

تم تحميل وعرض العادة من



موقع منهجي منصة تعليمية توفر كل ما يحتاجه المعلم والطالب من حلول الكتب الدراسية وشرح للدروس بأسلوب مبسط لكافة المراحل التعليمية وتوازيع المناهج وتحاضير وملخصات ونماذج اختبارات وأوراق عمل جاهزة للطباعة والتحميل بشكل مجاني

حمل تطبيق منهجي ليصلك كل جديد



EXPLORE IT ON  
AppGallery

GET IT ON  
Google Play

Download on the  
App Store



قررت وزارة التعليم تدريس  
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها



المملكة العربية السعودية

# الفيزياء ١

التعليم الثانوي - نظام المسارات

السنة الأولى المشتركة



قام بالتأليف والمراجعة  
فريق من المتخصصين

يُوزع مجاناً ولا يَباع

طبعة 2024 - 1446



## حـ وزارة التعليم ، ١٤٤٢ هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر  
وزارة التعليم

فيزياء ١ التعليم الثانوي - نظام المسارات - السنة الأولى المشتركة  
/ وزارة التعليم. - الرياض ، ١٤٤٢ هـ

٢١٢ ص ؛ ٥٢٧ × ٢١ سـم  
ردمك : ٩٧٨-٦٠٣-٥٠٨-٩٦٥-٤

١- الفيزياء - مناهج - السعودية -  
كتب دراسية أ. العنوان

١٤٤٢/١١٣١٤

ديوـي ٥٣٠،٧١٢

رقم الإيداع : ١٤٤٢/١١٣١٤

ردمك : ٩٧٨-٦٠٣-٥٠٨-٩٦٥-٤

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

[www.moe.gov.sa](http://www.moe.gov.sa)

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"



[ien.edu.sa](http://ien.edu.sa)

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتنمية والتعليم؛

يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.



[fb.ien.edu.sa](http://fb.ien.edu.sa)



## المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

العلاج	الاحتياطات	الأمثلة	المخاطر	رموز السلامة
تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.	لا تخلص من هذه المواد في المنسلة أو في سلة المهملات.	بعض المواد الكيميائية، والمخلفات الحية.	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	 التخلص من المخلفات
أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، وأغسل يديك جيداً.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامه وقفازين.	البكتيريا، الفطريات، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	مخلفات ومادة حية قد تسبب ضرراً للإنسان.	 ملوثات حيوية بيونولوجية
اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.	استعمال قفازات واقية.	غليان السوائل، السخافات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو ببرودتها الشديدة.	 درجة الحرارة المؤذية
اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.	تعامل بحذر مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات الدبقية، أدوات التشريب، الزجاج المكسور.	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تخرج الجلد بسهولة.	 الأجسام الحادة
اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامه.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النثاثلين).	خطر محتمل على الجهاز التنفسى من الأبخرة.	 الأبخرة الضارة
لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.	تأكد من التوصيلات بالكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	تأريض غير صحيح، سوائل منسيبة، تماس كهربائي، أسلاك معزرة.	خطر محتمل من الصعق الكهربائية أو الحرائق.	 الكهرباء
اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.	ضع واقياً للفخار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواتين، ألياف الزجاج، برمجيات البوتاسيوم.	مواد قد تهيج الجلد أو القشاء المخاطي للقناة التنفسية.	 المواد المهيجة
اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض، حمض الكبريتيك، القواود كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	الماد الكيميائي الذي قد تتفاعل مع الأنسجة والمادة الأخرى وتقتله.	 المواد الكيميائية
اغسل يديك جيداً بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.	اتبع تعليمات معلمك.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النيبات السامة.	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	 المواد السامة
أبلغ معلمك طلباً للإسعاف الأولي واستخدم مطافة الحرير حسب نوع المادة المحترقة والموضحة على المطفأة.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيميويات.	الكحول، الكيروسين، الأسيتون، البوتاسيوم، الملابس، الشعر.	بعض الكيميويات التي يمكن اشتعالها بوساطة اللهب أو الشمر، أو عند تعرضها للحرارة.	 مواد قابلة للاشتعال
أبلغ معلمك طلباً للإسعاف الأولي واستخدم مطافة الحرير أو الماء عند إشعال اللهب أو الحرائق إن وجدت.	اربط الشعر إلى الخلف ولا تلمس الملابس الفضفاضة (لطابات). اتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو الحرائق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحرائق.	 اللهب المشتعل
غسل اليدين اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الوقية.	نشاط إشعاعي يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.	سلامة الحيوانات يشير هذا الرمز للتاكيد على سلامية المخلفات الحية.	وقاية الملابس يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعأً أو حرقاً للملابس.	 سلامة العين يجب دائماً ارتداء نظارة واقية مند العمل في المختبر.

## المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلوة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد: يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متقدمة ترتكز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب (الفيزياء 1) لنظام المسارات في التعليم الثانوي داعمًاً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يتم 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 يتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مروراً بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والجراث.

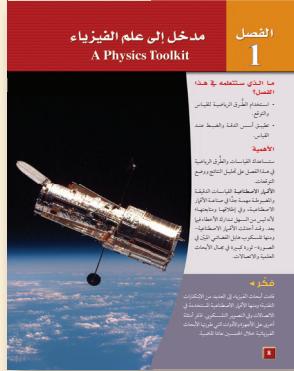
وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز رؤية (2030) «نعلم لنتعلم»؛ وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعده 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 تفزيذها أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية ويمكن الرجوع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية، ومخابر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها الروابط الرقمية للدروس عبر منصة عين الإثرائية وكذلك ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (2030) وأهدافها الإستراتيجية. وستجد شرحاً وتفسيراً للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، ومظللة باللون الأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضاً في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلنته 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، والتكتوني (البنياني)، والختامي (التجمعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل وأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبلياً تشخيصياً لاستكشاف ما يعرفه الطالب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمناً تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسية والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عده، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختباراً مقتناً يهدف إلى تدريسه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

ونسأل الله سبحانه أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقديره وازدهاره.

# فهرس المحتويات



## الفصل 1

8 .....	مدخل إلى علم الفيزياء .....
9 .....	1-1 الرياضيات والفيزياء .....
16 .....	1-2 القياس .....



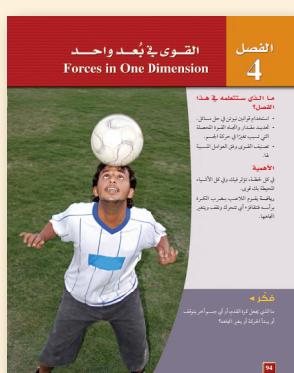
## الفصل 2

30 .....	تمثيل الحركة .....
31 .....	2-1 تصوير الحركة .....
34 .....	2-2 الموقع والزمن .....
38 .....	2-3 منحني (الموقع - الزمن) .....
43 .....	2-4 السرعة المتجهة .....



## الفصل 3

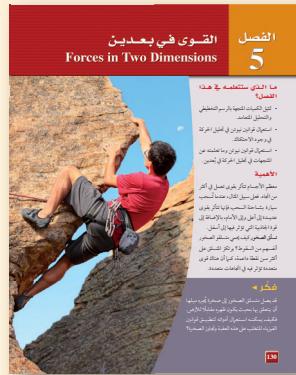
58 .....	الحركة المتسارعة .....
59 .....	3-1 التسارع (العجلة) .....
70 .....	3-2 الحركة بتسارع ثابت .....
79 .....	3-3 السقوط الحر .....



## الفصل 4

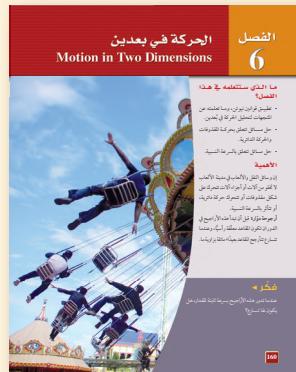
94 .....	القوى في بعد واحد .....
95 .....	4-1 القوة والحركة .....
105 .....	4-2 استخدام قوانين نيوتن .....
112 .....	4-3 قوى التأثير المتبادل .....

# فهرس المحتويات



## الفصل 5

130 .....	القوى في بعدين .....
131 .....	5-1 المتجهات .....
139 .....	5-2 الاحتكاك .....
146 .....	5-3 القوة والحركة في بعدين .....



## الفصل 6

160 .....	الحركة في بعدين .....
161 .....	6-1 حركة المقذوف .....
168 .....	6-2 الحركة الدائرية .....
172 .....	6-3 السرعة المتجهة النسبية .....

184 .....	مصادر تعليمية للطالب .....
185 .....	دليل الرياضيات .....
206 .....	الجدائل .....
208 .....	المصطلحات .....

# الفصل 1

## مدخل إلى علم الفيزياء A Physics Toolkit

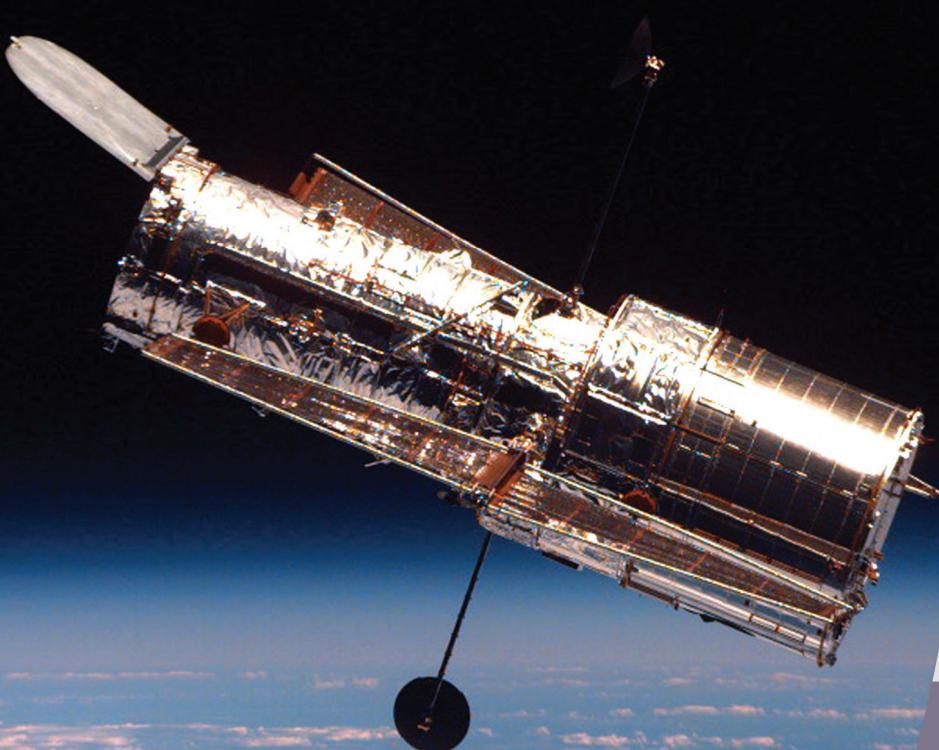
ما الذي ستعلمك في هذا الفصل؟

- استخدام الطرق الرياضية للقياس والتوقع.
- تطبيق أساس الدقة والضبط عند القياس.

### الأهمية

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

الأقمار الصناعية القياسات الدقيقة والمضبوطة مهمة جدًا في صناعة الأقمار الصناعية، وفي إطلاقها ومتتابعتها؛ لأنها ليس من السهل تدارك الأخطاء فيها بعد. وقد أحدثت الأقمار الصناعية - ومنها تلسكوب هابل الفضائي المبين في الصورة - ثورة كبيرة في مجال الأبحاث العلمية والاتصالات.



### فكرة ◀

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

## تجربة استهلاكية

### هل تسقط جميع الأجسام بالسرعة نفسها؟

سؤال التجربة كيف يؤثر وزن الجسم في سرعة سقوطه؟

#### الخطوات

3. **لاحظ** من خلال دفع القطع لراحة يدك، أيها أثقل: القطع الملتصقة أم القطعة الواحدة؟

4. **لاحظ** أنسقط القطع جميعها من يدك في الوقت نفسه، ثم لاحظ حركتها.

#### التحليل

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

**التفكير الناقد** وضح تأثير كل من الخصائص الآتية في سرعة سقوط الجسم: الحجم، الكتلة، الوزن، اللون، الشكل.



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. أصلق أربع قطع نقد معدنية (من فئة 50 هللةً) معاً باستخدام شريط لاصق.

2. ضع القطع النقدية الملتصقة على راحة يدك، وضع إلى جوارها قطعة نقد واحدة.



## 1-1 الرياضيات والفيزياء

- توضيح الطريقة العلمية.
- تجري العمليات الحسابية وفقاً للقوانين الفيزيائية، وباستخدام التعبير العلمي.

#### المفردات

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

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

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

ولعلك تخيل علماء وباحثين يرتدون معطف المختبر الأبيض، وقد تخيل وجهاً شهيرة في عالم الفيزياء مثل ألبرت أينشتاين أو إسحق نيوتن وغيرها، وقد تُفكِّر في الكثير من التطبيقات التقنية الحديثة التي طورها علم الفيزياء، ومنها الأقمار الاصطناعية، والكمبيوتر المحمول، وأشعة الليزر، وغيرها.

## ما الفيزياء؟ What is Physics?

**الفيزياء** فرع من فروع العلم يعني بدراسة العالم الطبيعي: الطاقة والمادة وكيفية ارتباطهما. فعلماء الفيزياء يدرسون طبيعة حركة الإلكترونات والصواريخ، والطاقة في الموجات الضوئية والصوتية، وفي الدوائر الكهربائية، ومكونات الكون وأصل المادة. إن الهدف من دراسة هذا الكتاب هو مساعدتك على فهم العالم الفيزيائي من حولك.

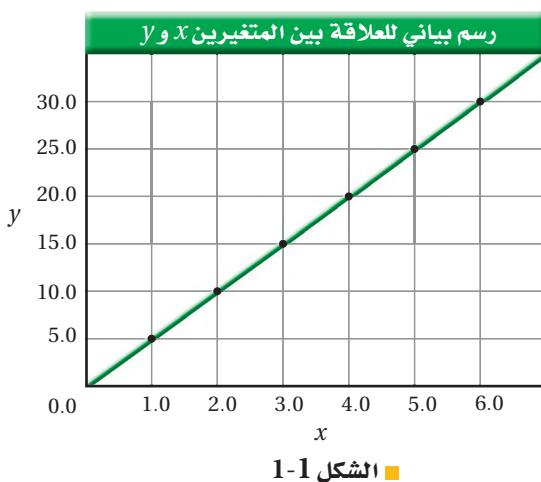
يعمل دارسو الفيزياء في مجالات ومهن عديدة؛ فبعضهم يعمل باحثاً في الجامعات والكليات أو في المصانع ومراكيز الأبحاث، والبعض الآخر يعمل في المجالات الأخرى المرتبطة مع علم الفيزياء، ومنها الفلك والهندسة وعلم الحاسوب ومجال التعليم والصيدلة. وهناك آخرون يستخدمون مهارات حل المشكلات الفيزيائية في مجالات الأعمال 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 أدلة مهمة لنمذجة المشاهدات ووضع التوقعات لتفسير الظواهر الفيزيائية المختلفة. فالعودة 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 بنهاج مختلف 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 النهاج السابقة، مما يتيح لك اختيار أفضلها، والشروع في تطوير نموذج رياضي جديد يعبر عن الظاهرة الفيزيائية بشكل أفضل.

يمكن مثلاً استخدام الرسوم البيانية؛ فهي تتيح الوصول إلى المعلومات بشكل سريع وسهل. فالأنماط التي لا يمكن رؤيتها بسهولة في قائمة من الأرقام تأخذ شكلاً واضحاً ومحددًا عندما تمثل بالرسم. وقد تأخذ النقاط المبعثرة في الرسم البياني عدة أشكال

عند توصيلها معًا بخط المواجهة الأفضل؛ وهو أفضل خط بياني يمر بالنقاط كلها تقريباً. فعند توصيل النقاط المبعثرة في الشكل المجاور نحصل على علاقة خطية طردية بين المتغيرين  $x$  ولا. ولتعرف العلاقات الأخرى ارجع إلى دليل الرياضيات في آخر الكتاب، وكتاب الرياضيات للصف الثالث المتوسط: العلاقات الخطية والعلاقات التربيعية.



## مثال 1

فرق الجهد الكهربائي  $V$  في دائرة كهربائية يساوي حاصل ضرب شدة التيار الكهربائي  $I$  في المقاومة الكهربائية  $R$  في تلك الدائرة؛ أي أن:  $(V \text{ volts}) = I(\text{amperes}) \times R(\text{ohms})$ . 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.

<b>المجهول</b>	<b>العلوم</b>
$R = ?$	$I = 0.75 \text{ amperes}$
	$V = 120 \text{ volts}$

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

نعيد كتابة المعادلة ليكون المجهول وحده على الطرف الأيسر للمعادلة

$$V = IR$$

$$IR = V$$

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

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

$$R = 160 \text{ ohms}$$

بعكس طرفي المعادلة

بقسمة كلا الطرفين على  $I$

بالتعويض  $V=120 \text{ volts}, I = 0.75 \text{ amperes}$

نحصل على المقاومة بوحدة ( $\Omega$ ) أو

### 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟  $1 \text{ volt} = 1 \text{ ampere} \cdot 1 \text{ ohm}$ . وهـذه الوحدة هي وحدة  $ohms$  نفسها، كما هو متوقع.
- هل الجواب منطقي؟ قسـم الرقم 120 على عدد أقل قليـلاً من 1، فمن المنطقي أن يكون الجواب أكبر قليـلاً من 120.

## مسائل تدريبية

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

- وصل مصباح كهربائي مقاومته  $50.0 \Omega$  في دائرة كهربائية مع بطارية فرق جهدها 9.0 volts. ما مقدار التيار الكهربائي المار في المصباح؟ علـماً بأن معادلة أوم تعطـي بالعلاقة  $(V = I \times R)$ .
- إذا تحرك جسم من السكون بتـسارع ثابت  $a$  فإن سرعته  $v_f$  بعد زمان مقداره  $t$  تـعطـي بالعلاقة  $v_f = at$ . ما تـسارع دراجة تـتحرك من السكون فـتصل سرعتها إلى  $6 \text{ m/s}$  خلال زمان قدره 4 s؟
- ما الزـمن الذي تستـغرـقه دراجة نـارية تـتسـارع من السـكـون بمـقدـار  $0.400 \text{ m/s}^2$ ، حتى تـبلغ سـرـعتـها  $4.00 \text{ m/s}$ ؟ (علـماً بأن  $v_f = at$ )
- يـحسب الضـغـط  $P$  المؤـثـر في سـطـح ما بـقـسـمة مـقدـار القـوـة  $F$  المؤـثـرة عمـودـياً عـلـى مـسـاحـة السـطـح  $A$  حيث  $P = \frac{F}{A}$ . فإذا أثـر رـجل وزـنه 520 N يـقف عـلـى الأـرـض بـضـغـط مـقدـارـه  $32500 \text{ N/m}^2$ ، فـما مـسـاحـة نـعلـى الرـجل؟

**هل هذا منطقي؟** تستخدم أحياناً وحدات غير مألوفة، كما في المثال 1، وتحتاج إلى التقدير للتحقق من أن الإجابة منطقية من الناحية الرياضية. وفي أحياناً أخرى تستطيع التتحقق من أن الإجابة تتوافق مع خبرتك، كما هو واضح من الشكل 2-1. عندما تعامل مع تجربة الأجسام الساقطة تتحقق من أن زمن سقوط الجسم الذي تحسبه يتوافق مع خبرتك. فمثلاً هل تحتاج الكرة النحاسية التي تسقط من ارتفاع 5 m إلى 0.002 s أم إلى 17 s حتى تصلك إلى سطح الأرض؟ طبعاً كلتا الإجابتين غير منطقية.

## الطريقة العلمية Scientific Method

تمثل الطريقة العلمية أسلوباً للإجابة عن تساؤلات علمية بهدف تفسير الظواهر الطبيعية المختلفة. وتبداً 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، عند قيام باحثين آخرين بإعادة التجربة والحصول على النتائج نفسها. ويوضح الشكل 3-1 مجموعة من الطلاب وهم يجرون تجربة فيزيائية لقياس المعدل الزمني للشغل الذي يبذله كل منهم في أثناء صعود الدرج؛ أي قدرة كلِّ منهم.



■ الشكل 2-1 ما القيم المنطقية لسرعة سيارة؟

### تجربة

#### قياس التغير

اجمع خمس حلقات معدنية متماثلة، ونابضاً يستطيع بشكل ملحوظ عندما يعلق به حلقة معدنية.

1. قس طول النابض، ثم قسسه عندتعليق حلقة، ثم حلقتين، ثم 3 حلقات معدنية به.

2. ارسم بيانيًّا العلاقة بين طول النابض والكتلة المعلقة به.
3. توقع طول النابض عند تعليق 4 حلقات به ثم 5.
4. اختبر توقعاتك.

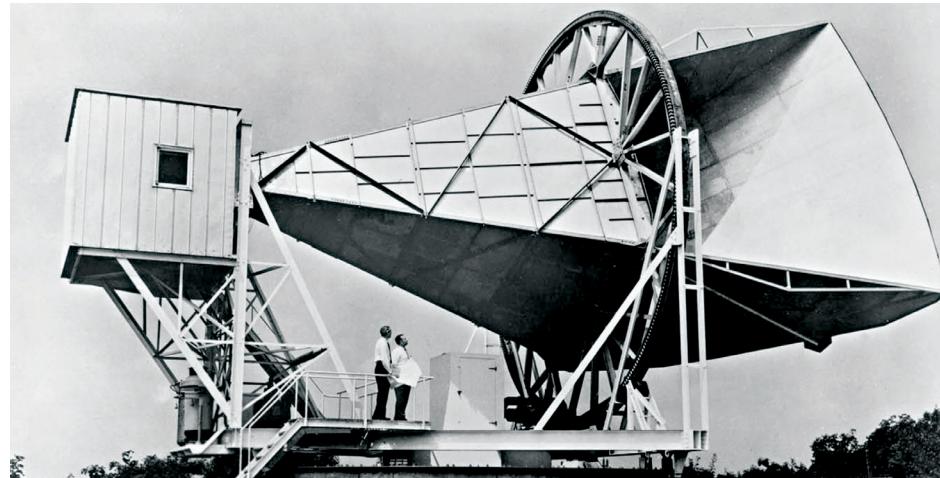
#### التحليل والاستنتاج

5. صُف شكل الرسم البياني، وكيف تستخدمه لتتوقع طولين جديدين؟

■ الشكل 3-1 يُجري هؤلاء الطلاب تجربة لتحديد قدرة كلِّ منهم عند صعود الدرج. ويستخدم كل طالب نتائجه لتتوقع الزمن اللازم لرفع ثقل مختلف باستخدام القدرة نفسها.

#### ■ الشكل 4 في منتصف السبعينيات 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. وقد دعم ذلك دعماً تجريرياً لنظرية الانفجار العظيم.



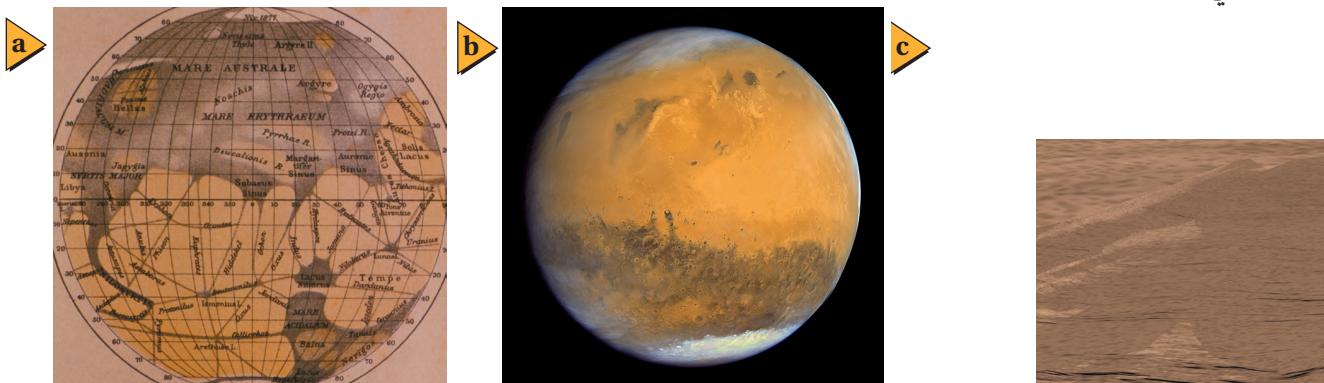
**النماذج والقوانين والنظريات** يطلق على نمذجة فكرة أو معادلة أو تركيب أو نظام لظاهرة نحوال تفسيرها، **النماذج العلمية**، ولها أنواع متعددة منها: النماذج المادية، والخاسوبية، والفكيرية وغيرها، وهي تعتمد على التجريب، وتساعد على تصور أو تخيل الأشياء التي تصعب رؤيتها، ودوروس الكيمياء تعيid إلى الأذهان النماذج المختلفة للذرة التي استخدمت عبر الزمن، حيث ترافق ظهور نماذج ذرية جديدة بهدف تفسير المشاهدات والقياسات الحديثة.

وإذا لم تؤكّد البيانات الجديدة صحة النموذج وجب إعادة اختبار كلّيّها. ويُظهر الشكل 4 مثلاً تاريخياً على ذلك. وإذا أثيرت تساؤلات حول نموذج علمي معتمد، يقوم الفيزيائيون أو لا 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 4 a. وبعد تطور المناظير الفلكية (التلسكوبات) أثبت العلماء أنه لا يوجد مثل هذه العلامات، كما هو واضح في الشكل 4 b.

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

#### ■ الشكل 5 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 متقدمة (b). وتظهر صخور رسوبية طبقية في صورة أحدث لسطح المريخ، مما يشير إلى أن هذه الطبقات قد تكونت في مياه راكدة (c).



**القانون العلمي** قاعدة طبيعية تجمع مشاهدات مترابطة لوصف ظاهرة طبيعية متكررة، ويعبر عنها بعبارة تصف العلاقة بين متغيرين أو أكثر، ويمكن التعبير عن هذه العلاقة في معظم الحالات بمعادلة رياضية. فعلى سبيل المثال ينص قانون حفظ الشحنة على أنه خلال التحولات المختلفة للهادئة تبقى الشحنة الكهربائية ثابتة قبل التحول وبعده. وينص قانون الانعكاس على أن زاوية سقوط الشعاع الضوئي على السطح العاكس تساوي زاوية انعكاسه عن السطح نفسه. لاحظ أن القانون لا يفسر سبب حدوث هذه الظواهر ولكنه يقدم وصفاً لها.

**النظريّة العلميّة** إطار يجمع بين عناصر البناء العلمي في موضوع من موضوعات العلم، وهو قادر على تفسير المشاهدات واللاحظات المدعومة بنتائج تجريبية لاتعارض 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 تفسيراً للقوانين، وهي أفضل تفسير ممكن لمبدأ عمل الأشياء. فعلى سبيل المثال، تنص نظرية الجاذبية الكونية على أن جميع الكتل في الكون تنجدب إلى كتل أخرى ويجدب بعضها بعضاً. وقد تراجعت القوانين والنظريات أو تُهمَّل مع الزمن، كما هو واضح في **الشكل 6-1**. ويطلق اسم نظرية فقط على التفسير الذي تدعمه بقوة نتائج التجارب العملية.

**الشكل 6-1** تغيير النظريات وتُعدل عندما توفر التجارب الجديدة ملاحظات جديدة. فنظرية سقوط الأجسام مثلأ 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

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

مراجعة

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

## 1-1 مراجعة

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  $9.80 \text{ m/s}^2$ . وفي تجربة لقياسها باستخدام البندول حصلت على قيمة  $9.4 \text{ m/s}^2$ . هل تقبل هذه القيمة؟ فسر إجابتك.

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:

القوة المؤثرة بوحدة  $\text{kg.m/s}^2$

$q$  الشحنة بوحدة  $\text{A.s}$

$v$  السرعة بوحدة  $\text{m/s}$

$B$  كثافة الفيصل المغناطيسي بوحدة  $\text{T}$  (tesla). ما وحدة  $T$  مُعبرًا عنها بالوحدات أعلاه؟

## 2-1 القياس Measurement

عندما تزور الطبيب لإجراء الفحوصات الطبية فإنه يقوم بإجراء عدة قياسات، طولك وكتلك وضغط دمك ومعدل دقات قلبك، وحتى نظرك يقاس ويعبر عنه بأرقام، كما يتمأخذ عينة من الدم لإجراء بعض القياسات، ومنها مستوى الحديد أو الكوليسترول في الدم. فالقياسات تحول مشاهداتنا إلى مقايير كمية يمكن التعبير عنها بالأرقام ؛ فلا يقال إن ضغط الدم - عند شخص - جيد إلى حد ما، بل يقال إن ضغط دمه  $\frac{110}{60}$  مثلاً، وهو الحد الأدنى المقبول لضغط الدم في الإنسان. انظر الشكل 7-1.

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

### النظام الدولي للوحدات SI Units

لتعليم النتائج بشكل مفهوم لدى الناس جميعاً من المفيد استخدام وحدات قياس متفق عليها. ويعدّ النظام الدولي للوحدات النظام الأوسع انتشاراً 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 والكتلة، محفوظة بدائرة الأوزان والمقاييس بمدينة ليون بفرنسا، كما هو موضح في الشكل 8-1. أما الوحدات الأخرى التي تسمى الوحدات المشتقة فيمكن اشتقاقها من وحدات الكميات الأساسية بطرق مختلفة. فمثلاً تقادس الطاقة باستخدام وحدة (J) (Coulombs Joule حيث  $J = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ )، وتقاس الشحنة الكهربائية بوحدة  $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$ .

### الأهداف

- تعرف النظام الدولي للوحدات.
- تستخدم تحليل الوحدات للتحويل من وحدة إلى أخرى.
- تقوم الإجابات باستخدام تحليل الوحدات.
- تميّز بين الدقة والضبط.
- تحديد دقة الكميات المقيسة.

### المفردات

القياس  
تحليل الوحدات  
دقة القياس  
الضبط



■ الشكل 1-7 يستخدم هذا الشخص جهاز قياس ضغط إلكترونياً لقياس ضغط دمه.

## جدول 1-1

### الكميات الأساسية ووحدات قياسها في النظام الدولي

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



■ الشكل 1-8 الوحدتان المعياريتان

للكيلوجرام والمتر موضحتان في الصورة.

ويعُرَّف المتر المعياري بأنه المسافة بين

إشارتين على قضيب من البلاتينيوم

والأريديوم، ولما كانت طرق قياس الزمن

أدق من طرق قياس الطول فإن المتر يعرَّف

بأنه المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ

$$\text{في } \frac{1}{299792458} \text{ ثانية.}$$

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 مررفاً إلى قوة ملائمة. وهناك مجموعة بادئات (أجزاء ومضاعفات) تُستَخدَم في تحويل وحدات النظام الدولي باستخدام قوة مناسبة للرقم 10، كما هو موضح في الجدول 1-2، والتي قد تصادف العديد منها في حياتك اليومية، مثل nanoseconds، milligrams، مثل gigabytes ... إلخ.

## جدول 1-2

### البادئات المستخدمة مع وحدات النظام الدولي

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

## تحليل الوحدات Dimensional Analysis

تستطيع استخدام الوحدات للتحقق من صحة إجابتكم؛ فأنت تستخدم عادةً 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 تتحقق من أن وحدات إجابتكم صحيحة، كما هو واضح في الخطوة رقم 3 في المثال 1. على سبيل المثال إذا وجدت عند حساب السرعة أن الإجابة بوحدة  $m/s$  أو  $s/m$  أو  $s^2/m$ ، 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 واحداً صحيحاً (1). على سبيل المثال  $g = 1000 \text{ g}$ ، ومن هنا تستطيع بناء معامل التحويل الآتي:

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

$$1 = \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \quad \text{أو}$$

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

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

وقد تحتاج أيضاً إلى عمل سلسلة من التحويلات. فلتتحويل  $43 \text{ km/h}$  إلى  $\text{m/s}$  مثلاً نقوم بما يأتي:

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

### ► مسائل تدريبية

استخدم تحليل الوحدات للتحقق من المعادلة قبل إجراء عملية الضرب.

9. كم MHz في 750 kHz؟

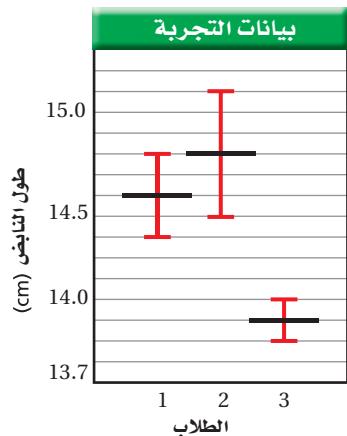
10. عَّرِّ عن  $5201 \text{ cm}$  بوحدة  $\text{km}$ .

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

12. حَوَّل السرعة  $5.30 \text{ m/s}$  إلى  $\text{km/h}$ .



## الدقة والضبط



■ **الشكل 9-1** إذا نفذ ثلاثة طلاب التجربة نفسها فهل تتطابق القياسات؟ هل تتكرر نتيجة الطالب الأول؟

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 علق كل منهم حلقتين معدنيتين، وكرر التجربة مسجلاً عدة قياسات.

عندما أجرى الطالب الأول التجربة تراوحت قياسات طول النابض بين 14.4 cm و 14.8 cm ، وكان متوسط قياساته 14.6 cm (انظر الشكل 9-1).

كرر الطالبان الثاني والثالث الخطوات نفسها، وكانت النتائج كما يأتي:

- قياسات الطالب الأول:  $14.6 \pm 0.2$  cm .
- قياسات الطالب الثاني:  $14.8 \pm 0.3$  cm .
- قياسات الطالب الثالث:  $14.0 \pm 0.1$  cm .

ما مقدار كل من دقة وضبط القياسات في التجربة السابقة؟ تسمى درجة الإتقان في القياس **دقة القياس**، وتُعبر عن مدى تقارب نتائج القياس بغض النظر عن صحتها. إن قياسات الطالب الثالث هي الأكثر دقة، وبهامش خطأ مقداره  $\pm 0.1$  cm بينما كانت قياسات الطالبين الآخرين أقل دقة، وبهامش خطأ أكبر.

تعتمد الدقة على كل من الأداة والطريقة المستخدمة في القياس. وعموماً كلما كانت الأداة ذات تدرج أصغر كانت القياسات أكثر دقة، ودقة القياس تساوي نصف قيمة أصغر تدرج في الأداة. فعلى سبيل المثال، للمسطرة في الشكل 10a تدرجات كل منها يساوي 0.1 cm . ونستطيع من خلال هذه الأداة أن تقيس بدقة تصل إلى 0.05 cm ، أما المسطرة المبيّنة في الشكل 10b فإن أصغر تدرج هو 0.5 cm . ما دقة القياس لهذه المسطرة؟ وما دقة قياساتك عندما أجريت تجربة النابض مع الحلقات المختلفة؟

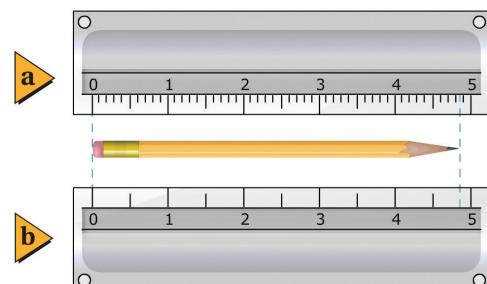


1.1.2 تعزيز قيم الإتقان والانضباط

### دليل الرياضيات

القياسات والأرقام المعنوية 185–189

■ **الشكل 10-1** طول قلم الرصاص (a)  $(4.85 \pm 0.05)$  cm ، في حين طول قلم الرصاص (b)  $(4.8 \pm 0.25)$  cm .



يصنف 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، وتم أو لاً بمعايرة صفر الجهاز، ثم بمعايرة الجهاز، بحيث يعطي قيمة مضبوطة وصحيحة عندما يقيس كمية ذات قيمة معتمدة. انظر الشكل 11-1. ومن الضروري إجراء الضبط الدوري للأجهزة في المختبر، ومنها الموازين والجلفانومترات.



■ الشكل 11-1 يُختبر الضبط عن طريق قياس قيمة معروفة.

## 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 شيوعاً ما يتحقق عن الزاوية التي تؤخذ القراءة من خلاها؛ حيث يجب أن تقرأ التدرجات بالنظر عمودياً وبعين واحدة، كما هو موضح في الشكل 12a-1. أما إذا قرأت التدرج بشكل مائل، كما هو موضح في الشكل 12b، فإننا نحصل على قيمة مختلفة وغير مضبوطة، ويتحقق هذا عادةً 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 التدرج، ثم اقرأ التدرج بعد أن تحرف رأسك إلى جهة اليمين أو جهة اليسار.

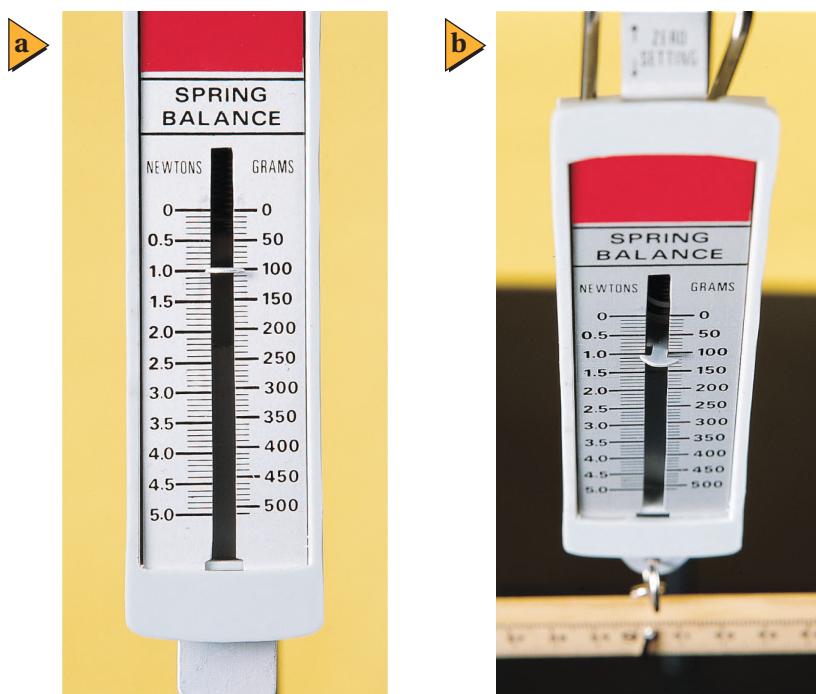


تجربة  
عملية

ما العلاقة بين الكتلة والحجم؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثائية

■ الشكل 12-1 عند النظر إلى التدرج بشكل عمودي كما في (a) تكون قراءاتك 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. تتعكس حزمة أشعة الليزر عن سطح عاكس وضع على سطح القمر وترتدي عائدية إلى الأرض، مما مكن 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 يتبع عن الأرض سنوياً بمعدل 3.8 cm/yr



## ● مسألة تحضير

يعبر عن الطاقة الكهربائية المستهلكة في المنازل بوحدة كيلوواط.ساعة (kWh). فإذا كانت قراءة عداد الكهرباء في منزل 300 kWh خلال شهر فعبر 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

17. **الخطاء** أخبرك صديقك أن طوله 182 cm، ووضح مدى دقة هذا القياس.

18. **الدقة** صندوق طوله 19.2 cm، وعرضه 20.3 cm، وارتفاعه 18.1 cm

a. ما حجم الصندوق؟

b. ما دقة قياس الطول؟ وما دقة قياس الحجم؟

c. ما ارتفاع مجموعة من 12 صندوقاً من النوع نفسه؟

d. ما دقة قياس ارتفاع الصندوق مقارنة بدقة قياس ارتفاع 12 صندوقاً؟

19. **التفكير الناقد** كتب زميلك في تقريره أن متوسط الزمن اللازم ليدور جسم دورة كاملة في مسار دائري هو  $414 \text{ s}$ . وقد سجلت هذه القراءة عن طريق قياس زمن 7 دورات باستخدام ساعة دقتها 0.1 s. ما مدى ثقتك في النتيجة المدونة في التقرير؟ ووضح إجابتك.

13. **مغناطيسية بروتون** شحنته  $1.6 \times 10^{-19} \text{ A.s}$

يتحرك بسرعة  $2.4 \times 10^5 \text{ m/s}$  عمودياً على مجال

مغناطيسي شدته  $4.5 \text{ T}$ . لحساب القوة المغناطيسية

المؤثرة في البروتون:

a. عوّض بالقيم في المعادلة  $F = Bqv$ ، 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 ميكرومتر (جهاز يستخدم لقياس طول الأجسام أو قطرها إلى أقرب  $0.01 \text{ mm}$ ) مُنْحَنِ بشكل سيئ. كيف تقارنه بمسطرة متيرة ذات نوعية جيدة، من حيث الدقة والضبط؟

16. **اختلاف زاوية النظر** هل يؤثر اختلاف زاوية النظر في دقة القياسات التي تجريها؟ ووضح ذلك.

# مختبر الفيزياء • الإنترنٌت

## 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 تعقيداً. كيف تستطيع قياس سرعة المركبات في شريط فيديو؟

### سؤال التجربة

ما أنواع القياسات التي يمكن إجراؤها لإيجاد سرعة مركبة؟

#### الخطوات

1. لاحظ أن لقطات الفيديو أخذت في وقت الظهيرة. وأنه يوجد على امتداد الجانب الأيمن من الطريق مستويات طويلة من طلاء أبيض تستخدم للاحظة حركة المرور من الجو، وأن هذه العلامات تتكرر بانتظام كل  $0.322 \text{ km}$ .
2. **لاحظ** ما أنواع البيانات التي يمكن جمعها؟ نظم جدولًا 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؟
3. **قس وقدّر** أعد مشاهدة الفيديو مرة ثانية ولاحظ تفاصيل أخرى. هل الطريق مستويٌ في أي اتجاه تتحرك المركبات؟ ما الزمن اللازم لتقطع كل مركبة المسافة بين إشارتين؟ سجل ملاحظاتك وبياناتك.

#### 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



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

تأثيرها؟ كيف تحسن قياساتك؟ ما الوحدات المنطقية للسرعة في هذه التجربة؟ إلى أي مدى تستطيع توقيع موقع السيارة؟ نفذ التجربة إذا أمكن، ولنصل نتائجك.

### التحليل

- لخص ملاحظاتك النوعية.
- لخص ملاحظاتك الكمية.
- مثل بيانات الخطوتين السابقتين على محورين متوازيين** (المسافة مع الزمن).
- قدّر** سرعة المركبات بوحدة km/h و s/km.
- توقع** المسافة التي ستقطعها كل مركبة في خمس دقائق.

### الفيزياء في الحياة

عندما يشاهد عداد السرعة كُلُّ 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. فسر هذا الاختلاف.

### التواصل

#### صمم تجربة :

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

### الاستنتاج والتطبيق

- احسب الدقة في قياس المسافة والزمن.
- احسب الدقة في قياس السرعة، وعلام تعتمد؟
- استخدام المتغيرات والتوابع صفات المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة في هذه التجربة.
- قارن** أي الرسوم البيانية التي حصلت عليها للمركبات ذات ميل أقل؟ وماذا يساوي هذا الميل؟
- استنتاج ما الذي يعنيه حصولك على خط أفقي (موازٍ لمحور الزمن) عند رسم علاقة المسافة مع الزمن؟

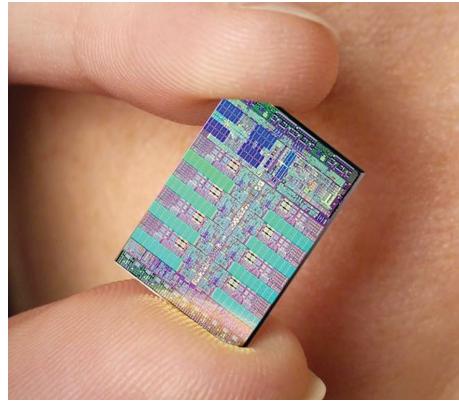
### التوسيع في البحث

السرعة هي المسافة المقطوعة مقسومة على الزمن الذي قطعت فيه. ووضح كيف تستطيع قياس السرعة في غرفة الصف باستخدام سيارة صغيرة تعمل بالتحكم عن بعد؟ ما العلامات التي ستستخدمها؟ كيف تستطيع قياس المسافة والزمن بدقة؟ هل تؤثر الزاوية التي يؤخذ منها قياس اتجاه السيارة للإشارة في النتائج؟ وما مدى

# تقنية المستقبل

## تاريخ تطور الحاسوب Computer History and Growth

**الذاكرة** كانت صناعة ذاكرة الجيل الأول من الحواسيب مكلفة جدًا، 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.

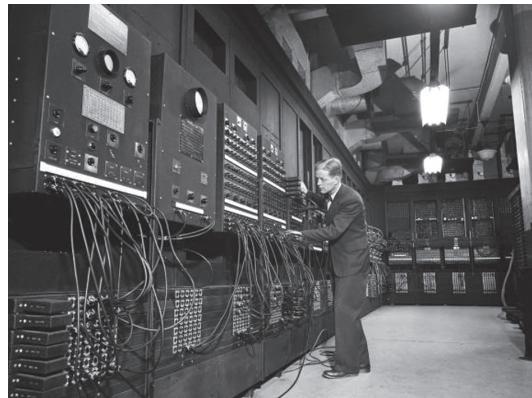


ومن الطريف أن تعلم أن سعة ذاكرة الحاسوب الذي كان على متن سفينة أبواللو الفضائية التي هبطت على سطح القمر لم تكن تتجاوز 64 kb.

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

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 بمقدمة الحواسيب الأولى حل المعادلات المعقولة، لكنها كانت تستغرق وقتاً طويلاً، حيث كان علماء الحاسوب آنذاك يواجهون تحديات حقيقة في تحويل الصور إلى صيغ يستطيع الحاسوب معالجتها، إضافة إلى الأحجام الضخمة للحواسيب والتكلفة المادية المرتفعة لذاكرتها.



**كم أن أحجام الحواسيب** كانت ضخمة جدًا؛ 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.

# الفصل 1

## دليل مراجعة الفصل

### 1-1 الرياضيات والفيزياء Mathematics and Physics

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"><li>الفيزياء علم دراسة المادة والطاقة وال العلاقة بينهما.</li><li>الطريقة العلمية عملية منظمة للمشاهدة والتجريب والتحليل للإجابة عن الأسئلة حول العالم الطبيعي.</li><li>الفرضية تخمين علمي عن كيفية ارتباط المتغيرات بعضها مع بعض.</li><li>تسهيل النماذج العلمية دراسة وتفسير الظواهر الطبيعية والعلمية.</li><li>القانون العلمي قاعدة طبيعية تجمع مشاهدات متراقبة لوصف ظاهرة طبيعية متكررة.</li><li>النظرية العلمية إطار يجمع بين عناصر البناء العلمي في موضوع من موضوعات العلم، وهي قادرة على تفسير المشاهدات واللاحظات المدعومة بنتائج تجريبية.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>الفيزياء</li><li>الطريقة العلمية</li><li>الفرضيات</li><li>النماذج العلمية</li><li>القانون العلمي</li><li>النظرية العلمية</li></ul>

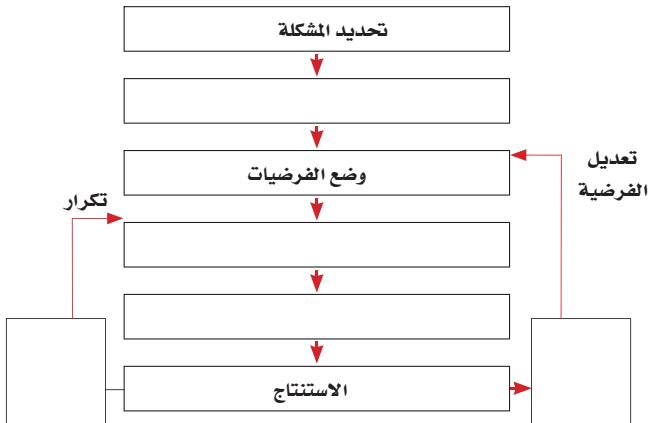
### 2-1 القياس Measurement

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"><li>يستخدم طريقة أو أسلوب تحليل الوحدات للتحقق من أن وحدات الإجابة صحيحة.</li><li>القياس مقارنة كمية مجهولة بأخرى معيارية.</li><li>الدقة هي درجة الإتقان في القياس، وتُعبر عن مدى تقارب نتائج القياس بغض النظر عن صحتها.</li><li>يصف الضبط كيف تتفق نتائج القياس مع القيمة المقبولة في القياس معبراً عن صحتها.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>القياس</li><li>تحليل الوحدات</li><li>دقة القياس</li><li>الضبط</li></ul>

# الفصل 1 التقويم

## خريطة المفاهيم

20. أكمل خريطة المفاهيم أدناه بما يناسبها من خطوات الطريقة العلمية.



## اتقان 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 تسمى قيم المتر الآتية؟ (1-2)

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

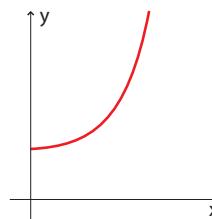
25. في تجربة عملية، قيس حجم الغاز داخل باللون وحددت علاقته بتغير درجة الحرارة. ما المتغير المستقل، والمتغير التابع فيها؟

(دليل الرياضيات 194)

26. ما نوع العلاقة الموضحة في الشكل الآتي؟

(دليل الرياضيات 196-201)

الشكل 1-13



الشكل 1-14



27. لديك العلاقة الآتية  $F = \frac{mv^2}{r}$ . ما نوع العلاقة بين كل مما يأتي؟ (دليل الرياضيات 196-201)

- a.  $F$  و  $r$
- b.  $m$  و  $F$
- c.  $v$  و  $F$

## 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 الحجم 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  $3.001 \pm 0.001 \times 10^8 \text{ m/s}$  ( $3.001 \pm 0.001$  )، وحصل الثاني على  $2.999 \pm 0.006 \times 10^8 \text{ m/s}$  ( $2.999 \pm 0.006$  ).

- a. أيهما أكثر دقة؟
- b. أيهما أكثر ضبطاً؟ علمًا بأن القيمة المعيارية لسرعة الضوء هي:  $2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$

31. ما طول ورقة الشجر المبينة في الشكل 1-14؟

ضمن إجابتك خطأ القياس.

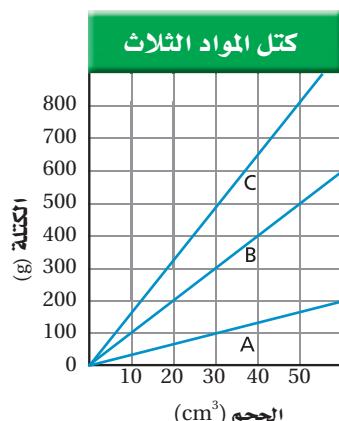
# تقويم الفصل 1

37. اقرأ القياس الموضح في الشكل 1-16، وضمن خطأ القياس في الإجابة.



الشكل 1-16

38. يمثل الشكل 1-16 العلاقة بين كتل ثلاث مواد وحجمها التي تراوح بين  $0-60 \text{ cm}^3$ .
- a. ما كتلة  $30 \text{ cm}^3$  من كل مادة؟
- b. إذا كان لديك  $100 \text{ g}$  من كل مادة فما حجم كل منها؟
- c. ماذا يمثل ميل الخطوط المبينة في الرسم؟ ووضح ذلك بجملة أو جملتين.



الشكل 1-17

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

## اتقان حل المسائل

### ١-١ الرياضيات والفيزياء

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

- a. أوجد القوة المؤثرة في جسم كتلته  $41.63 \text{ kg}$ .  
b. إذا كانت القوة المؤثرة في جسم هي  $632 \text{ kg.m/s}^2$ ، فما كتلة هذا الجسم؟

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

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

### ١-٢ القياس

34. حول كلًا مما يأتي إلى متر:

42.3 cm .a

6.2 pm .b

21 km .c

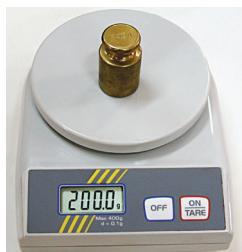
0.023 mm .d

214  $\mu\text{m}$  .e

57 nm .f

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

36. ما دقة القياس التي تستطيع الحصول عليها من الميزان الموضح في الشكل 1-15؟



الشكل 1-15

# تقويم الفصل 1

## التفكير الناقد

41. احسب كتلة الماء بوحدة kilograms اللازمه ملء وعاء طوله 1.4 m، وعرضه 0.600 m، وعمقه 34.0 cm، علماً بأن كثافة الماء تساوي  $1.00 \text{ g/cm}^3$ .

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 تغيير الأفكار حول موضوع أو كشف علميٌّ ما مع مرور الزمن. تأكيد 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.

شوانٍ تحت تأثير كل قوة منها، وحصل على الجدول الآتي: (دليل الرياضيات 197–201)

الجدول 3-3	
المسافة المقطوعة تحت تأثير قوى مختلفة	
المسافة (cm)	القوة (N)
24	5.0
49	10.0
75	15.0
99	20.0
120	25.0
145	30.0

- a. مثل بيانياً القيم المعطاة بالجدول، وارسم خط المواجهة الأفضل (الخط الذي يمر بأغلب النقاط).
- b. صف الرسم البياني الناتج.
- c. استخدم الرسم لكتابه 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  $1.7 \times 10^{21}$  جزيء. إذا كان الماء يتبخّر بمعدل مليون جزيء في الثانية فاحسب الزمن اللازّم لتبخّر قطرة الماء تماماً.



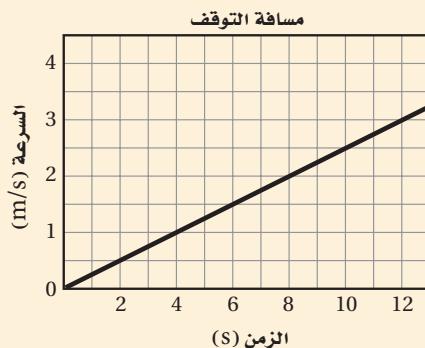
# اختبار مقمن

5. ميل الخط المستقيم المرسوم في الشكل أدناه يساوي:

(دليل الرياضيات 199)

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

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



## الأسئلة الممتدة

6. إذا أردت حساب التسارع بوحدة  $\text{m/s}^2$ , فإذا كانت القوة مقيسة بوحدة N، والكتلة بوحدة g، حيث:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

a. فأعد كتابة المعادلة  $F = ma$  بحيث تعطى قيمة التسارع  $a$  بدلالة  $m$  و  $F$ .

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 تستخدمنا في حساب التسارع؟ ضمن الإجابة معامل التحويل.

## ✓ إرشاد

### حاول أن تتخبط

قد ترغب في تخطّي المسائل الصعبة وتعود إليها لاحقاً. إن إجابتكم عن الأسئلة السهلة قد تساعدهم على الإجابة عن الأسئلة التي تخطّيتها.

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمزاً للإجابة الصحيحة فيما

يأتي:

1. استخدم العمالان (A) و (B) تقنية التاريخ بالكربون المشع لتحديد عمر رمرين خشبيين اكتشفاهما في كهف. فوجد العالم A أن عمر الرمح الأول هو:  $2250 \pm 40$  years ووجد العالم B أن عمر الرمح الثاني هو  $2215 \pm 50$  years. أي الخيارات الآتية صحيحة؟

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

(B) قياس العالم A أقل ضبطاً 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  $86.2 \text{ cm}$ ؟

$8.62 \times 10^{-4} \text{ km}$  (C)     $8.62 \text{ m}$  (A)

$862 \text{ dm}$  (D)     $0.862 \text{ mm}$  (B)

3. إذا أعطيت المسافة بوحدة km والسرعة بوحدة  $\text{m/s}$ ، فأي العمليات أدناه تعبّر عن إيجاد الزمن بالثاني (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  $?D = \frac{m}{V}$ ؟

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

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

# الفصل 2

## تمثيل الحركة Representing Motion

ما الذي ستعلمك في هذا الفصل؟

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

### الأهمية

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

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

### فكرة

كيف يمكنك تمثيل حركتي سيارتين؟



## تجربة استهلاكية

### أي السيارتين أسرع؟

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

#### الخطوات

1. أحضر سيارتين لعبة تعملان بانضغاط النابض، وضعها على طاولة المختبر، أو على أي سطح آخر يقترحه المعلم.
2. حدد خطّاً لبداية السباق.
3. عبّئ نابضي السيارتين، ثم أطلقهما من خط البداية في اللحظة نفسها.
4. لاحظ حركة السيارتين عن قرب لتحديد أيهما أسرع.
5. كرر الخطوات 1-3 واجمع نوعاً واحداً من البيانات لدعم استنتاجك في تحديد السيارة الأسرع.



## 2-1 تصوير الحركة

تعرفت في الفصل السابق الطريقة العلمية التي تفيدهك في دراسة الفيزياء. وسوف تبدأ في هذا الفصل استخدامها في تحليل الحركة، كما تقوم لاحقاً بتطبيقاتها على جميع أنماط الحركة باستخدام المخططات التوضيحية والرسوم البيانية والأنظمة الإحداثية، 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 ساكناً، أو متراكماً بسرعة متناظمة (ثابتة مقداراً واتجاهًا). إن إدراك الحركة أمر غريري؛ فعيناك تتبعان غريزياً إلى الأجسام المتحركة أكثر من الانتباه إلى الأجسام الساكنة؛ فالحركة موجودة في كل مكان حولنا، بدءاً بالقطارات السريعة إلى النسائم الخفيفة والغيوم البطيئة.

### الأهداف

- تمثّل حركة جسم بالمخطط التوضيحي للحركة.

- ترسم نموذج الجسم النقطي لتمثيل حركة جسم.

### المفردات

المخطط التوضيحي للحركة  
نموذج الجسم النقطي.

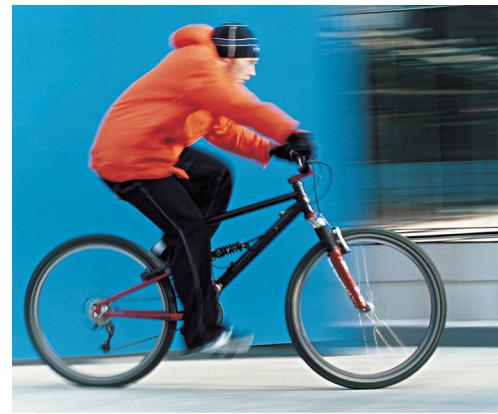
## أنواع الحركة Kinds of Motion

ما الذي يتبادر إلى ذهنك عندما تسمع كلمة حركة، أو سيارة مسرعة، أو ركوب الدراجة الهوائية، أو كرة القدم ترتفع فوق سياج المنزل، أو طفل يتارجح إلى الأمام وإلى الخلف بشكل منتظم؟

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

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

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



■ **الشكل 1-2** يغير راكب الدراجة الهوائية موقعه في أثناء حركته. وفي هذه الصورة كانت آلة التصوير مرکزة على الراكب، لذا نجدخلفية غير واضحة، وهي تدل على أن موقع الراكب قد تغير.

## المخططات التوضيحية للحركة Motion Diagrams

يمكن تمثيل حركة عداء بالتقاط سلسلة من الصور المتتابعة التي تُظهر موقع العداء في فترات زمنية متساوية. ويُظهر **الشكل 2-2** كيف تبدو الصور المتتابعة لعداء. لاحظ أن العداء يَظْهُر 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 موقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية، كما في **الشكل 2-3**، عندئذ يُطلق على هذا الترتيب مصطلح **المخطط التوضيحي للحركة**.

■ **الشكل 2-2** إذا ربطت موقع العداء مع الخلفية في كل صورة في فترات زمنية متساوية فسوف تستنتج أنه في حالة حركة.



## نموذج الجسيم النقطي

### The Particle Model

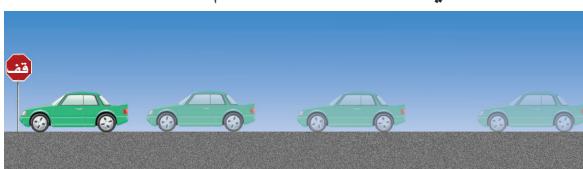
يسهل تتبع مسار حركة العداء عند تجاهل حركة الأذرع والأرجل، كما يمكن تجاهل جسم العداء كله والاكتفاء بالتركيز على نقطة صغيرة مفردة في مركز جسمه (جسيم نقطي). وبتمثيل حركة العداء بسلسلة متتابعة من النقاط المفردة يمكنك الحصول على **نموذج الجسيم النقطي**، كما هو موضح في الجزء السفلي من الشكل 3-2. وحتى تستَخدم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



■ **الشكل 3-2** إن ترتيب سلسلة من الصور المتلاحقة الملتقطة في فترات زمنية منتظمة وجمعها في صورة واحدة يُعطي مخططاً توضيحيّاً لحركة العداء. واختزال حركة العداء إلى نقاط مفردة متتابعة ينتج لنا نموذج الجسيم النقطي لحركته.

## 1-2 مراجعة

3. **نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة** ارسم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل يتناسب مع المخطط التوضيحي لحركة سيارة ستأتوقف عند إشارة مرورية، كما في **الشكل 3-2**. حدد النقطة التي اخترتها على جسم السيارة لتمثيلها.



■ **الشكل 3-5**

4. **التفكير الناقد** ارسم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل حركة عدّاءين في سباق، عندما يتجاوز الأول خط النهاية يكون الآخر قد قطع ثلاثة أرباع مسافة السباق فقط.

1. **نموذج الجسيم النقطي لحركة دراج** ارسم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل حركة راكب دراجة هوائية بسرعة ثابتة.

2. **نموذج الجسيم النقطي لحركة طائر** ارسم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل يتناسب مع المخطط التوضيحي لحركة طائر في أثناء طيرانه، كما في **الشكل 4-2**. ما النقطة التي اخترتها على جسم الطائر لتمثيله؟



■ **الشكل 4-2**



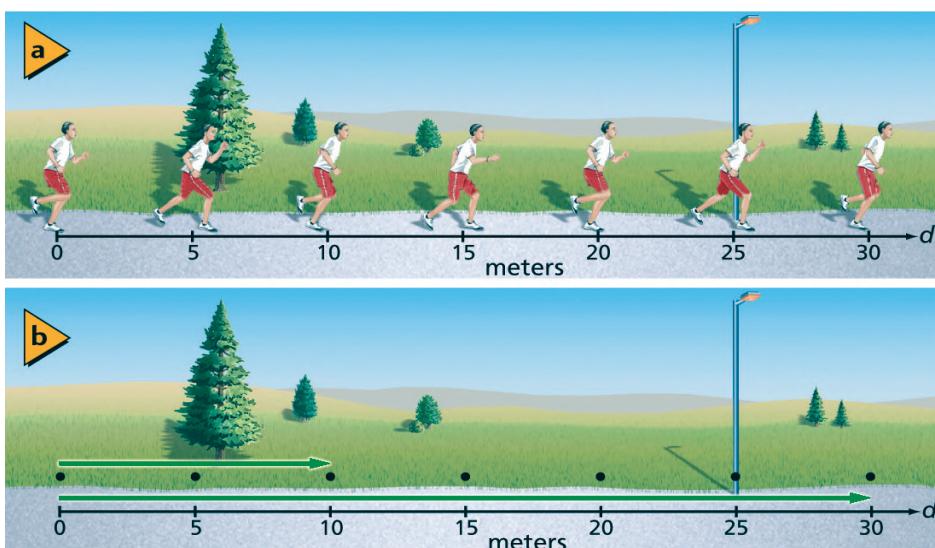
## 2-2 الموقع والزمن Positon and Time

هل من الممكنأخذ قياسات المسافة والزمن من المخططات التوضيحية للحركة، ومنها المخطط التوضيحي لحركة العداء؟ قبل التقاط الصور يمكنك وضع شريط قياس متري على الأرض على امتداد مسار العداء ليرشدك إلى مكان العداء 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 تُقرر أين تضع شريط القياس، ومتى تشغيل 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 (الموقع - الزمن) صفرًا. ونقطة الأصل في مثال العداء تم تثبيتها بالنهاية الصفرية لشريط القياس، الذي يمكن وضعه على بعد 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 تدريجياً المقياس المتري عن يمين الصفر، كما أن وضعه في الاتجاه المعاكس صحيح أيضاً. في الشكل 6a-2 نقطة الأصل للنظام الإحداثي تقع في جهة اليسار.

يمكنك أن تعين بعد العداء عن نقطة الأصل عند لحظة معينة على المخطط التوضيحي للحركة، وذلك برسم سهم من نقطة الأصل إلى النقطة التي تمثل موقع العداء؛ في هذه اللحظة، كما هو مبين في الشكل 6b-2. وهذا السهم يمثل **موقع العداء**؛ حيث يدل طول السهم على بعد الجسم عن نقطة الأصل؛ ويتجه هذا السهم دوماً من نقطة الأصل إلى موقع الجسم المتحرك.



### الأهداف

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

### المفردات

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

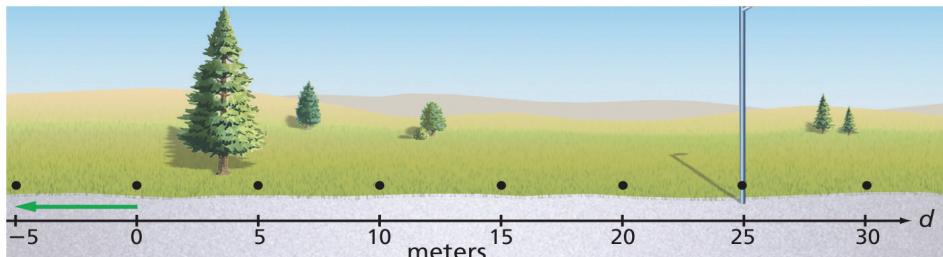
#### الشكل 6-2 في هذه الأشكال التوضيحية

للحركة، تقع نقطة الأصل عن اليسار

a. القيم الموجبة للموقع تمتد أفقياً إلى اليمين.

b. السهام المرسومان من نقطة الأصل إلى نقطتين يحددان موقع العداء في زمان مختلفين.

لكن هل هناك موقع سالب؟ افترض أنك اخترت نظاماً إحداثياً كالذى وضعته، واخترت نقطة الأصل على بعد 4 m عن يسار الشجرة على محور الموقع الذي يمتد في الاتجاه الموجب نحو اليمين، فإن الموقع الذي يبعد 9 m عن يسار الشجرة يبعد 5 m عن يسار نقطة الأصل ويكون موقعه سالب، كما يظهر في الشكل 7-2.



الشكل 7-2 السهم المرسوم على المخطط التوضيحي للحركة يشير إلى موقع سالب.

**الكميات الفيزيائية المتجهة والكميات الفيزيائية القياسية (العددية)** الكميات الفيزيائية التي يتطلب تعينها تحديد مقدارها واتجاهها وفقاً لنقطة الإسناد - ومنها الإزاحة والقوة - تسمى **كميات متجهة**، ويمكن تمثيلها بالأسهم، وغالباً 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 البسط العريض (**Bold**) لتمثيل الكميات المتجهة. أما الكميات الفيزيائية التي يكفي لتعيينها تحديد مقدارها فقط - ومنها المسافة والזמן ودرجة الحرارة - فتسمى **كميات قياسية (عددية)**.

تعرفت سابقاً طريقة جمع الكميات العددية. فعلى سبيل المثال  $0.8 + 0.6 = 0.2$ . ولكن كيف يمكنك جمع الكميات المتجهة؟ فكر في حل المسألة الآتية: طلبت إليك والدتك شراء بعض الأشياء وأخذتها 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 بعده عن نقطة الأصل (بيتك)؟ الجواب هو:

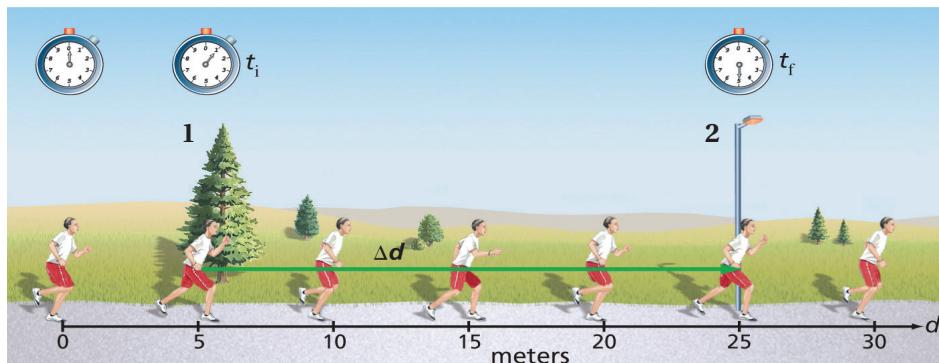
$$0.5 \text{ km} + 0.2 \text{ km} = 0.7 \text{ km}$$

ويمكنك حل هذه المسألة بيانياً باستخدام مسطرة لقياس ورسم كل متجه، على أن يكون طول المتجه متناسباً 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 كلام المتجهين في الشكل 8-2 رحلتك إلى منزل جدك، وهو مرسومان بمقاييس 1 cm لكل 0.1 km، والمتجه الذي يمثل مجموع المتجهين مبين بخط متقطع طوله 7 cm. ووفق مقياس الرسم فإنك على بعد 0.7 km من نقطة الأصل.

ويسمى المتجه الذي يمثل مجموع المتجهين الآخرين **المحصلة**، وهو يتجه دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الثاني، والعكس صحيح عند إصال ذيل المتجه الأول برأس المتجه الثاني.

الشكل 8-2 يجمع متجهان بوضع رأس الأول ملامساً لنذيل الثاني. تبدأ المحصلة من ذيل المتجه الأول وتنتهي عند رأس المتجه الثاني.





■ **الشكل 9-2** تلاحظ أن العداء استغرق أربع ثوانٍ ليركض من الشجرة إلى عمود الإنارة. استخدم الموقع الابتدائي للعداء 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

عند تحليل حركة العداء 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. اختبر الرمز  $t$  للزمن عندما كان العداء عند الشجرة، والرمز  $t$  للزمن عندما صار عند عمود الإنارة. يسمى الفرق بين زمرين فترة زمنية، ويرمز لها بالرمز  $\Delta t$ ، حيث:

$$\Delta t = t_f - t_i$$

الفترة الزمنية

الفترة الزمنية تساوي الزمن النهائي مطروحاً منه الزمن الابتدائي.

دالة اللون

- تظهر متجهات الإزاحة باللون الأخضر.

وفي مثال العداء، 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 تغير موقع العداء عندما ركض من الشجرة حتى عمود الإنارة، كما هو موضح في الشكل 9-2؟ يمكن استخدام الرمز  $d$  لممثل موقع العداء. غالباً ما نستخدم كلمة (موقع) للإشارة إلى مكان ما. أما في الفيزياء فالموقع متوجه ذيله عند نقطة الأصل لنظام الإحداثيات المستخدم، ورأسه عند المكان المراد تحديد موقعه.

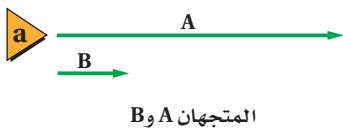
أما الإزاحة فهي كمية فيزيائية متتجهة، وتمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين. ويرمز للإزاحة بالرمز  $\Delta d$ ، وتتمثل بسهم يشير ذيله إلى موقع بداية الحركة، بينما يشير رأسه إلى موقع نهايتها، كما أن طول السهم يمثل المسافة التي قطعها الجسم في اتجاه معين، وهو الاتجاه الذي يشير إليه السهم. كما تُحسب الإزاحة رياضياً بالعلاقة:

$$\Delta d = d_f - d_i$$

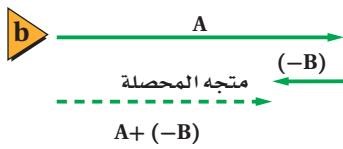
الإزاحة

الإزاحة  $\Delta d$  تساوي متوجه الموضع النهائي  $d_f$  مطروحاً منه متوجه الموضع الابتدائي  $d_i$

فإزاحة العداء  $\Delta d$  في أثناء حركته من الشجرة إلى عمود الإنارة تساوي  $25.0 \text{ m} - 5.0 \text{ m} = 20.0 \text{ m}$ . والإزاحة بوصفها كمية متتجهة تختلف عن المسافة بوصفها كمية قياسية؛ فالإزاحة تعبر عن كل من المسافة والاتجاه، بينما تعبر المسافة عن كل ما يقطعه الجسم دون تحديد الاتجاه.



كيف تطرح الكميات المتجهة؟ لطرح متجه من آخر اعكس اتجاه المراد طرحة، ثم اجمعهما؛ وذلك لأن:  $A - B = A + (-B)$



محصلة المتجهين  $A$  و  $(-B)$

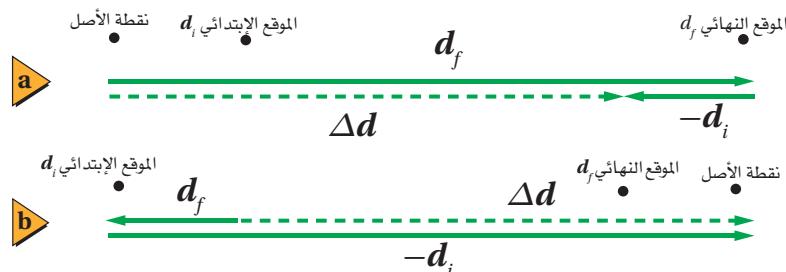
**الشكل 10-2**

- a. المتجهان  $A$  و  $B$ .
- b. محصلة  $(A - B)$ .

يبين الشكل 10a-2 متجهين، الأول  $A$  طوله 4 cm ويتوجه إلى الشرق، والثاني  $B$  طوله 1 cm ويتوجه إلى الشرق أيضاً. أما الشكل 10b-2 فيبين المتجه  $-B$  - وطوله 1 cm، والذي يتوجه إلى الغرب، وتظهر محصلة المتجهين  $A$  و  $B$  -، ويمثلها متجه طوله 3 cm يتوجه إلى الشرق.

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

يووضح الشكل 11-2 مقارنة بين موقع وإزاحة العداء في حالة اختيار نظام إحداثي مختلف، حيث اعتبر الطرف الأيمن لمحور الموقعة نقطة للأصل في الشكل 11b-2. تلاحظ أن متجهات الموقعة قد تغيرت، في حين لا يتغير مقدار واتجاه متجه الإزاحة.



**الشكل 11-2** يمكن حساب إزاحة العداء خلال الثواني الأربع بطرح من  $d_f$  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  $\Delta d$  واتجاهه لا يتغير.

## 2-2 مراجعة

7. الموقع قارن طالبان متجهي الموقع اللذان رسماهما على المخطط التوضيحي 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 استخدمت نظاماً إحداثياً، نقطة الأصل فيه البقالة، واتجاه حركة السيارة هو الاتجاه الموجب. أما زميلك فاستخدم نظاماً إحداثياً، نقطة الأصل فيه مكتب البريد، والاتجاه المعاكس لحركة السيارة هو الموجب. هل ستتفقان على كل من موقع السيارة والإزاحة والمسافة والفترقة الزمنية التي استغرقتها الرحلة؟ وضح ذلك.

5. الإزاحة يمثل الشكل الآتي 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 تمثل إزاحة بين كل نقطتين.

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

عند تحليل الحركة لنوع أكثر تعقيداً من الأمثلة التي تم تناولها ودراستها، من المفيد تمثيل حركة الجسم بطريقتين مختلفتين. وكما لاحظت، فإن المخطط التوضيحي للحركة يحتوي على معلومات مفيدة حول موقع الجسم في أزمنة مختلفة، ويمكن استخدامه في تحديد إزاحة الجسم خلال فترات زمنية محددة، كما أن الرسوم البيانية لموقع الجسم - الزمن تتضمن هذه المعلومات أيضاً.

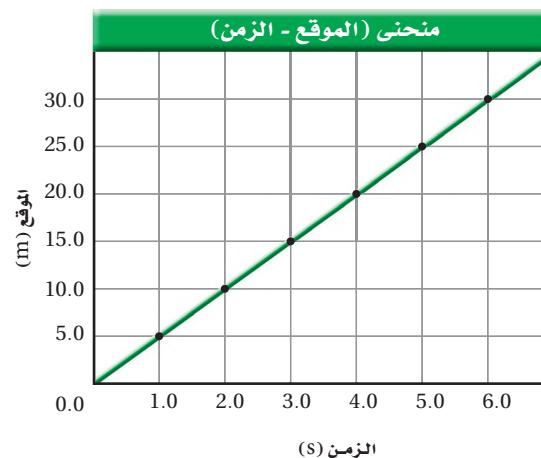
### استخدام الرسم البياني لتحديد الموقع والزمن Using a Graph to Find Out Position and Time

يمكن استخدام المخطط التوضيحي لحركة العداء في الشكل 2-9 لتحديد موقع العداء في كل لحظة من حركته، وتجسيدها، كما في الجدول 1-2.

كما يمكن عرض البيانات الواردة في الجدول 1-2 في رسم بياني لتحديد إحداثيات الزمن على المحور الأفقي ( $x$ )، وإحداثيات الموقع على المحور الرأسي ( $y$ )، وهو ما يُسمى **منحنى (الموقع - الزمن)**. ويُظهر الرسم البياني في الشكل 12-2 حركة العداء. ولرسم هذا الخط البياني نحدد أولاً موقع العداء بدلالة الزمن، ثم نرسم أفضل خط مستقيم يمر بأغلب النقاط، وهو ما يطلق عليه خط المواجهة الأفضل. لاحظ أن هذا المنحنى ليس تصويراً لمسار حركة العداء؛ حيث إن الخط البياني مائل ولكن مسار حركة العداء على مستوى أفقي.

يبين الخط البياني موقع العداء في الأزمنة المبينة في الجدول، وحتى لو لم تتوافر بيانات تبين مباشرةً متى كان العداء على بعد 30.0 m من نقطة البداية، أو أين كان عند الزمن  $t = 4.5 \text{ s}$ ، يمكنك استخدام الرسم البياني لتحديد ذلك. ويستخدم الرمز  $d$  لتمثيل **الموقع اللحظي** للعداء في لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.

الجدول 1-2	
الموقع - الزمن	
$d$ (m)	$t$ (s)
0.0	0.0
5.0	1.0
10.0	2.0
15.0	3.0
20.0	4.0
25.0	5.0
30.0	6.0



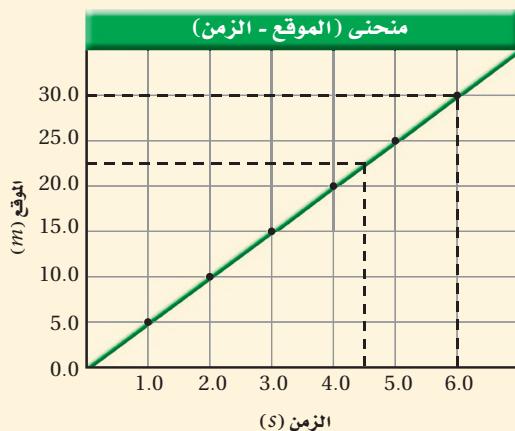
### الأهداف

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

### المفردات

منحنى (الموقع - الزمن)  
الموقع اللحظي.

## مثال ١



يوضح الرسم البياني المجاور حركة عدّاء. متى يصل العداء إلى  $30.0\text{ m}$  عن نقطة البداية؟ وأين يكون بعد مضي  $4.5\text{ s}$ ؟

### ١ تحليل المسألة ورسمها

- أعد صياغة السؤالين.

**السؤال ١ :** متى كان العداء على  $30.0\text{ m}$  بعد نقطة البداية؟

**السؤال ٢ :** ما موقع العداء بعد مضي  $4.5\text{ s}$ ؟

### ٢ إيجاد الكمية المجهولة

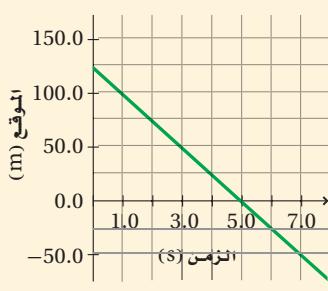
#### السؤال ١

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

#### السؤال ٢

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

## مسائل تدريبية



الشكل ٢-١٣

استعن بالشكل ٢-١٣ على حل المسائل ٩-١١:

٩. صُف حركة السيارة المبينة في الرسم البياني.

١٠. أرسم نموذجاً للجسيم النقطي يتوافق مع الرسم البياني.

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

a. متى كانت السيارة على  $25.0\text{ m}$  شرق نقطة الأصل؟

b. أين كانت السيارة عند  $1.0\text{ s}$ ؟

١٢. صُف بالكلمات حركة اثنين من المشاة A و B كما يوضحها الخطان البيانيان في الشكل ٢-١٤، مفترضًا أن الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق على الشارع الفرعي، ونقطة الأصل هي نقطة تقاطع الشارعين الرئيس والفرعي.

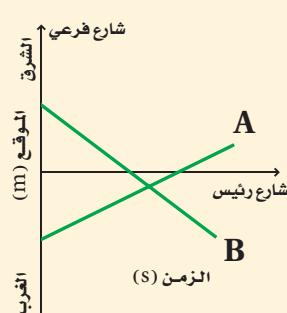
١٣. تحركت سعاد في خط مستقيم من أمام المقصف إلى مختبر الفيزياء، فقطع مسافة  $100.0\text{ m}$ . في هذه الأثناء قامت زميلاتها بتسجيل وتحديد موقعها كل  $2.0\text{ s}$ ، فلاحظن أنها تحركت مسافة  $2.5\text{ m}$  كل  $2.0\text{ s}$ .

a. مثل بالرسم البياني حركة سعاد.

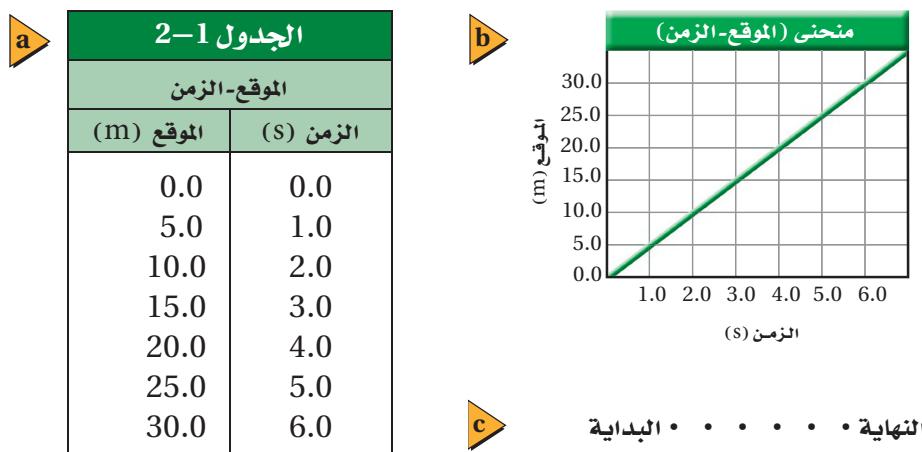
b. متى كانت سعاد في الواقع الآتي:

. على بعد  $25.0\text{ m}$  من المقصف؟

. على بعد  $25.0\text{ m}$  من مختبر الفيزياء؟



الشكل ٢-١٤



**الشكل 15-2**

a. جدول البيانات.

b. منحنى (الموقع - الزمن).

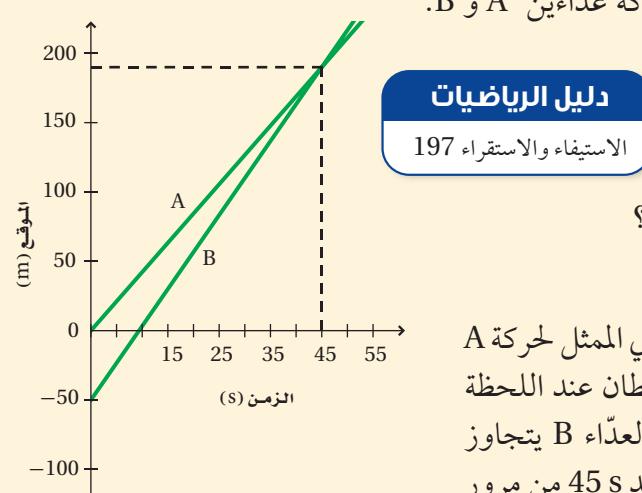
c. النموذج الجسيمي النقطي.

جميعها استخدمت لوصف حركة الجسم نفسه وتمثيلها.

**التمثيلات المتكافئة** كما هو مبين في **الشكل 15-2**، هناك طرق مختلفة لوصف الحركة؛ حيث يمكن وصفها بالكلمات، وبالصور (التمثيل التصويري)، وخطوطات الحركة التوضيحية، وجداول البيانات، ومنحنيات (الموقع-الزمن)، وهذه جميعها طرق متكافئة؛ أي أنها تحتوي على المعلومات نفسها حول حركة العداء. ومع ذلك فقد يكون بعض هذه الطرق أكثر فائدة من الأخرى، وفقاً لما تريده معرفته عن الحركة. سوف تتدرب في الصفحات الآتية على استخدام هذه التمثيلات المتكافئة، وتعلم أينما أنساب حل أنواع المسائل المختلفة.

**دراسة حركة عدة أجسام** يظهر في **مثال 2** منحنى (الموقع-الزمن) لعداءين في سباق. متى وأين يتتجاوز أحد العداءين الآخر؟ استخدم المصطلحات الفيزيائية أو لا لإعادة صياغة السؤال: متى يكون العداءان في الموقع نفسه؟ يمكنك الإجابة عن هذا السؤال بتحديد النقطة التي يتقاطع عندها الخطان الممثلان لحركة العداءين على منحنى (الموقع-الزمن).

## مثال 2



يمثل الرسم البياني المجاور منحنى (الموقع-الزمن) لحركة عداءين A و B.  
متى وأين يتتجاوز العداء B العداء A؟

### 1 تحليل المسألة ورسمها

أعد صياغة السؤالين.

عند أي زمن يكون العداءان 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 بعد 190 m تقريباً، وهذا يعني أن العداء B يتتجاوز العداء A على بعد 190 m من نقطة الأصل؛ أي بعد 45 s من مرور العداء A بها.

## مسائل تدريبية

للاجابة عن المسائل 14-17 ارجع إلى الشكل في مثال 2.

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

15. أي العداءين كان متقدماً في اللحظة  $t = 48\text{ s}$ ؟

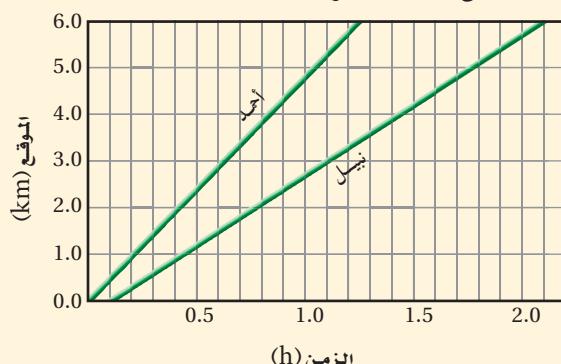
16. أين كان العداء B عندما كان العداء A عند النقطة  $0.0\text{ m}$ ؟

17. ما المسافة الفاصلية بين العداء A والعداء B في اللحظة  $t = 20.0\text{ s}$ ؟

18. خرج أحمد في نزهة مشياً على الأقدام، وبعد وقت بدأ صديقه نبيل السير خلفه، وقد تم تمثيل حركتيهما بمنحنى (الموقع-الזמן) 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 ويونس وناصر بممارسة الرياضة على طريق يمتد بمحاذاة الشاطئ. حيث بدأ يوسف الركض بسرعة متناظمة مقدارها  $16.0\text{ km/h}$  من المرسى A في اتجاه الجنوب في تمام الساعة 11:30 صباحاً، وفي اللحظة نفسها ومن المكان نفسه بدأ ناصر المشي بسرعة متناظمة مقدارها  $6.5\text{ km/h}$  في اتجاه الجنوب. أما ماجد فانطلق بدراجته عند الساعة 12 ظهراً من مرسى آخر B يبعد  $20\text{ km}$  جنوب المرسى A بسرعة متناظمة مقدارها  $40.25\text{ km/h}$  في اتجاه الشمال.

1. ارسم منحنيات (الموقع-الזמן) 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 أنها سيتصادمان؟ ليس بالضرورة. فعلى سبيل المثال، إذا كان هذان الجسمان عداءين، وكل منها ممر خاص به، فإنها لن يتصادما.

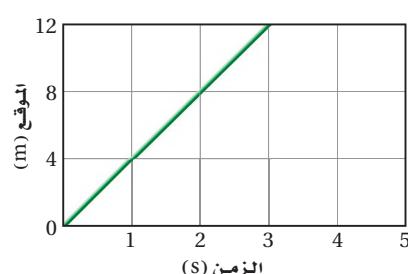
هل هناك شيء آخر يمكنك تعلمه من منحنيات الموقع-الزمن؟ وهل تعرف ما يعنيه ميل الخط البياني في المنحنى؟ ستعلم في البند الآتي كيف تستخدم ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع-الزمن) لتعيين السرعة المتجهة لجسم.

## 2-3 مراجعة

ارجع إلى الشكل 18-2 عند حل المسائل 21-23

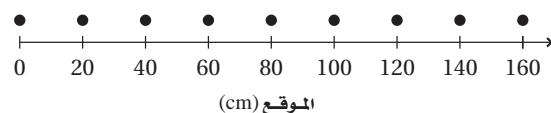
21. الزمن متى كان القرص على بعد  $10.0\text{ m}$  عن نقطة الأصل؟
22. المسافة حدد المسافة التي قطعها قرص الهوكي بين اللحظتين  $0.0\text{ s}$  و  $5.0\text{ s}$ .
23. الفترة الزمنية حدد الزمن الذي استغرقه قرص الهوكي ليتحرك من موقع يبعد  $40\text{ m}$  عن نقطة الأصل إلى موقع يبعد  $80\text{ m}$  عنها.

**التفكير الناقد** تفحص النموذج الجسيمي النقطي ومنحنى (الموقع-الزمن) الموضعين في الشكل 19-2. هل يصفان الحركة نفسها؟ كيف تعرف ذلك؟ علمًا بأن الفترات الزمنية في النموذج الجسيمي النقطي تساوي  $2\text{ s}$ .



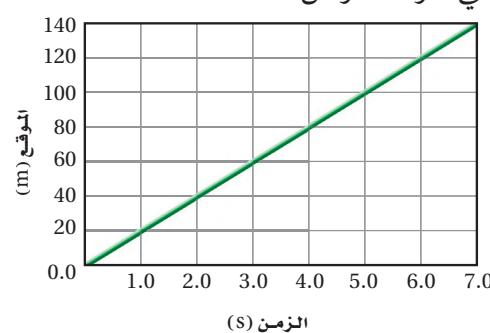
الشكل 19-2

19. منحنى (الموقع-الزمن) يمثل النموذج الجسيمي النقطي في الشكل 17-2 طفلاً يزحف على أرضية غرفة. مثل حركته باستخدام منحنى (الموقع-الزمن)، علمًا بأن الفترة الزمنية بين كل نقطتين متتاليتين تساوي  $1\text{ s}$ .



الشكل 17-2

20. المخطط التوضيحي للحركة بين الشكل 18-2 منحنى (الموقع-الزمن) لحركة قرص مطاطي ينزلق على الجليد في لعبة الهوكي. استخدم الرسم البياني في هذا الشكل لرسم النموذج الجسيمي النقطي لحركة القرص.



الشكل 18-2



## 4-2 السرعة المتجهة Velocity

### 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

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

### السرعة المتجهة Velocity

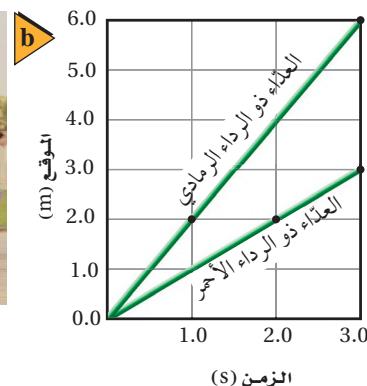
افرض أنك مثلت حركتي عددين على مخطط توضيحي واحد، كما هو مبين في الشكل 20a-2. بالانتقال من صورة إلى الصورة التي تليها، يمكنك أن ترى أن موقع العداء ذي الرداء الرمادي يتغير بمقدار أكبر من تغيير موقع العداء ذي الرداء الأحمر. أي أن مقدار الإزاحة للعداء ذي الرداء الرمادي  $\Delta d$  أكبر؛ لأنّه يتحرك أسرع، 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  $\Delta t$  التي استغرقها العداء ذو الرداء الرمادي ستكون أقل من تلك التي استغرقها زميله.

**السرعة المتجهة المتوسطة** من مثال العدائين، يمكنك أن تلاحظ أننا نحتاج إلى معرفة كلٍ من الإزاحة  $\Delta d$  والفترة الزمنية  $\Delta t$  لحساب السرعة المتجهة لجسم متحرك. ولكن كيف يمكن الرابط بينهما؟ تفحص الخطين البيانيين اللذين يمثلان حركتي العدائين في منحني (الموقع-الزمن)، انظر الشكل 20b-2، ستلاحظ أن ميل الخط البياني للعداء ذي الرداء الرمادي أكثر انحداراً من ميل الخط البياني للعداء ذي الرداء الأحمر، ويدل الميل أو الانحدار الأكبر على أن مقدار التغير في الإزاحة أكبر خلال الفترة الزمنية نفسها.

### الشكل 20-2

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

b. يمثل منحني (الموقع-الزمن) حركة كل من العدائين، والنقطتان المستخدمة لحساب ميل كل خط.



يمكن إيجاد كل من ميل الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العداءين في الشكل 20b-2 كما يأتي:

#### دالة اللون

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

العداء ذو الرداء الأحمر	العداء ذو الرداء الرمادي
$\frac{d_f - d_i}{t_f - t_i} = \text{ميل الخط البياني}$	$\frac{d_f - d_i}{t_f - t_i} = \text{ميل الخط البياني}$
$= \frac{(3.0 - 2.0)\text{m}}{(3.0 - 2.0)\text{s}}$	$= \frac{(6.0 - 2.0)\text{m}}{(3.0 - 1.0)\text{s}}$
$= 1.0 \text{ m/s}$	$= 2.0 \text{ m/s}$

هناك أشياء مهمة تجدر ملاحظتها في هذه المقارنة. أولاً: ميل الخط البياني للعداء الأسع يكون أكبر عددياً، لذا من المعقول أن يعبر هذا العدد عن السرعة المتجهة المتوسطة، وكذلك السرعة المتوسطة. ثانياً: وحدات الميل هي (m/s)، أي أن الميل يخبرنا كم متراً تتحرك العداء خلال ثانية واحدة. وعند التفكير في طريقة حساب الميل ستلاحظ أن الميل هو التغير في الموقع مقسوماً على الفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير، أي  $\frac{\Delta d}{\Delta t}$  أو  $\frac{d_f - d_i}{t_f - t_i}$ . وعندما تزداد قيمة المتجه  $\Delta d$  فإن الميل يزداد، ويقل عندما تزداد  $\Delta t$ . إن هذا يتفق مع التفسير السابق لحركة العداءين.

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

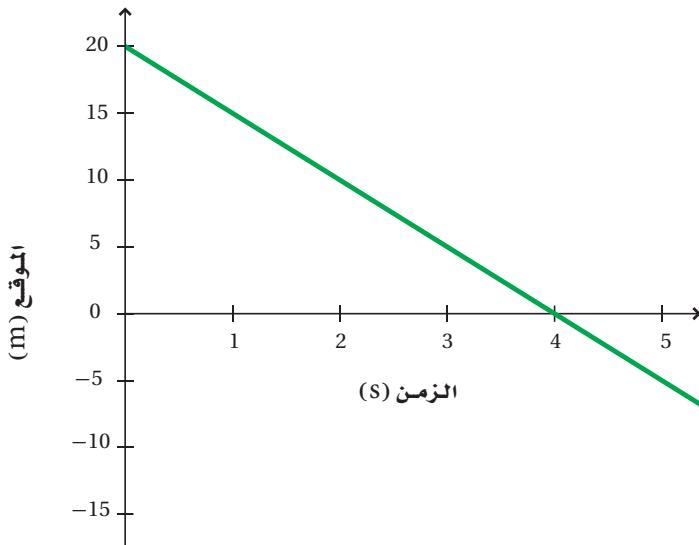
$$\bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_f - d_i}{t_f - t_i}$$

**السرعة المتجهة المتوسطة**

تعرف السرعة المتجهة المتوسطة بأنها التغير في الموقع (الإزاحة) مقسوماً على مقدار الفترة الزمنية التي حدث خلالها هذا التغير.



**الشكل 2-21** يتحرك الجسم المثلثة حرکته هنا في الاتجاه السالب . $5.0 \text{ m/s}$  بمعدل



## تطبيق الفيزياء

**نظام ساهر** يقيس السرعة المتجهة اللحظية لأنّه يحسب سرعة السيارة خلال فترة قصيرة جداً وهي لحظة إطلاق الفلاش مع تحديد الاتجاه.

**حساس السرعة** يشير الاختصار AVG في حساس سرعة السيارة إلى السرعة المتوسطة لأنّه يقيس المسافة الكلية خلال الزمن الكلي دون اعتبار الاتجاه.

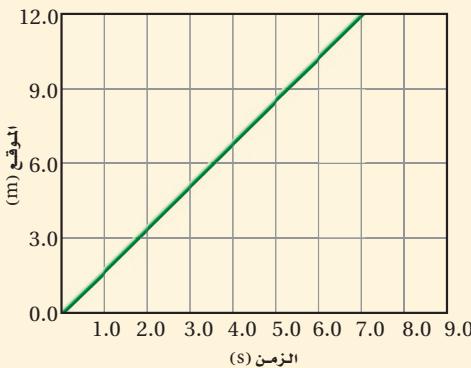
**نظام الرصد الآلي** يقيس السرعة المتجهة المتوسطة لأنّه يحسب سرعة السيارة خلال إزاحة محددة بين موقعيْن مع إمكانية تحديد الاتجاه.

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

**السرعة المتوسطة** تعبر القيمة المطلقة لميل الخط البياني لـ **نحو** (الموضع-الزمن) عن **السرعة المتوسطة للجسم**; أي مقدار سرعة حركة الجسم، ويرمز لها بالرمز  $\bar{v}$ . أما السرعة المتجهة المتوسطة  $\bar{v}$  فتعبر عن كل من قيمة السرعة المتوسطة للجسم والاتجاه الذي يتحرك فيه، وهي في المثال الموضح في **الشكل 2-21**  $5.0 \text{ m/s}$  (في الاتجاه السالب)، أو  $5.0 \text{ m/s}$ ، وتكون سرعته المتوسطة  $5.0 \text{ m/s}$ . 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 تحلل - في الفصول القادمة - أنواعاً أخرى من الحركة، سوف تجد أحياناً أن السرعة المتجهة المتوسطة هي أهم كمية، وفي أحياناً أخرى تكون السرعة المتوسطة هي الكمية الأهم. لهذا من الضروري أن تميّز بين السرعة المتجهة المتوسطة والسرعة المتوسطة، وأن تكون متأكداً من الاستخدام الصحيح لكل منها لاحقاً.

### مثال 3



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

#### 1 تحليل المسألة ورسمها

- تفحص النظام الإحداثي للرسم البياني.

**المجهول**

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

#### 2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد السرعة المتجهة المتوسطة باستخدام نقطتين على الخط البياني.

$$\begin{aligned}\bar{v} &= \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} \\ &= \frac{12.0 \text{ m} - 6.0 \text{ m}}{7.0 \text{ s} - 3.5 \text{ s}}\end{aligned}$$

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

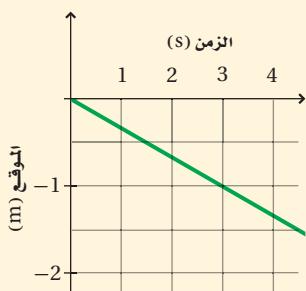
$$= 1.7 \text{ m/s} \quad \text{في الاتجاه الموجب}$$

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  $\text{m/s}$  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



الشكل 22-2

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؟

26. صُف بالكلمات حركة السفينة في المسألة السابقة.

27. يمثل الرسم البياني في الشكل 23-2 حركة دراجة هوائية. احسب

كلاً من السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة للدراجة، ثم صُف حركتها بالكلمات.



الشكل 23-2

28. انطلقت دراجة بسرعة ثابتة مقدارها  $0.55 \text{ m/s}$ . ارسم نموذجاً

للجسيم النقطي للحركة و منحنى بيانياً للموقع - الزمان، تبين فيها حركة الدراجة لمسافة  $19.8 \text{ m}$ .

## تجربة

### متجهات السرعة اللحظية



1. اربط أحد طرفي خيط طوله  $1\text{ m}$  بكتلة ذات خطاف.
2. أمسك بيده الطرف الآخر للخيط بحيث تتدلى الكتلة في الهواء.
3. استخدم يدك الأخرى لتسحب الكتلة بحدار إلى أحد الجانبين، ثم اتركها.
- 4.لاحظ الحركة والسرعة واتجاه حركة الكتلة لعدة اهتزازات.
5. أوقف الكتلة عن الاهتزاز.
6. ارسم شكلاً توضيحيًا تبين فيه متجهات السرعة اللحظية عند النقاط الآتية: قمة الاهتزاز، ونقطة المنتصف بين القمة والقاع، وقاع الاهتزاز، 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؟

## السرعة المتجهة اللحظية Instantaneous Velocity

لماذا أطلقنا على الكمية  $\frac{\Delta d}{\Delta t}$  السرعة المتجهة المتوسطة، ولم نسمّها ببساطة السرعة المتجهة؟ فكّر في طريقة إنشاء المخطط التوضيحي للحركة تدرك أن هذا المخطط يبين موقع الجسم المتحرك عند بداية فترة زمنية وعندها نهايتها، لكنه لا يعبر عما حدث خلال تلك الفترة. فربما بقيت السرعة ثابتة أو زادت أو نقصت، أو ربما يكون الجسم قد توقف أو غير 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 عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر فتسمى **السرعة المتجهة اللحظية**. وسنستخدم في هذا الكتاب مصطلح السرعة المتجهة للتعبير عن السرعة المتجهة اللحظية، وسنرمز لها بالرمز  $v$ .

إذا كانت السرعة المتجهة اللحظية لجسم ما ثابتة فإنها عند  $t$  تكون متساوية لسرعته المتجهة المتوسطة. وإذا تحرك الجسم بسرعة متجهة ثابتة فإننا نقول إن سرعته متناظمة، لذا تكون حركته متناظمة.

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

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

**استخدام المعادلات** عندما ترسم خطًا بيانيًا مستقيمًا تستطيع التعبير عنه بمعادلة. ومن الأفضل أحياناً 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 سابقاً أن أي خط مستقيم يمكن تمثيله بالصيغة الرياضية  $y = mx + b$ ؛ حيث  $y$  هي الكمية التي نُعينُها على المحور الرأسي، و  $m$  هي ميل الخط المستقيم، و  $x$  هي الكمية التي نُعينُها على المحور الأفقي، و  $b$  هي نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور الرأسي.

في الرسم البياني الموضح في الشكل 21-2 تكون الكمية المُعينة على المحور الرأسي هي الموقع، وتمثل بالمتغير  $d$ . والكمية المُعينة على المحور الأفقي هي الزمن، وتمثل بالمتغير  $t$ .

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

ويبيّن الجدول 2-2 مقارنة بين التغيرات العامة لمعادلة الخط المستقيم والتغيرات الخاصة بالحركة، كما يبيّن القيم العددية لكل من الثابتين في هذه المعادلة. وبالاعتماد على المعلومات المبينة في الجدول، فإن المعادلة  $y = mx + b$  أصبحت  $d = \bar{v}t + d_i$ ، وبتعويض قيم الثوابت تصبح:

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

تصف هذه المعادلة الحركة المنتظمة الممثلة بالشكل بالشكل 21-2. ويمكنك أن تختبر هذه المعادلة بإعطاء قيمة  $t$  في المعادلة وحساب  $d$ . ويجب أن تحصل على القيمة نفسها  $d$  عندما تعيش القيمة السابقة  $t$  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، ووحدة هي  $\text{m}$ ، أما وحدة الجزء الأول من المعادلة في الجانب الأيمن فهي حاصل ضرب  $\text{s} \times \frac{\text{m}}{\text{s}}$  أو meters، ووحدة الجزء الثاني من المعادلة في الطرف الأيمن هي  $\text{m}$ ، وبهذا تكون الوحدات في طرفي المعادلة متطابقة.

$$\text{معادلة الحركة المنتظمة بدلالة السرعة المتجهة المتوسطة } d = \bar{v}t + d_i$$

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

تسطيع الآن تمثيل الحركة باستخدام الكلمات والمخططات التوضيحية للحركة والصور وجداول البيانات ومنحنيات الموقع-الزمن، وكذلك باستخدام معادلة الحركة المنتظمة.

الجدول 2-2			
مقارنة الخطوط المستقيمة مع منحنيات الموقع-الزمن			
المتغير العين في الشكل 2-21	المتغير العين للحركة	المتغير العام	
$-5.0 \text{ m/s}$	$\bar{v}$	$y$	$\text{m}$
$20.0 \text{ m}$	$t$	$x$	$\text{b}$
	$d_i$		



## ٤-٢ مراجعة

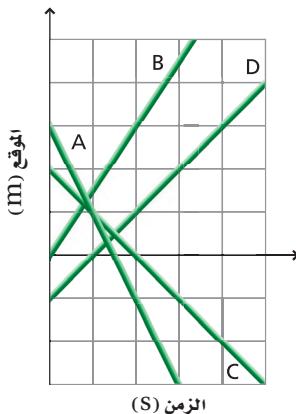
30. السرعة المتجهة المتوسطة رتب المنحنيات وفق السرعة المتجهة المتوسطة من السرعة الأكبر إلى السرعة الأقل.

31. الموقع الابتدائي رتب الخطوط البيانية بحسب الموقع الابتدائي للجسم (بدءاً بأكبر قيمة موجبة وانتهاء بأكبر قيمة سالبة). هل سيكون ترتيبك مختلفاً إذا طلب إليك أن ترتتبها بحسب المسافة الابتدائية للجسم من نقطة الأصل؟

32. السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة ووضح العلاقة بين السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة.

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

استخدم الشكل 24-2 في حل المسائل 31-29.  
29. السرعة المتوسطة رتب منحنيات (الموقع- الزمن) وفق السرعة المتوسطة للجسم، من الأكبر إلى الأصغر، وأشار إلى الروابط إن وجدت.



الشكل 2-24 ■

# مختبر الفيزياء

## عمل رسوم توضيحية للحركة

ستعمل في هذا النشاط مخطوطات توضيحية لحركة سيارتين لعبة. يتكون المخطط التوضيحي للحركة من مجموعة من الصور المتعاقبة التي تظهر موقع جسم متتحرك في فترات زمنية متساوية. وتساعدنا المخطوطات التوضيحية على وصف حركة الجسم؛ فمن خلال تفحص هذه المخطوطات 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؟

#### 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. ثبت مسطرة متيرية بموازاة المسار الذي ستسير فيه السيارة.
6. اختر واحدًا من أعضاء مجموعة معلمتك 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 المتيرية.
9. هبّي 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 المتيرية على شريط الفيديو، ودون ذلك في جدول البيانات.
11. كرر الخطوات 10–5 باستخدام السيارة الأسرع.
12. ضع اللوح الكرتوني، بحيث يشكل مستوىً مائلًّا بزاوية 30° تقريبًا على الأفقي.

#### الأهداف

■ تقيس موقع 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

سياراتان لعبة تعملان بانضغاط النابض

مسطرة متيرية

لوح كرتوني



**جدول البيانات 1**

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

**جدول البيانات 3**

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

**جدول البيانات 2**

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

3. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة تبدأ متهركة بسرعة كبيرة ثم تباطأ تدريجياً.
4. ماذا يحدث للمسافة بين النقاط في نموذج الجسيم النقطي في السؤال السابق عندما تباطأ السيارة؟
5. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة تسير في البداية ببطء، ثم تسارع.
6. ماذا يحدث للمسافة بين النقاط في نموذج الجسيم النقطي للحركة في السؤال السابق عندما تسارع السيارة؟

### الفيزياء في الحياة

افترض أن سيارة توقف بشكل مفاجئ لتجنب حادثاً. إذا كان للسيارة فرامل تضغط وتفصل بشكل آلي في كل جزء من الثانية، فكيف ستبدو آثار العجلات على الطريق؟ أرقق ياجابتك رسمياً توضيحياً يبين كيف تبدو آثار العجلات نتيجة الضغط على الفرامل.

13. ضع المسطرة المترية على المستوى المائل بحيث تكون موازية للمسار الذي ستتحرك عليه السيارة.

14. ضع السيارة البطيئة عند قمة المستوى المائل، وكرر الخطوات 6-10.

### التحليل

1. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة السيارة البطيئة مستخدماً البيانات التي جمعتها.

2. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة السيارة السريعة مستخدماً البيانات التي جمعتها.

3. استخدم البيانات التي حصلت عليها لرسم نموذج الجسيم النقطي لحركة السيارة البطيئة في أثناء نزولها المستوى المائل.

### الاستنتاج والتطبيق

كيف يختلف نموذج الجسيم النقطي لحركة السيارة السريعة عنه لحركة السيارة البطيئة؟

### التوسيع في البحث

1. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة تتحرك بسرعة ثابتة.

2. ما العلاقة بين المسافات الفاصلة بين النقاط في نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة تتحرك بسرعة ثابتة؟

# الإثراء العلمي

## الدقة في قياس الزمن

### Accurate Time

مرة، والأقطاب المختلفة مرة أخرى. فإذا اصطفت الأقطاب المتشابهة تكون ذرة السبيزيوم في مستوى طاقة واحد، بينما إذا اصطفت الأقطاب المختلفة تكون الذرة في مستوى طاقة آخر.



تعُد ساعَة السبيزيوم NIST-F1 الموجودة في مختبرات NIST في بوتري في كولورادو من أدق الساعات في العالم.

**كيف تعمل ساعَة السبيزيوم؟** ترتكب ساعَة السبيزيوم من ذرات السبيزيوم، وجهاز للذبذبات مصنوع من كريستال الكوارتز، يولد موجات ميكروية، وعندما يتساوى تردد الموجات الميكروية للجهاز مع التردد الطبيعي لذرات السبيزيوم فإن عدداً كبيراً من ذرات السبيزيوم تغير من مستويات طاقتها. وبما أن التردد الطبيعي للسبيزيوم 9192631770 ذبذبة فهذا يعني أن هناك 9192631770 تغييراً بين مستويات طاقة ذرات السبيزيوم في كل ثانية. ومن هنا تأتي دقة قياس الوقت بهذه الساعة.

#### التوضيع

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

افرض 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 اعتماداً على الساعة. لذا إذا أردت أن تكون في الصف في الوقت المحدد فلا بد 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 ساعَة السبيزيوم المعيارية.

**ساعَة السبيزيوم المعيارية** هي إحدى الساعات الذرية التي تلبِي 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 1s التي تساوي الزمن الذي تستغرقه 9192631770 ذبذبة.

إن مستوى الطاقة الخارجي لذرة السبيزيوم يحتوي على إلكترون واحد يدور مغزلياً، ويسلك سلوك مغناطيسي متناء في الصغر. وكذلك الحال لنواتها؛ حيث يدور كل من الإلكترون والنواء معاً، بحيث تصطف كل من الأقطاب المتشابهة لها

# الفصل 2

## دليل مراجعة الفصل

### 1-2 تصوير الحركة Picturing Motion

#### المفاهيم الرئيسية

- يُبيّن المخطط التوضيحي للحركة موقع جسم خلال أزمنة متعددة.
- يُستخدم في نموذج الجسم النقطي مجموعة من النقاط المفردة المتالية بدلاً من الجسم في المخطط التوضيحي للحركة.

#### المفردات

- المخطط التوضيحي للحركة
- نموذج الجسم النقطي

### 2- الموقع والزمن Position and Time

#### المفاهيم الرئيسية

- النظام الإحداثي نظام يستخدم لوصف الحركة، بحيث يحدد لك موقع نقطة الأصل للمتغير الذي تدرسه، والاتجاه الذي تزداد 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 عدديّة تصف بعد الجسم عن نقطة الأصل.
- الكميات المتجهة كميات فيزيائية لها مقدار واتجاه وفقاً لنقطة الإسناد.
- الكميات العدديّة كميات فيزيائية لها مقدار فقط.
- المحصلة متوجه ناتج عن جمع متوجهين أو أكثر، وهو يشير دائمًا من ذيل المتوجه الأول إلى رأس المتوجه الآخر.
- الفترة الزمنية هي فرق بين زمانين.
- الإزاحة كمية فيزيائية متوجهة تمثل مقدار تغيير موقع الجسم في اتجاه معين.

$$\Delta t = t_f - t_i$$

$$\Delta d = d_f - d_i$$

#### المفردات

- النظام الإحداثي
- نقطة الأصل
- الموقع
- المسافة
- الكميات المتجهة
- الكميات القياسية
- (العدديّة)
- المحصلة
- الفترة الزمنية
- الإزاحة

### 3- منحنى (الموقع - الزمن) Position-Time Graph

#### المفاهيم الرئيسية

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

#### المفردات

- منحنى (الموقع - الزمن)
- الموقع اللحظي

### 4- السرعة المتجهة Velocity

#### المفاهيم الرئيسية

- $\bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_f - d_i}{t_f - t_i}$
- ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع - الزمن) لجسم هو السرعة المتجهة المتوسطة لحركة الجسم. وهي تعبر عن مقدار السرعة التي يتحرك بها الجسم واتجاهها.
  - السرعة المتوسطة هي القيمة المطلقة للسرعة المتجهة المتوسطة.
  - رمز الموقع الابتدائي للجسم  $d_i$ ، وسرعته المتجهة المتوسطة الثابتة  $\bar{v}$ ، وإزاحته  $d$ ، والזמן  $t$ ، وترتبط معاً بالمعادلة:

$$d = \bar{v}t + d_i$$

#### المفردات

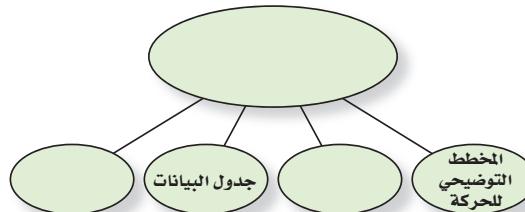
- السرعة المتجهة
- المتوسطة
- السرعة المتوسطة
- السرعة المتجهة
- اللحظية

السرعة المتجهة اللحظية هي مقدار سرعة الجسم واتجاه حركته عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.

# الفصل 2 التقويم

## خريطة المفاهيم

34. أكمل خريطة المفاهيم أدناه بما يناسبها من مصطلحات.



## اتقان المفاهيم

35. ما الهدف من رسم المخطط التوضيحي للحركة؟

(2-1)

36. متى يمكن معاملة الجسم كجسيم نقطي؟

(2-2) وضح الفرق بين: الموقع والمسافة والإزاحة.

38. كيف يمكنك استخدام ساعة حائط لتعيين فترة زمنية؟

(2-2)

39. خط التزلج وضح كيف يمكنك أن تستخدم منحنى (الموقع-الزمن) لمترجلين على مسار التزلج؛ لتحديد ما إذا كان أحدهما سيتجاوز الآخر، ومتى؟

40. المشي والركض إذا غادر منزلكم شخصان في الوقت نفسه؛ أحدهما يعدو والآخر يمشي، وتحركا في الاتجاه نفسه بسرعةين متوجهين متاظمين، فصف منحنى (الموقع-الزمن) لكل منها.

(2-4)

41. ماذا يمثل ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع-الزمن)؟

(2-4)

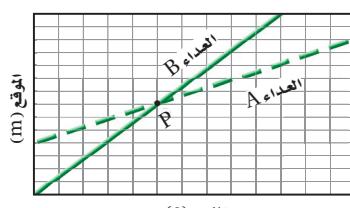
42. إذا علمت موقع جسم متحرك عند نقطتين في مسار حركته، وكذلك الزمن الذي استغرقه الجسم للوصول من النقطة الأولى إلى الأخرى، فهل يمكنك تعين سرعته المتوجهة اللحظية، وسرعته المتوجهة المتوسطة؟ فسر ذلك.

(2-4)

## تطبيق المفاهيم

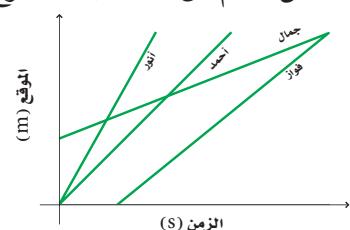
43. يمثل الشكل 25-2 رسماً بيانيًّا لحركة عدَاءين.

- صف موقع العداء A بالنسبة للعداء B بحسب التقاطع مع المحور الرأسي.
- أي العدَاءين أسرع؟
- ماذا يحدث عند النقطة P وما بعدها؟



الشكل 25-2

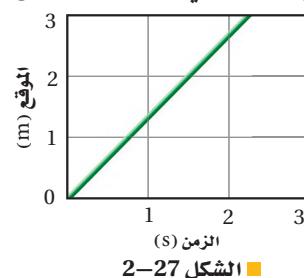
44. يبين منحنى (الموقع-الزمن) في الشكل 2-26 حركة أربعة من الطلاب في طريق عودتهم من المدرسة. رتب الطلاب بحسب السرعة المتجهة المتوسطة لكل منهم من الأبطأ إلى الأسرع.



الشكل 2-26

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

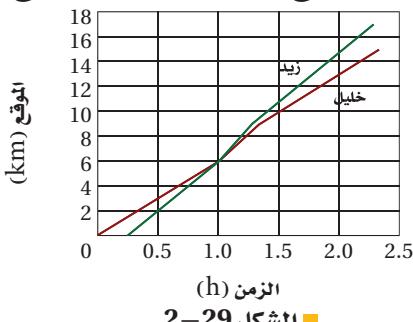
- ركض الأرنب بضعف سرعته.
- ركض الأرنب في الاتجاه المعاكس.



الشكل 2-27

## تقدير الفصل 2

c. في أي موقع من النهر يوجد تيار سريع؟



الشكل 2-29

52. غادرت السيارات A و B المدرسة عندما كانت قراءة ساعة الإيقاف صفرًا، وكانت السيارة A تتحرك بسرعة منتظمة  $75 \text{ km/h}$ ، والسيارة B تتحرك بسرعة منتظمة  $100 \text{ km/h}$ .

a. ارسم منحني (الموقع-الزمن) لحركة كل من السياراتتين، ووضح بعد كل منها عن المدرسة عندما تشير ساعة الإيقاف إلى  $2.0 \text{ h}$ . حدد ذلك على رسمك البياني.

b. إذا مرت كلتا السياراتين بمحطة وقود تبعد  $150 \text{ km}$  عن المدرسة، فمتى مررت كل منها بالمحطة؟ حدد ذلك على الرسم.

53. ارسم منحني (الموقع-الزمن) لسيارتين A و B تسيران نحو شاطئ يبعد  $50 \text{ km}$  عن المدرسة. تحركت السيارة A عند الساعة  $12:00 \text{ pm}$  بسرعة  $40 \text{ km/h}$  من متجر يبعد  $40 \text{ km}$  عن الشاطئ، بينما تحركت السيارة B من المدرسة عند الساعة  $12:30 \text{ pm}$  بسرعة  $100 \text{ km/h}$ . متى تصل كل من السيارات A و B إلى الشاطئ؟

54. يبين الشكل 2-30 منحني (الموقع-الزمن) لحركة علي ذهاباً وإياباً 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 الآتي.

### إتقان حل المسائل

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

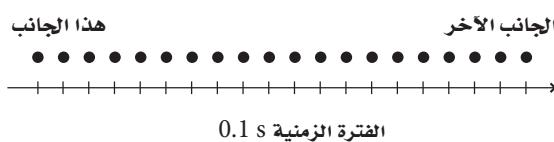
47. علم الفلك يصل الضوء من الشمس إلى الأرض في  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ . إذا كانت سرعة الضوء  $8.3 \text{ min}$  فما بعد الأرض عن الشمس؟

48. تتحرك سيارة في شارع بسرعة  $55 \text{ km/h}$ ، وفجأة رکض أمامها طفل ليعبر الشارع. إذا استغرق سائق السيارة  $0.75 \text{ s}$  لاستجابة وضغط على الفرامل فما المسافة التي تحركتها السيارة قبل أن تبدأ في التباطؤ؟

49. قيادة السيارة إذا قادت والدتك سيارتها بسرعة  $90.0 \text{ km/h}$ ، بينما قادت صديقتها سيارتها بسرعة  $95 \text{ km/h}$ ، فسبقت والدتك في الوصول إلى نهاية الرحلة. فما الزمن الذي ستنتظره صديقة والدتك في نهاية الرحلة التي يبلغ طولها  $50 \text{ km}$ ؟

### مراجعة عامة

50. يبين الشكل 2-28 نموذج الجسم النقطي لحركة ولد يعبر طريقاً بشكل عرضي. ارسم منحني (الموقع-الزمن) المكافئ للنموذج، واتبع المعادلة التي تصف حركة الولد، علماً بأن الفترة الزمنية هي  $0.1 \text{ s}$ .



الشكل 2-28

51. يبين الشكل 2-29 منحني (الموقع-الزمن) لحركة كل من زيد وخليل وهما يجذفان في قاربين عبر نهر.

a. عند أي زمن كان زيد وخليل في المكان نفسه؟  
b. ما الزمن الذي يستغرقه زيد في التجديف قبل أن يتجاوز خليلاً؟

## تقويم الفصل 2

في الجدول، ثم أوجد ميل الخط البياني في المحنن، واستنتاج سرعة السيارة.

الجدول 3-2	
الموقع-الزمن	
الموقع (m)	الزمن (s)
0.0	0.0
25.0	1.3
50.0	2.7
75.0	3.6
100.0	5.1
125.0	5.9
150.0	7.0
175.0	8.6
200.0	10.3

### الكتابة في الفيزياء

58. حدد علماً الفيزياء سرعة الضوء  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ . 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. حُول كلاً من قياسات الزمن الآتية إلى ما يعادلها بالثواني:

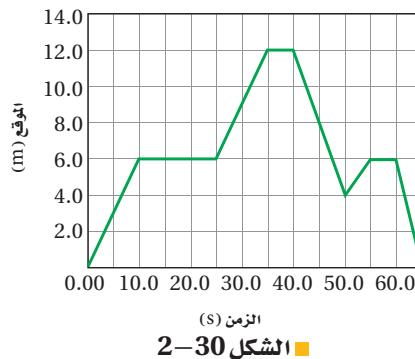
9270 ms .c

58 ns .a

12.3 ks .d

0.046 Gs .b

- b. متى كان موقع علي على بعد  $6.0 \text{ m}$ ؟  
 c. ما الزمن بين لحظة دخول علي في الممر ووصوله إلى موقع يبعد  $12.0 \text{ m}$  عن نقطة الأصل؟ وما السرعة المتجهة المتوسطة لعلي خلال الفترة الزمنية  $(37 \text{ s} - 46 \text{ s})$ ؟



الشكل 2-30

### التفكير الناقد

55. تصميم تجربة تنطلق دراجة نارية أمام منزل يعتقد أصحابه أنها تتجاوز حدود السرعة المسموح بها وهي  $40 \text{ km/h}$ . صنف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتقرر ما إذا كانت هذه الدراجة تتجاوز السرعة المحددة فعلاً عندما تمر أمام المنزل.

56. تفسير الرسوم البيانية هل يمكن أن يكون المحنن البياني لـ(الموقع - الزمن) جسم خطأً أفقياً؟ وهل يمكن أن يكون خطأً رأسياً؟ إذا كانت إجابتك "نعم" فصف بالكلمات هذه الحركة.

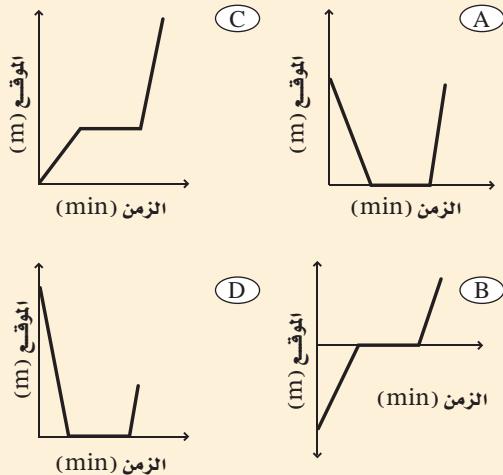
57. وقف طلاب شعبة الفيزياء في صف واحد، وكانت المسافة بين كل طالبين  $25 \text{ m}$ ، واستخدمو ساعات إيقاف لقياس الزمن الذي تمر عنده سيارة تتحرك على طريق رئيس أمام كل منهم. وتم تدوين البيانات في الجدول 3-2.

رسم منحنى (الموقع-الزمن) مستخدماً البيانات الواردة



# اختبار مقاييس

5. نزل سنجاب من فوق شجرة ارتفاعها 8 m بسرعة متناظمة 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 سبب فرار السنجاب بسرعة إلى أعلى الشجرة، فبلغ الموقع نفسه الذي انطلق منه خلال 0.1 min. أي الرسم البياني الآتية يمثل بدقة الإزاحة الرئيسية للسنجاب مقيسة من قاعدة الشجرة؟ (نقطة الأصل تقع عند قاعدة الشجرة).



## الأسئلة المتعددة

6. احسب الإزاحة الكلية لمتسابق في م نهاية، إذا سلك داخلاها المسار الآتي:

البداية 1.0 m شرقاً 0.3 m شرقاً، 0.8 m جنوباً، 0.4 m شرقاً، النهاية.

## ✓ إرشاد

### الأدوات الالزمة

أحضر جميع الأدوات الالزمة لامتحان: أقلام رصاص، أقلام حبر زرقاء وسوداء، ممحاة، طامس للتصحيح، مبراة، مسطرة، آلة حاسبة، منقلة.

## أسئلة الاختيار من متعدد

### اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

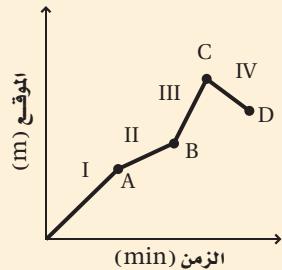
1. أي العبارات الآتية تعبّر بشكل صحيح عن النموذج الجسيمي النقطي لحركة طائرة تقلع من مطار؟

- (A) تكون النقاط نمطاً وتفصل بينها مسافات متساوية.  
(B) تكون النقاط متباينة في البداية، ثم تقارب مع تسارع الطائرة.

- (C) تكون النقاط متقاربة في البداية، ثم تبتعد مع تسارع الطائرة.

- (D) تكون النقاط متقاربة في البداية، ثم تبتعد ثم تقارب 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؟

- (A) في الفترة I  
(C) عند النقطة II  
(B) في الفترة III  
(D) عند النقطة IV

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

- (C) النقطة A  
(D) النقطة B

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

- (C) الفترة I  
(D) الفترة II

# الفصل 3

## الحركة المتسارعة Accelerated Motion

ما الذي ستعلمك في هذا الفصل؟

- وصف الحركة المتسارعة.
- استخدام الرسوم البيانية والمعادلات لحل مسائل تتضمن أجساماً 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 العديدي من وسائل النقل - ومنها السيارات والطائرات وقطارات الأنفاق وكذلك المصاعد وغيرها - تبدأ رحلاتها عادةً بزيادة سرعتها بمعدل كبير، وتنهيها بالوقوف بأسرع ما يمكن.



### فكرة ▶

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



## تجربة استهلاكية



### هل تبدو جميع أنواع الحركة بالشكل نفسه عند تمثيلها بيانياً؟

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

#### الخطوات

- أحضر سيارتين لعبة تعملان بناي، وضع لوحاً خشبياً مناسباً فوق سطح الطاولة لتمثيل مسار حركة السيارتين.
- ثبت المؤقت ذا الشريط الورقي على أحد طرفي اللوح.
- قص قطعة من شريط المؤقت طولها 50 cm وأدخلها في المؤقت، ثم أصق الطرف الآخر بالسيارة رقم 1، حيث يستخدم الشريط الورقي أداةً لرسم خطط الجسم النقطي.
- دون رقم السيارة على الشريط، وشغل المؤقت، وأطلق السيارة.
- ارفع الطرف الثاني للوح الخشبي بمقدار 8–10 cm، بوضع مكعبات خشبية أسفل طرفه.
- كرر الخطوات 3–5 مستخدماً السيارة رقم 2، بوضع السيارة ملائمة للمؤقت وإطلاقها بعد تشغيله. أمسك السيارة قبل سقوطها عن حافة اللوح الخشبي.



رابط المدرس الرقمي  
www.ien.edu.sa

## 1-3 التسارع (العجلة)

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

في هذا الفصل ستزيد معلوماتك في هذا المجال، بتعرف نوع من الحركة أكثر تعقيداً. وستدرس حالات تغير خلاها سرعة الجسم، بينما يبقى مساره مستقيماً. وستدرس كذلك أمثلة تتضمن سيارات تتزايد سرعتها، واستخدام سائقي السيارات للفرامل، والأجسام الساقطة، والأجسام المقذوفة رأسياً إلى أعلى.

### الأهداف

- تعرف التسارع (العجلة).
- ترتبط السرعة المتجهة والتسارع مع حركة الجسم.
- تمثل بيانياً العلاقة بين السرعة المتجهة والزمن.

### المفردات

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

## تجربة

### سباق الكرة الفولاذية



إذا أفلتت كرتان من الفولاذ في اللحظة نفسها من قمة منحدر، فهل تتقابران أو تتباعدان أو تبقيان متجلرين في أثناء تدحرجهما؟

1. أعمل مستوى مائلاً باستخدام أنبوب طويل فيه مجرى على شكل حرف U، أو استعمل مسطرين متريين ملتصقين معاً.

2. حدد علامات على بُعد 40 cm من قمة المستوى المائل، وعلامة أخرى على بُعد 80 cm من القمة أيضاً.

3. توقع ما إذا كانت الكرتان ستتقابران 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 أيضاً.

### التحليل والاستنتاج

6. اشرح مشاهداتك مستخدماً مصطلحات السرعة.

7. هل كان للكرتين الفولاذيتين السرعة نفسها في أثناء تدحرجهما على المستوى المائل؟ ووضح ذلك.

8. هل كان لهما التسارع نفسه؟ ووضح ذلك.

## تغير السرعة المتجهة Changing Velocity

تستطيع أن تشعر بالفرق بين الحركة المنتظمة والحركة غير المنتظمة؛ فالحركة المنتظمة قتاز بسلامتها؛ فإذا أغمضت عينيك لم تشعر بالحركة. وعلى التقىض من ذلك، عندما تتحرك على مسار منحنٍ أو صعوداً وهبوطاً كما هو الحال عند ركوب العجلة الدوّارة في منتزة الألعاب تشعر بأنك تُدفع أو تُسحب.

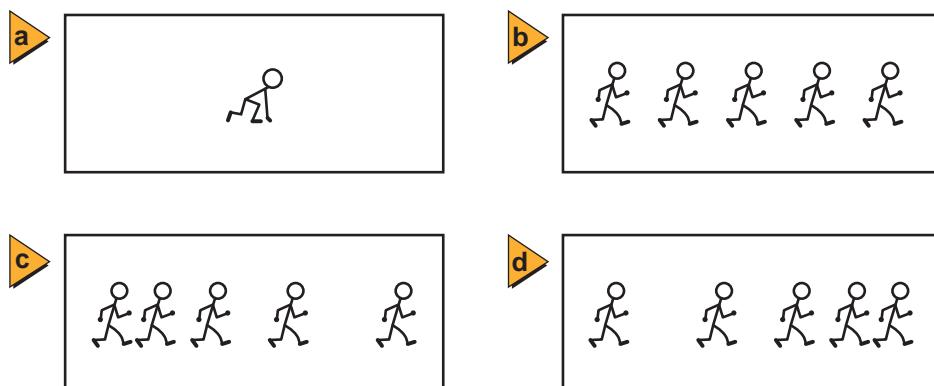
تأمل المخططات التوضيحية للحركة المبينة في الشكل 1-3. كيف تصف حركة العداء في كل حالة؟ في الشكل a لا يتحرك العداء، أما في الشكل b فيتحرك بسرعة منتظمة، وفي الشكل c يزيد من سرعته، أما في الشكل d فيتباطأ. كيف استطعت استنتاج ذلك؟ ما المعلومات التي تتضمنها المخططات التوضيحية، ويمكن استخدامها للتمييز بين الحالات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

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

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

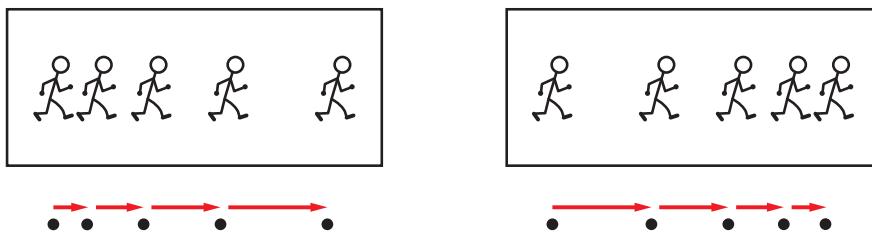
a. يقف ساكناً b. يتحرك بسرعة منتظمة

c. يتسرع d. يتباطأ



### الشكل 2-3 نموذج الجسم 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.



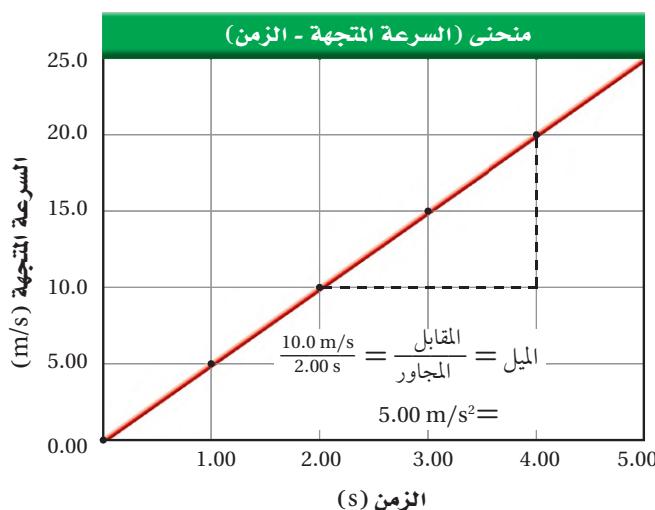
كيف يبدو المخطط التوضيحي للحركة باستخدام نموذج الجسم النقطي لجسم تغير سرعته؟  
في **الشكل 2-3** المخططات التوضيحية للحركة باستخدام النموذج الجسيمي النقطي أسفل المخططات التوضيحية لتمثيل حالة العداء عندما تزداد سرعته، وعندما تتباطأ سرعته. هناك مؤشران رئيسان يعبران عن التغير في السرعة في هذا النمط من المخططات التوضيحية للحركة، هما: التغير في أطوال المسافات بين النقاط، والفرق بين أطوال متجهات السرعة. فإذا كان الجسم يزيد من سرعته فإنه متوجه السرعة التالي يكون أطول من متوجه السرعة السابق. أما إذا كان يُبطئ من سرعته فيكون المتوجه التالي أقصر. إن كلا النوعين من التمثيلات المتكافئة يعطي تصوّراً عن كيفية تغيير سرعة جسم ما.

## منحنى السرعة المتجهة- الزمن Velocity-Time Graph

من المفيد أن نمثل بيانياً 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	
السرعة المتجهة (m/s)	الزمن (s)
0.00	0.00
5.00	1.00
10.0	2.00
15.0	3.00
20.0	4.00
25.0	5.00

يتضح من الرسم البياني أن الميل يساوي  $\frac{10.0 \text{ m/s}}{2.00 \text{ s}}$ ، 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  $1 \text{ s}$ ، مثلًا  $4.00 \text{ s}$  و  $5.00 \text{ s}$ ، تجد أنه عند اللحظة  $4.00 \text{ s}$  كانت السيارة تتحرك بسرعة  $20.0 \text{ m/s}$ ، وعند اللحظة  $5.00 \text{ s}$  كانت السيارة تتحرك بسرعة  $25.0 \text{ m/s}$ . وبذلك ازدادت سرعة السيارة بمقدار  $5.0 \text{ m/s}$  خلال فترة زمنية مقدارها  $1.00 \text{ s}$ . ويعرف المعدل الزمني لتغير السرعة المتوجه لجسم **تسارع الجسم (عجلة الجسم)**، ويرمز له بالرمز  $a$ . 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 المتوجه لجسم خلال فترة زمنية، مقسومًا على هذه الفترة الزمنية، ويقاس التسارع المتوسط بوحدة  $\text{m/s}^2$ . أما التغير في السرعة المتوجه خلال فترة زمنية صغيرة جدًا فيسمى **التسارع اللحظي**. ويمكن إيجاد التسارع اللحظي لجسم برسم خط مماسٍ لمحني (السرعة المتوجه—الزمن) عند اللحظة الزمنية المراد حساب التسارع عندها، وميل هذا الخط يساوي التسارع اللحظي.



## التسارع في نماذج الجسيم النقطي

### Acceleration on a Particle - Model

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 المتوجهة. لتحديد طول واتجاه متوجه التسارع المتوسط اطرح متجهي سرعة متاليين ( $\Delta v$ )، ثم اقسم على الفترة الزمنية ( $\Delta t$ ). وكما هو مبين في الشكلين **a**—**b** فإن:

$$\Delta v = v_f - v_i = v_f + (-v_i)$$

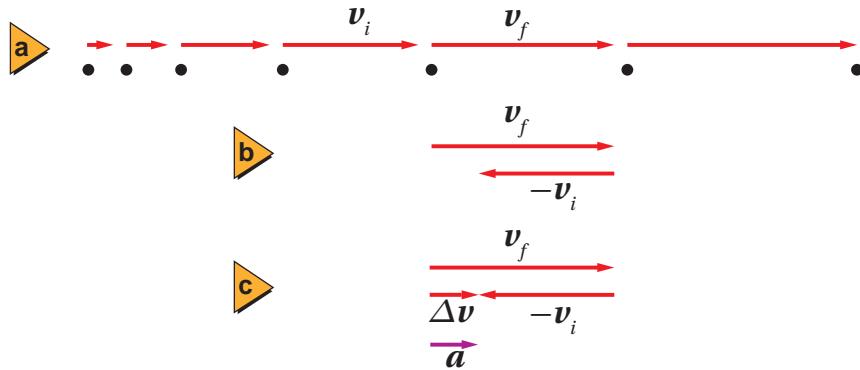
وبالقسمة على  $\Delta t$  نحصل على:

$$\bar{a} = \frac{(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

في الشكلين **a**—**b** تكون الفترة الزمنية ( $\Delta t$ ) متساوية  $1 \text{ s}$ ، لذلك يكون التسارع المتوسط

$$\bar{a} = \frac{(v_f - v_i)}{1 \text{ s}}$$

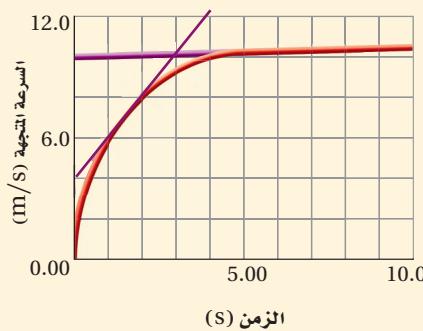
**الشكل 4-3** يحسب متجه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية محددة بإيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتتاليين في تلك الفترة.



إن المتجه الذي يظهر باللون البنفسجي في **الشكل 4-3** هو التسارع المتوسط خلال تلك الفترة الزمنية. أما السرعات المتجهتان  $v_i$  و  $v_f$  فتشيران إلى السرعة عند بداية فترة زمنية محددة، وعندهايتها.

## مثال 1

**السرعة المتجهة والتسارع** كيف تصف سرعة العداء المتجهة وتسارعه من خلال منحني (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  $10.0 \text{ m/s}$  بقيت ثابتة تقريباً.

المجهول

$$a = ?$$

العلوم

$$v = \text{متغير}$$

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

ارسم مماساً للمنحنى عند الزمن  $t = 1.5 \text{ s}$ ، ثم ارسم مماساً آخر عند الزمن  $t = 5.0 \text{ s}$ .  
أوجد التسارع  $a$  عند  $1.5 \text{ s}$ .

$$\frac{\text{المقابل}}{\text{الميل}} = \frac{1}{\text{المجاور}}$$

ميل الخط عند  $1.5 \text{ s}$  يساوي التسارع  
أوجد التسارع عند  $5.0 \text{ s}$  يساوي التسارع

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

دليل الرياضيات

الميل

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

التسارع غير ثابت؛ لأنّه يتغيّر من  $2.0 \text{ m/s}^2$  في اللحظة  $1.5 \text{ s}$ ، إلى  $0.030 \text{ m/s}^2$  في اللحظة  $5.0 \text{ s}$ ، وذلك في الاتجاه الموجب؛ لأنّ القيمتين موجبتان.

### 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ يقاس التسارع بوحدة  $\text{m/s}^2$ .

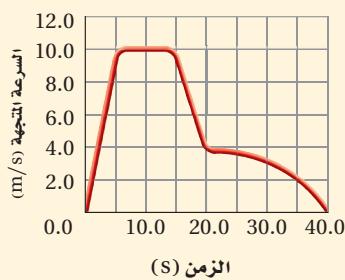
## مسائل تدريبية

1. ركضت قطة داخل منزل، ثم أبطأت من سرعتها بشكل مفاجئ، وانزلقت على الأرضية الخشبية حتى توقفت. لو افترضنا أنها تباطأت بتسارع ثابت فارسم نموذج الجسم النقطي للحركة يوضح هذا الموقف، واستخدم متوجهات السرعة لإيجاد متوجه التسارع.



الشكل 5-5

2. بيان الشكل 5-3 منحني (السرعة المتوجهة - الزمن) لجزء من رحلة أحمد بسيارته على الطريق. ارسم نموذج الجسم النقطي للحركة الممثلة في الرسم البياني، وأكمله برسم متوجهات السرعة.



الشكل 6-3

3. استعن بالشكل 3-3 الذي يوضح منحني (السرعة المتوجهة - الزمن) لقطار لعبة؛ لتجيب عن الأسئلة الآتية:
- متى كان القطار يتحرك بسرعة متقطمة؟
  - خلال أي فترات زمنية كان تسارع القطار موجباً؟
  - متى اكتسب القطار أكبر تسارع سالب؟

4. استعن بالشكل 6-3 لإيجاد التسارع المتوسط للقطار خلال الفترات الزمنية الآتية:

- من 0.0 s إلى 5.0 s
- من 15.0 s إلى 20.0 s
- من 0.0 s إلى 40.0 s

5. ارسم منحني (السرعة المتوجهة - الزمن) لحركة مصعد يبدأ من السكون عند الطابق الأرضي في بناء من ثلاثة طوابق، ثم يتسارع إلى أعلى مدة 2.0 s بمقدار  $0.5 \text{ m/s}^2$ . ويستمر في الصعود بسرعة متقطمة  $1.0 \text{ m/s}$  مدة 4.0 s، وبعدئذ يتأثر بتسارع ثابت إلى أسفل مقدار  $0.25 \text{ m/s}^2$  مدة 4.0 s حتى يصل إلى الطابق الثالث.



## التسارع الموجب والتسارع السالب

### Positive and Negative Acceleration



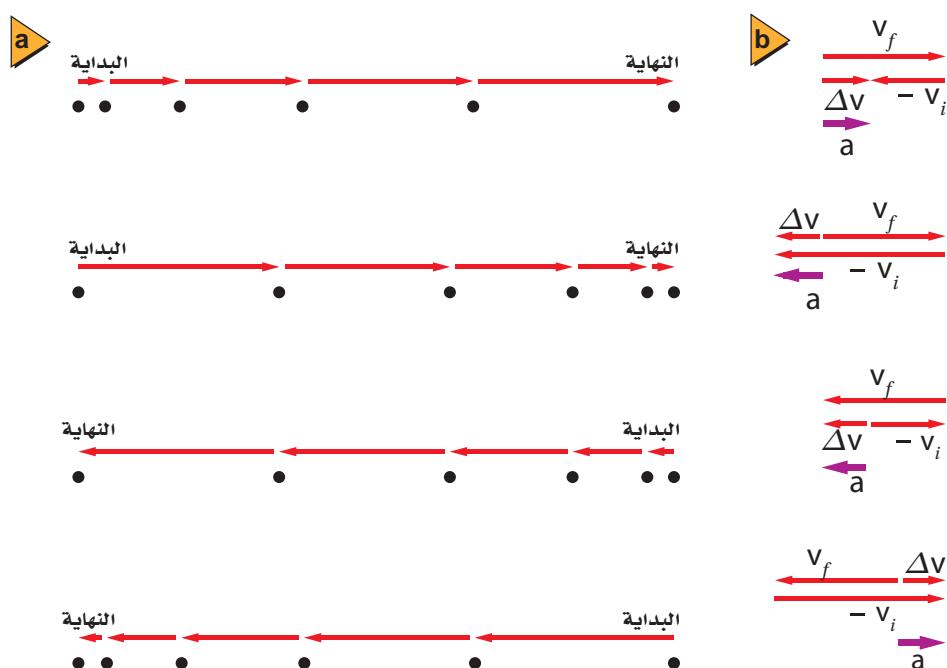
تأمل الحالات الأربع الموضحة في الشكل 3-7a؛ حيث يبين نموذج الجسيم النقطي الأول حركة جسم تردد سرعته في الاتجاه الموجب، وبين النموذج الثاني حركة جسم تتناقص سرعته في الاتجاه الموجب، يوضح الشكل 3-7c هذه الحالتين، وبين النموذج الثالث حركة جسم تتزايد سرعته في الاتجاه السالب، بينما يبين النموذج الرابع حركة جسم تتناقص سرعته ويتحرك في الاتجاه السالب. وبين الشكل 3-7b-3 متوجهات السرعة خلال الفترة الزمنية الثانية في كل نموذج للحركة، وبجانبها متوجهات التسارع المتواقة معها. لاحظ أن الفترة الزمنية  $\Delta t$  تساوي 1 s.

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

ويكون للجسم تسارع موجب عندما يكون اتجاه التسارع متوجه التسارع في الاتجاه الموجب للحركة، ويكون للجسم تسارع سالب عندما يكون اتجاه متوجه التسارع في الاتجاه السالب للحركة عند وجود تزايد في السرعة. لذا فإن إشارة التسارع لا تحدد ما إذا كان الجسم متسارعاً أم متباططاً.

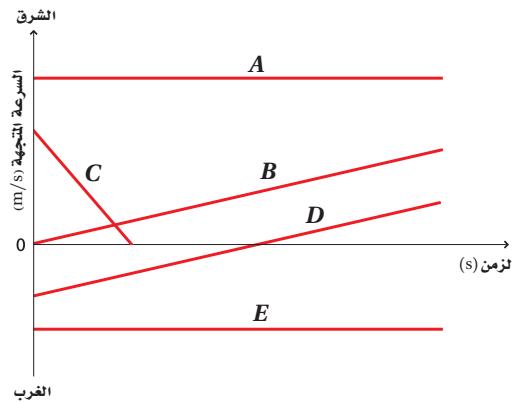
**الشكل 3-7**

- a. تمثل نماذج الجسيم النقطي أربع طرائق محتملة للحركة في مسار مستقيم بتسارع ثابت.
- b. عندما تشير متوجهات السرعة ومتوجهات التسارع إلى الاتجاه نفسه تزداد سرعة الجسم. أما عندما تشير إلى اتجاهات متعاكسة فإن الجسم تتناقص سرعته.
- c. تمثيل بمخططات الحركة التوضيحية والمنحنies للحالتين الأولى والثانية.



## 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 تشمل على معلومات عن سرعة وتسارع كل عداء، وقد اختير الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق. وبملاحظة التغير في سرعة كل عداء، والمتمثلة بخط مستقيم ستتجدد أن سرعتي العدائيين  $A$  و  $E$  ثابتتان في أثناء الحركة، مما يعني أن معدل التغير في السرعة يساوي صفرًا. هذا يعني أن تسارع كل منها يساوي صفرًا. بينما سرعة كل من العدائيين  $B$  و  $D$  تتزايد بانتظام، أي أنها بتحركان بتسارع؛ حيث إن السرعة والتسارع موجبان؛ أي أنها 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** يبينان الحركة بسرعة متتجهة ثابتة في اتجاهين متعاكسين، والرسم **B** يبين سرعة متتجهةً موجبةً وتتسارعًا موجبًا. والرسم **C** يبين سرعة متتجهةً موجبةً وتتسارعًا سالبًا. والرسم **D** يبين حركة بتسارع موجب ثابت، بحيث يقلل السرعة المتتجهة عندما تكون سالبةً، ويزيدها عندما تكون موجبةً.

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

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

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

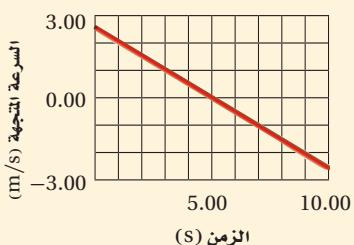
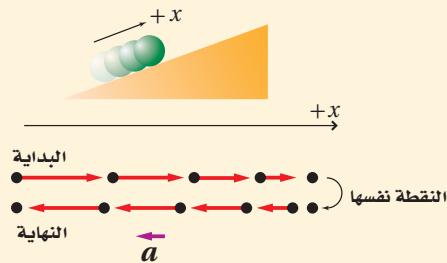
افترض أنك جريت بأقصى سرعة ذهابًا وإيابًا عبر صالة رياضية، حيث بدأت الجري في اتجاه الجدار بسرعة  $4.0 \text{ m/s}$ ، وبعد مرور  $10.0 \text{ s}$  كنت تجري بسرعة  $4.0 \text{ m/s}$  مبعداً عن الجدار. ما تسارعك المتوسط إذا كان الاتجاه الموجب نحو الجدار؟

$$\begin{aligned} \bar{a} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \\ &= \frac{(-4.0 \text{ m/s}) - (4.0 \text{ m/s})}{10.0 \text{ s}} = \frac{-8.0 \text{ m/s}}{10.0 \text{ s}} = -0.80 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

تشير الإشارة السالبة إلى أن اتجاه التسارع في عكس الاتجاه الذي يقربنا إلى الجدار. فيما 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.

## مثال 2

**التسارع** صف حركة كرة تتدحرج صاعدة مستوى مائلًا بسرعة ابتدائية  $2.50 \text{ m/s}$  وتباطأ لمدة  $5.00 \text{ s}$ ، ثم توقف 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؟



$$\begin{aligned}\Delta v &= v_f - v_i \\ &= 0.00 \text{ m/s} - 2.50 \text{ m/s} \\ &= -2.50 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &=? & v_i &= +2.5 \text{ m/s} \\ t &= 5.00 \text{ s} & v_f &= 0.00 \text{ m/s}\end{aligned}$$

### إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مقدار التسارع من ميل الخط البياني.

عرض لإيجاد التغير في السرعة والزمن المستغرق لحدوث هذا التغير.

$$v_f = 0.00 \text{ m/s}, v_i = 2.50 \text{ m/s}$$

$$t_f = 5.00 \text{ s}, t_i = 0.00 \text{ s}$$

أوجد قيمة التسارع

$$\Delta t = 5.00 \text{ s}, \Delta v = -2.50 \text{ m/s}$$

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

### تقويم الجواب

$$\begin{aligned}a &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{-2.5 \text{ m/s}}{5.00 \text{ s}} \\ &= -0.500 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

#### دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال  
الأرقام المعنوية 188، 189

- هل الوحدات صحيحة؟ يقاس التسارع بوحدة  $\text{m/s}^2$ .
- هل للاتجاهات معنى؟ خلال الثواني الخمس الأولى ( $0.00 \text{ s} - 5.00 \text{ s}$ ) كان اتجاه التسارع في عكس اتجاه السرعة المتجهة، والكرة تباطأ.

## ► مسائل تدريبية

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

تشابه السرعة المتجهة والتسارع في أن كليهما عبارة عن معدل تغير؛ فالتسارع هو المعدل الزمني للتغير السرعة المتجهة، والسرعة المتجهة هي المعدل الزمني للتغير 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.



## ١-٣ مراجعة

16. السرعة المتجهة المتوسطة والتسارع المتوسط يتحرك قارب بسرعة  $2 \text{ m/s}$  في عكس اتجاه جريان نهر، ثم يدور حول نفسه وينطلق في اتجاه جريان النهر بسرعة  $4.0 \text{ m/s}$ . إذا كان الزمن الذي استغرقه القارب في الدوران  $8.0 \text{ s}$  :
- فما السرعة المتجهة المتوسطة للقارب؟
  - وما التسارع المتوسط للقارب؟
17. **التفكير الناقد** ضبط رجل مرور سائق يسير بسرعة تزيد  $32 \text{ km/h}$  على حد السرعة المسموح به لحظة تجاوزه سيارة أخرى تنطلق بسرعة أقل. سجل الرجل المرور على كلا السائقين إشعار مخالفه لتجاوز السرعة. وقد أصدر القاضي حكمًا على كلا السائقين. وتم اتخاذ الحكم استنادًا إلى فرضية يقول إن كلتا السيارتين كانتا تسيران بالسرعة نفسها؛ لأنهما تم ملاحظتهما عندما كانت الأولى بجانب الثانية. هل كان كل من القاضي ورجل المرور على صواب؟ وضح ذلك باستخدام خطط توضيحي للحركة، ورسم منحنى (الموقع-الزمن).

12. منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) ما المعلومات التي يمكن استخلاصها من منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)؟
13. منحنى (الموقع-الزمن والسرعة المتجهة-الزمن) عدّاءان أحدهما على بعد  $15 \text{ m}$  إلى الشرق من نقطة الأصل، والأخر على بعد  $15 \text{ m}$  غربها، وذلك عند الزمن  $t = 0$ . إذا ركض هذان العداءان بسرعة متقطمة مقدارها  $7.5 \text{ m/s}$  في اتجاه الشرق فأجب :  
a. ما الفرق بين الخطتين البيانيتين الممثلتين لحركتي العداءين في منحنى (الموقع-الزمن)؟  
b. ما الفرق بين الخطتين البيانيتين الممثلتين لحركتي العداءين 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) مثل بيانيًّا منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لحركة سيارة تسير في اتجاه الشرق بسرعة  $25 \text{ m/s}$  مدة  $100 \text{ s}$ ، ثم في اتجاه الغرب بسرعة  $25 \text{ m/s}$  مدة  $100 \text{ s}$  أخرى.

## 3-3 الحركة بتسارع ثابت Motion with Constant Acceleration

رابط الدرس الرقمي



يمكن معالجة المعادلات الرياضية لكل من السرعة المتوسطة والتسارع المتوسط لإيجاد الموضع 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  $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  ويمكن إعادة كتابته بالصورة:

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

$$v_f - v_i = \bar{a} \Delta t$$

لذا فإن العلاقة بين السرعة المتجهة النهاية والتسارع المتوسط يمكن كتابتها على النحو الآتي:

$$v_f = v_i + \bar{a} \Delta t$$

#### السرعة المتجهة النهاية بدلالة التسارع المتوسط

السرعة المتجهة النهاية تساوي السرعة المتجهة الابتدائية مضافةً إليها حاصل ضرب التسارع المتوسط في الفترة الزمنية.

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

### 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.

### مسائل تدريبية

18. تندحر كررة جولف إلى أعلى تل في اتجاه حفرة الجولف. افترض أن الاتجاه نحو الحفرة هو الاتجاه الموجب وأجب عما يأتي:

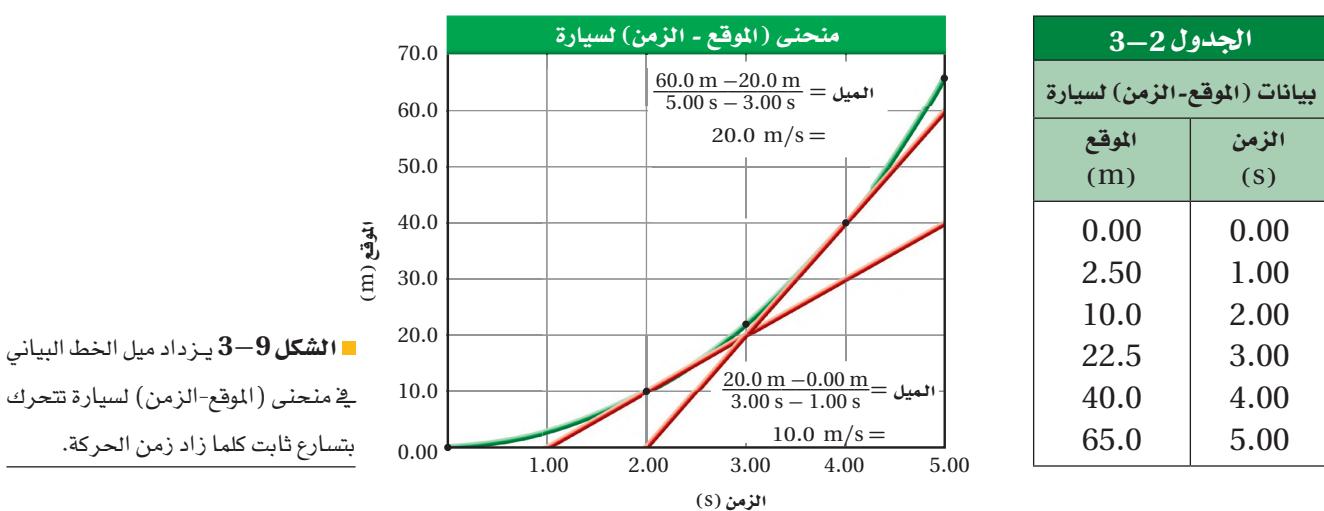
- a. إذا انطلقت كررة الجولف بسرعة  $2.0 \text{ m/s}$ ، وتباطأت بمعدل ثابت  $0.50 \text{ m/s}^2$  فما سرعتها بعد مضي  $2.0 \text{ s}$ ؟  
b. ما سرعة كررة الجولف إذا استمر التسارع الثابت مدة  $6.0 \text{ s}$ ؟  
c. صُف حركة كررة الجولف بالكلمات، ثم باستخدام نموذج الجسم النقطي.

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

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

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





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

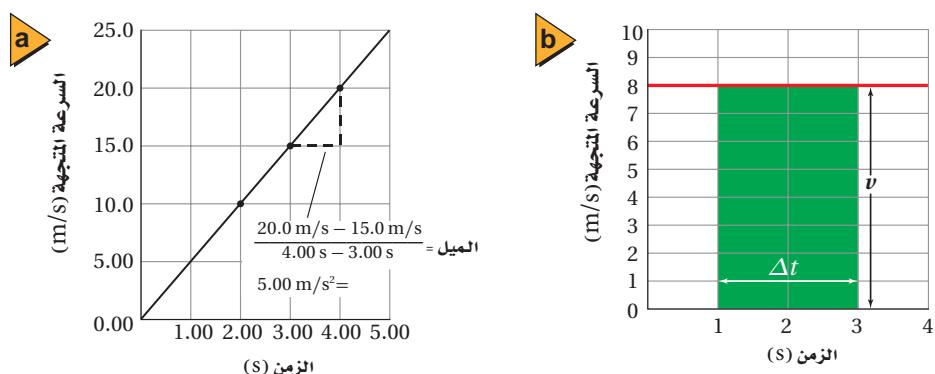
## الموقع بدلاة التسارع الثابت

### Position with Constant Acceleration

توصلت إلى أن الجسم الذي يتحرك بتسارع ثابت يغير سرعته المتوجهة بمعدل ثابت. ولكن كيف يتغير موقع الجسم المتحرك بتسارع ثابت؟ بين 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 المتوجهة-الزمن).

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

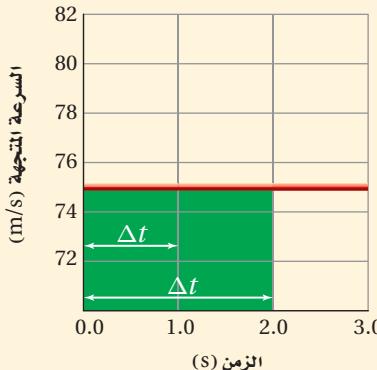
- الشكل 10-3**
- يمثل ميل كل من مماسات منحنى (الموقع-الزمن) في الشكل 9-3 قيم (السرعة المتوجهة-الزمن).
  - الإزاحة خلال فترة زمانية معينة تساوي عددياً المساحة تحت منحنى (السرعة المتوجهة-الزمن).



لحركة الجسم  $\Delta t$  تمثل عرض المستطيل. لذا فإن مساحة المستطيل هي  $v \Delta t$  أو  $\Delta d$ ، أي أن المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) تساوي عدديًا إزاحة الجسم.

### مثـالـ 3

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



#### 1 تحليل المسألة ورسمها

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

**المجهول**

$$\Delta d = ?$$

**المعلوم**

$$v = +75\text{ m/s}$$

$$\Delta t = 1.0\text{ s}$$

$$\Delta t = 2.0\text{ s}$$

#### 2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الإزاحة خلال  $1.0\text{ s}$

$$\Delta d = v \Delta t$$

$$= (+75\text{ m/s}) (1.0\text{ s})$$

$$= +75\text{ m}$$

$$v = +75\text{ m/s}, \Delta t = 1.0\text{ s}$$

$$\Delta d = v \Delta t$$

$$= (+75\text{ m/s}) (2.0\text{ s})$$

$$= +150\text{ m}$$

$$\text{أوجد الإزاحة خلال } 2.0\text{ s}$$

$$v = +75\text{ m/s}, \Delta t = 2.0\text{ s}$$

#### دليل الرياضيات

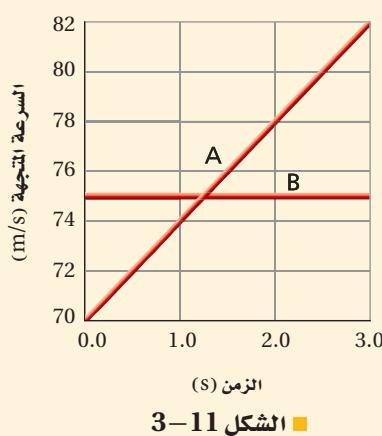
إجراء العمليات الحسابية باستعمال  
الأرقام المعنوية 188، 189

#### 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تفاصيـلـ إـزـاحـةـ بـالـأـمـتـارـ.
- هل الإشارات معنىـ؟ تتفق الإشارات الموجبة مع الرسم البياني.
- هلـ الجـوابـ منـطـقـيـ؟ قـطـعـ مـسـافـةـ مـسـاوـيـةـ تـقـرـيـبـاـ لـطـوـلـ مـلـعـبـ كـرـةـ قـدـمـ ثـانـيـتـيـنـ مـنـطـقـيـ بـالـنـسـبـةـ إـلـىـ سـرـعـةـ الطـائـرـةـ.



## مسائل تدريبية



22. استخدم الشكل 11-3 لتعيين السرعة المتجهة لطائرة تتزايد سرعتها عند كل من الأزمنة الآتية:

2.5 s .c

2.0 s .b

1.0 s .a

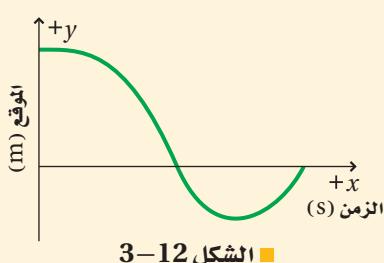
23. تسير سيارة بسرعة منتظمة مقدارها  $10.0 \text{ min} = 25 \text{ m/s}$  لمدة  $1.5 \text{ m/s}$ ، ثم ينفد منها الوقود، فيسير السائق على قدميه في الاتجاه نفسه بسرعة  $1.2 \text{ m/s}$  مدة  $2.0 \text{ min}$  ليصل إلى أقرب محطة وقود. وقد استغرق السائق  $1.2 \text{ m/s}$  ملء جالون من البنزين، ثم سار عائداً إلى السيارة بسرعة  $1.2 \text{ m/s}$  وأخيراً تحرك بالسيارة إلى البيت بسرعة  $25 \text{ m/s}$  في اتجاه معاكس لاتجاه رحلته الأصلية.

a. ارسم منحني (السرعة المتجهة - الزمن) معتمداً الثانية  $s$  وحدة للزمن.

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

b. ارسم منحني (الموقع - الزمن) باستخدام المساحات تحت منحني (السرعة المتجهة - الزمن).

24. يوضح الشكل 12-3 منحني (الموقع - الزمن) لحركة حصان في حقل. ارسم منحني (السرعة المتجهة - الزمن) المتواافق معه، باستخدام مقاييس الزمن نفسه.



توصلت سابقاً إلى أنه يمكن إيجاد الإزاحة من منحني (السرعة المتجهة - الزمن) لجسم يتحرك بتسارع ثابت مبتدئاً بسرعة ابتدائية  $v_i$ ؛ وذلك بحساب المساحة تحت المنحني. ففي الشكل 13-3 تحسب الإزاحة بتقسيم المساحة تحت المنحني إلى مستطيل ومثلث.

يمكن إيجاد مساحة المستطيل باستخدام العلاقة:

$\Delta d = v_i \Delta t$  مستطيل

وإيجاد مساحة المثلث باستخدام العلاقة:

$$\Delta d = \frac{1}{2} \Delta v \Delta t \quad \text{مثلث}$$

ولأن التسارع المتوسط يساوي:

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

لذا يمكن كتابة  $\Delta v$  في الصورة:

وبالتعويض في معادلة مساحة المثلث تصبح المعادلة:

$$\Delta d = \frac{1}{2} (\bar{a} \Delta t) \Delta t \quad \text{مثلث}$$

لذا فإن المساحة الكلية تحت المنحني تساوي:

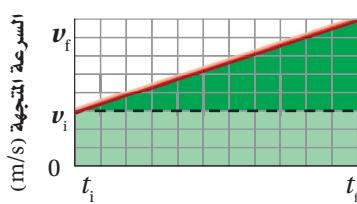
$$\Delta d = \Delta d_{\text{مستطيل}} + \Delta d_{\text{مثلث}}$$

$$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} \bar{a} \Delta t^2$$

وعندما يكون الموقع الابتدائي  $d_i$  أو النهائي  $d_f$  للجسم معلوماً يمكن كتابة المعادلة في الصورة الآتية:

$$d_f - d_i = v_i \Delta t + \frac{1}{2} \bar{a} \Delta t^2$$

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



## تطبيق الفيزياء

◀ سباق ربع الميل في سباق خاص يسمى ربع 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

$$\mathbf{d}_f = \mathbf{d}_i + \mathbf{v}_i \Delta t + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{a}} \Delta t^2 \quad \text{أو}$$

إذا كان الزمن الابتدائي  $t_i = 0$  فإن التغير في الموقع بدلالة التسارع المتوسط يُحسب بالعلاقة الآتية:

$$\Delta \mathbf{d} = \mathbf{v}_i t + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{a}} t^2 \quad \text{التغير في الموقع بدلالة التسارع المتوسط}$$

ويتمكن ربط الموقع والسرعة المتجهة والتسارع الثابت في علاقة لا تتضمن الزمن، وذلك

$$\mathbf{v}_f = \mathbf{v}_i + \bar{\mathbf{a}} t \quad \text{بإعادة ترتيب المعادلة}$$

$$t = \frac{\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_i}{\bar{\mathbf{a}}} \quad \text{لتعطي } (t_f) :$$

$$\Delta \mathbf{d} = \mathbf{v}_i t + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{a}} t^2 \quad \text{وبالتعويض عن قيمة } (t) \text{ في المعادلة}$$

$$\Delta \mathbf{d} = \mathbf{v}_i \left( \frac{\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_i}{\bar{\mathbf{a}}} \right) + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{a}} \left( \frac{\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_i}{\bar{\mathbf{a}}} \right)^2 \quad \text{تحصل على:}$$

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

$$\mathbf{v}_f^2 = \mathbf{v}_i^2 + 2 \bar{\mathbf{a}} \Delta \mathbf{d} \quad \text{السرعة المتجهة بدلالة التسارع الثابت}$$

ويتمكن تلخيص المعادلات الثلاث للحركة بتسارع ثابت كما في الجدول 3-3

الجدول 3-3

### معادلات الحركة في حالة التسارع الثابت

المتغيرات	المعادلة
$\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_f, \bar{\mathbf{a}}, t$	$\mathbf{v}_f = \mathbf{v}_i + \bar{\mathbf{a}} t$
$\Delta \mathbf{d}, \mathbf{v}_i, t, \bar{\mathbf{a}}$	$\Delta \mathbf{d} = \mathbf{v}_i t + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{a}} t^2$
$\Delta \mathbf{d}, \mathbf{v}_i, \mathbf{v}_f, \bar{\mathbf{a}}$	$\mathbf{v}_f^2 = \mathbf{v}_i^2 + 2 \bar{\mathbf{a}} \Delta \mathbf{d}$



## مثال 4

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



$$\text{البداية} \rightarrow \bullet \rightarrow \bullet \rightarrow \frac{v}{a} \rightarrow \bullet \rightarrow \text{النهاية}$$

**المجهول**  
 $d_f = ?$

### 1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل المسألة بالرسم.
- عين محاور الإحداثيات.
- ارسم نموذج الجسم النقطي للحركة.

#### العلوم

$$d_i = 0.00 \text{ m}$$

$$v_i = 0.00 \text{ m/s}$$

$$v_f = 25 \text{ m/s}$$

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

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

لإيجاد  $d_f$  نستخدم المعادلة:

#### دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 192، 193

$$v_f^2 = v_i^2 + 2 a \Delta d$$

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

$$d_f = d_i + v_f^2 / 2a - v_i^2 / 2a$$

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

$$\approx 89 \text{ m}$$

بالتعويض  
 $d_i = 0.00 \text{ m}$ ,  $v_f = 25 \text{ m/s}$   
 $v_i = 0.00 \text{ m/s}$ ,  $a = 3.5 \text{ m/s}^2$

### 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تفاصي الإزاحة بوحدة المتر .m.
- هل الإشارات معنى؟ الإشارة الموجبة تتفق مع كل من النموذج التصويري والنموذج الفيزيائي.
- هل الجواب منطقي؟ تبدو الإزاحة كبيرةً، ولكن السرعة ( $25 \text{ m/s}$ ) كبيرةً أيضًا، لذلك فالنتيجة منطقية.

#### تجربة عملية

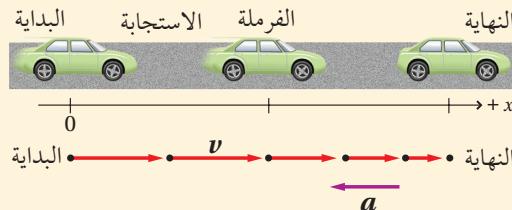
كيف تتدحرج الكرة؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثباتية



## مثال 5

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



**المجهول**

$$d_{\text{الاستجابة}} = ?$$

$$d_{\text{الفرملة}} = ?$$

$$d_{\text{الكلية}} = ?$$

**المعلوم**

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

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

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

## 2 إيجاد الكمية المجهولة

**الاستجابة**: أوجد المسافة التي تتحركها السيارة بسرعة منتظمة.

$$d_{\text{الاستجابة}} = \frac{v}{\text{الاستجابة}} t = \frac{25 \text{ m/s}}{\text{الاستجابة}} (0.45 \text{ s}) = 11 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} v_f^2 - v_i^2 &= 2a d \quad (\text{الفرملة}) \\ d &= \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} \quad (\text{الفرملة}) \\ &= \frac{(0.00 \text{ m/s})^2 - (25 \text{ m/s})^2}{2(-8.5 \text{ m/s}^2)} \\ &\approx 37 \text{ m} \end{aligned}$$

### دليل الرياضيات

فصل المتغير 194

$$\begin{aligned} v &= 25 \text{ m/s} && \text{بالتعويض} \\ v_f &= 0.00 \text{ m/s} && \text{الفرملة} \\ a &= -8.5 \text{ m/s}^2 && \text{الفرملة} \end{aligned}$$

المسافة الكلية تساوي: مجموع مسافة الاستجابة ومسافة الفرملة.

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

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

## 3 تقويم الجواب

هل الوحدات صحيحة؟ تقاس الإزاحة بوحدة المتر  $\text{m}$ .

هل للإشارات معنى؟ كل من الاستجابة  $d$  والفرملة  $d$  موجبة؛ لأنها في اتجاه الحركة نفسه.

هل الجواب منطقي؟ مسافة الفرملة صغيرة، لكنها منطقية؛ لأن مقدار التسارع كبير.



25. يتحرك متزلج بسرعة منتظمة  $1.75 \text{ m/s}$ ، وعندما بدأ يصعد مستوى مائلاً تباطأ سرعته وفق تسارع ثابت  $0.20 \text{ m/s}^2$ . ما الزمن الذي استغرقه حتى توقف عند نهاية المستوى المائل؟
26. تسير سيارة سباق في حلبة بسرعة  $44 \text{ m/s}$ ، وتباطأ بمعدل ثابت، بحيث تصل سرعتها إلى  $22 \text{ m/s}$  خلال  $11 \text{ s}$ . ما المسافة التي قطعتها السيارة خلال هذا الزمن؟
27. تتسارع سيارة بمعدل ثابت من  $15 \text{ m/s}$  إلى  $25 \text{ m/s}$  لتنقطع مسافة  $125 \text{ m}$ . ما الزمن الذي استغرقته السيارة لتصل إلى هذه السرعة؟
28. يتحرك راكب دراجة هوائية وفق تسارع ثابت ليصل إلى سرعة مقدارها  $7.5 \text{ m/s}$  خلال  $4.5 \text{ s}$ . إذا كانت إزاحة الدراجة خلال فترة التسارع تساوي  $19 \text{ m}$ ، فأوجد السرعة الابتدائية.
29. يركض رجل بسرعة  $4.5 \text{ m/s}$  مدة  $15.0 \text{ min}$ ، ثم يصعد تلًا يتزايد ارتفاعه تدريجيًّا؛ حيث تباطأ سرعته بمقدار ثابت  $0.05 \text{ m/s}^2$  مدة  $90.0 \text{ s}$  حتى يتوقف. أوجد المسافة التي ركضها.
30. يتدرّب خالد على ركوب الدراجة الهوائية؛ حيث يدفعه والده فيكتسب تسارعًا ثابتًا بمقدار  $0.50 \text{ m/s}^2$  مدة  $6.0 \text{ s}$ ، ثم يقود خالد الدراجة بمفرده بسرعة  $3.0 \text{ m/s}$  مدة  $6.0 \text{ s}$  قبل أن يسقط أرضاً. ما مقدار إزاحة خالد؟ إرشاد: لحل هذه المسألة ارسم منحني (السرعة المتجهة-الزمن)، ثم احسب المساحة المحصورَة تحته.
31. بدأت ركوب دراجتك الهوائية من قمة تل، ثم هبطت في اتجاه أسفل التل بتسارع ثابت  $2.00 \text{ m/s}^2$ ، وعندما وصلت إلى أسفل التل كانت سرعتك قد بلغت  $18.0 \text{ m/s}$ . وواصلت استخدام دواسات الدراجة لتحافظ على هذه السرعة مدة  $1.00 \text{ min}$ . ما المسافة التي قطعتها عن قمة التل؟
32. يتدرّب حسن استعدادً للمشاركة في سباق  $5.0 \text{ km}$ ، فبدأ تدريباته بالركض بسرعة منتظمة بمقدارها  $4.3 \text{ m/s}$  مدة  $4.3 \text{ min}$ ، ثم تسارع بمعدل ثابت حتى اجتاز خط النهاية بعد مضي  $19.4 \text{ s}$ . ما مقدار تسارعه خلال الجزء الأخير من التدريب؟

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

## 3-2 مراجعة

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

- a. ما المسافة التي قطعتها الطائرة؟
- b. ما سرعة الطائرة لحظة إقلاعها؟

39. **الرسوم البيانية** يسير عداء نحو خط البداية بسرعة منتظمة، ويأخذ موقعه قبل بدء السباق، ويتناول 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 يمسي، فيستغرق في ذلك وقتاً أطول مما استغرقه لزيادة سرعته في بداية السباق. مثل حركة العداء باستخدام الرسم البياني لكل من منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) ومنحنى (الموقع-الزمن). ارسم الرسمين أحدهما فوق الآخر باستخدام مقاييس الزمن نفسه، وبيّن على منحنى (الموقع-الزمن) مكان كل من نقطة البداية وخط النهاية.

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

33. **التسارع** في أثناء قيادة رجل سيارته بسرعة  $23 \text{ m/s}$  شاهد غزالاً يقف وسط الطريق، فاستخدم الفرامل عندما كان على بعد  $210 \text{ m}$  من الغزال. فإذا لم يتحرك الغزال، وتوقفت السيارة تماماً قبل أن تمس جسمه، فما مقدار التسارع الذي أحدثه فرامل السيارة؟

34. **الإزاحة** إذا أعطيت السرعتين المتجهتين الابتدائية والنهاية، والتسارع الثابت لجسم، وطلب إليك إيجاد الإزاحة، فما المعادلة التي ستسخدمها؟

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

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

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





### 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؟

#### الأهداف

- تُعرف التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية.
- تحل مسائل تتضمن أجساماً تسقط سقوطاً حرّاً.

#### المفردات

- السقوط الحرّ
- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية

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 نسبياً ومساحة سطحها أقل، مثل الحصاة. لفهم سلوك الأجسام الساقطة، نتناول الحالة الأبسط، وهي حركة جسم - كحجر مثلاً - بإهمال تأثير الهواء في حركته. إن المصطلح المستخدم لوصف حركة مثل هذه الأجسام هو **السقوط الحرّ**؛ وهو حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

### التسارع في مجال الجاذبية الأرضية

#### Acceleration Due to Gravity

قبل حوالي أربعينية عام تقريباً، أدرك جاليليو جاليلي أنه لكي يحدث تقدماً في دراسة حركة الأجسام الساقطة يجب عليه إهمال تأثيرات المادة التي يسقط الجسم خلاها. وفي ذلك الزمن لم يكن لدى جاليليو الوسائل التي تمكنه منأخذ بيانات موقع الأجسام الساقطة أو سرعتها، لذا قام بذرجة كرات على مستويات مائلة. وبهذه الطريقة تمكّن من تقليل تسارع الأجسام، وهذا ممكّنه من الحصول على قياسات دقيقة باستخدام أدواته البسيطة.

استنتج جاليليو أن جميع الأجسام التي تسقط سقوطاً حرّاً 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*** تغييرات طفيفة في أماكن مختلفة على الأرض، والقيمة المتوسطة لها  $9.80 \text{ m/s}^2$ .

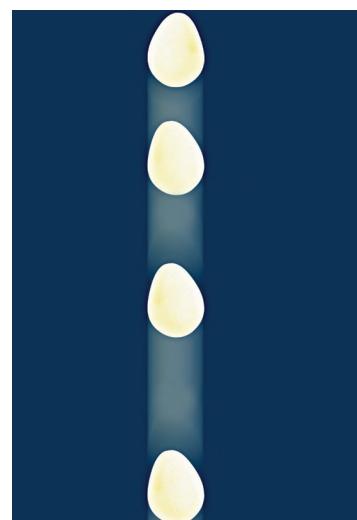
**التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية** هو تسارع جسم يسقط سقوطاً حرّاً نتيجة تأثير جاذبية الأرض فيه. افترض أنك أسقطت صخرة سقوطاً حرّاً. بعد مرور  $1\text{s}$  تكون سرعتها المتجهة إلى أسفل  $9.80 \text{ m/s}$ ، وبعد مرور  $1\text{s}$  أخرى تصبح سرعتها المتجهة إلى أسفل  $19.60 \text{ m/s}$ ، وفي كل ثانية تسقط خلاها الصخرة تزداد سرعتها المتجهة إلى أسفل بمعدل  $9.80 \text{ m/s}$ . ويعتمد اعتبار التسارع موجباً أو سالباً على النظام الإحداثي الذي يتم اختياره؛ فإذا كان النظام يعتبر الاتجاه إلى أعلى موجباً فإن التسارع الناتج عن

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

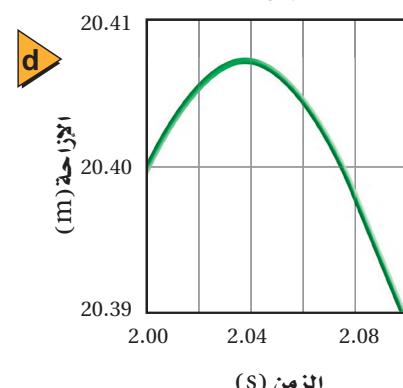
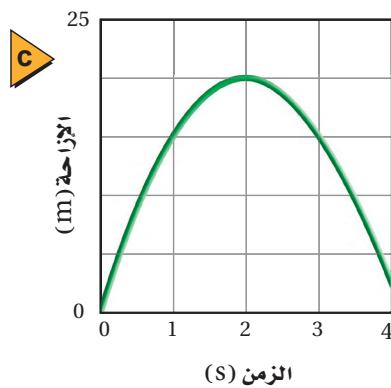
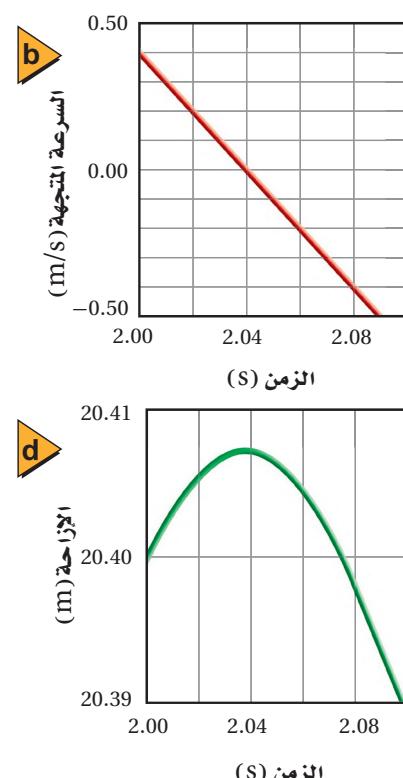
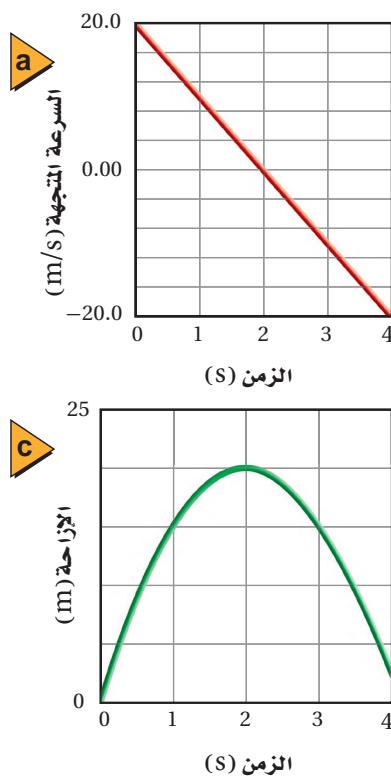
يبين الشكل 14-3 مخطط توضيحي لحركة بيضة تسقط سقوطاً حرّاً التقطت باستخدام تقنية خاصة؛ حيث الفترة الزمنية بين اللقطات هي  $0.06\text{ s}$ . ويظهر من الشكل أن الإزاحة بين كل زوج من اللقطات ترداد، وهذا يعني أن السرعة تزداد. فإذا اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الإحداثي الموجب فإن السرعة تزداد بقيمة موجبة أكثر فأكثر.

**قذف كرة إلى أعلى** بدلاً من بيضة ساقطة، هل يمكن لهذه الصورة أن تعبّر عن حركة كرة مقدوفة رأسياً إلى أعلى؟ إذا اختير الاتجاه إلى أعلى على أنه الموجب فإن الكرة تغادر اليد بسرعة متوجهة موجة مثلاً  $s = 20.0\text{ m/s}$ ، أما التسارع فيكون إلى أسفل؛ أي أن التسارع يكون سالباً، وهو يساوي  $a = -9.80\text{ m/s}^2$ . ولأن السرعة المتوجهة والتسارع في اتجاهين متعاكسيين فإن سرعة الكرة تتناقض، وهذا يتافق مع الصورة.

يبين منحنى (السرعة المتوجهة - الزمن) في الشكل 15a-3 تناقض السرعة المتوجهة للكرة بمعدل  $9.80\text{ m/s}$  كل  $1\text{ s}$ ، حتى تصل إلى الصفر عند  $2.04\text{ s}$ ، ثم يتحول اتجاه حركة الكرة إلى أسفل، وتزداد سرعتها المتوجهة تدريجياً في الاتجاه السالب. ويظهر الشكل 15b-3 لقطة مقربة لهذه الحركة. لكن ما العلاقة بين إزاحة الكرة وسرعتها المتوجهة؟ يتبيّن من الشكلين d، 15c-3 أن الكرة تصل إلى أقصى ارتفاع لها في اللحظة التي تصبح فيها سرعتها المتوجهة صفرًا. ماذا عن تسارعها؟ إن تسارع الكرة عند أي نقطة يساوي مقداراً ثابتاً  $9.80\text{ m/s}^2$ ، كما يتضح من ميل الخط البياني في الشكلين b، 15a-3.



الشكل 14-3 صورة ستربوبية (تصوير زمني سريع متتابع) لبيضة تسارع بمقدار  $9.80\text{ m/s}^2$  في اثناء السقوط الحر. فإذا تم اختيار الاتجاه الموجب إلى أسفل فإن كلاً من السرعة المتوجهة والتسارع لهذه البيضة التي تسقط سقوطاً حرّاً يكون موجياً.



الشكل 15-3 في نظام إحداثي اتجاهه الموجب إلى أعلى:  
أ و b تناقض سرعة الكرة المقدوفة إلى أعلى حتى تصبح صفرًا بعد زمن  $2.04\text{ s}$  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 تحليله فإنهم في العادة لا يأخذون وقتاً كافياً لتحليل الموقف، ف تكون إجابتهم أن التسارع يساوي صفرًا، وهذا ليس صحيحاً 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  $0.0 \text{ m/s}$ ، 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 الألعاب في مدن الألعاب، بحيث تعطي راكبها الإحساس بالسقوط الحر. ويمر الراكب في مثل هذا النوع من الألعاب بثلاث مراحل، هي: الصعود، ثم التعليق لحظياً، ثم السقوط؛ حيث تعمل محركات على توفير القوة اللازمة لتحريك عربات لعبة السقوط الحر إلى أعلى المسار. وعند سقوط هذه العربات سقوطاً حرّاً يكون للشخص الأكبر كتلة والشخص الأقل كتلة التسارع نفسه. افترض أن إحدى عربات السقوط الحر في مدينة الألعاب سقطت سقوطاً حرّاً من السكون مدة  $1.5 \text{ s}$ ، فيما سرعتها المتجهة في نهاية هذه الفترة؟ اختر نظاماً إحداثياً يكون فيه الاتجاه إلى أعلى موجباً ونقطة الأصل عند الموقع البدائي للعربة. بما أن العربة بدأت الحركة من السكون فإن  $v_i = 0$ .

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

$$\begin{aligned} v_f &= v_i + gt_f \\ &= 0.00 \text{ m/s} + (-9.80 \text{ m/s}^2)(1.5 \text{ s}) \\ &= -15 \text{ m/s} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} d_f &= d_i + v_i t_f + 1/2 g t_f^2 \\ &= 0.00 \text{ m} + (0.00 \text{ m/s})(1.5 \text{ s}) + 1/2 (-9.80 \text{ m/s}^2)(1.5 \text{ s})^2 \\ &= -11 \text{ m} \end{aligned}$$

### مسألة تحفيز

شاهدت باللونَ ملوءاً 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، فيما الارتفاع الذي يسقط منه قبل أن يصل إلى الحافة العليا للنافذة بدلالة كل من  $g$  و  $y$  و  $t$  وثوابت عدديّة؟

## مسائل تدريبية

41. أُسقط عامل بناءً عَرَضاً قطعةً قرميد من سطح بناءٍ.  
a. ما سرعة القطعة بعد  $4.0\text{ s}$ ?  
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. أُسقط طالب كرة من نافذة ترتفع  $3.5\text{ m}$  عن الرصيف. ما سرعتها لحظة ملامستها أرضية الرصيف؟
43. قذفت كرة تنس رأسياً إلى أعلى بسرعة ابتدائية  $22.5\text{ m/s}$ , وتم الإمساك بها عند عودتها إلى الارتفاع نفسه الذي قذفت منه.  
a. احسب الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة.  
b. ما الزمن الذي استغرقه الكرة في الهواء؟
- إرشاد: الزمن الذي تستغرقه الكرة في الصعود يساوي الزمن الذي تستغرقه في الهبوط.
44. رميت كرة بشكل رأسياً إلى أعلى. وكان أقصى ارتفاع وصلت إليه  $0.25\text{ m}$ :  
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

48. السرعة المتجهة الابتدائية وأقصى ارتفاع يتدرّب طالب على ركل كرة القدم رأسياً إلى أعلى، وتعود الكرة إثر كل ركلة لتصطدم بقدمه. إذا استغرقت الكرة من لحظة ركلها حتى اصطدامها بقدمه  $3.0\text{ s}$ :  
a. فما السرعة المتجهة الابتدائية للكرة؟  
b. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة بعد أن ركلها الطالب؟
49. التفكير الناقد عند قذف كرة رأسياً إلى أعلى، تستمر في الارتفاع حتى تصل إلى موقع معين، ثم تسقط إلى أسفل، وتكون سرعتها المتجهة للحظة عند أقصى ارتفاع صفرًا. هل تتسارع الكرة عند أقصى ارتفاع؟ صمم تجربة لإثبات صحة أو خطأ إجابتك.

45. أقصى ارتفاع وزمن التحلق 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 زمن التحلق.

46. السرعة والتتسارع افترض أنك قذفت كرة إلى أعلى. صُف التغيرات في كل من سرعة الكرة المتجهة وتتسارعها.

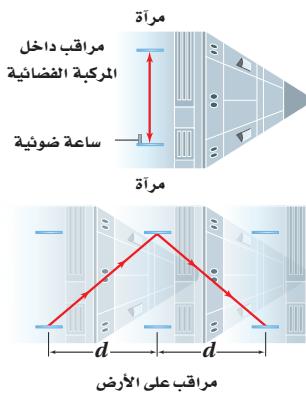
47. السرعة النهائية أُسقطت أخوك -بناءً على طلبك- مفاتيح المنزل من نافذة الطابق الثاني. فإذا التقطتها على بعد  $4.3\text{ m}$  من نقطة السقوط، فاحسب سرعة المفاتيح عند التقاطك لها.



# الإثراء العلمي

## تمدد الزمن عند السرعات العالية

### Time Dilation at High Velocities



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

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

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

لقد أوجحت 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 جداً قد تصبح ممكنة لأنها تستغرق بضع سنوات فقط من عمر رواد الفضاء الذين على متنها.

#### التوسيع

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

هل يمكن أن يمر الزمن بشكل مختلف في إطارين مرجعين؟ وكيف يمكن أن يكون عمر أحد توأميين أكبر من عمر الآخر؟ **الساعة الضوئية Light Clock** تأمل فكرة التجربة الآتية باستعمال الساعة الضوئية. الساعة الضوئية عبارة عن أنبوب رأسى، في كل من طرفيه مراة مستوية. يتم إطلاق نبضة ضوئية قصيرة في إحدى نهايتي الأنبوب، بحيث ترتد داخله ذهاباً وإياباً منعكسة عن المراتين. ويقاس الزمن بتحديد عدد ارتدادات النبضة. الساعة الضوئية مضبوطة لأن سرعة النبضة الضوئية ( $c$ ) منتظمة دائمًا، وهي تساوى  $3 \times 10^8 m/s$  بغض النظر عن سرعة المصدر الضوئي أو المراقب.

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

أما بالنسبة إلى مراقب يقف ساكناً 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 يعني 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!

افتراض أن زمن نبضة (دقة) الساعة الضوئية - كما يراها المراقب على الأرض - هو  $t_s$ ، وكما يراها المراقب في المركبة

# مختبر الفيزياء

## التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية

تحدث تغيرات طفيفة في مقدار التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية  $g$  في موقع مختلف على سطح الأرض، حيث تتغير قيمة  $g$  بحسب بعد الموقع عن مركز الأرض. وتُعطى الإزاحة في حالة الحركة وفق تساير ثابت بالمعادلة الآتية:

$$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$$

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

فإذا كانت  $t_i = 0$  و  $d_i = 0$  فإن الإزاحة تعطى بالمعادلة:

$$\frac{d_f}{t_f} = v_i + \frac{1}{2} a t_f$$

وبقسمة طرفي المعادلة على  $t_f$  تؤول إلى: إن ميل المنحنى البياني  $\frac{d_f}{t_f}$  يساوي  $a$ ، 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 تعين التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية  $g$ .

### سؤال التجربة

كيف تغير قيمة  $g$  من مكان إلى آخر؟

### الأهداف

- ثبّت المؤقت في حافة طاولة المختبر بالمسك C.
- إذا كان المؤقت يحتاج إلى معايرة فاتبع تعليمات المعلم أو ورقة التعليمات الخاصة بالجهاز. عين الزمن الدوري للمؤقت ثم سجله في جدول البيانات.
- ضع كومة من ورق الجرائد على أرضية المختبر مباشرة تحت المؤقت بحيث تصطدم بها الكتلة عندما تسقط سقوطاً حرّاً؛ وذلك حتى لا تتلف الأرضية.
- اقطع 70 cm تقريباً من شريط المؤقت، وأدخل طرفه في المؤقت، واربط الطرف الآخر بالكتلة 1 kg باستخدام الشريط اللاصق.
- أمسك الكتلة عند حافة الطاولة بمحاذاة المؤقت.
- شغل المؤقت واترك الكتلة تسقط سقوطاً حرّاً.
- احفص الشريط الورقي للمؤقت لتأكد من وجود نقاط ظاهرة عليه، ومن عدم وجود انقطاعات (فراغات) في النقاط المتسلسة المطبوعة عليه. إذا ظهر في الشريط أي خلل، فكرّر الخطوات 6-4 باستعمال قطعة أخرى من شريط المؤقت.

■ تقيس بيانات عن السقوط الحر.

■ ترسم منحنى (السرعة المتجهة- الزمن) وتستخدمه.

■ تقارن بين قيم  $g$  في مواقع مختلفة.

### احتياطات السلامة



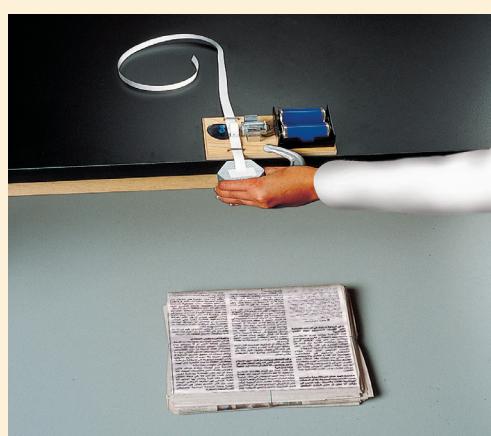
■ ابتعد عن الأجسام أثناء سقوطها.

### المواد والأدوات

شريط ورقي للمؤقت ورق جرائد

شريط لاصق مؤقت ذو شريط

مسك على شكل حرف C كتلة 1 kg



## جدول البيانات

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

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

### التوسيع في البحث

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

### الفيزياء في الحياة

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

8. اختار نقطة بالقرب من بداية الشريط على بعد بضعة سنتيمترات من النقطة التي بدأ المؤقت عندها تسجيل النقاط، واتكتب عندها الرقم صفر "0". أكمل ترقيم النقاط على التوالي بالأرقام 1, 2, 3, 4, 5, 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، وحول النتيجة إلى وحدة  $m/s^2$ .

### الاستنتاج والتطبيق

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

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

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

# الفصل 3

## دليل مراجعة الفصل

### 1-3 التسارع (العجلة) Acceleration

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>يمكن استخدام منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لإيجاد سرعة جسم وتسارعه.</li> <li>يمكن استخدام كل من منحنيات (السرعة المتجهة-الزمن) والمخططات التوضيحية للحركة لتحديد إشارة تسارع الجسم.</li> <li>عندما تتغير سرعة جسم بمعدل منتظم يكون له تسارع ثابت.</li> <li>التسارع المتوسط لجسم يساوي ميل الخط البياني لمنحنى السرعة المتجهة-الزمن.</li> <li>تدل متجهات التسارع المتوسط في مخطط الحركة على مقدار واتجاه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية ما.</li> <li>عندما يكون التسارع والسرعة في الاتجاه نفسه تردد سرعة الجسم، وعندما يكونان متعاكسين في الاتجاه تتناقض سرعته.</li> <li>التسارع اللحظي هو التغير في السرعة عند لحظة زمنية محددة.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)</li> <li>التسارع</li> <li>التسارع المتوسط</li> <li>التسارع اللحظي</li> </ul>

### 2-3 الحركة بتسارع ثابت Motion with Constant Acceleration

المفاهيم الرئيسية
<ul style="list-style-type: none"> <li>إذا علم التسارع الثابت لجسم خلال فترة زمنية ما يمكن إيجاد التغيير في السرعة المتجهة خلال هذا الزمن.</li> <li>المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لجسم متحرك تساوي مقدار إزاحته.</li> <li>في الحركة بتسارع ثابت، تربط العلاقة <math>d_f = d_i + v_i t_f + \frac{1}{2} a \Delta t^2</math> بين الموضع والسرعة المتجهة والتسارع والزمن.</li> <li>يمكن إيجاد السرعة المتجهة لجسم يتتحرك بتسارع ثابت باستخدام المعادلة:</li> </ul> $v_f^2 = v_i^2 + 2 a (d_f - d_i)$

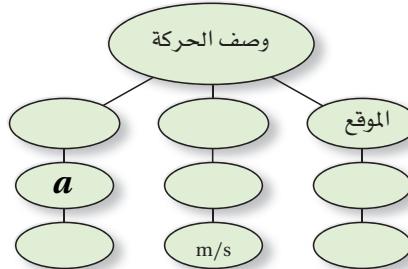
### 3-3 السقوط الحر Free Fall

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يساوي <math>9.80 \text{ m/s}^2</math> في اتجاه الأسفل، وتعتمد إشارته في المعادلات على النظام الإحداثي الذي تم اختياره.</li> <li>تستخدم معادلات الحركة بتسارع ثابت في حل مسائل تتضمن الأجسام التي تسقط سقوطاً حرّاً.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية</li> <li>السقوط الحر</li> </ul>

# الفصل 3 التقويم

## خريطة المفاهيم

50. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام الرموز والمصطلحات المناسبة:



## إتقان المفاهيم

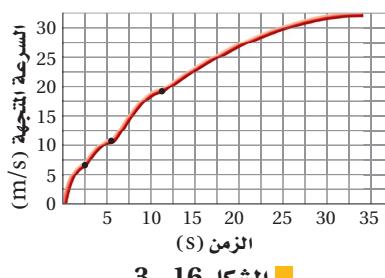
51. ما العلاقة بين السرعة المتجهة والتسارع؟ (3-1)

52. أعط مثالاً على كل مما يأتي: (3-1)

a. جسم تتناقص سرعته وله تسارع موجب.

b. جسم تتزايد سرعته، وله تسارع سالب.

53. يبين الشكل 16-3 منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) لسيارة تتحرك على طريق. صُف كيف تغير السرعة المتجهة مع الزمن. (3-1)



الشكل 16-3

54. ماذا يمثل ميل الماس 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؟ ووضح ذلك. (3-1)

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

57. إذا كان منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) لجسم ما خطًّا مستقيماً يوازي محور الزمن  $t$ ، فهذا 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 متباينتين 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 سقوطاً حرّاً ولا يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء فيها. (3-3)

62. اذكر بعض الأمثلة لأجسام تسقط سقوطاً حرّاً ويمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء عليها. (3-3)

## تطبيق المفاهيم

63. هل لسيارة التي تباطأ تسارع سالب دائرياً؟ فسر إجابتك.

64. تندحر كرّة كريكيت بعد ضربها بالمضرب، ثم تباطأ وتوقف. هل لسرعة الكرّة المتجهة وتسارعها الإشارة نفسها؟

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

66. إذا كانت السرعة المتجهة لجسم عند لحظة ما تساوي صفرًا فهل من الضروري أن يساوي تسارعه صفرًا؟ أعط مثلاً.

## تقويم الفصل 3

72. قذف جسم رأسياً 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 إزاحتين الجسمين خلال هذه الفترة الزمنية.

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

- a. إذا أُسقطت كرة من ارتفاع ما على سطح القمر، فهل تصطدم بسطح القمر بسرعة أكبر أم متساوية أم أقل من سرعة الكرة نفسها إذا أُسقطت من الارتفاع نفسه على سطح الأرض؟
- b. هل الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى سطح القمر أكبر، أم أقل، أم متساوٍ للزمن الذي تستغرقه للوصول إلى سطح الأرض؟

74. لوكب المشتري ثلاثة أمثلة لتسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية تقريرًا. افترض أن كرة قذفت رأسياً 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 أمثلة لسرعة المتجهة في الفقرة a، فكيف يؤثر ذلك في إجابتك؟

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

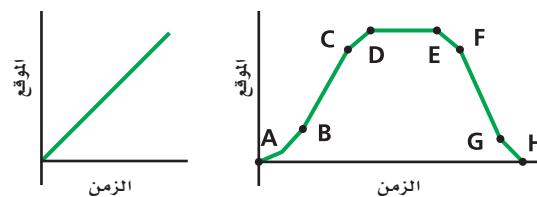
- a. أي الصخريتين ستكون سرعتها المتجهة أكبر لحظة الوصول إلى أسفل التل؟
- b. أي الصخريتين لها تسارع أكبر؟
- c. أيهما تصل أولًا؟

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

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

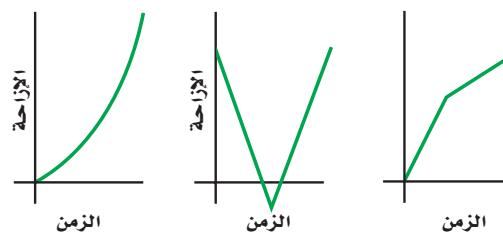
69. استخدم الرسم البياني في الشكل 16-3 لتعيين الفترة الزمنية التي يكون التسارع خلاها أكبر ما يمكن، والفترة الزمنية التي يكون التسارع خلاها أصغر ما يمكن.

70. وضح كيف تسير بحيث تمثل حركتك كلاً من منحنين (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

## تقدير الفصل 3

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

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

- a. خلال أي الفترات الزمنية:
  - تزداد سرعة الجسم.
  - تقل سرعة الجسم.
  - متى يعكس الجسم اتجاه حركته؟
- c. كيف يختلف التسارع المتوسط للجسم في الفترة الزمنية بين  $0.0 \text{ s}$  و  $2.0 \text{ s}$  عن التسارع المتوسط في الفترة الزمنية بين  $7.0 \text{ s}$  و  $12.0 \text{ s}$ ؟

الجدول 3-4

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

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

### إتقان حل المسائل

#### 3-1 التسارع

76. تحركت سيارة مدة  $2.0 \text{ h}$  بسرعة  $40.0 \text{ km/h}$ ، ثم تحركت مدة  $1.5 \text{ h}$  بسرعة  $60.0 \text{ km/h}$  وفي الاتجاه نفسه.

a. ما السرعة المتوسطة للسيارة؟

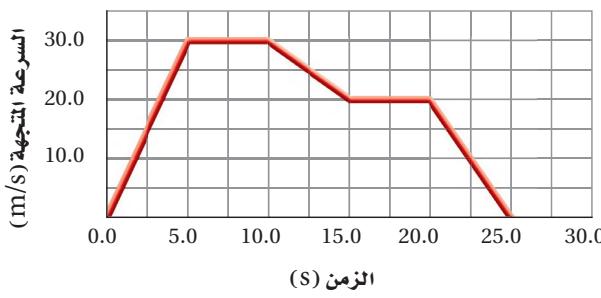
b. ما السرعة المتوسطة للسيارة إذا قطعت مسافة  $40.0 \text{ km/h}$  بسرعة  $1.0 \times 10^2 \text{ km/h}$  ومسافة  $60.0 \text{ km/h}$  بسرعة  $1.0 \times 10^2 \text{ km/h}$ ؟

77. أوجد التسارع المنتظم الذي يسبب تغيراً في سرعة سيارة من  $32 \text{ m/s}$  إلى  $96 \text{ m/s}$  خلال فترة زمنية مقدارها  $8.0 \text{ s}$ .

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

79. بالاستعانة بالشكل 3-19 أوجد تسارع الجسم المتحرك في الأزمنة الآتية:

- a. خلال الثواني الخمس الأولى من الرحلة ( $5.0 \text{ s}$ ).
- b. بين  $5.0 \text{ s}$  وبين  $10.0 \text{ s}$ .
- c. بين  $10.0 \text{ s}$  وبين  $15.0 \text{ s}$ .
- d. بين  $20.0 \text{ s}$  وبين  $25.0 \text{ s}$ .



الشكل 3-19

### تقويم الفصل 3

- السرعة المسموح به وتسير بسرعة منتظم مقدارها  $30.0 \text{ m/s}$ . كم تكون سرعة سيارة الشرطة عندما تلحق بالسيارة المخالفة؟
90. شاهد سائق سيارة تسير بسرعة  $90.0 \text{ km/h}$  فجأة أضواء حاجز على بعد  $40.0 \text{ m}$  أمامه. فإذا استغرق السائق  $0.75 \text{ s}$  حتى يضغط على الفرامل، وكان التسارع المتوسط للسيارة في أثناء ضغطه على الفرامل  $(-10.0 \text{ m/s}^2)$ :
- 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).
91. أسقط رائد فضاء ريشة من نقطة على ارتفاع  $1.2 \text{ m}$  فوق سطح القمر. إذا كان تسارع الجاذبية على سطح القمر  $1.62 \text{ m/s}^2$ ، فما الزمن الذي تستغرقه الريشة حتى تصطدم بسطح القمر؟
92. يسقط حجر سقوطاً حرّاً. ما سرعته بعد  $8.0 \text{ s}$  وما إزاحته؟
93. قذفت كرة بسرعة  $2.0 \text{ m/s}$  رأسياً إلى أسفل من نافذة منزل. ما سرعتها حين تصل إلى رصيف المشاة الذي يبعد  $2.5 \text{ m}$  أسفل نقطة القذف؟
94. في السؤال السابق، إذا قذفت الكرة رأسياً إلى أعلى بدلاً من الأسفل فما السرعة التي تصل بها الكرة إلى الرصيف؟
95. إذا قذفت كرة مضرب في الهواء والتقطتها بعد  $2.2 \text{ s}$ ، فأجب بما يأتي:
- a. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة؟
  - b. ما السرعة المتجهة الابتدائية للكرة؟

83. طير طائرة نفاثة بسرعة  $145 \text{ m/s}$  وفق تسارع ثابت مقداره  $23.1 \text{ m/s}^2$  لمدة  $20.0 \text{ s}$ .
- a. ما سرعتها النهائية؟
  - b. إذا كانت سرعة الصوت في الهواء  $331 \text{ m/s}$  فما سرعة الطائرة بدلالة سرعة الصوت؟

### 3-2 الحركة بتسارع ثابت

84. استعن بالشكل 19-3 لإيجاد الإزاحة المقطوعة خلال الفترات الزمنية الآتية:
- t = 5.0 s إلى t = 0.0 s .a
  - t = 10.0 s إلى t = 5.0 s .b
  - t = 15.0 s إلى t = 10.0 s .c
  - t = 25.0 s إلى t = 0.0 s .d
85. بدأ متزلج حركته من السكون بتسارع مقداره  $49 \text{ m/s}^2$ ، ما سرعته عندما يقطع مسافة  $325 \text{ m}$ ؟
86. تتحرك سيارة بسرعة متجهة  $12 \text{ m/s}$  صاعدة تلّاً بتسارع ثابت  $(-1.6 \text{ m/s}^2)$ . ما إزاحتها بعد  $6 \text{ s}$  وبعد  $9 \text{ s}$ ؟

87. تباطأ سيارة سباق بمقدار ثابت  $(11 \text{ m/s}^2)$ . أجب بما يأتي:
- a. إذا كانت السيارة منطلقة بسرعة  $55 \text{ m/s}$ ، فما المسافة التي تقطعها بالأمتار قبل أن توقف؟
  - b. ما المسافة التي تقطعها السيارة قبل أن توقف إذا كانت سرعتها مثلثي السرعة السابقة؟
88. ما المسافة التي تطيرها طائرة خلال  $15 \text{ s}$ ، بينما تتغير سرعتها المتجهة بمعدل منتظم من  $145 \text{ m/s}$  إلى  $75 \text{ m/s}$ ؟

89. تتحرك سيارة شرطة من السكون بتسارع ثابت مقداره  $7.0 \text{ m/s}^2$ ، لتلحق بسيارة تتجاوز حد



## تقويم الفصل 3

8.0. تغير سرعة سيارة خلال فترة زمنية مقدارها  $s = 8.0$

- .3-6. كما يبين الجدول 3-6.
- a. مثل بيانيًّا العلاقة بين السرعة المتجهة-الزمن.
- b. ما إزاحة السيارة خلال ثمانى ثوانٍ؟
- c. أوجد ميل الخط البياني بين الثانية  $s = 0.0$  و  $t = 4.0$ . ماذا يمثل هذا الميل؟
- d. أوجد ميل الخط البياني بين  $s = 5.0$  و  $t = 7.0$ . ما الذي يدل عليه هذا الميل؟

الجدول 3-6	
السرعة المتجهة - الزمن	
السرعة المتجهة (m/s)	الزمن (s)
0.0	0.0
4.0	1.0
8.0	2.0
12.0	3.0
16.0	4.0
20.0	5.0
20.0	6.0
20.0	7.0
20.0	8.0

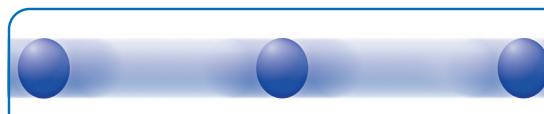
101. توقفت شاحنة عند إشارة ضوئية، وعندما تحولت الإشارة إلى اللون الأخضر تسرعت الشاحنة بمقدار  $2.5 \text{ m/s}^2$  ، وفي اللحظة نفسها تجاوزتها سيارة تتحرك بسرعة منتظمة  $15 \text{ m/s}$ . أين ومتى ستلحق الشاحنة بالسيارة؟

102. ترتفع طائرة مروحية رأسياً بسرعة  $5.0 \text{ m/s}$  عندما سقط كيس من حمولتها. إذا وصل الكيس سطح الأرض خلال  $2 \text{ s}$  فاحسب:
- a. سرعة الكيس المتجهة لحظة وصوله الأرض.
  - b. المسافة التي قطعها الكيس.
  - c. بعد الكيس عن الطائرة لحظة وصوله سطح الأرض.

### مراجعة عامة

96. تتحرك سفينة فضائية بتسارع ثابت وتتغير سرعتها من  $s = 65.0 \text{ m/s}$  إلى  $s = 162.0 \text{ m/s}$  خلال  $10.0 \text{ s}$ . ما المسافة التي ستطبعها؟

97. يبين الشكل 3-20 صورة ستروروية لكرة تتحرك أفقياً. لتقدير قيمة تقريبية للتسارع، ما المعلومات التي تحتاج إليها حول الصورة؟ وما القياسات التي ستجريها؟



الشكل 3-20

98. يطير بالون أرصاد جوية على ارتفاع ثابت فوق سطح الأرض. سقطت منه بعض الأدوات واصطدمت بالأرض بسرعة متوجهة  $-73.5 \text{ m/s}$ . ما الارتفاع الذي سقطت منه هذه الأدوات؟

99. يبين الجدول 5-3 المسافة الكلية التي تدرجها كرة إلى أسفل مستوى مائل في أزمنة مختلفة.

الجدول 5-3	
المسافة - الزمن	
الزمن (s)	المسافة (m)
0.0	0.0
2.0	1.0
8.0	2.0
18.0	3.0
32.0	4.0
50.0	5.0

- a. مثل بيانيًّا العلاقة بين الموقع والزمن.
- b. احسب المسافة التي تدرجتها الكرة بعد مرور  $2.2 \text{ s}$ .

# تقويم الفصل 3

## التفكير الناقد

بمسافة  $1.00 \times 10^2 \text{ m}$  بالضبط، واحسب بعد كل من القطرين عن نقطة الأصل في نهاية  $12.0 \text{ s}$  التي يستغرقها القطار السريع حتى يتوقف (التسارع  $= -3.00 \text{ m/s}^2$ )، والسرعة تتغير من  $36 \text{ m/s}$  إلى  $0 \text{ m/s}$ .

- a. استناداً إلى حساباتك، هل سيحدث تصادم؟
- b. احسب موقع كل قطار عند نهاية كل ثانية بعد المشاهدة. اعمل جدولًاً تبين فيه بعد كل من القطرين عن نقطة الأصل في نهاية كل ثانية، ثم اعمل رسماً بيانيًّا لمنحنى (الموقع - الزمن) لكل من القطرين (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 ملكا 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 الآتية حركة جسم:  
 $d = (35.0 \text{ m/s}) t - 5.0 \text{ m}$

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

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

104. أيها له تسارع أكبر: سيارة تزيد سرعتها من  $50 \text{ km/h}$  إلى  $60 \text{ km/h}$ ، أم دراجة هوائية تنطلق من  $0 \text{ km/h}$  إلى  $10 \text{ km/h}$  خلال الفترة الزمنية نفسها؟ ووضح إجابتك.

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

حل هذه المسألة اعتبار موقع القطار السريع لحظة اكتشاف سائقه القطار المحلي نقطةً أصل. وتذكر دائمًا أن القطار المحلي كان يسبق القطار السريع



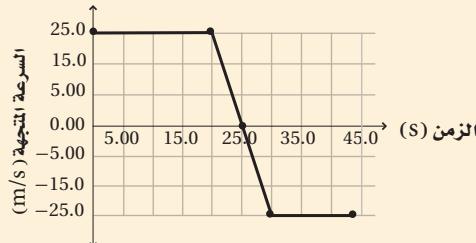
# اختبار مقاييس

فما المسافة التي قطعتها السيارة حتى توقف؟

- 50.0 m (C)      14.0 m (A)  
100.0 m (D)      29.0 m (B)

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

- 150 m (A)      300 m (C)      شمالي 300 m (C)      جنوبًا 150 m (A)  
600 m (D)      125 m (B)      شمالي 125 m (B)      جنوبًا



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

- (A) ميل ناس منحنى (المسافة-الزمن) عند نقطة ما.  
(B) المساحة تحت منحنى (المسافة-الزمن).  
(C) المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة-الزمن).  
(D) ميل الماس لنحنى (السرعة المتجهة-الزمن).

## الأسئلة الممتدة

9. مثل النتائج في الجدول أدناه بيانياً، ثم أوجد من الرسم كلاً من التسارع والإزاحة بعد 12.0 s:

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

## إرشاد الجدوال

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

## أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

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

- 16 m (C)      8.0 m (A)  
20 m (D)      12 m (B)

2. ما سرعة الكرة قبل أن تتوقف مباشرة؟

- 12 m/s (C)      2.0 m/s (A)  
16 m/s (D)      8.0 m/s (B)

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

- 0.60 m/s<sup>2</sup> (C)      0.44 m/s<sup>2</sup> (A)  
9.80 m/s<sup>2</sup> (D)      8.4 m/s<sup>2</sup> (B)

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

- 8.7 s (C)      4.2 s (A)  
17 s (D)      8.3 s (B)

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؟

- 50.0 m (C)      15.0 m (A)  
100.0 m (D)      31.0 m (B)

6. اقتربت سيارة منطلقة بسرعة  $91.0 \text{ km/h}$  من مطعم على بعد 30 m أمامها. فإذا ضغط السائق بقوة على الفرامل واكتسبت السيارة تسارعاً مقداره  $-6.40 \text{ m/s}^2$ ،

# الفصل 4

## القوى في بُعد واحد Forces in One Dimension

ما الذي ستعلمك في هذا الفصل؟

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

### الأهمية

في كل لحظة، تؤثر فيك وفي كل الأشياء المحيطة بك قوى.  
رياضة يقوم اللاعب بضرب الكرة برأسه فتتساقط؛ أي تتحرك وتوقف ويتغير اتجاهها.



### فَكْر ◀

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

## تجربة استهلاكية

### ما القوة الكبرى؟

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

### الخطوات

في هذه المرة اسحب الخيط السفلي بسرعة وبقوة أكبر.  
سجل ملاحظاتك.

#### التحليل

أي الخطيتين انقطع في الخطوة 2 لماذا؟ وأي الخطيتين انقطع في الخطوة 3 لماذا؟  
**التفكير الناقد** ارسم خططاً توضيحيّاً للتجربة، واستخدم الأسهم لتوسيع القوى المؤثرة في الكتاب.



رابط الدرس الرقمي  
www.ien.edu.sa

## ٤-١ القوة والحركة

### Force and Motion

#### الأهداف

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

#### المفردات

- القوة
- النظام
- المحيط الخارجي
- قوة التلامس (التماس)
- قوة المجال
- خطط الجسم الحر
- القدرة المحصلة
- قانون نيوتن الأول
- القصور الذاتي
- الإتزان
- قانون نيوتن الثاني

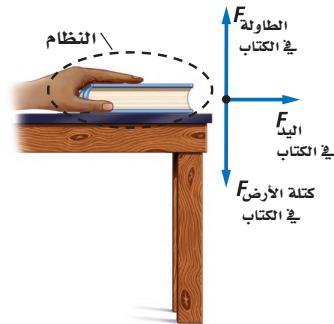
تصور قطاراً يتحرك بسرعة  $80 \text{ km/h}$ ، وفجأة شاهد السائق شاحنة متوقفة على سكة الحديد، فاستعمل الفرامل في محاولة لإيقاف القطار قبل أن يصطدم بالشاحنة. ولأن الفرامل تسبب تسارعاً معاكساً لاتجاه السرعة المتجهة فإن القطار سيباطأ. افترض أن السائق نجح في أن يوقف القطار قبل أن يصطدم بالشاحنة بمسافة قصيرة جداً. ماذا يحدث لو كان القطار يسير بسرعة  $100 \text{ km/h}$  بدلًا من  $80 \text{ km/h}$ ؟ 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  $80 \text{ km/h}$  ويكون أكثر قرباً من الشاحنة عندما يبدأ سائقه استعمال الفرامل.

## القوة والحركة Force and Motion

ما الذي جعل القطار يبطئ حركته؟ لأنه تأثر بقوة، **القوة** هي سحب أو دفع يؤثر في جسم ما. وتأدي 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 كلٍ من السرعة المتجهة والتتسارع يمكن التعبير عنها سبق كما يأتي: عندما تؤثر قوة في جسم ما فإنها تغير سرعته المتجهة؛ أي تُكسبه تسارعاً.

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 أثر بشكل أكبر في حركته. ولاتجاه القوة المؤثرة أيضاً تأثير رئيسي في حركة الجسم؛ فإذا دفعت الكتاب إلى اليمين فإنه يتحرك في اتجاه مختلف عمّا إذا دفعته إلى اليسار. وسوف نستخدم الرمز  $F$  للتعبير عن القوة المتجهة (مقدار القوة واتجاهها).

من الضروري عند دراسة تأثير قوة في حركة جسم ما، تحديد هذا الجسم. ويطلق على هذا الجسم اسم "**النظام**"، وكل ما يحيط به ويتؤثر 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، ويتؤثر إلى احتمال تغيير حركته.



■ **الشكل 1-4** يمثل الكتاب هنا النظام، وتأثر كل من الطاولة واليد وكتلة الأرض (من خلال الجاذبية الأرضية) بقوى في الكتاب.

## قوى التلامس (التماس) وقوى المجال

### Contact Forces and Field Forces

تتولد **قوة التلامس (التماس)** عندما يلامس جسم من المحيط الخارجي النظام، ويتؤثر 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 طرق أخرى لتغيير حركة الكتاب؛ فمن الممكن أن تجعله يسقط في اتجاه الأرض، وفي هذه الحالة يتتسارع بسبب الجاذبية الأرضية، كما درست في الفصل الثالث. إن قوة الجاذبية الأرضية هي التي تسبب هذا التتسارع، 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 فيها بينها من عدمه. وهناك أمثلة أخرى على هذا النوع من القوى كالقوى المغناطيسية.

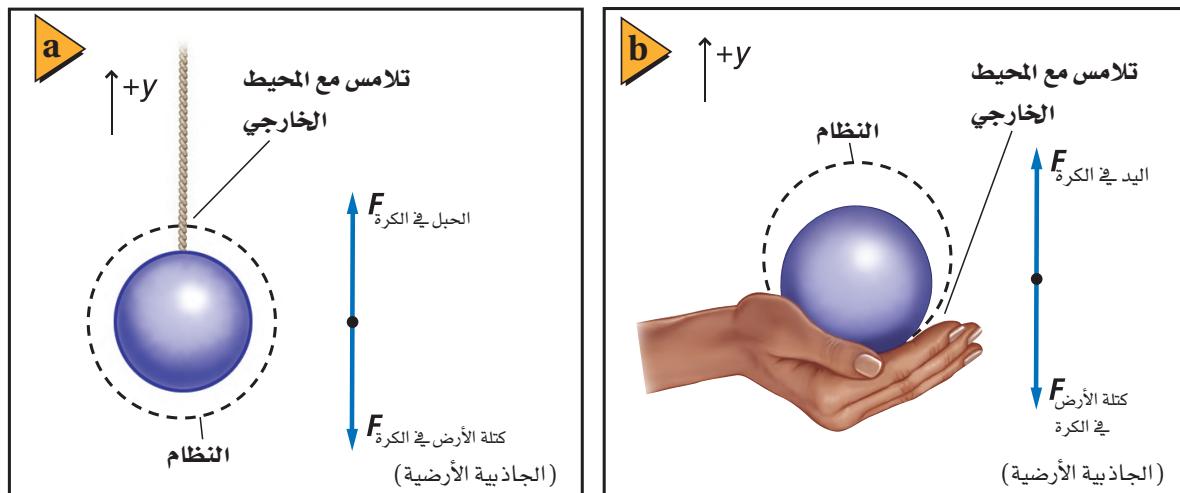
ولكل قوة سبب معين يمكن تحديده يسمى المسبب. وحتى يمكن تحديد القوة يجب معرفة المسبب الذي يولدها، والنظام الذي تؤثر فيه هذه القوة.

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 مهمًا 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. فعل 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 الواقع التي تؤثر فيها قوة التلامس، وقوى المجال.

ولتمثيل القوى المؤثرة في الكرة الموضحة في الشكلين 4-2a و 4-2b ففيزيائيًا، استخدم مخطط الجسم الحر: مثل الجسم بنقطة، ثم مثل كل قوة بهم أزرق يشير إلى الاتجاه الذي تؤثر فيه هذه القوة، مراعيًّا أن يكون طول كل سهم متناسبًا مع مقدار القوة. غالباً 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 تتمثل قوة دفع، واحرص على تسمية كل منها. استعمل الرمز  $F$  مع تحديد كل من المسبب والجسم الذي تؤثر فيه القوة أسفل الرمز، واختر اتجاهًا موجًا تشير إليه بوضوح في مخططك. يتم اختيار الاتجاه الموجب عادة في اتجاه القوة الكبرى؛ فهذا يُسهل 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 مخطط الجسم الحر، وارسم سهامًا لتمثيل كل قوة من القوى المؤثرة في الجسم، ثم سِّم القوة ومسببها.



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

1. سقوط أصيص أزهار سقطًا حرًّا (أهمل أي قوى تنشأ عن مقاومة الهواء).

2. هبوط مظلي خلال الهواء، وبسرعة متوجهة منتظمة (يؤثر الهواء في المظلي بقوة إلى أعلى).

3. سلك يسحب صندوقًا بسرعة متتظمة على سطح أفقي (يؤثر السطح بقوة تقاوم حركة الصندوق).

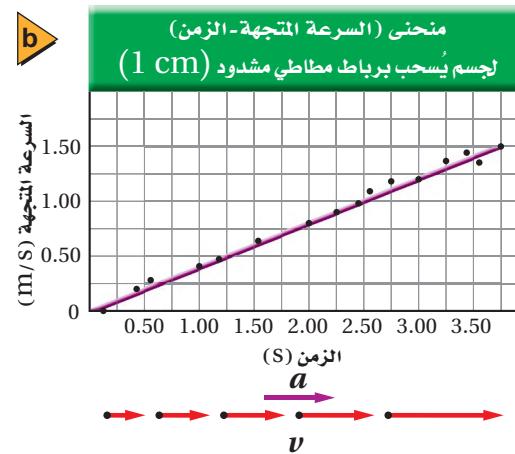
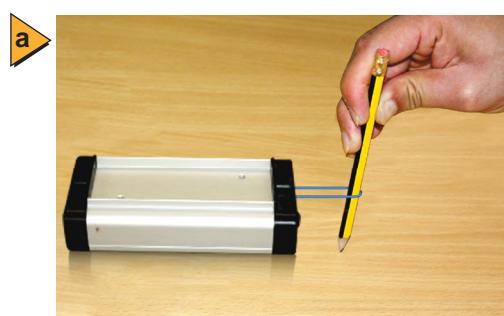
4. رُفع دلو بحبل بسرعة متتظمة (أهمل مقاومة الهواء).

5. إنزال دلو بحبل بسرعة متتظمة (أهمل مقاومة الهواء).

## القوة والتسارع Force and Acceleration

كيف يتحرك الجسم عندما تؤثر فيه قوة أو أكثر؟ من طرق الإجابة عن هذا السؤال إجراء التجارب. ابدأ دائمًا بالحالة البسيطة، وعندما تستوعب هذه الحالة تماماً يمكنك الانتقال إلى الحالات الأكثر تعقيدًا. ابدأ بقوة واحدة تؤثر أفقياً 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 تشدد دائمًا بالقدر نفسه فإنك تؤثر بالقوة نفسها. يبين **الشكل 4-3a** رباطًا مطاطيًّا مشدودًا بمقدار ثابت  $1 \text{ cm}$ ، 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 4-3b**. هل يختلف هذا الرسم البياني عما توقعه؟ ماذا تلاحظ على السرعة المتجهة؟ لاحظ أن الزيادة الثابتة في السرعة المتجهة هي نتيجة للتسارع الثابت الذي أكسبه الرباط المطاطي المشدود للجسم.

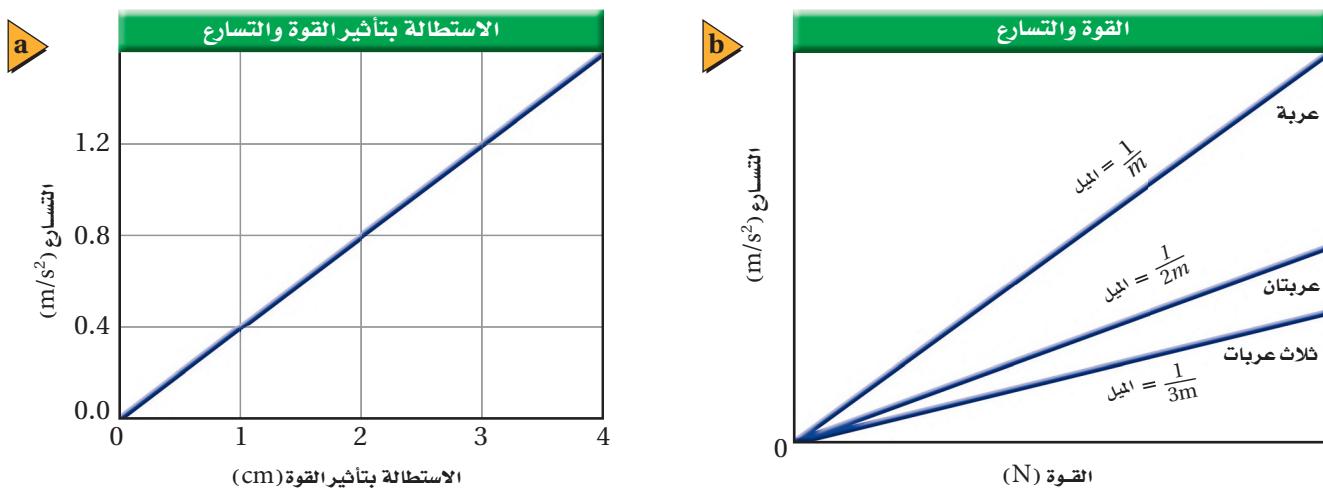


a. يؤثر الرباط المطاطي المشدود

بقوة ثابتة في الجسم الذي صمم  
لتكون مقاومته قليلة.

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

كيف يعتمد هذا التسارع على القوة؟ للإجابة عن ذلك؛ أعد التجربة بحيث يكون الرابط المطاطي مشدوداً بمقدار ثابت  $2\text{ cm}$ . ثم كرر التجربة مع شد الرابط المطاطي أكثر في كل مرة. مثل بيانياً منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) لكل من التجارب السابقة، ستلاحظ أن تلك المخططات تشبه ذاك المبين في **الشكل 4-3b**. احسب التسارع، ثم مثل بيانياً قيمة كل من التسارع والقوة لكل المحاوالت التي قمت بها، وبذلك تحصل على الرسم البياني للقوة-التسارع، كما في **الشكل 4-4a**. ما العلاقة بين القوة والتسارع؟ العلاقة خطية؛ فكلما كانت القوة أكبر كان التسارع الناتج أكبر. ويمكن التعديل 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 4-4b**؟ ربما تصف شيئاً يتعلق بالجسم المتسارع. ماذا يحدث إذا تغير الجسم؟ لفترض أنها وضعنا عربة ثانية مماثلة فوق العربة الأولى، ثم وضعنا عربة ثالثة فوق العربتين، يبين **الشكل 4-4b** 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، وتتسارع العربات الثلاث إلى  $\frac{1}{3}$  تسارع العربة الواحدة. وهذا يعني أنه كلما زاد عدد العربات احتاجنا إلى قوة أكبر للحصول على التسارع نفسه. ويعتمد ميل كل من الخطوط في **الشكل 4-4b** على عدد العربات؛ أي يعتمد على مجموع كتلها. فإذا عُرف الميل  $k$  (بحسب الرسم البياني أعلاه) بأنه مقلوب الكتلة  $\frac{1}{m}$ ، فإن  $\mathbf{F} = ma$  أو  $a = \mathbf{F}/m$ . ومن العلاقة الخطية بين القوى والتسارع نجد أن:

$$a \propto \mathbf{F}$$

$$\mathbf{F} = ma$$

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

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

وبالتعويض عن قيمة  $k$

أي أن

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

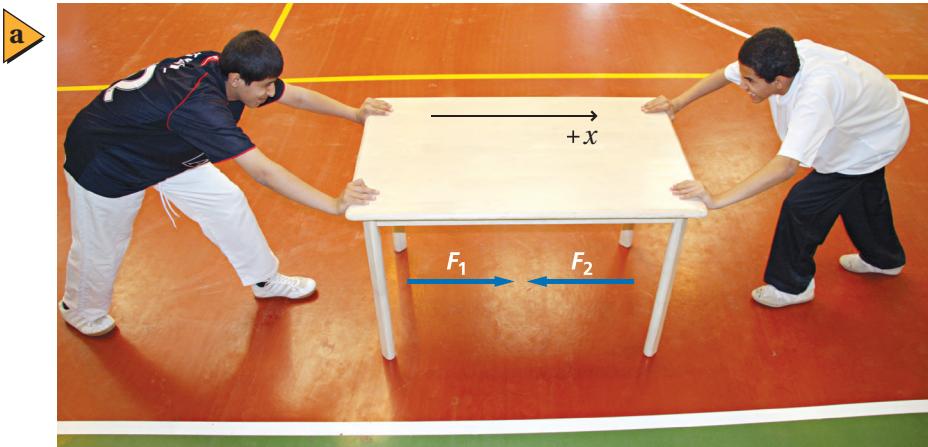
الجدول 1-4	
القوى الشائعة	
$F (\text{N})$	الوصف
0.05	قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في قطعة نقود معدنية من النيكل
4.5	قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في $0.45 \text{ kg}$ من السكر
686	قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في شخص كتلته $70 \text{ kg}$
3000	القوة المؤثرة في سيارة تتسارع
5,000,000	قوة محرك صاروخ

## جمع القوى Combining Forces

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

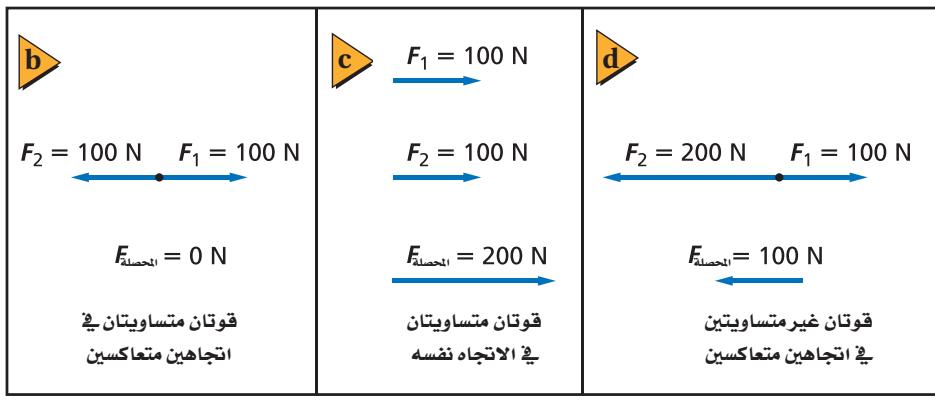
ويبين كل من الشكلين 4-5b و 4-5c خطط الجسم الحر لكلا الحالتين السابقتين، في حين يبين الشكل 4-5d خطط الجسم الحر للحالة التي يقوم فيها زميلك بدفع الطاولة في الاتجاه المعاكس، بقوة تعادل ضعفي قوتك. لاحظ المتجه في أسفل كل خطط، والذي يمثل القوة المحصلة للقوتين. عندما يكون متوجهاً القوة في الاتجاه نفسه فإنه يمكن أن يحل محلهما متجه واحد، بحيث يساوي طوله مجموع طوليهما. وعندما يكون متوجهاً 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** ( $F_{\text{المحصلة}}$ ).





**الشكل 4-5**

- a. دفع الطاولة بقوتين متساويتين ومتوازيتين 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 محصلة مقدارها 0 N، وهذا يعني أن الجسم لا يتحرك (لا يتتسارع). أما في الحالة الثانية فإن قوة الدفع التي يؤثر بها كل منكما تساوي 100 N، لذا فإن القوة المحصلة 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 المحصلة تساوي (100 N)، لذا فإن الطاولة ستتسارع في الاتجاه السالب.

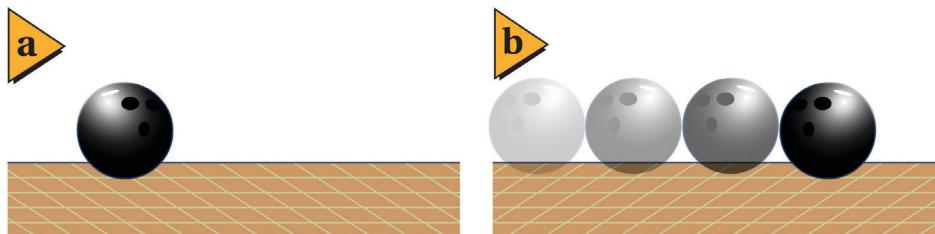
### مسائل تدريبية

6. قوتان أفقيتان إحداهما 225 N والأخرى 165 N، تؤثران في قارب في الاتجاه نفسه. أوجد القوة الأفقية المحصلة التي تؤثر في القارب مقدارًا واتجاهًا.
7. إذا أثرت القوتان السابقتان في القارب في اتجاهين متعاكسين 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 يسحب إلى الغرب أيضًا بقوة 42 N، أما الأخير فيسحب إلى الشرق بقوة 53 N. احسب القوة المحصلة التي تؤثر في العربة.

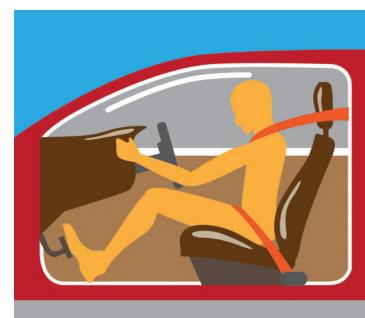
## قانون نيوتن الأول Newton's First Law

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.

افرض أن كرة تتدحرج على سطح أفقى، فما الفترة الزمنية التي تستمر فيها بالتدحرج؟ تعتمد هذه الفترة على نوع السطح، فإذا دُرجمت الكرة على سطح أملس ذي مقاومة (احتكاك) قليلة مثل أرضية لعبة البولنج فسوف تتدحرج فترة زمنية طويلة، مع تناقض تدريجي في سرعتها المتجهة. أما إذا دُرجمت على سطح خشن كسجاد مقاومتها كبيرة، فسرعان ما تتوقف الكرة عن الحركة، وتصبح في حالة سكون كما هو موضح في **الشكل 6-4**. وقد صاغ نيوتن ما سبق فيما يسمى **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.



■ **الشكل 6-4** الكرة الساكنة تبقى ساكنة (a) الكرة المتدحرجة بسرعة ثابتة وعلى خط مستقيم تبقى على دحرجتها دون توقف ما لم تؤثر عليها قوى خارجية (b).



■ **الشكل 7-4** يندفع قائد المركبة بشدة نحو الأمام في السيارة التي تسير بسرعة متوجة ثابتة في حالة التوقف المفاجئ.

**القصور الذاتي** يسمى قانون نيوتن الأول أحياناً قانون القصور، فهل القصور قوة؟ لا؛ فالقصور هو مانع للجسم لأي تغيير في حالته من حيث السكون أو الحركة. فإذا كان الجسم ساكناً فإنه يميل إلى أن يبقى كذلك، وإذا كان متزهاً بسرعة متوجة ثابتة فإنه يميل إلى الاستمرار في اتجاه حركته نفسه وبالسرعة نفسها، كما يتضح في **الشكل 7-4**.

**الاتزان** وفقاً 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 ساكناً، أو متزهاً بسرعة منتظمة. لاحظ أن سكون الجسم هو حالة خاصة من حركته بسرعة منتظمة تكون سرعته فيها صفرًا. يُعرف قانون نيوتن الأول القوة المحصلة على أنها كل ما يحدث اضطراباً 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 نسبياً، 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** كل محرك من محركات مكوك الفضاء الرئيسية يزيد المكوك بقوة دفع تقدر بـ 1.6 million N. وتستمد هذه المحركات طاقتها من عملية احتراق الهيدروجين والأكسجين.

الجدول 2-4			
بعض أنواع القوى			
الاتجاه	التعريف	الرمز	القوة
موازية للسطح في عكس اتجاه الحركة الانزلاقية.	قوة تلامس تؤثر في اتجاه معاكس للحركة الانزلاقية بين السطوح.	$f_f$	الاحتاك (Friction)
عمودية على سطحي التلامس بين السطح والجسم في اتجاه الخارج.	قوة تلامس يؤثر بها سطح في جسم ما.	$F_N$	العمودية (Normal)
في عكس اتجاه إزاحة الجسم.	قوة النابض (الإرجاع) : أي قوة الدفع أو السحب التي يؤثر بها نابض في جسم ما.	$F_{sp}$	النابض (Spring)
تؤثر عند نقطة الاتصال في اتجاه مواز للخط أو الحبل أو السلك، ومبعدة عن الجسم.	قوة يؤثر بها خيط أو حبل أو سلك في جسم متصل به، وتؤدي إلى سحبه.	$F_T$	الشد (Tension)
في اتجاه تسارع الجسم عند إهمال المقاومة.	قوى تحرك أجساماً مثل الصاروخ والطائرة والسيارة والأشخاص.	$F_{thrust}$	الدفع (Thrust)
إلى أسفل في اتجاه مركز الأرض.	قوة مجال تنبع عن الجاذبية الأرضية بين جسمين.	$F_g$	الوزن (Weight)
المتجه من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير.	مجموع المتجهات لجميع القوى التي تؤثر في جسم.	$F_r$	المحصلة (Net Force)

## 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. ستتجد أن تسارع الطاولة يتناسب طردياً مع القوة المحصلة المؤثرة فيها، وعكسياً مع كتلتها  $\frac{\text{المحصلة}}{m} = \mathbf{a}$ . فإذا كانت القوة المحصلة التي تؤثران بها معاً في الطاولة تساوي N 100، فإن الطاولة ستتسارع بالقدر نفسه الذي كانت ستتسارع به لو أثرت فيها وحدك بقوة تساوي N 100. واستناداً إلى ذلك يمكن إعادة كتابة العلاقة الرياضية بين كل من القوة والكتلة والتسارع بدلالة القوة المحصلة، وهو ما يُعرف بـ**قانون نيوتن الثاني**، الذي يُمثل بالمعادلة الآتية:

$$\mathbf{a} = \frac{\text{المحصلة}}{m}$$

قانون نيوتن الثاني

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

لاحظ أن قانون نيوتن الثاني يمكن إعادة صياغته بالشكل:  $F = ma$  والذى درسته سابقاً. إذا كانت كتلة الطاولة التي دفعتها أنت وزميلك  $15.0 \text{ kg}$ ، ودفع كل منكما بقوة  $50.0 \text{ N}$  في الاتجاه نفسه، فما تسارع الطاولة؟ لإيجاد ذلك، احسب القوة المحصلة  $50.0 \text{ N} + 50.0 \text{ N} = 100.0 \text{ N}$ ، ثم طبق قانون نيوتن الثاني بقسمة القوة المحصلة  $100.0 \text{ N}$  على كتلة الطاولة  $15.0 \text{ kg}$ ، تحصل على تسارع يساوي  $6.67 \text{ m/s}^2$ .

هناك استراتيجية مفيدة لتحديد كيف تعتمد حركة جسم ما على القوى المؤثرة فيه. حدد أولاً جميع القوى التي تؤثر في الجسم، ثم ارسم مخطط الجسم الحر مبيناً الاتجاه والمقدار لكل قوة تؤثر في النظام، ثم اجمع القوى لإيجاد القوة المحصلة، واستعمل قانون نيوتن الثاني لحساب التسارع، وعند الضرورة استعمل الكينياتيكا (علم الحركة) لإيجاد السرعة المتجهة أو موقع الجسم. عندما تعلمت الكينياتيكا في الفصلين الثاني والثالث، درست حركة الأجسام من دون اعتبار لمسبيات الحركة. أما الآن فتعلم أن القوة المحصلة هي سبب تغير السرعة المتجهة؛ أي سبب التسارع.

## ٤-١ مراجعة

**12. مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لدلوماء تُرفع بحبل بسرعة متناقصة. حدد النظام، وسم جميع القوى مع مسبباتها، وارسم أسهماً بأطوال صحيحة.

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

**14. التفكير الناقد** تؤثر قوة مقدارها  $1 \text{ N}$  في مكعب خشبي فتكسبه تسارعاً معلوماً. عندما تؤثر القوة نفسها في مكعب آخر فإنه تكسبه ثلاثة أمثل تسارعه. ماذا تستنتج حول كتلة كل من هذين المكعبين؟

**9. القوة** صنف كلاً من: الوزن، الكتلة، القصور الذاتي، الدفع باليد، الدفع، مقاومة الهواء، قوة 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 بيده بسرعة منتظمة. حدد النظام، وسم جميع القوى مع مسبباتها، وارسم أسهماً بأطوال صحيحة.





## 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  
القدرة المعيشية  
السرعة الحدية

الشكل 4-8 القوة المحصلة المؤثرة في الكثافة هي قوة الوزن  $F_g$ .

<b>المعلوم</b> $a = g$ $m$ <b>المجهول</b> $F_g$	
---	--

$$F_g = ma$$

$$F_g = \text{محصلة} \cdot a = g$$

$$F_g = ma$$

لذا يكون

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

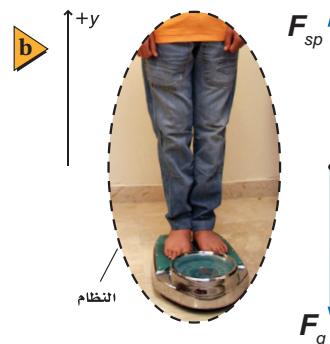
تأمل كلاً من النموذجين: التصويري والفيزيائي لكرة تسقط سقوطاً حرّاً في الشكل 4-4. ما القوى التي تؤثر في الكرة؟ بها أن الكرة لا تلمس أي شيء، ولأن مقاومة الهواء مهملة فإن القوة الوحيدة التي تؤثر فيها هي  $F_g$ ، وحيث إن تسارع الكرة هو  $g$  (كما درست في الفصل الثالث) فإن القانون الثاني لنيوتن يصبح  $F_g = mg$ . 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 سقوطاً حرّاً.

هذه النتيجة صحيحة على الأرض، وعلى أي كوكب آخر، بالرغم من أن مقدار  $g$  مختلف على الكواكب الأخرى. وبسبب أن قيمة  $g$  على سطح القمر أقل كثيراً من قيمتها على سطح الأرض، لذا فإن وزن أي جسم على سطح القمر يصبح أقل إلى السادس منه على سطح الأرض رغم أن الكتلة لم تتغير.

**الموازين** تحتوي بعض الموازين المنزلية على نوابض، وعندما تقف على الميزان يؤثر فيك بقوة إلى أعلى لأنك تلامسـه. ولأنك لا تتسارع فإن القوة المحصلة المؤثرة فيك تساوي صفرـاً، 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 4-9. وتحدد قراءة الميزان بواسطة القوة التي تؤثر بها نوابضـه فيك. لذا فإن ما يقيسه الميزان المنزلي هو الوزن، وليس الكتلة، ولسهولة التحويل بين الكتلة والوزن فإن الميزان يُدرج بحيث يعطينا 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.

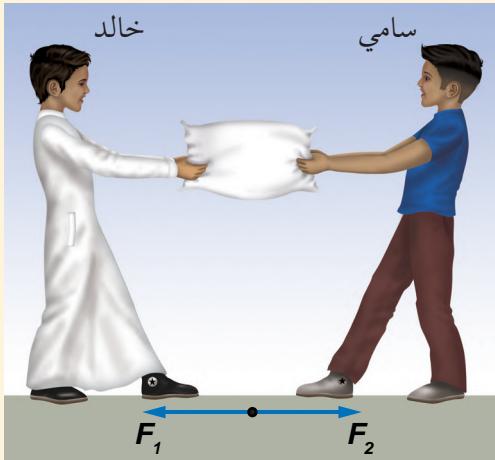
الشكل 4-9

- إن قوة النابض التي تؤثر إلى أعلى في الميزان المنزلي تساوي مقدار قوة وزنك عندما تقف فوقـه.
- يبين مخطط الجسم الحر أن النظام متزن؛ لأن قوة النابض تساوي وزنك.



## مثال 1

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



### تحليل المسألة ورسمها 1

- ارسم مخطط الحالـة.
- حدد الوسادة باعتبارها "النظام" ، واعتـبر الاتجـاه الذي يـسحبـها فيـه خـالـد هو الاتجـاه المـوجـب.
- ارسم مخططـ الجـسـمـ الحـرـ، وسمـ جـيـعـ القـوىـ.

**المجهول**

$$a = ?$$

**المعلوم**

$$m = 0.30 \text{ kg}$$

$$F_{\text{خـالـدـ فـيـ الـوـسـادـة}} = 11.0 \text{ N}$$

$$F_{\text{سـامـيـ فـيـ الـوـسـادـة}} = 10.0 \text{ N}$$

### إيجاد الكمية المجهولة 2

$$(سامـيـ فـيـ الـوـسـادـة) - F_{\text{خـالـدـ فـيـ الـوـسـادـة}} = F_{\text{الـمـحـصـلـة}}$$

استخدم قانون نيوتن الثاني

$$\begin{aligned} a &= \frac{F_{\text{الـمـحـصـلـة}}}{m} \\ &= \frac{11.0 \text{ N} - 10.0 \text{ N}}{0.30 \text{ kg}} \\ &= 3.3 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\text{بالتعويض } F_{\text{سامـيـ فـيـ الـوـسـادـة}} = 10.0 \text{ N}, m = 0.30 \text{ kg}, F_{\text{خـالـدـ فـيـ الـوـسـادـة}} = 11.0 \text{ N}$$

في الاتجاه الموجب

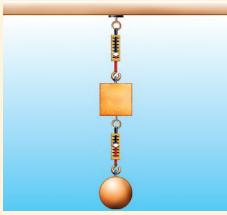
### دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال  
الأرقام المعنوية 188، 189

### تقويم الجواب 3

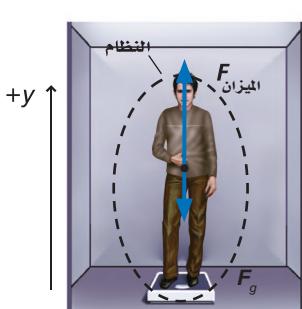
- هل الوحدات صحيحة؟  $\text{m/s}^2$  هي الوحدة الصحيحة للتـسارـعـ.
- هل للإشارـاتـ معـنىـ؟ التـسارـعـ فيـ الـاتـجـاهـ المـوجـبـ، وـهوـ متـوقـعـ لأنـ خـالـدـ يـسحبـ نحوـ الـاتـجـاهـ المـوجـبـ بـقـوـةـ أـكـبـرـ منـ القـوـةـ التيـ يـسحبـ فيهاـ سـامـيـ نحوـ الـيمـينـ.
- هلـ الجـوابـ منـطـقـيـ؟ إنـ مـقـدـارـ التـسارـعـ منـطـقـيـ بالـنـسـبـةـ إـلـىـ وـسـادـةـ خـفـيفـةـ.

## مـسـائـلـ تـدـريـيـةـ



الشكل 10-10

15. ما وزن بطيخة كتلتها  $4.0 \text{ kg}$ ؟
16. يتعلم أحمد التزلج على الجليد، ويـساعدـهـ أبوـهـ بـأنـ يـسحبـهـ بـحـيثـ يـكتـسـبـ تـسـارـعـاـ مـقـدـارـهـ  $0.80 \text{ m/s}^2$ . فإذا كانت كـتـلـةـ أـحـمـدـ  $27.2 \text{ kg}$  فـماـ مـقـدـارـ الـقـوـةـ الـتـيـ يـسـحبـهـ بـهـ أـبـوهـ؟ (أـهـمـ المـقاـومـةـ بـيـنـ الـجـلـيدـ وـحـذـاءـ التـزلـجـ).
17. تـسـكـ أـمـلـ وـسـارـةـ مـعـاـ بـقطـعـةـ حـبـلـ كـتـلـةـ  $0.75 \text{ kg}$ ، وـتـشـدـ كـلـ مـنـهـاـ فـيـ الـاتـجـاهـ الـمـعاـكـسـ لـلـأـخـرـيـ.
- إـذـاـ سـحـبـتـ أـمـلـ بـقـوـةـ  $16.0 \text{ N}$ ، وـتـسـارـعـ الـحـبـلـ بـمـقـدـارـ  $1.25 \text{ m/s}^2$  مـبـتـعـداـ عـنـهـاـ، فـماـ الـقـوـةـ الـتـيـ تـسـحبـ بـهـ سـارـةـ الـحـبـلـ؟
18. بيـنـ الشـكـلـ 10-4ـ مـكـعـبـاـ خـشـبـيـاـ كـتـلـةـ  $1.2 \text{ kg}$ ، وـكـرـةـ كـتـلـةـ  $3.0 \text{ kg}$ . ماـ قـرـاءـةـ كـلـ مـنـ الـمـيزـانـيـنـ؟ (أـهـمـ كـتـلـةـ الـمـيزـانـيـنـ).



■ **الشكل 11-4** 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 كلما تغيرت  $g$ . وتعد قيمة  $g$  ثابتة تقريباً على سطح الأرض أو بالقرب منه، ولذلك فإن وزن جسم ما لا يتغير كثيراً من مكان إلى آخر على سطح الأرض. تعلمت أن الميزان المتزل 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 متذناً فإن الميزان يقرأ وزنك، وماذا يقرأ الميزان إذا تسارع المصعد إلى أعلى؟ يبين **الشكل 11-4** النموذجين التصويري والفيزيائي لهذه الحالة، فأنك 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**.

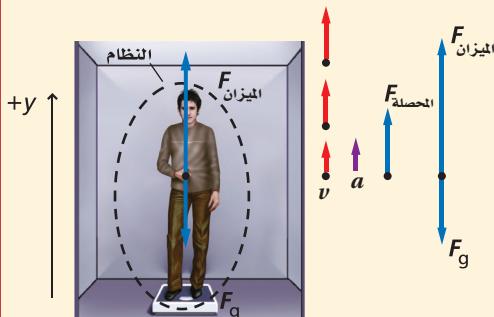
## استراتيجيات حل المسألة

### القوة والحركة

عند حل مسائل القوة والحركة استخدم الاستراتيجيات الآتية:

1. اقرأ المسألة بعناية وارسم نموذجاً تصویرياً.
2. ضع دائرة حول النظام واختر نظاماً إحداثياً.
3. حدد الكميات المعروفة والمجهولة.
4. اعمل نموذجاً فيزيائياً؛ وذلك برسم خطوط توضيحي للحركة بين اتجاه التسارع، وارسم خطوط 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. عرض الكميات المعروفة مع وحداتها في المعادلة، وأوجد الإجابة.
8. اختبر نتائجك للتأكد من أنها منطقية.

**الوزن الحقيقي والوزن الظاهري** افترض أن شخصاً ما يقف على ميزان في مصعد، وأن كتلته تساوي 75.0 kg. في البداية كان المصعد ساكناً، ثم تسارع إلى أعلى بمقدار  $2.00 \text{ m/s}^2$  لمدة 2.00 s، ثم تابع حركته إلى أعلى بسرعة متنامية. هل تكون قراءة الميزان في أثناء تسارع المصعد أكبر، أم متساوية، أم أقل من القراءة التي سجلها عندما كان المصعد ساكناً؟



### 1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم خطط الحالات للمسألة.
- اختر نظاماً إحداثياً يكون فيه الاتجاه الموجب كما هو موضح في الرسم.
- ارسم نموذج الجسم النقطي لكل من  $a$  و  $v$ .
- ارسم خطط الجسم الحر. لاحظ أن اتجاه القوة المحصلة في اتجاه التسارع نفسه، وهذا يعني أن القوة إلى أعلى أكبر من القوة إلى أسفل.

**المجهول**

$$F_{\text{الميزان}} = ? \quad m = 75.0 \text{ kg} \quad a = 2.00 \text{ m/s}^2$$

$$t = 2.00 \text{ s} \quad g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

$$F_{\text{المحصلة}} = ma$$

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} + (-F_g)$$

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} - F_g$$

$F_g$  سالبة لأنها في اتجاه السائب للنظام الإحداثي

حساب الميزان  $F_{\text{الميزان}}$  نستخدم

عندما يكون المصعد في حالة سكون

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

$$= F_g$$

$$= mg$$

$$= (75.0 \text{ kg}) (9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 735 \text{ N}$$

$$\text{المصعد لا يتسارع لذلك } F_{\text{المحصلة}} = 0.00 \text{ N}$$

بالتقسيم  $F_{\text{المحصلة}} = 0.0 \text{ N}$

$$F_g = mg$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2, m = 75.0 \text{ kg}$$

عندما يتسارع المصعد

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

$$= ma + mg$$

$$= m(a + g)$$

$$= 75.0 \text{ kg} (2.00 \text{ m/s}^2 + 9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 885 \text{ N}$$

قراءة الميزان في أثناء تسارع المصعد أكبر من قراءته عندما كان المصعد ساكناً.

### ٣ تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  هي وحدة القوة (النيوتن).
- هل للإشارات معنى؟ تتفق الإشارة الموجبة مع النظام الإحداثي.
- هل الجواب منطقي؟ إن قراءة الميزان  $F$  في أثناء تسارع المصعد أكبر من قيمتها عندما يكون المصعد ساكناً، لذلك فإن الجواب منطقي.

### مسائل تدريبية

19. يبين ميزانك المترizi أن وزنك  $N = 585$ .

a. ما كتلتك؟

b. كيف تكون قراءة الميزان نفسه على سطح القمر؟ (تسارع الجاذبية على القمر  $= 1.6 \text{ m/s}^2$ ).

20. استخدم نتائج المثال 2 للإجابة عن مسائل حول ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف داخله في الحالات الآتية؟

a. يتحرك المصعد بسرعة متنامية.

b. يتباطأ المصعد بمقدار  $2.00 \text{ m/s}^2$  في أثناء حركته إلى أعلى.

c. تزداد سرعته بمقدار  $2.00 \text{ m/s}^2$  في أثناء حركته إلى أسفل.

d. يتحرك المصعد إلى أسفل بسرعة متنامية.

e. يتباطأ المصعد بمقدار ثابت حتى يتوقف.

## القوة المعيقة والسرعة الحدية

### 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، إلا 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 المانعة 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.

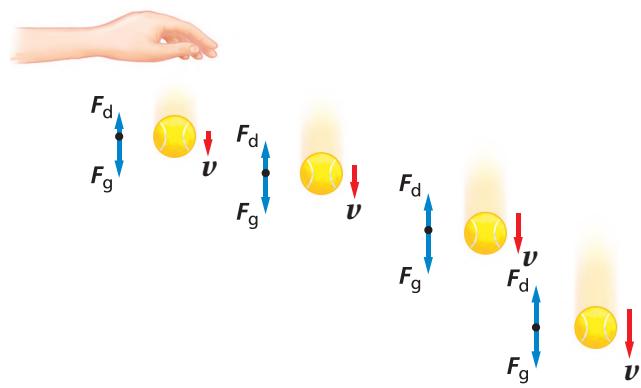
إذا سقطت كرة تنس الطاولة، كما هو موضح في الشكل 12-4، فإن سرعتها المتجهة تكون صغيرة في البداية، لذا تكون القوة المعاينة  $F_d$  المؤثرة فيها صغيرة. ولأن قوة الجاذبية الأرضية (اتجاهها إلى أسفل) أكبر كثيراً من القوة المعاينة (اتجاهها إلى أعلى) فإن الكرة تتسارع إلى أسفل. وكلما ازدادت السرعة المتجهة للكرة ازدادت معها القوة المعاينة، إلى أن تتساوى القوتان فتصبح القوة المحصلة المؤثرة في الكرة مساوية صفرًا، وكذلك تتسارعها، وهنا تتابع الكرة هبوطها بسرعة منتظمة. وهذه السرعة المنتظمة التي تصل إليها الكرة عندما تتساوى

**القوة المعاينة مع قوة الجاذبية الأرضية تسمى السرعة الحرّة.**

وفي حالات سقوط الأجسام الخفيفة ذات السطوح الكبيرة يكون للقوة المعاينة تأثير ملحوظ في حركتها، وسرعان ما تصل هذه الأجسام إلى السرعة الحرّة.

أما الأجسام الثقيلة ذات السطوح الصغيرة فيكون تأثيرها بالقوة المعاينة أقل كثيراً. فعلى سبيل المثال تكون السرعة الحرّة لكرة تنس في الهواء 9 m/s، ولكن السلة 20 m/s، أما في حالة كرة البيسبول فتصل إلى 42 m/s. ولا بد أنك قد لاحظت كيف يقوم المظلعون بزيادة أو تقليل سرعتهم الحرّة قبل أن يُفتح مظلاتهم، من خلال تغيير اتجاه حركة أجسامهم وهياكلها.

أما الجسم الذي يتخذ هيئه الصقر المجنح فله سرعة حرّة صغيرة جدّاً قد تصل إلى 6 m/s. وعندما يفتح المظلي مظلته فإن هيئته تتغير، ويصير جزءاً من جسم كبير (المظلي + المظلة)، وتؤثر فيه قوة معاينة كبيرة، وتتصبح سرعته الحرّة قليلة (5 m/s تقريباً).



**الشكل 12-4** تزداد القوة المعاينة للجسم الذي يسقط سقوطاً حرّاً كلما زادت سرعته. وعندما تصل القوة المعاينة إلى الحد الذي تصبح فيه مساوية لقوة الجاذبية يصبح تسارع الجسم صفرًا.

### مسألة تحفيز

تنطلق عربة كتلتها 0.50 kg، وتعبر من خلال بوابة كهروضوئية (PHOTOELECTRIC GATE) بسرعة ابتدائية مقدارها 0.25 m/s، وتأثر فيها لحظة عبورها قوة ثابتة مقدارها N 0.40 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 N 0.40 في العربة عن طريق ربط خيط بالعربة، ومرر 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.

## 2-4 مراجعة

25. **كتلة** تلعب نورة مع زميلتها لعبة شد الجبل مستخدمةً دميةً. في لحظة ما خلال اللعبة سحبت نورة الدمية بقوة  $N = 22$  وسحبت زميلتها الدمية بقوة معاكسة مقدارها  $N = 19.5$ ، فكان تسارع الدمية  $6.25 \text{ m/s}^2$ . ما كتلة الدمية؟
26. **تسارع هبط مظلي** بسرعة متتظمة متخدّاً هيئّة 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، ومهتمه تحويل المخزون في شاحنات حمولة كل منها  $10000 \text{ N}$ . يتم وضع الصناديق الواحد تلو الآخر فوق حزام متحرّك قليل الاحتكاك لينقلها إلى الميزان، وعند وضع أحد الصناديق الذي يزن  $N = 1000$  تعطل الميزان. اذكر طريقة يمكن بها تطبيق قوانين نيوتن لتحديد الكتل التقريرية للصناديق المتبقية.

21. **جاذبية القمر** قارن بين القوة اللازمة لرفع صخرة كتلتها  $10 \text{ kg}$  على سطح الأرض، وتلك اللازمة لرفع الصخرة نفسها على سطح القمر. علماً بأن تسارع الجاذبية على القمر يساوي  $1.62 \text{ m/s}^2$ .
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 مساوياً لوزنك الحقيقي، أكثر من وزنك الحقيقي، أقل من وزنك الحقيقي؟ ارسم مخطط الجسم الحر لكل حالة لدعم إجاباتك.
23. **التسارع** يقف شخص كتلته  $65 \text{ kg}$  فوق لوح تزلج على الجليد. إذا أندفع هذا الشخص بقوة  $N = 9.0 \text{ N}$  فما تسارعه؟
24. **حركة المصعد** ركبت مصعداً وأنت تمسك بميزان علق فيه جسم كتلته  $1 \text{ kg}$ ، وعندما نظرت إلى الميزان كانت قراءته  $N = 9.3 \text{ N}$ . ماذا تستنتج بشأن حركة المصعد في تلك اللحظة؟



## 3-4 قوى التأثير المتبادل Interaction Forces

عرفت أنه إذا أثر مسبباً بقوة محصلة في جسم فإن الجسم يتسارع. وعرفت أيضاً 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 كلاً منها يسحب الآخر أو يدفعه، وكذلك إذا ضغطت قدمك على عتلة فإنهما تضغط على قدمك في الاتجاه المعاكس، لكن أيهما المسبب وأيها الجسم؟

### تمييز قوى التأثير المتبادل Identifying Interaction Forces

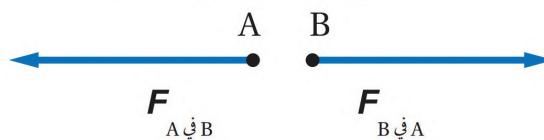
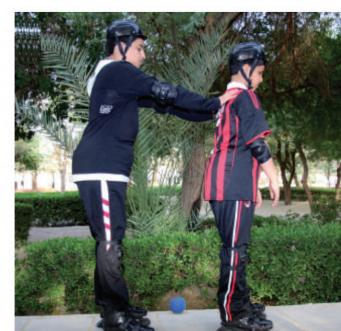
تصور أنك ارتديت حذاء التزلج بالإضافة إلى جميع ملابس الأمان المناسبة، وكذلك فعل صديفك. فإذا دفعت ظهره بيديك لكي يبدأ التزلج إلى الأمام، فما الذي يحدث لك؟ سوف تتحرك إلى الخلف. لماذا؟ تذكر أن القوة تنتج عن تأثير متبادل بين جسمين، فأنت حين تدفع صديفك تلامس معه وتؤثر فيه بقوة تجعله يتحرك إلى الأمام. لأنه في حالة تلامس معك فإنه يؤثر فيك بقوة تؤدي إلى تغيير في حركتك.

تكون القوى دائمةً على شكل أزواج. اعتبر نفسك (الطالب A) تمثل نظاماً، وأن صديفك (الطالب B) يمثل نظاماً آخر. ما القوى الأفقية التي تؤثر في كل من هذين النظائر؟ يبين **الشكل 13-4** خطط الجسم الحر للنظائر. وبتأمل هذا المخطط ستلاحظ أن كل نظام يتلقى من النظام الآخر قوة تؤثر فيه.

القوتان  $F_{A \text{ في } B}$  و  $F_{B \text{ في } A}$  نسميهما **زوجي التأثير المتبادل**، وهما قوتان متساويتان في المقدار ومتواستان في الاتجاه، ويطلق عليهما أحياناً 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 تُتج القوة التي دفعت بها صديفك القوة التي أثرت فيك ودفعتك إلى الخلف؛ فكلتا القوتين نتجت عن التلامس بينكما.

**الشكل 13-4** عندما تؤثر بقوة في صديفك لتدفعه إلى الأمام فإنه يؤثر فيك بقوة متساوية ومعاكسة

تدفعك إلى الخلف.



### الأهداف

- تعرف قانون نيوتن الثالث.
- توضح قوى الشد التي تنشأ في الخيوط والحبال من خلال قانون نيوتن الثالث.
- تعرف القوة العمودية.
- تحدد مقدار القوة العمودية من خلال تطبيق قانون نيوتن الثاني.

### المفردات

- أزواج التأثير المتبادل
- قانون نيوتن الثالث
- قوى الشد
- القوة العمودية

## قانون نيوتن الثالث Newton's Third Law

إن القوة التي تؤثر 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، ومتصادتان في الاتجاه.

$$F_{A \text{ في } B} = -F_{B \text{ في } A}$$

قانون نيوتن الثالث

القوة التي يؤثر بها A في B تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوة التي يؤثر بها B في A.



■ **الشكل ١٤-٤** كرة قدم على طاولة موضوعة على الأرض. لاحظ أن الكوة والطاولة تشكلان زوجي تأثير متبادل وكذلك الطاولة والأرض والكرة والأرض.

افترض أنك تمسك كتاباً بيده، ورسم مخطط الجسم الحر الخاص بك، وخطط آخر للكتاب. هل هناك أزواج تأثير متبادل؟ عند تمييز أزواج التأثير المتبادل في مخططات الجسم الحر يجب أن تدرك أن كلاً منها يؤثر في جسم مختلف. ففي هذه الحالة هناك فقط زوجاً تفاعلاً هما: الكتاب في اليدين  $F$  و اليدين في الكتاب.

لاحظ أيضاً أن لكل جسم وزناً. فإذا كانت كوة 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 ١٤-٤**. 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:

$$\text{الطاولة في الكرة} - F = \text{الكرة في الطاولة}$$

ذلك

$$\text{الأرض في الكرة} - F = \text{الكرة في الأرض}$$

### تجربة لعبة شد الحبل

إذا كنت تلعب لعبة شد الحبل، وكان خصمك يكتفي بالإمساك بطرف الحبل دون أن يشد، فكم توقع أن يكون مقدار القوة التي تؤثر به في الحبل مقارنة بقوة خصمك؟

1. توقع كيف تقارن بين القوتين إذا تحرك الحبل في اتجاهك؟
2. اخترر 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؟

إن التسارع الذي تكتسبه الكرة الأرضية من قوة جسم يتفاعل معها يكون عادة متناهياً في الصغر بحيث يتم التعامل مع الأرض باعتبارها جزءاً من المحيط الخارجي لذلك الجسم، لا باعتبارها نظاماً آخر.

## استراتيجيات حل المسألة

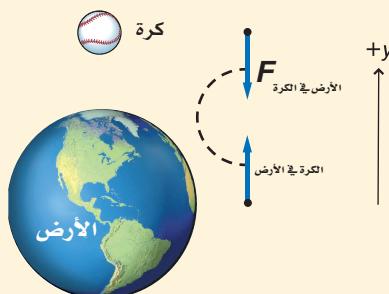
### أزواج التأثير المتبادل

يمكنك الاستعانة بالاستراتيجيات الآتية في حل مسائل التأثير المتبادل بين نظامين مختلفين:

- اعزل النظام أو الأنظمة عن المحيط الخارجي.
- ارسم لكل نظام نموذجاً تصويرياً، ونموذجًا فيزيائياً يشتمل على مخطط الجسم الحر، مع تحديد النظام الإحداثي.
- صل بين كل زوجين من أزواج التأثير المتبادل بخط متقطع.
- لإيجاد الإجابة، استخدم قانون نيوتن الثاني الذي يربط بين كل من القوة المحصلة والتسارع لكل نظام.
- استخدم قانون نيوتن الثالث لكتابه معادلة تجمع بين مقادير قوى التأثير المتبادل، وبيان اتجاه كل قوة.
- حل المسألة وختبر الوحدات والإشارات والمقادير؛ للتأكد من أنها منطقية.

## مثال 3

**تسارع الأرض** عندما تسقط كرة كتلتها  $0.18 \text{ kg}$  يكون تسارعها في اتجاه الأرض مساوياً لتسارع الجاذبية الأرضية. ما القوة التي تؤثر بها الكورة في الأرض؟ وما التسارع الذي تكتسبه الأرض، علماً بأن كتلة الأرض  $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ ؟



### 1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الجسم الحر لكلا النظائر: الكرة والأرض.
- صل بين زوجي التأثير المتبادل بخط متقطع.

#### المجهول

$$F_{\text{الكرة في الأرض}} = ?$$

$$m_{\text{الكرة}} = 0.18 \text{ kg}$$

$$a_{\text{الأرض}} = ?$$

$$m_{\text{الأرض}} = 6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم القانون الثاني لنيوتون لإيجاد القوة التي تؤثر بها الأرض في الكورة:

$$\begin{aligned} F_{\text{الكرة في الأرض}} &= m_{\text{الكرة}} a_{\text{الأرض في الكورة}} \\ &= m_{\text{الكرة}} (-g) \\ &= (0.18 \text{ kg})(-9.80 \text{ m/s}^2) \\ &= -1.8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$a = -g$$

$$m_{\text{الكرة}} = 0.18 \text{ kg}, g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

استخدم القانون الثالث لنيوتون لإيجاد القوة التي تؤثر بها الكرة في الأرض:

$$\begin{aligned} F &= -F \quad \text{الكرة في الأرض} \\ &= -(-1.8 \text{ N}) \\ &= +1.8 \text{ N} \end{aligned}$$

### دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بدلاتها  
العلمية 192، 191

$$F = \text{الأرض في الكرة} - 1.8 \text{ N}$$

استخدم القانون الثاني لنيوتون لإيجاد التسارع الذي تكتسبه الأرض:

$$\begin{aligned} a &= \frac{F}{m} \quad \text{المحصلة} \\ &= \frac{1.8 \text{ N}}{6.0 \times 10^{24} \text{ kg}} \quad m = 6.0 \times 10^{24} \text{ kg} \\ &= 2.9 \times 10^{-25} \text{ m/s}^2 \quad \text{في اتجاه الكرة} \end{aligned}$$

### 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ يثبت تحليل الوحدات أن القوة تمقس بـ N والتسارع بـ  $\text{m/s}^2$ .
- 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 يديك كرة بولنج خفيفة نسبياً وتسارعها 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 حقيقة سفر على عربة أمتعة ساقنة، كما في الشكل 15-4. ارسم مخطط الجسم الحر لكل جسم، وبيّن أزواج التأثير المتبادل حيثما وجده.



الشكل 15-4

## قوى الشد في الحبال والخيوط

### Forces of Ropes and Strings

**قوة الشد** اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل. ولتبسيط سفترض في هذا الكتاب أن كتل الحبال والخيوط مهملة.

ومن أجل فهم أكثر عمقاً لمصطلح الشد سندرس الحالة المبينة في الشكل 16-4؛ حيث يعلق دلو في نهاية حبل مثبت في السقف. تلاحظ أن الحبل يوشك أن ينقطع عند المتصل، وإذا انقطع الحبل فسوف يسقط الدلو. وهذا يعني وجود قوى تجعل طرف الحبل العلوي (قبل أن ينقطع) متلاصقاً مع طرفه السفلي.

نرمز إلى القوة التي يؤثر بها الطرف العلوي للحبل في طرفه السفلي بـ  $F_{T\text{ في السفلي}}$ ، وهي بحسب قانون نيوتن الثالث جزء من زوجي تأثير متبادل، أما الزوج الآخر فهو القوة التي يؤثر بها الطرف السفلي للحبل في طرفه العلوي:  $F_{T\text{ في العلوي}}$ ، وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه، كما هو موضح في الشكل 16-4.

يمكن أن تفك 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 أيضاً 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.

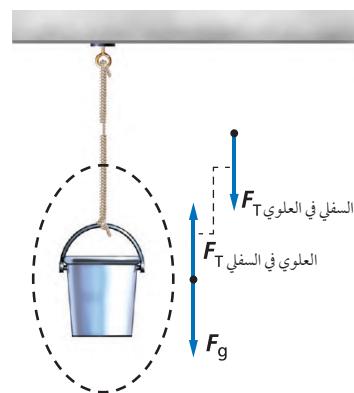
توجد قوى الشد أيضاً في لعبة شد الحبل، مثل تلك المبينة في الشكل 17-4. فإذا أثر الفريق (A) عن اليسار بقوة N 500 ولم يتحرك الحبل (R) فهذا يعني أن الفريق (B) الذي عن اليمين يسحب الحبل أيضاً بقوة N 500. ما الشد في الحبل في مثل هذه الحالة؟ وإذا سحب كل فريق بقوة N 500، فهل سيكون الشد الكلي في الحبل N 1000؟ لإنجاحه عن ذلك سندرس كلاً من نصفي الحبل على حدة. الطرف الأيسر لا يتحرك، وهذا يعني أن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفراء، لذلك فإن:

$$F_{R\text{ في اليمين}} = F_{A\text{ في اليسار}} = 500 \text{ N}$$

$$F_{R\text{ في اليسار}} = F_{B\text{ في اليمين}} = 500 \text{ N}$$

ولكن

تمثل كل من  $F_{A\text{ في اليمين}}$ ،  $F_{B\text{ في اليسار}}$  أحد زوجي التأثير المتبادل، لذلك فهما متساويتان في المقدار ومتعاكسستان في الاتجاه؛ أي أن الشد الكلي في الحبل يساوي القوة التي يسحب بها كل فريق، وتتساوي N 500.



الشكل 16-4 الشد في الحبل يساوي مجموع أوزان جميع الأجسام المعلقة به.

تجربة  
عملية

ما القوى المؤثرة في القطار؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإبداعية



### الشكل 17-4 في لعبة شد الحبل يؤثر كل

فريق (من خلال الشد في الجبل) بقوة متساوية ومحاكاة للقوة التي يؤثر بها الفريق الآخر.

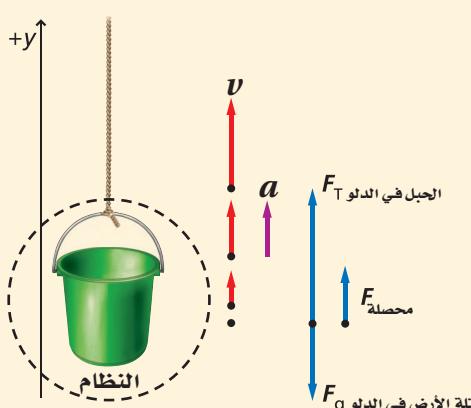


## مثال 4

يرفع دلو كتلته 50.0 kg بحبيل 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 ثابتاً، فهل هناك احتمال أن ينقطع الحبل؟

### 1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الحالة وبيّن القوى التي تؤثر في النظام.
- كون نظاماً إحداثياً يكون فيه الاتجاه الموجب إلى أعلى.
- ارسم نموذج الجسم التقاطي يشمل كل من  $a$  و  $v$ .
- ارسم مخطط الجسم الحر، وسمّ القوى.



المجهول	المعلوم
$F_T = ?$	$m = 50.0 \text{ kg}$ $v = 3.0 \text{ m/s}$
$v_i = 0.0 \text{ m/s}$	$d = 3.0 \text{ m}$

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

تمثل المحصلة  $F$  مجموع القوة الموجبة ( $F_T$ ) التي يسحب بها الحبل إلى أعلى، وقوة الوزن السالبة ( $F_g$ ) التي تؤثر إلى أسفل.

$$\text{المحصلة} = F_T + (-F_g)$$

$$F_T = F - \text{المحصلة}$$

$$= ma + mg$$

$$= m(a + g)$$

$$\text{بالتعويض } F_g = m\mathbf{g}, F = ma \Rightarrow \text{المحصلة} = ma + m\mathbf{g}$$

وبما أن قيم كل من  $v_i$  و  $v_f$  و  $d$  معلومة فإنه يمكننا استخدام معادلة الحركة الآتية لإيجاد التسارع  $a$ :

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d}$$

$$= \frac{v_f^2}{2d}$$

$$F_T = m(a + g)$$

$$= m\left(\frac{v_f^2}{2d} + g\right)$$

$$= (50.0 \text{ kg}) \left( \frac{(3.0 \text{ m/s})^2}{2(3.0 \text{ m})} + (9.80 \text{ m/s}^2) \right)$$

$$= 565 \text{ N}$$

### دليل الرياضيات

فصل المتغير 194

$v_i = 0.0 \text{ m/s}$

$$a = \frac{v_f^2}{2d}$$

$$m = 50.0 \text{ kg}, v_f = 3.0 \text{ m/s}$$

$$d = 3.0 \text{ m}, g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

سوف ينقطع الحبل؛ لأن قوة الشد أكبر من 525 N.

### 3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ وحدة القوة هي  $\text{kg.m/s}^2$ ، وهي وحدة N.

• هل للإشارات معنى؟ نعم؛ إذ يجب أن تكون القوة المؤثرة إلى أعلى موجبة.

• هل الجواب منطقي؟ المقدار أكبر 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. وضع معدات في دلو، فأصبحت كتلته 42 kg، فإذا رفع الدلو إلى سطح منزل بحبل يتحمل شدّاً 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 واجهها صعوبة كبيرة في نزع الإطار المطاطي عن الدوّلاب، فقاما بسحبه معاً؛ حيث سحب أحمد بقوة 23 N، وسالم بقوة 31 N، وعندئذٍ تمكنا من زحزحة الإطار. ما مقدار القوة بين الإطار المطاطي والدوّلاب؟



## القوة العمودية The Normal Force

عندما يتلامس جسمان يؤثر كل منهما في الآخر بقوة؛ فالصندوق الموضوع على سطح الطاولة يؤثر فيه الجاذبية الأرضية بقوة إلى أسفل، وفي المقابل يؤثر 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 متساوية لوزن الجسم، كما هو موضح في الشكل 18a–4؟ ماذا يحدث إذا ربطت الصندوق بخيط وسحبته قليلاً إلى أعلى بقوة شد لا تكفي لرفع الصندوق عن الطاولة؟ انظر الشكل 18b–4. بتطبيق قانون نيوتن الثاني على الصندوق نجد أن:

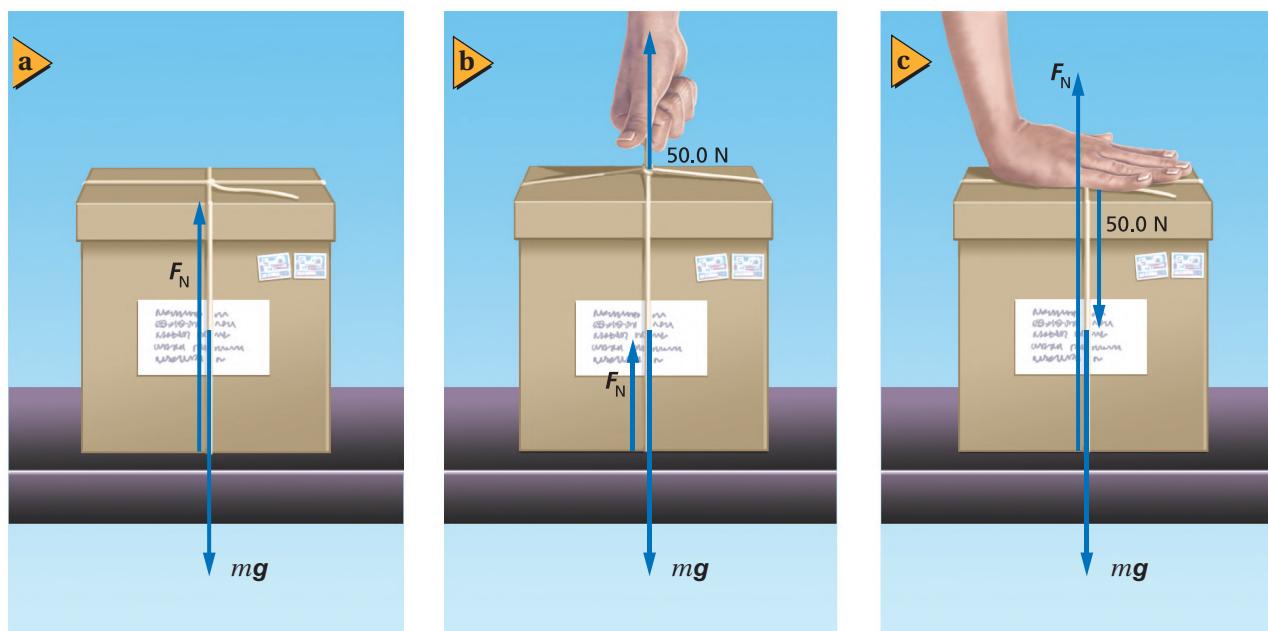
$$F_N + F_{\text{خيط}} - F_g = ma = 0$$

وبترتيب المعادلة نجد أن:

$$F_N = F_g - F_{\text{خيط}}$$

- **الشكل 18–4** 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.

تلاحظ في هذه الحالة أن القوة العمودية التي يؤثر بها الطاولة في الصندوق أقل من وزن الصندوق  $F_g$ ، أما إذا ضغطت على الصندوق إلى أسفل، كما في الشكل 18c–4، فستصبح القوة العمودية أكبر من وزن الصندوق.



## 4 مراجعة

37. **قوة الشد** إذا كانت كتلة قطعة الطوب السفلية الواردة في المسألة السابقة  $3.0 \text{ kg}$ ، وقوة الشد في الحبل العلوي  $N = 63.0$ ، فاحسب كلاً من قوة الشد في الحبل السفلي، وكتلة قطعة الطوب.
38. **القوة العمودية** يُسلم صالح صندوقاً كتلته  $13 \text{ kg}$  إلى شخص كتلته  $61 \text{ kg}$  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 المولدة في الحبل إذا سحب الفريق الآخر بقوة  $N = 500 \text{ N}$ ؟ ووضح ذلك.

34. **القوة** مدد ذراعك أمامك في الهواء، وأسند كتاباً إلى راحة يدك بحيث يكون مستقراً. حدد القوى، وأزواج التأثير المتبادل التي تؤثر في الكتاب.
35. **القوة** إذا خفضت الكتاب الوارد في المسألة السابقة بتحريك يدك إلى أسفل بسرعة متزايدة، فهل يتغير أي من القوى، أو أزواج التأثير المتبادل المؤثرة في الكتاب؟ ووضح ذلك.
36. **قوة الشد** تتدلى من السقف قطعة طوب مربوطة بحبل مهملاً الكتلة، ومربوط بها من أسفل قطعة طوب آخر بحبل مهملاً الكتلة أيضاً. ما قوة الشد في كل من الحبلين إذا كانت كتلة كل قطعة  $5.0 \text{ kg}$ ؟



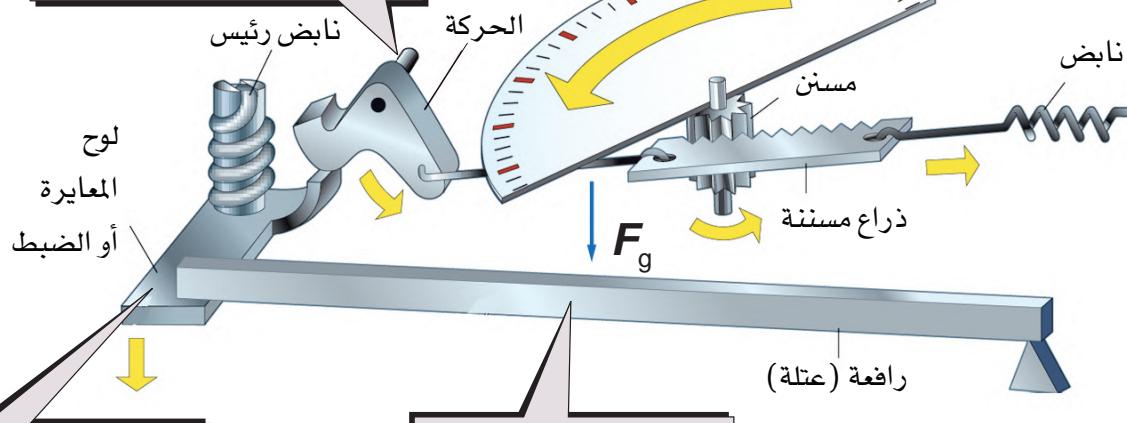
# How it Works

## الميزان المنزلي؟

كيف  
يُعمل

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.

1 هناك رافعتان (علتان) طوليان وأخريان قصيرتان توصلان معًا، وهنالك مساند في غطاء الميزان فوق العتلاط لتوزيع الوزن عليها.



4 عند تساوي قوة النابض  $F_{sp}$  الناتجة عن استطالة النابض الرئيس و  $F_g$  فإن ناقل الحركة والذراع المسننة والمسننات ثبت ولا تتحرك وبظاهر وزنك على قرص الميزان.

2 ترتكز العتلات الطوليتان على لوح المعايرة الذي يتصل بالنابض الرئيس. وعندما تقت على سطح الميزان فإن وزنك  $F_g$  يؤثر في العتلاط التي تؤثر بدورها بقوة في لوح المعايرة وتؤدي إلى استطالة النابض الرئيس.

### التفكير الناقد

1. **كون فرضية** لا تؤثر معظم النوابض في الموازين المنزلية بقوة أكبر من N 89. كيف تتجنب كسر الميزان إذا وقفت عليه؟
2. **حل** إذا كانت أكبر قراءة على الميزان N 1068، والنابض يؤثر بقوة أقصاها N 89، فما النسبة التي تستعملها الرافعه (العلة)؟

# 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؟

#### احتياطات السلامة



■ احذر من سقوط القطع الخشبية عند التعامل معها لثلاثة أسباب.

#### المواد والأدوات

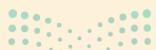
ورق رسم بياني	ساعة إيقاف
ميزان	شرطي قياس متري
قطع خشبية مختلفة الكتل	قطع خشبية مختلفة الكتل

#### الخطوات

1. اختر مساحة كافية بحيث يمكنك دفع قطعة خشبية لكي تنزلق مسافة لا تقل عن  $4\text{ m}$ .
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 حدتها، وكروا ذلك عدة مرات لتحقيق ذلك.
4. اطلب إلى زميلك الآن أن يدفع هذه القطعة بحيث تنزلق على المسار الذي حدتها، وشغل ساعة الإيقاف لحظة مرورها بالعلامة التي حدتها.

#### الأهداف

- تستنتج العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلته.
- تحمل التائج لحساب التسارع المتوسط للجسم.
- تحسب القوة المحصلة المؤثرة في جسم.
- تنشئ رسوماً بيانية وتستخدمها لتبيين العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلته.



جدول البيانات										
القوة المحصلة $F$ (N) محصلة	التسارع $\bar{a}_A$ المتوسط (m/s <sup>2</sup> )	المسافة $\Delta d$ (m)				الזמן $\Delta t$ (s)			كتلة القطعة الخشبية (kg)	مجموعة البيانات
		$\Delta \bar{d}$	$\Delta d_3$	$\Delta d_2$	$\Delta d_1$	$\Delta \bar{t}$	$\Delta t_3$	$\Delta t_2$	$\Delta t_1$	
										1
										2
										3
										4

### الاستنتاج والتطبيق

- فسر البيانات** ما العلاقة بين كتلة القطعة الخشبية والتسارع الذي اكتسبته في أثناء انزلاقها؟
- استنتج** ما العلاقة بين قوة الاحتكاك (القوة المحصلة) المؤثرة في القطعة الخشبية والتسارع المتوسط الذي تكتسبه؟ وضح إجابتك.
- استنتج** ما العلاقة بين قوة الاحتكاك (القوة المحصلة) المؤثرة في القطعة الخشبية وكتلة القطعة؟
- ما مصادر الخطأ في تجربتك؟
- اشتق العلاقة الرياضية المعطاة في جزء التحليل.

### التوسيع في البحث

هل تؤثر سرعة إطلاق القطعة الخشبية في القوة المحصلة المؤثرة فيها؟

### الفيزياء في الحياة

اعتماداً على نتائج هذه التجربة، هل يؤثر زيادة عرض إطار السيارة في قوة الاحتكاك المؤثرة فيه؟

5. بمساعدة زميل آخر يتتابع حركة القطعة الخشبية، أوقف ساعة الإيقاف لحظة توقف القطعة. سجل الزمن في جدول البيانات لمجموعة البيانات 1 للمحاولة 1.

6. باستخدام شريط القياس المتر قس المسافة التي قطعتها القطعة الخشبية. سجل هذه المسافة  $\Delta d$  في جدول البيانات لمجموعة البيانات 1 للمحاولة 1.

7. كرر الخطوات 6-4 مرتين إضافيتين للكتلة نفسها لمجموعة البيانات 1 للمحاولات 2 و3.

8. كرر 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** مثل بيانيًّا العلاقة بين كتل القطعة الخشبية (على المحور الأفقي) والقوة المحصلة المؤثرة في كل منها (على المحور الرأسى)

5. **لاحظ واستنتاج** ما نوع العلاقة التي حصلت عليها من الرسم البياني؟ ماذا تستنتج؟

# الفصل 4

## دليل مراجعة الفصل

### 4-1 القوة والحركة Force and Motion

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>الجسم الذي يعاني من دفع أو سحب تؤثر فيه قوة.</li> <li>للحركة مقدار واتجاه.</li> <li>تقسم القوى إلى: قوى تلامس، وقوى مجال.</li> <li>في خطط الجسم الحر، أرسم دائمًا متجهات القوة بحيث تشير بعيداً عن الجسم، حتى لو كانت تمثل قوى دفع.</li> <li>لإيجاد القوة المحصلة نجمع القوى التي تؤثر في الجسم باعتبارها متجهات.</li> <li>ينص قانون نيوتن الثاني على أن تسارع نظام ما يساوي ناتج قسمة القوة المحصلة المؤثرة فيه على كتلته.</li> <li>ينص قانون نيوتن الأول على أن الجسم الساكن يبقى ساكناً، والجسم المتحرك يبقى متحركاً في خط مستقيم وبسرعة متقطمة فقط إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا.</li> <li>الجسم الذي تؤثر فيه قوة محصلة مقدارها صفر يكون متزنًا.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>القوة</li> <li>النظام</li> <li>المحيط الخارجي</li> <li>قوة التلامس (التلامس)</li> <li>قوة المجال</li> <li>خطط الجسم الحر</li> <li>القوة المحصلة</li> <li>قانون نيوتن الأول</li> <li>القصور الذائي</li> <li>الاتزان</li> <li>قانون نيوتن الثاني</li> </ul>

### 4-2 استخدام قوانين نيوتن Using Newton's Law

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>الوزن الظاهري لجسم ما هو الوزن الذي نحس به أو نقيسه نتيجة تأثير قوة تلامس في الجسم تكتسبه تسارعاً.</li> <li>يعتمد وزن جسم ما على التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية وكتلة الجسم.</li> <li>تأثير القوة المعيشية على جسم تحدده حركة الجسم، وخصائص كل من الجسم والمائع.</li> <li>إذا وصلت سرعة جسم ساقط إلى حد أن القوة المعيشية تساوي وزنه فإن الجسم يحتفظ بسرعة متقطمة تسمى السرعة الحدية.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>الوزن الظاهري</li> <li>القوة المعيشية</li> <li>السرعة الحدية</li> </ul>

### 4-3 قوى التأثير المتبادل Interaction Forces

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>في زوجي التأثير المتبادل القوة <math>F_{B \rightarrow A}</math> ليست سبباً في نشوء القوة <math>F_{A \rightarrow B}</math>؛ فهما إما أن تكونا معاً وإنما لا توجدان أبداً.</li> <li>لكل قوة فعل تؤثر في جسم قوة رد فعل تؤثر في جسم آخر، وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه.</li> <li>الشد اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها حبل أو خيط في جسم ما.</li> <li>القوة العمودية قوة ناتجة عن تلامس جسمين، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بينهما.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>أزواج التأثير المتبادل</li> <li>قانون نيوتن الثالث</li> <li>قوة الشد</li> <li>القوة العمودية</li> </ul>

# الفصل 4 التقويم

45. فسر لماذا يكون الشد ثابتاً في كل نقاط جبل مهملاً الكتلة؟ (4-3)

46. يقف طائر على قمة مبني. ارسم مخطط الجسم الحر لكل من الطائر والمبني. وأشار 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 ثلات 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  $1.0 \text{ kg}$  وتسقط سقوطاً حرّاً؟

49. تباطأ سيارة كتلتها  $2300 \text{ kg}$  بمقدار  $3.0 \text{ m/s}^2$  عندما تقترب من إشارة مرور. ما مقدار القوة المحصلة التي تجعلها تباطأً وفق المقدار المذكور؟

### 4-2 استخدام قوانين نيوتن

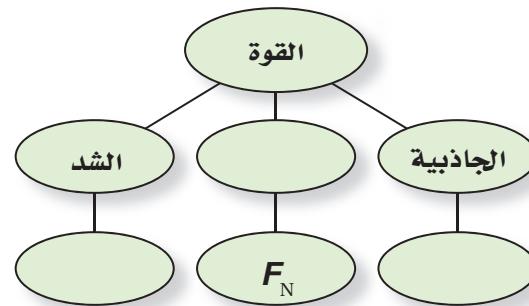
50. ما وزنك بوحدة النيوتن؟

51. تزن دراجتك النارية  $N = 2450$ ، فما كتلتها بالكيلوجرام؟

52. وضع تلفاز كتلته  $7.50 \text{ kg}$  على ميزان نابض. إذا كانت قراءة الميزان  $N = 78.4 \text{ N}$ ، فما تسارع الجاذبية الأرضية في ذلك المكان؟

## خرائط المفاهيم

40. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز المناسبة:



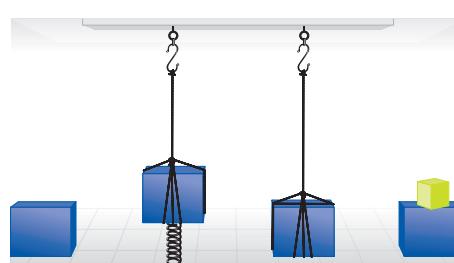
## إتقان المفاهيم

41. افترض أن تسارع جسم يساوي صفرًا، فهل يعني هذا عدم وجود أي قوى تؤثر فيه؟ (4-2)

42. إذا كان كتابك متزناً 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 أيضاً في الأرض بقوة جذب، ولكن لا يبدو أن الأخيرة تسارع إلى أعلى. فسر ذلك. (4-3)

44. يبين الشكل 4-19 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 4-19

## تقويم الفصل 4

### 4-3 قوى التأثير المتبادل

57. وضع مكعب من الحديد كتلته  $6.0 \text{ kg}$  على سطح مكعب آخر كتلته  $7.0 \text{ kg}$  يستقر بدوره على سطح طاولة أفقية. احسب:

a. مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المكعب الذي كتلته  $7.0 \text{ kg}$  في المكعب الآخر.

b. مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المكعب الذي كتلته  $6.0 \text{ kg}$  في المكعب الذي كتلته  $7.0 \text{ kg}$ .

58. تسقط قطرة مطر كتلتها  $2.45 \text{ mg}$  على الأرض. ما مقدار القوة التي تؤثر بها في الأرض في أثناء سقوطها؟

59. يلعب شخصان لعبة شد الجبل. أحدهما كتلته  $90.0 \text{ kg}$  يشد الجبل بحيث يكتسب الشخص الآخر وكتلته  $55 \text{ kg}$  تسارعاً مقداره  $0.025 \text{ m/s}^2$ . ما القوة التي يؤثر بها الجبل في الشخص ذي الكتلة الكبرى؟

60. تسارع طائرة مروحية كتلتها  $4500 \text{ kg}$  إلى أعلى بمقدار  $2.0 \text{ m/s}^2$ . احسب القوة التي يؤثر بها الهواء في المراوح؟

### مراجعة عامة

61. يُدفع جسمان كتلة أحدهما  $4.3 \text{ kg}$ ، وكثالة الآخر  $5.4 \text{ kg}$  بقوة أفقية مقدارها  $N = 22.5 \text{ N}$ ، على سطح مهملاً الاحتكاك (انظر الشكل 4-20).

a. ما تسارع الجسمين؟

b. ما القوة التي يؤثر بها الجسم الذي كتلته  $4.3 \text{ kg}$  في الجسم الذي كتلته  $5.4 \text{ kg}$ ؟

c. ما القوة التي يؤثر بها الجسم الذي كتلته  $5.4 \text{ kg}$  في الجسم الذي كتلته  $4.3 \text{ kg}$ ؟

53. وضع ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف عليه كتلته  $53 \text{ kg}$ ، في الحالات الآتية؟

a. إذا تحرك المصعد بسرعة منتظمة إلى أعلى.

b. إذا تسارع المصعد بمقدار  $2.0 \text{ m/s}^2$  في أثناء حركته إلى أعلى.

c. إذا تسارع المصعد بمقدار  $2.0 \text{ m/s}^2$  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  $6.0 \text{ kg}$  على سطح عطارد؟

b. إذا كان تسارع الجاذبية على سطح بلوتو يساوي  $0.08$  من مثيله على سطح عطارد، فما وزن كتلة  $7.0 \text{ kg}$  على سطح بلوتو؟

55. فرز غواص كتلته  $65 \text{ kg}$  من قمة برج ارتفاعه  $10.0 \text{ m}$ .

a. أوجد سرعة الغواص لحظة ارتطامه بسطح الماء.

b. إذا توقف الغواص على بعد  $2.0 \text{ m}$  تحت سطح الماء، فأوجد محصلة القوة التي يؤثر بها الماء في الغواص.

56. بدأت سيارة سباق كتلتها  $710 \text{ kg}$  حركتها من السكون وقطعت مسافة  $40.0 \text{ m}$  في  $3.0 \text{ s}$ . فإذا كان تسارع السيارة ثابتاً خلال هذه الفترة، فما القوة المحصلة التي تؤثر فيها؟



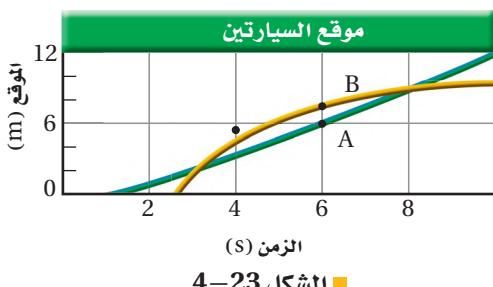
## تقدير الفصل 4

### الكتابة في الفيزياء

64. ابحث عن إسهامات نيوتن في الفيزياء، واتكتب عن ذلك موضوعاً. هل تعتقد أن قوانينه الثلاثة في الحركة كانت من أهم إنجازاته؟ وضح إجابتك.

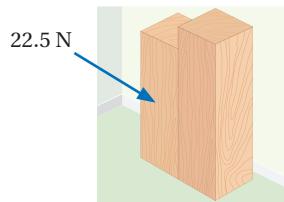
### مراجعة تراكمية

65. يبين الشكل 4-23 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  $7.0\text{ s}$ ?  
 c. ما الزمن الذي تتساوى عنده السرعتان المتجهتان للسيارتين؟  
 d. ما الفترة الزمنية التي تتزايد خلالها سرعة السيارة B؟  
 e. ما الفترة الزمنية التي تتناقص خلالها سرعة السيارة B؟



الشكل 4-23

66. بالرجوع إلى الشكل السابق، احسب السرعة اللحظية لكل مما يأتي:  
 a. السيارة B عند اللحظة  $2.0\text{ s}$ .  
 b. السيارة B عند اللحظة  $9.0\text{ s}$ .  
 c. السيارة A عند اللحظة  $2.0\text{ s}$ .



الشكل 4-20

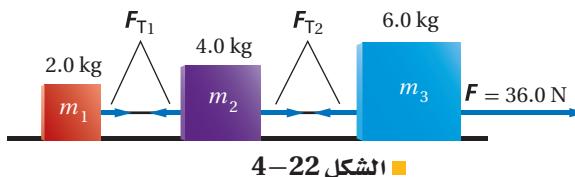
62. جسمان كتلة الأول  $5.0\text{ kg}$ ، والثاني  $3.0\text{ kg}$ ، مربوطان بحبال مهملة الكتلة (انظر الشكل 4-21). يمرر الحبل على بكرة ملساء مهملة الكتلة. فإذا انطلق الجسمان من السكون فأوجد ما يأتي:  
 a. قوة الشد في الحبل.  
 b. تسارع الجسمين.



الشكل 4-21

### التفكير الناقد

63. ثلاث كتل متصلة بخيوط مهملة الكتل. سُحبَت الكتل بقوة أفقية على سطح أملس، كما في الشكل 4-22. أُوْجِدَ:  
 a. تسارع كل كتلة.  
 b. قوة الشد في كل خيط.



الشكل 4-22

# اختبار مكن

3. إذا تحركت السيارة في الرسم البياني السابق بتسارع ثابت، فكم تكون سرعتها المتوجهة بعد  $10\text{ s}$ ؟

10 km/h (A)

25 km/h (B)

90 km/h (C)

120 km/h (D)

4. ما وزن مجس فضائي كتلته  $225\text{ kg}$  على سطح القمر؟  
(مع افتراض أن مقدار تسارع الجاذبية على القمر  $.(1.62\text{ m/s}^2)$ )

139 N (A)

364 N (B)

$1.35 \times 10^3\text{ N}$  (C)

$2.21 \times 10^3\text{ N}$  (D)

5. يجلس طفل كتلته  $45\text{ kg}$  في أرجوحة كتلتها  $3.2\text{ kg}$  مربوطة إلى غصن شجرة، ما مقدار قوة الشد في حبل الأرجوحة؟

$3.1 \times 10^2\text{ N}$  (A)

$4.4 \times 10^2\text{ N}$  (B)

$4.5 \times 10^2\text{ N}$  (C)

$4.7 \times 10^2\text{ N}$  (D)

## أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

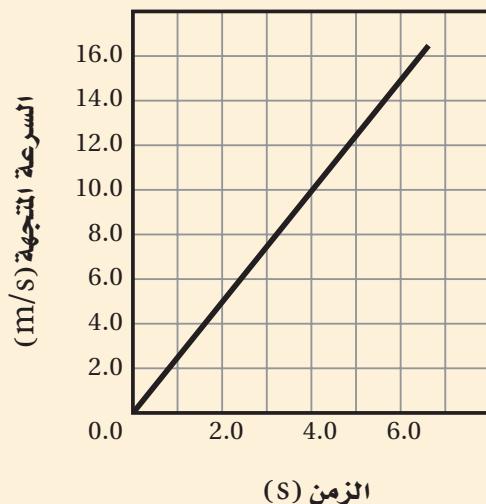
1. ما تسارع السيارة الموضح بالرسم أدناه؟

$0.20\text{ m/s}^2$  (A)

$0.40\text{ m/s}^2$  (B)

$1.0\text{ m/s}^2$  (C)

$2.5\text{ m/s}^2$  (D)



2. بالاعتماد على الرسم البياني أعلاه، ما المسافة التي قطعتها السيارة بعد  $4\text{ s}$ ؟

20 m (A)

40 m (B)

80 m (C)

90 m (D)

# اختبار مقاييس

## الأسئلة الممتدة

8. ارسم خطط الجسم الحر لطفل يقف على ميزان في مصعد، ثم صنف باستخدام الكلمات والمعادلات الرياضية ما يحدث لوزن الطفل الظاهري عندما: يتسارع المصعد إلى أعلى، يهبط المصعد بسرعة متقطمة إلى أسفل، عندما يهبط المصعد في حالة سقوط حر.

6. إذا تدلى غصن الشجرة في المسألة السابقة إلى أسفل بحيث تستند قدمًا الطفل على الأرض، وأصبحت قوة الشد في حبل الأرجوحة  $N_{220}$ ، فما مقدار القوة العمودية المؤثرة في قدمي الطفل؟

$$2.2 \times 10^2 \text{ N} \quad (\text{A})$$

$$2.5 \times 10^2 \text{ N} \quad (\text{B})$$

$$4.3 \times 10^2 \text{ N} \quad (\text{C})$$

$$6.9 \times 10^2 \text{ N} \quad (\text{D})$$

7. اعتماداً على الرسم البياني أدناه، ما مقدار القوة المؤثرة في عربة كتلتها  $16 \text{ kg}$ ؟

$$4 \text{ N} \quad (\text{A})$$

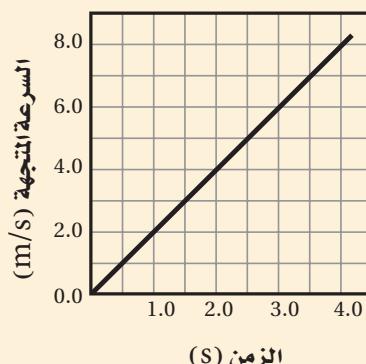
$$8 \text{ N} \quad (\text{B})$$

$$16 \text{ N} \quad (\text{C})$$

$$32 \text{ N} \quad (\text{D})$$

## ✓ إرشاد حسن نتائجك

لكي تحقق أفضل النتائج في اختبارك المقاييس فإنك تحتاج إلى توقع إجابة منطقية للسؤال، ثم أعد قراءة السؤال، وبعد التوصل إلى الإجابة النهائية قارنها بالنتيجة التي توصلت إليها وتوقعتها.



# الفصل 5

## القوى في بعدين Forces in Two Dimensions

ما الذي ستعلمك في هذا الفصل؟

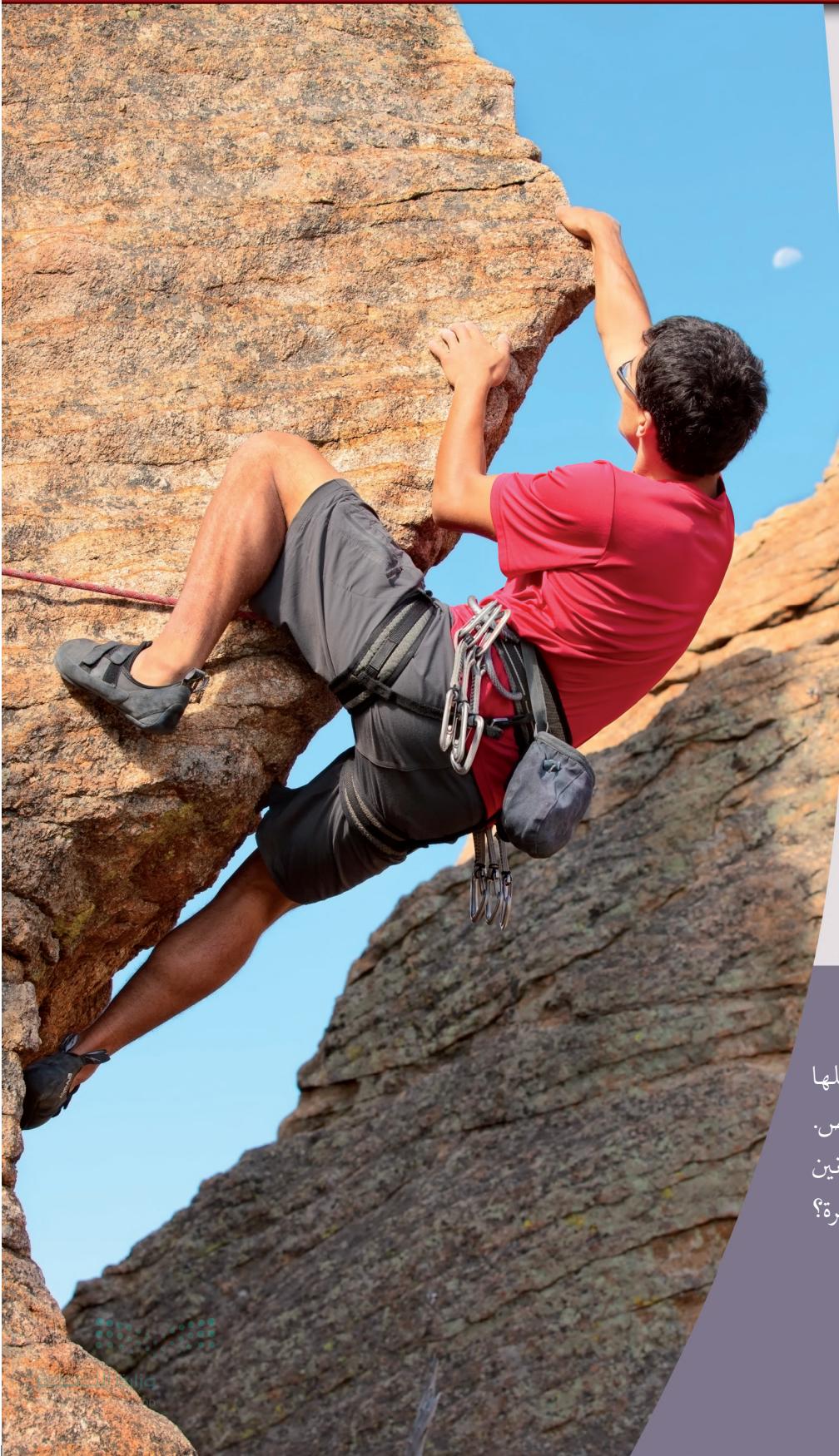
- تمثيل الكميات المتجهة بالرسم التخطيطي والتحليل المعامد.
- استعمال قوانين نيوتن في تحليل الحركة في وجود الاحتكاك.
- استعمال قوانين نيوتن وما تعلمته عن المتجهات في تحليل الحركة في بعدين.

### الأهمية

معظم الأجسام تتأثر بقوى تعمل في أكثر من اتجاه. فعلى سبيل المثال، عندما تسحب سيارة بشاحنة السحب فإنها تتأثر بقوى عديدة إلى أعلى وإلى الأمام، بالإضافة إلى قوة الجاذبية التي تؤثر فيها إلى أسفل. تسلق الصخور كيف يحمي متسلق الصخور أنفسهم من السقوط؟ يرتكز المتسلق على أكثر من نقطة داعمة، كما أن هناك قوى متعددة تؤثر فيه في اتجاهات متعددة.

### فكرة

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



## تجربة استهلاكية

هل صحيح أن  $2N + 2N = 4N$  ؟

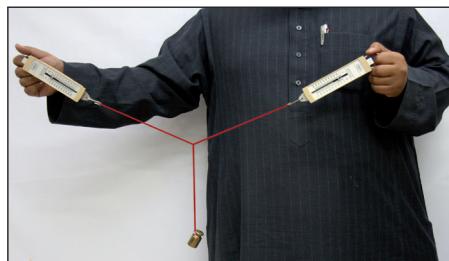
**سؤال التجربة** هل يمكن لمجموع (محصلة) قوتين متساوietين تؤثران في جسم أن يساوي إحدى هاتين القوتين؟



### التحليل

هل مجموع القوتين المقيستين بالميزانين النابضين يساوي وزن الجسم المعلق، أم أكبر، أم أقل؟

**التفكير الناقد** استعمل ورقة رسم بياني لرسم مثلث متساوي الأضلاع، على أن يكون أحد أضلاعه رأسياً. إذا كان ضلعاً المثلث يُمثل كل منهما قوة شد مقدارها  $2N$ ، فما مقدار قوة الشد التي يُمثلها الضلع الثالث؟ وكيف يمكن أن يكون  $2N + 2N = 4N$  صحيحاً؟



1. قسِّ احصل من معلمك على جسم كتلته  $200\text{ g}$ ، وقسِّ وزنه باستعمال ميزان نابضي (زنبركي).
2. اربط طرف في خيط طوله  $70\text{ cm}$  بخطافي ميزانين نابضين.
3. اربط طرف خيط طوله  $15\text{ cm}$  بالجسم الذي كتلته  $200\text{ g}$  ولفَّ طرفه الآخر على الخيط المثبت بخطافي الميزانين. تحذير: تجنب سقوط الكتل.
4. أمسك الميزانين النابضين أحدهما باليد اليمنى والآخر باليد اليسرى، على أن يشكّل الخيط الواثق بينهما زاوية مقدارها  $120^\circ$ . وللتتأكد من أن مقدار الزاوية  $120^\circ$  حرّك الخيط الذي يُعلق به الجسم حتى تكون قراءة الميزانين متساوietين، وسجل قراءة كل منها.



رابط الدرس الرقمي  
www.ien.edu.sa

## الأهداف

- تحسب مجموع متغيرين أو أكثر في بعدين بطريقة الرسم.
- تحدد مركبتي كل متوجه.
- تحسب مجموع متغيرين أو أكثر جبرياً، وذلك بجمع مركبات المتغيرات.

## المفردات

قانون جيب التمام في المتغيرات  
قانون الجيب في المتغيرات  
المركبات  
تحليل المتوجه  
زاوية المتوجه المحصل

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

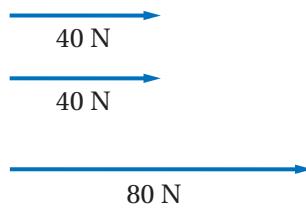
وما يميّز هذه الحالة من الحالات التي درستها سابقاً أن القوى التي يؤثر بها سطح الصخرة في المتسلق ليست قوى أفقية ولا عمودية. ولذلك تعلم من الفصول السابقة أنه يمكن اختيار نظام إحداثي وتجهيزه بالطريقة المناسبة لتحليل حالة ما. ولكن ماذا يحدث عندما لا تكون القوى متعامدة؟ وكيف يمكن وضع نظام إحداثي وإيجاد قوة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

## 1-5 المتجهات Vectors

## مراجعة مفهوم المتجهات

### Vectors Revisited

تذكر المثال الذي درسته على متجهات القوة، في الفصل الرابع؛ حيث دفعت أنت وصديقك الطاولة. وافتُرض أن كلاً منكما أثَر بقوة 40 N في اتجاه اليمين. يمثل **الشكل 1-5** خطط الجسم الحر للمتجهين بالإضافة إلى المتجه الذي يمثل القوة المحصلة. إن متجه القوة المحصلة يساوي 80 N، وهو الذي تتوقعه غالباً. لكن كيف حصلنا على متجه القوة المحصلة؟



الشكل 1-5 مجموع القوتين يوضح المتجه أسلفهم.

## المتجهات في أبعاد متعددة

### Vectors in Multiple Dimensions

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

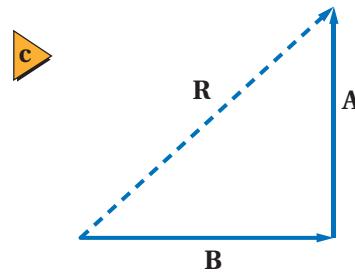
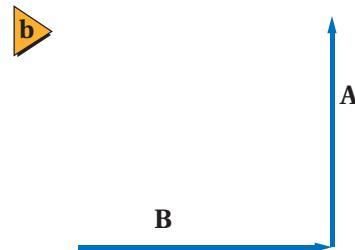
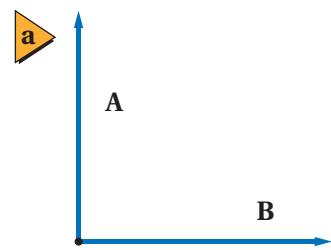
قد تحتاج أحياناً إلى استعمال علم المثلثات لتحديد طول المتجه المحصل والاتجاهه. تذكر أنه يمكن إيجاد طول الوتر للمثلث القائم الزاوية باستعمال نظرية فيثاغورس. إذا أردت جمع متجهين زاوية بينهما قائمة - مثل المتجه **A** الذي يشير إلى الشمال والمتجه **B** الذي يشير إلى الشرق - يمكنك استعمال نظرية فيثاغورس لإيجاد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

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

نظرية فيثاغورس

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

إذا كانت الزاوية بين المتجهين المراد جمعهما لا تساوي  $90^\circ$  يمكنك استعمال قانون جيب التمام أو قانون الجيب.



### قانون جيب التمام

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

مربع مقدار المتجه المحصل يساوي مجموع مربعي مقدارين المتجهين مطروحاً منه ضعف حاصل ضرب مقدارين المتجهين مضروباً في جيب تمام الزاوية التي بينهما.

### قانون الجيب

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

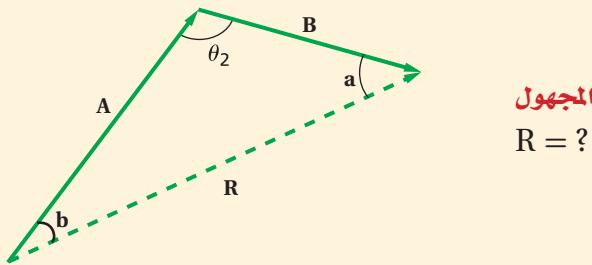
مقدار المحصلة مقسوماً على جيب الزاوية التي بين المتجهين يساوي مقدار أحد المتجهين مقسوماً على جيب الزاوية التي تقابلها.

للمزيد من المعلومات حول قانون الجيب راجع دليل الرياضيات صفحة 203، وانظر الشكل الموضح في المثال الآتي.

## مثال 1

إيجاد مقدار محصلة متجهين إذا كان، الأولى 25 km والثانية 15 km. احسب مقدار محصيلتها عندما تكون الزاوية بينهما 90°، وعندها تكون الزاوية 135°.

### 1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم متجهي الإزاحة A و B وارسم الزاوية بينهما.

المجهول  
 $R = ?$

المعلوم  
 $A = 25 \text{ km}$        $\theta_1 = 90^\circ$   
 $B = 15 \text{ km}$        $\theta_2 = 135^\circ$

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

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

$$\begin{aligned} R^2 &= A^2 + B^2 \\ R &= \sqrt{A^2 + B^2} \\ &= \sqrt{(25 \text{ km})^2 + (15 \text{ km})^2} \\ &= 29 \text{ km} \end{aligned}$$

#### دليل الرياضيات

الجلد الرابع والأخير التكعيبية  
194

بالت遇وض  $B = 15 \text{ km}$  و  $A = 25 \text{ km}$

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

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

بالت遇وض  $B = 15 \text{ km}$  و  $A = 25 \text{ km}$  والزاوية بينهما

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

### 3 تقويم الجواب

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



1. قطعت سيارة  $125.0 \text{ km}$  في اتجاه الغرب، ثم  $65.0 \text{ km}$  في اتجاه الجنوب. فما مقدار إزاحتها؟ حل المسألة بطريقة الرسم وبالطريقة الحسابية.
2. سار شخص  $4.5 \text{ km}$  في اتجاه ما، ثم انعطف بزاوية  $45^\circ$  في اتجاه اليمين، وسار مسافة  $6.4 \text{ km}$ . ما مقدار إزاحتة؟

## مركبات المتجهات

### Components of Vectors

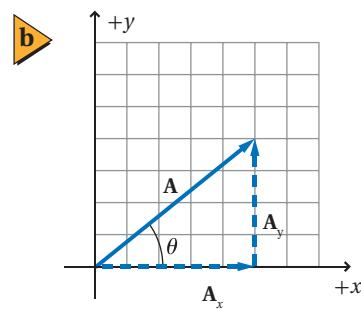
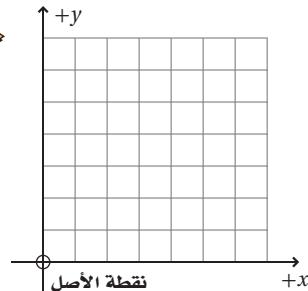
إن اختيار نظام إحداثي – كما في الشكل 3a – يشبه وضع شريحة بلاستيكية شفافة فوق رسم المتجهات في المسألة. وعليك اختيار الموضع الذي يحدد مركز الشبكة (نقطة الأصل)، وثبت الاتجاهات التي تشير إليها المحاور، حيث يُمثل محور  $x$  بسهم يمر بنقطة الأصل ويشير إلى الاتجاه الموجب، كما في الشكل 3a، ويرسم محور  $y$  الموجب على أن يصنع زاوية  $90^\circ$  في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور  $x$ ، ويتقاطع مع محور  $x$  في نقطة الأصل.

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

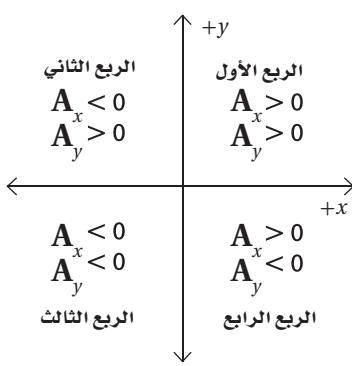
**مركبة المتجه** يمكنك وصف أي متجه بطريقة مختلفة عنها سبق باستخدام النظام الإحداثي. فعلى سبيل المثال، يمكن وصف المتجه  $\mathbf{A}$  كما في الشكل 3b على أنه يمثل الانتقال بمقدار 5 وحدات على المحور  $x$  والانتقال بمقدار 4 وحدات على المحور  $y$ . كما يمكنك تمثيل هذه المعلومات في صورة متوجهين يرمز إليهما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

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

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



الشكل 3-5 يتكون النظام الإحداثي من نقطة الأصل ومحوريين متعامدين (أ). يقاس اتجاه المتجه  $\mathbf{A}$  في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور  $x$  الموجب (ب).



الشكل 4-5 تعتمد إشارة مركبة المتجه على الربع الذي تقع فيه.

وهناك سبب آخر لاختيار النظام الإحداثي، هو أن اتجاه أي متجه يُحدَّد بالنسبة إلى هذه الإحداثيات. ويعرف اتجاه المتجه على أنه الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور  $x$  مقيسة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. ففي الشكل 5-3b مثل الزاوية  $\theta$  اتجاه المتجه  $A$ .

ويُمكن قياس أطوال مركبات المتجهات بطريقة الرسم، كما يمكن أيضًا إيجاد المركبات باستعمال علم المثلثات. فتحسب المركبات باستعمال المعادلات المبينة أدناه، وتكون الزاوية  $\theta$  مقيسة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور  $x$  الموجب.

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

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

عندما تكون الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور  $x$  الموجب أكبر من  $90^\circ$  فإن إشارة إحدى المركبتين أو كليتيهما تكون سالبة كما في الشكل 4-5.

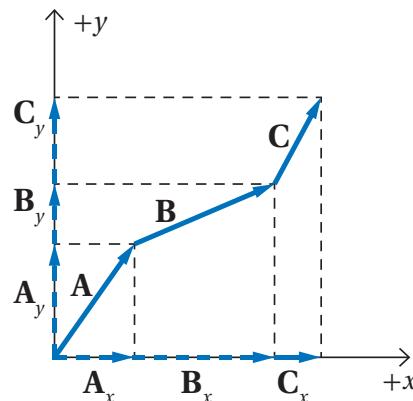
## جمع المتجهات جبرياً

### Algebraic Addition of Vectors

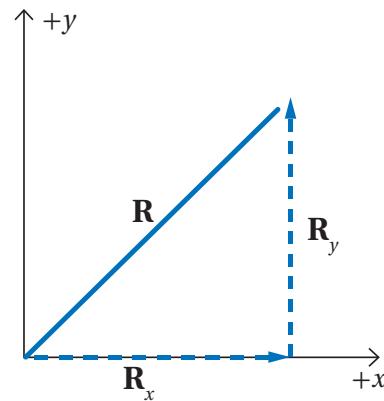
لماذا تُحلَّ المتجهات إلى مركباتها؟ لأن ذلك يُسْهل عملية جمع المتجهات حسابياً. فيمكن جمع متغيرين أو أكثر مثل  $C, B, A$ ، ... إلخ، وذلك بتحليل كل متجه إلى مركبته  $x$  و  $y$  أولاً، ثم تجمع المركبات الأفقية (مركبات المحور  $x$ ) للمتجهات لتكون المركبة الأفقية للمحصلة:  $R_x = A_x + B_x + C_x$ .

وبالمثل تجمع المركبات الرأسية (مركبات المحور  $y$ ) للمتجهات لتكون المركبة الرأسية للمحصلة:  $R_y = A_y + B_y + C_y$ ، وهذه العملية موضحة بيانياً في الشكل 5-5. ولأن  $R_x$  و  $R_y$  متعامدان؛ لذا يمكن حساب مقدار المتجه المحصل باستعمال نظرية فيثاغورس  $.R^2 = R_x^2 + R_y^2$

الشكل 5-5 هي مجموع المركبات الأفقية للمتجهات  $A, B$  و  $C$ .  $R_x$  هي مجموع المركبات الرأسية للمتجهات  $A, B$  و  $C$ . الجمع الاتجاهي  $R_x$  و  $R_y$  هو  $R$ . الجمع الاتجاهي للمتجهات  $A, B$  و  $C$ .



a. تحليل كل متجه إلى مركبته.



b. إيجاد المحصلة

ولإيجاد الزاوية أو اتجاه المحصلة تذكر أن ظل الزاوية التي يصنعها المتجه المحصل مع محور  $x$  يُعبر عنه بالعلاقة الآتية:

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

### زاوية المتجه المحصل

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

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

تجربة  
عملية

كيف يتحرك الجسم عندما تؤثر فيه قوتان؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الأشرافية



## استراتيجيات حل المسألة

### الرياضيات في الفيزياء

جمع المتجهات

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

1. اختر نظاماً إحداثياً.

2. حل المتجهات إلى مركباتها الأفقيّة  $x$  باستعمال المعادلة  $A_x = A \cos \theta$ ، وإلى مركباتها العمودية  $y$  باستعمال  $A_y = A \sin \theta$ ، إذ تقاس الزاوية  $\theta$  في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور  $x$  الموجب.

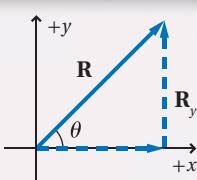
3. اجمع المركبات التي على المحور  $x$  أو اطرحها للحصول على  $R_x$ .

4. اجمع المركبات التي على المحور  $y$  أو اطرحها للحصول على  $R_y$ .

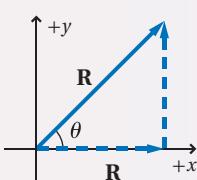
5. طبق نظرية فيثاغورس  $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$  لإيجاد مقدار المتجه المحصل.

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

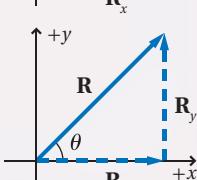
$$\sin \theta = \frac{\text{الصلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{R_y}{R}$$



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



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

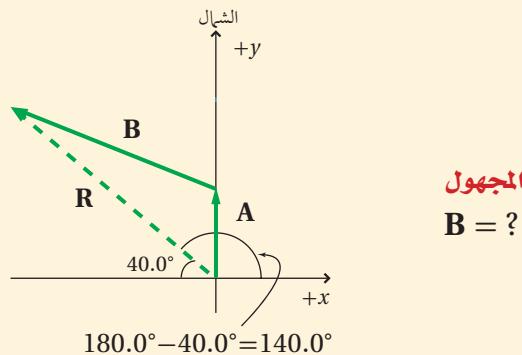


إن إتقانك عملية تحليل المتجهات إلى مركباتها، واكتساب المزيد من الخبرة خلال ما تبقى من هذا الفصل والفصل الذي يليه، سوف يسهلان عليك تحليل أنظمة معقدة من المتجهات دون استخدام طريقة الرسم.



## مثال 2

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



### 1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم متوجه المحصلة  $\mathbf{R}$  من موقعك الأصلي إلى منزلك.

- ارسم المتوجه المعلوم  $\mathbf{A}$ ، ثم ارسم المتوجه المجهول  $\mathbf{B}$ .

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

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

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مركبتي المتوجه  $\mathbf{R}$ .

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

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

$$\mathbf{A}_y = 5.0 \text{ km}$$

$$\mathbf{A}_x = 0.0 \text{ km}$$

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

بما أن  $\mathbf{A}$  في اتجاه الشمال، لذا فإن

استخدم مركبات كل من  $\mathbf{R}$  و  $\mathbf{A}$  لإيجاد مركبتي المتوجه  $\mathbf{B}$ .

بالتعويض  $\mathbf{A}_x = 0.0 \text{ km}$ ،  $\mathbf{R}_x = -11.5 \text{ km}$ ،  $\mathbf{A}_y = 5.0 \text{ km}$ ،  $\mathbf{R}_y = 9.64 \text{ km}$

الإشارة السالبة تعني أن هذه المركبة في اتجاه الغرب

$$\mathbf{B}_x = R_x - \mathbf{A}_x = -11.5 \text{ km} - 0.0 \text{ km} = -11.5 \text{ km}$$

$$\mathbf{B}_y = R_y - \mathbf{A}_y = 9.64 \text{ km} - 5.0 \text{ km} = 4.6 \text{ km}$$

#### دليل الرياضيات

معকوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل  
205

استخدم مركبتي المتوجه  $\mathbf{B}$  لإيجاد مقدار المتوجه  $\mathbf{B}$ .

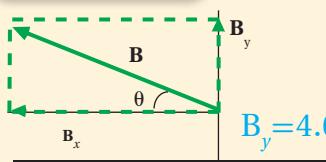
بالتعويض  $\mathbf{B}_y = 4.6 \text{ km}$  و  $\mathbf{B}_x = -11.5 \text{ km}$

استخدم الظل لإيجاد اتجاه المتوجه  $\mathbf{B}$ .

بالتعويض  $\mathbf{B}_y = 4.6 \text{ km}$  و  $\mathbf{B}_x = -11.5 \text{ km}$

$$\begin{aligned} \mathbf{B} &= \sqrt{\mathbf{B}_x^2 + \mathbf{B}_y^2} \\ &= \sqrt{(-11.5 \text{ km})^2 + (4.6 \text{ km})^2} \\ &= 12 \text{ km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{\mathbf{B}_y}{\mathbf{B}_x} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{4.6 \text{ km}}{-11.5 \text{ km}} \right) \\ &= -22^\circ \text{ أو } 158^\circ \end{aligned}$$



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

### 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ الكيلومترات والدرجات صحيحة.

- هل للإشارات معنى؟ تتفق الإشارات مع المخطط.

- هل الجواب منطقي؟ إن طول المتوجه  $\mathbf{B}$  أكبر من  $R_x$ ؛ لأن الزاوية بين  $\mathbf{A}$  و  $\mathbf{B}$  أكبر من 90°.

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

3. يمشي أحد مسافة  $0.40\text{ km}$  بزاوية  $60^\circ$  غرب الشمال، ثم يمشي  $0.50\text{ km}$  غرباً. ما إزاحة أحمد؟

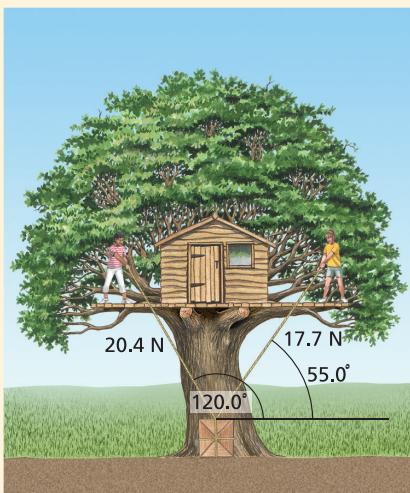
4. يقضي الأخوان أحمد وعبد الله بعض الوقت في بيت بناء فوق شجرة. وقد استعملوا بعض الحبال لرفع صندوق كتلته  $3.20\text{ kg}$  يحوي أمتعتهم. فإذا وقفوا على غصين مختلفين كما في **الشكل 6-5** وسحبوا بالزاوietين والقوتين المؤثرة في الصندوق. تنبئه: ارسم مخطط الجسم الحر حتى لا تنسى أي قوة.

5. إذا بدأت الحركة من منزلك فقطعت  $8.0\text{ km}$  شماليًا، ثم انعطفت شرقاً حتى أصبحت إزاحتكم من المنزل  $10.0\text{ km}$ ، فما مقدار إزاحتكم شرقاً؟

6. أرجوحة طفل معلقة بحبلين يميلان عن الرأس بزاوية  $13.0^\circ$ ، وهما مربوطان إلى فرع شجرة . فإذا كان الشد في كل حبل  $2.28\text{ N}$  فما مقدار واتجاه القوة المحصلة التي يؤثر بها الحبلان في الأرجوحة؟

7. هل يمكن لمتجه أن يكون أقصر من إحدى مركبتيه أو مساوياً لطولها؟ وضح ذلك.

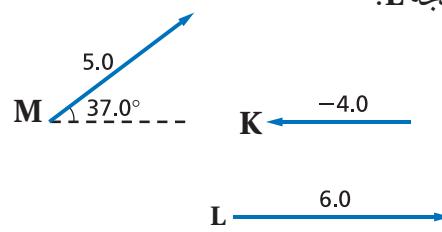
8. في النظام الإحداثي الذي يشير فيه المحور  $x$  إلى الشرق، ما مدى الزوايا الذي تكون فيه المركبة  $x$  موجبة؟ وما مدى الزوايا الذي تكون فيه سالبة؟



■ **الشكل 6-5**

9. المسافة مقابل الإزاحة هل تساوي المسافة التي تعيشها مقدار إزاحتكم؟ أعط مثالاً يدعم استنتاجك.

10. طرح متجه في **الشكل 7-5** اطرح المتجه **K** من المتجه **L**.



■ **الشكل 7-7**

11. مركبات أو جداء مركبتي المتجه **M** المبين في **الشكل 7-5**.

12. جمع المتجهات أو جداء محصلة المتجهات الثلاثة المبينة في **الشكل 7-5**.

## Friction 2-5 الاختتاك

### الأهداف

- تعرف قوة الاختتاك.
- تميّز بين الاختتاك السكوني والاختتاك الحركي.

### المفردات

- قوة الاختتاك
- الاختتاك الحركي
- الاختتاك السكوني
- معامل الاختتاك الحركي
- معامل الاختتاك السكوني

عند تحريك يدك فوق سطح المقعد تشعر بقوة مقاوم هذه الحركة. وتسمى هذه القوة الاختتاك. وإذا دفعت كتاباً فوق سطح الطاولة فإن الكتاب يستمر في الحركة فترة قصيرة ثم يتوقف؛ ذلك لأن قوة الاختتاك التي تؤثر في الكتاب تُكسبه تسارعاً في اتجاه يعاكس اتجاه حركته. وعلى الرغم من أننا - حتى الآن - نهمل الاختتاك في حل المسائل، إلا أن هذا لا يعني عدم وجوده؛ فالاختتاك موجود من حولنا. ونحن نحتاج إلى الاختتاك كثيراً عند بدء حركة السيارة أو الدرجة الهوائية، وعند وقوفنا ... فإذا مشيت يوماً على الجليد أو على أرض زلقة فستدرك حينها أهمية الاختتاك. نخلص مما سبق أن **قوة الاختتاك هي قوة تلامس تؤثر في اتجاه معاكس للحركة الانزلاقية بين السطوح**.

### الاختتاك السكوني والاختتاك الحركي

### Static and Kinetic Friction

هناك نوعان من الاختتاك يمانع الحركة دائمًا. فعند دفع الكتاب فوق سطح الطاولة فإنه يتأثر بنوع من الاختتاك الذي يؤثر في الأجسام المتحركة. وتُعرف هذه القوة **بالاختتاك الحركي**، وهي قوة تنشأ بين سطحين متلامسين عند انزلاق أحدهما على الآخر.

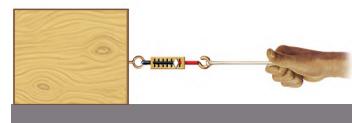
ولفهم النوع الآخر من الاختتاك تخيل أنك تحاول دفع أريكة على أرضية الغرفة، ففي البداية ستدفعها ولكنها لن تتحرك. ولأنها لا تتحرك فهذا يعني أن هناك قوة أفقية أخرى تؤثر في الأريكة، وهذه القوة لابد أنها تعاكس القوة التي تؤثر أنت بها، وتساويها مقداراً طبقاً لقانون نيوتن الثاني. وتُعرف هذه القوة **بالاختتاك السكوني**، وهي قوة تنشأ بين سطحين متلامسين بالرغم من عدم انزلاق أي منهما على الآخر. وربما تزيد من قوة دفعك، كما في **الشكلين 5-8a و 5-8b**. فإذا لم تتحرك الأريكة أيضاً فهذا يعني أن قوة الاختتاك أصبحت أكبر من ذي قبل؛ لأن قوة الاختتاك السكوني تستجيب لقوى أخرى. وأخيراً، إذا دفعت الأريكة بقوة كافية، كما في **الشكل 5-8c** فإنها تبدأ في الحركة. من الواضح إذاً أن هناك قيمة قصوى لقوة الاختتاك السكوني، وعندما تصبح قوتك أكبر من القيمة القصوى للاختتاك السكوني تبدأ الأريكة في الحركة، ويبدأ الاختتاك الحركي في التأثير بدلاً من الاختتاك السكوني.

**الشكل 5-8** هناك حد لقدر قوة الاختتاك السكوني في تجاوبه مع القوة المؤثرة.



## نموذج لقوى الاحتكاك

علام تعتمد قوة الاحتكاك؟ تعتمد قوة الاحتكاك بشكل أساس على المواد التي تتكون منها السطوح. فعلى سبيل المثال قوة الاحتكاك السكوفي بين حذائرك والرصف الإسمنتي تكون أكبر مما بين الحذاء وسطح من السراميك. وقد يجد منطقياً أن تعتمد قوة الاحتكاك أيضاً على مساحة سطح الجسمين المتلامسين أو سرعتي حركتيهما، ولكن التجارب أثبتت أن ذلك غير صحيح؛ إذ المهم هو القوة العمودية بين الجسمين. فكلما زادت قوة دفع جسم للأخر كانت قوة الاحتكاك الناتجة أكبر.



إذا سحبت مثلاً جسمًا على سطح ما بسرعة منتظم فإن قوة الاحتكاك يجب أن تساوي القوة التي سحبت الجسم بها وتعاكستها طبقاً لقوانين نيوتن. ويمكنك سحب جسم معلوم الكتلة على سطح طاولة بسرعة منتظم بواسطة ميزان نابي، كما في الشكل 5-5 لقياس القوة التي تسحب بها هذا الجسم. ثم يمكنك بعد ذلك وضع كتلة إضافية فوق سطح الكتلة الأولى لزيادة القوة العمودية وإعادة القياس مرة أخرى.

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

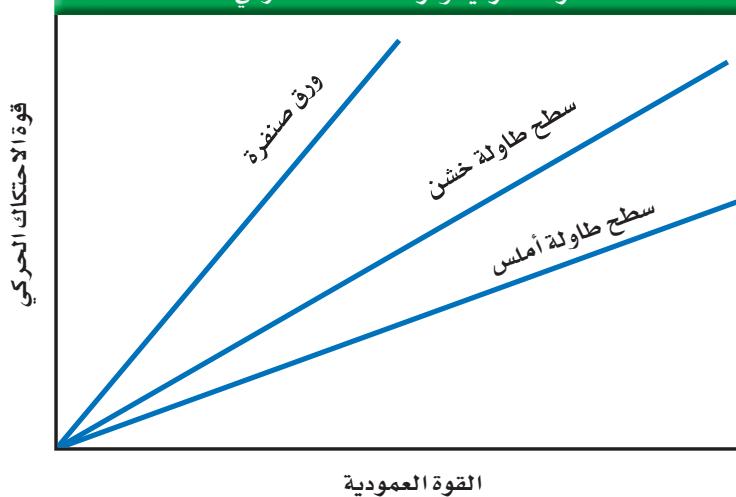
$$f_k = \mu_k F_N$$

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

الشكل 9-5 يسحب الميزان النابي

الكتلة بقوة ثابتة.

## القوة العمودية وقوة الاحتكاك الحركي



الشكل 10-5 هناك علاقة خطية

بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية.

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

$$f_s \leq \mu_s F_N$$

### قوة الاحتكاك السكوني

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

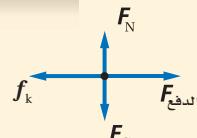
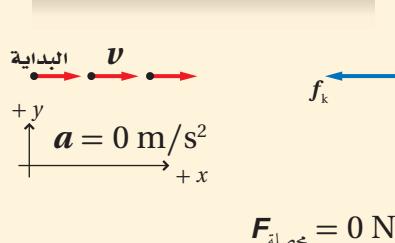
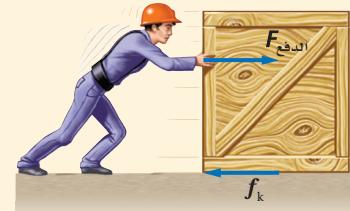
في معادلة قوة الاحتكاك السكوني القصوى يمثل الرمز  $\mu$  معامل الاحتكاك السكوني بين السطحين. أما  $F_N$  فـيمثل قوة الاحتكاك السكوني القصوى التي يجب التغلب عليها قبل بدء الحركة. في الشكل 5-8c توازن قوة الاحتكاك السكوني في اللحظة التي تسبق حركة الجسم.

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

الجدول 5-1		
معاملات الاحتكاك المثلثية		
$\mu_k$	$\mu_s$	السطح
0.65	0.80	مطاط فوق خرسانة جافة
0.40	0.60	مطاط فوق خرسانة رطبة
0.20	0.50	خشب فوق خشب
0.58	0.78	فولاذ فوق فولاذ جاف
0.06	0.15	فولاذ فوق فولاذ (مع الزيت)

### مثال 3

**قوى احتكاك موازنة** إذا دفعت صندوقاً خشبياً كتلته 25.0 kg على أرضية خشبية بسرعة متناظمة مقدارها  $1.0 \text{ m/s}$  فما مقدار القوة التي أثّرت بها في الصندوق؟



المجهول

$F_{\text{دفع}} = ?$

#### 1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القوى وارسم نظاماً إحداثياً.
- ارسم نموذج الجسم النقطي، على أن تبين السرعة الثابتة  $v$  و  $a = 0$ .
- ارسم خطط الجسم الآخر.

العلوم

$$m = 25.0 \text{ kg}$$

$$v = 1.0 \text{ m/s}$$

$$a = 0.0 \text{ m/s}^2$$

$$(5-1) \quad \mu_k = 0.20$$

#### 2 إيجاد الكمية المجهولة

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

$$\begin{aligned} F_N &= -F_g = -mg \\ &= (-25.0 \text{ kg}) (-9.80 \text{ m/s}^2) \end{aligned}$$

$$F_g = mg$$

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

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

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

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k mg = F_{\text{دفع}} \\ &= (0.20) (25.0 \text{ kg}) (9.80 \text{ m/s}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g &= 9.80 \text{ m/s}^2 \quad \mu_k = 0.20 \\ m &= 25.0 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$f_k = +49 \text{ N} \quad \text{في اتجاه اليمين}$$

#### دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال  
الأرقام المعنوية 188 ، 189

#### 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تفاصي القوة بوحدة  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  (نيوتن N).
- هل للإشارات معنى؟ تتفق الإشارات مع المخطط.
- هل الجواب منطقي؟ القوة منطقية بالنسبة لتحرك صندوق كتلته 25.0 kg.

#### مسائل تدريبية

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

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

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

١٨. آلة معينة بها قطعتان فولاذيتان يجب أن تدلك كل منهما بالأخرى بسرعة ثابتة. فإذا كانت القوة الضرورية لضمان أداء القطعتين بصورة مناسبة  $N = 5.8$  قبل معالجة تقليل الاحتكاك بينهما، فاحسب - مستعيناً بالجدول ١-٥ - القوة المطلوبة ليكون أداؤهما مناسباً بعد معالجتها بالزيت.

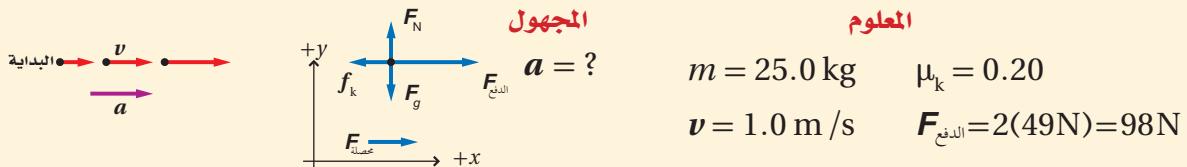
## مثال ٤

**قوى احتكاك غير موازنة** في المثال ٣ السابق، إذا تضاعفت القوة التي تؤثر بها في الصندوق الذي كتلته  $25.0 \text{ kg}$ ، فما تسارع الصندوق؟

### ١ تحليل المسألة ورسمها

• ارسم نموذج الجسم النقطي مبيناً  $v$  و  $a$ .

• ارسم خطوط الجسم الحر على أن تكون الدفع  $F$  ضعف ما كانت عليه في المثال ٣.



### ٢ إيجاد الكمية المجهولة

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

$$F_N = F_g = mg$$

$$\text{بالتعويض } F_g = mg$$

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

$$F_{\text{م}} = F - f_k$$

$$ma = F - f_k$$

$$a = \frac{F - f_k}{m}$$

$$\text{بالتعويض } F = ma$$

أوجد قيمة  $f_k$ .

$$f_k = \mu_k F_N$$

$$= \mu_k (mg)$$

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

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

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

### دليل الرياضيات

فصل المتغير ١٩٤

$$\text{بالتعويض } F_N = mg$$

$$\text{بالتعويض } f_k = \mu_k (mg)$$

$$\text{بالتعويض } F = 98 \text{ N}$$

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

$$\text{و } g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

### تقويم الجواب ٣

هل الوحدات صحيحة؟ يقاس التسارع بوحدة  $\text{m/s}^2$ .

هل الإشارات معنى؟ في هذا النظام الإحداثي يجب أن تكون الإشارة موجبة (التسارع في اتجاه القوة المحصلة).

هل الجواب منطقي؟ إذا استعملت نصف القوة المؤثرة فإن التسارع سيساوي صفرًا.

## ► مسائل تدريبية

19. تنزلق قطعة خشبية كتلتها  $1.4 \text{ kg}$  على سطح خشن، فتتسارع بتسارع مقداره  $1.25 \text{ m/s}^2$ . ما معامل الاحتكاك الحركي بين القطعة الخشبية والسطح؟
20. ساعدت والدك لتحرّكًا خزانة كتب كتلتها  $41 \text{ kg}$  في غرفة المعيشة. فإذا تسارعت الخزانة بمقدار  $0.12 \text{ m/s}^2$  أثناء دفعكها بقوة  $N = 65$ ، فما معامل الاحتكاك الحركي بين الخزانة والسجاد؟
21. سُرّع قرص في لعبة على أرضية خرسانية حتى وصلت سرعته إلى  $s/\text{s}$  ثم أفلت. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين القرص والأرضية  $0.31$ ، فما المسافة التي يقطعها القرص قبل أن يتوقف؟
22. عندما كان عبد الله يقود سيارته في ليلة مطرة بسرعة  $23 \text{ m/s}$ ، إذ شاهد فرع شجرة ملقي على الطريق فضغط على المكابح. إذا كانت المسافة بين السيارة والفرع لحظة الضغط على المكابح  $60.0 \text{ m}$ ، وكان معامل الاحتكاك الحركي بين إطارات السيارة والطريق  $0.41$ ، فهل توقف السيارة قبل أن تصطدم بالفرع، علماً بأن كتلة السيارة  $?2400 \text{ kg}$ ؟

## تطبيق الفيزياء

**أسباب الاحتكاك** تُعد جميع السطوح خشنة عند النظر إليها بマイكروسکوب، حتى تلك التي تبدو ملساء. فإذا نظرت إلى صورة بلورة الجرافيت المكبّرة بميكروسکوب خاص (Scanning tunneling microscope) بين السطوح على مستوى الذرات فسوف ترى نتوءات سطح البلوره. وعندما يتلامس سطحان فإن النتوءات البارزة من السطحين تتلامس وتتشكل بينها روابط مؤقتة. وهذا هو أصل الاحتكاك السكوفي والاحتكاك الحركي.

عند التعامل مع الحالات التي تتضمن قوى الاحتكاك ينبغي تذكر الأمور الآتية:  
أولاً: يؤثر الاحتكاك دائمًا في اتجاه يعكس اتجاه الحركة (أو عندما يكون الجسم على وشك الحركة في حالة الاحتكاك السكوفي).

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

ثالثاً: حاصل ضرب معامل الاحتكاك السكوفي في القوة العمودية يعطي القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوفي.



## 2-5 مراجعة

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

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

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

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

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

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

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



رابط المدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

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

### الاتزان Equilibrium

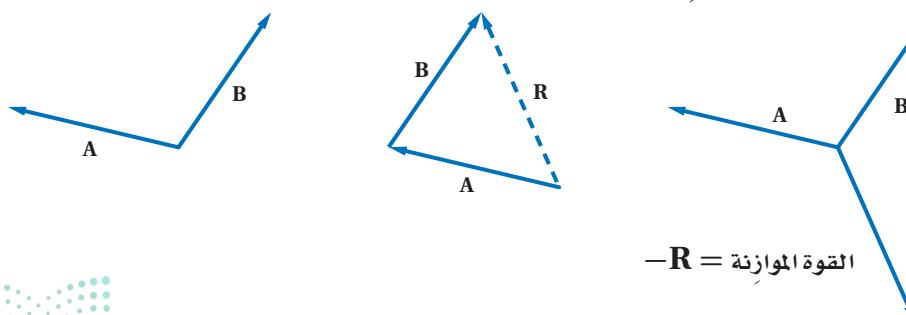
درست في الفصل الرابع أن الجسم يتزن عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا. وطبقاً لقانون نيوتن الثاني لا يتسارع الجسم عندما لا توجد قوة محصلة تؤثر فيه، لذا فإن اتزانه يعني أنه ساكن أو يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم. ولقد حللت سابقاً أوضاع اتزان عديدة تتضمن قوتين تؤثران في جسم ما. إلا أنه من المهم أن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

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

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

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

الشكل 12-5 للقوة الموازنة مقدار القوة المحصلة نفسها، ولكنها تعاكسها في الاتجاه.

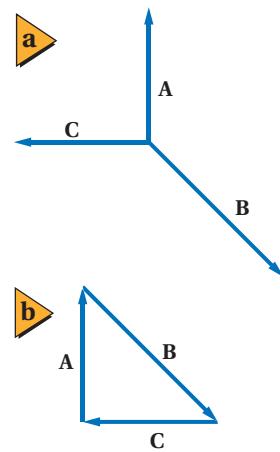


### الأهداف

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

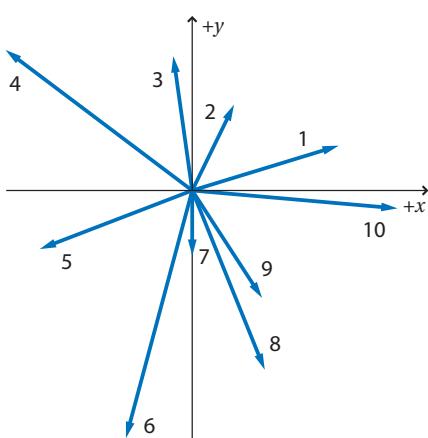
### المفردات

القوة الموازنة.



الشكل 11-5 يتزن جسم عندما يكون مجموع القوى المؤثرة فيه صفرًا.

## ● مسألة تحضير



أوجد القوة الموازنة للقوى الآتية:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

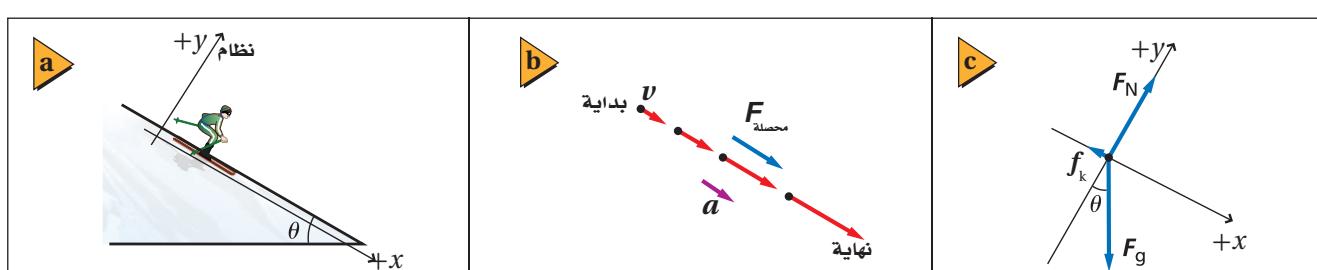
## الحركة على مستوى مائل

### Motion Along an Inclined Plane

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

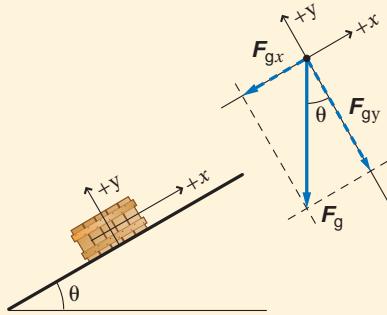
■ **الشكل 13-5** ينزلق متزلج على مستوى مائل (a). ارسم نموذج الجسم النقطي للسرعة والتسارع والقوة المحصلة (b)، وارسم مخطط الجسم الحر الذي يصف هذه القوى (c). من المهم أن ترسم اتجاه قوة الاحتكاك والقوى العمودية بصورة صحيحة لتحليل مثل هذه الحالات على نحو مناسب.

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



## مثال 5

**مركّبتا الوزن لجسم على سطح مائل** يستقر صندوق وزنه  $N = 562$  على سطح مائل يصنع زاوية  $30.0^\circ$  فوق الأفقي. أوجد مركّبتي قوة الوزن الموازية للسطح والعمودية عليه.



- تحليل المسألة ورسمها**
- ارسم نظاماً إحداثياً يشير فيه المحور  $x$  الموجب إلى أعلى السطح المائل.
  - ارسم مخطط الجسم الحر مبيناً  $F_g$  ومركبتيها  $F_{gx}$  و  $F_{gy}$  والزاوية  $\theta$ .
- المجهول**      **المعلوم**
- $$F_{gx} = ? \quad F_{gy} = ? \quad F_g = 562 \text{ N} \quad \theta = 30.0^\circ$$

## 2 إيجاد الكمية المجهولة

•  $F_g$  سالبتان لأنها تشيران إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.

$$\begin{aligned} F_{gx} &= -F_g \sin \theta \\ &= -(562 \text{ N}) (\sin 30.0^\circ) \\ &= -281 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_g = 562 \text{ N} \quad \theta = 30.0^\circ$$

$$\begin{aligned} F_{gy} &= -F_g \cos \theta \\ &= -(562 \text{ N}) (\cos 30.0^\circ) \\ &= -487 \text{ N} \end{aligned}$$

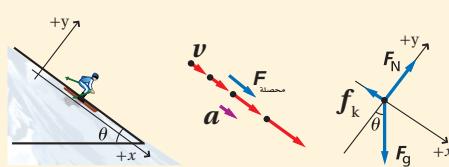
$$\theta = 30.0^\circ \quad F_g = 562 \text{ N}$$

## 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تُقاس القوة بوحدة نيوتن.
- هل الإشارات معنى؟ تشير المركبات إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.
- هل الجواب منطقي؟ قيمة كل من المركبتين أقل من قوة الوزن  $F_g$ .

## مثال 6

**التزلج على منحدر** يقف شخص كتلته  $62 \text{ kg}$  على زلاجة، وينزلق إلى أسفل منحدر ثلجي يميل على الأفقي بزاوية  $37^\circ$ . فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج  $0.15$ ، فما سرعة الشخص بعد مرور  $5.0 \text{ s}$  من بدء الحركة، علماً بأنه انزلق من السكون؟



- تحليل المسألة ورسمها**
- كون نظاماً إحداثياً.
  - ارسم نموذج الجسم النقطي مبيناً تزايد  $F_N$  و  $F_g$  و  $F_k$ .
  - ارسم مخطط الحركة مبيناً تزايد السرعة المتجهة  $v$  وكل من  $a$  و محصلة  $F$  على محور  $x$  الموجب، كما في الشكل 13-5.

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

## [2] إيجاد الكمية المجهولة

في اتجاه المحور  $y$ :

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

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

حل لإيجاد القوة العمودية  $F_N$

$$F_{\text{محصلة}} = F_N - F_{gy}$$

$$F_N = F_{gy}$$

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

### دليل الرياضيات

فصل المتغير 194

سابقة لأنها في اتجاه محور  $y$  السالب  $F_{gy}$

بالتعويض  $F_{gy} = 0.0 \text{ N}$

بالتعويض  $F_{gy} = mg \cos \theta$

في اتجاه المحور  $x$ :

حل لإيجاد التسارع  $a$ .

$$F_{\text{محصلة}} = F_{gx} - f_k$$

سابقة لأنها في اتجاه محور  $x$  السالب للنظام الإحداثي  $f_k$

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

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

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

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

$$\mathbf{a} = g (\sin \theta - \mu_k \cos \theta)$$

بقسمة كلا الطرفين على  $m$ , والتعويض عن  $a_x$  بـ

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

لأن التسارع في اتجاه محور  $x$  الموجب

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

بالتعويض  $\theta = 37^\circ$  و  $\mu_k = 0.15$  و  $g = 9.80 \text{ m/s}^2$  و  $90^\circ - 37^\circ = 53^\circ$

بها أن  $v_i$  و  $a$  و  $t$  قيمها معلومة، لذا يمكن استعمال المعادلة الآتية:

$$v_f = v_i + at$$

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

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

## [3] تقويم الجواب

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

## مسائل تدريبية

29. يصعد شخص بسرعة ثابتة تلأً يميل على الرأس بزاوية  $60^\circ$ . ارسم مخطط الجسم الحر لهذا الشخص.

30. حرك أحمد وسمير طاولة عليها كأس كتلتها  $0.44 \text{ kg}$  بعيداً عن أشعة الشمس. رفع أحمد طرف الطاولة من جهته قبل أن يرفع سمير الطرف المقابل، فما تط الطاولة على الأفقي بزاوية  $15^\circ$ . أوجد مرکبتي وزن الكأس الموازية لسطح الطاولة والعمودية عليه.



الشكل 14-5

31. بين الشكل 14-5 شخصاً كتلته  $50.0 \text{ kg}$  يجلس على كرسي في عيادة طبيب الأسنان. فإذا كانت مرکبة وزنه العمودية على مستوى مقعد الكرسي  $N_{449}$ ، فما الزاوية التي يميل بها الكرسي بالنسبة إلى المحور الأفقي؟

32. ينزلق سامي في حديقة الألعاب على سطح مائل يصنع زاوية  $35^\circ$  مع الأفقي. فإذا كانت كتلته  $43 \text{ kg}$  فما مقدار القوة العمودية بين سامي والسطح المائل؟

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

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

35. ينزلق شخص كتلته  $45 \text{ kg}$  إلى أسفل سطح مائل على الأفقي بزاوية  $45^\circ$ . فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الشخص والسطح  $0.25$ ، فما مقدار تسارعه؟

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

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

## تجربة

### أثر الزاوية



ارفع لوحاً خشبياً من أحد طرفيه وثبته بدعامة بحيث يشكل سطحاً مائلًا بزاوية  $45^\circ$ . ثم علق جسماً كتلته  $500 \text{ g}$  بميزان نابضي.

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

2. راقب وسجل قراءة الميزان.

### التحليل والاستنتاج

3. احسب مرکبة وزن الجسم الموازية للسطح المائل.

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

### تجربة

عملية كيف يتحرك الجسم المتزلق على سطح مائل؟

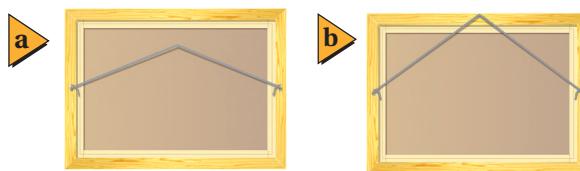
ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثارة



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

### 3-5 مراجعة

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



الشكل 5-15

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

37. **القوى** من طرائق تخلص سيارتك من الوحل أن تربط طرف حبل غليظ بالسيارة وطرفه الآخر بشجرة، ثم تسحب الحبل من نقطة المتصف بزاوية  $90^\circ$  بالنسبة إلى الحبل. ارسم مخطط الجسم الحر، ثموضح لماذا تكون القوة المؤثرة في السيارة كبيرة حتى عندما تكون القوة التي تسحب بها الحبل صغيرة؟

38. **الكتلة** تعلق لوحة النتائج الإلكترونية في سقف صالة ألعاب رياضية بـ 10 أسلاك غليظة؛ ستة منها تصنع زاوية  $8.0^\circ$  مع الرأسى، في حين تصنع الأسلال الأربع الأخرى زاوية  $10.0^\circ$  مع الرأسى. إذا كان الشد في كل سلك  $N = 1300$ ، فما كتلة لوحة النتائج؟

39. **التسارع** يُسحب صندوق كتلته  $63 \text{ kg}$  بحبل على سطح مائل يصنع زاوية  $14.0^\circ$  مع الأفقي. إذا كان الحبل يوازي السطح، والشد فيه  $N = 512 \text{ N}$  ومعامل الاحتكاك الحركي  $0.27$ ، فما مقدار تسارع الصندوق؟ وما اتجاهه؟

# مختبر الفيزياء

## معامل الاحتكاك

تنشأ قوتا الاحتكاك السكوفي والحركي بين سطحين متلامسين. فالاحتكاك السكوفي قوة يجب أن يتغلب عليها ليبدأ الجسم حركته. أما الاحتكاك الحركي فيحدث بين جسمين متحركين أحدهما بالنسبة إلى الآخر. وتحسب قوة الاحتكاك الحركي  $F_k$  بالعلاقة  $F_k = \mu_k F_N$ ؛ حيث يمثل  $\mu_k$  معامل الاحتكاك الحركي،  $F_N$  و القوة العمودية المؤثرة في الجسم. أما القيمة القصوى للاحتكاك السكوفي  $f_s$  فتحسب بالعلاقة  $F_s = \mu_s F_N$ ؛ حيث يمثل  $\mu_s$  معامل الاحتكاك السكوفي،  $F_N$  القوة العمودية المؤثرة في الجسم. إن القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوفي التي يجب أن يتغلب عليها الجسم حتى يبدأ حركته هي  $F_s$ . فإذا أثرت بقوة ثابتة  $F$  لتحرير جسم على سطح أفقي بسرعة ثابتة فإن قوة الاحتكاك التي تُمانع حركة الجسم تساوي في المقدار القوة المؤثرة  $F$  وتعاكسها في الاتجاه؛ أي أن  $F_k = F$ . وعندما يكون الجسم على سطح أفقي والقوة المؤثرة فيه أفقية فإن القوة العمودية تساوي وزن الجسم في المقدار وتعاكسه في الاتجاه.

## سؤال التجربة

كيف يمكن تحديد معامل الاحتكاك السكوفي والحركي لجسم على سطح أفقي؟

### الخطوات

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

### الأهداف

- تقيس القوة العمودية وقوة الاحتكاك المؤثرة في جسم حين يبدأ حركته، وعندما يكون متحركًا.
- تستعمل الأرقام لحساب  $\mu_s$  و  $\mu_k$ .
- تقارن بين قيم  $\mu_s$  و  $\mu_k$ .
- تخلّل نتائج الاحتكاك الحركي.
- تقدر الزاوية التي يبدأ عنها الجسم في الانزلاق على سطح مائل.

### احتياطات السلامة



■ ابتعد عن الأجسام أثناء سقوطها.

### المواد والأدوات

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



جدول البيانات 3				
$\mu_k$	$\mu_s$	$f_k(N)$	$f_s(N)$	$F_N(N)$

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

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

### الاستنتاج والتطبيق

- قارن تفحص قيم  $\mu_s$  و  $\mu_k$  التي حصلت عليها. وتحقق من معقولية النتائج.
- استخدم النماذج ارسم مخطط الجسم الحر موضحاً القوى المؤثرة في القطعة الخشبية عندما توضع على السطح المائل بزاوية  $\theta$  على الأفقي. وتحقق من أن المخطط يتضمن القوة الناشئة عن الاحتكاك.
- ما الذي يمثله  $\tan \theta$  اعتناداً على مخططك، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الزاوية  $\theta$  هي الزاوية التي يبدأ عنها الجسم في الانزلاق؟
- قارن بين قيمة  $\tan \theta$  (تجريبياً) و  $\mu_s$  و  $\mu_k$ .

### التوسيع في البحث

كرر التجربة باستعمال سطوح أخرى ذات خصائص مختلفة.

### الفيزياء في الحياة

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

جدول المواد	
مادة الجسم	مادة السطح

جدول البيانات 1				
قوة الاحتكاك السكوفي ( $f_s(N)$ )		$F_N(N)$		
المتوسط	المحاولة 3	المحاولة 2	المحاولة 1	

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

- كرر الخطوتين 6 و 7 مرتين.
- كرر الخطوتين 6 و 7، وعندما تبدأ القطعة في الانزلاق اسحب بدرجة كافية لجعلها تتحرك بسرعة ثابتة على السطح الأفقي. سجل هذه القوة على أنها قوة الاحتكاك الحركي في جدول البيانات 2.
- كرر الخطوة 9 مرتين.
- ضع القطعة عند نهاية السطح، ثم ارفعه من جهة القطعة ببطء حتى يصبح مائلاً. وانقر القطعة برفق حتى تتحرك وتغلب على قوة الاحتكاك السكوفي. وإذا توقفت القطعة فأعادها إلى أعلى السطح المائل، وكرر الخطوة مرة أخرى. استمر في زيادة الزاوية  $\theta$  المحصورة بين السطح المائل والأفقي، وانقر القطعة حتى تنزلق بسرعة ثابتة إلى أسفل السطح، وسجل الزاوية  $\theta$  في جدول البيانات 4.

### التحليل

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

# التقنية والمجتمع

## الأفعوانيات Roller Coasters

اتزان الجسم بتزويد الدماغ بالمعلومات، فيرسل الدماغ بدوره رسائل عصبية إلى العضلات ل لتحقيق الاتزان. ونظراً إلى التغير المستمر في موقع الراكب خلال الأفعوانية ترسل الأعضاء رسائل متضاربة إلى الدماغ، فتتمدد العضلات وتتقلص خلال الرحلة. وتدرك أنك تتحرك بسرعة كبيرة من خلال مشاهدتك للأجسام التي تمر بالقرب منك بسرعة كبيرة. لذا يستغل المصممون المناظر المحيطة بالمنعطفات والانحناءات والأنفاق لإعطاء الراكب قدراً كبيراً من المشاهد المثيرة. وقدان التوازن جزء من إثارة المترحمسين. وللذب المزيد من الزوار تصمم متزهات التسلية باستمرار أفعوانيات تزيد من مستوى الإثارة. وقد تؤدي المثيرات ورسائل الأذن الداخلية إلى الغشيان.



### التوسيع

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

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

معامل القوة يتم تصميمها الأفعوانية بمقدار القوى المؤثرة في الراكب، ويصمموها بحيث تهز القوى الراكب دون أن تؤذيه. ويقيس المصممون مقدار القوى المؤثرة في الراكب من خلال حساب

معامل القوة، حيث يساوي معامل القوة حاصل قسمة القوة التي يؤثر بها المقعد في الراكب على وزن الراكب. افترض أن وزن الراكب  $N_{600}$ ، فإذا كان الراكب أسفل التل فقد يكون معامل القوة الضعف؛ وهذا يعني أن الراكب يشعر أسفل التل أن وزنه ضعف وزنه الحقيقي؛ أي  $N_{1200}$ . وعلى العكس من ذلك يشعر الشخص عند القمة وكأن وزنه نصف وزنه الحقيقي. وهكذا فإن المصممين يولدون الإثارة بتغيير الوزن الظاهري للراكب.

**عوامل الإثارة** يعالج المصممو الأفعوانيات الطريقة التي يجعل الجسم يشعر بالإثارة. فمثلاً تتحرك الأفعوانية فوق أول التل ببطء شديد إلى أن تخدع الراكب، فيشعر أن التل أعلى كثيراً من حقيقته.

تشعر أعضاء الأذن الداخلية بموقع الرأس في حالي سكونه وحركته. وتساعد هذه الأعضاء على

# الفصل 5

## دليل مراجعة الفصل

### 5-1 المتجهات Vectors

#### المفاهيم الرئيسية

- يمكن استعمال نظرية فيثاغورس لتحديد مقدار المتجه المحصل عندما تكون الزاوية بين المتجهين  $90^\circ$ .

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

- يُستخدم قانون جيب التمام وقانون الجيب لإيجاد مقدار محصلة متجهين إذا كان مقدار الزاوية بينهما

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

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

- مركبة المتجه عبارة عن متجهين يُسقطان على المحاور.

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

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

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

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

### 5-2 الاحتكاك Friction

#### المفاهيم الرئيسية

- تؤثر قوة الاحتكاك عندما يتلامس سطحان.
- تناسب قوة الاحتكاك مع القوة العمودية.
- قوة الاحتكاك الحركي تساوي معامل الاحتكاك الحركي مضروباً في القوة العمودية.
- قوة الاحتكاك السكוני أقل من أو تساوي معامل الاحتكاك السكوني مضروباً في القوة العمودية.

$$f_k = \mu_k F_N$$

$$f_s \leq \mu_s F_N$$

#### المفردات

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

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

#### المفاهيم الرئيسية

- تسمى القوة التي تؤثر في جسم لتجعله يتزن القوة الموازنة.
- يمكن الحصول على القوة الموازنة بإيجاد القوة المحصلة المؤثرة في الجسم، ثم التأثير بقوة تساويها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.
- الجسم الموجود على سطح مائل له مركبة وزن في اتجاه يوازي السطح يجعل الجسم يتسارع في اتجاه أسفل السطح.

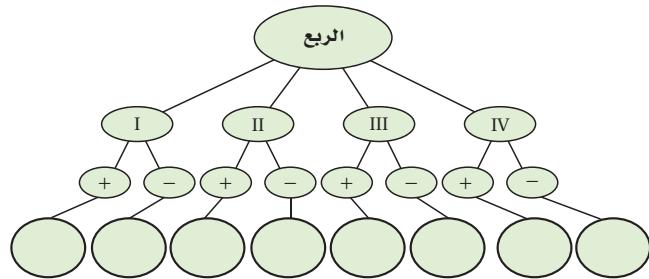
#### المفردات

- القوة الموازنة

# الفصل 5 التقويم

## خرائط المفاهيم

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



## إتقان المفاهيم

43. صُفْ كِيفَ يُمْكِن جَمْع مَتَجَهَيْن بِطَرِيقَةِ الرَّسْم؟ (5-1)

44. أَيِّ الْأَعْمَالُ الْآتِيَّةُ يُسْمِحُ بِهَا عِنْدَ جَمْعِ مَتَجَهٍ مَعَ مَتَجَهٍ آخَرَ بِطَرِيقَةِ الرَّسْم: تَحْرِيكِ الْمَتَجَهِ، أَوْ دُورَانِ الْمَتَجَهِ، أَوْ تَغْيِيرِ طَولِ الْمَتَجَهِ؟ (5-1)

45. اكتُبْ بِكَلِمَاتِكِ الْخَاصَّةِ تَعرِيفًا وَاضْحِيًّا لِمَحْصَلَةِ مَتَجَهَيْن أَوْ أَكْثَر. فَسِّرْ مَا تَمَثِّلُه. (5-1)

46. كِيفَ تَأْثِيرُ الإِزَاحَةِ الْمَحْصَلَةِ عَنْدَ جَمْعِ مَتَجَهَيْن إِزَاحَةً بِتَرتِيبٍ مُخْتَلِفٍ؟ (5-1)

47. وَضُّحِّ الطَّرِيقَةُ الَّتِي يُمْكِنُ أَنْ تَسْتَعْمِلَهَا الْطَّرِيقَةُ كَمِيَّيْن مَتَجَهَيْن بِطَرِيقَةِ الرَّسْم ( $F_1 - F_2$  مَثَلًا). (5-1)

48. عَنْدَمَا يُسْتَعْمِلُ نَظَامُ إِحْدَاثِيِّيْن مَعِينٍ، مَا الطَّرِيقَةُ الَّتِي يُمْكِنُ اسْتَعْمَالُهَا لِإِيجَادِ زَوْدِيَّةِ مَتَجَهٍ مَا أَوْ الْمَتَجَهِ بِالنَّسْبَةِ لِمَحاوِرِ هَذَا النَّظَامِ الإِحْدَاثِيِّ؟ (5-1)

49. مَا مَعْنَى أَنْ يَكُونَ مَعَالِمُ الْاحْتِكَاكِ أَكْبَرَ مِنْ وَاحِدٍ؟ حَدِّدْ طَرِيقَةَ لِقِيَاسِه. (5-2)

50. سِيَارَاتٌ هُلْ يَزِدَادُ احْتِكَاكُ إِطَارِ السِّيَارَةِ بِالطَّرِيقِ إِذَا ازْدَادَ عَرْضُهُ أَمْ يَقْلُ؟ وَضُحِّ ذَلِكَ مَسْتَعْمِلًا مَعَادِلَتِيَ الْاحْتِكَاكِ الَّتِي درَسْتُهَا فِي هَذَا الْفَصْلِ. (5-2)

51. صُفْ نَظَامًا إِحْدَاثِيًّا مَنْاسِبًا لِلتَّعَامِلِ مَعَ مَسَأَلَةِ شَتَّمْلِ عَلَى كُرْبَةٍ تُقْذَفُ إِلَى أَعْلَى فِي الْهَوَاءِ. (5-3)

52. إِذَا عُنِّيَّ نَظَامُ إِحْدَاثِيٍّ يُشَيرُ فِيَّ الْمَحْوَرُ  $x$  الْمَوْجَبُ فِي اِتِّجَاهٍ يَصْنَعُ زَوْدِيَّةً  $30^\circ$  مَعَ الْأَفْقِيِّ، فَمَا الزَّاوِيَّةُ بَيْنَ الْمَحْوَرِ  $x$  وَالْمَحْوَرِ  $y$ ؟ وكيف يُجَبُ أَنْ يَكُونَ اِتِّجَاهُ الْمَحْوَرِ  $y$  الْمَوْجَبُ؟ (5-3)
53. إِذَا كَانَ كِتَابٌ فِيَّ الْفِيَزِيَّاءِ مُتَنَزِّلًا، فَمَا الَّذِي يَمْكُنُ أَنْ تَسْتَنْجِهَ حَوْلَ الْقُوَّى الْمُؤْثِرَةِ فِيهِ؟ (5-3)
54. هَلْ يَمْكُنُ لِجَسْمٍ مُتَنَزِّلًا أَنْ يَتَحَرَّكُ؟ وَضُحِّ ذَلِكُ. (5-3)
55. إِذَا طَلَبَ إِلَيْكَ تَحْلِيلَ حَرْكَةِ كِتَابٍ يَسْتَقِرُ عَلَى سَطْحٍ مَاءِلٍ: (5-3)
- a. فَصُفْ أَفْضَلُ نَظَامٍ إِحْدَاثِيٍّ لِتَحْلِيلِ الْحَرْكَةِ.  
b. كِيفَ تَأْثِيرُ قِيمَةِ مَرْكَبَيِّيِّ وزَنِ الْكِتَابِ بِمَقْدَارِ زَاوِيَّةِ مَيْلِ السَّطْحِ؟

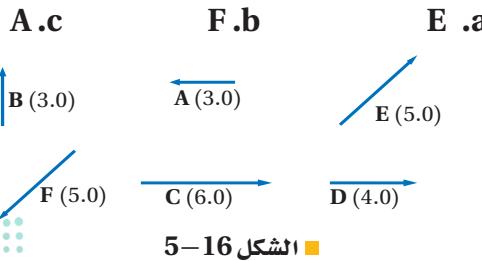
## تطبيقات المفاهيم

56. رُسْمٌ مَتَجَهٌ طَولُه  $15\text{ mm}$  لِيَمْثُلْ سَرْعَةَ مَقْدَارَهَا  $30\text{ m/s}$ . كِمْ يَجِبُ أَنْ يَكُونَ طَولُ مَتَجَهٍ يُرْسِمُ لِيَمْثُلْ سَرْعَةَ مَقْدَارَهَا  $20\text{ m/s}$ ؟
57. كِيفَ تَغَيِّرُ الإِزَاحَةُ الْمَحْصَلَةُ عَنْدَمَا تَزَادُ الزَّاوِيَّةُ بَيْنَ مَتَجَهَيْنْ مِنْ  $0^\circ$  إِلَى  $180^\circ$ ؟
58. السُّفُرُ بِالسِّيَارَةِ تَسِيرُ سِيَارَةً سَرْعَةً  $50\text{ km/h}$  فِي اِتِّجَاه  $60^\circ$  شَمَالَ الشَّرْقِ. تَمَّ اخْتِيَارُ نَظَامٍ إِحْدَاثِيٍّ يُشَيرُ فِيهِ مَحْوَرُ  $x$  الْمَوْجَبُ فِي اِتِّجَاهِ الشَّرْقِ وَمَحْوَرُ  $y$  الْمَوْجَبُ فِي اِتِّجَاهِ الشَّمَالِ. أَيِّ مَرْكَبَيِّيِّ مَتَجَهٌ سَرْعَةُ الْسِّيَارَةِ أَكْبَرُ: الَّتِي فِي اِتِّجَاهِ الْمَحْوَرِ  $x$  أَمُّ الَّتِي فِي اِتِّجَاهِ الْمَحْوَرِ  $y$ ؟

## إتقان حل المسائل

### 1-5 المتجهات

59. أُوجِدْ مَرْكَبَيِّنِ الأَفْقِيَّةِ وَالرَّأْسِيَّةِ لِكُلِّ مَتَجَهٍ الْآتِيَّةِ الْمُوَضَّحَةِ فِي الشَّكْلِ 5-16.

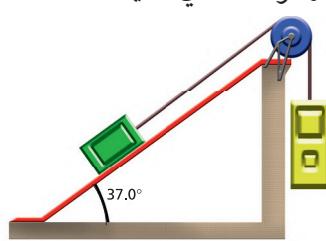


الشكل 5-16

# تقويم الفصل 5

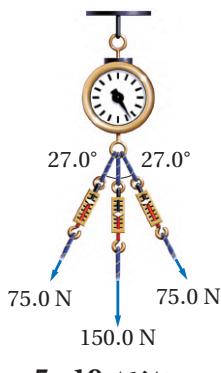
معلق كما في الشكل 5-18. إذا كانت كتلة الجسم المعلق  $16.0 \text{ kg}$  وكتلة الجسم الثاني  $8.0 \text{ kg}$ ، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح المائل  $0.23$ ، وترك المجموعة لتتحرك من السكون فاحسب:

- مقدار تسارع المجموعة.
- مقدار قوة الشد في الحبل.



الشكل 5-18

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



الشكل 5-19

68. يراد دفع صخرة كبيرة كتلتها  $20.0 \text{ kg}$  إلى قمة جبل دون دحرجتها. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصخرة وسطح الجبل  $0.40$ ، وميل سطح الجبل  $30.0^\circ$  على الأفقي:

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

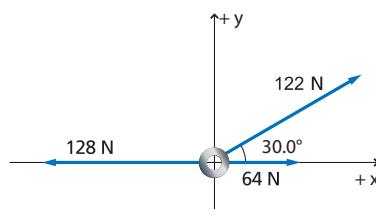
b. إذا دفعت الصخرة بسرعة  $0.25 \text{ m/s}$ ، وتطلب الوصول إلى قمة الجبل  $8.0$  ساعات، فما ارتفاع الجبل؟

60. أوجد بطريقة الرسم مجموع كل زوج من المتجهات الآتية، علماً بأن مقدار كل متجه واتجاهه مبين في الشكل 5-16.

- |         |         |
|---------|---------|
| C و A.c | D و A.a |
| E و F.d | D و C.b |

61. مشى رجل  $30 \text{ m}$  جنوباً، ثم  $30 \text{ m}$  شرقاً. أوجد مقدار الإزاحة المحصلة واتجاهها بطريقة الرسم أولاً، ثم بطريقة تحليل المتجهات.

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



الشكل 5-17

## 5-1 الاحتكاك

63. يُسحب صندوق كتلته  $225 \text{ kg}$  أفقياً تحت تأثير قوة مقدارها  $710 \text{ N}$ . فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي  $0.20$ ، فاحسب تسارع الصندوق.

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

a. كم تبلغ قوة الاحتكاك بين الجسم والسطح؟

b. ما مقدار معامل الاحتكاك الحركي؟

## 5-2 القوة والحركة في بعدين

65. يتزن جسم تحت تأثير ثلاثة قوى؛ إذ تؤثر القوة الأولى  $33.0 \text{ N}$  في اتجاه يصنع زاوية  $90.0^\circ$  بالنسبة إلى المحور  $x$ ، أما القوة الثانية  $44.0 \text{ N}$  فتؤثر في اتجاه يصنع زاوية  $60.0^\circ$  بالنسبة إلى المحور  $x$ . ما مقدار واتجاه القوة الثالثة؟

66. رُبط جسمان بخيط يمر فوق بكرة ملساء مهملة الكتلة، بحيث يستقر أحدهما على سطح مائل، والآخر

## تقويم الفصل 5

72. حل واستنتاج تحول أحمد وسعيد وعبدالله في مدينة الألعاب، فرأوا المترافق العملاق، وهو سطح مائل طوله 70 m، يميل بزاوية  $27^\circ$  على الأفقي. وقد تهيأ رجل وابنه للانزلاق على هذا المترافق. وكانت كتلة الرجل 135 kg، وكتلة ابنه 20 kg. سائل أحمد: كم يقل الزمن الذي يتطلبه انزلاق الرجل عن الزمن الذي يتطلبه انزلاق ابنه؟ أجاب سعيد: سيكون الزمن اللازم لابن أهل. فتدخل عبدالله قائلاً: إنكما على خطأ، سيصلان إلى أسفل المترافق في الوقت نفسه. أجر التحليل المطلوب لتحديد أيهما على صواب.

### الكتابة في الفيزياء

73. استقص بعض التقنيات المستعملة في الصناعة لتقليل الاحتكاك بين الأجزاء المختلفة للآلات. وصف تقنيتين أو ثلثتين، موضحا دور الفيزياء في عمل كل منها.

74. أوبلياد بدأ حديثاً الكثير من لاعبي الأولمبياد - و منهم لاعبو القفز والتزلج والسباحون - يستعملون وسائل متقدمة لتقليل أثر الاحتكاك وقوى مقاومة الهواء والماء. ابحث في واحدة من هذه الأدوات، وبين كيف تطورت لتواء ذلك عبر السنين، ووضح كيف أثرت الفيزياء في هذه التطورات.

### مراجعة تراكمية

75. اجمع أو اطرح كلّاً ما يأتي، وضع الجواب بالأرقام المعنوية الصحيحة:

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

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

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

d.  $60.8 \text{ s} - 12.2 \text{ s}$

76. ركبت دراجتك الهوائية مدة 1.5 h بسرعة متوسطة مقدارها  $10 \text{ km/h}$ ، ثم ركبتها مدة 30 min بسرعة متوسطة مقدارها  $15 \text{ km/h}$ . احسب مقدار سرعتك المتوسطة في هذه الرحلة.

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

a. وزن الزلاجة.

b. القوة اللازمة لكي تبدأ الزلاجة في الحركة.

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

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

70. الطبيعة تُنقل شجرة بشاحنة ومقطورة ذات سطح مستوي، كما في الشكل 20-5. إذا انزلقت قاعدة الشجرة فإنها ستتنقلب وتتلف. فإذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين الشجرة وسطح المقطورة 0.50 فما أقل مسافة يتطلبها توقف الشاحنة التي تسير بسرعة  $55 \text{ km/h}$ ، بحيث تسارع بانتظام دون أن تنزلق الشجرة أو تنقلب؟



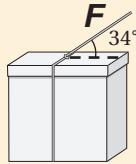
الشكل 20-5

### التفكير الناقد

71. استخدام النماذج اعتبار الأمثلة التي درستها في هذا الفصل نماذج لكتب مثالاً حل المسألة الآتية، على أن يتضمن تحليل المسألة ورسمها، وإيجاد الكمية المجهولة، وتقويم الجواب: تسير سيارة كتلتها 975 kg بسرعة  $25 \text{ m/s}$ . إذا ضغط سائقها على المكابح فما أقصى مسافة تحتاج إليها السيارة للتوقف؟ افترض أن الطريق مصنوع من الخرسانة، وقوة الاحتكاك بين الطريق والعجلات ثابتة، والعجلات لا تنزلق.

# اختبار مقاييس

5. يؤثر خيط في صندوق كما في الشكل أدناه بقوة مقدارها  $N = 18$  تميل على الأفقي بزاوية  $34^\circ$ . ما مقدار المركبة الأفقيّة للقوة المؤثرة في الصندوق؟



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

6. لاحظ عبدالله في أثناء قيادته لدراجته الهوائية على طريق شجرة مكسورة تغلق الطريق على بعد  $42\text{ m}$  منه. فإذا كان عبدالله يقود دراجته بسرعة  $50.0\text{ km/h}$  ومعامل الاحتكاك الحركي بين إطارات الدراجة والطريق  $0.36$ ، فما المسافة التي يقطعها حتى يتوقف؟ علماً بأن كتلة عبدالله والدراجة معاً  $95\text{ kg}$ .

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

## الأسئلة المتعددة

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

8. يجلس طفل كتله  $41.2\text{ kg}$  على سطح يميل على الأفقي بزاوية  $52.4^\circ$ . إذا كان معامل الاحتكاك السكוני بينه وبين السطح  $0.72$ ، فما مقدار قوة الاحتكاك السكوني التي تؤثر في الطفل؟

## إرشاد ✓

### الآلات الحاسبة ليست سوى آلات

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

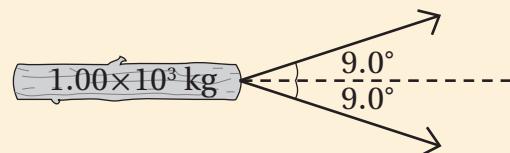
## أسئلة الاختيار من متعدد

### اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يُسحب جذع شجرة كتلته  $1.00 \times 10^3\text{ kg}$  بجرارين. إذا كانت الزاوية المحصورة بين الجرّارين  $18.0^\circ$  (كما في الشكل)، وكل جرار يسحب بقوة  $N = 8.00 \times 10^2\text{ N}$ ، فما مقدار القوة المحصلّة التي سيؤثران بها في جذع الشجرة؟

- 1.58  $\times 10^3\text{ N}$  (C)      250 N (A)

- 1.60  $\times 10^3\text{ N}$  (D)      1.52  $\times 10^3\text{ N}$  (B)



2. يحاول طيار الطيران مباشرةً في اتجاه الشرق بسرعة  $800.0\text{ km/h}$ . فإذا كانت سرعة الرياح القادمة من اتجاه الجنوب الغربي  $80.0\text{ km/h}$ ، فما السرعة النسبية للطائرة بالنسبة للأرض؟

- 804 km/h,  $5.7^\circ$  (A)

- 858 km/h,  $3.8^\circ$  (B)

- 859 km/h,  $4.0^\circ$  (C)

- 880 km/h,  $45^\circ$  (D)

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

- 2.1  $\times 10^3\text{ N}$  (C)      1.8  $\times 10^2\text{ N}$  (A)

- 1.4  $\times 10^4\text{ N}$  (D)      3.1  $\times 10^2\text{ N}$  (B)

4. أوجد مقدار المركبة الرأسية ( $y$ ) لقوة مقدارها  $N = 95.3$  بالنسبة إلى الأفقي.

- 114 N (C)      51.8 N (A)

- 175 N (D)      80.0 N (B)

# الفصل 6

## الحركة في بعدين Motion in Two Dimensions

ما الذي ستعلمك في هذا الفصل؟

- تطبيق قوانين نيوتن، وما تعلمه عن المتجهات لتحليل الحركة في بعدين.
- حل مسائل تتعلق بحركة المقدوفات والحركة الدائرية.
- حل مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.

### الأهمية

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

أرجوحة دوّارة قبل أن تبدأ هذه الأرجح في الدوران تكون المقاعد معلقة رأسياً، وعندما تتسارع تأرجح المقاعد بعيداً، مائلة بزاوية ما.

### فكرة

عندما تدور هذه الأرجح بسرعة ثابتة المدار، هل يكون لها تسارع؟



## تجربة استهلاكية

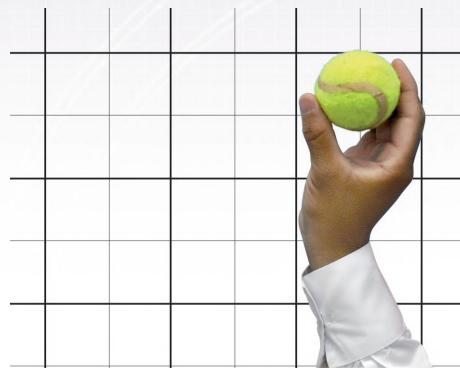


### التحليل

### كيف يمكن وصف حركة المقذوف؟

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

**التفكير الناقد** صفات حركة جسم يُقذف أفقياً.



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

### الخطوات

1. استعن بخلفية مقسمة إلى مربعات على تصوير كرة مقذوفة بالفيديو، على أن تبدأ حركتها بسرعة في الاتجاه الأفقي فقط.

2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** ارسم موقع الكرة كل  $0.1\text{ s}$  على ورقة رسم بياني.

3. ارسم شكلين للحركة: أحدهما يوضح الحركة الأفقي للكرة، والآخر يوضح حركتها الرأسية.



## 6-1 حركة المقذوف

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

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

### الأهداف

- تلاحظ أن الحركتين الأفقيتين والرأسيتين للمقذوف مستقلتان.
- تربط بين أقصى ارتفاع يصل إليه المقذوف، وزمن تخلقه في الهواء، وسرعته الابتدائية الرأسية باستعمال الحركة الرأسية.
- تحدد المدى الأفقي باستعمال الحركة الأفقي.
- تفسّر كيف يعتمد شكل مسار المقذوف على الإطار المرجعي الذي يلاحظ منه.

### المفردات

- مسار المقذوف
- المقذوف
- زمن التحليق
- المدى الأفقي

## السقوط من فوق الحافة

أحضر كرتين؛ كتلة إحداهما ضعف كتلة الثانية.

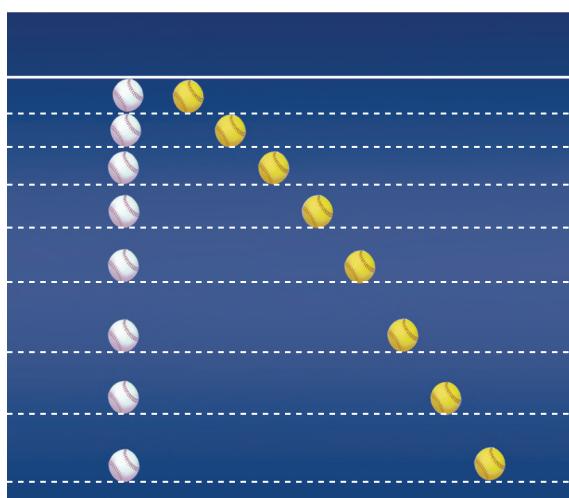
1. توقع أي الكرتين ستصل الأرض أولاً عندما تُدحرجهما على سطح طاولة بحيث تكون سرعتهما متساوietين، على أن يسقطا عن الحافة في اللحظة نفسها؟
2. توقع أي الكرتين تكون أبعد عن الطاولة لحظة ملامستها الأرض؟

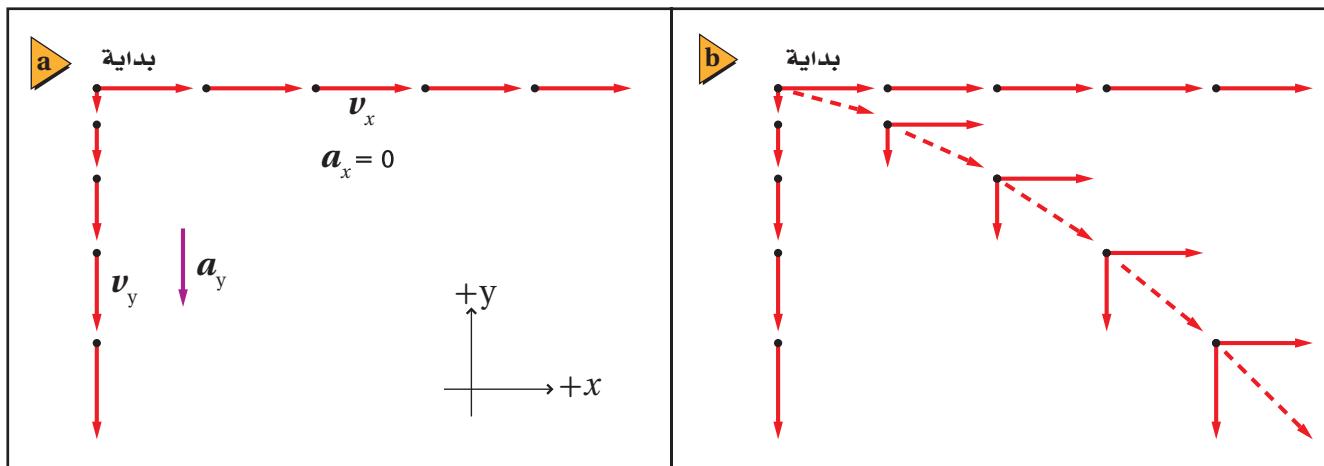
3. فسر توقعاتك.
4. اختبر توقعاتك.

## التحليل والاستنتاج

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

■ **الشكل 1-6** قذفت الكرة التي عن اليمين أفقياً، بينما أسقطت الكرة الأخرى من السكون في اللحظة نفسها. لاحظ أن الموضع الرأسية للكرتين متساوية في كل لحظة.





■ **الشكل 2-6** يمكن فصل حركة الجسم إلى مركبتيها الأفقية في اتجاه محور  $x$  والرأسية في اتجاه محور  $y$ . ويبين **الشكل a** تحليل السرعة إلى المركبتيين الأفقية والراسية. أما **الشكل b** فيبين جمع المركبتيين الأفقية والراسية لتشكلًا للسرعة المتجهة الكلية المماسية للمسار.

يُبيّن الشكل 2-6 خططين منفصلين للحركتين الأفقية والراسية لجسم مقدوف؛ حيث يمثل خطط الحركة الرأسية حركة الكرة التي أسقطت في اتجاه المحور  $y$ ، بينما يبيّن خطط الحركة الأفقية السرعة الثابتة في اتجاه المحور  $x$  للكرة المقدوفة. إنَّ السرعة في الاتجاه الأفقي ثابتة دائمًا لعدم وجود قوى تؤثر في الكرة في هذا الاتجاه.

جُمعت السرعتان الأفقية والراسية في **الشكل 2b** لتشكلًا للسرعة المتجهة الكلية. ويمكن ملاحظة أنَّ السرعة الأفقية الثابتة والتسارع الرأسي المتظم قد أنتجا معًا مساراً يتّخذ شكل القطع المكافئ.

### استراتيجيات حل المسألة

#### الحركة في بعدين

- يمكن تحديد حركة المقدوف في بعدين عن طريق تحليل الحركة إلى مركبتيين متعامدين.
١. حلّ حركة المقدوف إلى حركة رأسية (في اتجاه المحور  $y$ )، وأخرى أفقية (في اتجاه المحور  $x$ ).
  ٢. الحركة الرأسية للمقدوف هي نفسها حركة جسم قُذف رأسياً إلى أعلى أو أُسقط أو قذف رأسياً إلى أسفل؛ حيث تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الجسم وتسبب تسارعه بمقدار  $g$ . راجع القسم ٣-٣ لتنشيط ذاكرتك حول حلول مسائل السقوط الحر.
  ٣. تحليل الحركة الأفقية لمقدوف يشبه تماماً حل مسألة حركة جسم يتحرك أفقياً بسرعة متوجة ثابتة. فعند إهمال مقاومة الهواء لا توجد قوة أفقية تؤثر في الجسم، ولأنَّه لا توجد قوى تؤثر في المقدوف في الاتجاه الأفقي فلا يوجد تسارع أفقي؛ أي أن  $a_x = 0$ . (في حل المسائل استعمل الطرق نفسها التي تعلمتها سابقاً في القسم ٤-٢).
  ٤. الحركتان الأفقية والراسية لها الزمن نفسه؛ فالزمن منذ إطلاق المقدوف حتى اصطدامه بالهدف هو الزمن نفسه للحركتين الأفقية والراسية. ولذا عند حساب الزمن لإحدى الحركتين تكون قد حسبت الزمن للحركة الثانية.

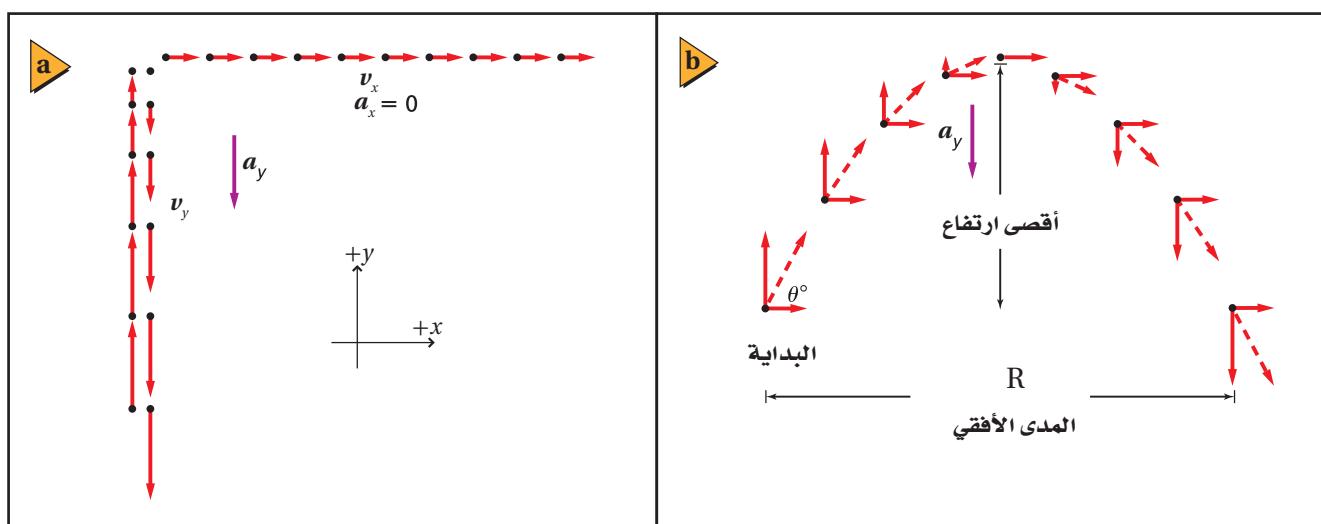
1. قُذف حجر أفقياً بسرعة  $5.0 \text{ m/s}$  من فوق سطح بناية ارتفاعها  $78.4 \text{ m}$ .
- ما الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى أسفل البناء؟
  - على أي بعد من قاعدة البناء يرتطم الحجر بالأرض؟
  - ما مقدار المركبتين الرأسية والأفقية لسرعة الحجر قبل اصطدامه بالأرض؟
2. يشتراك عمر وصديقه في إعداد نموذج لمصنوع يتبع زرافات خشبية. وعند نهاية خط الإنتاج تطلق الزرافات أفقياً من حافة حزام ناقل وتسقط داخل صندوق في الأسفل. فإذا كان الصندوق يقع على بعد  $0.6 \text{ m}$  أسفل الحزام، وعلى بعد أفقياً مقداره  $0.4 \text{ m}$ ، فما مقدار السرعة الأفقية للزرافات عندما تترك الحزام الناقل؟

## المقدّمات التي تطلق بزاوية Projectiles Launched at an Angle

عندما يُطلق مقدّم بزاوية ما يكون لسرعته الابتدائية مركبة: إحداها أفقية، والآخر رأسية. فإذا قُذف جسم إلى أعلى فإنه يرتفع بسرعة تتناقص حتى يصل إلى أقصى ارتفاع له، ثم يأخذ في السقوط بسرعة متزايدة. لاحظ الشكل 6-3a الذي يبين الحركتين الأفقية والرأسية بصورة منفصلة للمقدّم. وفي نظام المحاور يكون المحور  $x$  أفقياً، والمحور  $y$  رأسياً. لاحظ التمايز في مقادير السرعة الرأسية، حيث يتساوى مقدار السرعة في أثناء الصعود والنزول عند كل نقطة في الاتجاه الرأسى، ويكون الاختلاف الوحيد بينهما في اتجاه السرعة؛ فهما متعاكسان.

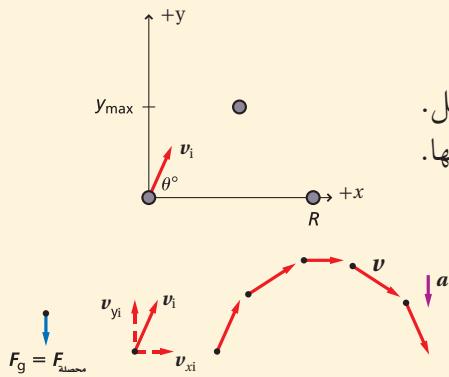
يوضح الشكل 6-3b كميتين ترافقان مسار المقدّم؛ إحداها هي أقصى ارتفاع يصل إليه المقدّم، حيث يكون له هناك سرعة أفقية فقط؛ لأن سرعته الرأسية صفر. أما الكمية الأخرى فهي المدى الأفقي  $R$ ، وهي المسافة الأفقية التي يقطعها المقدّم. أما زمن التحلق فهو الزمن الذي يقضيه المقدّم في الهواء.

الشكل 6-3 الجمجم الاتجاهي لـ  $v_y$   
و $v_x$  عند كل موضع يشير إلى اتجاه التحلق.



## مثال 1

**تحليل كرّة** قُذفت كرّة بسرعة متجهة  $4.5 \text{ m/s}$  في اتجاه يصنع زاوية  $66^\circ$  على الأفقي. ما أقصى ارتفاع تصل إليه الكرّة؟ وما زمن تحليقها عندما تعود إلى المستوى نفسه الذي قُذفت منه؟



### 1 تحليل المسألة ورسمها

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

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

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

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

احسب المركبة الرأسية للسرعة الابتدائية  $v_{yi}$   
بالتعويض  $v_i = 4.5 \text{ m/s}$ ,  $\theta_i = 66^\circ$

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

أوجد صيغة أو معادلة لزمن  $t$ .  
بالتعويض  $a_y = -g$

احسب الزمن  $t$ .

$$\begin{aligned} \Delta y &= v_{yi}t + \frac{1}{2} a_y t^2 \\ y_{max} &= y_i + v_{yi}t + \frac{1}{2} a_y t^2 \\ &= 0.0 \text{ m} + (4.1 \text{ m/s}) (0.42 \text{ s}) \\ &\quad + \frac{1}{2} (-9.80 \text{ m/s}^2) (0.42 \text{ s})^2 \\ &= 0.86 \text{ m} \end{aligned}$$

أوجد أقصى ارتفاع.  
بالتعويض  $a_y = -g$ ,  $y_i = 0.0$ ,  $t = 0.42 \text{ s}$ ,  $v_{yi} = 4.1 \text{ m/s}$ ,  $g = 9.80 \text{ m/s}^2$

احسب الزمن اللازم للعودة إلى الارتفاع نفسه لحظة الإطلاق.

$$\begin{aligned} \text{زمن التحليق} &= 2t \\ &= 2(0.42 \text{ s}) \\ &= 0.84 \text{ s} \end{aligned}$$

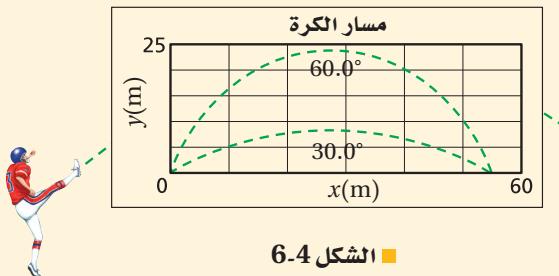
زمن الصعود = زمن النزول

زمن التحليق = زمن الصعود + زمن النزول

### 3 تقويم الجواب

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

3. قذف لاعب كرّةً من مستوى الأرض بسرعة متجهةً ابتدائية  $27.0 \text{ m/s}$  في اتجاه يميل على الأفقي بزاوية مقدارها  $30.0^\circ$ ، كما في الشكل 4-6. أوجد كلاً من الكميات الآتية، علماً أن مقاومة الهواء مهملة:



الشكل 4-6

- a. زمن تحليق الكرة.
- b. أقصى ارتفاع تصله الكرة.
- c. المدى الأفقي للكرة.

4. في السؤال السابق، إذا قذف اللاعب الكرة بالسرعة نفسها ولكن في اتجاه يصنع زاوية  $60.0^\circ$  على الأفقي، فما زمن تحليق الكرة؟ وما المدى الأفقي؟ وما أقصى ارتفاع تصله الكرة؟

5. تُقذف كرة من أعلى بناءً ارتفاعها  $50.0 \text{ m}$  بسرعة ابتدائية  $7.0 \text{ m/s}$  في اتجاه يصنع زاوية  $53.0^\circ$  على الأفقي. أوجد مقدار واتجاه سرعة الكرة لحظة اصطدامها بالأرض.

## مسارات المقدوفات تعتمد على موقع المشاهد

### Trajectories Depend upon the Viewer

افترض أنك تجلس في حافلة، وقدفت كرة إلى أعلى ثم التقطتها عند عودتها إلى أسفل. تبدو الكرة لك أنها سلكت مساراً مستقيماً إلى أعلى وإلى أسفل. لكن ما الذي يشاهدته مُراقب يقف على الرصيف؟ يشاهد المُراقب الكرة تغادر يدك وترتفع إلى أعلى ثم تعود مرة أخرى إلى يدك. ولأن الحافلة تتحرك فإن يدك تتحرك أيضاً، وسيكون لديك والحافلة والكرة السرعة المتجهة نفسها. لذا يبدو مسار الكرة مشابهاً لمسار الكرة في المثال السابق.

**مقاومة الهواء** لاحظ أننا أهملنا أثر مقاومة الهواء في حركة المقدوفات حتى الآن. وقد تكون مقاومة الهواء قليلة جدًا تجاه بعض المقدوفات إلا أنها تكون كبيرة تجاه مقدوفات أخرى. ففي كرة الجولف مثلاً تؤدي التنوءات الصغيرة على سطح الكرة إلى تقليل مقاومة الهواء، ومن ثم إلى زيادة المدى الأفقي. أما في كرة البيسبول فإن دورانها حول نفسها يجعلها تتأثر بقوى تؤدي إلى انحرافها عن مسارها. من المهم أن نذكر أن قوة مقاومة الهواء موجودة دائمًا، وقد تكون مهمة.

## 1-6 مراجعة

- 15.0 m/s، وبزاوية  $20.0^\circ$  تحت الأفقي. ما المسافة التي تتحركها الكرة أفقياً قبل اصطدامها بالأرض؟
9. **التفكير الناقد** افترض أن جسماً قُذف بالسرعة نفسها وفي الاتجاه نفسه على الأرض والقمر. فإذا عرف أن مقدار تسارع الجاذبية على القمر ( $g$ ) يساوي  $\frac{1}{6}$  قيمته على الأرض. ووضح كيف تتغير الكميات الآتية:
- b. زمن تخليق الجسم      a.  $v_x$   
R .d      c.  $y_{max}$

6. رسم تخطيطي للجسم الحر ينزلق مكعب من الجليد على سطح طاولة دون احتكاك وبسرعة متوجهة ثابتة، إلى أن يغادر حافة الطاولة ساقطاً في اتجاه الأرض. ارسم مخطط الجسم الحر للمكعب، وكذلك نموذج الجسم النقطي مبيناً التسارع عند نقطتين على سطح الطاولة ونقطتين في الهواء.
7. **حركة المقدوف** تُقذف كرة في الهواء بزاوية  $50.0^\circ$  بالنسبة إلى المحور الرأسي وبسرعة ابتدائية 11.0 m/s. احسب أقصى ارتفاع تصله الكرة.
8. **حركة المقدوف** قذفت كرة تنس من نافذة ترتفع 28 m فوق سطح الأرض بسرعة ابتدائية مقدارها

## 2-6 الحركة الدائرية Circular Motion

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

### وصف الحركة الدائرية Describing Circular Motion

**الحركة الدائرية المنتظمة** هي حركة جسم أو جسيم بسرعة ثابتة المدار حول دائرة نصف قطرها ثابت. ويحدد موقع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة بالنسبة إلى مركز الدائرة بمتجه الموضع  $r$ ، كما في **الشكل 5a-6**. وعندما يدور الجسم حول الدائرة فإن طول متجه الموضع لا يتغير، لكن اتجاهه يتغير. ولإيجاد سرعة الجسم يجب إيجاد متجه الإزاحة الذي يعرف بالتغيير في الموضع  $\Delta r$ . وبين **الشكل 5b-6** متجهي موقع:  $r_1$  عند بداية فترة زمنية، و  $r_2$  عند نهايتها. تذكر أن متجه الموضع هو متجه ذيله عند نقطة الأصل. ولعلك تلاحظ من رسم المتجهات أن  $r_1$ ,  $r_2$  تُطرحان لإعطاء المحصلة  $\Delta r$  خلال الفترة الزمنية. وكما تعلم فإن السرعة المتوجهة المتوسطة تساوي  $\bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t}$ ، لذا فإن السرعة المتوجهة المتوسطة في الحركة الدائرية تساوي  $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ . ومتجه السرعة له اتجاه الإزاحة نفسه، لكن بطول مختلف. في **الشكل 6a-6** يمكنك ملاحظة أن متجه السرعة عمودي على متجه الموضع؛ أي عماس لحيط الدائرة، وعندما يدور متجه السرعة حول الدائرة يبقى مقداره ثابتاً، لكن اتجاهه يتغير.

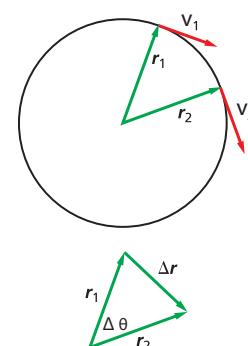
كيف تحدد اتجاه تسارع الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة؟ **يبين الشكل 6a-6b** متجهي السرعة  $v_1$  و  $v_2$  عند بداية الفترة الزمنية و نهايتها. ويمكن إيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتوجهة  $\Delta v$  بطرح السرعتين المتجهتين  $v_1$  و  $v_2$  كما في **الشكل 6b-6**. يكون التسارع المتوسط  $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  في اتجاه  $\Delta v$  نفسه؛ أي في اتجاه مركز الدائرة. ولاحظ أن متجه التسارع في الحركة الدائرية المنتظمة يشير دائمًا إلى مركز الدائرة، لذا يسمى هذا التسارع **التسارع المركزي**.

### الأهداف

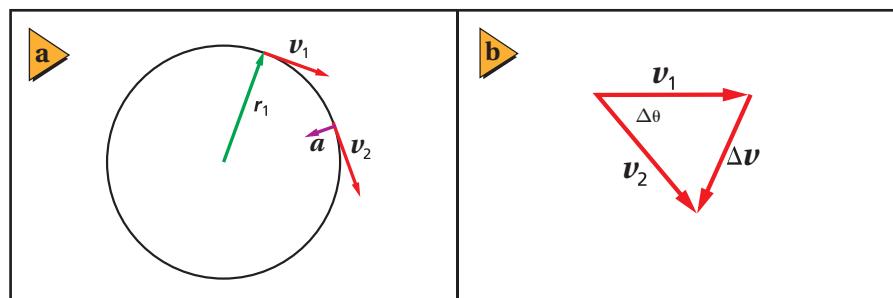
- تفسير لماذا يتتسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة ثابتة المدار في مسار دائري.
- تصف كيف يعتمد مقدار التسارع المركزي على سرعة الجسم، ونصف قطر مساره الدائري.
- تحدد القوة التي تسبب التسارع المركزي.

### المفردات

الحركة الدائرية المنتظمة  
التسارع المركزي  
القوة المركبة



■ **الشكل 5-6** الإزاحة  $\Delta r$  لجسم في حركة دائرية مقسومة على الزمن تساوي السرعة المتوجهة المتوسطة خلال هذه الفترة الزمنية.



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

# التسارع المركزي Centripetal Acceleration

الصاعد الفخائي - مقتطفات

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



**الشكل ٦-٧** عندما تقل المطرقة من  
الرامي تسير في خط مستقيم يكون مما يلي  
للممسار الدائري الذي كانت تدور فيه عند  
نقطة الإفلات، ثم تكمل مساراً يُشبه مسار  
أي جسم يُقذف بسرعة ابتدائية أفقية في  
الجهة.



كيف يمكنك أن تحسب مقدار التسارع المركزي لجسم ما؟ قارن بين المثلث الناتج عن متوجهات الموضع في الشكل 6-5b والمثلث الناتج عن متوجهات السرعة في الشكل 6-6. إن الزاوية بين  $r_1$  و  $r_2$  هي نفسها الزاوية بين  $v_1$  و  $v_2$ ، لذا يكون المثلثان متتشابهين. وهكذا فإن  $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$ . وبقسمة الطرفين على الزمن  $\Delta t$  يتبع:

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

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

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

لکن

## إعادة ترتيب المعادلة السابقة

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

و بالتعاون يضر، نجد أن:

حل هذه المعادلة لإيجاد  $a$  وارمز لها بالرمز  $a$  تعبيرًا عن التسارع центрального.

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

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

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

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

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

**القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدائرية**

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

عند حل مسائل على الحركة الدائرية المتتظمة من المفيد اختيار محورين: أحدهما في اتجاه التسارع، حيث يكون دائرياً في اتجاه مركز الدائرة. ونسمى هذا المحور  $c$ ; أي مركزيًّا. أما المحور الثاني فيكون في اتجاه السرعة الماسية للدائرة، ونسميه  $tang$ ; أي ماسياً. وستطبق قانون نيوتن الثاني على هذين المحورين، كما فعلت في مسائل الحركة ذات البعدين في الفصل الخامس. تذكر أن القوة المركزية هي تسمية أخرى لمحصلة القوى المؤثرة في اتجاه المركز؛ فهي تمثل مجموع القوى الحقيقة التي تؤثر في اتجاه المركز.

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

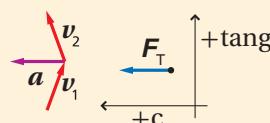
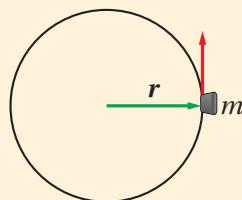
**تجربة**  
عملية ما الذي يبقى السدادة متجردة في  
مسار دائرى؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين  
الإثنانية



## مثال 2

**الحركة الدائرية المنتظمة** أُدبرت سدادة مطاطية كتلتها  $13 \text{ g}$ ، مثبتة عند طرف خيط طوله  $0.93 \text{ m}$ ، في مسار دائرى أفقى لتكميل دورة كاملة خلال  $1.18 \text{ s}$ . احسب مقدار قوة الشد التي يؤثر بها الخيط في السدادة.



$$\begin{aligned} a_C &= \frac{4\pi^2 r}{T^2} \\ &= \frac{4\pi^2 (0.93 \text{ m})}{(1.18 \text{ s})^2} \\ &= 26 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

**المجهول**

**العلم**

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

### إيجاد الكمية المجهولة 2

احسب التسارع المركزي.

بالتعويض  $T = 1.18 \text{ s}$ ,  $r = 0.93 \text{ m}$ ,  $m = 0.013 \text{ kg}$

### دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال  
الأرقام المعنوية 188، 189

$$\begin{aligned} F_T &= ma_C \\ &= (0.013 \text{ kg}) (26 \text{ m/s}^2) \\ &= 0.34 \text{ N} \end{aligned}$$

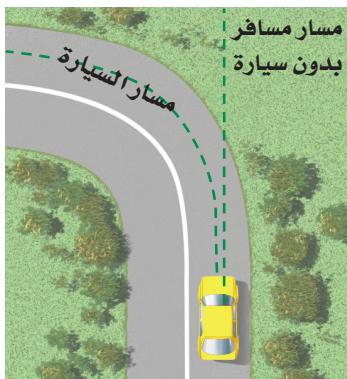
بالتعويض  $a_C = 26 \text{ m/s}^2$ ,  $m = 0.013 \text{ kg}$

### تقدير الجواب 3

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



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



الشكل 8-6 سير حركة الراكب إلى الأمام في خط مستقيم إذا لم تؤثر فيه السيارة بقوة إلى الداخل.

## القوة الوهمية A Nonexistence force

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

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

## 6-2 مراجعة

تحريك سيارة في منعطف فإن على السائق أن يوازن بين القوة المركزية وقوة الطرد المركزي. اكتب رسالة إلى الجريدة تقدّم فيها هذا المقال.

17. **القوة المركزية** إذا أردت تحريك كرة كتلتها  $7.3 \text{ kg}$  في مسار دائري نصف قطره  $0.75 \text{ m}$  بسرعة مقدارها  $2.5 \text{ m/s}$ ، فما مقدار القوة التي عليك أن تؤثر بها لعمل ذلك؟

18. **التفكير الناقد** إنك تحرك حركة دائرية منتظمة بسبب دوران الأرض اليومي. ما المصدر الذي يولد هذه القوة التي تؤدي إلى تسارعك؟ وكيف تؤثر هذه الحركة في وزنك الظاهري؟

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

14. **مخطط الجسم الحر** إذا كنت تجلس في المعد الخلفي لسيارة تتعطف إلى اليمين، فارسم نموذج الجسم النقطي، ومخطط الجسم الحر للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. ما اتجاه تسارعك؟

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

15. **القوة المركزية** إذا حرك حجر كتلته  $40.0 \text{ g}$  مثبت في نهاية خيط طوله  $0.60 \text{ m}$  في مسار دائري أفقى بسرعة مقدارها  $2.2 \text{ m/s}$ ، فما مقدار قوة الشد في الخيط؟

16. **التسارع المركزي** ذكر مقال في جريدة أنه عندما



## 3-6 السرعة المتجهة النسبية Relative Velocity

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

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

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

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

وتكتب المعادلة الرياضية السابقة عموماً على النحو الآتي:

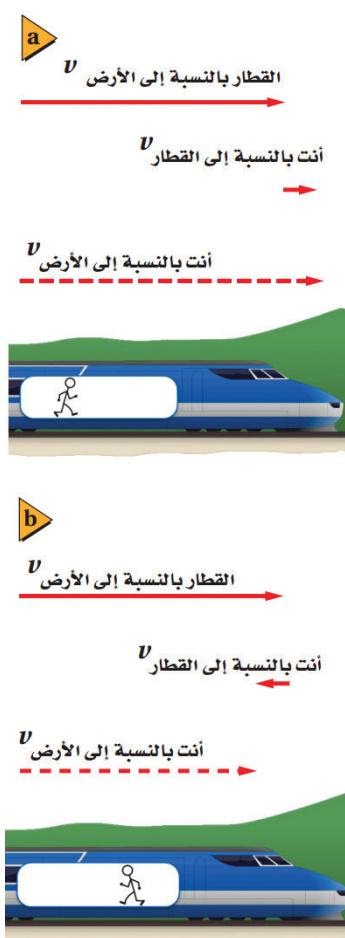
$$v_{a/c} = v_{a/b} + v_{b/c}$$

السرعة المتجهة النسبية

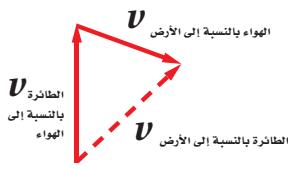
سرعة الجسم  $a$  بالنسبة إلى الجسم  $c$  هي حاصل الجمع الاتجاهي لسرعة الجسم  $a$  بالنسبة إلى الجسم  $b$ ، ثم سرعة الجسم  $b$  بالنسبة إلى الجسم  $c$ .

### الأهداف

- تحلل حالات تكون فيها مجموعة المحاور متحركة.
- تحلل مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.



**الشكل 6-9** عندما يتحرك نظام المحاور فإن السرعتين تضافان إذا كانت الحركتان في اتجاه واحد، وتُطرح إحداهما من الأخرى إذا كانت الحركتان متعاكستان.

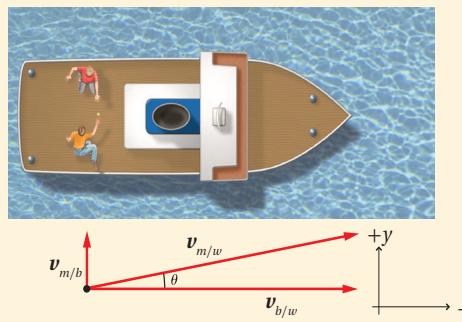


■ **الشكل 10-6** يمكن إيجاد السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض بالجمع الاتجاهي.

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

### مثال 3

**السرعة المتجهة النسبية لكرة** يركب أحمد وجمال قاربًا يتحرك في اتجاه الشرق بسرعة  $4.0 \text{ m/s}$ . درج أحد كرة بسرعة  $0.75 \text{ m/s}$  في اتجاه الشمال في عرض القارب في اتجاه جمال. ما سرعة الكرة المتجهة بالنسبة إلى الماء؟



#### 1 تحليل المسألة ورسمها

- أنشئ مجموعة محاور.
- ارسم متجهات تمثل سرعة القارب بالنسبة إلى الماء، وسرعة الكرة بالنسبة إلى القارب. حيث ترمز  $m$  للكرة، و  $b$  للقارب، و  $w$  للماء.

**المجهول**

$$v_{m/w} = ?$$

**المعلوم**

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

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

#### 2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن السرعتين متعمدتين، استعمل نظرية فيثاغورس.

$$\begin{aligned} (v_{m/w})^2 &= (v_{m/b})^2 + (v_{b/w})^2 \\ v_{m/w} &= \sqrt{(v_{m/b})^2 + (v_{b/w})^2} \\ &= \sqrt{(0.75 \text{ m/s})^2 + (4.0 \text{ m/s})^2} \\ &= 4.1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

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

#### دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوسظل 205

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{v_{m/b}}{v_{b/w}} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{0.75 \text{ m/s}}{4.0 \text{ m/s}} \right) \\ &= 11^\circ \end{aligned}$$

حساب مقدار الزاوية التي تحركت بها الكرة

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

تحريك الكرة بسرعة  $4.1 \text{ m/s}$  في اتجاه يصنع زاوية  $11^\circ$  شمال الشرق.

#### 3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ بين تحليل الوحدات أن السرعة ستكون بوحدة  $\text{m/s}$ .
- هل الإشارات معنى؟ ستكون الإشارات جميعها موجبة.
- هل الجواب منطقي؟ السرعة المحسوبة قريبة من القيم الأخرى للسرعة المعطاة في المثال.

19. إذا كنت تركب قطاراً يتحرك بسرعة مقدارها  $15.0 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى الأرض، وركضت مسراً في اتجاه مقدمة القطار بسرعة  $2.0 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى القطار، فما سرعتك بالنسبة إلى الأرض؟
20. يتحرك قارب في نهر بسرعة  $2.5 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى الماء. بينما يسجل سرعة ذلك القارب راصداً يقف على ضفة النهر  $0.5 \text{ m/s}$  بالنسبة إليه. ما سرعة ماء النهر؟ وهل يتحرك ماء النهر في اتجاه حركة القارب أم في اتجاه معاكس؟
21. تطير طائرة في اتجاه الشمال بسرعة  $150 \text{ km/h}$  بالنسبة إلى الهواء، وتهب عليها رياح في اتجاه الشرق بسرعة  $75 \text{ km/h}$  بالنسبة إلى الأرض. ما سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض؟

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

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

### الربط مع الأحياء

تجربة  
عملية

السرعة النسبية

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثرائية



### مسألة تحضير

يُدور طارق حجراً كتلته  $m$  مربوطة بحبيل في مسار دائري أفقى فوق رأسه، فكان ارتفاع الحجر فوق سطح الأرض  $h$ . ويمثل  $r$  نصف قطر الدائرة، و $F_T$  مقدار قوة الشد في الحبل. وفجأة انقطع الحبل وسقط الحجر على الأرض، فقطع مسافة أفقية  $s$  من لحظة انقطاع الحبل إلى ارتطامه بالأرض. أوجد تعبيراً رياضياً للمسافة بدلالة كل من  $F_T$  و  $r$  و  $m$  و  $h$  و  $s$ . هل يتغير التعبير الرياضي إذا تحرك طارق بسرعة  $0.50 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى الأرض؟

### 3- مراجعة

- اتجاه الشرق بسرعة  $85 \text{ km/h}$  بالنسبة إلى الأرض.  
ما مقدار سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
25. **السرعة النسبية لطائرة** طير طائرة شمالاً بسرعة  $235 \text{ km/h}$  بالنسبة إلى الهواء، وتهب رياح في اتجاه الشمال الشرقي بسرعة  $65 \text{ km/h}$  بالنسبة إلى الأرض. احسب مقدار سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
26. **التفكير الناقد** إذا كنت تقود قارباً عبر نهر يتحرك ماؤه بسرعة كبيرة، وتريد أن تصل إلى الرصيف في الجهة المقابلة تماماً لنقطة انطلاقك، فصف كيف توجه القارب بدلاً من مركبتي سرعتك بالنسبة إلى الماء؟

22. **السرعة النسبية قارب صيد** سرعة القصوى  $3 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى ماء نهر يجري بسرعة  $2 \text{ m/s}$ . ما أقصى سرعة يصل إليها القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وما أدنى سرعة يصل إليها؟ اذكر اتجاه القارب بالنسبة إلى الماء في الحالتين السابقتين.
23. **السرعة النسبية لقارب** يسير قارب سريع في اتجاه الشمال الغربي بسرعة  $13 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى ماء نهر يتجه في اتجاه الشمال بسرعة  $5.0 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى ضفته. ما مقدار سرعة القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وما اتجاهها؟
24. **السرعة النسبية طير طائرة** طير طائرة في اتجاه الجنوب بسرعة  $175 \text{ km/h}$  بالنسبة إلى هواء، وهناك رياح تهب في

# مختبر الفيزياء • صمم تجربتك

## إلى الهدف

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

### سؤال التجربة

ما العوامل التي تؤثر في مسار مقذوف؟

#### الخطوات

- فَكّر في العوامل التي قد تؤثر في مسار المقذوفات ودوّنها.
- ضع تصمييك الخاص بأداة إطلاق المقذوفات، وحدد أي جسم سيكون هدفاً للمقذوفات؟
- خذ في الاعتبار تصميم أداة إطلاق المقذوفات، وحدد العاملين الرئيسيين المؤثرين في مسار المقذوفات التي ستطلقها.
- اخبر الأداة التي صممتها، وناقش العوامل المؤثرة فيها مع معلمك، ثم أجرِ التعديلات الضرورية.
- اقتراح أسلوبًا لتحديد أثر العوامل التي دونتها في مسار المقذوفات.
- احصل على موافقة المعلم على الطريقة التي ستبعها قبل جمع البيانات.

#### الأهداف

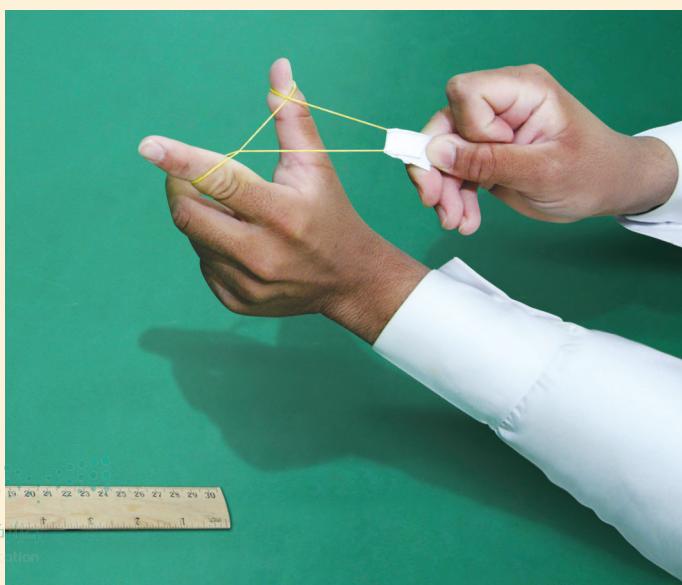
- تصمم نهادج قاذفات، ثم تلخص العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف.
- تستعمل النهادج لتوقع مكان هبوط المقذوف.

#### احتياطات السلامة



#### المواد والأدوات

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



**جدول البيانات 1**

زاوية الإطلاق (الدرجات)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)

**جدول البيانات 2**

مقدار استطالة قطعة المطاط (cm)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)

**التوسيع في البحث****التحليل**

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

- أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** مثل بيانيًّا البيانات التي حصلت عليهالتتوقع كيف يمكنك إصابة الهدف.
- حلل** ما العلاقات بين كل متغير اختبرته وبين المسافة التي يقطعها المقذوف؟

**الاستنتاج والتطبيق**

- في لعبة كرة القدم يُقال إن الرياح تلعب مع الفريق أو تلعب ضده.
- لماذا يتم تبديل مرمي الفريقين في الشوط الثاني؟
  - ما الزاوية التي يقذف بها حارس المرمى الكرة لتصل إلى أبعد مدى ممكن؟

- ما العوامل الرئيسية المؤثرة في مسار المقذوف؟
- توقع الشروط الضرورية لإصابة الهدف الذي زودك به المعلم.
- فسر** إذا وضعت خطة متكاملة ونفذتها، إلا أنه لم تصب الهدف في المحاولة الأولى، فهل يمكن أن تكون المشكلة في قوانين الفيزياء؟ وضح ذلك.
- أطلق مقدوفك نحو الهدف، وإذا أخطأت الهدف فأجرِ التعديلات الضرورية، ثم حاول ثانية.

# تقنية المستقبل

## محطات الفضاء الدوارة Spinning Space Stations



عمل فني لمحطة فضاء دوارة

تخيل محطة فضاء على هيئة حلقة كبيرة! إن الأشياء والأجسام كلها داخل المحطة سوف تطفو في حالة انعدام الوزن. وإذا دارت الحلقة في حركة مغزليّة فإن الأجسام داخلها ستلتتصق بها بسبب الحركة الدورانية. وإذا سرّعت المحطة بمعدل صحيح وكان لها قطر مناسب فإن الحركة الدورانية تجعل من في الداخل يشعرون بقوة مساوية لقوة الجاذبية. إن الاتجاه السفلي للمحطة الفضائية يبدو - لمراقب يشاهده من خارج المحطة - كشعاع خارج منها بعيداً عن مركز الحلقة. وتتناسب القوة المركزية طردياً مع البعد عن مركز الجسم الدوار عند ثبات الزمن الدوري. لذا يمكن بناء محطة فضاء دوارة مكونة من حلقات متحددة في المركز، ولكل حلقة جاذبية مختلفة. فالحلقة الداخلية يكون لها أصغر جاذبية، في حين تتأثر الحلقة الخارجية بأكبر قوة.

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

ومن أهداف ISS اختبار المؤثرات في جسم الإنسان عند العيش في الفضاء فترات زمنية طويلة. وملاحظة ظهور أي مؤثرات سلبية في الصحة، ودراسة إمكانية منها، مما يمكن الإنسان من العيش في الفضاء زمناً أطول.

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

**دوران محطة الفضاء** هل سبق أن ركبت لعبة في مدينة الألعاب تعمل بالقوة المركزية؟ يقف كل شخص مستندًا إلى حاجز أسطواني كبير، ثم تأخذ الأسطوانة في الدوران أسرع فأسرع، بحيث يشعر كل شخص أنه مضغوط إلى الجدار. ونتيجة للتسارع المركزي يتتصق كل شخص بالجدار ويبقى على هذه الحال حتى لو فتحت أرضية الأسطوانة الدوارة. يمكن تصميم المركبة الفضائية على أن تستغل تأثيرات الحركة الدورانية بدلاً من قوة الجاذبية.

### التوسيع

- ابحث** عن العوامل التي ينبغي أن يراعيها المصممون لعمل محطة دوارة تحاكي جاذبية الأرض.
- طبق** إذا كنت رائد فضاء في محطة دوارة، وشعرت بقوة تدفعك بعيداً عن جدار المحطة، ففسّر ما يجري بدلالة قوانين نيوتن والقوة المركزية.
- تفكير ناقد** ما المزايا التي تمنحها المحطة الدوارة لروادها؟ وما سلبياتها؟

# الفصل 6

## دليل مراجعة الفصل

### 1–6 حركة المقذوف Projectile Motion

#### المفاهيم الرئيسية

- الحركة الرأسية والأفقية لل المقذوف مستقلتان.
- المركبة الرأسية لحركة المقذوف لها تسارع ثابتة.
- إذا أهملنا مقاومة الهواء فلن يكون للمركبة الأفقية لحركة المقذوف تسارع، وتكون سرعتها المتجهة ثابتة.
- تحل مسائل حركة المقذوفات أولًا باستعمال الحركة الرأسية لربط الارتفاع، وزمن التحلق، والسرعة الابتدائية الرأسية، ثم نجد المسافة المقطوعة أفقياً.
- يعتمد المدى الأفقي على تسارع الجاذبية وعلى مركبتي السرعة المتجهة الابتدائية.
- يُسمى المسار الذي يتبعه المقذوف في الهواء القطع المكافئ.

#### المفردات

- المقذوف
- مسار المقذوف
- المدى الأفقي
- زمن التحلق

### 2–6 الحركة الدائرية Circular Motion

#### المفاهيم الرئيسية

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

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

يمكن التعبير عن التسارع المركزي بدالة الزمن الدوري  $T$ .

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

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

$$F_{\text{محصلة}} = ma_c$$

متوجه السرعة لجسم له تسارع مركزي يكون دائمًا في اتجاه الماس للمسار الدائري.

#### المفردات

- الحركة الدائرية المنتظمة
- التسارع المركزي
- القوة المركبة

### 3–6 السرعة المتجهة النسبية Relative Velocity

#### المفاهيم الرئيسية

- يمكن استعمال الجمع الاتجاهي لحل مسائل السرعة المتجهة النسبية.

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

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



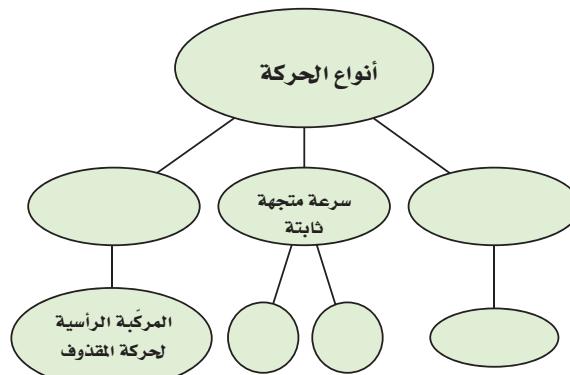
# الفصل

## التقويم

# 6

### خريطة المفاهيم

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



### تطبيق المفاهيم

33. كرّة البيسبول قذفت كرّة رأسياً إلى أعلى بسرعة متجهة  $20 \text{ m/s}$ . ما سرعة الكرة المتجهة عند عودتها إلى نقطة الإطلاق نفسها؟ أهمل مقاومة الهواء.

34. كرّة القدم يرمي لاعب كرّة بسرعة  $24 \text{ m/s}$  في اتجاه يصنع زاوية  $45^\circ$  مع الأفقي. فإذا استغرقت الكرة  $3.0 \text{ s}$  للوصول إلى أقصى ارتفاع لها، فما التقطت عند الارتفاع نفسه الذي رُميت منه، فيما زمن تحليقها في الهواء؟ مع إهمال مقاومة الهواء.

35. إذا كنت تعتقد أن ما تعلّمته في هذا الفصل يؤدي إلى تحسين أدائك في الوثب الطويل، فهل يؤثر الارتفاع الذي تصلك إليه في وثبك؟ وما الذي يؤثر في طوّلها؟

36. تخيل أنك تجلس في سيارة وتقدّف كرّة رأسياً إلى أعلى.

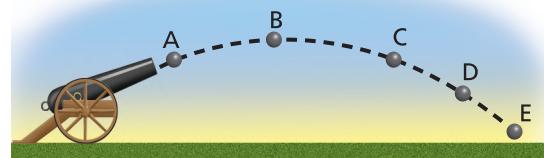
a. إذا كانت السيارة تتحرّك بسرعة متجهة ثابتة فهل تسقط الكرّة أمامك أم خلفك، أم في يدك؟

b. إذا كانت السيارة تتحرّك في منعطف بسرعة ثابتة المدار فأين تسقط الكرّة؟

### إتقان المفاهيم

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

- a. أين يكون مقدار المركبة الرأسية للسرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟
- b. أين يكون مقدار المركبة الأفقية للسرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟
- c. أين تكون السرعة المتجهة الرأسية أقل ما يمكن؟
- d. أين يكون مقدار التسارع أقل ما يمكن؟



الشكل 6-11

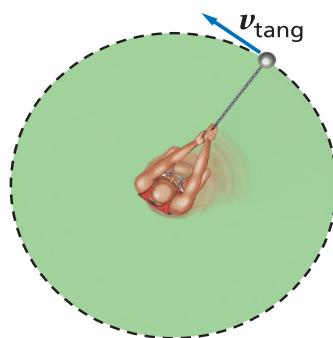
29. ألقى قائد طائرة تحرّك بسرعة متجهة ثابتة وعلى ارتفاع ثابت رزمه ثقيله. إذا أهملت مقاومة الهواء فأين تكون الطائرة بالنسبة للرزمة عندما ترتطم

# تقدير الفصل 6

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

## 6-2 الحركة الدائرية

42. سباق السيارات تكمل سيارة كتلتها  $615 \text{ kg}$  دورة سباق في مضمار دائري نصف قطره  $50.0 \text{ m}$  في  $14.3 \text{ s}$ . إذا تحركت السيارة بسرعة ثابتة المدار  
a. فما مقدار تسارع السيارة؟  
b. وما مقدار القوة التي تؤثر بها الطريق في عجلات السيارة لتنجح هذا التسارع؟
43. رمي كرة يدور لاعب كرة كتلتها  $7.00 \text{ kg}$  مربوطة في سلسلة طولها  $1.8 \text{ m}$ ، وتحرك في دائرة أفقيّة كما في الشكل 6-13. إذا أتمت الكرة دورة واحدة في  $1.0 \text{ s}$ ، فاحسب مقدار تسارعها المركزي؟ واحسب كذلك مقدار قوة الشد في السلسلة؟



الشكل 6-13

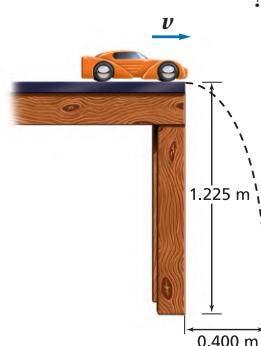
44. يوفر الاحتكاك للسيارة القوة اللازمة للمحافظة على حركتها في مسار دائري أفقي مستو خلال السباق. ما أقصى سرعة يمكن للسيارة أن تتحرك بها، علمًا بأن نصف قطر المسار  $80.0 \text{ m}$ ، ومعامل الاحتكاك السكوني بين العجلات والشارع  $0.40$ ؟

37. الطريق السريع إذا أردت أن تتجاوز سيارة بسيارتكم على الطريق السريع، وكانت السيارات تسيران في الاتجاه نفسه فسوف تستغرق زمناً أطول مما لو كانت السيارات تسيران في اتجاهين متعاكسين. فسر ذلك.

## إتقان حل المسائل

### 6-1 حركة المندوف

38. إذا ألقيت مفاتيح سيارتكم أفقياً من فوق سطح بناءً ارتفاعها  $64 \text{ m}$ ، وكانت سرعة المفاتيح  $8.0 \text{ m/s}$ ، فعلى أي بعد من قاعدة البناء ستبحث عنها؟
39. يبين الشكل 6-12 نموذجاً لسيارة لعبة تسقط من حافة طاولة ارتفاعها  $1.22 \text{ m}$  لتصطدم بالأرض على بعد  $0.40 \text{ m}$  من قاعدة الطاولة.  
a. ما الزمن الذي تستغرقه السيارة في الهواء؟  
b. ما مقدار سرعة السيارة لحظة مغادرتها سطح الطاولة؟



الشكل 6-12

40. رمي لاعب سهماً في اتجاه أفقي بسرعة  $12.4 \text{ m/s}$ ، فأصاب السهم اللوحة عند نقطة أخفض  $0.32 \text{ m}$  من مستوى نقطة الإطلاق. احسب بعد اللاعب عن اللوحة.
41. الرماية رمي سهم سرعته  $49 \text{ m/s}$  في اتجاه يصنع زاوية  $30.0^\circ$  مع الأفقي فأصاب الهدف.  
a. ما أقصى ارتفاع يصل إليه السهم؟

# تقويم الفصل 6

بسرعة  $782 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى الطائرة، فما سرعة  
القذيفة بالنسبة إلى الأرض؟

49. كرة كتلتها  $1.13 \text{ kg}$  مربوطة في نهاية خيط طوله  $0.50 \text{ m}$ ، وتحرك حركة دائرية منتظمة في مستوى رأسى بسرعة ثابتة مقدارها  $2.4 \text{ m/s}$ . احسب مقدار قوة الشد في الخيط عند أخفض نقطة في المسار الدائري.

## التفكير الناقد

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



الشكل 6-15

51. **التحليل والاستنتاج** كرة مربوطة في نهاية خيط خفيف، وتحرك في مسار دائري في المستوى الرأسى، حلّل حركة هذا النظام وصفه، معأخذ قوة الجاذبية الأرضية وقوة الشد في الاعتبار. هل يتحرك هذا النظام حركة دائرية منتظمة؟ فسر إجابتك.

## مراجعة تراكمية

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

.a.  $(5 \times 10^8 \text{ m})(4.2 \times 10^7 \text{ m})$

.b.  $(1.67 \times 10^{-2} \text{ km})(8.5 \times 10^{-6} \text{ km})$

.c.  $(2.6 \times 10^4 \text{ kg})/(9.4 \times 10^3 \text{ m}^3)$

.d.  $(6.3 \times 10^{-1} \text{ m})/(3.8 \times 10^2 \text{ s})$

## 6-3 السرعة المتجهة النسبية

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

46. **عبور نهر** إذا كنت تجذف بقاربك في الشكل 6-14 في اتجاه عمودي على ضفة نهر يتدفق الماء فيه بسرعة  $(v_w)$  تساوي  $3.0 \text{ m/s}$ ، وكانت سرعة قاربك بالنسبة إلى الماء  $(v_b)$  تساوي  $4.0 \text{ m/s}$ ، فما سرعة قاربك بالنسبة إلى ضفة النهر؟

- a. احسب مركبتي السرعة المتجهة لقاربك الموازية لضفة النهر، والعمودية عليها.



الشكل 6-14

47.  **التجديف** إذا كنت تجذف في نهر يتدفق في اتجاه الشرق، ولأنَّ معرفتك بالفيزياء - وخصوصاً بالسرعة النسبية - جيدة فإنك توجه قاربك في اتجاه يصنع زاوية  $53^\circ$  غرب الشمال، وبسرعة  $6.0 \text{ m/s}$  في اتجاه الشمال بالنسبة إلى ضفة النهر.

- a. احسب سرعة تيار الماء.  
b. ما سرعة قاربك بالنسبة إلى ماء النهر؟

## مراجعة عامة

48. **اطلاق قذيفة** تتحرك طائرة بسرعة  $375 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى الأرض. فإذا أطلقت قذيفة إلى الأمام

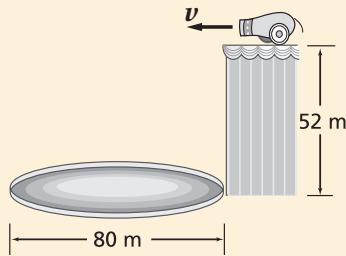


# اختبار مقاييس

- 32 m (C)      0.70 m (A)  
33 m (D)      16 m (B)
7. أُسقطت برتقالة من ارتفاع معين في اللحظة نفسها التي أطلقت فيها رصاصةً أفقياً من بندقية من الارتفاع نفسه. أي العبارات الآتية صحيحة؟  
 (A) تسارع الجاذبية الأرضية أكبر على البرتقالة، لأن البرتقالة أثقل.  
 (B) تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الرصاصة بصورة أقل من البرتقالة؛ لأن الرصاصة أسرع كثيراً.  
 (C) ستكون سرعاتها متساوية.  
 (D) سيصطدم الجسمان بالأرض في اللحظة نفسها.

## الأسئلة الممتدة

8. يُطلق قذيفة مدفع (كرة مملوءة بريش ملون) أفقياً بسرعة مقدارها  $25 \text{ m/s}$  من منصة ارتفاعها  $52 \text{ m}$  فوق حلقة قطرها  $80 \text{ m}$  في قاعة سيرك. هل تسقط الكرة ضمن حلقة السيرك أم تتجاوزها؟



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

## إرشاد ✓

### تدريب تحت ظروف مشابهة للاختبار

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

## أسئلة الاختيار من متعدد

### اختر رمزاً لإجابة الصحيحة فيما

يأتي:

1. يرمي طالب طوله  $1.60 \text{ m}$  كرة في اتجاه يصنع زاوية  $41.0^\circ$  مع الأفقي، وبسرعة ابتدائية  $9.40 \text{ m/s}$ . على أي بعد من الطالب تسقط الكرة؟  
 (A) 8.90 m  
 (B) 4.55 m  
 (C) 10.5 m  
 (D) 5.90 m
2. تقف نحلة على حافة عجلة دوّارة، وعلى بعد  $2.8 \text{ m}$  من المركز. إذا كان مقدار السرعة الملامسة للنحلة  $0.89 \text{ m/s}$ ، فما مقدار تسارعها المركزي؟  
 (A)  $0.11 \text{ m/s}^2$   
 (B)  $0.32 \text{ m/s}^2$   
 (C)  $0.28 \text{ m/s}^2$   
 (D)  $2.2 \text{ m/s}^2$

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

- (A)  $2.8 \text{ m/s}$   
 (B)  $4.9 \text{ m/s}$   
 (C)  $3.1 \text{ m/s}$   
 (D)  $9.8 \text{ m/s}$

4. تدخل سيارة كتلتها  $1000 \text{ kg}$  مساراً دائرياً نصف قطره  $80.0 \text{ m}$ ، بسرعة مقدارها  $20.0 \text{ m/s}$ . ما مقدار القوة المركزية التي سببها الاحتكاك بحيث لا تنزلق السيارة؟  
 (A)  $5.0 \text{ N}$   
 (B)  $5.0 \times 10^3 \text{ N}$   
 (C)  $1.0 \times 10^3 \text{ N}$   
 (D)  $2.5 \times 10^2 \text{ N}$

5. يركض طالب على ضفة نهر بسرعة مقدارها  $10 \text{ km/h}$  ويرى قارباً يتقدم نحوه بسرعة مقدارها  $20 \text{ km/h}$ . ما مقدار سرعة اقتراب الطالب من القارب؟  
 (A)  $3 \text{ m/s}$   
 (B)  $40 \text{ m/s}$   
 (C)  $8 \text{ m/s}$   
 (D)  $100 \text{ m/s}$

6. ما أقصى ارتفاع تصل إليه تفاحة كتلتها  $125 \text{ g}$  تُقذف في اتجاه يميل على الأفقي بزاوية مقدارها  $78^\circ$  وبسرعة ابتدائية مقدارها  $18 \text{ m/s}$ ؟  
 (A)  $18 \text{ m/s}$   
 (B)  $78^\circ$   
 (C)  $125 \text{ g}$   
 (D)  $125 \text{ m}$



# مصادر تعليمية للطالب



- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات



# دليل الرياضيات

الرياضيات  
الابتدائية

$a \times b$ $ab$ $a(b)$	$\Delta$ التغير في الكمية $\pm$ زائد أو ناقص الكمية $\approx$ يتناسب مع $=$ يساوي
$a \div b$ $a/b$ $\frac{a}{b}$	$\approx$ تقريباً يساوي $\equiv$ يكفي
$\sqrt{a}$	$\leq$ أقل من أو يساوي
$ a $	$\geq$ أكبر من أو يساوي
$\log_b x$ لوغاريتم $x$ بالنسبة إلى الأساس $b$	<> أقل جداً من $\equiv$ يعرف كـ

## I. الرموز symbols

## II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

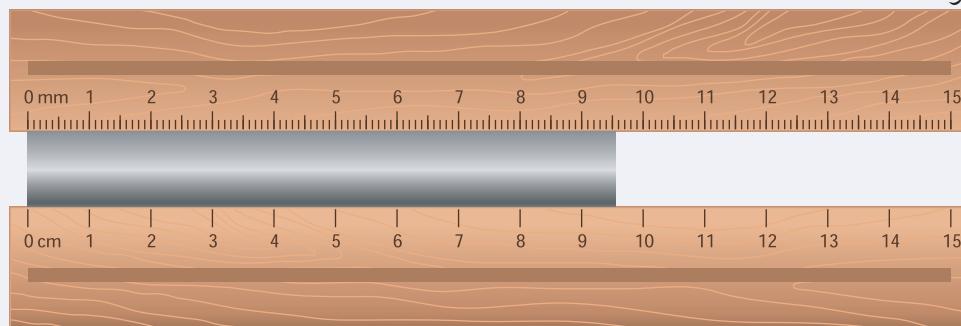
ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعد الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

### الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعد الدقة مقاييساً للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الصغرى في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدراً.

مثال: ما الرقم المقدر لكل من مسطرة قياس موضحة في الشكل أدناه واستخدمة لقياس طول القضيب الفلزى؟  
باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزى بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء عشرى من المستندر. وإذا كان الطول المقى يقع تماماً 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 المستندر، وإذا كان الطول المقى يقع تماماً عند 9.5 cm أو 9.6 cm فيجب عليك تسجيل القياس 9.60 cm أو 9.50 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 الصافي تعد أرقاماً 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: حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

استعمال القاعدتين 1 و 2	5.0 g يتضمن رقمين معنويين
استعمال القاعدتين 1 و 2	14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 2 و 4	0.0 يتضمن رقمًا معنوياً واحداً
استعمال القواعد 1 و 2 و 3	300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 1 و 3	5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 1 و 3	304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية
استعمال القواعد 1 و 2 و 4	0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)
استعمال القاعدتين 1 و 4	140 mm يتضمن رقمين معنويين (1 و 4 فقط)

## مسائل تدريبية

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

12.007 kg .d      1405 m .a

$5.8 \times 10^6$  kg .e      2.50 km .b

$3.03 \times 10^{-5}$  ml .f      0.0034 m .c

هناك حالتان تعد الأعداد فيها دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وتتضمن عدداً لا نهائياً من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وتتضمن عدداً لا نهائياً من الأرقام المعنوية.



# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى

## التقرير Rounding

يمكن تقرير العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريرها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقرير إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويبقى الرقم الأخير في العدد المقرب دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقرير إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقرير إليه هو 5 متبعاً برقم غير صفرى فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرب بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقرير إليه يساوى 5 ومتبعاً بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى فانظر إلى الرقم المعنوي الآخر، فإذا كان فردياً فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجياً فلا تزده.

أمثلة: قرب الأرقام الآتية للعدد المعين إلى الأرقام المعنوية:

استعمال القاعدة 1	8.7645	تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية يتبع
استعمال القاعدة 2	8.7676	تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية يتبع
استعمال القاعدة 3	8.7519	تقريبه إلى رقمين معنويين يتبع
استعمال القاعدة 4	92.350	تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية يتبع
استعمال القاعدة 4	92.25	تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية يتبع

## مسائل تدريبية

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

- (1) 0.0034 m .a      (2) 1405 m .a  
(3) 12.007 kg .d      (2) 2.50 km .b

# دليل الرياضيات

## إجراءات العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفذ 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، وقرب النتيجة إلى أصغر قيمة دقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد  $m$   $1.456$  ،  $4.1$  و  $20.3$

القيم الأقل دقة هي  $4.1$  و  $20.3$ ؛ لأن كليهما تتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

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

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

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى

### الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساوياً لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين  $20.1 \ m$  و  $3.6 \ m$

$$(20.1 \ m)(3.6 \ m) = 72.36 \ m^2$$

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.

قرب النتيجة إلى رقمين معنويين

#### مسائل تدريبية

3. بسط التعبير الرياضية الآتية مستعملاً العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a.  $45 \ g - 8.3 \ g$  .b

a.  $2.33 \ km + 3.4 \ km + 5.012 \ km$

c.  $54 \ m \div 6.5 \ s$  .d

c.  $3.40 \ cm \times 7.125 \ cm$

# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى

## المجاميع Combination

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

أمثلة:

$$\begin{aligned} d &= 19 \text{ m} + (25.0 \text{ m/s})(2.50 \text{ s}) + \frac{1}{2} (-10.0 \text{ m/s}^2)(2.50)^2 \\ &= 5.0 \times 10^1 \text{ m} \end{aligned}$$

المقدار  $19 \text{ m}$  يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$\begin{aligned} m &= \frac{70.0 \text{ m} - 10.0 \text{ m}}{29 \text{ s} - 11 \text{ s}} \\ &= 3.3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

و  $11 \text{ s}$  و  $29 \text{ s}$  يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

## الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُتجه عملية تقرير الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقرير إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهاية في الحل عليك أن تقرب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

مثال:

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{(24 \text{ N})^2 + (36 \text{ N})^2} \\ &= \sqrt{576 \text{ N}^2 + 1296 \text{ N}^2} \\ &= \sqrt{1872 \text{ N}^2} \\ &= 43 \text{ N} \end{aligned}$$

لا تُتجه التقرير إلى  $580\text{N}^2$  و  $1300\text{N}^2$

لا تُتجه التقرير إلى  $1800\text{N}^2$

النتيجة النهاية، هنا يجب أن نقرب إلى رقمين معنويين

# دليل الرياضيات

الطبعة  
الثانية  
الطبعة  
الثانية

## III. إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات الآتية باستخدام الأسس فإن كلاً من  $a$  ،  $b$  يمكن أن يكونا أرقاماً أو متغيرات.

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

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

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

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

القوة مرفوعة لقوة: لايجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة استخدم الأساس نفسه واضرب الأساس معًا، كما هو موضح في

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

الجذر مرفوع لقوة: لايجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسمأس القوة علىأس الجذر، كما هو

$$\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$$

القوة لحاصل الضرب: لايجاد القوة لحاصل الضرب  $a$  و  $b$  ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا،

$$(ab)^n = a^n b^n$$

### مسائل تدريبية

4. اكتب الصيغة المكافئة مستعملاً خصائص الأسس.

$$x^2 \sqrt{x} \cdot d \quad (d^2 n)^2 \cdot c \quad \sqrt{t^3} \cdot b \quad \frac{x^2 t}{x^3} \cdot a$$

$$\frac{m}{q} \sqrt{\frac{2qv}{m}} \quad 5$$

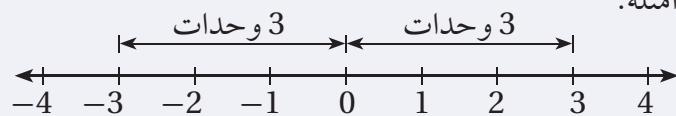
## Absolute Value القيمة المطلقة

إن القيمة المطلقة للرقم  $n$  عبارة عن قيمةه 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:

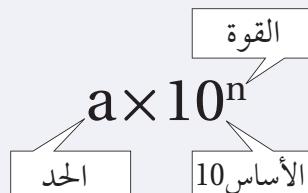
$$|3| = 3$$

$$|-3| = 3$$



## III. التعبير العلمي Scientific Notation

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



# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى

**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  $6.73 \times 10^{-28} \text{ kg}$ ، وتكتب كثافة الماء على الصورة  $1.000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تماماً، وذلك لأربعة أرقام معنوية. لذا عند كتابة كثافة الماء على الصورة  $1000 \text{ kg/m}^3$  فهذا يشير إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًا 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 تماماً 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  $a < 10$ ، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد  $a$  لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوية للرقم 10. وتبيّن الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال  $e$  للأسس كما في  $2.4 \times 10^{11} = 2.4 \text{ e}+11$  وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيّن الأس أو يوجد غالباً على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبياً لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 بدلالة العلمية.

إن قيمة  $a$  هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفرى)، لذلك سيكون الشكل في صورة  $7.53 \times 10^n$ .

$$7,530,000 = 7.53 \times 10^6$$

هناك ست منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6

لكتابه الصورة القياسية للرقم المعتبر عنه بدلاته العلمية اكتب قيمة  $a$ ، وضع أصفاراً إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم  $a$  عدّة منازل إلى اليمين.

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

مثال: اكتب الرقم الآتي في صورته القياسية

## إجراء العمليات الرياضية بدلاتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعتبر عنها بدلاتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

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

$$(4.0 \times 10^{-8}) (1.2 \times 10^5) = (4.0 \times 1.2) (10^{-8} \times 10^5)$$

جمع الحدود والأرقام ذات الأساس 10

$$= (4.8) (10^{-8+5})$$

أوجد حاصل ضرب الحدود

$$= (4.8) (10^{-3})$$

اجمع القوى للأساس 10

$$= 4.8 \times 10^{-3}$$

أعد صياغة النتيجة بدلاتها العلمية

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

مثال: بسيط

$$\begin{aligned} \frac{9.60 \times 10^7}{1.60 \times 10^3} &= \left( \frac{9.60}{1.60} \right) \times \left( \frac{10^7}{10^3} \right) \\ &= 6.00 \times 10^{7-3} \\ &= 6.00 \times 10^4 \end{aligned}$$

جمع الحدود والأرقام ذات الأساس 10

قسم الحدود واطرح القوس للأساس 10

# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالةتها العلمية هي عملية تحدّ 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: بسط

$$(3.2 \times 10^5) + (4.8 \times 10^5) = (3.2 + 4.8) \times 10^5 \\ = 8.0 \times 10^5$$

جمع الحدود

اجمع الحدود

مثال: بسط

$$(3.2 \times 10^5) + (4.8 \times 10^4) = (3.2 \times 10^5) + (0.48 \times 10^5) \\ = (3.2 + 0.48) \times 10^5 \\ = 3.68 \times 10^5 \\ = 3.7 \times 10^5$$

أعد كتابة  $4.8 \times 10^4$  على صورة  $0.48 \times 10^5$

جمع الحدود

اجمع الحدود

قرّب النتيجة مستعملاً قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية.

## 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 ت يريد تقدير نتائج تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسط التعبير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسین المعقوقین [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسط التعبير الآتي:

$$4+3(4-1)-2^3 = 4+3(3)-2^3 \\ = 4+3(3)-8 \\ = 4+9-8 \\ = 5$$

الخطوة 1 ترتيب العمليات

الخطوة 2 ترتيب العمليات

الخطوة 3 ترتيب العمليات

الخطوة 4 ترتيب العمليات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تُجرِ عملية التقرير للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعبيرات رياضية في البسط وتعبيرات رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام



# دليل الرياضيات

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 تعبيراً رياضياً صحيحاً. وعند حل المعادلات طبق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيّاً من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

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

$$a(b+c) = ab+ac$$

$$a(b-c) = ab-ac$$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير الآتي:

$$\begin{aligned} 3(x+2) &= 3x + (3)(2) \\ &= 3x + 6 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} x-3 &= 7 \\ x-3+3 &= 7+3 \\ x &= 10 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} t+2 &= -5 \\ t+2-2 &= -5-2 \\ t &= -7 \end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \frac{1}{4}a &= 3 \\ \left(\frac{1}{4}a\right)(4) &= 3(4) \\ a &= 12 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} 6n &= 8 \\ \frac{18}{6} &= \frac{6n}{6} \\ n &= 3 \end{aligned}$$

# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى

مثال: حل المعادلة  $4t + 8 = 5t - 2$  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 متغيراً ذا معامل 1.

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

$$PV = nRT$$

$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

$$P\left(\frac{V}{V}\right) = \frac{nRT}{V}$$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

قسم طرفي المعادلة على  $V$

جمع  $\left(\frac{V}{V}\right)$

بالتعويض عن  $\frac{V}{V} = 1$

## مسائل تدريبية

6. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير  $x$ .

$$a = \frac{b+x}{c} \cdot d$$

$$2 + 3x = 17 \cdot a$$

$$6 = \frac{2x+3}{x} \cdot e$$

$$x - 4 = 2 - 3x \cdot b$$

$$ax + bx + c = d \cdot f$$

$$t - 1 = \frac{x+4}{3} \cdot c$$

## الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

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

أمثلة: بسط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)(a)} = a$$
$$\sqrt{9} = \sqrt{(3)(3)} = 3$$

تضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين.

ضع صفرتين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية.

قرب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين.



# دليل الرياضيات

الجذور التكعيبية

إن الجذر التكعيبية للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري  $\sqrt[3]{\text{أي استعمال الرقم } 3}$ ، عن الجذر التكعيبية. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبية أيضاً في صورة أنس  $\frac{1}{3}$  كما في  $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$ . مثال: بسط حدود الجذر التكعيبية الآتية:

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

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

## المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية  $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث  $a \neq 0$ ، وتحتاج المعادلة التربيعية متغيراً واحداً مرفوعاً للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعاً للأأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بالتمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانياً.

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 الآتية:

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

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

### مسائل تدريبية

7. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير  $x$ .

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

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

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

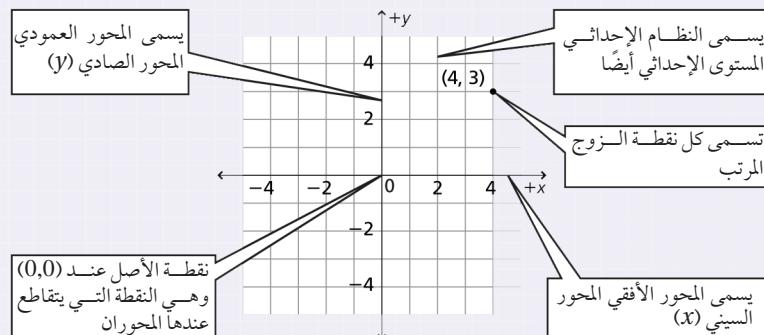
$$24x^2 - 14x - 6 = 0 . d$$

# دليل الرياضيات

الطبعة  
الثانية  
العلمي

## VI. التمثيل البياني للعلاقات The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مترادفين 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 يُغيّر أو يُعدل خلال التجربة)، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع (العامل الذي يعتمد على المتغير المستقل)، بحيث تمثل النقطة بإحداثيين ( $y, x$ ) يسميان أيضاً الزوج المرتب. وترتدىء دائمةً قيمة المتغير التابع ( $x$ ) أولاً في الزوج المرتب الذي يمثل  $(0,0)$  نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.



### Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعية، وعين محور كل منها مستعملاً أسماء المتغيرات.
3. عين مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدد ورقم المقايس.
4. عين كل نقطة بيانية.
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 بيانياً بسيطاً، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًا أو منحنى.
6. اكتب عنواناً 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

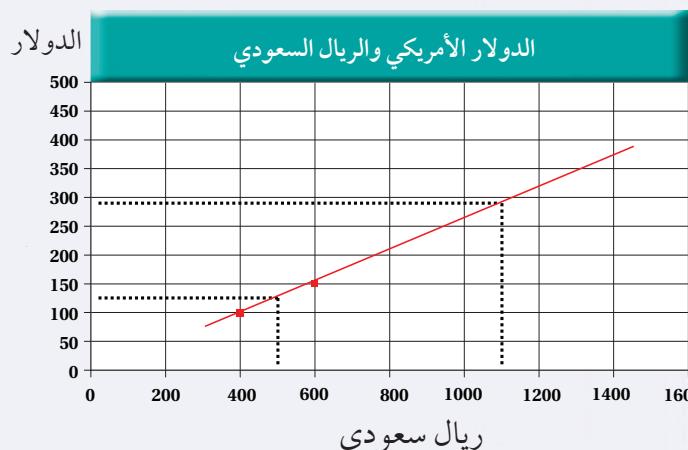
الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى

## الاستيفاء والاستقراء

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: مستعيناً بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السُّعر) المقابلة لـ 500 ريال.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 500 (400 ريال، 600 ريال، 600 ريال، 400 ريال)، ثم ارسم خطًّا مستمراً يصل بينهما.



ارسم الآن خطًّا متقطعاً عمودياً من النقطة (500 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعاً أفقياً يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولاراً.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 ريال.

ارسم خطًّا متقطعاً من النقطة (1100 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعاً أفقياً. ستجد أنه يتقطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولاراً.

## تفسير الرسم البياني الخطى

يوضح الرسم البياني الخطى العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

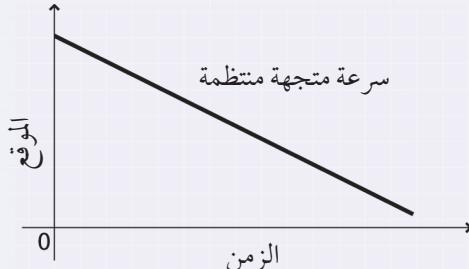
### ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع - الزمن).



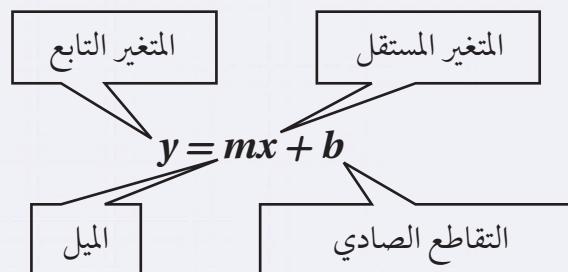
# دليل الرياضيات

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.

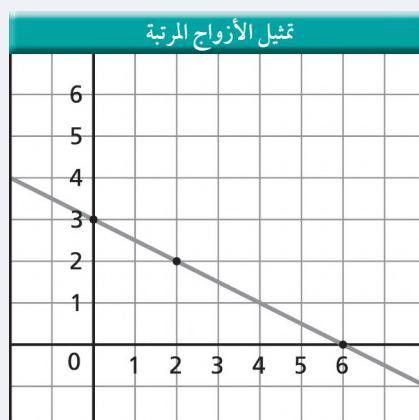


تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانياً قم باختيار ثلاثة قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عين زوجين مرتبين  $(y, x)$ ، وارسم أفضل خط يمر بالنقطات جميعها.

مثال: مثل بيانات المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.



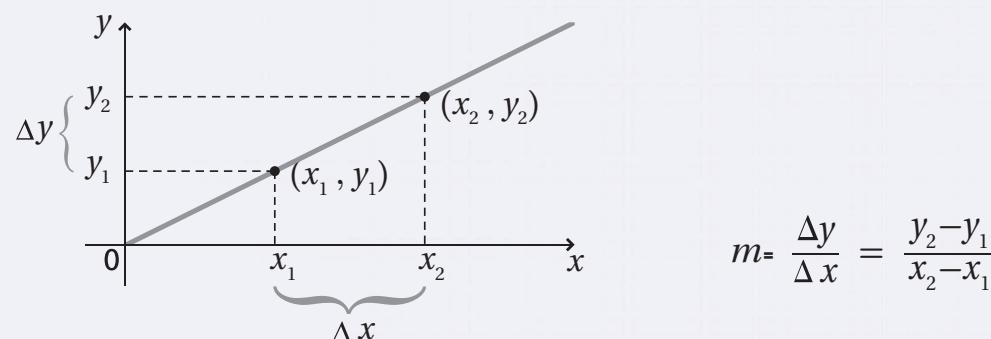
الأزواج المرتبة	
$x$	$y$
0	3
2	2
6	0

# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى

## Slope الميل

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 موجباً أو سالباً. 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  $\Delta y$  و  $\Delta x$  .



## التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صافي  $m$  ، بحيث كانت  $y = mx$  ، فإن  $y$  تتغير طردياً بـ  $x$ ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل  $x$  فإن المتغير التابع  $y$  يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين  $x$  و  $y$  يتناصفان تناصفيًا. 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 المعايدة (المُرجعة) للنابض المثالي  $F = -kx$  ، حيث  $F$  القوة المُرجعة،  $k$  ثابت النابض و  $x$  استطالة النابض، تغير القوة المُرجعة للنابض طردياً مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المُرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

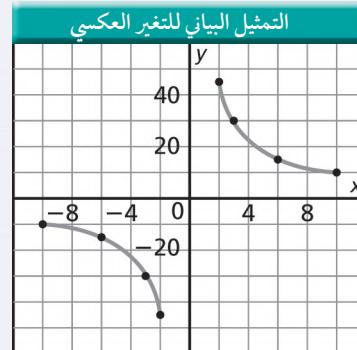
# دليل الرياضيات

## التغير العكسي Inverse Variation

إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صافي  $m$ ، بحيث كانت  $y = m/x$  ، فإن  $y$  تتغير عكسيًا بتغيير  $x$ ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل  $x$  فإن المتغير التابع  $y$  يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين  $x$  و  $y$  يتناصفان تناصفيًا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناصف العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$\begin{aligned}xy &= m \\y &= m \cdot \frac{1}{x} \\y &= \frac{m}{x}\end{aligned}$$

مثال: مثل المعادلة  $90 = xy$  بيانياً.



الأزواج المرتبة	
$x$	$y$
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة  $\frac{v}{f} = \lambda$  ، حيث  $\lambda$  الطول الموجي، و  $f$  التردد، و  $v$  سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناصف عكسيًا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما ازداد تردد الموجة تناقص الطول الموجي، أما  $v$  فتبقى قيمتها ثابتة.

# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى  
الطبعة الثانية  
الطبعة الثالثة

## التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

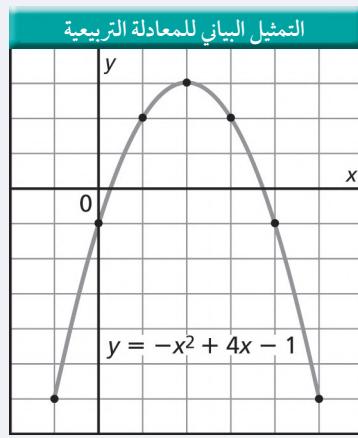
الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

$$y = ax^2 + bx + c$$

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 موجباً أو سالماً.

مثال: مثل بياً 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.

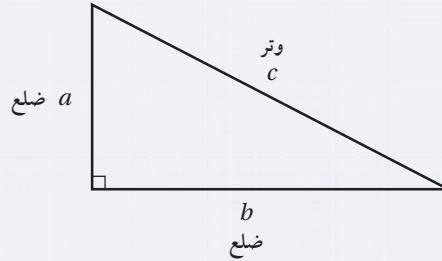


الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
3	1
6	2
11	3
18	4

# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى  
المطبوعة في المملكة العربية السعودية

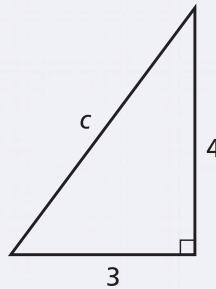
## المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من  $a$ ,  $b$ , يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت  $c$  تمثل قياس الوتر فإن  $c^2 = a^2 + b^2$  ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

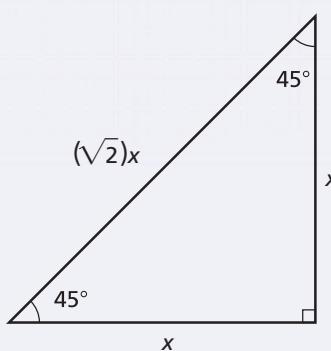
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر  $c$  في المثلث حيث  $a = 4 \text{ cm}$  و  $b = 3 \text{ cm}$

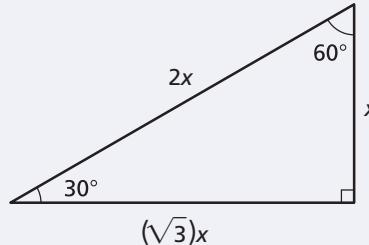


$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4 \text{ cm})^2 + (3 \text{ cm})^2} \\ &= \sqrt{16 \text{ cm}^2 + 9 \text{ cm}^2} \\ &= \sqrt{25 \text{ cm}^2} \\ &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية  $45^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  فإن طول الوتر يساوي  $\sqrt{2}$  مضروباً في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $30^\circ$  فإن طول الوتر يساوي ضعف طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي  $\sqrt{3}$  مرة من طول الضلع الأصغر.



# دليل الرياضيات

## النسب المثلثية Trigonometric Ratios

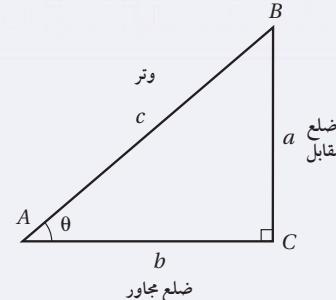
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعاً هي الجيب  $\theta$ ,  $\sin \theta$ , وجيب التمام  $\cos \theta$  والظل  $\tan \theta$ . ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات الآتية SOH–CAH–TOA. تشير SOH إلى جيب ، مقابل الوتر، وتشير CAH إلى جيب تمام، المجاور للوتر وتشير TOA إلى ظل تمام، مقابل المجاور.

الرمز	مساعدة الذاكرة	التعابير
$\sin \theta = \frac{a}{c}$	$\sin \theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	يشير $\sin \theta$ إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر
$\cos \theta = \frac{b}{c}$	$\cos \theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	يشير $\cos \theta$ إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.
$\tan \theta = \frac{a}{b}$	$\tan \theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	يشير $\tan \theta$ إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت  $c = 5 \text{ cm}$ ,  $b = 4 \text{ cm}$ ,  $a = 3 \text{ cm}$ ، فأوجد كلاً من  $\sin \theta$  و  $\cos \theta$

$$\sin \theta = \frac{3 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos \theta = \frac{4 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت  $c = 20.0 \text{ cm}$ ,  $\theta = 30.0^\circ$ , فأوجد  $a$  و  $b$ .

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0 \text{ cm}} \quad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0 \text{ cm}}$$

$$a = (20.0 \text{ cm}) (\sin 30.0^\circ) = 10.0 \text{ cm}$$

$$b = (20.0 \text{ cm}) (\cos 30.0^\circ) = 17.3 \text{ cm}$$

## قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

يمتحنكم قانوننا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس فيها عدا الحد الأخير. وتمثل  $\theta$  الزاوية المقابلة للضلع  $c$ . فإذا

كان قياس الزاوية  $90^\circ = \theta$  فإن جتا  $\theta = 0$  والحد الأخير يساوي صفرًا.



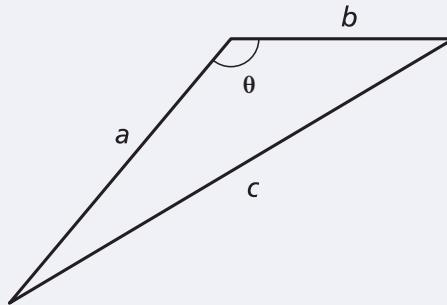
# دليل الرياضيات

الرياضيات  
المثلثات

وإذا كان قياس الزاوية  $\theta$  أكبر من  $90^\circ$  فإن جتا ( $\theta$ ) عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان  $\theta = 110.0^\circ$ ,  $b = 12.0 \text{ cm}$ ,  $a = 10.0 \text{ cm}$



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta}$$

$$= \sqrt{(10.0 \text{ cm})^2 + (12.0 \text{ cm})^2 - 2(10.0 \text{ cm})(12.0 \text{ cm})(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= \sqrt{1.00 \times 10^2 \text{ cm}^2 + 144 \text{ cm}^2 - (2.4 \times 10^2 \text{ cm}^2)(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= 18.1 \text{ cm}$$

## قانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكونة من ثلاثة مقادير معرفة، هي ثالث نسب، حيث  $A$ ,  $B$ ,  $C$  الأضلاع المقابلة للزوايا  $a$ ,  $b$ ,  $c$  بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin a}{A} = \frac{\sin b}{B} = \frac{\sin c}{C}$$

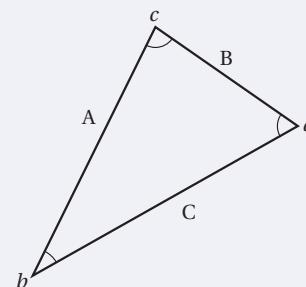
مثال: في المثلث أدناه، إذا كان  $\theta = 60.0^\circ$ ,  $C = 4.6 \text{ cm}$ ,  $A = 4.0 \text{ cm}$ ,  $c = 6.0 \text{ cm}$ ، فاحسب قياس الزاوية  $a$ .

$$\frac{\sin a}{A} = \frac{\sin c}{C}$$

$$\sin a = \frac{A \sin c}{C}$$

$$= \frac{(4.0 \text{ cm}) (\sin 60.0^\circ)}{4.6 \text{ cm}}$$

$$= 49^\circ$$



# دليل الرياضيات

الطبعة الأولى  
الطبعة الأولى

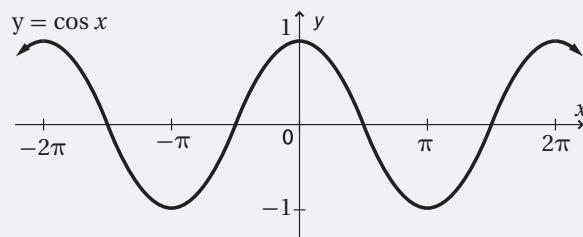
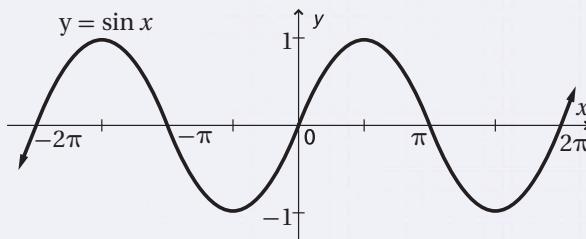
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

إن معكوس كل من الجيب وجيب التمام وظل التمام يمكنك من عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية، والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

المعكوس	اقتران المثلثي
$x = \sin y$ أو معكوس $y = \sin^{-1} x$	$y = \sin x$
$x = \cos y$ أو معكوس $y = \cos^{-1} x$	$y = \cos x$
$x = \tan y$ أو معكوس $y = \tan^{-1} x$	$y = \tan x$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، واقتران جيب التمام،  $y = \cos x$  هي اقترانات دورية. وفترة كل اقتران يمكن أن تكون كل من  $y$  ،  $x$  أي عدد حقيقي.



# الجدول الأول

الجداول

ال единادات		
النوع العلمي	الرمز	النحو
$10^{-15}$	f	femto
$10^{-12}$	p	pico
$10^{-9}$	n	nano
$10^{-6}$	$\mu$	micro
$10^{-3}$	m	milli
$10^{-2}$	c	centi
$10^{-1}$	d	deci
$10^1$	da	dica
$10^2$	h	hecto
$10^3$	k	kilo
$10^6$	M	mega
$10^9$	G	giga
$10^{12}$	T	tera
$10^{15}$	P	peta



# الجدول

الجدول

الوحدات الأساسية SI		
الرمز	الوحدة	الكمية
m	meter	الطول
kg	kilogram	الكتلة
s	second	الزمن
K	درجة الحرارة	
mol	mole	مقدار المادة
A	ampere	التيار الكهربائي
cd	candela	شدة الإضاءة

وحدات SI المشتقة				
معبرة بوحدات SI أخرى	معبرة بالوحدات الأساسية	الرمز	الوحدة	القياس
	$m/s^2$	$m/s^2$		التسارع
	$m^2$	$m^2$		المساحة
	$kg/m^3$	$kg/m^3$		الكثافة
N.m	$kg \cdot m^2/s^2$	J	joule	الشغل، الطاقة
	$kg \cdot m/s^2$	N	newton	القوة
J/s	$kg \cdot m^2/s^3$	W	watt	القدرة
$N/m^2$	$kg/m \cdot s^2$	Pa	Pascal	الضغط
	$m/s$	$m/s$		السرعة
	$m^3$	$m^3$		الحجم

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	$1 atm = 101$ kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz $\leftrightarrow$ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg $\leftrightarrow$ 2.21 lb	$1 ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	$1 kWh = 3.60$ MJ
$1 m^3 = 264$ gal	$1 atm = 14.7$ lb/in <sup>2</sup>	1 hp = 746 W
	$1 atm = 1.01 \times 10^5$ N/m <sup>2</sup>	$1 mol = 6.022 \times 10^{23}$

# المصطلحات

## أ

إذا كانت القوة المُحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا فإن هذا الجسم في حالة اتزان.

القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في السطح الآخر عندما يحتك سطحان أحدهما بالآخر بسبب حركة أحدهما أو كليهما.

القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في الآخر عندما لا توجد حركة بينهما.

كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين.

زوجان من القوى متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه.

الاتزان  
Equilibrium

الاحتكاك الحركي  
Kinetic Friction

الاحتكاك السكوني  
Static Friction

الازاحة  
Displacement

أزواج التأثير المتبادل  
Interaction pair

## ت

عملية تجزئة المتجه إلى مركبته الأفقية والعمودية.

طريقة التعامل مع الوحدات بوصفها كميات جبرية؛ بحيث يمكن إلغاؤها، ويمكن أن تستخدم للتأكد من أن وحدات الإجابة صحيحة.

المعدل الزمني للتغير السرعة المتجهة للجسم.

التغير في السرعة المتجهة للجسم خلال فترة زمنية صغيرة جدًا.

التغير في السرعة المتجهة للجسم خلال فترة زمنية مقيسة، مقسومًا على هذه الفترة الزمنية، ويقاس بوحدة  $m/s^2$ .

تسارع جسم يتحرك حركة دائرية بسرعة ثابتة المقدار ويكون في اتجاه مركز الدائرة التي يتحرك فيها الجسم.

تسارع الجسم في حالة السقوط الحر، وينتتج عن تأثير جاذبية الأرض، ويساوي  $g = 9.80 m/s^2$  واتجاهه نحو مركز الأرض.

تحليل المتجه  
Vector Resolution

تحليل الوحدات  
Dimensional analysis

التسارع

التسارع اللحظي  
Instantaneous acceleration

التسارع المتوسط  
average acceleration

التسارع المركزي  
Centripetal Acceleration

التسارع الناشئ عن الجاذبية الأرضية  
acceleration due to gravity

## ح

حركة جسم أو جسيم في مسار بسرعة ثابتة المقدار حول دائرة نصف قطرها ثابت.

الحركة الدائرية المنتظمة  
Uniform Circular Motion

المصطلحات

# المصطلحات

د

خاصية من خصائص الكمية المقيسة، التي تصف درجة الإتقان في القياس، وتعبر عن مدى تقارب نتائج القياس بعض النظر عن صحتها.

الدقة precision

ذ

تساوي الظل العكسي لخارج قسمة المركبة  $\frac{z}{x}$  على المركبة  $x$  للمتجه المحصل.

زاوية المتجه المحصل  
Angle of the Resultant Vector

الزمن الذي يقضيه المقدوف في الهواء.

זמן التحليق  
Hang time

س

سرعة متقطمة يصل إليها الجسم الساقط سقوطاً حرّاً عندما تتساوى القوة المعاينة مع قوة الجاذبية.  
مقدار سرعة الجسم واتجاه حركته عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.

السرعة الحدية  
terminal velocity

التغير في موقع الجسم مقسوماً على الفترة الزمنية التي حدث التغير خلالها. وهي تساوي ميل الخط البياني في منحنى (الموقع - الزمن).  
القيمة الحسابية لسرعة الجسم؛ وهي القيمة المطلقة لميل الخط البياني في منحنى (الموقع - الزمن).  
حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

السرعة المتحركة اللحظية  
instantaneous velocity

السرعة المتحركة المتوسطة  
average velocity

السرعة المتوسطة  
average speed

السقوط الحر free fall

ض

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.

الضبط Accuracy

# المصطلحات

ط

عملية منظمة للمشاهدة والتجربة والتحليل؛ للإجابة عن الأسئلة حول العالم الطبيعي.

الطريقة العلمية  
scientific method

ف

الزمن النهائي مطروحاً منه الزمن الابتدائي.  
تخمين علمي عن كيفية ارتباط المتغيرات معًا.  
فرع العلوم المعنية بدراسة العالم الطبيعي: الطاقة والمادة وكيفية ارتباطهما.

الفترة الزمنية  
time interval  
الفرضية  
hypothesis  
الفيزياء  
physics

ق

قاعدة طبيعية تجمع المشاهدات المترابطة لوصف ظاهرة طبيعية متكررة.  
مربع مقدار المتجه المحصل يساوي مجموع مربعين مقدار المتجهين مطروحاً منه ضعف حاصل ضرب مقدار المتجهين مضروباً في جيب تمام الزاوية التي بينهما.

القانون العلمي  
scientific law  
قانون جيب التمام في  
المتجهات  
Law of Cosines  
قانون الجيب في المتجهات  
Law of Sines

مقدار المحصلة مقسوماً على جيب الزاوية التي بين المتجهين، يساوي مقدار أحد المتجهين مقسوماً على جيب الزاوية التي تقابلها.  
الجسم الساكن يبقى ساكناً، والجسم المتحرك يبقى متحركاً في خط مستقيم وبسرعة متناظمة فقط إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا.  
جميع القوى تظهر على شكل أزواج، وقوتاً كل زوج تؤثران في جسمين مختلفين، وهما متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.  
تسارع الجسم يساوي محصلة القوى المؤثرة فيه مقسومة على كتلة الجسم.

قانون نيوتن الأول  
Newton's first law  
قانون نيوتن الثالث  
Newton's third law

خاصية للجسم لمانعة أي تغير في حالته الحركية.  
سحب أو دفع يؤثر في الأجسام ويسبب تغيراً في الحركة مقداراً واتجاهًا.

قانون نيوتن الثاني  
Newton's secand law  
القصور الذاتي  
inertia  
القوة  
force

قوة تلامس تؤثر في اتجاه معاكس للحركة الانزلاقية بين السطوح.  
قوة تتولد عندما يلامس جسم من المحيط الخارجي النظام.

قوة الاحتكاك  
Friction  
قوة التلامس  
contact force

اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل في جسم ما.  
قوة وهمية يبدو أنها تسحب الجسم المتحرك بسرعة دائيرية ثابتة.

قوة الشد  
tension  
القوة الطاردة عن المركز  
Centrifugal Force

المصطلحات



# المصطلحات

قوة تلامس يؤثر بها سطح في جسم آخر.

القوة المعمودية  
normal force

قوة تؤثر في الأجسام بغضّ النظر عن وجود تلامس فيها؛ كالمغناطيسات التي تؤثر في الأجسام دون ملامستها.

قوة المجال field force

قوة تعمل عمل مجموعة من القوى مقداراً واتجاهًا وتساوي ناتج جمع متوجهات القوى المؤثرة في الجسم جميعها.

القوة المحصلة net force

محصلة القوى التي تؤثر في اتجاه مركز دائرة، وتسبب التسارع المركزي للجسم.

القوة المركزية  
Centripetal Force

هي قوة مانعة يؤثر بها المائع في جسم يتحرك خالله، وتعتمد على حركة الجسم وعلى خصائص كل من الجسم والمائع.

القوة المعيقة drag force

قوة تجعل الجسم متربناً، وتكون مساوية في المقدار لمحصلة القوى ومعاكسة لها في الاتجاه.

القوة الموازنة Equilibrant

المقارنة بين كمية مجهولة وأخرى معيارية.

القياس measurement



كميات فизيائية لها مقدار، وليس لها اتجاه.

الكميات العددية (القياسية)  
scalars

كميات فизيائية لها مقدار واتجاه.

الكميات المتوجهة vectors



متوجه ناتج عن جمع متوجهين آخرين، ويشير دائمًا من ذيل المتوجه الأول إلى رأس المتوجه الآخر.

المحصلة resultant

كل ما يحيط بالنظام ويؤثر فيه بقوة.

المحيط الخارجي  
External world

صور متتابعة تُظهر موقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية.

المخطط التوضيحي للحركة  
motion diagram

نموذج فизيائي يمثل القوى المؤثرة في نظام ما.

مخطط الجسم الحر  
free-body diagram

المسافة الأفقية التي يقطعها المقدونف.

المدى الأفقي  
Horizontal distance

مسقط المتوجه على أحد المحاور.

مُركبة المتوجه  
Component of Vector

مسار يسلكه الجسم المقدونف في الفضاء.

مسار المقدونف  
Trajectory

# المصطلحات

كمية عددية تصف بعد الجسم عن نقطة الأصل.  
ميل الخط الممثل للعلاقة البيانية بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية، وهو ثابت بلا وحدات قياس.

ثابت بلا وحدات قياس، يعتمد على السطحين المتلامسين، ويستعمل لحساب قوة الاحتكاك السكونية العظمى قبل بداية الحركة.

جسم يُطلق في الهواء مثل كرة القدم، وله حركتان مستقلتان إحداها أفقياً والأخرى رأسية، وبعد إطلاقه يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبية فقط.

رسم بياني يمثل تغير السرعة المتجهة بدلالة الزمن، وتحديد إشارة تسارع الجسم المتحرك.

رسم بياني يستخدم في تحديد موقع الجسم وحساب سرعته المتجهة، وتحديد نقاط التقاء جسمين متحركين. ويرسم بتبسيط بيانات الزمن على المحور الأفقي وبيانات الموقع على المحور الرأسى.

المسافة الفاصلة بين الجسم ونقطة الأصل، ويمكن أن تكون موجبة أو سالبة.  
موقع الجسم عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.

المسافة distance

معامل الاحتكاك الحركي Coefficient of Kinetic Friction

معامل الاحتكاك السكوني Coefficient of Static Friction

المقدون Projectile

منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) velocity-time graph

منحنى (الموقع - الزمن) position - time graph

الموقع position

الموقع اللحظي instantaneous position

المصطلحات

النظام System

النظام الإحداثي coordinate system

النظرية العلمية scientific theory

نقطة الأصل origin

نموذج الجسيم النقطي particle model

النماذج العلمية scientific models

ن

الجسم المراد دراسة تأثير القوة في حركته.

نظام يستخدم لوصف الحركة، بحيث يحدد موقع نقطة الصفر للمتغير المدروس، والاتجاه الذي تترايد فيه قيم المتغير.

تفسير يعتمد على عدة مشاهدات مدعومة بتتابع تجريبية. تفسر النظريات القوانين وكيفية عمل الأشياء.

نقطة تكون عندها قيمة كل من المتغيرين صفرًا.

تمثيل لحركة الجسم بسلسلة متتابعة من النقاط المفردة.

هي نمذجة فكرة أو معادلة أو تركيب أو نظام لظاهرة نحاول تفسيرها.

و

قراة الميزان لوزن جسم يتحرك بتسارع.

الوزن الظاهري apparent weight



