وزارة التربية والتعليم
Ministry of Education
المملكة العربية السعودية

الفيزياء

للصف الأول الثانوي - الفصل الدراسي الأول

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
عماد فؤاد صباغ
خلدون سليمان المصاروه
زهير يوسف حداد
عبدالرحمن بن 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 © 2008 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 في إطار الخطة العامة للمملكة، 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 هو 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 لما 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 أربعة فصول، هي: مدخل إلى علم الفيزياء، وتمثيل الحركة، والحركة المتسارعة، والقوى في بُعد واحد. ستتعرف 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 بدء دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطّلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع 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 أن هناك دليلًا منفصلًا 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 في تعلمه 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 إلى التأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

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

قائمة المحتويات

الفصل 1

مدخل إلى علم الفيزياء 8

1–1 الرياضيات والفيزياء..... 9

1–2 القياس..... 16

الفصل 2

تمثيل الحركة 30

2–1 تصوير الحركة..... 31

2–2 الموقع والزمن..... 34

2–3 منحنى (الموقع –الزمن) 38

2–4 السرعة المتجهة 43

الفصل 3

الحركة المتسارعة 58

3–1 التسارع (العجلة) 59

3–2 الحركة بتسارع ثابت..... 70

3–3 السقوط الحر..... 79

الفصل 4

القوى في بعد واحد 94

4–1 القوة والحركة 95

4–2 استخدام قوانين نيوتن..... 105

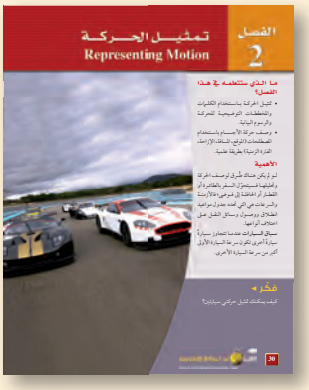
4–3 قوى التأثير المتبادل..... 112

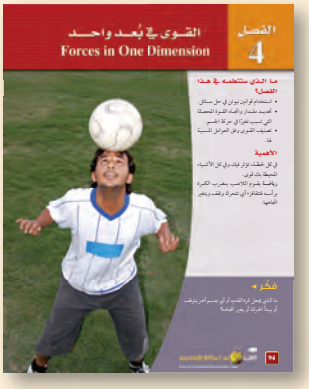
مصادر تعليمية للطالب..... 130

دليل الرياضيات..... 131

الجداول 150

المصطلحات..... 152





الفصل 1

مدخل إلى علم الفيزياء
A Physics Toolkit

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- استخدام الطُّرق الرياضية للقياس والتوقع.
- تطبيق أسس الدقة والضبط عند القياس.

الأهمية

ستساعدك القياسات والطُّرق الرياضية في هذا الفصل على تحليل النتائج ووضع التوقعات.

الأقمار الاصطناعية القياسات الدقيقة والمضبوطة مهمة جدًّا في صناعة الأقمار الاصطناعية، وفي إطلاقها ومتابعتها؛ لأنه ليس من السهل تدارك الأخطاء فيما بعد. وقد أحدثت الأقمار الاصطناعية –ومنها تلسكوب هابل الفضائي المبيّن في الصورة– ثورة كبيرة في مجال الأبحاث العلمية والاتصالات.

فكِّر ◄

قادت أبحاث الفيزياء إلى العديد من الابتكارات التقنية؛ ومنها الأقمار الاصطناعية المستخدمة في الاتصالات وفي التصوير التلسكوبي. اذكر أمثلة أخرى على الأجهزة والأدوات التي طورتها الأبحاث الفيزيائية خلال الخمسين عامًا الماضية.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

هل تسقط جميع الأجسام بالسرعة نفسها؟

سؤال التجربة كيف يؤثر وزن الجسم في سرعة سقوطه؟

الخطوات

اشتملت كتابات الفيلسوف الإغريقي أرسطو على دراسات لبعض نظريات علم الفيزياء التي كان لها تأثير كبير في أواخر القرون الوسطى. حيث اعتقد أرسطو أن الوزن عامل مؤثر في سرعة سقوط الجسم، وأن سرعة سقوط الجسم تزداد مع ازدياد وزنه. وقد استقصى جاليليو ذلك للتأكد من صحته.

1. ألصق أربع قطع نقد معدنية (من فئة 50 هللةً) معًا باستخدام شريط لاصق.
2. ضع القطع النقدية الملتصقة على راحة يدك، وضع إلى جوارها قطعة نقد واحدة.
3. **لاحظ** من خلال دفع القطع لراحة يدك، أيها أثقل: القطع الملتصقة أم القطعة الواحدة؟
4. **لاحظ** أسقط القطع جميعها من يدك في الوقت نفسه، ثم لاحظ حركتها.

التحليل

وفقًا لنظرية أرسطو، ما سرعة سقوط قطعة النقد مقارنة بالقطع الملتصقة؟ ماذا تستنتج؟

التفكير الناقد وضّح تأثير كل من الخصائص التالية في سرعة سقوط الجسم: الحجم، الكتلة، الوزن، اللون، الشكل.

1–1 الرياضيات والفيزياء Mathematics and Physics

ما الذي يخطر ببالك عندما ترى أو تسمع كلمة «فيزياء»؟ يتخيل كثير من الناس سبورة كُتب عليها معادلات رياضية فيزيائية مثل:

$$E = mc^2 \text{، } I = \frac{V}{R} \text{، } d = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + d_0$$

ولعلك تتخيل علماء وباحثين يرتدون معطف المختبر الأبيض، وقد تتخيّل وجوهًا شهيرة في عالم الفيزياء مثل ألبرت أينشتاين أو إسحق نيوتن وغيرهما، وقد تُفكر في الكثير من التطبيقات التقنية الحديثة التي طوّرها علم الفيزياء، ومنها الأقمار الاصطناعية، والكمبيوتر المحمول، وأشعة الليزر، وغيرها.

الأهداف

- **توضح** الطريقة العلمية.
- **تجري** العمليات الحسابية وفقًا للقوانين الفيزيائية، وباستخدام التعبير العلمي.

المفردات

الفيزياء
الطريقة العلمية
الفرضية
النماذج العلمية
القانون العلمي
النظرية العلمية

ما الفيزياء؟ What is Physics?

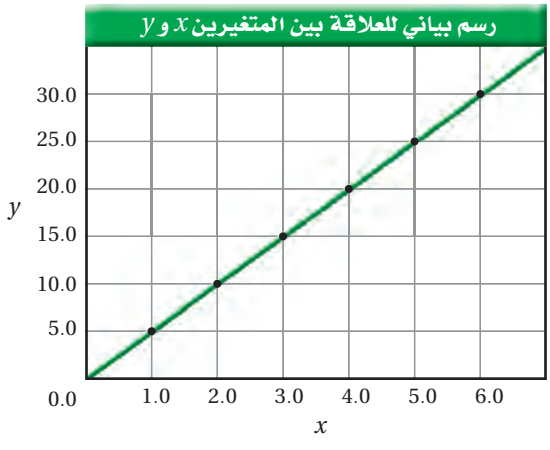
الفيزياء فرع من فروع العلم يُعنى بدراسة العالَم الطبيعي: الطاقة والمادة وكيفية ارتباطهما. فعلماء الفيزياء يدرسون طبيعة حركة الإلكترونات والصواريخ، والطاقة في الموجات الضوئية والصوتية، وفي الدوائر الكهربائية، وتركيب المادة بدءًا بالإلكترون وانتهاءً بالكون. إن الهدف من دراسة هذا الكتاب هو مساعدتك على فهم العالم الفيزيائي من حولك.

يعمل دارسو الفيزياء في مجالات ومهن عديدة؛ فبعضهم يعمل باحثًا في الجامعات والكليات أو في المصانع ومراكز الأبحاث، والبعض الآخر يعمل في المجالات الأخرى المرتبطة مع علم الفيزياء، ومنها الفلك والهندسة وعلم الكمبيوتر والتعليم والصيدلة. وهناك آخرون يستخدمون مهارات حل المشكلات الفيزيائية في مجالات الأعمال التجارية والمالية وغيرها.

الرياضيات في الفيزياء Mathematics in Physics

يستخدم علماء الفيزياء الرياضيات بوصفها لغة قادرة على التعبير عن القوانين والظواهر الفيزيائية بشكل واضح ومفهوم. وفي علم الفيزياء تمثل المعادلات الرياضية أداة مهمة لنمذجة المشاهدات ووضع التوقعات لتفسير الظواهر الفيزيائية المختلفة. فبالعودة إلى التجربة الاستهلالية تستطيع أن تتوقع أنه عند إسقاط قطع النقد المعدنية فإنها تسقط في اتجاه الأرض. ولكن بأي سرعة تسقط؟ يمكن التعبير عن سقوط القطع المعدنية بنماذج مختلفة يعطي كل منها إجابة مختلفة عن طريقة تغير السرعة في أثناء السقوط، أو ما تعتمد عليه هذه السرعة. وبحساب سرعة الجسم الساقط يمكنك مقارنة نتائج التجربة بما توقعته في النماذج السابقة، مما يتيح لك اختيار أفضلها، والشروع في تطوير نموذج رياضي جديد يعبّر عن الظاهرة الفيزيائية بشكل أفضل.

يمكن مثلًا استخدام الرسوم البيانية؛ فهي تتيح الوصول إلى المعلومات بشكل سريع وسهل. فالأنماط التي لا يمكن رؤيتها بسهولة في قائمة من الأرقام تأخذ شكلاً واضحًا ومحددًا عندما تمثَّل بالرسم. وقد تأخذ النقاط المبعثرة في الرسم البياني عدة أشكال عند توصيلها معًا بخط المواءمة الأفضل؛ وهو أفضل خط بياني يمرّ بالنقاط كلها تقريبًا. فعند توصيل النقاط المبعثرة في الشكل المجاور نحصل على علاقة خطية طردية بين المتغيرين x وy. ولتعرّف العلاقات الأخرى ارجع إلى دليل الرياضيات في آخر الكتاب، وكتاب الرياضيات للصف الثالث المتوسط: العلاقات الخطية والعلاقات التربيعية.



مثـــال 1

فرق الجهد الكهربائي V في دائرة كهربائية يساوي حاصل ضرب شدة التيار الكهربائي I في المقاومة الكهربائية R في تلك الدائرة؛ أي أن: $V(volts) = I(amperes) \times R(ohms)$. ما مقاومة مصباح كهربائي يمر فيه تيار كهربائي مقداره 0.75 *amperes* عند وصله بفرق جهد مقداره 120 *volt*؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- إعادة كتابة المعادلة.
- تعويض القيم .

المعلوم	المجهول
$I = 0.75\ amperes$	$R = ?$
$V = 120\ volts$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

نعيد كتابة المعادلة ليكون المجهول وحده على الطرف الأيسر للمعادلة

$V = IR$

بعكس طرفي المعادلة

$IR = V$

بقسمة كلا الطرفين على I

$R = \frac{V}{I}$

بالتعويض $I = 0.75\ amperes$ ، $V = 120\ volts$

$R = \frac{120\ volts}{0.75\ amperes}$

نحصل على المقاومة بوحدة (Ω) أو *ohms*

$R = 160\ ohms$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $1\ ohm = 1\ ampere\ .1\ volt$، وتلاحظ أن الجواب بوحدة $volts/ampere$ وهذه الوحدة هي وحدة *ohms* نفسها، كما هو متوقع.
- **هل الجواب منطقي؟** قُسِّمَ الرقم 120 على عدد أقل قليلًا من 1، فمن المنطقي أن يكون الجواب أكبر قليلًا من 120.

مسائل تدريبية

أعد كتابة المعادلات المستخدمة في حل المسائل التالية، ثم احسب المجهول:

1. وُصِّل مصباح كهربائي مقاومته 50.0 Ω في دائرة كهربائية مع بطارية فرق جهدها 9.0 *volts*. ما مقدار التيار الكهربائي المار في المصباح؟
2. إذا تحرك جسم من السكون بتسارع ثابت a فإن سرعته v_f بعد زمن مقداره t تُعْطَى بالعلاقة $v_f = at$. ما تسارع دراجة تتحرك من السكون فتصل سرعتها إلى 6 m/s خلال زمن قدره 4 s؟
3. ما الزمن الذي تستغرقه دراجة نارية تتسارع من السكون بمقدار $0.400\ m/s^2$، حتى تبلغ سرعتها 4.00 m/s؟ (علمًا بأنّ $v_f = at$)
4. يُحسب الضغط P المؤثر في سطح ما بقسمة مقدار القوة F المؤثرة عموديًّا على مساحة السطح A حيث $P = \frac{F}{A}$. فإذا أثر رجل وزنه 520 N يقف على الأرض بضغط مقداره $32500\ N/m^2$، فما مساحة نعلي الرجل؟

الشكل 1–1 ما القيم المنطقية لسرعة سيارة؟

هل هذا منطقي؟ تستخدم أحيانًا وحدات غير مألوفة، كما في **المثال 1**، وتحتاج إلى التقدير للتحقق من أن الإجابة منطقية من الناحية الرياضية. وفي أحيان أخرى تستطيع التحقق من أن الإجابة تتوافق مع خبرتك، كما هو واضح من **الشكل 1–1**. عندما تتعامل مع تجربة الأجسام الساقطة تحقق من أن زمن سقوط الجسم الذي تحسبه يتوافق مع خبرتك. فمثلًا هل تحتاج الكرة النحاسية التي تسقط من ارتفاع 5 m إلى 0.002 s أم إلى 17 s حتى تصل إلى سطح الأرض؟ طبعًا كلتا الإجابتين غير منطقية.

الطريقة العلمية Scientific Method

تمثل **الطريقة العلمية** أسلوبًا للإجابة عن تساؤلات علمية بهدف تفسير الظواهر الطبيعية المختلفة. وتبدأ بطرح أسئلة بناءً على مشاهدات، ثم محاولة البحث عن إجابات منطقية لها عن طريق وضع الفرضيات.

الفرضية تخمين علمي عن كيفية ارتباط المتغيرات بعضها مع بعض. ولاختبار صحة الفرضية يتم تصميم التجارب العلمية وتنفيذها، وتسجيل النتائج وتنظيمها، ثم تحليلها؛ في محاولة لتفسير النتائج أو توقع إجابات جديدة. ويجب أن تكون التجارب والنتائج قابلة للتكرار؛ أي أن يكون باستطاعة باحثين آخرين إعادة التجربة والحصول على النتائج نفسها. ويوضح **الشكل 2–1** مجموعة من الطلاب وهم يجرون تجربة فيزيائية لقياس المعدل الزمني للشغل الذي يبذله كل منهم في أثناء صعود الدرج؛ أي قدرة كلٍّ منهم.

تجربة

قياس التغير

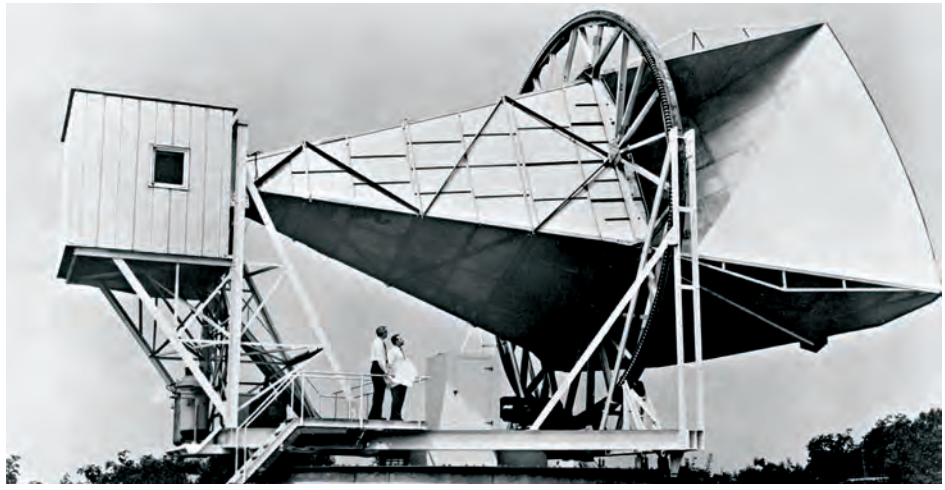
اجمع خمس حلقات معدنية متماثلة، ونابضًا يستطيل بشكل ملحوظ عندما نعلّق به حلقة معدنية.

1. **قس** طول النابض، ثم قسه عند تعليق حلقة، ثم حلقتين، ثم 3 حلقات معدنية به.
2. **ارسم بيانيًا** العلاقة بين طول النابض والكتلة المعلقة به.
3. **توقع** طول النابض عند تعليق 4 حلقات به ثم 5.
4. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

5. **صف** شكل الرسم البياني، وكيف تستخدمه لتوقع طولين جديدين؟

الشكل 2–1 يُجري هؤلاء الطلاب تجربة لتحديد قدرة كل منهم عند صعود الدرج. ويستخدم كل طالب نتائجه لتوقع الزمن اللازم لرفع ثقل مختلف باستخدام القدرة نفسها.



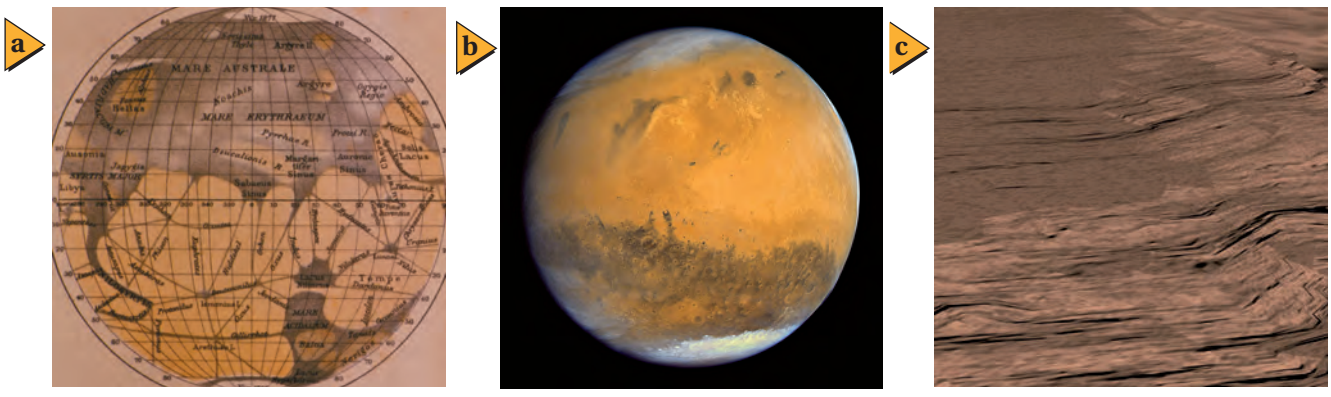
■ **الشكل 3–1** في منتصف الستينات من القرن الماضي حاول بعض العلماء — من دون جدوى — إزالة التشويش المستمر في الهوائي لاستخدامه في علم الفلك. واليوم أصبح من المعروف أن التشويش المستمر (مثل الصوت الذي يصدره التلفاز عند انقطاع البث) ناتج عن موجات معينة تصدر من الفضاء الخارجي. ولقد عُدّ ذلك دعمًا تجريبيًّا لنظرية الانفجار العظيم.

النماذج والقوانين والنظريات تستطيع الفكرة أو المعادلة أو التركيب أو النظام نمذجة الظاهرة التي تحاول تفسيرها. **فالنماذج العلمية** تعتمد على التجريب، ودروس الكيمياء تعيد إلى الأذهان النماذج المختلفة للذرة التي استخدمت عبر الزمن، حيث تعاقب ظهور نماذج ذرية جديدة بهدف تفسير المشاهدات والقياسات الحديثة.

وإذا لم تؤكد البيانات الجديدة صحة النموذج وجب إعادة اختبار كليهما. ويُظهر **الشكل 3–1** مثالًا تاريخيًّا على ذلك. وإذا أثيرت تساؤلات حول نموذج علمي معتمد، يقوم الفيزيائيون أولًا بتفحص هذه التساؤلات بعناية للتأكد من صحتها: هل يستطيع أي شخص الحصول على النتائج نفسها عند البحث؟ هل هناك متغيرات أخرى؟ وإذا تولدت معلومات جديدة عن تجارب لاحقة فيجب تغيير النظريات لتعكس المكتشفات الجديدة. فعلى سبيل المثال، كان الاعتقاد السائد في القرن التاسع عشر أن العلامات الخطية التي يمكن رؤيتها على كوكب المريخ عبارة عن قنوات، كما هو موضح في **الشكل a 4–1**. وبعد تطور المناظير الفلكية (التلسكوبات) أثبت العلماء أنه لا يوجد مثل هذه العلامات، كما هو واضح في **الشكل b 4–1**.

وفي الوقت الحالي، باستخدام أجهزة أفضل، وجد العلماء دلائل تشير إلى أن الماء كان موجودًا على سطح المريخ في الماضي، كما هو موضح في **الشكل c 4–1**. إن أي اكتشاف جديد يعني ظهور تساؤلات جديدة ومجالات جديدة للاستكشاف.

■ **الشكل 4–1** يُظهر رسم للمشاهدات المأخوذة من المناظير الفلكية القديمة قنوات على سطح كوكب المريخ (**a**). ولا تظهر هذه القنوات في الصور الحديثة المأخوذة من مناظير فلكية متطورة (**b**). وتظهر صخور رسوبية طبقية في صورة أحدث لسطح المريخ، مما يشير إلى أن هذه الطبقات قد تكوّنت في مياه راكدة (**c**).



القانـون العلمي قاعدة طبيعية تجمع مشـاهدات مترابطة لوصف ظاهـرة طبيعية متكررة، ويعـبر عنها بعبـارة تصف العلاقة بين متغيريـن أو أكثر، ويمكن التعبـير عن هذه العلاقة في معظـم الحـالات بمعادلة رياضية. فعلى سـبيل المثال ينص قانون حفظ الشـحنة على أنه خلال التحولات المختلفة للمادة تبقى الشحنة الكهربائية ثابتة قبل التحول وبعده. وينص قانون الانعكاس على أن زاوية سقوط الشعاع الضوئي على السطح العاكس تساوي زاوية انعكاسـه عن السطح نفسه. لاحظ أن القانون لا يفسر سبب حدوث هذه الظواهر ولكنه يقدم وصفًا لها.

النظريـة العلمية إطار يجمـع بين عناصر البناء العلمي في موضـوع من موضوعات العلم، وهو قادر على تفسير المشاهدات والملاحظات المدعومة بنتائج تجريبية لاتتعارض مع نظرية أخرى في موضوع آخر من موضوعات العلم. وهي بذلك تشتمل على عناصر البناء العلمي كافة، من فرضيات وحقائق ومفاهيم وقوانين ونماذج؛ فالنظرية قد تكون تفسيرًا للقوانين، وهي أفضل تفسير ممكن لمبدأ عمل الأشياء. فعلى سبيل المثال، تنص نظرية الجاذبية الكونية عـلى أن جميع الكتـل في الكون تنجذب إلى كتل أخرى ويجذب بعضهـا بعضًا. وقد تُراجَع القوانـين والنظريـات أو تُهمَل مـع الزمن، كما هو واضح في **الشـكل 5–1**. ويطلق اسـم نظرية فقط على التفسير الذي تدعمه بقوة نتائج التجارب العملية.

الشـكل 5–1 تتغير النظريات وتُعدل عندما تُوفر التجارب الجديدة ملاحظات جديـدة. فنظريـة سقوط الأجسـام مثلًا خضعت للكثير من التعديل والمراجعة.

اعتقد الفلاسفة الإغريق أن الأجسام تسقط لأنها تبحث عن أماكنها الطبيعية، وكلما كانت كتلة الأجسام أكبر كان سقوطها أسرع.

↓ مراجعة

وضح جاليليو أن سرعة سقوط الأجسام تعتمد على زمن سقوطها لا على كتلتها.

↓ مراجعة

رأيُ جاليليو كان صحيحًا، إلا أن نيوتن أرجع سبب سقوط الأجسام إلى وجود قوة تجاذب بين الأرض وبين هذه الأجسام.

↓ مراجعة

ما زالت مقترحات جاليليو ونيوتن في سقوط الأجسام تحتفظ بصحتها، وافترض أينشتاين فيما بعد أن قوة التجاذب بين جسمين إنما هي بسبب الكتلة التي تؤدي إلى تحدب الفضاء حولها.

1–1 مراجعة

5. **رياضيات** لماذا توصف المفاهيم في الفيزياء بواسطة المعادلات الرياضية؟

6. **مغناطيسية** تحسب القوة المؤثرة في شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي بالعلاقة $F = Bqv$

حيث:

F القوة المؤثرة بوحدة $kg.m/s^2$

q الشحنة بوحدة A.s

v السرعة بوحدة m/s

B كثافة الفيض المغناطيسي بوحدة T (tesla).

ما وحدة T مُعبرًا عنها بالوحدات أعلاه؟

7. **مغناطيسية** أعد كتابة المعادلة: $F = Bqv$ للحصول على v بدلالة كل من F و q و B.

8. **التفكير الناقد** القيمة المقبولة لتسارع الجاذبية الأرضية هي $9.80\ m/s^2$. وفي تجربة لقياسها باستخدام البندول حصلت على قيمة $9.4\ m/s^2$. هل تقبل هذه القيمة؟ فسّر إجابتك.

1–2 القياس Measurement

الأهداف

- **تتعرف** النظام الدولي للوحدات.
- **تستخدم** تحليل الوحدات للتحويل من وحدة إلى أخرى.
- **تقوّم** الإجابات باستخدام تحليل الوحدات.
- **تميّز** بين الدقة والضبط.
- **تحدّد** دقة الكميات المقيسة.

المفردات

القياس

تحليل الوحدات

الدقة

الضبط

عندما تزور الطبيب لإجراء الفحوصات الطبية فإنه يقوم بإجراء عدة قياسات، منها طولك ووزنك وضغط دمك ومعدل دقات قلبك، وحتى نظرك يقاس ويعبّر عنه بأرقام، كما يتم أخذ عينة من الدم لإجراء بعض القياسات، ومنها مستوى الحديد أو الكولسترول في الدم. فالقياسات تحوّل مشاهداتنا إلى مقادير كمية يمكن التعبير عنها بالأرقام ؛ فلا يقال إن ضغط الدم –عند شخص– جيدٌ إلى حد ما، بل يقال إن ضغط دمه $\frac{110}{60}$ مثلًا، وهو الحد الأدنى المقبول لضغط الدم في الإنسان. انظر **الشكل 6–1**.

القياس هو مقارنة كمية مجهولة بأخرى معيارية. فعلى سبيل المثال، إذا قِستَ كتلة عربة ذات عجلات فإن الكمية المجهولة هي كتلة العربة، والكمية المعيارية هي kilogram (kg)، علمًا بأن الكتلة تقاس باستخدام الميزان النابض أو الميزان ذي الكفتين أو غيره. وفي تجربة قياس التغير الواردة في البند السابق، يمثل طول النابض الكمية المجهولة و meter (m) الكمية المعيارية.

النظام الدولي للوحدات SI Units

لتعميم النتائج بشكل مفهوم لدى الناس جميعًا من المفيد استخدام وحدات قياس متفق عليها. ويعدّ النظام الدولي للوحدات النظامَ الأوسع انتشارًا في جميع أنحاء العالم. ويتضمن النظام الدولي للوحدات (SI) سبع كميات أساسية موضحة في **الجدول 1–1**. وقد حددت وحدات هذه الكميات باستخدام القياس المباشر، معتمدة على وحدات معيارية لكل من الطول والزمن والكتلة، محفوظة بدائرة الأوزان والمقاييس بمدينة ليون بفرنسا، كما هو موضح في **الشكل 7–1**. أما الوحدات الأخرى التي تسمى الوحدات المشتقة فيمكن اشتقاقها من وحدات الكميات الأساسية بطرائق مختلفة. فمثلًا تقاس الطاقة باستخدام وحدة Joule (J) حيث $1\ J = 1\ kg.m^2/s^2$، وتقاس الشحنة الكهربائية بوحدة Coulombs (C)، حيث $1\ C = 1\ A.s$.

الشكل 6–1 يستخدم هذا الشخص جهاز قياس ضغط إلكترونيًا لقياس ضغط دمه.

جدول 1–1		
الكميات الأساسية ووحدات قياسها في النظام الدولي		
الكمية الأساسية	الوحدة الأساسية	الرمز
الطول length	meter	m
الكتلة mass	kilogram	kg
الزمن time	second	s
درجة الحرارة temperature	Kelvin	K
كمية المادة amount of substance	mole	mol
التيار الكهربائي electric current	ampere	A
شدة الإضاءة luminous intensity	candela	cd

لابد أنك تعلمت خلال دراسة الرياضيات أن تحويل المتر إلى كيلومتر أسهل من تحويل القدم إلى ميل. إن سهولة التحويل بين الوحدات ميزة أخرى من ميزات النظام الدولي. وللتحويل بين وحدات النظام الدولي نضرب أو نقسم على الرقم عشرة مرفوعًا إلى قوة ملائمة. وهناك مجموعة بادئات (أجزاء ومضاعفات) تُستَخدم في تحويل وحدات النظام الدولي باستخدام قوة مناسبة للرقم 10، كما هو موضح في **الجدول 2–1**، والتي قد تصادف العديد منها في حياتك اليومية، مثل nanoseconds، milligrams gigabytes ... إلخ.

الشكل 7–1 الوحدتان المعياريتان للكيلوجرام والمتر موضحتان في الصورة. ويعرّف المتر المعياري بأنه المسافة بين إشارتين على قضيب من البلاتينيوم والأريديوم، ولما كانت طُرق قياس الزمن أدق من طُرق قياس الطول فإن المتر يعرّف بأنه المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ في $\frac{1}{299792458}$ ثانية.

جدول 2–1				
البادئات المستخدمة مع وحدات النظام الدولي				
البادئة	الرمز	المضروب فيه	القوة	مثال
femto -	f	0.000000000000001	10^{-15}	femtosecond (fs)
pico -	p	0.000000000001	10^{-12}	picometer (pm)
nano -	n	0.000000001	10^{-9}	nanometer (nm)
micro -	μ	0.000001	10^{-6}	microgram (μg)
milli -	m	0.001	10^{-3}	milliamps (mA)
centi -	c	0.01	10^{-2}	centimeter (cm)
deci -	d	0.1	10^{-1}	deciliter (dl)
kilo -	k	1000	10^{3}	kilometer (km)
mega -	M	1000,000	10^{6}	megagram (Mg)
giga -	G	1000,000,000	10^{9}	gigameter (Gm)
tera -	T	1000,000,000,000	10^{12}	terahertz (THz)

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

تستطيع استخدام الوحدات للتحقق من صحة إجابتك؛ فأنت تستخدم عادة معادلة أو مجموعة من المعادلات لحل مسألة فيزيائية. وللتحقق من حلها بشكل صحيح اكتب المعادلة أو مجموعة المعادلات التي ستستخدمها في الحل. وقبل إجراء الحسابات تحقق من أن وحدات إجابتك صحيحة، كما هو واضح في الخطوة رقم **3** في المثال **1**. على سبيل المثال إذا وجدت عند حساب السرعة أن الإجابة بوحدة s/m أو m/s^2، فاعرف أن هناك خطأ في حل المسألة. وهذه الطريقة في التعامل مع الوحدات –باعتبارها كميات جبرية– تسمى **تحليل الوحدات**.

يستخدم تحليل الوحدات في إيجاد معامل التحويل، ومعامل التحويل هو معامل ضرب يساوي واحدًا صحيحًا (1). على سبيل المثال $1\ kg = 1000\ g$، ومن هنا تستطيع بناء معامل التحويل التالي:

$$1 = \frac{1\ kg}{1000\ g}$$

أو

$$1 = \frac{1000\ g}{1\ kg}$$

نختار معامل تحويل يجعل الوحدات يُشطب بعضها مقابل بعض؛ بحيث نحصل على الإجابة بالوحدة الصحيحة، فمثلاً لتحويل 1.34 kg من الحديد إلى grams (g) فإننا نقوم بما يلي:

$$1.34\ \cancel{kg}\left(\frac{1000\ g}{1\ \cancel{kg}}\right) = 1340\ g$$

وقد تحتاج أيضًا إلى عمل سلسلة من التحويلات. فلتحويل 43 km/h إلى m/s مثلًا نقوم بما يلي:

$$\left(\frac{43\ \cancel{km}}{1\ \cancel{h}}\right)\left(\frac{1000\ m}{1\ \cancel{km}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{h}}{60\ \cancel{min}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{min}}{60\ s}\right) = 12\ m/s$$

مسائل تدريبية

استخدم تحليل الوحدات للتحقق من المعادلة قبل إجراء عملية الضرب.

9. كم MHz في 750 kHz ؟

10. عبِّر عن 5201 cm بوحدة km .

11. كم ثانية في السنة الميلادية الكبيسة (السنة الكبيسة 366 يومًا)؟

12. حوّل السرعة 5.30 m/s إلى km/h.

الدقة والضبط Precision Versus Accuracy

تمثل كل من الدقة والضبط خاصية من خصائص القيم المقيسة. ففي تجربة قياس التغير الواردة في القسم السابق قام ثلاثة طلاب بإجراء التجربة أكثر من مرة، مستخدمين نوابض متشابهة، ولها الطول نفسه؛ حيث علّق كل منهم حلقتين معدنيتين، وكرّر التجربة مسجلًا عدة قياسات.

عندما أجرى الطالب الأول التجربة تراوحت قياسات طول النابض بين 14.4 cm و14.8 cm ، وكان متوسط قياساته 14.6 cm (انظر **الشكل 8–1**).

كرّر الطالبان الثاني والثالث الخطوات نفسها، وكانت النتائج كما يلي:

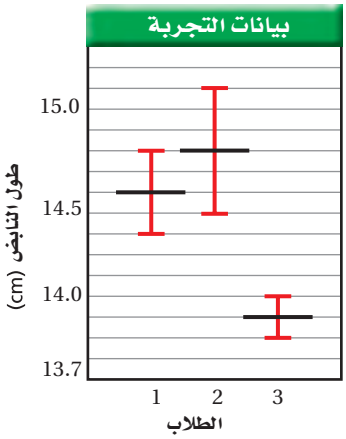
- قياسات الطالب الأول: (14.6 ± 0.2) cm.
- قياسات الطالب الثاني: (14.8 ± 0.3) cm.
- قياسات الطالب الثالث: (14.0 ± 0.1) cm.

ما مقدار كل من دقة وضبط القياسات في التجربة السابقة؟ تسمى درجة الإتقان في القياس **دقة القياس**. إن قياسات الطالب الثالث هي الأكثر دقة، وبهامش خطأ مقداره ± 0.1 cm، بينما كانت قياسات الطالبين الآخرين أقل دقة، وبهامش خطأ أكبر.

تعتمد الدقة على كل من الأداة والطريقة المستخدمة في القياس. وعمومًا كلما كانت الأداة ذات تدريج بقيم أصغر كانت القياسات أكثر دقة، ودقة القياس تساوي نصف قيمة أصغر تدريج في الأداة. فعلى سبيل المثال، للمخبار المدرج في **الشكل 9a–1** تدريجات كل منها يساوي 1 ml. وتستطيع من خلال هذه الأداة أن تقيس بدقة تصل إلى 0.5 ml . أما الدورق المبيّن في **الشكل 9b–1** فإن أصغر تدريج فيه هو 50 ml. ما دقة القياس لهذا الدورق؟ وما دقة قياساتك عندما أجريت تجربة النابض مع الحلقات المختلفة؟

دليل الرياضيات

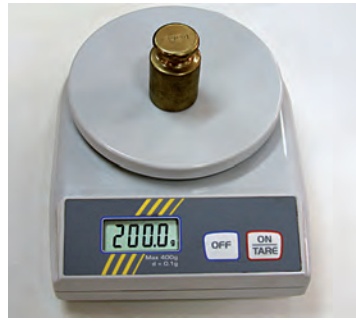
القياسات والأرقام المعنوية 135–131



الشكل 8–1 إذا نفذ ثلاثة طلاب التجربة نفسها فهل تتطابق القياسات؟ هل تتكرر نتيجة الطالب الأول؟

الشكل 9–1 يحتوي المخبار المدرج على (41 ± 0.5) ml (**a**)، في حين يحتوي الدورق على (325 ± 25) ml (**b**).

يصف **الضبط** اتفاق نتائج القياس مع القيمة المقبولة في القياس؛ وهي القيمة المعتمدة التي قاسها خبراء مؤهلون. والطريقة الشائعة لاختبار الضبط في الجهاز تسمى معايرة النقطتين، وتتم أولًا بمعايرة صفر الجهاز، ثم بمعايرة الجهاز، بحيث يعطي قيمة مضبوطة وصحيحة عندما يقيس كمية ذات قيمة معتمدة. انظر **الشكل 10–1**. ومن الضروري إجراء الضبط الدوري للأجهزة في المختبر، ومنها الموازين والجلفانومترات.



■ **الشكل 10–1** يُختبر الضبط عن طريق قياس قيمة معلومة.

تقنيات القياس الجيد Techniques of Good Measurement

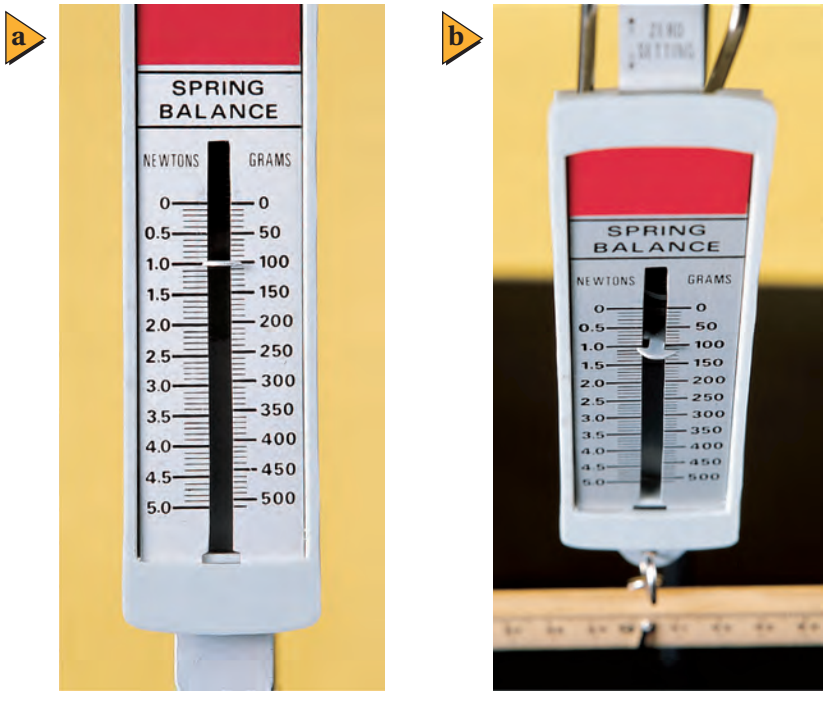
ولضمان الوصول إلى مستوى الضبط المطلوب والدقة التي يسمح بها الجهاز، يجب أن تستخدم الأجهزة بطريقة صحيحة، وأن تتم القياسات بحذر وانتباه لتجنب أسباب الخطأ في القياس. ومن أكثر الأخطاء الشخصية شيوعًا ما ينتج عن الزاوية التي تؤخذ القراءة من خلالها؛ حيث يجب أن تقرأ التدريجات بالنظر عموديًّا وبعين واحدة، كما هو موضح في **الشكل 11a–1**. أما إذا قُرئ التدريج بشكل مائل، كما هو موضح في **الشكل 11b–1**، فإننا نحصل على قيمة مختلفة وغير مضبوطة، وينتج هذا عمّا يسمى "اختلاف زاوية النظر Parallax"، وهو التغير الظاهري في موقع الجسم عند النظر إليه من زوايا مختلفة. ولكي تلاحظ أثر اختلاف زاوية النظر في القياس قم بقياس طول قلم الحبر بالنظر إليه بشكل عمودي على التدريج، ثم اقرأ التدريج بعد أن تحرف رأسك إلى جهة اليمين أو جهة اليسار.

تجربة عملية

ما العلاقة بين الكتلة والحجم؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية

■ **الشكل 11–1** عند النظر إلى التدريج بشكل عمودي كما في (a) تكون قراءتك أضبط مما لو نظرت بشكل مائل كما في (b).



تطبيق الفيزياء

قياس المسافة بين الأرض والقمر

تمكن العلماء من قياس المسافة بين القمر والأرض بدقة عن طريق إرسال أشعة ليزر في اتجاه القمر من خلال مناظير فلكية. تنعكس حزمة أشعة الليزر عن سطح عاكس وُضع على سطح القمر وترتد عائدة إلى الأرض، مما مكّن العلماء من قياس متوسط المسافة بين مركزي القمر والأرض، وهي 385000 km، بضبط يزيد على جزء من عشرة مليارات. وباستخدام تقنية الليزر هذه اكتشف العلماء أن القمر يبتعد عن الأرض سنويًّا بمعدل 3.8 cm/yr تقريبًا.

مسألة تحفيز

يعبَّر عن الطاقة الكهربائية المستهلكة في المنازل بوحدة كيلوواط.ساعة (kWh). فإذا كانت قراءة عداد الكهرباء في منزل 300 kWh خلال شهر فعبّر عن كمية الطاقة المستهلكة بوحدة:

1. الجول (J)، إذا علمت أن $1\ \text{kWh} = 3.60\ \text{MJ}$.
2. الإلكترون فولت (eV)، إذا علمت أن $1\ \text{eV} = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}$.

2–1 مراجعة

13. **مغناطيسية** بروتون شحنته $1.6 \times 10^{-19}\ \text{A.s}$ يتحرك بسرعة $2.4 \times 10^{5}\ \text{m/s}$ عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته $4.5\ \text{T}$. لحساب القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون:
    a. عوّض بالقيم في المعادلة $\boldsymbol{F} = \text{B}q\boldsymbol{v}$، وتحقق من صحة المعادلة بتعويض الوحدات في طرفيها.
    b. احسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون.
14. **الضبط** بعض المساطر الخشبية لا يبدأ صفرها عند الحافة، وإنما بعد عدة ملمترات منها. كيف يؤثر هذا في ضبط المسطرة؟
15. **الأدوات** لديك ميكروميتر (جهاز يستخدم لقياس طول الأجسام أو قطرها إلى أقرب $0.01\ \text{mm}$) مُنْحَنٍ بشكل سيئ. كيف تقارنه بمسطرة مترية ذات نوعية جيدة، من حيث الدقة والضبط؟
16. **اختلاف زاوية النظر** هل يؤثر اختلاف زاوية النظر في دقة القياسات التي تجريها؟ وضح ذلك.
17. **الأخطاء** أخبرك صديقك أن طوله 182 cm، وضح مدى دقة هذا القياس.
18. **الدقة** صندوق طوله 19.2 cm، وعرضه 18.1cm، وارتفاعه 20.3 cm.
    a. ما حجم الصندوق؟
    b. ما دقة قياس الطول؟ وما دقة قياس الحجم؟
    c. ما ارتفاع مجموعة من 12 صندوقًا من النوع نفسه؟
    d. ما دقة قياس ارتفاع الصندوق مقارنة بدقة قياس ارتفاع 12 صندوقًا؟
19. **التفكير الناقد** كتب زميلك في تقريره أن متوسط الزمن اللازم ليدور جسم دورة كاملة في مسار دائري هو 65.414 s. وقد سجلت هذه القراءة عن طريق قياس زمن 7 دورات باستخدام ساعة دقتها 0.1 s. ما مدى ثقتك في النتيجة المدوّنة في التقرير؟ وضح إجابتك.

مختبر الفيزياء • الإنترنت

استكشاف حركة الأجسام

الفيزياء علم يعتمد على المشاهدات التجريبية. والعديد من المبادئ التي تستخدم لوصف الأنظمة الميكانيكية وفهمها –ومنها الحركة الخطية للأجسام– يمكن تطبيقها لوصف ظواهر طبيعية أخرى أكثر تعقيدًا. كيف تستطيع قياس سرعة المركبات في شريط فيديو؟

سؤال التجربة

ما أنواع القياسات التي يمكن إجراؤها لإيجاد سرعة مركبة؟

الأهداف

- **تفحص** حركة مجموعة من المركبات في أثناء عرض شريط فيديو.
- **تصف** حركة المركبات.
- **تجمع وتنظم** البيانات المتعلقة بحركة مركبة.
- **تحسب** سرعة مركبة.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

الاتصال بالإنترنت

ساعة إيقاف

الخطوات

1. قم بزيارة physicspp.com/internet_lab لمشاهدة مقطع الفيديو الخاص بالفصل الأول.
2. لاحظ أن لقطات الفيديو أخذت في وقت الظهيرة. وأنه يوجد على امتداد الجانب الأيمن من الطريق مستطيلات طويلة من طلاء أبيض تستخدم لملاحظة حركة المرور من الجو، وأن هذه العلامات تتكرر بانتظام كل 0.322 km .
3. **لاحظ** ما أنواع البيانات التي يمكن جمعها؟ نَظّم جدولاً كالموضح في الصفحة المقابلة، وسجل ملاحظاتك عن محيط التجربة والمركبات الأخرى والعلامات. ما لون المركبة التي تركز عليها الكاميرا؟ ما لون مركبة النقل الصغيرة في الجانب الأيسر من الطريق؟
4. **قِس وقدِّر** أعد مشاهدة الفيديو مرة ثانية ولاحظ تفاصيل أخرى. هل الطريق مستوية؟ في أي اتجاه تتحرك المركبات؟ ما الزمن اللازم لتقطع كل مركبة المسافة بين إشارتين؟ سجل ملاحظاتك وبياناتك.

جدول البيانات			
عدد الإشارات البيضاء	المسافة (km)	زمن المركبة البيضاء (S)	زمن مركبة النقل الصغيرة الرمادية (S)

التحليل

1. لخص ملاحظاتك النوعية.
2. لخص ملاحظاتك الكمية.
3. **مثّل بيانات** الخطوتين السابقتين على محورين متعامدين (المسافة مع الزمن).
4. **قدِّر** سرعة المركبات بوحدة km /s و km /h.
5. **توقع** المسافة التي ستقطعها كل مركبة في خمس دقائق.

الاستنتاج والتطبيق

1. **احسب** الدقة في قياس المسافة والزمن.
2. **احسب** الدقة في قياس السرعة، وعلام تعتمد؟
3. **استخدام المتغيرات والثوابت** صف المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة في هذه التجربة.
4. **قارن** أيّ الرسوم البيانية التي حصلت عليها للمركبات ذات ميل أقل؟ وماذا يساوي هذا الميل؟
5. **استنتج** ما الذي يعنيه حصولك على خط أفقي (موازٍ لمحور الزمن) عند رسم علاقة المسافة مع الزمن؟

التوسع في البحث

السرعة هي المسافة المقطوعة مقسومة على الزمن الذي قطعت فيه. وضح كيف تستطيع قياس السرعة في غرفة الصف باستخدام سيارة صغيرة تعمل بالتحكم عن بُعد؟ ما العلامات التي ستستخدمها؟ كيف تستطيع قياس المسافة والزمن بدقة؟ هل تؤثر الزاوية التي يؤخذ منها قياس اجتياز السيارة للإشارة في النتائج؟ وما مدى تأثيرها؟ كيف تحسن قياساتك؟ ما الوحدات المنطقية للسرعة في هذه التجربة؟ إلى أي مدى تستطيع توقع موقع السيارة؟ نفذ التجربة إذا أمكن، ولخص نتائجك.

الفيزياء في الحياة

عندما يشاهد عدادَ السرعة كلٌّ من راكب يجلس في المقدمة وسائق الحافلة وراكب يجلس في الخلف فإنهم سيقرؤون: 90 km/h و 100 km/h و 110 km/h على الترتيب. فسّر هذا الاختلاف.

التواصل

صمم تجربة قم بزيارة الموقع الآتي:

physicspp.com/internet_lab

لإرسال تجربتك في قياس السرعة داخل غرفة الصف استخدم سيارة التحكم عن بُعد، ثم سجل أسماء المواد والأدوات المستخدمة، وطريقة عمل التجربة، وملاحظاتك، واستنتاجاتك بشأن ضبط التجربة ودقة القياسات. إذا نفّذت التجربة فعليًا فابعث نتائجك وقراءاتك.

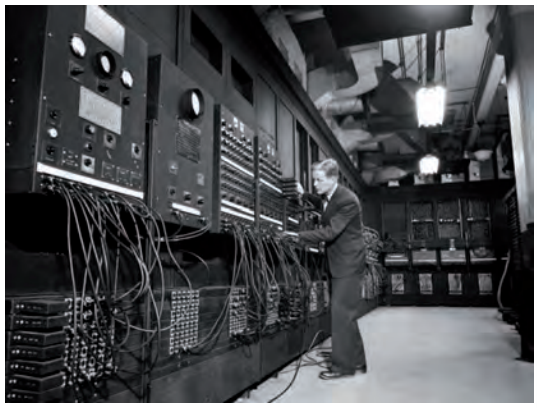
الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن القياس ارجع إلى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني obeikaneducation.com

تاريخ تطور الحاسوب Computer History and Growth

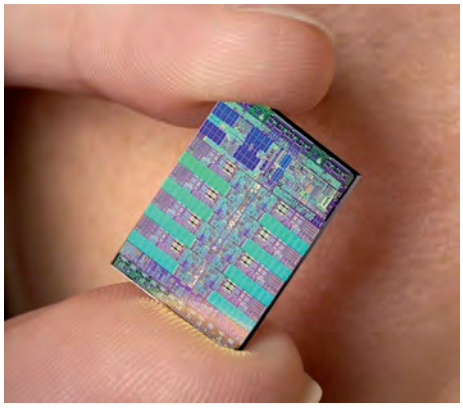
عندما تستخدم برامج الحاسوب أو تبعث برسائل إلكترونية فإن ذلك يتطلب من الحاسوب حل مئات المعادلات الرياضية بسرعة هائلة، بحيث لا تستغرق إلا أجزاء من المليار من الثانية.

الجيل الأول من الحواسيب كان بمقدرة الحواسيب الأولى حل المعادلات المعقدة، لكنها كانت تستغرق وقتًا طويلاً؛ حيث كان علماء الحاسوب آنذاك يواجهون تحديات حقيقية في تحويل الصور إلى صيغ يستطيع الحاسوب معالجتها، إضافة إلى الأحجام الضخمة للحواسيب والتكلفة المادية المرتفعة لذاكرتها.



كما أن أحجام الحواسيب كانت ضخمة جدًّا؛ فهي تحوي الكثير من الأسلاك والترانزستورات، كما هو موضح في الصورة أعلاه. وكانت سرعة مرور التيار الكهربائي خلال هذه الأسلاك لا يتجاوز $\frac{2}{3}$ سرعة الضوء. وبسبب طول الأسلاك المستخدمة فإنه يلزم التيار الكهربائي فترة زمنية طويلة ليمر خلالها.

الذاكرة كانت صناعة ذاكرة الجيل الأول من الحواسيب مكلفة جدًّا، وكما تعلم فإن زيادة سعة الذاكرة يجعل الحاسوب يعمل أسرع؛ فصناعة ذاكرة بسعة 1 byte كان يتطلب 8 دوائر كهربائية، وهذا يعني أنه لصناعة ذاكرة بسعة 1024 bytes (1 kb)– وهي سعة ضئيلة في وقتنا الحاضر– يحتاج إلى 8192 دائرة كهربائية.



ومن الطريف أن تعلم أن سعة ذاكرة الحاسوب الذي كان على متن سفينة أبوللو الفضائية التي هبطت على سطح القمر لم تكن تتجاوز 64 kb.

في عام 1960م قام مجموعة من العلماء باختراع الدوائر المتكاملة التي ساهمت في تقليل حجم الدوائر الحاسوبية وتكلفتها كثيرًا، وصِغر حجم الحاسوب مع زيادة سعته. واليوم تصنع ترانزستورات الرقاقات الإلكترونية بأحجام صغيرة جدًّا، كما تقلص حجم الحاسوب، وقل سعره، حتى إن الهاتف المحمول يحتوي على تقنيات حاسوبية أكبر كثيرًا من الكمبيوترات المركزية العملاقة التي كانت تستخدم في سبعينيات القرن الماضي.

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

1–1 الرياضيات والفيزياء Mathematics and Physics

المفردات

- الفيزياء
- الطريقة العلمية
- الفرضيات
- النماذج العلمية
- القانون العلمي
- النظرية العلمية

المفاهيم الرئيسة

- الفيزياء علم دراسة المادة والطاقة والعلاقة بينهما.
- الطريقة العلمية عملية منظمة للمشاهدة والتجريب والتحليل للإجابة عن الأسئلة حول العالم الطبيعي.
- الفرضية تخمين علمي عن كيفية ارتباط المتغيرات بعضها مع بعض.
- تسهّل النماذج العلمية دراسة وتفسير الظواهر الطبيعية والعلمية.
- القانون العلمي قاعدة طبيعية تجمع مشاهدات مترابطة لوصف ظاهرة طبيعية متكررة.
- النظرية العلمية إطار يجمع بين عناصر البناء العلمي في موضوع من موضوعات العلم، وهي قادرة على تفسير المشاهدات والملاحظات المدعومة بنتائج تجريبية.

1–2 القياس Measurement

المفردات

- تحليل الوحدات
- القياس
- الدقة
- الضبط

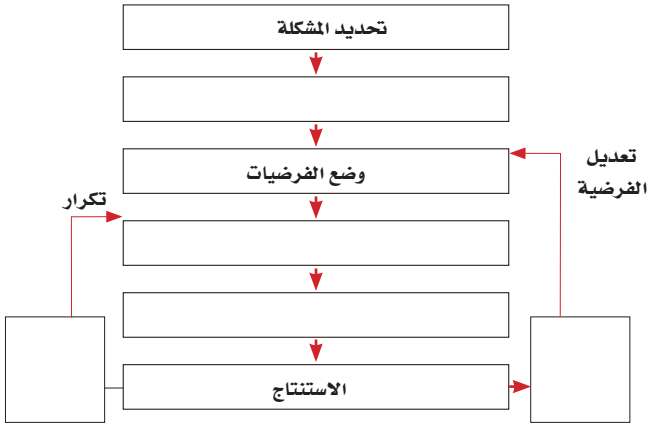
المفاهيم الرئيسة

- يستخدم طريقة أو أسلوب تحليل الوحدات للتحقق من أن وحدات الإجابة صحيحة.
- القياس مقارنة كمية مجهولة بأخرى معيارية.
- الدقة هي درجة الإتقان في القياس.
- يصف الضبط كيف تتفق نتائج القياس مع القيمة المقبولة في القياس.

الفصل 1
التقويم

خريطة المفاهيم

20. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: جمع المعلومات، تحليل البيانات، يدعم الفرضية، اختبار صحة الفرضية، لا يدعم الفرضية.



إتقان المفاهيم

21. ما المقصود بالطريقة العلمية؟(1–1)

22. ما أهمية الرياضيات في علم الفيزياء؟ (1–1)

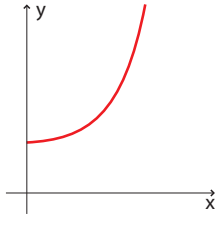
23. ما النظام الدولي للوحدات؟ (1–2)

24. ماذا تُسمى قيم المتر التالية؟ (1–2)

a. $\frac{1}{100}$ m **b.** $\frac{1}{100}$ m **c.** 1000 m

25. في تجربة عملية، قيس حجم الغاز داخل بالون وحددت علاقته بتغير درجة الحرارة. ما المتغير المستقل، والمتغير التابع فيها؟ (دليل الرياضيات 142)

26. ما نوع العلاقة الموضحة في الشكل التالي؟ (دليل الرياضيات 147–143)



الشكل 1–12

27. لديك العلاقة التالية $F = \frac{mv^2}{R}$. ما نوع العلاقة بين كل مما يلي؟ (دليل الرياضيات 147–143)

a. F و R

b. F و m

c. F و v

تطبيق المفاهيم

28. ما الفرق بين النظرية العلمية والقانون العلمي؟ وما الفرق بين الفرضية والنظرية العلمية؟ أعط أمثلة مناسبة.

29. **الكثافة** تُعرف الكثافة بأنها كتلة وحدة الحجوم وتساوي الكتلة مقسومة على الحجم.

a. ما وحدة الكثافة في النظام الدولي؟

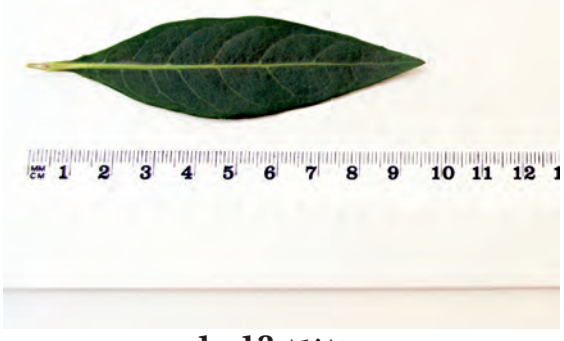
b. هل وحدة الكثافة أساسية أم مشتقة؟

30. قام طالبان بقياس سرعة الضوء؛ فحصل الأول على $(3.001 \pm 0.001) \times 10^8$ m/s، وحصل الثاني على $(2.999 \pm 0.006) \times 10^8$ m/s.

a. أيهما أكثر دقة؟

b. أيهما أكثر ضبطًا؟ علمًا بأن القيمة المعيارية لسرعة الضوء هي: 2.99792458×10^8 m/s

31. ما طول ورقة الشجر المبينة في **الشكل 1–13**؟ ضمِّن إجابتك خطأ القياس.



الشكل 1–13

تقويم الفصل 1

إتقان حل المسائل

1–1 الرياضيات والفيزياء

32. يُعبَّر عن مقدار قوة جذب الأرض للجسم بالعلاقة $F = mg$ ؛ حيث تمثل m كتلة الجسم و g التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية ($g = 9.80\ m/s^2$).

a. أوجد القوة المؤثرة في جسم كتلته 41.63 kg.

b. إذا كانت القوة المؤثرة في جسم هي $632\ kg.m/s^2$، فما كتلة هذا الجسم؟

33. يقاس الضغط بوحدة الباسكال Pa حيث $1\ Pa = 1\ kg/m.s^2$، فهل يمثل التعبير التالي قياسًا للضغط بوحدات صحيحة؟

$$\frac{(0.55\ kg)(2.1\ m/s)}{9.80\ m/s^2}$$

2–1 القياس

34. حوّل كلًّا مما يلي إلى متر:

a. 42.3 cm

b. 6.2 pm

c. 21 km

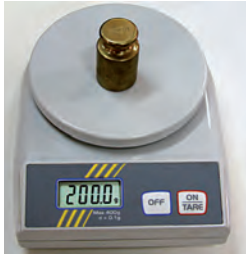
d. 0.023 mm

e. 214 µm

f. 57 nm

35. وعاء ماء فارغ كتلته 3.64 kg، إذا أصبحت كتلته بعد ملئه بالماء 51.8 kg فما كتلة الماء فيه؟

36. ما دقة القياس التي تستطيع الحصول عليها من الميزان الموضح في الشكل 1–14؟



■ **الشكل 1–14**

37. اقرأ القياس الموضح في الشكل 1–15، وضمِّن خطأ القياس في الإجابة.

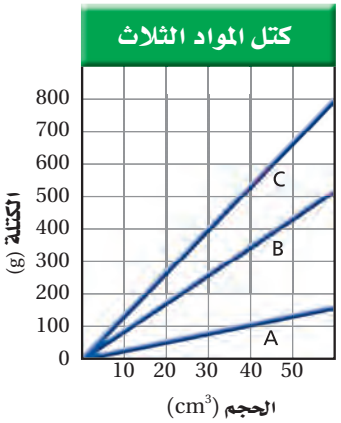
■ **الشكل 1–15**

38. يمثل الشكل 1–16 العلاقة بين كتل ثلاث مواد وحجومها التي تتراوح بين $0–60\ cm^3$.

a. ما كتلة $30\ cm^3$ من كل مادة؟

b. إذا كان لديك 100 g من كل مادة فما حجم كل منها؟

c. ماذا يمثل ميل الخطوط المبينة في الرسم؟ وضح ذلك بجملة أو جملتين.



■ **الشكل 1–16**

39. في تجربة أجريت داخل مختبر المدرسة، قام معلم الفيزياء بوضع كتلة على سطح طاولة مهملة الاحتكاك تقريبًا، ثم أثّر في هذه الكتلة بقوى أفقية متغيرة، وقاس المسافة التي تقطعها الكتلة في خمس

تقويم الفصل 1

ثوانٍ تحت تأثير كل قوة منها، وحصل على الجدول التالي: (دليل الرياضيات 147–142)

الجدول 3–1

المسافة المقطوعة تحت تأثير قوى مختلفة

القوة (N)	المسافة (cm)
5.0	24
10.0	49
15.0	75
20.0	99
25.0	120
30.0	145

a. مثّل بيانيًّا القيم المعطاة بالجدول، وارسم خط المواءمة الأفضل (الخط الذي يمر بأغلب النقاط).

b. صف الرسم البياني الناتج.

c. استخدم الرسم لكتابة معادلة تربط المسافة مع القوة.

d. ما الثابت في المعادلة؟ وما وحدته؟

e. توقع المسافة المقطوعة في 5 s عندما تؤثر في الجسم قوة مقدارها 22.0 N .

مراجعة عامة

40. تتكون قطرة الماء – في المتوسط – من 1.7×10^{21} جزيء. إذا كان الماء يتبخر بمعدل مليون جزيء في الثانية فاحسب الزمن اللازم لتبخر قطرة الماء تمامًا.

التفكير الناقد

41. احسب كتلة الماء بوحدة kilograms اللازمة لملء وعاء طوله 1.4 m، وعرضه 0.600 m، وعمقه 34.0 cm، علمًا بأن كثافة الماء تساوي $1.00\ g/cm^3$.

42. **صمم تجربة** إلى أي ارتفاع تستطيع رمي كرة؟ ما المتغيرات التي من المحتمل أن تؤثر في إجابة هذا السؤال؟

الكتابة في الفيزياء

43. اكتب مقالة عن تاريخ الفيزياء توضح فيها كيفية تغيُّر الأفكار حول موضوع أو كشف علميٍّ ما مع مرور الزمن. تأكد من إدراج إسهامات العلماء، وتقويم أثرها في تطور الفكر العلمي، وفي واقع الحياة.

44. وضح كيف أن تحسين الدقة في قياس الزمن يؤدي إلى دقة أكثر في التوقعات المتعلقة بكيفية سقوط الجسم.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. استخدم العالمان (A و B) تقنية التأريخ بالكربون المشع لتحديد عمر رمحين خشبيين اكتشفاهما في كهف. فوجد العالم A أن عمر الرمح الأول هو: 2250 ± 40 years، ووجد العالم B أن عمر الرمح الثاني هو 2215 ± 50 years. أي الخيارات التالية صحيح؟

(A) قياس العالم A أكثر ضبطًا من قياس العالم B.

(B) قياس العالم A أقل ضبطًا من قياس العالم B.

(C) قياس العالم A أكثر دقة من قياس العالم B.

(D) قياس العالم A أقل دقة من قياس العالم B.

2. أي القيم أدناه تساوي 86.2 cm؟

(A) 8.62 m (C) 8.62×10^{-4} km

(B) 0.862 mm (D) 862 dm

3. إذا أعطيت المسافة بوحدة km والسرعة بوحدة m/s، فأي العمليات أدناه تعبر عن إيجاد الزمن بالثواني (s)؟

(A) ضرب المسافة في السرعة، ثم ضرب الناتج في 1000

(B) قسمة المسافة على السرعة، ثم ضرب الناتج في 1000

(C) قسمة المسافة على السرعة، ثم قسمة الناتج على 1000

(D) ضرب المسافة في السرعة، ثم قسمة الناتج على 1000

4. أي الصيغ الآتية تكافئ العلاقة $D = \frac{m}{V}$؟

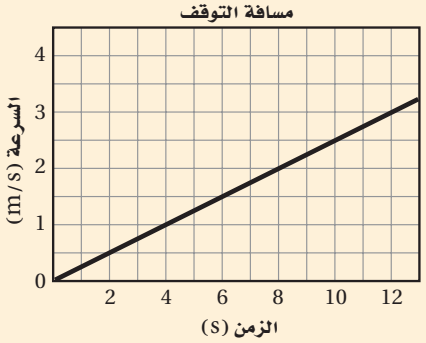
(A) $V = \frac{m}{D}$ (C) $V = \frac{mD}{V}$

(B) $V = Dm$ (D) $V = \frac{D}{m}$

5. ميل الخط المستقيم المرسوم في الشكل أدناه يساوي: (دليل الرياضيات 145)

(A) $0.25\ m/s^2$ (C) $2.5\ m/s^2$

(B) $0.4\ m/s^2$ (D) $4.0\ m/s^2$



الأسئلة الممتدة

6. إذا أردت حساب التسارع بوحدة m/s^2، فإذا كانت القوة مقيسة بوحدة N، والكتلة بوحدة g، حيث $1\ N = 1\ kg.m/s^2$:

a. فأعد كتابة المعادلة $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ بحيث تعطي قيمة التسارع $\boldsymbol{a}$ بدلالة m و $\boldsymbol{F}$.

b. ما معامل التحويل اللازم لتحويل grams إلى kilograms؟

c. إذا أثرت قوة مقدارها 2.7 N في جسم كتلته 350 g، فما المعادلة التي تستخدمها في حساب التسارع؟ ضمّن الإجابة معامل التحويل.

✓ إرشاد

حاول أن تتخطّى

قد ترغب في تخطّي المسائل الصعبة وتعود اليها لاحقًا. إن إجابتك عن الأسئلة السهلة قد تساعدك على الإجابة عن الأسئلة التي تخطيتها.

الفصل 2

تمثيل الحركة
Representing Motion

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تمثيل الحركة باستخدام الكلمات والمخططات التوضيحية للحركة والرسوم البيانية.
- وصف حركة الأجسام باستخدام المصطلحات (الموقع، المسافة، الإزاحة، الفترة الزمنية) بطريقة علمية.

الأهمية

لو لم يكن هناك طُرق لوصف الحركة وتحليلها فسيتحوّل السفر بالطائرة أو القطار أو الحافلة إلى فوضى؛ فالأزمنة والسرعات هي التي تحدد جدول مواعيد انطلاق ووصول وسائل النقل على اختلاف أنواعها.

سباق السيارات عندما تتجاوز سيارةٌ سيارةً أخرى تكون سرعة السيارة الأولى أكبر من سرعة السيارة الأخرى.

فكِّر ◄

كيف يمكنك تمثيل حركتي سيارتين؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

أي السيارتين أسرع؟

سؤال التجربة في سباق سيارتين لعبة، هل يمكنك أن تبين أيهما أسرع؟

الخطوات

1. أحضر سيارتين لعبة تعملان بانضغاط النابض، وضعهما على طاولة المختبر، أو على أي سطح آخر يقترحه المعلم.
2. حدد خطًّا لبداية السباق.
3. عبّئ نابضي السيارتين، ثم أطلقهما من خط البداية في اللحظة نفسها.
4. **لاحظ** حركة السيارتين عن قرب لتحدد أيهما أسرع.
5. كرّر الخطوات 3–1 واجمع نوعًا واحدًا من البيانات لدعم استنتاجك في تحديد السيارة الأسرع.

التحليل

ما البيانات التي جمعتها لتثبت أي السيارتين أسرع؟ وما البيانات الأخرى التي يمكن أن تجمعها لإثبات الفكرة السابقة؟

التفكير الناقد اكتب تعريفًا إجرائيًّا (عمليًّا) للسرعة المتوسطة.

2–1 تصوير الحركة Picturing Motion

تعرفت في الفصل السابق الطريقة العلمية التي تفيدك في دراسة الفيزياء. وسوف تبدأ في هذا الفصل استخدامها في تحليل الحركة، كما تقوم لاحقًا بتطبيقها على جميع أنماط الحركة باستخدام الرسوم والمخططات التوضيحية والرسوم البيانية، وكذلك المعادلات الرياضية. إن هذه المفاهيم تساعدك على تحديد سرعة الجسم، وإلى أي بُعد يتحرك، وما إذا كانت سرعة الجسم تتزايد أو تتناقص، وما إذا كان الجسم ساكنًا، أو متحركًا بسرعة منتظمة (ثابتة مقدارًا واتجاهًا). إن إدراك الحركة أمر غريزي؛ فعيناك تنتبهان غريزيًّا إلى الأجسام المتحركة أكثر من الانتباه إلى الأجسام الساكنة؛ فالحركة موجودة في كل مكان حولنا، بدءًا بالقطارات السريعة إلى النسمات الخفيفة والغيوم البطيئة.

الأهداف

- **تُمثِّل** حركة جسم بالمخطط التوضيحي للحركة.
- **ترسم** نموذج الجسيم النقطي لتمثيل حركة جسم.

المفردات

مخطط الحركة

نموذج الجسيم النقطي

أنواع الحركة Kinds of Motion

ما الذي يتبادر إلى ذهنك عندما تسمع كلمة حركة، أو سيارة مسرعة، أو ركوب العجلة الدوّارة في متنزَّه الألعاب، أو كرة قدم ترتفع فوق سياج المنزل، أو طفل يتأرجح إلى الأمام وإلى الخلف بشكل منتظم؟

عندما يتحرك جسم ما فإن موقعه يتغير، كما في **الشكل 1–2**، وقد يحدث هذا التغير وفق مسار في خط مستقيم، أو دائرة، أو منحنى، أو على شكل اهتزاز (تأرجح) إلى الأمام وإلى الخلف.

بعض أنواع الحركة التي ذكرت سابقًا تبدو أكثر تعقيدًا من بعضها الآخر. وعند البدء في دراسة مجال جديد يحسُن أن نبدأ بالأمور التي تبدو أسهل. لذا نبدأ هذا الفصل بدراسة الحركة في خط مستقيم.

ولوصف حركة أي جسم يجب معرفة متى شغل الجسم مكانًا ما؟ فوصف الحركة يرتبط مع المكان والزمان.

الشكل 1–2 يغير راكب الدراجة الهوائية موقعه في أثناء حركته. وفي هذه الصورة كانت آلة التصوير مركزة على الراكب، لذا نجد الخلفية غير واضحة، وهي تدل على أن موقع الراكب قد تغير.

مخططات الحركة Motion Diagrams

يمكن تمثيل حركة عدَّاء بالتقاط سلسلة من الصور المتتابعة التي تُظهر مواقع العدّاء في فترات زمنية متساوية. ويُظهر **الشكل 2–2** كيف تبدو الصور المتتابعة لعداء. لاحظ أن العداء يَظهر في موقع مختلف في كل صورة، بينما يبقى كل شيء في خلفية الصور في المكان نفسه. وهذا يدل (ضمن المنظور) على أن العداء هو المتحرك الوحيد بالنسبة إلى ما حوله.

افترض أنك رتبت الصور المتتابعة في **الشكل 2–2**، وجمعتها في صورة واحدة تُظهر مواقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية، كما في **الشكل 3–2** ، عندئذ يُطلق على هذا الترتيب مصطلح **مخطط الحركة**.

الشكل 2–2 إذا ربطت موقع العدّاء مع الخلفية في كل صورة في فترات زمنية متساوية فسوف تستنتج أنه في حالة حركة.

نموذج الجسيم النقطي

The Particle Model

يسهل تتبُّع مسار حركة العدّاء عند تجاهل حركة الأذرع والأرجل، كما يمكن تجاهل جسم العداء كله والاكتفاء بالتركيز على نقطة صغيرة مفردة في مركز جسمه (جسيم نقطي). وبتمثيل حركة العدّاء بسلسلة متتابعة من النقاط المفردة يمكنك الحصول على **نموذج الجسيم النقطي**، كما هو موضح في الجزء السفلي من **الشكل 3–2**. وحتى تستخدم النموذج الجسيمي النقطي يجب أن يكون حجم الجسم صغيرًا جدًّا مقارنة بالمسافة التي يتحركها الجسم.

الشكل 3–2 إن ترتيب سلسلة من الصور المتلاحقة الملتقطة في فترات زمنية منتظمة وجمعها في صورة واحدة يُعطي مخططًا توضيحيًّا لحركة العدّاء. واختزال حركة العدّاء إلى نقاط مفردة متتابعة ينتج لنا نموذج الجسيم النقطي لحركته.

2–1 مراجعة

1. **مخطط توضيحي لحركة درّاج** استخدم نموذج الجسيم النقطي لرسم مخطط توضيحي لراكب دراجة هوائية يتحرك بسرعة ثابتة.
2. **مخطط توضيحي لحركة طائر** استخدم نموذج الجسيم النقطي لرسم نموذج توضيحي مبسط يتناسب مع المخطط التوضيحي لحركة طائر في أثناء طيرانه، كما في **الشكل 4–2**. ما النقطة التي اخترتها على جسم الطائر لتمثله؟

الشكل 4–2

3. **مخطط توضيحي لحركة سيارة** استخدم نموذج الجسيم النقطي لرسم نموذج توضيحي مبسط يتناسب مع المخطط التوضيحي لحركة سيارة ستتوقف عند إشارة مرورية، كما في **الشكل 5–2**. حدد النقطة التي اخترتها على جسم السيارة لتمثيلها.

الشكل 5–2

4. **التفكير الناقد** استخدم نموذج الجسيم النقطي لرسم مخططات الحركة التوضيحية لعدّاءين في سباق، عندما يتجاوز الأول خط النهاية يكون الآخر قد قطع ثلاثة أرباع مسافة السباق فقط.

2–2 الموقع والزمن Positon and Time

الأهداف

- **تحدّد** أنظمة الإحداثيات المستخدمة في مسائل الحركة.
- **تدرك** أن النظام الإحداثي الذي يُختار يؤثر في إشارة مواقع الأجسام.
- **تعرف** الإزاحة.
- **تحسب** الفترة الزمنية لحركة جسم.
- **تستخدم** مخططًا توضيحيًّا للحركة للإجابة عن أسئلة حول موقع جسم أو إزاحته.

المفردات

النظام الإحداثي

نقطة الأصل

الموقع

المسافة

الكميات المتجهة

الكميات العددية (القياسية)

المحصّلة

الفترة الزمنية

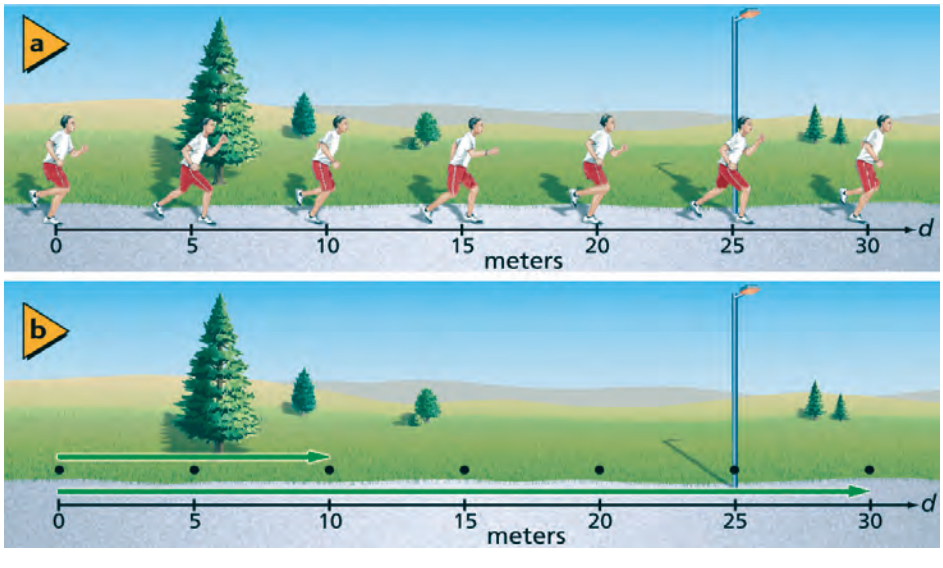
الإزاحة

هل من الممكن أخذ قياسات المسافة والزمن من مخططات الحركة، ومنها مخطط حركة العدّاء؟ قبل التقاط الصور يمكنك وضع شريط قياس متري على الأرض على امتداد مسار العدّاء ليرشدك إلى مكان العدّاء في كل صورة، ووضع ساعة إيقاف ضمن المنظر الذي تصوره الكاميرا ليقيس لك الزمن. لكن أين يجب أن تضع بداية شريط القياس؟ ومتى يجب أن تبدأ تشغيل ساعة الإيقاف؟

أنظمة الإحداثيات Coordinate Systems

عندما تقرر أين تضع شريط القياس، ومتى تشغل ساعة الإيقاف، ستكون قد حددت **النظام الإحداثي** الذي يعين موقع نقطة الأصل (نقطة الإسناد) بالنسبة إلى المتغير الذي تدرسه، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم هذا المتغير. إن **نقطة الأصل** هي النقطة التي تكون عندها قيمة كل من المتغيرين صفرًا. ونقطة الأصل في مثال العدّاء تم تمثيلها بالنهاية الصفرية لشريط القياس، الذي يمكن وضعه على بُعد ستة أمتار عن يسار الشجرة. والحركة هنا تتم في خط مستقيم، لذا يوضع شريط القياس على امتداد هذا الخط المستقيم الذي يمثل أحد محوري النظام الإحداثي. من المحتمل أن تضع شريط القياس بحيث يزداد تدريج المقياس المتري عن يمين الصفر، كما أن وضعه في الاتجاه المعاكس صحيح أيضًا. في **الشكل 2–6a** نقطة الأصل للنظام الإحداثي تقع في جهة اليسار.

يمكنك أن تعيِّن بُعْدَ العدّاء عن نقطة الأصل عند لحظة معينة على مخطط الحركة، وذلك برسم سهم من نقطة الأصل إلى النقطة التي تمثل موقع العدّاء؛ في هذه اللحظة، كما هو مبين في **الشكل 2–6b**. وهذا السهم يمثل **موقع** العدّاء؛ حيث يدل طول السهم على بُعد الجسم عن نقطة الأصل؛ أي **المسافة** بين الجسم ونقطة الأصل. ويتجه هذا السهم دومًا من نقطة الأصل إلى موقع الجسم المتحرك.

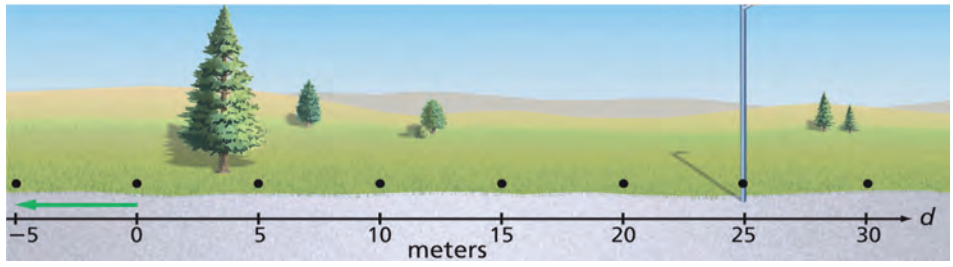


الشكل 2–6 في هذه الأشكال التوضيحية للحركة، تقع نقطة الأصل عن اليسار

a. القيم الموجبة للمسافة تمتد أفقيًّا إلى اليمين.

b. السهمان المرسومان من نقطة الأصل إلى نقطتين يحددان موقع العدّاء في زمنين مختلفين.

لكن هل هناك إزاحة سالبة؟ افترض أنك اخترت نظامًا إحداثيًّا كالذي وضعته، واخترت نقطة الأصل على بُعد 4 m عن يسار الشجرة على محور المسافة الذي يمتد في الاتجاه الموجب نحو اليمين، فإن الموقع الذي يبعد 9 m عن يسار الشجرة يبعد 5 m عن يسار نقطة الأصل وتكون إزاحته سالبة، كما يظهر في **الشكل 7–2**.



■ **الشكل 7–2** السهم المرسوم على مخطط الحركة يشير إلى إزاحة سالبة.

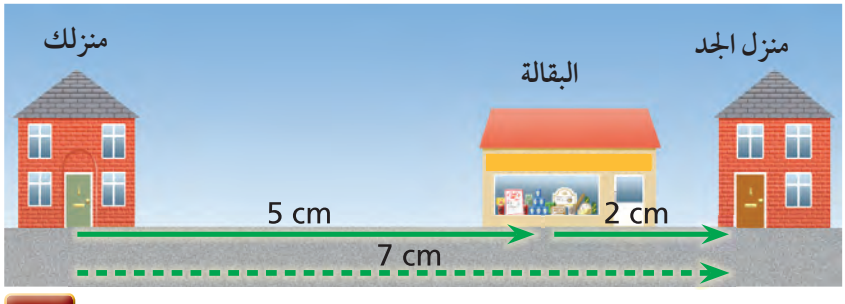
الكميات الفيزيائية المتجهة والكميات الفيزيائية القياسية (العددية) الكميات الفيزيائية التي يتطلب تعيينها تحديد مقدارها واتجاهها وفقًا لنقطة الإسناد– ومنها الإزاحة والقوة– تسمى **كميات متجهة**، ويمكن تمثيلها بالأسهم، وغالبًا ما يعبر عن هذه الكميات بوضع سهم فوق رمز الكمية الفيزيائية المتجهة للدلالة على أنها متجهة، مثل ($\vec{a}$ و$\vec{F}$). وسنعتمد في هذا الكتاب استخدام حروف البنط العريض (**Bold**) لتمثيل الكميات المتجهة. أما الكميات الفيزيائية التي يكفي لتعيينها تحديد مقدارها فقط– ومنها المسافة والزمن ودرجة الحرارة– فتسمى **كميات عددية**.

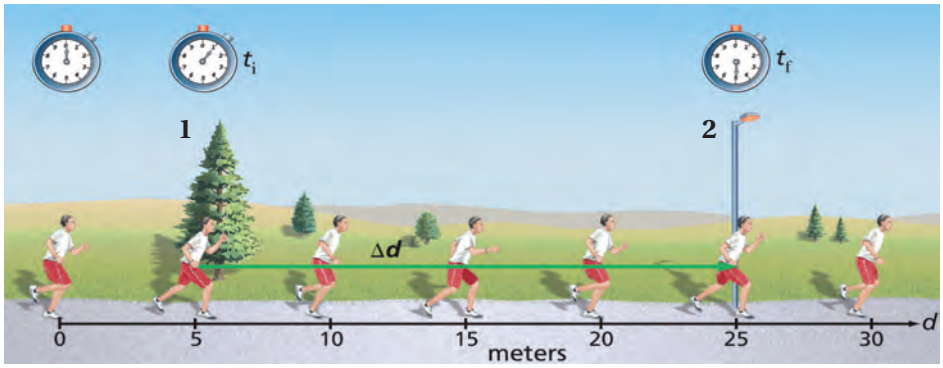
تعرفت سابقًا طريقة جمع الكميات العددية. فعلى سبيل المثال $0.2 + 0.6 = 0.8$. ولكن كيف يمكنك جمع الكميات المتجهة؟ فكّر في حل المسألة التالية: طلبت إليك والدتك شراء بعض الأشياء وأخذها إلى منزل جدك، فمشيت مسافة 0.5 km في اتجاه الشرق من بيتك إلى البقالة، وقمت بالشراء، ثم مشيت مسافة 0.2 km في اتجاه الشرق إلى منزل جدك. ما بُعدك عن نقطة الأصل (بيتك)؟ الجواب هو:

$$0.5\ \text{km}_{\text{شرقًا}} + 0.2\ \text{km}_{\text{شرقًا}} = 0.7\ \text{km}_{\text{شرقًا}}$$

ويمكنك حل هذه المسألة بيانيًّا باستخدام مسطرة لقياس ورسم كل متجه، على أن يكون طول المتجه متناسبًا مع مقدار الكمية التي يمثلها، وذلك باختيار مقياس رسم مناسب. فعلى سبيل المثال ربما تجعل كل 1 cm على الورقة يمثل 0.1 km. ويوضح كلا المتجهين في **الشكل 8–2** رحلتك إلى منزل جدك، وهما مرسومان بمقياس 1cm لكل 0.1 km، والمتجه الذي يمثل مجموع المتجهين مبين بخط متقطع طوله 7 cm. ووفق مقياس الرسم فإنك على بُعد 0.7 km من نقطة الأصل. ويسمى المتجه الذي يمثل مجموع المتجهين الآخرين متجه **المحصلة**، وهو يتجه دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الثاني.

■ **الشكل 8–2** يُجمع متجهان بوضع رأس الأول ملامسًا لذيل الثاني. تبدأ المحصلة من ذيل المتجه الأول وتنتهي عند رأس المتجه الثاني.





الشكل 9–2 تلاحظ أن العدّاء استغرق أربع ثوانٍ ليركض من الشجرة إلى عمود الإنارة. استخدم الموقع الابتدائي للعدّاء نقطة مرجعية. يشير المتجه من الموقع 1 إلى الموقع 2 إلى اتجاه الإزاحة ومقدارها خلال هذه الفترة الزمنية.

الفترة الزمنية والإزاحة Time Interval and Displacement

دلالة اللون

- تظهر متجهات الإزاحة باللون **الأخضر**.

عند تحليل حركة العدّاء تحتاج إلى معرفة الزمن الذي استغرقه العداء للانتقال من الشجرة إلى عمود الإنارة. يمكن إيجاد هذه الفترة الزمنية بحساب الفرق بين قراءتي ساعة الإيقاف في كل موقع. اختر الرمز t_i للزمن عندما كان العدّاء عند الشجرة، والرمز t_f للزمن عندما صار عند عمود الإنارة. يسمى الفرق بين زمنين **فترة زمنية**، ويرمز لها بالرمز Δt، حيث:

الفترة الزمنية $\Delta t = t_f - t_i$

الفترة الزمنية تساوي الزمن النهائي مطروحًا منه الزمن الابتدائي.

وفي مثال العدّاء، يكون الزمن الذي يستغرقه للذهاب من الشجرة إلى عمود الإنارة هو:

$$t_f - t_i = 5.0\ \text{s} - 1.0\ \text{s} = 4.0\ \text{s}$$

ولكن كيف تَغير موقع العدّاء عندما ركض من الشجرة حتى عمود الإنارة، كما هو موضح في **الشكل 9–2**؟ يمكن استخدام الرمز $\boldsymbol{d}$ لتمثيل موقع العداء. غالبًا ما نستخدم كلمة (موقع) للإشارة إلى مكان ما. أما في الفيزياء فالموقع متَّجه ذيله عند نقطة الأصل لنظام الإحداثيات المستخدم، ورأسه عند المكان المراد تحديد موقعه.

أما **الإزاحة** فهي كمية فيزيائية متجهة، وتمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين. ويرمز للإزاحة بالرمز $\Delta \boldsymbol{d}$، وتمثَّل بسهم يشير ذيله إلى موقع بداية الحركة، بينما يشير رأسه إلى موقع نهايتها، كما أن طول السهم يمثل المسافة التي قطعها الجسم في اتجاه معين، وهو الاتجاه الذي يشير إليه السهم. كما تحسب الإزاحة رياضيًّا بالعلاقة:

الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i$

الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d}$ تساوي متجه الموقع النهائي $\boldsymbol{d}_f$ مطروحًا منه متجه الموقع الابتدائي $\boldsymbol{d}_i$

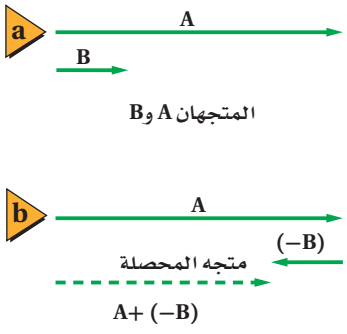
فإزاحة العداء $\Delta \boldsymbol{d}$ في أثناء حركته من الشجرة إلى عمود الإنارة تساوي $25.0\ \text{m} - 5.0\ \text{m} = 20.0\ \text{m}$. والإزاحة بوصفها كمية متجهة تختلف عن المسافة بوصفها كمية قياسية؛ فالإزاحة تعبّر عن كل من المسافة والاتجاه.

كيف تطرح الكميات المتجهة؟ لطرح متجه من آخر اعكس اتجاه المتجه المراد طرحه، ثم اجمعهما؛ وذلك لأن: $\mathbf{A-B = A + (-B)}$

يبين **الشكل 2–10a** متجهين، الأول **A** طوله 4 cm ويتجه إلى الشرق، والثاني **B** طوله 1 cm ويتجه إلى الشرق أيضًا. أما **الشكل 2–10b** فيبين المتجه **B–** وطوله 1 cm، والذي يتجه إلى الغرب، وتظهر محصلة المتجهين **A** و **B–**، ويمثلها متجه طوله 3 cm يتجه إلى الشرق.

يحدد طول واتجاه متجه الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i$ برسم المتجه $\boldsymbol{d}_f$ والمتجه $-\boldsymbol{d}_i$ الذي يكون اتجاهه عكس اتجاه $\boldsymbol{d}_i$، ثم نقله، بحيث يكون ذيله عند رأس المتجه $\boldsymbol{d}_f$، ويتم جمعهما معًا.

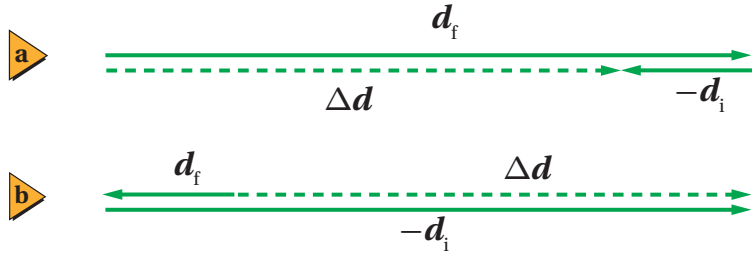
يوضح **الشكل 2–11** مقارنة بين موقع وإزاحة العداء في حالة اختيار نظام إحداثي مختلف، حيث اعتبر الطرف الأيمن لمحور الموقع صفرًا في **الشكل 2–11b**. تلاحظ أن متجهات الموقع قد تغيرت، في حين لا يتغير مقدار واتجاه متجه الإزاحة.



الشكل 2–10

a. المتجهان A و B.

b. محصلة (A–B).



الشكل 2–11 يمكن حساب إزاحة العدّاء خلال الثواني الأربع بطرح $\boldsymbol{d}_i$ من $\boldsymbol{d}_f$. في الشكل (a) تقع نقطة الأصل عن اليسار، أما في الشكل (b) فتقع عن اليمين. وبغض النظر عن اختيارك للنظام الإحداثي فإن قيمة متجه الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d}$ واتجاهه لا يتغير.

2–2 مراجعة

5. **الإزاحة** يمثل الشكل التالي النموذج الجسيمي النقطي لحركة سيارة على طريق سريع، وقد حددت نقطة الانطلاق كالتالي:

من هنا • • • • • • إلى هناك

أعد رسم هذا النموذج الجسيمي النقطي، وارسم متجهًا يمثل إزاحة السيارة من نقطة البداية حتى نهاية الفترة الزمنية الثالثة.

6. **الإزاحة** يمثل النموذج الجسيمي النقطي أدناه حركة طالب يسير من بيته إلى المدرسة:

البيت • • • • • • • • • • المدرسة

أعد رسم الشكل، وارسم متجهات لتمثيل الإزاحة بين كل نقطتين.

7. **الموقع** قارَن طالبان متجهي الموقع اللذين رسماهما على مخطط للحركة لتحديد موقع جسم متحرك في اللحظة نفسها، فوجدا أن المتجهين المرسومين لا يشيران إلى الاتجاه نفسه. فسر ذلك.

8. **التفكير الناقد** تتحرك سيارة في خط مستقيم من البقالة إلى مكتب البريد، ولتمثيل حركتها استخدمتَ نظامًا إحداثيًّا، نقطة الأصل فيه البقالة، واتجاه حركة السيارة هو الاتجاه الموجب. أما زميلك فاستخدم نظامًا إحداثيًّا، نقطة الأصل فيه مكتب البريد، والاتجاه المعاكس لحركة السيارة هو الموجب. هل ستتفقان على كل من موقع السيارة والإزاحة والمسافة والفترة الزمنية التي استغرقتها الرحلة؟ وضح ذلك.

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

2–3 منحنى (الموقع – الزمن) Position - Time Graph

الأهداف

- **تطور** منحنيات (الموقع – الزمن) لأجسام متحركة.
- **تستخدم** منحنى (الموقع – الزمن) لتحديد موقع جسم أو إزاحته.
- **تصف** حركة جسم باستخدام التمثيلات المتكافئة ومنها مخططات الحركة، والصور ومنحنيات الموقع – الزمن.

المفردات

منحنى (الموقع–الزمن)
الموقع اللحظي

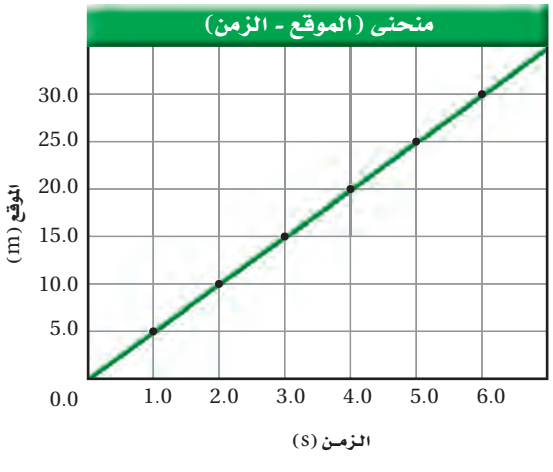
عنـد تحليل الحركـة لنوع أكثر تعقيدًا من الأمثلة التي تم تناولها ودراسـتها، من المفيد تمثيل حركة الجسم بطرائق متنوعة. وكما لاحظت، فإن مخطط الحركة يحتوي على معلومات مفيدة حول موقع الجسم في أزمنة مختلفة، ويمكن استخدامه في تحديد إزاحة الجسم خلال فترات زمنيـة محددة، كما أن الرسـوم البيانية لموقع الجسـم–الزمن تتضمن هـذه المعلومات أيضًا.

استخدام الرسم البياني لتحديد الموقع والزمن
Using a Graph to Find Out Position and Time

يمكن استخدام مخطط حركة العدّاء في **الشكل 9–2** لتحديد موقع العدّاء في كل لحظة من حركته، وتجسيدها، كما في **الجدول 1–2**.

كـما يمكـن عـرض البيانات الـواردة في **الجدول 1–2** في رسـم بيـاني بتحديـد إحداثيات الزمن على المحور الأفقي (x)، وإحداثيات الموقع على المحور الرأسي (y)، وهو ما يُسـمى **منحنى (الموقع–الزمـن)**. ويُظهر الرسـم البياني في **الشـكل 12–2** حركة العدّاء. ولرسـم هـذا الخط البيـاني نحدد أولًا مواقـع العدّاء بدلالة الزمن، ثم نرسـم أفضل خط مسـتقيم يمـر بأغلب النقاط، وهو ما يطلق عليه خط المواءمة الأفضل. لاحظ أن هذا المنحنى ليس تصويرًا لمسار حركة العداء؛ حيث إن الخط البياني مائل ولكن مسار حركة العداء مستوٍ.

يبين الخط البياني مواقع العدَّاء في الأزمنة المبينة في الجدول، وحتى لو لم تتوافر بيانات تبين مبـاشرةً متـى كان العـدّاء على بُعـد 30.0 m من نقطـة البداية، أو أيـن كان عنـد الزمن $t = 4.5\ s$، يمكنـك اسـتخدام الرسـم البياني لتحديد ذلك. ويسـتخدم الرمـز d لتمثيل **الموقع اللحظي** للعدّاء.



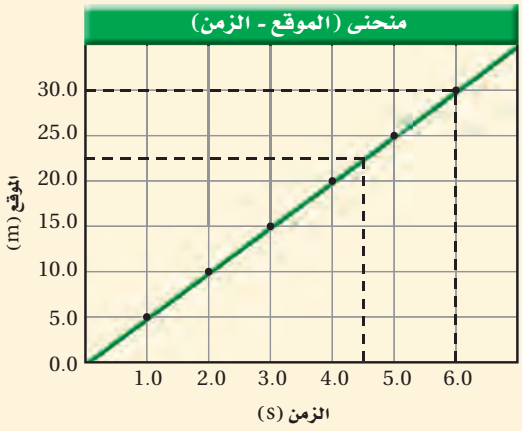
الشـكل 12–2 يمكننـا رسـم منحنى الموقع–الزمن للعدّاء بتحديد موقعه في فـترات زمنية مختلفـة، وبعد تعيين هذه النقاط نرسم خط المواءمة الأفضل.

الجدول 1–2

الموقع-الزمن	
الزمن t (s)	الموقع d (m)
0.0	0.0
1.0	5.0
2.0	10.0
3.0	15.0
4.0	20.0
5.0	25.0
6.0	30.0

مثـــال 1

يوضح الرسم البياني المجاور حركة عدّاء. متى يصل العدّاء إلى بُعد 30.0 m عن نقطة البداية؟ وأين يكون بعد مضي 4.5 s؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- أعد صياغة السؤالين.

السؤال 1: متى كان العدّاء على بُعد 30.0 m عن نقطة البداية؟

السؤال 2: ما موقع العدّاء بَعد مضي 4.5 s؟

دليل الرياضيات

الاستيفاء والاستقراء 143

2 إيجاد الكمية المجهولة

السؤال 1

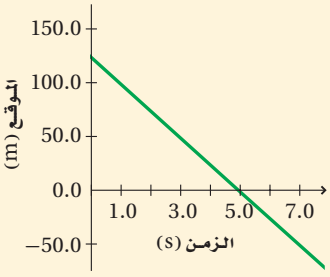
تفحص الرسم البياني، وحدد نقطة تقاطع الخط البياني مع خط أفقي يمر بالنقطة 30.0 m، ثم حدد نقطة تقاطع الخط العمودي المرسوم من تلك النقطة مع محور الزمن، تجد أن مقدار t هو 6.0 s.

السؤال 2

حدد نقطة تقاطع الخط البياني مع خط عمودي عند 4.5 s (تقع بين 4.0 s و 5.0 s في الرسم البياني)، ثم حدد نقطة تقاطع الخط الأفقي المرسوم من تلك النقطة مع محور الموقع، تجد أن قيمة d تساوي 22.5 m تقريبًا.

مسائل تدريبية

استعن بالشكل 13–2 على حل المسائل 11–9:



الشكل 13–2

9. صف حركة السيارة المبينة في الرسم البياني.

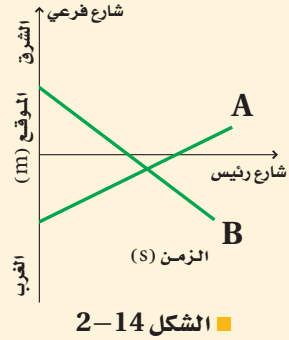
10. ارسم مخططًا للحركة يتوافق مع الرسم البياني.

11. أجب عن الأسئلة التالية حول حركة السيارة. (افترض أن الاتجاه الموجب للإزاحة في اتجاه الشرق والاتجاه السالب في اتجاه الغرب).

a. متى كانت السيارة على بُعد 25.0 m شرق نقطة الأصل؟

b. أين كانت السيارة عند 1.0 s ؟

12. صف بالكلمات حركة اثنين من المشاة A و B كما يوضحها الخطان البيانيان في **الشكل 14–2**، مفترضًا أن الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق على الشارع الفرعي، ونقطة الأصل هي نقطة تقاطع الشارعين الرئيس والفرعي.



الشكل 14–2

13. تحركت سعاد في خط مستقيم من أمام المقصف إلى مختبر العلوم، فقطعت مسافة 100.0 m. في هذه الأثناء قامت زميلاتها بتسجيل وتحديد موقعها كل 2.0 s، فلاحظن أنها تحركت مسافة 2.6 m كل 2.0 s.

a. مثِّل بالرسم البياني حركة سعاد.

b. متى كانت سعاد في المواقع التالية:

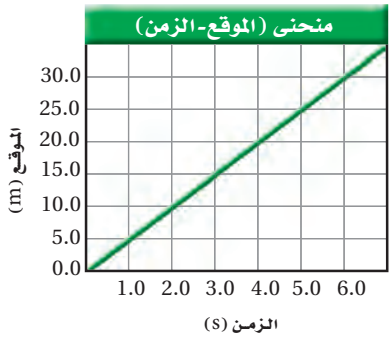
- على بُعد 25.0 m من المقصف؟
- على بُعد 25.0 m من مختبر العلوم؟

a

الجدول 1–2

الموقع-الزمن	
الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.0	5.0
2.0	10.0
3.0	15.0
4.0	20.0
5.0	25.0
6.0	30.0

b



c

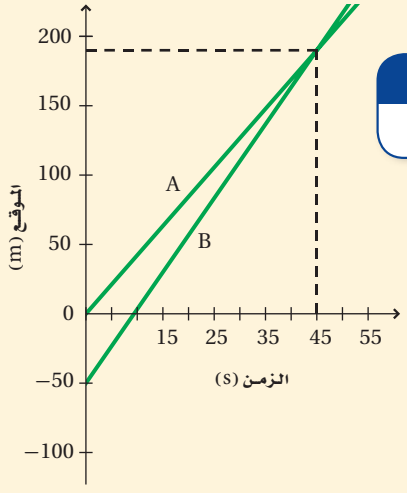
الشكل 15–2
a. جدول البيانات.
b. منحنى (الموقع - الزمن).
C. النموذج الجسيمي النقطي.
جميعها استخدمت لوصف حركة الجسم نفسه وتمثيلها.

التمثيلات المتكافئة كما هو مبين في **الشكل 15–2**، هناك طُرق مختلفة لوصف الحركة؛ حيث يمكن وصفها بالكلمات، وبالصور (التمثيل التصويري)، ومخططات الحركة، وجداول البيانات، ومنحنيات (الموقع–الزمن)، وهذه جميعها طُرق متكافئة؛ أي أنها تحتوي على المعلومات نفسها حول حركة العدّاء. ومع ذلك فقد يكون بعض هذه الطُرق أكثر فائدة من الأخرى، وفقًا لما تريد معرفته عن الحركة. سوف تتدرب في الصفحات التالية على استخدام هذه التمثيلات المتكافئة، وتتعلم أيها أنسب لحل أنواع المسائل المختلفة.

دراسة حركة عدة أجسام يظهر في **مثال 2** منحنى (الموقع–الزمن) لعدّاءين في سباق. متى وأين يتجاوز أحد العدّاءين الآخر؟ استخدم المصطلحات الفيزيائية أولًا لإعادة صياغة السؤال: متى يكون العدّاءان في الموقع نفسه؟ يمكنك الإجابة عن هذا السؤال بتحديد النقطة التي يتقاطع عندها الخطان الممثلان لحركة العدّاءين على منحنى (الموقع–الزمن).

مثـــال 2

يمثل الرسم البياني المجاور منحنى (الموقع– الزمن) لحركة عدّاءين A و B.
متى وأين يتجاوز العدّاء B العدّاء A؟



دليل الرياضيات
الاستيفاء والاستقراء 143

1 تحليل المسألة ورسمها

- أعد صياغة السؤالين.

عند أي زمن يكون العدّاءان A و B في الموقع نفسه؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

تفحص الرسم البياني لإيجاد نقطة تقاطع الخط البياني الممثل لحركة A مع الخط البياني الممثل لحركة B، يتقاطع هذان الخطان عند اللحظة 45 s، وعلى بُعد 190 m تقريبًا، وهذا يعني أن العدّاء B يتجاوز العدّاء A على بُعد 190 m من نقطة الأصل؛ أي بَعد 45 s من مرور العدّاء A بها.

مسائل تدريبية

للإجابة عن المسائل ***17–14*** *ارجع إلى الشكل في مثال 2.*

14. ما الحدث الذي وقع عند اللحظة $t = 0.0\ s$؟

15. أي العدّاءين كان متقدمًا في اللحظة $t = 48\ s$؟

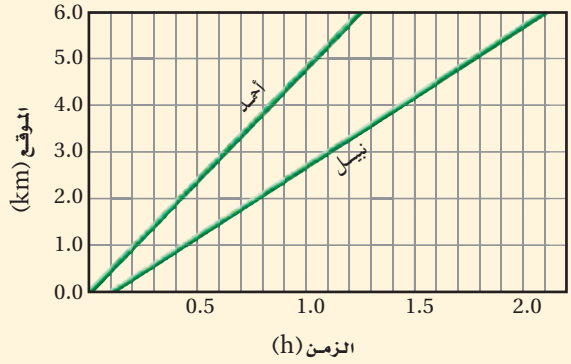
16. أين كان العدّاء B عندما كان العدّاء A عند النقطة $0.0\ m$؟

17. ما المسافة الفاصلة بين العدّاء A والعدّاء B في اللحظة $t = 20.0\ s$؟

18. خرج أحمد في نزهة مشيًا على الأقدام، وبعد وقت بدأ صديقه نبيل السير خلفه، وقد تم تمثيل حركتيهما بمنحنى (الموقع–الزمن) المبين في **الشكل 16–2**.

a. ما الزمن الذي سار خلاله أحمد قبل أن يبدأ نبيل المشي؟

b. هل سيلحق نبيل بأحمد؟ فسر ذلك.



الشكل 16–2

مسألة تحفيز

يستمتع كل من ماجد ويوسف وناصر بممارسة الرياضة على طريق يمتد بمحاذاة الشاطئ. حيث بدأ يوسف الركض بسرعة منتظمة مقدارها $16.0\ km/h$ من المرسى A في اتجاه الجنوب في تمام الساعة 11:30 صباحًا، وفي اللحظة نفسها ومن المكان نفسه بدأ ناصر المشي بسرعة منتظمة مقدارها $6.5\ km/h$ في اتجاه الجنوب. أما ماجد فانطلق بدراجته عند الساعة 12 ظهرًا من مرسى آخر B يبعد $20\ km$ جنوب المرسى A بسرعة منتظمة مقدارها $40.25\ km/h$ في اتجاه الشمال.

1. ارسم منحنيات (الموقع–الزمن) للأشخاص الثلاثة.

2. متى يصبح الأشخاص الثلاثة أقرب ما يمكن بعضهم إلى بعض؟

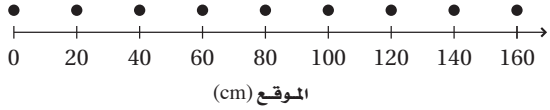
3. ما المسافة التي تفصل بينهم حينذاك؟

لاحظ أنه يمكن تمثيل حركة أكثر من جسم في منحنى واحد للموقع–الزمن. ونقطة تقاطع الخطين البيانيين تخبرك متى يكون الجسمان في الموقع نفسه. لكن هل هذا يعني أنهما سيتصادمان؟ ليس بالضرورة. فعلى سبيل المثال، إذا كان هذان الجسمان عداءين، ولكل منهما ممر خاص به، فإنهما لن يتصادما.

هل هناك شيء آخر يمكنك تعلمه من منحنيات الموقع–الزمن؟ وهل تعرف ما يعنيه ميل الخط البياني في المنحنى؟ ستتعلم في البند التالي كيف تستخدم ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) لتعيين السرعة المتجهة لجسم.

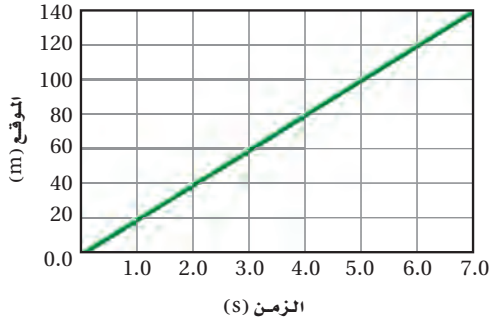
2–3 مراجعة

19. منحنى (الموقع-الزمن) يمثل النموذج الجسيمي النقطي في **الشكل 2–17** طفلاً يزحف على أرضية غرفة. مثِّلْ حركته باستخدام منحنى (الموقع–الزمن)، علمًا بأن الفترة الزمنية بين كل نقطتين متتاليتين تساوي 1s.



الشكل 2–17

20. المخطط التوضيحي للحركة يبين **الشكل 2–18** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة قرص مطاطي ينزلق على بركة متجمدة في لعبة الهوكي. استخدم الرسم البياني في هذا الشكل لرسم النموذج الجسيمي النقطي لحركة القرص.



الشكل 2–18

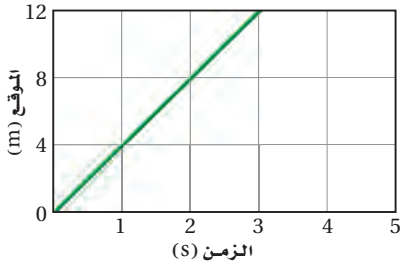
*ارجع إلى **الشكل 2–18** عند حل المسائل **21–23**.*

21. الزمن متى كان القرص على بُعد 10.0 m عن نقطة الأصل؟

22. المسافة حدد المسافة التي قطعها قرص الهوكي بين اللحظتين 0.0 s و 5.0 s.

23. الفترة الزمنية حدد الزمن الذي استغرقه قرص الهوكي ليتحرك من موقع يبعد 40 m عن نقطة الأصل إلى موقع يبعد 80 m عنها.

24. التفكير الناقد تفحص النموذج الجسيمي النقطي ومنحنى (الموقع–الزمن) الموضحين في **الشكل 2–19**. هل يصفان الحركة نفسها؟ كيف تعرف ذلك؟ علمًا بأن الفترات الزمنية في النموذج الجسيمي النقطي تساوي 2 s.



الشكل 2–19

2–4 السرعة المتجهة Velocity

تعلمت كيف تستعمل المخطط التوضيحي للحركة لتبين حركة جسم. كيف يمكنك قياس سرعة حركته؟ يمكنك تحديد تغير الموقع والزمن اللازم باستخدام أدوات، منها شريط القياس المتري وساعة الإيقاف، ثم استخدام هذه البيانات لوصف معدل تغير الحركة.

الأهداف

- **تُعرف** السرعة المتجهة.
- **تقارن** بين مفهومي السرعة والسرعة المتجهة.
- **تصمم** تمثيلات تصويرية وفيزيائية ورياضية لمسائل الحركة.

المفردات

السرعة المتجهة المتوسطة

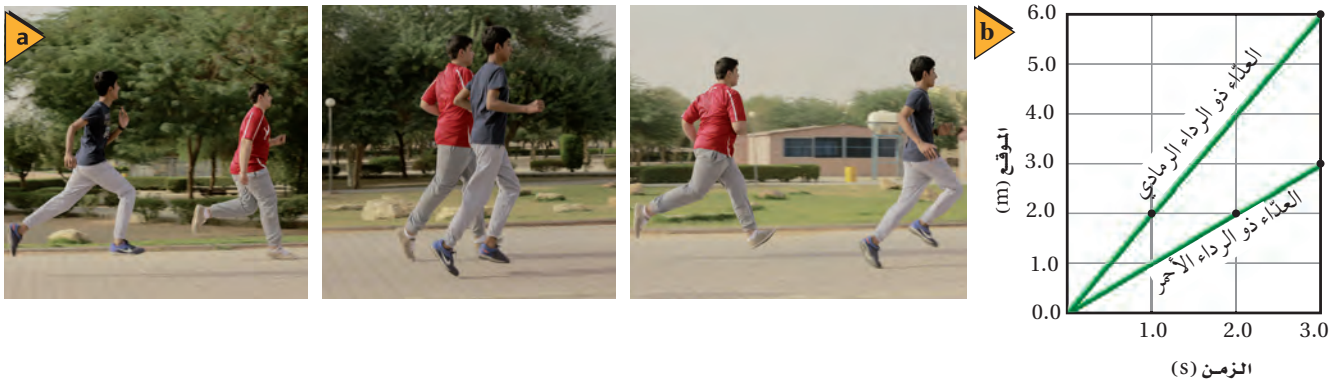
السرعة المتوسطة

السرعة المتجهة اللحظية

السرعة المتجهة Velocity

افترض أنك مثّلت حركتي عدّاءين على مخطط توضيحي واحد، كما هو مبين في **الشكل 2–20a**. بالانتقال من صورة إلى الصورة التي تليها، يمكنك أن ترى أن موقع العدّاء ذي الرداء الرمادي يتغير بمقدار أكبر من تغير موقع العدّاء ذي الرداء الأحمر. أي أن مقدار الإزاحة للعداء ذي الرداء الرمادي Δd أكبر؛ لأنه يتحرك أسرع، أي يقطع مسافة أكبر من تلك التي يقطعها اللاعب ذو الرداء الأحمر خلال المدة الزمنية نفسها. وإذا افترضنا أن كليهما قد قطع مسافة 100.0 m فإن الفترة الزمنية Δt التي استغرقها العدّاء ذو الرداء الرمادي ستكون أقل من تلك التي استغرقها زميله.

السرعة المتجهة المتوسطة من مثال العدّاءين، يمكنك أن تلاحظ أننا نحتاج إلى معرفة كلٍّ من الإزاحة Δd والفترة الزمنية Δt لحساب السرعة المتجهة لجسم متحرك. ولكن كيف يمكن الربط بينهما؟ تفحص الخطين البيانيين اللذين يمثلان حركتي العدّاءين في منحنى (الموقع–الزمن)، انظر **الشكل 2–20b**، ستلاحظ أن ميل الخط البياني للعدّاء ذي الرداء الرمادي أكثر انحدارًا من ميل الخط البياني للعدّاء ذي الرداء الأحمر، ويدل الميل أو الانحدار الأكبر على أن مقدار التغير في الإزاحة أكبر خلال الفترة الزمنية نفسها.



الشكل 2–20

a. إزاحة العدّاء ذي الرداء الرمادي أكبر من إزاحة العدّاء ذي الرداء الأحمر خلال الفترات الزمنية الثلاث؛ لأن الأول يتحرك أسرع من الثاني.

b. يمثل منحنى (الموقع–الزمن) حركة كل من العدّاءين، والنقاط المستخدمة لحساب ميل كل خط.

يمكن إيجاد كل من مَيلي الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العدّاءين في **الشكل 2–20b** كما يلي:

دلالة اللون

- متجهات السرعة باللون **الأحمر**.
- متجهات الإزاحة باللون **الأخضر**.

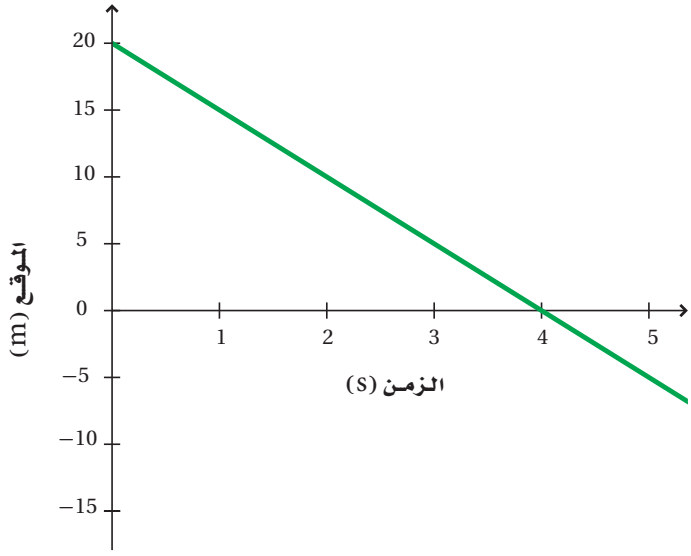
العداء ذو الرداء الرمادي	العداء ذو الرداء الأحمر
ميل الخط البياني $= \dfrac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$	ميل الخط البياني $= \dfrac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$
$= \dfrac{(6.0 - 2.0)\text{m}}{(3.0 - 1.0)\text{s}}$	$= \dfrac{(3.0 - 2.0)\text{m}}{(3.0 - 2.0)\text{s}}$
$= 2.0\ \text{m/s}$	$= 1.0\ \text{m/s}$

هناك أشياء مهمة تجدر ملاحظتها في هذه المقارنة. أولاً: ميل الخط البياني للعدّاء الأسرع يكون أكبر رقميًّا، لذا من المعقول أن يعبر هذا الرقم عن السرعة المتجهة المتوسطة، وكذلك السرعة المتوسطة. ثانيًا: وحدات الميل هي (m/s)؛ أي أن الميل يخبرنا كم مترًا تحرك العدّاء خلال ثانية واحدة. وعند التفكير في طريقة حساب الميل ستلاحظ أن الميل هو التغير في الموقع مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير، أي $\dfrac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$ أو $\dfrac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$. وعندما تزداد قيمة المتجه $\Delta \boldsymbol{d}$ فإن الميل يزداد، ويقل عندما تزداد Δt. إن هذا يتفق مع التفسير السابق لحركتي العدّاءين.

يمثل ميل الخط البياني في منحنى (الموقع–الزمن) لأي جسم متحرك **السرعة المتجهة المتوسطة** لهذا الجسم، ويُكتب على شكل نسبة بين التغير في الموقع والفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير.

السرعة المتجهة المتوسطة $\overline{\boldsymbol{v}} = \dfrac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t} = \dfrac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$

تُعرف السرعة المتجهة المتوسطة بأنها التغير في الموقع مقسومًا على مقدار الفترة الزمنية التي حدث خلالها هذا التغير.



الشكل 21–2 يتحرك الجسم الممثلة حركته هنا في الاتجاه السالب بمعدل 5.0 m/s.

من الأخطاء الشائعة القول إن ميل الخط البياني للموقع–الزمن يمثل سرعة الجسم. تأمل ميل الخط البياني للموقع–الزمن في **الشكل 21–2**. إن ميل هذا الخط يساوي (−5.0 m/s)، وهو كمية تشير إلى المقدار والاتجاه (تذكر أن السرعة المتجهة المتوسطة كمية لها مقدار واتجاه). وفي الحقيقة إن ميل الخط البياني (للموقع–الزمن) يدل على السرعة المتجهة المتوسطة للجسم، لا على مقدار سرعته. عند تأمل **الشكل 21–2** مرة أخرى تجد أن ميل الخط البياني هو (−5.0 m/s)، وبذلك فإن سرعة الجسم المتجهة هي (−5.0 m/s)، وهذا يعني أن الجسم انطلق من موقع موجب متجهًا نحو نقطة الأصل، وأنه يتحرك في الاتجاه السالب بمعدل 5.0 m/s.

تجربة عملية

ما موقع العربة؟

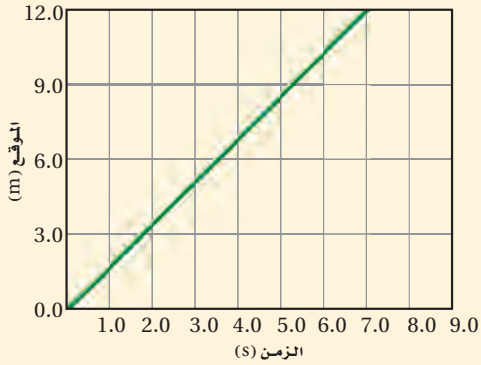
ارجع إلى دليل التجارب العملية

السرعة المتوسطة تعبّر القيمة المطلقة لميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) عن **السرعة المتوسطة** للجسم؛ أي مقدار سرعة حركة الجسم، و يرمز لها بالرمز $\overline{v}$. أما السرعة المتجهة المتوسطة $\overline{\boldsymbol{v}}$ فتعبر عن كل من قيمة السرعة المتوسطة للجسم والاتجاه الذي يتحرك فيه، وهي في المثال الموضح في **الشكل 12–2** 5.0 m/s (في الاتجاه السالب)، أو −5.0 m/s، وتكون سرعته المتوسطة 5.0 m/s. تذكّر أنه إذا تحرك جسم في الاتجاه السالب فإن إزاحته تكون سالبة، وهذا يعني أن سرعة الجسم المتجهة دائمًا لها إشارة إزاحة الجسم نفسها.

عندما تحلِّل – في الفصول القادمة – أنواعًا أخرى من الحركة، سوف تجد أحيانًا أن السرعة المتجهة المتوسطة هي أهم كمية، وفي أحيان أخرى تكون السرعة المتوسطة هي الكمية الأهم. لذا من الضروري أن تميز بين السرعة المتجهة المتوسطة والسرعة المتوسطة، وأن تكون متأكدًا من الاستخدام الصحيح لكل منهما لاحقًا.

مثـــال 3

يبين الرسم البياني المجاور حركة طالب يركب لوح تزلج عبر ممر للمشاة مهمل الاحتكاك. ما سرعته المتجهة المتوسطة؟ وما سرعته المتوسطة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- تفحص النظام الإحداثي للرسم البياني.

المجهول

$\bar{v} = ?$ $\bar{v} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد السرعة المتجهة المتوسطة باستخدام نقطتين على الخط البياني.

$$\bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$

بالتعويض $t_1 = 3.5\ \text{s}$، $t_2 = 7.0\ \text{s}$، $d_1 = 6.0\ \text{m}$، $d_2 = 12.0\ \text{m}$

$$= \frac{12.0\ \text{m} - 6.0\ \text{m}}{7.0\ \text{s} - 3.5\ \text{s}}$$

$$= 1.7\ \text{m/s} \quad \text{في الاتجاه الموجب}$$

أما السرعة المتوسطة فتساوي القيمة المطلقة للسرعة المتجهة المتوسطة؛ أي $\bar{v} = 1.7\ \text{m/s}$

3 تقويم الجواب

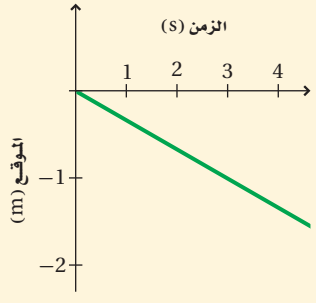
- **هل الوحدات صحيحة؟** نعم؛ فالوحدة m/s هي وحدة قياس كل من السرعة المتجهة والسرعة.
- **هل للإشارات معنى؟** نعم. الإشارة الموجبة للسرعة المتجهة المتوسطة تتفق مع النظام الإحداثي. ولا يحدد اتجاه للسرعة المتوسطة.

مسائل تدريبية

25. يصف الرسم البياني في **الشكل 22–2** حركة سفينة في البحر. ويعد الاتجاه الموجب للحركة هو اتجاه الجنوب.

a. ما السرعة المتوسطة للسفينة؟

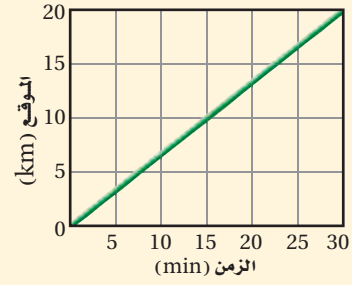
b. ما السرعة المتجهة المتوسطة للسفينة؟



الشكل 22–2

26. صف بالكلمات حركة السفينة في المسألة السابقة.

27. يمثل الرسم البياني في **الشكل 23–2** حركة دراجة هوائية. احسب كلًّا من السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة للدراجة، ثم صف حركتها بالكلمات.



الشكل 23–2

28. انطلقت دراجة بسرعة ثابتة مقدارها 0.55 m/s. ارسم مخططًا توضيحيًّا للحركة ومنحنًى بيانيًّا للموقع–الزمن، تبين فيهما حركة الدراجة لمسافة 19.8 m.

السرعة المتجهة اللحظية Instantaneous Velocity

لماذا أطلقنا على الكمية $\frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$ السرعة المتجهة المتوسطة، ولم نسمِّها ببساطة السرعة المتجهة؟ فكّر في طريقة إنشاء المخطط التوضيحي للحركة تدرك أن هذا المخطط يبين موقع الجسم المتحرك عند بداية فترة زمنية وعند نهايتها، لكنه لا يعبر عما حدث خلال تلك الفترة. فربما بقيت السرعة ثابتة أو زادت أو نقصت، أو ربما يكون الجسم قد توقف أو غيَّر اتجاهه. إن كل ما يمكن تحديده من خلال المخطط التوضيحي للحركة هو السرعة المتجهة المتوسطة، التي يمكن حسابها بقسمة الإزاحة الكلية على الفترة الزمنية التي حدثت الإزاحة خلالها. أما السرعة المتجهة للجسم عند لحظة معينة فتسمى **السرعة المتجهة اللحظية**. وسنستخدم في هذا الكتاب مصطلح السرعة المتجهة للتعبير عن السرعة المتجهة اللحظية، وسنرمز لها بالرمز $\boldsymbol{v}$.

إذا كانت السرعة المتجهة اللحظية لجسم ما ثابتة فإنها عندئذٍ تكون مساوية لسرعته المتجهة المتوسطة. وإذا تحرك الجسم بسرعة متجهةٍ ثابتة فإننا نقول إن سرعته منتظمة، لذا تكون حركته منتظمة.

تمثيل السرعة المتجهة المتوسطة على المخططات التوضيحية للحركة Average Velocity on Motion Diagrams

كيف يمكنك تعيين السرعة المتجهة المتوسطة على المخطط التوضيحي للحركة؟ إن المخطط التوضيحي للحركة ليس رسمًا بيانيًّا دقيقًا للسرعة المتجهة المتوسطة، وإنما يمكن استخدامه في تعيين مقدار واتجاه السرعة المتجهة المتوسطة. تخيل سيارتين تسيران على طريق بسرعتين مختلفتين، وتسجّل كاميرا فيديو حركتيهما بمعدل صورة كل ثانية، وتخيل أنه في مؤخرة كل سيارة فرشاة دهان تهبط آليًّا كل ثانية؛ لترسم خطًّا على الأرض مدة نصف ثانية. من المنطقي أن ترسم السيارة الأسرع خطًّا أطول. وتشبه الخطوط التي رسمتها فرشاتا الدهان على الأرض المتجهاتِ التي نرسمها على المخطط التوضيحي للحركة لتمثيل السرعة المتجهة.

استخدام المعادلات عندما ترسم خطًّا بيانيًّا مستقيمًا تستطيع التعبير عنه بمعادلة. ومن الأفضل أحيانًا استخدام مثل هذه المعادلة بدلاً من الرسم البياني لحل المسائل. تفحص مرة أخرى الرسم البياني في **الشكل 21–2** الذي يمثل جسمًا يتحرك بسرعة متجهة $(-5.0\ \text{m/s})$. ولعلك درست سابقًا أن أي خط مستقيم يمكن تمثيله بالصيغة الرياضية $y = mx + b$؛ حيث y هي الكمية التي نُعيّنها على المحور الرأسي، و m هي ميل الخط المستقيم، و x هي الكمية التي نُعيّنها على المحور الأفقي، و b هي نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور الرأسي.

تجربة

متجهات السرعة اللحظية

1. اربط أحد طرفي خيط طوله 1 m بكتلة ذات خطاف.
2. أمسك بيدك الطرف الآخر للخيط بحيث تتدلى الكتلة في الهواء.
3. استخدم يدك الأخرى لتسحب الكتلة بحذر إلى أحد الجانبين، ثم اتركها.
4. **لاحظ** الحركة والسرعة واتجاه حركة الكتلة لعدة اهتزازات.
5. أوقف الكتلة عن الاهتزاز.
6. ارسم شكلًا توضيحيًّا تبين فيه متجهات السرعة اللحظية عند النقاط التالية: قمة الاهتزازة، ونقطة المنتصف بين القمة والقاع، وقاع الاهتزازة، ونقطة المنتصف بين القاع والقمة، والقمة مرة أخرى.

التحليل والاستنتاج

7. أين كانت السرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟
8. أين كانت السرعة المتجهة أقل ما يمكن؟
9. **وضح** كيف يمكن قياس السرعة المتوسطة باستخدام المتجهات؟

في الرسم البياني الموضح في **الشكل 21–2** تكون الكمية المُعيّنة على المحور الرأسي هي الموقع، وتُمثَّل بالمتغير $\boldsymbol{d}$. والكمية المُعينة على المحور الأفقي هي الزمن، وتُمثَّل بالمتغير t.

أما ميل الخط المستقيم ($-5.0\ \text{m/s}$) فيمثل السرعة المتجهة المتوسطة للجسم $\overline{\boldsymbol{v}}$، ونقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الرأسي هي $20.0\ \text{m}$. ترى ما الذي يمثله المقدار $20.0\ \text{m}$؟ مِن تفحص الرسم البياني والتفكير في كيفية تحرك الجسم تستنتج أن الجسم كان في موقع يبعُد $20.0\ \text{m}$ عن نقطة الأصل عندما $t = 0.0$، ويُعرف هذا بالموقع الابتدائي للجسم، ويرمز له بالرمز $\boldsymbol{d}_i$.

ويبين **الجدول 2–2** مقارنة بين المتغيرات العامة لمعادلة الخط المستقيم والمتغيرات الخاصة بالحركة، كما يبيّن القيم العددية لكل من الثابتين في هذه المعادلة. وبالاعتماد على المعلومات المبينة في الجدول، فإن المعادلة $y = mx + b$ أصبحت $\boldsymbol{d} = \overline{\boldsymbol{v}}t + \boldsymbol{d}_i$، وبتعويض قيم الثوابت تصبح:

$$\boldsymbol{d} = (-5.0\ \text{m/s})\, t + 20.0\ \text{m}$$

تصف هذه المعادلة الحركة الممثلة **بالشكل 21–2**. ويمكنك أن تختبر هذه المعادلة بإعطاء قيمة لـ t في المعادلة وحساب $\boldsymbol{d}$. ويجب أن تحصل على القيمة نفسها لـ $\boldsymbol{d}$ عندما تعوض القيمة السابقة لـ t في الرسم البياني. ولإجراء اختبار إضافي للتأكد من أن المعادلة ذات معنى تفحّص الوحدات في كل من طرفيها للتأكد من تطابقهما. يمثل الجانب الأيسر في هذه المعادلة الموقع، ووحدته هي m، أما وحدة الجزء الأول من المعادلة في الجانب الأيمن فهي حاصل ضرب $\frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{s}$ أو meters، ووحدة الجزء الثاني من المعادلة في الطرف الأيمن هي m، وبهذا تكون الوحدات في طرفي المعادلة متطابقة.

الجدول 2–2

مقارنة الخطوط المستقيمة مع منحنيات الموقع-الزمن

المتغير العام	المتغير المعين للحركة	القيمة في الشكل 2-21
y	$\boldsymbol{d}$	
m	$\overline{\boldsymbol{v}}$	$-5.0\ \text{m/s}$
x	t	
b	$\boldsymbol{d}_i$	$20.0\ \text{m}$

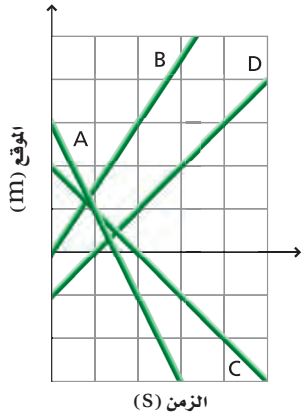
معادلة الحركة بدلالة السرعة المتجهة المتوسطة $\boldsymbol{d} = \overline{\boldsymbol{v}}t + \boldsymbol{d}_i$

موقع الجسم المتحرك يساوي حاصل ضرب السرعة المتجهة المتوسطة في الزمن مضافًا إليه قيمة الموقع الابتدائي للجسم.

تستطيع الآن تمثيل الحركة باستخدام الكلمات والمخططات التوضيحية للحركة والصور وجداول البيانات ومنحنيات الموقع–الزمن، وكذلك باستخدام معادلة الحركة.

استخدم *الشكل 24–2 في حل المسائل 31–29.*

29. **السرعة المتوسطة** رتب منحنيات (الموقع-الزمن) وفق السرعة المتوسطة للجسم، من الأكبر إلى الأصغر، وأشر إلى الروابط إن وجدت.



الشكل 24–2

30. **السرعة المتجهة المتوسطة** رتِّب المنحنيات وفق السرعة المتجهة المتوسطة من السرعة الأكبر إلى السرعة الأقل.

31. **الموقع الابتدائي** رتِّب الخطوط البيانية بحسب الموقع الابتدائي للجسم (بدءًا بأكبر قيمة موجبة وانتهاء بأكبر قيمة سالبة). هل سيكون ترتيبك مختلفًا إذا طلب إليك أن ترتبها بحسب المسافة الابتدائية للجسم من نقطة الأصل؟

32. **السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة** وضّح العلاقة بين السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة.

33. **التفكير الناقد** ما أهمية عمل نماذج مصورة ونماذج فيزيائية للحركة قبل بدء حل معادلة ما؟

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

مختبر الفيزياء

عمل رسوم توضيحية للحركة

ستعمل في هذا النشاط مخططات توضيحية لحركة سيارتين لعبة. يتكون المخطط التوضيحي للحركة من مجموعة من الصور المتعاقبة التي تظهر مواقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية. وتساعدنا المخططات التوضيحية على وصف حركة الجسم؛ فمن خلال تفحص هذه المخططات يمكنك أن تقرر ما إذا كانت سرعة الجسم تتزايد أو تتناقص أو تظل ثابتة.

سؤال التجربة

كيف يختلف المخطط التوضيحي لحركة سيارة سريعة عن المخطط التوضيحي لحركة سيارة بطيئة؟

الأهداف

- **تقيس** مواقع الجسم المتحرك باستخدام النظام الدولي للوحدات (SI).
- **تدرك** العلاقات المكانية بين الأجسام المتحركة.
- **تصف** حركة جسم سريع وآخر بطيء.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

كاميرا فيديو

سيارتان لعبة تعملان بانضغاط النابض

مسطرة مترية

لوح كرتوني

الخطوات

1. ارسم خطًّا للبداية على طاولة المختبر أو على أي سطح يقترحه المعلم.
2. ضع كلتا السيارتين عند خط البداية، وأطلقهما في الوقت نفسه (تأكد من انضغاط نابضيهما قبل الانطلاق).
3. راقب حركة السيارتين، وحدد أيهما أسرع.
4. ضع السيارة الأبطأ عند خط البداية.
5. ثبّت مسطرة مترية بموازاة المسار الذي ستسير فيه السيارة.
6. اختر واحدًا من أعضاء مجموعتك لتشغيل كاميرا الفيديو.
7. أطلق السيارة البطيئة من خط البداية (تأكد من ضغط نابض السيارة قبل إطلاقها).
8. استعمل كاميرا الفيديو لتسجيل حركة السيارة البطيئة بموازاة المسطرة المترية.
9. هَيئ مسجل الفيديو لعرض المشهد لقطةً بعد أخرى، ثم أعد تشغيل شريط الفيديو كل 0.5 s مع ضغط زر الإيقاف كل 0.1 s (ثلاث لقطات).
10. حدد موقع السيارة في كل فترة زمنية بقراءة قياس المسطرة المترية على شريط الفيديو، ودوِّن ذلك في جدول البيانات.
11. كرّر الخطوات 10–5 باستخدام السيارة الأسرع.
12. ضع اللوح الكرتوني، بحيث يشكل مستوًى مائلاً بزاوية 30° تقريبًا على الأفقي.

جدول البيانات 1	
الزمن (s)	موقع السيارة الأبطأ (cm)
0.0	
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	

جدول البيانات 2	
الزمن (s)	موقع السيارة الأسرع (cm)
0.0	
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	

جدول البيانات 3	
الزمن (s)	موقع السيارة الأبطأ على المستوى المائل (cm)
0.0	
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	

13. ضع المسطرة المترية على المستوى المائل بحيث تكون موازية للمسار الذي ستتحرك عليه السيارة.
14. ضع السيارة البطيئة عند قمة المستوى المائل، وكرّر الخطوات 10–6.

التحليل

1. ارسم مخططًا توضيحيًّا لحركة السيارة البطيئة مستخدمًا البيانات التي جمعتها.
2. ارسم مخططًا توضيحيًّا لحركة السيارة السريعة مستخدمًا البيانات التي جمعتها.
3. استخدم البيانات التي حصلت عليها لرسم مخطط توضيحي لحركة السيارة البطيئة في أثناء نزولها المستوى المائل.

الاستنتاج والتطبيق

كيف يختلف المخطط التوضيحي لحركة السيارة السريعة عنه لحركة السيارة البطيئة؟

التوسع في البحث

1. ارسم مخططًا توضيحيًّا لحركة سيارة تتحرك بسرعة ثابتة.
2. ما العلاقة بين المسافات الفاصلة بين النقاط في مخطط حركة سيارة تتحرك بسرعة ثابتة؟
3. ارسم مخططًا توضيحيًّا لحركة سيارة تبدأ متحركة بسرعة كبيرة ثم تتباطأ تدريجيًّا.
4. ماذا يحدث للمسافة بين النقاط في مخطط الحركة في السؤال السابق عندما تتباطأ السيارة؟
5. ارسم مخططًا توضيحيًّا لحركة سيارة تسير في البداية ببطء، ثم تتسارع.
6. ماذا يحدث للمسافة بين النقاط في المخطط التوضيحي للحركة في السؤال السابق عندما تتسارع السيارة؟

الفيزياء في الحياة

افترض أن سيارة تتوقف بشكل مفاجئ لتتجنب حادثًا. إذا كان للسيارة فرامل تضغط وتفصل بشكل آلي في كل جزء من الثانية، فكيف ستبدو آثار العجلات على الطريق؟ أرفق بإجابتك رسمًا توضيحيًّا يبين كيف تبدو آثار العجلات نتيجة الضغط على الفرامل.

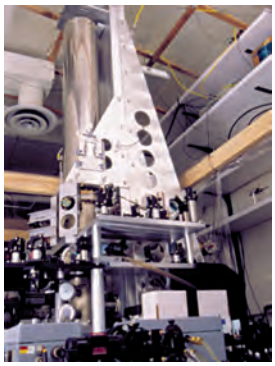
لمزيد من المعلومات عن تمثيل الحركة ارجع إلى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني obeikaneducation.com

الدقة في قياس الزمن
Accurate Time

افترض أن ساعة الحائط في صفك كانت تشير إلى 9:00، في الوقت الذي تشير فيه ساعتك إلى 8:55، بينما تشير ساعة زميلك إلى 9:05. ترى أي الساعات الثلاث أدق في تحديد الوقت؟ إن الدقة في تحديد الوقت أمر ضروري في حياتنا اليومية؛ فالجرس المدرسي الذي يقرع كل صباح وفي نهاية كل حصة دراسية يتم التحكم فيه اعتمادًا على الساعة. لذا إذا أردت أن تكون في الصف في الوقت المحدد فلابد أن تضبط ساعتك مع الساعة المرتبطة بهذا الجرس. إن عمليات السفر عبر الفضاء والنقل والاتصالات والملاحة بأنظمة GPS تعتمد على ساعات ذات دقة متناهية، ومن هنا تأتي الحاجة إلى ساعات معيارية موثوقة مثل ساعة السيزيوم المعيارية.

ساعة السيزيوم المعيارية هي إحدى الساعات الذرية التي تلبي هذه الحاجة؛ فهي تعمل على قياس عدد الذبذبات؛ أي عدد المرات التي تغير فيها الذرة المستخدمة في الساعة مستوى طاقتها. وتحدث هذه الذبذبات لطاقة الذرة بسرعة كبيرة وبانتظام، لذا فهي تستخدم لتعيين الثانية المعيارية 1 s التي تساوي الزمن الذي تستغرقه 9192631770 ذبذبة.

إن مستوى الطاقة الخارجي لذرة السيزيوم يحتوي على إلكترون واحد يدور مغزليًّا، ويسلك سلوك مغناطيس متناهٍ في الصغر. وكذلك الحال لنواتها؛ حيث يدور كل من الإلكترون والنواة معًا، بحيث تصطف كل من الأقطاب المتشابهة لهما مرة، والأقطاب المختلفة مرة أخرى. فإذا اصطفت الأقطاب المتشابهة تكون ذرة السيزيوم في مستوى طاقة واحد، بينما إذا اصطفت الأقطاب المختلفة تكون الذرة في مستوى طاقة آخر.



تعدّ ساعة السيزيوم NIST-F1 الموجودة في مختبرات NIST في بولدر في كولورادو من أدق الساعات في العالم.

كيف تعمل ساعة السيزيوم؟ تتركب ساعة السيزيوم من ذرات السيزيوم، وجهاز للذبذبات مصنوع من كريستال الكوارتز، يولّد موجات ميكروية، وعندما يتساوى تردد الموجات الميكروية للجهاز مع التردد الطبيعي لذرات السيزيوم فإن عددًا كبيرًا من ذرات السيزيوم تغير من مستويات طاقتها. وبما أن التردد الطبيعي للسيزيوم 9192631770 ذبذبة فهذا يعني أن هناك 9192631770 تغيرًا بين مستويات طاقة ذرات السيزيوم في كل ثانية. ومن هنا تأتي دقة قياس الوقت بهذه الساعة.

التوسع

1. **ابحث** ما العمليات التي تحتاج إلى القياس الدقيق للوقت؟
2. **حلل** واستنتج لماذا يعدّ القياس البالغ الدقة للوقت أساسًا في الملاحة الفضائية؟

الفصل 2
دليل مراجعة الفصل

2–1 تصوير الحركة Picturing Motion

المفردات

- مخطط الحركة
- نموذج الجسيم النقطي

المفاهيم الرئيسة

- يبين المخطط التوضيحي للحركة موقع جسم خلال أزمنة متعاقبة.
- يستخدم في نموذج الجسيم النقطي مجموعة من النقاط المفردة المتتالية بدلًا من الجسم في المخطط التوضيحي للحركة.

2–2 الموقع والزمن Position and Time

المفردات

- النظام الإحداثي
- نقطة الأصل
- الموقع
- المسافة
- الكميات المتجهة
- الكميات العددية
- المحصلة
- الفترة الزمنية
- الإزاحة

المفاهيم الرئيسة

- النظام الإحداثي نظام يستخدم لوصف الحركة، بحيث يحدد لك موقع نقطة الأصل للمتغير الذي تدرسه، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم المتغير.
- نقطة الأصل هي النقطة التي تكون عندها قيمة كل من المتغيرين صفرًا.
- الموقع هو المسافة الفاصلة بين الجسم ونقطة الأصل، ويمكن أن تكون موجبة أو سالبة.
- المسافة كمية عددية تصف بُعد الجسم عن نقطة الأصل.
- الكميات المتجهة كميات فيزيائية لها مقدار واتجاه وفقًا لنقطة الإسناد.
- الكميات العددية كميات فيزيائية لها مقدار فقط.
- المحصلة متجه ناتج عن جمع متجهين أو أكثر، وهو يشير دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الآخر.
- الفترة الزمنية هي فرق بين زمنين. $\Delta t = t_f - t_i$
- الإزاحة كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار تغير موقع الجسم في اتجاه معين. $\Delta \boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i$

2–3 منحنى (الموقع–الزمن) Position–Time Graph

المفردات

- منحنى (الموقع–الزمن)
- الموقع اللحظي

المفاهيم الرئيسة

- تستخدم منحنيات الموقع–الزمن لإيجاد السرعة المتجهة وموقع الجسم، ومعرفة أين ومتى يتقابل جسمان.
- الموقع اللحظي هو موقع الجسم عند لحظة زمنية معينة.

2–4 السرعة المتجهة Velocity

المفردات

- السرعة المتجهة المتوسطة
- السرعة المتوسطة
- السرعة المتجهة اللحظية

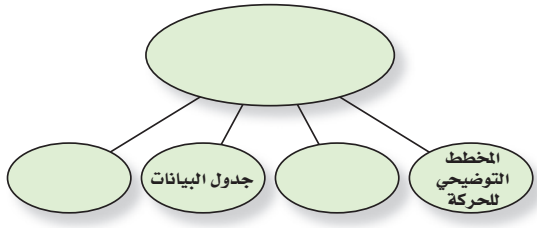
المفاهيم الرئيسة

- ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) لجسم هو السرعة المتجهة المتوسطة لحركة الجسم. وهي تعبِّر عن مقدار السرعة التي يتحرك بها الجسم واتجاهها. $\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$
- السرعة المتوسطة هي القيمة المطلقة للسرعة المتجهة المتوسطة.
- رمز الموقع الابتدائي للجسم $\boldsymbol{d}_i$، وسرعته المتجهة المتوسطة الثابتة $\overline{\boldsymbol{v}}$، وإزاحته $\boldsymbol{d}$، والزمن t، وترتبط معًا بالمعادلة: $\boldsymbol{d} = \overline{\boldsymbol{v}}t + \boldsymbol{d}_i$
- السرعة المتجهة اللحظية هي مقدار سرعة الجسم واتجاه حركته عند لحظة معينة.

الفصل 2
التقويم

خريطة المفاهيم

34. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: الكلمات، التمثيلات المتكافئة، منحنى (الموقع–الزمن).



إتقان المفاهيم

35. ما الهدف من رسم المخطط التوضيحي للحركة؟ (2–1)

36. متى يمكن معاملة الجسم كجسيم نقطي؟ (2–1)

37. وضّح الفرق بين: الموقع والمسافة والإزاحة. (2–2)

38. كيف يمكنك استخدام ساعة حائط لتعيين فترة زمنية؟ (2–2)

39. **خط التزلج** وضح كيف يمكنك أن تستخدم منحنى (الموقع–الزمن) لمتزلجين على مسار التزلج؛ لتحديد ما إذا كان أحدهما سيتجاوز الآخر، ومتى؟ (2–3)

40. **المشي والركض** إذا غادر منزلكم شخصان في الوقت نفسه؛ أحدهما يعدو والآخر يمشي، وتحركا في الاتجاه نفسه بسرعتين متجهتين منتظمين، فصف منحنى (الموقع–الزمن) لكل منهما. (2–4)

41. ماذا يمثل ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن)؟ (2–4)

42. إذا علمت موقع جسم متحرك عند نقطتين في مسار حركته، وكذلك الزمن الذي استغرقه الجسم للوصول من النقطة الأولى إلى الأخرى، فهل يمكنك تعيين سرعته المتجهة اللحظية، وسرعته المتجهة المتوسطة؟ فسر ذلك. (2–4)

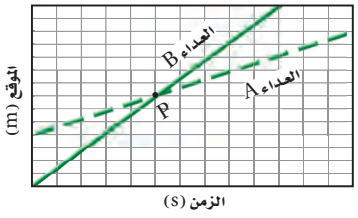
تطبيق المفاهيم

43. يمثل **الشكل 2–25** رسمًا بيانيًّا لحركة عدّاءين.

a. صف موقع العدّاء A بالنسبة للعدّاء B بحسب التقاطع مع المحور الرأسي.

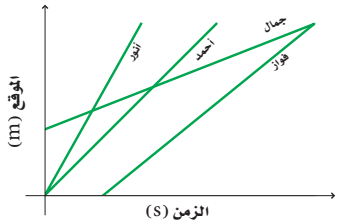
b. أي العدّاءين أسرع؟

c. ماذا يحدث عند النقطة P وما بَعدها؟



الشكل 2–25

44. يبين منحنى (الموقع–الزمن) في **الشكل 2–26** حركة أربعة من الطلاب في طريق عودتهم من المدرسة. رتِّب الطلاب بحسب السرعة المتجهة المتوسطة لكل منهم من الأبطأ إلى الأسرع.

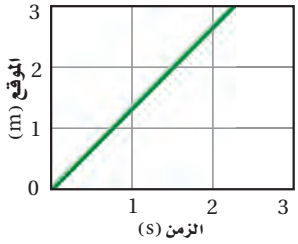


الشكل 2–26

45. يمثل **الشكل 2–27** منحنى (الموقع–الزمن) لأرنب يهرب من كلب. صف كيف يختلف هذا الرسم البياني إذا:

a. ركض الأرنب بضعف سرعته.

b. ركض الأرنب في الاتجاه المعاكس.



الشكل 2–27

تقويم الفصل 2

إتقان حل المسائل

46. تحركت دراجة هوائية بسرعة ثابتة مقدارها 4.0 m/s مدة 5.0 s. ما المسافة التي قطعتها خلال هذه المدة؟

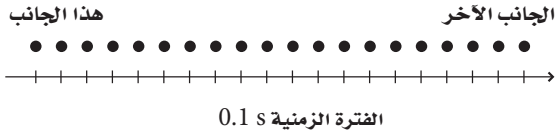
47. **علم الفلك** يصل الضوء من الشمس إلى الأرض في 8.3 min. إذا كانت سرعة الضوء 3.00×10^8 m/s فما بُعد الأرض عن الشمس؟

48. تتحرك سيارة في شارع بسرعة 55 km/h، وفجأة ركض أمامها طفل ليعبر الشارع. إذا استغرق سائق السيارة 0.75 s ليستجيب ويضغط على الفرامل فما المسافة التي تحركتها السيارة قبل أن تبدأ في التباطؤ؟

49. **قيادة السيارة** إذا قاد والدك سيارته بسرعة 90.0 km/h، بينما قاد صديقه سيارته بسرعة 95 km/h، فسبق والدَك في الوصول إلى نهاية الرحلة. فما الزمن الذي سينتظره صديق والدك في نهاية الرحلة التي يبلغ طولها 50 km ؟

مراجعة عامة

50. يبين **الشكل 28–2** نموذج الجسيم النقطي لحركة ولد يعبر طريقًا بشكل عرضي. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) المكافئ للنموذج، واكتب المعادلة التي تصف حركة الولد، علمًا بأن الفترات الزمنية هي 0.1 s.



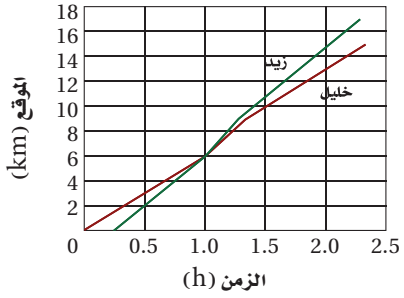
الشكل 28–2

51. يبين **الشكل 29–2** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة كل من زيد وخليل وهما يجدفان في قاربين عبر نهر.

a. عند أي زمن s كان زيد وخليل في المكان نفسه؟

b. ما الزمن الذي يستغرقه زيد في التجديف قبل أن يتجاوز خليلًا؟

c. في أي موقع من النهر يوجد تيار سريع؟



الشكل 29–2

52. غادرت السيارتان A و B المدرسة عندما كانت قراءة ساعة الإيقاف صفرًا، وكانت السيارة A تتحرك بسرعة منتظمة 75 km/h، والسيارة B تتحرك بسرعة منتظمة 85 km/h.

a. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) لحركة كل من السيارتين، ووضح بُعد كل منهما عن المدرسة عندما تشير ساعة الإيقاف إلى 2.0 h. حدد ذلك على رسمك البياني.

b. إذا مرت كلتا السيارتين بمحطة وقود تبعد 120 km عن المدرسة، فمتى مرَّت كل منهما بالمحطة؟ حدد ذلك على الرسم.

53. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) لسيارتين A و B تسيران نحو شاطئ يبعد 50 km عن المدرسة. عند الساعة 12:00 pm تحركت السيارة A بسرعة 40 km/h من متجر يبعد 40 km عن الشاطئ، بينما تحركت السيارة B من المدرسة عند الساعة 12:30 pm بسرعة 100 km/h. متى تصل كل من السيارتين A و B إلى الشاطئ؟

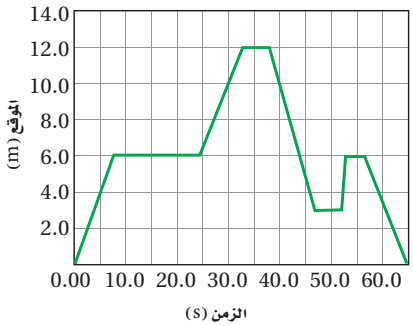
54. يبين **الشكل 30–2** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة علي ذهابًا وإيابًا في ممر. افترض أن نقطة الأصل عند أحد طرفي الممر.

a. اكتب فقرة تصف حركة علي في الممر، بحيث تتطابق مع الحركة الممثلة في الرسم البياني التالي.

تقويم الفصل 2

b. متى كان موقع علي على بُعد 6.0 m؟

c. ما الزمن بين لحظة دخول علي في الممر ووصوله إلى موقع يبعد 12.0 m عن نقطة الأصل؟ وما السرعة المتجهة المتوسطة لعلي خلال الفترة الزمنية (37 s – 46 s)؟



الشكل 2–30

التفكير الناقد

55. **تصميم تجربة** تنطلق دراجة نارية أمام منزل يعتقد أصحابه أنها تتجاوز حدود السرعة المسموح بها وهي 40 km/h. صف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتقرر ما إذا كانت هذه الدراجة تتجاوز السرعة المحددة فعلًا عندما تمر أمام المنزل.

56. **تفسير الرسوم البيانية** هل يمكن أن يكون المنحنى البياني لـ(الموقع– الزمن) لجسم خطًّا أفقيًّا؟ وهل يمكن أن يكون خطًّا رأسيًّا؟ إذا كانت إجابتك "نعم" فصف بالكلمات هذه الحركة.

57. وقف طلاب شعبة الفيزياء في صف واحد، وكانت المسافة بين كل طالبين 25 m، واستخدموا ساعات إيقاف لقياس الزمن الذي تمر عنده سيارة تتحرك على طريق رئيس أمام كل منهم. وتم تدوين البيانات في **الجدول 3–2**.

ارسم منحنى (الموقع–الزمن) مستخدمًا البيانات الواردة في الجدول، ثم أوجد ميل الخط البياني في المنحنى، واستنتج سرعة السيارة.

الجدول 3–2

الموقع-الزمن	
الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.3	25.0
2.7	50.0
3.6	75.0
5.1	100.0
5.9	125.0
7.0	150.0
8.6	175.0
10.3	200.0

الكتابة في الفيزياء

58. حدد علماء الفيزياء سرعة الضوء $3.00\times10^{8}\ m/s$. كيف توصلوا إلى هذا؟ اقرأ حول سلسلة التجارب التي أجريت لتعيين سرعة الضوء، ثم صف كيف تطورت التقنيات التجريبية لتجعل نتائج التجارب أكثر دقة.

مراجعة تراكمية

59. حوِّل كلًّا من قياسات الزمن التالية إلى ما يعادلها بالثواني:

a. 58 ns **c.** 9270 ms

b. 0.046 Gs **d.** 12.3 ks

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي العبارات التالية تعبر بشكل صحيح عن النموذج الجسيمي النقطي لحركة طائرة تقلع من مطار؟

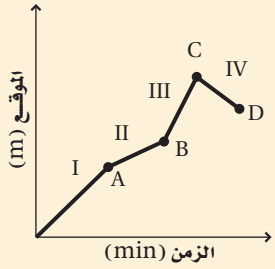
Ⓐ تكوِّنُ النقاط نمطًا وتفصل بينها مسافات متساوية.

Ⓑ تكُون النقاط متباعدة في البداية، ثم تتقارب مع تسارع الطائرة.

Ⓒ تكُون النقاط متقاربة في البداية، ثم تتباعد مع تسارع الطائرة.

Ⓓ تكُون النقاط متقاربة في البداية، ثم تتباعد ثم تتقارب مرة أخرى عندما تستوي الطائرة وتتحرك بالسرعة العادية للطيران.

يبين الرسم البياني حركة شخص يركب دراجة هوائية. استخدم هذا الرسم للإجابة عن الأسئلة 4–2.



2. متى بلغت السرعة المتجهة للدراجة أقصى قيمة لها؟

Ⓐ في الفترة I　　Ⓒ عند النقطة C

Ⓑ في الفترة III　　Ⓓ عند النقطة B

3. ما الموقع الذي تكون عنده الدراجة أبعد ما يمكن عن نقطة البداية؟

Ⓐ النقطة A　　Ⓒ النقطة C

Ⓑ النقطة B　　Ⓓ النقطة D

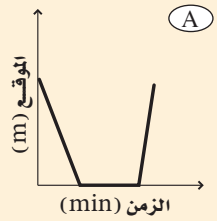
4. في أي فترة زمنية قطع راكب الدراجة أكبر مسافة؟

Ⓐ الفترة I　　Ⓒ الفترة III

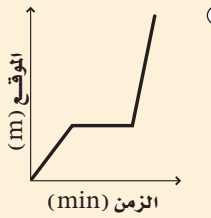
Ⓑ الفترة II　　Ⓓ الفترة IV

5. نزل سنجاب من فوق شجرة ارتفاعها 8 m بسرعة منتظمة خلال 1.5 min، وانتظر عند أسفل الشجرة مدة 2.3 min، ثم تحرك مرة أخرى في اتجاه حبة بندق على الأرض مدة 0.7 min. فجأة صدر صوت مرتفع سبَّب فرار السنجاب بسرعة إلى أعلى الشجرة، فبلغ الموقع نفسه الذي انطلق منه خلال 0.1 min. أي الرسوم البيانية التالية يمثل بدقة الإزاحة الرأسية للسنجاب مقيسة من قاعدة الشجرة؟ (نقطة الأصل تقع عند قاعدة الشجرة).

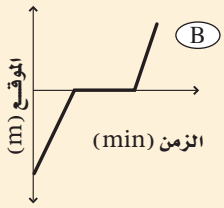
Ⓐ



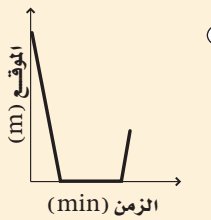
Ⓒ



Ⓑ



Ⓓ



الأسئلة الممتدة

6. احسب الإزاحة الكلية لمتسابق في متاهة، إذا سلك داخلها المسار التالي:

البداية، 1.0 m شمالاً، 0.3 m شرقًا، 0.8 m جنوبًا، 0.4 m شرقًا، النهاية.

✓ إرشاد

الأدوات اللازمة

أحضر جميع الأدوات اللازمة للامتحان: أقلام رصاص، أقلام حبر زرقاء وسوداء، ممحاة، سائل للتصحيح، مبراة، مسطرة، آلة حاسبة، منقلة.

الفصل 3

الحركة المتسارعة
Accelerated Motion

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الحركة المتسارعة.
- استخدام الرسوم البيانية والمعادلات لحل مسائل تتضمن أجسامًا متحركة.
- وصف حركة الأجسام في حالة السقوط الحر.

الأهمية

لا تتحرك الأجسام دائمًا بسرعات منتظمة. ويساعدك فهم الحركة المتسارعة على وصف حركة العديد من الأجسام بشكل أفضل. **التسارع** العديد من وسائل النقل–ومنها السيارات والطائرات وقطارات الأنفاق وكذلك المصاعد وغيرها– تبدأ رحلاتها عادةً بزيادة سرعتها بمعدل كبير، وتنهيها بالوقوف بأسرع ما يمكن.

فكِّر ◄

يقف سائق سيارة السباق متحفزًا عند خط البداية منتظرًا الضوء الأخضر الذي يعلن بدء السباق. وعندما يضيء ينطلق السائق بأقصى سرعة. كيف يتغير موقع السيارة في أثناء تزايد سرعتها؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

هل تبدو جميع أنواع الحركة بالشكل نفسه عند تمثيلها بيانيًّا؟

سؤال التجربة كيف تقارن الرسم البياني لحركة سيارة ذات سرعة منتظمة بالرسم البياني لحركة سيارة تتزايد سرعتها؟

الخطوات

1. أحضر سيارتين لعبة تعملان بنابض، وضع لوحًا خشبيًّا مناسبًا فوق سطح الطاولة لتمثيل مسار لحركة السيارتين.
2. ثبت المؤقت ذا الشريط الورقي على أحد طرفي اللوح.
3. قص قطعة من شريط المؤقت طولها 50 cm وأدخلها في المؤقت، ثم ألصق الطرف الآخر بالسيارة رقم 1، حيث يستخدم الشريط الورقي أداةً لرسم مخطط الجسيم النقطي.
4. دوِّن رقم السيارة على الشريط، وشغِّل المؤقت، وأطلق السيارة.
5. ارفع الطرف الثاني للوح الخشبي بمقدار 8–10 cm، بوضع مكعبات خشبية أسفل طرفه.
6. كرّر الخطوات 5–3 مستخدمًا السيارة رقم 2، بوضع السيارة ملاصقة للمؤقت وإطلاقها بعد تشغيله. أمسك السيارة قبل سقوطها عن حافة اللوح الخشبي.
7. **سجل البيانات ونظمها** حدد ثاني نقطة داكنة (سوداء) على شريط المؤقت على أنها الصفر. قِس المسافة بين نقطة الصفر وكلٍّ من النقاط الأخرى لعشر فترات زمنية، ثم دوِّن القراءات.
8. **أنشئ الرسوم البيانيّة واستخدمها** مثِّل بيانيًّا المسافة الكلية مع رقم الفترة الزمنية. عيِّن القراءات لكلتا السيارتين على الرسم نفسه. دوّن رقم السيارة على الرسم البياني الذي يمثلها.

التحليل

أي السيارتين تحركت بسرعة منتظمة، وأيهما ازدادت سرعتها؟ وضح كيف توصلت إلى ذلك من خلال فحصك لشريط المؤقت؟

التفكير الناقد صف شكل كل من الرسمين البيانيين. ما علاقة شكل الخط البياني بنوع الحركة التي شوهدت؟

3–1 التسارع (العجلة) Acceleration

الحركة المنتظمة من أبسط أنواع الحركة. وكما درست في الفصل الثاني فإن الجسم الذي يتحرك حركة منتظمة يسير بسرعة ثابتة في خط مستقيم. ولعلك تدرك من خبراتك اليومية أن عددًا قليلاً من الأجسام يتحرك بهذه الطريقة طوال الوقت.

في هذا الفصل ستزيد معلوماتك في هذا المجال، بتعرُّف نوع من الحركة أكثر تعقيدًا. وستدرس حالات تتغير خلالها سرعة الجسم، بينما يبقى مساره مستقيمًا. وستدرس كذلك أمثلة تتضمن سيارات تتزايد سرعتها، واستخدام سائقي السيارات للفرامل، والأجسام الساقطة، والأجسام المقذوفة رأسيًّا إلى أعلى.

الأهداف

- **تعرف** التسارع (العجلة).
- **تربط** السرعة المتجهة والتسارع مع حركة الجسم.
- **تمثل** بيانيًّا العلاقة بين السرعة المتجهة والزمن.

المفردات

منحنى (السرعة المتجهة – الزمن)
التسارع
التسارع المتوسط
التسارع اللحظي

تغير السرعة المتجهة Changing Velocity

تستطيع أن تشعر بالفرق بين الحركة المنتظمة والحركة غير المنتظمة؛ فالحركة المنتظمة تمتاز بسلاستها؛ فإذا أغمضت عينيك لم تشعر بالحركة. وعلى النقيض من ذلك، عندما تتحرك على مسار منحنٍ أو صعودًا وهبوطًا كما هو الحال عند ركوب العجلة الدوَّارة في متنزه الألعاب تشعر بأنك تُدفع أو تُسحب.

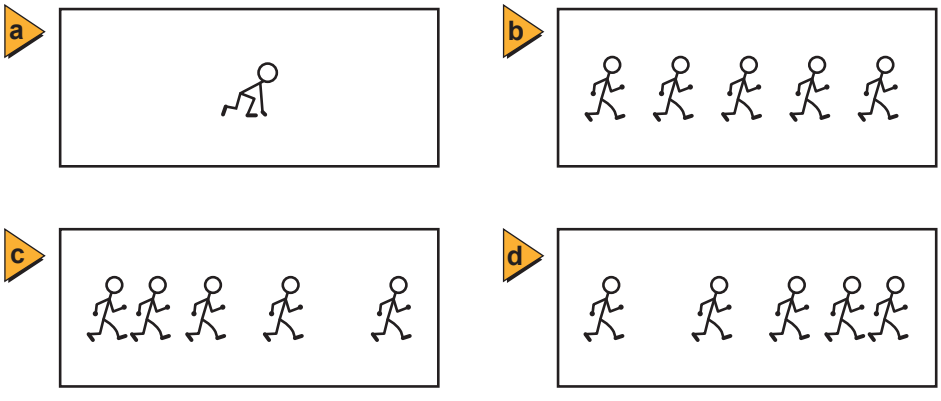
تأمل المخططات التوضيحية للحركة المبينة في **الشكل 1–3**. كيف تصف حركة العداء في كل حالة؟ في **الشكل a** لا يتحرك العداء، أما في **الشكل b** فيتحرك بسرعة منتظمة، وفي **الشكل c** يزيد من سرعته، أما في **الشكل d** فيتباطأ. كيف استطعت استنتاج ذلك؟ ما المعلومات التي تتضمنها المخططات التوضيحية، ويمكن استخدامها للتمييز بين الحالات المختلفة للحركة؟

إن أهم ما يجب عليك ملاحظته في هذه المخططات التوضيحية هو المسافة بين المواقع المتعاقبة للعدّاء. وكما درست في الفصل الثاني أن الأجسام غير المتحركة في خلفية المخططات التوضيحية للحركة لا تغير مواقعها. ولأنه توجد صورة واحدة فقط للعدّاء في **الشكل 1a–3** فإنك تستنتج أنه لا يتحرك؛ أي أنه في حالة سكون. يُشْبه **الشكل 1b–3**، المخطط التوضيحي لحركة جسم بسرعة منتظمة في الفصل الثاني؛ لأن المسافات بين صور العدّاء في الرسم متساوية ، لذا فإن العدَّاء يتحرك بسرعة منتظمة. أما في المخططين التوضيحيين الآخرين فتتغير المسافة بين المواقع المتتالية؛ فإذا كان التغير في الموقع يزيد تدريجيًّا فهذا يعني أن العدّاء يزيد من سرعته، كما في **الشكل 1c–3**. أما إذا كان التغير في الموقع يقل، كما في **الشكل 1d–3**، فإن العدَّاء يتباطأ.

الشكل 1–3 بملاحظة المسافة التي يتحركها العداء خلال فترات زمنية متساوية يمكنك أن تحدد ما إذا كان العداء:

a. يقف ساكنًا **b.** يتحرك بسرعة منتظمة

c. يتسارع **d.** يتباطأ



تجربة

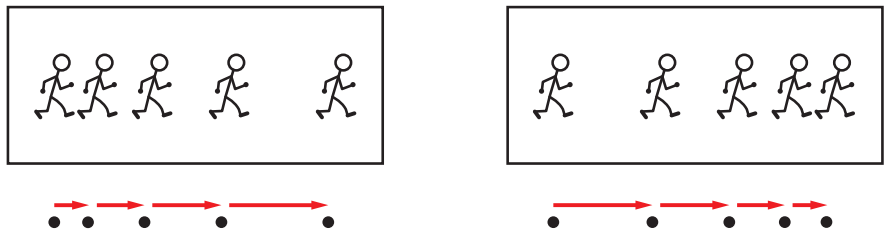
سباق الكرة الفولاذية

إذا أُفلتت كرتان من الفولاذ في اللحظة نفسها من قمة منحدر، فهل تتقاربان أو تتباعدان أو تبقيان متجاورتين في أثناء تدحرجهما؟

1. اعمل مستوىً مائلاً باستخدام أنبوب طويل فيه مجرى على شكل حرف U، أو استعمل مسطرتين متريتين ملتصقتين معًا.
2. **حدّد** علامة على بُعد 40 cm من قمة المستوى المائل، وعلامة أخرى على بُعد 80 cm من القمة أيضًا.
3. **توقّع** ما إذا كانت الكرتان ستتقاربان أو تتباعدان أو تبقى المسافة بينهما ثابتة في أثناء تدحرجهما إلى أسفل المستوى المائل.
4. أفلت الكرة الأولى من قمة المستوى المائل، وفي الوقت نفسه أفلت الأخرى من العلامة التي تبعد 40 cm عن القمة.
5. أعد التجربة، بحيث تفلت إحدى الكرتين من قمة المستوى المائل، وعندما تصل إلى العلامة 40 cm أفلت الأخرى من القمة أيضًا.

التحليل والاستنتاج

6. **اشرح** مشاهداتك مستخدمًا مصطلحات السرعة.
7. هل كان للكرتين الفولاذيتين السرعة نفسها في أثناء تدحرجهما على المستوى المائل؟ وضح ذلك.
8. هل كان لهما التسارع نفسه؟ وضح ذلك.



الشكل 2–3 نموذج الجسيم النقطي الذي يمثل المخطط التوضيحي لحركة العداء يوضح التغير في سرعته من خلال التغير في المسافات الفاصلة بين نقاط الموقع؛ وكذلك من خلال التغير في أطوال متجهات السرعة.

كيف يبدو مخطط الحركة باستخدام النموذج الجسيمي النقطي لجسم تتغير سرعته؟ يبين **الشكل 2–3** المخططات التوضيحية للحركة باستخدام النموذج الجسيمي النقطي أسفل المخططات التوضيحية لتمثيل حالة العدَّاء عندما تزداد سرعته، وعندما تتباطأ سرعته. هناك مؤشران رئيسان يعبِّران عن التغير في السرعة في هذا النمط من المخططات التوضيحية للحركة، هما: التغير في أطوال المسافات بين النقاط، والفرق بين أطوال متجهات السرعة. فإذا كان الجسم يزيد من سرعته فإن متجه السرعة التالي يكون أطول من متجه السرعة السابق. أما إذا كان يُبطئ من سرعته فيكون المتجه التالي أقصر. إن كلا النوعين من المخططات التوضيحية للحركة يعطي تصورًا عن كيفية تغير سرعة جسم ما.

منحنى السرعة المتجهة-الزمن Velocity-Time Graph

من المفيد أن نمثل بيانيًّا العلاقة بين السرعة والزمن فيما يسمى **منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)**. ويوضح **الجدول 1–3** بيانات حركة سيارة تنطلق من السكون، وتتزايد سرعتها في أثناء سيرها على طريق مستقيم.

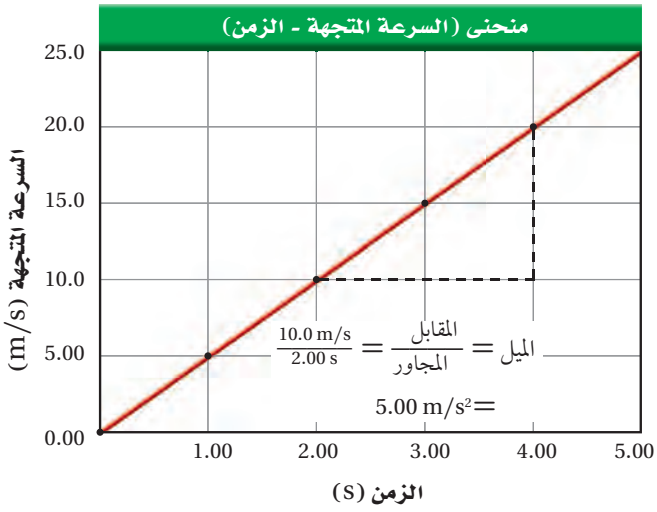
كما يبين **الشكل 3–3** الرسم البياني للسرعة المتجهة–الزمن؛ حيث تم اختيار الاتجاه الموجب في اتجاه حركة السيارة. لاحظ أن الرسم البياني عبارة عن خط مستقيم، وهذا يعني أن سرعة السيارة تتزايد بمعدل منتظم. ويمكن إيجاد المعدل الذي تتغير فيه سرعة السيارة بحساب ميل الخط المستقيم في منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

الشكل 3–3 يمثل ميل الخط البياني لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن) تسارع الجسم.

الجدول 1–3

السرعة المتجهة - الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	0.00
1.00	5.00
2.00	10.0
3.00	15.0
4.00	20.0
5.00	25.0



يتضح من الرسم البياني أن الميل يساوي $\left(\frac{10.0\ \text{m/s}}{2.00\ \text{s}}\right)$، أو $5.00\ \text{m/s}^2$، وهذا يعني أنه في كل ثانية تزداد سرعة السيارة بمقدار $5.00\ \text{m/s}$. عند دراسة زوجين من البيانات التي تفصل بينها 1 s، مثلًا 4.00 s و 5.00 s، تجد أنه عند اللحظة 4.00 s كانت السيارة تتحرك بسرعة $20.0\ \text{m/s}$، وعند اللحظة 5.00 s كانت السيارة تتحرك بسرعة $25.0\ \text{m/s}$، وبذلك ازدادت سرعة السيارة بمقدار $5.0\ \text{m/s}$ خلال فترة زمنية مقدارها 1.00 s. ويعرف المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة لجسم **بتسارع الجسم (عجلة الجسم)**، ويرمز له بالرمز $\boldsymbol{a}$. وعندما تتغير سرعة جسم بمعدل ثابت يكون له تسارع ثابت.

التسارع المتوسط والتسارع اللحظي
Average and Instantaneous Acceleration

التسارع المتوسط لجسم هو التغير في السرعة المتجهة لجسم خلال فترة زمنية، مقسومًا على هذه الفترة الزمنية، ويقاس التسارع المتوسط بوحدة m/s^2. أما التغير في السرعة المتجهة خلال فترة زمنية صغيرة جدًّا فيسمى **التسارع اللحظي**. ويمكن إيجاد التسارع اللحظي لجسم برسم خط مماسّي لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن) عند اللحظة الزمنية المُراد حساب التسارع عندها، وميل هذا الخط يساوي التسارع اللحظي.

دلالة اللون
- متجهات التسارع باللون البنفسجي.
- متجهات السرعة باللون الأحمر.
- متجهات الإزاحة باللون الأخضر.

التسارع في المخططات التوضيحية للحركة
Acceleration on a Motion Diagram

لكي يعطي مخطط الحركة صورة كاملة عن حركة جسم يجب أن يحتوي على معلومات تمثل التسارع. ويمكن أن يتم ذلك من خلال احتوائه على متجهات التسارع المتوسط التي تبين كيف تتغير السرعة المتجهة. لتحديد طول واتجاه متجه التسارع المتوسط اطرح متجهي سرعة متتاليين $(\Delta \boldsymbol{v})$، ثم اقسم على الفترة الزمنية (Δt). وكما هو مبين في **الشكلين 3–4 a،b** فإن:

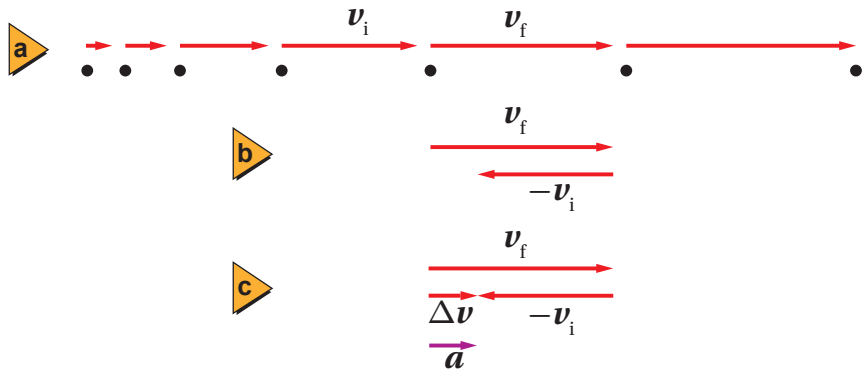
$$\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i = \boldsymbol{v}_f + (-\boldsymbol{v}_i)$$

وبالقسمة على Δt نحصل على :

$$\overline{\boldsymbol{a}} = \frac{(\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i)}{\Delta t}$$

في **الشكلين 3–4 a،b** تكون الفترة الزمنية (Δt) مساوية 1 s، لذلك يكون التسارع المتوسط

$$\overline{\boldsymbol{a}} = \frac{(\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i)}{1\ \text{s}}$$

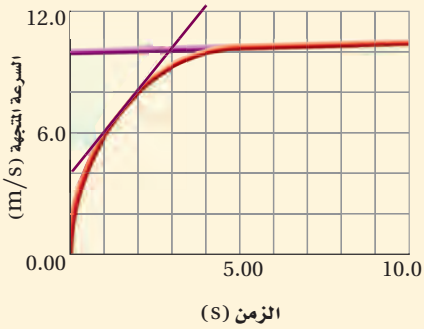


الشكل 4–3 يحسب متجه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية محددة بإيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتتاليين في تلك الفترة.

إن المتجه الذي يظهر باللون البنفسجي في **الشكل 4c–3** هو التسارع المتوسط خلال تلك الفترة الزمنية. أما السرعتان المتجهتان v_i و v_f فتشيران إلى السرعة عند بداية فترة زمنية محددة، وعند نهايتها.

مثـــال 1

السرعة المتجهة والتسارع كيف تصف سرعة العدَّاء المتجهة وتسارعه من خلال منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) المبين في الشكل المجاور؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- تفحص الرسم البياني تلاحظ أن سرعة العداء المتجهة بدأت من الصفر، وتزايدت بسرعة خلال الثواني الأولى، وعندما بلغت حوالي 10.0 m/s بقيت ثابتة تقريبًا.

المعلوم	المجهول
$v =$ متغير	$a = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

ارسم مماسًّا للمنحنى عند الزمن $t = 1.5\ s$، ثم ارسم مماسًّا آخر عند الزمن $t = 5.0\ s$.

أوجد التسارع a عند 1.5 s.

$$\text{الميل} = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$$

ميل الخط عند 1.5 s يساوي التسارع

دليل الرياضيات

الميل 145

$$a = \frac{10.0\ m/s - 4.0\ m/s}{3.0\ s - 0.00\ s}$$
$$= 2.0\ m/s^2$$

أوجد التسارع عند 5.0 s

ميل الخط عند 5.0 s يساوي التسارع

$$a = \frac{10.3\ m/s - 10.0\ m/s}{10.0\ s - 0.00\ s}$$
$$= 0.030\ m/s^2$$

التسارع غير ثابت؛ لأنه يتغير من $2.0\ m/s^2$ في اللحظة 1.5 s، إلى $0.030\ m/s^2$ في اللحظة 5.0 s، وذلك في الاتجاه الموجب؛ لأن القيمتين موجبتان.

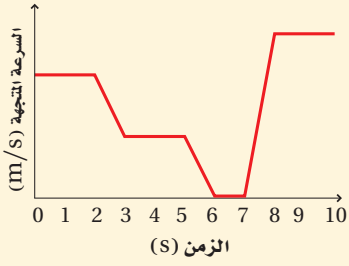
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

مسائل تدريبية

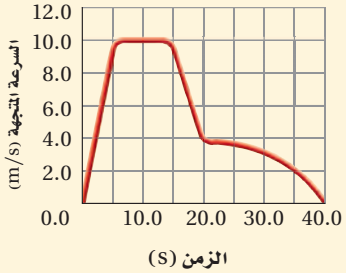
1. ركضت قطة داخل منزل، ثم أبطأت من سرعتها بشكل مفاجئ، وانزلقت على الأرضية الخشبية حتى توقفت. لو افترضنا أنها تباطأت بتسارع ثابت فارسم مخططًا توضيحيًّا للحركة يوضح هذا الموقف، واستخدم متجهات السرعة لإيجاد متجه التسارع.

2. يبين **الشكل 5–3** منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) لجزء من رحلة أحمد بسيارته على الطريق. ارسم المخطط التوضيحي للحركة الممثلة في الرسم البياني، وأكمله برسم متجهات السرعة.



الشكل 5–3

3. استعن **بالشكل 6–3** الذي يوضح منحنى (السرعة المتجهة – الزمن) لقطار لعبة؛ لتجيب عن الأسئلة التالية:
   a. متى كان القطار يتحرك بسرعة منتظمة؟
   b. خلال أي فترات زمنية كان تسارع القطار موجبًا؟
   c. متى اكتسب القطار أكبر تسارع سالب؟



الشكل 6–3

4. استعن **بالشكل 6–3** لإيجاد التسارع المتوسط للقطار خلال الفترات الزمنية التالية:
   a. من 0.0 s إلى 5.0 s
   b. من 15.0 s إلى 20.0 s
   c. من 0.0 s إلى 40.0 s

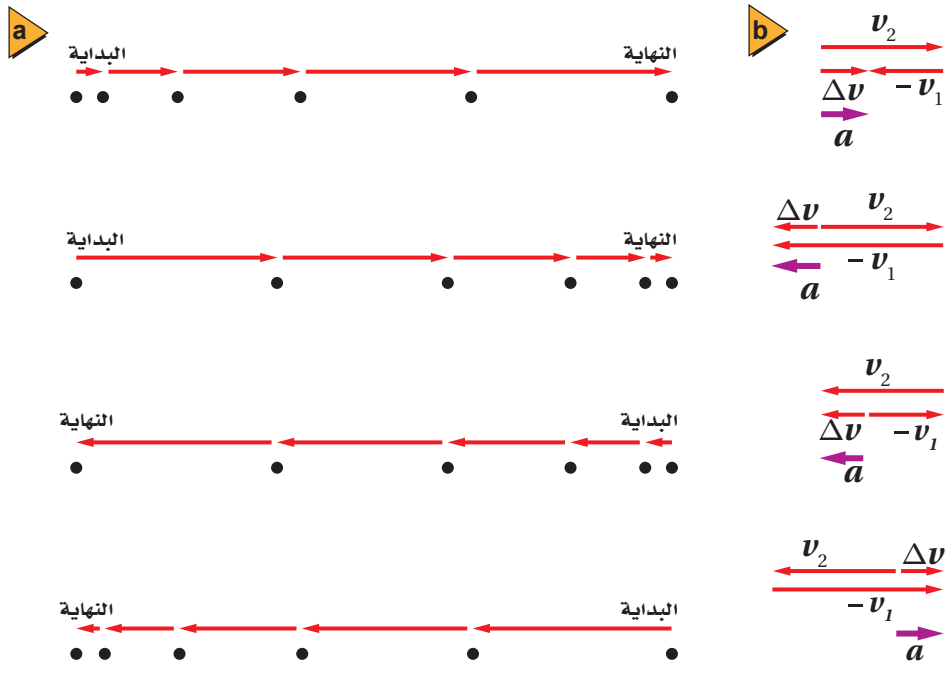
5. ارسم منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لحركة مصعد يبدأ من السكون عند الطابق الأرضي في بناية من ثلاثة طوابق، ثم يتسارع إلى أعلى مدة 2.0 s بمقدار $0.5\ m/s^2$. ويستمر في الصعود بسرعة منتظمة $1.0\ m/s$ مدة 12.0 s، وبعدئذ يتأثر بتسارع ثابت إلى أسفل مقداره $0.25\ m/s^2$ مدة 4.0 s حتى يصل إلى الطابق الثالث.

التسارع الموجب والتسارع السالب
Positive and Negative Acceleration

تأمل الحالات الأربع الموضحة في **الشكل 3–7a**؛ حيث يبين مخطط الحركة الأول حركة جسم تزداد سرعته في الاتجاه الموجب، ويبين المخطط الثاني حركة جسم تتناقص سرعته في الاتجاه الموجب، ويبين المخطط الثالث حركة جسم تتزايد سرعته في الاتجاه السالب، بينما يبين المخطط الرابع حركة جسم تتناقص سرعته ويتحرك في الاتجاه السالب. ويبين **الشكل 3–7b** متجهات السرعة خلال الفترة الزمنية الثانية في كل مخطط للحركة، وبجانبها متجهات التسارع المتوافقة معها. لاحظ أن الفترة الزمنية Δt تساوي 1 s.

في الوضعين الأول والثالث عندما تزيد سرعة الجسم يكون لكل من متجهات السرعة والتسارع الاتجاه نفسه، كما في **الشكل 3–7b**. أما في الوضعين الآخرين عندما يكون متجه التسارع في الاتجاه المعاكس لمتجه السرعة فإن الجسم يتباطأ. وبمعنى آخر، عندما يكون تسارع الجسم وسرعته المتجهة في الاتجاه نفسه فإن سرعة الجسم تزداد. وعندما يكونان في اتجاهين متعاكسين تتناقص السرعة. ولكي تحدد ما إذا كان الجسم سيتسارع أو يتباطأ تحتاج إلى معرفة كل من اتجاه سرعة الجسم واتجاه تسارعه.

ويكون للجسم تسارع موجب عندما يكون اتجاه متجه التسارع في الاتجاه الموجب للحركة، ويكون للجسم تسارع سالب عندما يكون اتجاه متجه التسارع في الاتجاه السالب للحركة. لذا فإن إشارة التسارع لا تحدد ما إذا كان الجسم متسارعًا أم متباطئًا.



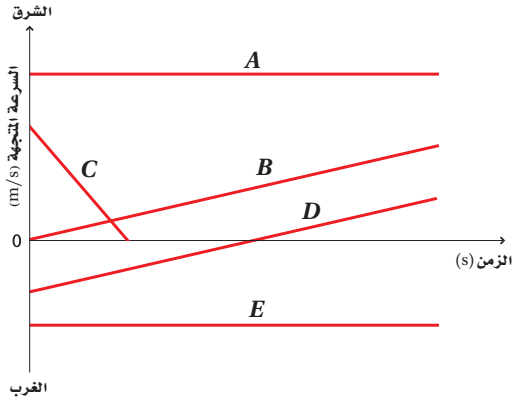
الشكل 3–7

a. تمثل نماذج الجسيم النقطي أربع طرائق محتملة للحركة في مسار مستقيم بتسارع ثابت.

b. عندما تشير متجهات السرعة ومتجهات التسارع إلى الاتجاه نفسه تزداد سرعة الجسم. أما عندما تشير إلى اتجاهات متعاكسة فإن الجسم يتباطأ.

حساب التسارع من منحنى السرعة المتجهة -الزمن
Determining Acceleration from a $v-t$ Graph

إن منحنيات السرعة المتجهة– الزمن الممثلة لحركة خمسة عدائين (A,B,C,D,E) في **الشكل 8–3** تشتمل على معلومات عن سرعة وتسارع كل عدّاء، وقد اُختِير الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق. وبملاحظة التغير في سرعة كل عدّاء، والممثلة بخط مستقيم ستجد أن سرعتي العدَّاءين A وE ثابتتان في أثناء الحركة، مما يعني أن معدل التغير في السرعة يساوي صفرًا. هذا يعني أن تسارع كل منهما يساوي صفرًا. بينما سرعة كل من العدَّاءين B وD تتزايد بانتظام، أي أنهما يتحركان بتسارع؛ حيث إن السرعة والتسارع موجبان؛ أي أنهما في الاتجاه نفسه، بخلاف حركة العداء C الذي تلاحظ أن سرعته تتناقص بانتظام؛ أي أنه يتحرك بتسارع أيضًا؛ إلا أن اتجاهي التسارع والسرعة متعاكسان.



الشكل 8–3 الرسمان البيانيان A وE يبينان الحركة بسرعة متجهة ثابتة في اتجاهين متعاكسين، والرسم B يبين سرعةً متجهةً موجبةً وتسارعًا موجبًا. والرسم C يبين سرعةً متجهةً موجبةً وتسارعًا سالبًا. والرسم D يبين حركة بتسارع موجب ثابت، بحيث يقلّل السرعة المتجهة عندما تكون سالبةً، ويزيدها عندما تكون موجبةً.

حساب التسارع كيف يمكنك أن تحسب التسارع رياضيًّا؟ المعادلة التالية تعبّر عن التسارع المتوسط باعتباره ميل الخط البياني لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ويرمز له بالرمز $\bar{a}$.

التسارع المتوسط

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

التسارع المتوسط يساوي التغير في السرعة المتجهة مقسومًا على الزمن الذي حدث خلاله هذا التغير.

افترض أنك جريت بأقصى سرعة ذهابًا وإيابًا عبر صالة رياضية، حيث بدأتَ الجري في اتجاه الجدار بسرعة 4.0 m/s، وبعد مرور 10.0 s كنت تجري بسرعة 4.0 m/s مبتعدًا عن الجدار. ما تسارعك المتوسط إذا كان الاتجاه الموجب نحو الجدار؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

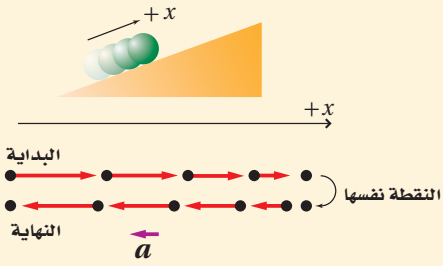
$$= \frac{(-4.0\ \text{m/s}) - (4.0\ \text{m/s})}{10.0\ \text{s}} = \frac{-8.0\ \text{m/s}}{10.0\ \text{s}} = -0.80\ \text{m/s}^2$$

تشير الإشارة السالبة إلى أن اتجاه التسارع في عكس الاتجاه الذي يقربنا إلى الجدار. فبما أن السرعة المتجهة تتضمن اتجاه الحركة، فإنها تتغير عندما يتغير اتجاه الحركة. والتغير في السرعة المتجهة يسبب التسارع. لذا فإن التسارع أيضًا مرتبط بالتغير في اتجاه الحركة.

مثـــال 2

التسارع صف حركة كرة تتدحرج صاعدة مستوى مائلاً بسرعة ابتدائية 2.50 m /s وتتباطأ لمدة 5.00 s، ثم تقف لحظة، ثم تتدحرج هابطة المستوى المائل. فإذا تم اختيار الاتجاه الموجب في اتجاه المستوى المائل إلى أعلى ونقطة الأصل عند نقطة بدء الحركة، فما مقدار واتجاه تسارع الكرة عندما تتدحرج صاعدة المستوى المائل؟

1 تحليل المسألة ورسمها

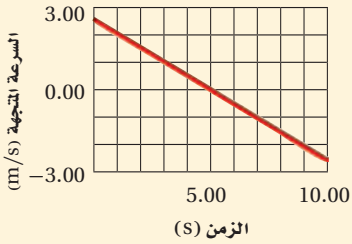


- ارسم مخططًا للحركة.
- ارسم نظامًا إحداثيًّا اعتمادًا على مخطط الحركة.

المعلوم	المجهول
$v_i = +2.5\ m/s$	$a = ?$
$t = 5.00\ s$ عندما $v_f = 0.00\ m/s$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مقدار التسارع من ميل الخط البياني.



عوض لإيجاد التغير في السرعة والزمن المستغرق لحدوث هذا التغير.

بالتعويض $v_f = 0.00\ m/s$، $v_i = 2.50\ m/s$

$$\Delta v = v_f - v_i$$
$$= 0.00\ m/s - 2.50\ m/s$$
$$= -2.50\ m/s$$

بالتعويض $t_f = 5.00\ s$، $t_i = 0.00\ s$

$$\Delta t = t_f - t_i$$
$$= 5.00\ s - 0.00\ s$$
$$= 5.00\ s$$

أوجد قيمة التسارع

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 134، 135

بالتعويض $\Delta t = 5.00\ s$، $\Delta v = -2.50\ m/s$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$= \frac{-2.5\ m/s}{5.00\ s}$$
$$= -0.500\ m/s^2$$

أو $0.500\ m/s^2$ في اتجاه أسفل المستوى المائل.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التسارع بوحدة m/s^2.
- **هل للاتجاهات معنى؟** خلال الثواني الخمس الأولى (0.00 s–5.00 s) كان اتجاه التسارع في عكس اتجاه السرعة المتجهة، والكرة تتباطأ.

مسائل تدريبية

6. سيارة سباق تزداد سرعتها من 4.0 m/s إلى 36 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 4.0 s. أوجد تسارعها المتوسط.
7. إذا تباطأت سرعة سيارة سباق من 36 m/s إلى 15 m/s خلال 3.0 s فما تسارعها المتوسط؟
8. تتحرك سيارة إلى الخلف على منحدر بفعل الجاذبية الأرضية. استطاع السائق تشغيل المحرك عندما كانت سرعتها 3.0 m/s. وبعد مرور 2.50 s من لحظة تشغيل المحرك كانت السيارة تتحرك صاعدة المنحدر بسرعة 4.5 m/s. إذا اعتبرنا اتجاه المنحدر إلى أعلى هو الاتجاه الموجب فما التسارع المتوسط للسيارة؟
9. تسير حافلة بسرعة 25 m/s، ضغط السائق على الفرامل فتوقفت بعد 3.0 s.
   a. ما التسارع المتوسط للحافلة في أثناء الضغط على الفرامل؟
   b. كيف يتغير التسارع المتوسط للحافلة إذا استغرقت ضعف الفترة الزمنية السابقة للتوقف؟
10. كان خالد يعدو بسرعة 3.5 m/s نحو موقف حافلة لمدة 2.0 min، وفجأة نظر إلى ساعته فلاحظ أن لديه متسعًا من الوقت قبل وصول الحافلة، فأبطأ سرعة عدْوه خلال الثواني العشر التالية إلى 0.75 m/s. ما تسارعه المتوسط خلال هذه الثواني العشر؟
11. إذا تباطأ معدل الانجراف القاري على نحو مفاجئ من 1.0 cm/yr إلى 0.5 cm/yr خلال فترة زمنية مقدارها سنة، فكم يكون التسارع المتوسط للانجراف القاري؟

تتشابه السرعة المتجهة والتسارع في أن كليهما عبارة عن معدل تغير؛ فالتسارع هو المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة، والسرعة المتجهة هي المعدل الزمني لتغير الإزاحة. ولكل من السرعة المتجهة والتسارع قيم متوسطة وقيم لحظية. وستتعلم لاحقًا في هذا الفصل أن المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) تساوي إزاحة الجسم، وأن المساحة تحت منحنى (التسارع–الزمن) تساوي سرعة الجسم.

3–1 مراجعة

12. **منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)** ما المعلومات التي يمكن استخلاصها من منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)؟

13. **منحنيات الموقع-الزمن والسرعة المتجهة-الزمن** عدّاءان أحدهما على بُعد 15 m إلى الشرق من نقطة الأصل، والآخر على بُعد 15 m غربها، وذلك عند الزمن $t = 0$. إذا ركض هذان العدّاءان بسرعة منتظمة مقدارها 7.5 m/s في اتجاه الشرق فأجب عما يلي:
   a. ما الفرق بين الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العدّاءين في منحنى (الموقع–الزمن)؟
   b. ما الفرق بين الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العدّاءين في منحنى (السرعة المتجهة –الزمن)؟

14. **السرعة المتجهة** وضح كيف يمكنك استخدام منحنى (السرعة المتجهة– الزمن)، لتحديد الزمن الذي يتحرك عنده الجسم بسرعة معينة.

15. **منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)** مثّل بيانيًّا منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لحركة سيارة تسير في اتجاه الشرق بسرعة 25 m/s مدة 100 s، ثم في اتجاه الغرب بسرعة 25 m/s مدة 100 s أخرى.

16. **السرعة المتجهة المتوسطة والتسارع المتوسط** يتحرك قارب بسرعة 2 m/s في عكس اتجاه جريان نهر، ثم يدور حول نفسه وينطلق في اتجاه جريان النهر بسرعة 4.0 m/s. إذا كان الزمن الذي استغرقه القارب في الدوران 8.0 s :
   a. فما السرعة المتجهة المتوسطة للقارب؟
   b. وما التسارع المتوسط للقارب؟

17. **التفكير الناقد** ضبط رجل مرور سائقًا يسير بسرعة تزيد 32 km/h على حد السرعة المسموح به لحظة تجاوزه سيارة أخرى تنطلق بسرعة أقل. سجل رجل المرور على كلا السائقين إشعار مخالفة لتجاوز السرعة. وقد أصدر القاضي حكمًا على كلا السائقين. وتم اتخاذ الحكم استنادًا إلى فرضيةٍ تقول إن كلتا السيارتين كانتا تسيران بالسرعة نفسها؛ لأنه تم ملاحظتهما عندما كانت الأولى بجانب الثانية. هل كان كل من القاضي ورجل المرور على صواب؟ وضح ذلك باستخدام مخطط توضيحي للحركة، ورسم منحنى (الموقع–الزمن).

3–2 الحركة بتسارع ثابت Motion with Constant Acceleration

الأهداف

- **تفسر** منحنى (الموقع–الزمن) للحركة ذات التسارع الثابت.
- **تحدد** العلاقات الرياضية التي تربط بين كل من الموقع والسرعة والتسارع والزمن.
- **تطبق** علاقات بيانية ورياضية لحل المسائل التي تتعلق بالتسارع الثابت.

يمكن معالجة المعادلات الرياضية لكل من السرعة المتوسطة والتسارع المتوسط لإيجاد الموقع الجديد والسرعة الجديدة على الترتيب بعد فترة زمنية ما، وذلك بدلالة بقية المتغيرات.

السرعة المتجهة بدلالة التسارع المتوسط
Velocity with Average Acceleration

يمكنك استخدام التسارع المتوسط لجسم خلال فترة زمنية لتعيين مقدار التغير في سرعته المتجهة خلال هذا الزمن. ويعرف التسارع المتوسط بـ $\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$ ويمكن إعادة كتابته بالصورة:

$$\Delta \boldsymbol{v} = \bar{\boldsymbol{a}}\,\Delta t$$

$$\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i = \bar{\boldsymbol{a}}\,\Delta t$$

لذا فإن العلاقة بين السرعة المتجهة النهائية والتسارع المتوسط يمكن كتابتها على النحو التالي:

السرعة المتجهة النهائية بدلالة التسارع المتوسط $\boldsymbol{v}_f = \boldsymbol{v}_i + \bar{\boldsymbol{a}}\,\Delta t$

السرعة المتجهة النهائية تساوي السرعة المتجهة الابتدائية مضافًا إليها حاصل ضرب التسارع المتوسط في الفترة الزمنية.

في الحالات التي يكون فيها التسارع ثابتًا يكون التسارع المتوسط $\bar{\boldsymbol{a}}$ مساويًا للتسارع اللحظي $\boldsymbol{a}$. ويمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لإيجاد الزمن أو السرعة الابتدائية لجسم.

مسائل تدريبية

18. تتدحرج كرة جولف إلى أعلى تل في اتجاه حفرة الجولف. افترض أن الاتجاه نحو الحفرة هو الاتجاه الموجب وأجب عما يلي:

a. إذا انطلقت كرة الجولف بسرعة 2.0 m/s، وتباطأت بمعدل ثابت $0.50\ m/s^2$ فما سرعتها بعد مضي 2.0 s؟

b. ما سرعة كرة الجولف إذا استمر التسارع الثابت مدة 6.0 s؟

c. صف حركة كرة الجولف بالكلمات، ثم باستخدام المخطط التوضيحي للحركة.

19. تسير حافلة بسرعة 30.0 km/h، فإذا زادت سرعتها بمعدل ثابت مقداره $3.5\ m/s^2$ فما السرعة التي تصل إليها الحافلة بعد 6.8 s؟

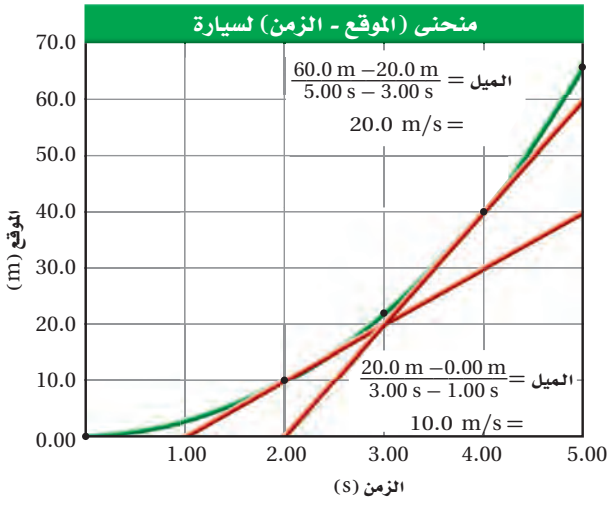
20. إذا تسارعت سيارة من السكون بمقدار ثابت $5.5\ m/s^2$ فما الزمن اللازم لتصل سرعتها إلى 28 m/s؟

21. تتباطأ سيارة سرعتها 22 m/s بمعدل ثابت مقداره $2.1\ m/s^2$. احسب الزمن الذي تستغرقه السيارة لتصبح سرعتها 3.0 m/s.

الجدول 2–3

بيانات (الموقع-الزمن) لسيارة

الزمن (s)	الموقع (m)
0.00	0.00
1.00	2.50
2.00	10.0
3.00	22.5
4.00	40.0
5.00	65.0

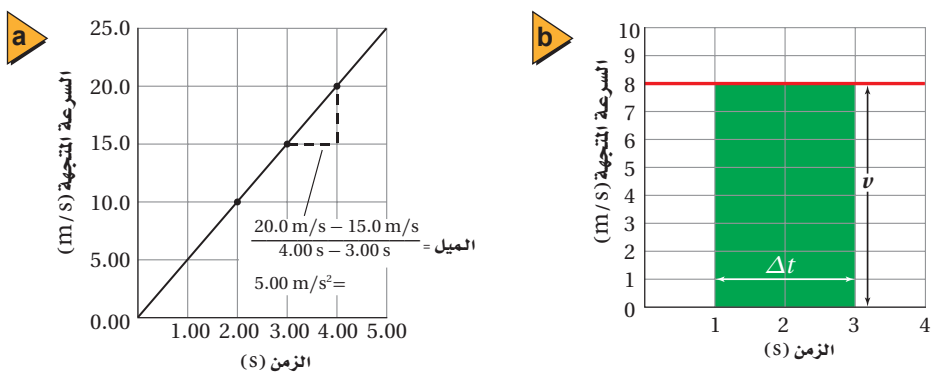


■ **الشكل 9–3** يزداد ميل الخط البياني في منحنى (الموقع–الزمن) لسيارة تتحرك بتسارع ثابت كلما زاد زمن الحركة.

الموقع بدلالة التسارع الثابت
Position with Constant Acceleration

توصلت إلى أن الجسم الذي يتحرك بتسارع ثابت يغير سرعته المتجهة بمعدل ثابت. ولكن كيف يتغير موقع الجسم المتحرك بتسارع ثابت؟ يبين **الجدول 2–3** بيانات الموقع عند فترات زمنية مختلفة لسيارة تتحرك بتسارع ثابت، وقد مثلت بيانات **الجدول 2–3** بالرسم البياني الموضح في **الشكل 9–3**، حيث يظهر من الرسم البياني أن حركة السيارة غير منتظمة؛ فالإزاحات خلال فترات زمنية متساوية على الرسم تصبح أكبر فأكبر. لاحظ كذلك أن ميل الخط في **الشكل 9–3** يزداد كلما زاد الزمن. ويمكن استخدام ميل الخطوط من منحنى (الموقع–الزمن) لرسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).

لاحظ أن ميل كل من الخطين الموضحين في **الشكل 9–3** يطابق السرعة المتجهة الممثلة بيانيًّا في **الشكل 10a–3**. لكن لا يمكنك رسم منحنى جيد للموقع–الزمن باستخدام منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) ؛لأن الأخير لا يحتوي على أي معلومات حول موقع الجسم. ومع ذلك فهو يحتوي على معلومات عن إزاحته. تذكر أن السرعة المتجهة لجسم يتحرك بسرعة منتظمة تحسب بالعلاقة: $\boldsymbol{v} = \overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$؛ أي أن $\boldsymbol{\Delta d} = \boldsymbol{v}\,\Delta t$. يوضح **الشكل 10b–3** منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لجسم يتحرك بسرعة منتظمة، وبدراسة الشكل تحت الخط البياني للمنحنى (المستطيل المظلل) تجد أن سرعة الجسم $\boldsymbol{v}$ تمثل طول المستطيل، بينما الفترة الزمنية



■ **الشكل 10–3**

a. يمثل ميل كل من مماسات منحنى (الموقع-الزمن) في **الشكل 9–3** قيم (السرعة المتجهة–الزمن).

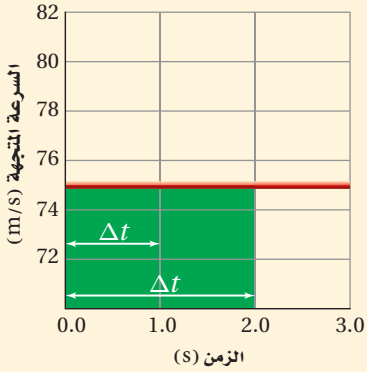
b. الإزاحة خلال فترة زمنية معينة تساوي عدديًّا المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

لحركة الجسم Δt تمثل عرض المستطيل. لذا فإن مساحة المستطيل هي $\boldsymbol{v}\Delta t$ أو $\Delta \boldsymbol{d}$؛ أي أن المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) تساوي عدديًّا إزاحة الجسم.

مثـــال 3

إيجاد الإزاحة من منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) يبين الرسم البياني أدناه منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لحركة طائرة. أوجد إزاحة الطائرة خلال الفترة الزمنية $\Delta t = 1.0\ \text{s}$، ثم خلال الفترة الزمنية $\Delta t = 2.0\ \text{s}$.

1 تحليل المسألة ورسمها



- الإزاحة تساوي المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).
- تبدأ الفترة الزمنية من اللحظة $t = 0.0\ \text{s}$.

المعلوم	المجهول
$\boldsymbol{v} = +75\ \text{m/s}$ $\Delta t = 1.0\ \text{s}$ $\Delta t = 2.0\ \text{s}$	$\Delta \boldsymbol{d} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الإزاحة خلال $1.0\ \text{s}$

بالتعويض $\boldsymbol{v} = +75\ \text{m/s}$، $\Delta t = 1.0\ \text{s}$

$$\begin{aligned}\Delta \boldsymbol{d} &= \boldsymbol{v}\Delta t \\ &= (+75\ \text{m/s})\ (1.0\ \text{s}) \\ &= +75\ \text{m}\end{aligned}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 134، 135

أوجد الإزاحة خلال $2.0\ \text{s}$

بالتعويض $\boldsymbol{v} = +75\ \text{m/s}$، $\Delta t = 2.0\ \text{s}$

$$\begin{aligned}\Delta \boldsymbol{d} &= \boldsymbol{v}\Delta t \\ &= (+75\ \text{m/s})\ (2.0\ \text{s}) \\ &= +150\ \text{m}\end{aligned}$$

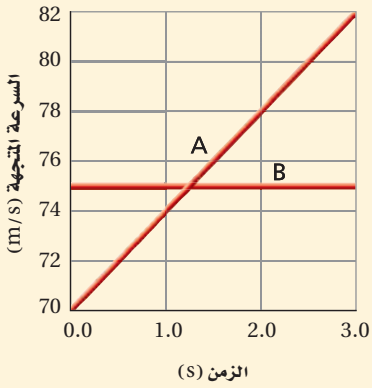
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الإزاحة بالأمتار.
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارات الموجبة مع الرسم البياني.
- **هل الجواب منطقي؟** قطع مسافة مساوية تقريبًا لطول ملعب كرة قدم خلال ثانيتين منطقي بالنسبة إلى سرعة الطائرة.

مسائل تدريبية

22. استخدم **الشكل 3–11** لتعيين السرعة المتجهة لطائرة تتزايد سرعتها عند كل من الأزمنة التالية:

a. 1.0 s **b.** 2.0 s **c.** 2.5 s



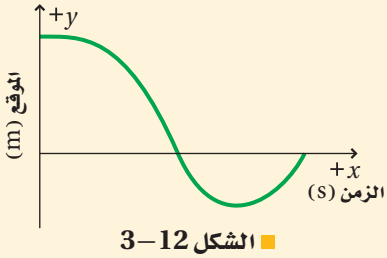
الشكل 3–11

23. تسير سيارة بسرعة منتظمة مقدارها 25 m/s لمدة 10.0 min، ثم ينفد منها الوقود، فيسير السائق على قدميه في الاتجاه نفسه بسرعة 1.5 m/s مدة 20.0 min ليصل إلى أقرب محطة وقود. وقد استغرق السائق 2.0 min لملء جالون من البنزين، ثم سار عائدًا إلى السيارة بسرعة 1.2 m/s، وأخيرًا تحرك بالسيارة إلى البيت بسرعة 25 m/s في اتجاه معاكس لاتجاه رحلته الأصلية.

a. ارسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) معتمدًا الثانية s وحدة للزمن.

إرشاد: *احسب المسافة التي قطعها السائق إلى محطة الوقود لإيجاد الزمن الذي استغرقه حتى يعود إلى السيارة.*

b. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) باستخدام المساحات تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).



الشكل 3–12

24. يوضح **الشكل 3–12** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة حصان في حقل. ارسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) المتوافق معه، باستخدام مقياس الزمن نفسه.

توصلت سابقًا إلى أنه يمكن إيجاد الإزاحة من منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لجسم يتحرك بتسارع ثابت مبتدئًا بسرعة ابتدائية $\boldsymbol{v}_i$؛ وذلك بحساب المساحة تحت المنحنى. ففي **الشكل 3–13** تحسب الإزاحة بتقسيم المساحة تحت المنحنى إلى مستطيل ومثلث.

يمكن إيجاد مساحة المستطيل باستخدام العلاقة: $\Delta \boldsymbol{d}_{\text{مستطيل}} = \boldsymbol{v}_i \Delta t$، وإيجاد مساحة المثلث باستخدام العلاقة: $\Delta \boldsymbol{d}_{\text{مثلث}} = \frac{1}{2} \Delta \boldsymbol{v} \, \Delta t$. ولأن التسارع المتوسط $\overline{\boldsymbol{a}}$ يساوي $\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$، لذا يمكن كتابة $\Delta \boldsymbol{v}$ في الصورة $\overline{\boldsymbol{a}} \Delta t$، وبالتعويض عن $\Delta \boldsymbol{v} = \overline{\boldsymbol{a}} \Delta t$ في معادلة مساحة المثلث تصبح المعادلة:

$$\Delta \boldsymbol{d}_{\text{مثلث}} = (\tfrac{1}{2} \overline{\boldsymbol{a}} \Delta t) \, \Delta t$$

$$= \tfrac{1}{2} \overline{\boldsymbol{a}} \, (\Delta t)^2$$

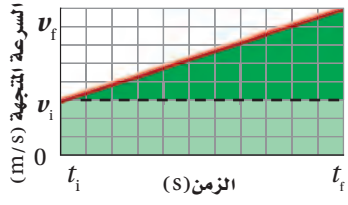
لذا فإن المساحة الكلية تحت المنحنى تساوي:

$$\Delta \boldsymbol{d} = \Delta \boldsymbol{d}_{\text{مستطيل}} + \Delta \boldsymbol{d}_{\text{مثلث}} = \boldsymbol{v}_i \, (\Delta t) + \tfrac{1}{2} \overline{\boldsymbol{a}} \, (\Delta t)^2$$

وعندما يكون الموقع الابتدائي $\boldsymbol{d}_i$ أو النهائي $\boldsymbol{d}_f$ للجسم معلومًا يمكن كتابة المعادلة في الصورة التالية:

$$\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i = \boldsymbol{v}_i \, (\Delta t) + \tfrac{1}{2} \overline{\boldsymbol{a}} \, (\Delta t)^2$$

الشكل 3–13 يمكن إيجاد إزاحة جسم يتحرك بتسارع ثابت بحساب المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).



تطبيق الفيزياء

سباق رُبع الميل في سباق خاص يسمى رُبع الميل يسعى قائد سيارة السباق إلى تحقيق أكبر تسارع في مضمار السباق الذي طوله 402 m (ربع ميل). وقد سُجل أقصر زمن في هذا السباق ومقداره 4.480 s، وبلغت أكبر سرعة نهائية 147.63 m/s.

$$\boldsymbol{d}_f = \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i(\Delta t) + \frac{1}{2}\,\overline{\boldsymbol{a}}\,(\Delta t)^2 \qquad \text{أو}$$

فإذا كان الزمن الابتدائي $t_i = 0$ فإن الموقع بدلالة التسارع المتوسط يُحسب بالعلاقة التالية:

الموقع بدلالة التسارع المتوسط $\boldsymbol{d}_f = \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i\, t_f + \frac{1}{2}\,\overline{\boldsymbol{a}}\, t_f^2$

ويمكن ربط الموقع والسرعة المتجهة والتسارع الثابت في علاقة لا تتضمن الزمن، وذلك بإعادة ترتيب المعادلة $\boldsymbol{v}_f = \boldsymbol{v}_i + \overline{\boldsymbol{a}}t_f$ لتعطي (t_f):

$$t_f = \frac{\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i}{\overline{\boldsymbol{a}}}$$

وبالتعويض عن قيمة (t_f) في المعادلة $\boldsymbol{d}_f = \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i\, t_f + \frac{1}{2}\,\overline{\boldsymbol{a}}\, t_f^2$

تحصل على:

$$\boldsymbol{d}_f = \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i\left(\frac{\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i}{\overline{\boldsymbol{a}}}\right) + \frac{1}{2}\,\overline{\boldsymbol{a}}\,\left(\frac{\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i}{\overline{\boldsymbol{a}}}\right)^2$$

وهذه المعادلة يمكن حلها لإيجاد السرعة النهائية $\boldsymbol{v}_f$ عند أي زمن t_f؛ حيث إن السرعة بدلالة التسارع الثابت:

السرعة المتجهة بدلالة التسارع الثابت $v_f^2 = v_i^2 + 2\,\overline{\boldsymbol{a}}\,(\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i)$

ويمكن تلخيص المعادلات الثلاث للحركة بتسارع ثابت كما في **الجدول 3–3**

الجدول 3–3

معادلات الحركة في حالة التسارع الثابت

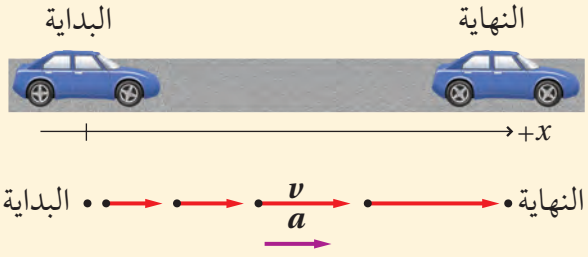
المعادلة	المتغيرات	الشروط الابتدائية
$\boldsymbol{v}_f = \boldsymbol{v}_i + \overline{\boldsymbol{a}}\, t_f$	t_f ،$\boldsymbol{v}_f$ ،$\overline{\boldsymbol{a}}$	$\boldsymbol{v}_i$
$\boldsymbol{d}_f = \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i\, t_f + \frac{1}{2}\,\overline{\boldsymbol{a}}\, t_f^2$	t_f ،$\boldsymbol{d}_f$ ،$\overline{\boldsymbol{a}}$	$\boldsymbol{d}_i$ ،$\boldsymbol{v}_i$
$v_f^2 = v_i^2 + 2\,\overline{\boldsymbol{a}}\,(\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i)$	$\boldsymbol{d}_f$ ،$\boldsymbol{v}_f$ ،$\overline{\boldsymbol{a}}$	$\boldsymbol{d}_i$ ،$\boldsymbol{v}_i$

مثـــــال 4

انطلقت سيارة من السكون بتسارع ثابت مقداره $3.5\ m/s^2$. ما المسافة التي قطعتها عندما تصل سرعتهـا إلى $25\ m/s$؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثِّل المسألة بالرسم.
- عين محاور الإحداثيات.
- ارسم مخططًا توضيحيًّا للحركة.



المعلوم

$d_i = 0.00\ m$

$v_i = 0.00\ m/s$

$v_f = 25\ m/s$

$\overline{a} = a = 3.5\ m/s^2$

المجهول

$d_f = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لإيجاد d_f نستخدم المعادلة:

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 138، 139

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\,a\,(d_f - d_i)$$

$$d_f = d_i + \frac{v_f^2 - v_i^2}{2\,a}$$

بالتعويض $d_i = 0.00\ m$، $v_f = 25\ m/s$

$v_i = 0.00\ m/s$، $a = 3.5\ m/s^2$

$$= 0.00\ m + \frac{(25\ m/s)^2 - (0.00\ m/s)^2}{2(3.5\ m/s^2)}$$

$$= 89\ m$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الإزاحة بوحدة المتر m.
- **هل للإشارات معنى؟** الإشارة الموجبة تتفق مع كل من النموذج التصويري والنموذج الفيزيائي.
- **هل الجواب منطقي؟** تبدو الإزاحة كبيرةً، ولكن السرعة (25 m /s) كبيرة أيضًا، لذلك فالنتيجة منطقية.

تجربة عملية

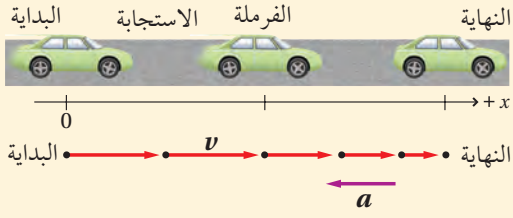
كيف تتدحرج الكرة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية

مثـــال 5

مسافتا الاستجابة والفرملة يقود محمد سيارة بسرعة منتظمة مقدارها 25 m/s، وفجأة رأى طفلًا يركض في الشارع. فإذا كان زمن الاستجابة اللازم ليدوس الفرامل هو 0.45 s، وقد تباطأت السيارة بتسارع ثابت $8.5\ m/s^2$ حتى توقفت. ما المسافة الكلية التي قطعتها السيارة قبل أن تقف؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثِّل المسألة بالرسم.
- اعتبر أن اتجاه سير السيارة هو الاتجاه الموجب.
- ارسم مخططًا توضيحيًّا للحركة، وعيِّن عليه v و a.

المعلوم

$v_{i\ \text{الفرملة}} = 25\ m/s$ $\quad v_{\text{الاستجابة}} = 25\ m/s$

$v_{f\ \text{الفرملة}} = 0.00\ m/s$ $\quad t_{\text{الاستجابة}} = 0.45\ s$

$\bar{a} = a_{\text{الفرملة}} = (-8.5\ m/s^2)$

المجهول

$d_{\text{الاستجابة}} = ?$

$d_{\text{الفرملة}} = ?$

$d_{\text{الكلية}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

الاستجابة: أوجد المسافة التي تتحركها السيارة بسرعة منتظمة.

$$d_{\text{الاستجابة}} = v_{\text{الاستجابة}}\, t_{\text{الاستجابة}}$$
$$= (25\ m/s)\ (0.45\ s) = 11\ m$$

الفرملة: أوجد المسافة التي تتحركها السيارة في أثناء عملية الفرملة حتى الوقوف.

$$v^2_{f\ \text{الفرملة}} = v^2_{\text{الاستجابة}} + 2a_{\text{الفرملة}}\,(d_{\text{الفرملة}})$$

$$d_{\text{الفرملة}} = \frac{v^2_{f\ \text{الفرملة}} - v^2_{\text{الاستجابة}}}{2a_{\text{الفرملة}}}$$
$$= \frac{(0.00\ m/s)^2 - (25\ m/s)^2}{2(-8.5\ m/s^2)}$$
$$= 37\ m$$

دليل الرياضيات
فصل المتغير 140

بالتعويض $v_{\text{الاستجابة}} = 25\ m/s$
$a_{\text{الفرملة}} = (-8.5\ m/s^2)$، $v_{f\ \text{الفرملة}} = 0.00\ m/s$

المسافة الكلية تساوي: مجموع مسافة الاستجابة ومسافة الفرملة.

أوجد المسافة الكلية ($d_{\text{الكلية}}$)

$$d_{\text{الكلية}} = d_{\text{الاستجابة}} + d_{\text{الفرملة}}$$
$$= 11\ m + 37\ m = 48\ m$$

بالتعويض $d_{\text{الاستجابة}} = 11\ m$، $d_{\text{الفرملة}} = 37\ m$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الإزاحة بوحدة المتر m.
- **هل للإشارات معنى؟** كل من $d_{\text{الاستجابة}}$ و $d_{\text{الفرملة}}$ موجبة؛ لأنها في اتجاه الحركة نفسه.
- **هل الجواب منطقي؟** مسافة الفرملة صغيرة، لكنها منطقية؛ لأن مقدار التسارع كبير.

مسائل تدريبية

25. يتحرك متزلج بسرعة منتظمة 1.75 m/s، وعندما بدأ يصعد مستوى مائلاً تباطأت سرعته وفق تسارع ثابت $0.20\ m/s^2$. ما الزمن الذي استغرقه حتى توقف عند نهاية المستوى المائل؟

26. تسير سيارة سباق في حلبة بسرعة 44 m/s، وتتباطأ بمعدل ثابت، بحيث تصل سرعتها إلى 22 m/s خلال 11 s. ما المسافة التي قطعتها السيارة خلال هذا الزمن؟

27. تتسارع سيارة بمعدل ثابت من 15 m/s إلى 25 m/s لتقطع مسافة 125 m. ما الزمن الذي استغرقته السيارة لتصل إلى هذه السرعة؟

28. يتحرك راكب دراجة هوائية وفق تسارع ثابت ليصل إلى سرعة مقدارها 7.5 m/s خلال 4.5 s . إذا كانت إزاحة الدراجة خلال فترة التسارع تساوي 19 m، فأوجد السرعة الابتدائية.

29. يركض رجل بسرعة 4.5 m/s مدة 15.0 min، ثم يصعد تلًّا يتزايد ارتفاعه تدريجيًّا؛ حيث تتباطأ سرعته بمقدار ثابت $0.05\ m/s^2$ مدة 90.0 s حتى يتوقف. أوجد المسافة التي ركضها.

30. يتدرب خالد على ركوب الدراجة الهوائية؛ حيث يدفعه والده فيكتسب تسارعًا ثابتًا مقداره $0.50\ m/s^2$ لمدة 6.0 s، ثم يقود خالد الدراجة بمفرده بسرعة 3.0 m/s مدة 6.0 s قبل أن يسقط أرضًا. ما مقدار إزاحة خالد؟ ***إرشاد:*** *لحل هذه المسألة ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ثم احسب المساحة المحصورة تحته.*

31. بدأت ركوب دراجتك الهوائية من قمة تل، ثم هبطت في اتجاه أسفل التل بتسارع ثابت $2.00\ m/s^2$ ، وعندما وصلت إلى أسفل التل كانت سرعتك قد بلغت 18.0 m/s. وواصلت استخدام دواسات الدراجة لتحافظ على هذه السرعة مدة 1.00 min. ما بُعدك عن قمة التل؟

32. يتدرب حسن استعدادًا للمشاركة في سباق الـ 5.0 km، فبدأ تدريباته بالركض بسرعة منتظمة مقدارها 4.3 m/s مدة 19 min، ثم تسارع بمعدل ثابت حتى اجتاز خط النهاية بعد مضي 19.4 s. ما مقدار تسارعه خلال الجزء الأخير من التدريب؟

كما تعلمت، هناك عدة وسائل يمكنك استخدامها في حل مسائل الحركة في بُعد واحد، منها: مخططات الحركة، والرسوم البيانية، والمعادلات الرياضية. وكلما اكتسبت المزيد من الخبرة سَهُل عليك أن تقرر أي هذه الوسائل أكثر ملاءمة لحل مسألة ما. وفي البند التالي ستطبق هذه الوسائل لاستقصاء حركة الأجسام الساقطة سقوطًا حرًّا.

2–3 مراجعة

33. التسارع في أثناء قيادة رجل سيارته بسرعة 23 m/s شاهد غزالاً يقف وسط الطريق، فاستخدم الفرامل عندما كان على بُعد 210 m من الغزال. فإذا لم يتحرك الغزال، وتوقفت السيارة تمامًا قبل أن تمس جسمه، فما مقدار التسارع الذي أحدثته فرامل السيارة؟

34. الإزاحة إذا أُعطِيت السرعتين المتجهتين الابتدائية والنهائية، والتسارع الثابت لجسم، وطُلب إليك إيجاد الإزاحة، فما المعادلة التي ستستخدمها؟

35. المسافة بدأ متزلج حركته من السكون في خط مستقيم، وزادت سرعته إلى 5.0 m/s خلال 4.5 s، ثم استمر في التزلج بهذه السرعة المنتظمة مدة 4.5 s أخرى. ما المسافة الكلية التي تحركها المتزلج على مسار التزلج؟

36. السرعة النهائية تتسارع طائرة بانتظام من السكون بمقدار $5.0\ m/s^2$. ما سرعة الطائرة بعد قطعها مسافة $5.0 \times 10^2\ m$؟

37. السرعة النهائية تسارعت طائرة بانتظام من السكون بمقدار $5.0\ m/s^2$ لمدة 14 s. ما السرعة النهائية التي تكتسبها الطائرة؟

38. المسافة بدأت طائرة حركتها من السكون، وتسارعت بمقدار ثابت $3.00\ m/s^2$ لمدة 30.0 s قبل أن ترتفع عن سطح الأرض.

a. ما المسافة التي قطعتها الطائرة؟

b. ما سرعة الطائرة لحظة إقلاعها ؟

39. الرسوم البيانية يسير عدّاء نحو خط البداية بسرعة منتظمة، ويأخذ موقعه قبل بدء السباق، وينتظر حتى يسمع صوت طلقة البداية، ثم ينطلق فيتسارع حتى يصل إلى سرعة منتظمة. فيحافظ على هذه السرعة حتى يجتاز خط النهاية، ثم يتباطأ إلى أن يمشي، فيستغرق في ذلك وقتًا أطول مما استغرقه لزيادة سرعته في بداية السباق. مثّل حركة العداء باستخدام الرسم البياني لكل من منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) ومنحنى (الموقع–الزمن). ارسم الرسمين أحدهما فوق الآخر باستخدام مقياس الزمن نفسه، وبيّن على منحنى (الموقع–الزمن) مكان كل من نقطة البداية وخط النهاية.

40. التفكير الناقد صف كيف يمكنك أن تحسب تسارع سيارة، مبينًا أدوات القياس التي ستستخدمها.

3–3 السقوط الحرّ Free Fall

أسقط ورقة صحيفة على الأرض، ثم لفها على شكل كرة متماسكة وأعد إسقاطها. أسقط حصاة بالطريقة نفسها. كيف تقارن بين حركة الأجسام الثلاثة؟ هل تسقط الأجسام جميعها بالسرعة نفسها؟

لا يسقط الجسم الخفيف والمنبسط– مثل ورقة الصحيفة المستوية أو ريشة الطائر– بالكيفية نفسها التي يسقط بها شيء ثقيل مساحة سطحه صغيرة، مثل الحصاة. لماذا؟ عندما يسقط جسم فإنه يتصادم بجزيئات الهواء، وتؤثر هذه التصادمات الضعيفة في سرعة هبوط الجسم الخفيف والمنبسط– مثل الريشة– بشكل أكبر من تأثيرها في سرعة هبوط أجسام أثقل نسبيًّا ومساحة سطحها أقل، مثل الحصاة. لفهم سلوك الأجسام الساقطة، نتناول الحالة الأبسط، وهي حركة جسم –كحجر مثلًا– بإهمال تأثير الهواء في حركته. إن المصطلح المستخدم لوصف حركة مثل هذه الأجسام هو **السقوط الحر**؛ وهو حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

الأهداف

- **تُعرّف** التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية.
- **تحل** مسائل تتضمن أجسامًا تسقط سقوطًا حرًّا.

المفردات

السقوط الحرّ

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية

التسارع في مجال الجاذبية الأرضية
Acceleration Due to Gravity

قبل حوالي أربعمائة عام تقريبًا، أدرك جاليليو جاليلي أنه لكي يُحدث تقدمًا في دراسة حركة الأجسام الساقطة يجب عليه إهمال تأثيرات المادة التي يسقط الجسم خلالها. وفي ذلك الزمن لم يكن لدى جاليليو الوسائل التي تمكنه من أخذ بيانات موقع الأجسام الساقطة أو سرعتها، لذا قام بدحرجة كرات على مستويات مائلة. وبهذه الطريقة تمكّن من تقليل تسارع الأجسام، وهذا مكّنه من الحصول على قياسات دقيقة باستخدام أدواته البسيطة.

استنتج جاليليو أن جميع الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًّا يكون لها التسارع نفسه، عند إهمال تأثير مقاومة الهواء، وأن هذا التسارع لا يتأثر بأي من نوع مادة الجسم الساقط، أو وزن هذا الجسم، أو الارتفاع الذي أسقط منه ، أو كون الجسم قد أسقط أو قذف. ويرمز لتسارع الأجسام الساقطة بالرمز ***g***، وتتغير قيمة ***g*** تغيرات طفيفة في أماكن مختلفة على الأرض، والقيمة المتوسطة لها $9.80\ m/s^2$.

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية هو تسارع جسم يسقط سقوطًا حرًّا نتيجة تأثير جاذبية الأرض فيه. افترض أنك أسقطت صخرة سقوطًا حرًّا. بعد مرور 1s تكون سرعتها المتجهة $9.80\ m/s$ إلى أسفل، وبعد مرور 1s أخرى تصبح سرعتها المتجهة $19.60\ m/s$ إلى أسفل، وفي كل ثانية تسقط خلالها الصخرة تزداد سرعتها المتجهة إلى أسفل بمعدل $9.80\ m/s$. ويعتمد اعتبار التسارع موجبًا أو سالبًا على النظام الإحداثي الذي يتم اتخاذه؛ فإذا كان النظام يعتبر الاتجاه إلى أعلى موجبًا فإن التسارع الناتج عن

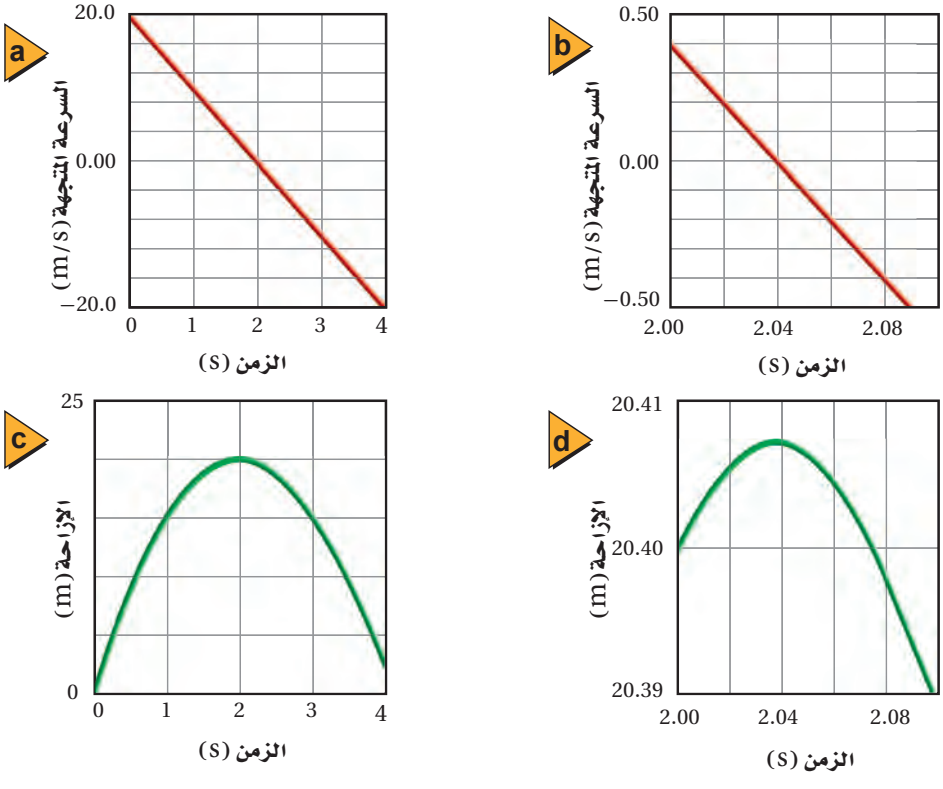
الجاذبية الأرضية عندئذ يساوي $-g$، أما إذا اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الموجب فإن التسارع الناتج عن الجاذبية يساوي $+g$.

يبين **الشكل 14–3** صورة لبيضة تسقط سقوطًا حرًّا التقطت باستخدام تقنية خاصة؛ حيث الفترة الزمنية بين اللقطات هي 0.06 s. ويظهر من الشكل أن الإزاحة بين كل زوج من اللقطات تزداد، وهذا يعني أن السرعة تزداد. فإذا اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الإحداثي الموجب فإن السرعة تزداد بقيمة موجبة أكثر فأكثر.

قذف كرة إلى أعلى بدلاً من بيضة ساقطة، هل يمكن لهذه الصورة أن تعبر عن حركة كرة مقذوفة رأسيًّا إلى أعلى؟ إذا اختير الاتجاه إلى أعلى على أنه الموجب فإن الكرة تغادر اليد بسرعة متجهة موجبة مثلاً 20.0 m/s، أما التسارع فيكون إلى أسفل؛ أي أن التسارع يكون سالبًا، وهو يساوي $a = (-g) = (-9.80\ m/s^2)$. ولأن السرعة المتجهة والتسارع في اتجاهين متعاكسين فإن سرعة الكرة تتناقص، وهذا يتفق مع الصورة.

يبيِّن منحنى (السرعة المتجهة – الزمن) في **الشكل 3–15a** تناقص السرعة المتجهة للكرة بمعدل 9.80 m/s كل 1 s، حتى تصل إلى الصفر عند 2.04 s، ثم يتحول اتجاه حركة الكرة إلى أسفل، وتزداد سرعتها المتجهة تدريجيًّا في الاتجاه السالب. ويظهر **الشكل 3–15b** لقطة مقربة لهذه الحركة . لكن ما العلاقة بين إزاحة الكرة وسرعتها المتجهة؟ يتبين من **الشكلين 3–15 c، d** أن الكرة تصل إلى أقصى ارتفاع لها في اللحظة التي تصبح فيها سرعتها المتجهة صفرًا. ماذا عن تسارعها؟ إن تسارع الكرة عند أي نقطة يساوي مقدارًا ثابتًا 9.80 m/s²، كما يتضح من ميل الخط البياني في **الشكلين 3–15 a، b**.

الشكل 14–3 صورة ستروبية (تصوير زمني سريع متتابع) لبيضة تتسارع بمقدار 9.80 m/s² في أثناء السقوط الحر. فإذا تم اختيار الاتجاه الموجب إلى أسفل فإن كلًّا من السرعة المتجهة والتسارع لهذه البيضة التي تسقط سقوطًا حرًّا يكون موجبًا.



الشكل 15–3 في نظام إحداثي اتجاهه الموجب إلى أعلى:

a و **b** تتناقص سرعة الكرة المقذوفة إلى أعلى حتى تصبح صفرًا بعد زمن 2.04 s ثم تتزايد سرعتها في الاتجاه السالب في أثناء سقوطها.

c و **d** يُظهر الرسمان البيانيان لمنحنى (الإزاحة – الزمن) ارتفاع الكرة في فترات زمنية مماثلة.

عندما يُسأل الناس عن تسارع جسم عند أقصى ارتفاع له في أثناء تحليقه فإنهم في العادة لا يأخذون وقتًا كافيًا لتحليل الموقف، فتكون إجابتهم أن التسارع يساوي صفرًا، وهذا ليس صحيحًا بالطبع. فعند أقصى ارتفاع تساوي السرعة المتجهة للكرة صفرًا، ولكن ماذا يحدث لو كان تسارعها أيضًا يساوي صفرًا؟ عندئذ لن تتغير السرعة المتجهة للكرة، وستبقى 0.0 m/s، وإذا كانت هذه هي الحالة فإن الكرة لن تكتسب أي سرعة متجهة إلى أسفل، بل ستبقى ببساطة معلقة في الهواء عند أقصى ارتفاع لها. ولأن الأجسام المقذوفة إلى أعلى لا تبقى معلقة، فسوف تستنتج أن تسارع الجسم عند نقطة أقصى ارتفاع لطيرانه يجب ألا يساوي صفرًا، وأن اتجاهه يجب أن يكون إلى أسفل.

عربات السقوط الحر يستخدم مفهوم السقوط الحر في تصميم ألعاب في مدن الألعاب، بحيث تعطي راكبيها الإحساس بالسقوط الحر. ويمر الراكب في مثل هذا النوع من الألعاب بثلاث مراحل، هي: الصعود، ثم التعليق لحظيًّا، ثم السقوط؛ حيث تعمل محركات على توفير القوة اللازمة لتحريك عربات لعبة السقوط الحر إلى أعلى المسار. وعند سقوط هذه العربات سقوطًا حرًّا يكون للشخص الأكبر كتلة والشخص الأقل كتلة التسارع نفسه. افترض أن إحدى عربات السقوط الحر في مدينة الألعاب سقطت سقوطًا حرًّا من السكون مدة 1.5 s، فما سرعتها المتجهة في نهاية هذه الفترة؟ اختر نظامًا إحداثيًّا يكون فيه الاتجاه إلى أعلى موجبًا ونقطة الأصل عند الموقع الابتدائي للعربة. بما أن العربة بدأت الحركة من السكون فإن $v_i = 0$.

استخدم معادلة السرعة المتجهة بدلالة التسارع الثابت لحساب السرعة المتجهة النهائية للعربة.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{v}_f &= \boldsymbol{v}_i + \overline{\boldsymbol{a}} t_f \\ &= 0.00\ \text{m/s} + (-9.80\ \text{m/s}^2)(1.5\ \text{s}) \\ &= -15\ \text{m/s} \end{aligned}$$

ما الإزاحة التي قطعتها العربة خلال هذه الفترة؟ بما أن الزمن والإزاحة معلومان فإننا نستخدم معادلة الإزاحة.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{d}_f &= \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i t_f + 1/2\ \overline{\boldsymbol{a}} t_f^2 \\ &= 0.00\ \text{m} + (0.00\ \text{m/s})(1.5\ \text{s}) + 1/2\ (-9.80\ \text{m/s}^2)(1.5\ \text{s})^2 \\ &= -11\ \text{m} \end{aligned}$$

مسألة تحفيز

شاهدت بالونًا مملوءًا بالماء يسقط أمام نافذة صفك. فإذا استغرق البالون t ثانية، ليسقط مسافة تساوي ارتفاع النافذة ومقدارها y متر. افترض أن البالون بدأ حركته من السكون، فما الارتفاع الذي يسقط منه قبل أن يصل إلى الحافة العليا للنافذة بدلالة كل من $\boldsymbol{g}$ و y و t وثوابت عددية؟

مسائل تدريبية

41. أسقط عاملُ بناءٍ عَرَضًا قطعةَ قرميد من سطح بناية.

a. ما سرعة القطعة بعد 4.0 s؟

b. ما المسافة التي تقطعها القطعة خلال هذا الزمن؟

c. كيف تختلف إجابتك عن المسألة إذا قمت باختيار النظام الإحداثي بحيث يكون الاتجاه المعاكس هو الاتجاه الموجب.

42. أسقط طالب كرة من نافذة ترتفع 3.5 m عن الرصيف. ما سرعتها لحظة ملامستها أرضية الرصيف؟

43. قذفت كرة تنس رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية 22.5 m/s، وتم الإمساك بها عند عودتها إلى الارتفاع نفسه الذي قذفت منه.

a. احسب الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة.

b. ما الزمن الذي استغرقته الكرة في الهواء؟

إرشاد: الزمن الذي تستغرقه الكرة في الصعود يساوي الزمن الذي تستغرقه في الهبوط.

44. رميت كرة بشكل رأسي إلى أعلى. وكان أقصى ارتفاع وصلت إليه 0.25 m:

a. ما السرعة الابتدائية للكرة؟

b. إذا أمسكت الكرة عند عودتها إلى الارتفاع نفسه الذي أطلقت منه، فما الزمن الذي استغرقته في الهواء؟

3–3 مراجعة

45. **أقصى ارتفاع وزمن التحليق** إذا كان تسارع الجاذبية على سطح المريخ يساوي $\left(\frac{1}{3}\right)$ تسارع الجاذبية على سطح الأرض، ثم قذفت كرة إلى أعلى من فوق سطح كل من المريخ والأرض بالسرعة نفسها:

a. قارن بين أقصى ارتفاع تصله الكرة على سطح المريخ وسطح الأرض.

b. قارن بين زمني التحليق.

46. **السرعة والتسارع** افترض أنك قذفت كرة إلى أعلى. صف التغيرات في كل من سرعة الكرة المتجهة وتسارعها.

47. **السرعة النهائية** أسقط أخوك –بناء على طلبك– مفاتيح المنزل من نافذة الطابق الثاني. فإذا التقطتها على بُعد 4.3 m من نقطة السقوط، فاحسب سرعة المفاتيح عند التقاطك لها.

48. **السرعة المتجهة الابتدائية وأقصى ارتفاع** يتدرب طالب على ركل كرة القدم رأسيًّا إلى أعلى، وتعود الكرة إثر كل ركلة لتصطدم بقدمه. إذا استغرقت الكرة من لحظة ركلها حتى اصطدامها بقدمه 3.0 s:

a. فما السرعة المتجهة الابتدائية للكرة؟

b. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة بعد أن ركلها الطالب؟

49. **التفكير الناقد** عند قذف كرة رأسيًّا إلى أعلى، تستمر في الارتفاع حتى تصل إلى موقع معين، ثم تسقط إلى أسفل، وتكون سرعتها المتجهة اللحظية عند أقصى ارتفاع صفرًا. هل تتسارع الكرة عند أقصى ارتفاع؟ صمم تجربة لإثبات صحة أو خطأ إجابتك.

تمدد الزمن عند السرعات العالية
Time Dilation at High Velocities

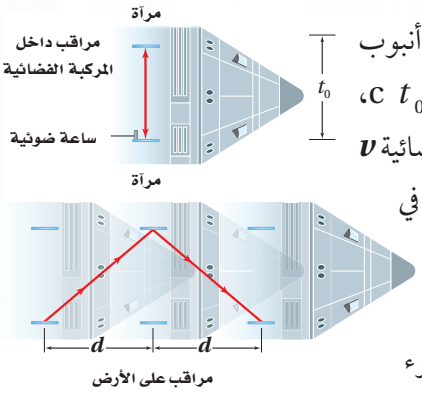
هل يمكن أن يمر الزمن بشكل مختلف في إطارين مرجعيين؟ وكيف يمكن أن يكون عمر أحد توأمين أكبر من عمر الآخر؟

الساعة الضوئية Light Clock تأمل فكرة التجربة التالية باستعمال الساعة الضوئية. الساعة الضوئية عبارة عن أنبوب رأسي، في كل من طرفيه مرآة مستوية. يتم إطلاق نبضة ضوئية قصيرة في إحدى نهايتي الأنبوب، بحيث ترتد داخله ذهابًا وإيابًا منعكسة عن المرآتين. ويقاس الزمن بتحديد عدد ارتدادات النبضة. الساعة الضوئية مضبوطة لأن سرعة النبضة الضوئية (c) منتظمة دائمًا، وهي تساوي $3\times10^8\,m/s$ بغض النظر عن سرعة المصدر الضوئي أو المراقب.

افترض أن هذه الساعة الضوئية وضعت في مركبة فضائية سريعة جدًّا. عندما تسير المركبة بسرعات قليلة، يرتد الشعاع الضوئي رأسيًّا داخل الأنبوب. وإذا تحركت المركبة بسرعة أكبر، فسيستمر الشعاع الضوئي في الارتداد رأسيًّا كما يراه المراقب في المركبة.

أما بالنسبة إلى مراقب يقف ساكنًا على سطح الأرض فإن النبضة الضوئية تتحرك وفق مسار مائل بسبب حركة المركبة الفضائية. لذا فإن الشعاع الضوئي – بالنسبة إلى هذا المراقب – يتحرك مسافة أكبر. ولما كانت المسافة تعطى بالعلاقة: المسافة = السرعة × الزمن، وسرعة النبضة الضوئية c (أو سرعة الضوء) منتظمة دائمًا بالنسبة إلى أي مراقب، فإن ازدياد المسافة بالنسبة إلى المراقب الأرضي الساكن تعني أن الزمن هو الذي يجب أن يزداد في الطرف الثاني للمعادلة حتى تبقى صحيحة. أي أن هذا المراقب يرى أن الساعة في المركبة المتحركة تسير أبطأ من الساعة نفسها على الأرض!

افترض أن زمن نبضة (دَقة) الساعة الضوئية – كما يراها المراقب على الأرض – هو t_s، وكما يراها المراقب في المركبة



الفضائية t_0، وطول أنبوب الساعة الضوئية $c\,t_0$، وسرعة المركبة الفضائية v وسرعة الضوء c. في كل نبضة تتحرك المركبة مقدار vt_s، وتتحرك نبضة الضوء مقدار ct_0، وهذا يقود إلى المعادلة التالية:

$$t_s = \frac{t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

بالنسبة إلى المراقب الساكن، كلما اقتربت قيمة v من c أصبح زمن النبضة أبطأ. أما بالنسبة إلى المراقب الذي في المركبة فإن الساعة تحافظ على وقتها الصحيح (المضبوط).

تمدد الزمن Time Dilation تسمّى هذه الظاهرة تمدد الزمن، وتنطبق على كل العمليات المرتبطة مع الزمن على متن السفن الفضائية. فمثلاً يمضي العمر الحيوي بشكل أكثر بطئًا في المركبة الفضائية مما على الأرض. لذا، فإذا كان المراقب في المركبة الفضائية هو أحد توأمين فسيكون عمره أقل من عمر التوأم الآخر على الأرض، وتسمى هذه الظاهرة معضلة التوائم.

لقد أوحت ظاهرة التمدد الزمني بأفكار خيالية كثيرة حول السفر في الفضاء، فإذا كان بإمكان سفينة فضائية السفر بسرعات قريبة من سرعة الضوء فإن الرحلات إلى النجوم البعيدة جدًّا قد تصبح ممكنة لأنها ستستغرق بضع سنوات فقط من عمر رواد الفضاء الذين على متنها.

التوسع

1. **احسب** أوجد تمدد الزمن $\frac{t_s}{t_0}$ لزمن دوران الأرض حول الشمس إذا علمت أن $v_{earth} = 10889\ km/s$.
2. **احسب** اشتق معادلة حساب تمدد الزمن t_s.
3. **ناقش** ما الفرق بين تمدد الزمن وزمن الحركة؟

مختبر الفيزياء

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية

تحدث تغيرات طفيفة في مقدار التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية g في مواقع مختلفة على سطح الأرض، حيث تتغير قيمة g بحسب بُعد الموقع عن مركز الأرض. وتُعطى الإزاحة في حالة الحركة وفق تسارع ثابت بالمعادلة التالية:

$$d_f - d_i = v_i (t_f - t_i) + \frac{1}{2} a (t_f - t_i)^2$$

فإذا كانت $t_i = 0$ و $d_i = 0$ فإن الإزاحة تعطى بالمعادلة: $d_f = v_i t_f + \frac{1}{2} a t_f^2$

وبقسمة طرفي المعادلة على t_f تؤول إلى: $\frac{d_f}{t_f} = v_i + \frac{1}{2} a t_f$

إن ميل المنحنى البياني $\frac{d_f}{t_f}$ مقابل t_f يساوي $\frac{1}{2}a$، والسرعة المتجهة الابتدائية v_i يتم تحديدها بتعيين نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الرأسي. في هذه التجربة ستستخدم المؤقت ذا الشريط لجمع بيانات عن السقوط الحر، والتي ستستعملها في تعيين التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية g.

سؤال التجربة

كيف تتغير قيمة g من مكان إلى آخر؟

الأهداف

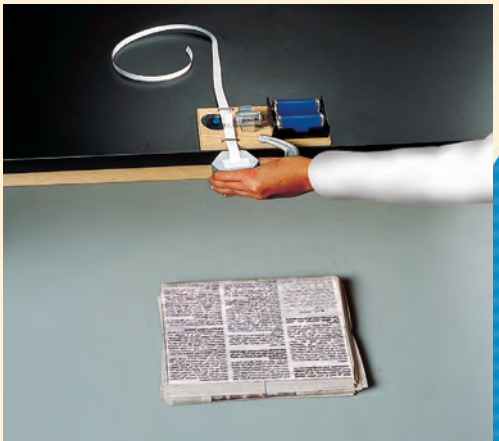
- **تقيس** بيانات عن السقوط الحر.
- **ترسم** منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) وتستخدمه.
- **تقارن** بين قيم g في مواقع مختلفة.

احتياطات السلامة

- **ابتعد عن الأجسام في أثناء سقوطها.**

المواد والأدوات

شريط ورقي للمؤقت	ورق جرائد
شريط لاصق	مؤقت ذو شريط
كتلة 1 kg	ماسك على شكل حرف C



الخطوات

1. ثبِّت المؤقت في حافة طاولة المختبر بالماسك C.
2. إذا كان المؤقت يحتاج إلى معايرة فاتبع تعليمات المعلم أو ورقة التعليمات الخاصة بالجهاز. عين الزمن الدوري للمؤقت ثم سجّله في جدول البيانات.
3. ضع كومة من ورق الجرائد على أرضية المختبر مباشرة تحت المؤقت بحيث تصطدم بها الكتلة عندما تسقط سقوطًا حرًّا؛ وذلك حتى لا تتلف الأرضية.
4. اقطع 70 cm تقريبًا من شريط المؤقت، وأدخل طرفه في المؤقت، واربط الطرف الآخر بالكتلة 1 kg باستخدام الشريط اللاصق.
5. أمسك الكتلة عند حافة الطاولة بمحاذاة المؤقت.
6. شغل المؤقت واترك الكتلة تسقط سقوطًا حرًّا.
7. افحص الشريط الورقي للمؤقت للتأكد من وجود نقاط ظاهرة عليه، ومن عدم وجود انقطاعات (فراغات) في النقاط المتسلسلة المطبوعة عليه. إذا ظهر في الشريط أي خلل، فكرّر الخطوات 6–4 باستعمال قطعة أخرى من شريط المؤقت.

جدول البيانات			
الزمن الدوري (s)			
الفترة الزمنية	المسافة (cm)	الزمن (s)	السرعة (cm/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

8. اختر نقطة بالقرب من بداية الشريط على بُعد بضعة سنتمترات من النقطة التي بدأ المؤقت عندها تسجيل النقاط، واكتب عندها الرقم صفر "0". أكمل ترقيم النقاط على التوالي بالأرقام 1, 2, 3, 4, 5 حتى تصل قرب نهاية الشريط، حيث توقفت الكتلة عن السقوط الحر. (إذا توقف ظهور النقاط أو بدأت المسافة بينها بالتناقص فهذا يعني أن الكتلة اصطدمت بالأرض).

9. قس المسافة الكلية إلى أقرب ملمتر من نقطة الصفر إلى كل نقطة مرقمة، وسجلها في الجدول. وباستخدام الزمن الدوري للمؤقت، سجل الزمن الكلي المرتبط مع كل قياس للمسافة.

التحليل

1. **استعمل الأرقام** احسب قيم السرعة وسجلها في جدول البيانات.

2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ثم ارسم الخط البياني الأكثر ملاءمة لبياناتك.

3. احسب ميل الخط البياني، وحوّل النتيجة إلى وحدة m/s^2.

الاستنتاج والتطبيق

1. تذكّر أن ميل خط منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) يساوي $\frac{1}{2}a$، واحسب التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية.

2. أوجد الخطأ النسبي في القيمة التجريبية لـ g مقارنة بالقيمة المقبولة لها $9.80\ m/s^2$. علمًا بأن:

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

3. كم كان مقدار السرعة الابتدائية v_i للكتلة عندما بدأت قياس المسافة والزمن؟

التوسع في البحث

ما الفائدة من بدء القياس من نقطة تبعد بضعة سنتمترات عن بداية شريط المؤقت بدلاً من بدئه من أول نقطة على الشريط؟

الفيزياء في الحياة

لماذا يقوم مصممو عربات السقوط الحر في مدن الألعاب (الملاهي) بتصميم مسارات خروج تنحني تدريجيًّا في اتجاه الأرض؟ لماذا يكون هناك امتداد للمسار المستقيم؟

التواصل

تواصل مع الآخرين حول القيمة المتوسطة لـ g. ارجع إلى الموقع الإلكتروني: obeikaneducation.com

سجل اسم مدرستك، واسم المدينة، والمنطقة، والارتفاع عن سطح البحر، والقيمة المتوسطة لـ g في صفك. احصل على خريطة للمنطقة وأخرى للدولة. وباستعمال البيانات المرسلة على الموقع الإلكتروني من قبل طلاب آخرين، دوّن قيم g في المواقع المناسبة على الخريطتين. هل تلاحظ أي تغيير في التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية نتيجة الاختلاف في الموقع والمنطقة والارتفاع؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن الحركة المتسارعة ارجع إلى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني obeikaneducation.com

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

3–1 التسارع (العجلة) Acceleration

المفردات

- منحنى (السرعة المتجهة –الزمن)
- التسارع
- التسارع المتوسط
- التسارع اللحظي

المفاهيم الرئيسة

- يمكن استخدام منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لإيجاد سرعة جسم وتسارعه.
- يمكن استخدام كلٍّ من منحنيات (السرعة المتجهة–الزمن) والمخططات التوضيحية للحركة لتحديد إشارة تسارع الجسم.
- عندما تتغير سرعة جسم بمعدل منتظم يكون له تسارع ثابت.
- التسارع المتوسط لجسم يساوي ميل الخط البياني لمنحنى السرعة المتجهة–الزمن. $\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i}{t_f - t_i}$
- تدل متجهات التسارع المتوسط في مخطط الحركة على مقدار واتجاه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية ما.
- عندما يكون التسارع والسرعة في الاتجاه نفسه تزداد سرعة الجسم، وعندما يكونان متعاكسين في الاتجاه تتناقص سرعته.
- التسارع اللحظي هو التغير في السرعة عند لحظة زمنية محددة.

3–2 الحركة بتسارع ثابت Motion with Constant Acceleration

المفاهيم الرئيسة

- إذا عُلم التسارع الثابت لجسم خلال فترة زمنية ما أمكن إيجاد التغير في السرعة المتجهة خلال هذا الزمن. $\boldsymbol{v}_f = \boldsymbol{v}_i + \boldsymbol{a}\,\Delta t$
- المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) لجسم متحرك تساوي مقدار إزاحته.
- في الحركة بتسارع ثابت، تربط العلاقة $\boldsymbol{d}_f = \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i\, t_f + \frac{1}{2}\boldsymbol{a}\,\Delta t_f^{\,2}$ بين الموقع والسرعة المتجهة والتسارع والزمن.
- يمكن إيجاد السرعة المتجهة لجسم يتحرك بتسارع ثابت باستخدام المعادلة:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\,\boldsymbol{a}\,(\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i)$$

3–3 السقوط الحر Free Fall

المفردات

- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية
- السقوط الحر

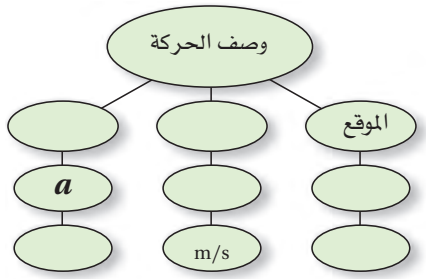
المفاهيم الرئيسة

- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يساوي $9.80\ \text{m/s}^2$ في اتجاه الأسفل، وتعتمد إشارته في المعادلات على النظام الإحداثي الذي تم اختياره.
- تستخدم معادلات الحركة بتسارع ثابت في حل مسائل تتضمن الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًّا.

الفصل 3
التقويم

خريطة المفاهيم

50. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام الرموز والمصطلحات التالية: m، $\boldsymbol{v}$، m/s^2، $\boldsymbol{d}$، التسارع، السرعة المتجهة.



إتقان المفاهيم

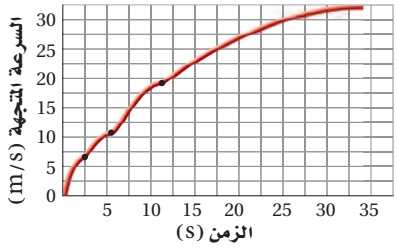
51. ما العلاقة بين السرعة المتجهة والتسارع؟(3–1)

52. أعط مثالاً على كل مما يلي: (3–1)

a. جسم تتناقص سرعته وله تسارع موجب.

b. جسم تتزايد سرعته، و له تسارع سالب.

53. يبين **الشكل 3–16** منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لسيارة تتحرك على طريق. صف كيف تتغير السرعة المتجهة مع الزمن. (3–1)



الشكل 3–16

54. ماذا يمثل ميل المماس لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن)؟ (3–1)

55. هل يمكن أن يكون لسيارة تتحرك على طريق عام سرعة متجهة سالبة وتسارع موجب في الوقت نفسه؟ وضح ذلك. وهل يمكن أن تتغير إشارة السرعة المتجهة لسيارة في أثناء حركتها بتسارع ثابت؟ وضح ذلك. (3–1)

56. هل يمكن أن تتغير السرعة المتجهة لجسم عندما يكون تسارعه ثابتًا؟ إذا أمكن ذلك فأعط مثالًا، وإذا لم يمكن فوضح ذلك. (3–1)

57. إذا كان منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لجسم ما خطًّا مستقيمًا يوازي محور الزمن t، فماذا يمكن أن تستنتج عن تسارع الجسم؟ (3–1)

58. ماذا تمثل المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)؟ (3–2)

59. اكتب معادلات كل من الموقع والسرعة المتجهة والزمن لجسم يتحرك وفق تسارع ثابت. (3–2)

60. عند إسقاط كرتين متماثلتين في الحجم إحداهما من الألومنيوم والأخرى من الفولاذ، من الارتفاع نفسه، فإنهما تصلان سطح الأرض عند اللحظة نفسها. لماذا؟ (3–3)

61. اذكر بعض الأمثلة على أجسام تسقط سقوطًا حرًّا ولا يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء فيها. (3–3)

62. اذكر بعض الأمثلة لأجسام تسقط سقوطًا حرًّا ويمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء عليها. (3–3)

تطبيق المفاهيم

63. هل للسيارة التي تتباطأ تسارع سالب دائمًا؟ فسر إجابتك.

64. تتدحرج كرة كريكيت بعد ضربها بالمضرب، ثم تتباطأ وتتوقف. هل لسرعة الكرة المتجهة وتسارعها الإشارة نفسها؟

65. إذا كان تسارع جسم يساوي صفرًا فهل هذا يعني أن سرعته المتجهة تساوي صفرًا؟ أعط مثالًا.

66. إذا كانت السرعة المتجهة لجسم عند لحظة ما تساوي

تقويم الفصل 3

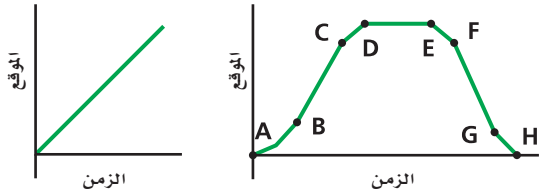
صفرًا فهل من الضروري أن يساوي تسارعه صفرًا؟ أعط مثالًا.

67. إذا أعطيت جدولاً يبين السرعة المتجهة لجسم عند أزمنة مختلفة فكيف يمكنك أن تكتشف ما إذا كان التسارع ثابتًا أم غير ثابت؟

68. تظهر في منحنى (السرعة المتجهة – الزمن) في **الشكل 16–3** ثلاثة مقاطع نتجت عندما غير السائق ناقل الحركة. صف التغيرات في السرعة المتجهة للسيارة وتسارعها في أثناء المقطع الأول. هل التسارع قبل لحظة تغيير الناقل أكبر أم أصغر من التسارع في اللحظة التي تلي التغيير؟ وضح إجابتك.

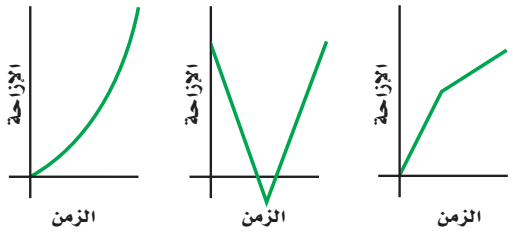
69. استخدم الرسم البياني في **الشكل 16–3** لتعيين الفترة الزمنية التي يكون التسارع خلالها أكبر ما يمكن، والفترة الزمنية التي يكون التسارع خلالها أصغر ما يمكن.

70. وضح كيف تسير بحيث تمثل حركتك كلًّا من منحنيي (الموقع–الزمن) الموضحين في **الشكل 17–3**.



الشكل 17–3

71. ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لكل من الرسوم البيانية في **الشكل 18–3**.



الشكل 18–3

72. قذف جسم رأسيًّا إلى أعلى فوصل أقصى ارتفاع له بعد مضي 7.0 s، وسقط جسم آخر من السكون فاستغرق 7.0 s للوصول إلى سطح الأرض. قارن بين إزاحتي الجسمين خلال هذه الفترة الزمنية.

73. التسارع الناتج عن جاذبية القمر ($g_{القمر}$) يساوي $\frac{1}{6}$ التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية (g).

a. إذا أسقطت كرة من ارتفاع ما على سطح القمر، فهل تصطدم بسطح القمر بسرعة أكبر أم مساوية أم أقل من سرعة الكرة نفسها إذا أسقطت من الارتفاع نفسه على سطح الأرض؟

b. هل الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى سطح القمر أكبر، أم أقل، أم مساوٍ للزمن الذي تستغرقه للوصول إلى سطح الأرض؟

74. لكوكب المشتري ثلاثة أمثال التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية تقريبًا. افترض أن كرة قذفت رأسيًّا بالسرعة المتجهة الابتدائية نفسها على كل من الأرض والمشتري، مع إهمال تأثير مقاومة الغلاف الجوي للأرض وللمشتري، وبافتراض أن قوة الجاذبية هي القوة الوحيدة المؤثرة في الكرة:

a. قارن بين أقصى ارتفاع تصله الكرة على كل من المشتري والأرض.

b. إذا قذفت الكرة على المشتري بسرعة متجهة ابتدائية تساوي ثلاثة أمثال السرعة المتجهة في الفقرة **a**، فكيف يؤثر ذلك في إجابتك؟

75. أسقطت الصخرة A من تل، وفي اللحظة نفسها قذفت الصخرة B إلى أعلى من الموقع نفسه:

a. أي الصخرتين ستكون سرعتها المتجهة أكبر لحظة الوصول إلى أسفل التل؟

b. أي الصخرتين لها تسارع أكبر؟

c. أيهما تصل أولًا؟

تقويم الفصل 3

إتقان حل المسائل

3–1 التسارع

76. تحركت سيارة مدة 2.0 h بسرعة 40.0 km/h، ثم تحركت مدة 2.0 h أخرى بسرعة 60.0 km/h وفي الاتجاه نفسه.

a. ما السرعة المتوسطة للسيارة؟

b. ما السرعة المتوسطة للسيارة إذا قطعت مسافة 1.0×10^2 km بسرعة 40.0 km/h ومسافة 1.0×10^2 km أُخرى بسرعة 60.0 km/h؟

77. أوجد التسارع المنتظم الذي يسبب تغيرًا في سرعة سيارة من 32 m/s إلى 96 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 8.0 s.

78. سيارة سرعتها المتجهة 22 m/s تسارعت بانتظام بمقدار $1.6\ m/s^2$ مدة 6.8 s. ما سرعتها المتجهة النهائية؟

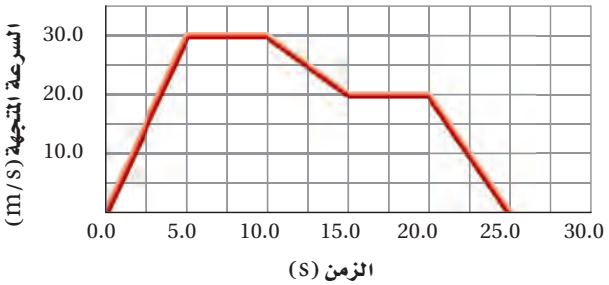
79. بالاستعانة **بالشكل 19–3** أوجد تسارع الجسم المتحرك في الأزمنة التالية:

a. خلال الثواني الخمس الأولى من الرحلة (5.0 s).

b. بين 5.0 s و 10.0 s

c. بين 10.0 s و 15.0 s

d. بين 20.0 s و 25.0 s



الشكل 19–3

80. احسب السرعة المتجهة النهائية لبروتون سرعته المتجهة الابتدائية 2.35×10^5 m/s تم التأثير فيه بمجال كهربائي، بحيث يتسارع بانتظام بمقدار $(-1.10 \times 10^{12}\ m/s^2)$ مدة 1.50×10^{-7} s.

81. ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) باستخدام البيانات في **الجدول 4–3**، وأجب عن الأسئلة التالية:

a. خلال أي الفترات الزمنية:

- تزداد سرعة الجسم.
- تقل سرعة الجسم.

b. متى يعكس الجسم اتجاه حركته؟

c. كيف يختلف التسارع المتوسط للجسم في الفترة الزمنية بين 0.0 s و 2.0 s عن التسارع المتوسط في الفترة الزمنية بين 7.0 s و 12.0 s؟

الجدول 4–3

السرعة المتجهة - الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	4.00
1.00	8.00
2.00	12.0
3.00	14.0
4.00	16.0
5.00	16.0
6.00	14.0
7.00	12.0
8.00	8.00
9.00	4.00
10.0	0.00
11.0	−4.00
12.0	−8.00

82. يمكن زيادة سرعة السيارة A من 0 m/s إلى 17.9 m/s خلال 4.0 s، والسيارة B من 0 m/s إلى 22.4 m/s خلال 3.5 s، والسيارة C من 0 m/s إلى 26.8 m/s خلال 6.0 s. رتب السيارات الثلاث من الأكبر إلى الأقل تسارعًا، مع الإشارة إلى العلاقة التي قد تربط بين تسارع كل منها.

تقويم الفصل 3

83. تطير طائرة نفاثة بسرعة 145 m/s وفق تسارع ثابت مقداره $23.1\ m/s^2$ لمدة 20.0 s.

a. ما سرعتها النهائية؟

b. إذا كانت سرعة الصوت في الهواء 331 m/s فما سرعة الطائرة بدلالة سرعة الصوت؟

3–2 الحركة بتسارع ثابت

84. استعن **بالشكل 3–19** لإيجاد الإزاحة المقطوعة خلال الفترات الزمنية الآتية:

a. $t = 0.0\ s$ إلى $t = 5.0\ s$

b. $t = 5.0\ s$ إلى $t = 10.0\ s$

c. $t = 10.0\ s$ إلى $t = 15.0\ s$

d. $t = 0.0\ s$ إلى $t = 25.0\ s$

85. بدأ متزلج حركته من السكون بتسارع مقداره $49\ m/s^2$، ما سرعته عندما يقطع مسافة 325 m؟

86. تتحرك سيارة بسرعة متجهة 12 m/s صاعدة تلًّا بتسارع ثابت $(-1.6\ m/s^2)$. ما إزاحتها بعد 6 s وبعد 9 s؟

87. تتباطأ سيارة سباق بمقدار ثابت $(11\ m/s^2)$. أجب عما يأتي:

a. إذا كانت السيارة منطلقة بسرعة 55 m/s، فما المسافة التي تقطعها بالأمتار قبل أن تقف؟

b. ما المسافة التي تقطعها السيارة قبل أن تقف إذا كانت سرعتها مثلَي السرعة السابقة؟

88. ما المسافة التي تطيرها طائرة خلال 15 s، بينما تتغير سرعتها المتجهة بمعدل منتظم من 145 m/s إلى 75 m/s؟

89. تتحرك سيارة شرطة من السكون بتسارع ثابت مقداره $7.0\ m/s^2$، لتلحق بسيارة تتجاوز حد السرعة المسموح به وتسير بسرعة منتظمة مقدارها 30.0 m/s. كم تكون سرعة سيارة الشرطة عندما تلحق بالسيارة المخالفة؟

90. شاهد سائقُ سيارةٍ تسير بسرعة 90.0 km/h فجأة أضواءَ حاجز على بُعد 40.0 m أمامه. فإذا استغرق السائق 0.75 s حتى يضغط على الفرامل، وكان التسارع المتوسط للسيارة في أثناء ضغطه على الفرامل $(-10.0\ m/s^2)$:

a. فحدد ما إذا كانت السيارة ستصطدم بالحاجز أم لا؟

b. ما أقصى سرعة يمكن أن تسير بها السيارة دون أن تصطدم بالحاجز؟ (بافتراض أن التسارع لم يتغير).

3–3 السقوط الحر

91. أسقط رائد فضاء ريشة من نقطة على ارتفاع 1.2 m فوق سطح القمر. إذا كان تسارع الجاذبية على سطح القمر $1.62\ m/s^2$، فما الزمن الذي تستغرقه الريشة حتى تصطدم بسطح القمر؟

92. يسقط حجر سقوطًا حرًّا. ما سرعته بعد 8.0 s؟ وما إزاحته؟

93. قذفت كرة بسرعة 2.0 m/s رأسيًّا إلى أسفل من نافذة منزل. ما سرعتها حين تصل إلى رصيف المشاة الذي يبعد 2.5 m أسفل نقطة القذف؟

94. في السؤال السابق، إذا قذفت الكرة رأسيًّا إلى أعلى بدلاً من الأسفل فما السرعة التي تصل بها الكرة إلى الرصيف؟

95. إذا قذفت كرة مضرب في الهواء والتقطتها بعد 2.2 s، فأجب عما يأتي:

a. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة؟

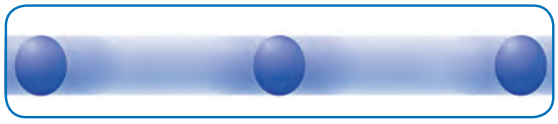
b. ما السرعة المتجهة الابتدائية للكرة؟

تقويم الفصل 3

مراجعة عامة

96. تتحرك سفينة فضائية بتسارع ثابت وتتغير سرعتها من 65.0 m/s إلى 162.0 m/s خلال 10.0 s. ما المسافة التي ستقطعها؟

97. يبين **الشكل 20–3** صورة ستروبية لكرة تتحرك أفقيًّا. ما المعلومات التي تحتاج إليها حول الصورة؟ وما القياسات التي ستجريها حتى تقدر التسارع؟



الشكل 20–3

98. يطير بالون أرصاد جوية على ارتفاع ثابت فوق سطح الأرض. سقطت منه بعض الأدوات واصطدمت بالأرض بسرعة متجهة (−73.5 m/s). ما الارتفاع الذي سقطت منه هذه الأدوات؟

99. يبين **الجدول 5–3** المسافة الكلية التي تتدحرجها كرة إلى أسفل مستوى مائل في أزمنة مختلفة.

الجدول 5–3

المسافة - الزمن

الزمن (s)	المسافة (m)
0.0	0.0
1.0	2.0
2.0	8.0
3.0	18.0
4.0	32.0
5.0	50.0

a. مثِّل بيانيًّا العلاقة بين الموقع والزمن.

b. احسب المسافة التي تدحرجتها الكرة بعد مرور 2.2 s.

100. تتغير سرعة سيارة خلال فترة زمنية مقدارها 8.0 s كما يبين **الجدول 6–3**.

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين السرعة المتجهة–الزمن.

b. ما إزاحة السيارة خلال ثماني ثوان ؟

c. أوجد ميل الخط البياني بين الثانية $t = 0.0\ s$ و $t = 4.0\ s$. ماذا يمثل هذا الميل؟

d. أوجد ميل الخط البياني بين $t = 5.0\ s$ و $t = 7.0\ s$. ما الذي يدل عليه هذا الميل؟

الجدول 6–3

السرعة المتجهة - الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.0	0.0
1.0	4.0
2.0	8.0
3.0	12.0
4.0	16.0
5.0	20.0
6.0	20.0
7.0	20.0
8.0	20.0

101. توقفت شاحنة عند إشارة ضوئية، وعندما تحولت الإشارة إلى اللون الأخضر تسارعت الشاحنة بمقدار $2.5\ m/s^2$، وفي اللحظة نفسها تجاوزتها سيارة تتحرك بسرعة منتظمة 15 m/s. أين ومتى ستلحق الشاحنة بالسيارة؟

102. ترتفع طائرة مروحية رأسيًّا بسرعة 5.0 m/s عندما سقط كيس من حمولتها. إذا وصل الكيس سطح الأرض خلال 2 s فاحسب:

a. سرعة الكيس المتجهة لحظة وصوله الأرض.

b. المسافة التي قطعها الكيس.

c. بُعد الكيس عن الطائرة لحظة وصوله سطح الأرض.

تقويم الفصل 3

التفكير الناقد

103. صمم تجربة لقياس المسافة التي يتحركها جسم متسارع خلال فترات زمنية متساوية باستخدام الأدوات التالية: كاشف للحركة (CBL) (أو بوابة ضوئية)، وعربة مختبر، وخيط، وبكرة، وماسك على شكل حرف C. ثم ارسم منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) ومنحنى (الموقع – الزمن) باستخدام أثقال مختلفة. وضح كيف يؤثر تغيير الثقل في رسمك البياني.

104. أيهما له تسارع أكبر: سيارة تزيد سرعتها من 50 km/h إلى 60 km/h، أم دراجة هوائية تنطلق من 0 km/h إلى 10 km/h خلال الفترة الزمنية نفسها؟ وضح إجابتك.

105. يتحرك قطار سريع بسرعة 36.0 m/s، ثم طرأ ظرف اقتضى تحويل مساره إلى سكة قطار محلي. اكتشف سائق القطار السريع أن أمامه (على السكة نفسها) قطارًا محليًّا يسير ببطء في الاتجاه نفسه وتفصله عن القطار السريع مسافة قصيرة (1.00×10^2 m). لم ينتبه سائق القطار المحلي للكارثة الوشيكة وتابع سيره بالسرعة نفسها، فضغط سائق القطار السريع على الفرامل، وأبطأ سرعة القطار بمعدل ثابت مقداره 3.00 m/s^2. إذا كانت سرعة القطار المحلي 11.0 m/s فهل يتوقف القطار السريع في الوقت المناسب أم سيتصادمان؟

لحل هذه المسألة اعتبر موقع القطارِ السريع لحظة اكتشاف سائقه القطارَ المحلي نقطةَ أصلٍ. وتذكر دائمًا أن القطار المحلي كان يسبق القطار السريع بمسافة 1.00×10^2 m بالضبط، واحسب بُعد كل من القطارين عن نقطة الأصل في نهاية الـ 12.0 s التي يستغرقها القطار السريع حتى يتوقف (التسارع = -3.00 m/s^2، والسرعة تتغير من 36 m/s إلى 0 m/s).

a. استنادًا إلى حساباتك، هل سيحدث تصادم؟

b. احسب موقع كل قطار عند نهاية كل ثانية بعد المشاهدة. اعمل جدولاً تبين فيه بُعدَ كل من القطارين عن نقطة الأصل في نهاية كل ثانية، ثم اعمل رسمًا بيانيًّا لمنحنى (الموقع– الزمن) لكل من القطارين (رسمين بيانيين على النظام الإحداثي نفسه). استخدم رسمك البياني للتأكد من صحة جوابك في **a**.

الكتابة في الفيزياء

106. ابحث في مساهمات هبة الله بن ملك البغدادي في الفيزياء.

107. ابحث في الحد الأقصى للتسارع الذي يتحمله الإنسان دون أن يفقد وعيه. ناقش كيف يؤثر هذا في تصميم ثلاثٍ من وسائل التسلية أو النقل.

مراجعة تراكمية

108. تصف المعادلة التالية حركة جسم:

$$\boldsymbol{d} = (35.0 \text{ m/s})\, t - 5.0 \text{ m}$$

ارسم منحنى (الموقع – الزمن) والمخطط التوضيحي للحركة، ثم اكتب مسألة فيزياء يمكن حلها باستخدام المعادلة.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. تتدحرج كرة إلى أسفل تلّ بتسارع ثابت $2.0\ m/s^2$. فإذا بدأت الكرة حركتها من السكون واستغرقت 4.0 s قبل أن تتوقف، فما المسافة التي قطعتها الكرة قبل أن تتوقف؟

Ⓐ 8.0 m Ⓒ 16 m

Ⓑ 12 m Ⓓ 20 m

2. ما سرعة الكرة قبل أن تتوقف مباشرة؟

Ⓐ 2.0 m/s Ⓒ 12 m/s

Ⓑ 8.0 m/s Ⓓ 16 m/s

3. تتحرك سيارة بسرعة ابتدائية 80 km /h ، ثم تزداد سرعتها لتصل إلى 110 km /h بعد أن تقطع مسافة 500 m. ما تسارعها المتوسط؟

Ⓐ $0.44\ m/s^2$ Ⓒ $0.60\ m/s^2$

Ⓑ $8.4\ m/s^2$ Ⓓ $9.80\ m/s^2$

4. سقط أصيص أزهار من شرفة ترتفع 85 m عن أرضية الشارع. ما الزمن الذي استغرقه في السقوط قبل أن يصطدم بالأرض؟

Ⓐ 4.2 s Ⓒ 8.7 s

Ⓑ 8.3 s Ⓓ 17 s

5. أسقط متسلق جبال حجرًا، ولاحظ زميله الواقف أسفل الجبل أن الحجر يحتاج إلى 3.20 s حتى يصل إلى سطح الأرض. ما الارتفاع الذي كان عنده المتسلق لحظة إسقاطه الحجر؟

Ⓐ 15.0 m Ⓒ 50.0 m

Ⓑ 31.0 m Ⓓ 100.0 m

6. اقتربت سيارة منطلقة بسرعة 91.0 km /h من مطعم على بُعد 30 m أمامها. فإذا ضغط السائق بقوة على الفرامل واكتسبت السيارة تسارعًا مقداره $-6.40\ m/s^2$، فما المسافة التي تقطعها السيارة حتى تتوقف؟

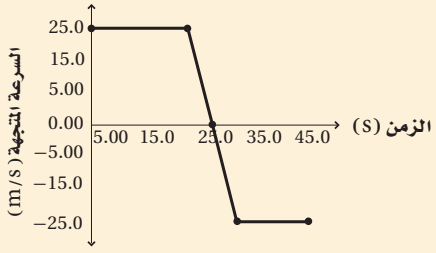
Ⓐ 14.0 m Ⓒ 50.0 m

Ⓑ 29.0 m Ⓓ 100.0 m

7. يمثل الرسم البياني التالي حركة شاحنة. ما الإزاحة الكلية للشاحنة؟ افترض أن الاتجاه الموجب نحو الشمال.

Ⓐ 150 m جنوبًا Ⓒ 300 m شمالًا

Ⓑ 125 m شمالًا Ⓓ 600 m جنوبًا



8. يمكن حساب التسارع اللحظي لجسم يتحرك وفق تسارع متغير بحساب:

Ⓐ ميل مماس منحنى (المسافة–الزمن) عند نقطة ما.

Ⓑ المساحة تحت منحنى (المسافة–الزمن).

Ⓒ المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

Ⓓ ميل المماس لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

الأسئلة الممتدة

9. مثِّل النتائج في الجدول أدناه بيانيًّا، ثم أوجد من الرسم كلًّا من التسارع والإزاحة بعد 12.0 s:

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	8.10
6.00	36.9
9.00	51.3
12.00	65.7

✓ إرشاد

الجداول

إذا اشتمل سؤال امتحان على جدول فعليك قراءته. اقرأ العنوان ورؤوس الأعمدة وبدايات الصفوف، ثم اقرأ السؤال وفسّر البيانات الموجودة في الجدول.

الفصل 4

القوى في بُعد واحد
Forces in One Dimension

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- استخدام قوانين نيوتن في حل مسائل.
- تحديد مقدار واتجاه القوة المحصلة التي تسبب تغيرًا في حركة الجسم.
- تصنيف القوى وفق العوامل المسببة لها.

الأهمية

في كل لحظة، تؤثر فيك وفي كل الأشياء المحيطة بك قوى.

رياضة يقوم اللاعب بضرب الكرة برأسه فتتقافز؛ أي تتحرك وتقف ويتغير اتجاهها.

فكِّر ◄

ما الذي يجعل كرة القدم، أو أي جسم آخر يتوقف أو يبدأ الحركة أو يغير اتجاهه؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

ما القوة الكبرى؟

سؤال التجربة ما القوى التي يمكن أن تؤثر في جسم معلق بخيط؟

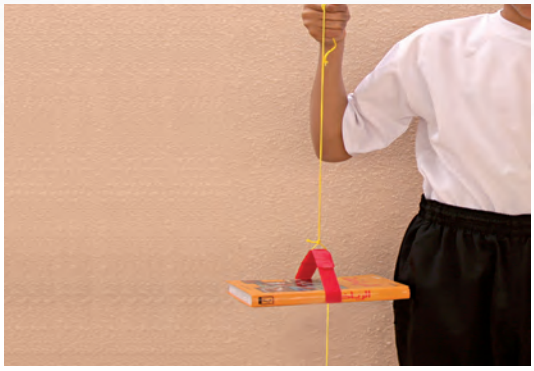
الخطوات

1. اربط قطعة من حبل سميك حول منتصف الكتاب، ثم اربط خيطًا في منتصف الحبل في الجهة العلوية للكتاب، واربط خيطًا آخر من الجهة السفلية للكتاب كما هو موضح في الشكل المجاور.
2. أمسك نهاية الخيط العلوي ودع الكتاب يتدلى في الهواء، ثم اطلب إلى زميلك أن يسحب ببطء وثبات نهاية الخيط السفلي. سجل ملاحظاتك. ***تحذير: قف بحيث تكون قدماك بعيدتين عن مكان سقوط الكتاب.***
3. استخدم خيطًا بدل الذي انقطع، وكرّر الخطوة 2، لكن في هذه المرة اسحب الخيط السفلي بسرعة وبقوة أكبر. سجل ملاحظاتك.

التحليل

أي الخيطين انقطع في الخطوة 2؟ لماذا؟ وأي الخيطين انقطع في الخطوة 3؟ لماذا؟

التفكير الناقد ارسم مخططًا توضيحيًّا للتجربة، واستخدم الأسهم لتوضيح القوى المؤثرة في الكتاب.



4–1 القوة والحركة Force and Motion

تصور قطارًا يتحرك بسرعة 80 km/h، وفجأةً شاهد السائق شاحنة متوقفة على سكة الحديد، فاستعمل الفرامل في محاولة لإيقاف القطار قبل أن يصطدم بالشاحنة. ولأن الفرامل تسبب تسارعًا معاكسًا لاتجاه السرعة المتجهة فإن القطار سيتباطأ. افترض أن السائق نجح في أن يوقف القطار قبل أن يصطدم بالشاحنة بمسافة قصيرة جدًّا. ماذا يحدث لو كان القطار يسير بسرعة 100 km/h بدلاً من 80 km/h؟ ما الذي يجب عمله حتى لا يصطدم بالشاحنة؟ الجواب هو أن التسارع الذي تحدثه فرامل القطار يجب أن يكون أكبر، بحيث يقف خلال زمن أقل، وهذا الاحتمال يشبه الحالة التي يسير فيها القطار بسرعة 80 km/h، ويكون أكثر قربًا من الشاحنة عندما يبدأ سائقه استعمال الفرامل.

الأهداف

- **تُعرّف** القوة.
- **تُطبق** قانون نيوتن الثاني في حل مسائل.
- **تشرح** معنى قانون نيوتن الأول.

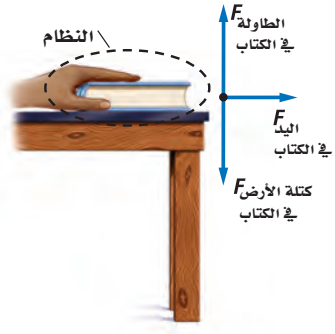
المفردات

القوة
قوة التلامس (التماس)
قوة المجال
مخطط الجسم الحر
القوة المحصلة
قانون نيوتن الثاني
قانون نيوتن الأول
القصور الذاتي
الاتزان

القوة والحركة Force and Motion

ما الذي جعل القطار يبطئ حركته؟ لأنه تأثر بقوة، و**القوة** هي سحب أو دفع يؤثر في جسم ما. وتؤدي هذه القوة المؤثرة إلى زيادة سرعة الجسم أو إبطائها أو تغيير اتجاه حركته. وعندما يستخدم سائق القطار الفرامل فإنها تؤثر في عجلات القطار بقوة تجعله يتباطأ. وبناءً على تعريف كلٍّ من السرعة المتجهة والتسارع يمكن التعبير عما سبق كما يلي: عندما تؤثر قوة في جسم ما فإنها تغير سرعته المتجهة؛ أي تُكْسبه تسارعًا.

إذا وضع كتاب على سطح طاولة فكيف يمكنك أن تحركه؟ هناك احتمالان: أن تدفعه، أو تسحبه. الدفع أو السحب قوتان تؤثران في الكتاب، وكلما زاد الدفع عليه أثّر بشكل أكبر في حركته. ولاتجاه القوة المؤثرة أيضًا تأثير رئيس في حركة الجسم؛ فإذا دفعت الكتاب إلى اليمين فإنه يتحرك في اتجاه يختلف عمّا إذا دفعته إلى اليسار. وسوف نستخدم الرمز ***F*** للتعبير عن القوة المتجهة (مقدار القوة واتجاهها).



الشكل 1–4 يُمثل الكتاب هنا النظام، وتؤثر كل من الطاولة واليد وكتلة الأرض (من خلال الجاذبية الأرضية) بقوى في الكتاب.

من الضروري عند دراسة تأثير قوة في حركة جسم ما، تحديد هذا الجسم. ويُطلق على هذا الجسم اسم "النظام"، وكل ما يحيط به ويؤثر فيه بقوة يسمى المحيط الخارجي. فالكتاب المبين في **الشكل 1–4** يمثل النظام، في حين تمثل اليد والجاذبية الأرضية أجزاءً من المحيط الخارجي الذي يمكن أن يتفاعل مع الكتاب عن طريق الدفع أو السحب، ويؤدي إلى احتمال تغيير حركته.

قوى التلامس (التماس) وقوى المجال
Contact Forces and Field Forces

تتولد **قوة التلامس (التماس)** عندما يلامس جسم من المحيط الخارجي النظام، ويؤثر فيه بقوة. فعندما تحمل كتاب الفيزياء تؤثر يدك فيه بقوة تلامس، أما إذا وضعته على الطاولة فإن قوة التلامس بين يدك والكتاب تتلاشى، بينما الطاولة الآن هي التي تؤثر في الكتاب بقوة تلامس.

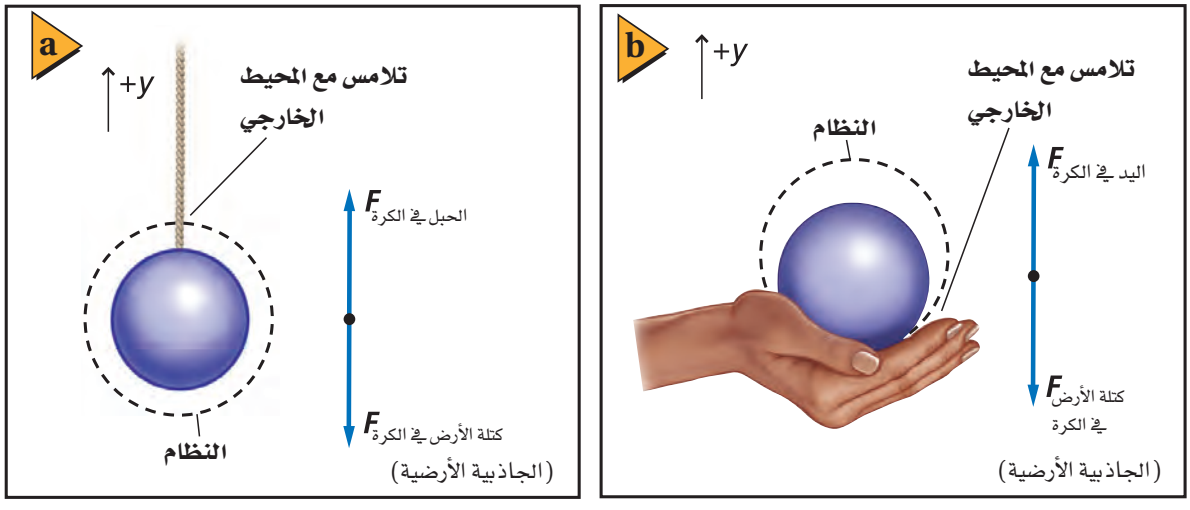
وهناك طُرق أخرى لتغيير حركة الكتاب؛ فمن الممكن أن تجعله يسقط في اتجاه الأرض، وفي هذه الحالة يتسارع بسبب الجاذبية الأرضية، كما درست في الفصل الثالث. إن قوة الجاذبية الأرضية هي التي تسبب هذا التسارع، وتؤثر في الكتاب سواء كان في حالة تلامس مع الأرض أم لا، ويطلق على مثل هذه القوة ومثيلاتها اسم **قوة المجال**، وهي تؤثر في الأجسام بغض النظر عن وجود تلامس فيما بينها من عدمه. وهناك أمثلة أخرى على هذا النوع من القوى كالقوى المغناطيسية.

ولكل قوة سبب معين يمكن تحديده يسمى المسبب. وحتى يمكن تحديد القوة يجب معرفة المسبب الذي يولدها، والنظام الذي تؤثر فيه هذه القوة.

فعلى سبيل المثال، عندما تدفع الكتاب فإن يدك (المسبب) تؤثر بقوة في الكتاب (النظام). وفي حالة عدم وجود كل من المسبب والنظام فإن هذا يعني عدم وجود قوة. ماذا عن الجاذبية الأرضية؟ إذا تركت الكتاب يسقط من يدك فإن المسبب هو كتلة الأرض التي تؤثر بقوة مجال في الكتاب.

مخططات الجسم الحر إذا كان استخدام النماذج التصويرية والمخططات التوضيحية للحركة مهمًّا في حل مسائل الحركة فإنه مهم أيضًا في تحليل الكيفية التي تؤثر بها القوى في حركة الأجسام. وأولى الخطوات في حل أي مسألة هي عمل نموذج تصويري. فعلى سبيل المثال، لتمثيل القوى المؤثرة في كرة مربوطة بخيط، أو تستند إلى راحة يدك، ارسم مخططات توضح كل حالة، كما في **الشكلين 4–2a و 4–2b**، ثم ارسم دائرة حول النظام وحدد المواقع التي تؤثر فيها قوة التلامس، وقوى المجال.

ولتمثيل القوى المؤثرة في الكرة الموضحة في **الشكلين 4–2a و 4–2b** فيزيائيًّا، استخدم نموذج الجسيم النقطي: مثّل الجسم بنقطة، ثم مثّل كل قوة بسهم أزرق يشير إلى الاتجاه الذي تؤثر فيه هذه القوة، مراعيًا أن يكون طول كل سهم متناسبًا مع مقدار القوة. وغالبًا يتم رسم هذه المخططات قبل معرفة مقدار جميع القوى. ويمكنك اللجوء إلى التقدير في مثل هذه الحالات. ارسم الأسهم دائمًا بحيث تشير اتجاهاتها بعيدًا عن الجسم، حتى عندما تمثل قوة دفع، واحرص على تسمية كل منها. استعمل الرمز ***F*** مع تحديد كل من المسبب والجسم الذي تؤثر فيه القوة أسفل الرمز، واختر اتجاهًا موجبًا تشير إليه بوضوح في مخططك. يتم اختيار الاتجاه الموجب عادة في اتجاه القوة الكبرى؛ فهذا يُسهِّل حل المسألة؛ وذلك بتقليل عدد القيم السالبة في عملية الحساب. ويسمى مثل هذا النموذج الفيزيائي الذي يمثل القوى المؤثرة في جسم ما **مخطط الجسم الحر**.



الشكل 4–2 لعمل نموذج فيزيائي للقوى المؤثرة في جسم، استخدم نموذج الجسيم النقطي، وارسم سهمًا لتمثيل كل قوة من القوى المؤثرة في الجسم، ثم سمِّ القوة ومسببها.

مسائل تدريبية

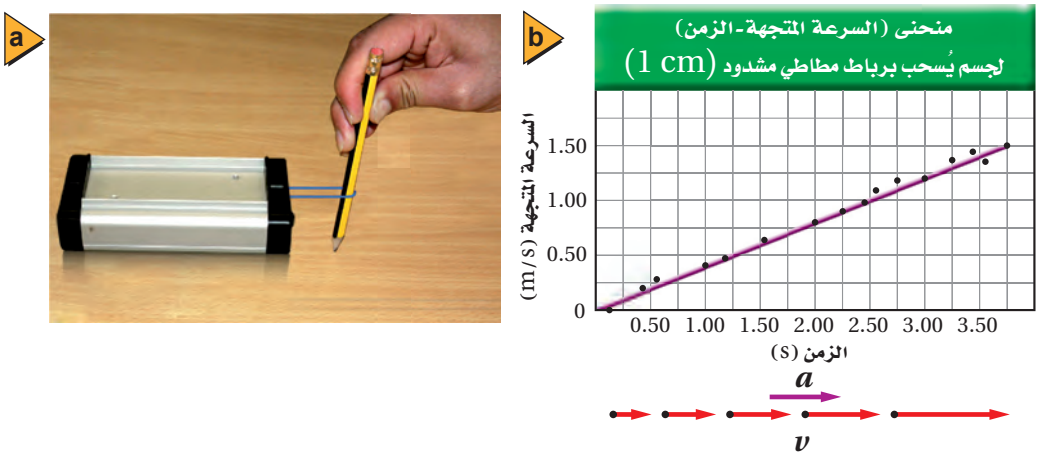
حدد النظام، وارسم مخطط الحركة، ومخطط الجسم الحر لكل من الحالات الآتية بتمثيل جميع القوى ومسبباتها، وتعيين اتجاه التسارع والقوة المحصلة، مراعيًا رسم المتجهات بأطوال مناسبة:

1. سقوط أصيص أزهار سقوطًا حرًّا (أهمل أي قوى تنشأ عن مقاومة الهواء).
2. هبوط مظلي خلال الهواء، وبسرعة متجهة منتظمة (يؤثر الهواء في المظلي بقوة إلى أعلى).
3. سلك يسحب صندوقًا بسرعة منتظمة على سطح أفقي (يؤثر السطح بقوة تقاوم حركة الصندوق).
4. رفْع دلو بحبل بسرعة منتظمة (أهمل مقاومة الهواء).
5. إنزال دلو بحبل بسرعة منتظمة (أهمل مقاومة الهواء).

القوة والتسارع Force and Acceleration

كيف يتحرك الجسم عندما تؤثر فيه قوة أو أكثر؟ من طُرق الإجابة عن هذا السؤال إجراء التجارب. ابدأ دائمًا بالحالة البسيطة، وعندما تستوعب هذه الحالة تمامًا يمكنك الانتقال إلى الحالات الأكثر تعقيدًا. ابدأ بقوة واحدة تؤثر أفقيًّا في جسم. يمكنك أيضًا تقليل التعقيدات الناتجة عن احتكاك الجسم مع السطح، وذلك بإجراء التجربة على سطح أملس مثل الجليد أو طاولة ذات سطح أملس، واستعمال جسم ذي إطارات تدور بسهولة، مما يقلل من مقاومة الحركة.

لتحديد العلاقة بين كل من القوة والتسارع والسرعة المتجهة تحتاج إلى التأثير في جسم ما بقوة ثابتة في اتجاه معين. لكن كيف يمكنك التأثير بمثل هذه القوة ؟ يؤثر الرباط المطاطي المشدود بقوة سحب، وكلما شددته أكثر زادت القوة التي يؤثر بها. وإذا كنت تشده دائمًا بالمقدار نفسه فإنك تؤثر بالقوة نفسها. يبين **الشكل 3a–4** رباطًا مطاطيًّا مشدودًا بمقدار ثابت 1 cm، يسحب جسمًا ذا مقاومة (احتكاك) قليلة. بإجراء هذه التجربة وتحديد السرعة المتجهة للجسم خلال فترة زمنية محددة، تستطيع إعداد رسم بياني يشبه ذلك الموضح في **الشكل 3b–4**. هل يختلف هذا الرسم البياني عما توقعته؟ ماذا تلاحظ على السرعة المتجهة؟ لاحظ أن الزيادة الثابتة في السرعة المتجهة هي نتيجة للتسارع الثابت الذي أكسبه الرباط المطاطي المشدود للجسم.

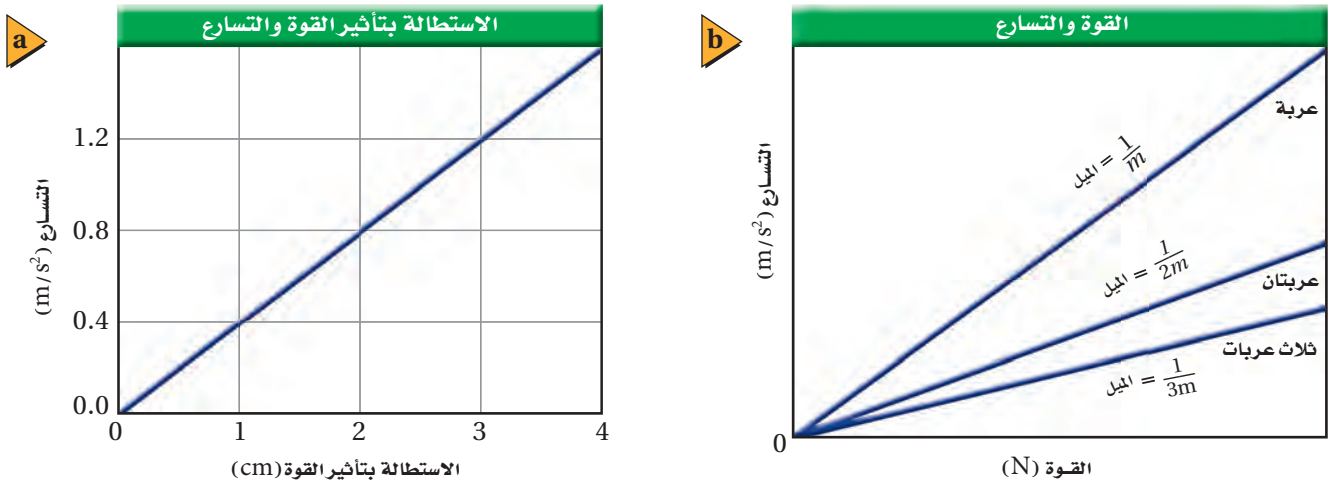


الشكل 3–4

a. يؤثر الرباط المطاطي المشدود بقوة ثابتة في الجسم الذي صُمِّمَ لتكون مقاومته قليلة.

b. يمكنك تمثيل حركة الجسم بيانيًا والتي يتضح أنها علاقة خطية.

كيف يعتمد هذا التسارع على القوة؟ للإجابة عن ذلك؛ أعد التجربة بحيث يكون الرباط المطاطي مشدودًا بمقدار ثابت 2 cm. ثم كرّر التجربة مع شد الرباط المطاطي أكثر في كل مرة. مثّل بيانيًّا منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لكل من التجارب السابقة، ستلاحظ أن تلك المخططات تشبه ذاك المبين في **الشكل 3b–4**. احسب التسارع، ثم مثّل بيانيًّا قيمة كل من التسارع والقوة لكل المحاولات التي قمت بها، وبذلك تحصل على الرسم البياني للقوة–التسارع، كما في **الشكل 4a–4**. ما العلاقة بين القوة والتسارع؟ العلاقة خطية؛ فكلما كانت القوة أكبر كان التسارع الناتج أكبر. ويمكن التعبير عن هذه العلاقة باستخدام معادلة الخط المستقيم: $y = mx + b$.



الشكل 4–4

a. يبين الرسم البياني أنه كلما زادت القوة زاد التسارع.

b. ميل الرسم البياني (التسارع–القوة) يعتمد على عدد العربات.

ما المعنى الفيزيائي لميل كل من الخطوط البيانية في **الشكل 4b–4**؟ ربما تصف شيئًا يتعلق بالجسم المتسارع. ماذا يحدث إذا تغير الجسم؟ لنفترض أننا وضعنا عربة ثانية مماثلة فوق العربة الأولى، ثم وضعنا عربة ثالثة فوق العربتين، يبين **الشكل 4b–4** العلاقة البيانية بين القوة والتسارع لعربة واحدة، ولعربتين، ولثلاث عربات. ويظهر الرسم البياني أنه إذا لم تتغير القوة المؤثرة فإن تسارع العربتين سيقل إلى $\frac{1}{2}$ تسارع العربة الواحدة، وتسارع العربات الثلاث إلى $\frac{1}{3}$ تسارع العربة الواحدة. وهذا يعني أنه كلما زاد عدد العربات احتجنا إلى قوةٍ أكبر للحصول على التسارع نفسه. ويعتمد ميل كل من الخطوط في **الشكل 4b–4** على عدد العربات؛ أي يعتمد على مجموع كتلها. فإذا عُرِّف الميل k (بحسب الرسم البياني أعلاه) بأنه مقلوب الكتلة $\frac{1}{m}$، فإن $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}/m$ أو $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$. ومن العلاقة الخطية بين القوى والتسارع نجد أن:

$$\boldsymbol{a} \propto \boldsymbol{F}$$

وبالتعويض عن قيمة k

$$\boldsymbol{a} = k \times \boldsymbol{F}$$

$$\boldsymbol{a} = \frac{1}{m} \times \boldsymbol{F}$$

أي أن

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

ما الوحدات الدولية المستخدمة لقياس القوة؟ تعلم أن $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$، وهذا يعني أن وحدة واحدة من القوة تجعل 1 kg من الكتلة يتسارع بمقدار $1\ m/s^2$؛ أي أن وحدة القوة هي $1\ kg.m/s^2$، أو ما اصطلح على تسميته "نيوتن"، ويرمز لها بالرمز N، ويعرف بالقوة التي تؤثر في جسم كتلته 1 kg فتكسبه تسارعًا مقداره $1\ m/s^2$ في اتجاهها. ويوضح **الجدول 1–4** مقادير بعض القوى الشائعة.

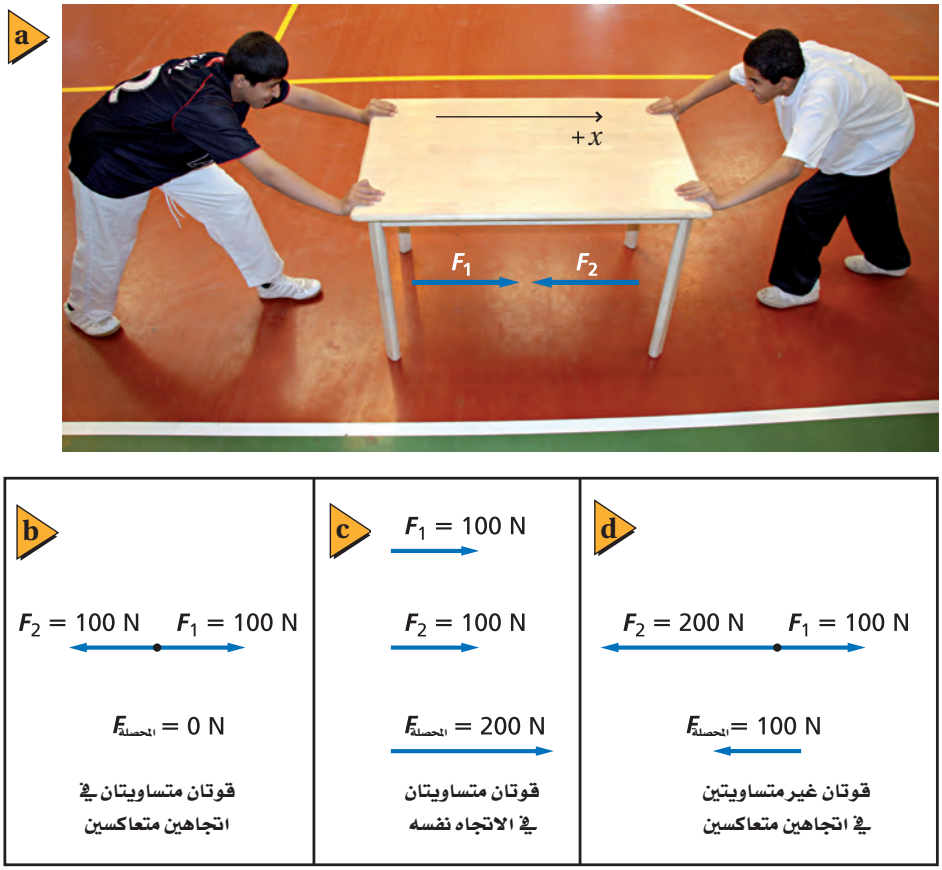
الجدول 1–4

القوى الشائعة	
الوصف	$\boldsymbol{F}$ (N)
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في قطعة نقود معدنية من النيكل	0.05
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في 0.45 kg من السكر	4.5
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في شخص كتلته 70 kg	686
القوة المؤثرة في سيارة تتسارع	3000
قوة محرك صاروخ	5,000,000

جمع القوى Combining Forces

إذا دفعت أنت وزميلك طاولة في الاتجاه نفسه فإنها تكتسب تسارعًا أكبر مما لو دفعها كل منكما في اتجاه معاكس لاتجاه دفع الآخر. ماذا يحدث إذا دُفعت الطاولة بحيث أثر كلٌّ منكما فيها بقوة مقدارها 100 N؟ عندما تدفعان الطاولة في الاتجاه نفسه فإنها تكتسب ضعف التسارع الذي يمكن أن تكتسبه لو أثر فيها أحدكما بمفرده بقوة 100 N. أما عندما تدفعان الطاولة في اتجاهين متعاكسين، وبالمقدار نفسه من القوة، كما هو موضح في **الشكل 4–5a**، فإنها لن تتحرك.

ويبين كل من **الشكلين 4–5b** و **4–5c** مخطط الجسم الحر لكلتا الحالتين السابقتين، في حين يبين **الشكل 4–5d** مخطط الجسم الحر للحالة التي يقوم فيها زميلك بدفع الطاولة في الاتجاه المعاكس، بقوة تعادل ضعفي قوتك. لاحظ المتجه في أسفل كل مخطط، والذي يمثل النتيجة الكلية للقوتين. عندما يكون متجهَا القوة في الاتجاه نفسه فإنه يمكن أن يحل محلهما متجه واحد، بحيث يساوي طوله مجموع طوليهما. وعندما يكون متجهَا القوة في اتجاهين متعاكسين فإن طول المتجه الناتج يساوي الفرق بين طولي المتجهين. ويطلق على مجموع المتجهات لجميع القوى التي تؤثر في جسم اسم **القوة المحصلة** ($\boldsymbol{F}_{\text{المحصلة}}$).



الشكل 5–4

a. دفع الطاولة بقوتين متساويتين ومتعاكستين في الاتجاه.

b. القوة المحصلة لقوتين متساويتين في اتجاهين متعاكسين = صفر.

c. القوة المحصلة لقوتين متساويتين في الاتجاه نفسه = مجموعهما.

d. القوة المحصلة لقوتين غير متساويتين في اتجاهين متعاكسين = الفرق بينهما.

يمكنك كذلك تحليل الحالة رياضيًّا. افترض أنك دفعت الطاولة في الاتجاه الموجب بقوة 100 N في الحالات السابقة؛ ففي الحالة الأولى يقوم زميلك بالدفع بقوة سالبة مقدارها 100 N، وبجمع القوتين نحصل على قوة كلية مقدارها 0 N، وهذا يعني أن الجسم لا يتحرك (لا يتسارع). أما في الحالة الثانية فإن قوة الدفع التي يؤثر بها كل منكما تساوي 100 N، لذا فإن القوة الكلية تساوي 200 N، وهي تؤثر في الاتجاه الموجب، فتتسارع الطاولة في الاتجاه الموجب.

أما في الحالة الثالثة فإن القوة التي يؤثر بها زميلك تساوي (200 N−)، ولذلك فإن القوة الكلية تساوي (100 N−)، لذا فإن الطاولة ستتسارع في الاتجاه السالب.

قانون نيوتن الثاني Newton's Second Law

يمكنك إجراء سلسلة من التجارب تقوم فيها أنت وزميلك بتغيير القوة المحصلة التي تؤثر في الطاولة وقياس التسارع في كل حالة. ستجد أن تسارع الطاولة يتناسب طرديًّا مع القوة المحصلة المؤثرة فيها، وعكسيًّا مع كتلتها $\boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{F}_{\text{المحصلة}}}{m}$. فإذا كانت القوة المحصلة التي تؤثران بها معًا في الطاولة تساوي 100 N، فإن الطاولة ستتسارع بالمقدار نفسه الذي كانت ستتسارع به لو أثرت فيها وحدك بقوة تساوي 100 N. واستنادًا إلى ذلك يمكن إعادة كتابة العلاقة الرياضية بين كل من القوة والكتلة والتسارع بدلالة القوة المحصلة،

وهو ما يُعرف **بقانون نيوتن الثاني**، الذي يُمثل بالمعادلة التالية:

قانون نيوتن الثاني $\boldsymbol{a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}}$

تسارع جسم يساوي محصلة القوى المؤثرة فيه مقسومة على كتلة الجسم.

لاحظ أن قانون نيوتن الثاني يمكن إعادة صياغته بالشكل: $\boldsymbol{F_{\text{المحصلة}} = ma}$ والـذي درسته سـابقًا. إذا كانت كتلة الطاولـــة التي دفعتهـــا أنت وزميلك 15.0 kg، ودفع كل منكما بقوة 50.0 N في الاتجاه نفسـه، فما تسـارع الطاولة؟ لإيجاد ذلك، احسـب القوة المحصلة $50.0\ \text{N} + 50.0\ \text{N} = 100.0\ \text{N}$، ثـم طبـق قانـون نيوتـن الثاني بقسـمة القوة المحصلة 100.0 N على كتلة الطاولة 15.0 kg، تحصل على تسارع يساوي $6.67\ \text{m/s}^2$.

هناك اسـتراتيجية مفيدة لتحديد كيف تعتمد حركة جسـم ما على القوى المؤثرة فيه. حدد أولاً جميع القوى التي تؤثر في الجسـم، ثم ارسـم مخطط الجسـم الحر مبينًـا الاتجاه والمقدار لـكل قـوة تؤثر في النظام، ثـم اجمع القوى لإيجـاد القوة المحصلة، واسـتعمل قانون نيوتن الثاني لحسـاب التسارع، وعند الضرورة استعمل الكينماتيكا (علم الحركة) لإيجاد السرعة المتجهـة أو موقع الجسـم. عندما تعلمـت الكينماتيكا في الفصلين الثاني والثالث، درسـت حركـة الأجسـام من دون اعتبار لمسـببات الحركة. أمـا الآن فتعلم أن القـوة المحصلة هي سبب تغير السرعة المتجهة؛ أي سبب التسارع.

مسائل تدريبية

6. قوتـان أفقيتان إحداهما 225 N والأخـرى 165 N، تؤثران في قارب في الاتجاه نفسه. أوجد القوة الأفقية المحصلة التي تؤثر في القارب مقدارًا واتجاهًا.
7. إذا أثـرت القوتان السـابقتان في القارب في اتجاهين متعاكسـين فما القوة الأفقية المحصلة التي تؤثر فيه؟ تأكد من تحديد اتجاه القوة المحصلة.
8. تحاول ثلاثة خيول سحب عربة؛ أحدها يسحب إلى الغرب بقوة 35 N، والثاني يسـحب إلى الغـرب أيضًـا بقـوة 42 N، أمـا الأخير فيسـحب إلى الـشرق بقوة 53 N. احسب القوة المحصلة التي تؤثر في العربة.

قانون نيوتن الأول Newton's First Law

كيف تكون حركة الجسم عندما تؤثر فيه قوة محصلة مقدارها صفر؟ من المعروف أن الجسم الساكن يبقى في موقعه لأن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

افترض أن كرة تتدحرج على سطح أفقي، فما الفترة الزمنية التي تستمر فيها بالتدحرج؟ تعتمد هذه الفترة على نوع السطح، فإذا دُحرجت الكرة على سطح أملس ذي مقاومة (احتكاك) قليلة مثل أرضية لعبة البولنج فسوف تتدحرج فترة زمنية طويلة، مع تناقص تدريجي في سرعتها المتجهة. أما إذا دُحرجت على سطح خشن كسجادة مقاومتها كبيرة، فسرعان ما تتوقف الكرة عن الحركة، وتصبح في حالة سكون. وقد صاغ نيوتن ما سبق فيما يسمّى **قانون نيوتن الأول**، وينص على أن الجسم يبقى على حالته من حيث السكون أو الحركة المنتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر فيه قوة محصلة تغير من حالته.

القصور الذاتي يسمى قانون نيوتن الأول أحيانًا قانون القصور، فهل القصور قوة؟ لا؛ **فالقصور** هو ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته من حيث السكون أو الحركة. فإذا كان الجسم ساكنًا فإنه يميل إلى أن يبقى كذلك، وإذا كان متحركًا بسرعة متجهة ثابتة فإنه يميل إلى الاستمرار في اتجاه حركته نفسه وبالسرعة نفسها.

الاتزان وفقًا لقانون نيوتن الأول، فإن القوة المحصلة هي السبب في تغيير السرعة المتجهة لجسم ما، فإذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا كان الجسم في حالة **اتزان**. وهكذا يكون الجسم في حالة اتزان إذا كان ساكنًا، أو متحركًا بسرعة منتظمة. لاحظ أن سكون الجسم هو حالة خاصة من حركته بسرعة منتظمة تكون سرعته فيها صفرًا. يُعرِّف قانون نيوتن الأول القوة المحصلة على أنها كل ما يُحدث اضطرابًا في حالة الاتزان. لذلك فإنه إذا كان مقدار القوة المحصلة التي تؤثر في جسم يساوي صفرًا فإنه لن يتعرض لأي تغيير في مقدار سرعته أو اتجاهه، ومن ثم يبقى في حالة اتزان.

عند فهم وتطبيق قانوني نيوتن الأول والثاني ستتمكن من تحديد مقادير القوى التي تتعامل معها نسبيًّا، حتى في الحالات التي لا يوجد فيها أرقام. راجع **الجدول 2–4** الذي يحتوي على بعض أنواع القوى التي ستتعامل معها في دراستك للفيزياء.

تطبيق الفيزياء

دفع محرك المكوك كلّ محرك من محركات مكوك الفضاء الرئيسة يزوّد المكوك بقوة دفع تقدر بـ 1.6 million N، وتستمد هذه المحركات طاقتها من عملية احتراق الهيدروجين والأكسجين.

الجدول 2–4			
بعض أنواع القوى			
القوة	الرمز	التعريف	الاتجاه
الاحتكاك (*Friction*)	f_f	قوة تلامُس تؤثر في اتجاه معاكس للحركة الانزلاقية بين السطوح.	موازية للسطح في عكس اتجاه الحركة الانزلاقية.
العمودية (*Normal*)	F_N	قوة تلامُس يؤثر بها سطح في جسم ما.	عمودية على سطحي التلامس بين السطح والجسم في اتجاه الخارج.
النابض (*Spring*)	F_{sp}	قوة النابض (الإرجاع) : أي قوة الدفع أو السحب التي يؤثر بها نابض في جسم ما.	في عكس اتجاه إزاحة الجسم.
الشد (*Tension*)	F_T	قوة يؤثر بها خيط أو حبل أو سلك في جسم متصل به، وتؤدي إلى سحبه.	تؤثر عند نقطة الاتصال في اتجاه مواز للخيط أو الحبل أو السلك، ومبتعدة عن الجسم.
الدفع (*Thrust*)	F_{thrust}	قوى تحرك أجسامًا مثل الصاروخ والطائرة والسيارة والأشخاص.	في اتجاه تسارع الجسم عند إهمال المقاومة.
الوزن (*Weight*)	F_g	قوة مجال تنتج عن الجاذبية الأرضية بين جسمين.	إلى أسفل في اتجاه مركز الأرض.

4–1 مراجعة

9. **القوة** صَنِّفْ كلًّا من الوزن، الكتلة، القصور الذاتي، والدفع باليد، والدفع، والمقاومة، ومقاومة الهواء، وقوة النابض، والتسارع إلى :
a. قوة تلامس **b.** قوة مجال **c.** ليست قوة

10. **القصور الذاتي** هل يمكن أن تشعر بالقصور الذاتي لقلم رصاص أو كتاب؟ إذا كنت تستطيع فصف ذلك.

11. **مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لكيس مليء بالسكر ترفعه بيدك بسرعة منتظمة. حدد النظام، وسمّ جميع القوى مع مسبباتها، وارسم أسهمًا بأطوال صحيحة.

12. **مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لدلو ماء تُرفع بحبل بسرعة متناقصة. حدد النظام، وسمّ جميع القوى مع مسبباتها، وارسم أسهمًا بأطوال صحيحة.

13. **اتجاه السرعة المتجهة** إذا دفعت كتابًا إلى الأمام، فهل يعني هذا أن سرعته المتجهة ستكون في الاتجاه نفسه؟

14. **التفكير الناقد** تؤثر قوة مقدارها 1 N في مكعب خشبي فتكسبه تسارعًا معلومًا. عندما تؤثر القوة نفسها في مكعب آخر فإنها تكسبه ثلاثة أمثال تسارعه. ماذا تستنتج حول كتلة كل من هذين المكعبين؟

4–2 استخدام قوانين نيوتن Using Newton's laws

الأهداف

- **تصف** العلاقة بين وزن الجسم وكتلته.
- **تقارن** بين الوزن الحقيقي والوزن الظاهري.

المفردات

الوزن الظاهري

القوة المعيقة

السرعة الحدية

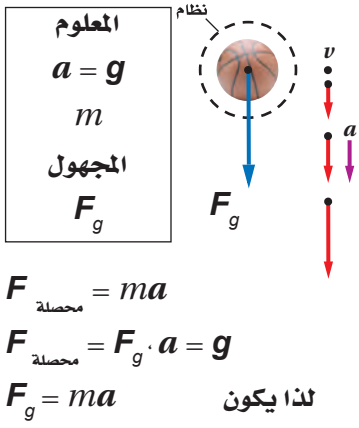
يربط قانون نيوتن الثاني بين السبب في تغير السرعة المتجهة للجسم ومقدار الإزاحة الناتجة، ويحدد كذلك العلاقة بين القوة المحصلة التي تؤثر في جسم وتسارع هذا الجسم.

استخدام قانون نيوتن الثاني Using Newton's Second Law

تأمَّل كلًّا من النموذجين: التصويري والفيزيائي لكرة تسقط سقوطًا حرًّا في **الشكل 6–4**. ما القوى التي تؤثر في الكرة؟ بما أن الكرة لا تلمس أي شيء، ولأن مقاومة الهواء مهملة فإن القوة الوحيدة التي تؤثر فيها هي F_g، وحيث إن تسارع الكرة هو g (كما درست في الفصل الثالث) فإن القانون الثاني لنيوتن يصبح $F_g = mg$. ولعلك تلاحظ من خلال العلاقة السابقة أن القوة والتسارع يؤثران إلى أسفل، وأن مقدار وزن الجسم يساوي كتلته مضروبة في التسارع الذي يكتسبه نتيجةً للسقوط الحر. ومن الضروري أن تدرك أن قوة الجاذبية الأرضية تؤثر في الجسم حتى لو لم يسقط سقوطًا حرًّا.

هذه النتيجة صحيحة على الأرض، وعلى أي كوكب آخر، بالرغم من أن مقدار g يختلف على الكواكب الأخرى. وبسبب أن قيمة g على سطح القمر أقل كثيرًا من قيمتها على سطح الأرض، لذا فإن وزن رواد الفضاء على سطح القمر يصبح أقل كثيرًا منه على سطح الأرض رغم أن كتلهم لم تتغير.

الموازين تحتوي بعض الموازين المنزلية على نوابض، وعندما تقف على الميزان يؤثر فيك بقوة إلى أعلى لأنك تلامسه. ولأنك لا تتسارع فإن القوة المحصلة المؤثرة فيك تساوي صفرًا، وهذا يعني أن قوة النابض F_{sp} التي تدفعك إلى أعلى تساوي مقدار قوة وزنك F_g التي تؤثر فيك إلى أسفل، كما هو مبين في **الشكل 7–4**. وتُحدد قراءة الميزان بواسطة القوة التي تؤثر بها نوابضه فيك. لذا فإن ما يقيسه الميزان المنزلي هو الوزن، ولسهولة التحويل بين الكتلة والوزن فإن الميزان يُدرّج بحيث يُعطينا الكتلة. أما إذا كنت على كوكب آخر فإن مقدار انضغاط النابض سيختلف، وستكون قراءته مختلفة. تذكر أن الكيلوجرام هو الوحدة الدولية للتعبير عن الكتلة، ولأن الوزن قوة فإن الوحدة الدولية المستخدمة للتعبير عنه هي النيوتن.

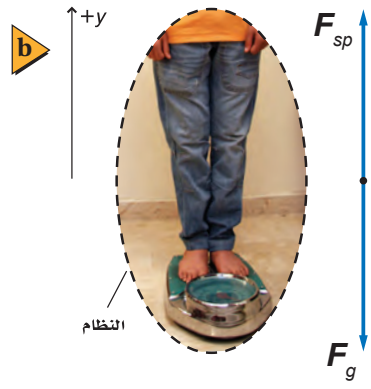


$$F_{\text{محصلة}} = ma$$

$$F_{\text{محصلة}} = F_g \cdot a = g$$

$$F_g = ma$$ لذا يكون

الشكل 6–4 القوة المحصلة المؤثرة في الكرة هي قوة الوزن F_g.



الشكل 7–4

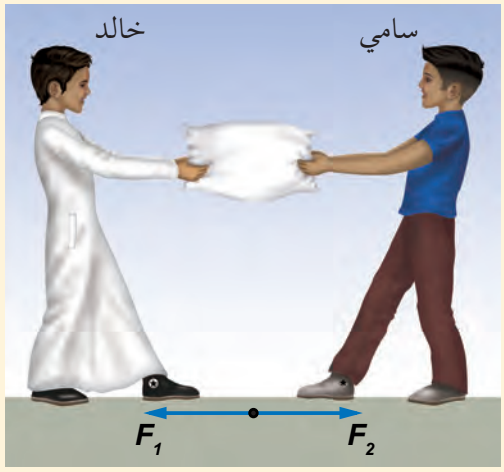
a. إن قوة النابض التي تؤثر إلى أعلى في الميزان المنزلي تساوي مقدار قوة وزنك عندما تقف فوقه.

b. يبين مخطط الجسم الحر أن النظام متزن؛ لأن قوة النابض تساوي وزنك.

مثـــال 1

كان خالد يمسك وسادة كتلتها 0.30 kg عندما حاول سامي أن يأخذها منه . فإذا سحب سامي الوسادة أفقيًّا بقوة 10.0 N، وسحبها خالد بقوة أفقية تساوي 11.0 N، فما التسارع الأفقي للوسادة؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطط الحالة.
- حدد الوسادة باعتبارها "النظام"، واعتبر الاتجاه الذي يسحبها فيه خالد هو الاتجاه الموجب.
- ارسم مخطط الجسم الحر، وسمّ جميع القوى.

المعلوم	المجهول
$m = 0.30\ \text{kg}$	$a = ?$
$F_{\text{خالد في الوسادة}} = 11.0\ \text{N}$	
$F_{\text{سامي في الوسادة}} = 10.0\ \text{N}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{خالد في الوسادة}} + (-F_{\text{سامي في الوسادة}})$$

استخدم قانون نيوتن الثاني

$$a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$$

بالتعويض $F_{\text{خالد في الوسادة}} = 11.0\ \text{N}$، $m = 0.30\ \text{kg}$، $F_{\text{سامي في الوسادة}} = 10.0\ \text{N}$

$$= \frac{11.0\ \text{N} - 10.0\ \text{N}}{0.30\ \text{kg}}$$

$$= 3.3\ \text{m/s}^2 \quad \text{في الاتجاه الموجب}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 134، 135

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- **هل للإشارات معنى؟** التسارع في الاتجاه الموجب، وهو متوقع لأن خالدًا يسحب نحو الاتجاه الموجب بقوة أكبر من القوة التي يسحب فيها سامي نحو اليمين.
- **هل الجواب منطقي؟** إن مقدار التسارع منطقي بالنسبة إلى وسادة خفيفة.

مسائل تدريبية

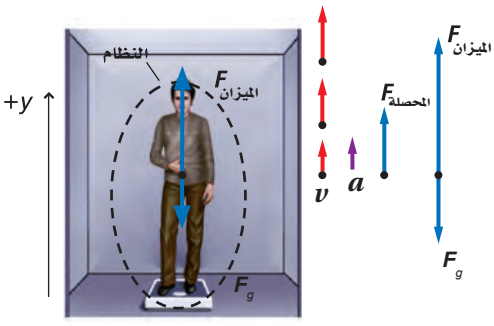
الشكل 8–4

15. ما وزن بطيخة كتلتها 4.0 kg؟

16. يتعلم أحمد التزلج على الجليد، ويساعده أبوه بأن يسحبه بحيث يكتسب تسارعًا مقداره $0.80\ \text{m/s}^2$. فإذا كانت كتلة أحمد 27.2 kg فما مقدار القوة التي يسحبه بها أبوه؟ (أهمل المقاومة بين الجليد وحذاء التزلج).

17. تمسك أمل وسارة معًا بقطعة حبل كتلتها 0.75 kg، وتشد كل منهما في الاتجاه المعاكس للأخرى. فإذا سحبت أمل بقوة 16.0 N، وتسارع الحبل بالمقدار $1.25\ \text{m/s}^2$ مبتعدًا عنها، فما القوة التي تسحب بها سارة الحبل؟

18. يبين **الشكل 8–4** مكعبًا خشبيًّا كتلته 1.2 kg، وكرة كتلتها 3.0 kg. ما قراءة كل من الميزانين؟ (أهمل كتلة الميزانين).



■ **الشكل 9–4** إذا وقفت على ميزان داخل مصعد يتسارع إلى أعلى فإن الميزان يؤثر إلى أعلى بقوة أكبر من قوة وزنك التي تكون إلى أسفل.

الوزن الظاهري ما الوزن؟ تُعرف قوة الوزن على أنها $F_g = mg$، وتتغير F_g كلما تغيرت g. وتعد قيمة g ثابتة تقريبًا على سطح الأرض أو بالقرب منه، ولذلك فإن وزن جسم ما لا يتغير كثيرًا من مكان إلى آخر على سطح الأرض. تعلمت أن الميزان المنزلي يقرأ وزنك بشكل صحيح إذا كانت القوة الوحيدة التي تؤثر فيك إلى أعلى ناتجة عنه. لكن، ماذا يقرأ الميزان لو وقفت عليه بقدم واحدة بينما القدم الأخرى على الأرض، أو إذا ضغط زميلك على كتفيك إلى أسفل، أو ضغط على مرفقيك إلى أعلى؟ في هذه الحالات ستكون هناك قوى تلامس أخرى تؤثر فيك، لذا فإن الميزان لن يقرأ وزنك الحقيقي. ماذا يحدث إذا وقفت على ميزان داخل مصعد؟ ما دام المصعد متزنًا فإن الميزان يقرأ وزنك، وماذا يقرأ الميزان إذا تسارع المصعد إلى أعلى؟ يبين **الشكل 9–4** النموذجين التصويري والفيزيائي لهذه الحالة، فأنت تمثل النظام، والاتجاه الموجب إلى أعلى.

ولأن النظام يتسارع إلى أعلى فإن القوة التي يؤثر بها الميزان إلى أعلى يجب أن تكون أكبر من وزنك، وستكون قراءة الميزان أكبر من وزنك وستشعر بأنك أثقل، وأن أرضية المصعد تضغط على قدميك. من جهة أخرى إذا ركبت في مصعد يتسارع إلى أسفل فستشعر أنك أخف، وستكون قراءة الميزان أقل من وزنك. وتسمى القوة التي يؤثر بها الميزان **الوزن الظاهري**.

استراتيجيات حل المسألة

القوة والحركة

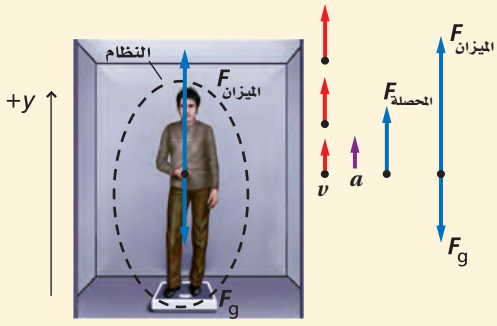
عند حل مسائل القوة والحركة استخدم الاستراتيجيات التالية:

1. اقرأ المسألة بعناية وارسم نموذجًا تصويريًّا.
2. ضع دائرة حول النظام واختر نظامًا إحداثيًّا.
3. حدد الكميات المعلومة والمجهولة.
4. اعمل نموذجًا فيزيائيًّا؛ وذلك برسم مخطط توضيحي للحركة يبين اتجاه التسارع، وارسم مخطط الجسم الحر لبيان القوة المحصلة.
5. استخدم قوانين نيوتن للربط بين كل من التسارع والقوة المحصلة.
6. أعد ترتيب المعادلة لحل المسألة وإيجاد المجهول.
7. عوض الكميات المعلومة مع وحداتها في المعادلة، وأوجد الإجابة.
8. اختبر نتائجك للتأكد من أنها منطقية.

مثـــــال 2

الوزن الحقيقي والوزن الظاهري افترض أن شـخصًا ما يقف على ميزان في مصعد، وأن كتلته تسـاوي 75.0 kg. في البداية كان المصعد ساكنًا، ثم تسارع إلى أعلى بمقدار $2.00\ m/s^2$ لمدة 2.00 s، ثم تابع حركته إلى أعلى بسرعة منتظمة. هل تكون قراءة الميزان في أثناء تسارع المصعد أكبر، أم مساوية، أم أقل من القراءة التي سجلها عندما كان المصعد ساكنًا؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطط الحالة للمسألة.
- اختر نظامًا إحداثيًّا يكون فيه الاتجاه الموجب كما هو موضح في الرسم.
- ارسم مخطط الحركة لكل من $\boldsymbol{a}$ و $\boldsymbol{v}$.
- ارسم مخطط الجسم الحر. لاحظ أن اتجاه القوة المحصلة في اتجاه التسارع نفسه، وهذا يعني أن القوة إلى أعلى أكبر من القوة إلى أسفل.

المعلوم	المجهول
$m = 75.0\ \text{kg}$ $\boldsymbol{a} = 2.00\ m/s^2$	$F_{\text{الميزان}} = ?$
$t = 2.00\ \text{s}$ $\boldsymbol{g} = 9.80\ m/s^2$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$\boldsymbol{F}_{\text{المحصلة}} = m\boldsymbol{a}$$

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{الميزان}} + (-F_g)$$

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

F_g سالبة لأنها في الاتجاه السالب للنظام الإحداثي

لحساب $F_{\text{الميزان}}$ نستخدم

عندما يكون المصعد في حالة سكون

المصعد لا يتسارع لذلك $F_{\text{المحصلة}} = 0.00\ \text{N}$

بالتعويض $F_{\text{المحصلة}} = 0.0\ \text{N}$

بالتعويض $F_g = mg$

بالتعويض $m = 75.0\ \text{kg}$، $g = 9.80\ m/s^2$

$$\begin{aligned} F_{\text{الميزان}} &= F_{\text{المحصلة}} + F_g \\ &= F_g \\ &= mg \\ &= (75.0\ \text{kg})\ (9.80\ m/s^2) \\ &= 735\ \text{N} \end{aligned}$$

عندما يتسارع المصعد

$$\begin{aligned} F_{\text{الميزان}} &= F_{\text{المحصلة}} + F_g \\ &= ma + mg \\ &= m\ (a + g) \\ &= 75.0\ \text{kg}\ (2.00\ m/s^2 + 9.80\ m/s^2) \\ &= 885\ \text{N} \end{aligned}$$

قراءة الميزان في أثناء تسارع المصعد أكبر من قراءته عندما كان المصعد ساكنًا.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $kg.m/s^2$ هي وحدة القوة (النيوتن).
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارة الموجبة مع النظام الإحداثي.
- **هل الجواب منطقي؟** إن قراءة الميزان $F_{\text{الميزان}}$ في أثناء تسارع المصعد أكبر من قيمتها عندما يكون المصعد ساكنًا، لذلك فإن الجواب منطقي.

مسائل تدريبية

19. يبين ميزانك المنزلي أن وزنك 585 N.

a. ما كتلتك؟

b. كيف تكون قراءة الميزان نفسه على سطح القمر؟ (تسارع الجاذبية على القمر $= 1.6\ m/s^2$).

20. استخدم نتائج **المثال 2** للإجابة عن مسائل حول ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف داخله في الحالات التالية؟

a. يتحرك المصعد بسرعة منتظمة.

b. يتباطأ المصعد بمقدار $2.00\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أعلى.

c. تزداد سرعته بمقدار $2.00\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أسفل.

d. يتحرك المصعد إلى أسفل بسرعة منتظمة.

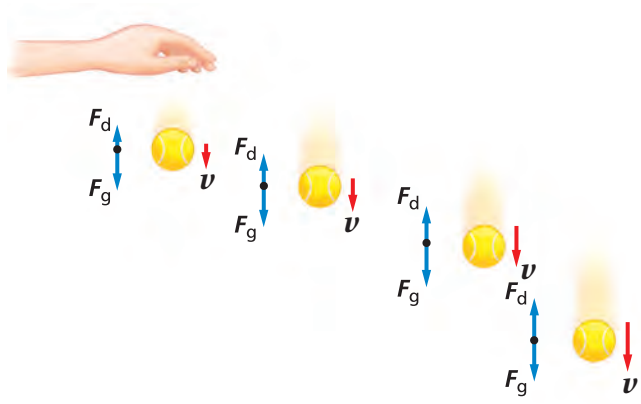
e. يتباطأ المصعد بمقدار ثابت حتى يتوقف.

القوة المعيقة والسرعة الحدّية
Drag Force and Terminal Velocity

تؤثر دقائق الهواء في الأجسام التي تتحرك خلاله. وفي الحقيقة يؤثر الهواء بقوة كبيرة في الأجسام المتحركة، ونظرًا لأنه في أكثر الحالات يؤثر في جميع جوانب الجسم بقوة متوازنة فإن تأثيره يكون غير واضح.

من باب التبسيط أهملنا تأثير قوة الهواء في جسم يتحرك خلاله، إلاّ أنه في الواقع عندما يتحرك جسم خلال وسط مائع مثل الهواء أو الماء، فإن المائع يؤثر فيه بقوة معيقة في اتجاه يعاكس حركته. ويمكن تعريف **القوة المعيقة** بأنها قوة الممانعة التي يؤثر بها مائع في جسم يتحرك خلاله. وتعتمد هذه القوة على حركة الجسم؛ فكلما زادت سرعة الجسم زاد مقدار هذه القوة، كما تعتمد على خصائص الجسم، ومنها شكله وحجمه، وخصائص المائع، ومنها لزوجته ودرجة حرارته.

إذا سقطت كرة تنس الطاولة، كما هو موضح في **الشكل 10–4**، فإن سرعتها المتجهة تكون صغيرة في البداية، لذا تكون القوة المعيقة F_d المؤثرة فيها صغيرة. ولأن قوة الجاذبية الأرضية (اتجاهها إلى أسفل) أكبر كثيرًا من القوة المعيقة (اتجاهها إلى أعلى) فإن الكرة تتسارع إلى أسفل. وكلما ازدادت السرعة المتجهة للكرة ازدادت معها القوة المعيقة، إلى أن تتساوى القوتان فتصبح القوة المحصلة المؤثرة في الكرة مساوية صفرًا، وكذلك تسارعها، وهنا تتابع الكرة هبوطها بسرعة منتظمة. وهذه السرعة المنتظمة التي تصل إليها الكرة عندما تتساوى القوة المعيقة مع قوة الجاذبية الأرضية تسمى **السرعة الحدّية**.



الشكل 10–4 تزداد القوة المعيقة للجسم الذي يسقط سقوطًا حرًّا كلما زادت سرعته. وعندما تصل القوة المعيقة إلى الحد الذي تصبح فيه مساوية لقوة الجاذبية يصبح تسارع الجسم صفرًا.

وفي حالات سقوط الأجسام الخفيفة ذات السطوح الكبيرة يكون للقوة المعيقة تأثير ملحوظ في حركتها، وسرعان ما تصل هذه الأجسام إلى السرعة الحدّية.

أما الأجسام الثقيلة ذات السطوح الصغيرة فيكون تأثرها بالقوة المعيقة أقل كثيرًا. فعلى سبيل المثال تكون السرعة الحدّية لكرة تنس في الهواء 9 m/s، ولكرة السلة 20 m/s، أما في حالة كرة البيسبول فتصل إلى 42 m/s. ولا بد أنك قد لاحظت كيف يقوم المظليون بزيادة أو تقليل سرعتهم الحدية قبل أن تُفتح مظلاتهم، من خلال تغيير اتجاه حركة أجسامهم وهيئاتها.

أما الجسم الذي يتخذ هيئة الصقر المجنح فله سرعة حدّية صغيرة جدًّا قد تصل إلى 6 m/s. وعندما يفتح المظلي مظلته فإن هيئته تتغير، ويصير جزءًا من جسم كبير (المظلي + المظلة)، وتؤثر فيه قوة معيقة كبيرة، وتصبح سرعته الحدية قليلة (5 m/s تقريبًا).

مسألة تحفيز

تنطلق عربة كتلتها 0.50 kg، وتعبر من خلال بوابة كهروضوئية (PHOTOELECTRIC GATE) بسرعة ابتدائية مقدارها 0.25 m/s، وتؤثر فيها لحظة عبورها قوة ثابتة مقدارها 0.40 N في اتجاه حركتها نفسه.

1. ما تسارع العربة؟
2. إذا استغرقت العربة 1.3 s حتى عبورها إلى البوابة الثانية، فما المسافة بين البوابتين؟
3. إذا أثرت القوة 0.40 N في العربة عن طريق ربط خيط بالعربة، ومُرّر طرف الخيط الآخر فوق بكرة عديمة الاحتكاك، ثم ربط بكتلة تعليق m، فما مقدار كتلة التعليق m؟
4. اشتق معادلة الشد في الخيط بدلالة كل من كتلة العربة M، وكتلة التعليق m، وتسارع الجاذبية الأرضية g.

21. **جاذبية القمر** قارن بين القوة اللازمة لرفع صخرة كتلتها 10 kg على سطح الأرض، وتلك اللازمة لرفع الصخرة نفسها على سطح القمر. علمًا بأن تسارع الجاذبية على القمر يساوي $1.62\ m/s^2$.

22. **الوزن الحقيقي والظاهري** إذا كنت تقف على ميزان في مصعد سريع يصعد بك إلى أعلى بناية، ثم يهبط بك إلى حيث انطلقت. خلال أي مراحل رحلتك كان وزنك الظاهري مساويًا لوزنك الحقيقي، أكثر من وزنك الحقيقي، أقل من وزنك الحقيقي؟ ارسم مخطط الجسم الحر لكل حالة لدعم إجاباتك.

23. **التسارع** يقف شخص كتلته 65 kg فوق لوح تزلج على الجليد. إذا اندفع هذا الشخص بقوة 9.0 N فما تسارعه؟

24. **حركة المصعد** ركبت مصعدًا وأنت تمسك بميزان علّق فيه جسم كتلته 1 kg، وعندما نظرت إلى الميزان كانت قراءته 9.3 N. ماذا تستنتج بشأن حركة المصعد في تلك اللحظة؟

25. **كتلة** تلعب نورة مع زميلتها لعبة شد الحبل مستخدمةً دميةً. في لحظة ما خلال اللعبة سحبت نورة الدمية بقوة 22 N وسحبت زميلتها الدمية بقوة معاكسة مقدارها 19.5 N، فكان تسارع الدمية $6.25\ m/s^2$. ما كتلة الدمية؟

26. **تسارع** هبط مظلّي بسرعة منتظمة متخذًا هيئة الصقر المجنح. هل يتسارع المظلي بعد فتح مظلته؟ إذا كانت إجابتك نعم ففي أي اتجاه؟ فسر إجابتك باستخدام قوانين نيوتن.

27. **التفكير الناقد** يعمل حسن في مستودع، ومهمته تحميل المخزون في شاحنات حمولة كل منها 10000 N. يتم وضع الصناديق الواحد تلو الآخر فوق حزام متحرك قليل الاحتكاك لينقلها إلى الميزان، وعند وضع أحد الصناديق الذي يزن 1000 N تعطَّل الميزان. اذكر طريقة يمكن بها تطبيق قوانين نيوتن لتحديد الكتل التقريبية للصناديق المتبقية .

4–3 قوى التأثير المتبادل Interaction Forces

الأهداف

- **تُعرّف** قانون نيوتن الثالث.
- **تُوضّح** قوى الشد التي تنشأ في الخيوط والحبال من خلال قانون نيوتن الثالث.
- **تُعرّف** القوة العمودية.
- **تُحدّد** مقدار القوة العمودية من خلال تطبيق قانون نيوتن الثاني.

المفردات

أزواج التأثير المتبادل
قانون نيوتن الثالث
قوة الشد
القوة العمودية

عرفتَ أنه إذا أثر مسبّب بقوة محصلة في جسم فإن الجسم يتسارع. وعرفتَ أيضًا أن هذه القوة يمكن أن تكون قوة مجال أو قوة تلامس. لكن ما الذي يسبب القوة؟ إذا قربت مغناطيسين أحدهما إلى الآخر فإنك تشعر بأن كلًّا منهما يسحب الآخر أو يدفعه، وكذلك إذا ضغطت بقدمك على عتلة فإنها تضغط على قدمك في الاتجاه المعاكس، لكن أيهما المسبب وأيهما الجسم؟

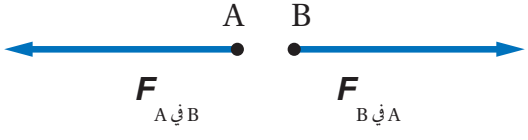
تمييز قوى التأثير المتبادل
Identifying Interaction Forces

تصور أنك ارتديت حذاء التزلج بالإضافة إلى جميع ملابس الأمان المناسبة، وكذلك فعلَ صديقك. فإذا دفعت ظهره بيديك لكي يبدأ التزلج إلى الأمام، فما الذي يحدث لك؟ سوف تتحرك إلى الخلف. لماذا؟ تذكر أن القوة تنتج عن تأثير متبادل بين جسمين، فأنت حين تدفع صديقك تتلامس معه وتؤثر فيه بقوة تجعله يتحرك إلى الأمام. لأنه في حالة تلامس معك فإنه يؤثر فيك بقوة تؤدي إلى تغير في حركتك.

تكون القوى دائمًا على شكل أزواج. اعتبر نفسك (الطالب A) تمثل نظامًا، وأن صديقك (الطالب B) يمثل نظامًا آخر. ما القوى الأفقية التي تؤثر في كل من هذين النظامين؟ يبين **الشكل 4–11** مخطط الجسم الحر للنظامين. وبتأمل هذا المخطط ستلاحظ أن كل نظام يتلقى من النظام الآخر قوة تؤثر فيه.

القوتان $F_{\text{A في B}}$ و $F_{\text{B في A}}$ نسميهما **زوجي التأثير المتبادل**، وهما قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، ويطلق عليهما أحيانًا قوتا الفعل ورد الفعل؛ حيث لا يمكن أن تظهر إحداهما دون الأخرى. وقد يشير ظاهر هذه العبارة إلى أن أحدهما يسبب الآخر، لكن هذا غير صحيح. فعلى سبيل المثال، لم تُنتج القوة التي دفعت بها صديقك القوةَ التي أثرت فيك ودفعتك إلى الخلف؛ فكلتا القوتين نتجت عن التلامس بينكما.

الشكل 4–11 عندما تؤثر بقوة في صديقك لتدفعه إلى الأمام فإنه يؤثر فيك بقوة مساوية ومعاكسة تدفعك إلى الخلف.



قانون نيوتن الثالث Newton's Third Law

إن القوة التي تؤثر بها في صديقك تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوة التي يؤثر بها صديقك فيك، وهذا يتلخص في **قانون نيوتن الثالث** الذي ينص على أن جميع القوى تظهر على شكل أزواج، وتؤثر قوتا كل زوج في جسمين مختلفين، وهما متساويتان في المقدار، ومتضادتان في الاتجاه.

قانون نيوتن الثالث

$$F_{\text{A في B}} = -F_{\text{B في A}}$$

القوة التي يؤثر بها A في B تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوة التي يؤثر بها B في A.

الشكل 12–4 كرة قدم على طاولة موضوعة على الأرض. لاحظ أن الكرة والطاولة تشكلان زوجي تأثير متبادل وكذلك الطاولة والأرض والكرة والأرض.

افترض أنك تمسك كتابًا بيدك، وارسم مخطط الجسم الحر الخاص بك، ومخططًا آخر للكتاب. هل هناك أزواج تأثير متبادل؟ عند تمييز أزواج التأثير المتبادل في مخططات الجسم الحر يجب أن تدرك أن كلًّا منها يؤثر في جسم مختلف. ففي هذه الحالة هناك فقط زوجا تفاعل هما: $F_{\text{الكتاب في اليد}}$ و $F_{\text{اليد في الكتاب}}$.

لاحظ أيضًا أن لكل جسم وزنًا. فإذا كانت قوة الوزن نتيجة للتأثير المتبادل بين كل من الجسم وكتلة الأرض فلا شك أن الجسم يؤثر بقوة في الأرض، وإذا كان الأمر كذلك أفلا يجب أن تتسارع الأرض؟

ضع كرة قدم بحيث تستقر فوق الطاولة، والطاولة بدورها تستقر على الأرض، كما في **الشكل 12–4**. حلل أولاً القوى المؤثرة في الكرة: تؤثر الطاولة في الكرة بقوة إلى أعلى، وتؤثر كتلة الأرض في الكرة بقوة الجاذبية الأرضية. وعلى الرغم من أن هاتين القوتين متعاكستان في الاتجاه، وتؤثران في الجسم نفسه، إلا أنهما ليستا زوجي تأثير متبادل، بل مجرد قوتين تؤثران في الجسم نفسه.

لننظر الآن إلى الكرة والطاولة، فبالإضافة إلى القوة التي تؤثر بها الطاولة في الكرة إلى أعلى، فإن الكرة تؤثر في الطاولة بقوة إلى أسفل، وهذا يشكل زوجي تأثير متبادل، كما تشكل الكرة والأرض زوجي تأثير متبادل. لذلك فإن أزواج التأثير المتبادل للكرة في الطاولة هي:

$$F_{\text{الكرة في الطاولة}} = -F_{\text{الطاولة في الكرة}}$$

كذلك

$$F_{\text{الكرة في الأرض}} = -F_{\text{الأرض في الكرة}}$$

إن التسارع الذي تكتسبه الكرة الأرضية من قوة جسم يتفاعل معها يكون عادة متناهيًا في الصغر بحيث يتم التعامل مع الأرض باعتبارها جزءًا من المحيط الخارجي لذلك الجسم، لا باعتبارها نظامًا آخر.

تجربة

لعبة شد الحبل

إذا كنت تلعب لعبة شد الحبل، وكان خصمك يكتفي بالإمساك بطرف الحبل دون أن يشده، فكم تتوقع أن يكون مقدار القوة التي تؤثر بها في الحبل مقارنة بقوة خصمك؟

1. **توقع** كيف تقارن بين القوتين إذا تحرك الحبل في اتجاهك؟
2. **اختبر** توقعك. **تحذير: لا تترك الحبل فجأة.**

التحليل والاستنتاج

3. **قارن** بين القوة عند طرف الحبل من جهتك، والقوة في طرف الحبل الذي يمسك به خصمك. ما الذي حدث عندما بدأت بتحريك خصمك؟

استراتيجيات حل المسألة

أزواج التأثير المتبادل

يمكنك الاستعانة بالاستراتيجيات الآتية في حل مسائل التأثير المتبادل بين نظامين مختلفين:

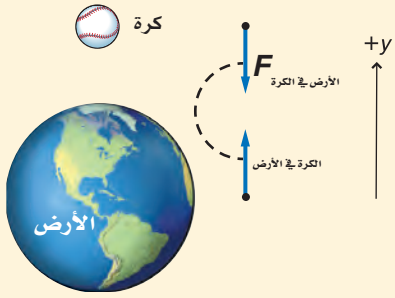
1. اعزل النظام أو الأنظمة عن المحيط الخارجي.
2. ارسم لكل نظام نموذجًا تصويريًّا، ونموذجًا فيزيائيًّا يشتمل على مخطط الجسم الحر، مع تحديد النظام الإحداثي.
3. صل بين كل زوجين من أزواج التأثير المتبادل بخط متقطع.
4. لإيجاد الإجابة، استخدم قانون نيوتن الثاني الذي يربط بين كل من القوة المحصلة والتسارع لكل نظام.
5. استخدم قانون نيوتن الثالث لكتابة معادلة تجمع بين مقادير قوى التأثير المتبادل، وبيّن اتجاه كل قوة.
6. حل المسألة واختبر الوحدات والإشارات والمقادير؛ للتأكد من أنها منطقية.

مثـــال 3

تسارع الأرض عندما تسقط كرة كتلتها 0.18 kg يكون تسارعها في اتجاه الأرض مساويًا لتسارع الجاذبية الأرضية. ما القوة التي تؤثر بها الكرة في الأرض؟ وما التسارع الذي تكتسبه الأرض، علمًا بأن كتلة الأرض 6.0×10^{24} kg ؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الجسم الحر لكلا النظامين: الكرة والأرض.
- صل بين زوجي التأثير المتبادل بخط متقطع.



المعلوم	المجهول
$m_{\text{الكرة}} = 0.18\ \text{kg}$	$F_{\text{الكرة في الأرض}} = ?$
$m_{\text{الأرض}} = 6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}$	$a_{\text{الأرض}} = ?$
$g = 9.80\ \text{m/s}^2$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم القانون الثاني لنيوتن لإيجاد القوة التي تؤثر بها الأرض في الكرة:

$$F_{\text{الأرض في الكرة}} = m_{\text{الكرة}}\, a$$

بالتعويض $a = -g$

$$= m_{\text{الكرة}}\,(-g)$$

بالتعويض $m_{\text{الكرة}} = 0.18\ \text{kg}$ ، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$= (0.18\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= -1.8\ \text{N}$$

استخدم القانون الثالث لنيوتن لإيجاد القوة التي تؤثر بها الكرة في الأرض:

بالتعويض $F_{\text{الأرض في الكرة}} = -1.8\ \text{N}$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية 137، 138

$$F_{\text{الكرة في الأرض}} = -F_{\text{الأرض في الكرة}}$$
$$= -(-1.8\ \text{N})$$
$$= +1.8\ \text{N}$$

استخدم القانون الثاني لنيوتن لإيجاد التسارع الذي تكتسبه الأرض:

بالتعويض $m_{\text{الأرض}} = 6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}$، $F_{\text{المحصلة}} = 1.8\ \text{N}$

$$a_{\text{الأرض}} = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m_{\text{الأرض}}}$$
$$= \frac{1.8\ \text{N}}{6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}}$$
$$= 2.9 \times 10^{-25}\ \text{m/s}^2 \quad \text{في اتجاه الكرة}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يثبت تحليل الوحدات أن القوة تقاس بـ N والتسارع بـ m/s^2.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن تكون إشارة كل من القوة والتسارع موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** بما أن كتلة الأرض كبيرة فالتسارع يجب أن يكون قليلاً.

مسائل تدريبية

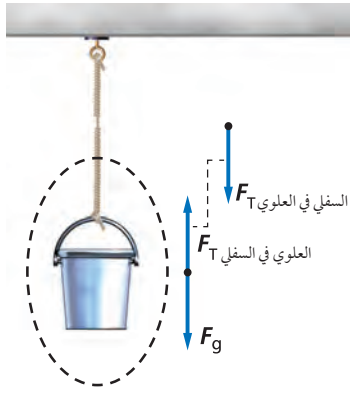
28. ترفع بيدك كرة بولنج خفيفة نسبيًّا وتُسارعها إلى أعلى. ما القوى المؤثرة في الكرة؟ وما القوى التي تؤثر بها الكرة؟ وما الأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى؟

29. تسقط طوبة من فوق سقالة بناء. حدد القوى التي تؤثر في الطوبة، وتلك التي تؤثر بها الطوبة، ثم حدد الأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى (مع إهمال تأثير مقاومة الهواء).

30. قذفت كرة إلى أعلى في الهواء. ارسم مخطط الجسم الحر الذي يمثل الكرة في أثناء حركتها إلى أعلى، وحدد القوى التي تؤثر في الكرة، والقوى التي تؤثر بها الكرة، والأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى.

31. وضعت حقيبة سفر على عربة أمتعة ساكنة، كما في **الشكل 13–4**. ارسم مخطط الجسم الحر لكل جسم، وبيّن أزواج التأثير المتبادل حيثما وجدت.

الشكل 13–4



الشكل 14–4 الشد في الحبل يساوي مجموع أوزان جميع الأجسام المعلقة به.

قوى الشد في الحبال والخيوط
Forces of Ropes and Strings

قوة الشد اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل. وللتبسيط سنفترض في هذا الكتاب أن كتل الحبال والخيوط مهملة.

ومن أجل فهم أكثر عمقًا لمصطلح الشد سندرس الحالة المبينة في **الشكل 14–4**؛ حيث يعلّق دلو في نهاية حبل مثبت في السقف. تلاحظ أن الحبل يوشك أن ينقطع عند المنتصف، وإذا انقطع الحبل فسوف يسقط الدلو. وهذا يعني وجود قوى تجعل طرف الحبل العلوي (قبل أن ينقطع) متماسكًا مع طرفه السفلي.

نرمز إلى القوة التي يؤثر بها الطرف العلوي للحبل في الطرف السفلي بـ $F_{\text{العلوي في السفلي}}$، وهي بحسب قانون نيوتن الثالث جزء من زوجي تأثير متبادل، أما الزوج الآخر فهو القوة التي يؤثر بها الطرف السفلي للحبل في الطرف العلوي: $F_{\text{السفلي في العلوي}}$، وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، كما هو موضح في **الشكل 14–4**.

يمكن أن تفكر في هذه الحالة بطريقة أخرى، فقبل أن ينقطع الحبل كان الدلو متزنًا، وهذا يعني أن قوة وزنه إلى أسفل يجب أن تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه قوة الشد فيه إلى أعلى. الآن دعنا ننظر إلى تلك النقطة من الحبل التي تقع مباشرة فوق الدلو، وهي أيضًا في حالة اتزان. قوة الشد في الحبل أسفل هذه النقطة تسحب في اتجاه الأسفل، وهي تساوي قوة الشد فيه أعلى هذه النقطة، وهي في اتجاه الأعلى. وينطبق هذا على أي نقطة في الحبل. ولأن الشد في الطرف السفلي للحبل يساوي وزن الدلو، فإن الشد في كل مكان في الحبل يساوي وزن الدلو كذلك. وهكذا فإن الشد في الحبل يساوي وزن جميع الأجسام التي تعلق في أسفله. ولأن كتلة الحبل مهملة لذلك فإن الشد في أي مكان في الحبل يساوي وزن الدلو.

توجد قوى الشد أيضًا في لعبة شد الحبل، مثل تلك المبينة في **الشكل 15–4**. فإذا أثر الفريق (A) الذي عن اليسار بقوة 500 N ولم يتحرك الحبل (R) فهذا يعني أن الفريق (B) الذي عن اليمين يسحب الحبل أيضًا بقوة 500 N. ما الشد في الحبل في مثل هذه الحالة؟ وإذا سحب كل فريق بقوة 500 N، فهل سيكون الشد الكلي في الحبل 1000 N؟ للإجابة عن ذلك سندرس كلًّا من نصفي الحبل على حدة. الطرف الأيسر لا يتحرك، وهذا يعني أن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا، لذلك فإن:

$$F_{\text{في A R}} = F_{\text{اليسار في اليمين}} = 500\ \text{N}$$

كما أن:

$$F_{\text{في B R}} = F_{\text{اليمين في اليسار}} = 500\ \text{N}$$

ولكن

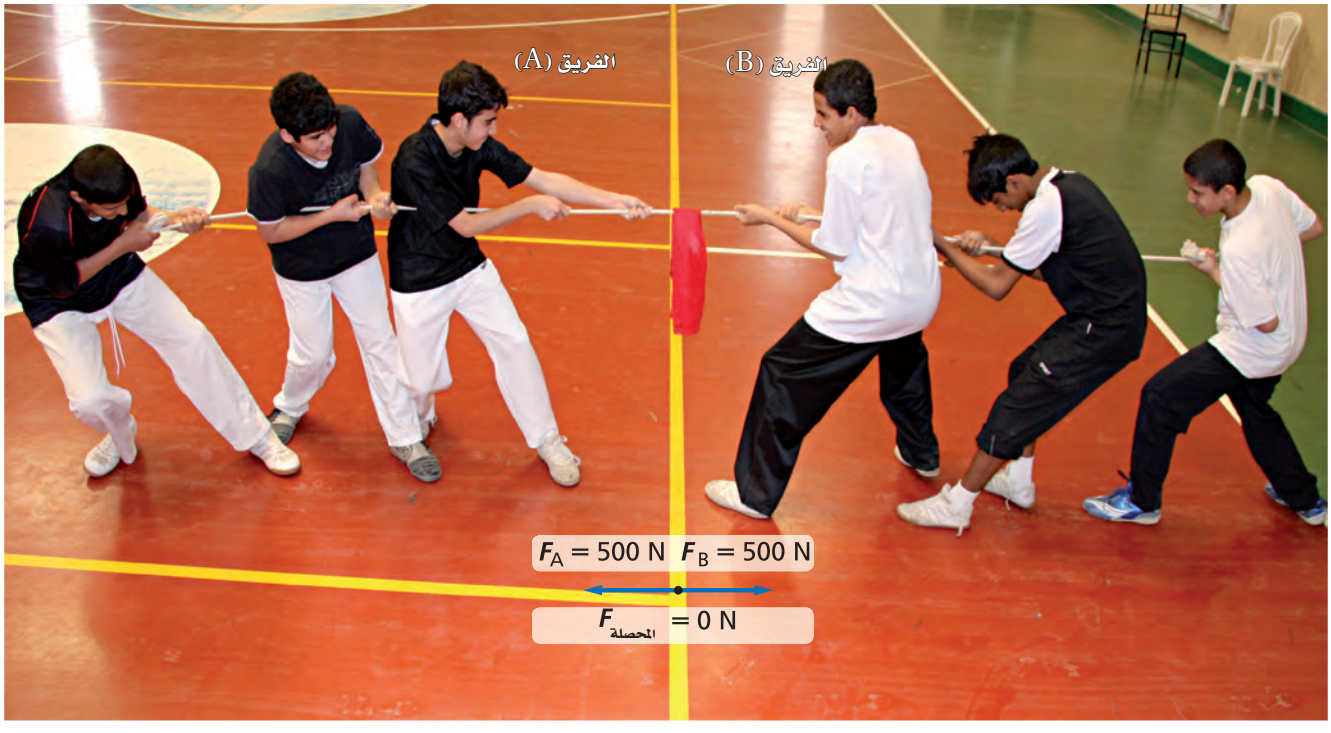
$$F_{\text{اليمين في اليسار}} = F_{\text{اليسار في اليمين}}$$

تجربة عملية

ما القوى المؤثرة في القطار؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية

تمثل كل من $F_{\text{اليسار في اليمين}}$، $F_{\text{اليمين في اليسار}}$ أحد زوجي التأثير المتبادل، لذلك فهما متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه؛ أي أن الشد الكلي في الحبل يساوي القوة التي يسحب بها كل فريق، وتساوي 500 N.

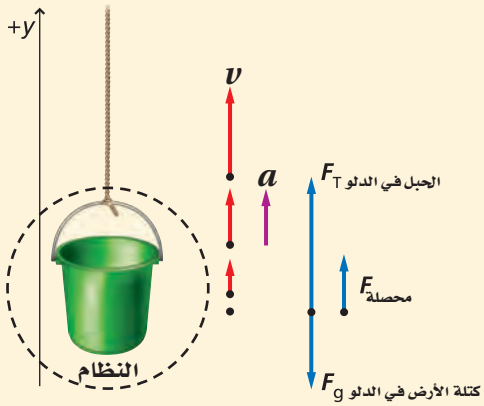


الشكل 15–4 في لعبة شد الحبل يؤثر كل فريق (من خلال الشد في الحبل) بقوة مساوية ومعاكسة للقوة التي يؤثر بها الفريق الآخر.

مثـــــال 4

يُرفع دلو كتلته 50.0 kg بحبل يتحمّل قوة شد قصوى مقدارها 525 N. وبدأ الدلو حركته من السكون، وعندما كان على ارتفاع 3.0 m كانت سرعته 3.0 m/s. إذا كان التسارع ثابتًا، فهل هناك احتمال أن ينقطع الحبل؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطط الحالة وبيِّن القوى التي تؤثر في النظام.
- كوّن نظامًا إحداثيًّا يكون فيه الاتجاه الموجب إلى أعلى.
- ارسم مخططًا توضيحيًّا للحركة يشتمل على كلٍّ من v و a.
- ارسم مخطط الجسم الحر، وسمّ القوى.

المعلوم	المجهول
$m = 50.0\ \text{kg}$ $\quad v = 3.0\ \text{m/s}$	$F_T = ?$
$v_i = 0.0\ \text{m/s}$ $\quad d = 3.0\ \text{m}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

تمثل $F_{\text{محصلة}}$ مجموع القوة الموجبة (F_T) التي يسحب بها الحبل إلى أعلى، وقوة الوزن السالبة ($-F_g$) التي تؤثر إلى أسفل.

$$F_{\text{محصلة}} = F_T + (-F_g)$$

$$F_T = F_{\text{محصلة}} + F_g$$

$$= ma + mg$$

بالتعويض $F_g = mg$، $F_{\text{محصلة}} = ma$

$$= m(a + g)$$

وبما أن قيم كل من v_i و v_f و d معلومة فإنه يمكننا استخدام معادلة الحركة التالية لإيجاد التسارع a:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d}$$

بالتعويض $v_i = 0.0\ \text{m/s}$

$$= \frac{v_f^2}{2d}$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 140

$$F_T = m(a + g)$$

بالتعويض $a = \frac{v_f^2}{2d}$

$$= m\left(\frac{v_f^2}{2d} + g\right)$$

بالتعويض $m = 50.0\ \text{kg}$، $v_f = 3.0\ \text{m/s}$، $d = 3.0\ \text{m}$، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$= (50.0\ \text{kg})\left(\frac{(3.0\ \text{m/s})^2}{2(3.0\ \text{m})} + (9.80\ \text{m/s}^2)\right)$$

$$= 565\ \text{N}$$

سوف ينقطع الحبل؛ لأن قوة الشد أكبر من 525 N.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة القوة هي kg.m/s^2، وهي وحدة N.
- **هل للإشارات معنى؟** نعم؛ إذ يجب أن تكون القوة المؤثرة إلى أعلى موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** المقدار أكثر قليلاً من 490 N الذي يمثل وزن الدلو.

$$F_g = mg = (50.0\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2) = 490\ \text{N}$$

مسائل تدريبية

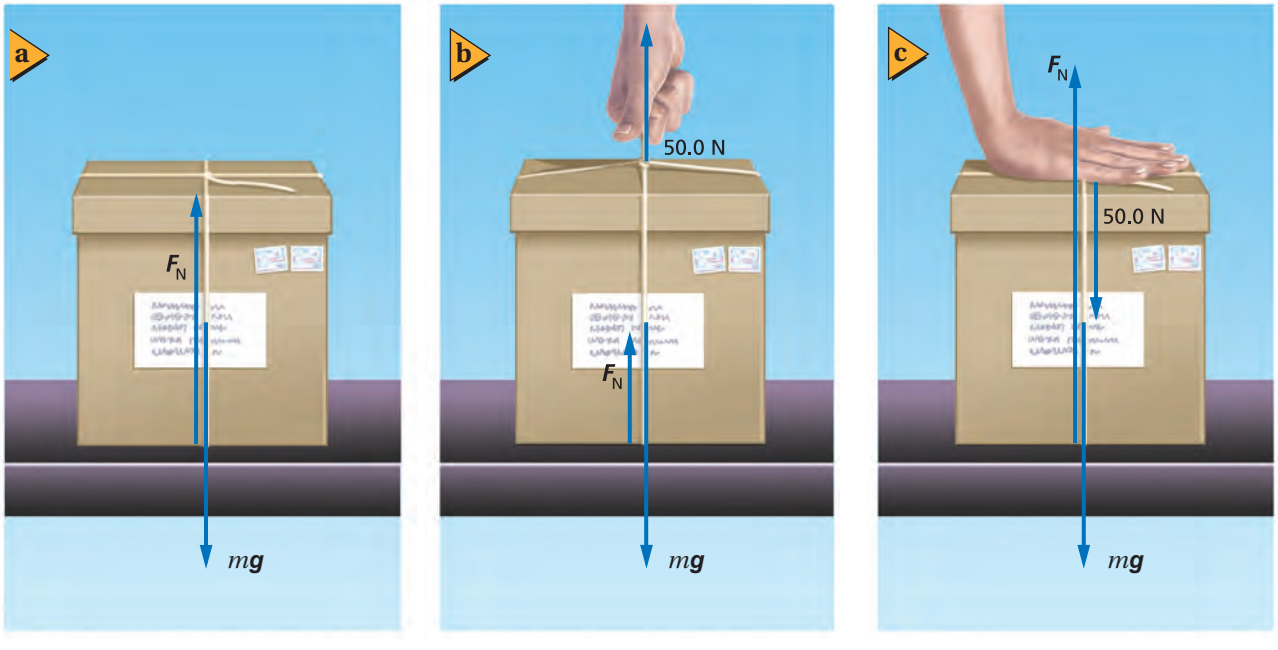
32. وضعت معدات في دلو، فأصبحت كتلته 42 kg، فإذا رفع الدلو إلى سطح منزل بحبل يتحمل شدًّا لا يتجاوز 450 N، فما أقصى تسارع يمكن أن يكتسبه الدلو في أثناء سحبه إلى أعلى السطح؟

33. حاول سالم وأحمد إصلاح إطار السيارة، لكنهما واجها صعوبة كبيرة في نزع الإطار المطاطي عن الدولاب، فقاما بسحبه معًا؛ حيث سحب أحمد بقوة 23 N، وسالم بقوة 31 N، وعندئذٍ تمكنا من زحزحة الإطار. ما مقدار القوة بين الإطار المطاطي والدولاب؟

القوة العمودية The Normal Force

عندما يتلامس جسمان يؤثر كل منهما في الآخر بقوة؛ فالصندوق الموضوع على سطح الطاولة تؤثر فيه الجاذبية الأرضية بقوة إلى أسفل، وفي المقابل تؤثر فيه الطاولة بقوة إلى أعلى، وهذه القوة موجودة بالضرورة؛ لأن الصندوق متزن. إن **القوة العمودية** هي قوة تلامس يؤثر بها سطح في جسم آخر، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بين الجسمين. ولكن هل تكون هذه القوة دائمًا مساوية لوزن الجسم، كما هو موضح في **الشكل 16a–4**؟ ماذا يحدث إذا ربطت الصندوق بخيط وسحبته قليلاً إلى أعلى بقوة شد لاتكفي لرفع الصندوق عن الطاولة؟ انظر **الشكل 16b–4**. بتطبيق قانون نيوتن الثاني على الصندوق نجد أن:

$$F_N + F_{\text{الخيط في الصندوق}} - F_g = ma = 0$$



الشكل 16–4 القوة العمودية المؤثرة في جسم لا تساوي دائمًا وزنه.
a. القوة العمودية تساوي وزن الجسم.
b. القوة العمودية أقل من وزن الجسم.
c. القوة العمودية أكبر من وزن الجسم.

وبترتيب المعادلة نجد أن:

$$F_N = F_g - F_{\text{الخيط في الصندوق}}$$

تلاحظ في هذه الحالة أن القوة العمودية التي تؤثر بها الطاولة في الصندوق أقل من وزن الصندوق F_g، أما إذا ضغطت على الصندوق إلى أسفل، كما في **الشكل 4–16c**، فستصبح القوة العمودية أكبر من وزن الصندوق.

4–3 مراجعة

34. **القوة** مُدّ ذراعك أمامك في الهواء، وأسند كتابًا إلى راحة يدك بحيث يكون مستقرًّا. حدد القوى، وأزواج التأثير المتبادل التي تؤثر في الكتاب.

35. **القوة** إذا خفضتَ الكتاب الوارد في المسألة السابقة بتحريك يدك إلى أسفل بسرعة متزايدة، فهل يتغير أي من القوى، أو أزواج التأثير المتبادل المؤثرة في الكتاب؟ وضح ذلك.

36. **قوة الشد** تتدلى من السقف قطعة طوب مربوطة بحبل مهمل الكتلة، ومربوط بها من أسفل قطعة طوب أخرى بحبل مهمل الكتلة أيضًا. ما قوة الشد في كل من الحبلين إذا كانت كتلة كل قطعة 5.0 kg؟

37. **قوة الشد** إذا كانت كتلة قطعة الطوب السفلية الواردة في المسألة السابقة 3.0 kg، وقوة الشد في الحبل العلوي 63.0 N، فاحسب كلًّا من قوة الشد في الحبل السفلي، وكتلة قطعة الطوب.

38. **القوة العمودية** يُسلم صالح صندوقًا كتلته 13 kg إلى شخص كتلته 61 kg يقف على منصة. ما القوة العمودية التي تؤثر بها المنصة في هذا الشخص؟

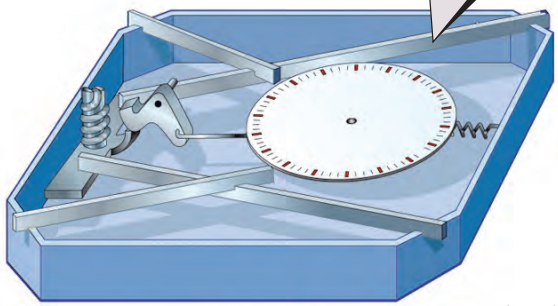
39. **التفكير الناقد** توضع ستارة بين فريقين لشد الحبل بحيث تمنع كل فريق من رؤية الفريق الآخر. فإذا ربط أحد الفريقين طرف الحبل الذي من جهته بشجرة، فما قوة الشد المتولدة في الحبل إذا سحب الفريق الآخر بقوة 500 N؟ وضِّح ذلك.

How it Works

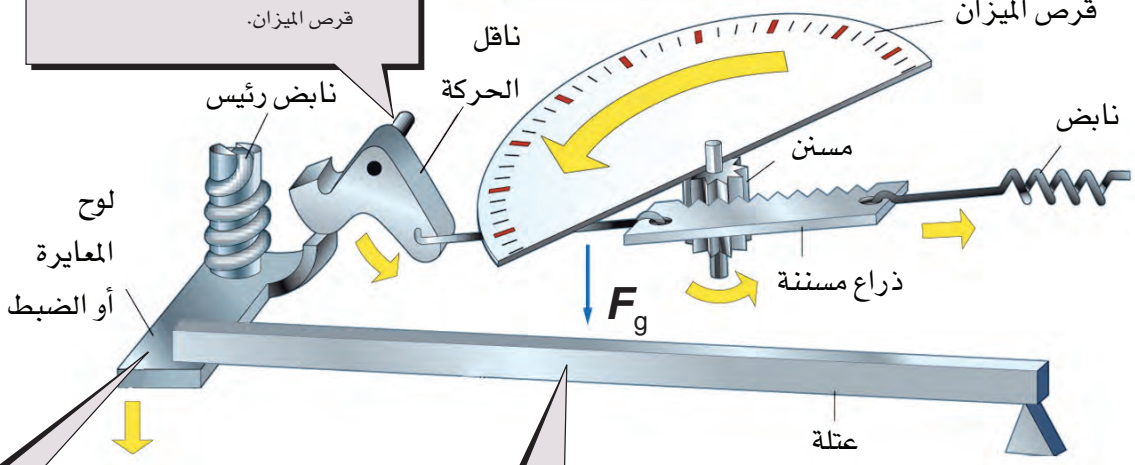
Bathroom Scale? الميزان المنزلي؟

كيف يعمل

1 هناك رافعتان (عتلتان) طويلتان وأخريان قصيرتان توصلان معًا، وهناك مساند في غطاء الميزان فوق العتلات لتوزيع الوزن عليها.



3 عندما يُدفع لوح المعايرة إلى أسفل من خلال الوزن الموجود على الميزان يدور ناقل الحركة، مما يحرك الذراع المسننة التي تدير أسطوانة مسننة، ومن ثم يدور قرص الميزان.



4 عند تساوي قوة النابض F_{sp} الناتجة عن استطالة النابض الرئيس و F_g فإن الذراع الأسطوانية المسننة تثبت ولا تتحرك ويظهر وزنك على القرص المدرّج.

2 ترتكز العتلتان الطويلتان على صفيحة الميزان التي تتصل بالنابض الرئيس. وعندما تقف على سطح الميزان فإن وزنك F_g يؤثر في العتلات التي تؤثر بدورها بقوة في لوح المعايرة وتؤدي إلى استطالة النابض الرئيس.

التفكير الناقد

1. **كوِّن فرضية** لا تؤثر معظم النوابض في الموازين المنزلية بقوة أكبر من 89 N. كيف تتجنب كسر الميزان إذا وقفت عليه؟

2. **حل** إذا كانت أكبر قراءة على الميزان 1068 N، والنابض يؤثر بقوة أقصاها 89 N، فما النسبة التي تستعملها العتلة؟

مختبر الفيزياء

القوة والكتلة

عندما تؤثر قوة في جسم فإنه يتسارع إذا كانت هذه القوة أكبر من قوة الاحتكاك المؤثرة فيه، وتكون القوة المحصلة في اتجاه حركته. وعندما يتوقف تأثير هذه القوة في هذا الجسم مع وجود الاحتكاك يأخذ الجسم في التباطؤ حتى يتوقف؛ لأن القوة المحصلة (قوة الاحتكاك) تؤثر في اتجاه معاكس لاتجاه الحركة.

سوف تستقصي في هذه التجربة تأثير الكتلة في قوة الاحتكاك، والعلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلة هذا الجسم..

سؤال التجربة

ما العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلة هذا الجسم عند ثبات التسارع؟

الأهداف

- **تستنتج** العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلته.
- **تحلل** النتائج لحساب التسارع المتوسط للجسم.
- **تحسب** القوة المحصلة المؤثرة في جسم.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتستخدمها** لتبين العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلته.

احتياطات السلامة

- **احذر من سقوط القطع الخشبية عند التعامل معها لئلا تؤذيك.**

المواد والأدوات

ساعة إيقاف	ورق رسم بياني
شريط قياس متري	ميزان
قطع خشبية مختلفة الكتل	

الخطوات

1. اختر مساحة كافية بحيث يمكنك دفع قطعة خشبية لكي تنزلق مسافة لا تقل عن 4 m.
2. حدد نقطة في مسار انزلاق القطعة الخشبية لكي تبدأ حساب زمن انزلاق القطعة منها، وضع عندها علامة.
3. اختر قطعة خشبية، وقس كتلتها. ثم اطلب إلى زميلك أن يدفع هذه القطعة، بحيث يجعلها تنزلق في مسار مستقيم مارة بالعلامة التي حددتها، وكررا ذلك عدة مرات لتحقيق ذلك.
4. اطلب إلى زميلك الآن أن يدفع هذه القطعة بحيث تنزلق على المسار الذي حددته، وشغّل ساعة الإيقاف لحظة مرورها بالعلامة التي حددتها.

جدول البيانات												
مجموعة البيانات	كتلة القطعة الخشبية (kg)	الزمن Δt (s)					المسافة Δd (m)				التسارع المتوسط $\bar{a}_A$ (m/s^2)	القوة المحصلة $F_{محصلة}$ (N)
		Δt_1	Δt_2	Δt_3	$\bar{\Delta t}$		Δd_1	Δd_2	Δd_3	$\bar{\Delta d}$		
1												
2												
3												
4												

5. بمساعدة زميل آخر يتابع حركة القطعة الخشبية، أوقف ساعة الإيقاف لحظة توقف القطعة. سجل الزمن في جدول البيانات لمجموعة البيانات 1 للمحاولة 1.
6. باستخدام شريط القياس المتري قس المسافة التي قطعتها القطعة الخشبية. سجل هذه المسافة Δd في جدول البيانات لمجموعة البيانات 1 للمحاولة 1.
7. كرّر الخطوات 6–4 مرتين إضافيتين للكتلة نفسها لمجموعة البيانات 1 للمحاولتين 2 و3.
8. كرّر الخطوات 7–3 ثلاث مرات، على أن تغير القطعة الخشبية في كل مرة. سجل البيانات الخاصة بهذه الخطوات في جدول البيانات..

التحليل

1. احسب متوسط الزمن ومتوسط المسافة لكل مجموعة بيانات، وسجلها في جدول البيانات.
2. احسب التسارع المتوسط لكل كتلة في أثناء انزلاقها باستخدام العلاقة $\bar{a}_A = -2\Delta d / (\Delta t)^2$. ماذا تلاحظ على قيم تسارع الكتل المختلفة؟
3. احسب القوة المحصلة المؤثرة في كل كتلة في أثناء انزلاقها.
4. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** مثّل بيانيًّا العلاقة بين كتل القطعة الخشبية (على المحور الأفقي) والقوة المحصلة المؤثرة في كل منها (على المحور الرأسي)
5. **لاحظ واستنتج** ما نوع العلاقة التي حصلت عليها من الرسم البياني؟ ماذا تستنتج؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **فسر البيانات** ما العلاقة بين كتلة القطعة الخشبية والتسارع الذي اكتسبته في أثناء انزلاقها؟
2. **استنتج** ما العلاقة بين قوة الاحتكاك (القوة المحصلة) المؤثرة في القطعة الخشبية والتسارع المتوسط الذي تكتسبه؟ وضح إجابتك.
3. **استنتج** ما العلاقة بين قوة الاحتكاك (القوة المحصلة) المؤثرة في القطعة الخشبية وكتلة القطعة؟
4. ما مصادر الخطأ في تجربتك؟
5. اشتق العلاقة الرياضية المعطاة في جزء التحليل.

التوسع في البحث

هل تؤثر سرعة إطلاق القطعة الخشبية في القوة المحصلة المؤثرة فيها؟

الفيزياء في الحياة

اعتمادًا على نتائج هذه التجربة، هل يؤثر زيادة عرض إطار السيارة في قوة الاحتكاك المؤثرة فيه؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن القوة والتسارع ارجع إلى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني obeikaneducation.com

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

4–1 القوة والحركة Force and Motion

المفردات

- القوة
- قوة التلامس (التماس)
- قوة المجال
- مخطط الجسم الحر
- القوة المحصلة
- قانون نيوتن الثاني
- قانون نيوتن الأول
- القصور الذاتي
- الاتزان

المفاهيم الرئيسة

- الجسم الذي يعاني من دفع أو سحب تؤثر فيه قوة.
- للقوة مقدار واتجاه.
- تقسم القوى إلى: قوى تلامس، وقوى مجال.
- في مخطط الجسم الحر، ارسم دائمًا متجهات القوة بحيث تشير بعيدًا عن الجسم، حتى لو كانت تمثل قوى دفع.
- لإيجاد القوة المحصلة نجمع القوى التي تؤثر في الجسم باعتبارها متجهات.
- ينص قانون نيوتن الثاني على أن تسارع نظام ما يساوي ناتج قسمة القوة المحصلة المؤثرة فيه على كتلته. $a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$
- ينص قانون نيوتن الأول على أن الجسم الساكن يبقى ساكنًا، والجسم المتحرك يبقى متحركًا في خط مستقيم وبسرعة منتظمة فقط إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا.
- الجسم الذي تؤثر فيه قوة محصلة مقدارها صفر يكون متزنًا.

4–2 استخدام قوانين نيوتن Using Newton's Law

المفردات

- الوزن الظاهري
- القوة المعيقة
- السرعة الحدية

المفاهيم الرئيسة

- الوزن الظاهري لجسم ما هو الوزن الذي نحس به أو نقيسه نتيجة تأثير قوة تلامس في الجسم تكسبه تسارعًا.
- يعتمد وزن جسم ما على التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية وكتلة الجسم.
- تأثير القوة المعيقة على جسم تحدده حركة الجسم، وخصائص كل من الجسم والمائع.
- إذا وصلت سرعة جسم ساقط إلى حد أن القوة المعيقة تساوي وزنه فإن الجسم يحتفظ بسرعة منتظمة تسمى السرعة الحدية.

4–3 قوى التأثير المتبادل Interaction Forces

المفردات

- أزواج التأثير المتبادل
- قانون نيوتن الثالث
- قوة الشد
- القوة العمودية

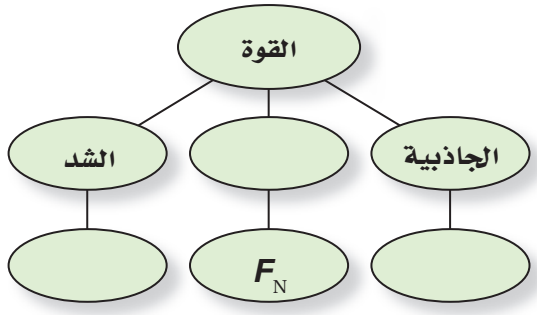
المفاهيم الرئيسة

- في زوجي التأثير المتبادل القوة $F_{B \text{ على } A}$ ليست سببًا في نشوء القوة $F_{A \text{ على } B}$؛ فهما إما أن تكونا معًا وإما لا توجدان أبدًا.
- لكل قوةِ فعلٍ تؤثر في جسم قوةُ رد فعل تُؤثر في جسم آخر، وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه. $F_{B \text{ على } A} = -F_{A \text{ على } B}$
- الشد اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها حبل أو خيط في جسم ما.
- القوة العمودية قوة ناتجة عن تلامس جسمين، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بينهما.

الفصل 4
التقويم

خريطة المفاهيم

40. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز التالية : القوة العمودية، F_T، F_g



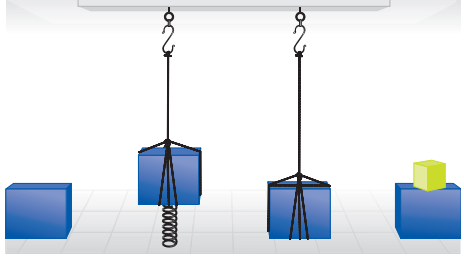
إتقان المفاهيم

41. افترض أن تسارع جسم يساوي صفرًا، فهل يعني هذا عدم وجود أي قوى تؤثر فيه؟ (4–2)

42. إذا كان كتابك متزنًا فما القوى التي تؤثر فيه؟(4–2)

43. سقطت صخرة من جسر إلى وادٍ، فتسارعت نتيجة قوة جذب الأرض لها إلى أسفل. وبحسب قانون نيوتن الثالث فإن الصخرة تؤثر أيضًا في الأرض بقوة جذب، ولكن لا يبدو أن الأخيرة تتسارع إلى أعلى. فسّر ذلك. (4–3)

44. يبين **الشكل 17–4** كتلة في أربعة أوضاع مختلفة. رتب هذه الأوضاع بحسب مقدار القوة العمودية بين الكتلة والسطح، من الأكبر إلى الأصغر. أشر إلى أي علاقة بين نتائج الإجابة. (4–3)



الشكل 17–4

45. **فسر** لماذا يكون الشد ثابتًا في كل نقاط حبل مهمل الكتلة؟ (4–3)

46. يقف طائر على قمة مبنى. ارسم مخطط الجسم الحر لكل من الطائر والمبنى. وأشر إلى أزواج التأثير المتبادل بين المخططين. (4–3)

تطبيق المفاهيم

47. قذفت كرة في الهواء إلى أعلى في خط مستقيم:

a. ارسم مخطط الجسم الحر للكرة عند ثلاث نقاط في مسار حركتها: في طريقها إلى أعلى، وعند القمة، وفي طريقها إلى أسفل، وحدد القوى التي تؤثر في الكرة.

b. ما سرعة الكرة عند أعلى نقطة وصلت إليها؟

c. ما تسارع الكرة عند هذه النقطة؟

إتقان حل المسائل

4–1 القوة والحركة

48. ما القوة المحصلة التي تؤثر في كرة كتلتها 1.0 kg وتسقط سقوطًا حرًّا؟

49. تتباطأ سيارة كتلتها 2300 kg بمقدار $3.0\ m/s^2$ عندما تقترب من إشارة مرور. ما مقدار القوة المحصلة التي تجعلها تتباطأ وفق المقدار المذكور؟

4–2 استخدام قوانين نيوتن

50. ما وزنك بوحدة النيوتن؟

51. تزن دراجتك النارية 2450 N، فما كتلتها بالكيلوجرام؟

52. وضع تلفاز كتلته 7.50 kg على ميزان نابض. إذا كانت قراءة الميزان 78.4 N، فما تسارع الجاذبية الأرضية في ذلك المكان؟

تقويم الفصل 4

53. وضع ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف عليه كتلته 53 kg، في الحالات الآتية؟

a. إذا تحرك المصعد بسرعة منتظمة إلى أعلى.

b. إذا تباطأ المصعد بمقدار $2.0\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أعلى.

c. إذا تسارع المصعد بمقدار $2.0\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أسفل.

d. إذا تحرك المصعد إلى أسفل بسرعة منتظمة.

e. إذا تباطأ المصعد في أثناء حركته إلى أسفل بتسارع ثابت حتى يتوقف.

54. **فلك** إذا كان تسارع الجاذبية على سطح عطارد يعادل 0.38 من قيمته على سطح الأرض:

a. فما وزن جسم كتلته 6.0 kg على سطح عطارد؟

b. إذا كان تسارع الجاذبية على سطح بلوتو يساوي 0.08 من مثيله على سطح عطارد، فما وزن كتلة 7.0 kg على سطح بلوتو؟

55. قفز غواص كتلته 65 kg من قمة برج ارتفاعه 10.0 m.

a. أوجد سرعة الغواص لحظة ارتطامه بسطح الماء.

b. إذا توقف الغواص على بُعد 2.0 m تحت سطح الماء، فأوجد محصلة القوة التي يؤثر بها الماء في الغواص.

56. بدأت سيارة سباق كتلتها 710 kg حركتها من السكون وقطعت مسافة 40.0 m في 3.0 s. فإذا كان تسارع السيارة ثابتًا خلال هذه الفترة، فما القوة المحصلة التي تؤثر فيها؟

4–3 قوى التأثير المتبادل

57. وضع مكعب من الحديد كتلته 6.0 kg على سطح مكعب آخر كتلته 7.0 kg يستقر بدوره على سطح طاولة أفقية. احسب:

a. مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المكعب الذي كتلته 7.0 kg في المكعب الآخر.

b. مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المكعب الذي كتلته 6.0 kg في المكعب الذي كتلته 7.0 kg.

58. تسقط قطرة مطر كتلتها 2.45 mg على الأرض. ما مقدار القوة التي تؤثر بها في الأرض في أثناء سقوطها؟

59. يلعب شخصان لعبة شد الحبل. أحدهما كتلته 90.0 kg يشد الحبل بحيث يكتسب الشخص الآخر وكتلته 55 kg تسارعًا مقداره $0.025\ m/s^2$. ما القوة التي يؤثر بها الحبل في الشخص ذي الكتلة الكبرى؟

60. تتسارع طائرة مروحية كتلتها 4500 kg إلى أعلى بمقدار $2.0\ m/s^2$. احسب القوة التي يؤثر بها الهواء في المراوح؟

مراجعة عامة

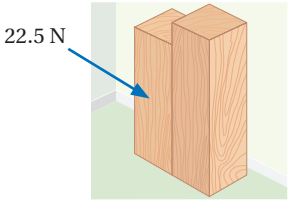
61. يُدفع جسمان كتلة أحدهما 4.3 kg، وكتلة الآخر 5.4 kg بقوة أفقية مقدارها 22.5 N، على سطح مهمل الاحتكاك (انظر **الشكل 18–4**).

a. ما تسارع الجسمين؟

b. ما القوة التي يؤثر بها الجسم الذي كتلته 4.3 kg في الجسم الذي كتلته 5.4 kg؟

c. ما القوة التي يؤثر بها الجسم الذي كتلته 5.4 kg في الجسم الذي كتلته 4.3 kg؟

تقويم الفصل 4

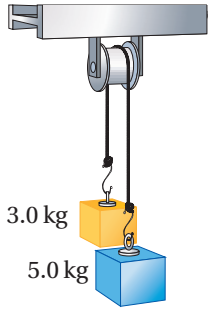


الشكل 4–18

62. جسمان كتلة الأول 5.0 kg، والثاني 3.0 kg، مربوطان بحبل مهمل الكتلة (انظر **الشكل 4–19**). يمرر الحبل على بكرة ملساء مهملة الكتلة. فإذا انطلق الجسمان من السكون فأوجد ما يأتي:

a. قوة الشد في الحبل.

b. تسارع الجسمين.



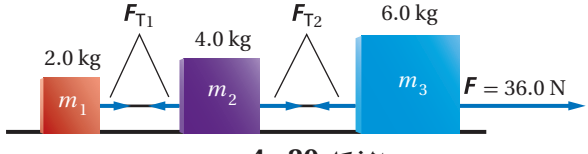
الشكل 4–19

التفكير الناقد

63. ثلاث كتل متصلة بخيوط مهملة الكتل. سحبت الكتل بقوة أفقية على سطح أملس، كما في **الشكل 4–20**. أوجد:

a. تسارع كل كتلة.

b. قوة الشد في كل خيط.



الشكل 4–20

الكتابة في الفيزياء

64. ابحث عن إسهامات نيوتن في الفيزياء، واكتب عن ذلك موضوعًا. هل تعتقد أن قوانينه الثلاثة في الحركة كانت من أهم إنجازاته؟ وضح إجابتك.

مراجعة تراكمية

65. يبين **الشكل 4–21** الرسم البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) لحركة سيارتين على طريق.

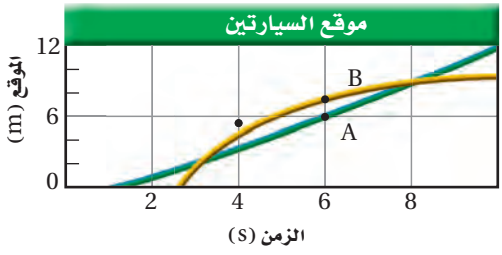
a. عند أي لحظة تتجاوز إحدى السيارتين الأخرى؟

b. أي السيارتين كانت تتحرك أسرع عند الزمن 7.0 s؟

c. ما الزمن الذي تتساوى عنده السُّرعتان المتجهتان للسيارتين؟

d. ما الفترة الزمنية التي تتزايد خلالها سرعة السيارة B؟

e. ما الفترة الزمنية التي تتناقص خلالها سرعة السيارة B؟



الشكل 4–21

66. بالرجوع إلى الشكل السابق، احسب السرعة اللحظية لكل مما يأتي:

a. السيارة B عند اللحظة 2.0 s.

b. السيارة B عند اللحظة 9.0 s.

c. السيارة A عند اللحظة 2.0 s.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

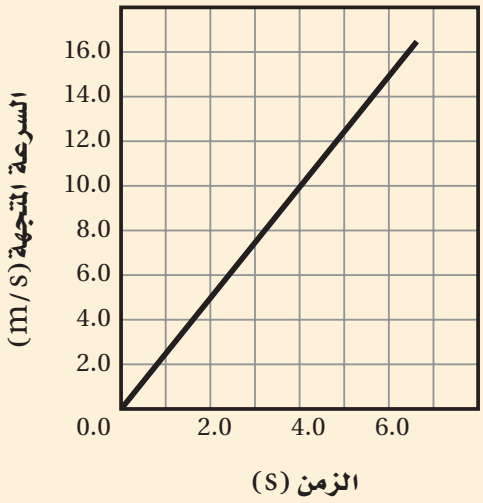
1. ما تسارع السيارة الموضح بالرسم أدناه؟

Ⓐ $0.20\ m/s^2$

Ⓑ $0.40\ m/s^2$

Ⓒ $1.0\ m/s^2$

Ⓓ $2.5\ m/s^2$



2. بالاعتماد على الرسم البياني أعلاه، ما المسافة التي قطعتها السيارة بعد 4 s؟

Ⓐ 13 m

Ⓑ 40 m

Ⓒ 80 m

Ⓓ 90 m

3. إذا تحركت السيارة في الرسم البياني السابق بتسارع ثابت، فكم تكون سرعتها المتجهة بعد 10 s؟

Ⓐ 10 km/h

Ⓑ 25 km/h

Ⓒ 90 km/h

Ⓓ 120 km/h

4. ما وزن مجس فضائي كتلته 225 kg على سطح القمر؟ (مع افتراض أن مقدار تسارع الجاذبية على القمر $1.62\ m/s^2$).

Ⓐ 139 N

Ⓑ 364 N

Ⓒ 1.35×10^3 N

Ⓓ 2.21×10^3 N

5. يجلس طفل كتلته 45 kg في أرجوحة كتلتها 3.2 kg مربوطة إلى غصن شجرة، ما مقدار قوة الشد في حبل الأرجوحة؟

Ⓐ 3.1×10^2 N

Ⓑ 4.4×10^2 N

Ⓒ 4.5×10^2 N

Ⓓ 4.7×10^2 N

اختبار مقنن

6. إذا تدلى غصن الشجرة في المسألة السابقة إلى أسفل بحيث تستند قدمَا الطفل على الأرض، وأصبحت قوة الشد في حبل الأرجوحة 220 N، فما مقدار القوة العمودية المؤثرة في قدمي الطفل؟

Ⓐ 2.2×10^2 N

Ⓑ 2.5×10^2 N

Ⓒ 4.3×10^2 N

Ⓓ 6.9×10^2 N

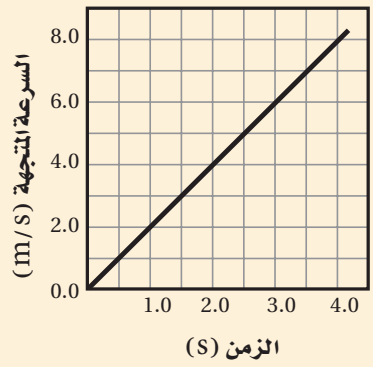
7. اعتمادًا على الرسم البياني أدناه، ما مقدار القوة المؤثرة في عربة كتلتها 16 kg؟

Ⓐ 4 N

Ⓑ 8 N

Ⓒ 16 N

Ⓓ 32 N



الأسئلة الممتدة

8. ارسم مخطط الجسم الحر لطفل يقف على ميزان في مصعد، ثم صف باستخدام الكلمات والمعادلات الرياضية ما يحدث لوزن الطفل الظاهري عندما: يتسارع المصعد إلى أعلى، يهبط المصعد بسرعة منتظمة إلى أسفل، عندما يهبط المصعد في حالة سقوط حر .

✓ إرشاد

حسِّن نتائجك

لكي تحقق أفضل النتائج في اختبارك المقنن فإنك تحتاج إلى توقع إجابة منطقية للسؤال، ثم أعد قراءة السؤال، وبعد التوصل إلى الإجابة النهائية قارنها بالنتيجة التي توصلت إليها وتوقعتها.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

دليل الرياضيات

I. الرموز symbols

Δ	التغير في الكمية	$a \times b$ ab $a(b)$	a مضروبة في b
$\pm$	زائد أو ناقص الكمية	$a \div b$ a/b $\frac{a}{b}$	a مقسومة على b
$\propto$	يتناسب مع	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$=$	يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$\approx$	تقريبًا يساوي	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\cong$	يُكافئ		
$\leq$	أقل من أو يساوي		
$\geq$	أكبر من أو يساوي		
$<<$	أقل جدًّا من		
$\equiv$	يعرف كـ		

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

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

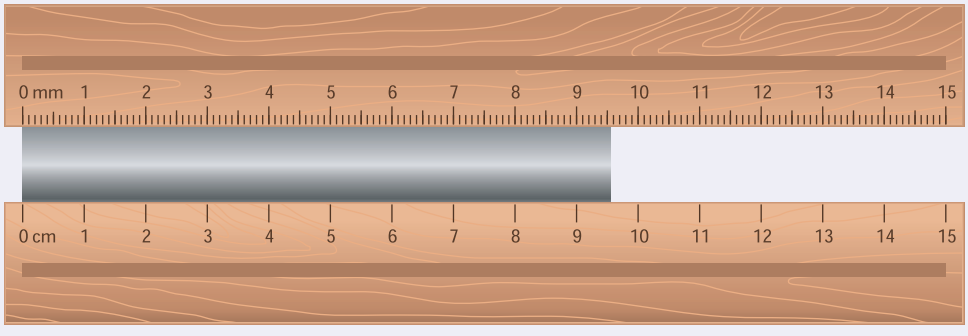
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعد الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الصغرى في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدَّرًا.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مسطرة قياس موضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟

باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

أما عند استعمال أداة القياس العليا فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm



دليل الرياضيات

كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعد أرقامًا معنوية.

استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

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

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

مسائل تدريبية

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

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

هناك حالتان تعد الأعداد فيهما دقيقة:

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

دليل الرياضيات

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.

2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.

3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرَّب بمقدار واحد.

4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تزده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

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

مسائل تدريبية

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

a. 1405 m (2)　　**c.** 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2)　　**d.** 12.007 kg (3)

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

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

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

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

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

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

دليل الرياضيات

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

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

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

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

$$= 43\ N$$

III. إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

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

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

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

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

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

القوة مرفوعة لقوة: لايجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس معًا، كما هو موضح في الصفحة التالية: $(a^m)^n = a^{mn}$

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

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

مسائل تدريبية

4. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

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

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

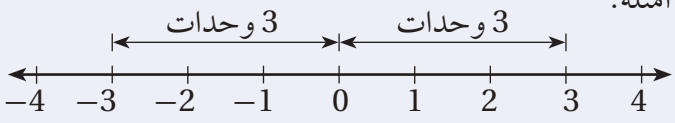
القيمة المطلقة Absolute Value

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

أمثلة:

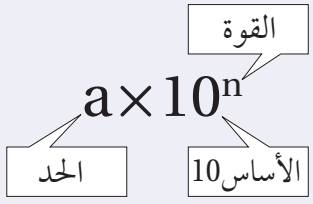
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



IV. التعبير العلمي Scientific Notation

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



دليل الرياضيات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m³ وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. لذا عند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m³ فهذا يشير إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

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

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \text{ e+}11 = 2.4\times10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 بدلالته العلمية.

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

هناك ست منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53\times10^{6}$

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

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية $2.389\times10^{5} = 2.38900\times10^{5} = 238{,}900$

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

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

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

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

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

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

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

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

مثال: بسّط

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

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00\times10^{7-3}$

$= 6.00\times10^{4}$

دليل الرياضيات

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

مثال: بسّط

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

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

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

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

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

V. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

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

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

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

مثال: بسّط التعبير التالي:

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

الخطوة 2 ترتيب العمليات $=4+3\,(3)-8$

الخطوة 3 ترتيب العمليات $=4+9-8$

الخطوة 4 ترتيب العمليات $= 5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تُجرِ عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام

بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

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

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

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

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعابير الآتية:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

فصل المتغير Isolating a Variable

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

6. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي

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

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

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

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r ← $\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$ ← $mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$

قسّم طرفي المعادلة كليهما على m . ← $\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

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

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

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

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

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

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

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

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

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

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

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

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

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

مسائل تدريبية

7. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

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

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

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

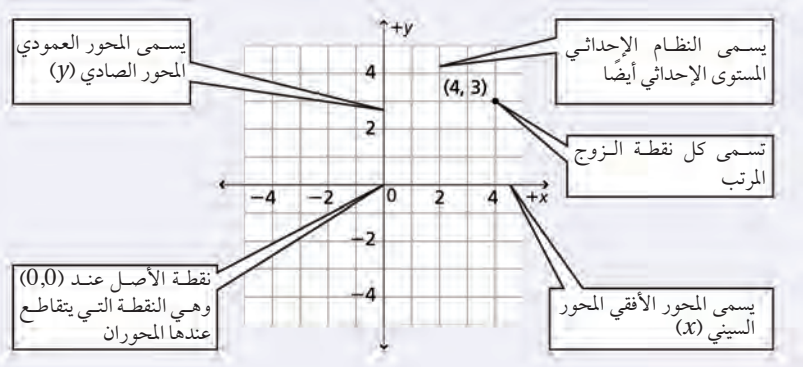
d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

دليل الرياضيات

VI. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، ويسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل (العامل الذي يُغيَّر أو يُعدَّل خلال التجربة)، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع (العامل الذي يعتمد على المتغير المستقل)، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x,y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائمًا قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0,0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.



استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًّا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًّا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًّا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ما يمثله الرسم البياني.

نوع الخدمة	ريال	دولار
الفندق (الإقامة)	1500	398
الوجبات	850	225
الترفيه	670	178
المواصلات	220	58

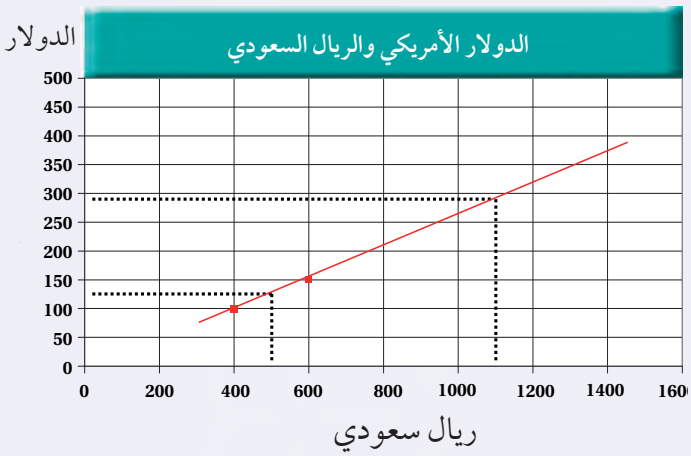
دليل الرياضيات

الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 500 ريال.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 500 (400 ريال، 600 ريال)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.



ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (500 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 ريال.

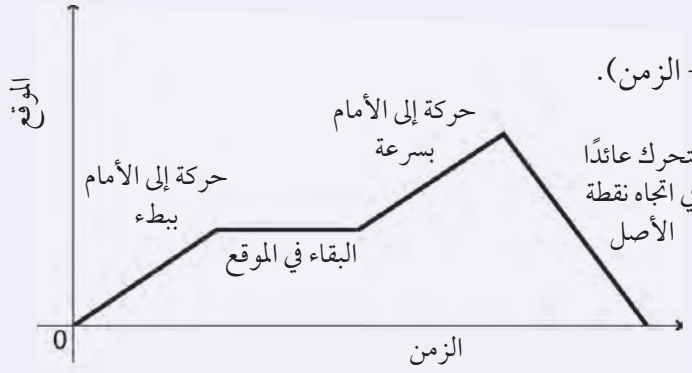
ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

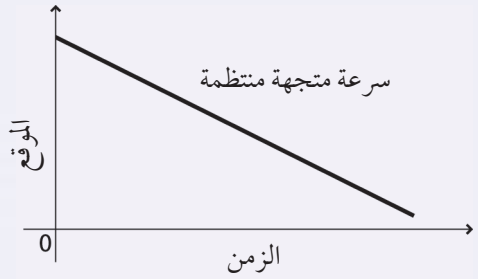
يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).

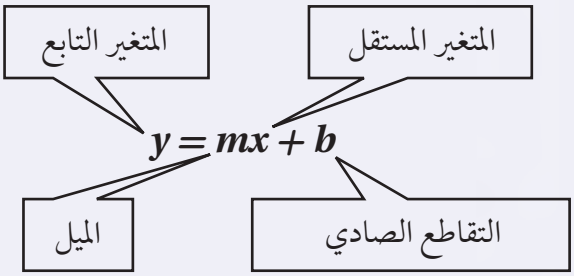


b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث b و m عددان حقيقيان، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



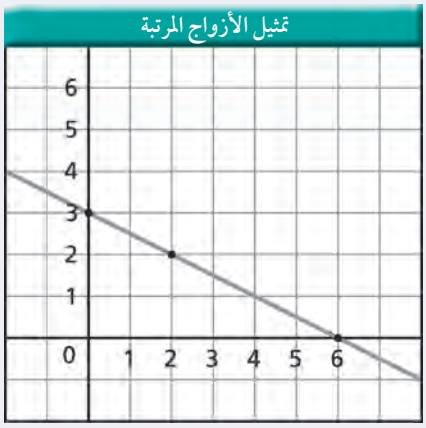
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x, y)، وارسم أفضل خط يمر بالنقاط جميعها.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

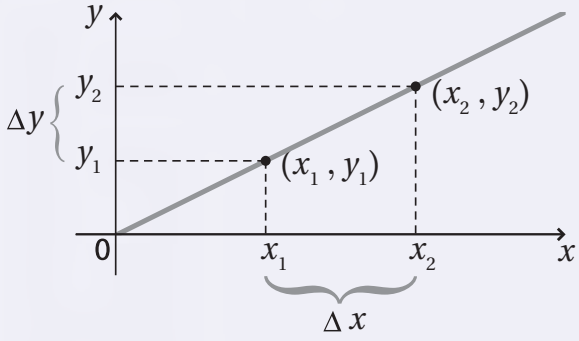
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين (x_1 , y_1) ، (x_2 , y_2)، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم أوجد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ ، حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المُرجعة) للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المُرجعة، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

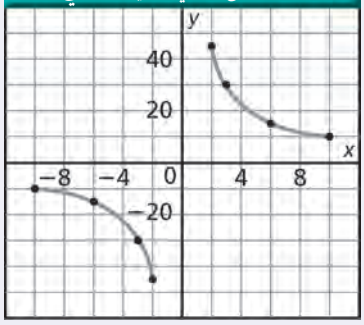
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا.

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

التمثيل البياني للتغير العكسي



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، و f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما ازداد تردد الموجة تناقص الطول الموجي، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

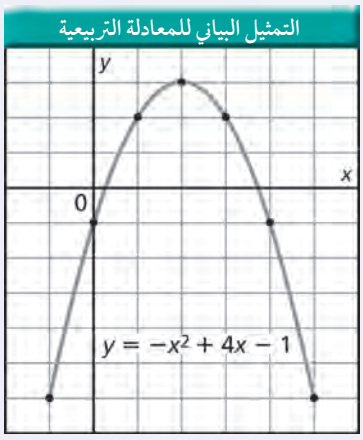
$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

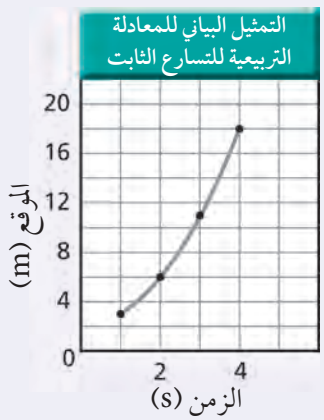
مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$.

الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع ثابت.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18



دليل الرياضيات

VII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

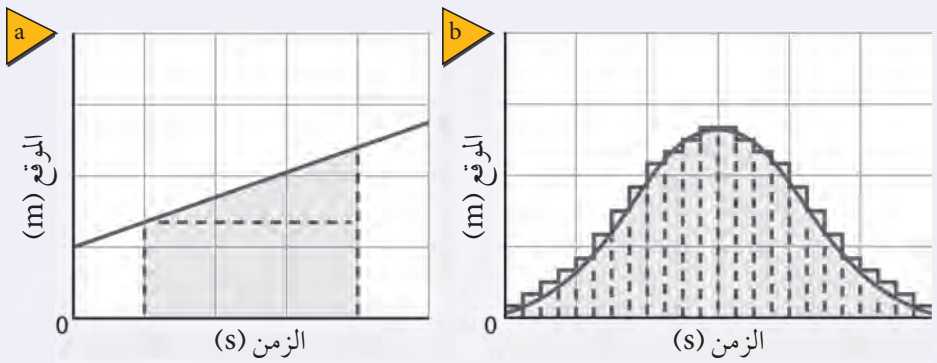
	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = (\frac{1}{2})\, bh$		
المكعب الضلع a			$SA = 6a^2$	$V = a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA = 4\pi r^2$	$V = (\frac{4}{3})\pi r^3$

دليل الرياضيات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسِّم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

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	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	bascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 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
$1 mol = 6.022 \times 10^{23}$	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	

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}

المصطلحات

أ

الاتزان Equilibrium — إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا فإن هذا الجسم في حالة اتزان.

الإزاحة Displacement — كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين خلال فترة زمنية محددة.

أزواج التأثير المتبادل Interaction pair — زوجان من القوى متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه.

ت

تحليل الوحدات Dimensional analysis — طريقة التعامل مع الوحدات بوصفها كميات جبرية؛ بحيث يمكن إلغاؤها، ويمكن أن تستخدم للتأكد من أن وحدات الإجابة صحيحة.

التسارع acceleration — المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة للجسم.

التسارع اللحظي Instantaneous acceleration — التغير في السرعة المتجهة للجسم خلال فترة زمنية صغيرة جدًّا.

التسارع المتوسط average acceleration — التغير في السرعة المتجهة للجسم خلال فترة زمنية مقيسة، مقسومًا على هذه الفترة الزمنية، ويقاس بوحدة m/s^2.

التسارع الناشئ عن الجاذبية الأرضية acceleration due to gravity — تسارع الجسم في حالة السقوط الحر، وينتج عن تأثير جاذبية الأرض، ويساوي $g = 9.80\ m/s^2$ واتجاهه نحو مركز الأرض.

د

الدقة precision — خاصية من خصائص الكمية المقيسة، التي تصف درجة الإتقان في القياس.

س

السرعة الحدية terminal velocity — سرعة منتظمة يصل إليها الجسم الساقط سقوطًا حرًّا عندما تتساوى القوة المعيقة مع قوة الجاذبية.

السرعة المتجهة اللحظية instantaneous velocity — مقدار سرعة الجسم واتجاه حركته عند لحظة معينة.

المصطلحات

السرعة المتجهة المتوسطة average velocity
التغير في موقع الجسم مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث التغير خلالها. وهي تساوي ميل الخط البياني في منحنى (الموقع –الزمن).

السرعة المتوسطة average speed
القيمة الحسابية لسرعة الجسم؛ وهي القيمة المطلقة لميل الخط البياني في منحنى (الموقع–الزمن) .

السقوط الحر free fall
حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

ض

الضبط Accuracy
من خصائص الكمية المقيسة، وهو يصف مدى اتفاق نتائج القياس مع القيمة الحقيقية؛ أي القيمة المعتمدة المقيسة من خلال تجارب مخصصة ومن قبل خبراء مؤهلين.

ط

الطريقة العلمية scientific method
عملية منظمة للمشاهدة والتجريب والتحليل؛ للإجابة عن الأسئلة حول العالم الطبيعي.

ف

الفترة الزمنية time interval
الزمن النهائي مطروحًا منه الزمن الابتدائي.

الفرضيـــة hypothesis
تخمين علمي عن كيفية ارتباط المتغيرات معًا.

الفيـــزياء physics
فرع العلوم المعنيّ بدراسة العالَم الطبيعي: الطاقة والمادة وكيفية ارتباطهما.

ق

القانون العلمي scientific law
قاعدة طبيعية تجمع المشاهدات المترابطة لوصف ظاهرة طبيعية متكررة.

قانون نيوتن الأول Newton's first law
الجسم الساكن يبقى ساكنًا، والجسم المتحرك يبقى متحركًا في خط مستقيم وبسرعة منتظمة فقط إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

قانون نيوتن الثاني Newton's secand law
تسارع الجسم يساوي محصلة القوى المؤثرة فيه مقسومة على كتلة الجسم.

قانون نيوتن الثالث Newton's third law
جميع القوى تظهر على شكل أزواج، وقوّتا كل زوج تؤثران في جسمين مختلفين، وهما متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

المصطلحات

القصور الذاتي inertia
خاصية للجسم لممانعة أي تغيير في حالته الحركية.

القوة force
سحب أو دفع يؤثر في الأجسام ويسبب تغيرًا في الحركة مقدارًا واتجاهًا.

قوة التلامُس contact force
قوة تتولد عندما يلامس جسم من المحيط الخارجي النظام.

قوة الشد tension
اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل في جسم ما.

القوة العمودية normal force
قوة تلامُس يؤثر بها سطح في جسم آخر.

القوة المحصلة net force
قوة تعمل عمل مجموعة من القوى مقدارًا واتجاهًا وتساوي ناتج جمع متجهات القوى المؤثرة في الجسم جميعها.

قوة المجال field force
قوة تؤثر في الأجسام بغضّ النظر عن وجود تلامس فيما بينها؛ كالمغناطيسات التي تؤثر في الأجسام دون ملامستها.

القوة المعيقة drag force
هي قوة ممانعة يؤثر بها المائع في جسم يتحرك خلاله، وتعتمد على حركة الجسم وعلى خصائص كل من الجسم والمائع.

القياس measurement
المقارنة بين كمية مجهولة وأخرى معيارية.

ك

الكميات العددية (القياسية) scalars
كميات فيزيائية لها مقدار، وليس لها اتجاه.

الكميات المتجهة vectors
كميات فيزيائية لها مقدار واتجاه.

م

المحصلة resultant
متجه ناتج عن جمع متجهين آخرين، ويشير دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الآخر.

المخطط التوضيحي للحركة motion diagram
صور متتابعة تُظهر مواقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية.

مخطط الجسم الحر free-body diagram
نموذج فيزيائي يمثل القوى المؤثرة في نظام ما.

المسافة distance
كمية عددية تصف بعد الجسم عن نقطة الأصل.

منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) velocity-time graph
رسم بياني يمثل تغير السرعة المتجهة بدلالة الزمن، وتحديد إشارة تسارع الجسم المتحرك.

المصطلحات

منحنى (الموقع-الزمن) position - time graph
رسم بياني يستخدم في تحديد موقع الجسم وحساب سرعته المتجهة، وتحديد نقاط التقاء جسمين متحركين. ويرسم بتثبيت بيانات الزمن على المحور الأفقي وبيانات الموقع على المحور الرأسي.

الموقع position
المسافة الفاصلة بين الجسم ونقطة الأصل، ويمكن أن تكون موجبة أو سالبة.

الموقع اللحظي instantaneous position
موقع الجسم عند لحظة زمنية معينة.

ن

النظام الإحداثي coordinate system
نظام يستخدم لوصف الحركة، بحيث يحدد موقع نقطة الصفر للمتغير المدروس، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم المتغير.

النظرية العلمية scientific theory
تفسير يعتمد على عدة مشاهدات مدعومة بنتائج تجريبية. تفسر النظريات القوانين وكيفية عمل الأشياء.

نقطة الأصل origin
نقطة تكون عندها قيمة كل من المتغيرين صفرًا.

نموذج الجسيم النقطي particle model
تمثيل لحركة الجسم بسلسلة متتابعة من النقاط المفردة.

و

الوزن الظاهري apparent weight
قراءة الميزان لوزن جسم يتحرك بتسارع.