وزارة التربية والتعليم
Ministry of Education
المملكة العربية السعودية

الفيزياء

للصف الأول الثانوي - الفصل الدراسي الثاني

McGraw Hill Education

العبيكان Obeikan

طبعة ١٤٣٥ هـ - ٢٠١٤ م

قررت وزارة التربية والتعليم بالمملكة العربية السعودية
تدريس هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

يوزع مجانًا ولا يباع

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

الفيزياء

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمراجعة والمواءمة
د.أحمد محمد رفيع
خلدون سليمان المصاروه
زهير يوسف حداد
عبد الرحمن علي العريني

التعريب والتحرير اللغوي
نخبة من المتخصصين

إعداد الصور
د. سعود بن عبدالعزيز الفراج

المشرف على لجان المراجعة
د. محمد بن عبد الله الزغيبي

المراجعة والاعتماد النهائي
عبدالرحمن بن علي العريني
عيسى بن سليمان الفيفي

www.macmillanmh.com

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

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

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٩م.

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

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين. وبعد، يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق الاهتمام الذي توليه حكومة خادم الحرمين الشريفين بتنمية الموارد البشرية، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب الفيزياء للصف الأول الثانوي بجزأيه الأول والثاني في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم الطبيعية في المملكة، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم هاتين المادتين، بحيث يكون الطالب فيهما محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات بين ما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية، مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي، إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد جاء هذا الكتاب في ثلاثة فصول، هي: القوى في بُعدين، والحركة في بعدين، والجاذبية. وسوف تتعرف في هذا الصف مفهوم علم الفيزياء والطريقة العلمية في البحث والتجريب، وتعلم كيفية وصف وتمثيل حركة جسم ما، واستخدام معادلات لإيجاد بعض المتغيرات المتعلقة بحركة الجسم. ودراسة القوة والحركة في بُعد واحد- كالسقوط الحر- واستخدام قوانين نيوتن لوصف وتحليل ودراسة حركة الأجسام. كما يعرض كتاب الفيزياء في هذا الصف القوى والحركة في بعدين، والمتجهات، وحركة المقذوفات، والحركة الدائرية، إضافة إلى دراسة حركة الكواكب والجاذبية، وحساب سرعة إطلاق الأقمار الاصطناعية، ودراسة قوانين كبلر ومدارات الكواكب والأقمار.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة؛ المبني، والموجه، والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، كما يطّلع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال (فكِّر) الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل، ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت

عنوان «تجربة استهلالية»، والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها: التجربة العملية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته. كما يوجد دليل منفصل للتجارب العملية يرتبط بمحتوى الفصل، يهدف إلى تعزيز فهم الطالب للمفاهيم المطروحة في الفصل وبيان تطبيقاتها وأهميتها، إضافة إلى إكساب الطالب مهارة التعامل مع الأجهزة والأدوات.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب أن يتعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل، وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

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

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

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

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

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

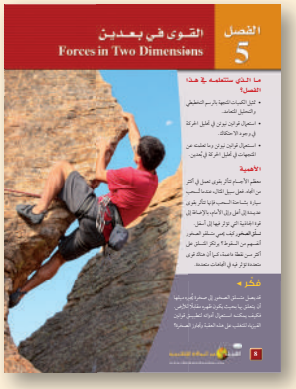
سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط إشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

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

قائمة المحتويات

الفصل 5



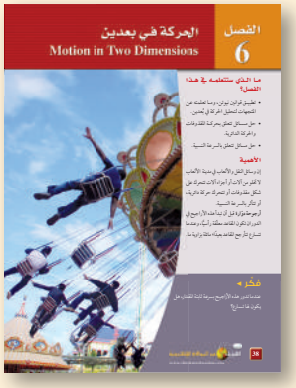
القوى في بُعدين 8

5–1 المتجهات 9

5–2 الاحتكاك 17

5–3 القوة والحركة في بُعدين 24

الفصل 6



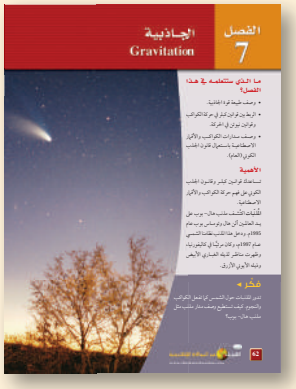
الحركة في بعدين 38

6–1 حركة المقذوف 39

6–2 الحركة الدائرية 46

6–3 السرعة المتجهة النسبية 50

الفصل 7



الجاذبية 62

7–1 حركة الكواكب والجاذبية 63

7–2 استخدام قانون الجذب الكوني 72

مصادر تعليمية للطالب 90

دليل الرياضيات 91

الجداول 98

المصطلحات 100

الفصل 5

القوى في بعدين
Forces in Two Dimensions

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تمثيل الكميات المتجهة بالرسم التخطيطي والتحليل المتعامد.
- استعمال قوانين نيوتن في تحليل الحركة في وجود الاحتكاك.
- استعمال قوانين نيوتن وما تعلمته عن المتجهات في تحليل الحركة في بُعدين.

الأهمية

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

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

فكِّر ◄

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

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

هل صحيح أن $2N + 2N = 2N$؟

سؤال التجربة هل يمكن لمجموع (محصلة) قوتين متساويتين تؤثران في جسم أن يساوي إحدى هاتين القوتين؟

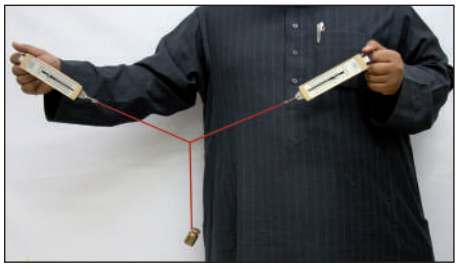
الخطوات

1. **قِس** احصل من معلمك على جسم كتلته 200 g، وقِس وزنه باستعمال ميزان نابضي (زنبركي).
2. اربط طرفي خيط طوله 70 cm بخطافي ميزانين نابضيين.
3. اربط طرف خيط طوله 15 cm بالجسم الذي كتلته 200 g ولفّ طرفه الآخر على الخيط المثبت بخطافي الميزانين. ***تحذير: تجنب سقوط الكتل.***
4. أمسك الميزانين النابضيين أحدهما باليد اليمنى والآخر باليد اليسرى، على أن يشكّل الخيط الواصل بينهما زاوية مقدارها 120°. وللتأكد من أن مقدار الزاوية 120° حرّك الخيط الذي يُعلّق به الجسم حتى تكون قراءتا الميزانين متساويتين، وسجل قراءة كل منهما.
5. **اجمع البيانات ونظمها** اسحب ببطء الخيط الذي يُعلَّق به الجسمُ الذي كتلته 200 g، أكثر فأكثر في اتجاه الأفقي، وصِفْ مشاهداتك.

التحليل

هل مجموع القوتين المقيستين بالميزانين النابضيين يساوي وزن الجسم المعلّق، أم أكبر، أم أقل؟

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



5–1 المتجهات Vectors

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

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

الأهداف

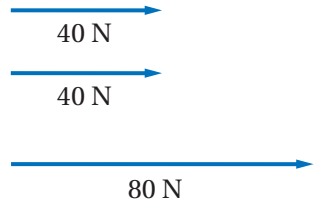
- **تحسب** مجموع متجهين أو أكثر في بعدين بطريقة الرسم.
- **تحدّد** مركّبتي كل متجه.
- **تحسب** مجموع متجهين أو أكثر جبريًّا، وذلك بجمع مركّبات المتجهات.

المفردات

المركّبات

تحليل المتجه

مراجعة مفهوم المتجهات
Vectors Revisited



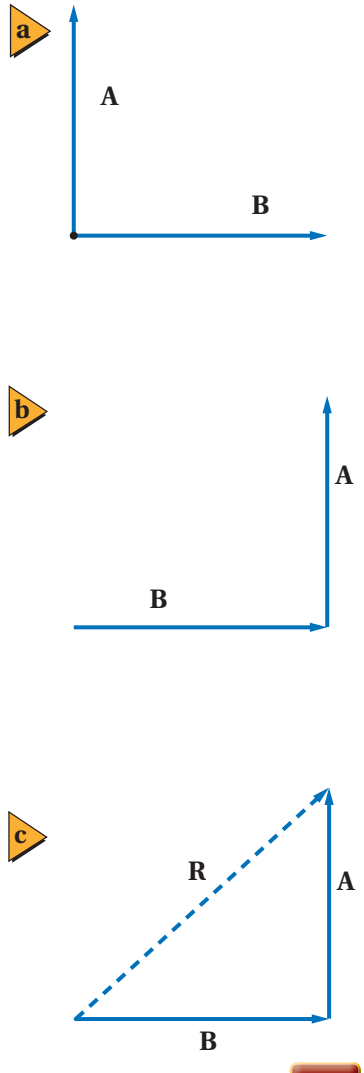
الشكل 1–5 مجموع القوتين يوضحه المتجه أسفلهما.

تذكر المثال الذي درسته على متجهات القوة، في الفصل الرابع؛ حيث دفعت أنت وصديقك الطاولة. وافترض أن كلًّا منكما أثَّر بقوة 40 N في اتجاه اليمين. يمثل **الشكل 1–5** مخطط الجسم الحر للمتجهين بالإضافة إلى المتجه الذي يمثل القوة المحصلة. إن متجه القوة المحصلة يساوي 80 N، وهو الذي تتوقعه غالبًا. لكن كيف حصلنا على متجه القوة المحصلة؟

المتجهات في أبعاد متعددة
Vectors in Multiple Dimensions

الشكل 2–5 جمع المتجهات بوضع رأس متجه على ذيل متجه آخر ورسم المتجه المحصل بتوصيل ذيل المتجه الأول برأس المتجه الأخير.

يمكن تطبيق عملية جمع المتجهات حتى لو لم تكن في الاتجاه نفسه. ولحل مثل هذه المسائل في بُعدين بطريقة الرسم تحتاج إلى منقلة ومسطرة، على أن تختار مقياس رسم مناسبًا؛ لرسم المتجهات بالزوايا الصحيحة، وقياس مقدار المتجه المحصل واتجاهه. ويمكن جمع المتجهات بوضع ذيل متجه على رأس متجه آخر، ثم رسم المتجه المحصل بتوصيل ذيل المتجه الأول مع رأس المتجه الثاني، كما في **الشكل 2–5**. حيث يبين **الشكل 2a–5** مخطط الجسم الحر لقوتين **A** و **B**. وفي **الشكل 2b–5** حُرّك أحد المتجهين فأصبح ذيله عند رأس المتجه الآخر. لاحظ أن طول المتجه المنقول واتجاهه لم يتغيرا. وحيث إنَّ طول المتجه واتجاهه هما فقط ما يميز المتجه، لذا فإن المتجه لم يتغير بسبب هذه الحركة. وهذا صحيح دائمًا؛ فعند تحريك متجه دون تغيير طوله واتجاهه لا يتغير المتجه. ويمكنك الآن رسم المتجه المحصل الذي يتجه من ذيل المتجه الأول **(B)** إلى رأس المتجه الأخير **(A)**، كما في **الشكل 2c–5**، ثم قياس طوله للحصول على مقداره. استعمل منقلة لقياس اتجاه المتجه المحصل.



قد تحتاج أحيانًا إلى استعمال علم المثلثات لتحديد طول المتجه المحصل واتجاهه. تذكر أنه يمكن إيجاد طول الوتر للمثلث القائم الزاوية باستعمال نظرية فيثاغورس. إذا أردت جمع متجهين الزاويةُ بينهما قائمة – مثل المتجه **A** الذي يشير إلى الشمال والمتجه **B** الذي يشير إلى الشرق – يمكنك استعمال نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المحصلة **R**.

نظرية فيثاغورس $R^2 = A^2 + B^2$

إذا كانت الزاوية بين متجهين **A** و **B** قائمة فإن مجموع مربعي مقداري المتجهين يساوي مربع مقدار المتجه المحصل.

إذا كانت الزاوية بين المتجهين المراد جمعهما لا تساوي 90° يمكنك استعمال قانون جيب التمام أو قانون الجيب.

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

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

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

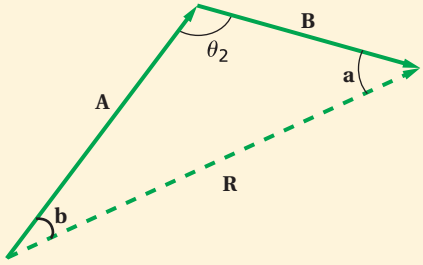
مقدار المحصلة مقسومًا على جيب الزاوية التي بين المتجهين يساوي مقدار أحد المتجهين مقسومًا على جيب الزاوية التي تقابله.

للمزيد من المعلومات حول قانون الجيب راجع دليل الرياضيات صفحة 96، وانظر الشكل الموضح في المثال التالي.

مثـــال 1

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

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم متجهي الإزاحة **A** و **B** وارسم الزاوية بينهما.

المعلوم

$A = 25\ km$ $\quad \theta_1 = 90°$

$B = 15\ km$ $\quad \theta_2 = 135°$

المجهول

$R = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

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

بالتعويض $A = 25\ km$ و $B = 15\ km$

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

$= 29\ km$

دليل الرياضيات

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية 93

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

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

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

بالتعويض $A = 25\ km$ و $B = 15\ km$ والزاوية بينهما

$= \sqrt{(25\ km)^2 + (15\ km)^2 - 2(25\ km)(15\ km)(\cos 135°)} = 37\ km$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** كل جواب عبارة عن طول يُقاس بالكيلومترات.
- **هل للإشارات معنى؟** حاصل الجمع في كل حالة موجب.
- **هل الجواب منطقي؟** المقدار في كل حالة قريب من مقدار المتجهين المجموعين ولكنه أطول؛ وذلك لأن كل محصلة عبارة عن ضلع يقابل زاوية منفرجة. والإجابة الثانية أكبر من الأولى. وهذا يتفق مع تمثيل المتجهات بالرسم.

مسائل تدريبية

1. قطعت سيارة 125.0 km في اتجاه الغرب، ثم 65.0 km في اتجاه الجنوب. فما مقدار إزاحتها؟ حل المسألة بطريقة الرسم وبالطريقة الحسابية.
2. سار شخص 4.5 km في اتجاه ما، ثم انعطف بزاوية 45° في اتجاه اليمين، وسار مسافة 6.4 km. ما مقدار إزاحته؟

مركّبات المتجهات
Components of Vectors

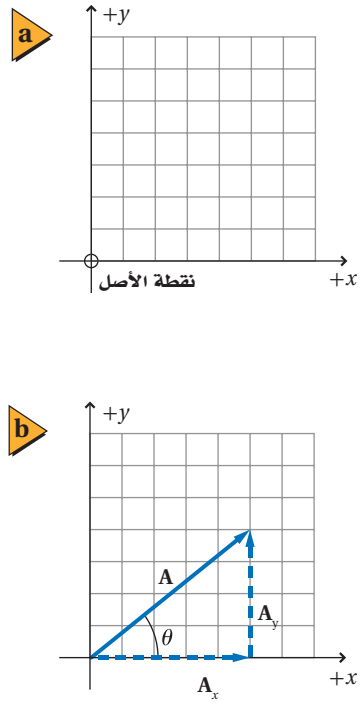
إن اختيار نظام إحداثي – كما في **الشكل 3a–5** – يشبه وضع شبكة مرسومة على شريحة بلاستيكية شفافة فوق الرسم التخطيطي للمسألة. وعليك اختيار الموضع الذي يحدد مركز الشبكة (نقطة الأصل)، وتثبت الاتجاهات التي تشير إليها المحاور، حيث يُمثَّل محور x بسهم يمر بنقطة الأصل ويشير إلى الاتجاه الموجب، كما في **الشكل 3a–5**، ويُرسم محور y الموجب على أن يصنع زاوية 90° في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x، ويتقاطع مع محور x في نقطة الأصل.

كيف تختار اتجاه محور x؟ ليس هناك إجابة واحدة صحيحة، ولكن بعض الخيارات تجعل حل المسألة أسهل من بعضها الآخر. عندما تكون الحركة الموصوفة محصورة في سطح الأرض يكون من الأسهل اختيار المحور x ليشير إلى اتجاه الشرق، والمحور y ليشير إلى اتجاه الشمال. وعندما تشتمل الحركة على جسم يتحرك خلال الهواء يتم اختيار المحور x ليكون أفقيًّا ويكون المحور y عموديًّا على المحور x. وإذا كانت الحركة على تل فإنه من المناسب اختيار المحور x الموجب في اتجاه الحركة، والمحور y عموديًّا على المحور x.

مركّبتا المتجه يمكنك وصف أي متجه بطريقة مختلفة عما سبق باستخدام النظام الإحداثي. فعلى سبيل المثال، يمكن وصف المتجه **A** كما في **الشكل 3b–5** على أنه يمثل الانتقال بمقدار 5 وحدات على المحور x والانتقال بمقدار 4 وحدات على المحور y. كما يمكنك تمثيل هذه المعلومات في صورة متجهين يُرمز إليهما بـ $\mathbf{A}_x$ و$\mathbf{A}_y$ على المخطط. لاحظ أن $\mathbf{A}_x$ يوازي محور x، و $\mathbf{A}_y$ يوازي محور y. ولاحظ كذلك أنه إذا جمع $\mathbf{A}_x$ مع $\mathbf{A}_y$ فإن المحصلة تساوي المتجه الأصلي **A**. وهكذا يمكن تجزئة المتجه إلى **مركّبتين**، وهما متجهان أحدهما يوازي المحور x والآخر يوازي المحور y. وهذا يجب عمله دائمًا، كما أن معادلة المتجهات التالية صحيحة دائمًا.

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

تُسمى عملية تجزئة المتجه إلى مركّبتيه **تحليل المتجه**. لاحظ أن المتجه الأصلي يمثل الوتر في مثلث قائم الزاوية، مما يعني أن مقدار المتجه الأصلي يكون دائمًا أكبر من مقدار أي مركّبة من مركّبتيه.



الشكل 3–5 يتكون النظام الإحداثي من نقطة الأصل ومحورين متعامدين (**a**). يقاس اتجاه المتجه **A** في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x الموجب (**b**).

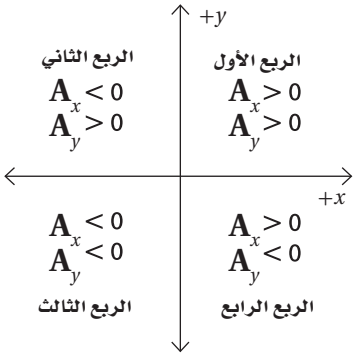
وهنـاك سـبب آخر لاختيار النظـام الإحداثي، هو أن اتجاه أي متجه يُحدَّد بالنسـبة إلى هذه الإحداثيـات. ويعـرّف اتجاه المتجه على أنـه الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور x مقيسـة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. ففي **الشكل 3b–5** تمثل الزاوية θ اتجاه المتجه **A**.

ويُمكـن قيـاس أطوال مركّبات المتجهات بطريقة الرسـم، كما يمكن أيضًـا إيجاد المركّبات باسـتعمال علـم المثلثات. فتحسـب المركّبـات باسـتعمال المعـادلات المبينة أدنـاه، وتكون الزاوية θ مقيسة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x الموجب.

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

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

عندما تكون الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور x الموجب أكبر من $90°$ فإن إشارة إحدى المركّبتين أو كلتيهما تكون سالبة كما في **الشكل 4–5**.

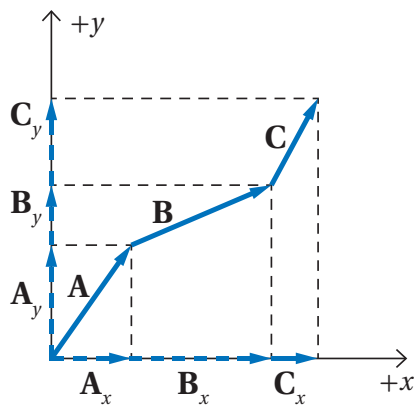


الشكل 4–5 تعتمد إشارة مركّبة المتجه على الربع الذي تقع فيه.

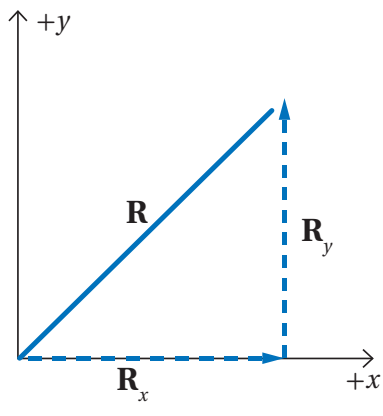
جمع المتجهات جبريًّا
Algebraic Addition of Vectors

لماذا تُحلّل المتجهات إلى مركّباتها؟ لأن ذلك يُسهل عملية جمع المتجهات حسابيًّا. فيمكن جمع متجهين أو أكثر مثل **A**، **B**، **C**، .... إلخ، وذلك بتحليل كل متجه إلى مركّبتيه x و y أولاً، ثم تجمع المركّبات الأفقية (مركّبات المحور x) للمتجهات لتكوّن المركّبة الأفقية للمحصلة: $\mathbf{R}_x = \mathbf{A}_x + \mathbf{B}_x + \mathbf{C}_x$.

وبالمثل تجمع المركّبات الرأسية (مركّبات المحور y) للمتجهات لتكوّن المركّبة الرأسية للمحصلة: $\mathbf{R}_y = \mathbf{A}_y + \mathbf{B}_y + \mathbf{C}_y$، وهذه العملية موضحة بيانيًّا في **الشكل 5–5**. ولأن $\mathbf{R}_x$ و $\mathbf{R}_y$ متعامدتان؛ لذا يمكن حساب مقدار المتجه المحصل باستعمال نظرية فيثاغورس $R^2 = R_x^2 + R_y^2$.



a. تحليل كل متجه إلى مركّبتيه.



b. إيجاد المحصلة

الشكل 5–5 $\mathbf{R}_x$ هي مجموع المركّبات الأفقية للمتجهات **A** و**B** و**C**. $\mathbf{R}_y$ هي مجموع المركّبات الرأسية للمتجهات **A** و**B** و**C**. الجمع الاتجاهي لـ $\mathbf{R}_x$ و $\mathbf{R}_y$ هو الجمع الاتجاهي للمتجهات **A** و**B** و**C**.

ولإيجاد الزاوية أو اتجاه المحصلة تذكر أن ظل الزاوية التي يصنعها المتجه المحصل مع محور x يُعبّر عنه بالعلاقة التالية:

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

زاوية المتجه المحصل تساوي الظل العكسي لخارج قسمة المركبة y على المركبة x للمتجه المحصل.

كما يمكنك إيجاد الزاوية باستعمال الزر $\tan^{-1}$ الموجود على الآلة الحاسبة. ولاحظ أنه عندما تكون الزاوية $\theta > 0$ فإن أغلب الآلات الحاسبة تعطي الزاوية بين $0°$ و $90°$، وعندما تكون $\theta < 0$ فإن الزاوية تكون بين $0°$ و $-90°$.

تجربة عملية

كيف يتحرك الجسم عندما تؤثر فيه قوتان؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية

استراتيجيات حل المسألة

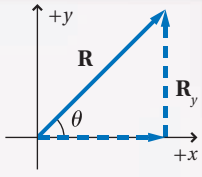
جمع المتجهات

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

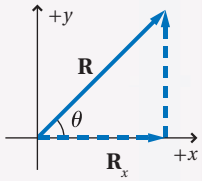
1. اختر نظامًا إحداثيًّا.
2. حلل المتجهات إلى مركّباتها الأفقية x باستعمال المعادلة $\mathbf{A}_x = \mathbf{A}\cos\theta$، وإلى مركّباتها العمودية y باستعمال $\mathbf{A}_y = \mathbf{A}\sin\theta$، إذ تقاس الزاوية θ في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x الموجب.
3. اجمع المركّبات التي على المحور x أو اطرحها للحصول على $\mathbf{R}_x$.
4. اجمع المركّبات التي على المحور y أو اطرحها للحصول على $\mathbf{R}_y$.
5. طبق نظرية فيثاغورس $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ لإيجاد مقدار المتجه المحصل.
6. طبق العلاقة $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$ لإيجاد زاوية المتجه المحصل.

الرياضيات في الفيزياء

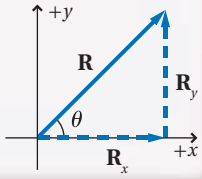
$$\sin\theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{R_y}{R}$$



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



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

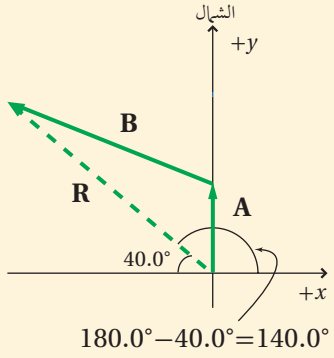


إن إتقانك عملية تحليل المتجهات إلى مركّباتها، واكتساب المزيد من الخبرة خلال ما تبقى من هذا الفصل والفصل الذي يليه، سوف يسهلان عليك تحليل أنظمة معقدة من المتجهات دون استخدام طريقة الرسم.

مثـــال 2

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

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم متجه المحصلة **R** من موقعك الأصلي إلى منزلك.
- ارسم المتجه المعلوم **A**، ثم ارسم المتجه المجهول **B**.

المعلوم

$\mathbf{A} = 5.0\ \text{km}$ في اتجاه الشمال

$\mathbf{R} = 15.0\ \text{km}$ في اتجاه 40.0° شمال الغرب

المجهول

$\mathbf{B} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مركّبتي المتجه **R**.

$$R_x = R\cos\theta = (15.0\ \text{km})\cos 140.0° = -11.5\ \text{km}$$

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

بالتعويض $R = 15.0\ \text{km}$ و $\theta = 140.0°$

بما أن **A** في اتجاه الشمال، لذا فإن

$$A_y = 5.0\ \text{km}$$

$$A_x = 0.0\ \text{km}$$

استخدم مركّبات كل من **R** و **A** لإيجاد مركّبتي المتجه **B**.

بالتعويض $R_y = 9.46\ \text{km}$ و $A_y = 5.0\ \text{km}$ و $R_x = -11.5\ \text{km}$ و $A_x = 0.0\ \text{km}$

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

الإشارة السالبة تعني أن هذه المركّبة في اتجاه الغرب

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

استخدم مركّبتي المتجه **B** لإيجاد مقدار المتجه **B**.

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

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

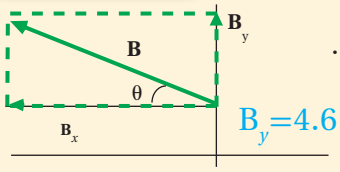
$$= \sqrt{(-11.5\ \text{km})^2 + (4.6\ \text{km})^2}$$

$$= 12\ \text{km}$$

دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل 97

استخدم الظل لإيجاد اتجاه المتجه **B**.



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

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

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

$$= -22° \text{ أو } (158°)$$

ضع ذيل المتجه **B** عند نقطة الأصل لنظام إحداثي، وارسم المركّبتين $\mathbf{B}_x$ و $\mathbf{B}_y$، فيكون الاتجاه في الربع الثاني وفي اتجاه يصنع زاوية مقدارها 22° شمال الغرب.

3 تقويم الجواب

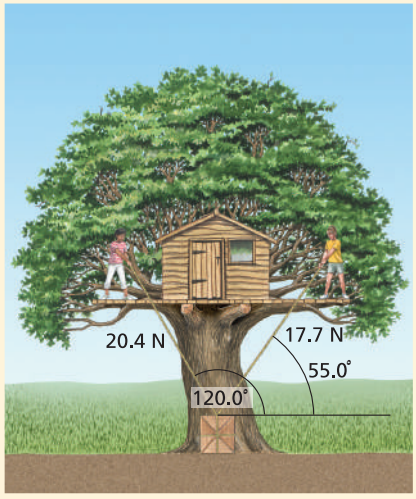
- **هل الوحدات صحيحة؟** الكيلومترات والدرجات صحيحة.
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارات مع المخطط.
- **هل الجواب منطقي؟** إن طول المتجه **B** أكبر من R_x؛ لأن الزاوية بين **A** و **B** أكبر من 90°.

مسائل تدريبية

حُلّ المسائل ***3–8*** *جبريًا (يمكن حل بعضها أيضًا بطريقة الرسم للتحقق من الإجابة):*

3. يمشي أحمد مسافة 0.40 km بزاوية 60° غرب الشمال، ثم يمشي 0.50 km غربًا. ما إزاحة أحمد؟

4. يقضي الأخوان أحمد وعبد الله بعض الوقت في بيت بنياه فوق شجرة. وقد استعملا بعض الحبال لرفع صندوق كتلته 3.20 kg يحوي أمتعتهم. فإذا وقفا على غصنين مختلفين كما في **الشكل 6–5** وسحبا بالزاويتين والقوتين الموضحتين في الشكل، فاحسب كلًّا من المركّبتين x و y للقوة المحصلة المؤثرة في الصندوق. ***تنبيه: ارسم مخطط الجسم الحر حتى لا تنسى أي قوة.***



الشكل 6–5

5. إذا بدأت الحركة من منزلك فقطعت 8.0 km شمالاً، ثم انعطفت شرقًا حتى أصبحت إزاحتك من المنزل 10.0 km، فما مقدار إزاحتك شرقًا؟

6. أرجوحة طفل معلّقة بحبلين يميلان عن الرأسي بزاوية 13.0°، وهما مربوطان إلى فرع شجرة . فإذا كان الشد في كل حبل 2.28 N فما مقدار واتجاه القوة المحصلة التي يؤثر بها الحبلان في الأرجوحة؟

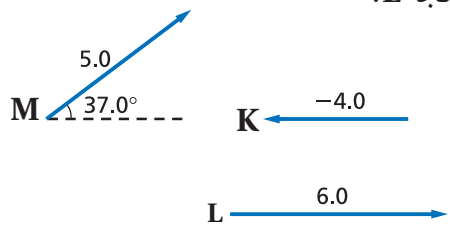
7. هل يمكن لمتجه أن يكون أقصر من إحدى مركّبتيه أو مساويًا لطولها؟ وضح ذلك.

8. في النظام الإحداثي الذي يشير فيه المحور x إلى الشرق، ما مدى الزوايا الذي تكون فيه المركّبة x موجبة؟ وما مدى الزوايا الذي تكون فيه سالبة؟

5–1 مراجعة

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

10. **طرح مُتّجه** في **الشكل 7–5** اطرح المُتّجه **K** من المتجه **L**.



الشكل 7–5

11. **مركّبات** أوجد مركّبتي المتجه **M** المبين في **الشكل 7–5**.

12. **جمع المتجهات** أوجد محصلة المُتّجهات الثلاثة المبينة في الشكل 7–5.

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

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

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

الأهداف

- **تعرّف** قوة الاحتكاك.
- **تميّز** بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.

المفردات

الاحتكاك الحركي

الاحتكاك السكوني

معامل الاحتكاك الحركي

معامل الاحتكاك السكوني

عنـد تحريـك يدك فوق سـطح المقعد تشـعر بقوة تمانـع هذه الحركة. وتسـمى هـذه القوة الاحتكاك. وإذا دفعت كتابًا فوق سطح الطاولة فإن الكتاب يستمر في الحركة فترة قصيرة ثم يتوقف؛ ذلك لأن قوة الاحتكاك التي تؤثر في الكتاب تُكسبه تسـارعًا في اتجاه يعاكس اتجاه حركته. وعلى الرغم من أننا ـ حتى الآن ـ نهمل الاحتكاك في حل المسائل، إلا أن هذا لا يعنـي عدم وجوده؛ فالاحتـكاك موجود من حولنا. ونحن نحتـاج إلى الاحتكاك كثيرًا عند بدء حركة السـيارة أو الدراجة الهوائية، وعند وقوفنا ... فإذا مشـيت يومًا على الجليد أو على أرض زلقة فستدرك حينها أهمية الاحتكاك.

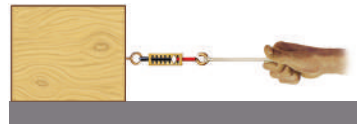
الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي
Static and Kinetic Friction

هنـاك نوعان من الاحتكاك يمانعان الحركة دائمًا. فعند دفع الكتاب فوق سـطح المقعد فإنه يتأثـر بنوع من الاحتكاك الذي يؤثر في الأجسـام المتحركة. وتُعرف هذه القوة **بالاحتكاك الحركي**، وهي قوة تؤثر في السطح عندما يتحرك ملامسًا سطحًا آخر.

ولفهـم النـوع الآخر من الاحتكاك تخيل أنـك تحاول دفع أريكة على أرضيـة الغرفة، ففي البداية سـتدفعها ولكنها لن تتحرك. ولأنها لا تتحرك فهذا يعني أن هناك قوة أفقية أخرى تؤثـر في الأريكـة، وهذه القوة لابد أنها تعاكس القوة التي تؤثر أنت بها، وتسـاويها مقدارًا طبقًا لقانون نيوتن الثاني. وتعرف هذه القوة **بالاحتكاك السكوني**، وهي قوة تؤثر في سطح بواسـطة سـطح آخر عندما لا تكـون هناك حركة بينهما. وربما تزيد مـن قوة دفعك، كما في **الشـكلين 5–8a** و **5–8b**. فـإذا لم تتحـرك الأريكة أيضًـا فهذا يعني أن قـوة الاحتكاك أصبحت أكبر من ذي قبل؛ لأن قوة الاحتكاك السـكوني تستجيب لقوى أخرى. وأخيرًا، إذا دفعـت الأريكـة بقوة كافيـة، كما في **الشـكل 5–8c** فإنها تبدأ في الحركـة. من الواضح إذًا أن هنـاك قيمة قصوى لقوة الاحتكاك السـكوني، وعندما تصبح قوتك أكبر من القيمة القصوى للاحتكاك السـكوني تبدأ الأريكة في الحركـة، ويبدأ الاحتكاك الحركي في التأثير بدلاً من الاحتكاك السكوني.

الشكل 5–8 هناك حد لمقدار قوة الاحتكاك السكوني في تجاوبه مع القوة المؤثرة.

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



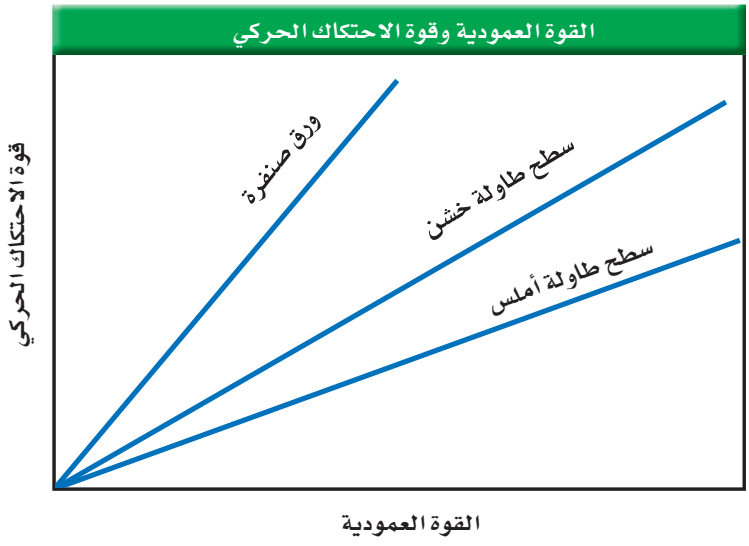
الشكل 9–5 يسحب الميزان النابضي الكتلة بقوة ثابتة.

فإذا سحبت مثلًا جسمًا على سطح ما بسرعة منتظمة فإن قوة الاحتكاك يجب أن تساوي القوة التي سحبت الجسم بها وتعاكسها طبقًا لقوانين نيوتن. ويمكنك سحب جسم معلوم الكتلة على سطح طاولة بسرعة منتظمة بواسطة ميزان نابضي، كما في **الشكل 9–5** لقياس القوة التي تسحب بها هذا الجسم. ثم يمكنك بعد ذلك وضع كتلةٍ إضافية فوق سطح الكتلة الأولى لزيادة القوة العمودية وإعادة القياس مرة أخرى.

عند رسم البيانات تحصل على مخطط بياني، كما في **الشكل 10–5**. لاحظ أن هناك تناسبًا طرديًّا بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية؛ فكل خط من الخطوط يقابل السطح الذي سحبت عليه الكتلة. لاحظ كذلك أن ميل الخط الذي يقابل سطح ورق الصنفرة أكبر من ميل الخط الذي يقابل السطح الأملس للطاولة. ويجب أن تتوقع أن سحب الكتلة على سطح ورق الصنفرة أصعب من سحبها على السطح الأملس للطاولة. لذا فإن الميل يرتبط بمقدار قوة الاحتكاك الناتجة. ويُسمى ميل هذا الخط **معامل الاحتكاك الحركي**، ويرمز إليه بـ μ_k. ويربط معامل الاحتكاك الحركي بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية على النحو التالي:

قوة الاحتكاك الحركي $f_k = \mu_k F_N$

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



الشكل 10–5 هناك علاقة خطية بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية.

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

قوة الاحتكاك السكوني $f_s \leq \mu_s F_N$

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

في معادلة قوة الاحتكاك السكوني القصوى يمثل الرمز μ_s **معامل الاحتكاك السكوني** بين السطحين. أما $\mu_s F_N$ فيمثل قوة الاحتكاك السكوني القصوى التي يجب التغلب عليها قبل بدء الحركة. في **الشكل 5–8c** توازَن قوة الاحتكاك السكوني في اللحظة التي تسبق حركة الجسم.

لاحظ أن كلًّا من معادلة الاحتكاك الحركي ومعادلة الاحتكاك السكوني تحتوي على مقادير القوى فقط، كما أنّ الزاوية بين القوتين F_N و f قائمة. ويبين **الجدول 1–5** معاملات الاحتكاك بين سطوح مختلفة. لاحظ أن معاملات الاحتكاك المدرجة أقل من واحد، وهذا لا يعني أنها أقل من واحد دائمًا، فقد تزيد على ذلك في بعض الظروف الخاصة.

الجدول 1–5

معاملات الاحتكاك المثالية

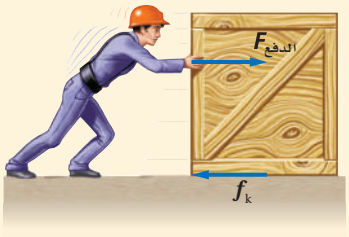
السطح	μ_s	μ_k
مطاط فوق خرسانة جافة	0.80	0.65
مطاط فوق خرسانة رطبة	0.60	0.40
خشب فوق خشب	0.50	0.20
فولاذ فوق فولاذ جاف	0.78	0.58
فولاذ فوق فولاذ (مع الزيت)	0.15	0.06

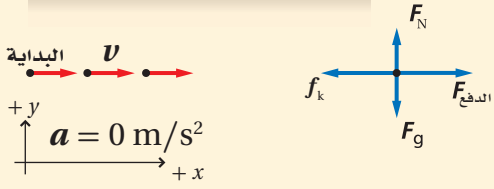
مثـــــال 3

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

1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القوى وارسم نظامًا إحداثيًّا.
- ارسم مخطط الحركة، على أن تبين السرعة الثابتة $\boldsymbol{v}$ و $\boldsymbol{a} = 0$.
- ارسم مخطط الجسم الحر.





المعلوم	المجهول
$m = 25.0\ \text{kg}$	$F_{\text{الدفع}} = ?$
$v = 1.0\ \text{m/s}$	
$a = 0.0\ \text{m/s}^2$	
$\mu_k = 0.20$ (الجدول 1–5)	

$F_{\text{محصلة}} = 0\ \text{N}$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

بالتعويض $F_g = mg$

$$F_N = -F_g = -mg$$

بالتعويض $m = 25.0\ \text{kg}$ و $g = -9.80\ \text{m/s}^2$

$$= (-25.0\ \text{kg})\ (-9.80\ \text{m/s}^2)$$

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

تكون قوة الدفع في الاتجاه الأفقي (x)، ولأنّ السرعة منتظمة فلا يكون هناك تسارع.

$$f_k = \mu_k\, mg = F_{\text{الدفع}}$$

بالتعويض $\mu_k = 0.20$ و $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$m = 25.0\ \text{kg}$

$$= (0.20)\ (25.0\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 49\ \text{N}$$

$F_{\text{الدفع}} = +49\ \text{N}$ في اتجاه اليمين

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 91، 92

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

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

16. يدفع عامر صندوقًا ممتلئًا بالكتب من مكتبه إلى سيارته. فإذا كان وزن الصندوق والكتب معًا 134 N ومعامل الاحتكاك السكوني بين البلاط والصندوق 0.55، فما مقدار القوة التي يجب أن يدفع بها عامر حتى يبدأ الصندوق في الحركة؟

17. تستقر زلاجة وزنها 52 N على ثلج متراكم. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.12، وجلس شخص وزنه 650 N على الزلاجة فما مقدار القوة اللازمة لسحب الزلاجة على الثلج بسرعة ثابتة؟

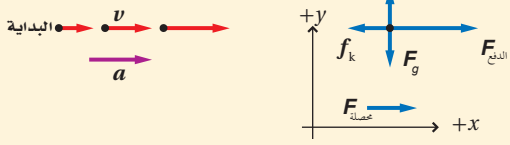
18. آلة معينة بها قطعتان فولاذيتان يجب أن تُدلك كل منهما بالأخرى بسرعة ثابتة. فإذا كانت القوة الضرورية لضمان أداء القطعتين بصورة مناسبة 5.8 N قبل معالجة تقليل الاحتكاك بينهما، فاحسب ـ مستعينًا **بالجدول 1–5** ـ القوة المطلوبة ليكون أداؤهما مناسبًا بعد معالجتهما بالزيت.

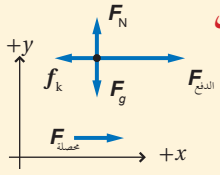
مثـــال 4

قوى احتكاك غير موازَنة في المثال 3 السابق، إذا تضاعفت القوة التي تؤثر بها في الصندوق الذي كتلته 25.0 kg، فما تسارع الصندوق؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الحركة مبينًا $\boldsymbol{v}$ و $\boldsymbol{a}$.
- ارسم مخطط الجسم الحر على أن تكون $\boldsymbol{F}_{\text{الدفع}}$ ضعف ما كانت عليه في المثال 3.





المعلوم

$m = 25.0\ \text{kg}$ $\quad \mu_k = 0.20$

$v = 1.0\ \text{m/s}$ $\quad F_{\text{الدفع}} = 2(49\text{N}) = 98\text{N}$

المجهول

$a = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

تكون القوة العمودية في اتجاه محور y، وليس هناك تسارع على هذا المحور. بمساواة القوة العمودية وقوة الوزن تحصل على:

بالتعويض $F_g = mg$

$$F_N = F_g = mg$$

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

بالتعويض $F_{\text{محصلة}} = ma$

$$F_{\text{محصلة}} = F_{\text{الدفع}} - f_k$$
$$ma = F_{\text{الدفع}} - f_k$$
$$a = \frac{F_{\text{الدفع}} - f_k}{m}$$

أوجد قيمة f_k.

دليل الرياضيات

فصل المتغير 92

بالتعويض $F_N = mg$

$$f_k = \mu_k F_N$$
$$= \mu_k (mg)$$

بالتعويض $f_k = \mu_k (mg)$

$$a = \frac{F_{\text{الدفع}} - \mu_k(mg)}{m}$$

بالتعويض $F_{\text{الدفع}} = 98\ \text{N}$ و $m = 25.0\ \text{kg}$ و $\mu_k = 0.20$ و $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$= \frac{98\ \text{N} - (0.20)(25.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{25.0\ \text{kg}}$$
$$= 2.0\ \text{m/s}^2$$

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

19. تنزلق قطعة خشبية كتلتها 1.4 kg على سطح خشن، فتتباطأ بتسارع مقداره $1.25\ m/s^2$. ما معامل الاحتكاك الحركي بين القطعة الخشبية والسطح؟

20. ساعدت والدك لتحرِّكا خزانة كتب كتلتها 41 kg في غرفة المعيشة. فإذا دفعتَ الخزانة بقوة 65 N وتسارعت بمقدار $0.12\ m/s^2$، فما معامل الاحتكاك الحركي بين الخزانة والسجادة؟

21. سُرِّع قرص في لعبة على أرضية خرسانية حتى وصلت سرعته إلى 5.8 m/s ثم أُفلت. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين القرص والأرضية 0.31، فما المسافة التي يقطعها القرص قبل أن يتوقف؟

22. عندما كان عبد الله يقود سيارته في ليلة ممطرة بسرعة 23 m/s، إذ شاهد فرع شجرة ملقى على الطريق فضغط على المكابح. إذا كانت المسافة بين السيارة والفرع لحظة الضغط على المكابح 60.0 m، وكان معامل الاحتكاك الحركي بين إطارات السيارة والطريق 0.41، فهل تتوقف السيارة قبل أن تصطدم بالفرع، علمًا بأن كتلة السيارة 2400 kg؟

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

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

ثانيًا: يعتمد مقدار قوة الاحتكاك على مقدار القوة العمودية بين السطحين، مع ملاحظة أن القوة العمودية قد لا تساوي وزن أي من الجسمين إذا أثرت قوة أو قوًى أخرى في اتجاه (أو عكس اتجاه) القوة العمودية، أو إذا كان الجسم موضوعًا على سطح مائل.

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

تطبيق الفيزياء

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

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

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

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

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

27. **تسارع** انتقل سامي إلى شقة جديدة فوضع خزانته على أرضية صندوق الشاحنة. ما القوة التي تجعل الخزانة تتسارع عندما تتسارع الشاحنة إلى الأمام؟ وتحت أي ظرف يمكن للخزانة أن تنزلق؟ وفي أي اتجاه؟

28. **التفكير الناقد** تُدفع طاولة كتلتها 13 kg بقوة أفقية مقدارها 20 N، دون أن تحركها، وعندما دفعتها بقوة أفقية 25 N اكتسبت تسارعًا مقداره $0.26\ m/s^2$. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن معاملي الاحتكاك السكوني والحركي؟

5–3 القوة والحركة في بعدين Force and Motion in Two Dimensions

الأهداف

- **تحدّد** القوة التي تسبب الاتزان عندما تؤثر ثلاث قوى في جسم ما.
- **تحلّل** حركة جسم على سطح مائل أملس أو خشن.

المفردات

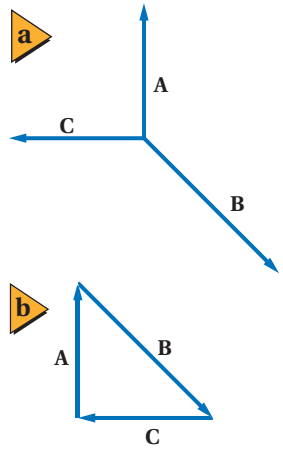
القوة الموازِنة

درست حالات عديدة تتضمن قوى في بُعدين، منها الحالة التالية: عندما يحدث احتكاك بين سطحين لا بد أن تأخذ بعين الاعتبار كلًّا من قوة الاحتكاك الموازية للسطح والقوة العمودية عليه. وفيما سبق درست الحركة في مستوى أفقي، وفيما يلي ستستخدم مهاراتك في جمع المتجهات لتحليل حالات وأمثلة تتضمن قوى غير متعامدة تؤثر في جسم ما.

الاتزان Equilibrium

درست في الفصل الرابع أن الجسم يتزن عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا. وطبقًا لقانون نيوتن الثاني لا يتسارع الجسم عندما لا توجد قوة محصلة تؤثر فيه، لذا فإن اتزانه يعني أنه ساكن أو يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم. ولقد حللت سابقًا أوضاع اتزان عديدة تتضمن قوتين تؤثران في جسم ما. إلا أنّه من المهم أن تدرك أن الاتزان قد يحدث حتى لو تعدّدت القوى التي تؤثر في الجسم. فإذا كانت القوة المحصلة تساوي صفرًا كان الجسم متزنًا.

يبين **الشكل 5–11a** ثلاث قوى تؤثر في جسم نقطي. ما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم؟ تذكر أنه يمكن نقل المتجهات مع المحافظة على مقاديرها واتجاهاتها. ويبين **الشكل 5–11b** جمع المتجهات الثلاثة **A**، **B**، **C**. لاحظ أن المتجهات الثلاثة تشكل مثلثًا مغلقًا، لذا فإن القوة المحصلة تساوي صفرًا، لذا يكون الجسم متزنًا.

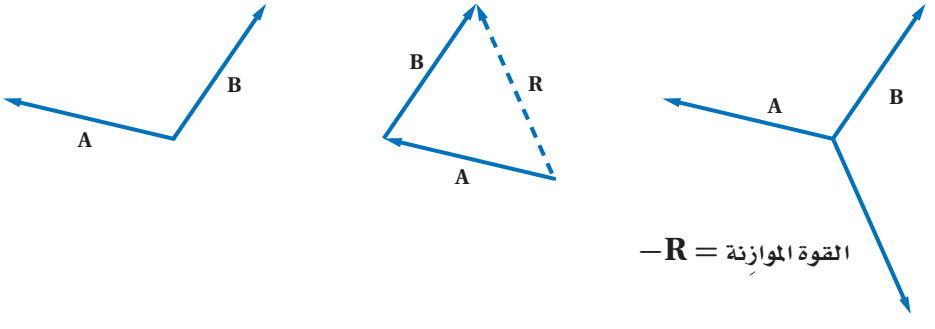


■ **الشكل 5–11** يتزن جسم عندما يكون مجموع القوى المؤثرة فيه صفرًا.

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

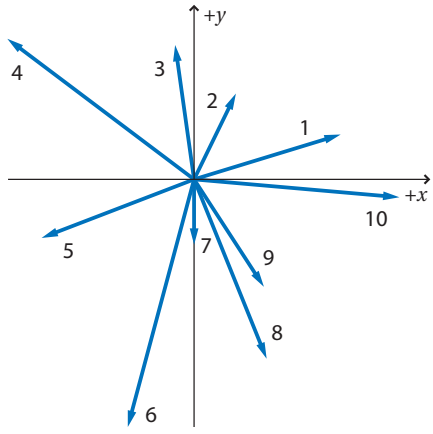
لكي تجد هذه القوة عليك أن تجد أولاً محصلة القوتين اللتين تؤثران في الجسم. وتسمَّى القوة التي لها نفس تأثير القوتين مجتمعتين القوة المحصلة. والقوة الثالثة المطلوبة تساوي القوة المحصلة في المقدار، ولكنها تعاكسها في الاتجاه. وتسمى القوة التي تجعل الجسم متزنًا **القوة الموازِنة**. ويوضح **الشكل 5–12** خطوات إيجاد هذه القوة المتجهة، وهي خطوات عامة تستعمل أيًّا كان عدد المتجهات.

■ **الشكل 5–12** للقوة الموازِنة مقدار القوة المحصلة نفسها، ولكنها تعاكسها في الاتجاه.



مسألة تحفيز

أوجد القوة الموازِنة للقوى التالية:



$F_1 = 61.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $17.0°$ شمال الشرق.

$F_2 = 38.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $64.0°$ شمال الشرق.

$F_3 = 54.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $8.0°$ غرب الشمال.

$F_4 = 93.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $53.0°$ غرب الشمال.

$F_5 = 65.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $21.0°$ جنوب الغرب.

$F_6 = 102.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $15.0°$ غرب الجنوب.

$F_7 = 26.0\ \text{N}$ في اتجاه الجنوب.

$F_8 = 77.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $22.0°$ شرق الجنوب.

$F_9 = 51.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $33.0°$ شرق الجنوب.

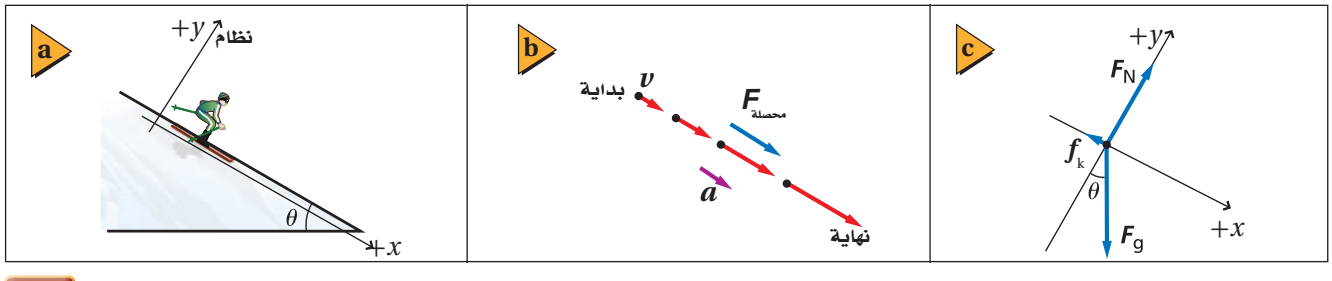
$F_{10} = 82.0\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية $5.0°$ جنوب الشرق.

الحركة على مستوى مائل
Motion Along an Inclined Plane

سبق أن طبقت قوانين نيوتن على حالات اتزان متنوعة، إلا أن حركة الجسم فيها اقتصرت على الاتجاه الأفقي أو الرأسي. كيف يمكن تطبيق هذه القوانين على حالة مماثلة لما في **الشكل 13a–5**، التي ينزلق فيها متزلج على مستوى مائل؟

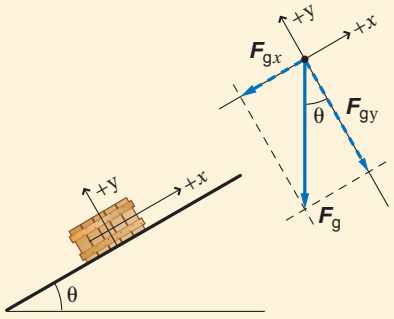
ابدأ برسم شكل توضيحي عام يوضح حركة الجسم (المتزلج) ويبين اتجاه تسارعه واتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه كما في **الشكل 13b–5**، ثم ارسم مخطط الجسم الحر، حيث تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في المتزلج إلى أسفل في اتجاه مركز الأرض، وتؤثر القوة العمودية في اتجاه عمودي على السطح في اتجاه المحور $(+y)$، إضافةً إلى قوة الاحتكاك الموازية للسطح التي تؤثر في عكس اتجاه حركة المتزلج. يبين **الشكل 13c–5** مخطط الجسم الحر الناتج. وتعلم من خبرتك السابقة أن تسارع المتزلج يكون في اتجاه المستوى المائل في اتجاه المحور (x). كيف يمكن إيجاد القوة المحصلة التي تجعل المتزلج يتسارع؟

الشكل 13–5 ينزلق متزلج على مستوى مائل (a). ارسم مخطط الحركة للسرعة والتسارع والقوة المحصلة (b). وارسم مخطط الجسم الحر الذي يصف هذه القوى (c). من المهم أن ترسم اتجاه قوة الاحتكاك والقوى العمودية بصورة صحيحة لتحليل مثل هذه الحالات على نحو مناسب.



مثـــــال 5

مركّبتا الوزن لجسم على سطح مائل يستقر صندوق وزنه 562 N على سطح مائل يصنع زاوية 30.0° فوق الأفقي. أوجد مركّبتي قوة الوزن الموازية للسطح والعمودية عليه.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نظامًا إحداثيًّا يشير فيه المحور x الموجب إلى أعلى السطح المائل.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا $\boldsymbol{F}_g$ ومركّبتيها $\boldsymbol{F}_{gx}$ و$\boldsymbol{F}_{gy}$ والزاوية θ.

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

$\boldsymbol{F}_{gx}$ و $\boldsymbol{F}_{gy}$ سالبتان لأنهما تشيران إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.

$$F_{gx} = -F_g \sin\theta$$

بالتعويض $\theta = 30.0°$ و $F_g = 562\ \text{N}$

$$= -(562\ \text{N})(\sin 30.0°)$$
$$= -281\ \text{N}$$

$$F_{gy} = -F_g \cos\theta$$

بالتعويض $F_g = 562\ \text{N}$ و $\theta = 30.0°$

$$= -(562\ \text{N})(\cos 30.0°)$$
$$= -487\ \text{N}$$

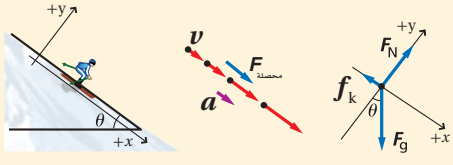
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوة بوحدة نيوتن.
- **هل للإشارات معنى؟** تشير المركّبتان إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.
- **هل الجواب منطقي؟** قيمة كل من المركّبتين أقل من قوة الوزن $\boldsymbol{F}_g$.

مثـــــال 6

التزلج على منحدر يقف شخص كتلته 62 kg على زلاجة، وينزلق إلى أسفل منحدر ثلجي يميل على الأفقي بزاوية 37°. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.15، فما سرعة الشخص بعد مرور 5.0 s من بدء الحركة، علمًا بأنّه انزلق من السكون؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- كوّن نظامًا إحداثيًّا.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا عليه $\boldsymbol{F}_N$ و $\boldsymbol{F}_g$ و $\boldsymbol{f}_k$.
- ارسم مخطط الحركة مبينًا تزايد السرعة المتجهة $\boldsymbol{v}$ وكل من $\boldsymbol{a}$ و $\boldsymbol{F}_{\text{محصلة}}$ على محور x الموجب، كما في **الشكل 13–5**.

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

في اتجاه المحور y:

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

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

حل لإيجاد القوة العمودية F_N

F_{gy} سالبة لأنها في اتجاه محور y السالب

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

بالتعويض $F_{gy} = mg\cos\theta$

$$F_{\text{محصلة}y} = F_N - F_{gy}$$

$$F_N = F_{gy}$$

$$= mg\,(\cos\theta)$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 92

في اتجاه المحور x:

حل لإيجاد التسارع a.

f_k سالبة لأنها في اتجاه محور x السالب للنظام الإحداثي

بالتعويض $F_{\text{محصلة}x} = ma$ و $F_{gx} = mg\sin\theta$ و $f_k = \mu_k F_N$

بالتعويض $a = a_x$، $F_N = mg\cos\theta$

بقسمة كلا الطرفين على m، والتعويض عن a_x بـ a

لأن التسارع في اتجاه محور x الموجب

بالتعويض $g = 9.80\ \text{m/s}^2$ و $\mu_k = 0.15$ و $\theta = 37°$

$$F_{\text{محصلة}x} = F_{gx} - f_k$$

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

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

$$a = g\,(\sin\theta - \mu_k\cos\theta)$$

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

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

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

بالتعويض $v_i = 0.0\ \text{m/s}$ و $a = 4.7\ \text{m/s}^2$ و $t = 5.0\ \text{s}$

$$v_f = v_i + at$$

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

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

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

29. يصعد شخص بسرعة ثابتة تلًّا يميل على الرأسي بزاوية 60°. ارسم مخطط الجسم الحر لهذا الشخص.

30. حرّك أحمد وسمير طاولة عليها كأس كتلتها 0.44 kg بعيدًا عن أشعة الشمس. رفع أحمد طرف الطاولة من جهته قبل أن يرفع سمير الطرف المقابل، فمالت الطاولة على الأفقي بزاوية 15°. أوجد مركّبتي وزن الكأس الموازية لسطح الطاولة والعمودية عليه.

31. يبين **الشكل 14–5** شخصًا كتلته 50.0 kg يجلس على كرسي في عيادة طبيب الأسنان. فإذا كانت مركّبة وزنه العمودية على مستوى مقعد الكرسي 449 N، فما الزاوية التي يميل بها الكرسي بالنسبة إلى المحور الأفقي؟

الشكل 14–5

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

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

34. في المثال رقم **6**، إذا تزلج الشخص نفسه إلى أسفل منحدر ثلجي زاوية ميله 31° على الأفقي، فما مقدار تسارعه؟

35. ينزلق شخص كتلته 45 kg إلى أسفل سطح مائل على الأفقي بزاوية 45°. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الشخص والسطح 0.25، فما مقدار تسارعه؟

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

تجربة

أثر الزاوية

ارفع لوحًا خشبيًّا من أحد طرفيه وثبّته بدعامة بحيث يشكّل سطحًا مائلًا بزاوية 45°. ثم علّق جسمًا كتلته 500 g بميزان نابضي.

1. قِس وزن الجسم وسجله. ثم ضع الجسم أسفل السطح، واسحبه ببطء وبسرعة ثابتة إلى أعلى السطح المائل.

2. راقب وسجل قراءة الميزان.

التحليل والاستنتاج

3. احسب مركّبة وزن الجسم الموازية للسطح المائل.

4. قارن قراءة الميزان في أثناء سحب الجسم على السطح المائل بمركّبة الوزن الموازية للسطح.

تجربة عملية

كيف يتحرك الجسم المنزلق على سطح مائل؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية

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

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

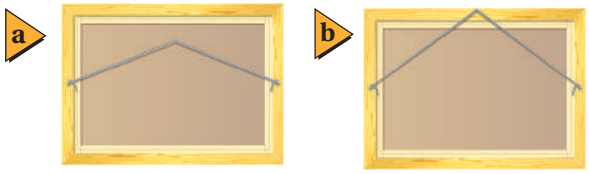
3–5 مراجعة

37. القوى من طرائق تخليص سيارتك من الوحل أن تربط طرف حبل غليظ بالسيارة وطرفه الآخر بشجرة، ثم تسحب الحبل من نقطة المنتصف بزاوية 90° بالنسبة إلى الحبل. ارسم مخطط الجسم الحر، ثم وضح لماذا تكون القوة المؤثرة في السيارة كبيرة حتى عندما تكون القوة التي تسحب بها الحبل صغيرة؟

38. الكتلة تُعلَّق لوحة النتائج الإلكترونية في سقف صالة ألعاب رياضية بـ 10 أسلاك غليظة؛ ستة منها تصنع زاوية 8.0° مع الرأسي، في حين تصنع الأسلاك الأربعة الأخرى زاوية 10.0° مع الرأسي. إذا كان الشد في كل سلك 1300 N، فما كتلة لوحة النتائج؟

39. التسارع يُسحب صندوقٌ كتلته 63 kg بحبل على سطح مائل يصنع زاوية 14.0° مع الأفقي. إذا كان الحبل يوازي السطح، والشد فيه 512 N، ومعامل الاحتكاك الحركي 0.27، فما مقدار تسارع الصندوق؟ وما اتجاهه؟

40. الاتزان تُعلّق لوحة فنية بسلكين طويلين. وإذا كانت القوة المؤثرة في السلكين كبيرة فسوف ينقطعان. فهل يجب أن تُعلَّق اللوحة كما في **الشكل 5–15a** أم كما في **الشكل 5–15b**؟ فسّر ذلك.



الشكل 5–15

41. التفكير الناقد هل يمكن أن يكون لمعامل الاحتكاك قيمة، بحيث يتمكن متزلج من الوصول إلى قمة تل بسرعة ثابتة؟ ولماذا؟ افترض عدم وجود قوى أخرى تؤثر في المتزلج إلا وزنه.

مختبر الفيزياء

معامل الاحتكاك

تنشأ قوتا الاحتكاك السكوني والحركي بين سطحين متلامسين. فالاحتكاك السكوني قوة يجب أن يُتغلَّب عليها ليبدأ الجسم حركته. أما الاحتكاك الحركي فيحدث بين جسمين متحركين أحدهما بالنسبة إلى الآخر. وتحسب قوة الاحتكاك الحركي f_k بالعلاقة $f_k = \mu_k F_N$؛ حيث يمثل μ_k معامل الاحتكاك الحركي، و F_N القوة العمودية المؤثرة في الجسم. أمّا القيمة القصوى للاحتكاك السكوني f_s فتُحسب بالعلاقة $f_s = \mu_s F_N$؛ حيث يمثل μ_s معامل الاحتكاك السكوني، و F_N القوة العمودية المؤثرة في الجسم. إن القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني التي يجب أن يتغلب عليها الجسم حتى يبدأ حركته هي $\mu_s F_N$. فإذا أثّرْتَ بقوة ثابتة $F_{\text{الدفع}}$ لتحريك جسم على سطح أفقي بسرعة ثابتة فإن قوة الاحتكاك التي تُمانع حركة الجسم تساوي في المقدار القوة المؤثرة $F_{\text{الدفع}}$ وتعاكسها في الاتجاه؛ أيْ أن $f_k = F_{\text{الدفع}}$. وعندما يكون الجسم على سطح أفقي والقوة المؤثرة فيه أفقية فإن القوة العمودية تساوي وزن الجسم في المقدار وتعاكسه في الاتجاه.

سؤال التجربة

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

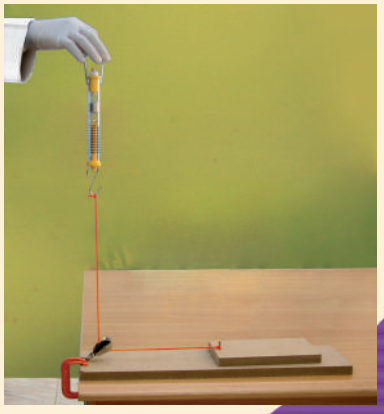
الأهداف

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

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

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



الخطوات

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

جدول المواد	
مادة الجسم	
مادة السطح	

جدول البيانات 1

F_N (N)	قوة الاحتكاك السكوني f_s (N)			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط

جدول البيانات 2

F_N (N)	قوة الاحتكاك الحركي f_k (N)			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط

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

التحليل

1. أوجد القيمة المتوسطة لقوة الاحتكاك السكوني $f_{s,\,max}$ من المحاولات الثلاث، وسجّل النتيجة في العمود الأخير لجدول البيانات 1 وفي جدول البيانات 3.
2. أوجد القيمة المتوسطة لقوة الاحتكاك الحركي f_k من المحاولات الثلاث، وسجّل النتيجة في العمود الأخير لجدول البيانات 2 وفي الجدول 3 .
3. استعمل بيانات الجدول 3 لحساب معامل الاحتكاك السكوني μ_s، وسجّل قيمته في الجدول نفسه.

جدول البيانات 3

F_N (N)	f_s (N)	f_k (N)	μ_s	μ_k

جدول البيانات 4 (الزاوية θ عندما يبدأ الجسم الانزلاق)

θ	tan θ

4. استعمل بيانات الجدول 3 لحساب معامل الاحتكاك الحركي μ_k، وسجل قيمته في الجدول نفسه.
5. احسب tan θ للزاوية الواردة في جدول البيانات رقم 4.

الاستنتاج والتطبيق

1. **قارن** تفحص قيم μ_s و μ_k التي حصلت عليها. وتحقق من معقولية النتائج.
2. **استخدم النماذج** ارسم مخطط الجسم الحر موضحًا القوى المؤثرة في القطعة الخشبية عندما توضع على السطح المائل بزاوية θ على الأفقي. وتحقق من أن المخطط يتضمن القوة الناشئة عن الاحتكاك.
3. ما الذي يمثله tan θ اعتمادًا على مخططك، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الزاوية θ هي الزاوية التي يبدأ عندها الجسم في الانزلاق؟
4. **قارن** بين قيمة tan θ (تجريبيًّا) و μ_s و μ_k.

التوسع في البحث

كرّر التجربة باستعمال سطوح أخرى ذات خصائص مختلفة.

الفيزياء في الحياة

إذا تزلجت إلى أسفل تل، ورغبت في تحديد معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة وسطح التل، فكيف يمكنك القيام بذلك؟ كن دقيقًا في كيفية تحديد خطوات حل هذه المسألة.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن الاحتكاك ارجع إلى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني
www.obeikaneducation.com

التقنية والمجتمع

الأفعوانيات Roller Coasters

لماذا تبعث الأفعوانية على البهجة؟ إن ركوب الأفعوانية لا يبعث على السرور لولا القوى المؤثرة في العربة والراكب. ما القوى المؤثرة في راكب العربة؟ تؤثر قوة الجاذبية في الراكب وفي العربة إلى أسفل، في حين يؤثر مقعد العربة بقوة في الراكب في الاتجاه المعاكس. وعندما تنعطف العربة يشعر الراكب بأن هناك قوة تدفعه إلى خارج المنعطف، إضافة إلى وجود قوى أخرى ناتجة عن احتكاك الراكب بالمقعد، وجانب العربة بقضيب الحماية.

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

عوامل الإثارة يعالج مصممو الأفعوانيات الطريقة التي تجعل الجسم يشعر بالإثارة. فمثلاً تتحرك الأفعوانية فوق أول التل ببطء شديد إلى أن تخدع الراكب، فيشعر أن التل أعلى كثيرًا من حقيقته.

تشعر أعضاء الأذن الداخلية بموقع الرأس في حالتي سكونه وحركته. وتساعد هذه الأعضاء على اتزان الجسم بتزويد الدماغ بالمعلومات، فيرسل الدماغ بدوره رسائل عصبية إلى العضلات لتحقيق الاتزان. ونظرًا إلى التغير المستمر في موقع الراكب خلال الأفعوانية ترسل الأعضاء رسائل متضاربة إلى الدماغ، فتتمدد العضلات وتتقلص خلال الرحلة.

وتدرك أنك تتحرك بسرعة كبيرة من خلال مشاهدتك الأجسام التي تمر بالقرب منك بسرعة كبيرة. لذا يستغل المصممون المناظر المحيطة بالمنعطفات والانحناءات والأنفاق لإعطاء الراكب قدرًا كبيرًا من المشاهد المثيرة.

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

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

التوسع

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

الفصل 5
دليل مراجعة الفصل

5–1 المتجهات Vectors

المفردات
- المركّبات
- تحليل المُتّجه

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

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

- يستعمل قانون جيب التمام وقانون الجيب لإيجاد مقدار محصلة متجهين إذا كان مقدار الزاوية بينهما لا يساوي 90°.

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

- مركّبتا المتجه عبارة عن متجهين يُسقطان على المحاور.

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

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

5–2 الاحتكاك Friction

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

المفاهيم الرئيسة
- تؤثر قوة الاحتكاك عندما يتلامس سطحان.
- تتناسب قوة الاحتكاك مع القوة العمودية.
- قوة الاحتكاك الحركي تساوي معامل الاحتكاك الحركي مضروبًا في القوة العمودية. $f_k = \mu_k F_N$
- قوة الاحتكاك السكوني أقل من أو تساوي معامل الاحتكاك السكوني مضروبًا في القوة العمودية.

$$f_s \le \mu_s F_N$$

5–3 القوة والحركة في بعدين Force and Motion in Two Dimensions

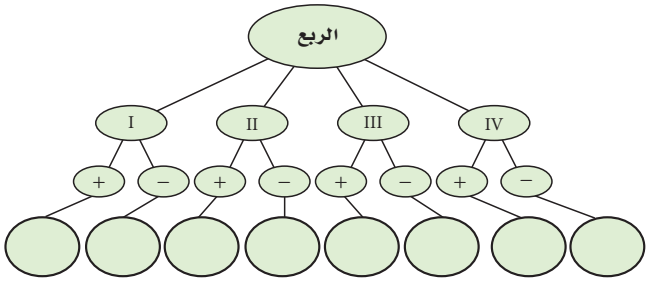
المفردات
- القوة الموازِنة

المفاهيم الرئيسة
- تُسمى القوة التي تؤثر في جسم لتجعله يتزن القوةَ الموازِنة.
- يمكن الحصول على القوة الموازِنة بإيجاد القوة المحصلة المؤثرة في الجسم، ثم التأثير بقوة تساويها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.
- الجسم الموجود على سطح مائل له مركّبة وزن في اتجاه يوازي السطح تجعل الجسم يتسارع في اتجاه أسفل السطح.

الفصل 5
التقويم

خريطة المفاهيم

42. أكمل خريطة المفاهيم أدناه مستخدمًا الجيب وجيب التمام والظل للإشارة إلى كل اقتران بإشارة موجبة أو سالبة في كل ربع من الدائرة. قد تبقى بعض الدوائر فارغة، وقد يشتمل بعضها الآخر على أكثر من عبارة.



إتقان المفاهيم

43. صف كيف يمكن جمع متجهين بطريقة الرسم؟ (5-1)

44. أيّ الأعمال التالية يُسمح بها عند جمع متجه مع متجه آخر بطريقة الرسم: تحريك المتجه، أو دوران المتجه، أو تغيير طول المتجه؟ (5-1)

45. اكتب بكلماتك الخاصة تعريفًا واضحًا لمحصلة متجهتين أو أكثر. فسّر ما تمثله. (5-1)

46. كيف تتأثر الإزاحة المحصلة عند جمع متجهتين إزاحة بترتيب مختلف؟ (5-1)

47. وضّح الطريقة التي يمكن أن تستعملها لطرح كميتين متجهتين بطريقة الرسم ($\vec{F}_1 - \vec{F}_2$ مثلًا). (5-1)

48. عندما يُستعمل نظام إحداثي معين، ما الطريقة التي يمكن استعمالها لإيجاد زاوية متجه ما أو اتجاهه بالنسبة لمحاور هذا النظام الإحداثي؟ (5-1)

49. ما معنى أن يكون معامل الاحتكاك أكبر من واحد؟ حدد طريقة لقياسه. (5-2)

50. **سيارات** هل يزداد احتكاك إطار السيارة بالطريق إذا ازداد عرضه أم يقل؟ وضح ذلك مستعملاً معادلتي الاحتكاك اللتين درستهما في هذا الفصل. (5-2)

51. صف نظامًا إحداثيًّا مناسبًا للتعامل مع مسألة تشتمل على كرة تُقذف إلى أعلى في الهواء. (5-3)

52. إذا عُين نظام إحداثي يشير فيه المحور x الموجب في اتجاه يصنع زاوية 30° مع الأفقي، فما الزاوية بين المحور x والمحور y؟ وكيف يجب أن يكون اتجاه محور y الموجب؟ (5-3)

53. إذا كان كتاب الفيزياء متزنًا، فما الذي يمكن أن تستنتجه حول القوى المؤثرة فيه؟ (5-3)

54. هل يمكن لجسم متزن أن يتحرك؟ وضح ذلك. (5-3)

55. إذا طلب إليك تحليل حركة كتاب يستقر على سطح مائل: (5-3)

a. فصف أفضل نظام إحداثي لتحليل الحركة.

b. كيف تتأثر قيمة مركّبتي وزن الكتاب بمقدار زاوية ميل السطح؟

تطبيق المفاهيم

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

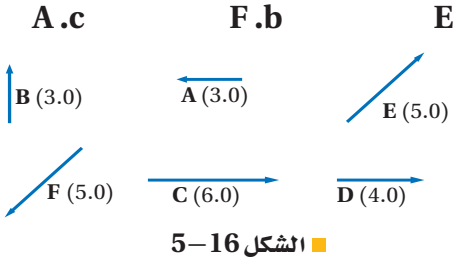
57. كيف تتغير الإزاحة المحصلة عندما تزداد الزاوية بين متجهين من 0° إلى 180°؟

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

إتقان حل المسائل

5-1 المتجهات

59. أوجد المركّبتين الأفقية والرأسية لكل من المتجهات التالية الموضحة في **الشكل 16-5**.



الشكل 16-5

تقويم الفصل 5

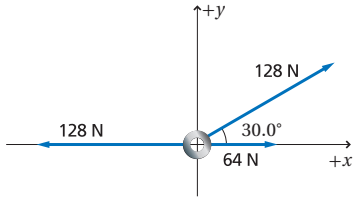
60. أوجد بطريقة الرسم مجموع كل زوج من المتجهات التالية، علمًا بأن مقدار كل متجه واتجاهه مبينان في الشكل 16–5.

a. A و D **c.** A و C

b. C و D **d.** F و E

61. مشى رجل 30 m جنوبًا، ثم 30 m شرقًا. أوجد مقدار الإزاحة المحصلة واتجاهها بطريقة الرسم أولاً، ثم بطريقة تحليل المتجهات.

62. ما القوة المحصلة التي تؤثر في الحلقة المبينة في الشكل 17–5؟



الشكل 17–5

2–5 الاحتكاك

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

64. تؤثر قوة مقدارها 40.0 N في جسم كتلته 5.0 kg موضوع على سطح أفقي فتكسبه تسارعًا مقداره $6.0\ m/s^2$ في اتجاهها.

a. كم تبلغ قوة الاحتكاك بين الجسم والسطح؟

b. ما مقدار معامل الاحتكاك الحركي؟

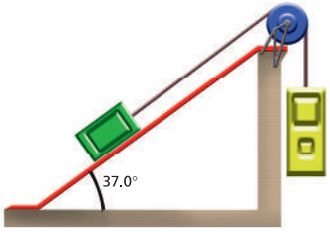
3–5 القوة والحركة في بعدين

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

66. رُبط جسمان بخيط يمر فوق بكرة ملساء مهملة الكتلة، بحيث يستقر أحدهما على سطح مائل، والآخر مُعلق كما في الشكل 18–5. إذا كانت كتلة الجسم المعلّق 16.0 kg وكتلة الجسم الثاني 8.0 kg، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح المائل 0.23، وتُركت المجموعة لتتحرك من السكون فاحسب:

a. مقدار تسارع المجموعة.

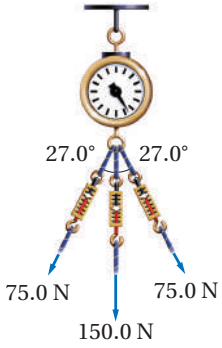
b. مقدار قوة الشد في الخيط.



الشكل 18–5

مراجعة عامة

67. يُسحب الميزان في الشكل 19–5 بثلاثة حبال. ما مقدار القوة المحصلة التي يقرؤها الميزان؟



الشكل 19–5

68. يراد دفع صخرة كبيرة كتلتها 20.0 kg إلى قمة جبل دون دحرجتها. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصخرة وسطح الجبل 0.40، وميل سطح الجبل 30.0° على الأفقي:

a. فما القوة التي يتطلبها دفع الصخرة إلى قمة الجبل بسرعة ثابتة؟

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

تقويم الفصل 5

69. التزلج تُسحب زلاجة كتلتها 50.0 kg على أرض منبسطة مغطاة بالثلج. إذا كان معامل الاحتكاك السكوني 0.30، ومعامل الاحتكاك الحركي 0.10، فاحسب:

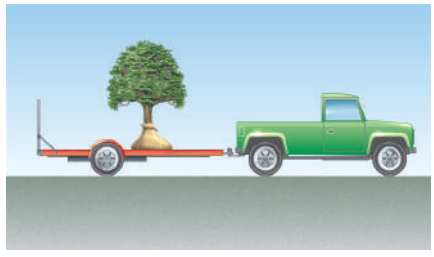
a. وزن الزلاجة.

b. القوة اللازمة لكي تبدأ الزلاجة في الحركة.

c. القوة التي تتطلبها الزلاجة لتستمر في الحركة بسرعة ثابتة.

d. بعد أن تبدأ الزلاجة في الحركة، ما القوة المحصلة التي تحتاج إليها الزلاجة لتتسارع بمقدار $3.0\ m/s^2$؟

70. الطبيعة تُنقل شجرة بشاحنة ومقطورة ذات سطح مستوٍ، كما في **الشكل 20–5**. إذا انزلقت قاعدة الشجرة فإنها ستنقلب وتتلف. فإذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين الشجرة وسطح المقطورة 0.50 فما أقل مسافة يتطلبها توقف الشاحنة التي تسير بسرعة 55 km/h، بحيث تتسارع بانتظام دون أن تنزلق الشجرة أو تنقلب؟



الشكل 20–5

التفكير الناقد

71. استخدام النماذج اعتبر الأمثلة التي درستها في هذا الفصل نماذج لتكتب مثالاً لحل المسألة الآتية، على أن يتضمن تحليل المسألة ورسمها، وإيجاد الكمية المجهولة، وتقويم الجواب: تسير سيارة كتلتها 975 kg بسرعة 25 m/s. إذا ضغط سائقها على المكابح فما أقصر مسافة تحتاج إليها السيارة لتتوقف؟ افترض أن الطريق مصنوع من الخرسانة، وقوة الاحتكاك بين الطريق والعجلات ثابتة، والعجلات لا تنزلق.

72. حلّل واستنتج تجول أحمد وسعيد وعبدالله في مدينة الألعاب، فرأوا المنزلق العملاق، وهو سطح مائل طوله 70 m، يميل بزاوية 27° على الأفقي. وقد تهيأ رجل وابنه للانزلاق على هذا المنزلق. وكانت كتلة الرجل 135 kg، وكتلة الابن 20 kg. تساءل أحمد: كم يقل الزمن الذي يتطلبه انزلاق الرجل عن الزمن الذي يتطلبه انزلاق الابن؟ أجاب سعيد: سيكون الزمن اللازم للابن أقل. فتدخل عبدالله قائلاً: إنكما على خطأ، سيصلان إلى أسفل المنزلق في الوقت نفسه. أجرِ التحليل المطلوب لتحديد أيهما على صواب.

الكتابة في الفيزياء

73. استقص بعض التقنيات المستعملة في الصناعة لتقليل الاحتكاك بين الأجزاء المختلفة للآلات. وصِفْ تقنيتين أو ثلاثًا، موضحًا دور الفيزياء في عمل كل منها.

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

مراجعة تراكمية

75. اجمع أو اطرح كلًّا مما يلي، وضع الجواب بالأرقام المعنوية الصحيحة:

a. $4.7\ g + 85.26\ g$

b. $0.608\ km + 1.07\ km$

c. $186.4\ kg - 57.83\ kg$

d. $60.8\ s - 12.2\ s$

76. ركبتَ دراجتك الهوائية مدة 1.5 h بسرعة متوسطة مقدارها 10 km/ h، ثم ركبتها مدة 30 min بسرعة متوسطة مقدارها 15 km / h. احسب مقدار سرعتك المتوسطة في هذه الرحلة.

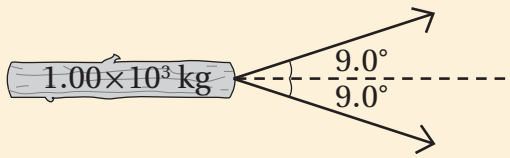
اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يُسحب جذع شجرة كتلته 1.00×10^3 kg بجرّارين. إذا كانت الزاوية المحصورة بين الجرّارين $18.0°$ (كما في الشكل)، وكل جرار يسحب بقوة 8.00×10^2 N، فما مقدار القوة المحصلة التي سيؤثران بها في جذع الشجرة؟

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



2. يحاول طيارٌ الطيرانَ مباشرة في اتجاه الشرق بسرعة 800.0 km /h. فإذا كانت سرعة الرياح القادمة من اتجاه الجنوب الغربي 80.0 km /h فما السرعة النسبية للطائرة بالنسبة للأرض؟

Ⓐ شمال الشرق 5.7°، 804 km /h
Ⓑ شمال الشرق 3.8°، 858 km/h
Ⓒ شمال الشرق 4.0°، 859 km /h
Ⓓ شمال الشرق 45°، 880 km/ h

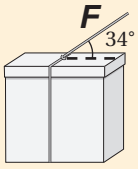
3. قرّر بعض الطلاب بناء عربة خشبية كتلتها 30.0 kg فوق زلاجة. فإذا وضِعت العربة على الثلج وصعد عليها راكبان كتلة كل منهما 90.0 kg، فما مقدار القوة التي يجب أن يسحب بها شخص العربة لكي تبدأ في الحركة؟ اعتبر معامل الاحتكاك السكوني بين العربة والثلج 0.15.

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

4. أوجد مقدار المركّبة الرأسية (y) لقوة مقدارها 95.3 N تؤثر بزاوية 57.1° بالنسبة إلى الأفقي.

Ⓐ 51.8 N
Ⓑ 80.0 N
Ⓒ 114 N
Ⓓ 175 N

5. يؤثر خيط في صندوق كما في الشكل أدناه بقوة مقدارها 18 N تميل على الأفقي بزاوية 34°. ما مقدار المركّبة الأفقية للقوة المؤثرة في الصندوق؟



Ⓐ 10 N
Ⓑ 15 N
Ⓒ 21.7 N
Ⓓ 32 N

6. لاحظ عبدالله في أثناء قيادته لدراجته الهوائية على طريق شجرة مكسورة تغلق الطريق على بُعد 42 m منه. فإذا كان عبد الله يقود دراجته بسرعة 50.0 km /h ومعامل الاحتكاك الحركي بين إطارات الدراجة والطريق 0.36، فما المسافة التي يقطعها حتى يتوقف؟ علمًا بأن كتلة عبدالله والدراجة معًا 95 kg.

Ⓐ 3.00 m
Ⓑ 4.00 m
Ⓒ 8.12 m
Ⓓ 27.3 m

الأسئلة الممتدة

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

8. يجلس طفل كتلته 41.2 kg على سطح يميل على الأفقي بزاوية 52.4°. إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بينه وبين السطح 0.72، فما مقدار قوة الاحتكاك السكوني التي تؤثر في الطفل؟

✓ إرشاد

الآلات الحاسبة ليست سوى آلات

إذا أُتيح لك استعمال الآلة الحاسبة في الاختبار فاستعملها بحكمة. تعرّف الأرقام ذات الصلة، وحدد أفضل طريقة لحل المسألة قبل بدء النقر على مفاتيح الآلة.

الفصل 6

الحركة في بعدين
Motion in Two Dimensions

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

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

الأهمية

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

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

فكِّر ◄

عندما تدور هذه الأراجيح بسرعة ثابتة المقدار، هل يكون لها تسارع؟

تجربة استهلالية

كيف يمكن وصف حركة المقذوف؟

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

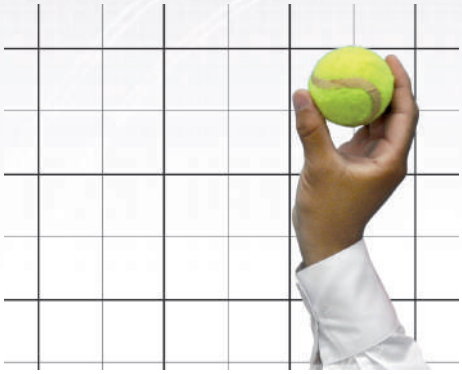
الخطوات

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

التحليل

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

التفكير الناقد صف حركة جسم يُقذف أفقيًّا.



6–1 حركة المقذوف Projectile Motion

إذا راقبت كرة قدم قذفت أو ضفدعًا يقفز فسوف تُلاحظ أنهما يتحركان في الهواء في مسارات متشابهة، كما في حركة السهام والطلقات بعد قذفها. وكل مسار من هذه المسارات عبارة عن منحنى يتحرك الجسم فيه إلى أعلى مسافة ما، ثم يغير اتجاهه بعد فترة ويتحرك إلى أسفل، وربما تكون معتادًا على رؤية هذا المنحنى الذي يُسمى في الرياضيات القطع المكافئ.

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

الأهداف

- **تُلاحظ** أن الحركتين الأفقية والرأسية للمقذوف مستقلتان.
- **تربط** بين أقصى ارتفاع يصل إليه المقذوف، وزمن تحليقه في الهواء، وسرعته الابتدائية الرأسية باستعمال الحركة الرأسية.
- **تحدد** المدى الأفقي باستعمال الحركة الأفقية.
- **تفسّر** كيف يعتمد شكل مسار المقذوف على الإطار المرجعي الذي يُلاحَظ منه.

المفردات

المقذوف

مسار المقذوف

استقلالية الحركة في بُعدين
Independence of Motion in Two Dimensions

إذا وقف طالبان أحدهما أمام الآخر وتقاذفا الكرة، فما شكل مسار حركة الكرة في الهواء كما تشاهده؟ إنه مسار منحنٍ (قطع مكافئ)، كما تعلمت سابقًا. تُرى، لماذا تتخذ الكرة هذا المسار؟ تخيل أنك تقف مباشرة خلف أحد اللاعبين وتراقب حركة الكرة عندما تُضرب، بم تُشبِّه حركتَها؟ ستلاحظ أنها تصعد إلى أعلى، ثم تعود إلى أسفل كأي جسم يُقذف رأسيًّا إلى أعلى في الهواء. ولو كنت تراقب حركة الكرة من منطاد مرتفع فوق اللاعبين، فأي حركة تشاهد عندئذٍ؟ ستلاحظ أن الكرة تسير أفقيًّا بسرعة ثابتة من لاعب إلى آخر، كأي جسم ينطلق بسرعة أفقية ابتدائية، مثل حركة قرص مطاطي على جليد ناعم. إن حركة المقذوف هي تركيب لهاتين الحركتين.

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

يبين **الشكل 1–6** مساري كرتين بدأتا الحركة في اللحظة نفسها ومن الارتفاع نفسه بحيث تُركت الأولى لتسقط سقوطًا حرًّا، بينما قُذفت الثانية بسرعة أفقية ابتدائية مقدارها 2 m/s من الارتفاع نفسه. ما وجه الشبه بين المسارين؟ انظر إلى موقعيهما الرأسيين. إن ارتفاعي الكرتين متساويان في كل لحظة، لذا فإن سرعتيهما المتوسطتين الرأسيتين متساويتان خلال الفترة الزمنية نفسها. وتدل المسافة الرأسية المتزايدة التي يقطعانها على أن الحركة متسارعة إلى أسفل، وهذا بسبب قوة الجاذبية الأرضية. لاحظ أن الحركة الأفقية للكرة المقذوفة لم تؤثر في حركتها الرأسية. إنّ الجسم المقذوف أفقيًّا ليس له سرعة ابتدائية رأسية، لذلك فحركته الرأسية تشبه حركة الجسم الذي يسقط رأسيًّا من السكون، وتتزايد السرعة إلى أسفل بانتظام بسبب قوة الجاذبية الأرضية.

تجربة

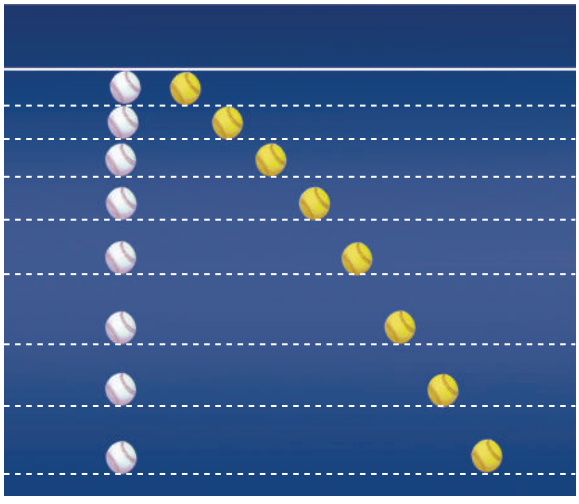
السقوط من فوق الحافة

أحضر كرتين؛ كتلة إحداهما ضعف كتلة الثانية.

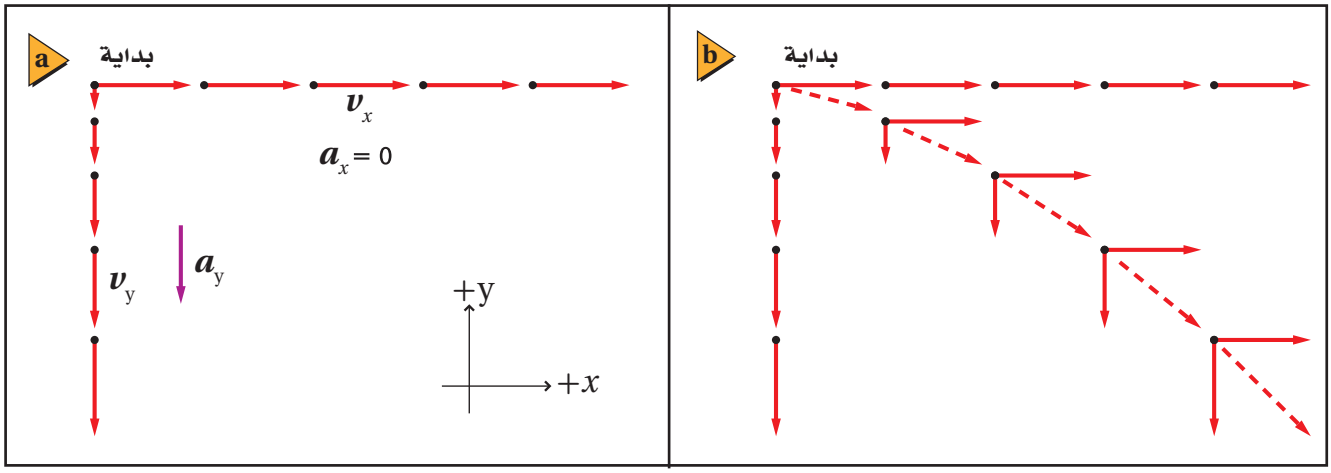
1. **توقع** أي الكرتين ستصل الأرض أولاً عندما تُدحرجهما على سطح طاولة بحيث تكون سرعتاهما متساويتين، على أن يسقطا عن الحافة في اللحظة نفسها؟
2. **توقع** أي الكرتين تكون أبعد عن الطاولة لحظة ملامستها الأرض؟
3. **فسّر** توقعاتك.
4. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

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



الشكل 1–6 قذفت الكرة التي عن اليمين أفقيًّا، بينما أسقطت الكرة الأخرى من السكون في اللحظة نفسها. لاحظ أن المواقع الرأسيّة للكرتين متساوية في كل لحظة.



■ **الشكل 2–6** يمكن فصل حركة الجسم إلى مركّبتيها الأفقية في اتجاه محور x والرأسية في اتجاه محور y. ويبين **الشكل a** تحليل السرعة إلى المركّبتين الأفقية والرأسية. أما **الشكل b** فيبين جمع المركّبتين الأفقية والرأسية لتشكّلا السرعة المتجهة الكلية المماسية للمسار.

يبين **الشكل 6–2a** مخطّطين منفصلين للحركتين الأفقية والرأسية لجسم مقذوف؛ حيث يمثل مخطّط الحركة الرأسية حركة الكرة التي أسقطت في اتجاه المحور y، بينما يبين مخطّط الحركة الأفقية السرعة الثابتة في اتجاه المحور x للكرة المقذوفة. إنَّ السرعة في الاتجاه الأفقي ثابتة دائمًا لعدم وجود قوى تؤثر في الكرة في هذا الاتجاه.

جُمعت السرعتان الأفقية والرأسية في **الشكل 6–2b** لتشكّلا السرعة المتجهة الكلية. ويمكن ملاحظة أن السرعة الأفقية الثابتة والتسارع الرأسي المنتظم قد أنتجا معًا مسارًا يتّخذ شكل القطع المكافئ.

استراتيجيات حل المسألة

الحركة في بُعدين

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

1. حلّل حركة المقذوف إلى حركة رأسية (في اتجاه المحور y)، وأخرى أفقية (في اتجاه المحور x).
2. الحركة الرأسية للمقذوف هي نفسها حركة جسم قُذف رأسيًّا إلى أعلى أو أُسقط أو قذف رأسيًّا إلى أسفل؛ حيث تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الجسم وتسبب تسارعه بمقدار g. راجع القسم 3–3 لتنشيط ذاكرتك حول حلول مسائل السقوط الحر.
3. تحليل الحركة الأفقية لمقذوف يشبه تمامًا حل مسألة حركة جسم يتحرك أفقيًّا بسرعة متجهة ثابتة. فعند إهمال مقاومة الهواء لا توجد قوة أفقية تؤثر في الجسم، ولأنَّه لا توجد قوى تؤثر في المقذوف في الاتجاه الأفقي فلا يوجد تسارع أفقي؛ أيْ أن $a_x = 0.0$. (في حل المسائل استعمل الطُّرق نفسها التي تعلمتها سابقًا في القسم 4–2).
4. الحركتان الأفقية والرأسية لهما الزمن نفسه؛ فالزمن منذ إطلاق المقذوف حتى اصطدامه بالهدف هو الزمن نفسه للحركتين الأفقية والرأسية. ولذا عند حساب الزمن لإحدى الحركتين تكون قد حَسبت الزمن للحركة الثانية.

مسائل تدريبية

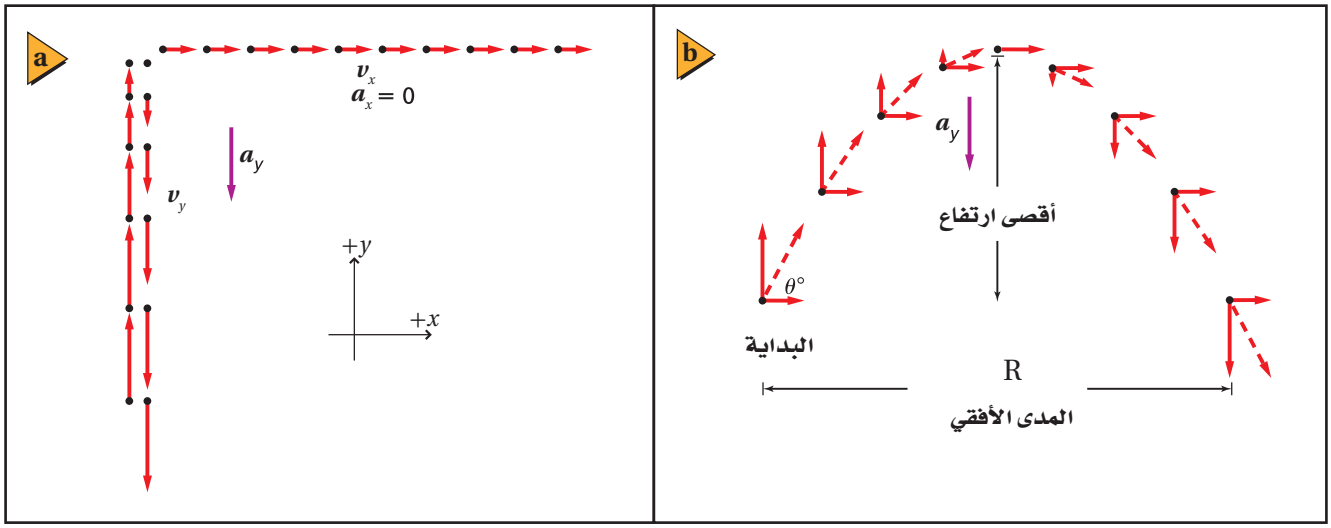
1. قُذف حجر أفقيًّا بسرعة 5.0 m/s من فوق سطح بناية ارتفاعها 78.4 m.
   a. ما الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى أسفل البناية؟
   b. على أي بُعد من قاعدة البناية يرتطم الحجر بالأرض؟
   c. ما مقدار المركّبتين الرأسية والأفقية لسرعة الحجر قُبيل اصطدامه بالأرض؟
2. يشترك عمر وصديقه في إعداد نموذج لمصنع ينتج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

المقذوفات التي تطلق بزاوية
Projectiles Launched at an Angle

عندما يُطلَق مقذوف بزاوية ما يكون لسرعته الابتدائية مركّبتان: إحداهما أفقية، والأخرى رأسية. فإذا قُذف جسم إلى أعلى فإنه يرتفع بسرعة تتناقص حتى يصل إلى أقصى ارتفاع له، ثم يأخذ في السقوط بسرعة متزايدة. لاحظ **الشكل 3a–6** الذي يبين الحركتين الأفقية والرأسية بصورة منفصلة للمقذوف. وفي نظام المحاور يكون المحور x أفقيًّا، والمحور y رأسيًّا. لاحظ التماثل في مقادير السرعة الرأسية، حيث يتساوى مقدار السرعة في أثناء الصعود والنزول عند كل نقطة في الاتجاه الرأسي، ويكون الاختلاف الوحيد بينهما في اتجاه السرعة؛ فهما متعاكسان.

يوضح **الشكل 3b–6** كميتين ترافقان مسار المقذوف؛ إحداهما هي أقصى ارتفاع يصل إليه المقذوف، حيث يكون له هناك سرعة أفقية فقط؛ لأن سرعته الرأسية صفر. أما الكمية الأخرى فهي المدى الأفقي R، وهي المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف. أما زمن التحليق فهو الزمن الذي يقضيه المقذوف في الهواء.

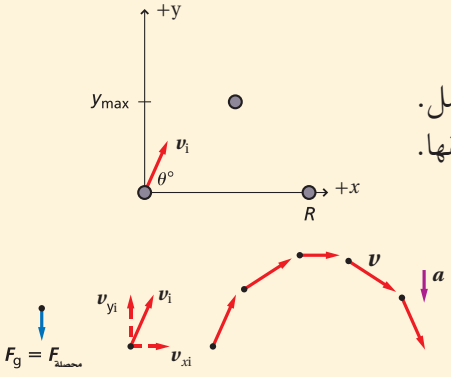
الشكل 3–6 الجمع الاتجاهي لـ v_y و v_x عند كل موضع يشير إلى اتجاه التحليق.



مثـــال 1

تحليل كرة قُذفت كرة بسرعة متجهة 4.5 m/s في اتجاه يصنع زاوية 66° على الأفقي. ما أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟ وما زمن تحليقها عندما تعود إلى المستوى نفسه الذي قُذفت منه؟

1 تحليل المسألة ورسمها



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

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المركّبة الرأسيّة للسرعة الابتدائية v_{yi}

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

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

أوجد صيغة أو معادلة للزمن t.

بالتعويض $a_y = -g$

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

احسب الزمن t.

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

أوجد أقصى ارتفاع.

بالتعويض $t = 0.42\ s$، $y_i = 0.0$، $a_y = -g$
$v_{yi} = 4.1\ m/s$، $g = 9.80\ m/s^2$

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

احسب الزمن اللازم للعودة إلى الارتفاع نفسه لحظة الإطلاق.

زمن التحليق = زمن الصعود + زمن النزول

زمن الصعود = زمن النزول

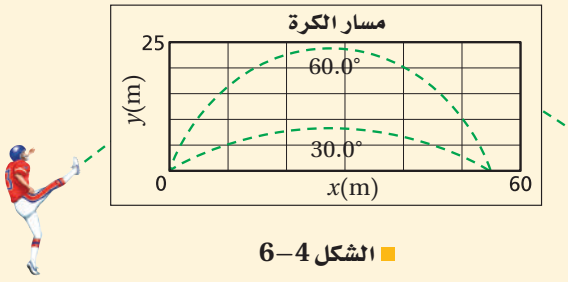
زمن التحليق $= 2t$
$= 2(0.42\ s)$
$= 0.84\ s$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يبين تحليل الوحدات أن الوحدات صحيحة.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن تكون كلها موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** يبدو الزمن قليلاً ولكن السرعة المتجهة الابتدائية الكبيرة تبرر ذلك.

مسائل تدريبية

3. قـذف لاعبٌ كرةً من مستوى الأرض بسرعة متجهة ابتدائية 27.0 m/s في اتجـاه يميل على الأفقي بزاوية مقدارها 30.0°، كـما في **الشـكل 4–6**. أوجد كلًّا من الكميـات التالية، علمًا أن مقاومة الهواء مهملة:



الشكل 4–6

a. زمن تحليق الكرة.

b. أقصى ارتفاع تصله الكرة.

c. المدى الأفقي للكرة.

4. في السـؤال السـابق، إذا قـذف اللاعـب الكرة بالسرعة نفسـها ولكـن في اتجـاه يصنع زاويـة 60.0° على الأفقي، فما زمن تحليق الكـرة؟ وما المدى الأفقي؟ ومـا أقصى ارتفاع تصله الكرة؟

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

مسارات المقذوفات تعتمد على موقع المُشاهد

Trajectories Depend upon the Viewer

افترض أنك تجلس في حافلة، وقذفت كرة إلى أعلى ثم التقطتها عند عودتها إلى أسفل. تبدو الكرة لك أنها سـلكت مسـارًا مستقيمًا إلى أعلى وإلى أسـفل. لكن ما الذي يشاهده مُراقب يقف على الرصيف؟ يشاهد المُراقب الكرة تغادر يدك وترتفع إلى أعلى ثم تعود مرة أخرى إلى يـدك. ولأن الحافلـة تتحـرك فإن يدك تتحرك أيضًا، وسـيكون ليـدك والحافلة والكرة السرعة المتجهة نفسها. لذا يبدو مسار الكرة مشابهًا لمسار الكرة في المثال السابق.

مقاومـة الهواء لاحـظ أننا أهملنا أثـر مقاومة الهواء في حركة المقذوفـات حتى الآن. وقد تكـون مقاومـة الهواء قليلة جـدًّا تجاه بعض المقذوفات إلا أنها تكـون كبيرة تجاه مقذوفات أخرى. ففي كرة الجولف مثلاً تؤدي النتوءات الصغيرة على سطح الكرة إلى تقليل مقاومة الهـواء، ومـن ثـم إلى زيادة المـدى الأفقي. أمـا في كرة البيسـبول فإن دورانها حول نفسـها يجعلها تتأثر بقوى تؤدي إلى انحرافها عن مسارها. من المهم أن نتذكر أن قوة مقاومة الهواء موجودة دائمًا، وقد تكون مهمة.

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

7. حركة المقذوف تُقذف كرة في الهواء بزاوية 50.0° بالنسبة إلى المحور الرأسي وبسرعة ابتدائية 11.0 m/s. احسب أقصى ارتفاع تصله الكرة.

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

9. التفكير الناقد افترض أن جسمًا قُذف بالسرعة نفسها وفي الاتجاه نفسه على الأرض والقمر. فإذا عرف أن مقدار تسارع الجاذبية على القمر (g) يساوي $\frac{1}{6}$ قيمته على الأرض. وضح كيف تتغير الكميات التالية:

a. v_x **b.** زمن تحليق الجسم

c. y_{max} **d.** R

6–2 الحركة الدائرية Circular Motion

عندما يتحرك جسم بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري، أو يدور حجر مثبت في نهاية خيط، هل يكون لهذه الأجسام تسارع؟ قد يتبادر إلى ذهنك في البداية أن هذه الأجسام لا تتسارع؛ لأن مقدار سرعتها لا يتغير، لكن تذكر أن التسارع هو التغير في السرعة المتجهة (مقدارًا واتجاهًا)، وليس في مقدار السرعة فقط. ولأن اتجاه حركة الحجر يتغير لحظيًّا فإن السرعة المتجهة للحجر تتغير، لذلك فهو يتسارع.

الأهداف

- **تفسر** لماذا يتسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري.
- **تصف** كيف يعتمد مقدار التسارع المركزي على سرعة الجسم، ونصف قطر مساره الدائري.
- **تحدد** القوة التي تسبب التسارع المركزي.

المفردات

الحركة الدائرية المنتظمة

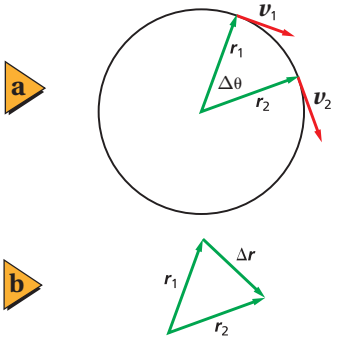
التسارع المركزي

القوة المركزية

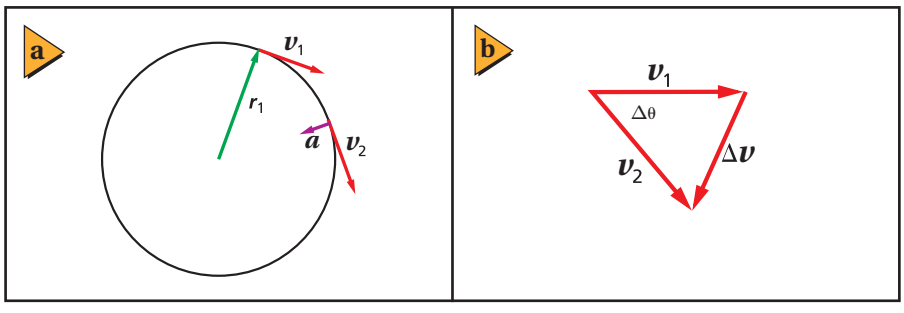
وصف الحركة الدائرية Describing Circular Motion

الحركة الدائرية المنتظمة هي حركة جسم أو جسيم بسرعة ثابتة المقدار حول دائرة نصف قطرها ثابت. ويُحدد موقع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة بالنسبة إلى مركز الدائرة بمتجه الموقع $\boldsymbol{r}$، كما في **الشكل 6–5a**. وعندما يدور الجسم حول الدائرة فإن طول متجه الموقع لا يتغير، لكن اتجاهه يتغير. ولإيجاد سرعة الجسم يجب إيجاد متجه الإزاحة الذي يعرف بـ $\Delta \boldsymbol{r}$. ويبين **الشكل 6–5b** متجهي موقع: $\boldsymbol{r}_1$ عند بداية فترة زمنية، و $\boldsymbol{r}_2$ عند نهايتها. تذكر أن متجه الموقع هو متجه إزاحة ذيله عند نقطة الأصل. ولعلك تلاحظ من رسم المتجهات أن $\boldsymbol{r}_1$ ، $\boldsymbol{r}_2$ تُطرحان لإعطاء المحصلة $\Delta \boldsymbol{r}$ خلال الفترة الزمنية. وكما تعلم فإن السرعة المتجهة المتوسطة تساوي $\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$، لذا فإن السرعة المتجهة المتوسطة في الحركة الدائرية تساوي $\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$. ومتجه السرعة له اتجاه الإزاحة نفسه، لكن بطول مختلف. في **الشكل 6–6a** يمكنك ملاحظة أن متجه السرعة عموديّ على متجه الموقع؛ أيْ مماسّ لمحيط الدائرة، وعندما يدور متجه السرعة حول الدائرة يبقى مقداره ثابتًا، لكن اتجاهه يتغير.

كيف تحدد اتجاه تسارع الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة؟ يبين **الشكل 6–6a** متجهي السرعة $\boldsymbol{v}_1$ و $\boldsymbol{v}_2$ عند بداية الفترة الزمنية ونهايتها. ويمكن إيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتجهة $\Delta \boldsymbol{v}$ بطرح السرعتين المتجهتين $\boldsymbol{v}_1$ و $\boldsymbol{v}_2$ كما في **الشكل 6–6b**. يكون التسارع المتوسط $\overline{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$ في اتجاه $\Delta \boldsymbol{v}$ نفسه؛ أيْ في اتجاه مركز الدائرة. ولاحظ أن متجه التسارع في الحركة الدائرية المنتظمة يشير دائمًا إلى مركز الدائرة، لذا يسمَّى هذا التسارعُ **التسارعَ المركزي**.



الشكل 6–5 الإزاحة Δr لجسم في حركة دائرية مقسومة على الزمن تساوي السرعة المتجهة المتوسطة خلال هذه الفترة الزمنية.



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

التسارع المركزي Centripetal Acceleration

كيف يمكنك أن تحسب مقدار التسارع المركزي لجسم ما؟ قارن بين المثلث الناتج عن متجهات الموقع في **الشكل 6–5a** والمثلث الناتج عن متجهات السرعة في **الشكل 6–6b**. إن الزاوية بين $\boldsymbol{r}_1$ و $\boldsymbol{r}_2$ هي نفسها الزاوية بين $\boldsymbol{v}_1$ و $\boldsymbol{v}_2$، لذا يكون المثلثان متشابهين. وهكذا فإن $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$. وبقسمة الطرفين على الزمن Δt ينتج:

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

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

بإعادة ترتيب المعادلة السابقة $\frac{1}{r}\left(\frac{\Delta r}{\Delta t}\right) = \frac{1}{v}\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$

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

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

التسارع المركزي $a_C = \frac{v^2}{r}$

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

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

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

ولأن تسارع الجسم الذي يتحرك في مسار دائري يكون دائمًا في اتجاه المركز، فلا بد أن تكون القوة المحصلة في اتجاه مركز الدائرة أيضًا. ويمكن توضيح هذه القوة بأمثلة متعددة. فالقوة المسبِّبة لدوران الأرض حول الشمس مثال على قوة جذب مركزية ناتجة عن قوة جذب الشمس للأرض، والقوة المسبِّبة لدوران المطرقة في مسار دائري ناتجة عن قوة الشد في اتجاه المركز، كما في **الشكل 7–6**. وتسمى هذه القوةُ **القوةَ المركزية**. كذلك فإن قانون نيوتن الثاني يمكن تطبيقه على الحركة الدائرية المنتظمة على النحو الآتي:

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

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

تطبيق الفيزياء

المصاعد الفضائية يعتبر العلماء استعمال المصاعد الفضائية نظامًا قليل التكاليف للنقل إلى الفضاء؛ حيث يتم ربط سلك بمحطة عند خط الاستواء الأرضي، ويمتد بطول 35,800 km من سطح الأرض، ويثبت في ثقل موازن، ويبقى مشدودًا بسبب القوة المركزية. وتسير مركبات خاصة بالطاقة المغناطيسية على هذا السلك.

الشكل 7–6 عندما تفلت المطرقة من الرامي تسير في خط مستقيم يكون مماسيًّا للمسار الدائري الذي كانت تدور فيه عند نقطة الإفلات، ثم تُكمل مسارًا يُشبه مسار أي جسم يُقذف بسرعة ابتدائية أفقية في الهواء.

عنـد حل مسـائل على الحركة الدائريـة المنتظمة من المفيد اختيـار محورين: أحدهما في اتجاه التسـارع، حيث يكون دائمًا في اتجاه مركز الدائرة. ونُسَـمِّي هذا المحور c؛ أيْ مركزيًّا. أما المحور الثاني فيكون في اتجاه السرعة المماسّـية للدائرة، ونسميه tang؛ أيْ مماسيًّا. وستطبق قانـون نيوتـن الثاني عـلى هذين المحوريـن، كما فعلت في مسـائل الحركـة ذات البُعدين في الفصـل الخامس. تذكر أن القوة المركزية هي تسـمية أخرى لمحصلة القوى المؤثرة في اتجاه المركز؛ فهي تمثل مجموع القوى الحقيقية التي تؤثر في اتجاه المركز.

تجربة عملية

ما الذي يبقي السدادة متحركة في مسار دائري؟

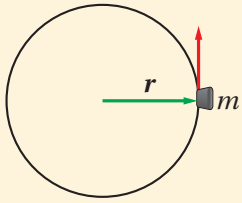
ارجع إلى دليل التجارب العملية

بالرجوع إلى حالة المطرقة، **الشكل 7–6**، ما الاتجاه الذي تطير فيه المطرقة لحظة انطلاقها من السلسلة؟ عند اختفاء قوة الشد في السلسلة ليس هناك قوة تؤدي إلى تسارع المطرقة في اتجاه المركز، لذا تنطلق المطرقة في اتجاه سرعتها المماسـية للدائرة عند نقطة إفلاتها. تذكر أنه إذا لم تستطع تحديد مصدر القوة فإن هذه القوة غير موجودة.

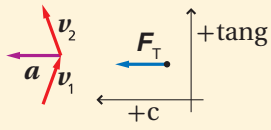
مثـــال 2

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

1 تحليل المسألة ورسمها



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



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

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب التسارع المركزي.

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 91، 92

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

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

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

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

استخدم القانون الثاني لنيوتن لحساب قوة الشد في الخيط.

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

$$F_T = ma_C$$

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

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

3 تقويم الجواب

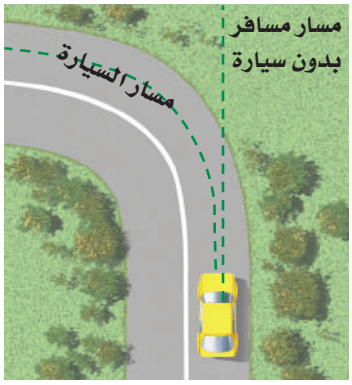
- **هل الوحدات صحيحة؟** يعطي تحليل الوحدات التسارع بـ m/s^2 والقوة بـ N.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن تكون الإشارات كلها موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** نعم، قوة الشد تساوي ثلاثة أمثال وزن السدادة، وهذا منطقي لمثل هذه الأجسام الخفيفة.

مسائل تدريبية

10. يسير متسابق بسرعة مقدارها 8.8 m/s في منعطف نصف قطره 25 m. ما مقدار التسارع المركزي للمتسابق؟ وما مصدر القوة المؤثرة فيه؟
11. تسير سيارة سباق بسرعة مقدارها 22 m/s في منعطف نصف قطره 56 m. أوجد مقدار التسارع المركزي للسيارة. وما أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين العجلات والأرض لمنع السيارة من الانزلاق؟
12. تتحرك طائرة بسرعة مقدارها 201 m/s عند دورانها في مسار دائري. ما أقل نصف قطر لهذا المسار بوحدة km يستطيع أن يشكّله قائد الطائرة، على أن يُبقي مقدار التسارع المركزي أقل من $5.0\ m/s^2$؟

القوة الوهمية A Nonexistance force

عندما تنعطف سيارة فجأة في اتجاه اليسار فإن الراكب الجالس بجانب السائق سيندفع في اتجاه الباب الأيمن، فهل هناك قوة خارجية أثرت في الراكب؟ افترض موقفًا آخر مشابهًا، لو أن السيارة التي تستقلّها توقفت فجأة فإنك ستندفع إلى الأمام داخل حزام الأمان، فهل أثرت فيك قوة إلى الأمام؟ لا؛ لأنه بحسب القانون الأول لنيوتن فإنك سوف تستمر في الحركة بالسرعة نفسها ما لم تؤثر فيك قوة خارجية، وحزام الأمان هو الذي يؤثر فيك بقوة تدفعك إلى التوقف.



الشكل 8–6 سيتحرك الراكب إلى الأمام في خط مستقيم إذا لم تؤثر فيه السيارة بقوة إلى الداخل.

يبين **الشكل 8–6** سيارة تنعطف نحو اليسار كما ترى من أعلى. سيندفع الراكب في السيارة إلى الأمام لولا القوة التي تؤثر فيه من الباب في اتجاه مركز الدائرة، أي أنه لا توجد قوة تؤثر في الراكب إلى الخارج. أما ما يتحدث عنه البعض، وقد يشعر به الكثيرون من أن هناك قوة تدفع الراكب إلى الخارج تسمى قوة الطرد المركزي فإن هذه القوة لا وجود لها. إن قوانين نيوتن قادرة على تفسير الحركة في خطوط مستقيمة والحركة الدائرية.

6–2 مراجعة

13. **الحركة الدائرية المنتظمة** ما اتجاه القوة المؤثرة في الملابس في أثناء دوران الغسالة؟ وما الذي يولد هذه القوة؟
14. **مخطط الجسم الحر** إذا كنت تجلس في المقعد الخلفي لسيارة تنعطف إلى اليمين، فارسم مخطط الحركة، ومخطط الجسم الحر للإجابة عن الأسئلة التالية:
    a. ما اتجاه تسارعك؟
    b. ما اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيك؟ وما مصدرها؟
15. **القوة المركزية** إذا حُرِّك حجر كتلته 40.0 g مثبت في نهاية خيط طوله 0.60 m في مسار دائري أفقي بسرعة مقدارها 2.2 m/s، فما مقدار قوة الشد في الخيط؟
16. **التسارع المركزي** ذكر مقال في جريدة أنه عندما تتحرك سيارة في منعطف فإن على السائق أن يُوازِن بين القوة المركزية وقوة الطرد المركزي. اكتب رسالة إلى الجريدة تنقُد فيها هذا المقال.
17. **القوة المركزية** إذا أردتَ تحريك كرة كتلتها 7.3 kg في مسار دائري نصف قطره 0.75 m بسرعة مقدارها 2.5 m/s، فما مقدار القوة التي عليك أن تؤثر بها لعمل ذلك؟
18. **التفكير الناقد** إنك تتحرك حركة دائرية منتظمة بسبب دوران الأرض اليومي. ما المصدر الذي يولد هذه القوة التي تؤدي إلى تسارعك؟ وكيف تؤثر هذه الحركة في وزنك الظاهري؟

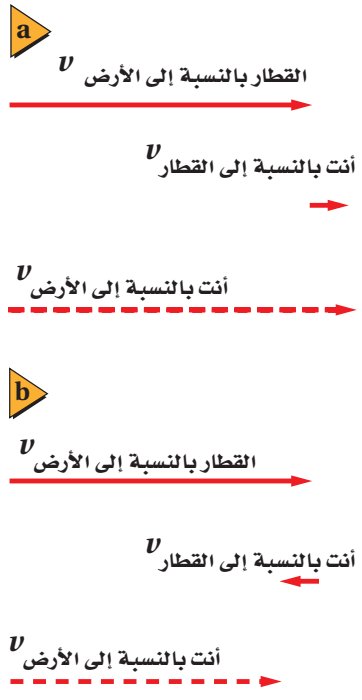
6–3 السرعة المتجهة النسبية Relative Velocity

الأهداف

- **تحلّل** حالات تكون فيها مجموعة المحاور متحركة.
- **تحل** مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.

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

يبين **الشكل 6–9a** تمثيلاً اتجاهيًّا لهذه المسألة. وسوف تجد بعد دراسته أن سرعتك بالنسبة إلى راصد ثابت يقف على الأرض هي 21 m/s؛ أيْ مجموع سرعتك بالنسبة إلى القطار وسرعة القطار بالنسبة إلى الأرض. افترض الآن أنك كنت تسير بالسرعة نفسها لكن في اتجاه مؤخرة القطار، فما سرعتك الآن بالنسبة إلى راصد ثابت يقف على الأرض؟ يبين **الشكل 6–9b** أنه نظرًا إلى أن السرعتين متعاكستان فإن سرعتك بالنسبة إلى ذلك الراصد تكون 19 m/s لحظة مرورك أمامه؛ أي الفرق بين سرعة القطار بالنسبة إلى الأرض وسرعتك بالنسبة إلى القطار، وهكذا تجد أنه إذا كانت الحركة في خط مستقيم فإن الجمع والطرح يستعملان لإيجاد السرعة المتجهة النسبية.



الشكل 6–9 عندما يتحرك نظام المحاور فإن السرعتين تُضافان إذا كانت الحركتان في اتجاه واحد، وتُطرح إحداهما من الأخرى إذا كانت الحركتان متعاكستين.

ولو أمعنت النظر في كيفية الحصول على نتائج السرعة، وحاولت وضع صيغة رياضية لوصف كيفية جمع السرعات في هذه المواقف لحساب السرعة النسبية في المثال السابق فإنه يمكن أن نسمي سرعة القطار بالنسبة إلى الأرض $v_{t/g}$، وسرعتك بالنسبة إلى القطار $v_{y/t}$، وسرعتك بالنسبة إلى الأرض $v_{y/g}$؛ حيث ترمز t للقطار، و y لك أنت، و g للأرض. ولحساب سرعتك بالنسبة إلى الأرض تجمع جمعًا اتجاهيًّا سرعتك بالنسبة إلى القطار، وسرعة القطار بالنسبة إلى الأرض على النحو التالي:

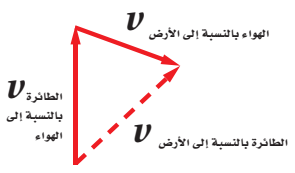
$$v_{y/g} = v_{y/t} + v_{t/g}$$

وتكتب المعادلة الرياضية السابقة عمومًا على النحو التالي:

السرعة المتجهة النسبية $v_{a/c} = v_{a/b} + v_{b/c}$

سرعة الجسم a بالنسبة إلى الجسم c هي حاصل الجمع الاتجاهيّ لسرعة الجسم a بالنسبة إلى الجسم b، ثم سرعة الجسم b بالنسبة إلى الجسم c.

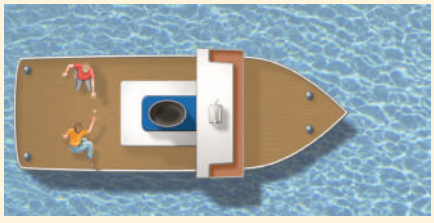
ينطبق هذا المبدأ في جمع السرعات النسبية على الحركة في بُعدين أيضًا، فمثلاً لا يتوقع الملاحون الجويّون الوصول إلى هدفهم فقط بتوجيه طائراتهم في اتجاه البوصلة. لذلك عليهم الأخذ بعين الاعتبار سرعتهم بالنسبة إلى الهواء واتجاه هذه السرعة، وكذلك سرعة الرياح واتجاهها عند الارتفاع الذي يطيرون عنده، ويجب جمع هذين المتجهين، كما في **الشكل 10–6**، للحصول على سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض. وسوف يُرشد المُتَّجهُ المُحصّل الطيارَ إلى السرعة التي يجب أن تسير بها الطائرة، والاتجاه الذي تسلكه للوصول إلى مقصدهم. والوضع مشابه عند حركة قارب في تيار متحرك من الماء.



الشكل 10–6 يمكن إيجاد السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض بالجمع الاتجاهي.

مثـــال 3

السرعة المتجهة النسبية لكرة يركب أحمد وجمال قاربًا يتحرك في اتجاه الشرق بسرعة 4.0 m /s. دحرج أحمد كرة بسرعة 0.75 m /s في اتجاه الشمال في عرض القارب في اتجاه جمال. ما سرعة الكرة المتجهة بالنسبة إلى الماء؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- أنشئ مجموعة محاور.
- ارسم متجهات لتمثل سرعة القارب بالنسبة إلى الماء، وسرعة الكرة بالنسبة إلى القارب. حيث ترمز m للكرة، وb للقارب، وw للماء.

المعلوم

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

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

المجهول

$v_{m/w} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن السرعتين متعامدتان، استعمل نظرية فيثاغورس.

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

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

بالتعويض $v_{m/b} = 0.75\ \text{m/s}$ و $v_{b/w} = 4.0\ \text{m/s}$

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

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

لحساب مقدار الزاوية التي تحركت بها الكرة

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

بالتعويض $v_{m/b} = 0.75\ \text{m/s}$ و $v_{b/w} = 4.0\ \text{m/s}$

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

$$= 11^\circ \text{ شمال الشرق}$$

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

دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل 97

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

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

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

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

الربط مع الأحياء

تهاجر طيور الخرشنة من جنوب شرق آسيا، فتصل إلى شواطئ الخليج العربي في فصل الربيع. ويتوقف نجاح طيور الخرشنة في الوصول إلى وجهتها في الوقت المناسب على حسابات دقيقة تتعلق باتجاه حركة الرياح وسرعتها، بالإضافة إلى السرعة المتجهة للطيور نفسها بالنسبة إلى سطح الأرض. وتعد هذه الرحلة الجوية مثالاً عمليًّا على جمع السرعات المتجهة النسبية، يوضح بجلاء عظمة الخالق سبحانه وتعالى، بما أودعه في هذه المخلوقات من تراكيب وما فطرها عليه من سلوك. فلو أنَّ أحد هذه الطيور حلَّق فوق الخليج العربي، بحيث يواجه رياحًا قوية معاكسة لاتجاه حركته، فإن طاقته سوف تنفد قبل وصوله إلى الشاطئ الآخر، مما قد يؤدي إلى هلاكه، كما أنَّ الرياح القوية التي تهب في اتجاه عمودي على اتجاه حركة الطائر ستسبّب انحرافه تدريجيًّا عن مساره، ومن ثم تغير وجهته. وقد زوّد الخالق سبحانه وتعالى هذه الطيور بأدوات ملاحة طبيعية تتيح لها الطيران بسرعات محددة في اتجاهات دقيقة، مما يُمكّنها من بلوغ وجهتها. ويمكنك جمع السرعات المتجهة النسبية بطريقة الرسم التي تعلمتها في الفصل السابق.

تجربة عملية

السرعة النسبية

ارجع إلى دليل التجارب العملية

تذكّر أن مفتاح التحليل الصحيح لمسائل السرعة المتجهة النسبية في بعدين هو الرسم الصحيح لمثلث يمثل السرعات المتجهة الثلاث. وعند رسم هذا المثلث يمكنك تطبيق مبدأ جمع المتجهات، كما تعلمت في الفصل الخامس. فإذا كان هناك مثلث قائم الزاوية فإنه يمكنك تطبيق نظرية فيثاغورس، أما إذا كانت الزاوية غير قائمة فلا بد من استعمال قانون الجيب أو جيب التمام أو كليهما.

مسألة تحفيز

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

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

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

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

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

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

مختبر الفيزياء • صمّم تجربتك

إلى الهدف

سوف تحلّل في هذه التجربة عوامل متعددة تؤثر في حركة المقذوف، وتوظف مدى استيعابك لهذه المفاهيم لتحديد مسار المقذوف. وأخيرًا ستصمم قاذفة لتضرب هدفًا عند مسافة معلومة.

سؤال التجربة

ما العوامل التي تؤثر في مسار مقذوف؟

الأهداف

- **تصمّم نماذج** قاذفات، ثم تلخص العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف.
- **تستعمل النماذج** لتتوقع مكان هبوط المقذوف.

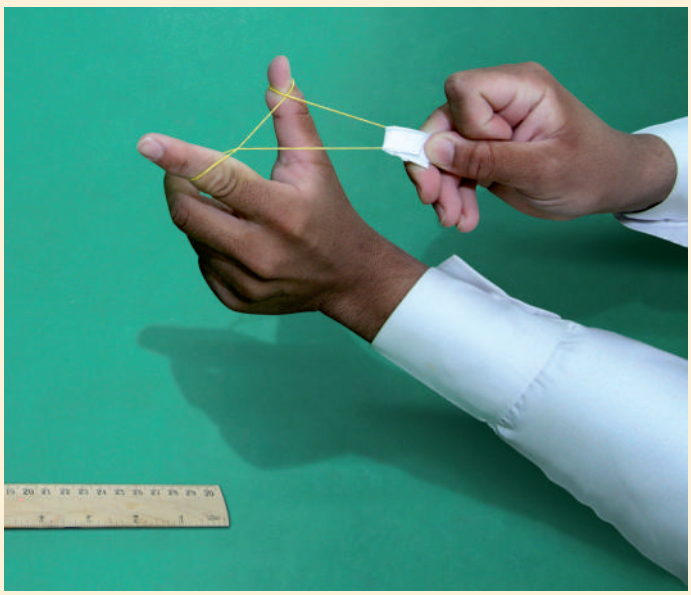
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

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

الخطوات

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



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

جدول البيانات 2	
مقدار استطالة قطعة المطاط (cm)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)

التحليل

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

الاستنتاج والتطبيق

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

التوسع في البحث

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

الفيزياء في الحياة

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

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

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن حركة المقذوفات ارجع إلى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الالكتروني
www.obeikaneducation.com

محطات الفضاء الدوارة Spinning Space Stations

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

ومن أهداف ISS اختبار المؤثرات في جسم الإنسان عند العيش في الفضاء فترات زمنية طولية. وملاحظة ظهور أي مؤثرات سلبية في الصحة، ودراسة إمكانية منعها، ممّا يمكّن الإنسان من العيش في الفضاء زمنًا أطول.

وقد شوهدت آثار سلبية لحالة انعدام الوزن؛ إذ تعمل العضلات على الأرض ضد قوة الجاذبية الأرضية، لكن في غياب هذه القوة فإن عدم استعمال العضلات يُضعفها، وتَضعف العظام للسبب نفسه. كما يقل حجم الدم؛ حيث تؤدي جاذبية الأرض إلى تجمع الدم في القدمين، بينما في حالة انعدام الوزن قد يتجمع الدم في رأس رائد الفضاء، فيستشعر الدماغ الدم الإضافي فيرسل إشارات للتقليل من إنتاجه. وتؤدي تأثيرات انعدام الوزن إلى عرقلة الحياة الطويلة الأمد في الفضاء. تخيل كيف تتغير الحياة اليومية عندئذ؟ يجب أن يكون كل شيء مربوطًا أو مثبتًا. فمثلاً يجب أن تُربط مع السرير المثبت في المركبة عند النوم. وستكون حياتك في محطة الفضاء صعبة إلا إذا عُدلت محطة الفضاء لتحاكي الجاذبية. فكيف يمكن تحقيق ذلك؟

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

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

عمل فني لمحطة فضاء دوّارة

تخيل محطة فضاء على هيئة حلقة كبيرة! إن الأشياء والأجسام كلها داخل المحطة سوف تطفو في حالة انعدام الوزن. وإذا دارت الحلقة في حركة مغزلية فإن الأجسام داخلها ستلتصق بها بسبب الحركة الدورانية. وإذا سُرّعت المحطة بمعدل صحيح وكان لها قطر مناسب فإن الحركة الدورانية تجعل مَن في الداخل يشعرون بقوة مساوية لقوة الجاذبية. إنّ الاتجاه السفلي للمحطة الفضائية يبدو ـ لمراقب يشاهده من خارج المحطة ـ كشعاع خارج منها بعيدًا عن مركز الحلقة.

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

التوسع

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

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

6–1 حركة المقذوف Projectile Motion

المفردات

- المقذوف
- مسار المقذوف

المفاهيم الرئيسة

- الحركتان الرأسية والأفقية للمقذوف مستقلتان.
- المركّبة الرأسية لحركة المقذوف لها تسارع ثابت.
- إذا أهملنا مقاومة الهواء فلن يكون للمركّبة الأفقية لحركة المقذوف تسارع، وتكون سرعتها المتجهة ثابتة.
- تحل مسائل حركة المقذوفات أولاً باستعمال الحركة الرأسية لربط الارتفاع، وزمن التحليق، والسرعة الابتدائية الرأسية، ثم نجد المسافة المقطوعة أفقيًا.
- يعتمد المدى الأفقي على تسارع الجاذبية وعلى مركّبتي السرعة المتجهة الابتدائية.
- يُسمى المسار الذي يتبعه المقذوف في الهواء القطع المكافئ.

6–2 الحركة الدائرية Circular Motion

المفردات

- الحركة الدائرية المنتظمة
- التسارع المركزي
- القوة المركزية

المفاهيم الرئيسة

- الجسم الذي يسير بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري يتسارع في اتجاه مركز الدائرة، لذا يكون له تسارع مركزي.
- مقدار التسارع المركزي يساوي حاصل قسمة مربع السرعة على نصف قطر المسار الدائري.

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

- يمكن التعبير عن التسارع المركزي بدلالة الزمن الدوري T.

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

- لا بد أن يكون هناك قوة محصلة في اتجاه المركز للحصول على تسارع مركزي.

$$F_{\text{محصلة}} = ma_C$$

- متجه السرعة لجسم له تسارع مركزي يكون دائمًا في اتجاه المماس للمسار الدائري.

6–3 السرعة المتجهة النسبية Relative Velocity

المفاهيم الرئيسة

- يمكن استعمال الجمع الاتجاهي لحل مسائل السرعة المتجهة النسبية.

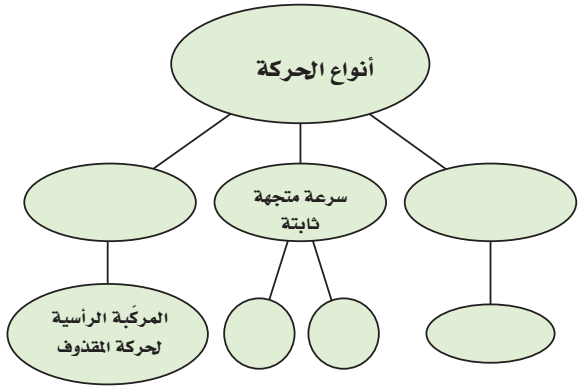
$$\boldsymbol{v}_{a/c} = \boldsymbol{v}_{a/b} + \boldsymbol{v}_{b/c}$$

- مفتاح الحل لمسائل السرعة المتجهة النسبية في بعدين هو رسم المثلث المناسب الذي يمثل السرعات المتجهة الثلاث.

الفصل 6
التقويم

خريطة المفاهيم

27. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: سرعة ثابتة، المركّبة الأفقية لحركة المقذوف، تسارع ثابت، حركة بالسرعة النسبية، حركة دائرية منتظمة.



إتقان المفاهيم

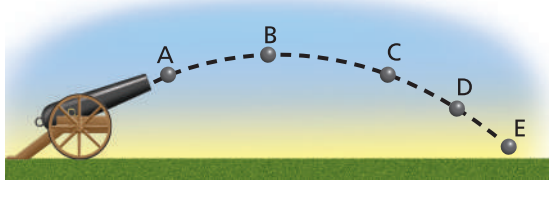
28. ادرس **الشكل 11–6** الذي يمثل مسار قذيفة مدفع، ثم أجب عن الأسئلة التالية: (1–6)

a. أين يكون مقدار المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟

b. أين يكون مقدار المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟

c. أين تكون السرعة المتجهة الرأسية أقل ما يمكن؟

d. أين يكون مقدار التسارع أقل ما يمكن؟



الشكل 11–6

29. ألقى قائد طائرة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة وعلى ارتفاع ثابت رزمة ثقيلة. إذا أُهملت مقاومة الهواء فأين تكون الطائرة بالنسبة للرزمة عندما ترتطم الرزمة بالأرض؟ ارسم مسار الرزمة كما يراه مراقب على الأرض. (1–6)

30. هل يمكنك الدوران في منعطف بالتسارعين الآتيين؟ فسّر إجابتك. (2–6)

a. تسارع يساوي صفرًا.

b. تسارع ثابت.

31. ما العلاقة بين القوة المحصلة وسرعة الجسم المتحرك للحصول على حركة دائرية منتظمة؟ (2–6)

32. لماذا تبدو سرعة السيارة المتحركة على الخط السريع وفي اتجاه معاكس للسيارة التي تركبها أكبر من السرعة المحددة؟ (3–6)

تطبيق المفاهيم

33. **كرة البيسبول** قذفت كرة رأسيًّا إلى أعلى بسرعة متجهة 20 m/s. ما سرعة الكرة المتجهة عند عودتها إلى نقطة الإطلاق نفسها؟ أهمل مقاومة الهواء.

34. **كرة القدم** يرمي لاعبٌ كرةً بسرعة 24 m/s في اتجاه يصنع زاوية 45° مع الأفقي. فإذا استغرقت الكرة 3.0 s للوصول إلى أقصى ارتفاع لها، ثم التُقطت عند الارتفاع نفسه الذي رُميت منه، فما زمن تحليقها في الهواء؟ مع إهمال مقاومة الهواء.

35. إذا كنت تعتقد أن ما تعلمته في هذا الفصل يؤدي إلى تحسين أدائك في الوثب الطويل، فهل يؤثر الارتفاع الذي تصل إليه في وثبتك؟ وما الذي يؤثر في طولها؟

36. تخيل أنك تجلس في سيارة وتقذف كرة رأسيًّا إلى أعلى.

a. إذا كانت السيارة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة فهل تسقط الكرة أمامك أم خلفك، أم في يدك؟

b. إذا كانت السيارة تتحرك في منعطف بسرعة ثابتة المقدار فأين تسقط الكرة؟

تقويم الفصل 6

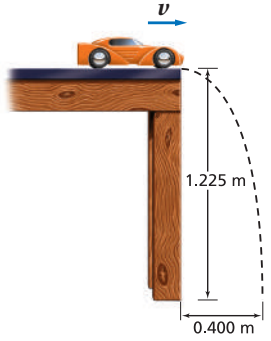
37. **الطريق السريع** إذا أردت أن تتجاوز سيارةً بسيارتك على الطريق السريع، وكانت السيارتان تسيران في الاتجاه نفسه فسوف تستغرق زمنًا أطول مما لو كانت السيارتان تسيران في اتجاهين متعاكسين. فسّر ذلك.

إتقان حل المسائل

6–1 حركة المقذوف

38. إذا ألقيت مفاتيح سيارتك أفقيًّا من فوق سطح بناية ارتفاعها 64 m، وكانت سرعة المفاتيح 8.0 m/s، فعلى أي بُعد من قاعدة البناية ستبحث عنها؟

39. يبين **الشكل 6–12** نموذجًا لسيارة لعبة تسقط من حافة طاولة ارتفاعها 1.225 m لتصطدم بالأرض على بُعد 0.400 m من قاعدة الطاولة.
   a. ما الزمن الذي تستغرقه السيارة في الهواء؟
   b. ما مقدار سرعة السيارة لحظة مغادرتها سطح الطاولة؟



الشكل 6–12

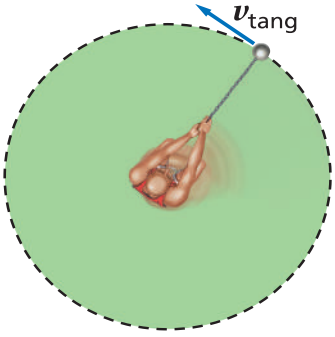
40. رمى لاعب سهمًا في اتجاه أفقي بسرعة 12.4 m/s، فأصاب السهم اللوحة عند نقطة أخفض 0.32 m من مستوى نقطة الإطلاق. احسب بُعد اللاعب عن اللوحة.

41. **الرماية** رُمي سهم سرعته 49 m/s في اتجاه يصنع زاوية 30.0° مع الأفقي فأصاب الهدف.
   a. ما أقصى ارتفاع يصل إليه السهم؟
   b. إذا كان ارتفاع لوحة الهدف هو الارتفاع نفسه لنقطة إطلاق السهم، فما بُعد اللوحة عن نقطة إطلاق السهم؟

6–2 الحركة الدائرية

42. **سباق السيارات** تكمل سيارة كتلتها 615 kg دورة سباق في مضمار دائري نصف قطره 50.0 m في 14.3 s. إذا تحركت السيارة بسرعة ثابتة المقدار
   a. فما مقدار تسارع السيارة؟
   b. وما مقدار القوة التي تؤثر بها الطريق في عجلات السيارة لتنتج هذا التسارع؟

43. **رمي كرة** يُدوّر لاعبٌ كرة كتلتها 7.00 kg مربوطة في سلسلة طولها 1.8 m، وتتحرك في دائرة أفقية كما في **الشكل 6–13**. إذا أتمت الكرة دورة واحدة في 1.0 s، فاحسب مقدار تسارعها المركزي؟ واحسب كذلك مقدار قوة الشد في السلسلة؟



الشكل 6–13

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

تقويم الفصل 6

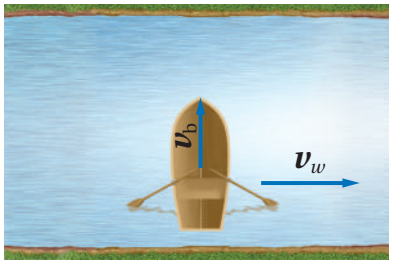
6–3 السرعة المتجهة النسبية

45. السفر بالطائرة إذا كنت تقود طائرة صغيرة وتريد الوصول إلى مطار يبعد 450 km جنوبًا في 3.0 h، وكانت الرياح تهب من الغرب بسرعة 50.0 km/h، فما مقدار واتجاه سرعة الطائرة التي يجب أن تتحرك بها لتصل في الوقت المناسب؟

46. عبور نهر إذا كنت تجدف بقارب كما في **الشكل 6–14** في اتجاه عمودي على ضفة نهر يتدفق الماء فيه بسرعة (v_w) تساوي 3.0 m/s، وكانت سرعة قاربك بالنسبة إلى الماء (v_b) تساوي 4.0 m/s:

a. فما سرعة قاربك بالنسبة إلى ضفة النهر؟

b. احسب مُركّبتي السرعة المتجهة لقاربك: الموازية لضفة النهر، والعمودية عليها.



الشكل 6–14

47. التجديف إذا كنت تجدف في نهر يتدفق في اتجاه الشرق، ولأنَّ معرفتك بالفيزياء –وخصوصًا بالسرعة النسبية– جيدة فإنك توجّه قاربك في اتجاه يصنع زاوية 53° غرب الشمال، وبسرعة 6.0 m/s في اتجاه الشمال بالنسبة إلى ضفة النهر.

a. احسب سرعة تيار الماء.

b. ما سرعة قاربك بالنسبة إلى ماء النهر؟

مراجعة عامة

48. إطلاق قذيفة تتحرك طائرة بسرعة 375 m/s بالنسبة إلى الأرض. فإذا أطلقت قذيفة إلى الأمام بسرعة 782 m/s بالنسبة إلى الطائرة، فما سرعة القذيفة بالنسبة إلى الأرض؟

49. كرة كتلتها 1.13 kg مربوطة في نهاية خيط طوله 0.50 m، وتتحرك حركة دائرية منتظمة في مستوى رأسي بسرعة ثابتة مقدارها 2.4 m/s. احسب مقدار قوة الشد في الخيط عند أخفض نقطة في المسار الدائري.

التفكير الناقد

50. تطبيق المفاهيم انظر الأفعوانية في **الشكل 6–15**، هل تتحرك السيارات في هذه الأفعوانية حركة دائرية منتظمة؟ فسّر إجابتك.

الشكل 6–15

51. التحليل والاستنتاج كرة مربوطة في نهاية خيط خفيف، وتتحرك في مسار دائري في المستوى الرأسي، حلّل حركة هذا النظام وصفه، مع أخذ قوة الجاذبية الأرضية وقوة الشد في الاعتبار. هل يتحرك هذا النظام حركة دائرية منتظمة؟ فسّر إجابتك.

مراجعة تراكمية

52. اضرب أو اقسم كما هو مبين أدناه، مستعملاً الأرقام المعنوية بصورة صحيحة.

a. $(5\times10^{8}\ \text{m})(4.2\times10^{7}\ \text{m})$

b. $(1.67\times10^{-2}\ \text{km})(8.5\times10^{-6}\ \text{km})$

c. $(2.6\times10^{4}\ \text{kg})/(9.4\times10^{3}\ \text{m}^3)$

d. $(6.3\times10^{-1}\ \text{m})/(3.8\times10^{2}\ \text{s})$

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يرمي طالب طوله 1.60 m كرة في اتجاه يصنع زاوية 41.0° مع الأفقي، وبسرعة ابتدائية 9.40 m/s. على أي بُعد من الطالب تسقط الكرة؟

Ⓐ 4.55 m Ⓒ 8.90 m

Ⓑ 5.90 m Ⓓ 10.5 m

2. تقف نحلة على حافة عجلة دوّارة، وعلى بُعد 2.8 m من المركز. إذا كان مقدار السرعة المماسية للنحلة 0.89 m/s، فما مقدار تسارعها المركزي؟

Ⓐ 0.11 m/s² Ⓒ 0.32 m/s²

Ⓑ 0.28 m/s² Ⓓ 2.2 m/s²

3. جسم كتلته 0.82 kg مربوط في نهاية خيط مهمل الكتلة طوله 2.0 m، ويتحرك في مسار دائري أفقي. إذا كان مقدار القوة المركزية المؤثرة فيه تساوي 4.0 N، فما مقدار السرعة المماسية لهذه الكتلة؟

Ⓐ 2.8 m/s Ⓒ 4.9 m/s

Ⓑ 3.1 m/s Ⓓ 9.8 m/s

4. تدخل سيارة كتلتها 1000 kg مسارًا دائريًّا نصف قطره 80.0 m، بسرعة مقدارها 20.0 m/s. ما مقدار القوة المركزية التي سبّبها الاحتكاك بحيث لا تنزلق السيارة؟

Ⓐ 5.0 N Ⓒ 5.0×10^3 N

Ⓑ 2.5×10^2 N Ⓓ 1.0×10^3 N

5. يركض طالب على ضفة نهر بسرعة مقدارها 10 km/h، ويرى قاربًا يتقدم نحوه بسرعة مقدارها 20 km/h. ما مقدار سرعة اقتراب الطالب من القارب؟

Ⓐ 3 m/s Ⓒ 40 m/s

Ⓑ 8 m/s Ⓓ 100 m/s

6. ما أقصى ارتفاع تصل إليه تفاحة كتلتها 125 g تُقذف في اتجاه يميل على الأفقي بزاوية مقدارها 78° وبسرعة ابتدائية مقدارها 18 m/s؟

Ⓐ 0.70 m Ⓒ 32 m

Ⓑ 16 m Ⓓ 33 m

7. أُسقطت برتقالة من ارتفاع معيَّن في اللحظة نفسها التي أُطلقت فيها رصاصة أفقيًّا من بندقية من الارتفاع نفسه. أي العبارات التالية صحيحة؟

Ⓐ تسارع الجاذبية الأرضية أكبر على البرتقالة؛ لأن البرتقالة أثقل.

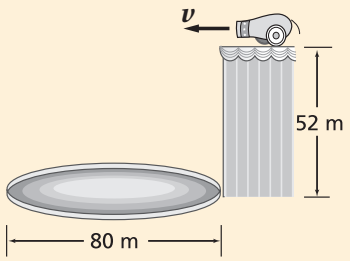
Ⓑ تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الرصاصة بصورة أقل من البرتقالة؛ لأن الرصاصة أسرع كثيرًا.

Ⓒ ستكون سرعتاهما متساويتين.

Ⓓ سيصطدم الجسمان بالأرض في اللحظة نفسها.

الأسئلة الممتدة

8. تُطلق قذيفة مدفع (كرة مملوءة بريش ملون) أفقيًّا بسرعة مقدارها 25 m/s من منصة ارتفاعها 52 m، فوق حلقة قطرها 80 m في قاعة سيرك. هل تسقط الكرة ضمن حلقة السيرك أم تتجاوزها؟



9. يحرك لاعب سلسلة مهملة الكتلة طولها 86 cm، في نهايتها كرة كتلتها 5.6 kg، في مسار دائري أفقي فوق رأسه. إذا أكملت الكرة دورة كاملة في 1.8 s فاحسب قوة الشد في السلسلة.

✓ إرشاد

تدريب تحت ظروف مشابهة للاختبار

أجب عن جميع الأسئلة خلال الزمن الذي يحدِّده لك المعلم دون الرجوع إلى الكتاب. هل أتممت الاختبار؟ هل تعتقد أنه كان بإمكانك استثمار الوقت بصورة أفضل؟ وما المواضيع التي تحتاج إلى مراجعتها؟

الفصل 7

الجاذبية
Gravitation

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف طبيعة قوة الجاذبية.
- الربط بين قوانين كبلر في حركة الكواكب وقوانين نيوتن في الحركة.
- وصف مدارات الكواكب والأقمار الاصطناعية باستعمال قانون الجذب الكوني (العام).

الأهمية

تساعدك قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني على فهم حركة الكواكب والأقمار الاصطناعية.

المُذنّبات اكتُشف مذنب هال- بوب على يد العالمين ألن هال وتوماس بوب عام 1995م. ودخل هذا المذنب نظامنا الشمسي عام 1997م، وكان مرئيًّا في كاليفورنيا، وظهرت مناظر لذيله الغباري الأبيض وذيله الأيوني الأزرق.

فكِّر ◄

تدور المذنبات حول الشمس كما تفعل الكواكب والنجوم. كيف تستطيع وصف مدار مذنب مثل مذنب هال- بوب؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

هل يمكنك عمل نموذج لحركة عطارد؟

سؤال التجربة هل تتحرك الكواكب في نظامنا الشمسي في مدارات دائرية أم في مدارات لها أشكال أخرى؟

الخطوات

1. استعمل جدول البيانات لرسم مدار عطارد باستعمال مقياس الرسم $10\ cm = 1\ AU$. ولاحظ أن الوحدة الفلكية الواحدة AU تساوي بُعْدَ الأرض عن الشمس، $1\ AU = 1.5\times10^{8}\ km$.
2. احسب المسافة بوحدة cm لكل مسافة مقيسة بوحدة AU.
3. عيّن مركز ورقتك، وارسم خطًّا صفريًّا أفقيًّا وخطًّا صفريًّا رأسيًّا عند هذه النقطة.
4. ضع المنقلة على الخط الأفقي على أن يكون مركزها منطبقًا على مركز الورقة، وقس الدرجات، ثم ضع علامة.
5. ضع المسطرة بحيث تمر بالمركز وعلامة الزاوية، وعلّم المسافة للزاوية المقصودة بالسنتمترات. قد تحتاج إلى وضع المنقلة على الخط الرأسي لقياس بعض الزوايا.
6. عندما تنتهي من وضع علامات لنقاط البيانات كلها ارسم خطًّا يجمعها.

التحليل

صف شكل مدار عطارد، وارسم خطًّا يمر بالشمس يمثل أطول محور للمدار، وسمّه المحور الرئيس.

التفكير الناقد كيف يمكن مقارنة مدار عطارد بمدار المذنب هال – بوب الظاهر في الصفحة السابقة؟

مسار عطارد	
d (AU)	θ (°)
0.35	4
0.31	61
0.32	122
0.38	172
0.43	209
0.46	239
0.47	266
0.44	295
0.40	330
0.37	350

7–1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

كان يُعتقد قديمًا أن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تدور كلها حول الأرض، إلا أن العالم البولندي كوبرنيكس لاحظ أن المشاهدات المتوافرة لحركة الكواكب والنجوم لا تتفق كليًّا مع هذا النموذج الذي مركزه الأرض. وقد نُشرت نتائج أعمال كوبرنيكس عام 1543م، حيث بيّن أن حركة الكواكب يمكن فهمها بصورة أفضل إذا افترضنا أن الأرض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس.

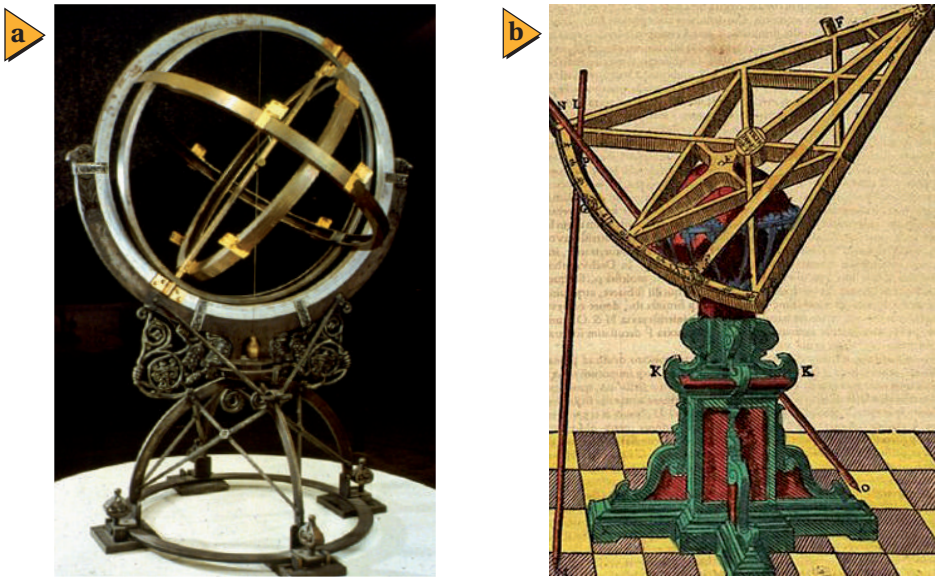
ثم جاء تايكو براهي، الذي ولد بعد سنوات قليلة من موت كوبرنيكس، حيث لاحظ –وهو في الرابعة عشرة من عمره في الدنمارك – كسوفًا للشمس عام 1560م، فقرّر أن يُصبح فلكيًّا، درس الفلك خلال سفره عبر أوربا مدة خمس سنوات. ولم يستعمل التلسكوب، بل استعمل أجهزة صممها بنفسه. وتوصل خطأً – كما سيتبين لاحقًا– إلى أن الشمس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

الأهداف

- **تربط** بين قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني.
- **تحسب** الزمن الدوري ومقدار السرعة المدارية.
- **تصف** أهمية تجربة كافندش.

المفردات

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

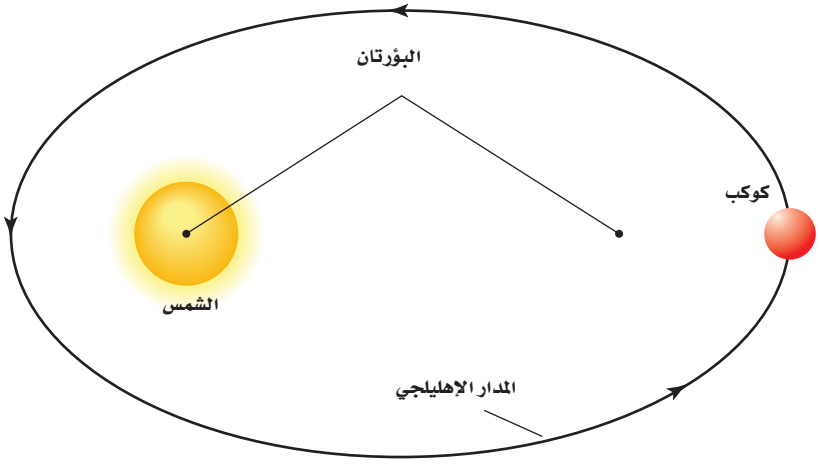


■ **الشكل 1–7** من بين الأجهزة الضخمة التي بناها براهي واستعملها على جزيرة Hven جهاز الأسطرلاب (**a**)، وآلة السُّدس (**b**)، وهي في الأصل من ابتكار علماء المسلمين.

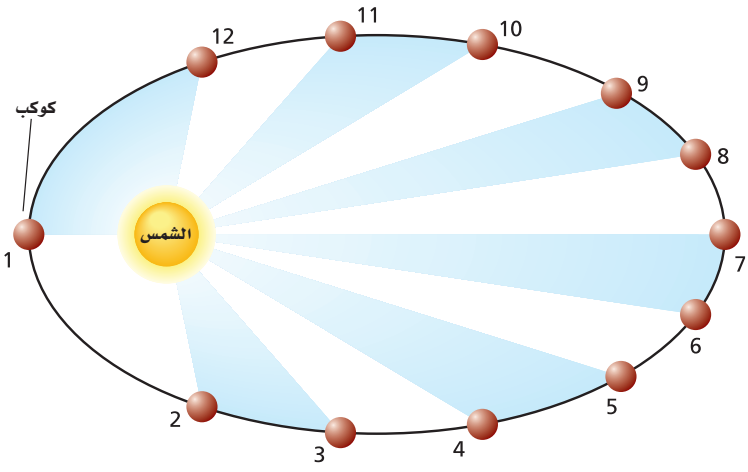
قوانين كبلر Kepler's Laws

أصبح يوهان كبلر الألماني مساعدًا لبراهي عندما انتقل إلى براغ. ودرّب براهي مساعديه على كيفية استعمال أجهزة كالمبيَّنة في **الشكل 1–7**. وعندما تُوفي براهي ورث كبلر نتائج مشاهداته، ودرس البيانات. اعتقد كبلر أن الشمس تولّد قوة على الكواكب المحيطة، واعتبرها مركز المجموعة الشمسية. وبعد عدة سنوات من الدراسة التحليلية لبيانات حركة المريخ اكتشف كبلر القوانين التي تصف حركة كل كوكب.

ينص **القانون الأول لكبلر** على أن مدارات الكواكب إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين؛ فالشكل الإهليلجي له بؤرتان كما في **الشكل 2–7**. و تدور المذنبات في مدارات إهليلجية أيضًا مثل الكواكب والنجوم، وتقسم إلى مجموعتين اعتمادًا على الزمن الدوري لها، وهو الزمن اللازم للمذنب ليكمل دورة واحدة. المجموعة الأولى لها زمن دوري أكبر من 200 سنة. أما الزمن الدوري للمجموعة الثانية فأقل من 200 سنة. إن الزمن الدوري للمذنب هال – بوب هو 2400 سنة، وهو مثال على المجموعة الأولى، في حين أن الزمن الدوري لمذنب هالي هو 76 سنة، ويُعدّ مثالاً على المجموعة الثانية.



■ **الشكل 2–7** تدور الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.



■ **الشكل 3–7** يتحرك الكوكب بأقصى سرعة عندما يكون قريبًا من الشمس، ويتحرك أبطأ عندما يكون بعيدًا عنها. ويمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية.

وجد كبلر أن الكواكب تتحرك بسرعة أكبر عندما تكون قريبة من الشمس، بينما تتحرك أبطأ عندما تكون بعيدة عنها. وهكذا ينص **القانون الثاني لكبلر** على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية، كما في **الشكل 3–7**. وقد توصل كبلر كذلك إلى علاقة رياضية تربط بين الزمن الدوري للكوكب ومتوسط بُعده عن الشمس؛ حيث ينص **القانون الثالث لكبلر** على أن مربع النسبة بين زمنين دوريين لكوكبين حول الشمس يساوي مكعب النسبة بين متوسطي بُعديهما عن الشمس. وهكذا إذا كان الزمنان الدوريان لكوكبين هما T_A وT_B ومتوسط بعديهما عن الشمس r_A وr_B فيصبح القانون الثالث لكبلر على النحو التالي:

القانون الثالث لكبلر

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

لاحظ أن القانونين الأول والثاني يطبقان على كل كوكب على حدة، أما القانون الثالث فيربط بين حركة أكثر من كوكب حول الجسم نفسه. لذا يستعمل لمقارنة أبعاد الكواكب عن الشمس بأزمانها الدورية، كما في **الجدول 1–7**. ويستعمل لمقارنة الأبعاد والأزمان الدورية للقمر وللأقمار الاصطناعية حول الأرض.

ومما تجدر الإشارة إليه أن مدارات الكواكب حول النجوم تتفاوت في مدى إهليلجية أشكالها؛ فبعضها شبه دائري (مدار كوكب الزهرة مثلاً)، كما أن مدارات الأقمار حول الكواكب شبه دائرية. وسنتعامل هنا مع مدارات الكواكب والأقمار على أنها دائرية؛ لتسهيل إجراء العمليات الرياضية.

الجدول 1–7

بيانات الأجرام

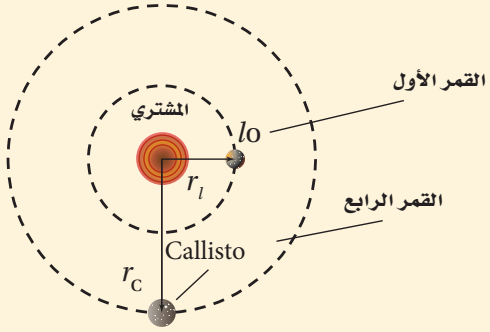
الجرم	متوسط نصف القطر (m)	الكتلة (kg)	متوسط البعد عن الشمس (m)
الشمس	6.96×10^{8}	1.99×10^{30}	—
عطارد	2.44×10^{6}	3.30×10^{23}	5.79×10^{10}
الزهرة	6.05×10^{6}	4.87×10^{24}	1.08×10^{11}
الأرض	6.38×10^{6}	5.98×10^{24}	1.50×10^{11}
المريخ	3.40×10^{6}	6.42×10^{23}	2.28×10^{11}
المشتري	7.15×10^{7}	1.90×10^{27}	7.78×10^{11}
زحل	6.03×10^{7}	5.69×10^{26}	1.43×10^{12}
أورانوس	2.56×10^{7}	8.68×10^{25}	2.87×10^{12}
نبتون	2.48×10^{7}	1.02×10^{26}	4.50×10^{12}

مثـــال 1

بُعد القمر الرابع عن المشتري قاس جاليليو أبعاد مدارات أقمار المشتري مستعملًا قطر المشتري وحدةَ قياس. ووجد أن الزمن الدوري لأقرب قمر هو 1.8 يوم، وكان على بُعد 4.2 وحدات من مركز المشتري. أما القمر الرابع فزمنه الدوري 16.7 يومًا. احسب بُعد القمر الرابع عن المشتري باستعمال الوحدات التي استعملها جاليليو.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مداري القمرين الأول والرابع للمشتري.
- عيّن نصفيْ قطرَي المدارين.



المعلوم

$T_l = 1.8$ يوم $\quad T_C = 16.7$ يومًا

$r_l = 4.2$ وحدة

المجهول

$r_C = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل القانون الثالث لكبلر لإيجاد r_C

دليل الرياضيات

فصل المتغير 92

$$\left(\frac{r_C}{r_l}\right)^3 = \left(\frac{T_C}{T_l}\right)^2$$

$$r_C^3 = r_l^3\left(\frac{T_C}{T_l}\right)^2$$

بالتعويض: يوم $T_l = 1.8$ و يومًا $T_C = 16.7$، وحدة $r_l = 4.2$

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

$$= \sqrt[3]{6.4\times10^3\ (\text{وحدة})^3}$$

$$= 19\text{ وحدة}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** ستكون r_C بوحدات جاليليو مثل r_l.
- **هل الجواب منطقي؟** الزمن الدوري كبير، لذلك سيكون نصف القطر كبيرًا.

مسائل تدريبية

1. الزمن الدوري لأحد أقمار المشتري 7.15 أيام. فكم وحدة يبلغ نصف قطر مداره؟ استعمل المعلومات المُعطاة في مثال 1.
2. يدور كويكب حول الشمس في مدار متوسط نصف قطره يساوي ضعف متوسط نصف قطر مدار الأرض. احسب زمنه الدوري بالسنوات الأرضية.
3. يمكنك أن تجد من **الجدول 1–7** أن بُعد المريخ عن الشمس أكبر 1.52 مرة من بُعد الأرض عن الشمس. احسب الزمن اللازم لدوران المريخ حول الشمس بالأيام الأرضية.
4. الزمن الدوري لدوران القمر حول الأرض 27.3 يومًا، ومتوسط بُعد القمر عن مركز الأرض 3.90×10^5 km.
   a. استعمل قوانين كبلر لحساب الزمن الدوري لقمر اصطناعي يبعد مداره 6.70×10^3 km عن مركز الأرض.
   b. كم يبعد القمر الاصطناعي عن سطح الأرض؟
5. استعمل البيانات المتعلقة بالزمن الدوري للقمر ونصف قطر مداره التي يتضمنها السؤال السابق، لحساب متوسط بُعد قمر اصطناعي عن مركز الأرض والذي زمنه الدوري يساوي يومًا واحدًا.

قانون نيوتن في الجذب الكوني
Newton's Law of Universal Gravitation

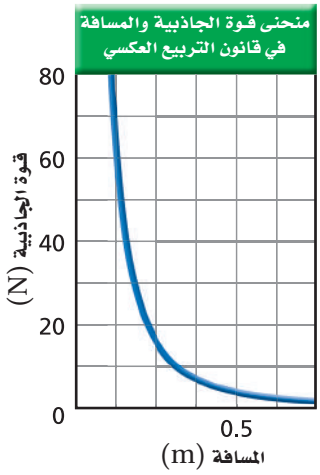
في عام 1666م، بعد مضي 45 سنة على نشر كبلر نتائجه، بدأ نيوتن دراسة حركة الكواكب، فوجد أن مقدار قوة جذب الشمس F المؤثرة في كوكب تتناسب عكسيًّا مع مربع البعد r بين مركز الكوكب ومركز الشمس؛ أيْ أن F تتناسب طرديًّا مع $\frac{1}{r^2}$، وتؤثر القوة F في اتجاه الخط الواصل بين مركزي الجسمين.

يُقال إن مشاهدة سقوط تفاحة جعلت نيوتن يتساءل: ماذا لو امتد أثر هذه القوة التي تسببت في سقوط التفاحة إلى القمر أو حتى أبعد من ذلك؟ وجد نيوتن أن تسارع كل من التفاحة والقمر متوافق مع العلاقة $\frac{1}{r^2}$. وبحسب قانون نيوتن الثالث فإن القوة التي تؤثر بها الأرض في التفاحة تساوي تلك القوة التي تؤثر بها التفاحة في الأرض. ويجب أن تتناسب قوة التجاذب بين أي جسمين مع كتل هذه الأجسام، وتُسمى هذه القوة **قوة الجاذبية**.

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

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

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



الشكل 4–7 تتغيّر قوة الجاذبية بتغير المسافة وفق قانون التربيع العكسي.

تبعًا لقانون نيوتن، تتناسب F طرديًّا مع m_1 و m_2، لذلك إذا تضاعفت كتلة الكوكب القريب من الشمس فإن القوة ستتضاعف. استعمل الرياضيات في الفيزياء في الجدول التالي؛ لمساعدتك على إدراك أن تغير أحد المتغيرات يؤثر في الآخر. و يبين **الشكل 4–7** منحنى لقانون التربيع العكسي (العلاقة بين قوة الجاذبية والمسافة).

الرياضيات في الفيزياء

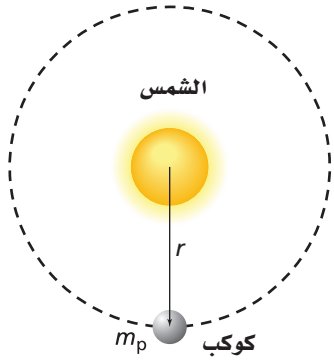
العلاقات الطردية والعكسية يحتوي قانون نيوتن في الجذب الكوني كلا التناسبين الطردي والعكسي.

$F \propto \frac{1}{r^2}$		$F \propto m_1 m_2$	
التغير	النتيجة	التغير	النتيجة
$2r$	$\frac{1}{4}F$	$2m_1m_2$	$2F$
$3r$	$\frac{1}{9}F$	$3m_1m_2$	$3F$
$\frac{1}{2}r$	$4F$	$2m_1 3m_2$	$6F$
$\frac{1}{3}r$	$9F$	$\frac{1}{2}m_1m_2$	$\frac{1}{2}F$

الجذب الكوني والقانون الثالث لكبلر
Universal Gravitation and Kepler's Third Law

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

إذا اعتبرت كوكبًا ما يدور حول الشمس، كما في **الشكل 5–7**، فيمكن كتابة القانون الثاني لنيوتن في الحركة على الصورة $F_{\text{محصلة}} = m_p a_C$، حيث F قوة الجاذبية، و m_p كتلة الكوكب، و a_C التسارع المركزي للكوكب. ولتبسيط أكثر اعتبر المدارات دائرية الشكل. ولأنك درست في الفصل السادس أن التسارع المركزي في الحركة الدائرية المنتظمة يساوي $a_C = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$، لذا يمكن كتابة العلاقة التالية $F_{\text{محصلة}} = m_p a_C$ على النحو التالي: $F_{\text{محصلة}} = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$. والمقصود بـ T في هذه المعادلة الزمن اللازم لدوران الكوكب دورة كاملة حول الشمس. وإذا ساويت الحد الأيمن في هذه المعادلة بالحد الأيمن لقانون الجذب الكوني تحصل على النتيجة التالية:



الشكل 5–7 كوكب كتلته m_p ونصف قطر مداره r، يدور حول الشمس التي كتلتها m_s.

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

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

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

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

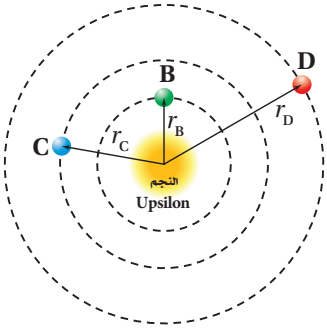
الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس

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

وبتربيع الطرفين يتبين أن هذه المعادلة هي القانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. حيث يتناسب مربع الزمن الدوري طرديًّا مع مكعب المسافة الفاصلة بين مراكز الأجسام. ويعتمد المعامل $\frac{4\pi^2}{Gm_s}$ على كتلة الشمس وثابت الجذب الكوني. وقد وجد نيوتن أن هذا الاشتقاق ينطبق كذلك على المدارات الإهليلجية.

مسألة تحفيز

اكتشف الفلكيون ثلاثة كواكب تدور حول النجم Upsilon وهذه الكواكب هي: الكوكب B الذي يبلغ نصف قطر مداره 0.059 AU وزمنه الدوري 4.6170 أيام، والكوكب C يبلغ نصف قطر مداره 0.829 AU وزمنه الدوري 241.5 يومًا، والكوكب D الذي يبلغ نصف قطر مداره 2.53 AU وزمنه الدوري 1284 يومًا. (المسافة بين الأرض والشمس تساوي 1.00 AU)



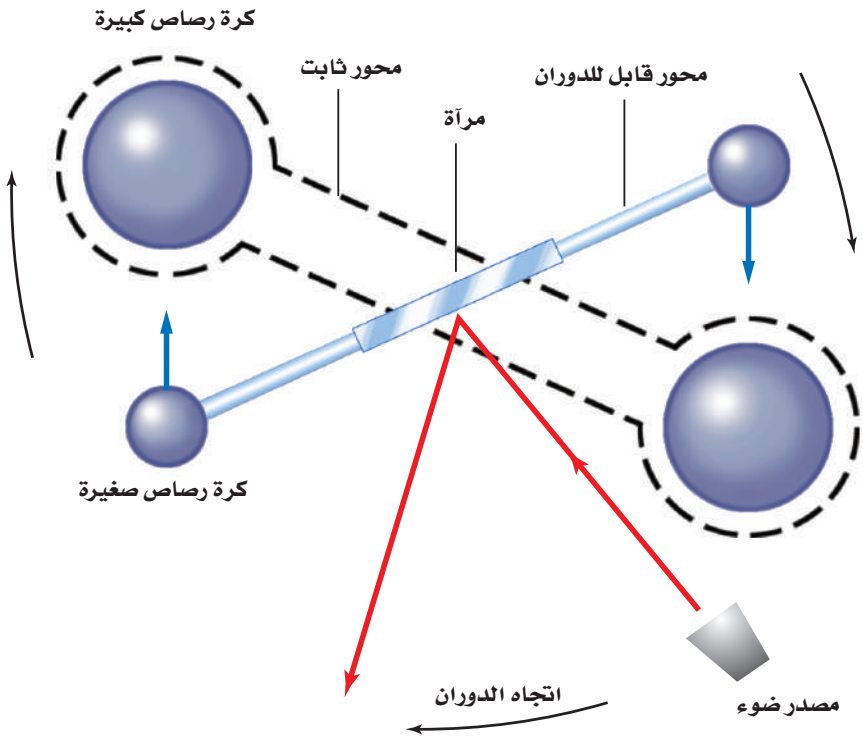
1. هل تحقق هذه الكواكب القانون الثالث لكبلر؟
2. أوجد كتلة النجم Upsilon بدلالة كتلة الشمس.

قياس ثابت الجذب الكوني
Measuring the Universal Gravitational Constant

ما قيمة الثابت G؟ تبدو قوة التجاذب بين جسمين على الأرض ضعيفة نسبيًّا، ويصعب الكشف عن هذه القوة بين كتلتي كرتي البولنج مثلًا. في الواقع استغرق الأمر 100 عام بعد نيوتن ليتمكن العلماء من تصميم جهاز حساس بما يكفي لقياس قوة الجاذبية.

تجربة كافندش استعمل العالم هنري كافندش في عام 1798م جهازًا، كما في **الشكل 6–7**، لقياس قوة الجاذبية بين جسمين. وللجهاز ذراع أفقية تحمل كرتين من الرصاص عند نهايتيها. وهذه الذراع معلقة من منتصفها بسلك رفيع قابل للدوران. ولأن الذراع معلقة بسلك رفيع فهي حساسة لأي قوة أفقية. ولقياس G، وضع كافندش كرتين ثقيلتين من الرصاص قريبتين من الكتلتين الصغيرتين، كما يبين **الشكل 7–7**. وقد أدت قوة التجاذب بين الكرتين الكبيرة والصغيرة إلى دوران الذراع. وعند تساوي قوة اللّيّ للسلك الرفيع وقوة التجاذب بين الكرات، تتوقف الذراع عن الدوران. وقد تمكن كافندش من قياس قوة التجاذب بين الكتل من خلال قياسه للزاوية التي شكَّلها دوران الذراع؛ حيث تقاس الزاوية التي يشكلها دوران الذراع بالشعاع المنعكس عن مرآة مستوية. وقد تمكن كافندش – من خلال قياس الكتل والمسافة بين مراكز الكرات، والتعويض بذلك مستعملًا قانون نيوتن في الجذب الكوني – من تحديد قيمة تجريبية للثابت G، حيث $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$، وذلك عندما تكون وحدة قياس m_1 و m_2 بـ (kg)، و r بـ (m)، و F بـ (N).

الشكل 6–7 تستعمل موازين كافندش الحديثة لقياس قوى الجذب بين جسمين.



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

أهمية الثابت G تسمى تجربة كافندش أحيانًا "إيجاد وزن الأرض"؛ لأنها ساعدت على حساب كتلة الأرض. وبمعرفة قيمة الثابت G يمكن حساب كتلة الشمس أيضًا، إضافةً إلى حساب قوة الجاذبية بين أي كتلتين، وذلك بتطبيق قانون نيوتن في الجذب الكوني. فمثلاً، قوة التجاذب بين كرتي بولنج كتلة كل منهما 7.26 kg والمسافة بين مركزيهما 0.30 m يمكن حسابها على النحو التالي:

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

$$F_g = 3.9 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

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

$$F_g = G\frac{m_E m}{r_E^2} = mg$$

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

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

وبما أن $r_E = 6.38 \times 10^6\ \text{m}$؛ $g = 9.80\ \text{m/s}^2$؛ وكذلك $G = 6.67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{N.m}^2}{\text{kg}^2}$

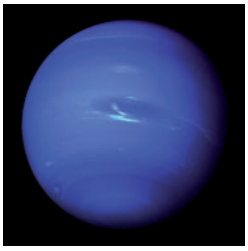
فإننا نحصل على القيمة التالية لكتلة الأرض:

$$m_E = \frac{(9.80\ \text{m/s}^2) \times (6.38 \times 10^6\ \text{m})^2}{(6.67 \times 10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)}$$

$$= 5.98 \times 10^{24}\ \text{kg}$$

وعندما تقارن كتلة الأرض بكتلة كرة البولنج تدرك لماذا لا تظهر بوضوح قوة التجاذب بين الأجسام التي نشاهدها في حياتنا اليومية. لقد ساعدت تجربة كافندش على تحديد قيمة الثابت G، وأكدت توقعات نيوتن من حيث وجود قوة تجاذب بين أي جسمين، وساعدت أيضًا على حساب كتلة الأرض.

6. الزمن الدوري لنبتون يدور نبتون حول الشمس في مدار نصف قطره 4.495×10^{12} m، مما يسمح للغازات- ومنها الميثان- بالتكثف وتكوين جوٍّ كما يوضحه **الشكل 8–7**. إذا كانت كتلة الشمس 1.99×10^{30} kg، فاحسب الزمن الدوري لنبتون.



الشكل 8–7

7. الجاذبية إذا بدأت الأرض في الانكماش، ولكن كتلتها بقيت ثابتة، فماذا يمكن أن يحدث لقيمة تسارع الجاذبية ***g*** على سطحها؟

8. قوة الجاذبية ما قوة الجاذبية بين جسمين كتلة كل منهما 15 kg والمسافة بين مركزيهما 35 cm؟ وما نسبة هذه القوة إلى وزن أي منهما؟

9. ثابت الجذب الكوني أجرى كافندش تجربته باستعمال كرات مصنوعة من الرصاص. افترض أنه استبدل بكرات الرصاص كرات من النحاس ذات كتل متساوية فهل تكون قيمة G هي نفسها أم تختلف؟ وضح ذلك.

10. التفكير الناقد يحتاج رفع صخرة على سطح القمر إلى قوة أقل من التي تحتاج إليها على الأرض.

a. كيف تؤثر قوة الجاذبية الضعيفة على سطح القمر في مسار الحجر عند قذفه أفقيًّا؟

b. إذا سقط الحجر على إصبع شخص، فأيهما يؤذيه أكثر: سقوطه -من الارتفاع نفسه- على سطح القمر، أم على سطح الأرض؟ فسّر ذلك.

7–2 استخدام قانون الجذب الكوني Using the Law of Universal Gravitation

الأهداف

- **تحل** مسائل على الحركة المداريّة.
- **تربط** انعدام الوزن مع أجسامٍ في حالة سقوطٍ حر.
- **تصف** مجال الجاذبية.
- **تقارن** بين كتلة القصور وكتلة الجاذبية.
- **تقارن** بين وجهتي نظر نيوتن وأينشتاين حول الجاذبية.

المفردات

مجال الجاذبية
كتلة القصور
كتلة الجاذبية

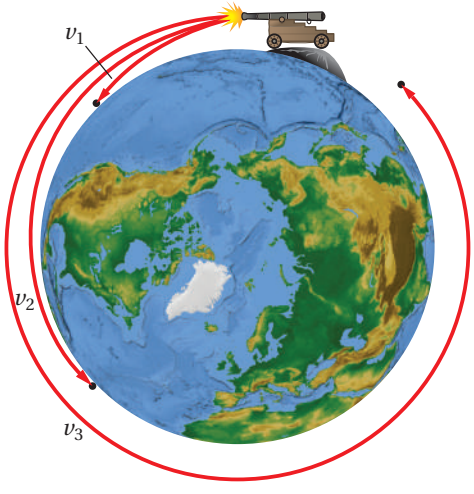
اكتُشف الكوكب أورانوس عام 1781م، وبحلول عام 1830م كان واضحًا أن مدار أورانوس الذي تم حسابه بقانون الجاذبية لا يتَّفق مع المدار الفعلي لهذا الكوكب. فاقترح عالمان فلكيان وجود كوكب آخر غير مكتشف يجذب أورانوس بالإضافة إلى جذب الشمس له. وقد قاما بحساب مدار هذا الكوكب عام 1845م، وبعد سنة أعلن فلكيون في مرصد برلين أنهم وجدوا ذلك الكوكب الذي يعرف اليوم بنبتون.

مدارات الكواكب والأقمار الاصطناعية
Orbits of Planets and Satellites

استخدم نيوتن رسمًا، كما في **الشكل 9–7**؛ ليوضح تجربة ذهنية حول حركة الأقمار الاصطناعية، فتخيل مدفعًا يطلق قذيفة في اتجاه أفقي بسرعة معينة. هذه القذيفة لها سرعة أفقية وأخرى رأسية، ولذلك يكون مسارها قطعًا مكافئًا، ثم تسقط على الأرض.

إذا زادت السرعة الأفقية للقذيفة ستقطع مسافة أطول على سطح الأرض، ولكنها ستسقط في النهاية على سطحها. أمّا إذا كان هناك مدفع ضخم تنطلق منه القذيفة بسرعة كبيرة فإن القذيفة ستسير المسافة كاملةً حول الأرض وتستمر في ذلك، أي أن القذيفة ستتحرك في مدار دائري حول الأرض.

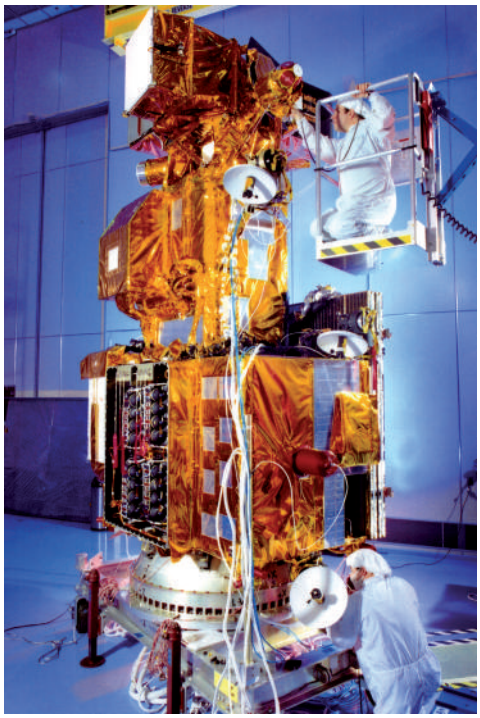
لقد أهملت تجربة نيوتن الذهنية مقاومة الهواء المحيط بالأرض. ولكي تتخلص القذيفة من مقاومة الهواء يجب أن تُطلق من مدفع على جبل ارتفاعه أكثر من 150 km فوق سطح الأرض. وبالمقارنة فإن الجبل سيكون أعلى كثيرًا من قمة جبل إفرست التي يبلغ ارتفاعها 8.85 km. إن قذيفة تطلق من ارتفاع 150 km لن تواجه مقاومة الهواء؛ لأنها تكون خارج معظم الغلاف الجوي الأرضي. لذا فإن قذيفة أو قمرًا اصطناعيًّا عند هذا الارتفاع سيدور في مدار ثابت حول الأرض.



الشكل 9–7 السرعة الأفقية v_1 ليست كبيرة، لذا ستسقط القذيفة على الأرض. وعند سرعة أكبر v_2 فإن القذيفة تقطع مسافة أكبر. وتقطع القذيفة المسار كله حول الأرض عندما تكون السرعة v_3 كبيرة بدرجة كافية.

تطبيق الفيزياء

المدار المتزامن مع الأرض يدور القمر الاصطناعي GOES–12 للتوقعات الجوية حول الأرض دورة كل يوم على ارتفاع 35,785 km. وتطابق السرعة المدارية للقمر معدل دوران الأرض، لذا يبدو القمر بالنسبة لمراقب على الأرض كأنه فوق بقعة معينة على خط الاستواء. ولذلك يُوجّه طبق الاستقبال على الأرض في اتجاه معين، ولا يلزم تغيير اتجاهه لالتقاط الإشارات المرسلة من القمر الاصطناعي.



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

يتحرك القمر الاصطناعي الذي يدور على ارتفاع ثابت عن الأرض حركة دائرية منتظمة. تذكّر أن تسارعه المركزي يُعبّر عنه بالعلاقة التالية: $a_C = \frac{v^2}{r}$، لذا يكتب القانون الثاني لنيوتن على الصورة التالية: $F_{\text{محصلة}} = \frac{mv^2}{r}$. فإذا كانت كتلة الأرض m_E، ودُمج هذا القانون مع قانون نيوتن في الجذب الكوني، فإنه يُعبّر عنه بالعلاقة:

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

ولذا تحصل على مقدار سرعة القمر الاصطناعي الذي يدور حول الأرض بالعلاقة:

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

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

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

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

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

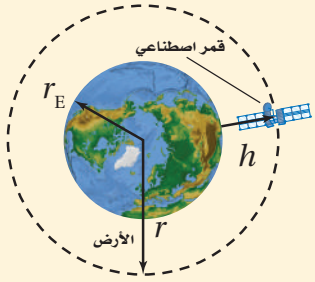
يمكن استعمال معادلتي سرعة القمر الاصطناعي وزمنه الدوري لأي جسم آخر يتحرك في مدار حول جسم ثانٍ. ويحل محل m_E في المعادلتين كتلة الجسم المركزي، وستكون r المسافةَ بين مركز الجسم الذي يتحرك في المدار ومركز الجسم المركزي. أمّا إذا كانت كتلة الجسم المركزي أكبر كثيرًا من كتلة الجسم الذي يتحرك في المدار فإن r ستكون المسافةَ بين الجسم الذي يتحرك في المدار ومركز الجسم المركزي. إن السرعة المدارية v والزمن الدوري T مستقلان عن كتلة القمر الاصطناعي. فهل هناك أي عوامل تحد من كتلة القمر الاصطناعي؟

كتلة القمر الاصطناعي يزودنا القمر الاصطناعي لاندسات 7 الموضح في **الشكل 10–7** بصور سطحية للأرض، تستعمل في رسم الخرائط ودراسة الاستغلال الأمثل للأرض، كما يقوم هذا القمر بعمل مسح للمصادر الأرضية والخامات والتغيرات التي تحدث على الكرة الأرضية. ويمكن تسريع مثل هذه الأقمار باستعمال الصواريخ التي تزوِّدها بالسرعة المناسبة من أجل وضعها في مداراتها حول الأرض. ولأن تسارع أي جسم يحسب بقانون نيوتن الثاني في الحركة، $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$، فإنه كلما زادت كتلة القمر تطلَّب ذلك صاروخًا أقوى لإيصاله إلى مداره.

الربط مع علم الأرض

مثـــــال 2

السرعة المدارية والزمن الدوري افترض أن قمرًا اصطناعيًّا يدور حول الأرض على ارتفاع 225 km فوق سطحها. فإذا علمت أن كتلة الأرض تساوي 5.97×10^{24} kg ونصف قطر الأرض 6.38×10^{6} m، فما مقدار سرعة القمر المدارية وزمنه الدوري؟



1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم الوضع مبينًا ارتفاع المدار.

المعلوم		المجهول
$r_E = 6.38\times10^{6}$ m	$h = 2.25\times10^{5}$ m	$v = ?$
$G = 6.67\times10^{-11}$ N.m²/kg²	$m_E = 5.97\times10^{24}$ kg	$T = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد نصف قطر المدار بإضافة ارتفاع القمر عن الأرض إلى نصف قطر الكرة الأرضية.

بالتعويض $h = 2.25\times10^{5}$ m ، $r_E = 6.38\times10^{6}$ m

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

احسب السرعة

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}} = \sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24}\ \text{kg})}{6.61\times10^{6}\ \text{m}}}$$
$$= 7.76\times10^{3}\ \text{m/s}$$

بالتعويض $r = 6.61\times10^{6}$ m و $m_E = 5.97\times10^{24}$ kg و $G = 6.67\times10^{-11}$ N.m²/kg²

احسب الزمن الدوري

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G\,m_E}}$$
$$= 2\pi\sqrt{\frac{(6.61\times10^{6}\ \text{m})^3}{(6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)\,(5.97\times10^{24}\ \text{kg})}}$$
$$= 5.35\times10^{3}\ \text{s}$$

بالتعويض $G = 6.67\times10^{-11}$ N.m²/kg² و $m_E = 5.97\times10^{24}$ kg و $r = 6.61\times10^{6}$ m

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

افترض أن مدار الأقمار دائري عند حل المسائل التالية:

11. افترض أن القمر في المثال السابق تحرك إلى مدار نصف قطره أكبر 24 km من نصف القطر السابق، فكم يصبح مقدار سرعته؟ وهل هذه السرعة أكبر أم أقل ممّا في المثال السابق؟

12. استعمل تجربة نيوتن الذهنية في حركة الأقمار الاصطناعية لحل ما يلي:

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

b. احسب الزمن الذي يستغرقه القمر الاصطناعي (بالثواني والدقائق) ليكمل دورة حول الأرض ويعود إلى المدفع.

13. استعمل البيانات المتعلقة بعطارد المعطاة في **الجدول 1–7** لإيجاد ما يلي:

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

b. الزمن الدوري لهذا القمر.

تسارع الجاذبية الأرضية
Acceleration Due To Gravity

يمكن إيجاد تسارع الأجسام الناشئ عن الجاذبية الأرضية باستعمال القانون الثاني لنيوتن وقانون الجذب الكوني، وذلك من خلال تطبيق المعادلة التالية على الجسم الذي كتلته m ويسقط سقوطًا حرًّا:

$$F = \frac{Gm_E m}{r^2} = ma$$

ولذلك فإن

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

وبما أن $a = g$ و$r = r_E$ عند سطح الأرض، لذا يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقتين:

$$g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

$$m_E = \frac{g\, r_E^2}{G}$$

وإذا عوضنا عن m_E في العلاقة $a = \frac{Gm_E}{r^2}$ للجسم الساقط سقوطًا حرًّا سنحصل على:

$$a = G\frac{\frac{g\, r_E^2}{G}}{r^2}$$

وبالتالي فإن

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

يوضح هذا أنه كلما ابتعدت عن الأرض فإن التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يقل تبعًا لعلاقة التربيع العكسي هذه. ترى، ماذا يحدث لوزنك F_g كلما ابتعدت أكثر وأكثر عن مركز الأرض؟

الوزن وانعدام الوزن من المحتمل أنك شاهدت صورًا مشابهة لتلك الموضحة في **الشكل 11–7**، حيث يظهر رواد الفضاء في مركبة فضائية في حالة تسمى (zero–g) أو انعدام الوزن. يدور المكوك على ارتفاع 400 km فوق سطح الأرض، وعند هذه المسافة يكون $g = 8.7\ m/s^2$؛ أيْ أقل قليلاً من قيمته على سطح الأرض. لذا فإن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في المكوك لا تساوي صفرًا بالتأكيد. وتسبب هذه الجاذبية دوران المكوك حول الأرض. فلماذا يبدو رواد الفضاء إذًا عديمي الوزن؟

تذكّر أنك تشعر بوزنك عندما يؤثر فيك شيء بقوة تماسّ كالأرض أو الكرسي. لكن إذا كنت أنت والكرسي وأرض الغرفة، تتسارعون بالكيفية نفسها في اتجاه الأرض فإنه لا توجد قوى تماس تؤثر فيك. لذا يكون وزنك الظاهري صفرًا وتشعر بانعدام الوزن. وكذلك يشعر رواد الفضاء في المكوك.

الشكل 11–7 يظهر أحد رواد الفضاء في حالة انعدام الوزن في مكوك الفضاء كولومبيا، حيث يسقط المكوك بما فيه سقوطًا حرًّا في اتجاه الأرض

تجربة

ماء عديم الوزن

يُجرى هذا النشاط خارج الفصل.

استعمل قلم رصاص لإحداث فتحتين في كأس ورقية: إحداهما في قاع الكأس والأخرى في جانبها، ثم أغلق الفتحتين بإصبعيك واملأ ثلثي الكأس بالماء الملون.

1. **توقع** ما يحدث عندما تُسقط الكأس سقوطًا حرًّا.
2. **اختبر توقعك**: أسقط الكأس، وراقب ما يحدث.

التحليل والاستنتاج

3. **صف** مشاهداتك.
4. **فسّر** النتائج.

مجال الجاذبية
The Gravitational Field

تذكر من الفصل الرابع أن الكثير من القوى هي قوى تماس. فالاحتكاك يتولد عند تلامس جسمين، ومن ذلك دفع الأرض أو الكرسي عليك. لكن الجاذبية مختلفة؛ فهي تؤثر في التفاحة التي تسقط من الشجرة، وتؤثر في القمر. أيْ أن الجاذبية تؤثر عن بُعد، وهي تعمل بين أجسام غير متلامسة، أو قد تكون بعيدة. وقد انشغل نيوتن بذلك وكان يتساءل: كيف تؤثر الشمس بقوة في الأرض البعيدة؟

جاء الجواب عن هذا التساؤل من خلال دراسة المغناطيسية. ففي القرن التاسع عشر طوّر فارادي مفهوم المجال لتفسير كيفية جذب المغناطيس للأشياء. ثم طُبق مبدأ المجال على الجاذبية. فكل جسم له كتلة محاط **بمجال جاذبي** يؤثر من خلاله بقوة في أي جسم آخر يوجد في ذلك المجال نتيجة التفاعل المتبادل بين كتلته والمجال الجاذبي $\boldsymbol{g}$. ويوصف ذلك بالمعادلة التالية:

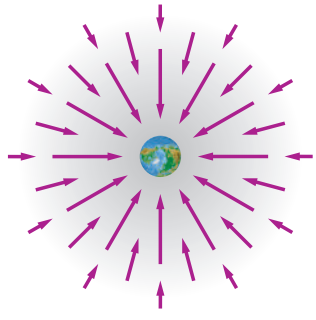
المجال الجاذبي $$g = \frac{GM}{r^2}$$

المجال الجاذبي يساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم، مقسومًا على مربع البعد عن مركز الجسم. ويكون اتجاهه في اتجاه مركز الكتلة.

افترض أن هناك مجالاً جاذبيًّا ناتجًا عن الشمس، فإن أي كوكب كتلته m سيخضع لقوة تؤثر فيه، تعتمد على كتلة الكوكب ومقدار المجال في ذلك المكان؛ أيْ $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{g}$ في اتجاه الشمس.

تنتج القوة بسبب تفاعل كتلة الكوكب مع المجال الجاذبي في مكان وجود الكوكب وليس مع الشمس نفسها التي تبعد ملايين الكيلومترات. وإذا أردنا إيجاد المجال الجاذبي الذي يسببه أكثر من جسم فيجب حساب المجال الجاذبي لكل جسم، ثم تُجْمع جمعًا اتجاهيًّا. ويمكن حساب مجال الجاذبية بوضع جسم كتلته m في المجال، ثم تقاس القوة المؤثرة فيه، وتقسم القوة F على الكتلة m، كما في العلاقة التالية: $g = F/m$، حيث يُقاس المجال الجاذبي بوحدة N/kg التي تساوي أيضًا m/s^2 .

إن شدة المجال الجاذبي عند سطح الأرض تساوي 9.80 N/kg في اتجاه مركز الأرض. ويمكن تمثيل المجال بمتجه طوله g يشير إلى مركز الجسم الذي يُنتج هذا المجال. ويمكنك تصور مجال الأرض بمجموعة من المتجهات تحيط بالأرض وتشير إلى مركزها، **الشكل 12–7**. ويتناسب المجال عكسيًّا مع مربع البعد عن مركز الأرض، كما يعتمد على كتلة الأرض لا على كتلة الجسم.



الشكل 12–7 تشير كل المتجهات الممثلة لمجال الجاذبية إلى اتجاه مركز الأرض. ويضعف المجال كلما ابتعدنا عن الأرض.

نوعا الكتلة
Two Kinds of Mass

تذكـر أنه عند مناقشـة مفهوم الكتلـة في الفصل الرابع، تم تعريف ميل المنحنى في الرسـم البياني للتسارع – القوة أنه مقلوب الكتلة، ويعبّر عنه بالعلاقة $k=\frac{1}{m}$. ومن العلاقة الخطية بـين القوة والتسـارع تم التوصـل إلى أن: $a \propto F$، ومنها $a=kF$، ومن ثم فـإن $a=\frac{1}{m}F$، ولـذا فـإن $m=\frac{F}{a}$؛ أيْ أن الكتلة هي نسـبة مقـدار القوة المحصلة المؤثرة في جسـم ما إلى مقدار تسـارعه. ويسـمى هذا النوع من الكتلة المرتبط بقصور الجسم **كتلة القصور**، وتُمثل بالمعادلة:

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

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

تجربة عملية

هـل كتلـة القصـور تسـاوي كتلـة الجاذبية؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية

تُقـاس كتلة القصور بالتأثير بقوة في الجسـم ثم قياس تسـارعه باسـتعمال ميـزان القصور، ومنها الميزان الموضح في **الشكل 13–7**. وكلما كانت كتلة الجسم أكبر كان الجسم أقل تأثرًا بأي قوة، لذا يكون تسـارعه أقل. وتُعد كتلة القصور مقياسًـا لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من أنواع القوى المؤثرة فيه.

يحتوي قانون نيوتن في الجذب الكوني على كتلة، غير أنها نوع آخر من الكتل. وتحدد الكتلة المستعملة في هذا القانون مقدار قوة الجاذبية بين جسمين، وتسمى **كتلة الجاذبية**. ويمكن

الشكل 13–7 يُمكّنك ميزان القصور من حساب كتلة القصور لجسم ما من خلال الزمن الدوري T لحركة الذهاب والإياب للجسم. وتستعمل كتل معايرة كما في الشكل للحصول على منحنى بين T^2 والكتلة، ثم يقاس الزمن الدوري للكتلة المجهولة التي يمكن معرفتها من الرسم.

الشكل 14–7 يُمكِّننا الميزان ذو الكفتين المبين في الشكل من قياس كتل الأجسام؛ وذلك بمقارنة قوة جذب الأرض لها بقوة جذبها لكتل معيارية.

تجربة عملية

كيف تقيس الكتلة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية

قياسها باستعمال الميزان ذي الكفتين كما في **الشكل 14–7**. فإذا قست قوة الجذب المؤثرة في جسم من جسم آخر كتلته m، وعلى بُعد r أمكنك تعريف كتلة الجاذبية بالطريقة التالية:

كتلة الجاذبية

$$m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm}$$

كتلة الجاذبية لجسم ما تساوي مربع المسافة بين الجسمين مضروبة في مقدار قوة الجاذبية بين الجسمين مقسومة على حاصل ضرب ثابت الجذب الكوني في كتلة الجسم الثاني.

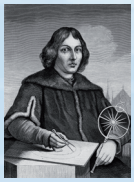
الشكل 15–7 التطورات التي شهدها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية.

600

في نحو عام 370 ق.م صمم الإغريق نظامًا ميكانيكيًّا لشرح حركات الكواكب. اقترح يودوكسوس أن الكواكب والشمس والقمر والنجوم تدور كلها حول الأرض. وفي القرن الرابع قبل الميلاد أدخل أرسطو هذه النظرية الهندسية، وهي نظرية مركزية الأرض، في نظامه الفلسفي.

1400

اهتم المسلمون بدراسة علم الفلك، لمعرفة أوقات الصلاة بحسب الموقع الجغرافي والفصل الموسمي، وتحديد اتجاه القبلة، ورؤية هلال رمضان، واخترعوا حسابات وطرائق بديعة لم يسبقهم إليها أحد. ويعود إلى المسلمين فضل تخليص علم الفلك من الشعوذة والدجل وجعله علمًا خالصًا يعتمد على النظريّة والبرهان.



في عام 1543 م في عصر النهضة الأوربية، قدم نيكولاس كوبرنيكس نموذج مركزية الشمس؛ حيث تدور الكواكب حول الشمس، لا حول الأرض.

كيف يختلف نوعا الكتلتين؟ افترض أن لديك بطيخة في أرضية صندوق سيارتك، فإذا تسارعت السيارة في اتجاه الأمام فإن البطيخة ستتدحرج إلى الخلف بالنسبة إلى السيارة. وهذا بسبب كتلة قصور البطيخة التي تقاوم التسارع. والآن افترض أن السيارة بدأت صعود منحدر، فإن البطيخة ستتدحرج إلى الخلف مرة أخرى ولكنها ستنجذب 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 التجارب التي أُجريت حتى الآن توصلت إلى نتائج تدعم صحة هذا المبدأ. وكان العالم ألبرت أينشتاين أيضًا مهتمًّا بمبدأ التكافؤ وجعله نقطة رئيسة في نظريته عن الجاذبية. ويبين **الشكل 15–7** التطورات التي شهدها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية.

نظرية أينشتاين في الجاذبية
Einstein's Theory of Gravity

يمكِّننا قانون نيوتن في الجذب الكوني من حساب قوة الجاذبية المتبادلة بين جسمين بسبب كتلتيهما.

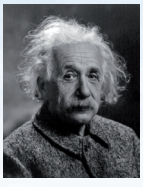
إن مفهوم مجال الجاذبية يتيح لنا تصور طريقة تأثير الجاذبية في الأجسام عندما تكون بعيدة بعضها عن بعض. افترض أينشتاين أن الجاذبية ليست مجرد قوة، بل هي تأثير من الفضاء نفسه، وبناءً على فرضية أينشتاين فإن الكتل تغير الفضاء المحيط بها، فتجعله منحنيًا، وتتسارع الأجسام الأخرى بسبب الطريقة التي تسير بها في هذا الفضاء المنحني.

قدم نيوتن قانون الجاذبية العام ليفسّر حركة الكواكب، واستطاع تفسير الإشكالات التي لم تستطع قوانين كبلر تفسيرها.

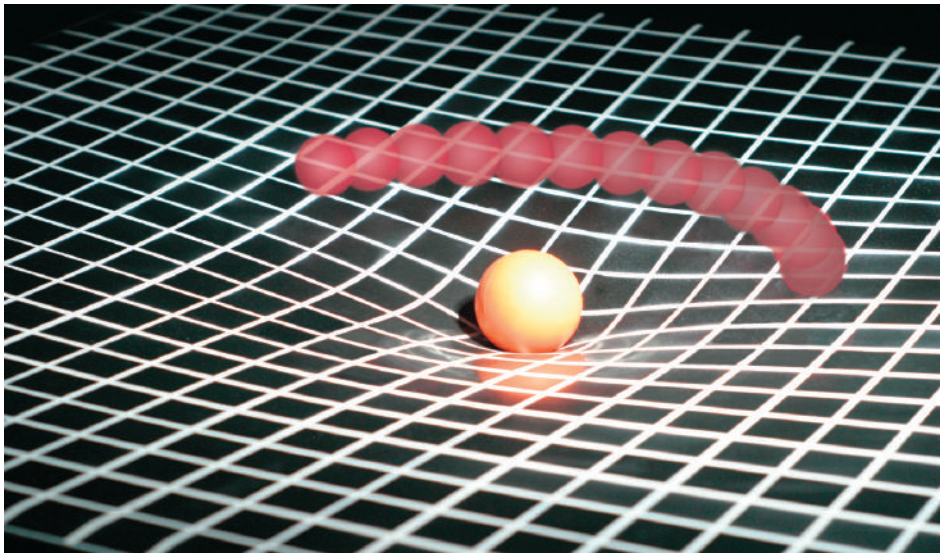
1600

يعد كبلر أول من وضع نظامًا لوصف تفاصيل حركة الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية. ورغم ذلك، لم ينجح كبلر في صياغة نظرية تدعم القوانين التي سجّلها.

1900



النظرية النسبية العامة هي نظرية هندسية للجاذبية، نشرها ألبرت أينشتاين عام 1916م، وتمثّل الوصف الحالي للجاذبية في الفيزياء الحديثة، وذلك بتعميمها للنسبية الخاصة وقانون الجذب العام لنيوتن، وإعطاء وصف موحّد للجاذبية كخاصية هندسية للمكان والزمان، أو الزمكان.



الشكل 16–7 تسبب المادة انحناء الفضاء تمامًا كما يؤثر جسم في شبك مطاطي حوله. الأجسام المتحركة بالقرب من الكتلة تسلك مسارًا منحنيًا في الفضاء. تتحرك الكرة الحمراء في اتجاه حركة عقارب الساعة حول الكتلة المركزية.

من طُرق تصور كيفية تأثر الفضاء بالكتلة، مقارنة الفضاء بشبكة كبيرة من المطاط ثنائية الأبعاد، كما هو موضح في **الشكل 16– 7**، حيث تمثل الكرة الصفراء جسمًا كتلته كبيرة جدًّا على الشبكة، وهي تسبب الانحناء. والكرة الحمراء تدور عبر الشبكة، وتحاكي حركة جسم في الفضاء.

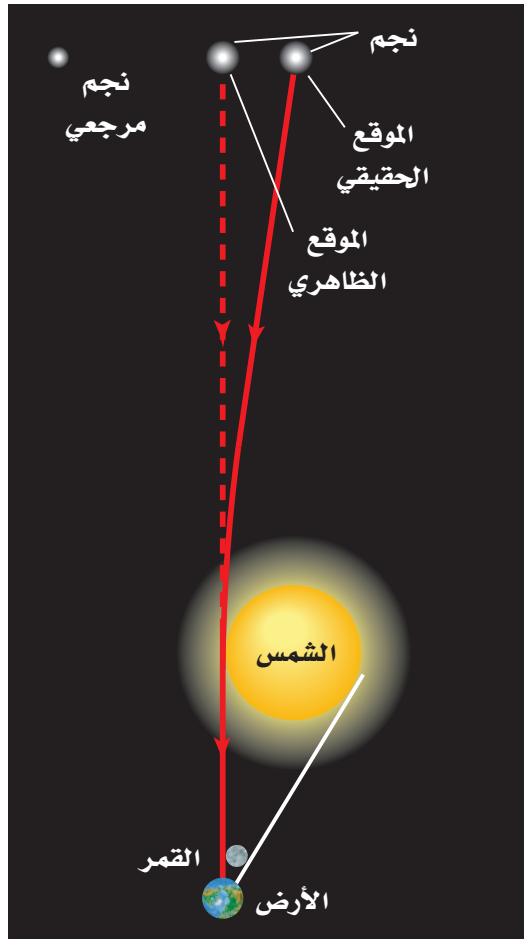
تتسارع الكرة الحمراء عندما تتحرك بالقرب من المنطقة المنحنية من الشبكة. وبالطريقة نفسها فإن كلًّا من الشمس والأرض تجذب الأخرى؛ بسبب طريقة تشوه الفضاء الناجم عن الجسمين.

وقد تنبأت نظرية أينشتاين ـ التي تسمى النظرية النسبية العامة ـ بعدة تنبؤات حول كيفية تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة بعضها في بعض. وقد أعطت نتائج صحيحة لكل الاختبارات التي أجريت في الفترات اللاحقة.

انحراف الضوء تنبأت نظرية أينشتاين بانحراف الضوء عند مروره بالقرب من أجسام ذات كتل كبيرة جدًّا، حيث يتبع الضوء الفضاء المنحني حول الأجسام ذات الكتل الكبيرة مما يؤدي إلى انحنائه، كما هو موضح في **الشكل 17 –7**.

لاحظ علماء الفلك في أثناء كسوف الشمس سنة 1919م أن الضوء القادم من النجوم البعيدة، الذي يمر بالقرب من الشمس، قد انحرف عن مساره بما يحقق تنبؤات أينشتاين.

ومن نتائج النسبية العامة أيضًا تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة في الضوء. فإذا كانت كتلة الجسم كبيرة جدًّا وكثافته كبيرة بشكل كاف فإن الضوء الخارج



الشكل 17–7 الضوء القادم من النجوم البعيدة يتأثر بمجال جاذبية الشمس. الرسم للتوضيح ولا يمثل مقياس رسم حقيقي.

منه يرتدّ إليه بشكل كامل، وبذلك لا يستطيع الضوء الخروج منه أبدًا. وتسمى مثل هذه الأجسام الثقوب السوداء. ويستدل على وجودها من خلال تأثيرها في النجوم القريبة منها. كما يُستفاد من الأشعة الناتجة عن انجذاب المادة إلى الثقوب السوداء وسقوطها فيها – في تحديد هذه الثقوب والكشف عن أماكن وجودها.

وعلى الرغم من أن نظرية أينشتاين تنبأت بشكل دقيق في تأثيرات الجاذبية، إلا أنها لا تزال غير مكتملة؛ فهي لا توضح أصل الكتلة، ولا كيف تعمل الكتلة على تحدب (انحناء) الفضاء. ويعمل الفيزيائيون على فهم الجاذبية وأصل الكتلة نفسها بشكل أعمق.

7–2 مراجعة

14. مجالات الجاذبية يبعد القمر مسافة 3.9×10^5 km عن مركز الأرض، في حين يبعد 1.5×10^8 km عن مركز الشمس. وكتلتا الأرض والشمس 6.0×10^{24} kg، و 2.0×10^{30} kg على الترتيب.

a. أوجد النسبة بين مجال جاذبية الأرض وبين مجال جاذبية الشمس عند مركز القمر.

b. عندما يكون القمر في طور ربعه الثالث (ليلة 21 في الشهر)، **الشكل 18–7**، يكون اتجاهه بالنسبة إلى الأرض عموديًّا على اتجاه الأرض بالنسبة إلى الشمس. ما محصلة المجال الجاذبي للأرض والشمس عند مركز القمر؟

الشكل 18–7

15. مجال الجاذبية كتلة القمر 7.3×10^{22} kg ونصف قطره 1785 km، ما شدة مجال الجاذبية على سطحه؟

16. الزمن الدوري والسرعة قمران اصطناعيان في مدارين دائريين حول الأرض؛ يبعد الأول 150 km عن سطح الأرض، والثاني 160 km.

a. أي القمرين له زمن دوري أكبر؟

b. أي القمرين سرعته أكبر؟

17. حالة انعدام الوزن تكون المقاعد داخل محطة الفضاء عديمة الوزن. إذا كنت على متن إحدى هذه المحطات وكنت حافي القدمين فهل تشعر بالألم إذا ركلت كرسيًّا؟ فسر ذلك.

18. التفكير الناقد لماذا يُعد إطلاق قمر اصطناعي من الأرض إلى مدار ليدور في اتجاه الشرق أسهل من إطلاقه ليدور في اتجاه الغرب؟ وضّح.

مختبر الفيزياء

نمذجة مدارات الكواكب والأقمار

ستحلل في هذه التجربة نموذجًا يبين كيف يُطبق القانونان الأول والثاني لكبلر في الحركة على مدارات الأجسام في الفضاء. ينص القانون الأول لكبلر على أن مدارات الكواكب إهليلجية وتقع الشمس في إحدى بؤرتي المدار. أما القانون الثاني لكبلر فينص على أن الخط الوهمي الواصل بين الشمس والكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية. ويعرف شكل المدار الإهليلجي باللامركزية e، وهي تساوي نسبة البعد بين البؤرتين إلى المحور الرئيس. وعندما يكون الجسم في أبعد مكان له عن الشمس على امتداد المحور الرئيس فإنه يكون في (الأوج). وعندما يكون في أقرب مسافة له من الشمس على امتداد المحور الرئيس فإنه يكون في (الحضيض).

سؤال التجربة

ما شكل مدارات الكواكب والأقمار في النظام الشمسي؟

الأهداف

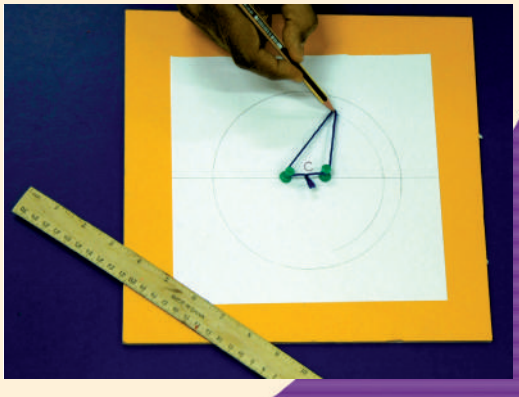
- **تصوغ نماذج** للاستدلال على شكل مدارات الكواكب والأقمار.
- **تجمع وتنظم البيانات** لمسافات الأوج والحضيض للأجسام عندما تدور حول الشمس.
- **تستخلص نتائج** حول القانونين الأول والثاني لكبلر في الحركة.

احتياطات السلامة

- **الدبابيس حادة ويمكن أن تخدش الجسم.**

المواد والأدوات

قطعة ورق مقوى	مسطرة مترية
طبق ورقي أبيض	قلم رصاص
دبوسان	خيوط (25 cm)



الخطوات

1. ثبت قطعة الورق البيضاء على الورق المقوى.
2. ارسم خطًّا عبر منتصف الورقة في اتجاه طولها؛ ليمثّل المحور الرئيس.
3. عين منتصف الخط وسمّه C.
4. اربط أحد الخيوط لتكون حلقة يكون طولها عند سحبها 10 cm. واحسب المسافة بين البؤرتين(d) لكل جسم في الجدول باستعمال المعادلة:

$$d = \frac{2e\ (10.0\ \text{cm})}{e+1}$$

5. لرسم دائرة، ثبّت دبوسًا عند C، وضع الحلقة فوق الدبوس واسحبها بالقلم. وحرك القلم بصورة دائرية حول المركز على أن يتحكم الخيط في حركة القلم.
6. لرسم مدار الأرض، انزع الدبوس من النقطة C، ثم ثبّته على بُعد $\frac{d}{2}$ cm من C على المحور الرئيس.
7. ثبّت الدبوس الآخر على بعد $\frac{d}{2}$ من الجهة الأخرى بالنسبة إلى C، حيث يمثل الدبوسان البؤرتين.
8. ضع الحلقة فوق الدبوسين واسحبها بقلم الرصاص بحيث يتحكم الخيط في حركته.
9. كرّر الخطوات 8 –6 للمذنّب.

جدول البيانات						
الجسم	اللامركزية (e)	d (cm)	الأوج A	الحضيض P	e التجريبية	الخطأ %
الدائرة	0					
الأرض	0.017					
المذنّب	0.70					

10. بعد رسم جميع المدارات، علّم كل مدار بوضع اسمه وقيمة (e) اللامركزية له.

التحليل

1. قِس مسافة الأوج A، وهي البعد بين إحدى البؤرتين وأبعد نقطة على المدار على امتداد المحور الرئيس. وسجّل النتيجة في جدول البيانات.
2. قِس مسافة الحضيض P، وهي البعد بين البؤرة السابقة نفسها وأقرب نقطة على المدار على امتداد المحور الرئيس.
3. احسب اللامركزية التجريبية e من المعادلة:

$$e = \frac{A - P}{A + P}$$

4. **حلّل الخطأ** احسب الخطأ النسبي بين القيمة التجريبية والقيمة المحسوبة لـ e.
5. **حلّل** لماذا يكون المدار ذو القيمة ($e = 0$) دائريًّا؟
6. **قارن** بين مدار الأرض وشكل الدائرة.
7. **لاحظ** أي المدارات يكون إهليلجيًّا في الواقع؟

الاستنتاج والتطبيق

1. هل ينطبق القانون الأول لكبلر على المدار الذي رسمته؟ وضح.
2. درس كبلر بيانات مدار المريخ ($e = 0.093$) واستنتج أن الكواكب تتحرك حول الشمس في مدارات إهليلجية. ماذا كان يستنتج لو كان على المريخ ودرس حركة الأرض؟
3. أين تكون سرعة الكوكب أكبر: عند الأوج أم الحضيض؟ ولماذا؟
4. يساعد القانون الثاني لكبلر على تحديد نسبة سرعة الأرض في الأوج والحضيض (v_A / v_P). لتحديد هذه النسبة احسب أولاً المساحة التي تمسحها الأرض في مدارها، وهذه المساحة تساوي تقريبًا مساحة مثلث مساحته = ½ البعد عن الشمس × سرعته في تلك الفترة × الزمن. إذا كانت المساحة التي يمسحها الكوكب في فترات زمنية محددة(30 يومًا مثلًا) متساوية عند الأوج والحضيض، فإنه يمكن كتابة هذه العلاقة على النحو التالي:

$$\frac{1}{2} P v_P t = \frac{1}{2} A v_A t$$

ما النسبة $\frac{v_P}{v_A}$ لكوكب الأرض؟

التوسع في البحث

1. استعملت طريقة تقريبية للنظر إلى القانون الثاني لكبلر. اقترح تجربة للحصول على نتائج أدق لإثبات القانون الثاني.
2. صمّم تجربة لإثبات القانون الثالث لكبلر.

الفيزياء في الحياة

يدور قمر اصطناعي للاتصالات أو الأرصاد الجوية حول الأرض. هل يحقق هذا القمر قوانين كبلر؟ اجمع بيانات لإثبات إجابتك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن الجاذبية ارجع إلى شبكة الانترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني
www.obeikaneducation.com

الثقوب السوداء Black Holes

ماذا يحدث لو كنت تسافر إلى ثقب أسود؟ سوف يتمدد جسمك، ويصبح مفلطحًا ومن ثم يسحب إلى أجزاء ويتمزق. ما الثقب الأسود؟ وماذا تعرف عن الثقوب السوداء؟

الثقب الأسود إحدى المراحل النهائية المحتملة لتطور نجم. فعندما تتوقف تفاعلات الاندماج في قلب نجم كتلته أكبر من كتلة الشمس 20 مرة ينهار قلب النجم إلى الأبد، وتتجمع الكتلة في أصغر حجم. ويسمى هذا الجسم المتناهي الصغر ذو الكثافة المتناهية في الكبر الجسمَ المفردَ (الاستثنائي). وتكون قوة الجاذبية هائلة حول هذا الجسم فلا يفلت منها شيء حتى الضوء، وتُعرف هذه المنطقة بالثقب الأسود.

لا شيء يستطيع الإفلات في عام 1917 م استنتج العالم الألماني شوارتزشيلد –رياضيًّا– إمكانية وجود الثقوب السوداء. وقد استعمل حلاً لنظرية أينشتاين في النسبية العامة لوصف خصائص الثقب الأسود، واشتق صيغة لنصف قطر سمِّي نصف قطر شوارتزشيلد، لا يمكن للضوء ولا للمادة الإفلات من قوة الجاذبية خلاله. ويعبَّر عن نصف قطر شوارتزشيلد بالعلاقة:

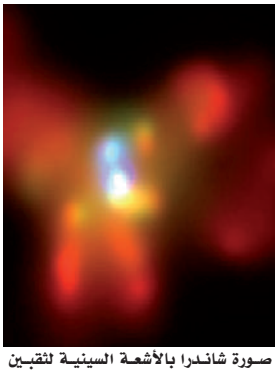
$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

حيث تمثل G ثابت نيوتن في الجذب الكوني، وM كتلة الثقب الأسود، وc سرعة الضوء.

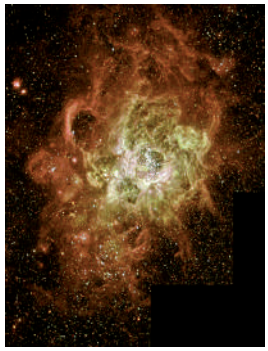
تُعرف حافة الكرة التي نصف قطرها R_s بأفق الحدث. وسرعة الإفلات عند أفق الحدث تساوي سرعة الضوء؛ ولأنه لا يوجد شيء يسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء فإن الأجسام التي تقترب من هذه المنطقة لا يمكن أن تنجو أو تفلت.

دلائل مباشرة وغير مباشرة للثقوب السوداء ثلاث خصائص يمكن قياسها نظريًّا، هي: الكتلة، والزخم الزاوي، والشحنة الكهربائية. ويمكن تحديد كتلة الثقب الأسود من خلال المجال الجاذبي الذي يولده. وتحسب الكتلة باستعمال صيغة معدلة للقانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. وقد أثبتت دراسات (ناسا) أن الثقب الأسود يدور حول نفسه مثل النجوم والكواكب. ويدور الثقب الأسود لأنه يحتفظ بالزخم الزاوي للنجم الذي كوَّنه. ويفترض العلماء أن الثقب الأسود يمكن أن يشحن كهربائيًّا عندما يسقط عليه أحد أنواع الشحنة الكهربائية الزائدة، على الرغم من عدم قدرة العلماء على قياس شحنته حتى الآن. كما أمكن الكشف عن الأشعة السينية الناتجة عن الغازات الفائقة الحرارة.

على الرغم من أننا لا نعرف كل شيء عن الثقوب السوداء إلا أن هناك دلائل مباشرة وغير مباشرة على وجودها. وسوف تؤدي الأبحاث المتواصلة والبعثات الخاصة إلى فهم أكبر لحقيقة الثقوب السوداء.



صورة شاندرا بالأشعة السينية لثقبين أسودين في NGC 6240.



صورة هابل للمجرة NGC 6240

التوسع

حل يمكن تحديد سرعة الإفلات لجسم لدى مغادرته لجرم فضائي وفقًا للمعادلة:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R_s}}$$

حيث: G ثابت نيوتن في الجذب الكوني، وM كتلة الثقب الأسود، وR_s نصف قطر الثقب الأسود. بيّن أن هذه السرعة تساوي سرعة الضوء c.

الفصل 7

دليل مراجعة الفصل

7–1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

- ينص القانون الأول لكبلر على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.
- ينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمان متساوية.
- ينص القانون الثالث لكبلر على أن مربع النسبة بين الزمنين الدوريين لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين بعديهما عن الشمس.

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

- ينص قانون نيوتن في الجذب الكوني على أن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًا مع مربع المسافة بين مركزيهما، ويعبر عن قوة الجذب بالعلاقة:

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

- يمكن استعمال قانون نيوتن في الجذب الكوني لإعادة كتابة القانون الثالث لكبلر على الصورة التالية:

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

حيث m_s كتلة الشمس.

7–2 استخدام قانون الجذب الكوني Using the Law of Universal Gravitation

المفردات

- مجال الجاذبية
- كتلة القصور
- كتلة الجاذبية

المفاهيم الرئيسة

- يُعبر عن سرعة جسم يتحرك في مدار دائري بالقانون:

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

- يُعبر عن الزمن الدوري لقمر اصطناعي يتحرك في مدار دائري بالعلاقة:

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

- كل الأجسام لها مجالات جاذبية تحيط بها. $g = \frac{Gm}{r^2}$
- كتلتا القصور والجاذبية مفهومان مختلفان، إلا أنهما متساويان في مقدار الكتلتين.

$$m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm} \qquad m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$$

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

الفصل 7
التقويم

خريطة المفاهيم

19. كوّن خريطة مفاهيمية مستعملاً هذه المصطلحات: كواكب، نجوم، قانون نيوتن للجذب الكوني، القانون الأول لكبلر، القانون الثاني لكبلر، القانون الثالث لكبلر.

إتقان المفاهيم

20. تتحرك الأرض في مدارها خلال الصيف ببطء في نصفها الشمالي أكبر ممّا هي عليه في الشتاء، فهل هي أقرب إلى الشمس في الصيف أم في الشتاء؟ (7-1)

21. هل المساحة التي تمسحها الأرض في وحدة الزمن (m^2/s) عند دورانها حول الشمس تساوي المساحة التي يمسحها المريخ في وحدة الزمن (m^2/s) عند دورانه حول الشمس؟ (7-1)

22. لماذا اعتقد نيوتن أن هناك قوة تؤثر في القمر؟ (7-1)

23. كيف أثبت كافندش وجود قوة جاذبية بين جسمين صغيرين؟ (7-1)

24. ماذا يحدث لقوة الجذب بين كتلتين عند مضاعفة المسافة بينهما؟ (7-1)

25. ما الذي يحافظ على القمر الاصطناعي فوقنا؟ وضح ذلك. (7-2)

26. يدور قمر اصطناعي حول الأرض. أي العوامل التالية تعتمد عليها سرعته؟ (7-2)

a. كتلة القمر.

b. البعد عن الأرض.

c. كتلة الأرض.

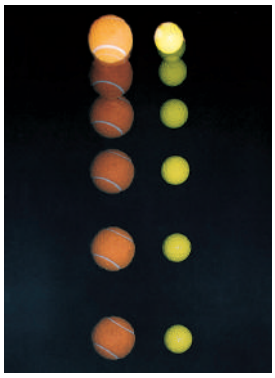
27. ما مصدر القوة التي تسبب التسارع المركزي لقمر اصطناعي في مداره؟ (7-2)

28. بيّن أن وحدات g في المعادلة $g = F/m$ هي m/s^2. (7-2)

29. لو كانت كتلة الأرض ضعف ما هي عليه مع بقاء حجمها ثابتًا، فماذا يحدث لقيمة g؟ (7 - 2)

تطبيق المفاهيم

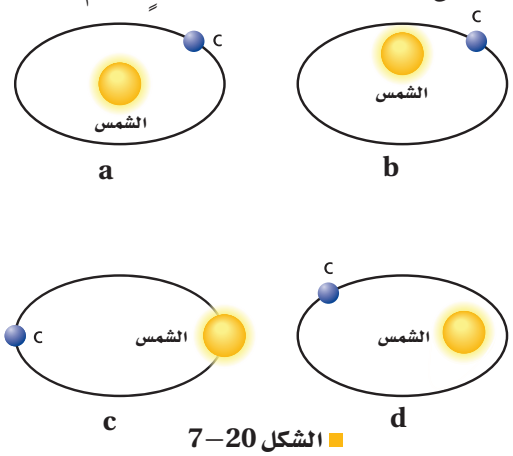
30. **كرة التنس** قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم ما قرب سطح الأرض تتناسب مع كتلة الجسم. يبين **الشكل 19-7** كرة تنس وكرة تنس طاولة في حالة سقوط حر. لماذا لا تسقط كرة التنس بسرعة أكبر من كرة تنس الطاولة؟



الشكل 19-7

31. ما المعلومات التي تحتاج إليها لإيجاد كتلة المشتري باستعمال صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر؟

32. قرّر إذا كان كل مدار من المدارات الموضحة في **الشكل 20-7** مدارًا ممكنًا لكوكبٍ ما أم لا.



الشكل 20-7

33. يجذب القمر والأرض كل منهما الآخر، فهل تجذب الأرض ذات الكتلة الأكبر القمر بقوة أكبر من قوة جذب القمر لها؟ فسّر ذلك.

تقويم الفصل 7

34. ماذا يحدث للثابت G إذا كانت كتلة الأرض ضعف قيمتها، وبقي حجمها ثابتًا؟

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

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

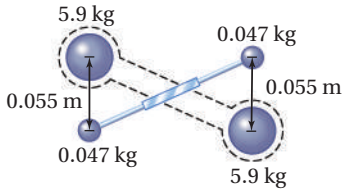
37. إذا ضاعفنا كتلة تخضع لمجال الأرض الجاذبي، فماذا يحدث للقوة التي يولدها هذا المجال على هذه الكتلة؟

إتقان حل المسائل

7–1 حركة الكواكب والجاذبية

38. المشتري أبعد من الأرض عن الشمس 5.2 مرة. احسب الزمن الدوري له بالسنوات الأرضية.

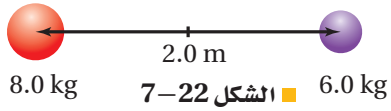
39. يبين **الشكل 7–21** جهاز كافندش المستعمل في حساب G. وهناك كتلة رصاص كبيرة 5.9 kg وكتلة صغيرة 0.047 kg، المسافة بين مركزيهما 0.055 m، احسب قوة التجاذب بينهما.



الشكل 7–21

40. باستعمال **الجدول 1–7**، احسب القوة التي تؤثر بها الشمس في المشتري.

41. إذا كان البعد بين مركزي كرتين 2.0 m، كما في **الشكل 22–7**. وكانت كتلة إحداهما 8.0 kg وكتلة الأخرى 6.0 kg، فما قوة الجاذبية بينهما؟



الشكل 7–22

42. كرتان متماثلتان، كتلة كل منهما 6.8 kg، والبعد بين مركزيهما 21.8 cm. ما قوة الجاذبية التي تؤثر بها كل منهما في الأخرى؟ (2-7)

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

44. **أورانوس** يحتاج أورانوس إلى 84 سنة ليدور حول الشمس. احسب نصف قطر مدار أورانوس بدلالة نصف قطر مدار الأرض.

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

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

a. ما معدل المساحة (m^2/s) التي تمسحها الأرض في مدارها حول الشمس؟

b. ما معدل المساحة (m^2/s) 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 يومًا.

7–2 استخدام قانون الجذب الكوني

47. كتاب كتلته 1.25 kg ووزنه في الفضاء 8.35 N، ما قيمة المجال الجاذبي في ذلك المكان؟

48. إذا كانت كتلة القمر 7.34×10^{22} kg وبُعد مركزه عن مركز الأرض 3.8×10^8 m، وكتلة الأرض 5.97×10^{24} kg، فاحسب:

a. مقدار قوة الجذب الكتلي بينهما.

b. مقدار مجال الجاذبية للأرض على القمر.

49. إذا كان وزن أخيك الذي كتلته 91 kg على سطح القمر هو 145.6 N، فما قيمة مجال الجاذبية للقمر على سطحه؟

تقويم الفصل 7

50. رائد فضاء إذا كانت كتلة رائد فضاء 80 kg، وقد فقد 25% من وزنه عند نقطة في الفضاء، فما شدة مجال جاذبية الأرض عند هذه النقطة؟

مراجعة عامة

51. استعمل البيانات الخاصة بالأرض في **الجدول 1–7** لحساب كتلة الشمس باستخدام صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر.

52. استعمل البيانات في **الجدول 1–7** لحساب مقدار السرعة والزمن الدوري لقمر اصطناعي يدور حول المريخ على ارتفاع 175 km من سطحه.

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

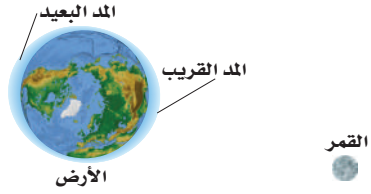
التفكير الناقد

54. حلل واستنتج يقول بعض الناس إن المد الذي يحدث للماء على سطح الأرض تسببه قوة سحب من القمر. هل هذه العبارة صحيحة؟

a. أوجد القوى التي تؤثر بها الشمس والقمر في كتلة m من الماء على سطح الأرض. اجعل إجابتك بدلالة m.

b. أي الجسمين يجذب الماء الموجود على سطح الأرض بقوة أكبر: الشمس أم القمر؟

c. أوجد الفرق بين القوتين اللتين يؤثر بهما القمر في الماء الموجود على سطح الأرض القريب منه، والبعيد عنه، كما يبين **الشكل 23–7**، وذلك بدلالة الكتلة m.



الشكل 23–7

d. أوجد الفرق بين القوتين اللتين تؤثر بهما الشمس في الماء الموجود على سطح الأرض، القريب منها، والبعيد عنها.

e. أيّ الجسمين– الشمس أم القمر– له فرق كبير بين القوتين اللتين يسببهما على الماء الموجود على سطح الأرض، القريب منه والسطح البعيد عنه؟

f. لماذا تُعد العبارة التالية مضلّلة: "ينتج المد عن قوة جذب من القمر"؟ استبدل بها عبارة صحيحة توضح كيف يسبب القمر ظاهرة المدّ على الأرض.

الكتابة في الفيزياء

55. اكتب نبذة عن التطور التاريخي لقياس البعد بين الشمس والأرض.

56. استكشف جهود الفلكيين في اكتشاف كواكب حول نجوم أخرى غير الشمس، وما الطرائق التي استعملها الفلكيون؟ وما القياسات التي أجروها وحصلوا عليها؟ وكيف استعملوا القانون الثالث لكبلر؟

مراجعة تراكمية

57. الطائرات أقلعت طائرة من مدينة الدمام عند الساعة 2:20 بعد الظهر، وحطت في مطار الرياض 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؟

58. حشرة البطاطس تدور حشرة كتلتها 1.0 g حول الحافة الخارجية لقرص قطره 17.2 cm بسرعة 0.63 cm/s. ما مقدار القوة المركزية المؤثرة في الحشرة؟ وما المصدر الذي يسبب هذه القوة؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

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

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

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

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

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

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

3. قمران في مداريهما حول كوكب ما. فإذا كانت كتلة القمر A تساوي $1.5\times10^{2}\ kg$، وكتلة القمر B تساوي $4.5\times10^{3}\ kg$، وكتلة الكوكب $6.6\times10^{24}\ kg$، وكان لمداريهما نصف القطر نفسه وهو $6.8\times10^{6}\ m$، فما الفرق بين الزمنين الدوريين للقمرين؟

Ⓐ لا يوجد فرق Ⓒ $2.2\times10^{2}\ s$

Ⓑ $1.5\times10^{2}\ s$ Ⓓ $3.0\times10^{2}\ s$

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

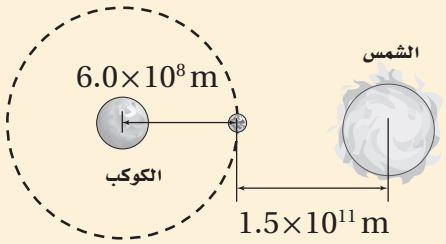
Ⓐ $1.2\pi\times10^{2}\ s$ Ⓒ $1.2\pi\times10^{3}\ s$

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

5. يدور قمر حول كوكب، ويخضع في أثناء ذلك لقوة جذب من الكوكب وقوة جذب من الشمس أيضًا. يبين الرسم أدناه القمر في حالة كسوف الشمس عندما يكون الكوكب والقمر والشمس على خط واحد. فإذا كانت كتلة القمر $3.9\times10^{21}\ kg$، وكتلة الكوكب $2.4\times10^{26}\ kg$، وكتلة الشمس $2.0\times10^{30}\ kg$، وبُعد القمر عن مركز الكوكب $6.0\times10^{8}\ m$، وبُعد القمر عن مركز الشمس $1.5\times10^{11}\ m$، فما النسبة بين قوة الجاذبية التي يؤثر بها الكوكب في القمر وقوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في القمر خلال كسوف الشمس؟

Ⓐ 0.5 Ⓒ 5.0

Ⓑ 2.5 Ⓓ 7.5



الأسئلة الممتدة

6. قمران في مداريهما حول كوكب، فإذا كان القمر S_1 يستغرق 20 يومًا ليدور حول الكوكب ويبعد عن مركزه $2\times10^{5}\ km$، في حين أن القمر S_2 يستغرق 160 يومًا، فما بُعد القمر S_2 عن مركز الكوكب؟

✓ إرشاد

خطّط لعملك ونفّذ خطتك

خطِّط لعملك بحيث تعمل قليلاً ولكن بشكل يومي منتظم، بدلاً من عمل الكثير في وقت واحد؛ فمفتاح فهم وحفظ المعلومات يكون بتكرار المراجعة والممارسة. فإذا درست ساعة واحدة في الليلة خمسة أيام متتالية سيكون فهم المعلومات وحفظها أفضل من الاعتكاف على الدراسة طوال الليل قبل الاختبار.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

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

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كلتيهما تتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

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

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

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

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

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

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

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

a. 2.33 km + 3.4 km + 5.012 km

b. 45 g - 8.3 g

c. 3.40 cm × 7.125 cm

d. 54 m ÷ 6.5 s

المجاميع Combination

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

أمثلة:

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

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

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

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

$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل عليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

مثال:

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

لا تُجرِ التقريب إلى $1800N^2$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

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

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

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

$$= 43\ N$$

فصل المتغير Isolating aVariable

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

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

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على v

$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $(\frac{V}{V})$

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

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

2. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3x = 17$ **b.** $x - 4 = 2 - 3x$ **c.** $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$ **e.** $6 = \frac{2x+3}{x}$ **f.** $ax + bx + c = d$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

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

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

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

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

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

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

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

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

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

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

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

مسائل تدريبية

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

a. $\sqrt{22}$ **b.** $\sqrt[3]{729}$ **c.** $\sqrt{676}$ **d.** $\sqrt[3]{46.656}$

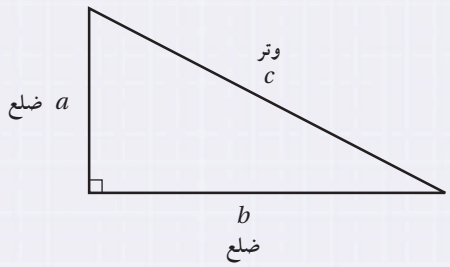
4. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

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

5. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

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

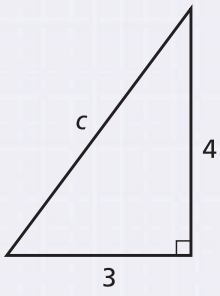
المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من b، a يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

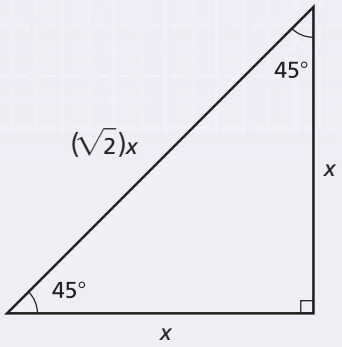
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4\text{ cm}$ و $b = 3\text{ cm}$

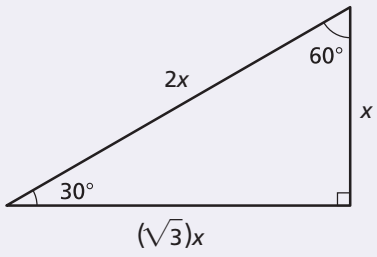


$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4\text{ cm})^2 + (3\text{ cm})^2} \\ &= \sqrt{16\text{ cm}^2 + 9\text{ cm}^2} \\ &= \sqrt{25\text{ cm}^2} \\ &= 5\text{ cm} \end{aligned}$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 45°، 45°، 90° فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 90°، 60°، 30° فإن طول الوتر يساوي ضعف طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مرة من طول الضلع الأصغر.



النسب المثلثية Trigonometric Ratios

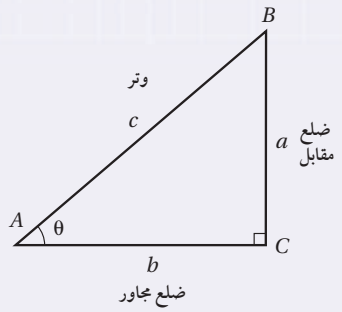
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin\theta$، وجيب التمام $\cos\theta$ والظل $\tan\theta$. ولاختصار هذه النسب تعلّم الاختصارات التالية SOH–CAH–TOA. تشير SOH إلى جيب ، مقابل الوتر، وتشير CAH إلى جيب تمام، مجاور الوتر وتشير TOA إلى ظل تمام، مقابل المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $a = 3\text{ cm}$، $b = 4\text{ cm}$، $c = 5\text{ cm}$، فأوجد كلًّا من $\cos\theta$ و $\sin\theta$

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0°$، $c = 20.0\text{ cm}$، فأوجد a و b.

$$\sin 30.0° = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0° = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0°) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0°) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

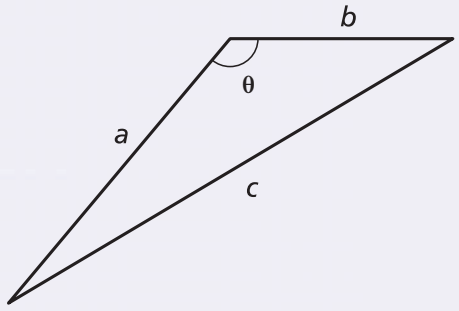
يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس فيما عدا الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع c. فإذا كان قياس الزاوية $\theta = 90°$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفرًا.

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا (θ) عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0\text{ cm}$، $b = 12.0\text{ cm}$، $\theta = 110.0°$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\text{ cm})^2 + (12.0\text{ cm})^2 - 2(10.0\text{ cm})(12.0\text{ cm})(\cos 110.0°)}$$

$$= \sqrt{1.00\times10^2\text{ cm}^2 + 144\text{ cm}^2 - (2.4\times10^2\text{ cm}^2)(\cos 110.0°)}$$

$$= 18.1\text{ cm}$$

قانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاث نسب، حيث C، B، A الأضلاع المقابلة للزوايا c، b، a بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin a}{A} = \frac{\sin b}{B} = \frac{\sin c}{C}$$

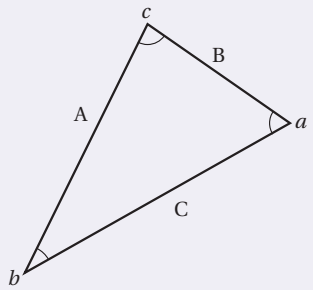
مثال: في المثلث أدناه، إذا كان $c = 60.0°$، $A = 4.0\text{ cm}$، $C = 4.6\text{ cm}$، فاحسب قياس الزاوية a.

$$\frac{\sin a}{A} = \frac{\sin c}{C}$$

$$\sin a = \frac{A\sin c}{C}$$

$$= \frac{(4.0\text{ cm})(\sin 60.0°)}{4.6\text{ cm}}$$

$$= 49°$$



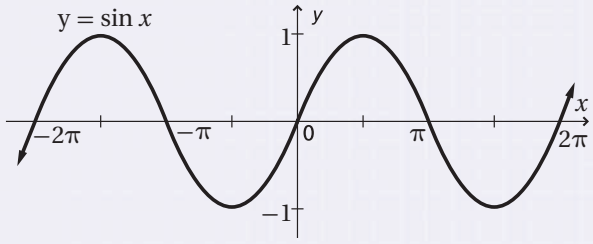
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

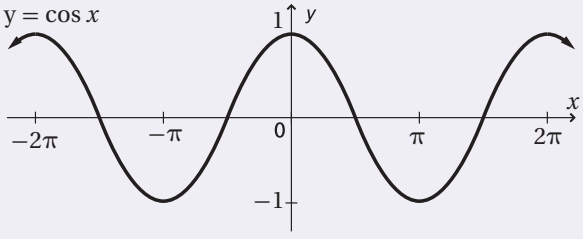
إن معكوس كل من الجيب وجيب التمام وظل التمام يمكنك من عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية، والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس	
$y = \sin x$	$x = \sin^{-1} y$	أو معكوس $x = \sin y$
$y = \cos x$	$x = \cos^{-1} y$	أو معكوس $x = \cos y$
$y = \tan x$	$x = \tan^{-1} y$	أو معكوس $x = \tan y$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ واقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. وفترة كل اقتران يمكن أن تكون كل من y ، x أي عدد حقيقي.





الجداول

البادئات		
البادئة	الرمز	التعبير العلمي
femto	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
dica	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الوحدة	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joule	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	Pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 atm = 101 kPa	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 in = 2.54 cm
1 cal = 4.184 J	1 oz ↔ 28.4 g	1 mi = 1.61 km
$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J	1 kg ↔ 2.21 lb	
1kwh = 3.60 MJ	1 lb = 4.45 N	1 gal = 3.79 L
1 hp = 746 W	1 atm = 14.7 lb/in^2	$1 m^3 = 264$ gal
1 mol= 6.022×10^{23}	$1atm = 1.01 \times 10^5$ N/m^2	

المصطلحات

أ

الاحتكاك الحركي
Kinetic Friction
القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في الآخر عندما يحتكّ سطحان أحدهما بالآخر بسبب حركة أحدهما أو كليهما.

الاحتكاك السكوني
Static Friction
القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في السطح الآخر عندما لا توجد حركة بينهما.

ت

تحليل المتجه
Vector Resolution
عملية تجزئة المتجه إلى مركّبتيه الأفقية والعمودية.

التسارع المركزي
Centripetal Acceleration
تسارع جسم يتحرك حركة دائرية بسرعة ثابتة المقدار ويكون في اتجاه مركز الدائرة التي يتحرك فيها الجسم.

ح

الحركة الدائرية المنتظمة
Uniform Circular Motion
حركة جسم أو جسيم في مسار بسرعة ثابتة المقدار حول دائرة نصف قطرها ثابت.

ق

القانون الأول لكبلر
Kepler's First law
ينص على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.

القانون الثالث لكبلر
Kepler's Third law
ينص على أن مربع نسبة الزمن الدوري لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعديهما عن الشمس.

القانون الثاني لكبلر
Kepler's Second law
ينص على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية.

قانون الجذب الكوني (العام)
Law of Universal Gravitation
ينص على أن قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما.

المصطلحات

قوة الجاذبية Gravitational Force
قوة التجاذب بين جسمين، وتتناسب طرديًّا مع كتل الأجسام.

القوة الطاردة عن المركز Centrifugal Force
قوة وهمية يبدو أنها تسحب الجسم المتحرك بسرعة دائرية ثابتة.

القوة المركزية Centripetal Force
محصلة القوى التي تؤثر في اتجاه مركز دائرة، وتسبب التسارع المركزي للجسم.

القوة الموازِنة Equilibrant
قوة تجعل الجسم متزنًا، وتكون مساوية في المقدار لمحصلة القوى ومعاكسة لها في الاتجاه.

ك

كتلة الجاذبية Gravitational Mass
تحدد مقدار قوة الجاذبية بين جسمين.

كتلة القصور Inertial Mass
مقياس لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من القوى.

م

مجال الجاذبية Gravitational Field
تأثير محيط بجسم له كتلة، و يساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم ومقسومًا على مربع البُعد عن مركز الجسم.

مُركّبة المتجه Component of Vector
مسقط المتجه على أحد المحاور.

مسار المقذوف Trajectory
مسار يسلكه الجسم المقذوف في الفضاء.

معامل الاحتكاك الحركي Coefficient of Kinetic Friction
ميل الخط الممثل للعلاقة البيانية بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية، وهو ثابت بلا وحدات قياس.

معامل الاحتكاك السكوني Coefficient of Static Friction
ثابت بلا وحدات قياس، يعتمد على السطحين المتلامسين، ويستعمل لحساب قوة الاحتكاك السكونية العظمى قبل بداية الحركة.

المقذوف Projectile
جسم يُطلق في الهواء مثل كرة القدم، وله حركتان مستقلتان؛ إحداهما أفقية والأخرى رأسية، وبعد إطلاقه يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبية فقط.