الذي تسلكه الكرة لأنّ السطح أملس.

■ **الشكل 12-6** لا يؤثر المسار الذي يتبعه الجسم حتى يصل الأرض في مقدار الطاقة الحركية النهائية للجسم. وهذا من خصائص قوة الجاذبية لأنها قوة محافظة.



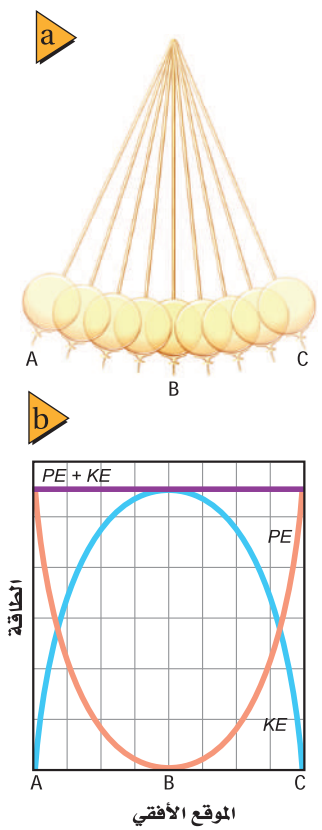
عربة التزلج

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 عالٍ 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، وتبدأ طاقة وضعه في التحول إلى طاقة حركية كما في **الشكل 13a-6**، و**الشكل 13b-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 13-6 (a)** حركة البندول البسيط (b) الطاقة الميكانيكية هي مجموع طاقتي الحركة والوضع وهي مقدار ثابت.



التجربة العملية :

- **هل الطاقة محفوظة؟**
- **كيف يبرهن تحول طاقة الوضع لجسم ما إلى طاقة حركية مبدأ حفظ الطاقة؟**

فقدان الطاقة الميكانيكية

سيتوقف تذبذب البندول أخيرًا، وستسكن الكرة المرتدة عن سطح الأرض، وسيقل الارتفاع الذي تصل إليه عربة التزلج تدريجيًّا، فأين تذهب الطاقة في النظام؟

يتعرض أي جسم يتحرك في الهواء لمقاومة الهواء، وهناك أيضًا قوة احتكاك في عربة التزلج بين العجلات والممر.

وعندما ترتد الكرة عن سطح الأرض لا تتحول جميع طاقة 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 الابتدائية في النظام إلى أشكال أخرى من الطاقة، إما داخل النظام 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 لم تكن هناك قوة خارجية تؤثر في النظام يكون النظام معزولًا، ويكون مجموع الطاقة الكلية فيه ثابتًا.

$$E_{\text{بعد}} = E_{\text{قبل}}$$

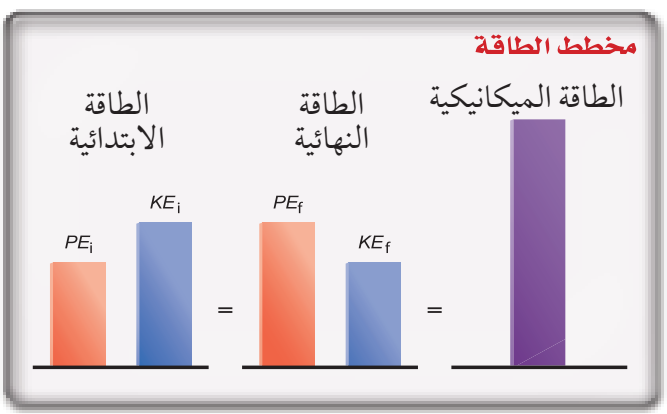
   b. إذا كان هنالك قوة خارجية تؤثر في النظام فإنّ

$$E_{\text{بعد}} + W = E_{\text{قبل}}$$

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

مخطط الطاقة

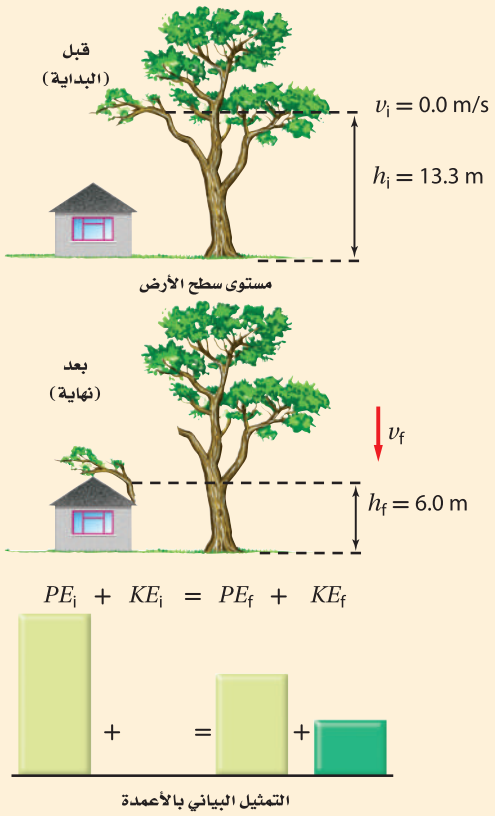


مثـال 5

حفظ الطاقة الميكانيكية خلال عاصفة هوائية سقط غصن شجرة كبيـرة كتلته 22.0 kg ومتوسـط ارتفاعه عن سـطح الأرض 13.3 m على سـقف كوخ يرتفع 6.0 m عن سـطح الأرض. احسـب 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 بيانيًّا بالأعمدة.

المعلوم		المجهول
$m = 22.0$ kg	$g = 9.80$ m/s^2	$KE_f = ?$
$h_{\text{غصن}} = 13.3$ m	$v_i = 0.0$ m/s	$PE_i = ?$
$h_{\text{سقف}} = 6.0$ 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.

$$h = h_{\text{غصن}} - h_{\text{سقف}}$$
$$= 13.3\text{ m} - 6.0\text{ m}$$
$$= 7.3\text{ m}$$

بالتعويض عن $h_{\text{سقف}} = 6.0$ m $\quad h_{\text{غصن}} = 13.3$ 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 $m=22.0\,\text{kg}, g=9.80\text{ m/s}^2, h=7.3\text{ m}$

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.

$KE_f = PE_i$

$= 1.6 \times 10^3\ \text{J}$

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 $\text{J} = \text{kg.}\ \text{m}^2/\text{s}^2$.
- **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؟

تحليل التصادمات Analyzing collisions

بداية / ابتدائي = i

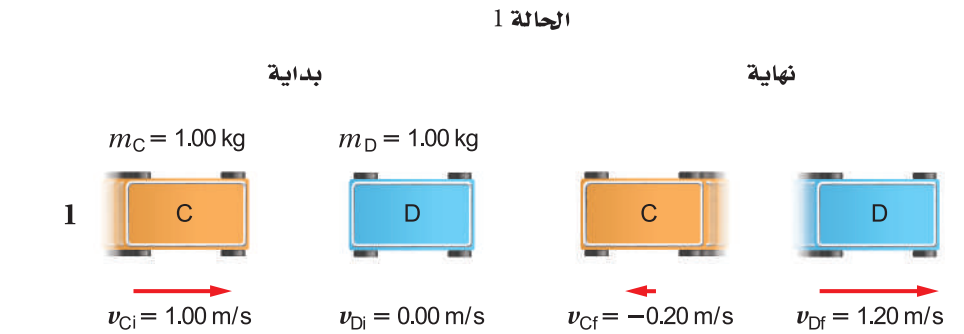
نهاية/ نهائي = f

مـن الحـالات الشـائعة التـي تطرح فـي مواضيـع الفيزيـاء، التصـادم بين السـيارات أو اللاعبين أو الجسـيمات الذرية. وتكون اسـتراتيجية الحل بدراسـة حركة الأجسام قبل التصـادم وبعـده؛ لأن تفاصيل التصادم يمكن أن تكون معقـدة جدًّا في أثناء التصادم. ما قانون الحفظ الذي يمكن اسـتخدامه لتحليل النظـام؟ إذا كان النظام معزولاً فإن الزخم والطاقـة محفوظـان، فـي حين أن طاقة الوضـع أو **الطاقة الحرارية** فـي النظام قد تقل أو تبقـى ثابتـة، أو تزداد. لذا لا تسـتطيع أن تقرر هل الطاقة الحركيـة محفوظة أم لا. ويبين **الشـكلان 14–6 و 15–6** ثلاثة أنواع مختلفة من التصادمات. ففي الحالة **1** زخم النظام قبل التصادم وبعده يعبر عنه بالمعادلة:

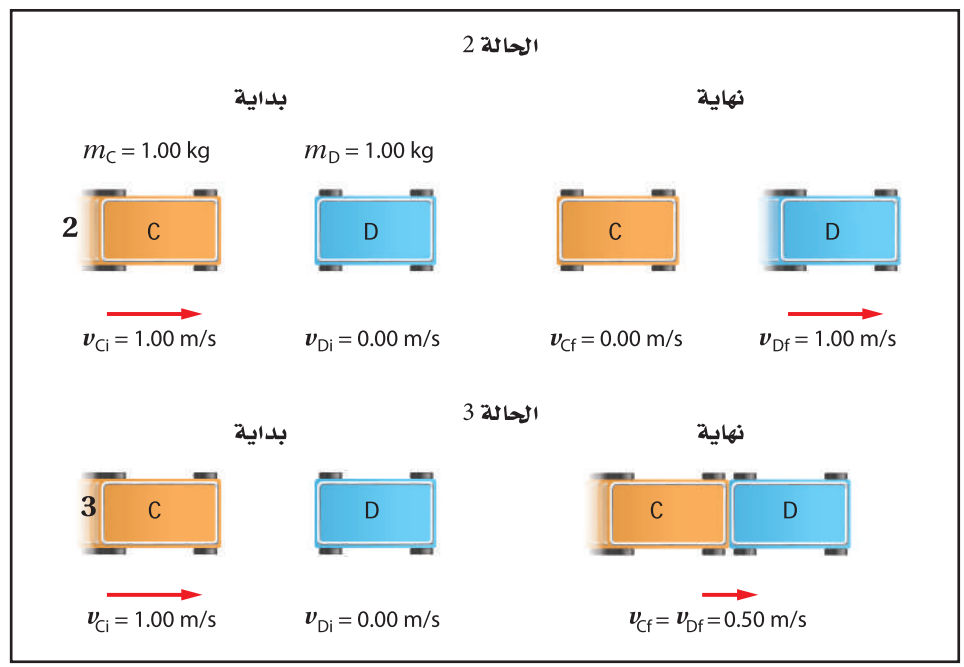
$$P_i = P_{ci} + P_{Di} = (1.00\ \text{kg})\ (1.00\ \text{m/s}) + (1.00\ \text{kg})\ (0.00\ \text{m/s})$$
$$= 1.00\ \text{kg m/s}$$

$$P_f = P_{cf} + P_{Df} = (1.00\ \text{kg})\ (-0.20\ \text{m/s}) + (1.00\ \text{kg})\ (1.20\ \text{m/s})$$
$$= 1.00\ \text{kg.m/s}$$

لـذا، فـإن الزخم في الحالة **1** محفوظ. انظر إلى **الشـكل 15–6** وبين أن الزخم محفوظ في الحالتين **2** و **3**.



■ **الشكل 14–6** يمكن أن يُحدث جسمان متحركان تصادمات مختلفة، الحالة 1 يتحرك الجسمان بعد التصادم في اتجاهين متعاكسين.



■ **الشكل 15–6** الحالة 2 يتوقف الجسم المتحرك ويتحرك الجسم الساكن.

وفي الحالة 3 يلتحم الجسمان ويتحركان كجسم واحد.

لنـدرس 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 شـكلاً من أشـكال الطاقـة أو أكثر يقل. ربما انفلت نابض مضغـوط في أثناء تصادم العربتيـن ممـا زوّد النظام بطاقـة حركية، وهذا النوع مـن التصادم يُسـمى التصادم فوق المرن أو الانفجاري.

أمّا الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة **2** فتساوي:

$$KE_{cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(1.0\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.00\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.50\ \text{J}$$

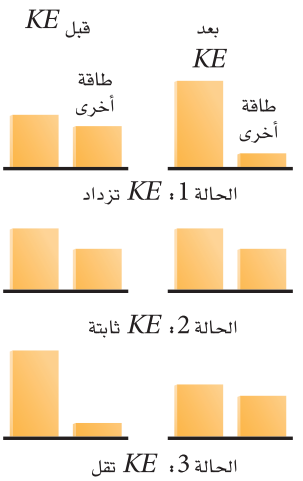
وتبقـى الطاقـة الحركية كمـا هي بعد التصادم، ويسـمى هذا النوع مـن التصادم الذي لا تتغيـر فيـه الطاقة الحركية **التصادم المرن**. إن التصادم الذي يحدث بين الأجسـام المرنة الصلبة – ومنها الأجسـام المصنوعة من الفولاذ والزجاج أو البلاستيك الصلب – عادة ما يسمى بالتصادم المرن. أما الطاقة الحركية بعد التصادم 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 الطاقـة الحركيـة تقل ويتحول جزء منها إلى طاقة حرارية. ويسـمى هذا النوع من التصـادم الذي تقـل فيه الطاقة الحركية **بالتصادم العديم المرونة**، والأجسـام المصنوعة من مواد ناعمة أو لزجة مثل الطين تناسب هذه الحالة.

يمكـن تمثيـل أنواع التصـادم الثلاثة باسـتخدام التمثيـل البياني بالأعمـدة. انظـر إلى **الشـكل 16–6**، كما يمكن أيضًا حسـاب الطاقـة الحركية قبل التصـادم وبعده. ويمكن إيجـاد التغيـر فـي الأنواع الأخـرى من الطاقـة؛ إذْ تتحـول الطاقـة الحركية فـي تصادم السيارات إلى أنواع أخرى من الطاقة، ومنها الطاقة الحرارية والطاقة الصوتية.

الشكل 16–6 التمثيل البياني بالأعمدة لأنواع التصادمات الثلاثة.



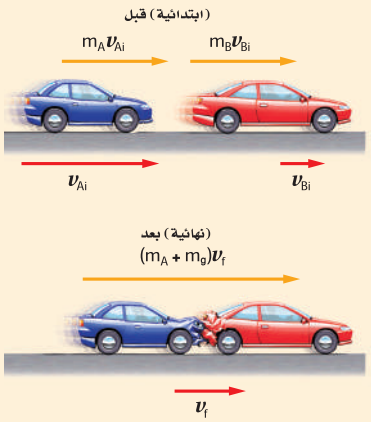
مثـال 6

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

$$KE_f = \frac{1}{2} m v^2$$

$$= \frac{1}{2}(m_A + m_B)\, v_f^2$$

بالتعويض عن $m = m_A + m_B$

$m_A = 575\ \text{kg}, m_B = 1575\ \text{kg}, v_f = 7.67\ \text{m/s}$

$$= \frac{1}{2}(575\ \text{kg} + 1575\ \text{kg})\ (7.67\ \text{m/s})^2$$

$$= 6.32 \times 10^4\ \text{J}$$

$$KE_i = KE_{Ai} + KE_{Bi}$$
$$= \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$$
$$= \frac{1}{2}(575\ \text{kg})(15.0\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1575\ \text{kg})(5.00\ \text{m/s})^2$$
$$= 8.44 \times 10^4\ \text{J}$$

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؟

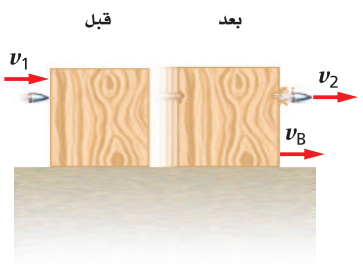
c. الطاقة المفقودة في التصادم؟

يمكنك أن ترى أن هناك اختلافًا حقيقيًّا بين الزخم والطاقة. فالزخم يكون دائما محفوظًا في التصادم ، أمّا الطاقة الحركية 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 متماثلتان في الكتلة في مختبر بوساطة نابض مضغوط فيكون 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 بسرعتين متساويتين ولكن متعاكستين، 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؟

من المفيد هنا أن نذكر مثالين بسيطين على التصادم المرن والتصادم عديم المرونة. الأول بين جسمين متساويين في الكتلة، مثل تصادم كرة البلياردو البيضاء المتحركة بسرعة v ، بكرة بلياردو ساكنة، حيث تتوقف الكرة البيضاء في هذا الوضع بعد التصادم، وتتحرك الكرة الساكنة بالسرعة نفسها v. ومن السهل إثبات مبدأ حفظ الزخم وحفظ الطاقة في هذا التصادم.

والمثال الآخر هو التصادم الذي يحدث بين المتزلجين. فإذا فرضنا أن متزلجًا كتلته m يتحرك بسرعة v نحو متزلج آخر ساكن 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

$$KE = \frac{1}{2}(2m)\left(\frac{1}{2}v\right)^2 = \frac{1}{4}m\,v^2$$

أيْ نصف الطاقة الحركية الابتدائية، وذلك لأن التصادم عديم المرونة.

وقد أعطيت أمثلة توضح كيف يستخدم قانون حفظ الطاقة، وأحيانًا حفظ الزخم، للتعرف على الحركة في نظام من الأجسام، يصعب فهم حركتها باستخدام القانون الثاني لنيوتن فقط. لذا ينبغي فهم شكل الطاقة في النظام، وكيفية تحولها من شكل إلى آخر؛ لأنه أحد أكثر المفاهيم فائدة في العلوم. ويظهر مفهوم حفظ الطاقة في كل شيء، من الأوراق البحثية إلى الأجهزة الكهربائية. ويستخدم العلماء مفهوم الطاقة لاكتشاف موضوعات أكثر تعقيدًا من تصادم كرات البلياردو.

تجربة

تحويل الطاقة

1. اختر كرات مختلفة الحجم من مادة ما، ثم جد كتلها.
2. ضع نابضًا بشكل رأسي على طاولة المختبر
3. ضع مسطرة بشكل رأسي بجوار النابض.
4. ضع إحدى الكرات على الطرف العلوي للنابض، واضغط النابض إلى الأسفل إلى ارتفاع معيَّن.
5. اترك الكرة بسرعة ليدفعها النابض رأسيًّا إلى أعلى.
6. قس أقصى ارتفاع تصله الكرة.

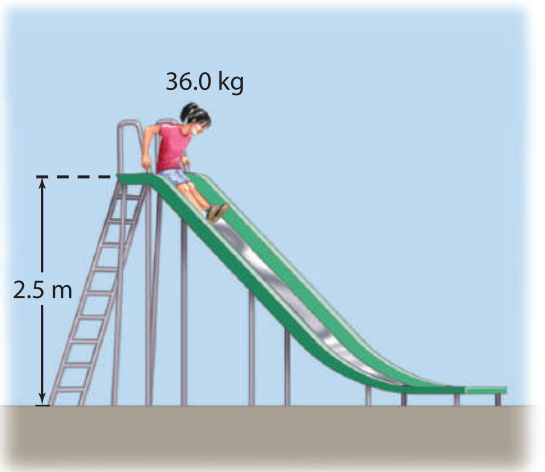
تحذير: ثبت الكرة جيدًا قبل قذفها.

7. كرر الخطوات عدة مرات للكرة نفسها، ثم احسب متوسط الارتفاع.
8. قدر الارتفاع الذي ستصله كرات أخرى.

التحليل والاستنتاج

9. رتب الكرات وفق الارتفاع الذي تصل إليه. ماذا تستنتج؟

28. طاقة انزلق طفل كتلته 36.0 kg إلى أسفل منزلق ارتفاعه 2.5 m ، كما في **الشكل 17-6**. وتحرك عند أسفل المنزلق بسرعة 3.0 m/s، فما مقدار الطاقة المفقودة خلال انزلاقه؟



الشكل 17-6

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؟

التقنية والمجتمع

الجري بتقنية ذكية Running Smarter

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، وتثبيتهما في مكانهما، ومنعهما 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 نِظام 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؟

الفصل 6

دليل الدراسة

6–1 الطاقة والشغل Energy and Work

المفردات

- الشغل
- الطاقة
- الطاقة الحركية
- نظرية الشغل – الطاقة
- الجول
- القدرة المتوسطة
- الواط

الفكرة الرئيسة: الشغل هو انتقال الطاقة الذي يحدث عندما تؤدي قوة إلى إزاحة للجسم عن موضعه.

- 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

الفكرة الرئيسة: الطاقة الحركية تنتج من حركة الأجسام، وطاقة الوضع هي الطاقة المختزنة بسبب التفاعل بين جسمين.

- 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 Enargy

المفردات

- قانون حفظ الطاقة
- الطاقة الميكانيكية
- الطاقة الحرارية
- التصادم المرن
- التصادم عديم المرونة

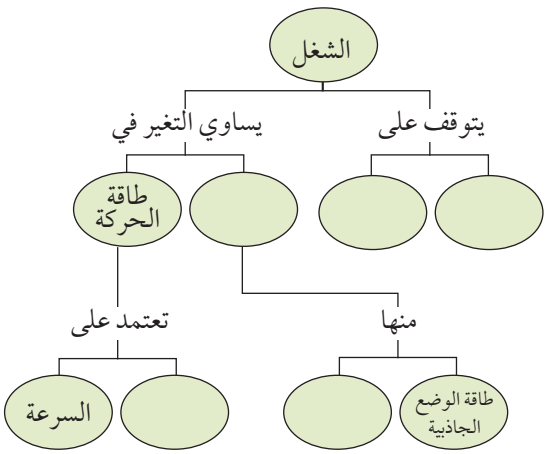
الفكرة الرئيسة: التصادم في نظام معزول ومغلق تكون الطاقة الكلية محفوظة ولكن الطاقة الحركية ربما لا تكون محفوظة.

- 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 عديم المرونة تكون فيه الطاقة الحركية بعد التصادم أقل منها قبله. أما التصادم المرن فتكون فيه الطاقة الحركية قبل التصادم مساوية لما بعده.

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؟ ولماذا؟

35. ينزلق جسم بسرعة مقدارها ثابت على سطح أفقي 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

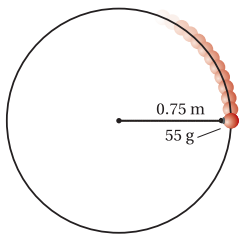
42. **الرفع** إذا رفعت صندوق كتب من الأرض ووضعته على سطح طاولة، تؤثر فيه قوة الجاذبية الأرضية بقوة مقدارها mg إلى الأسفل وتؤثر فيه أنت بقوة مقدارها mg إلى الأعلى. وبما أن هاتين القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه فيبدو كأنه لا يوجد شغل مبذول، ولكنك تعلم أنك بذلت شغلاً. فسر ما الشغل الذي 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 18–6**. ما مقدار الشغل المبذول على الجسم من قوة الشد في الخيط في دورة واحدة؟



الشكل 18–6

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

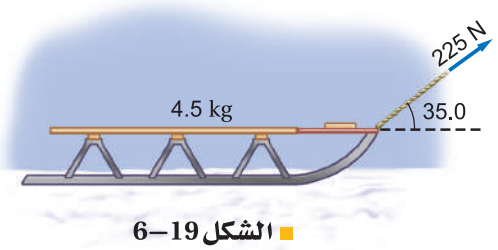
49. **لعبة شد الحبل** بذل الفريق A خلال لعبة شد الحبل شغلاً مقداره 2.20×10^{5} J عندما سحب الفريق B مسافة 8.00 m، ما مقدار القوة التي أثر فيها الفريق A؟

50. تستخدم قوة مقدارها 300.0 N لدفع جسم كتلته 145 kg أفقيًّا مسافة 30.0 m، خلال 3.00 s، احسب:

a. الشغل المبذول على الجسم.

b. القدرة المتولدة.

51. **زلاّجة** يسحب شخص زلاجة كتلتها 4.5 kg على سطح جليدي بقوة مقدارها 225 N، بوساطة حبل يميل بزاوية 35.0° فوق الأفقي كما في **الشكل 19–6**. فإذا تحركت الزلاجة مسافة 65.3 m، فما مقدار الشغل الذي بذله الشخص؟



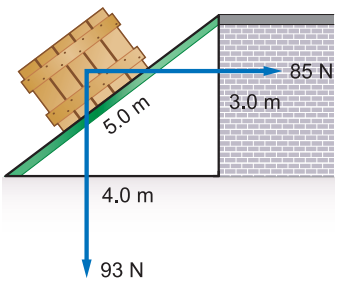
الشكل 19–6

52. يدفع عامل صندوقًا يزن 93 N إلى أعلى مستوى مائل، حيث يدفعه باتجاه أفقي يوازي سطح الأرض. انظر **الشكل 20–6**.

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 20–6

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.

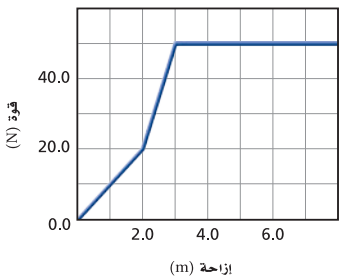
b. القدرة التي تولدها المضخة.

54. **حزام نقل** يستخدم حزام نقل طوله 12.0 m يميل بزاوية 30.0° فوق 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 6–21** 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 6–21

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:

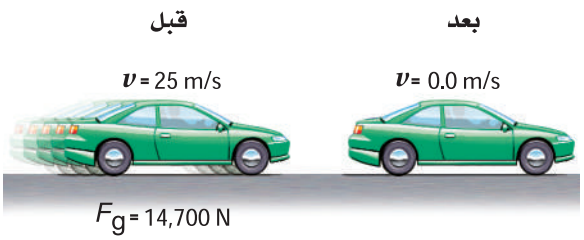
a. الشغل المبذول على القطار.

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 6–22**. فإذا كان متوسط قوة الاحتكاك بين عجلات السيارة والطريق تساوي 7100 N، فما المسافة التي تتحركها السيارة قبل أن تتوقف؟



الشكل 6–22

58. تتحرك عربة صغيرة كتلتها 15.0 kg، بسرعة متجهة مقدارها 7.50 m/s في ممر مستو، فإذا أثرت فيها قوة مقدارها 10.0 N، فتغيرت سرعتها، وأصبحت 3.20 m/s. احسب:

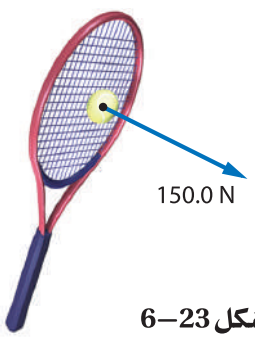
a. التغير في الطاقة الحركية للعربة.

b. الشغل المبذول على العربة.

c. المسافة التي ستتحركها العربة خلال تأثير القوة.

59. أُطلق صاروخ تجريبي كتلته 10.0 kg، رأسيًا 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 6–23**. فما مقدار الطاقة الحركية للكرة لحظة ابتعادها عن المضرب؟ " افترض أن الكرة بدأت الحركة من السكون."



الشكل 6–23

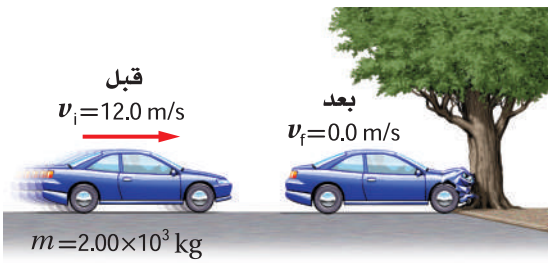
عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

61. التصادم اصطدمت سيارة كتلتها 2×10^3 kg وسرعتها 12.0 m/s بشجرة، فلم تتحرك الشجرة وتوقفت السيارة كما في **الشكل 24-6**. مامقدار:

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 24-6

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؟

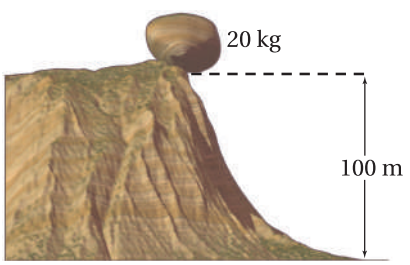
حفظ الطاقة

63. تستقر صخرة كتلتها 20 kg على حافة تل ارتفاعه 100 m كما في **الشكل 25-6**. بإهمال الاحتكاك ما مقدار:

a. طاقة وضعها بالنسبة لقاعدة التل؟

b. الطاقة الحركية للصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟

c. سرعة الصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟



الشكل 25-6

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؟

67. **تطبيق المفاهيم** يقطع عدّاء كتلته 75 kg مضمار سباق طوله 50.0 m خلال 8.50 s، افترض أن تسارع العدّاء ثابت في أثناء السباق. ما:

a. متوسط قدرة العداء خلال السباق؟

b. أقصى قدرة يولدها العدّاء؟

التفكير الناقد

68. **تطبيق المفاهيم** يعد اصطدام طائر بالزجاج الأمامي لسيارة متحركة مثالاً على تصادم جسمين كتلة أحدهما عدة أضعاف كتلة الآخر، ومن ناحية أخرى يعد تصادم كرتي بلياردو مثالاً على تصادم جسمين متساويين في الكتلة، فكيف تتحول الطاقة في هذه التصادمات؟ ادرس تصادمًا مرنًا بين كرة بلياردو كتلتها m_1 وسرعتها v_1 بكرة أخرى ساكنة كتلتها m_2.

a. إذا كانت $m_1 = m_2$ ، فما نسبة الطاقة الابتدائية التي تنتقل إلى m_2؟

b. إذا كانت $m_1 >> m_2$، فما نسبة الطاقة الابتدائية التي تنتقل إلى m_2؟

الكتابة في الفيزياء

69. إن المصطلحات: القوة، الشغل، القدرة والطاقة غالبًا ما تعني في الاستخدام اليومي الشيء نفسه. ابحث عن أمثلة لذلك في الصحف، أو خلال سماعك للاذاعة أو مشاهدة التلفاز توضح معاني هذه المصطلحات وتختلف عما هو في الفيزياء ثم اكتب عنها.

70. الشمس مصدر طاقة. بأي شكل من أشكال الطاقة تصل إلينا الطاقة الشمسية لتجعلنا نحيا وتجعل مجتمعنا يعمل؟ ابحث في الطرق التي تتحول فيها الطاقة الشمسية إلى الشكل الذي نستخدمه. وأين تذهب هذه الطاقة بعد استخدام الطاقة الشمسية؟ وضح ذلك.

مراجعة تراكمية

71. يقول بعض الناس أحيانًا إن القمر يبقى في مساره لأن " قوة الطرد المركزي توازن تمامًا قوة الجذب المركزي، والنتيجة أن القوة المحصلة تساوي صفرًا ". وضح مدى صحة هذا القول.

72. تنطلق رصاصة كتلتها 5.00 g بسرعة 100.0 m/s، نحو جسم صلب كتلته 10.0 kg، مستقر على سطح مستوٍ عديم الاحتكاك.

a. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا استقرت داخل الجسم الصلب؟

b. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا ارتدت بالاتجاه المعاكس بسرعة 99 m/s؟

c. في أية حالة سيتحرك الجسم بسرعة أكبر؟

اختبار مقنن

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.

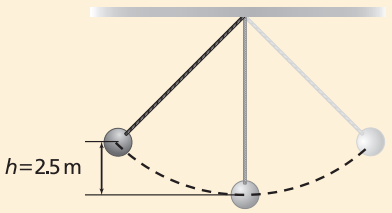
A 450 W
B 500 W
C 2250 W
D 4500 W

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 مقدار الطاقة الحركية العظمى للكرة؟

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 اصطدمت 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

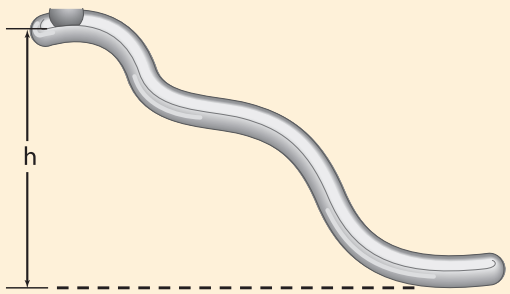
7. عندما ترفع صندوقًا كتلته 4.5 kg من الأرض إلى رف يرتفع 1.5 m فوق سطح الأرض، فما مقدار الطاقة التي استخدمتها في رفع الصندوق؟

A 9.0 J
B 11 J
C 49 J
D 66 J

اختبار مقنن

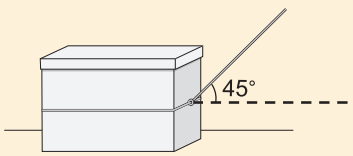
8. يبين الشكل أدناه كرة على مسار منحن، فإذا انزلقت الكرة من السكون ووصلت السطح الأفقي بسرعة 14 m/s، وبإهمال الاحتكاك، فما الارتفاع h الذي انزلقت منه الكرة؟

A) 7 m
B) 10 m
C) 14 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° فوق الأفقي، احسب الشغل المبذول على الصندوق، والقدرة اللازمة لسحبه مسافة 5.0 m في زمن قدره 10.0 s.



10. وضع صندوق كتلته 1.0 kg فوق منصة نابض مضغوط، وعند إفلات النابض اكتسب الصندوق طاقة 4.9 J، وانطلق رأسيًّا 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.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

I. 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 جدًّا من		
$\equiv$	يعرف كـ		

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

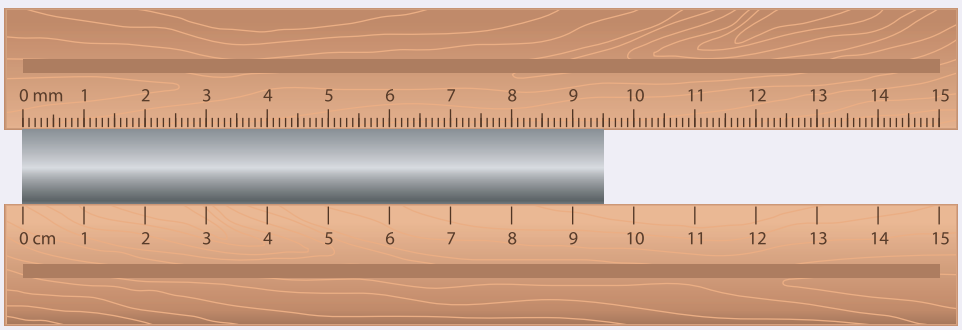
الأرقام المعنوية Significant Digits

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 الفلزي؟

باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي 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 استعمال 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. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية.

استعمال القواعد الآتية 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 تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استعمال القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استعمال القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استعمال القواعد 1و2و3
5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استعمال القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استعمال القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m	d. 12.007 kg
b. 2.50 km	e. 5.8×10^{6} kg
c. 0.0034 m	f. 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

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 استعمال القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن أقصى يسار العدد والمراد إسقاطه أقل من 5 يجب إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثَم يبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم الواقع عن أقصى يسار العدد والمراد إسقاطه أكبر من 5 يجب إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع عن أقصى اليسار والمراد إسقاطه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يقرّب الرقم الأخير في العدد بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى، فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تقربه.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استعمال القاعدة 1
8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استعمال القاعدة 2
8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استعمال القاعدة 3
92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استعمال القاعدة 4
92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استعمال القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. 1405 m (2)　　c. 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2)　　d. 12.007 kg (3)

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

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 يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \text{m} \\ +20.3\ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 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 المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1\ \text{m})(3.6\ \text{m}) = 72.36\ \text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. $2.33\ \text{km} + 3.4\ \text{km} + 5.012\ \text{km}$

b. $8.3\ \text{g} - 45\ \text{g}$

c. $3.40\ \text{cm} \times 7.125\ \text{cm}$

d. $6.5\ \text{s} \div 54\ \text{m}$

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d=19\ m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}\ (-10.0\ m/s^2)(2.50)^2$$

$$= 5.0 \times 10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m\ (\text{الميل}) = \frac{70.0\ m - 10.0\ m}{29\ s - 11\ s}$$

$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، 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.

$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$

$$= \sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$

لا تجر التقريب إلى $580N^2$ و $1300N^2$

$$= \sqrt{1872\ N^2}$$

لا تجر التقريب إلى $1800N^2$

$$43\ N$$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions, Ratios, Rates, and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبّر الكسر أيضًا عن النسبة.

ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكليّ}}$$

التبسيط من السهل أحيانًا تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وغالبًا تُختصر المتغيرات من التعبير الرياضي.

مثال: بسّط $\frac{pn}{pw}$

افصل المتغير P في البسط والمقام، وجزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين.

$$\left(\frac{pn}{pw}\right) = \left(\frac{p}{p}\right)\left(\frac{n}{w}\right)$$

بالتعويض عن $\left(\frac{p}{p}\right) = 1$

$$= (1)\left(\frac{n}{w}\right)$$

$$\frac{n}{w}$$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم الممثلة للبسط، واضرب القيم الممثلة للمقام.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ في الكسر $\frac{t}{b}$.

نفّذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام

$$\left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{t}{b}\right) = \frac{st}{ab}$$

ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر. اعكس الكسر بحيث يحل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ على الكسر $\frac{t}{b}$.

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني.

$$\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{b}{t}\right)$$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام.

$$= \frac{sb}{at}$$

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه. ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما واستعمل بعد ذلك المقام المشترك.

مثال: أوجد حاصل جمع $\frac{1}{a}$ و $\frac{2}{b}$.

اضرب كلًّا كسر في كسر يساوي 1.

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a}\right)\left(\frac{b}{b}\right) + \left(\frac{2}{b}\right)\left(\frac{a}{a}\right)$$

اضرب كلًّا من قيم البسط وكلًّا من قيم المقام.

$$= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$$

اكتب كسرًا مفردًا مقامه المقام المشترك.

$$= \frac{b+2a}{ab}$$

مسائل تدريبية

4. نفّذ العمليات التالية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.

a. $\frac{y}{3} + \frac{1}{x}$ c. $(\frac{1}{y})(\frac{3}{x})$

b. $\frac{3}{b} - \frac{a}{2b}$ d. $\frac{1}{2} \div \frac{2a}{5}$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة للعددين 2 ، 3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 2:3 أو $\frac{2}{3}$

المعدّلات Rates ,

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 ساعة كمعدل وحدة.

$98km$ في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة $\frac{98km}{2.0h}$

جزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات

بسّط الكسر العددي

$$\frac{98km}{2.0h} = (\frac{98}{2.0})(\frac{km}{h})$$
$$= (49)(\frac{km}{h})$$
$$= 49 \text{ km per h أو } \text{km/h}$$

التناسبات Proportions التناسب عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d} = \frac{c}{b}$ ، بشرط أن b ، d لا تساويان صفر. تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيرًا واحدًا. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل التناسب $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ بالنسبة للمتغير a.

بإجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$

اكتب المعادلة الناتجة من الضرب التبادلي $ad = bc$

حل المعادلة بالنسبة للمتغير a $a = \frac{bc}{d}$

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات التالية:

a. $\frac{2}{3} = \frac{4}{x}$ c. $\frac{s}{16} = \frac{36}{12}$

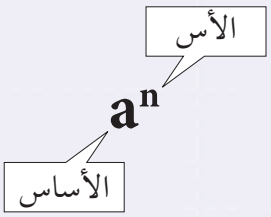
b. $\frac{n}{75} = \frac{13}{15}$ d. $\frac{7.5}{w} = \frac{2.5}{5.0}$

IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي. كما في الحد a^n، فيمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.

ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير.

فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\dots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10.000$$

$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} \qquad 2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2}$$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)\,(a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)\,(3)} = 3$

تتضمن الإجابة صفرًا عن اليمين من الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)\,(8.0)} = 8.0$

ضع صفرين عن اليمين من إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية. $\sqrt{38.44} = 6.200$

قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

6. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ c. $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ d. $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ b. $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ b. $\frac{1}{\sqrt{a}}$

IV. إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$a^m / a^n = a^{m-n}$$

القوة مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة التالية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد ناتج القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

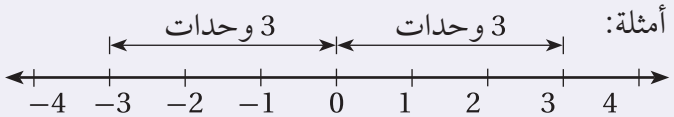
a. $x^2\, t / x^3$ b. $\sqrt{t^3}$ c. $(d^2n)^2$ d. $x^2\sqrt{x}$

10. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

IV. القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة $|n|$، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

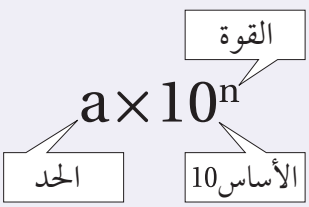


$|3| = 3$

$|-3| = 3$

V. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a\times10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m^3 وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح؛ فقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستعمال الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كان القوة موجبة).

وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a ، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأس كما في $2.4 \text{ e+11} = 2.4 \times 10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 لدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية

$2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238{,}900$

الأرقام الصغيرة: استخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 b. 0.000020

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} b. 9.7×10^{10}

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0\times10^{-8})\ (1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\ (10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10 بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8) \times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5)+ (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48) \times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعابير التالية، عبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(4.0\times10^8)\ (5.2\times10^{-4})$ b. $(2.4\times10^3) + (8.0\times10^4)$

المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، وتسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها.

اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.
2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.
3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.
4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

الخطوة 1 ترتيب العمليات $4+3\ (4-1)-2^3 = 4+3\ (3)-2^3$

الخطوة 2 ترتيب العمليات $=4+3\ (3)-8$

الخطوة 3 ترتيب العمليات $=4+9-8$

الخطوة 4 ترتيب العمليات $= 5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$a(b+c) = ab+ac$ $\qquad$ $a(b-c) = ab-ac$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعابير الآتية:

$$3(x+2) = 3x + (3)(2)$$
$$= 3x + 6$$

خصائص الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x-3=7$ مستعملًا خاصية الجمع

$$x-3 = 7$$
$$x-3+3 = 7+3$$
$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t+2 = -5$$
$$t+2-2 = -5-2$$
$$t = -7$$

خصائص الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$ac = bc$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}a = 3$$
$$\left(\frac{1}{4}a\right)(4) = 3(4)$$
$$a = 12$$

مثال: حل المعادلة $6n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6n = 8$$
$$\frac{18}{6} = \frac{6n}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2t + 8 = 5t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$2t + 8 = 5t - 4$$
$$8 + 4 = 5t - 2t$$
$$12 = 3t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating aVariable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير- وذلك لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير- اكتب المعادلة المكافئة بحيث يتضمن كل طرف متغير ذا معامل 1.

الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على v
$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $(\frac{V}{V})$
$$P(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$
$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3x = 17$
b. $x - 4 = 2 - 3x$
c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$
d. $a = \frac{b+x}{c}$
e. $6 = \frac{2x+3}{x}$
f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي

إذا كان كل من a ، n أعدادًا حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm \sqrt{n}$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة كليهما على m .

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2} = \pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه لأي متغير ستقوم عليه حل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضًا للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بوساطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًا.

إذا كانت $b = 0$ فإن الحد a غير موجود في المعادلة التربيعية. يمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى من خلال المعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. عادة من الممكن إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$.

يسقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 5.02 m خلال 5.00s . أوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5\ m)}{(5.00\ s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

$$a = \frac{1.64\ m}{s^2}$$ أو $1.64\ m/s^2$.

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0\, \Delta t$.

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0\, \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67 m}{s}\left(\frac{5.0\ min}{1}\right)\left(\frac{60 s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

$$\Delta x = 20100\ m = 2.0 \times 10^4\ m$$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين، والعددان 60 s و 1 min متساويان، لذلك لن يؤثرا في حساب الأرقام المعنوية.

مسائل تدريبية

16. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times10^2\ \text{m}}{16\ \text{m/s}}$

17. احسب سرعة قطعة قرميد ساقطة بعد مضي زمن 5.0 s ، استعمل

$v = a\,\Delta t$ و $a = -9.80\ \text{m/s}^2$.

18. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)\left(\frac{60\ \text{min}}{1\text{h}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)\left(\frac{32\ \text{cm}}{1\text{s}}\right)$

19. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم تسجيل المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}\,at^2$ وحدتها m

d_i	تقاس بوحدة m
t	تقاس بوحدة s
v_i	تقاس بوحدة m/s
a	تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير $d_f = m + (\frac{m}{s})(s) + \frac{1}{2}(\frac{m}{s^2})(s)^2$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية $= m + (m)(\frac{s}{s}) + \frac{1}{2}(m)(\frac{s^2}{s^2})$

بالتعويض عن $s/s = 1$، $s^2/s^2 = 1$ $= m + (m)(1) + \frac{1}{2}(m)(1)$

بسّط جميع الحدود للحد m لذلك فإن d_f بوحدة m $= m + m + \frac{1}{2}\,m$

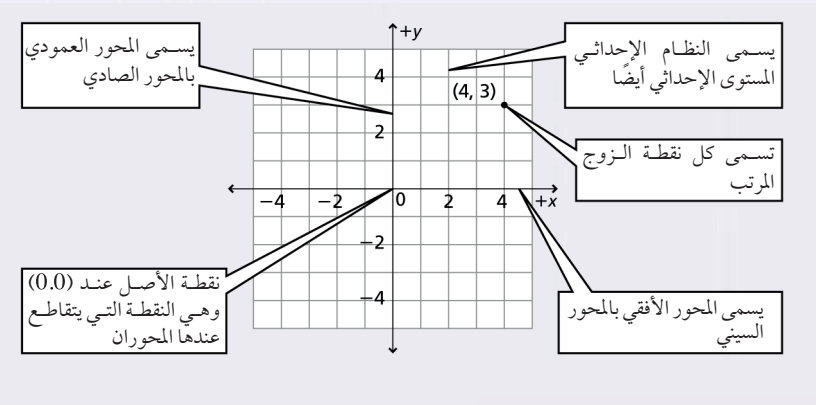
لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

VII. 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) يسميان أيضًا الزوج المرتب.

تَرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0،0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.

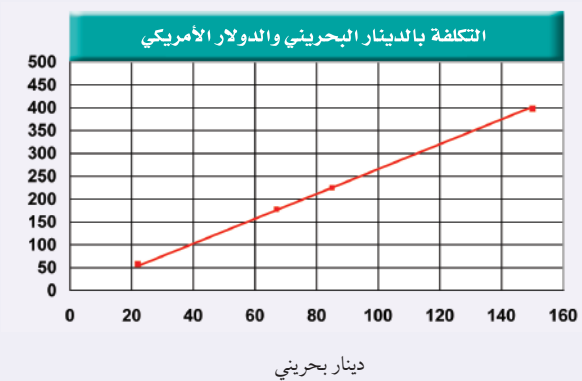


استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًّا.
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 منحنى بيانيًّا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًّا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.

نوع الخدمة	دينار	دولار
الفندق (الإقامة)	150	398
الوجبات	85	225
الترفيه	67	178
المواصلات	22	58

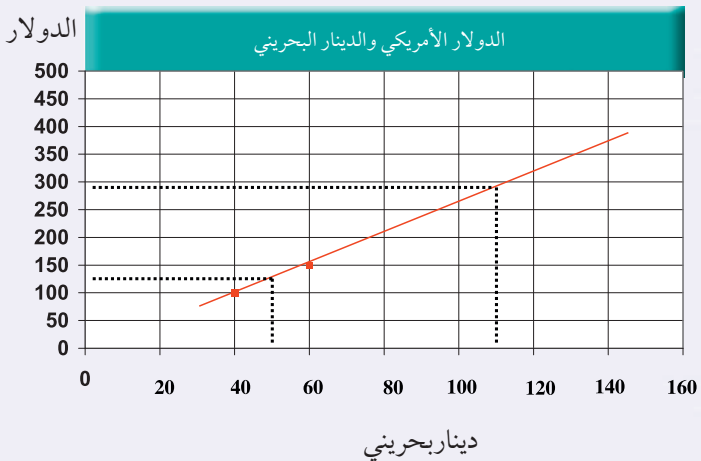


الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل 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 استعمل 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 (50 دينارًا) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال2: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 دينار.

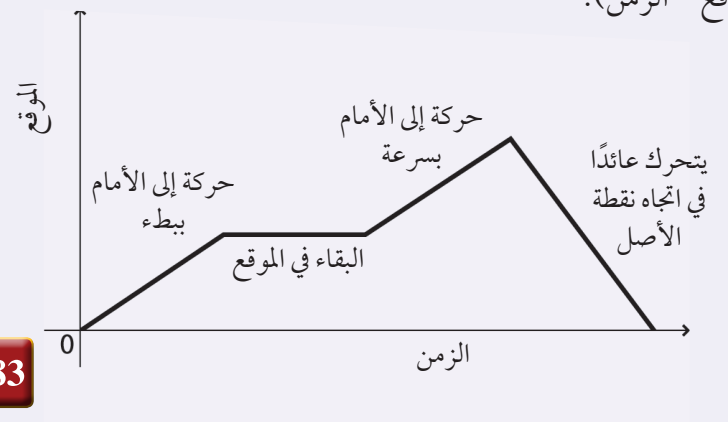
ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 دينار) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال (1)، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graphs

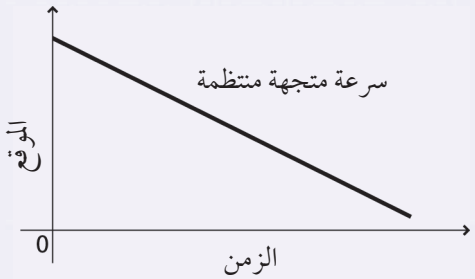
يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين، وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة. تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

أ – يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).



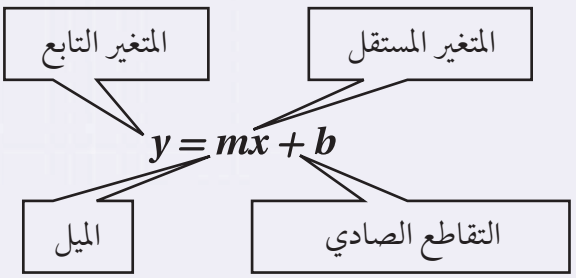
ب - يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع - الزمن)



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.



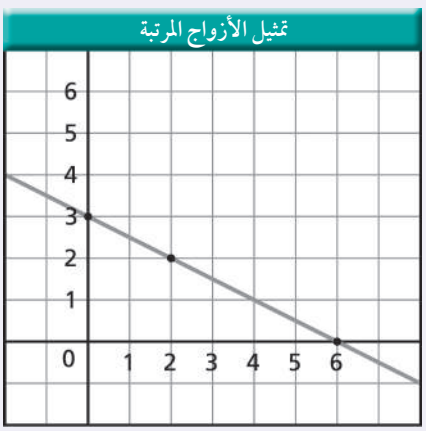
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين $(y \text{ ، } x)$، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

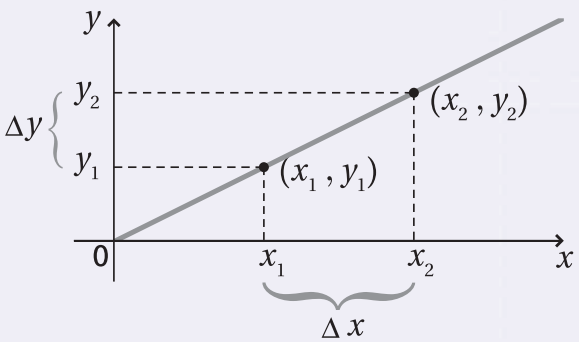
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



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 بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين (x_1 , y_1) ، (x_2 , y_2)، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم جد 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. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة قوة الاسترداد للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ قوة استرداد النابض، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير قوة استرداد النابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد قوة استرداد النابض عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

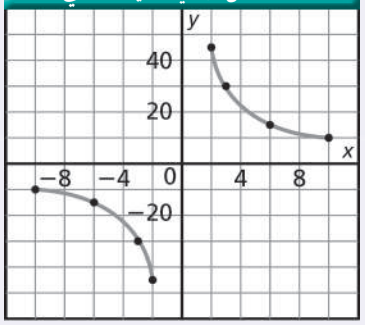
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\ \frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

التمثيل البياني للتغير العكسي



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء 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 يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

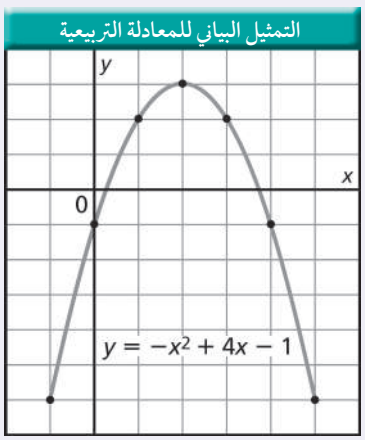
$$y = ax^2 + bx + c$$

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.

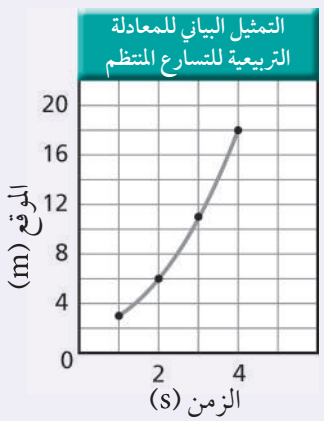
مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$

الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء 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



VIII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

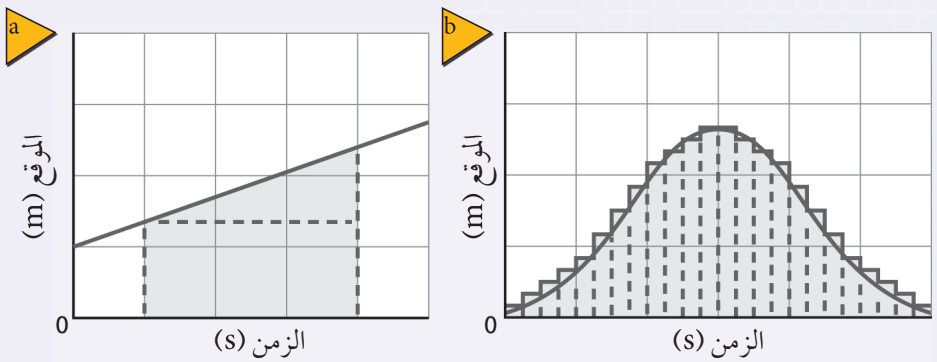
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	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			$SA=2\pi rh+2\pi r^2$	$V=\pi r^2h$
الكرة نصف القطر r			$SA=4\pi r^2$	$V=(\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

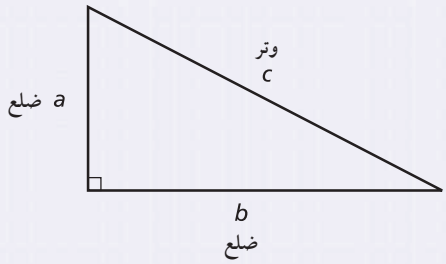
لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق، لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى: مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة 1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

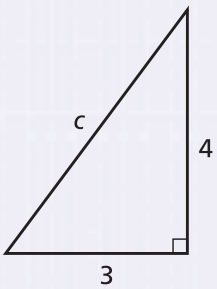
المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من a، b يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

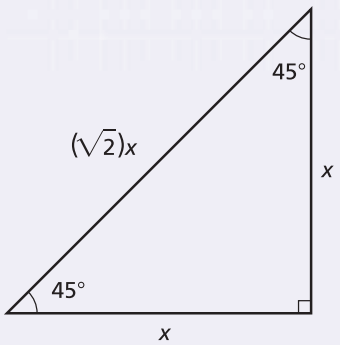
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر C في المثلث حيث $a = 4\ cm$ و $b = 3\ cm$

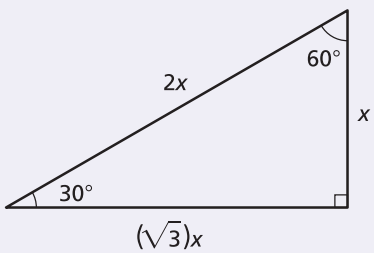


$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$
$$= \sqrt{(4\ cm)^2 + (3\ cm)^2}$$
$$= \sqrt{16\ cm^2 + 9\ cm^2}$$
$$= \sqrt{25\ cm^2}$$
$$= 5\ cm$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية ˚45 ،˚45، ˚90 فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية ˚90، ˚60، ˚30 فإن طول الوتر يساوي ضعفي طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مرة من طول الضلع الأصغر.



النسب المثلثية Trigonometric Ratios

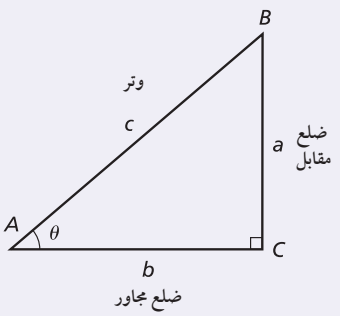
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin\theta$، والجتا $\cos\theta$ والظل $\tan\theta$. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات التالية SOH–CAH–TOA. تشير SOH إلى جيب ، مقابل الوتر، وتشير CAH إلى جيب تمام، مجاور الوتر وتشير TOA إلى ظل تمام، مقابل المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC. إذا كانت $a = 3\text{ cm}$ ، $b = 4\text{ cm}$ ، $c = 5\text{ cm}$ ، فأوجد كلًّا من $\cos\theta$ و $\sin\theta$

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0^\circ$ ، $c = 20.0\text{ cm}$، فأوجد a و b .

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

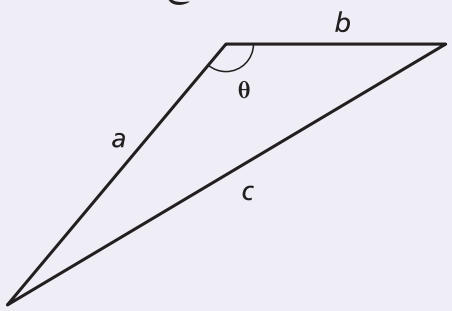
يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام: يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس. إلا الحد الأخير، تمثل θ الزاوية المقابلة للضلع C. فإذا كان قياس الزاوية $\theta = 90^\circ$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفرًا.

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا (هـ) عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0\text{ cm}$ ، $b = 12.0\text{ cm}$ ، $\theta = 110.0°$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\text{ cm})^2 + (12.0\text{ cm})^2 - 2(10.0\text{ cm})(12.0\text{ cm})(\cos 110.0°)}$$

$$= \sqrt{1.00 \times 10^2\text{ cm}^2 + 144\text{ cm}^2 - (60.0\text{ cm}^2)(\cos 110.0°)}$$

$$= 16.3\text{ cm}$$

قانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب، حيث a ،b ،c الأضلاع المقابلة للزوايا A ،B ،C بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

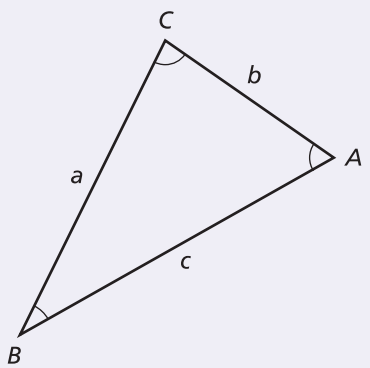
مثال: في المثلث ABC إذا كان $C = 60.0°$ ، $a = 4.0\text{ cm}$ ، $c = 4.6\text{ cm}$، احسب قياس الزاوية A.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a\sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0\text{ cm})(\sin 60.0°)}{4.6\text{ cm}}$$

$$= 49°$$



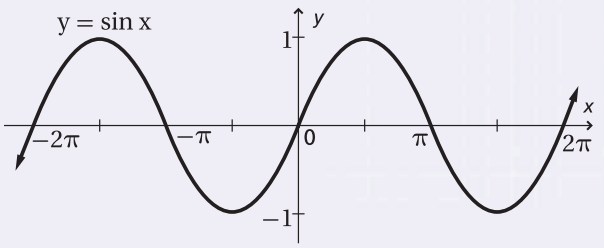
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

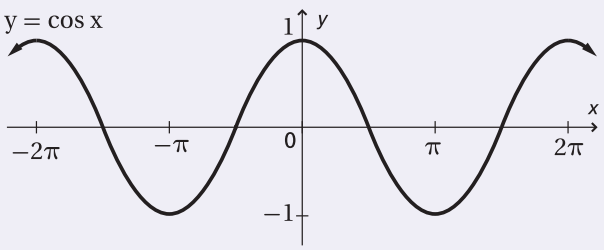
إن معكوس كل من الجيب، جيب التمام، وظل التمام يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية، والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس	
$y = \sin x$	$y = \sin^{-1} x$	أو معكوس $y = \sin x$
$y = \cos x$	$y = \cos^{-1} x$	أو معكوس $y = \cos x$
$y = \tan x$	$y = \tan^{-1} x$	أو معكوس $y = \tan x$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. وفترة كل اقتران يمكن أن تكون كل من x ، y أي عدد حقيقي.





اللوغاريتميات Logarithms

افترض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = by$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b عدد أسي يرفع للعدد b للحصول على x.

$\log_b x = y$ إذا وفقط إذا $b^y = x$

أمثلة: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات التالية:

لأن $2^{-4} = \frac{1}{16}$ $\log_2 \frac{1}{16} = -4$

لأن $10^3 = 1000$ $\log_{10} 1000 = 3$

عندما تريد إيجاد لوغاريتم عددٍ ما يمكنك استعمال الآلة الحاسبة.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون اللوغاريتمات للعمل بقياسات تمتد إلى مقادير متعددة القيمة أو القوة للعدد 10، ويستعمل الجيوفيزيائيون مقياس ريختر وهو مقياس لوغاريتمي يوفر لهم القدرة على تقدير معدل الزلازل من 5 إلى 7 أو أكبر، وتختلف قوة الزلازل بمقدار 7 أو بقوى أكبر للأساس 10.

اللوغاريتمات الطبيعية Common Logarithms

تسمى اللوغاريتمات للأساس 10 اللوغاريتمات الطبيعية، وتكتب غالبًا بدون الرقم الدليل 10.

$$\log_{10} x = \log x \quad x > 0$$

المقابلات اللوغاريتمية أو معكوس اللوغاريتمات Antilogarithms or Inverse Logarithms

المقابل اللوغاريتمي هو معكوس اللوغاريتم، ويمثل العدد الذي له لوغاريتم.

مثال: حل $\log x = 4$ بالنسبة للمتغير x

$$\log x = 4$$

10^4 هي المقابل اللوغاريتمي للعدد 4 $\quad x = 10^4$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة درجة الصوت L، بوحدة الديسبل، هي $L = 10 \log_{10} R$. حيث R الشدة النسبية للصوت. احسب R لشوكة رنانة تصدر شدة صوت مقدارها 130 ديسيبل.

قسّم طرفي المعادلة على العدد 10 $\quad 130 = 10 \log_{10} R$

استعمل قاعدة اللوغاريتم $\quad 13 = \log_{10} R$

$$R = 10^{13}$$

عندما تعلم قيمة اللوغاريتم لعدد وتريد معرفة العدد نفسه يمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد معكوس اللوغاريتم.

مسائل تدريبية

20. اكتب الصيغة الأسية للمعادلة $\log_3 81 = 4$

21. اكتب الصيغة اللوغاريتمية للمعادلة $10^{-3} = 0.001$

22. إذا كان $\log x = 3.125$، فأوجد قيمة x.

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}

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 الآخر عندما لا توجد حركة بينهما.

الإزاحة Velocity كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين.

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 1N في جسم خلال مسافة 1m في اتجاهها.

ح

الحركة الدائرية المنتظمة Uniform Circular Motion حركة جسم في مسار بسرعة ثابتة 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".

المصطلحات

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.

ط

الطاقة Energy قدرة الجسم على بذل الجهد.

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 شكله.

ع

العزم Torgue مقياس لمدى قابلية القوة على التدوير، وتساوي القوة مضروبة في طول ذراعها.

ق

القانون الأول لكبلر Kepler's First Law تتحرك الكواكب في مدارات إهليلجية، بحيث تقع 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.

المصطلحات

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 القوى.

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.

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.

المصطلحات

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.

و

الواط Watt وحدة القدرة W، وتساوي مقدار 1J من الطاقة المتحولة (المنقولة) في الثانية 1s.

التعليم
مستقبل البحرين

ارابيان امبريشنز
طباعة • نشر • تواصل
arabian impressions
PRINT • PUBLISH • COMMUNICATE