



الإمارات العربية المتحدة
وزارة التربية والتعليم



عام زايد
YEAR OF ZAYED

المتقدم

2018 - 2019

9



McGraw-Hill Education

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة

Mc
Graw
Hill
Education



McGraw-Hill Education

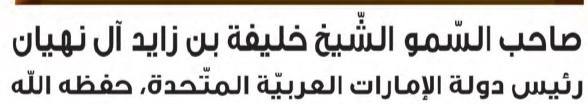
الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة

لصف 9 المتقدم

مجلد 2





”يجب التزوّد بالعلوم الحديثة والعارف الواسعة، والإقبال عليها بروح عالية ورغبة صادقة؛ حتى تتمكّن دولة الإمارات خلال الألفية الثالثة من تحقيق نقلة حضاريّة واسعة.“

- 1 مدخل إلى علم الفيزياء
- 2 تمثيل الحركة
- 3 الحركة المتسارعة
- 4 القوى في بُعد واحد
- 5 الإزاحة والقوة في بُعدين
- 6 الحركة في بُعدين
- 7 الجاذبية
- 8 الشغل والطاقة والآلات
- 9 الطاقة الحرارية
- 10 حالات المادة

تبدأ كل وحدة بتجربة استهلالية، وهي تحقيق مختبري تمهيدي مصمّم لتقديم المفاهيم التي تشتمل عليها تلك الوحدة. التجارب المصغرة تحقيقات قصيرة يمكنها تحسين فهمك لمحتوى الفيزياء. وستجد أيضًا مختبر فيزياء أو أكثر في كل وحدة يوفر فرصًا للمزيد من التحقيقات المتعمقة.

الوحدة

1

2	مدخل إلى علم الفيزياء
4	القسم 1 المنهج العلمي
10	القسم 2 الرياضيات والفيزياء
14	القسم 3 القياس
18	القسم 4 تمثيل البيانات بيانيًا
24	الرسوم المتحركة. الترفيه في الفيزياء

تجربة استهلالية الكتلة والأجسام الساقطة

تجارب مصغرة قياس التغير

إلى أي مدى تقريبًا؟

مختبر الفيزياء الدليل في الدم

الكتلة والحجم

استكشاف الأجسام المتحركة

جدول المحتويات

32	تمثيل الحركة
34	القسم 1 تصوير الحركة
37	القسم 2 الموقع والزمن
41	القسم 3 التمثيل البياني للحركة
46	القسم 4 السرعة
52	نظرة عن كتب هل لديك الزمن الكافي؟

الوحدة

2

تجربة استهلاكية سباق السيارات اللعبة
تجارب مصفرة نماذج للمتجهات
متجهات السرعة المتجهة
مختبر الفيزياء مخططات الحركة
السرعة الثابتة
قياس السرعة المتجهة

58	الحركة المتسارعة
60	القسم 1 التسارع
68	القسم 2 الحركة بتسارع ثابت
75	القسم 3 السقوط الحر
80	ألعاب الإثارة بمدينة الملاهي

الوحدة

3

تجربة استهلاكية الرسم البياني للحركة
تجارب مصفرة سباق الكرة الفولاذية
السقوط الحر
مختبر الفيزياء التسارع
حركة الكرة المقذوفة
قياس التسارع
تسارع السقوط الحر



88	القوى في بُعد واحد
90	القسم 1 القوة والحركة
100	القسم 2 الوزن والقوة المعيقة
106	القسم 3 القانون الثالث لنيوتن
112	الحدود في الفيزياء

الوحدة 4

تجربة استهلاكية القوى في اتجاهين متضادين
تجارب مصفرة الكتلة والوزن
مظلة مقلوبة
مختبر الفيزياء القوى في المصعد
السرعة الحدية
قانون نيوتن الثالث

120	الإزاحة والقوة في بُعدين
122	القسم 1 المتجهات
130	القسم 2 الاحتكاك
136	القسم 3 القوة في بُعدين
142	المجازفة في العمل

الوحدة 5

تجربة استهلاكية جمع المتجهات
تجارب مصفرة قوة التوازن
القوى على سطح مائل
مختبر الفيزياء حادث صدم وهروب
معامل الاحتكاك
التزلج على منحدر
الاحتكاك على سطح مستو
القوى العمودية



150.	الحركة في بُعدين
152.	القسم 1 حركة المقذوف.
159.	القسم 2 الحركة الدائرية.
164.	القسم 3 السرعة المتجهة النسبية.
168.	نظرة عن كتب الحاجة إلى السرعة

الوحدة 6

تجربة استهلاكية حركة المقذوف
تجارب مصفرة كتلة المقذوف
مسار المقذوف
مختبر الفيزياء إجراء تحقيق
نشاط بلوغ الهدف
قوة الجذب المركزي
مناطق الإسناد المتحرك

176.	الجاذبية
178.	حركة الكواكب والجاذبية.
186.	استخدام قانون الجذب العام.
194.	نظرة عن كتب لا شيء يستطيع الإفلات

الوحدة 7

تجربة استهلاكية نمذجة حركة عطارد
تجارب مصفرة ماء عديم الوزن
الوزن في السقوط الحر
مختبر الفيزياء نمذجة المدارات
كيف يمكنك قياس الكتلة؟
كتلة القصور وكتلة الجاذبية



الوحدة

8

الشغل والطاقة والآلات

القسم 1 الشغل والطاقة

القسم 2 الآلات

الأطراف الاصطناعية

نظرة على كتب

تجربة استهلاكية الطاقة والسقوط

تجارب مصفرة قوة مؤثرة بزاوية

العجلة والمحور

مختبر الفيزياء صعود السلالم والقدرة

الرفع باستخدام البكرات

الوحدة

9

الطاقة الحرارية

القسم 1 درجة الحرارة والحرارة والطاقة الحرارية

القسم 2 تغيرات الحالة والديناميكا الحرارية

العمل في التناذج الفيزيائية وديناميكية المشاة

تجربة استهلاكية انتقال الطاقة الحرارية

تجارب مصفرة الانصهار

تحويل الطاقة

مختبر الفيزياء أجهزة تجميع الطاقة الشمسية

التسخين والتبريد

كم عدد السعرات الحرارية الموجودة؟

حرارة الانصهار

الوحدة 10

حالات المادة

- القسم 1 خصائص الموائع
- القسم 2 القوى داخل السوائل
- القسم 3 الموائع في حالات السكون والحركة
- القسم 4 الأجسام الصلبة
- المسار المنحني للقواعد! **كيف تعمل**

تجربة استهلاكية قياس الطفووة
تجارب مصغرة الضغط
القفازات

مختبر الفيزياء التبريد بالتبخير
تحت الضغط
قوة الطفو للماء
أول عالم في الطب الشرعي

الإزاحة والقوة في بُعدين

الفكرة الرئيسة يمكن وصف القوى في بُعدين باستخدام جمع المتجهات وتحليلها.

الأقسام

1 المتجهات

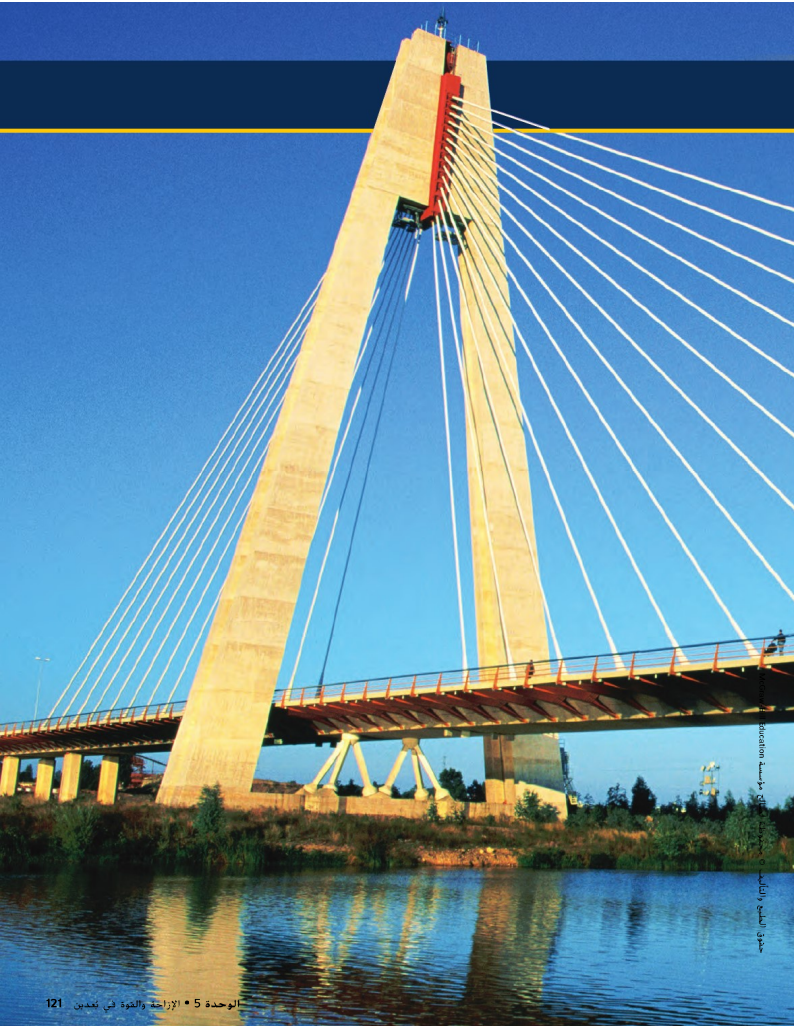
2 الاحتكاك

3 القوى في بُعدين

تجربة استهلاكية

جمع المتجهات

كيف يمكنك جمع متجهي قوة مقدارهما 2 N وإيجاد حاصل جمع مقداره 2 N ؟



جدار الطير والشمس
مركز المدينة
مركز المدينة

ربما لم يكن التسلق بأطراف أصابعك على بُعد مئات الأمتار من سطح الأرض فكرتك للمرح، ومع ذلك يستمتع كل عام ملايين من الناس برياضة تسلق الصخور. أثناء صعود المتسلقين، يؤثرون بقوة في اتجاهات مختلفة عديدة للتغلب على قوة الجاذبية التي تجذبهم لأسفل.

الفيزياء في حياتك



المتجهات في بُعدين

كيف يتشبث المتسلقون بالحواجز الصخرية؟ يوجد لدى المتسلق عادة أكثر من نقطة ارتكاز. يعني هذا أنه توجد قوى متعددة تؤثر فيه. نظرًا لأنه يتشبث بالشقوق الموجودة بين الصخور، فإن الصخور تؤثر فيه بقوة. يؤمنه أيضًا الحبل من الصخور، لذا توجد قوتا تماس تؤثران فيه. تسحب الجاذبية أيضًا. لذا توجد ثلاث قوى تؤثر في المتسلق. أحد جوانب هذه الحالة المختلفة عن الحالات الأخرى التي ربما تكون قد درستها من قبل هو أن القوى التي تؤثر بها الصخور في المتسلق لا تدفعه أو تسحبه في الاتجاه الأفقي أو الرأسى. نعرف من الدراسة السابقة أنه يمكنك اختيار النظام الإحداثي الخاص بك وتوجيهه بالطريقة الأكثر إفادة لتحليل الحالة. ولكن كيف يمكنك إعداد نظام إحداثي محصلة القوى عند التعامل مع أكثر من بُعد؟ وماذا يحدث عندما لا تكون القوى بزوايا قائمة مع بعضها؟

إعادة النظر في المتجهات لنبدأ بمراجعة متجهات القوة في بُعد واحد. فُكر في الحالة الواردة في الشكل 1 التي تدفع فيها أنت وصديقك طاولة مغنا. لنفترض أن كلا منكما يؤثر بقوة 40 N باتجاه اليسار. إذن مجموع القوتين 80 N باتجاه اليسار، وهذا ما كنت تتوقعه تقريبًا، ولكن كيف تحصل على مجموع متجهات هذه القوة؟ في المناقشات السابقة لجميع المتجهات في بعد واحد، عرفت أن المتجه الناتج دائمًا يمتد من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير. هل هذه القاعدة لا تزال تُطبق عندما لا تقع المتجهات في بعد واحد؟

الفكرة الرئيسية

يُمكن تحليل كل المتجهات إلى المركّبين x و y .

الأسئلة الرئيسية

- كيف تجمع المتجهات بيانًا؟
- ما مركبات المتجهات؟
- كيف تُجمع المتجهات جبريًا؟

مراجعة المفردات

المتجه vector كمية لها مقدار واتجاه

المفردات الجديدة

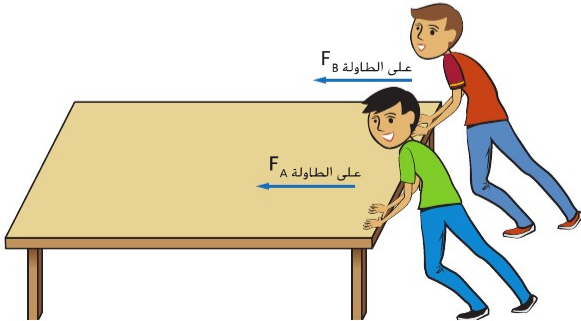
المركبات components

تحليل المتجهات vector resolution

الشكل 1 مجموع القوتين المؤثرتين 80N باتجاه اليسار.

$$F_B \text{ على الطاولة } A = F_B \text{ على الطاولة } B + F_A \text{ على الطاولة } A$$

$$80 \text{ N} = 40 \text{ N} + 40 \text{ N}$$



جمع متجهات في بُعدين حتى عندما لا تقع المتجهات على خط مستقيم، يرسم متجه المحصلة دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير. يمكنك استخدام منقلة ومسطرة لرسم المتجهات بالزوايا الصحيحة وقياس مقدار المتجه الناتج واتجاهه أيضًا. يوضح الشكل 2 كيفية جمع متجهين بيانيًا في بُعدين. لاحظ أنه عندما يتحرك المتجه B ، لا يتغير مقداره واتجاهه. هذا هو الحال دائمًا، لا تُغير طول المتجه أو اتجاهه عندما تحرك المتجه.

✓ **تأكد من فهمك** وضح عملية جمع المتجهات بيانيًا باستخدام منقلة ومسطرة.

المتجهات المتعامدة يمكنك أيضًا استخدام حساب المثلثات لتحديد طول المتجهات الناتجة واتجاهها. تذكر أنه يمكنك استخدام نظرية فيثاغورس لإيجاد أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. إذا كنت تجمع متجهين بزاوية قائمة معًا، مثل المتجه A باتجاه الشرق والمتجه B باتجاه الشمال الموضحين في الشكل 2، يمكنك استخدام نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المحصلة (R).

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

الزوايا غير القائمة إذا كنت تجمع متجهين بزاوية غير قائمة، كما في الشكل 3، يمكنك استخدام قانون الجيب أو قانون جيب التمام. يُفضل استخدام قانون الجيب عندما تعرف قياس زاويتين ومقدار اتجاه واحد. يفيد قانون جيب التمام بشكل خاص عندما تعرف متجهين وزاوية بينهما.

قانون الجيب

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

قانون جيب التمام

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

ماذا يحدث إذا طبقت قانون جيب التمام على مثلث فيه $\theta = 90^\circ$ ؟ لاحظ أن الشروط الثلاثة الأولى في قانون جيب التمام هي نفسها الشروط الثلاثة الموجودة في نظرية فيثاغورس. التعبير الأخير في قانون جيب التمام، $-2AB \cos \theta$ ، يساوي صفرًا إذا كانت $\theta = 90^\circ$ لأن $\cos(90^\circ) = 0$.

$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos 90^\circ$$

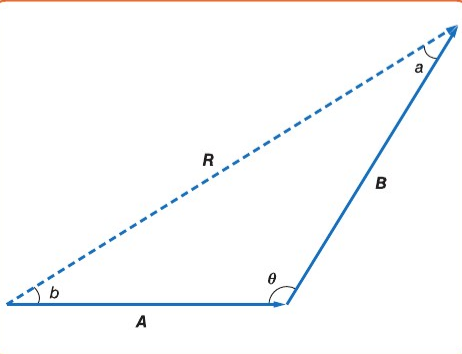
$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB(0)$$

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

إذا كانت $\theta = 90^\circ$ ، فإن المثلث قائم الزاوية وبالتالي يؤول قانون جيب التمام إلى نظرية فيثاغورس.

الشكل 2 عند جمع متجهات في بُعدين، اتبع نفس عملية جمع المتجهات في بُعد واحد: صل رؤوس المتجهات بذيلها ثم صل ذيل المتجه الأول برأس المتجه الأخير للحصول على المحصلة.

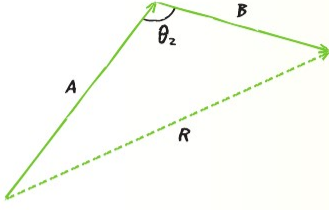
الشكل 3 إذا لم تكن المتجهات بزاوية قائمة، فلا تنطبق نظرية فيثاغورس. ولكن، استخدم قانون جيب التمام أو قانون الجيب مع المتغيرات كما هو موضح أدناه.



أوجد مقدار مجموع متجهين أوجد مقدار مجموع إزاحة تبلغ 15 km وإزاحة تبلغ 25 km عندما تكون زاوية θ بينهما تساوي 90° وعندما تكون زاوية θ بينهما تساوي 135° .

تحليل المسألة

• ارسم متجهي الإزاحة A و B والزاوية التي بينهما.



المعلوم
A = 25 km
B = 15 km
المجهول
R = ? $\theta = 90^\circ$ أو $\theta_2 = 135^\circ$

إيجاد المجهول

عندما تكون زاوية θ تساوي 90° . استخدم نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المتجه الناتج.

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

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

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

$$= 29 \text{ km}$$

▶ بالتعويض عن A = 25 km, B = 15 km

عندما تكون زاوية θ لا تساوي 90° . استخدم قانون جيب التمام لإيجاد مقدار المتجه الناتج.

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

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

$$\theta_2 = 135^\circ, B = 15 \text{ km}, A = 25 \text{ km} \quad \text{▶ بالتعويض عن } = \sqrt{(25 \text{ km})^2 + (15 \text{ km})^2 - 2(25 \text{ km})(15 \text{ km})(\cos 135^\circ)}$$

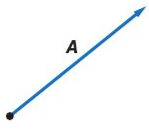
$$= 37 \text{ km}$$

تقييم الإجابة

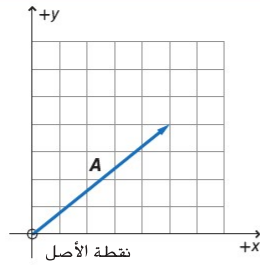
- هل الوحدات صحيحة؟ كل إجابة عبارة عن طول مقاس بالكيلو متر.
- هل الإشارات لها مدلول؟ الكميات موجبة.
- هل المقادير واقعية؟ من الرسم، يمكنك أن تعرف أن المحصلة ينبغي أن تكون أكبر من أي متجه؟

تطبيق

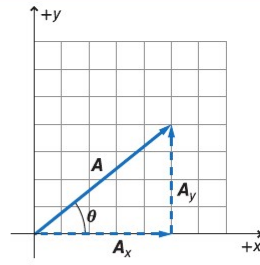
1. تسير سيارة 125.0 km غربًا ثم 65.0 km جنوبًا. ما مقدار إزاحتها؟ أوجد حل هذه المسألة بالرسم ورياضيًا وقارن إجاباتك ببعضها.
2. يمشي متسوقان من باب المركز التجاري إلى سيارتهما. قطعوا مسافة 250.0 m على طول ممر السيارات ثم اتجها يمينًا بزاوية 90° وقطعوا مسافة أخرى 60.0 m. كم تبعد سيارة المتسوقين عن باب المركز التجاري؟ أوجد حل هذه المسألة بالرسم ورياضيًا وقارن إجاباتك ببعضها.
3. يمشي مسافر 4.5 km في اتجاه واحد ثم يتجه يمينًا بزاوية 45° ويمشي 6.4 km أخرى. ما مقدار إزاحة المسافر؟
4. التحدي تمشي نملة على الرصيف. أولاً مسافة 5.0 cm جنوبًا، ثم تتجه إلى الجنوب الغربي وتمشي 4.0 cm. ما مقدار إزاحة النملة؟



يمكنك أن تضع المتجه على أي نظام إحداثي طالما ظل اتجاه المتجه وطوله من دون تغيير.



يمكن تدوير النظام الإحداثي حتى يسهل حل المسألة.



إذا جمعت مركبات متجه مع بعضها، فإنها تكون المتجه الأصلي.

الشكل 4 وضع المتجه **A** على نظام إحداثي. لاحظ أن اتجاه **A** يُعكس اتجاه عقارب الساعة من محور **x** الموجب.

صف متجهًا يساوي مركب **y** الخاص به صفرًا.

مركبات المتجهات

ما اتجاه المتجه المرسوم في الصورة اليسرى الموضحة في **الشكل 4**؟ لا يشير المتجه مباشرة إلى الأعلى أو اليسار، ولكن إلى نقطة ما بينهما. لتحديد الاتجاه الصحيح، يجب أن نختار نظامًا إحداثيًا. هذا النظام الإحداثي، مثل النظام المرسوم في الصورة الوسطى الموضحة في **الشكل 4**، يشبه وضع شبكة مرسومة على ورقة من البلاستيك الشفاف أعلى مسألة متجهات. نختار النقطة التي نضع فيها مركز الشبكة (نقطة الأصل) ونحدد الاتجاهات التي تشير إليها المحاور. لاحظ أن المحور **x** مرسوم من نقطة الأصل بسهم يشير إلى الاتجاه الموجب. يقع المحور **y** الموجب على بُعد 90° من المحور **x** الموجب ويقطع المحور **x** في نقطة الأصل.

كيف نختار اتجاه المحور **x**؟ لا توجد إجابة واحدة صحيحة، ولكن بعض الاختيارات تجعل حل المسألة أسهل مقارنة بغيرها. عندما تقتصر الحركة التي تصفها على سطح الأرض، فمن المناسب غالبًا أن تجعل المحور **x** باتجاه الشرق والمحور **y** باتجاه الشمال. إذا كانت الحركة على منحدر، فمن المناسب أن تضع المحور **x** الموجب باتجاه الحركة الموازية لسطح المنحدر.

متجهات المركبات يتيح لك تحديد نظام إحداثي وصف متجه بطريقة مفيدة للغاية. المتجه **A** المرسوم في الصورة اليمنى الموضحة في **الشكل 4**، على سبيل المثال، يمكن وصفه الآن بأنه انتقل 5 وحدات في اتجاه **x** الموجب و4 وحدات في اتجاه **y** الموجب. يمكنك تمثيل هذه المعلومات في شكل متجهين مثل المتجهين A_x و A_y الموضحين في الرسم. لاحظ أن A_x يوازي المحور **x** و A_y يوازي المحور **y**. بالإضافة إلى ذلك، يمكنك أن تعرف أنه إذا جمعت A_x و A_y ، فإن المحصلة ستكون المتجه الأصلي، **A**. يمكن تقسيم المتجه إلى **مركباته** وهي متجه مواز للمحور **x** ومتجه آخر مواز للمحور **y**. يمكن إجراء هذا دائمًا، وتُعد معادلة المتجهات التالية صحيحة دائمًا.

$$A = A_x + A_y$$

تُسمى عملية تقسيم المتجه إلى مركباته هذه أحيانًا **تحليل المتجه**. لاحظ أن المتجه الأصلي هو وتر مثلث قائم الزاوية. يعني هذا أن مقدار المتجه الأصلي سيكون دائمًا أكبر من أو يساوي مقدار أي مركبة.

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

المركبات

• الاستخدام العلمي

إسقاطات للمتجهات على المحور **x** والمحور **y**

المتجه هو المجموع الجبري لمركباته.

• الاستخدام العام

جزء أو عنصر مكون

تعطلت بعض مكونات الكمبيوتر الإلكترونية

أثناء التدفق المفاجئ للتيار.

الاتجاه في الأنظمة الإحداثية في مسألة من مسائل القوى في بعدين، ينبغي أن تحدد بدقة نظامك الإحداثي لأن اتجاه أي متجه سيحدد بالنسبة إلى هذه الإحداثيات. نعرّف اتجاه المتجه بالزاوية التي يكوّنها المتجه مع المحور x ، التي تُقاس عكس اتجاه عقارب الساعة من المحور x الموجب. في الشكل 5، تمثل زاوية (θ) اتجاه المتجه (A) . لا تتطلب جميع الحسابات الجبرية إلا مركبات المتجهات وليست المتجهات نفسها. بالإضافة إلى قياس أطوال متجهات المركبات بيانيًا، يمكنك إيجاد المركبات باستخدام حساب المثلثات. نحسب المركبات باستخدام المعادلات التالية.

$$\cos \theta = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{A_x}{A}; \text{ بما أن } A_x = A \cos \theta$$

$$\sin \theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{A_y}{A}; \text{ وبالتالي } A_y = A \sin \theta$$

عندما تكون الزاوية التي يكوّنها المتجه مع المحور x أكبر من 90° ، تصبح إشارة مركبة واحدة أو أكثر سالبة، كما هو مرسوم أعلى النظام الإحداثي الموضح في الشكل 5.

✓ **تأكد من فهمك** اشرح كيف ينبغي قياس اتجاه المتجه.

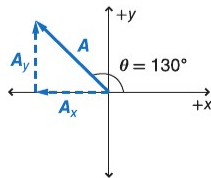
الشكل 5 ينقسم المستوى الإحداثي إلى أربعة أرباع. ستكون مركبات المتجهات موجبة أو سالبة حسب ربع المتجه.

صتّف هل مركبات المتجه الذي يكون زاوية 280° موجبة أم سالبة، في أي ربع يقع المتجه؟

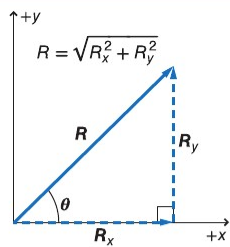
■ النظام الإحداثي



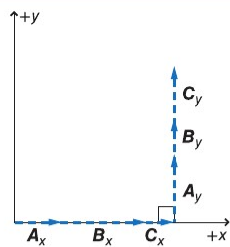
مثال :



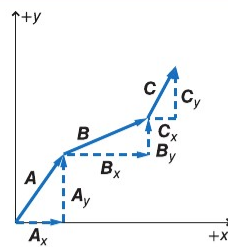
- A موجود في الربع الثاني
- توفّع أن تكون A_x قيمة سالبة
- $A_x = A \cos \theta = (5.0 \text{ N}) \cos 130^\circ = -3.2 \text{ N}$
- توفّع أن تكون A_y قيمة موجبة
- $A_y = A \sin \theta = (5.0 \text{ N}) \sin 130^\circ = 3.8 \text{ N}$



يمكن حساب المتجه الناتج R باستخدام نظرية فيثاغورس.



اجمع مركبات المحور x مع بعضها ومركبات المحور y مع بعضها.



اجمع المتجهات بيانياً بوضعها بطريقة متتالية.

الشكل 6 مجموع المتجهات A و B و C هو مجموع المتجه الناتج R_x و R_y .

جمع المتجهات جبرياً

ربما تتساءل عن السبب الذي يجعلك تحلل المتجهات إلى مركباتها. يوضح الشكل 6 كيف يجعل تحليل المتجهات إلى مركبات جمع المركبات مع بعضها أكثر سهولة. يمكن جمع متجهين أو أكثر (A و B و C وما إلى ذلك) بتحليل كل متجه أولاً إلى مركبات x و y الخاصة به. تجمع مركبات x لتكوين مركب x الخاص بالناتج:

$$R_x = A_x + B_x + C_x.$$

وبالمثل. تجمع مركبات y لتكوين مركب y الخاص بالناتج:

$$R_y = A_y + B_y + C_y.$$

نظراً لأن متجه الناتج R_x و R_y في مثلث قائم الزاوية (90°)، يمكنك حساب مقدار المتجه الناتج باستخدام نظرية فيثاغورس.

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

لمعرفة اتجاه المتجه الناتج، تذكر أن الزاوية التي يكونها المتجه مع المحور x تمثلها المعادلة التالية.

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

يمكنك معرفة الزاوية باستخدام مفتاح $\tan^{-1}$ على الآلة الحاسبة. لاحظ أنه عندما تكون $\theta > 0$ ، تعطي معظم الآلات الحاسبة الزاوية بين 0° و 90° . عندما تكون $\theta < 0$ ، ستكون الزاوية المذكورة بين 0° و -90° .

حل المسائل

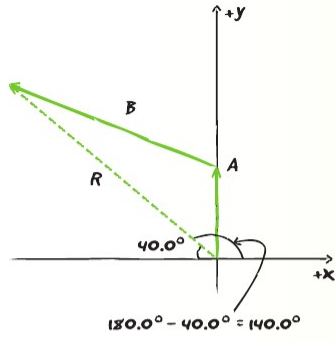
استراتيجيات

جمع المتجهات

استخدم الأسلوب التالي لحل المسائل التي يجب فيها جمع المتجهات أو طرحها.

- اختر نظاماً إحداثياً.
- حلل المتجهات إلى مركبات x الخاصة بها باستخدام $A_x = A \cos \theta$ ومركبات y الخاصة بها باستخدام $A_y = A \sin \theta$. حيث إن θ هي الزاوية المقاسة عكس اتجاه عقارب الساعة من المحور x الموجب.
- اجمع متجهات المركبات أو اطرحها في اتجاه x .
- اجمع متجهات المركبات أو اطرحها في اتجاه y .
- استخدم نظرية فيثاغورس. $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$. لإيجاد مقدار المتجه الناتج.
- استخدم $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$ لإيجاد زاوية المتجه الناتج.

البحث عن طريق الرجوع أنت في سفر. يبعد معسكرك 15.0 km باتجاه شمال الغرب بزاوية 40.0° . يؤدي الطريق الوحيد عبر الغابات إلى الشمال مباشرة. إذا مشيت في هذا الطريق مسافة 5.0 km قبل أن تجد نفسك داخل حقل. فما مقدار المسافة التي يجب أن تمشيها للوصول إلى المعسكر وفي أي اتجاه ستمشي؟



تحليل المسألة

- ارسم المتجه الناتج R ، من موقعك الأصلي إلى معسكرك.
- ارسم A ، المتجه المعلوم وارسم B ، المتجه غير المعلوم.

المجهول
 $B = ?$

المعلوم
شمالاً $A = 5.0 \text{ km}$
 $R = 15.0 \text{ km}$ في الشمال الغربي
 $\theta = 140.0^\circ$

إيجاد المجهول

أوجد مركبات المتجه الناتج R .

$$R_x = R \cos \theta \\ = (15.0 \text{ km}) \cos 40^\circ \\ = 11.5 \text{ km}$$

$$R_y = R \sin \theta \\ = (15.0 \text{ km}) \sin 140.0^\circ \\ = 9.64 \text{ km}$$

نظرًا لأن A باتجاه الشمال، $A_x = 0.0 \text{ km}$ و $A_y = 5.0 \text{ km}$.
استخدم مركبات المتجه الناتج R وإيجاد مركبات B .

$$B_x = R_x - A_x \\ = 11.5 \text{ km} - 0.0 \text{ km} \\ = 11.5 \text{ km}$$

$$B_y = R_y - A_y \\ = 9.64 \text{ km} - 5.0 \text{ km} \\ = 4.6 \text{ km}$$

استخدم مركبات المتجه B لإيجاد مقدار المتجه B .

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}$$

$$\text{بالتعويض عن } B_x = 11.5 \text{ km}, B_y = 4.6 \text{ km} \\ \sqrt{(11.5 \text{ km})^2 + (4.6 \text{ km})^2} \\ = 12.4 \text{ km}$$

حدد موقع نهاية المتجه B في نقطة الأصل من النظام الإحداثي وارسم مركبات B_x و B_y . المتجه B في الربع الثاني. استخدم دالة الظل لإيجاد اتجاه المتجه B .

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B_y}{B_x}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{4.6 \text{ km}}{11.5 \text{ km}}\right) \\ = 22^\circ$$

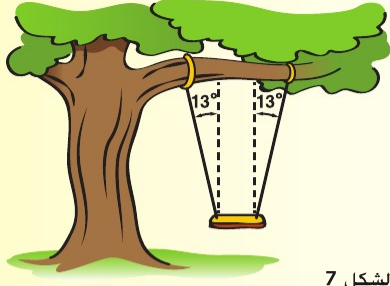
$$\text{بالتعويض عن } B_x = -11.5 \text{ km}, B_y = 4.6 \text{ km}$$

ظل الزاوية سالب في الربع الثاني والربع الرابع، لذا توجد إجابتان محتملتان.

بما أن B في الربع الثاني، يجب أن تكون θ المقاسة من المحور x الموجب 22° باتجاه شمال الغرب. لذا، $B = 12.4 \text{ km}$ عند 22° باتجاه شمال الغرب.

تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ الكيلو مترات والدرجات صحيحة.
- هل الإشارات لها مدلول؟ تتوافق مع الرسم.
- هل المقدار واقعي؟ ينبغي أن يكون طول B أطول من المتجه الناتج R_x لأن الزاوية بين A و B أكبر من 90° .



الشكل 7



الشكل 8

أوجد حل المسائل 5-10 جبريًا. يمكنك أيضًا حل بعضها بالرسم للتحقق من إجابتك.

5. يقطع قهقه مسافة 0.40 km في اتجاه بزاوية 60.0° باتجاه غرب الشمال ثم يقطع مسافة 0.50 km غربًا. كم تبلغ إزاحته؟

6. تقطع أولاً مسافة 8.0 km شمالاً من البيت ثم تمشي شرقاً حتى تكون إزاحتك من البيت 10.0 km. ما مقدار المسافة التي قطعها شرقاً؟

7. في نظام إحداثي يوجد فيه المحور x الموجب باتجاه الشرق. كم مجموعة من الزوايا على مركب x الموجب؟ كم مجموعة على المركب السالب؟

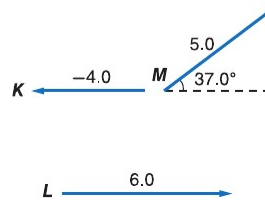
8. هل يمكن أن يكون المتجه أقصر من مركب من مركباته؟ هل يمكن أن يساوي المتجه مركبًا من مركباته في الطول؟ اشرح.

9. يوجد حبلان مربوطان في فرع شجرة لتعليق أرجوحة طفل كما هو موضح في الشكل 7. تبلغ قوة الشد في كل حبل 2.28 N. ما القوة المحصلة (بالمقدار والاتجاه) التي يؤثر بها الحبلان في الأرجوحة؟

10. **التحدي** يذهب فارس وهيثم إلى النوم في منزلهم المبنى على شجرة ويستخدمان بعض الحبال لسحب صندوق كتلته 3.20 kg يحتوي على الوسائد والأغطية الخاصة بهم. يقف الولدان على فروع مختلفة كما هو موضح في الشكل 8 ويسحبان الصندوق بالزوايا ذات القوى المحددة. أوجد مركبات x و y لمحصلة القوة التي تؤثر في الصندوق. تلميح: ارسم مخطط لجسم حر لكي لا تهمل قوة.

القسم 1 مراجعة

11. الفكرة الرئيسة أوجد مركبات المتجه M الموضح في الشكل 9.



الشكل 9

12. مركبات المتجهات أوجد مركبات المتجهين K و L في الشكل 9.

13. مجموع المتجهات أوجد مجموع المتجهات الثلاثة الموضحة في الشكل 9.

14. طرح المتجهات اطرَح المتجه K من المتجه L الموضح في الشكل 9.

15. العمليات الإيدالية يقول علماء الرياضيات إن جميع المتجهات عملية إيدالية لأن ترتيب المتجهات المضافة غير مهم.

a. استخدم متجهات من الشكل 9 لتثبت بيانًا أن $M + L = L + M$.

b. ما العملية الحسابية العادية (الجمع والطرح والضرب والقسمة) التي تُعد إيدالية؟ ما العملية غير الإيدالية؟ أعطِ مثالاً لكل عملية لدعم استنتاجك.

16. المسافة والإزاحة هل المسافة التي تمشيها تساوي مقدار إزاحتك؟ أعطِ مثالاً يدعم استنتاجك.

17. **التفكير الناقد** تنزل صندوقًا من خلال إزاحة واحدة ثم من خلال إزاحة ثانية. مقدارًا الإزاحتين غير متساوي. هل يمكن أن يكون للإزاحتين اتجاهات تجعل الإزاحة المحصلة تساوي صفرًا؟ لنفترض أنك نقلت الصندوق من خلال ثلاث إزاحات غير متساوية المقدار. هل يمكن أن تساوي الإزاحة المحصلة صفرًا؟ ادعم استنتاجك برسم.

تخيل أنك تحاول ممارسة رياضة كرة السلة وأنت ترتدي جوارب بدلاً من أحذية رياضية. ستنزلق وتسقط في أنحاء ملعب كرة السلة. تساعد الأحذية على توفير القوى اللازمة لتغيير الاتجاهات تغييراً سريعاً أثناء الركض والتوقف في الملعب.

الفيزياء في حياتك

الاحتكاك الحركي والسكوني

ادفع كتابك على سطح المكتب. عندما تتوقف عن الدفع. سرعان ما يصبح الكتاب في حالة من السكون. أثرت قوة الاحتكاك الناشئة عن سطح المكتب على الكتاب فأكسبته تسارعاً بعكس اتجاه حركته. في دراستك السابقة. لم تكن تراعي الاحتكاك أثناء حل المسائل. على الرغم من وجود الاحتكاك من حولك.

أنواع الاحتكاك يوجد نوعان من الاحتكاك. عندما دفعت كتابك على سطح المكتب. تأثر الكتاب بنوع من الاحتكاك يؤثر في الأجسام المتحركة. تُعرف قوة الاحتكاك هذه باسم **الاحتكاك الحركي**. و يؤثر بها سطح على سطح آخر عندما يحدث احتكاك بين السطحين ناتج عن حركة أحد السطحين أو كليهما.

لفهم النوع الآخر من الاحتكاك. تخيل أنك تحاول دفع أريكة على سطح الأرضية كما هو موضح في يسار الشكل 10. تدفعها بقوة صغيرة. لكنها لا تتحرك. نظراً لعدم تسارعها. وبالرجوع لقوانين نيوتن فإن محصلة القوة المؤثرة في الأريكة يجب أن تساوي صفراً. لذا لا بد من أن هناك قوة أفقية ثانية تؤثر في الأريكة. قوة تكون معاكسة للقوة التي تؤثر بها في الاتجاه ومساوية لها في المقدار. تُعرف هذه القوة باسم **الاحتكاك السكوني**. الذي يمثل القوة المؤثرة على أحد الأسطح من سطح آخر في حالة عدم وجود حركة بين السطحين. يجب أن تدفع بقوة كبيرة.

إذا كانت الأريكة لا تزال ساكنة. فذلك يعني أن قوة الاحتكاك السكوني تزداد بزيادة القوة التي تؤثر بها على الأريكة. وأخيراً عندما تدفع بقوة كبر بحيث تبدأ الأريكة في التحرك الأريكة في التحرك كما هو موضح في يمين الشكل 10. يوجد حد أقصى لمقدار قوة الاحتكاك السكوني يمكنها أن تصل إليه. بمجرد أن تصبح القوة التي تطبقها أكبر من الحد الأقصى لهذا الاحتكاك السكوني. تبدأ الأريكة في التحرك ويبدأ الاحتكاك الحركي في التأثير فيها.



الفكرة الرئيسية

الاحتكاك عبارة عن قوة بين سطحين متلامسين.

الأسئلة الرئيسية

- ماذا يقصد بقوة الاحتكاك؟
- ما أوجه الاختلاف بين الاحتكاك السكوني والحركي؟

مراجعة المفردات

القوة **force** الدفع أو السحب الذي يمارس على جسم ما

المفردات الجديدة

الاحتكاك الحركي

kinetic friction

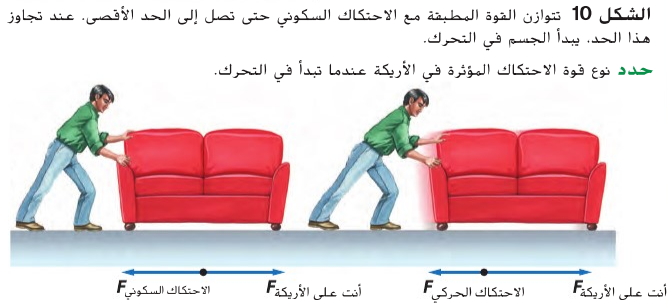
الاحتكاك السكوني static friction

معامل الاحتكاك الحركي

coefficient of kinetic friction

معامل الاحتكاك السكوني

coefficient of static friction



الشكل 10 تتوازن القوة المطبقة مع الاحتكاك السكوني حتى تصل إلى الحد الأقصى. عند تجاوز هذا الحد. يبدأ الجسم في التحرك.

حدد نوع قوة الاحتكاك المؤثرة في الأريكة عندما تبدأ في التحرك.

تتسارع حركة الأريكة عندما تتجاوز القوة المطبقة الحد الأقصى لقوة الاحتكاك السكوني. ليُحقق التوازن مع القوة المطبقة.



الشكل 11 يمارس الميزان الزنبركي قوة ثابتة على القالب.

نماذج رياضية تتناول قوى الاحتكاك ما الذي تعتمد عليه قوة الاحتكاك؟ تؤدي المواد التي تصنع منها الأسطح دورًا في ذلك. على سبيل المثال، يوجد احتكاك بين الأحذية التي ترتديها والأرضية الإسمنتية أكثر من الاحتكاك الموجود بين الجوارب التي ترتديها والأرضية الخشبية المصقولة. قد يبدو منطقيًا أن قوة الاحتكاك تعتمد على مساحة السطح أو السرعة التي تتحرك بها الأسطح بعيدًا عن بعضها. لكن أظهرت التجارب أن هذا غير صحيح. ومع ذلك، فالقوة المتعامدة الموجودة بين جسمين لها أهمية. كلما كان من الصعب دفع أحد الأجسام بعكس اتجاه الآخر، كانت قوة الاحتكاك الناتجة أكبر.

✓ **تأكد من فهمك** حدّد اثنين من العوامل المؤثرة في قوة الاحتكاك.

مختبر الفيزياء

حادث صدم و هروب

الفيزياء والطب كيف تتمكن من تحديد سرعة السيارة بواسطة فحص علامات الإطارات المتروكة في موقع الحادث؟

الاحتكاك الحركي تخيل أنك تسحب قالبًا ما على أحد الأسطح بسرعة ثابتة. نظرًا لعدم تسارع القالب، وفقًا لقوانين نيوتن، يجب أن تكون قوة الاحتكاك متساوية مع قوة السحب ومعاكسة لها في الاتجاه. يوضح الشكل 11 طريقة واحدة يمكنك من خلالها قياس القوة المبذولة أثناء سحب قالب معروف الكتلة على طاولة وبسرعة ثابتة. سيشير الميزان الزنبركي إلى القوة التي تطبقها على القالب. يمكنك بعد ذلك وضع قوالب إضافية أعلى القالب الأول لزيادة القوة المتعامدة وتكرار القياس. يوضح الجدول 1 نتائج هذه التجربة.

عند تمثيل البيانات نحصل على رسم بياني مماثل للرسم الموجود في الشكل 12. توجد علاقة طردية بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة المتعامدة. الخطوط المختلفة ناتجة عن سحب الجسم على أسطح مختلفة. لاحظ أن الخط البياني الخاص بسطح ورق الصنفرة ميله أكبر من الخط الخاص بالطاولة المصقولة تمامًا. تتوقع أن سحب قالب على ورق الصنفرة سيكون أصعب بكثير من سحبه على طاولة مصقولة. لذا يجب الربط بين زاوية الانحدار ومقدار قوة الاحتكاك الناتجة. يُطلق على ميل الخط البياني للعلاقة بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة المتعامدة، μ_k اسم **معامل الاحتكاك الحركي** يربط بين قوة الاحتكاك والقوة المتعامدة.

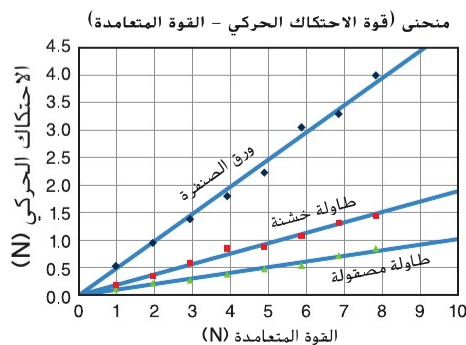
قوة الاحتكاك الحركي

قوة الاحتكاك الحركي تساوي ناتج ضرب معامل الاحتكاك الحركي في القوة المتعامدة.

$$F_k = \mu_k F_N$$

الشكل 12 يوضح المخطط البياني العلاقة بين الاحتكاك الحركي والقوة المتعامدة التي تؤثر على قالب يُسحب على أسطح مختلفة ويشير لوجود علاقة طردية بين القوتين في كل سطح. زاوية الانحدار للخط هي μ_k .

قارن بين معامل الاحتكاك الحركي للأسطح الثلاثة الموضحة على الرسم البياني.



الجدول 1 الاحتكاك الحركي مقابل القوة المتعامدة (ورق الصنفرة)

عدد القوالب	القوة المتعامدة (N)	الاحتكاك الحركي (N)
1	0.98	0.53
2	1.96	0.95
3	2.94	1.4
4	3.92	1.8
5	4.90	2.3
6	5.88	3.1
7	6.86	3.3
8	7.84	4.0

الفيزياء في

حياتك

•••••

أسباب الاحتكاك تكون جميع الأسطح، حتى التي تبدو ملساء، خشنة على المستوى المجهرى. إذا ألقيت نظرة على صورة فوتوغرافية لبلورة الجرافيت المكبرة بواسطة مجهر المسح النفقي، فستظهر تفرجات على سطح البلورة. عندما يحدث تلامس بين سطحين، تكون النقاط العليا في كل منهما متلامسة ومتلاصقة لفترة مؤقتة. يُمثل هذا المنشأ لكل من الاحتكاك السكوني والحركي. لا تزال تفاصيل هذه العمليات مجهولة وقيد البحث في كل من مجالي الفيزياء والهندسة.

الاحتكاك السكوني يرتبط الحد الأقصى لقوة الاحتكاك السكوني بالقوة المتعامدة بالطريقة نفسها التي تربط بها قوة الاحتكاك الحركي. تذكر أن قوة الاحتكاك السكوني تظهر كنتيجة للقوة التي تحاول تحريك جسم ساكن. إذا لم تؤثر أي قوة في ذلك الجسم، فستساوي قوة الاحتكاك السكوني صفراً. إذا كانت هناك قوة تحاول تحريك الجسم، فإن قوة الاحتكاك السكوني ستزداد حتى تصل إلى القيمة القصوى قبل أن تتلاشى ويبدأ الجسم في الحركة.

قوة الاحتكاك السكوني

تكون قوة الاحتكاك السكوني أقل أو تساوي ناتج ضرب معامل الاحتكاك السكوني في القوة المتعامدة.

$$F_s \leq \mu_s F_N$$

في معادلة الحد الأقصى لقوة الاحتكاك السكوني، يُمثل μ_s **معامل الاحتكاك**

السكوني بين سطحين. الحد الأقصى لقوة الاحتكاك السكوني التي يجب أن تتلاشى قبل بدء الحركة يساوي $\mu_s F_N$. في المثال الذي يتناول دفع الأريكة الموضحة في الشكل 10، يعمل الحد الأقصى لقوة الاحتكاك السكوني على تحقيق التوازن للقوة التي يدفع بها الشخص الأريكة في اللحظة السابقة لبدء حركة الأريكة. لاحظ أن معادلات قوى الاحتكاك الحركي والحد الأقصى لقوى الاحتكاك السكوني تتضمن مقادير القوى. قوى الاحتكاك (F_k) دائماً عمودية على القوة المتعامدة (F_N).

قياس معاملات الاحتكاك يوضح الجدول 2 معاملات الاحتكاك بين الأسطح المختلفة. تُعد هذه المعاملات تقديرات لتراكيب معينة من الأسطح. قياسات معاملات الاحتكاك حساسة جداً لحالات الأسطح. يمكن أن يكون لشوائب الأسطح، مثل الغبار أو وجود كميات ضئيلة من الزيت سقطت من أيدي القائمين بالتجارب، تأثير كبير في القياسات. ثمة حقيقة مهمة أخرى تتعلق بالجدول 2 وهي أن جميع القياسات تمت على أسطح جافة (فيما عدا الصلب المعالج بالزيت). تنصرف الأسطح الرطبة بشكل مختلف تماماً عن الأسطح الجافة. لا تنطبق العلاقة الطردية دائماً بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة المتعامدة على الأسطح الرطبة أو الأسطح المعالجة بالزيت. تفترض جميع المسائل الواردة في هذا النص أن الأسطح جافة ووجود علاقة طردية بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة المتعامدة.

معامل الاحتكاك

الأسطح	معامل الاحتكاك السكوني (μ_s)	معامل الاحتكاك الحركي (μ_k)
حديد زهر على حديد زهر	1.1	0.15
زجاج على زجاج	0.94	0.4
جلد على خشب بلوط	0.61	0.52
طبقة غير لاصقة على فولاذ	0.04	0.04
خشب بلوط على خشب بلوط	0.62	0.48
فولاذ على فولاذ	0.78	0.42
فولاذ على فولاذ (معالج بزيت خروج)	0.15	0.08

* تتم جميع القياسات على أسطح جافة ما لم يذكر خلاف ذلك.

مختبر الفيزياء

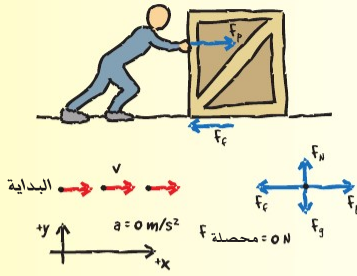
معامل الاحتكاك

كيف تُقاس معاملات الاحتكاك السكوني والحركي؟

قوى الاحتكاك المتزنة تدفع صندوقًا خشبيًا كتلته 25.0 kg على أرضية خشبية بسرعة ثابتة تبلغ 1.0 m/s. معامل الاحتكاك الحركي يساوي 0.20. ما مقدار قوة دفعك للصندوق؟

تحليل المسألة

- حدد القوى وأنشئ نظامًا إحداثيًا.
- ارسم رسمًا للحركة يوضح أن السرعة (v) الثابتة و $a = 0$.
- ارسم رسم الجسم الحر.



المجهول	المعلوم
F شخص على صندوق	$m = 25.0 \text{ kg}$
	$v = 1.0 \text{ m/s}$
	$\mu_k = 0.20$
	$a = 0.0 \text{ m/s}^2$

إيجاد المجهول

تكون القوة المتعامدة في اتجاه المحور y. ولا يتسارع الصندوق في ذلك الاتجاه.

$$F_N = -F_g$$

$$= -mg$$

$$g = -9.8 \text{ N/kg}, m = 25.0 \text{ kg} \quad \text{بتعويض}$$

$$= -(25.0 \text{ kg})(-9.8 \text{ N/kg})$$

$$= +245 \text{ N}$$

تكون قوة الدفع في اتجاه المحور x، وتكون v ثابتة، لذلك لا يتسارع الصندوق.

$$F_N = \mu_k F_N$$

$$= (245 \text{ N})(0.20)$$

$$= 49 \text{ N}$$

إلى اليمين $F = 49 \text{ N}$ شخص على صندوق

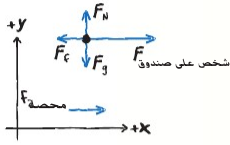
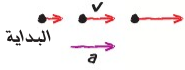
تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ تُقاس القوة بالنيوتن.
- هل الإشارة ذات مدلول؟ تتوافق الإشارة الموجبة مع الرسم التخطيطي.
- هل المقدار واقعي؟ تساوي قوة الدفع $\frac{1}{5}$ وزن الصندوق. يتوافق هذا مع $\mu_k = 0.20$.

تطبيق

- تؤثر مروة بقوة أفقية تبلغ 36 N وهي تسحب مزلجة وزنها 52 N على رصيف من الأسمنت بسرعة ثابتة. ما معامل الاحتكاك الحركي بين الرصيف الجانبي والمزلجة المعدنية؟ تجاهل مقاومة الهواء.
- يسحب حسن صندوقًا ممتلئًا بالكتب من مكتبه إلى سيارته. يبلغ إجمالي وزن كل من الصندوق والكتب 134 N. إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين الرصيف والصندوق يبلغ 0.55، فما مقدار القوة التي يجب أن يدفع حسن بها الصندوق في اتجاه أفقي لكي يبدأ في التحرك؟
- يجلس مروان على سجادة صغيرة موضوعة على أرضية خشبية مصقولة. يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين السجادة والأرضية الخشبية الزلقة 0.12 فقط. إذا كان مروان يزن 650 N، فما مقدار القوة الأفقية اللازمة لسحب السجادة ومروان على الأرضية بسرعة ثابتة؟
- التحدي تحتاج إلى أن تحرك أريكة كتلتها 105 kg إلى مكان مختلف في الغرفة. تحتاج إلى قوة تبلغ 403 N لكي تبدأ الأريكة في التحرك. ما معامل الاحتكاك السكوني بين الأريكة والسجادة؟

قوى الاحتكاك غير المتوازنة تختل أن مقدار القوة التي تطبقها على صندوق كتلته 25.0 kg في المسألة المذكورة في المثال 3 زادت لمثلي قيمتها.
a. ما التسارع الناتج المؤثر على الصندوق؟
b. ما المسافة التي ستدفع الصندوق إليها علمًا بأن الوقت المحدد يبلغ 3 s؟



تحليل المسألة

- ارسم رسمًا للحركة يوضح v و a .
- ارسم رسمًا للقوى المؤثرة مع مضاعفة شخص على صندوق F .

المعروف	المجهول
$m = 25.0 \text{ kg}$	$a = ?$
$v = 1.0 \text{ m/s}$	$\mu_k = 0.20$
$t = 3.0 \text{ s}$	$F_{\text{شخص على صندوق}} = 2(49 \text{ N}) = 98 \text{ N}$

إيجاد المجهول

a. القوة المتعامدة في اتجاه المحور y . ولا يتسارع الصندوق في ذلك الاتجاه.

$$F_N = -F_g \\ = -mg$$

يتسارع الصندوق في اتجاه المحور x . إذن يجب أن تكون القوى غير متساوية.

$$F_f - \text{شخص على صندوق} = F_{\text{محصلة}} F_f$$

$$ma = F_{\text{شخص على صندوق}} - F_f \quad \text{بتعويض } ma = F_{\text{محصلة}}.$$

$$a = \frac{F_{\text{شخص على صندوق}} - F_f}{m}$$

أوجد F_f وعوّض عنها بتعبير a .

$$F_f = \mu_k F_N$$

$$= \mu_k mg$$

$$\text{بتعويض } F_N = mg$$

$$a = \frac{F_{\text{شخص على صندوق}} - \mu_k mg - m}{m} \quad \text{بتعويض } F_f = \mu_k mg$$

$$\text{بتعويض } 98 \text{ N} = \text{شخص على صندوق}, \mu_k = 0.20, m = 25.0 \text{ kg}, g = 9.8 \text{ N/kg} \quad = \frac{98 \text{ N} - (0.20)(25.0 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})}{25.0 \text{ kg}}$$

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

b. استخدم العلاقة بين المسافة والزمن والتسارع الثابت.

$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\text{بتعويض } x_i = 0 \text{ m}$$

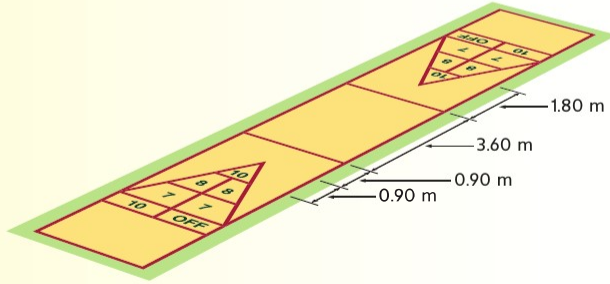
$$x_f = v_i t + \left(\frac{1}{2}\right) a t^2$$

$$\text{بتعويض } v_i = 1 \text{ m/s}, t = 3.0 \text{ s}, a = 2.0 \text{ m/s}^2 \quad = (10 \text{ m/s})(3.0 \text{ s}) + \left(\frac{1}{2}\right)(2.0 \text{ m/s}^2)(3.0 \text{ s})^2 \\ = 12 \text{ m}$$

تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يُقاس a بوحدة m/s^2 . ويُقاس x_f بوحدة المتر.
- هل الإشارة ذات مدلول؟ في هذا النظام الإحداثي، ينبغي أن تكون الإشارة موجبة.
- هل المقدار واقعي؟ يبلغ طول سيارتين كاملتي الحجم 12 m. من الواقعي دفع صندوق ما لهذه المسافة في زمن قدره 3 s.

22. ينزلق قالب كتلته 1.4 kg على سطح خشن بحيث تقل سرعة القالب بمعدل 1.25 m/s^2 . كم يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين القالب والسطح؟
23. تريد أن تحرك خزانة كتب كتلتها 41 kg إلى مكان مختلف في غرفة المعيشة. إذا كنت تدفع بقوة تبلغ 65 N وتتسارع خزانة الكتب بمعدل 0.12 m/s^2 . فكم يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين خزانة الكتب والسجادة؟
24. افترض أن القوة التي تدفع بها الصندوق هي الواردة في مثال المسألة 4. ما المدة المستغرقة لكي تتضاعف سرعة الصندوق لتصبح 2.0 m/s ؟
25. يقود عمر بسرعة 23 m/s . يرى فرع شجرة مرميًا على الطريق. يبدأ بالضغط على الفرامل عندما كان فرع الشجرة على بعد 60.0 m أمامه. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الإطارات المثبتة في السيارة والطريق 0.41 . فهل ستتوقف السيارة قبل الاصطدام بالفرع؟ عللًا بأن كتلة السيارة 1200 kg .
26. **التحدي** يدفع فهد قرص في لعبة الأقراص. بسرعة 6.5 m/s كما هو موضح في الشكل 13. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين القرص والملعب الصلب يبلغ 0.31 . فما المسافة التي يقطعها القرص قبل أن يتوقف؟ هل ستتوقف رمية فهد في الجزء المقسم إلى 10 نقاط في الملعب؟



الشكل 13

القسم 2 مراجعة

30. **القوة** يبلغ معامل الاحتكاك السكوني بين طاولة الحديد التي كتلتها 40.0 kg والأرض أسفل الطاولة 0.43 . ما مقدار أكبر قوة أفقية التي يمكن التأثير بها على الطاولة من دون تحريك الطاولة؟
31. **التسارع** تدفع طاولة كتلتها 13 kg في المصنف بقوة أفقية تبلغ 20 N . لكن الطاولة لا تتحرك. تدفع بعد ذلك الطاولة بقوة أفقية تبلغ 25 N . وتتسارع بمعدل 0.26 m/s^2 . ما الذي يمكنك استنتاجه. بشأن معاملات الاحتكاك السكوني والحركي؟ اذكر أي استنتاج.
32. **التفكير الناقد** تنتقل رزان إلى شقة جديدة وتضع خزانة الملابس في الجزء الخلفي من شاحنتها الصغيرة. عندما تبدأ الشاحنة في التحرك بسرعة للأمام، كم تبلغ القوة التي تسبب تسارع الخزانة؟ اذكر الحالات التي يمكن أن تنزلق فيها الخزانة؟ وفي أي اتجاه؟
27. **الفكرة الرئيسية** فاردن بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي. ما أوجه الشبه بين قوى الاحتكاك، وما أوجه الاختلاف بينهما؟
28. **الاحتكاك** ولد يركض على المسرح ثم ينزلق على ركبتيه حتى تقترب كتلته تقريبًا 25 kg . إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين سروال الولد والأرضية 0.15 . فما مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة فيه أثناء الانزلاق؟
29. **السرعة** تلعب دينيا بالبطاقات مع صديقاتها. وغان دورها في التوزيع. تبلغ كتلة البطاقة 2.3 g . وتدفع مسافة 0.35 m على الطاولة قبل أن تتوقف. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين البطاقة والطاولة 0.24 . فكم كانت تبلغ السرعة الابتدائية للبطاقة عندما خرجت من يد دينيا؟

الفيزياء
في
حياتك

ينزلق الشخص الذي يظهر على يمين الصفحة على حبل معلق. يُوفر الشد الناشئ في الحبل قوة الدفع لأعلى اللازمة لتحقيق الاتزان مع وزن الشخص. إذا زاد الشد في الحبل، فكيف يمكن أن تتغير الزاوية التي يصنعها الحبل مع المحور الأفقي؟

إعادة النظر في الاتزان

لقد درست بالفعل حالات عديدة تتضمن قوى في بُعدين. منها على سبيل المثال، عندما يحدث احتكاك بين سطحين، لا بد أن تضع في حسابك كلاً من قوة الاحتكاك الموازية للسطح والقوة العمودية على هذا السطح. وفي ما سبق درست الحركة في مستوى أفقي فقط. سنحلل الآن حالات تتضمن قوى غير متعامدة (الزوايا بينها ليست 90°).

تذكّر أن الجسم يتزن عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفراً. وطبقاً لقوانين نيوتن، لا يتسارع الجسم عندما لا توجد قوة محصلة تؤثر فيه؛ أي أن الجسم المتزن يتحرك بسرعة متجهة ثابتة. (تذكّر أن بقاء الجسم الساكن هي حالة من الحركة بسرعة متجهة ثابتة). ولقد حللت سابقاً أوضاع اتزان عديدة تتضمن قوتين تؤثران في جسم ما. لكن من المهم أن تُدرك أن الاتزان قد يحدث أيضاً إذا تعددت القوى المؤثرة في الجسم. فإذا كانت القوة المحصلة تساوي صفراً، كان الجسم متزناً.

ما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الحلقة في الشكل 14؟ يوضح مخطط الجسم الحر في الشكل 14 القوى الثلاث المؤثرة في الحلقة. لأن الحلقة لا تتسارع، تستنتج أن القوة المحصلة لا بد أن تكون صفراً. لكن مخطط الجسم الحر وحده لا يوضح أن محصلة القوى تساوي صفراً. لإيجاد محصلة القوة هذه، لا بد أن تجمع كل المتجهات معاً. تذكّر أنه يمكن نقل المتجهات مع المحافظة على اتجاهاتها (زواياها) وأطوالها. يوضح الشكل 15 الموجودة في الصفحة التالية عملية جمع متجهات القوة لمعرفة محصلة القوة.



الفكرة الرئيسية

يتزن الجسم عندما تكون محصلة القوة في الاتجاه x والاتجاه y صفراً.

الأسئلة الرئيسية

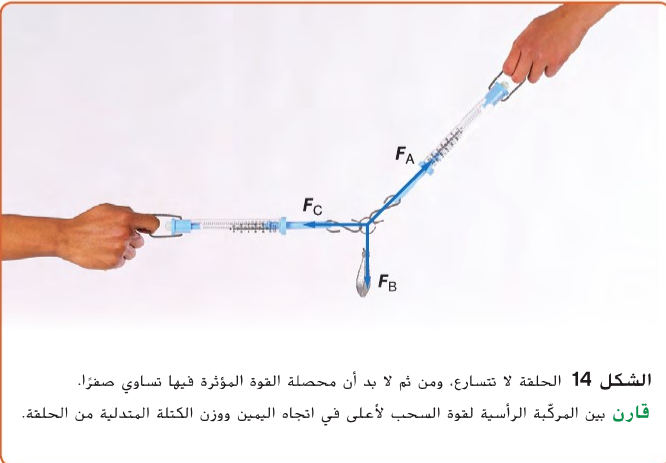
- كيف يمكن إيجاد القوة اللازمة لتحقيق الاتزان؟
- كيف تُحلّل مركّبتي متجهات القوة للحركة على سطح مائل؟

مراجعة المفردات

الاتزان $equilibrium$ الحالة التي تساوي فيها محصلة القوة المؤثرة في جسم ما صفراً

المفردات الجديدة

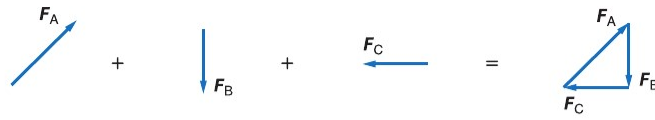
قوة التوازن $equilibrant$



الشكل 14 الحلقة لا تتسارع، ومن ثم لا بد أن محصلة القوى المؤثرة فيها تساوي صفراً.

قارن بين المركبة الرأسية لقوة السحب لأعلى في اتجاه اليمين ووزن الكتلة المتدلية من الحلقة.

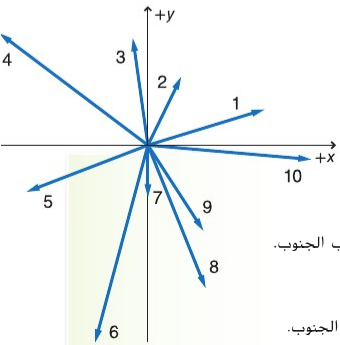
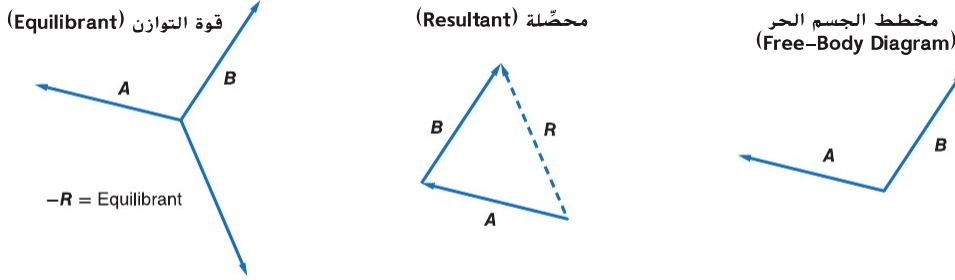
الشكل 15 محصلة القوى المؤثرة في الحلقة تساوي صفراً.



قوى التوازن الشكل 15 يبين عملية جمع القوى الثلاث، F_A و F_B و F_C . المؤثرة في الحلقة. لاحظ أن المتجهات الثلاثة تُشكّل مثلثاً مغلقاً. لذا فإن محصلة القوى $F_A + F_B + F_C$ تساوي صفراً. لنفترض الآن أن هناك قوتين تؤثران في جسم ما وأن محصلتهما لا تساوي صفراً. كما هو موضح في مخطط الجسم الحر في الشكل 16. كيف يمكن إيجاد قوة ثالثة بحيث إذا جمعت مع القوتين السابقتين تصبح المحصلة صفراً. ويكون عندها الجسم متزاناً؟ لإيجاد هذه القوة، يجب أن تجد أولاً محصلة القوتين اللتين تؤثران في الجسم. تُسمى هذه القوة الواحدة التي لها نفس تأثير محصلة قوتين أو أكثر القوة المحصلة. ولكي يكون الجسم متزاناً، لا بد من إضافة قوة ثالثة، تُسمى **قوة التوازن**، تساوي القوة المحصلة في المقدار وتعاكسها في الاتجاه. لاحظ أنه في الشكل 15 تكون القوة F_C هي قوة التوازن لـ $F_A + F_B$. يبيّن الشكل 16 خطوات إيجاد قوة التوازن لمتجهين. لاحظ أن هذه الطريقة لإيجاد قوة التوازن هي الطريقة العامة المُستخدمة أياً كان عدد المتجهات.

✓ تأكد من فهمك حدّد العلاقة بين قوة التوازن والمتجه الناتج.

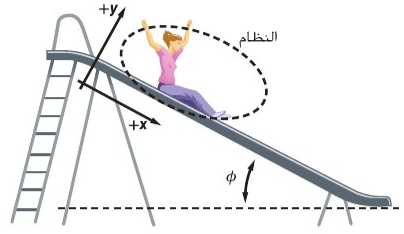
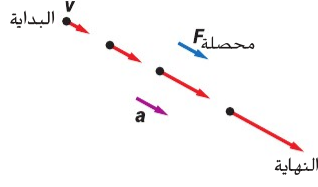
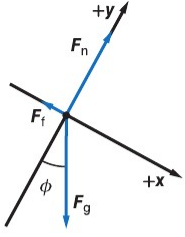
الشكل 16 يُعرف قوة التوازن بأنه القوة اللازمة لكي يُصبح الجسم متزاناً.



التحدي في الفيزياء

أوجد قوة التوازن لكل من القوى التالية الموضحة في الشكل المجاور.

$F_1 = 61.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 17.0° شمال الشرق	$F_6 = 102.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 15.0° غرب الجنوب.
$F_2 = 38.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 64.0° شمال الشرق	$F_7 = 26.0 \text{ N}$ في اتجاه الجنوب.
$F_3 = 54.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 8.0° غرب الشمال	$F_8 = 77.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 22.0° شرق الجنوب.
$F_4 = 93.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 53.0° غرب الشمال	$F_9 = 51.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 0.33° شرق الجنوب.
$F_5 = 65.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 21.0° جنوب الغرب	$F_{10} = 82.0 \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 0.5° جنوب الشرق



الشكل 17 يُلاحظ أن وزن الفتاة يؤدي إلى تسارعها إلى أسفل الزلاجة.

صِف كيف تتغير مركبة وزن الفتاة الموازية للسطح المائل عندما تزداد الزاوية بين الزلاجة والمستوى الأفقي.

الأسطح المائلة

سبق وأن طبقت قوانين نيوتن على حالات اثنان متنوعة، لكن كانت الحركة في هذه الحالات مقصورة على الاتجاه الأفقي أو الرأسي. كيف يمكن تطبيق هذه القوانين على حالة مماثلة لما في **الشكل 17**، التي تريد فيها إيجاد محصلة القوى المؤثرة في الفتاة؟ ابدأ أولاً بتحديد القوى المؤثرة في النظام. في هذه الحالة، ستكون الفتاة هي النظام. تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الفتاة إلى أسفل في اتجاه مركز الأرض. وتؤثر القوة العمودية في اتجاه عمودي على المستوى المائل، بالإضافة إلى تأثير قوة الاحتكاك الحركي الموازية للمستوى المائل. لاحظ مخطط الجسم الحر الموضح في الجزء الأخير من **الشكل 17**. تعلم من خبرتك السابقة أن تسارع الفتاة سيكون إلى أسفل المستوى.

اختيار نظام إحداثي ينبغي أن تختار بعد ذلك نظاماً إحداثياً بعناية. ولأن تسارع الفتاة يكون موازياً للسطح المائل، فإن أحد المحاور، المحور x ، يجب أن يكون في هذا الاتجاه. أما المحور y فيكون عمودياً على المحور x وعلى السطح المائل. في هذا النظام الإحداثي، تكون هناك قوتان في اتجاه محاور النظام الإحداثي، هما القوة العمودية وقوة الاحتكاك. لكن يكون للوزن مركبتان في اتجاه كل من المحورين x و y . يعني هذا أنه عند وضع جسم على سطح مائل، فإن مقدار القوة العمودية بين الجسم والسطح لا تساوي وزن الجسم.

✓ **تأكد من فهمك اشرح** لماذا تختار اتجاه المحور x ليكون موازياً للسطح المائل.

ستحتاج إلى تطبيق قوانين نيوتن في اتجاه المحور x مرة، وفي اتجاه المحور y مرة أخرى. ولأن الوزن لا يشير إلى أي من الاتجاهين، فستحتاج إلى تحليل المنهج إلى مركبتين x و y قبل جمع القوى في هذين الاتجاهين. هذه الخطوات موضحة في مثال المسألة 5 ومثال المسألة 6.

تجربة مصغرة

القوى على سطح مائل

كيف تُغير زاوية السطح المائل المائل القوى المؤثرة في جسم على السطح المستوي؟

مختبر الفيزياء

التزلج على منحدر

كيف يؤثر ميل السطح المائل في التسارع؟

مختبر المجسات

الاحتكاك على سطح مستوي

متى ينزلق الجسم إلى الأسفل على سطح مائل؟

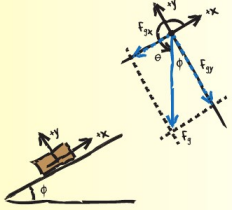
القوى العمودية

كيف تكون حركة الجسم عندما تؤثر فيه قوى عمودية؟

مركبتا الوزن لجسم على سطح مائل يستقر صندوق وزنه 562 N على سطح مائل يصنع زاوية 30.0° فوق المستوى الأفقي. أوجد مركبتا قوة وزن الصندوق الموازية للسطح والعمودية عليه.

تحليل المسألة

- ارسم نظامًا إحداثيًا يشير فيه المحور x الموجب إلى أعلى السطح المائل.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبيّنا F_g ومركبتها F_{gx} و F_{gy} والزاويتين θ و ϕ .



المعلوم

$$F_{gx} = ? \quad F_g = 562 \text{ N} \text{ في الاتجاه السفلي}$$

$$F_{gy} = ? \quad \phi = 30.0^\circ$$

$$\theta = ?$$

إيجاد المجهول

$$\theta + \phi = 270^\circ$$

$$\theta = 270^\circ - 30^\circ$$

$$= 240^\circ$$

$$F_{gx} = F_g(\cos \theta)$$

$$= (562 \text{ N})(\cos 240.0^\circ)$$

$$= -281 \text{ N}$$

$$F_{gy} = F_g(\sin \theta)$$

$$= (562 \text{ N})(\sin 240.0^\circ)$$

$$= -487 \text{ N}$$

▶ الزاوية بين المحور x الموجب والمحور y السالب هي 270° .

▶ بالتعويض $\phi = 30^\circ$ ثم إعادة الترتيب.

▶ بالتعويض $F_g = 562 \text{ N}$ و $\theta = 240.0^\circ$.

▶ بالتعويض $F_g = 562 \text{ N}$ و $\theta = 240.0^\circ$.

تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ تكافؤ القوة بالنيوتن.
- هل الإشارات لها مدلول؟ تشير المركبتان إلى اتجاهين ياكتمان المحاورين الموجبين.
- هل المقادير واقعية؟ قيمة كل من المركبتين أقل من F_g ، كما كان متوقفاً.

تطبيق

33. تصعد صلة بسرعة ثابتة كتيبت نمل يميل عن المستوى الرأسى بزاوية 30.0° . ارسم مخطط الجسم الحر لهذه الصلة.

34. جُزّك عمر وأحمد طاولة بعيداً عن أشعة الشمس. كان على الطاولة كأس من عصير الليمون، وكانت كتلة الكأس 0.44 kg . رفع أحمد طرف الطاولة من ناحيته قبل أن يرفع عمر الطرف المقابل. هالت الطاولة على المستوى الأفقي بزاوية 15.0° . أوجد مركبتا وزن الكأس الموازية لسطح الطاولة والعمودية عليه.

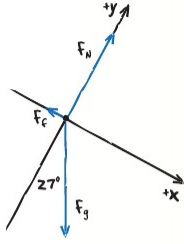
35. يتراق غلثي، الذي كتلته 43.0 kg . على عمود درايزين في منزل جدي. إذا كان عمود الدرايزين يصنع زاوية 35.0° مع المستوى الأفقي، فما مقدار القوة العمودية بين علي وعمود الدرايزين؟

36. التحدي. وضعت حفيبة على سطح مائل كما هو موضح في الشكل 18. ما مقدار الزاوية θ المطلوبة لتكون مركبة وزن الحفيبة الموازية للسطح مساوية لنصف مقدار مركبة وزنها العمودية عليه؟



الشكل 18

انزلاق ينزلق عمر، الذي كتلته 45 kg، إلى أسفل منحدر يميل بزاوية 27°. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي 0.23، فما سرعة انزلاقه بعد مرور 1.0 s من بدء الحركة، علماً بأنه انزلق من السكون؟



1 تحليل المسألة

- أنشئ نظاماً إحداثياً.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبيّناً عليه القوى المؤثرة في عمر أثناء انزلاقه.
- القوى الثلاث المؤثرة في عمر هي القوة العمودية وقوة الاحتكاك الحركي ووزن عمر.

المجهول	المعلوم
$a = ?$	$m = 45 \text{ kg}$
$v_f = ?$	$\phi = 27^\circ$
$\theta = ?$	$\mu_k = 0.23$
	$t = 1.0 \text{ s}$

2 إيجاد المجهول

$$\begin{aligned}\theta &= 270^\circ + \phi \\ &= 270^\circ + 27^\circ \\ &= 297^\circ\end{aligned}$$

في اتجاه المحور y :

$$\begin{aligned}F_{\text{محصول}} y &= ma_y \\ &= 0.0 \text{ N}\end{aligned}$$

اجمع القوى في اتجاه المحور y لإيجاد F_N .

$$\begin{aligned}F_N + F_{gy} &= F_{\text{محصول}} y \\ F_N &= -F_{gy} \\ &= -mg(\sin \theta)\end{aligned}$$

في اتجاه المحور x :

استخدم محصلة القوة في اتجاه المحور x وقانون نيوتن الثاني في الحل لإيجاد a .

$$F_{\text{محصول}} x = F_{gx} - F_f$$

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

$$ma = mg(\cos \theta) + \mu_k mg(\sin \theta)$$

$$a = g(\cos \theta + \mu_k \sin \theta)$$

$$\begin{aligned}&= (9.8 \text{ m/s}^2)(\cos 297^\circ + (0.23)\sin 297^\circ) \\ &= 2.4 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

بما أن v_i و a و t قيمها معلومة، استخدم معادلة العلاقة بين السرعة المتجهة والتسارع والزمن.

$$v_f = v_i + at$$

$$\begin{aligned}&= 0.0 \text{ m/s} + (2.4 \text{ m/s}^2)(1.0 \text{ s}) \\ &= 2.4 \text{ m/s}\end{aligned}$$

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يُبيّن تحليل الأبعاد أن وحدة v_f هي m/s وأن وحدة a هي m/s^2 .
- هل الإشارات لها مدلول؟ بما أن v_f من v_i في اتجاه محور x الموجب، فالإشارات لها مدلول.
- هل المقادير واقعية؟ تبدو السرعة المتجهة كبيرة، وهذا منطقي بالنسبة إلى منزلق أو منحدر شديدة الانحدار ومعامل احتكاك حركي منخفض.

▶ الزاوية بين المحور x الموجب والمحور y السالب هي 270°.

▶ بالتعويض $\phi = 27^\circ$.

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

▶ بالتعويض $F_{\text{محصول}} y = 0.0 \text{ N}$ ثم إعادة الترتيب.

▶ بالتعويض $F_{gy} = mg \sin \theta$.

▶ F_f سالبة لأنها في اتجاه محور x السالب.

▶ بالتعويض $ma_x = F_{\text{محصول}} x$ و $F_{gx} = mg \cos \theta$ و $F_f = \mu_k F_N$.

▶ بالتعويض $a_x = a$ (التسارع في اتجاه المحور x) و $F_N = -mg \sin \theta$.

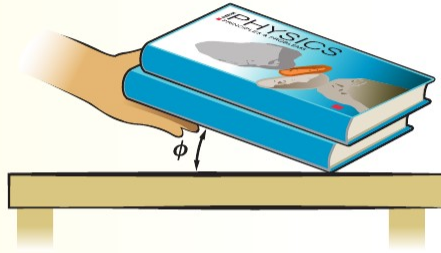
▶ بالتعويض $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ و $\theta = 297^\circ$ و $\mu_k = 0.23$.

▶ بالتعويض $v_i = 0.0 \text{ m/s}$ و $a = 2.4 \text{ m/s}^2$ و $t = 1.0 \text{ s}$.

37. ارجع إلى الصندوق الموجود على السطح المائل في مثال 5. احسب مقدار التسارع. ما مقدار سرعة الصندوق بعد مرور 4.00 s ؟
38. فّر جمال أن يجرب الانزلاق إلى أسفل المنحدر المستخدم في مثال المسألة 6. لكن اختلف انزلاق جمال عن انزلاق عمر. فبعد أن دفع مُراد نفسه ليبدأ الانزلاق. انزلق بسرعة ثابتة. ما معامل الاحتكاك الحركي بين جمال وسطح المنحدر؟
39. انزلت داليا. التي كتلتها 45 kg . إلى أسفل منزلق مائل على المستوى الأفقي بزاوية 45° . إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين داليا وسطح المنزلق 0.25 . فما مقدار تسارعها؟
40. **التحدي** وضعت كتابتي فيزياء أحدهما فوق الآخر كما هو موضح في الشكل 19. وقمت بإمالة الكتاب السفلي بالقدر الذي يبدأ معه الكتاب العلوي في الانزلاق. أجريت خمس محاولات وقسّت الزوايا الموضحة في الجدول 3.

الجدول 3 المحاولات وزاوية الميل

المحاولة	ϕ
1	21°
2	17°
3	21°
4	18°
5	19°



الشكل 19

- a. ما متوسط الزاوية ϕ المقيسة خلال المحاولات الخمس؟
- b. ما مقدار معامل الاحتكاك السكوني بين غلافَي الكتابين؟ استخدم متوسط الزاوية ϕ الذي أوجدته في السؤال (a).
- c. إذا فترضنا أنك قسّت تسارع الكتاب العلوي إلى أسفل فوجدته 1.3 m/s^2 . فما مقدار معامل الاحتكاك الحركي؟ افترض أن الزاوية ϕ تساوي قيمة المتوسط الذي أوجدته في السؤال (a).

القسم 3 مراجعة

45. **الاتزان** تُعلّق لوحة فنية بسلكَيْن طويلَيْن. سينقطع السلكان إذا كانت القوة المؤثرة فيهما كبيرة جدًا. هل يجب أن تُعلّق اللوحة كما في الشكل العلوي أم كما في الشكل السفلي في الشكل 20؟ اشرح.



الشكل 20

46. **التفكير الناقد** هل يمكن أن يكون لمعامل الاحتكاك قيمة. بحيث يتمكن طفل من الوصول إلى قمة منحدر بسرعة متجهة ثابتة؟ اشرح لم أو لم لا. افترض عدم وجود قوة دفع أو سحب أخرى تؤثر في الطفل.

41. **الفكرة الرئيسية** يُسحب منزلج على الماء كتلته 63 kg بحبل على سطح مائل يصنع زاوية 14.0° مع المستوى الأفقي بقوة شد في الحبل تعادل 512 N . إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الشخص المنزلج والسطح المائل 0.27 . فما مقدار تسارع الشخص المنزلج وما اتجاهه؟
42. **القوى** من طرائق تخليص سيارتك من الغُرْز أن تربط طرف حبل متين بالسيارة وطرفه الآخر بشجرة. ثم تسحب الحبل من نقطة المنتصف بزاوية قائمة على الحبل. ارسم مخطط الجسم الحر ثم وضح كيف يُمكن أن تكون القوة المؤثرة في السيارة كبيرة حتى لو بذلت قوة صغيرة عند سحب الحبل.
43. **الكتلة** تُعلّق لوحة النتائج الإلكترونية في سقف صالة ألعاب رياضية باستخدام عشرة أسلاك متينة. تصنع ستة من هذه الأسلاك زاوية 8.0° مع المستوى الرأسي. بينما تصنع الأسلاك الأربعة الأخرى زاوية 10.0° مع المستوى الرأسي. إذا كان الشد في كل سلك 1300 N . فما مقدار كتلة لوحة النتائج الإلكترونية؟
44. **جمع المتجهات** ما مجموع المتجهات الثلاثة التي تُشكّل مثلثًا عند وضع رأس متجه على ذيل آخر؟ إذا كانت هذه المتجهات تمثل القوى المؤثرة في جسم ما. فما الذي يعنيه ذلك بالنسبة إلى حالة الجسم؟ صف الحركة الناتجة عن هذه القوى الثلاث المؤثرة في الجسم.

المجازفة

هل سمعتَ من قبل عن المثل الذي يقول
"ما طار طير وارتفع، إلا كما طار وقع؟"
يعتمد المهندسون المعماريون على الفهم
التام للقوى للتأكد من سلامة المباني
والمنشآت الأخرى.

القوى المتوازنة ربما تتذكر أن الجسم يتسارع بسبب
محصلة القوة المؤثرة فيه. لكن إذا كان الجسم لا
يتحرك، فلا يعني هذا عدم وجود قوى تؤثر فيه. فعندما
يكون الجسم ساكنًا، تكون القوى المؤثرة فيه متوازنة.

على سبيل المثال، أنت الآن تنجذب إلى أسفل بفعل
قوة الجاذبية الأرضية. وفي الوقت نفسه، قوة الجاذبية
الأرضية متوازنة بفعل القوة العمودية للمقعد الذي
تجلس عليه حيث إن هذه القوة العمودية تدفعك لأعلى.
لذا فإنك لن تتسارع لأن هاتين القوتين متوازنتان. أي
لا توجد قوة محصلة. عند تصميم مبنى أو جسر أو أي
منشأة أخرى، يجب أن يتأكد المهندس المعماري أن قوة
الجاذبية الأرضية متوازنة تمامًا مع القوى الأخرى.

الشرفة المعلقة هل وقفتَ من قبل في شرفة
كالموضحة في الشكل 1؟ رغم أنه لا يوجد شيء
بالأسفل يدفع الشرفة لأعلى لموازنته مع قوة الجاذبية
الأرضية، لم لا يسقط إذن؟ الشرفة عبارة عن حامل
يرتكز على ناحية واحدة فقط. يجب أن يكون وزن
الشرفة متوازنًا مع القوى الناتجة عن باقي المبنى.

الشكل 1 ينظر هؤلاء الأشخاص من شرفة زجاجية معلقة
في برج ويليس في شيكاغو.

لمزيد من التعمق <<<

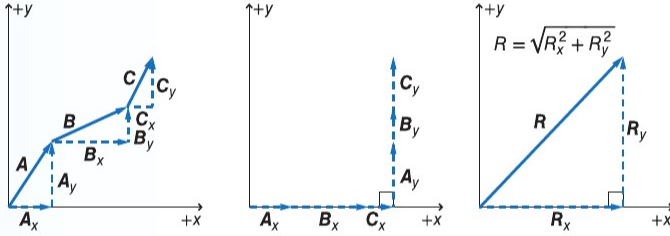
الأبحاث كيف تتوزع القوى بوابة القوس في ميسوري. أنشئ ملصقًا
يوضح القوى الموزعة في القوس.

الفكرة الرئيسية يمكن وصف القوى في بُعدين باستخدام جمع المتجهات وتحليلها.

القسم 1 المتجهات

الفكرة الرئيسية يمكن تحليل كل المتجهات إلى مركبتين x و y .

- تُجمع المتجهات بيانًا بوضع ذيل المتجه التالي على رأس المتجه الذي يسبقه. تكون المحصلة اتجاهًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير.
- مركبتا المتجه عبارة عن متجهين يُسقطان على محوري الإحداثيات. يمكن جمع المتجهات من خلال جمع المركبات الموجودة في اتجاه المحور x وفي اتجاه المحور y بصورة منفصلة.



- يمكن استخدام نظرية فيثاغورس لتحديد مقدار المتجه الناتج عندما يكون المتجهان متعامدين. يُستخدم قانون جيب التمام وقانون الجيب لإيجاد محصلة أي متجهين.

المفردات

- المركبات
- تحليل المتجهات

القسم 2 الاحتكاك

الفكرة الرئيسية الاحتكاك عبارة عن قوة بين سطحين متلامسين.

- الاحتكاك قوة مؤثرة في سطحين متلامسين وموازية لهما.
- قوة الاحتكاك الحركي تساوي معامل الاحتكاك الحركي مضروبًا في القوة المتعامدة.
- قوة الاحتكاك السكوني أقل من أو تساوي معامل الاحتكاك السكوني مضروبًا في القوة المتعامدة.

$$F_{\text{الاحتكاك الحركي}} = \mu_k F_N$$

$$F_{\text{الاحتكاك السكوني}} \leq F_N$$

المفردات

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

القسم 3 القوى في بُعدين

الفكرة الرئيسية يتزن الجسم عندما تكون محصلة القوى في الاتجاه x والاتجاه y صفرًا.

- قوة التوازن عبارة عن قوة مساوية لمحصلة القوى المؤثرة في الجسم في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه.
- تكون قوة الاحتكاك موازية لسطح مائل وفي اتجاه أعلى السطح إذا كانت حركة الجسم إلى أسفل السطح. الجسم الموجود على سطح مائل له مركبة قوة جاذبية في اتجاه يوازي السطح تجعل الجسم يتسارع في اتجاه أسفل السطح.

المفردات

- قوة التوازن

القسم 1 المتجهات

إتقان المفاهيم

47. الفكرة الرئيسة كيف ستضيف متجهين بيانيًا؟

48. أي من الإجراءات التالية مسموح بها عندما نضيف متجهًا إلى آخر بيانيًا: نقل المتجه أم تدوير المتجه أم تغيير طول المتجه؟

49. اكتب بأسلوبك الخاص تعريفًا واضحًا لنتاج متجهين أو أكثر. لا تشرح كيفية إيجادها؛ بل اشرح ما الذي يمثلها.

50. كيف تتأثر الإزاحة الناتجة عند إضافة متجهي إزاحة بترتيب مختلف؟

51. اشرح الطريقة التي ستستخدمها لطرح متجهين بيانيًا.

52. اشرح الفرق بين A و A .

53. تكتب نظرية فيثاغورس عادة بالشكل التالي

$c^2 = a^2 + b^2$. إذا استخدمت هذه العلاقة في جمع متجه، فما الذي يمثل a و b و c ؟

54. عند استخدام نظام إحداثي، كيف تحدد زاوية المتجه أو اتجاهه بالنسبة إلى محاور النظام الإحداثي؟

إتقان حل المسائل

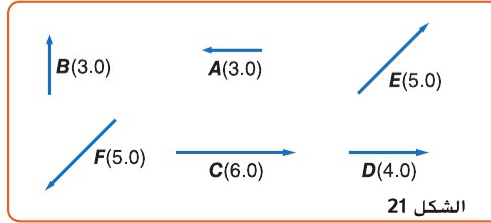
55. السيارات تتحرك السيارة لمسافة 65 km باتجاه الشرق ثم لمسافة 45 km باتجاه الغرب. كم مقدار إزاحتها الإجمالية؟

56. أوجد المركبات الأفقية والرأسية للمتجهات التالية الموضحة في الشكل 21. في جميع الحالات، افترض أن الاتجاهين لأعلى ولليمين موجبان.

E .a

F .b

A .c



الشكل 21

57. أوجد بالرسم حاصل جمع المتجهات التالية. الموضحة في الشكل 21.

A و C .c

A و D .a

F و E .d

D و C .b

58. أوجد بالرسم حاصل جمع مجموعة المتجهات الموضحة في الشكل 21.

a. A و C و D

b. A و B و E

c. B و D و F

59. مهمة الترتيب رتب ما يلي وفقًا لمقدار محصلة القوى. من الأصغر إلى الأكبر. أشر إلى أي علاقة على وجه التحديد.

A. 20 N + 10 N لأسفل

B. 20 N + 10 N لأعلى

C. 20 N + 10 N لأعلى

D. 20 N + 10 N لأسفل 20°

E. 20 N لأعلى

60. تسير لمسافة 30 m جنوبًا ولمسافة 30 m شرقًا. أوجد مقدار الإزاحة الناتجة واتجاهها بيانيًا وجبريًا على حد سواء.

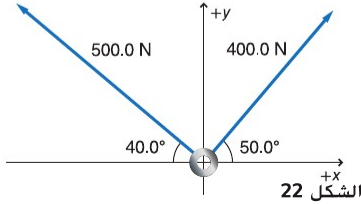
61. تتألف الرحلة التي يقوم بها متجول من ثلاثة أجزاء. المسار A ويصل طوله إلى 8.0 km بزاوية 60.0° شمال الشرق. المسار B ويصل طوله إلى 7.0 km باتجاه الشرق. المسار C ويصل طوله إلى 4.0 km بزاوية 315° باتجاه عكس عقارب الساعة من الشرق.

a. أضف إزاحات المتجول بيانيًا بالترتيب A, B, C.

b. أضف إزاحات المتجول جبريًا بالترتيب C, B, A.

c. ما الذي يمكنك استنتاجه بشأن الإزاحات الناتجة؟

62. تؤثر قوتان في الحلقة في الشكل 22. ما محصلة القوى المؤثرة في الحلقة؟



الشكل 22

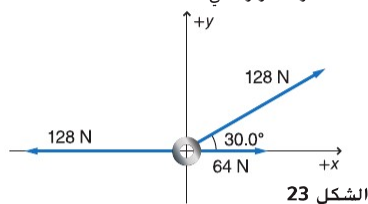
63. استكشاف الغطاء تهبط مركبة فضائية على سطح المريخ بسرعة رأسية باتجاه سطح المريخ بسرعة 5.5 m/s. في الوقت نفسه، تبلغ سرعتها الأفقية 3.5 m/s.

a. ما مقدار السرعة التي تتحرك عندها المركبة على مسار الهبوط؟

b. ما الزاوية الناتجة من الغطاء المسار الرأسية مع هذا المسار؟

c. إذا كانت المركبة تبعد عن السطح مسافة 230 m، فما الزمن الذي تستغرقه حتى تصل إلى السطح؟

64. تؤثر ثلاث قوى في الحلقة المشار إليها في الشكل 23. ما محصلة القوة المؤثرة في الحلقة؟



65. سفينة في البحر سفينة متوقفة وصولها خلال يومين إلى ميناء يبعد عنها مسافة 500.0 km. ومع ذلك، تهب عاصفة قوية مسافة 100.0 km باتجاه الشرق من موقعها الأصلي. كم تبعد السفينة عن الميناء؟ ما الاتجاه الذي يجب أن تتبعه السفينة للوصول إلى الميناء؟

66. الملاحه يغادر أمير المعسكر ويسير لمسافة 4 km باتجاه الشرق باستخدام البوصلة ثم لمسافة 6 km باتجاه الجنوب وليمسافة 3 km باتجاه الشرق وليمسافة 5 km باتجاه الشمال وليمسافة 10 km باتجاه الغرب وليمسافة 8 km باتجاه الشمال وأخيراً لمسافة 3 km باتجاه الجنوب. في نهاية اليومين، كان يخطط للعودة من رحلته. عن طريق رسم أحد الرسومات، احسب المسافة التي يبعدها أمير عن المعسكر وأي اتجاه ينبغي أن يسلكه للعودة إلى المعسكر.

القسم 2 الاحتكاك

إتقان المفاهيم

67. ماذا يعني أن يكون معامل الاحتكاك أكبر من 1.0؟ كيف تفسره؟

68. السيارات باستخدام نموذج الاحتكاك الموضح في هذا الكتاب المدرسي، هل يزداد الاحتكاك بين الإطار والطريق حسب الإطار العريض أم الضيق؟ اشرح. افترض أن الإطارات لها الكتلة نفسها.

إتقان حل المسائل

69. إذا كنت تستخدم قوة أفقية تبلغ 30.0 N لزلق صندوق خشبي كتلته 12.0 kg على أرضية بسرعة ثابتة، فكم يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق والأرضية؟

70. يدفع صندوق كتلته 225 kg لمسافة أفقية بقوة تبلغ 710 N. إذا كان معامل الاحتكاك 0.20، فاحسب مقدار تسارع الصندوق.

71. تعمل قوة تبلغ 40.0 N على زيادة سرعة جسم كتلته 5.0 kg وتكسيه تسارعا مقداره 6.0 m/s² على سطح أفقي.

- كم سيكون مقدار تسارع الكتلة إذا كان السطح بلا احتكاك؟
- ما مقدار قوة الاحتكاك الحركي؟
- كم يبلغ معامل الاحتكاك الحركي؟

72. نقل الأجهزة استلمت عائلتك ثلاجة جديدة للتو. غادر الموزع وثرى أن الثلاجة ليست في المكان المناسب لها. ولذلك تنوي نقلها عدة سنتيمترات. إذا كانت كتلة الثلاجة تبلغ 88 kg. وكان معامل الاحتكاك الحركي بين قاع الثلاجة والأرضية 0.13. ومعامل الاحتكاك السكوني بين هذين السطحين نفسيهما 0.21. فما مقدار القوة التي تدفع بها الثلاجة في الاتجاه الأفقي لتحريكها؟

73. التوقف عند الإشارة الحمراء تقود سيارة كتلتها 1200.0 kg بسرعة ثابتة تبلغ 14.0 m/s على طريق مستقيم ومستوي. بينما تقترب من إحدى نقاط التقاطع. تتحول إشارة المرور إلى اللون الأحمر. تضغط على الفرامل. تتوقف عجلات السيارة وتبدأ الإطارات في الانزلاق وتتوقف السيارة تماماً على بعد 25.0 m. كم يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين الإطارات والطريق؟

القسم 3 القوى في بُعدين

إتقان المفاهيم

74. صرف النظام الإحداثي المناسب للتعامل مع المسألة التي تتناول إلقاء كرة أعلى في الهواء.

75. إذا تم إعداد نظام إحداثي بحيث تكون النقاط الموجبة على المحور x في اتجاه 30° فوق المستوى الأفقي، فماذا يجب أن تمثل الزاوية الواقعة بين المحور x والمحور y؟ ما اتجاه المحور y الموجب؟

76. اشرح كيفية إعداد النظام الإحداثي للحركة على هضبة.

77. إذا كان كتابك المدرسي في حالة توازن، فماذا يمكن أن نقول بشأن القوى المؤثرة فيه؟

78. هل يمكن لجسم ما التحرك وهو في حالة توازن؟ اشرح.

79. يُطلب منك تحليل حركة الكتاب الموضوع على طاولة مائلة. صف النظام الإحداثي الأفضل لتحليل الحركة.

a. ما مدى ارتباط مركبات وزن الكتاب بزاوية الطاولة؟

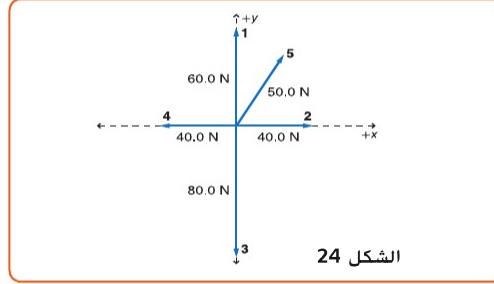
80. بالنسبة إلى الكتاب الموضوع على الطاولة المائلة، صف ماذا يحدث لمركبة القوة التي يؤثر بها الوزن والموازية للطاولة وقوة الاحتكاك المؤثرة في الكتاب عندما تزيد الزاوية التي تنشأ بين الكتاب والمستوى الأفقي.

- ما مركبات القوة (القوى) التي تزداد مع زيادة الزاوية؟
- ما مركبات القوة (القوى) التي يقل مقدارها؟

إتقان حل المسائل

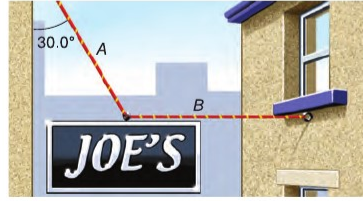
81. توجد ثلاث قوى تؤثر في جسم متزن. تؤثر الأولى والتي تبلغ 33.0 N بزاوية 90.0° من المحور x وتؤثر الثانية ومقدارها 44.0 N بزاوية 60.0° من المحور x . تُقاس كل من الزاويتين باتجاه عكس عقارب الساعة من المحور x . ما مقدار القوة الثالثة واتجاهها؟

82. تؤثر خمس قوى في الجسم المشار إليه في الشكل 24: (1) 60.0 N بزاوية 90.0° و (2) 40.0 N بزاوية 0.0° و (3) 80.0 N بزاوية 270.0° و (4) 40.0 N بزاوية 180.0° و (5) 50.0 N بزاوية 60.0° . ما مقدار واتجاه القوة السادسة التي تحدث اتزاناً للجسم؟



الشكل 24

83. الدعاية والإعلان يرغب أيمن في تعليق لافتة وزن $7.50 \times 10^2\text{ N}$ بحيث ينشئ السلك A، المربوط بالمتجر، زاوية 30.0° كما هو موضح في الشكل 25. يكون السلك B على المستوى الأفقي ويُرَبط بالمبنى المجاور. ما مقدار الشد في السلك B؟



الشكل 25

84. تبلغ قوة مصباح الشارع 150 N . يدعمه سلكان يكونان معاً زاوية قدرها 120.0° . الشد في السلكين متساوٍ.

a. ما مقدار الشد في كل سلك؟

b. إذا انخفضت الزاوية بين السلكين الداعمين لمصباح إنارة الشارع إلى 90.0° ، فما مقدار الشد في كل سلك؟

85. يوضع صندوق يبلغ ثقله 215 N على مستوى مائل مما يؤدي إلى تكوين زاوية قدرها 35.0° مع المستوى الأفقي. أوجد مركب مركبة الوزن الموازية للمستوى المائل.

86. غرفة الطوارئ تقوم بعمل الممرضة في غرفة الطوارئ في مستشفى محلي. تنقل بعربة المرضى أحد المسنين الذي تعرض لحادث خطير جداً ويعاني من نزيف حاد. تشرح الممرضة لك في عجلة أنه في حالة كهذه، عليك إمالة سرير المريض بحيث تكون الرأس متجهة لأسفل للتأكد من وصول كمية كافية من الدم إلى الدماغ. تخبرك بأن أكبر زاوية يمكن الوصول إليها دون أن يبدأ المريض في الانزلاق لأسفل تبلغ 45.0° من المستوى الأفقي. وذلك بالنسبة إلى معظم المرضى.

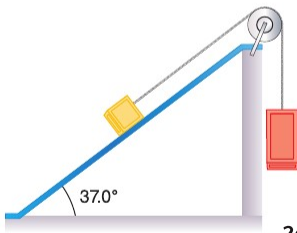
a. ما العامل أو العوامل التي تعتمد عليها زاوية الميل؟

b. أوجد معامل الاحتكاك السكوني بين المريض العادي وغطاء السرير.

87. يرتبط قالبان بسلسلة على بكره بلا احتكاك ومهبلية الكتلة بحيث يكون القالب الأول موضوعاً على مستوى مائل والثاني معلقاً من الحافة العلوية للمستوى، كما هو موضح في الشكل 26. تبلغ كتلة القالب المعلق 16.0 kg . بينما تبلغ كتلة القالب الموضوع على المستوى المائل 8.0 kg . يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين القالب والمستوى المائل 0.23 . يتم إطلاق القالبين من السكون.

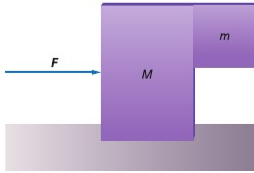
a. ما مقدار تسارع القالبين؟

b. ما مقدار الشد في السلسلة التي تربط القالبين؟



الشكل 26

88. في الشكل 27، يُدفع قالب كتلته M بقوة (F) بحيث لا ينزلق القالب الأصغر ذو الكتلة m لأسفل أمامه. لا يوجد احتكاك بين القالب الأكبر والسطح الموجود أسفله. لكن معامل الاحتكاك السكوني بين الكتلتين يساوي μ_s . أوجد تعبيراً لـ F من حيث M ، m ، μ_s ، و g .



الشكل 27

تطبيق المفاهيم

99. يمكن تقسيم وزن الكتاب الموضوع على مستوى مائل إلى اثنين من مركبات المتجهات، واحدة على المستوى والأخرى متعامدة عليه.

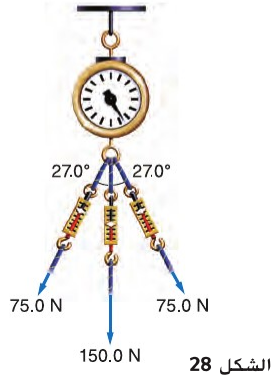
a. ما الزاوية التي تتساوى عندها المركبات؟

b. ما الزاوية التي تتساوى عندها المركبة الموازية صفراً؟

100. أبراج التلفاز يُثبت برج الإرسال في محطة التلفاز تثبيتاً مستقيماً بواسطة أسلاك تثبيت ممتدة من الأرض إلى الجزء العلوي من البرج بزاوية قدرها 67° أعلى المستوى الأفقي. يمكن تحليل القوة قوة الشد في أسلاك التثبيت إلى مركبات متعامدة ومتوازية بالنسبة إلى الأرض. أي هذه المركبات تكون أكبر؟

مراجعة عامة

101. يُسحب الميزان المتدرج المشار إليه في الشكل 28 بواسطة ثلاثة حبال. ما محصلة القوة التي يفرّوها الميزان المتدرج؟



الشكل 28

102. دفع رجل صخرة حتى قمة جبل منحدر. عندما وصل إلى القمة، انزلت الصخرة عبر الجبل لأسفل وأصبح لزاماً عليه البدء من جديد. بافتراض أنه دفع الصخرة لأعلى الجبل دون أن يتمكن من دحرجتها.

a. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصخرة وجانب الجبل 0.40 ، وكتلة الصخرة 20.0 kg ، وزاوية انحدار الجبل تبلغ 30.0° وهي ثابتة، فما مقدار القوة التي يجب أن يؤثر بها الرجل على الصخرة لتحريكها لأعلى وصولاً إلى الجبل بسرعة ثابتة؟

b. يدفع الرجل الصخرة بسرعة قدرها 0.25 m/s ويستغرق 8.0 h للوصول إلى قمة الجبل. كم يبلغ الارتفاع الرأسي للجبل؟

89. يمثل متجه يبلغ طوله 1 cm إزاحة قدرها 5 km . كم عدد الكيلومترات التي يمثلها متجه طوله 3 cm مرسوم بمقياس الرسم نفسه؟

90. يمثل المتجه المرسوم الذي يبلغ طوله 15 mm سرعة قدرها 30 m/s . ما طول المتجه الذي ترسمه لتمثيل سرعة قدرها 20 m/s ؟

91. ما أكبر مقدار لمحصلة إزاحة محتملة تنتج عن إزاحتين مقدارهما 3 m و 4 m ؟ ما مقدار أصغر ناتج محتمل؟ ارسم مخططات لتبرهن على إجاباتك.

92. كيف تتغير الإزاحة الناتجة عندما تزيد الزاوية الواقعة بين متجهين من 0° إلى 180° ؟

93. يمثل A و B ضلعين في مثلث قائم. حيث $\tan \theta = \frac{A}{B}$.

a. أي ضلع في المثلث يكون أطول إذا كانت $\tan \theta$ أكبر من 1.0 ؟

b. أي ضلع يكون أطول إذا كانت $\tan \theta$ أصغر من 1.0 ؟

c. ماذا يعني إذا كان $\tan \theta$ يساوي 1.0 ؟

94. السفر بالسيارة سيارة تبلغ سرعتها 50 km/h اتجاهها 60° إلى الشمال الشرقي. يتم اختيار نظام إحداثي يكون فيه المحور x الذي يشير إلى الشرق والمحور y الذي يشير إلى الشمال. أي مكون لمتجه السرعة أكبر. x أم y ؟

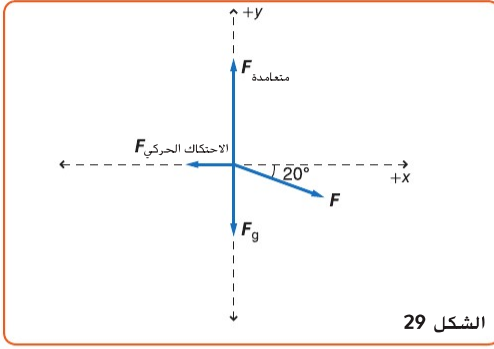
95. ما الحالات التي يفضل فيها استخدام نظرية فيثاغورس. على قانون جيب التمام. لإيجاد مقدار محصلة المتجهات؟

96. تتناول المسألة سيارة تتحرك لأعلى في إحدى الهضاب. لذلك يُحدد النظام الإحداثي باستخدام المحور x الموجب الموازي لسطح الهضبة. تتناول المسألة أيضًا حجرة سقطت على السيارة. ارسم مخططاً للمسألة ووضح مركبات متجه سرعة الحجر.

97. جر عربة وفقاً للأسطورة. تعلم الحصان قوانين نيوتن. عندما يراد من الحصان جر عربة، يبدى رفضاً تجاه ذلك، متعللاً بأنه في حالة جر العربة إلى الأمام، ستولد قوة مساوية للخلف، وفقاً للقانون الثالث لنيوتن. لذلك، ستكون هناك قوتان متوازنتان. وستزداد سرعة العربة وفقاً للقانون الثاني لنيوتن. كيف ترد على هذا الحصان؟

98. التنس عند تمديد شبكة التنس بين عمودين، يسهل نسبياً سحب أحد طرفي الشبكة بقوة تكفي لإزالة الجزء المتراخي. لكن تحتاج إلى ذراع بمقبض لضبط آخر جزء متراخ من الشبكة بهدف جعل الجزء العلوي في المستوى الأفقي تماماً. لماذا يُعد هذا صحيحاً؟

107. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزياء تتناول أجسامًا من واقع الحياة يكون الشكل 29 جزءًا من حلها.



الكتابة في الفيزياء

108. تحقق من بعض الأساليب المستخدمة في مجال الصناعة بهدف تقليل الاحتكاك الناتج بين أجزاء الآلات المختلفة. صف اثنين أو ثلاثة من هذه الأساليب وشرح آلية عملها.

109. الألعاب الأولمبية في الأعوام الأخيرة، استخدم العديد من الرياضيين الأولمبيين، مثل العدائين والسباحين والمتزلجين والمتزحلطين على الجليد، معدات معدلة بهدف تقليل تأثيرات الاحتكاك والهواء أو سحب الماء. ابحث عن قطعة من المعدات التي تستخدمها فئة واحدة من هؤلاء الرياضيين وشرح كيف تغيرت بمرور السنين. اشرح كيف أثرت الفيزياء في هذه التغييرات.

مراجعة تراكمية

110. أجر عملية الجمع أو الطرح أو الضرب أو القسمة المشار إليها وحدد الإجابة مستخدمًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

a. $4.7 \text{ g} + 85.26 \text{ g}$

b. $0.608 \text{ km} + 1.07 \text{ km}$

c. $186.4 \text{ kg} - 57.83 \text{ kg}$

d. $(9.8 \text{ N/kg})(1.26 \text{ kg})$

e. $\frac{10 \text{ m}}{4.5 \text{ s}}$

111. تركب دراجتك لمدة 1.5 h بسرعة متوسطة تبلغ 10 km/h. ثم لمدة 30 min بسرعة 15 km/h. ما مقدار السرعة المتوسطة؟

112. تؤثر قوة تبلغ 45 N لأعلى على حفيضة كتلتها 2.0 kg. ما مقدار تسارع الحفيضة؟

103. تنسيق المناظر الطبيعية تُنقل إحدى الأشجار على مقطورة مسطحة بواسطة منسق المكان. إذا انزلت قاعدة الشجرة على المقطورة، فستسقط الشجرة عليها ويلحقها الضرر. يبلغ معامل الاحتكاك السكوني بين الشجرة والمقطورة 0.50. تبلغ السرعة الابتدائية للمقطورة 55 km/h.

a. يجب أن تتوقف الشاحنة عند إشارة المرور من دون انزلاق الشجرة للأمام وسقوطها من فوق المقطورة. ما الحد الأقصى للتسارع المحتمل الذي يمكن أن تواجهه الشاحنة؟
b. ما الحد الأدنى للمسافة التي تقطعها الشاحنة حتى تتوقف علنًا بأن الشاحنة تتسارع بانتظام بأقصى تسارع تم حسابه في الجزء a؟

التفكير الناقد

104. استخدام النماذج باستخدام أمثلة المسائل الواردة في هذه الوحدة كنماذج. اكتب مثال مسألة لحل المسألة التالية. يمكنك تضمين الأقسام التالية: تحليل المسألة ورسمها، وإيجاد المطلوب (استخدام استراتيجية كاملة). وتقويم الإجابة. يضغط سائق سيارة كتلتها 975 kg تسير بسرعة 25 m/s على الإفرامل. ما أقصر مسافة تقطعها السيارة حتى تتوقف علنًا بأن معامل الاحتكاك الحركي يبلغ 0.65؟ افترض أن قوة الاحتكاك التي يؤثر بها الطريق على الإطارات ثابتة والإطارات غير زلقة.

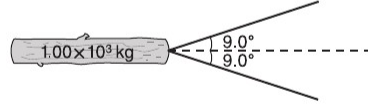
105. التحليل والاستنتاج يقضي علي وعمر وعثمان وقتهم في متنزه محلي ويشاهدون العرض الترفيهي المسمى بالانزلاق الرائع، الذي يُعد ببساطة مستوى مائلًا طويلًا جدًا ومرفقًا. يصعد الزائرون في متنزه التسلية مجموعة طويلة من الدرجات وصولاً إلى قمة المستوى المائل بزاوية 27° وتوفر لهم أكياس من القماش. يجلسون على الأكياس وينزلون لأسفل المستوى الذي يصل طوله إلى 70 m. في الوقت الذي يسير فيه ثلاثة أصدقاء بالقرب من مكان الانزلاق، يوجد رجل كتلته 135 kg وصبي كتلته 20 kg في القمة يستعدون للانزلاق لأسفل. يقول علي "أتعجب من أن الرجل سيستغرق وقتًا أقل في الانزلاق لأسفل عن الطفل". يجيب عمر "أعتقد أن الطفل سيستغرق وقتًا أقل". يرد عثمان "كلاكما على خطأ". سيصلان إلى الأسفل في الوقت نفسه؟

a. أجر تحليلًا مناسبًا لمعرفة من الأصح.
b. إذا لم يستغرق الرجل والولد الزمن نفسه وصولاً إلى الأسفل، فاحسب عدد الثواني التي تمثل الفارق بين الزمنين.

106. طرح مسألة أكمل هذه المسألة لكي يمكن حلها باستخدام جمع متجهات ذات بُعدين: "كان فارس ينظف غرفته عندما وجد بطاقة كرة السلة المفضلة لديه أسفل سريره ..."

اختيار من متعدد

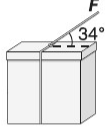
1. ما المفردة المستخدمة لوصف القوة التي تساوي مجموع قوتين أو أكثر؟
A. عامل توازن
B. قوة متعامدة
C. قوة محصلة
D. قوة الشد
2. قُتر بعض الطلاب إنشاء عربة جر خشبية، للتزلج بها في مهرجان الشتاء. كتلتها 30.0 kg فوق زلاجة. إذا صعد عليها ركاب مجموع كتلتهم 90.0 kg . فما مقدار القوة التي سيسحب بها الشخص العربة لكي تبدأ في الحركة؟ اعتبر أن معامل الاحتكاك السكوني بين زلاجة العربة والثلج هو 0.15 .
A. $1.8 \times 10^2 \text{ N}$
B. $3.1 \times 10^2 \text{ N}$
C. $2.1 \times 10^3 \text{ N}$
D. $1.4 \times 10^4 \text{ N}$
3. إذا افترضنا أن أقل قوة لتحريك صندوق كتلته 50.0 kg على الأرض هي 280 N . فما معامل أقصى احتكاك سكوني بين الصندوق والأرض؟
A. 0.18
B. 0.57
C. 1.8
D. 5.6
4. جراران يسحبان جذع شجرة كتلته $1.00 \times 10^3 \text{ kg}$ كما هو موضح في الشكل أدناه. إذا كانت الزاوية المحصورة بين سلسلتي الجرارين 18.0° وكل جرار يسحب بقوة $8 \times 10^2 \text{ N}$. فما مقدار القوة المحصلة التي يؤثران بها على الجذع؟
A. 250 N
B. $7.90 \times 10^2 \text{ N}$
C. $1.58 \times 10^3 \text{ N}$
D. $9.80 \times 10^3 \text{ N}$



5. يحاول طيار الطيران مباشرة في اتجاه الشرق بسرعة متجهة 800.0 km/h . إذا كانت سرعة الرياح القادمة من اتجاه الجنوب الغربي 80.0 km/h . فكم تبلغ السرعة المتجهة النسبية للطائرة بالنسبة إلى الأرض؟
A. شمال الشرق 5.7° 804 km/h
B. شمال الشرق 3.8° 858 km/h
C. شمال الشرق 4.0° 859 km/h
D. شمال الشرق 45° 880 km/h

6. أوجد مقدار المركبة الرأسية y لقوة مقدارها 95.3 N تؤثر بزاوية 57.1° بالنسبة إلى المستوى الأفقي؟
A. 51.8 N
B. 80.0 N
C. 114 N
D. 175 N

7. موضح في الشكل أدناه أن خيطًا يؤثر في صندوق بقوة 18 N يميل على المستوى الأفقي بزاوية 34° . ما مقدار المركبة الأفقية للقوة المؤثرة في الصندوق؟
A. 10 N
B. 15 N
C. 21.7 N
D. 32 N



8. لاحظت لمياء أثناء قيادتها للدراجة الهوائية شجرة مكسورة تسد الطريق على بُعد 42 m . إذا كان معامل الاحتكاك بين إطارات دراجتها والطريق 0.36 وهي تقود دراجتها بسرعة 25.0 km/h . فما المسافة المطلوبة حتى تتوقف؟ مع العلم أن كتلة لمياء والدراجة معًا 95 kg .
A. 3.0 m
B. 4.5 m
C. 6.8 m
D. 9.8 m

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

9. بدأ رجل المشي من موقع يبعد 310 m شمالاً عن سيارته في اتجاه الغرب لمدة 2.7 min وبسرعة ثابتة مقدارها 10 km/h . كم يبعد الرجل عن السيارة عندما يتوقف؟
10. أراد أحمد أن يمنع طفله الذي كتلته 41.2 kg من الانزلاق على الدراجين. فقرر أن يدهن الجزء العلوي من الدراجين بمعجون لزج. زاد هذا المعجون مقدار معامل الاحتكاك السكوني إلى 0.72 . فما مقدار قوة الاحتكاك السكوني التي تؤثر في الطفل إذا كان الدراجين يميل على المستوى الأفقي بزاوية 52.4° ؟

الحركة في بُعدين

الفكرة الرئيسة يمكنك استخدام المتجهات وقوانين نيوتن لوصف حركة المقذوفات والحركة الدائرية.

الأقسام

1 حركة المقذوف

2 الحركة الدائرية

3 السرعة المتجهة النسبية

التجربة الاستهلالية

حركة المقذوف

كيف يبدو شكل مسار المقذوف، على سبيل المثال مسار الكرة في الهواء؟







الفيزياء في حياتك

عندما تقذف الكرة المطاطية أو كرة القدم، فإنها تقطع المسافة في شكل قوس. تُعد هذه الكرات المتحركة من المقذوفات. كلمة مقذوف مشتقة من البادئة اللاتينية *pro-* ومعناها "الأمام"، والجذر اللاتيني *ject* ومعناه "إلقاء".

مسار المقذوف

بتحرك كل من المضدع الفافز وكرة الثلج المقذوفة والسهم المنطلق من القوس في مسارات مماثلة. يرتفع كل مسار ويهبط، ودائماً ما يكون هبوطاً مائلاً في مسار على شكل قطع مكافئ. يُعرف الجسم المنطلق في الهواء باسم **المقذوف**. يمكنك إعداد مخطط جسم حر لمقذوف متطلق وتحديد القوى المؤثرة فيه. إذا تجاهلت مقاومة الهواء، بعدما ينطلق المقذوف بقوة ابتدائية، فإن الجاذبية ستكون القوة الوحيدة التي تؤثر فيه أثناء تحركه في الهواء. تتسبب الجاذبية في أن يهبط الجسم هبوطاً مائلاً. يُعرف مساره في الفراغ باسم **مسار المقذوف**. يمكنك تحديد مسار المقذوف إذا كنت تعرف سرعته الابتدائية. في هذه الوحدة، سنتناول نوعين من حركة المقذوفات. يوضح الجزء العلوي من الشكل 1 الماء المنطلق انطلافاً أفقياً في شكل مقذوف. بينما يوضح الجزء السفلي من الشكل الماء المنطلق كمقذوف بزاوية. في كلتا الحالتين، تجعل الجاذبية مسار الهبوط منحنياً للأسفل في شكل قطع مكافئ.

الشكل 1 يميل المقذوف المنطلق انطلافاً أفقياً مباشرة عند هبوطه، لكن إذا أطلق لأعلى بزاوية، فإنه سيرتفع ويهبط بعد ذلك، ودائماً ما يكون الهبوط في بشكل منحنى.



الفكرة الرئيسية

الحركة الأفقية للمقذوف مستقلة عن حركته الرأسية.

الأسئلة الرئيسية

- إلى أي مدى ترتبط الحركات الرأسية بالحركات الأفقية للمقذوف؟
- ما العلاقات بين ارتفاع المقذوف والزمن الذي يستغرقه في الهواء وسرعته الابتدائية والمسافة الأفقية التي يقطعها؟

مراجعة المفردات

مخطط الحركة diagram motion

عبارة عن مجموعة من الصور الموضحة لمواضع جسم متحرك والملتقط على مدار فترات زمنية منتظمة.

المفردات الجديدة

المقذوف projectile
مسار المقذوف trajectory

حرية الحركة في بُعدين

فكّر في قيام لاعبين لكرة المطاطية بالإحماء للعب إحدى المباريات، حيث يقذفان الكرات عاليًا ذهبا وإيايا. ما شكل المسار الذي تتخذه الكرة وهي في الهواء؟ نظرًا لاعتبار الكرة من المقذوفات، تأخذ مسارًا على شكل قطع مكافئ. تخيّل أنك تجلس خلف أحد اللاعبين مباشرة وتراقب الكرة المطاطية أثناء فذفها. ما الشكل الذي تتخذه حركة الكرة؟ ستراها ترتفع لأعلى وتهبط لأسفل. مثلها مثل أي جسم يُقذف رأسياً لأعلى في الهواء. إذا كنت قد شاهدت الكرة المطاطية من منطاد أعلى الملعب مباشرة، فما الحركة التي شاهدتها آنذاك؟ ستشاهد الكرة تتحرك من أحد اللاعبين إلى اللاعب الآخر بسرعة ثابتة، مثلها مثل أي جسم ينطلق بسرعة أفقية ابتدائية، كقرص الهوكي الذي يُقذف على الجليد. تُعد حركة المقذوفات مزيجًا من هاتين الحركتين.

لماذا تتصرف المقذوفات بهذه الطريقة؟ بعدما تخرج الكرة المطاطية من يد اللاعب، ما القوى المؤثرة في الكرة؟ إذا تجاهلت مقاومة الهواء، فلن تكون هناك قوى تلامس مؤثرة في الكرة. لن تكون هناك سوى قوة مجال الجاذبية التي تؤثر في اتجاه الهبوط. ما مدى تأثير هذا في حركة الكرة؟ الجاذبية تكسب الكرة تسارعًا اتجاهه للأسفل.

مقارنة رسومات الحركة تعرض الشكل 2 مسارات الكرتين. سقطت الكرة الحمراء، وانطلقت الكرة الزرقاء بسرعة أفقية ابتدائية. ما أوجه الشبه بين المسارين؟ ألق نظرة على مواضعها الرأسية. تشير الخطوط الأفقية إلى المسافات الرأسية المتساوية. كان ارتفاع الكرتين نفسه في كل لحظة التخطت فيها صورة. ولأن التغيّر في الموضع الرأسية هو نفسه لكليهما، كان متوسط السرعات الرأسية خلال كل فترة زمنية هو نفسه كذلك. يبين معدل التزايد في المسافة الكبيرة التي تقطعها الكرات رأسياً، من فترة زمنية لأخرى، أنها تتسارع عند الهبوط بسبب تأثير قوة الجاذبية.

لاحظ أن الحركة الأفقية للكرة المنطلقة لا تؤثر في حركتها الرأسية. المقذوف أفقياً له سرعة أفقية ابتدائية، لكن ليس له أي سرعة رأسية ابتدائية. ومن ثم فحركته الرأسية مماثلة لجسم يسقط من موضع السكون. تمامًا مثل الكرة الحمراء، يكون للكرة الزرقاء سرعة هبوط تزداد بانتظام بسبب التسارع الذي تُسببه الجاذبية.

✓ **التأكد من فهم النص اشرح** لماذا يكون للجسم الساقط سرعة متجهة رأسية مماثلة للجسم المقذوف أفقياً.

تجربة مصغرة

كتلة المقذوف

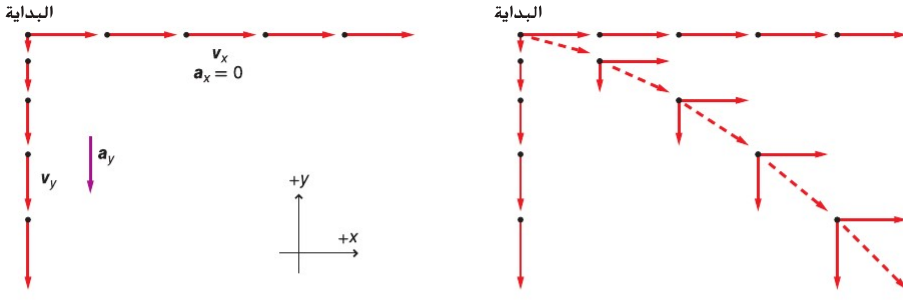
هل تؤثر كتلة المقذوف في حركته ؟

مسار المقذوف

هل ترتبط الحركات الأفقية بالحركات الرأسية للمقذوف؟

NASA GSFC Image by Robert Simmon and Reo Stockli

McGraw-Hill Education مؤسسة لمصاحف محبوبة © حقوق الطبع والنشر



المقذوفات التي أُطلقت أفقيًا

تخيّل أن شخصًا يقف بالقرب من حافة جرف ويرمي حصاة رميًا أفقيًا. مثل كل المقذوفات المنطلقة أفقيًا، ستكون للحصاة سرعة أفقية ابتدائية، لكن لن يكون لها سرعة رأسية ابتدائية. ماذا سيحدث للحصاة وهي تسقط من الجرف؟

رسومات الحركة المنفصلة تذكر أن الحركة الأفقية للمقذوف لا تؤثر في حركته الرأسية. لذلك يسهل تحليل الحركة الأفقية والحركة الرأسية كل على حدة. نظهر رسومات الحركة المنفصلة لمركبات x و y للمقذوف المنطلق انطلاقًا أفقيًا، مثل الحصاة التي تُرمى من الجرف، على الجانب الأيسر في الشكل 3.

الحركة الأفقية لاحظ وجود المتجهات الأفقية في الرسم على الجانب الأيسر. كل متجه من متجهات السرعة له الطول نفسه، مما يشير إلى أن سرعة الجسم في الاتجاه الأفقي لا تتغير. لا تتسارع الحصاة في الاتجاه الأفقي. هذه السرعة الثابتة في الاتجاه الأفقي هي ما ينبغي توقعه بالضبط، لأنه بعد الرمية الابتدائية، لا توجد قوة أفقية تؤثر في الحصاة. (في الواقع، ستتناقص سرعة الحصاة تناقصًا طفيفًا بسبب مقاومة الهواء، لكن عليك تذكر أننا نتجاهل مقاومة الهواء في هذه الوحدة.)

■ **التأكد من فهم النص** اشرح السبب في كون الحركة الأفقية للمقذوف ثابتة.

الحركة الرأسية ألق نظرة الآن على متجهات السرعة الرأسية الموجودة في الرسم على الجانب الأيسر. يتجاوز طول كل متجه للسرعة طول المتجه الواقع فوقه بمقدار طفيف. يُظهر الطول المتغير أن سرعة الجسم تزداد وتتسارع نحو الأسفل. مرة أخرى، هذا ما ينبغي توقعه، لأن قوة الجاذبية في هذه الحالة تؤثر في الحصاة.

مسار القطع المكافئ عند التعامل مع مركبات x و y لحركة الجسم على حدة، يتخذ كل مسار خطًا مستقيمًا. يوضح الرسم الموجود على الجانب الأيمن في الشكل 3 مسار القطع المكافئ الفعلي. تضاف المركبات الأفقية والرأسية في كل لحظة لتكوين متجه السرعة الكلية في تلك اللحظة. يمكنك أن ترى كيف تنشئ مجموعة السرعة الأفقية الثابتة والتسارع الرأسي المنتظم مسارًا يتخذ شكل القطع المكافئ.

الشكل 3 لوصف حركة مقذوف أفقيًا. يمكن التعامل مع مركبات x و y كل على حدة. تُمثل محصلة المتجهات للمقذوف مماس القطع المكافئ.

الاستنتاج أوجد قيمة a_y ؟

مختبر الفيزياء

إجراء تحقيق

مختبر الطب الشرعي كيف يمكن للفيزياء إعادة بناء إطلاق قذيفة؟

نشاط بلوغ الهدف

صمم تجربتك بنفسك ما العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف؟

الحركة في بُعدين

عند حل مسائل المقذوفات، استخدم الاستراتيجيات التالية.

1. ارسم رسماً للحركة يتضمن كميات متجهة للمقذوف عند الموضع الابتدائي والموضع النهائي له. إذا أطلق المقذوف بزاوية، فوضح أيضاً أقصى ارتفاع يصل إليه وزاويته الابتدائية.
2. قدّر الحركة الرأسية والأفقية كل على حدة، أنشئ قائمة بالمتغيرات المعطاة والمطلوبة.
3. في الحركة الأفقية، التسارع يساوي $a_x = 0.0 \text{ m/s}^2$. أما إذا أطلق المقذوف بزاوية، فإن سرعته الرأسية الابتدائية وسرعته الرأسية عند سقوطه وعودته لنفس الارتفاع يكن لهما نفس المقدار ولكن باتجاهين مختلفين: $v_{yi} = -v_{yf}$.
4. في الحركة الرأسية، يكون $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$ (إذا اخترت الاتجاه لأعلى قيمة موجبة). إذا أطلق المقذوف بزاوية، فإن سرعته الرأسية عند أعلى نقطة يصل إليها تساوي صفراً: $v_{yf} = 0$ الحد الأدنى v_{yi} .
5. اختر معادلات الحركة التي تساعدك على إيجاد المتغيرات المجهولة. استخدمها في إيجاد الحركة الرأسية والأفقية كل على حدة. تذكر أن الزمن هو نفسه للحركة الأفقية والرأسية. يؤدي إيجاد الزمن في أحد البعدين إلى معرفة زمن البعد الآخر.
6. من المفيد أحياناً استخدام معادلات الحركة لإيجاد جزء من مسار المقذوف. يمكنك اختيار أي نقاط ابتدائية ونهاية لاستخدامها في المعادلات.

معادلات الحركة

أفقية (سرعة ثابتة)

$$x_f = v_{xi} t + x_i$$

رأسية (تسارع ثابت)

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

$$x_f = x_i + v_{xi} t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

$$v_{yf}^2 = v_{yi}^2 + 2a_y(x_f - x_i)$$

مثال 1

الطبق المتزلق لنفترض أنك تحضر طعام الفطور وتدفع الطبق على طاولة المطبخ. لسوء الحظ، دفعته بسرعة كبيرة، حتى وصل إلى طرف طاولة المطبخ. إذا كانت طاولة المطبخ ترتفع عن الأرض بمقدار 1.05 m وقد غادر حافة الطاولة الطاولة بسرعة 0.74 m/s . فما المدة التي يستغرقها حتى يسقط. وما بعد نقطة ارتطامه بالأرض عن حافة الطاولة.

تحليل المسألة

ارسم رسومات الحركة الأفقية والرأسية. اختر النظام الإحداثي بحيث تكون نقطة الأصل على الجزء العلوي من طاولة المطبخ. اختر اتجاه محور x الموجب في اتجاه السرعة الأفقية واتجاه محور y الموجب لأعلى.

المعلوم

$$\begin{array}{lll} x_i = y_i = 0 \text{ m} & a_x = 0 \text{ m/s}^2 & t = ? \\ v_{xi} = 0.75 \text{ m/s} & a_y = -9.8 \text{ m/s}^2 & x_f = ? \\ v_{yi} = 0 \text{ m/s} & y_f = -1.05 \text{ m} & \end{array}$$

المجهول

إيجاد المجهول

استخدم معادلة الحركة في اتجاه المحور y لإيجاد زمن السقوط

$$\begin{aligned} y_f &= y_i + \frac{1}{2} a_y t^2 \\ t &= \sqrt{\frac{2(y_f - y_i)}{a_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2(-1.05 \text{ m} - 0 \text{ m})}{-9.8 \text{ m/s}^2}} = 0.46 \text{ s} \end{aligned}$$

استخدم معادلة الحركة في اتجاه المحور x لمعرفة موضع اصطدام الطبق بالأرض.

$$x_f = v_{xi} t = (0.74 \text{ m/s})(0.46 \text{ s}) = 0.34 \text{ m} \text{ إلى الجانب الأيمن من الطاولة}$$

تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يُقاس الوقت بالثواني. يقاس الموضع بالأمتار.
- هل الإشارات مفهومة؟ كلاهما موجب. تتوافق إشارة الموضع مع الاختيار الإحداثي.
- هل المقادير واقعية؟ يستغرق السقوط لمسافة متر واحد حوالي 0.5 s . وخلال هذه الفترة، تساوي الإزاحة الأفقية للطبق $0.5 \text{ s} \times 0.74 \text{ m/s}$.

Stocktrek/Getty Images

McGraw-Hill Education مؤسسة لمؤسسة

حقوق الطبع والنشر © محفوظة لصالح مؤسسة

1. ترمي حجرًا أفقيًا بسرعة تبلغ 5.0 m/s من أعلى تل يرتفع 78.4 m .
 - a. ما المدة التي يستغرقها الحجر للوصول إلى أسفل التل؟
 - b. كم تبلغ المسافة التي يبعدها موضع سقوط الحجر عن قاعدة التل؟
 - c. ما المركبات الأفقية والرأسية لسرعة الحجر قبل اصطدامه بالأرض؟
2. تعمل سامية وصديقتها في مصنع تجميع يُصنّع دُمى الزرافات الخشبية. عند نهاية خط الإنتاج، تنتقل دُمى الزرافات أفقيًا إلى حافة السير الناقل وتسقط بداخل الصندوق الموجود أسفله. إذا كان الصندوق يقع أسفل مستوى السير الناقل بحوالي 0.60 m وبعيدًا عنه بحوالي 0.40 m . فكم يجب أن تكون السرعة الأفقية للدُمى عندما تترك السير الناقل؟
3. **التحدي** تزور صديقًا من المدرسة الابتدائية يعيش الآن في قرية صغيرة. يمثل أحد أماكن التسلية في صالة الآيس كريم، حيث يدفع مراد، طاهي الوجبات السريعة، متلجات الآيس كريم على الطاولة بسرعة ثابتة تبلغ 2.0 m/s إلى النادل. (يُحافظ على الطاولة مليعة جيدًا لهذا الغرض.) إذا التقط النادل المتلجات على مسافة 7.0 cm من حافة الطاولة، ما مقدار مسافة سقوط الآيس كريم من حافة الطاولة إلى الموضع الذي يلتقطها عنده.

الإطلاق بزاوية

عند إطلاق مقذوف بزاوية مائلة، يكون للسرعة الابتدائية مركبة رأسية و مركبة أفقية. إذا أُطلق الجسم لأعلى، مثل كرة مقذوفة لأعلى في الهواء، فسيرتفع بسرعة بطيئة وسيصل إلى قمة مساره حيث تساوي سرعته صفرًا للحظة ومن ثم يهبط بسرعة متزايدة.

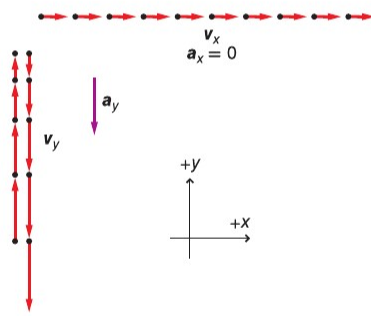
رسوم الحركة المنفصلة يوضح الرسم العلوي في الشكل 4 رسوم الحركة الرأسية والأفقية المنفصلة بالنسبة إلى مسارها. في النظام الإحداثي، يكون المحور x أفقيًا ويكون المحور y رأسيًا. لاحظ التماثل. عند كل نقطة في الاتجاه الرأسي، يكون لسرعة الجسم وهو يتحرك لأعلى المقدار نفسه عندما يتحرك هابطًا لأسفل. يتمثل الفرق الوحيد في أن اتجاهي السرعتين متضادان. عند حل المسائل، يكون من المفيد أحيانًا مراعاة التماثل لإيجاد الكميات المطلوبة.

مسار القطع المكافئ يُحدد الرسم السفلي في الشكل 4 كميتين مقترنتين بمسار المقذوف. تُمثل إحداثيها أقصى ارتفاع، وهو الارتفاع الذي يصل إليه المقذوف عندما تساوي السرعة الرأسية صفرًا ويكون للمقذوف فقط مُكوّن ذو سرعة أفقية. بينما تُمثل الكمية الأخرى المدى (R)، الذي يُقصد به المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف عندما تكون الارتفاعات الابتدائية والنهائية هي نفسها. يكون وقت التحليق مجهولًا، ويُعتمد به مقدار الوقت الذي يبقى فيه المقذوف في الهواء. بالنسبة إلى ضربات الكرة في البيسبول، يُطلق على وقت التحليق غالبًا وقت التعلق.

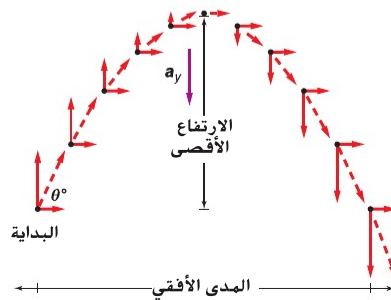
✓ **التأكد من فهم النص** عند أي نقطة في مسار المقذوف سرعته الرأسية تساوي صفرًا؟

الشكل 4 عند إطلاق مقذوف بزاوية مائلة لأعلى، يكون اتجاه مسار القطع المكافئ لأعلى ثم لأسفل. تُمثل الحركة لأعلى ولأسفل بشكل واضح في المركبة الرأسية لرسم المتجه.

■ متجهات السرعة والتسارع الرأسية والأفقية

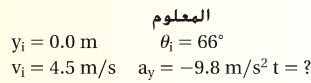


■ مسار القطع المكافئ



تطبيق

• ارسم رسمًا للحركة يوضح v و a .


$$v_{y, \max} = 0.0 \text{ m/s} \quad y_{\max} = ?$$

أوجد مركب المحور y لـ v_i .

$$\begin{aligned} v_{yi} &= v_i(\sin \theta_i) \\ &= (4.5 \text{ m/s})(\sin 66^\circ) = 4.1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

استخدم التناظر لإيجاد مركب المحور y_f .

$$v_{yf} = -v_{yi} = -4.1 \text{ m/s}$$

أوجد أقصى ارتفاع

$$v_{y, \text{ الحد الأفقي}}^2 = v_{yi}^2 + 2a_y(y_{\text{ الحد الأفقي}} - y_i)$$

$$(0.0 \text{ m/s})^2 = v_{yi}^2 + 2a_y(y_{\text{ الحد الأفقي}} - 0.0\text{m})$$

$$y_{\text{ الحد الأفقي}} = \frac{v_{yi}^2}{2a_y}$$

$$.v_{yi} = 4.1 \text{ m/s}; a_y = -9.8 \text{ m/s}^2 \text{ بتعويض} \quad = -\frac{(4.1 \text{ m/s})^2}{2(-9.8 \text{ m/s}^2)} = 0.86 \text{ m}$$

أوجد الزمن المطلوب للعودة إلى الارتفاع الذي يُمثل نقطة الانطلاق.

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

$$t = \frac{V_{yf} - V_{yi}}{a_y}$$

$$v_{yf} = -4.1 \text{ m/s}; v_{yi} = 4.1 \text{ m/s}; a_y = -9.8 \text{ m/s}^2 \text{ بتعويض } \rightarrow = \frac{-4.1 \text{ m/s} - 4.1 \text{ m/s}}{-9.8 \text{ m/s}^2} = 0.84 \text{ s}$$

تقييم الإجابة هل المقادير واقعية؟ بالنسبة إلى الجسم الذي يرتفع لأقل من 1 m. يكون الوقت المستغرق الأقل من 1 s إجابة منطقية.



4. يركل أحد اللاعبين كرة القدم من أرضية مستوية بسرعة ابتدائية تبلغ 27.0 m/s ، وبزاوية 30.0° فوق المستوى الأفقي، كما هو موضح في الشكل 5. أوجد كلاً مما يلي. افترض أن قوة تأثير الهواء على الكرة مهملة.

a. زمن تعلّق الكرة

b. أقصى ارتفاع للكرة

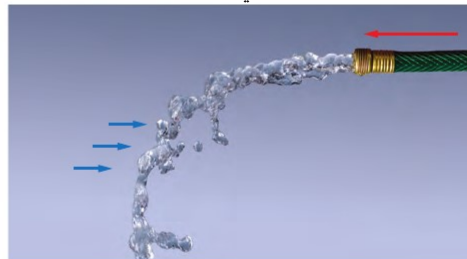
c. المسافة الأفقية التي تقطعها الكرة قبل اصطدامها بالأرض

5. يركل اللاعب في المسألة السابقة الكرة بعد ذلك بالسرعة نفسها لكن בזاوية 60.0° فوق المستوى الأفقي. كم يبلغ وقت تعلق الكرة والمسافة الأفقية التي تقطعها وأقصى ارتفاع لها؟

6. **التحدي** تُرمى صخرة من منحدر صخري ارتفاعه 50.0 m بسرعة ابتدائية تبلغ 7.0 m/s وبزاوية 53.0° أعلى المستوى الأفقي. أوجد سرعتها لحظة اصطدامها بالأرض.

يتم تجاهل تأثير القوى المتولدة من الهواء حتى الآن في هذه الوحدة. ومع ذلك ففكر في سبب استقرار الطائرة الورقية في الهواء أو سبب مساعدة المظلة للاعب القفز الحر على الهبوط بأمان إلى الأرض. يمكن أن تغيّر القوى المتولدة من الهواء من حركة الجسم.

ماذا لو كان اتجاه الرياح بزاوية مع جسم متحرك؟ تؤثر المركبة الأفقية للرياح فقط في الحركة الأفقية للجسم ما. بينما تؤثر المركبة الرأسية للرياح في الحركة الرأسية للجسم. في حالة الماء، على سبيل المثال. يمكن أن يقلل التيار الصاعد القوي من سرعة هبوط الماء.



A diagram illustrating the launch of a baseball. A hand is shown at the bottom left, holding a baseball. An arrow points from the baseball upwards and to the right, representing the trajectory. A dashed horizontal line extends from the baseball. The angle between the trajectory arrow and the dashed line is labeled 50° .

11. **التفكير الناقد** بافتراض أن الجسم يُقذف
بالسرعة الابتدائية نفسها والاتجاه نفسه على
الأرض وعلى القمر، حيث يساوي التسارع
سدس قيمته على الأرض بسبب الجاذبية.
كيف ستغير السرعة الرأسية و زمن التحليق
وأقصى ارتفاع والمسافة الأفقية؟

8. **رسم الجسم الحر** ينزلق مكعب الثلج من دون احتكاك مع الطاولة بسرعة ثابتة. ينزلق على الطاولة ويهبط على الأرض. ارسم مخططات للحركة والجسم الحر لمكعب الثلج عند نقطتين على الطاولة ونقطتين في الهواء.

الفيزياء في حياتك

يوجد في كثير من مدن الملاهي والمهرجانات عربات دوّارة. عندما تدور العربة، تكون هناك قوى ناتجة عن أطر العربة أو حوافها الجانبية تحافظ على حركة الراكبين في مسار دائري.

وصف الحركة الدائرية

فكر في جسم يتحرك في مسار دائري بسرعة ثابتة. كحجر مئّت في طرف حبل أو حصان ملجّم في عرج للخيول. هل يتسارع هذان الجسمان؟ في البداية، قد تظن أنهما لا يتسارعان لأن سرعتيهما لا تتغير. لكن تذكر أن التسارع يرتبط بالتغير في السرعة المتجهة، وليس بالتغير في السرعة فحسب. لأن اتجاهات الجسمين تتغير، فهما يتسارعان قطعاً.

تُعرف **الحركة الدائرية المنتظمة** بأنها حركة الجسم بسرعة ثابتة بمسار دائري نصف قطره ثابت. يُحدّد موقع الجسم في حركة دائرية منتظمة، بالنسبة إلى مركز الدائرة، بمتجه الموضع $\vec{r}$. تذكر أن متجه الموضع هو متجه إزاحة ذيله عند نقطة الأصل. متجه الموضع $\vec{r}_1$ و $\vec{r}_2$ عند بداية فترة زمنية ونهايتها موضحان على اليمين في الشكل 8. أثناء تحرك الجسم حركة دائرية، لا يتغير طول متجه الموضع، بل يتغير اتجاه هذا المتجه. يوضح الرسم أيضًا متجهين للسرعة اللحظية. لاحظ أن كل متجه للسرعة المتجهة يكون مماسياً للمسار الدائري، وعمودياً على متجه الموضع عند نفس النقطة. لتحديد السرعة المتجهة للجسم، تحتاج أولاً إلى إيجاد متجه الإزاحة في فترة زمنية معينة. وكما تعلم أن السرعة المتجهة المتوسطة لجسم متحرك تُحدّد بـ $\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$. لذا فإن السرعة المتجهة المتوسطة لجسم في حركة دائرية هي $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$. موضّح في الجانب الأيمن من الشكل 8 الرمز $\Delta \vec{r}$ الذي يشير إلى الإزاحة من $\vec{r}_1$ إلى $\vec{r}_2$ خلال فترة زمنية معينة. فالسرعة المتجهة لهذه الفترة الزمنية لها اتجاه الإزاحة نفسه، لكن قد يختلف طولها لأنها تكون مقسومة على Δt .

الفكرة الرئيسية

يتسارع جسم في حركة دائرية في اتجاه مركز الدائرة بسبب وجود قوة غير متوازنة مبدولة في اتجاه مركز الدائرة.

الأسئلة الرئيسية

- لماذا يتسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة ثابتة في مسار دائري؟
- كيف يعتمد التسارع المركزي على سرعة الجسم ونصف قطر المسار الدائري؟
- ما الذي يسبب التسارع المركزي؟

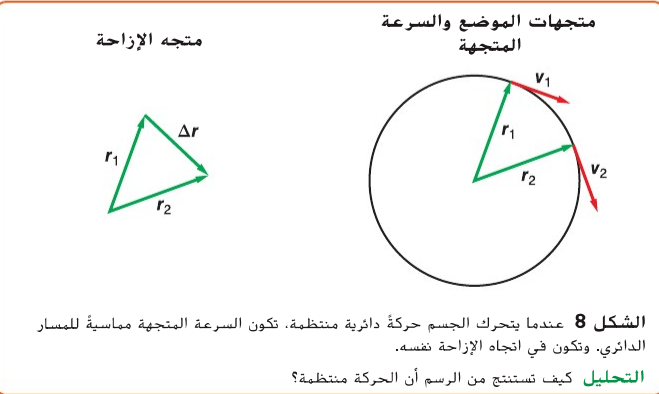
مراجعة المفردات

متوسط السرعة المتجهة

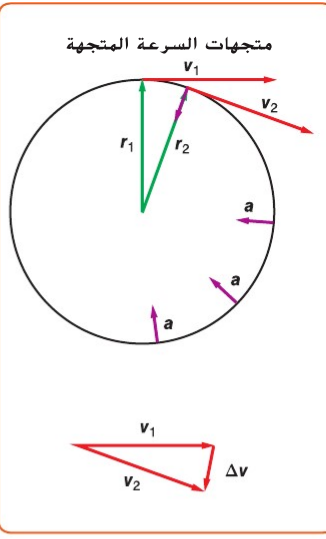
average velocity معدل التغير في الموضع مقسوماً على الزمن الذي يحدث خلاله هذا التغير؛ الرسم البياني للعلاقة بين الموضع والزمن بالنسبة إلى جسم ما

المفردات الجديدة

حركة دائرية منتظمة
uniform circular motion
تسارع مركزي
centripetal acceleration
قوة الجذب المركزي
centripetal force



التسارع المركزي



الشكل 9 تسارع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة يساوي معدل التغير في السرعة المتجهة مقسومًا على الفترة الزمنية. يكون اتجاه التسارع المركزي نحو مركز الدائرة دائمًا.

لقد علمت أن متجه السرعة المتجهة للجسم المتحرك حركةً دائرية منتظمة يكون مماسيًا للمسار الدائري. فما اتجاه التسارع؟ توضح **الشكل 9** متجهي السرعة المتجهة v_1 و v_2 عند بداية فترة زمنية ونهايتها. يلاحظ أن إيجاد الفرق في المتجهين (Δv) يكون بطريقتين. كما هو موضح أسفل الشكل. وأن اتجاه متوسط التسارع ($\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$) لهذه الفترة الزمنية يكون في نفس اتجاه Δv . ولأن الفترة الزمنية قصيرة جدًا، تكون قيمة Δv صغيرة جدًا لدرجة أن $\bar{a}$ يشير إلى مركز الدائرة.

كثير هذه العملية لعدة فترات زمنية أخرى عندما يتواجد الجسم في مواضع مختلفة على محيط الدائرة. ستجد أن متجه التسارع يتغير مع تحرك الجسم على محيط الدائرة. لكنه يتجه دائمًا إلى مركز الدائرة. لهذا السبب، يسمى تسارع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة بالتسارع نحو مركز الدائرة أو **التسارع المركزي**.

مقدار التسارع كم يبلغ مقدار التسارع المركزي للجسم؟ انظر إلى نقطتي البداية لمتجهي السرعة المتجهة أعلى **الشكل 9**. لاحظ المثلث الذي يشكّله متجهي الموضع عند هاتين النقطتين مع مركز الدائرة. مطابقًا لمثلث متجهي السرعة المتجهة كما هو موضح أسفل **الشكل 9**. والزوايا بين r_1 و r_2 هي نفس الزاوية بين v_1 و v_2 . ومن ثم يتكوّن مثلثان متطابقان عند طرح مجموعتي المتجهات، وتكون نسب أطوال الضلعين المتقابلين متساوية. لذلك، $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$. ولا تتغير المعادلة عند قسمة كل من الضلعين على Δt .

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

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

$$\left(\frac{1}{r}\right)\left(\frac{\Delta r}{\Delta t}\right) = \left(\frac{1}{v}\right)\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$$

وبالتعويض $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ في طرف المعادلة الأيسر و $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ في طرف المعادلة الأيمن، نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{v}{r} = \frac{a}{v}$$

وبحل المعادلة يمكن إيجاد التسارع. ويستخدم a_c كرمز للتسارع المركزي.

التسارع المركزي

يتجه التسارع المركزي دائمًا إلى مركز الدائرة. ويساوي مقداره مربع السرعة مقسومًا على نصف قطر الدائرة.

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

الزمن الدوري من الطرق المستخدمة لوصف سرعة جسم يتحرك في مسار دائري قياس زمنه الدوري (T). أي الزمن اللازم ليتم الجسم دورة كاملة واحدة. خلال هذا الزمن، يتحرك الجسم مسافة مساوية لمحيط الدائرة ($2\pi r$)، حينها، يُعبر عن السرعة بـ $v = \frac{2\pi r}{T}$. وعند الاستعاضة عن v بقيمتها في معادلة إيجاد التسارع المركزي، نحصل على المعادلة التالية:

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

الشكل 10 عندما يقوم رامي المطرقة بتحريك الكرة في مسار دائري. فإن القوة التي تُكسب الكرة تسارعاً في اتجاه المركز هي قوة الشد الموجودة في السلسلة.

التوقع عند تجاهل مقاومة الهواء. كيف يمكن أن يتغير التسارع الأفقي والسرعة الممتجة للمطرقة إذا أفلت الرامي الكرة من السلسلة؟



BERND THISEN/FPA/Newscom

قوة الجذب المركزي لأن تسارع الجسم الذي يتحرك في مسار دائري يكون دائماً في اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه، فلا بد أن تكون القوة المحصلة في اتجاه مركز الدائرة أيضاً. يمكن أن تنتج هذه القوة عن مصادر متعددة. فالقوة المؤثرة لدوران الأرض حول الشمس هي قوة جذب الشمس للأرض. عندما يقوم رامي المطرقة بتدوير المطرقة، كما في **الشكل 10**، تكون القوة متمثلة في الشد الموجود في السلسلة المتصلة بكرة ثقيلة. عندما يتحرك الجسم في مسار دائري، تسمى محصلة القوة المؤثرة نحو المركز **قوة الجذب المركزي**. لتحليل حالات التسارع المركزي بدقة، يجب أن تحدد مصدر القوة المؤدية إلى التسارع. ثم يمكنك تطبيق القانون الثاني لنيوتن للمركبة في اتجاه التسارع بالطريقة التالية.

القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدائرية

محصلة قوة الجذب المركزي المؤثرة في جسم يتحرك في مسار دائري تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في تسارعه المركزي.

$$F_{\text{محصلة}} = ma_c$$

اتجاه التسارع عند حل المسائل، وجدت أنه من المفيد اختيار نظام إحداثي يُحدّد فيه محور واحد في اتجاه التسارع. حيث يكون اتجاه التسارع دائماً في اتجاه مركز الدائرة في الحركة الدائرية. لنُسمّي هذا المحور C بدلاً من تسميته X أو Y كرمز للتسارع المركزي. وسيكون المحور الآخر في اتجاه السرعة الممتجة، أي سيكون مماسياً للمسار الدائري. وسنُسمّيه $tang$ كرمز للمماس. سُنطبق الآن القانون الثاني لنيوتن في هذه الاتجاهات. ثامناً كما فعلت في مسائل الحركة في بُعدين التي قمت بحلها سابقاً. تذكر أن قوة الجذب المركزي ما هي إلا تسمية أخرى لمحصلة القوى المؤثرة في اتجاه المركز. فهي تمثل مجموع كل القوى الحقيقية، أي القوى التي يمكنك أن تحدد مصادرها المؤثرة في امتداد المحور المركزي.

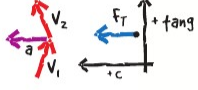
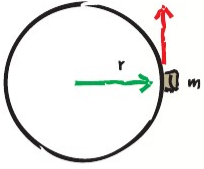
بالرجوع إلى حالة رامي المطرقة في **الشكل 10**، في أي اتجاه تطير المطرقة لحظة انطلاقها من السلسلة؟ بمجرد اختفاء قوة التلامس، لن تكون هناك قوة تؤدي إلى تسارع المطرقة في اتجاه مركز المسار الدائري، لذا تنطلق المطرقة في اتجاه سرعتها الممتجة المماسية للمسار الدائري. تذكر أنه إذا لم تستطع تحديد مصدر قوة ما، فيعني هذا أن هذه القوة غير موجودة.

مختبر الفيزياء

قوة الجذب المركزي

ما الذي يؤدي إلى استمرار حركة الجسم عند تدويره في مسار دائري؟

الحركة الدائرية المنتظمة سداة مطاطية كتلتها 13 g مثبتة عند طرف خيط طوله 0.93 m. أدبرت السداة في مسار دائري أفقي. فأتمت دورة كاملة خلال 1.18 s. أوجد مقدار قوة الشد التي يبذلها الخيط على السداة.



1 تحليل المسألة

- ارسم مخطط القوى المؤثرة
- حدّد نصف القطر واتجاه الحركة.
- أنشئ نظامًا إحداثيًا مع تسمية محاوره $tang$ و c . بحيث يكون اتجاهًا a_c و F_T موازيين لـ c .

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

2 إيجاد المجهول

أوجد مقدار التسارع المركزي.

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

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

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

▶ بالتعويض $r = 0.93 \text{ m}$ ، $T = 1.18 \text{ s}$.

استخدم القانون الثاني لنيوتن لإيجاد مقدار الشد في الخيط.

$$F_T = ma_c$$

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

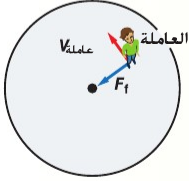
$$= 0.34 \text{ N}$$

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

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يُبين تحليل الأبعاد أن وحدة a_c ستكون بالمتري لكل ثانية مربعة وأن الوحدة F_T ستكون بالنيوتن.
- هل الإشارات مفهومة؟ ستكون الإشارات جميعها موجبة.
- هل المقادير واقعية؟ القوة تساوي تقريبًا ثلاثة أمثال وزن السداة والتسارع يساوي تقريبًا ثلاثة أمثال تسارع الجاذبية. وهذا منطقي بالنسبة إلى جسم خفيف كهذا.

تطبيق



الشكل 11

12. يركض عداء بسرعة 8.8 m/s في منعطف نصف قطره 25 m. فكم يبلغ التسارع المركزي للعداء. وما مصدر قوة الجذب المركزي المؤثرة في العداء؟

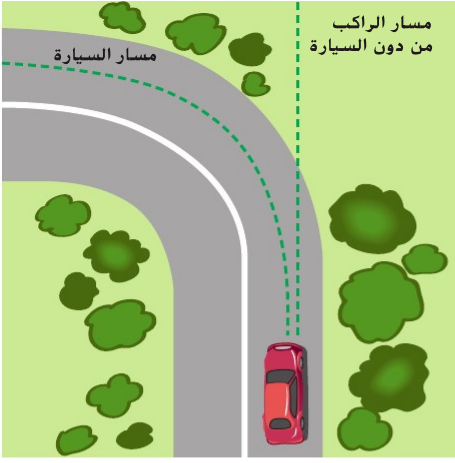
13. تتحرك طائرة بسرعة 201 m/s عند دورانها في مسار دائري. كم يبلغ أقصر نصف قطر لهذا المسار الدائري (بوحدة الكيلومتر) الذي يمكن أن يشكّله قائد الطائرة مع الحفاظ على التسارع المركزي أقل من 5.0 m/s^2 ؟

14. عاملة مسؤولة عن لعبة خيل خشبية كتلتها 45 kg تقف على منصة اللعبة وتبعد 6.3 m عن مركزها. كما هو موضح في الشكل 11. فإذا كانت سرعتها ($v_{\text{اللاعب}}$) أثناء الدوران هي 4.1 m/s. فكم تبلغ قوة الاحتكاك (F_f) اللازمة حتى لا تسقط من المنصة؟

15. أدبرت كرة كتلتها 16 g مثبتة في طرف خيط طوله 1.4 m في مسار دائري أفقي. إذا كانت هذه الكرة تُتم دورة كاملة كل 1.09 s. فكم يبلغ مقدار الشد في الخيط؟

16. التحدي تسير سيارة سباق في مضمار مستو وتنعطف بسرعة 22 m/s في منعطف نصف قطره 56 m. أوجد التسارع المركزي للسيارة. وما أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين الإطارات والأرض لتنعطف السيارة دون أن تنزلق؟

"قوة" الطرد المركزي



الشكل 12 عند مرور السيارة في منعطف، يشعر الراكب بقوة وهمية تؤثر فيه نحو الخارج. في الواقع، القوة المؤثرة في الراكب هي قوة الجذب المركزي التي تكون في اتجاه مركز المسار الدائري وهي تنتج عن احتكاك الراكب بالمعطف.

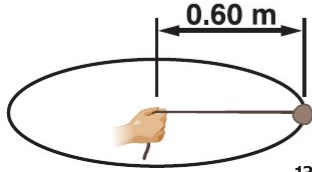
إذا انعطفت سيارة فجأة في اتجاه اليسار. فإن الراكب الجالس على الجانب الأيمن سيندفع في اتجاه الباب الأيمن. فهل هناك قوة خارجية تؤثر في هذا الراكب؟ فُكّر في موقف آخر يكون مشابهًا. لو أن السيارة التي تقودها توقفت فجأة، فإنك ستندفع إلى الأمام داخل حزام الأمان. فهل هناك قوة تؤثر فيك لتدفعك إلى الأمام؟ لا، لأنه طبقًا للقانون الأول لنيوتن، فإنك ستستمر في الحركة بنفس السرعة المتجهة إلا إذا أثرت فيك محصلة قوة خارجية. وحزام الأمان هو الذي يؤثر فيك بقوة تدفعك إلى التوقف.

توضح **الشكل 12** سيارة تنعطف ناحية اليسار كما تبدو من أعلى. سيستمر راكب السيارة في الحركة إلى الأمام لولا القوة التي تؤثر فيه من الباب في اتجاه التسارع. أثناء مرور السيارة في هذا المنعطف، يخضع كل من السيارة والراكب لحركة دائرية، ويكون الراكب تحت تأثير التسارع المركزي. تذكر أن اتجاه التسارع المركزي يكون نحو مركز الدائرة دائمًا. فليست هناك قوة تدفع الراكب إلى الخارج.

لكن إذا فُكّر في حالات مماثلة مررت بها، فستجد أنك كنت تشعر كما لو كانت هناك قوة تدفعك إلى الخارج. إن القوة التي تُسمى بقوة الطرد المركزي أو القوة للخارج وهي قوة وهمية لا وجود لها. السبب الوحيد الذي يجعلك تشعر كما لو أن هناك قوة تدفعك هو أنك تكون في تسارع بالنسبة إلى الأشياء الموجودة حولك. وليست هناك قوة حقيقية لأنه ليس هناك مصدر حقيقي يولد هذه القوة.

القسم 2 مراجعة

22. القوة المركزية الجاذبة حجر بكتلة مقدارها 4.4 g يتم تحريكه أفقيًا على شكل دائرة بسرعة 2.2 m/s . ما مقدار قوة الشد المؤثرة في السلك؟



الشكل 13

23. لعبة في مدينة الملاهي في إحدى ألعاب مدينة الملاهي يقف الأشخاص في دائرة نصف قطرها 4 m مستندين بظهورهم إلى حائط. يستغرق الزمن الدوري 1.7 s . ما مقدار التسارع المركزي الجاذبي ومقدار السرعة المتجهة لهؤلاء الأشخاص؟

24. القوة المركزية الجاذبة تبلغ كتلة كرة بولينج 7.3 kg . ما مقدار القوة الذي يتسبب في تحريكها على شكل دائرة، نصف قطرها 0.75 m . بسرعة تبلغ 2.5 m/s ؟

25. التفكير الناقد أنت تدور دائيًا في حركة دائرية منتظمة بسبب دوران الأرض اليومي حول نفسها. ما مصدر القوة التي تتسبب في تسارعك المركزي الجاذبي؟ ما تأثير هذه الحركة الدائرية في قراءة وزنك على الميزان؟

17. الفكرة الرئيسية إذا ربطت كرة في طرف حبل وقيمت بتدويرها بسرعة ثابتة في مسار دائري فوق رأسك، فستتحرك الكرة حركة دائرية منتظمة. ما اتجاه تسارع الكرة؟ وما القوة المؤدية للتسارع؟

18. الحركة الدائرية المنتظمة ما اتجاه القوة المؤثرة في الملابس في دورة العصر لغسالة ذات تحميل علوي؟ وما مسبب هذه القوة؟

19. التسارع المركزي أشارت مقالة في جريدة أنه يجب على السائقين، عند انعطاف السيارات، توخي الحذر لتحقيق الموازنة بين قوة الجذب المركزي وقوة الطرد المركزي لتجنب انزلاق السيارات. اكتب رسالة إلى المحرر تنقذ فيها الأخطاء الواردة في هذه المقالة من الناحية الفيزيائية.

20. مخطط الجسم الحر تجلس في المقعد الخلفي في سيارة تنعطف إلى اليمين. ارسم مخطط الحركة ومخطط الجسم الحر للإجابة عن هذه الأسئلة:

a. ما اتجاه تسارعك؟

b. ما اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيك؟

c. ما مسبب هذه القوة؟

21. التسارع المركزي يدور جسم في مسار دائري أفقي، وهو مثبت في طرف خيط طوله 1.8 m . ويتم دورة كاملة خلال 2.2 s . فكم يبلغ التسارع المركزي للجسم؟

الفيزياء في حياتك
هل لاحظت من قبل أن الأشخاص الذي يقفون بجوارك على سلم متحرك لا يتحركون وأن الأشخاص المتواجدين على سلم متحرك في الاتجاه الآخر يتحركون بسرعة كبيرة؟ في الواقع، قد يكون لهؤلاء الأشخاص السرعة نفسها بالنسبة إلى الأرض لكن تختلف سرعاتهم المتجهة كثيرًا بالنسبة إليك.



الحركة النسبية في بُعد واحد

افترض أنك في حافلة مدرسة تتحرك بسرعة متجهة قدرها 8 m/s في اتجاه موجب. وأنت تسير بسرعة 1 m/s في اتجاه مقدمة الحافلة. إذا كان صديق لك يقف على جانب الطريق ويراقب حركة الحافلة. فما مقدار السرعة التي قد يسجلها زميلك لحركتك؟ إذا كانت الحافلة تتحرك بسرعة 8 m/s فستكون سرعتها 8 m/s كما يقيسها زميلك في نظام إحداثي من نقطة ثابتة على الأرض. عندما تقف ثابتًا في الحافلة تكون سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة على الأرض هي 8 m/s أيضًا. لكن تكون سرعتك بالنسبة إلى الحافلة صفرًا. فكيف يمكن أن تختلف سرعتك؟

مناطق الإسناد المختلفة في هذا المثال، نلاحظ حركتك من خلال أنظمة إحداثية مختلفة. يُعرف النظام الإحداثي الذي يمكن ملاحظة الحركة من خلاله **بمناطق الإسناد**. إذا كنت تسير بسرعة 1 m/s في اتجاه مقدمة الحافلة فهذا يعني أن سرعتك تُقاس بالنسبة إلى الحافلة. أي أن سرعتك المتجهة في مناطق الإسناد للنقطة الثابتة تكون مختلفة. يمكنك إعادة صياغة المسألة كما يلي: إذا أعطيت سرعة الحافلة بالنسبة إلى الطريق وسرعتك بالنسبة إلى الحافلة، فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى الطريق؟ تبين **الشكل 14** تمثيلًا اتجاهيًا لهذه المسألة. إذا كان اتجاه اليمين موجبًا، فإن سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة هي 9 m/s . أي مجموع السرعتين 8 m/s و 1 m/s . افترض الآن أنك تسير بالسرعة نفسها في اتجاه مؤخرة الحافلة. فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة على الأرض؟ تبين **الشكل 14** أنه نظرًا إلى أن السرعتين متعاكستين، فإن محصلة السرعة هي 7 m/s . أي الفرق بين 8 m/s و 1 m/s . نلاحظ أنه إذا كانت السرعات المتجهة في خط مستقيم، فيمكن استخدام عمليتي الجمع والطرح البسيطتين لإيجاد السرعة المتجهة النسبية.

الفكرة الرئيسية

تعتمد السرعة المتجهة للجسم على مناطق الإسناد الذي يتم اختياره.

الأسئلة الرئيسية

- ما السرعة المتجهة النسبية؟
- كيف تحسب السرعات المتجهة للجسم في مناطق إسناد مختلفة؟

مراجعة المفردات

محصلة resultant المتجه الذي يُمثّل مجموع متجهين آخرين.

المفردات الجديدة

مناطق إسناد reference frame

في الانجاء نفسه

الباص نسبة إلى الشارع $V_{\text{باص}}$

أنت نسبة إلى الباص $V_{\text{أنت}}$

أنت نسبة إلى الشارع $V_{\text{أنت}}$

في اتجاه متعاكس

الباص نسبة إلى الشارع $V_{\text{باص}}$

أنت نسبة إلى الباص $V_{\text{أنت}}$

أنت نسبة إلى الشارع $V_{\text{أنت}}$

الشكل 14 عندما يتحرك جسم في مناطق إسناد متحرك، تُجمع السرعتان المتجهتان إذا كانتا في الاتجاه نفسه، وتُطرح إحداها من الأخرى إذا كانتا متعاكستين.

تذكّر ما الذي تشير إليه أطوال متجهات السرعة المتجهة؟

تحدي

قوة الشد في حبل يدور أمير حجراً كتلته m مربوطة بحبل في مسار أفقي فوق رأسه. مع العلم أن ارتفاع الحبل هو h فوق سطح الأرض. يمثل r نصف قطر الدائرة، و T مقدار قوة الشد في الحبل. انقطع الحبل فجأة وسقط الحجر على الأرض. قُمع الحجر مسافة أفقية x من لحظة انقطاع الحبل إلى ارتطامه بالأرض. أوجد تعبيراً رياضياً لـ x بدلالة كل من T و m و h . ثم وضح هل يتغير التعبير الرياضي إذا تحرك أمير بسرعة 0.05 m/s بالنسبة إلى الأرض؟

مختبر الفيزياء

مناطق الإسناد المتحرك

كيف يمكن أن تصف الحركة في مناطق إسناد متحرك

جمع متجهات السرعة المتجهة أمعن النظر في كيفية الحصول على نتائج السرعات المتجهة في الشكل 14. هل يمكنك وضع صيغة رياضية لوصف كيفية جمع السرعات المتجهة عندما تكون الحركة في مناطق إسناد متحرك؟ بالنسبة إلى الموقف الذي كنت تسير فيه في الحافلة، يمكنك أن ترمز إلى السرعة المتجهة للحافلة بالنسبة إلى النقطة الثابتة بالرمز $v_{b/r}$. ويمكنك أن ترمز إلى سرعتك المتجهة بالنسبة إلى الحافلة بالرمز $v_{y/b}$ ول سرعتك المتجهة بالنسبة إلى النقطة الثابتة بـ $v_{y/r}$. لحساب سرعتك المتجهة بالنسبة إلى النقطة الثابتة في كلتا الحالتين، جمعت متجهات سرعتك المتجهة بالنسبة إلى الحافلة والسرعة المتجهة للحافلة بالنسبة إلى الطريق. رياضياً، كان ذلك على النحو التالي:

$$v_{y/r} = v_{y/b} + v_{b/r}$$

تكتب الصيغة الرياضية العامة لهذه المعادلة على النحو التالي.

السرعة المتجهة النسبية

السرعة المتجهة للجسم a بالنسبة إلى الجسم c هي حاصل الجمع الاتجاهي للسرعة المتجهة للجسم m بالنسبة إلى الجسم b . ثم السرعة المتجهة النسبية للجسم b بالنسبة إلى الجسم c .

$$v_{a/b} + v_{b/c} = v_{a/c}$$

الحركة النسبية في بُعدين

ينطبق جمع السرعات المتجهة النسبية أيضاً على الحركة في بُعدين. فكما هو الحال مع الحركة في بُعدين، ترسم أولاً مخططاً للمتجهات لوصف الحركة ثم تحل المسألة رياضياً.

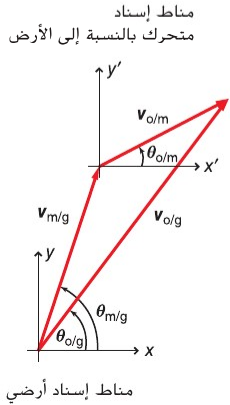
رسومات المتجهات توضح الشكل 15 طريقة رسم رسومات المتجهات للحركة النسبية في بُعدين. تلاحظ أنه يتم وضع رأس متجه على ذيل متجه آخر. يُعتبر مناطق الإسناد الذي تلاحظ الحركة من خلاله، والذي غالباً ما يُسمى بمناطق الإسناد الأرضي، في حالة سكون. حيث يوضح المتجه الأول السرعة المتجهة لمناطق الإسناد الأخير بالنسبة إلى الأرض. كما يوضح المتجه الأخير الحركة في هذا مناطق الإسناد المتحرك. توضح المحصلة السرعة المتجهة النسبية، وهي السرعة المتجهة بالنسبة إلى مناطق الإسناد الأرضي.

✓ **التأكد من فهم النص الاستنتاج** هل يمكن أن تكون السيارة المتحركة مناطق إسناد؟

تُعد الحركة النسبية للطائرة من بين الأمثلة على ذلك. فلا يستطيع الطيار أن يتوقع الوصول إلى وجهته بمجرد توجيه طائرته في اتجاه البوصلة. بل يضع في حسابه سرعة الطائرة بالنسبة إلى الهواء، التي يعرفها من مؤشرات سرعة الهواء، واتجاه الرحلة بالنسبة إلى الهواء. كما يجب أن يضع في حسابه السرعة المتجهة للرياح على الارتفاع الذي يطير عنده بالنسبة إلى الأرض. يجب جمع هذين المتجهين للحصول على السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض. عندئذ يُرشد المتجه المحصل الطيار إلى السرعة التي يجب أن تسير بها الطائرة والاتجاه الذي تسلكه للوصول إلى الوجهة المقصودة. يكون هذا الوضع مشابهاً عند حركة قارب في تيار متحرك من الماء.

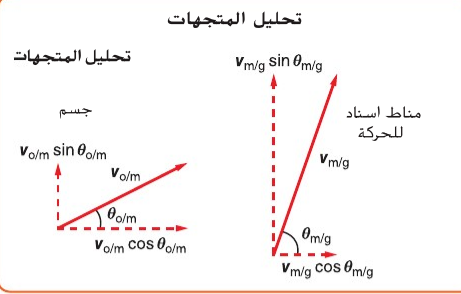
الشكل 15 يوضح رأس متجه على ذيل متجه آخر لحساب متجه السرعة المتجهة النسبية للحركة في بُعدين. يشير الحرفان السفليان o/g إلى جسم بالنسبة إلى الأرض. ويشير o/m إلى جسم بالنسبة إلى مناطق إسناد متحرك ويشير m/g إلى المناطق المتحرك بالنسبة إلى الأرض.

التحليل كيف يمكن أن يتغير المتجه المحصل إذا اعتُبر مناطق الإسناد الأرضي إطاراً مرجعياً متحركاً؟



جميع السرعات المتجهة يمكنك استخدام المعادلات الموضحة في الشكل 16 لحل مسائل الحركة النسبية في بُعدين. السرعة المتجهة لمناط إسناد متحرك بالنسبة إلى الأرض تُسمى $v_{m/g}$. والسرعة المتجهة للجسم في مناط الإسناد تُسمى $v_{o/m}$. ستعطينا معادلة السرعة المتجهة النسبية السرعة المتجهة بالنسبة إلى الأرض: $v_{o/g} = v_{o/m} + v_{m/g}$. لتحديد مقدار السرعة المتجهة للجسم بالنسبة إلى الأرض ($v_{m/g}$)، حلّ أولاً متجهات السرعة المتجهة للجسم ومناط الإسناد المتحرك إلى المركبتين x و y . ثم طَبِّقْ نظرية فيثاغورس. توضح الشكل 16 الصيغة العامة للمعادلة. ومع ذلك تُعد هذه المعادلة أبسط بالنسبة إلى مسائل كثيرة لأن المتجهات تكون على المحاور. كما هو موضح في المثال أدناه، يمكنك إيجاد زاوية السرعة المتجهة للجسم بالنسبة إلى الأرض بملاحظة رسم المتجهات وتطبيق علاقة مثلثية.

✓ **التأكد من فهم النص الشرح** كيف تُستخدم المتجهات لوصف الحركة النسبية في بُعدين؟



المعادلات

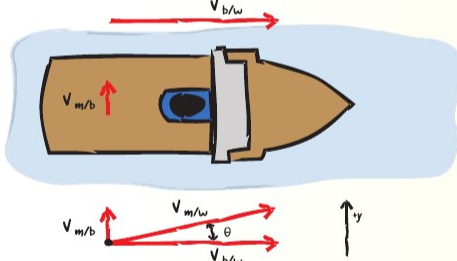
$$v_{o/g}^2 = v_x^2 + v_y^2$$

حيث $v_x = v_{o/m} \cos \theta_{o/m} + v_{m/g} \cos \theta_{m/g}$
 $v_y = v_{o/m} \sin \theta_{o/m} + v_{m/g} \sin \theta_{m/g}$

الشكل 16 لحساب السرعة المتجهة لجسم في مناط إسناد متحرك. حلّ المتجهات إلى المركبتين x و y .

مثال 4

السرعة النسبية لكرة زجاجية تُركب رُديئة وداليا قارباً تسير بسرعة 4.5 m/s في اتجاه الشرق. دحرجت داليا كرة زجاجية بسرعة 0.75 m/s في اتجاه الشمال في عرض القارب باتجاه رُديئة. فكم تبلغ السرعة المتجهة للكرة بالنسبة إلى الماء؟



تحليل المسألة

أنشئ نظاماً إحداثياً. ارسم متجهات لتمثيل السرعات المتجهة.

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

إيجاد المجهول

بما أن سرعتين متعامدتان، سنستخدم نظرية فيثاغورس

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

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

$$= \sqrt{(4.0 \text{ m/s})^2 + (0.75 \text{ m/s})^2} = 4.1 \text{ m/s}$$

أوجد زاوية السرعة المتجهة للكرة الزجاجية.

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

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0.75 \text{ m/s}}{4.0 \text{ m/s}} \right) = 11^\circ$$

شمال الشرق 11°

تتحرك الكرة الزجاجية بسرعة 4.1 m/s باتجاه يصنع زاوية 11° شمال الشرق.

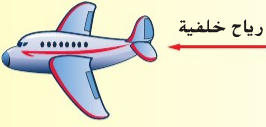
تقييم الإجابة

• هل الوحدات صحيحة؟ بيّن تحليل الأبعاد أن السرعة المتجهة ستكون بوحدة المتر في الثانية.

• هل الإشارات مفهومة؟ ستكون الإشارات جميعها موجبة.

• هل المقادير واقعية؟ السرعة المتجهة الناتجة قريبة من قيم السرعتين المتجهتين المُعطاتين في المثال، وأكبر قليلاً من السرعة الأكبر فيهما.

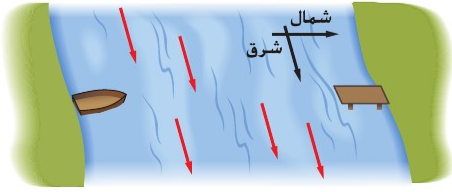
26. إذا كنت تتركب حافلة تتحرك بسرعة بطيئة قدرها 2.0 m/s في ازدحام مروري، وركضت إلى مقدمة الحافلة بسرعة 4.0 m/s بالنسبة إلى الحافلة، فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى الأرض؟
27. يسحب أحمد عربة أطفال في الجوار بسرعة 0.75 m/s ، وفي العربة حشرة تزحف نحو مؤخرة العربة بسرعة 2.0 cm/s ، فكم تبلغ السرعة المتجهة للحشرة بالنسبة إلى الأرض؟
28. يتحرك قارب في نهر بسرعة 2.5 m/s بالنسبة إلى الماء، سجل راصدون واقفون على ضفة النهر أن القارب يتحرك بسرعة لا تزيد عن 0.5 m/s بالنسبة إلى موقعهم على ضفة النهر، فكم تبلغ سرعة ماء النهر؟ وهل يتحرك ماء النهر في اتجاه حركة القارب أم في اتجاه معاكس؟
29. يتحرك قارب بسرعة 3.8 m/s باتجاه الشرق، ثمة شخص يسير في عرض القارب بسرعة متجهة قدرها 1.3 m/s باتجاه الجنوب.
- a. كم تبلغ سرعة الشخص بالنسبة إلى الماء؟
b. في أي اتجاه يسير الشخص، بالنسبة إلى الأرض؟
30. تطير طائرة باتجاه الشمال بسرعة 150 km/h بالنسبة إلى الهواء، هبت رياح في اتجاه الشرق بسرعة 75 km/h بالنسبة إلى الأرض، فكم تبلغ سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض؟
31. التحدي تطير الطائرة الموضحة في الشكل 17 بسرعة 200.0 km/h بالنسبة إلى الهواء، كم تبلغ السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض إذا كانت تطير في ظروف الرياح التالية؟
- a. رياح خلفية بسرعة 50.0 km/h
b. رياح معاكسة بسرعة 50.0 km/h



الشكل 17

القسم 3 مراجعة

37. السرعة المتجهة 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، فكم تبلغ سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
38. السرعة المتجهة النسبية لطائرة تطير طائرة في اتجاه الشمال بسرعة 235 km/h بالنسبة إلى الهواء، وتهب رياح في اتجاه الشمال الشرقي بسرعة 65 km/h بالنسبة إلى الأرض، فكم تبلغ سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
39. التفكير الناقد تقوّل القارب الموضح في الشكل 18 عبر نهر يتحرك ماؤه بسرعة كبيرة، وتريد أن تصل إلى الرصيف في الجهة المقابلة تمامًا لنقطة انطلاقك، صف كيف ستوجه قاربك بدلالة مركبتي سرعتك المتجهة بالنسبة إلى الماء.
32. الفكرة الرئيسية تطير طائرة بسرعة 285 km/h في اتجاه الغرب بالنسبة إلى الهواء، هبت رياح في اتجاه الشرق بسرعة 25 km/h بالنسبة إلى الأرض، فكم تبلغ سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
33. السرعة النسبية قارب صيد سرعتة القصوى 3 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يجري بسرعة 2 m/s ، فكم تبلغ أقصى سرعة يصل إليها القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وكم يبلغ أدنى سرعة يصل إليها؟ حدد اتجاه القارب بالنسبة إلى تيار النهر وأقصى سرعة وأدنى سرعة بالنسبة إلى ضفة النهر.
34. السرعة النسبية لقارب يسير قارب بخاري في اتجاه الغرب بسرعة 13 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يسير في اتجاه الشمال بسرعة 5.0 m/s ، فكم تبلغ السرعة المتجهة (المقدار والاتجاه) للقارب البخاري بالنسبة إلى ضفة النهر؟
35. التجديف تُجَدِّف في نهر يتدفق في اتجاه الشرق، ولمعرفتك بالفيزياء، توجّه قاربك في اتجاه يصنع زاوية 53° غرب الشمال، وبسرعة متجهة 6.0 m/s في اتجاه الشمال بالنسبة إلى ضفة النهر.
- a. كم تبلغ السرعة المتجهة لتيار الماء؟
b. كم تبلغ سرعة قاربك بالنسبة إلى ماء النهر؟
36. عبور النهر يركب حازم في قارب يسير بسرعة 3.8 m/s في اتجاه الشرق، سار في اتجاه الشمال في عرض القارب بسرعة 0.62 m/s ، فكم تبلغ السرعة المتجهة لحازم بالنسبة إلى الماء؟



الشكل 18

الحاجة إلى السرعة

سائق سيارة سباق

تقتضي وظيفة سائق سيارة السباق مهامًا أكثر من مجرد الضغط على دواسة الوقود والالتزام بمنحنيات الطريق. تتطلب إدارة القوى القصوى المطلوبة في العمل أثناء قيادة السيارة بسرعات تقرب من 320 كيلومترًا في الساعة قدرة على التحمل والتمتع بالقوة وردود أفعال سريعة — لا سيما خلال الانعطافات.

1 الحرارة (Heat) يرتدي سائق سيارة السباق خوذة تحمي رأسه من الارتطام ووزة تغطي الجسم بالكامل تحميه من النار وقفازات تساعد على السيطرة على عجلة القيادة. حتى لو كانت مجموعة التشغيل هذه غير ساخنة بما فيه الكفاية، يمكن أن تصبح الحرارة في كابينة القيادة مساوية لحرارة الصحراء.

2 القوة (Force) يمكن أن تتطلب سيارة السباق التي تسير بسرعة 290 km/h قوة تتجاوز 40000 N أجل الانعطاف على مضمار سباق مائل — أو منحرف.

5 الانعطافات (Turns)

تغيير اتجاه عجلات القيادة، يؤثر الطريق بقوة ما على الإطارات المسؤولة عن انعطاف السيارة. يسمح الاحتكاك بين الإطارات والمضمار للسيارة بالثبات على الطريق والانعطاف. كلما كانت قوة الاحتكاك أكبر، كانت السرعة التي يمكن أن ينعطف السائق بها أكبر.

3 السحب (Drag) تصل سيارات السباق إلى أكبر السرعات في المناطق المستقيمة من مضمار السباق. تعمل القوة التي يؤثر بها الطريق في الإطارات على دفع السيارة لتسير إلى الإمام، بينما تعمل قوة السحب المستمدة من مقاومة الهواء على دفع السيارة إلى الخلف.

لزيد من التعمق <<<

الأبحاث قارن على الأقل بين نوعين مختلفين من منافسات سباق السيارات، مثل سباق الجر وسباق السيارات الكهربائية، من حيث القوى المختلفة المستخدمة عند التشغيل بسبب الطرز المختلفة للسيارات وهياكل المضمار وقواعد السباق.

الفكرة الرئيسية يمكنك استخدام المتجهات وقوانين نيوتن لوصف حركة المقذوفات والحركة الدائرية.

القسم 1 حركة المقذوف

المفردات

- المقذوف
- مسار المقذوف

الفكرة الرئيسية الحركة الأفقية للمقذوف مستقلة عن حركته الرأسية.

- الحركات الرأسية والأفقية للمقذوف مستقلة. في حالة عدم وجود أي مقاومة للهواء، لا تتأثر الحركة الأفقية بأي تسارع وتكون السرعة ثابتة؛ بينما تتأثر الحركة الرأسية للمقذوف بتسارع ثابت في ظل هذه الظروف نفسها.
- يُعرف مسار الحركة المائل الذي يتبعه المقذوف باسم مسار المقذوف ويُعد قطعًا مكافئًا. تربط معادلات الحركة بين كل من الارتفاع وزمن الحركة والسرعة الابتدائية والمسافة الأفقية في هذا المسار. تعتمد المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف قبل العودة إلى الارتفاع الابتدائي له على التسارع بسبب الجاذبية وعلى السرعة الابتدائية.

القسم 2 الحركة الدائرية

المفردات

- الحركة الدائرية المنتظمة
- التسارع المركزي
- قوة الجذب المركزي

الفكرة الرئيسية يتسارع جسم في حركة دائرية في اتجاه مركز الدائرة بسبب وجود قوة غير متوازنة مبدولة في اتجاه مركز الدائرة.

- يتسارع جسم يتحرك في مسار دائري بسرعة ثابتة تسارعًا نحو مركز الدائرة نظرًا لتغيّر اتجاه سرعته تغيّرًا ثابتًا.
- يُعرف التسارع نحو مركز الدائرة باسم التسارع المركزي. يتناسب تناسبًا طرديًا مع مربع سرعة الجسم وعكسيًا مع نصف قطر الدائرة.

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

- تكون محصلة القوة باتجاه مركز الدائرة لإحداث تسارع جذب مركزي.

$$F_{net} = ma_c$$

القسم 3 السرعة المتجهة النسبية

المفردات

- مناطق الإسناد

- الفكرة الرئيسية** تعتمد السرعة المتجهة للجسم على مناطق الإسناد الذي يتم اختياره.
- يُعرف النظام الإحداثي الذي نعرض الحركة منه باسم مناطق الإسناد. السرعة المتجهة النسبية هي سرعة الجسم الملاحظة في مناطق إسناد متحرك مختلف.
 - يمكنك استخدام عملية جمع المتجهات لحل مسائل حركة الجسم في مناطق إسناد متحرك.

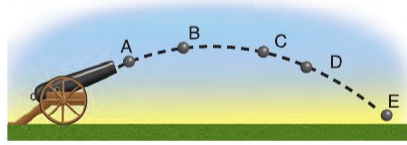
القسم 1 حركة المقذوف

إتقان المفاهيم

40. يعتقد بعض الطلاب أن القوة هي التي تبدأ حركة المقذوفات. تمامًا مثل ركلة كرة القدم، وتبقى مع الكرة. هل هذه وجهة نظر صحيحة؟ قدم الأدلة التي تثبت وجهة النظر هذه أو تنفيها.

41. فكر في مسار قذيفة المدفع الموضح في الشكل 19.

- ما الموضع الذي يكون فيه مقدار المركبة الرأسية للسرعة عند أكبر قيمة له؟
- ما الموضع الذي يكون فيه مقدار المركبة الأفقية للسرعة عند أكبر قيمة له؟
- ما الموضع الذي تكون فيه السرعة الرأسية عند أصغر قيمة لها؟
- ما الموضع الذي يكون فيه مقدار التسارع عند أصغر قيمة له؟



الشكل 19

42. المسار وضح كيف تجعل القوى مسار جسم أطلق أفقيًا مختلفًا عن مسار جسم أطلق لأعلى بزاوية.

43. مسألة عكسية اكتب مسألة فيزيائية باستخدام أجسام من الحياة اليومية يمكن أن تكون المعادلات التالية جزءًا من حلها. تلميح: تصف المعادلتان الجسم نفسه.

$$x = (1.5 \text{ m/s})t \quad 8.0 \text{ m} = \frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)t^2$$

44. يُسقط طيار يحلق بسرعة ثابتة وعلى ارتفاع ثابت صندوقًا ثقيل الوزن. مع تجاهل مقاومة الهواء، أين سيكون موضع الطائرة بالنسبة إلى الصندوق عندما يسقط على الأرض؟ ارسم مسار الصندوق كما يراه مراقب على الأرض.

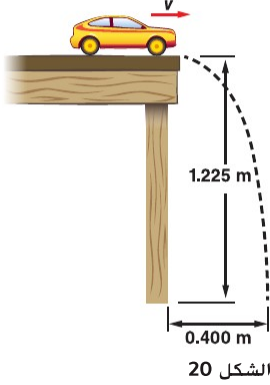
إتقان حل المسائل

45. رميت مغاتيح سيارتك أفقيًا بسرعة 8.0 m/s من منحدر يبلغ ارتفاعه 64 m . ما مقدار المسافة التي ينبغي أن تبعد عنها قاعدة المنحدر حتى تبحث عن المغاتيح؟

46. يرمي لاعب في لعبة الرشق بالسهم سهمًا أفقيًا بسرعة 12.4 m/s . يصطدم السهم في اللوحة بارتفاع أقل من ارتفاع الرمي بمقدار 0.32 m . ما مقدار المسافة التي يبعدها اللاعب عن اللوحة؟

47. تسقط السيارة اللعبة الموضحة في الشكل 20 من حافة طاولة يبلغ ارتفاعها 1.225 m . سقطت السيارة عند نقطة تبعد 0.400 m من قاعدة الطاولة.

- ما الزمن المستغرق في سقوط السيارة؟
- ما مقدار سرعة السيارة على الطاولة؟



الشكل 20

48. السباحة قفزت في الماء من منصة مرتفعة وأنت تجري. كنت تجري بسرعة 2.8 m/s ووصلت الماء بعد مرور 2.6 s . كم يبلغ ارتفاع المنصة وما مقدار المسافة التي بعدتها عن حافة المنصة عندما وصلت إلى الماء؟ لتفترض أن سرعتك الابتدائية أفقية. تجاهل مقاومة الهواء.

49. الرماية قذف سهم بزاوية 30.0° فوق المستوى الأفقي. بسرعة 49 m/s ويصيب الهدف.

- ما أقصى ارتفاع سيصل إليه السهم؟
- يوجد الهدف على الارتفاع الذي زُمي منه السهم. فما مقدار المسافة التي يبعدها الهدف؟

50. الفكرة الرئيسية ضرب لاعب الهجوم كرة البيسبول بزاوية 45° وابتعدت عن سباح ملعب البيسبول بمقدار 98 m . إذا كان ارتفاع السباح بنفس مستوى ارتفاع اللاعب، فأوجد سرعة الكرة عندما خرجت من مضرب اللاعب. تجاهل مقاومة الهواء.

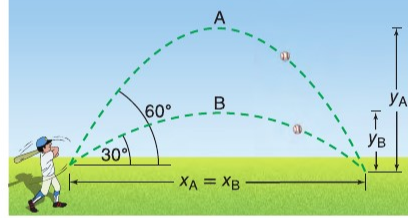
51. الإنقاذ البحري تُسقط طائرة تحلق على ارتفاع 1001 m فوق سطح المحيط بسرعة 125 km/h صندوقًا من الموارد اللازمة لضحايا غرق السفينة.

- ما الزمن اللازم لسقوط الصندوق قبل أن تكون الطائرة فوق الضحايا مباشرة؟
- ما المسافة الأفقية بين الطائرة والضحايا عند سقوط الصندوق؟

52. الغوص يغطس الغواصون من منحدر بارتفاع 61 m . ما الحد الأدنى للسرعة الأفقية التي يجب أن يصل بها الغواص إلى الماء من ارتفاع 23 m على الأقل من المنحدر؟

53. الرمية يحاول لاعب كرة سلة أن يحرز رمية من نصف الملعب ويضع الكرة بارتفاع السلة. لنفترض أن الكرة رُميت بزاوية 51.0° فوق المستوى الأفقي والمسافة الأفقية من السلة تبلغ 14.0 m . كم تبلغ السرعة التي يجب أن يرمي بها اللاعب الكرة لإحراز الرمية؟

54. ضربت كرتا البيسبول الموضحتين في الشكل 21 بنفس السرعة التي تبلغ 25 m/s . ارسم رسومات بيانية متصلة لـ y مقابل t و x مقابل t لكل كرة.



الشكل 21

القسم 2 الحركة الدائرية

إتقان المفاهيم

55. هل يمكنك الدوران في منعطف عندما يكون التسارع كالأتي؟ اشرح.

a. التسارع يساوي صفر

b. التسارع ثابت مقداراً واتجاهاً

56. للحصول على حركة دائرية منتظمة، إلى أي مدى تعتمد محصلة القوة التي تؤثر في جسم متحرك على سرعة الجسم؟

57. لنفترض أنك تلف بوبو حول رأسك في دائرة أفقية.

a. في أي اتجاه يجب أن تؤثر القوة في البوبو؟

b. ما مسبب القوة؟

c. إذا تركت خيط البوبو، ففي أي اتجاه تتحرك اللعبة؟ استخدم قوانين نيوتن في إجابتك.

إتقان حل المسائل

58. سباق السيارات تُكمل سيارة سباق كتلتها 615 kg لفة واحدة في 14.3 s حول مسار دائري يبلغ نصف قطره 50.0 m . لنفترض أن سيارة السباق تسير بسرعة ثابتة.

أ. كم يبلغ تسارع السيارة؟

ب. ما القوة التي يجب أن يؤثر بها المسار في الإطارات لينتج هذا التسارع؟

59. مهمة الترتيب رتب الأجسام التالية حسب التسارع المركزي الخاص بها من الأصغر إلى الأكبر. أشر إلى أي علاقة على وجه التحديد.

A: حجر كتلته 0.50 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.6 m بسرعة 2.0 m/s

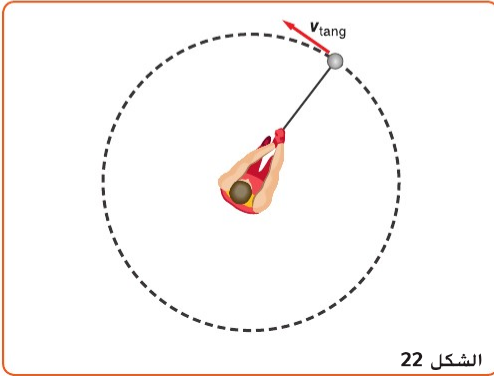
B: حجر كتلته 0.50 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 1.2 m بسرعة 3.0 m/s

C: حجر كتلته 0.60 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.8 m بسرعة 2.4 m/s

D: حجر كتلته 0.75 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 1.2 m بسرعة 3.0 m/s

E: حجر كتلته 0.75 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.6 m بسرعة 2.4 m/s

60. رمي المطرقة يلف رياضي مطرقة وزن 7.00 kg تبعاً عن مركز الدوران 1.8 m في دائرة أفقية، كما هو موضح في الشكل 22. إذا كانت المطرقة تلف دورة واحدة في 1.0 s ، فكم يبلغ التسارع المركزي الخاص بالمطرقة؟ كم تبلغ قوة الشد في السلسلة؟



الشكل 22

61. يدور ساق مستدير يبلغ طوله 15.3 cm عندما يكون محوره في أحد طرفي الساق. يتحرك الطرف الآخر من الساق بسرعة ثابتة تبلغ 2010 m/s (4500 mph).

a. كم يبلغ التسارع المركزي لطرف الساق؟

b. إذا كنت تريد أن تربط جسمًا كتلته 1.0 g بطرف الساق، فما مقدار القوة اللازمة ليثبت على الساق؟

62. يركب مهرج دراجة نارية أسفل منحدر ثم أعلى حلقة رأسية كبيرة وحولها. إذا كان نصف قطر الحلقة 18 m ، فما أقل سرعة يمكن أن يصل بها الراكب أعلى الحلقة بحيث تظل الدراجة ملامسة للمسار وتجنب السقوط؟ تلميح: بهذه السرعة البطيئة، لا يؤثر المسار بأي قوة في الدراجة عند أعلى الحلقة.

67. **السفر جواً** تقود طائرة صغيرة وتريد الوصول إلى مطار على بُعد 450 km جنوباً في غضون 3.0 h. تهب رياح من الغرب بسرعة 50.0 km/h. ما الوجة والسرعة الجوية اللتان ينبغي اختيارهما لتصل إلى وجهتك في الوقت المحدد؟
68. **طرح المسائل** أكمل هذه المسألة بحيث يمكن حلها باستخدام مفهوم السرعة المتجهة النسبية، "يوجد سالم على الضفة الغربية لنهر عرضه 55 m تبلغ سرعة تياره 0.7 m/s".

تطبيق المفاهيم

69. **حركة المذدوف** اشرح كيف يمكن أن تكون الحركة الأفقية منتظمة بينما الحركة الرأسية بحالة تسارع. كيف ستأثر حركة المذدوف عندما تؤخذ مقاومته بسبب مقاومة الهواء في الاعتبار؟

70. **البيسبول** ضرب لاعب الهجوم كرة مباشرة اجتازت القاعدة الرئيسية بسرعة ابتدائية قدرها 20 m/s. أمسك حارس المرمى من الفريق المدافع الكرة من نفس الارتفاع الذي ضربت منه. بأي سرعة وصلت الكرة إلى قفاز حارس المرمى؟ تجاهل مقاومة الهواء.

71. **الرمية السريعة** في لعبة البيسبول، تستغرق الرمية السريعة 0.5 s حتى تصل إلى القاعدة. لتفترض أن هذه الرمية رُميت أفقياً، قارن بين المسافة التي قطعها الكرة في أول 0.25 s والمسافة التي قطعها في ثاني 0.25 s.

72. **ترمي حجراً أفقياً** في الرمية الأفقية الثانية، رميت الحجر بقوة أكبر ودفعته بسرعة أكبر.

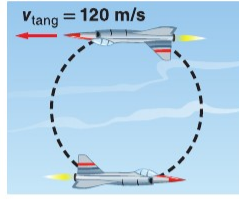
- a. كيف سيأثر الوقت الذي يستغرقه الحجر حتى يسقط على الأرض؟ تجاهل مقاومة الهواء.
- b. ما مدى تأثير السرعة الزائدة على المسافة من خروج الحجر من يدك حتى سقوطه على الأرض؟

73. **علم الأحياء في مجال ما** يقف عالم حيوان على منحدر ويصوب بندقيته تخدير مؤقت نحو قرد يتسلق الأشجار موجود في مدى البندقية. ماسورة البندقية موجهة أفقياً. بمجرد أن يسحب عالم الحيوان الزناد، يدوخ القرد ويبدأ في السقوط. هل سيصيب السهم القرد؟ تجاهل مقاومة الهواء.

74. **كرة القدم** يمرر اللاعب القائد كرة القدم بسرعة 24 m/s وبزاوية 45°. إذا استغرقت الكرة 3.0 s حتى تصل إلى قمة مسارها وأمسك بالكرة من نفس الارتفاع الذي مُررت منه، فكم تبلغ الفترة التي ظلت فيها في الهواء؟ تجاهل مقاومة الهواء.

75. **سباقات المضمار والميدان** تسعى جاهداً إلى تحسين أدائك في الوثب الطويل وتعتقد أن المعلومات الواردة في هذه الوحدة يمكن أن تساعدك. هل يحدث الارتفاع الذي وصلت إليه أي فارق في وثبك؟ ما الذي يؤثر في طول وثبك؟

63. يقود طيار كتلته 75 kg طائرة في حلقة كما هو موضح في الشكل 23. في أعلى الحلقة، عندما تنقلب الطائرة رأساً على عقب تماماً للحظة، يُعلق الطيار بحرية في المقعد ولا يدفع حزام المقعد. تكون قراءة مؤشر السرعة 120 m/s. كم يبلغ نصف قطر حلقة الطائرة؟



الشكل 23

القسم 3 السرعة المتجهة النسبية

إتقان المفاهيم

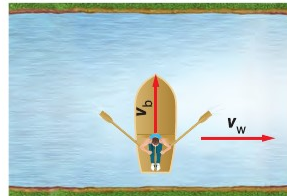
64. لماذا تبدو السيارة التي تسير في الاتجاه المعاكس بالنسبة إلى السيارة التي تقودها على الطريق السريع في كثير من الأحيان أنها أسرع من الحد الأقصى للسرعة؟

إتقان حل المسائل

65. يجلس علي وأدهم على ضفاف نهر ويفتران أن يتسابقا. سيركض علي على طول الشاطئ حتى يصل إلى المرسى الذي يبعد حوالي 1.5 km. ثم يعود. سيتسابق أدهم أيضًا إلى المرسى ويعود، ولكنه سيجد قارب في النهر تبلغ سرعة تياره 2.0 m/s. إذا كانت سرعة ركض علي تساوي سرعة تجديد أدهم في الماء الراكب التي تبلغ 4.0 m/s. فمماذا ستكون نتيجة السباق؟ لتفترض أنهما تحركا في الوقت نفسه.

66. **عبور نهر** تجدّف بقارب، مثل الموضح في الشكل 24، عمودي على شاطئ النهر الذي يتدفق بسرعة 3.0 m/s. تبلغ سرعة القارب 4.0 m/s بالنسبة إلى الماء.

- a. كم تبلغ سرعة قاربك بالنسبة إلى الشاطئ؟
- b. ما مركبة سرعتك الموازية للشاطئ؟ والعمودية عليه؟



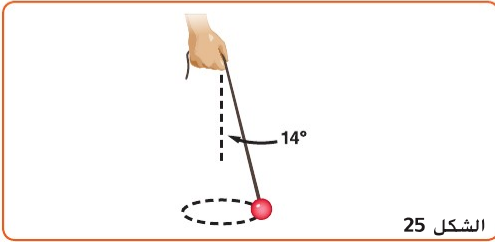
الشكل 24

- 76. القيادة على الطريق السريع** اشرح لماذا عندما تمر بسيارة تسير في نفس اتجاهك على الطريق السريع تشعر أنها تستغرق وقتاً أطول من السيارة التي تسير في الاتجاه المعاكس.
- 77.** تخيل أنك تجلس في سيارة وترمي كرة مباشرة في الهواء.
- a.** إذا كانت السيارة تسير بسرعة ثابتة، فهل ستسقط الكرة أمامك أم خلفك أم بين يديك؟
- b.** إذا انعطفت السيارة بسرعة ثابتة، فأين ستسقط الكرة؟
- 78.** تلف بوبو حول رأسك في دائرة أفقية. ثم تلف بوبو آخر مثلي حجم البوبو الأول، ولكنك لم تغير طول الخيط أو الفترة الزمنية. ما أوجه الاختلاف بين قوتي الشد في الخيطين؟
- 79. سباق السيارات** أصبحت منحنيات مسار السباق مرصوفة حتى يسهل على السيارات تجاوز المنحنيات بسرعات عالية. ارسم مخطط جسم حر لسيارة على منحنى مرصوف من مخطط الحركة، أوجد اتجاه التسارع.
- a.** ما مسبب القوة في اتجاه التسارع؟
- b.** هل يمكن أن تنتج هذه القوة من دون احتكاك؟

مراجعة عامة

- 80.** قال المشككون الأوائل في فكرة دوران الأرض أن دوران الأرض بسرعة يمكن أن يُلقى من عند خط الاستواء في الفضاء. يبلغ طول نصف قطر الأرض 6.38×10^3 km تقريباً. وضح سبب اعتبار هذه الفكرة خاطئة بحساب ما يلي.
- a.** سرعة شخص كتلته 97 kg عند خط الاستواء
- b.** القوة اللازمة لتسارع الشخص في الدائرة
- c.** وزن الشخص
- d.** القوة الرأسية للأرض التي تؤثر في الشخص وهي الوزن الظاهري له
- 81. إطلاق صاروخ** تحلق طائرة بسرعة 375 m/s بالنسبة إلى الأرض وتطلق صاروخاً للأمام بسرعة 782 m/s بالنسبة إلى الطائرة. كم تبلغ سرعة الصاروخ بالنسبة إلى الأرض؟
- 82. ترسانة الصواريخ** يُطلق صاروخ في الفضاء الخارجي يتحرك بسرعة 1.25 km/s بالنسبة إلى مراقب ينطلق بدراجته النارية. تخرج الغازات الساخنة من الخلف بسرعة 2.75 km/s بالنسبة إلى الصاروخ. كم تبلغ سرعة الغازات بالنسبة إلى المراقب؟
- 83.** كرة كتلتها 1.13 kg تتأرجح رأسياً من حبل طوله 0.50 m بحركة دائرية منتظمة بسرعة 2.4 m/s. كم تبلغ قوة الشد في الحبل عند أسفل موقع في حركة الكرة؟

- 84.** تفصل مسافة مقدارها 500.0 m في البداية بين حصانين، يتحركان نحو بعضهما بسرعة ثابتة تبلغ 2.5 m/s. يتحرك يعسوب بسرعة ثابتة قدرها 3.0 m/s ويطير من أنف أحد الحصانين إلى الآخر. ثم يستدير فوراً ويطير مرة أخرى إلى الحصان الأول. يواصل الطيران ذهاباً وإياباً حتى يصل الحصانان إلى بعضهما. ما المسافة التي قطعها يعسوب خلال هذه الفترة؟
- 85. الطرق المرصوفة** تُرصّف منحنيات الطرق غالباً لتساعد على منع السيارات من الانزلاق. إذا كان الحد الأقصى للسرعة لمنحنى معين نصف قطره 36.0 m هو 15.7 m/s (35 mph). فعند أي زاوية يجب رصف الطريق بحيث تبقى السيارات على مسار دائري حتى لو لم يوجد أي احتكاك بين الطريق والإطارات؟ إذا زاد الحد الأقصى للسرعة إلى 20.1 m/s (45 mph)، فعند أي زاوية يجب رصف الطريق؟
- 86.** الكرة التي كتلتها 1.45 kg الموضحة في الشكل 25 معلقة من سلسلة طولها 0.80 m وتتحرك في دائرة أفقية بسرعة ثابتة.
- a.** كم تبلغ قوة الشد في السلسلة؟
- b.** كم تبلغ سرعة الكرة؟



- 87.** ضرب لاعب مدافع كرة بيسبول مباشرة بما يتوافق مع زاوية قدرها 35.0° أعلى المستوى الأفقي بسرعة ابتدائية قدرها 22.0 m/s. يبدأ اللاعب المدافع الركض بمجرد ضرب الكرة بسرعة ثابتة قدرها 2.5 m/s ويمسك الكرة بالكاد. لتفترض أن الكرة أمسكت من نفس الارتفاع الذي ضربت منه، فما المسافة الابتدائية بين اللاعب المهاجم واللاعب المدافع؟ تلميح: توجد إجابتان محتملتان.
- 88.** يوجد مع محمد حقيبة من الكرات الزجاجية أعلى مبنى ارتفاعه 60.0 m. وفي الوقت نفسه، يركب طارق منطاداً يعمل بالهواء الساخن بعيد عن قاعدة المبنى 20.0 m ويفك رباط المنطاد، ثم يبدأ في التحليق بسرعة ثابتة. يرمي محمد حقيبة الكرات الزجاجية أفقياً بسرعة 7.3 m/s بمجرد أن يبدأ المنطاد في التحليق. ماذا يجب أن تكون سرعة المنطاد بالنسبة إلى طارق حتى يمسك الحقيبة بسهولة؟

التفكير الناقد

89. تطبيق المفاهيم فكّر في شريط قطار ملاو يشبه الموضح في الشكل 26. هل تسير السيارات على طول الشريط بحركة دائرية منتظمة؟ اشرح.



الشكل 26

90. استخدام الكمبيوتر والآلات الحاسبة يضرب لاعب بيسبول كرة سريعة من ارتفاع الحزام (1.0 m) حتى تسقط على خط الملعب الأيسر. يضرب اللاعب الكرة بسرعة ابتدائية قدرها 42.0 m/s بزاوية 26° أعلى المستوى الأفقي. يبعد سيار الملعب الأيسر بمسافة 96.0 m عن القاعدة الرئيسة عند حدود عمود الملعب ويبلغ ارتفاعه 14 m. اكتب معادلة ارتفاع الكرة (y) كدالة لبعدها عن القاعدة الرئيسة (x). استخدم الكمبيوتر أو آلة حاسبة بيانية لرسم مسار الكرة. تتبع المسار لمعرفة مقدار ارتفاع الكرة عن سطح الأرض عندما تصل إلى السيار.

a. هل الضربة تجاوزت حدود الملعب؟

b. ما الحد الأدنى للسرعة الذي يمكن أن تُضرب به الكرة وتجتاز السيار؟

c. إذا كانت السرعة الابتدائية للكرة 42.0 m/s، فما نطاق الزوايا التي ستجتاز الكرة بها السيار؟

91. التحليل أوضح ألبرت أينشتاين أن القاعدة التي تعلمتها لجمع السرعات لا تصلح للأجسام المتحركة بالقرب من سرعة الضوء. على سبيل المثال، إذا كان صاروخ يتحرك بسرعة v_A يطلق قذيفة بسرعة v_B بالنسبة إلى الصاروخ، فإن سرعة القذيفة بالنسبة إلى مراقب

$$\text{مستريح تُمثل كما يلي } v = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_A v_B}{c^2}}. \text{ حيث } c \text{ سرعة الضوء.}$$

$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ تعطي هذه الصيغة القيم الصحيحة للأجسام المتحركة بسرعات بطيئة أيضًا. لنفترض أن صاروخًا يتحرك بسرعة 11 km/s يطلق شعاع ليزر أمامه. كم تبلغ السرعة التي يمكن أن يجدها مراقب غير متحرك لضوء الليزر؟ لنفترض أن صاروخًا يتحرك بسرعة $\frac{c}{2}$ ، نصف سرعة الضوء ويطلق قذيفة للأمام بسرعة $\frac{c}{2}$ بالنسبة إلى الصاروخ. ما مقدار سرعة حركة الصاروخ بالنسبة إلى مراقب ثابت؟

92. التحليل والاستنتاج تتحرك كرة في سلسلة خفيفة الوزن في دائرة رأسية. حلل حركة هذا النظام وصفها. تأكد من دراسة آثار الجاذبية وقوة الشد. هل يتحرك هذا النظام حركة دائرية منتظمة؟ اشرح إجابتك.

الكتابة في الفيزياء

93. قطارات الملاهي ليست أشرطة معظم قطارات الملاهي دائرية الشكل. ابحث عن السبب الفيزيائي وراء اختيار هذا التصميم وشرحه.

94. تستخدم ألعاب متعددة في الملاهي تسارع الجذب المركزي لإضفاء جو من الإثارة لزبائن الملاهي. استخدم لعبتين أخريين غير قطار الملاهي الذي يستخدم الحركة الدائرية وشرح كيف توفر فيزياء الحركة الدائرية جواً من الإثارة لراكبي القطار.

مراجعة تراكمية

95. اقسام أو اضرب كما هو موضح باستخدام الأرقام الموضحة بشكل صحيح.

- a. $(4.2 \times 10^7 \text{ m})(5 \times 10^8 \text{ m})$
b. $(8.5 \times 10^{-6} \text{ km})(1.67 \times 10^{-2} \text{ km})$
c. $\frac{2.6 \times 10^4 \text{ kg}}{9.4 \times 10^3 \text{ m}^3}$
d. $\frac{6.3 \times 10^{-1} \text{ m}}{3.8 \times 10^2 \text{ s}}$

96. ارم البيانات الواردة في الجدول 1 على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن. أوجد السرعة المتوسطة في الفترة الزمنية بين 0.0 s و 5.0 s.

الجدول 1 الموقع والزمن	
x (m) الموقع	t (s) قراءة الساعة
30	0.0
30	1.0
35	2.0
45	3.0
60	4.0
70	5.0

97. مصطفى وشقيقه الأكبر أمير في محل البقالة. يريد مصطفى الذي كتلته 17.0 kg أن يركب على الجزء الأمامي من العربة بينما يدفعها أمير. رغم أنهما يعرفان أن هذا غير آمن. يدفع أمير عربة كتلتها 12.4 kg بالإضافة إلى شقيقه الذي يركب عليها وبالتالي يبلغ تسارعهما 0.20 m/s^2 .

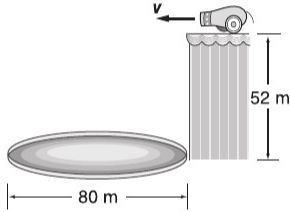
- a. بأي قوة يدفع أمير العربة؟
b. ما قوة العربة التي تؤثر في مصطفى؟

7. تسقط برتقالة في الوقت نفسه ومن الارتفاع نفسه الذي تخرج فيه رصاصة من بندقيّة. أي مما يلي صحيح؟

- A. التسارع بسبب الجاذبية أكبر بالنسبة إلى البرتقالة لأن البرتقالة أثقل.
B. تؤثر الجاذبية في الرصاصة بدرجة أقل من البرتقالة لأن الرصاصة تتحرك بسرعة كبيرة جدًا.
C. ستكون السرعات واحدة.
D. ستسقط البرتقالة والرصاصة على الأرض في الوقت نفسه.

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

8. أطلقت قذيفة من الرصاص أفقيًا بسرعة 25 m/s من مدفع السيرك. الموضح في الشكل. من منصة أحيال عالية على أحد جوانب حلبة السيرك. إذا كان طول المنصة 52 m فوق الحلبة التي يبلغ قطرها 80 m . فهل يحتاج الممثلون إلى ضبط مدافعهم بحيث تسقط الكرة داخل الحلبة بدلًا من خارجها؟ اشرح.



9. يلف محارب أسطوري صولجانًا كتلته 5.6 kg في نهاية سلسلة سحرية مهمة الوزن طولها 86 cm في دائرة أفقية فوق رأسه. يلف الصولجان دورة واحدة كاملة في 1.8 s . أوجد قوة الشد في السلسلة السحرية.

اختيار من متعدد

1. تتدفع فتاة طولها 1.60 m كرة قدم بزاوية 41.0° فوق المستوى الأفقي وبسرعة ابتدائية 9.40 m/s . ما المسافة الأفقية بين الفتاة وموضع الكرة عندما عادت لنفس مستوى القذف؟
A. 4.55 m
B. 5.90 m
C. 8.90 m
D. 10.5 m

2. يجلس طفل على لعبة دوامة الخيل التي تبعد عن المركز مسافة 2.8 m . إذا كانت السرعة المماسية للعبة 0.89 m/s . فكم يبلغ التسارع المركزي للطفل؟
A. 0.11 m/s^2
B. 0.28 m/s^2
C. 0.32 m/s^2
D. 2.2 m/s^2

3. تبلغ القوة التي يؤثر بها خيط مهمل الوزن طولها 2.0 m في جسم كتلته 0.82 kg ويتحرك في دائرة أفقية 4.0 N . فكم تبلغ السرعة المماسية للجسم؟
A. 2.8 m/s
B. 3.1 m/s
C. 4.9 m/s
D. 9.8 m/s

4. تدخل سيارة كتلتها 1000 kg منحنى نصف قطره 80.0 m بسرعة 20.0 m/s . ما قوة الجذب المركزي التي يجب أن يوفرها الاحتكاك حتى لا تنزلق السيارة؟
A. 5.0 N
B. $2.5 \times 10^2 \text{ N}$
C. $5.0 \times 10^3 \text{ N}$
D. $1.0 \times 10^3 \text{ N}$

5. يرى عداء على ضفة نهر فريق تجديف قادمًا نحوه. بالنسبة إلى الأرض. يركض العداء بسرعة 10 km/h غربًا وبيبحر القارب بسرعة 20 km/h شرقًا. كم تبلغ سرعة تقدم العداء نحو القارب؟
A. 10 km/h
B. 30 km/h
C. 20 km/h
D. 40 km/h

6. ما أقصى ارتفاع يمكن أن تصل إليه تفاحة كتلتها 125 g قذفت بزاوية 78° فوق المستوى الأفقي بسرعة ابتدائية 18 m/s ؟
A. 0.70 m
B. 16 m
C. 32 m
D. 33 m

الجاذبية

الفكرة الرئيسية الجاذبية هي قوة جذب في صورة مجال تعمل بين الأجسام بسبب كتلتها.

الأقسام

1 حركة الكواكب والجاذبية

2 استخدام قانون الجذب العام

تجربة استهلاكية

نمذجة حركة عطارد

كيف يمكن استخدام قياسات الزوايا والمسافات في رسم نموذج مدار؟



RYAN MCVAY/PHOTODISC/GETTY IMAGES



All Chapters from Glencoe Physics: Principles & Problems, Student Edition ©2012

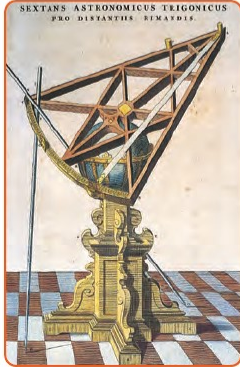
الفيزياء في حياتك

يتكون نظامنا الشمسي من الشمس وسبعة كواكب رئيسة وكواكب قزمة بالإضافة إلى الغاز والغبار الذي يوجد بين الكواكب. إضافة إلى الأقمار المتعددة التي تدور حول الكواكب. ما الذي يمكنها جميعاً؟

الملاحظات الأولى

كان يُعتقد قديماً أن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تدور كلها حول الأرض؛ إلا أن عالم الفلك البولندي كوبرنيكوس لاحظ أن أفضل المشاهدات المتوافرة لحركة الكواكب لا تتفق كلياً مع هذا النموذج الذي مركزه الأرض. وقد نُشرت نتائج أعمال كوبرنيكوس التي قضى فيها العديد من سنوات عمره في عام 1543. عندما كان على فراش الموت. وقد بيّن كتابه أن حركة الكواكب يمكن فهمها بشكل أسهل إذا افترضنا أن الأرض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس. وساعد نموذج كوبرنيكوس في تفسير بعض الظواهر مثل ظهور كوكبي عطارد والزهرة دائماً بالقرب من الشمس. وقد طوّرت رؤيته من فهمنا لحركة الكواكب؛ لكنه افترض خطأً أن مدارات الكواكب دائرية الشكل. ولتّما لم يتناسب هذا الافتراض جيداً مع الملاحظات. كان من الضروري إدخال بعض التعديلات على نموذج كوبرنيكوس حتى يكون دقيقاً. ثم جاء نايكو براهي الذي ولد بعد سنوات قليلة من موت كوبرنيكوس. ولاحظ. وهو في الرابعة عشرة من عمره في الدنمارك، كسوفاً للشمس في 21 أغسطس عام 1560. وقد ألهمته حقيقة توقع حدوث الكسوف، فقرر أن يصبح فلكياً. وفي أثناء دراسة نايكو لعلم الفلك، أدرك أن المخططات الزمنية لا تتوقع الأحداث الفلكية بشكل دقيقة. ففطن نايكو إلى ضرورة أخذ القياسات من موقع واحد على مدار فترة زمنية طويلة. وقد تم تحويله ومنحه ملكية عقارية على جزيرة "فين" الدنماركية لبناء مركز أبحاث. ولم تكن التلسكوبات قد اخترعت بعد، لذا استخدم نايكو بعض الأجهزة الضخمة مثل تلك الموضحة في الشكل 1 وقد صممها بنفسه في ورشته الخاصة. ويُنسب إلى نايكو أكثر القياسات دقة في عصره.

الشكل 1 استخدم نايكو مثل هذه الأجهزة لقياس مواقع الكواكب.



الفكرة الرئيسية

تتناسب قوة الجاذبية بين جسمين طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما مقلوباً على مربع المسافة بينهما.

الأسئلة الرئيسية

- ما العلاقة بين نصف قطر مدار الكوكب والزمن الدوري؟
- ما المقصود بقانون نيوتن في الجذب العام وما علاقته بقوانين كبلر؟
- ما أهمية تحقيق كافندش؟

مراجعة المفردات

القانون الثالث لنيوتن Newton's third law

ينص على أن جميع القوى تأتي في أزواج وأن القوتين المؤثرتين في جسمين مختلفين متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه.

مفردات جديدة

القانون الأول لكبلر

Kepler's first law

القانون الثاني لكبلر

Kepler's second law

القانون الثالث لكبلر

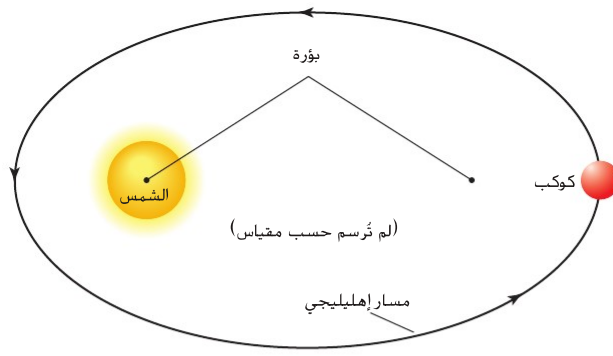
Kepler's third law

قوة الجاذبية gravitational force

قانون الجذب العام

law of universal gravitation

الشكل 2 تدور الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.



قوانين كبلر

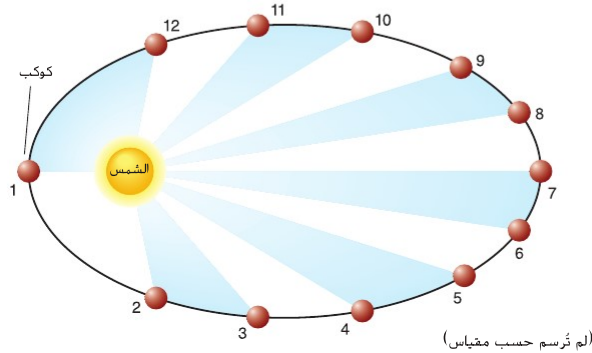
في عام 1600، انتقل تايكو إلى براغ حيث أصبح يوهان كبلر الألماني البالغ من العمر 29 عامًا أحد مساعديه. حلل كبلر ملاحظات تايكو، وبعد وفاته في عام 1601، تابع كبلر دراسة البيانات التي جمعها تايكو واستخدم الهندسة والرياضيات لتفسير حركة الكواكب. وبعد سبع سنوات من التحليل الدقيق للبيانات التي جمعها تايكو عن كوكب المريخ، اكتشف كبلر القوانين التي تصف حركة جميع الكواكب والأقمار سواء كانت طبيعية أو صناعية، وفيما يلي سنقدم القوانين في ما يتعلق بالكواكب.

ينص القانون الأول لكبلر على أن مدارات الكواكب إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين. فالشكل الإهليلجي له بؤرتان كما هو مبين في **الشكل 2**. وبالرغم من المبالغة في استخدام الشكل الإهليلجي في الرسومات، إلا أن المدار الفعلي للأرض أقرب كثيرًا إلى الشكل الدائري، فلا يمكن التمييز بينه وبين الدائرة بالعين.

وجد كبلر أن الكواكب تتحرك بسرعة أكبر عندما تكون قريبة من الشمس، في حين تتحرك أبطأ عندما تكون بعيدة عنها. وهكذا ينص **القانون الثاني لكبلر** على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية، كما هو موضح في **الشكل 3**.

✓ **التأكد من فهم النص** قارن المسافة التي تقطعها الأرض من النقطة 1 إلى النقطة 2 ومن النقطة 6 إلى النقطة 7 في **الشكل 3**. ما المسافة التي ستقطعها الأرض بشكل أسرع؟

الزمن الدوري هو الزمن الذي يستغرقه الجسم في إكمال دورة واحدة في المدار. وقد توصل كبلر كذلك إلى علاقة رياضية تربط بين الزمن الدوري للكوكب ومتوسط بعده عن الشمس.



الشكل 3 وجد كبلر أن المدارات الإهليلجية تمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية.

أشرح لماذا تختلف أشكال المساحات الزمنية المتساوية.

الجدول 1 بيانات النظام الشمسي

الاسم	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	5.97×10^{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}

ينص القانون الثالث لكبلر على أن مربع النسبة بين زمنين دوريين لكوكبين يدوران حول الشمس يساوي مكعب النسبة بين متوسطي بعدهما عن الشمس. وهكذا إذا كان الزمان الدوريان لكوكبين هما T_A و T_B ومتوسط بعدهما عن الشمس r_A و r_B ، فيصبح التعبير الرياضي للقانون الثالث لكبلر على النحو التالي.

القانون الثالث لكبلر

مربع النسبة بين الزمن الدوري للكوكب (أ) والزمن الدوري للكوكب (ب) يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعد الكوكب (أ) عن الشمس ومتوسط بُعد الكوكب (ب) عن الشمس.

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

لاحظ أن القانونين الأول والثاني يطبقان على كل كوكب أو قمر أو قمر صناعي كل على حدة. أما القانون الثالث فيربط بين حركة كوكبين حول الجسم نفسه. لذا يستعمل لمقارنة أبعاد الكواكب عن الشمس بأزمانيها الدورية، كما هو موضَّح في **الجدول 1**. ويستعمل كذلك لمقارنة الأبعاد والأزمان الدورية للقمر وللأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض.

الأزمنة الدورية للمذنبات تُصنف المذنبات استنادًا إلى الزمن الدوري لها؛ وتنقسم إلى مذنبات لها زمن دوري طويل ومذنبات لها زمن دوري قصير. المذنبات ذات الزمن الدوري الطويل يكون زمنها الدوري أكبر من 200 سنة أما المذنبات ذات الزمن الدوري القصير فزمنها الدوري أقل من 200 سنة. إن الزمن الدوري للمذنب هال – بوب المبيِّن في **الشكل 4**، هو 2400 سنة تقريبًا وهو مثال على المذنبات ذات الزمن الدوري الطويل. أما المذنب هالي فزمنه الدوري 76 سنة تقريبًا وهو مثال على المذنبات ذات الزمن الدوري القصير. وتحقق المذنبات أيضًا قوانين كبلر. لكن مداراتها شديدة الإهليلجية، على عكس الكواكب.

مختبر الفيزياء

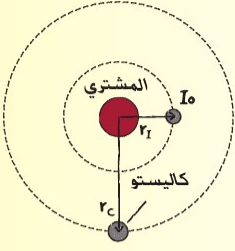
نمذجة المدارات

ما شكل مدارات الكواكب والأقمار الصناعية في النظام الشمسي؟

الشكل 4 مذنب هال – بوب من المذنبات التي لها زمن دوري طويل ويبلغ 2400 سنة. التقطت هذا الشكل في عام 1997 عندما كان هال – بوب في أشد حالات ظهوره.



يُعد القمر كاليستو عن المشتري؛ فاس جاليليو أنصاف أقطار مدارات أقمار المشتري. مستخدمًا قطر المشتري كوحدة قياس. فوجد أن الزمن الدوري للقمر "لو" وهو أقرب قمر للمشتري يساوي 1.8 يومًا وكان على بعد 4.2 وحدات من مركز المشتري. وكان الزمن الدوري للقمر "كاليستو" وهو القمر الرابع للمشتري يساوي 16.7 يومًا. احسب بُعد القمر كاليستو عن المشتري باستخدام الوحدات التي استخدمها جاليليو.



تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مداري القمرين لو وكاليستو
- عين نصفَي القطري المدارين.

المجهول	المعلوم
$r_C = ?$	يومًا $T_C = 16.7$
	يومًا $T_I = 1.8$
	وحدات $r_I = 4.2$

إد اد المسألة التي يبعدها كاليستو عن المشتري

حل القانون الثالث لكبلر لإيجاد r_C .

$$\left(\frac{T_C}{T_I}\right)^2 = \left(\frac{r_C}{r_I}\right)^3$$

$$r_C^3 = r_I^3 \left(\frac{T_C}{T_I}\right)^2$$

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

➤ عوض يومًا $T_C = 16.7$ ، يومًا $T_I = 1.8$ ، وحدات $r_I = 4.2$

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

$$r_C = \sqrt[3]{6.4 \times 10^3} \text{ وحدات}$$

$$r_C = 19 \text{ وحدة}$$

تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ سيكون r_C بوحدات جاليليو مثل r_I .
- هل الجواب منطقي؟ الزمن الدوري كبير، لذا سيكون نصف القطر كبيرًا.

تطبيق

1. إذا كان الزمن الدوري لغانيميد وهو أحد أقمار المشتري يساوي 32 يومًا، فكم يبلغ عدد وحدات نصف قطر مداره؟ استخدم المعلومات الواردة في مثال مسألة 1.
2. يدور كويكب حول الشمس في مدار متوسط نصف قطره يساوي ضعف متوسط نصف قطر مدار الأرض. احسب زمنه الدوري بالسنوات الأرضية.
3. الزمن الدوري لدوران كوكب الزهرة هو 225 يومًا أرضيًا. أوجد متوسط بُعد الزهرة عن الشمس، وكم ضعفًا يزيد عن متوسط بُعد الأرض عن الشمس.
4. يستغرق كوكب أورانوس 84 عامًا ليدور حول الشمس. أوجد متوسط بُعد أورانوس عن الشمس، وكم ضعفًا يزيد عن متوسط بُعد الأرض عن الشمس؟
5. من الجدول 1 يمكنك أن تجد أن بُعد المريخ عن الشمس أكبر 1.52 مرة من بُعد الأرض عن الشمس. احسب الزمن اللازم لدوران المريخ حول الشمس بالأيام الأرضية.
6. الزمن الدوري للقمر هو 27.3 يومًا ومتوسط بُعد القمر عن مركز الأرض هو $3.9 \times 10^5 \text{ km}$. أ. استخدم قوانين كبلر لحساب الزمن الدوري لقمر صناعي يبعد مداره $6.70 \times 10^3 \text{ km}$ عن مركز الأرض. ب. كم يبعد القمر الصناعي عن سطح الأرض؟
7. مسألة تحفيزية استخدم البيانات الواردة في المسألة السابقة والمتعلقة بالزمن الدوري للقمر ونصف قطر مداره، لحساب متوسط بُعد قمر صناعي عن مركز الأرض والذي زمنه الدوري يساوي يومًا واحدًا.

قانون نيوتن للجذب العام

في عام 1666، بدأ إسحاق نيوتن دراسة حركة الكواكب. 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. فوجد أن مقدار قوة جذب الشمس (F_g) المؤثرة في أحد الكواكب تتناسب عكسيًا مع مربع البعد (r) بين مركز الكوكب ومركز الشمس. أي أن F_g تتناسب طرديًا مع $\frac{1}{r^2}$ ، وتؤثر القوة (F_g) في اتجاه الخط الواصل بين مركزي الجسمين. كما هو مبين في الشكل 5. وتتناسب هذه القوة طرديًا مع كتل هذه الأجسام وتسمى هذه القوة **قوة الجاذبية**.

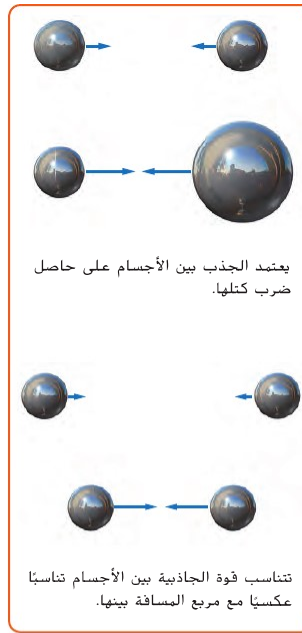
كان نيوتن واثقًا من أن قوة التجاذب هذه موجودة بين أي جسمين في أي مكان من هذا الكون. فصاغ **قانون الجذب العام**، الذي ينص على أن الأجسام تجذب أجسامًا أخرى بقوة تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب كتلتها، وعكسيًا مع مربع المسافة بين مراكزها. كما هو موضح أدناه.

قانون الجذب العام

قوة الجاذبية تساوي ثابت الجذب العام مضروبًا في كتلة الجسم الأول مضروبًا في كتلة الجسم الثاني مقسومًا على مربع المسافة بين مركزي الجسمين.

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

وفقًا لمعادلة نيوتن، تتناسب F طرديًا مع m_1 و m_2 . فإذا تضاعفت كتلة الكوكب القريب من الشمس، فإن قوة الجذب ستتضاعف. استخدم جزئية ربط الرياضيات بالفيزياء الواردة أدناه، لدراسة كيف يؤثر تغير أحد المتغيرات في المتغير الآخر. ويوضح الشكل 6 علاقة التربيع العكسي بيانيًا. يشير المصطلح G إلى ثابت الجذب العام وستناقشه في الأقسام التالية.



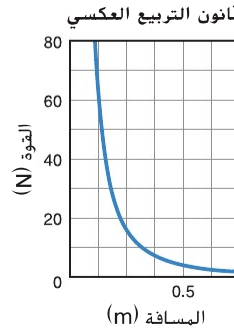
الشكل 5 تؤثر الكتلة والمسافة في قوة الجاذبية بين الأجسام.

ربط الرياضيات بالفيزياء

العلاقات الطردية والعكسية يتضمن قانون نيوتن في الجذب العام كلاً من التناسب الطردي والتناسب العكسي.

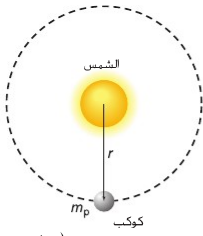
$F_g \propto \frac{1}{r^2}$		$F_g \propto m_1m_2$	
النتيجة	التغيير	النتيجة	التغيير
$\frac{1}{4}F_g$	$2r$	$2F_g$	$(2m_1)m_2$
$\frac{1}{9}F_g$	$3r$	$3F_g$	$(3m_1)m_2$
$4F_g$	$\frac{1}{2}r$	$6F_g$	$(2m_1)(3m_2)$
$9F_g$	$\frac{1}{3}r$	$\frac{1}{2}F_g$	$\left(\frac{1}{2}\right)m_1m_2$

الشكل 6 تمثيل بياني لعلاقة التربيع العكسي.



الجذب العام والقانون الثالث لكبلر

وضع نيوتن قانون الجذب العام بتعابير تنطبق على حركة الكواكب حول الشمس. وهذا يتفق مع القانون الثالث لكبلر، ويؤكد أن قانون نيوتن في الجذب العام يتطابق مع أفضل لملاحظات الحديثة.



(لم تُرسم حسب مقياس)

إذا اعتبرت أن كوكبًا ما يدور حول الشمس، كما هو موضح في الشكل 7، فيمكن كتابة قانون الحركة الثاني لنيوتن $ma = F$ ، على الشكل $mpac = F$ ، حيث F محصلة قوة الجاذبية، m_p كتلة الكوكب و a_c التسارع المركزي للكوكب. ولتبسيط أكثر، اعتبر المدارات دائرية الشكل. وقد ذكرنا عند دراسة الحركة الدائرية المنتظمة أن التسارع المركزي يساوي $a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$. لذا يمكن كتابة العلاقة التالية $mpac = F$ على النحو التالي $F = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$. ويشير T في هذه المعادلة إلى الزمن اللازم لدوران الكوكب دورة كاملة حول الشمس مُقاسًا بالثواني. وإذا ساويت الحد الأيمن في هذه المعادلة بالحد الأيمن لقانون الجذب العام نحصل على النتيجة التالية:

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

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

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

يمكن التعبير عن الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس كما يلي.

الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس

الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس يساوي 2π مضروبًا في الجذر التربيعي لمكعب متوسط البعد عن الشمس. مقسومًا على حاصل ضرب ثابت الجذب العام وكتلة الشمس.

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

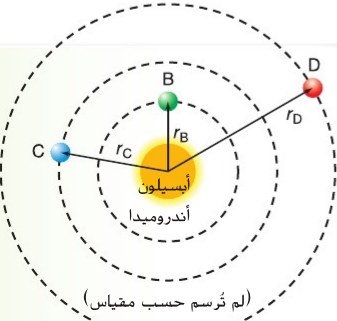
وبترتيب الطرفين يتبين أن هذه المعادلة هي القانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. حيث يتناسب مربع الزمن الدوري طرديًا مع مكعب المسافة التي تفصل بين الكتل. ويتوقف المعامل $\frac{4\pi^2}{Gm_s}$ على كتلة الشمس وثابت الجذب العام. وقد وجد نيوتن أن هذا المعامل ينطبق كذلك على المدارات الإهليلجية.

مسألة تحفيزية

اكتشف الفلكيون ثلاثة كواكب تدور حول النجم أيسيلون أندروميديا. وهذه الكواكب هي: الكوكب (B) الذي يبلغ نصف قطر مداره 0.0595 AU وزمنه الدوري 4.6171 أيام. والكوكب (C) الذي يبلغ نصف قطر مداره 0.832 AU وزمنه الدوري 241.33 يومًا. والكوكب (D) الذي يبلغ نصف قطر مداره 2.53 AU وزمنه الدوري 1278.1 يومًا. (المسافات بالوحدة الفلكية (AU)، وهي متوسط المسافة بين الأرض والشمس. وتبلغ 1.00 AU).

1. هل تحقق هذه الكواكب القانون الثالث لكبلر؟

2. أوجد كتلة النجم أيسيلون أندروميديا بدلالة كتلة الشمس. تلميح: قارن $\frac{r^3}{T^2}$ في الكواكب وفي الأرض بالوحدات نفسها (AU والأيام).



(لم تُرسم حسب مقياس)

قياس ثابت الجذب العام

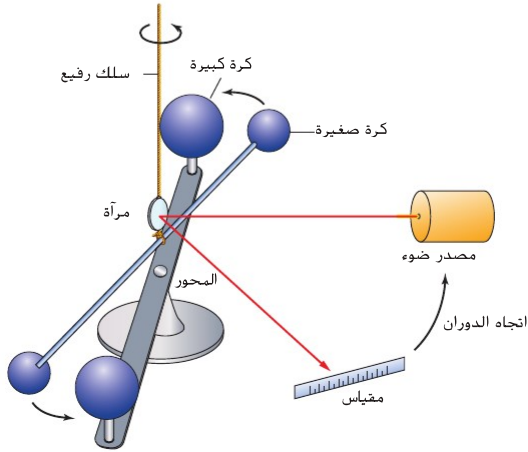
ما قيمة الثابت G ؟ كما تعرف، فإن قوة التجاذب على الأرض بين جسمين ضعيفة نسبياً. ويصعب الكشف عن أقل تأثير لهذه القوة بين كتلتي كرتي البولينج. في الواقع، استغرق الأمر 100 عام بعد نيوتن ليتمكن العلماء من تصميم جهاز حساس بما يكفي لقياس قوة الجاذبية.

جهاز كافندش في عام 1798 استعمل العالم الإنجليزي هنري كافندش جهازاً كما في الشكل 8 لقياس قوة الجاذبية بين جسمين. وللجهاز ذراع أفقية تحمل كرتين من الرصاص عند نهايتها. وهذه الذراع معلقة من منتصفها حتى تكون قابلة للدوران. ولأن الذراع معلقة بسلك رفيع فهي حساسة وكذلك الكرتان لأي قوة أفقية. لقياس G . وضع كافندش كرتين ثقيلتين في مكان ثابت بالقرب من الكرتين الصغيرتين. كما هو مبين في الشكل 8. وقد أدت قوة التجاذب بين الكرات الكبيرة والصغيرة إلى دوران الذراع. وعند تساوي القوة اللازمة لف السلك الرفيع وقوة الجاذبية بين الكرات، تتوقف الذراع عن الدوران. ومن خلال قياس الزاوية التي شكلها دوران الذراع، يمكن حساب قوة التجاذب بين الأجسام.

✓ **التأكد من فهم النص** اشرح أسباب أهمية أن تكون الذراع والكرة في جهاز كافندش حساستين لأي قوة أفقية.

نُقاس الزاوية التي شكلها دوران الذراع باستخدام شعاع ضوء منعكس من المرآة. ويمكن قياس كل من القوة والمسافة بين مراكز الكرات. وكتل الكرات أيضاً معروفة. وبالتعويض بقيم القوة والكتلة والمسافة في قانون نيوتن في الجذب العام، يمكن تحديد قيمة تجريبية للثابت G . وعندما تكون وحدة قياس m_1 و m_2 بالكيلوجرام و r بالمتر و F بوحدة نيوتن، فإن $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$.

■ ميزان كافندش



الشكل 8 يستخدم ميزان كافندش مصدر ضوء ومرآة في قياس حركة الكرات.



أهمية الثابت G تسمى تجربة كافندش أحياناً "إيجاد وزن الأرض" لأنها ساعدت على تحديد كتلة الأرض؛ وبمعرفة الثابت G يمكن تحديد كتلة الشمس أيضاً. بالإضافة إلى حساب قوة الجاذبية بين أي جسمين، وذلك بتطبيق قانون نيوتن للجذب العام. فمثلاً قوة التجاذب (F_g) بين كرتي بولنج كتلة كل منهما 7.26 kg والمسافة بين مركزيهما 0.30 m. يمكن حسابها على النحو التالي:

$$F_g = \frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2)(7.26 \text{ kg})(7.26 \text{ kg})}{(0.30 \text{ m})^2} = 3.9 \times 10^{-8} \text{ N}$$

نعلم أن وزن جسم كتلته m على سطح الأرض هو مقياس لقوة جذب الأرض له: $F_g = mg$. فإذا سُميت كتلة الأرض m_E ونصف قطر الأرض r_E ، فإن:

$$F_g = \frac{GmEm}{r_E^2} = mg \quad \text{وينتج عن ذلك أن} \quad g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بدلالة m_E :

$$m_E = \frac{gr_E^2}{G}$$

وبما أن $r_E = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$ ، $g = 9.8 \text{ N/kg}$ ، وكذلك $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ فإننا نحصل على القيمة التالية لكتلة الأرض:

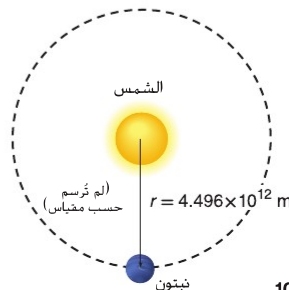
$$m_E = \frac{(9.8 \text{ N/kg})(6.38 \times 10^6 \text{ m})^2}{6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2} = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

وعندما تقارن كتلة الأرض بكتلة كرة البولينج تدرك لماذا لا تظهر بوضوح قوة التجاذب بين الأجسام التي نشاهدها في حياتنا اليومية. لقد حدّد تحقيق كافندش قيمة الثابت G. وأكد توقع نيوتن من حيث وجود قوة تجاذب بين أي جسمين. وساعد على حساب كتلة الأرض (الشكل 9).

الشكل 9 ساعدت تجربة كافندش على حساب كتلة الأرض.

القسم 1 مراجعة

8. **الفكرة الرئيسية** ما قوة الجاذبية بين كرتين كتلة كل منهما 15 kg والمسافة بين مركزيهما 35 m؟ وما نسبة هذه القوة إلى وزن أي منهما؟
9. **الزمن الدوري لنبتون** يدور نبتون حول الشمس. وبيّض الشكل 10، متوسط المسافة بينهما والتي تسمح للغازات ومنها الميثان بالتكثف وتكوين غلاف جوي. إذا كانت كتلة الشمس $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ فاحسب الزمن الدوري لنبتون.
10. **الجاذبية** إذا بدأت الأرض في الانكماش ولكن بقيت كتلتها ثابتة، فماذا يمكن أن يحدث لقيمة g على سطحها؟
11. **ثابت الجذب العام** أجرى كافندش تجربته باستخدام كرات مصنوعة من الرصاص. افترض أنه استبدل بكرات الرصاص كرات من النحاس ذات كتل متساوية، فهل تكون قيمة G هي نفسها أم تختلف؟ اشرح.
12. تسمى القوانين الثلاثة لكبلر ومعادلة نيوتن لقوة الجذب فوازين. فهل كانت نظريات قبل ذلك؟ هل ستصبح نظريات فيما بعد؟
13. **التفكير الناقد** يحتاج رفع صخرة على القمر إلى قوة أقل من التي يحتاج إليها على الأرض. أ. كيف تؤثر قوة الجاذبية على سطح القمر في مسار الصخرة عند قذفها أفقياً؟ ب. إذا سقطت الصخرة على إصبع شخص عن طريق الخطأ، فأيهما سيؤذي أكثر: سقوطها على القمر، أم على الأرض؟ اشرح.



الشكل 10

هل سبق واستخدمت جهازًا لتعيين موقعك أو لتحديد اتجاهات المكان الذي ترغب في الذهاب إليه؟ من أين يحصل الجهاز على المعلومات؟ يتكون نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من أقمار صناعية عدة تدور حول الأرض. تُعطي الأقمار الصناعية لنظام GPS بيانات دقيقة عن الموقع في أي مكان على الأرض أو بالقرب منها.

**الفيزياء
في
حياتك**



مدارات الكواكب والأقمار الصناعية

اكتشف الكوكب أورانوس عام 1781. وبحلول عام 1830، كان واضحًا أن قانون الجذب لم يتوقع مدار كوكب أورانوس بشكل صحيح. فاقترح عالمان فلكيان وجود كوكب آخر غير مكتشف يجذب أورانوس بالإضافة إلى جذب الشمس له. وقد قاما بحساب مدار هذا الكوكب عام 1845. وبعد سنة أعلن علماء فلكيون في مرصد برلين أنهم وجدوا ذلك الكوكب الذي يعرف اليوم بنبتون. كيف يمكن لكوكبين مثل أورانوس ونبتون أن يظلا في مدار حول الشمس؟

استخدم نيوتن رسمًا كذا في الشكل 11 ليوضح تجربة ذهنية حول حركة الأقمار الصناعية. فتخيل مدفعًا يُطلق قذيفة من فوق قمة أحد الجبال في اتجاه أفقي بسرعة معينة. هذه القذيفة لها سرعة رأسية وأخرى أفقية. وكغيرها من المقذوفات على الأرض، يكون مسارها قطعًا مكافئًا ثم تستقط على الأرض. إذا زادت السرعة الأفقية للقذيفة، فستقطع مسافة أطول على سطح الأرض. ولكننا ستسقط في النهاية على الأرض. أما إذا استخدم مدفع قوي للغاية، فإن القذيفة ستقطع المسافة كاملة حول الأرض وتستمر في ذلك، وستسقط باتجاه الأرض بالمعدل نفسه الذي ينحني به سطح الأرض. أي، سيستمر انحناء القذيفة في مطابقة انحناء الأرض بحيث لا تقترب القذيفة بأي شكل من الأشكال من سطح الأرض المنحني أو تبعد عنه. ومن ثمّ ستصبح القذيفة في المدار.

الفكرة الرئيسية

تُحاط جميع الأجسام ب مجال جاذبية يؤثر في حركات الأجسام الأخرى.

الأسئلة الرئيسية

- كيف يمكنك وصف الحركة المدارية؟
- ما أوجه التشابه والاختلاف بين كتلة الجاذبية وكتلة القصور؟
- كيف يمكن شرح قوة الجاذبية وماذا كان اقتراح أينشتاين بشأنها؟

مراجعة المفردات

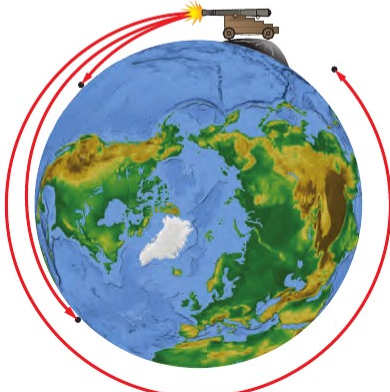
التسارع المركزي centripetal
acceleration تسارع جسم متحرك في دائرة نحو المركز بسرعة ثابتة

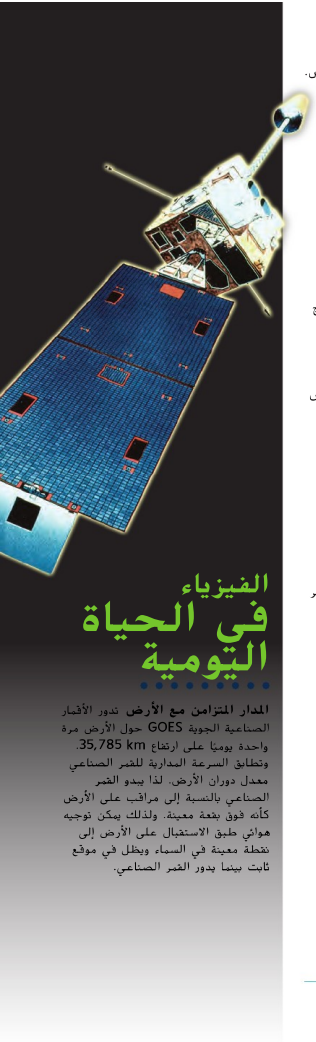
مفردات جديدة

كتلة القصور inertial mass
كتلة الجاذبية gravitational mass

الشكل 11 تخيل نيوتن أنه تم إطلاق قذيفة موازية للأرض. إذا كانت سرعتها كافية، فستسقط باتجاه الأرض مع انحناء يطابق انحناء سطح الأرض.

حدّد العامل الذي لا يُعتد به في هذا المثال.





لقد أهملت تجربة نيوتن الذهنية مقاومة الهواء. ولكي نتخلص الفذيفة من مقاومة الهواء، يجب أن نُطلق من مدفع على جبل ارتفاعه أكثر من 150 km فوق سطح الأرض. وبالمعاصرة، فإن الجبل سيكون أعلى كثيرًا من قمة جبل إفرست وهي أعلى قمة في العالم ويبلغ ارتفاعها 8.85 km فقط. إن الفذيفة التي تُطلق من فوق جبل يبلغ ارتفاعه 150 km فوق سطح الأرض ستواجه القليل من مقاومة الهواء أو لن نواجهها على الإطلاق عند الارتفاع الذي يبلغ 150 km لأن الجبل يكون خارج معظم الغلاف الجوي. لذا، فإن الفذيفة أو الجسم أو القمر الصناعي عند هذا الارتفاع أو أعلى منه سيدور حول الأرض.

سرعة القمر الصناعي يتحرك القمر الصناعي الذي يدور على ارتفاع ثابت عن الأرض في حركة دائرية منتظمة. نتذكر أن تسارعه المركزي يُعثر عنه بالعلاقة التالية $a_c = \frac{v^2}{r}$. لذا يمكن كتابة القانون الثاني لنيوتن.

$ma_c = F_{\text{محالة}}$ على الشكل التالية: $\frac{mv^2}{r} = F_{\text{محالة}}$. فإذا كانت كتلة الأرض m_E ودمج هذا التعبير مع قانون نيوتن في الجذب الكوني، فإنه يُعثر عنه بالمعادلة التالية:

$$\frac{GmEm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

لذا نحصل على مقدار سرعة القمر الصناعي الذي يدور في مدار دائري حول الأرض (v) بالعلاقة.

سرعة القمر الصناعي الذي يدور حول الأرض
إن سرعة القمر الصناعي الذي يدور حول الأرض تساوي الجذر التربيعي لثابت الجذب العام مضروبًا في كتلة الأرض ومقسومًا على نصف قطر المدار.

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

الزمن الدوري المداري للقمر الصناعي مدار القمر الصناعي حول الأرض يشبه مدار كوكب حول الشمس. ونتذكر أن الزمن الدوري للكوكب الذي يدور حول الشمس يُعثر عنه بالمعادلة التالية:

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

لذا، فإن الزمن الدوري للقمر الصناعي الذي يدور حول الأرض يُعثر عنه بالمعادلة التالية.

الزمن الدوري للقمر الصناعي الذي يدور حول الأرض
يساوي الزمن الدوري للقمر الصناعي الذي يدور حول الأرض 2π مضروبًا في الجذر التربيعي لثابت نصف قطر المدار. مقسومًا على حاصل ضرب ثابت الجذب العام وكتلة الأرض.

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

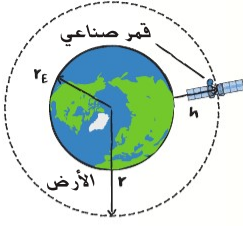
يمكن استخدام معادلتين سرعة القمر الصناعي وزمنه الدوري مع كل الأجسام التي تدور في مدار حول أجسام أخرى. ويحل محل m_E في المعادلتين كتلة الجسم المركزي وستكون r المسافة بين مركز الجسم الذي يدور في المدار ومركز الجسم المركزي. إن السرعة المدارية (v) والزمن الدوري (T) مستقلان عن كتلة القمر الصناعي.

التأكد من فهم النص **كيف** تؤثر كتلة القمر الصناعي في السرعة المدارية للقمر الصناعي وزمنه الدوري.

©iStockphoto/Erik Isaksson/Getty Images. (Reference: About/Science Source)

McGraw-Hill Education. محفوظة لصالح مؤسسة

السرعة المدارية والزمن الدوري: افترض أن قمراً صناعياً يدور حول الأرض على ارتفاع 225 km فوق سطحها. فإذا علمت أن كتلة الأرض تساوي 5.97×10^{24} kg ونصف قطر الأرض يساوي 6.38×10^6 m. فما مقدار السرعة المدارية والزمن الدوري للقمر الصناعي؟



1 تحليل المسألة ورسمها

المجهول	المعلوم
$v = ?$	$h = 2.25 \times 10^5$ m
$T = ?$	$r_E = 6.38 \times 10^6$ m
	$m_E = 5.97 \times 10^{24}$ kg
	$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N·m ² /kg ²

2 إيجاد السرعة المدارية والزمن الدوري

أوجد نصف القطر المداري بإضافة ارتفاع مدار القمر الصناعي عن الأرض إلى نصف قطر الكرة الأرضية.

$$r = h + r_E$$

$$\text{▶ بالتعويض } h = 2.25 \times 10^5 \text{ m و } r_E = 6.38 \times 10^6 \text{ m} \Rightarrow r = 2.25 \times 10^5 \text{ m} + 6.38 \times 10^6 \text{ m} = 6.60 \times 10^6 \text{ m}$$

احسب السرعة.

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

$$\text{▶ بالتعويض و } m_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg و } G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2 \Rightarrow r = 6.60 \times 10^6 \text{ m.}$$

$$= \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}{6.60 \times 10^6 \text{ m}}}$$

$$= 7.77 \times 10^3 \text{ m/s}$$

إيجاد الزمن الدوري.

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

$$\text{▶ بالتعويض و } G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2 \text{ و } r = 6.60 \times 10^6 \text{ m و } m_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg.}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{(6.60 \times 10^6 \text{ m})^3}{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}}$$

$$= 5.34 \times 10^3 \text{ s}$$

هذا يساوي تقريباً 89 min أو 1.5 h.

3 تقييم الإجابة

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

تطبيق

16. استخدم تجربة نيوتن الذهنية عن حركة الأقمار الصناعية لحل المسألتين التاليتين.

a. حساب مقدار سرعة إطلاق قمر صناعي من مدفع بحيث يصبح في مدار يبعد 150 km عن سطح الأرض.

b. ما الفترة التي يستغرقها القمر الصناعي بالثواني (seconds) والدقائق (minutes) ليكمل دورة حول الأرض ويعود إلى المدفع؟

17. تحفيز استخدم بيانات كوكب عطارد الواردة في الجدول 1 لإيجاد ما يلي.

a. مقدار سرعة قمر صناعي في مدار على بُعد 260 km من سطح عطارد

b. الزمن الدوري للقمر الصناعي

عند حل المسائل التالية، افترض أن المدار دائري في جميع العمليات الحسابية.

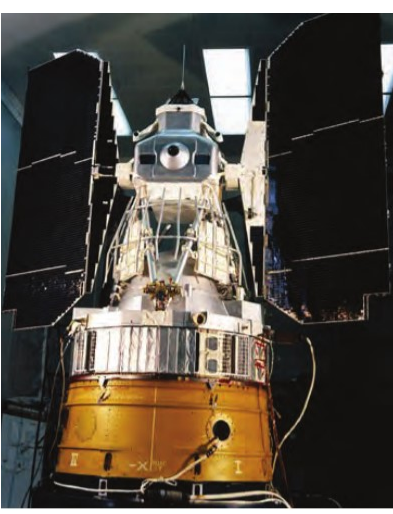
14. افترض أن القمر الصناعي في مثال مسألة 2 تحرك إلى مدار نصف قطره أكبر من المدار السابق بمقدار 24 km.

a. ما مقدار سرعته؟

b. هل هذه السرعة أكبر أم أقل مما في المثال السابق؟

c. لماذا برأيك؟

15. يمتلك كوكب أورانوس 27 قمراً معروفاً. وأحد هذه الأقمار هو القمر ميراندا الذي يدور في مدار نصف قطره يساوي 1.29×10^8 m. كما أن كتلة أورانوس تساوي 8.68×10^{25} kg. احسب السرعة المدارية للقمر ميراندا. كم عدد الأيام الأرضية التي يستغرقها قمر ميراندا لإكمال دورة واحدة؟



➤ **الربط بعلم الأرض** لاندسات 7، الموضَّح في الشكل 12، هو قمر صناعي يوفر صورًا من الأسطح القارية للأرض. تُستخدم صور لاندسات 7 في رسم الخرائط ودراسة استغلال الأرض ومراقبة الموارد والتغيرات العالمية. يتيح نظام لاندسات 7 للباحثين مراقبة العمليات صغيرة الحجم، مثل قطع الغابات، على نطاق عالمي. يجري تحريك الأقمار الصناعية، مثل لاندسات 7، بالسرعات اللازمة لها لوضعها في مداراتها باستخدام الصواريخ الكبيرة، مثل صواريخ الدفع بالمكوك. ولأن تسارع الكتلة يتبع قانون الحركة الثاني لنيوتن، $ma = F$ ، فيتطلب الأمر المزيد من القوة لإطلاق قمر صناعي أكثر ضخامة إلى المدار. ومن ثَمَّ، تتعقد كتلة القمر الصناعي بقدره الصاروخ المستخدم لإطلاقه.

تسارع السقوط الحر

يمكن إيجاد تسارع الأجسام الناشئ عن الجاذبية الأرضية باستخدام قانون نيوتن في الجذب العام وقانون الحركة الثاني له. وتكون المعادلة التالية صحيحة بالنسبة إلى جسم كتلته m ويسقط سقوطًا حُرًا:

$$a = \frac{Gm_E}{r^2} \text{، إذن } F = \frac{Gm_E m}{r^2} = ma$$

وإذا حددت $a = g$ و $r = r_E$ على سطح الأرض، فيمكن كتابة المعادلة التالية على النحو التالي:

$$m_E = \frac{gr_E^2}{G} \text{، ومن ثَمَّ، } g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

لقد شاهدت أعلاه أن $a = \frac{Gm_E}{r^2}$ للجسم الذي يسقط سقوطًا حُرًا. وبالتعويض عن m_E في التعبير الوارد أعلاه، سنحصل على التالي:

$$a = \frac{G\left(\frac{gr_E^2}{G}\right)}{r^2}$$

$$a = g\left(\frac{r_E}{r}\right)^2$$

وعلى سطح الأرض، $r = r_E$ ولذا فإن $a = g$. ولكن، كلما ابتعدت عن مركز الأرض، يصبح r أكبر من r_E ويقل تسارع السقوط الحر تبعًا لعلاقة التربيع العكسي هذه. تُرى ماذا يحدث لكتلتك كلما ابتعدت أكثر وأكثر عن مركز الأرض؟

الوزن وانعدام الوزن من المحتمل أنك قد شاهدت صورًا مشابهة لتلك الموضحة في الشكل 13 حيث يظهر رواد الفضاء في مركبة فضائية في حالة تُسمى الجاذبية صفر أو انعدام الوزن. تدور المركبة الفضائية على ارتفاع 400 km فوق سطح الأرض. وعند هذه المسافة، يكون $g = 8.7 \text{ N/kg}$ ، أي أقل قليلًا من قيمته على سطح الأرض. لذا فإن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في المكوك لا تساوي صفرًا بالتأكيد. ففي الواقع، تسبب الجاذبية دوران المكوك حول الأرض. فلماذا يبدو رواد الفضاء إذًا عديمي الوزن؟ تذكر أنك تشعر بوزنك عندما يؤثر فيك شيء بقوة تلامس كالأرضية أو الكرسي. لكن إذا كنت أنت والكرسي والأرضية، تتسارعون بالكمية نفسها في اتجاه الأرض فإنه لا توجد قوى تلامس تؤثر فيك. لذا يكون وزنك الظاهري صفرًا وتشعر بانعدام الوزن. وكذلك يشعر رواد الفضاء بانعدام واضح في الوزن أثناء سقوط المكوك وأي شيء بداخله بحرية تجاه الأرض.



الشكل 13 يكون رواد الفضاء في المدار حول الأرض في حالة سقوط حر لأن مركبتهم الفضائية وكل ما فيها يتسارع تجاه الأرض. وهذا يعني أن الأرضية تسقط بثبات من تحت أقدامهم.

ماء عديم الوزن

ما الآثار المترتبة على انعدام الوزن في السقوط الحر؟

الوزن في السقوط الحر

ما تأثير السقوط الحر في الكتلة؟

مجال الجاذبية

تذكّر من دراسة الحركة أن الكثير من القوى الشائعة هي قوى تلامس. فالاحتكاك يتولد عند تلامس جسمين، ومثل ذلك دفع الأرضية والكرسي أو المكتب عليك عندما تكون في حالة تلامس معهم. لكن الجاذبية مختلفة؛ فهي تؤثر في التفاحة التي تسقط من الشجرة، وتؤثر في القمر في المدار. أي أن الجاذبية تؤثر عن بُعد، وهي تعمل بين أجسام غير متلامسة أو ليست قريبة من بعضها. وقد انشغل نيوتن بهذا المفهوم. وكان يتساءل: كيف تؤثر الشمس بقوة في كوكب الأرض، الذي يبعد مئات الملايين من الكيلومترات.

مفهوم المجال جاء الجواب عن هذا التساؤل من خلال دراسة المغناطيسية. ففي القرن التاسع عشر، طوّر مايكل فارادي مفهوم المجال لشرح كيفية جذب المغناطيس للأجسام. ثم طُبّق مبدأ المجال على الجاذبية.

فكل جسم له كتلة محاط بمجال جاذبية يؤثر من خلاله بقوة تتناسب طرديًا مع كتلة الجسم وتتناسب عكسيًا مع مربع البُعد عن مركز الجسم. ويتأثر الجسم الآخر الذي يوجد في هذا المجال بقوة نتيجة التفاعل بين كتلته ومجال جاذبيته (g) في موقعه. يكون اتجاه g وقوة الجاذبية تجاه مركز الجسم الذي يُنشئ المجال. ويُعبّر عن شدة مجال الجاذبية بالمعادلة التالية.

مجال الجاذبية

شدة مجال الجاذبية الناتجة عن أحد الأجسام تساوي ثابت الجذب العام مضروبًا في كتلة الجسم. مقسومًا على مربع البُعد عن مركز الجسم.

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

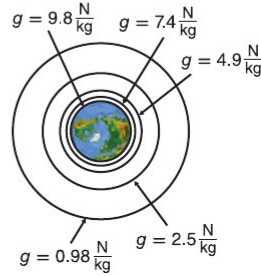
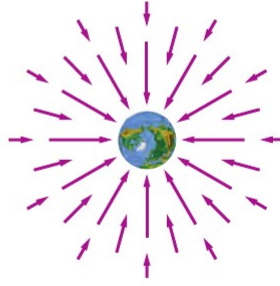
افترض أن هناك مجال جاذبية ناتجًا عن الشمس. عند ذلك، سيخضع أي كوكب كتلته m في مجال جاذبية الشمس لقوة تؤثر فيه تعتمد على كتلة الكوكب ومقدار مجال الجاذبية في ذلك الموقع. أي، $F_g = mg$. في اتجاه الشمس. تنتج القوة بسبب تفاعل كتلة الكوكب مع مجال الجاذبية في موقع وجود الكوكب وليس مع الشمس نفسها التي تبعد ملايين الكيلومترات. وإذا أردنا إيجاد مجال الجاذبية الذي يسببه أكثر من جسم، فيجب حساب مجال الجاذبية لكل جسم، ثم تُجمع كمُتجهات.

ويمكن قياس مجال الجاذبية بوضع جسم كتلته صغيرة (m) في مجال الجاذبية ثم تقاس القوة (F_g) المؤثرة فيه. ويُحسب مجال الجاذبية باستخدام $g = \frac{F_g}{m}$. حيث يُقاس مجال الجاذبية بوحدات نيوتن لكل كيلوجرام (N/kg).

إن شدة مجال الجاذبية عند سطح الأرض تساوي 9.8 N/kg في اتجاه مركز الأرض. ويمكن تمثيل المجال بمتجه g يشير اتجاهه إلى مركز الجسم الذي يُنتج هذا المجال. ويمكنك تصور مجال الجاذبية الناتج عن الأرض بمجموعة من المتجهات تحيط بها وتشير إلى مركزها. كما هو موضح في الشكل 14. وتتناسب شدة مجال الجاذبية الأرضية عكسيًا مع مربع البُعد عن مركز الأرض. كما يعتمد مجال الجاذبية على كتلة الأرض لا على كتلة الجسم الذي يتأثر به.

الشكل 14 يمكن تمثيل مجال الجاذبية الأرضية بمتجهات تشير إلى مركز الأرض. ينبع الانخفاض في مقدار g علاقة التربيع العكسي بينما تزيد المسافة من مركز الأرض.

اشرح لماذا لا تصل قيمة g إلى الصفر أبدًا.



نوعا الكتلة

لقد قرأت أن الكتلة يمكن تعريفها بأنها ميل الرسم البياني للقوة مقابل التسارع. وهذا يعني أن الكتلة تساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما مقسومة على مقدار تسارعه. ويسمى هذا النوع من الكتلة المرتبط بقصور الجسم كتلة القصور وتُمثل بالمعادلة التالية:

كتلة القصور

كتلة القصور تساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم مقسومة على مقدار تسارعه.

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

كتلة القصور تعرف أن دفع صندوق فارغ من الورق المقوى على الأرض أسهل بكثير من دفع واحد مملوء بالكتب. حيث إن الصندوق المملوء لديه كتلة قصور أكبر من الصندوق الفارغ. وتُعد **كتلة القصور** لجسم ما مقياسًا لمقاومة الجسم لكل أنواع القوى المؤثرة فيه. ونُقاس كتلة القصور لجسم ما من خلال التأثير بقوة في الجسم ثم قياس تسارعه. وكلما كانت كتلة القصور للجسم أكبر، كان تسارعه أقل نتيجة لتأثير قوة محصلة فيه.

كتلة الجاذبية يحتوي قانون نيوتن في الجذب العام،

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

المستخدمة في قانون الجذب الكوني هي مقدار يقيس مدى استجابة الجسم لقوة الجاذبية وتسمى **كتلة الجاذبية**. ويمكن قياسها باستخدام الميزان ذي الكفتين كما في الشكل 15. فإذا قست مقدار قوة الجاذبية المؤثرة في جسم من خلال جسم آخر كتلته m ، وعلى بُعد r ، أمكنك تعريف كتلة الجاذبية بالطريقة التالية.

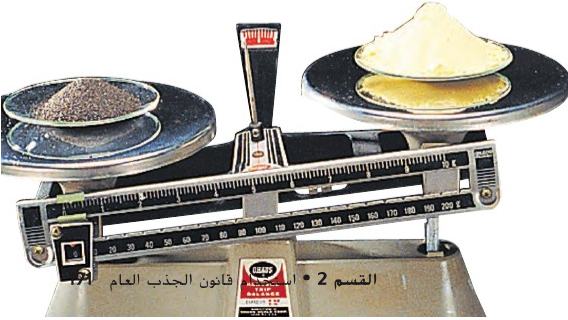
كتلة الجاذبية

كتلة الجاذبية لجسم ما تساوي مربع المسافة بين مركز الجسمين، مضروبة في مقدار قوة الجاذبية، مقسومة على حاصل ضرب ثابت الجذب العام في كتلة الجسم الآخر.

$$m_g = \frac{r^2 F_g}{Gm}$$

كيف يختلف نوعا الكتلة؟ افترض أن لديك بطيخة في صندوق سيارتك. إذا تسارعت السيارة في اتجاه الأمام، فإن البطيخة ستندرجح إلى الخلف بالنسبة إلى صندوق السيارة. وهذا يسبب كتلة قصور البطيخة التي تقاوم التسارع. والآن افترض أن السيارة بدأت صعود تل شديد الانحدار بسرعة ثابتة، ستندرجح البطيخة إلى الخلف مرة أخرى، ولكنها ستجذب هذه المرة بسبب كتلة الجاذبية إلى أسفل في اتجاه الأرض. وقد أعلن نيوتن أن كتلة القصور وكتلة الجاذبية متساويتان من حيث المقدار. وتُسمى هذه الفرضية مبدأ التكافؤ. وكل التحقيقات التي أجريت حتى الآن توصلت إلى بيانات تدعم صحة هذا المبدأ. ومعظم الوقت نُشير ببساطة إلى كتلة الجسم. وكان العالم ألبرت أينشتاين أيضًا مهتمًا بمبدأ التكافؤ وجعله نقطة رئيسة في نظريته عن الجاذبية.

الشكل 15 يُستخدم الميزان البسيط ذو الكفتين لإيجاد كتلة الجاذبية لجسم ما.



نظرية أينشتاين في الجاذبية

يُمكننا قانون نيوتن في الجذب العام من حساب قوة الجاذبية المتبادلة بين جسمين بسبب كتلتيهما. ومع ذلك، انشغل نيوتن بشأن كيف يمكن لجسمين أن يؤثر أحدهما في الآخر إذا كان هذان الجسمان على بُعد ملايين الكيلومترات من بعضهما. وافترض أينشتاين أن الجاذبية ليست مجرد قوة، بل هي تأثير من الفضاء نفسه، وبناءً على شرح أينشتاين للجاذبية، فإن الكتلة تغير الفضاء المحيط بها. فتجعله منحنيًا وتتسارع الأجسام الأخرى بسبب الطريقة التي تسير بها في هذا الفضاء المنحني.

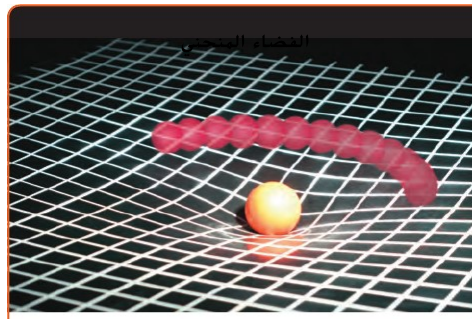
الفضاء المنحني من طرق تصور كيفية تأثير الفضاء بالكتلة. هو نموذج فضاء ثلاثي الأبعاد كشبكة كبيرة ثنائية الأبعاد. كما هو موضح في الجزء العلوي من الشكل 16. حيث تمثل الكرة الصفراء الموجودة على الشبكة جسمًا ضخمًا. وهي تُشكّل انحناءً في الشبكة. والكرة الحمراء تدور عبر الشبكة، وتحاكي حركة جسم في الفضاء. تتسارع الكرة الحمراء عندما تتحرك بالقرب من المنطقة المنحنية من الشبكة. وبالطريقة نفسها فإن كلاً من الشمس والأرض ينجذبان لبعضهما بسبب طريقة تشوه الفضاء الناجم عن الجسمين.

السفن المسافرة جنوبًا إليك تشبيه آخر قد يساعدك على فهم انحناء الفضاء. افترض أنك تشاهد من الفضاء لحظة انطلاق سفينتين باتجاه الجنوب من خط الاستواء. وعند خط الاستواء، أصبحت المسافة التي تفصل بين السفينتين 4000 km. وكلما اقتربتا من القطب الجنوبي، قلت المسافة إلى 1 km. بالنسبة إلى البحارة، فإن مساراتهما تسير في خطوط مستقيمة ولكن بسبب انحناء الأرض، فإنهما تسافران في شكل منحني. عند مشاهدتهما من مكان بعيد عن سطح الأرض، كما في الشكل 16.

التفاعلات الساقطة على الأرض فكّر في حركة مشابهة. سقطت تفاحتان على الأرض. وتحركتا في البداية في مسارين متوازيين. كما في الشكل 16. كلما اقتربتا من الأرض، تُجذبان باتجاه مركز الأرض، حتى تتلاقى مساراتهما.

الخطوط المتلاقية يمكن أن يرجع هذا التلاقي إلى انحناء الفضاء بالقرب من الأرض. وبعيدًا عن أي جسم ضخم مثل كوكب أو نجم، يكون الفضاء مسطحًا وتظل الخطوط المتوازية على حالها. بعد ذلك تبدأ في التلاقي. في الفضاء المسطح، تظل الخطوط المتوازية على حالها. أما في الفضاء المنحني، فتتلاقى الخطوط.

وقد توقعنا نظرية أينشتاين، التي تسمى النظرية النسبية العامة، عدة توقعات حول كيفية تأثير الأجسام الضخمة في بعضها. وفي كل الاختبارات التي أجريت حتى الآن، أعطت نظرية أينشتاين نتائج صحيحة.



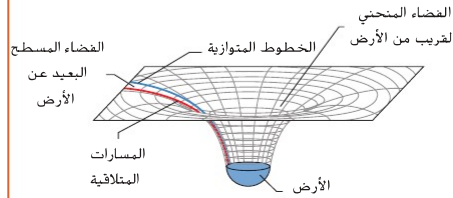
السفن المسافرة جنوبًا



التفاعلات الساقطة على الأرض



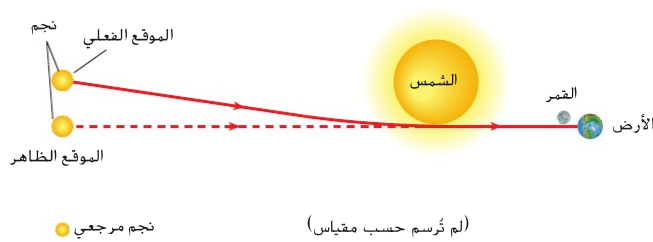
الخطوط المتلاقية



الشكل 16 إن تصوّر كيف يصبح الفضاء منحنيًا أمر صعب. لذا يمكن أن تساعدك التشبيهات على استيعاب المفاهيم الصعبة.

الشكل 17 يتشتت الضوء حول الأجسام الضخمة في الفضاء. مغيرًا الموقع الظاهري لمصدر الضوء.

صف كيف يتعارض هذا التأثير مع تجربتك في سلوك الضوء.



انحراف الضوء توقعت نظرية أينشتاين أن الأجسام الضخمة تعمل على انحراف الضوء وتشتته. حيث يتبع الضوء انحناء الفضاء حول الأجسام الضخمة مما يؤدي إلى انحنائه. كما هو موضح في **الشكل 17**. لاحظ علماء الفلك في أثناء كسوف الشمس عام 1919 أن الضوء القادم من النجوم البعيدة، الذي يمر بالقرب من الشمس، قد انحرف عن مساره بما يحقق توقعات أينشتاين.

ومن نتائج النسبية العامة أيضًا تأثير الجاذبية في الضوء الناتج عن الأجسام الضخمة جدًا. وإذا كان الجسم ضخمًا وكثافته كبيرة بشكل كافٍ، فإن الضوء الخارج منه يربد إليه بشكل كامل، ولا يستطيع الضوء الخروج منه أبدًا. وتسمى مثل هذه الأجسام الثقوب السوداء ويُستدل على وجودها من خلال تأثيرها في النجوم القريبة منها. ويُكتشف عن الثقوب السوداء من خلال الإشعاع الناتج عند انجذاب المادة إليها.

وعلى الرغم من أن نظرية أينشتاين توقعت بشكل دقيق تأثيرات الجاذبية، إلا أنها لا تزال غير مكتملة؛ فهي لا تشرح أصل الكتلة، ولا كيف تعمل الكتلة على انحناء الفضاء. ويعمل الفيزيائيون على فهم معنى الجاذبية وأصل الكتلة نفسها بشكل أعمق.

القسم 2 مراجعة

20. **مجال الجاذبية** كتلة القمر تساوي $7.3 \times 10^{22} \text{ kg}$ ونصف قطره يساوي 1785 km . فما شدة مجال الجاذبية على سطحه؟
21. **السرعة المدارية والزمن الدوري المداري** قمران صناعيان في مدارين دائريين حول الأرض. يبعد الأول 150 km عن سطح الأرض والثاني 160 km .
 - a. أي القمرين له زمن دوري مداري أكبر؟
 - b. أي القمرين سرعته أكبر؟
22. **النظريات والقوانين** لماذا يُسمى وصف أينشتاين للجاذبية نظرية بينما يُسمى وصف نيوتن لها قانونًا؟
23. **رائد فضاء** ما شدة مجال الجاذبية الأرضية عندما يشهد رائد فضاء كتلته 80.0 kg انخفاضًا في الوزن بنسبة 25.0 في المئة؟
24. **كتلة القمر الصناعي** عندما أطلق الاتحاد السوفيتي السابق أول قمر صناعي في مدار عام 1957، طلب الرئيس الأمريكي دوايت ديفيد أيزنهاور من العلماء حساب كتلة القمر الصناعي. هل كان بإمكانهم إجراء هذه العملية الحسابية؟ اشرح.
25. **التفكير الناقد** لماذا يُعد إطلاق قمر صناعي من الأرض إلى مدار ليدور في اتجاه الشرق أسهل من إطلاقه ليدور في اتجاه الغرب. اشرح.

18. **الفكرة الرئيسية** يبعد القمر مسافة $3.9 \times 10^5 \text{ km}$ عن مركز الأرض وتبعد الأرض مسافة $1.496 \times 10^8 \text{ km}$ عن مركز الشمس. وكتلتا الأرض والشمس تبلغان $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$ و $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ على الترتيب. وأثناء اكتيال القمر، تكون الشمس والأرض والقمر على خط واحد، كما هو موضح في **الشكل 18**.

- a. أوجد النسبة بين مجال جاذبية الأرض وبين مجال جاذبية الشمس عند مركز القمر.
- b. ما محصلة مجال الجاذبية للشمس والأرض عند مركز القمر؟



19. **حالة انعدام الوزن** تكون المقاعد داخل مركبة الفضاء عديدة الوزن أثناء وجودها في المدار. إذا كنت على متن إحدى هذه المركبات وكنت حافي القدمين فهل ستشعر بالألم إذا ركلت مقعدًا؟ اشرح.

لا شيء يستطيع الإفلات

هل الثقب الأسود عبارة عن ثقب حقيقي؟
ربما تكون قد تساءلت من قبل عن الثقوب السوداء. فما هي ومن أين تأتي؟

طه قنصيب قديمادا يحدث عند توقف تفاعلات الاندماج في قلب نجم عملاق؟ لا يمكن النجم من الاحتفاظ على درجة حرارته، ومن ثم يتهيار بسبب ثقل وزنه، وعادة ما يكون الانفجار الناجم، والذي يُسمى المستعر الأعظم. أكثر لمعانا من الجرة التي تحويه بأكتليها.

فإذا كانت كتلة ما تبقى من النجم ضخمة بما فيه الكفاية (أكثر بثلاثة أضعاف من كتلة الشمس)، فإن بقاياها تتكون أكثر الأجسام غرابة في الكون، وهو الثقب الأسود.

المخلط شحجف تخيل أنك واقف على سطح الأرض وترمي الكرة رأسياً لأعلى. كلما تحركت الكرة إلى أعلى، فإن قوة الجاذبية تقلص السرعة المتجهة الرأسية للكرة. وفي النهاية، عندما تصل السرعة المتجهة الرأسية إلى صفر، تبدأ الكرة في السقوط لأسفل. يتضح ذلك في سـمـحـجـبـا.

بالطبع هذا يحدث نظراً لأن قوة الرمي بذراعك محدودة، فإذا أمكنك رمي الكرة بسرعة كافية (أحواي 11,000 m/s)، فلن تسقط عائدة إلى الأرض مرة أخرى، بل إنها ستفلت من الكوكب بأكتليها. وتعرف هذه السرعة بسرعة الإفلات من سطح الكرة الأرضية.

عجـبـا شـحـبـا المخلط شحجف فيجب جـقـعـبـا. إن الثقب الأسود عبارة عن جسم منتهى الصغر ذي كثافة ضخمة وله سرعة إفلات كبيرة للغاية بحيث لا يمكن لأي شيء الإفلات منه حتى الضوء. يظهر في سـمـحـجـبـا 2 نجم يتلغم ثقب أسود. فأي شيء يجتاز حدود تأثير الثقب الأسود يمتد بصورة فعلية إلى الأبد.

عجـبـا قـضـبـا كمـشـبـحـتـطـبـحـبـا حـبـبـا قـضـبـا. قـضـبـا حـبـبـا. لا بل هي أجسام كثيفة للغاية في الفضاء.

الشكل 2 بين هذا التصوير الفني نحنا كالشمس يتلغم ثقب أسود مجاور.

الشكل 1 تعتمد سرعة الإفلات من سطح أي جسم على كتلة هذا الجسم ونصف قطره.

سرعة أكبر من الهروب V

سرعة أقل من الهروب V

لمزيد من التعمق <<<

بحث لا يمكن إبطاء سرعة الضوء المنتقل في الفراغ. ولكن كيف يمنع الثقب الأسود الأشعة الضوئية من الإفلات؟ لمعرفة ذلك، أجر تحقيقاً حول التأثير المعروف بالانزياح الأحمر الجذبوي واكتب عنه.

الفكرة الرئيسية الجاذبية هي قوة جذب في شكل مجال تعمل بين الأجسام بسبب كتلتها.

القسم 1 حركة الكواكب والجاذبية

الفكرة الرئيسية تتناسب قوة الجاذبية بين جسمين طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما مقسوماً على مربع المسافة بينهما.

- ينص القانون الأول لكبلر على أن الكواكب تتحرك حول الشمس في مدارات إهليجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين، وينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية، أما القانون الثالث لكبلر فينص على أن مربع النسبة بين الزمنين الدوريين لكوكبين يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعد مركزيهما عن مركز الشمس.

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

- يمكن استخدام قانون نيوتن في الجذب العام لإعادة صياغة القانون الثالث لكبلر لربط نصف قطر الكوكب وزمنه الدوري بكتلة الشمس؛ فـ قانون نيوتن في الجذب العام ينص على أن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما. فالقوة جاذبة وتقع على طول الخط الذي يربط بين مركزي الكتلتين.

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$



- جُدد تحقيق كافندش قيمة الثابت G . وأكد توقع نيوتن من حيث وجود قوة تجاذب بين جسمين، وساعد على حساب كتلة الأرض.

المفردات

- القانون الأول لكبلر
- القانون الثاني لكبلر
- القانون الثالث لكبلر
- قوة الجاذبية
- قانون الجذب العام

القسم 2 استخدام قانون الجذب العام

الفكرة الرئيسية تُحاط جميع الأجسام بمجال جاذبية يؤثر في حركات الأجسام الأخرى.

- يصف كل من السرعة والزمن الدوري لقمر صناعي يدور في مدار دائري حركته المدارية. يجري حساب السرعة المدارية والزمن الدوري لجسم يدور حول جسم آخر باستخدام قانون نيوتن الثاني.
- كتلتنا الجاذبية والقصور مفهومان مختلفان. إلا أنهما متساويان في المقدار.
- جميع الأجسام لها مجالات جاذبية تحيط بها. يتأثر أي جسم داخل مجال الجاذبية بقوة جاذبية تؤثر فيه بفعل مجال الجاذبية. توضح نظرية النسبية العامة لأينشتاين قوة الجاذبية كخاصية للغضاء نفسه.

المفردات

- كتلة القصور
- كتلة الجاذبية

القسم 1

حركة الكواكب والجاذبية

إتقان المفاهيم

26. طرح المسائل أكمل هذه المسألة بحيث يمكن حلها باستخدام القانون الثالث لكبلر: "افترض أنه اكتُشف كوكب جديد يدور حول الشمس في المنطقة التي بين المشتري وزحل. . ."

27. عام 1609، رصد جاليليو باستخدام التلسكوب كوكب المشتري وشاهد أربعة أقمار. وكان أحد الأقمار التي شاهدها يُسمى لو، أعد صياغة القانون الأول لكبلر ليناسب لو والمشتري.

28. تتحرك الأرض في مدارها خلال الصيف ببطء في نصف الكرة الشمالي أكثر مما هي عليه في الشتاء، فهل هي أقرب إلى الشمس في الصيف أم في الشتاء؟

29. هل المساحة التي تمسحها الأرض في وحدة الزمن عند دورانها حول الشمس تساوي المساحة التي يمسحها المريخ في وحدة الزمن عند دورانه حول الشمس؟ اشرح إجابتك.

30. لماذا اعتقد نيوتن أن هناك قوة تؤثر في القمر؟

31. كيف أثبت كافندش وجود قوة جاذبية بين جسمين صغيرين؟

32. ماذا يحدث لقوة الجاذبية بين كتلتين عند مضاعفة المسافة بينهما؟

33. وفقًا لصيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر، كيف تتغير النسبة $\frac{T^2}{a^3}$ إذا تضاعفت كتلة الشمس؟

إتقان حل المسائل

34. المشتري أبعد من الأرض عن الشمس 5.2 مرات. احسب الزمن الدوري للمشتري بالسنوات الأرضية.

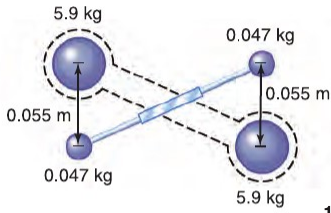
35. يبلغ متوسط مسافة بعد الكوكب القزم بلوتو عن الشمس 5.87×10^{12} m. فكم يبلغ الزمن الدوري المداري لبلوتو حول الشمس بالسنوات؟

36. استخدم الجدول 1 لحساب قوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في المشتري.

37. إذا كانت قوة الجاذبية بين إلكترونين البعد بينهما 1.00 m تساوي 5.54×10^{-71} N، فاحسب كتلة الإلكترون.

38. إذا كانت كتلة كل من كرتي البولينج 6.8 kg وكانت المسافة بين مركزيهما 21.8 cm، فما مقدار قوة الجاذبية التي تؤثر بها كل منهما في الأخرى؟

39. بين الشكل 19 جهاز كافندش المستخدم لإيجاد الثابت G. وكانت كتلة كرة الرصاص الكبيرة 5.9 kg والصغيرة 0.047 kg. وتبلغ المسافة بين مركزيهما 0.055 m. احسب قوة التجاذب بينهما.



الشكل 19

40. افترض أن كتلتك تساوي 50.0 kg وكتلة الأرض تساوي 5.97×10^{24} kg وطول نصف قطرها 6.38×10^6 m.

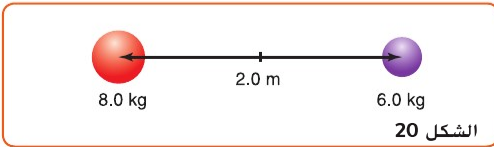
- a. ما مقدار قوة الجاذبية بينك وبين الأرض؟
b. ما مقدار وزنك؟

41. إذا كانت كتلة 1.0 kg وزن 9.8 N على سطح الأرض، وكان نصف قطر الأرض يبلغ تقريبًا 6.4×10^6 m.

- a. احسب كتلة الأرض.
b. احسب متوسط كثافة الأرض.

42. تبلغ كتلة آمنة 70.0 kg وكتلة فاطمة 50.0 kg بينهما مسافة 20.0 m وهما واقفتان على المسرح. احسب قوة التجاذب بين فاطمة وآمنة.

43. الفكرة الرئيسية إذا كان البعد بين مركزي الكرتين 2.0 m كما في الشكل 20، وكانت كتلة إحداهما 8.0 kg وكتلة الأخرى 6.0 kg، فما مقدار قوة الجاذبية بينهما؟



الشكل 20

44. إذا كان النجم HD102272 له كوكبان. وكان الزمن الدوري للكوكب (أ) 127.5 يومًا ويبلغ متوسط نصف قطره المداري 0.615 AU. وكان الزمن الدوري للكوكب (ب) 520 يومًا ويبلغ متوسط نصف قطره المداري 1.57 AU. فما كتلة النجم بوحدات الكتلة الشمسية؟

45. وإذا كان كوكب صغير (د) أبعد من الأرض عن الشمس 8.0 مرات، فكم عدد السنوات التي يستغرقها هذا الكوكب ليدور حول الشمس؟

القسم 2 استخدام قانون الجذب العام

إتقان المفاهيم

54. كيف تجيب عن السؤال "ما الذي يثبت على القمر الصناعي مرتفعاً؟"

55. يدور قمر صناعي حول الأرض. أي العوامل التالية تعتمد عليها سرعته؟

- كتلة القمر الصناعي
- البعد عن الأرض
- كتلة الأرض

56. ما مصدر القوة التي تسبب التسارع المركزي للقمر الصناعي في المدار؟

57. في أثناء الرحلة الفضائية، غالباً ما يشير رواد الفضاء إلى القوى كمضاعفات لقوة الجاذبية الأرضية على سطح الأرض. فماذا تعني قوة $5g$ بالنسبة إلى رائد فضاء؟

58. افترض نيوتن أن قوة الجاذبية تؤثر بشكل مباشر في ما بين الأرض والقمر، فما أوجه الاختلاف بين نظرية أينشتاين إلى قوة التجاذب بين الجسمين ونظرة نيوتن لها؟

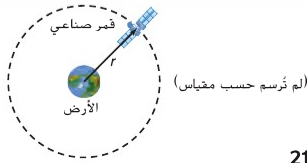
59. بيّن أن وحدات g ، التي كانت تُقاس من قبل بوحدة N/kg ، هي أيضاً m/s^2 .

60. ما الذي يحدث لقيمة الثابت g إذا كانت كتلة الأرض ضعف قيمتها وبقي حجمها ثابتاً؟

إتقان حل المسائل

61. القمر الصناعي يبدو القمر الصناعي المتزامن مع الأرض ثابتاً فوق نقطة معينة على الأرض كما هو موضح في الشكل 21. افترض أن القمر المتزامن مع الأرض له نصف قطر مداري يبلغ 4.23×10^7 m.

- احسب سرعته في المدار.
- احسب زمنه الدوري.



الشكل 21

62. الكويكب تبلغ كتلة الكويكب الغزم سيريس 7×10^{20} kg ونصف قطره 500 km.

- ما قيمة الثابت g على سطح سيريس؟
- إذا كانت كتلة رائد فضاء على الأرض 90 kg، فكم يكون وزنه على سيريس؟

46. يبعد مركز القمر عن مركز الأرض مسافة 3.9×10^8 m. ويبعد عن مركز الشمس مسافة 1.5×10^8 m. فإذا كانت كتلة القمر تساوي 7.3×10^{22} kg، فأوجد نسبة قوة الجاذبية التي تؤثر بها الأرض والشمس في القمر.

47. مهمة تصنيف استخدم بيانات النظام الشمسي في الجداول المرجعية الموجودة في نهاية الكتاب، وصنّف أزواج الكواكب التالية وفقاً لقوة الجاذبية التي يؤثر بها كل منها في الآخر من الأقل إلى الأكبر. ووضح أي روابط بشكل خاص.

- المريخ والزهرة إذا كانت المسافة بينهما 5.0×10^7 km
- المشتري وزحل إذا كانت المسافة بينهما 6.6×10^8 km
- المشتري والأرض إذا كانت المسافة بينهما 6.3×10^8 km
- المريخ والأرض إذا كانت المسافة بينهما 9.2×10^7 km
- المشتري والمريخ إذا كانت المسافة بينهما 7.2×10^8 km

48. كرتان المسافة بين مركزيهما 2.6 m، وقوة الجاذبية بينهما 2.75×10^{-12} N. ما كتلة كل منهما إذا كانت كتلة إحداها ضعف كتلة الأخرى؟

49. القارب اللعبة يحتاج قارب خشبي لعبة كتلته 10.0 kg إلى قوة دفع مقدارها 40.0 N ليسير بسرعة متجهة ثابتة عبر سطح زجاجي أملس على الأرض، فما قوة الدفع التي يحتاج إليها القارب نفسه عبر السطح الزجاجي نفسه على كوكب المشتري؟

50. إذا كان نصف القطر المداري للقمر ميماس، أحد أقمار الكوكب زحل، يبلغ 1.87×10^8 m وكان زمنه الدوري المداري 23.0 h، فاستخدم صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر لإيجاد كتلة كوكب زحل.

51. المذنب هالي يمكن رؤية المذنب هالي كل 76 سنة من كوكب الأرض، أوجد متوسط المسافة بين المذنب والشمس بالوحدات الفلكية. (AU تساوي متوسط المسافة بين الأرض والشمس. وتُقدّر المسافة بين الأرض والشمس بحوالي 1.00 AU).

52. تُقاس المساحة بوحدة m^2 ، لذا فإن المعدل الزمني للمساحة التي يمسحها كوكب أو قمر هي m^2/s .

a. ما معدل المساحة التي تمسحها الأرض في مدارها حول الشمس؟

b. ما معدل المساحة التي يمسحها القمر في مداره حول الأرض؟ افترض أن متوسط المسافة بين الأرض والقمر 3.9×10^8 m والزمن الدوري للقمر حول الأرض 27.33 يوماً.

53. يبلغ نصف القطر المداري لقمر الأرض 3.9×10^8 m. استخدم صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر لحساب الزمن الدوري لقمر الأرض إذا بلغ نصف القطر المداري الضعف.

70. معلم فيزياء كتلته 91.0 kg يبلغ وزنه على سطح القمر 145.6 N . فما قيمة مجال جاذبية القمر عند سطحه؟

71. إذا كانت كتلة الإلكترون $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$. وكانت كتلة البروتون $1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$. وكانت المسافة بين الإلكترون والبروتون تساوي $0.59 \times 10^{-10} \text{ m}$ في ذرة الهيدروجين. فما مقدار قوة الجاذبية بين البروتون والإلكترون في ذرة الهيدروجين؟

72. هب أن هناك جسمين كرويين كتلتهما 8.0 kg والمسافة بينهما 5.0 m .

a. ما مقدار قوة الجاذبية بينهما؟

b. ما مقدار قوة الجاذبية بينهما عندما تكون المسافة بينهما $5.0 \times 10^1 \text{ m}$ ؟

73. إذا كان وزنك على سطح الأرض يساوي 637 N فكم يبلغ وزنك على كوكب المريخ؟ كتلة المريخ تساوي $6.42 \times 10^{23} \text{ kg}$ ونصف قطره $3.40 \times 10^6 \text{ m}$.

74. أوجد قيمة الثابت g ، ومجال الجاذبية عند سطح الأرض في الحالات التالية:

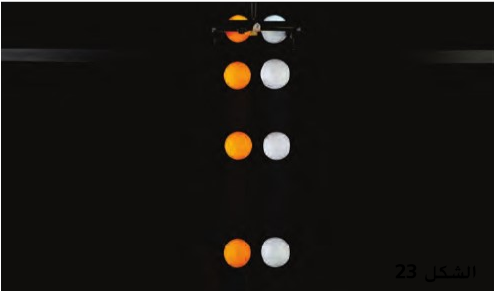
a. تبلغ كتلة الأرض ثلاثة أضعاف قيمتها الفعلية، ولكن نصف قطرها يظل كما هو.

b. يبلغ نصف قطر الأرض ثلاثة أضعافه، ولكن كتلتها تظل كما هي.

c. عند مضاعفة كل من كتلة الأرض ونصف قطرها.

تطبيق المفاهيم

75. التسارع قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم قرب سطح الأرض تتناسب طرديًا مع كتلته. يبين الشكل 23 كرة تنس طاولة وكرة جولف في حالة سقوط حر. لماذا لا تسقط كرة الجولف بسرعة أكبر من كرة تنس الطاولة؟



الشكل 23

76. ما المعلومات التي تحتاج إليها لإيجاد كتلة المشتري باستخدام صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر؟

77. لماذا لم يُعرف على كتلة الكوكب القزم بلوتو حتى اكتُشف قمر صناعي له؟

63. تبلغ كتلة القمر $7.34 \times 10^{22} \text{ kg}$ ويبلغ نصف قطره المداري $3.9 \times 10^8 \text{ m}$ من سطح الأرض. وكتلة الأرض $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$.

a. احسب قوة التجاذب بين الأرض والقمر.

b. أوجد مقدار مجال الجاذبية للأرض على القمر.

64. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزياء باستخدام أجسام من الحياة اليومية تمثل المعادلة التالية جزءًا من حلها:

$$8.3 \times 10^3 \text{ m/s} = \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}{r}}$$

65. يبلغ نصف قطر الأرض $6.38 \times 10^3 \text{ km}$ وتنطلق مركبة فضائية تزن $7.20 \times 10^3 \text{ N}$ مبتعدة عن الأرض. فكم يبلغ وزن المركبة عند الوصول إلى المسافات التالية بعيدًا عن سطح الأرض؟

a. $6.38 \times 10^3 \text{ km}$

b. $1.28 \times 10^4 \text{ km}$

c. $2.55 \times 10^4 \text{ km}$

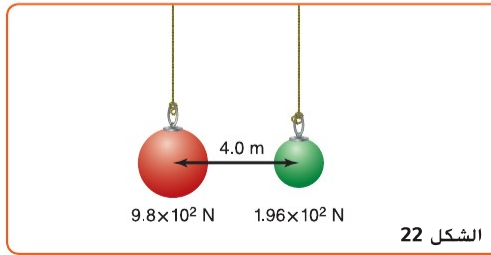
66. صاروخ كم تبلغ مسافة ارتفاع الصاروخ فوق سطح الأرض حتى يصل وزنه إلى نصف ما كان عليه عند سطح الأرض؟

67. قمران صناعيان متساويان في الكتلة يدوران في مدار وتنفصل بينهما مسافة 30.0 m . وكانت قوة الجاذبية بينهما $2.0 \times 10^{-7} \text{ N}$.

a. ما كتلة كل من القمرين؟

b. ما التسارع الأولي الذي تؤثر به قوة الجاذبية في كل قمر؟

68. كرتان كبيرتان معلقتان بجوار بعضهما. فإذا كان البعد بين مركزيهما 4.0 m كما في الشكل 22، وكان وزن إحداهما $9.8 \times 10^2 \text{ N}$ والأخرى $1.96 \times 10^2 \text{ N}$. فما مقدار قوة الجاذبية بينهما؟



الشكل 22

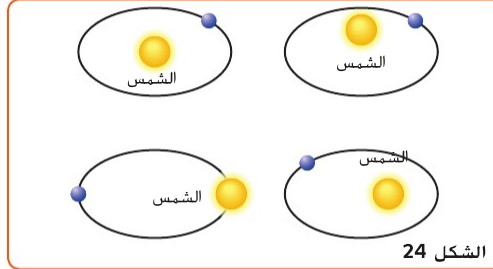
69. افترض أن المسافة بين مركزي الأرض والقمر تساوي $3.9 \times 10^8 \text{ m}$ وأن قوة الجاذبية بينهما تساوي $1.9 \times 10^{20} \text{ N}$. كم تساوي كتلة القمر تقريبًا؟

78. يبلغ ارتفاع قمر صناعي فوق سطح الأرض قيمة نصف قطرها. فما وجه المقارنة بين التسارع بسبب الجاذبية عند هذا الموقع والتسارع على سطح الأرض؟

79. ماذا يحدث لقيمة الثابت G إذا تضاعفت كتلة الأرض ولكن مع ثبات حجمها كما هو؟

80. تضاعفت كتلة جسم داخل مجال الجاذبية للأرض، فكيف تغيرت القوة التي يؤثر بها المجال في الجسم؟

81. قتر إذا كان كل مدار من المدارات الموضحة في الصورة 24 مدارًا محتملاً للكوكب ما أم لا.



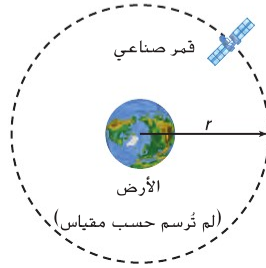
الشكل 24

82. يجذب القمر والأرض كل منهما الآخر بقوة جاذبية، فهل تجذب الأرض ذات الكتلة الأكبر القمر بقوة أكبر من قوة جذبها؟ اشرح.

83. تبين الصورة 25 قمرًا صناعيًا يدور حول الأرض. ادرس

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

المعادلة v ، والمتعلقة بسرعة قمر صناعي يدور حول الأرض والمسافة بينه وبين مركزها. فأيهما أكبر، السرعة الممتجهة للقمر ذي نصف القطر الأكبر، أم القمر ذي نصف القطر الأصغر؟

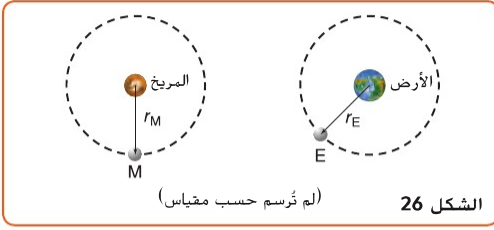


الشكل 25

84. المهكوك الفضائي إذا ارتفع مكوك فضائي إلى مدار أبعد من مداره، فماذا يحدث لزمته الدوري؟

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

86. كتلة المريخ تبلغ تسع كتلة الأرض. يبين الشكل 26 القمر الصناعي (م) الذي يدور حول المريخ بنصف القطر المداري نفسه للقمر الصناعي (هـ) الذي يدور حول الأرض. أي من القمرين زمنه الدوري أقل؟



الشكل 26

87. الوزن افترض أن كتلة جسمك أمس كانت 50.0 kg. وفي صباح اليوم، وزنت نفسك على ميزان ووجدت أن وزنك قد ازداد. افترض أن موقعك لم يتغير.

a. ما الذي حدث لكتلتك، إن كان ثمة شيء قد حدث؟
b. ما الذي حدث لنسبة وزنك إلى كتلتك، إن كان ثمة شيء قد حدث؟

88. هب أنك رائد فضاء توجد في مكوك فضائي يدور حول الأرض، كيف ستقوم "بإسقاط" جسم على سطح الأرض؟

89. الأقمار الصناعية الجوية يجري التقاط الصور الجوية التي تشاهدها في التلفاز بواسطة مركبة فضائية توجد في موضع ثابت بالنسبة إلى الأرض على بُعد 35,700 km فوق خط الاستواء. اشرح كيف يمكن للقمر الصناعي أن يظل في الموضع نفسه تحديدًا. ما الذي سيحدث إذا كان أقرب من ذلك؟ وماذا لو كان أبعد من ذلك؟ تلميح: ارسم نموذجًا مصوريًا.

مراجعة عامة

90. استخدم المعلومات الخاصة بالأرض لحساب كتلة الشمس باستخدام صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر.

91. كتلة القمر تساوي 7.3×10^{22} kg ونصف قطره 1738 km. افترض أنك تجري تجربة نيوتن الذهنية حيث تُطلق قذيفة بشكل أفقي من جبل شاهق الارتفاع على سطح القمر.
a. ما السرعة التي تحتاج إليها القذيفة عند الإطلاق لتبقى في المدار؟
b. ما المدة التي ستستغرقها القذيفة حتى تعود إلى المدفع؟

92. سباقات السيارات هب أنك تريد تشييد حلبة سباق دائرية مسطحة، فإذا أمكن لسيارة الوصول إلى سرعة 12 m/s، فما أصغر طول لنصف قطر الحلبة الذي يكون معامل الاحتكاك له يساوي 0.50؟

93. أبولو 11 في 19 مايو 1969. تم تطوير المركبة أبولو 11 أطلق للدوران حول القمر من ارتفاع يبلغ 111 km. علماً بأن نصف قطر القمر 1738 km وكتلته 7.3×10^{22} kg.

a. ما مقدار الزمن الدوري للمركبة أبولو 11 بالدقائق minutes؟

b. عند أي سرعة متجهة دارت المركبة أبولو 11 حول القمر؟

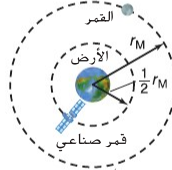
94. إذا كان الزمن الدوري للقمر شهراً واحداً، فأجب عما يلي بافتراض أن كتلة الأرض مضاعفة:

a. ما مقدار الزمن الدوري للقمر بالشهور؟

b. أين سيكون موقع القمر الصناعي الذي يكون زمنه الدوري المداري شهراً واحداً؟

c. كيف سيتغير طول السنة على الأرض؟

95. القمر الصناعي قمر صناعي في المدار. كما في الشكل 27. يبلغ نصف قطره المداري نصف قطر القمر. أوجد الزمن الدوري للقمر الصناعي بوحدات الزمن الدوري للقمر.



الشكل 27

96. ما السرعة التي يحتاج أن يتحرك بها كوكب له كتلة الأرض وحجمها كي يدور بحيث يتعدم وزن الجسم الموجود عند خط الاستواء؟ أوجد الزمن الدوري بالدقائق minutes.

التفكير الناقد

97. عمل رسومات بيانية واستخدامها استخدم قانون نيوتن في الجذب الكوني لإيجاد معادلة يكون فيها x هو مسافة بُعد الجسم عن مركز الأرض و y تسارعه وفقاً للجاذبية. استخدم الحاسبة البيانية لرسم هذه المعادلة. باستخدام 6400-6600 km كنطاق للمحور x و $9-10$ m/s² كنطاق للمحور y .

ينبغي أن تكون المعادلة على النمط $y = c \left(\frac{1}{x^2} \right)$. استخدم

هذا الرسم البياني لإيجاد y لهذه المواقع: مستوى البحر،

6400km: قمة جبل إفرست، 6410km: قمر صناعي في المدار المعتاد، 6500km: قمر صناعي في مدار أعلى، 6600km.

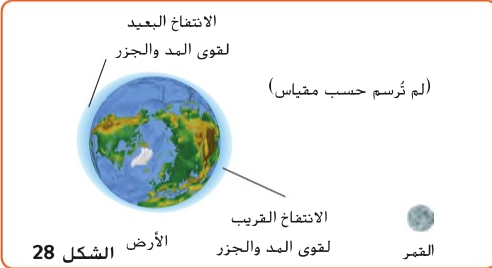
98. افترض أن الشمس قد اختفت - تددت كتلتها، فإذا كانت قوة الجاذبية تؤثر على بُعد. فستتأثر الأرض بفقد قوة الجاذبية من الشمس على الفور. ولكن إذا كانت القوة ناتجة عن مجال ما أو انحناء الفضاء لأينشتاين، فإن المعلومات التي تنفذ بأن الشمس قد تددت ستتغل بسرعة الضوء. فكم تبلغ المدة التي ستستغرقها تلك المعلومات لتصل إلى الأرض؟

99. التحليل والاستنتاج تحدث ظاهرة المد والجزر على سطح الأرض نتيجة قوة جذب من القمر. هل هذه العبارة صحيحة؟

a. حدد القوى (بالنيوتن newtons) التي يؤثر بها القمر والشمس في كتلة (m) من الماء على سطح الأرض. اجعل إجابتك بدلالة m .

b. أي الجرمين الفلكيين 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 (على الجانب المقابل). كما هو موضح في الشكل 28. اجعل إجابتك بدلالة m .



d. أوجد الفرق بين القوتين اللتين تؤثر بهما الشمس في الماء الموجود على سطح الأرض القريب منها والبعيد عنها (على الجانب المقابل).

e. أي جرم من الأجرام الفلكية يتفاوت فيه الجذب بشكل كبير بين أحد جوانب الأرض والجانب الآخر؟

f. لماذا تُعد العبارة التالية مضللة "ينتج المد والجزر عن قوة جذب القمر"؟ اجعل العبارة صحيحة بحيث تشرح كيف يسبب القمر ظاهرة المد والجزر على الأرض.

الكتابة في الفيزياء

100. أبحث في التطور التاريخي لقياس البُعد بين الشمس والأرض وأعد تقريراً بذلك.

101. استكشف جهود الفلكيين في اكتشاف كواكب حول نجوم أخرى. وما الطرق التي استخدمها الفلكيون؟ وما القياسات التي أجروها وحصلوا عليها؟ وكيف استخدموا القانون الثالث لكبلر؟

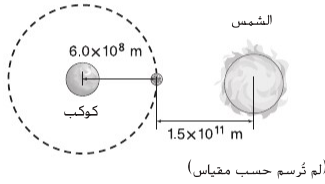
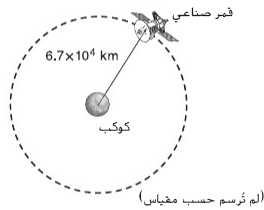
مراجعة تراكمية

102. الطائرات أقلعت طائرة من مدينة بيتسبرج عند الساعة 2:20 بعد الظهر وحطت في واشنطن العاصمة 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؟

103. أراد وائل أن يقيس وزن أخيه أمير. وافق أمير أن يقف على الميزان، ولكن فقط إذا استقلا المصعد. ثم وقف على الميزان بينما يتسارع المصعد صعوداً بمقدار 1.75 m/s². قرأ الميزان أن وزن أمير يبلغ 716 N، فما وزنه الطبيعي؟

اختيار من متعدد

1. قمران صناعيان في مدار حول كوكب. يبلغ نصف القطر المدار لأحدهما $8.0 \times 10^6 \text{ m}$ ويبلغ الزمن الدوري لدوران هذا القمر الصناعي $1.0 \times 10^6 \text{ s}$ ؛ ويبلغ نصف القطر المدار للقمر الثاني $2.0 \times 10^7 \text{ m}$. فما الزمن الدوري لدوران القمر الثاني؟
 a. $5.0 \times 10^5 \text{ s}$
 b. $2.5 \times 10^6 \text{ s}$
 c. $4.0 \times 10^6 \text{ s}$
 d. $1.3 \times 10^7 \text{ s}$
2. يبين الرسم التوضيحي التالي قمرًا صناعيًا في مدار حول كوكب صغير؛ يبلغ نصف القطر المدار للقمر $6.7 \times 10^4 \text{ km}$ وسرعته $2.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ ، فما كتلة الكوكب الذي يدور حوله هذا القمر الصناعي؟ ($G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$)
 a. $2.5 \times 10^{18} \text{ kg}$
 b. $4.0 \times 10^{20} \text{ kg}$
 c. $2.5 \times 10^{23} \text{ kg}$
 d. $4.0 \times 10^{28} \text{ kg}$



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

4. يدور قمر حول كوكب بسرعة مقدارها $9.0 \times 10^3 \text{ m/s}$. وكانت المسافة بين القمر ومركز الكوكب تساوي $5.43 \times 10^6 \text{ m}$. فما الزمن الدوري للقمر؟
 a. $1.2 \times 10^2 \text{ s}$
 b. $6.0 \times 10^2 \text{ s}$
 c. $1.2 \times 10^3 \text{ s}$
 d. $1.2 \times 10^9 \text{ s}$
5. يدور قمر حول كوكب ويتأثر بقوة جاذبية من هذا الكوكب ومن الشمس أيضًا. وبيّن الرسم التوضيحي التالي القمر في أثناء كسوف الشمس، عندما يكون الكوكب والقمر والشمس على خط واحد. فإذا كانت كتلة القمر تبلغ تقريبًا $3.9 \times 10^{21} \text{ kg}$ وكتلة الكوكب $2.4 \times 10^{26} \text{ kg}$ ، وكتلة الشمس $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ ، وكانت المسافة بين القمر ومركز الكوكب تساوي $6.0 \times 10^8 \text{ m}$ ، والمسافة بين القمر والشمس تساوي $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ ، فما النسبة بين قوة الجاذبية التي يؤثر بها الكوكب في القمر وقوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في القمر خلال كسوف الشمس؟
 a. 0.5
 b. 2.5
 c. 5.0
 d. 7.5

3. يدور قمران صناعيان في مدار حول الكوكب نفسه؛ فإذا كانت كتلة القمر (1) $1.5 \times 10^2 \text{ kg}$ وكتلة القمر (ب) $4.5 \times 10^3 \text{ kg}$ ؛ وكتلة الكوكب $6.6 \times 10^{24} \text{ kg}$. وكان كل من القمرين له نصف قطر مدار متساوي والبالغ $6.8 \times 10^6 \text{ m}$. فكم يكون الفرق بين الزمنين الدوريين للقمرين؟
 a. لا يوجد فرق
 b. $1.5 \times 10^2 \text{ s}$
 c. $2.2 \times 10^2 \text{ s}$
 d. $3.0 \times 10^2 \text{ s}$