

# الفيزياء

للفصل الأول الثانوي - الفصل الدراسي الثاني



دليل المعلم

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

# الفيزياء

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمراجعة والمواءمة

د. أحمد محمد رفيع

خلدون سليمان المصاروة

زهير يوسف حداد

عبد الرحمن علي العريني

التعريب والتحرير اللغوي

نخبة من المتخصصين

المشرف على لجان المراجعة

د. محمد بن عبد الله الزغبى

المراجعة والاعتماد النهائي

عبد الرحمن بن علي العريني

عيسى بن سليمان الفيضي

[www.macmillanmh.com](http://www.macmillanmh.com)



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

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



حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل ©، ٢٠٠٩م.

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

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



الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق الاهتمام الذي توليه حكومة خادم الحرمين الشريفين بتنمية الموارد البشرية، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

لقد تم تنظيم منهج الفيزياء في المرحلة الثانوية بحيث يغطي أبرز المفاهيم الأساسية في علم الفيزياء، ويراعي التدرج في تقديم المحتوى. وجاءت لغة الكتاب علمية يسيرة وممتعة، تثير حب استطلاع الطلاب إلى مزيد من البحث والاستقصاء. كما استند تنظيم المحتوى إلى معايير محددة وشاملة مدعومة بنتائج عدد كبير من البحوث والدراسات التربوية. ومن أهم ما يميز محتوى الفيزياء الاهتمام بمنحى الاستقصاء العلمي في التعلم، وهو النموذج المبني على حل المشكلات، والمنطلق من الأسئلة والاستفسارات التي يثيرها الطلاب، مع تأكيد استراتيجية التعلم التعاوني.

ويأتي دليل المعلم مرشدًا ومعينًا لمعلمي ومعلمات الفيزياء في التخطيط والتنفيذ الفعال لمحتوى كتاب الطالب؛ إذ يتضمن دليل المعلم استعراضًا تمهيدياً لمحتواه، وأقسامه، وأهدافه، ودليلاً لأبرز الأفكار الأساسية اللازمة لتقديم تعليم فعال داخل الغرفة الصفية. ويجد المعلم مخططاً تنظيمياً لكل فصل من فصول كتاب الطالب، يتضمن أهداف كل قسم، وقائمة بالمواد والأدوات المخبرية اللازمة، إضافة إلى قائمة المواد الإثرائية الداعمة، ومنها دليل حلول المسائل، ودليل التجارب العملية، ومصادر الفصول. ثم يجد نظرة عامة إلى الفصل، وكيفية الانتقال من خلالها إلى الأفكار الرئيسة لأقسام الفصل.

تُنظَّم عملية التدريس من خلال دورة التعليم الفعال التي تشتمل على خطوات التركيز والتدريس والتقويم؛ حيث يجد المعلم الإرشادات والتعليمات اللازمة لتنفيذ هذه الخطوات بفاعلية. وتتضمن هذه الدورة النشاطات التي تراعي مستويات التحصيل لكل من المستويات الأولى، والثاني والثالث. وتوزع هذه النشاطات على خطوات دورة التعليم؛ ففي خطوة التركيز، يجد المعلم نشاطاً، وربطاً بالمعرفة السابقة لدى الطلاب حول موضوع القسم. وتتضمن خطوة التدريس - التي تعد الخطوة الرئيسة في دورة التعليم - إرشادات خاصة بتقديم المفاهيم الواردة في المحتوى، ومنها استخدام النماذج، أو العروض السريعة، والتجارب، واستخدام الأشكال، وأسئلة المناقشة، والتفكير الناقد، وكيفية معالجة المفاهيم الشائعة غير الصحيحة، وتطوير المفاهيم، وتعزيز الفهم، وأمثلة صفية، وخلفية نظرية عن المحتوى، والفيزياء في الحياة، لتزويد المعلم بمعلومات إضافية. وفي خطوة التقويم، يجد المعلم مقترحات للتحقق من الفهم، وإعادة التدريس، والتوسع. ويلاحظ المعلم من خلال الخطوات الثلاث أن عمليات التقويم تظهر بشكل مستمر بأنواعه الثلاثة التمهيدي والبنائي والختامي.

كما يقترح الدليل استراتيجيات وطرائق تدريسية تساعد المعلم على تنويع التعلم بما يتناسب مع حاجات الطلاب المختلفة، ومنها مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم، ويوفر إجابات لجميع الأسئلة والاستفسارات المطروحة في كتاب الطالب. ويشتمل الدليل كذلك على محتوى كتاب الطالب الذي تم ترتيبه بطريقة تسهل على المعلم التعامل مع كل قسم من أقسامه؛ فهناك عدد كبير من الهوامش والإرشادات الموجهة للمعلم توضح كيفية تقديم المحتوى للطلاب.

وإذ نضع هذا الدليل بين أيدي الزملاء والزميلات، فإننا نأمل ألا يقيدهم، بل يكون مصدرًا من المصادر الداعمة لهم لإبراز قدراتهم الإبداعية، وتنمية مهاراتهم؛ لتحقيق أهداف المنهج.

والله نسأل أن يحقق هذا الدليل الأهداف المتوخاة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

## المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

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

 سلامة العين	يجب ارتداء نظارة واقية دائماً عند العمل في المختبر.
 غسل اليدين	اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.
 نشاط إشعاعي	يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.
 وقاية الملابس	يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعاً أو حريقاً للملابس.

# قائمة التجهيزات

هذه قوائم الأدوات التي يمكن أن تساعدك على إعداد مختبرات الفيزياء للسنة كاملة. والكميات المذكورة في الجدول أدناه لمختبر الفيزياء، والتجربة، والتجربة الإضافية، والعرض السريع، وهي الكميات القصوى اللازمة لمجموعة واحدة من الطلاب لعام كامل، والكميات الخاصة بالتجارب الاستهلاكية هي الكميات القصوى التي ستحتاج إليها لعمل العروض كافة. الأقسام التي يلزمك استعمال الأداة فيها موضوعة بين قوسين في الجدول. ارجع إلى مخطط الفصل قبل الحصول على قائمة بالأجهزة والأدوات لكل نشاط مخبري في كل فصل.

## مواد غير مستهلكة

المادة الكمية لكل مجموعة أو عرض سريع	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلاكية
كرات ذات كتل مختلفة		ف (6) (6-1)	ف (6)
كرة ( جولف )		ف (6) (6-1) ف (7) (7-1)	
لوح		ف (5) (5-1)	
قطعة خشب	ف (5) ف (6)	ف (5) (5-2)	
ملزمة	ف (5)		
مطرقة صغيرة	ف (6)		
منشار صغير	ف (6)		
كتلة للتعليق 200g			ف (5)
كتلة للتعليق 500g		ف (5) (5-3)	
كتلة للتعليق 1kg		ف (7) (7-2)	
مسامير	ف (6)		
أنبوب PVC	ف (6)		
قطع بلاستيكية	ف (6)		
منقلة بلاستيكية شفافة		ف (5) (5-3)	ف (5) ف (7)
بكرة	ف (5)		
خطاطيف		ف (5) (5-1)	
مسطرة مترية	ف (7)	ف (5) (5-1)	ف (7)
ميزان نابضي	ف (5)	ف (5) (5-3) ف (7) (7-2)	ف (5)
ساعة إيقاف		ف (6) (6-1)	
سطح خشبي	ف (5)		
ثلاثة حبال مرنة تتصل بها رؤوس أسهم		ف (5) (5-1)	
كتل مختلفة		ف (7) (7-2)	
قطعة قماش ناعم		ف (5) (5-2)	
نصل منشار		ف (7) (7-2)	
كرتان زجاجيتان متماثلتان		ف (6) (6-1)	
كاميرا فيديو			ف (6)

# قائمة التجهيزات

المادة	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلاكية
مقعد دوّار		ف (6) (6-2)	
مقياس تسارع		ف (6) (6-2)	
مقص	ف (6)		
قاطع أسلاك	ف (6)		

## مواد مستهلكة

المادة	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلاكية
شبكة من السلك	ف (6)		
علاقة ملابس	ف (6)		
كوب من الورق أو الفلين		ف (7) (7-2)	
مشابك ورق	ف (6)		
ورق رسم بياني			ف (6)
ورق أبيض	ف (7)		
ألواح من الورق المقوى	ف (7)	ف (5) (5-3)	
دبابيس تثبيت	ف (7)		
رباط مطاطي	ف (6) ف (7)		
خيوط	ف (5)	ف (5) (5-3) ف (7) (7-2)	ف (5)
شريط لاصق		ف (7) (7-2)	
شريط لاصق عريض أو ورق مانع لالتصاق الحلويات	ف (5)	ف (5) (5-2)	
شريط من الورق	ف (6)		

## جدول توزيع الحصص

الفصل	عدد الحصص
الخامس	11
السادس	10
السابع	9
المجموع	30

# قائمة المحتويات

## الفصل 5

القوى في بُعدين ..... 8

تجربة استهلاكية ..... 9

هل صحيح أن  $2N + 2N = 2N$ ؟

5-1 المتجهات ..... 9

5-2 الاحتكاك ..... 17

5-3 القوة والحركة في بُعدين ..... 24

مختبر الفيزياء ..... 30

معامل الاحتكاك

## الفصل 6

الحركة في بُعدين ..... 38

تجربة استهلاكية ..... 39

كيف يمكن وصف حركة المقذوف؟

6-1 حركة المقذوف ..... 39

6-2 الحركة الدائرية ..... 46

6-3 السرعة المتجهة النسبية ..... 50

مختبر الفيزياء ..... 54

إلى الهدف

## الفصل 7

الجاذبية ..... 62

تجربة استهلاكية ..... 63

هل يمكنك عمل نموذج لحركة عطارد؟

7-1 حركة الكواكب والجاذبية ..... 63

7-2 استخدام قانون الجذب الكوني ..... 72

مختبر الفيزياء ..... 82

نمذجة مدارات الكواكب والأقمار

حلول بعض المسائل التدريبية ..... 90

المصطلحات ..... 93

الأهداف	المواد والأدوات
<b>افتتاحية الفصل</b>	
<b>5-1 المتجهات</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. تحسب مجموع متجهين أو أكثر في بعدين بطريقة الرسم.</li> <li>2. تحدّد مركبتي كل متجه.</li> <li>3. تحسب مجموع متجهين أو أكثر جبرياً، وذلك بجمع مركبات المتجهات.</li> </ol>	<p><b>تجارب الطالب</b></p> <p><b>تجربة استهلاكية</b> ميزانان نابضيان تدريج كل منهما 5N، وخيط طوله 70 cm، وخيط طوله 15 cm، وجسم كتلته 200 g، ومنقلة.</p> <p><b>عرض المعلم</b></p> <p><b>عرض سريع</b> ثلاثة حبال مرنة تتصل بها رؤوس أسهم، ولوح مثبت عليه خطاطيف، ومسطرة مترية.</p>
<b>5-2 الاحتكاك</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>4. تعرّف قوة الاحتكاك.</li> <li>5. تميّز بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.</li> </ol>	<p><b>عرض المعلم</b></p> <p><b>عرض سريع</b> وعاء مسطح غير قابل للالتصاق، وقطعة خشبية مغطاة بقماش ناعم أبعادها (15 cm × 7.5 cm × 2.5 cm).</p>
<b>5-3 القوة والحركة في بعدين</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>6. تحدّد القوة التي تسبّب الاتزان عندما تؤثر ثلاث قوى في جسم ما.</li> <li>7. تحلّل حركة جسم على سطح مائل أملس أو خشن.</li> </ol>	<p><b>تجارب الطالب</b></p> <p><b>تجربة إضافية</b> ثلاثة موازين نابضية تدريج كل منها 5 N، وخيط طوله 1m.</p> <p><b>تجربة</b> ميزان نابضي بتدريج 5 N، وكتلة تعليق مقدارها 500 g، ومنقلة، ولوح أملس أو ورق مقوى.</p> <p><b>مختبر الفيزياء</b> بكرة، وملزمة، وشريط لاصق، وسطح خشبي، وخيط طوله 1m، وميزان نابضي، وقطعة خشبية.</p>

### طرائق تدريس متنوعة

**1م** أنشطة مناسبة للطلاب ذوي صعوبات التعلم. **2م** أنشطة مناسبة للطلاب ذوي المستوى المتوسط. **3م** أنشطة مناسبة للطلاب المتفوقين (فوق المتوسط).

التقنية	شرائح ومصادر قابلة للنسخ
تتضمن أعمال المعلم: نسخة المعلم التفاعلية، تخطيط الدرس مع مفكرة، التقويم، ارتباطات بمواقع إلكترونية.	
	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 5. دليل مراجعة الفصل، ص 12-18 اختبار قصير 1-5، ص 19 شريحة التدريس 1-5، ص 27 دليل التجارب العملية، ص 15 ربط الرياضيات مع الفيزياء
مسألة الأسبوع على الموقع الإلكتروني: <a href="http://Obeikaneducation.com">Obeikaneducation.com</a>	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 5. دليل مراجعة الفصل، ص 12-18 اختبار قصير 2-5، ص 20 شريحة التدريس 2-5، ص 29 شريحة التدريس 3-5، ص 31 ربط الرياضيات مع الفيزياء
	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 5. دليل مراجعة الفصل، ص 12-18 تعزيز الفهم، ص 22 الإثراء، ص 24 اختبار قصير 3-5، ص 21 شريحة التدريس 4-5، ص 33 ورقة عمل التجربة، ص 7 ورقة عمل مختبر الفيزياء، ص 8 ربط الرياضيات مع الفيزياء دليل التجارب العملية، ص 20

#### مصادر التقويم

التقنية	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 5
الموقع الإلكتروني	تقويم الفصل 5، ص 35
<a href="http://Obeikaneducation.com">Obeikaneducation.com</a>	اختبارات الفيزياء التحضيرية





#### ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

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

#### الأهمية

معظم الأجسام تتأثر بقوى تعمل في أكثر من اتجاه. فعل سبيل المثال، عندما تُسحب سيارة بشاحنة السحب فإنها تتأثر بقوى عديدة إلى أعلى وإلى الأمام، بالإضافة إلى قوة الجاذبية التي تؤثر فيها إلى أسفل. تسلق الصخور كيف يحمي متسلقو الصخور أنفسهم من السقوط؟ يركز المتسلق على أكثر من نقطة داعمة، كما أن هناك قوى متعددة تؤثر فيه في اتجاهات متعددة.

#### فكر

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

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية  
www.ohekaneducation.com

#### نظرة عامة إلى الفصل

يعدُّ هذا الفصل امتدادًا لمناقشة قوانين نيوتن التي درستها في الفصل السابق ولكن في بُعدين بدلاً من بعد واحد. في القسم الأول من هذا الفصل تُراجع عمليّات جمع المتجهات في بُعد واحد ثم تتوسع لتتعرف كيفية جمعها في بُعدين. وفي القسم الثاني منه تتعرف مفهوم الاحتكاك الحركي والسكوني، ويتم توضيح كيفية إجراء التحليلات النيوتونية في وجود الاحتكاك. أخيرًا تناقش حالات إضافية للحركة في بُعدين تشتمل على المستويات المائلة إضافة إلى مفهوم القوة الموازنة.

#### فكر

يزيد المتسلق من الاحتكاك السكوني بين يديه وقدميه وبين الصخرة باستعمال مسحوق الطباشير والأحذية الخاصة للتسلق. وهذا يُمكنه من التأثير بقوى في اتجاهات متعددة ليبقى في حالة اتزان.

#### المفردات الرئيسية

- المركّبات
- معامل الاحتكاك
- تحليل المتجه
- الاحتكاك الحركي
- الاحتكاك السكوني
- معامل الاحتكاك الحركي
- القوة الموازنة



#### تجربة استهلاكية

**الهدف** تطوير مفهوم جمع المتجهات.

**المواد والأدوات** ميزانان نابضيان تدريج

كل منهما حتى 5 N، وخيط طوله 70 cm، وخيط طوله 15 cm، وجسم كتلته 200 g، ومنقلة.

**استراتيجيات التدريس** إذا تردد

الطلاب بشأن النتائج فاطلب إليهم القيام بما يلي: يحمل كل واحد منهم كرة بولينج إلى جانبه ويجعلها تتدلى إلى أسفل. ثم اطلب إليهم رفع الكرة ببطء في اتجاه الأفقي بحيث تصبح أذرعهم موازية لأرضية الصف.

واسألهم: أيّ الأوضاع يكون حمل الكرة فيها أسهل؟

**النتائج المتوقعة** يلاحظ الطلاب أن قراءة كل ميزان تساوي 2 N عندما تكون الزاوية بين الخيطين  $120^\circ$ . وتزداد قراءة الميزانين كلما زادت الزاوية.

**التحليل** يكون مجموع مقدار القوتين المقيستين في الميزانين النابضيين أكبر من وزن الجسم المعلق، ولكن إذا جُمعت القوتان جمعًا اتجاهيًا فمن الممكن أن



## 1. التركيز

### نشاط

**إزاحة شخص** اطلب إلى الطلاب افتراض أن شخصاً ما تحرك مسافة 100 m في اتجاه الشمال ثم لم يعد بمقدوره معرفة الاتجاه. فتتحرك مسافة 100 m أخرى دون معرفة الاتجاه. أسأل الطلاب: ما مقدار إزاحته بالنسبة إلى نقطة البداية الأولى؟ يجب أن يأخذ الطلاب في الحسبان أن المسافتين اللتين قطعهما الشخص كانتا في خطوط مستقيمة من نقطة البداية. اقترح رسم أسهم لتمثيل متجهي 100 m عند تحليل المسألة. **يمكن أن يكون مقدار إزاحة هذا الشخص في أي مكان بين صفر و 200 m.**

### الربط مع المعرفة السابقة

**المتجهات، والقوى، والتسارع** لقد تعلّم الطلاب في الفصلين: الثاني والثالث كيفية جمع المتجهات وطرحها في بُعد واحد. كما تعرّفوا في الفصل الرابع طبيعة القوى وكيفية تطبيق قوانين نيوتن في بُعد واحد. وفي هذا الفصل يتم التركيز على القوى في بُعدين، إلا أنه من الضروري معرفة الطالب لكل من الإزاحة والسرعة المتجهة والتسارع عند تحليل بعض الحالات والأمثلة الواردة في هذا الفصل.

## تجربة استهلاكية

هل صحيح أن  $2N + 2N = 2N$ ؟

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

### الخطوات

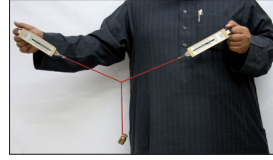
1. **قس** احصل من معلمك على جسم كتلته 200 g، وقس وزنه باستعمال ميزان نابضي (زنبركي).
2. اربط طرفي خيط طوله 70 cm بخطافين نابضيين.
3. اربط طرف خيط طوله 15 cm بالجسم الذي كتلته 200 g ولفّ طرفه الآخر على الخيط المثبت بخطاف الميزانين. تحذير: تجنب سقوط الكتل.
4. أمسك الميزانين النابضيين أحدهما باليد اليمنى والآخر باليد اليسرى، على أن يشكّل الخيط الواصل بينهما زاوية مقدارها  $120^\circ$ . وللتأكد من أن مقدار الزاوية  $120^\circ$  حرّك الخيط الذي يُعلّق به الجسم حتى تكون قراءتا الميزانين متساويتين، وسجل قراءة كل منهما.

5. **اجمع البيانات ونظّمها** اسحب ببطء الخيط الذي يُعلّق به الجسم الذي كتلته 200 g، أكثر فأكثر في اتجاه الأفقي، وصِف مشاهداتك.

### التحليل

هل مجموع القوتين المقيستين بالميزانين النابضيين 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 يُمثّل كل منهما قوة شد مقدارها 2 N، فما مقدار قوة الشد التي يُمثّلها الضلع الثالث؟ وكيف يمكن أن يكون  $2N + 2N = 2N$  صحيحاً؟



## 5-1 المتجهات Vectors

### الأهداف

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

### المفردات

- المركّبات
- تحليل المتجه

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

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

يكون  $2N + 2N = 2N$ ؛ لأن عملية جمع المتجهات تأخذ في الحسبان مقدار كل متّجه واتجاهه.

**التفكير الناقد** من طرائق التفكير في القوة المحصلة التي تؤثر في جسم، تخيل أنه قد حلت قوة مفردة محل جميع القوى المؤثرة فيه، ولها تأثير جميع هذه القوى.

إن الغرض من تحليل المتجه هو إيجاد مقدار واتجاه القوة المحصلة. وعندما تكون القوى المؤثرة في جسم في حالة

## 2. التدريس

### استخدام النماذج

عرض للمسطرة ذات العجلة لمساعدة الطلاب على تصوّر وفهم الطرائق التي يمكن استعمالها عند تحريك المتجهات دون تغيير مقدارها أو اتجاهها يمكنك استعمال المسطرة ذات العجلة لتوضيح مجموعة من الطرائق الصحيحة المستعملة لتحريك المتجهات. تتوافر هذه المساطر في المكتبات ومحلات بيع أدوات الرسم.

### تطوير المفهوم

ترميز المتجهات وضح للطلاب الطريقة التي ستستخدمها لتشير إلى الكميات المتجهة عند كتابتها على السبورة أو الشرائح. ويتم ذلك عادة بوضع سهم فوق الرمز الذي يعبر عن الكمية المتجهة. وفي كتبنا فقد استخدمنا الأحرف الغامقة (bold) للدلالة على الكميات المتجهة.

### تعزيز الفهم

المقدار اسأل الطلاب السؤال التالي لاستدكار المفاهيم السابقة: ما الذي تعنيه كلمة مقدار؟ تعني هذه الكلمة في الفيزياء قياس كمية ما، وعادةً تُمثل بطول السهم. ناقش لماذا نحتاج دائماً إلى تعيين مقدار واتجاه الكميات المتجهة. 2م لغوي

### استخدام الشكل 5-2

يُبين هذا الشكل إحدى طريقتي الجمع الصحيحتين لجمع متجهين بيانياً. فيما أن عمليّة جمع المتجهات عمليّة إبداليّة، فإنه يمكن جمعها بأيّ ترتيب. فإذا وضعت ذيل المتجهة الذي يشير في اتجاه الشرق على رأس المتجه الذي يشير في اتجاه الشمال دون تغيير اتجاهه فلن يتغيّر مقدار المحصلة أو اتجاهها على الرغم من أن المخططين يبدوان مختلفين. 2م

### مراجعة مفهوم المتجهات Vectors Revisited

تذكر المثال الذي درسته على متجهات القوة، في الفصل الرابع؛ حيث دفعت أنت وصديقك الطاولة. وافترض أن كلاً منكما أثّر بقوة 40 N في اتجاه اليمين. يمثل الشكل 5-1 مخطط 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؟

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

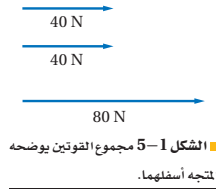
قد تحتاج أحياناً إلى استعمال علم المثلثات لتحديد طول المتجه المحصل واتجاهه. تذكر أنه يمكن إيجاد طول الوتر للمثلث القائم الزاوية باستعمال نظرية فيثاغورس. إذا أردت جمع متجهين الزاوية بينهما قائمة - مثل المتجه A الذي يشير إلى الشمال والمتجه B الذي يشير إلى الشرق - يمكنك استعمال نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار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

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

نظرية فيثاغورس

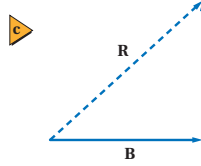
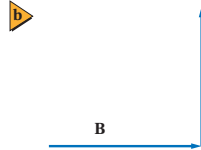
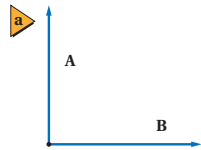
إذا كانت الزاوية بين متجهين A و B قائمة فإن مجموع مربعي مقداري المتجهين يساوي مربع مقدار المتجه المحصل.

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



الشكل 5-1 مجموع القوتين يوضّح المتجه أسفلهما.

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



### 5-1 إدارة المصادر

شريحة التدريس 1-5، ص 27

دليل التجارب العملية، ص 15

ربط الرياضيات مع الفيزياء

الملف الخاص بمصادر الفصول 5-7

دليل مراجعة الفصل، ص 18-12

اختبار قصير 1-5، ص 19

## مثال صفحي

**سؤال** أوجد مقدار محصلة قوتين إحداها 20.0 N والأخرى 7.0 N عندما تكون الزاوية بينهما  $30.0^\circ$ .

**الجواب** استعمال قانون جيب التمام

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

$$= (20.0 \text{ N})^2 + (7.0 \text{ N})^2 - 2(20.0 \text{ N})(7.0 \text{ N})\cos 30.0^\circ$$

$$R = 14.4 \text{ N}$$

باستخدام رقمين معنويين = 14 N

## عرض سريع

### جمع المتجهات

الزمن المقدر 10 دقائق

**المواد والأدوات** ثلاثة حبال مرنة تتصل بها رؤوس أسهم، ولوح مثبت عليه خطاطيف، ومسطرة مترية.

**الخطوات** استعمال اللوح والحبال لتوضيح عملية جمع المتجهات، ثم صمّم عددًا من المسائل التي تتضمن عملية جمع المتجهات. واستعمل الحبال لتمثيل متجهات مختلفة. يمكن أن تبدأ المتجهات من نقطة الأصل نفسها كما يمكن وضع بعضها فوق بعض لتوضيح الجمع بيانيًا. استعمال المسطرة لقياس طول كل متجه وطول متجه المحصلة أيضًا.

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

قانون جيب التمام

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

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

قانون الجيب

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

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

## مثال 1

**إيجاد مقدار محصلة متجهين** إزاحتان، الأولى 25 km والثانية 15 km. احسب مقدار محصلتها عندما تكون الزاوية بينهما  $90^\circ$ ، وعندما تكون الزاوية  $135^\circ$ .

### 1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم متجهي الإزاحة A و B وارسم الزاوية بينهما.

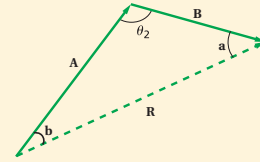
المعلوم

$$A = 25 \text{ km} \quad \theta_1 = 90^\circ$$

$$B = 15 \text{ km} \quad \theta_2 = 135^\circ$$

المجهول

$$R = ?$$



### 2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المتجه المحصل عندما تكون الزاوية بين المتجهين  $90^\circ$ .

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

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

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

$$= 29 \text{ km}$$

دليل الرياضيات

الجدور التربيعية والجدور التكعيبة 93

بالتعويض  $A = 25 \text{ km}$  و  $B = 15 \text{ km}$

لأن الزاوية بين المتجهين  $135^\circ$ ، نستخدم قانون جيب التمام لإيجاد مقدار المتجه المحصل.

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

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

بالتعويض  $A = 25 \text{ km}$  و  $B = 15 \text{ km}$  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 بالكيلومترات.

• هل للإشارات معنى؟ حاصل الجمع في كل حالة موجب.

• هل الجواب منطقي؟ المقدار في كل حالة قريب من مقدار المتجهين المجموعين ولكنه أطول؛ وذلك لأن كل محصلة عبارة عن ضلع يقابل زاوية منفرجة. والإجابة الثانية أكبر من الأولى. وهذا يتفق مع تمثيل المتجهات بالرسم.

## مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم

### نشاط

**جمع المتجهات** تم شرح عملية جمع المتجهات بطريقة الرأس مع الذيل. إذا لم تكن هذه الطريقة مناسبة لبعض الطلاب فيمكنك الطلب إليهم استعمال طريقة متوازي الأضلاع لجمع المتجهات؛ حيث يرسم الطلاب عند اتباع هذه الطريقة نسخة عن المتجه الأول بحيث يكون ذيله على رأس المتجه الثاني وله طول المتجه الأول نفسه وموازيًا له أيضًا، ثم يرسمون بالطريقة نفسها نسخة عن المتجه الثاني على أن يكون ذيله على رأس المتجه الأول. يجب أن يشكّل المتجهان ونسختاهما متوازي أضلاع. بعد ذلك يجد الطالب المتجه المحصل برسم متجه ينطبق ذيله على ذيلي المتجهين الأصليين ورأسه على رأسي النسختين.

1م - بصري - مكاني

1. انظر دليل حلول المسائل  $R=141 \text{ Km}$
2.  $1.0 \times 10^1 \text{ km}$

### المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

نظرية فيثاغورس يستعمل الطلاب غالباً نظرية فيثاغورس عند جمع متجهين. وضح لهم أن هذه النظرية تُستعمل فقط عندما تكون الزاوية بين المتجهين المراد جمعها قائمة أي أن المتجهين متعامدان أحدهما على الآخر.

### نشاط



#### جمع المتجهات قد يكون من السهل

على الطلاب فهم جمع المتجهات وطرحها عندما تُطبق مباشرة على حركتهم؛ لذا اختر مكاناً مناسباً مثل الصالة الرياضية أو الملعب، حيث يمكن للطلاب تحديد إزاحتهم بطريقة الرسم البياني. اطلب إليهم الانتقال من موقع إلى آخر ثم يقيسوا المتجهات الممثلة لمواقعهم الجديدة. واطلب إليهم عمل مقياس رسم مناسب لحساب إزاحتهم وقياسها. عليهم كذلك مقارنة القيمة المقاسة للإزاحة بالقيمة الحسابية لها. **1م حسي - حركي**

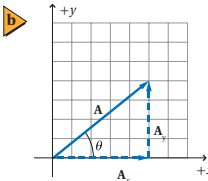
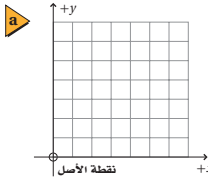
### مسائل تدريبية

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

### مركبات المتجهات

#### Components of Vectors

إن اختيار نظام إحداثي - كما في الشكل 5-3a - يشبه وضع شبكة مرسومة على شريحة بلاستيكية شفافة فوق الرسم التخطيطي للمسألة. وعلبك 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 5-3a، ويُرسم 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.



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

كيف تختار اتجاه محور  $x$ ؟ ليس هناك إجابة واحدة صحيحة، ولكن بعض الخيارات تجعل حل المسألة أسهل من بعضها الآخر. عندما تكون الحركة الموصوفة محصورة في سطح الأرض يكون من الأسهل اختيار المحور  $x$  ليظهر إلى اتجاه الشرق، والمحور  $y$  ليظهر 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  $x$ .

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

$$A = A_x + A_y$$

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.

### متقدم

### نشاط

**العمليات على المتجه** قد يتساءل بعض الطلاب حول إمكانية إجراء عمليتي الضرب والقسمة على المتجهات؛ لذا اطلب إليهم الرجوع إلى مرجع في الفيزياء يُبين عملية ضرب المتجهات للحصول على الضرب القياسي (النقطي) أو الضرب الاتجاهي. واطلب إليهم حل إحدى مسائل المرجع، ومقارنة إجاباتهم وحلولهم بعضها ببعض. **3م منطقي - رياضي**

### مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 5-1

الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com.sa](http://www.obeikaneducation.com.sa)

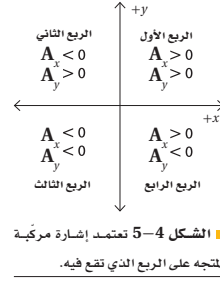


## التفكير الناقد

**العمليات المسموح بإجرائها** أسأل الطلاب: ما العمليات الحسابية التي يجوز إجراؤها بين الكمية المتجهة والكمية القياسية؟ لا يمكن إجراء عملية الجمع أو الطرح بين المتجهات والكميات القياسية، ولكن يمكن ضرب المتجه في كمية قياسية. يُغيّر الضرب طول المتجه دون أن يغيّر اتجاهه، إلا إذا كانت الكمية القياسية سالبة فينعكس اتجاه المتجه. وكمثال على ذلك، فإن عملية طرح المتجهات التي شرحت في هذا الكتاب تعتمد أساساً على ضرب المتجه الثاني في الرقم 1- . م 2

## تعزيز الفهم

**جمع المتجهات** يصعب أحياناً فهم المتجهات فقد يلجأ الطلاب إلى الجمع العددي عند حل مسألة كتابية تشتمل على متجهات في مضمونها. ولتجنب ذلك اطلب إليهم تخيل أن لاعباً يركض 50 m في ملعب، ثم ينعطف بزاوية 90° ويركض 50 m إضافية. ثم اسألهم: كم يُبعد اللاعب عن نقطة البداية؟ 71 m إذا كانت إجابتهم 100 m، فاسألهم: لماذا قام اللاعب بهذه الجولة ولم يذهب من نقطة البداية إلى نقطة النهاية مباشرة (قطرياً)؟ م 1



وهناك سبب آخر لاختيار النظام الإحداثي، هو أن اتجاه أي متجه يُحدّد بالنسبة إلى هذه الإحداثيات. ويعرّف اتجاه المتجه على أنه الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور  $x$  مقيسة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. ففي الشكل 3b-5 تمثل الزاوية  $\theta$  اتجاه المتجه  $A$ . ويُمكن قياس أطوال مركبات المتجهات بطريقة الرسم، كما يمكن أيضاً 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.

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

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

عندما تكون الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور  $x$  الموجب أكبر من 90° فإن إشارة إحدى المركبتين أو كليهما تكون سالبة كما في الشكل 4-5.

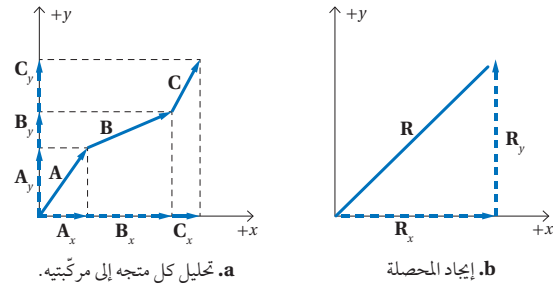
## جمع المتجهات جبرياً

### Algebraic Addition of Vectors

لماذا تُحلّل المتجهات إلى مركباتها؟ لأن ذلك يُسهل عملية جمع المتجهات حسابياً. فيمكن جمع متجهين أو أكثر مثل  $A$ ،  $B$ ،  $C$ ، .... إلخ، وذلك بتحليل كل متجه إلى مركبتيه  $x$  و  $y$  أولاً، ثم تجميع المركبات الأفقية (مركبات المحور  $x$ ) للمتجهات لتكوّن المركبة الأفقية للمحصلة:  $R_x = A_x + B_x + C_x$ .

وبالمثل تجميع المركبات الرأسية (مركبات المحور  $y$ ) للمتجهات لتكوّن المركبة الرأسية للمحصلة:  $R_y = A_y + B_y + C_y$ . وهذه العملية موضحة بيانياً في الشكل 5-5. ولأن  $R_x$  و  $R_y$  متعامدتان؛ لذا يمكن حساب مقدار المتجه المحصل باستعمال نظرية فيثاغورس  $R^2 = R_x^2 + R_y^2$ .

الشكل 5-5  $R$  هي مجموع المركبات الأفقية للمتجهات  $A$  و  $B$  و  $C$ .  $R_y$  هي مجموع المركبات الرأسية للمتجهات  $A$  و  $B$  و  $C$ . الجمع الاتجاهي لـ  $R_x$  و  $R_y$  هو الجمع الاتجاهي للمتجهات  $A$  و  $B$  و  $C$ .



ا. تحليل كل متجه إلى مركبتيه.

ب. إيجاد المحصلة

## التفكير الناقد

جمع ثلاثة متجهات ذكر الطلاب بأنهم درسوا جمع متجهين، ثم أسألهم: كيف يمكن استعمال ذلك لحل مسألة تشتمل على ثلاثة متجهات؟ اجمع المتجهين ثم اجمع المتجه الثالث مع محصلة المتجهين. ثم وضح للطلاب أنه باستعمال نظرية فيثاغورس أو قانون جيبس التمام يمكنهم إيجاد مقدار مجموع (محصلة) أول متجهين ولكن لا يمكنهم إيجاد اتجاهها. **م 2**

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

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

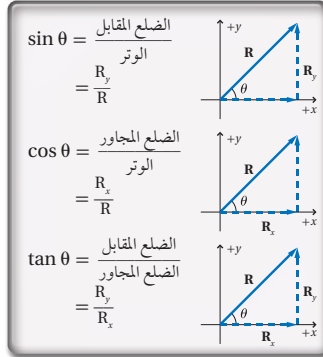
زاوية المتجه المحصل تساوي الظل العكسي لخارج قسمة المركبة  $y$  على المركبة  $x$  للمتجه المحصل.

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

نظرية عملية  
كيف يتحرك الجسم عندما تؤثر فيه قوتان؟  
ارجع إلى دليل التجارب العملية

### استراتيجيات حل المسألة

#### الرياضيات في الفيزياء



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

- اختر نظامًا إحداثيًا.
- حلل المتجهات إلى مركباتها الأفقية  $x$  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.
- اجمع المركبات التي على المحور  $x$  أو اطرحها للحصول على  $R_x$ .
- اجمع المركبات التي على المحور  $y$  أو اطرحها للحصول على  $R_y$ .
- طبق نظرية فيثاغورس  $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$  لإيجاد مقدار المتجه المحصل.
- طبق العلاقة  $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{R_y}{R_x} \right)$  لإيجاد زاوية المتجه المحصل.

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.

### طرائق تدريس متنوعة

#### نشاط

**إعاقة بصرية** يمكن توضيح خصائص عملية جمع المتجهات للطلاب الذين يعانون من ضعف البصر، وذلك باستعمال ورق مقوى أو أسهم بلاستيكية أطوالها مختلفة. استعمل مشابك لتثبيت رأس متجه إلى ذيل متجه آخر واستعمل سهمًا ثالثًا لتمثيل متجه المحصلة. كما يمكن استعمال أقلام الرصاص وتثبيتها بواسطة شريط لاصق على سطح مستوي كي يلاحظ الطلاب الترتيب الهندسي. عند تحريك الأسهم أو أقلام الرصاص يمكنك نقلها (إلى الأعلى أو الأسفل، أو إلى اليمين أو اليسار) ولكن لا تدورها؛ إذ يغيّر الدوران قيمة المتجه في حين لا يغيّر نقل المتجه قيمته. **م 1 حسي - حركي**

## مثال صفي

**سؤال** اجمع المتجهين التاليين باستعمال طريقة المركبات: مقدار المتجه A يساوي 4.0 m ويتجه إلى الجنوب، ومقدار المتجه B يساوي 7.3 m ويتجه إلى الشمال الغربي.

**الجواب** مثل الاتجاه إلى الشرق على المحور +x، والاتجاه إلى الشمال على المحور +y.

$$A_x = (4.0 \text{ m}) \cos 270^\circ = 0$$

$$B_x = (7.3 \text{ m}) \cos 135^\circ = -5.16 \text{ m}$$

$$A_y = (4.0 \text{ m}) \sin 270^\circ = -4.0 \text{ m}$$

$$B_y = (7.3 \text{ m}) \sin 135^\circ = 5.16 \text{ m}$$

$$R_x = A_x + B_x = 0 + (-5.16 \text{ m}) = -5.16 \text{ m}$$

$$R_y = A_y + B_y = (-4.0 \text{ m}) + (5.16 \text{ m}) = 1.16 \text{ m}$$

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

$$R^2 = (-5.16 \text{ m})^2 + (1.16 \text{ m})^2$$

$$R = 5.3 \text{ m}$$

الاتجاه:

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

$$= \tan^{-1} \left( \frac{1.16 \text{ m}}{-5.16 \text{ m}} \right)$$

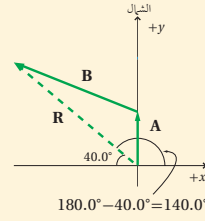
$$= 167^\circ$$

$$= 12.7^\circ$$

في اتجاه شمال الغرب

## مثال 2

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



### 1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم متجه المحصلة R من موقعك الأصلي إلى منزلك.

• ارسم المتجه المعلوم A، ثم ارسم المتجه المجهول B.

المعلوم

A = 5.0 km في اتجاه الشمال

R = 15.0 km في اتجاه  $40.0^\circ$  شمال الغرب

المجهول  
B = ?

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مركبتى المتجه R.

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

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

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

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

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

بما أن A في اتجاه الشمال، لذا فإن

استخدم مركبات كل من R و A لإيجاد مركبتى المتجه B.

بالتعويض  $R_y = 9.64 \text{ km}$  و  $R_x = -11.5 \text{ km}$  و  $A_y = 5.0 \text{ km}$  و  $A_x = 0.0 \text{ km}$

الإشارة السالبة تعني أن هذه المركبة في اتجاه الغرب

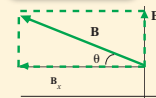
$$B_x = R_x - A_x = -11.5 \text{ km} - 0.0 \text{ km} = -11.5 \text{ km}$$

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

دليل الرياضيات

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = \sqrt{(-11.5 \text{ km})^2 + (4.6 \text{ km})^2} = 12 \text{ km}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{B_y}{B_x} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{4.6 \text{ km}}{-11.5 \text{ km}} \right) = -22^\circ \text{ أو } (158^\circ)$$



استخدم مركبتى المتجه B لإيجاد مقدار المتجه B.

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

استخدم الظل لإيجاد اتجاه المتجه B.

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

ضع ذيل المتجه B عند نقطة الأصل لنظام إحداثي، وارسم المركبتين  $B_x$  و  $B_y$ ، فيكون الاتجاه في الربع الثاني وفي اتجاه يصنع زاوية مقدارها  $22^\circ$  شمال الغرب.

### 3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ الكيلومترات والدرجات صحيحة.

• هل للإشارات معنى؟ تتفق الإشارات مع المخطط.

• هل الجواب منطقي؟ إن طول المتجه B أكبر من  $R_x$ ؛ لأن الزاوية بين A و B أكبر من  $90^\circ$ .

## مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم

### نشاط

**جمع المتجهات** المجموع الاتجاهي لضلعي زاوية لا يساوي مجموعها الجبري. تحتاج إلى مكان واسع لتنفيذ هذا النشاط، وشريط لاصق ومسطرة مصرية وآلة حاسبة. اختر مساحة كبيرة واضحة للطلاب ثم ارسم مثلثاً قائم الزاوية كبيراً نسبياً على أرضية القاعة باستعمال الشريط اللاصق. اطلب إلى طالبين محاولة المشي بخطوات متساوية الطول، ثم يقف كل منهما على رأس المثلث عند إحدى زاويتي الحادتين، ثم اطلب إليهما البدء بالمشي في اللحظة نفسها بحيث يتجه أحدهما إلى الزاوية الحادة الأخرى عن طريق الوتر، بينما يتجه الآخر إلى الزاوية نفسها ولكن عن طريق الضلعين الآخرين للمثلث. تأكد من أن خطواتهما متساوية أثناء المشي. سيصل أولاً الطالب الذي يسير على الوتر. **1م حسي - حركي**

3. 0.87 km في اتجاه يصنع زاوية 77° غرب الشمال.

4. القوة المحصلة تساوي 0.8 N في اتجاه الأعلى.

5. 6.0 km

6. 4.44 N في اتجاه الأعلى

7. لا يمكن أن يكون المتجه أقصر من إحدى مركبتيه. ولكن إذا انطبق المتجه على المحور x أو المحور y فإن إحدى مركبتيه تساوي طوله.

8. تكون المركبة x موجبة عند الزوايا الأقل من 90° والأكبر من 270°، وتكون سالبة عند الزوايا الأكبر من 90° والأقل من 270°.

### 3. التقويم

#### التحقق من الفهم

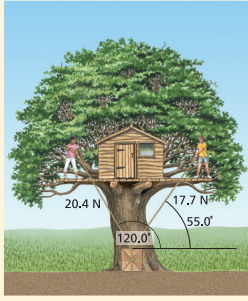
**نشاط جمع المتجهات** اطلب إلى الطلاب صياغة مسألة تتضمن جمع المتجهات في بُعد واحد، واطلب إليهم توضيح حلّ المسألة، ثم اطلب إليهم صياغة مسألة أخرى تتضمن جمع المتجهات في بُعدين بحيث تكون الزاوية بينهما قائمة، مع توضيح حلّ المسألة. أخيراً اطلب إليهم صياغة مسألة تتضمن جمع المتجهات في بُعدين بحيث لا تكون الزاوية بينهما قائمة، مع توضيح حلّ المسألة. **2م** **نفوي**

#### إعادة التدريس

**نشاط جمع المتجهات** راجع طريقتي جمع المتجهات (طريقة الرسم البياني والطريقة الرياضية)، ووضح للطلاب متى نستعمل نظرية فيثاغورس ومتى لا نستعملها. ارسم مجموعات من المتجهات على السبورة، واطلب إلى الطلاب استعمال المسطرة المترية لقياس المتجهات وحساب المتجه المحصل. ثم اطلب إليهم تحديد المحصلة لكل مجموعة باستعمال علم المثلثات. **2م** **بصري - مكاني**

#### مسائل تدريبية

حلّ المسائل 3-8 جبرياً (يمكن حل بعضها أيضاً بطريقة الرسم للتحقق من الإجابة):



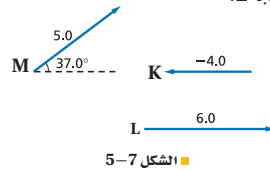
الشكل 5-6

3. يمشي أحمد مسافة 0.40 km بزاوية 60° غرب الشمال، ثم يمشي 0.50 km غرباً. ما إزاحة أحمد؟
4. يقضي الأخوان أحمد وعبد الله بعض الوقت في بيت بناية فوق شجرة. وقد استعملوا بعض الخيال لرفع صندوق كتلته 3.20 kg بجوي أمتعتهم. فإذا وقفا على غصنين مختلفين كما في الشكل 5-6 وسحبوا بالزوايتين والقوتين الموضحتين في الشكل، فاحسب كلا من المركبتين x و y للقوة المحصلة المؤثرة في الصندوق. تنبيه: ارسم مخطط الجسم الحر حتى لا تنسى أي قوة.
5. إذا بدأت الحركة من منزلك فقطعت 8.0 km شمالاً، ثم انعطفت شرقاً حتى أصبحت إزاحتك من المنزل 10.0 km، فما مقدار إزاحتك شرقاً؟
6. أرجوحة طفل معلقة بجبلين يميلان عن الرأسي بزاوية 13.0°، وهما مربوطان إلى فرع شجرة. فإذا كان الشد في كل حبل 2.28 N فما مقدار واتجاه القوة المحصلة التي يؤثر بها الجبلان 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؟

#### 5-1 مراجعة

13. **عمليات إبدالية** إن الترتيب في جمع المتجهات غير مهم. ويقول علماء الرياضيات إن عملية جمع المتجه عملية إبدالية. فأأي العمليات الحسابية المألوفة عملية إبدالية، وأيها غير إبدالية؟
14. **التفكير الناقد** أزيح صندوق، ثم أزيح إزاحة أخرى يختلف مقدارها عن مقدار الإزاحة الأولى. هل يمكن أن يكون للإزاحتين اتجاهان بحيث يجعلان الإزاحة المحصلة تساوي صفراً؟ افترض أن الصندوق حُرّك خلال ثلاث إزاحات مقاديرها غير متساوية، فهل يمكن أن تساوي الإزاحة المحصلة صفراً؟ ادمم استنتاجك برسم تخطيطي.

9. **المسافة مقابل الإزاحة** هل تساوي المسافة التي تمشيها مقدار إزاحتك؟ أعط مثالاً يدعم استنتاجك.
10. **طرح متجه** في الشكل 5-7 اطرَح المتجه K من المتجه L.



11. **مركبات** أوجد مركبتي المتجه M المبين في الشكل 5-7.
12. **جمع المتجهات** أوجد محصلة المتجهات الثلاثة المبينة في الشكل 5-7.

www.obeikaneducation.com الموقع الإلكتروني مرجع إلى الاختبارات القصيرة من الاختبارات القصيرة

#### 5-1 مراجعة

9. **ليس ضرورياً؛ فعلى سبيل المثال** يمكنني المشي حول منطقة سكنية على شكل مربع طول ضلعه 1 km، والعودة إلى النقطة نفسها التي بدأت منها، فتكون الإزاحة في هذه الحالة صفراً ولكن المسافة تساوي 4 km.
10. **10.0 إلى جهة اليمين.**
11.  **$M_x = 4.0$  في اتجاه اليمين.  $M_y = 3.0$  في اتجاه الأعلى.**
12.  **$R = 6.7$  في اتجاه يصنع زاوية 27° مع الأفقي.**
13. **عملية الجمع والضرب عمليتان** إبداليتان، أما عمليتا الطرح والقسمة فليستا كذلك.
14. **لا.** ولكن إذا كان هناك ثلاث إزاحات، وشكّلت المتجهات الممثلة لهذه الإزاحات مثلثاً مغلقاً عند رسمها بطريقة الرأس إلى الذيل، أو إذا كان مجموع متجهي إزاحتين يساوي متجه الإزاحة الثالث في المقدار ويعاكسه في الاتجاه، فإن محصلتها تساوي صفراً. انظر دليل حلول المسائل.



## 1. التركيز

### نشاط

**الاحتكاك السطحي** ادفع جسمًا مقدار احتكاكه قليل مثل جليد، ثم ادفع جسمًا آخر مقدار احتكاكه كبير مثل كتاب على السطح نفسه كسطح الطاولة مثلاً. اطلب إلى الطلاب وصف الاختلاف في سلوك الجسمين وبيان سببه. إذا أجاب الطلاب بأن الاحتكاك هو السبب، فاطلب إليهم توضيح المقصود بالاحتكاك، حيث يمكنك مساعدتهم وإرشادهم إلى التعريف العلمي للاحتكاك. **1أ بصري - مكاني**

### الربط مع المعرفة السابقة

**المقاومة** سُمي مفهوم الاحتكاك في الفصول السابقة بالمقاومة، وضح للطلاب هذا الربط عندما تُعرف لهم الاحتكاك، آخذًا بعين الاعتبار معرفتهم بتأثيرات الاحتكاك من خلال حياتهم اليومية.

## 2. التدريس

### استخدام الشكل 5-8

مثل بالرسم الأشكال 5-8b، 5-8c وارسم متجهات القوة، مبيّنًا القوة المؤثرة وقوة مقاومة الاحتكاك في كل حالة. وضح للطلاب أن قوة الاحتكاك السكوني في الشكل 5-8b تتساوى مع القوة المؤثرة لمنع حركة الجسم، وفقط عندما تزيد القوة المؤثرة وتصبح أكبر من قوة الاحتكاك يتحرك الجسم، كما في الشكل 5-8c.

- ▶ **الأهداف**
  - تعرّف قوة الاحتكاك.
  - تمييز بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.
- ▶ **المفردات**
  - الاحتكاك الحركي
  - الاحتكاك السكوني
  - معامل الاحتكاك الحركي
  - معامل الاحتكاك السكوني

عند تحريك يدك فوق سطح المقعد تشعر بقوة تمنع هذه الحركة. وتسمى هذه القوة الاحتكاك. وإذا دفعت كتابًا فوق سطح الطاولة فإن الكتاب يستمر في الحركة فترة قصيرة ثم يتوقف؛ ذلك لأن قوة الاحتكاك التي تؤثر في الكتاب تُكسبه تسارعًا في اتجاه يعاكس اتجاه حركته. وعلى الرغم من أننا -حتى الآن- نهمل الاحتكاك في حل المسائل، إلا أن هذا لا يعني عدم وجوده؛ فالاحتكاك موجود من حولنا. ونحن نحتاج إلى الاحتكاك كثيرًا عند بدء حركة السيارة أو الدراجة الهوائية، وعند وقوفنا... فإذا مشيت يومًا على الجليد أو على أرض زلقة فستدرك حينها أهمية الاحتكاك.

### الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي Static and Kinetic Friction

هناك نوعان من الاحتكاك يمانعان الحركة دائمًا. فعند دفع الكتاب فوق سطح المقعد فإنه يتأثر بنوع من الاحتكاك الذي يؤثر في الأجسام المتحركة. وتُعرف هذه القوة بالاحتكاك الحركي، وهي قوة تؤثر في السطح عندما يتحرك ملامسًا سطحًا آخر.

ولفهم النوع الآخر من الاحتكاك 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 لا بد أنها تعاكس القوة التي تؤثر أنت بها، وتساويها مقدارًا طبقًا لقانون نيوتن الثاني. وتعرف هذه القوة بالاحتكاك السكوني، وهي قوة تؤثر في سطح بواسطة سطح آخر عندما لا تكون هناك حركة بينهما. وربما تزيد من قوة دفعك، كما في الشكلين 5-8a و 5-8b. فإذا لم تتحرك الأريكة أيضًا فهذا يعني أن قوة الاحتكاك أصبحت أكبر من ذي قبل؛ لأن قوة الاحتكاك السكوني تستجيب لقوى أخرى. وأخيرًا، إذا دفعت الأريكة بقوة كافية، كما في الشكل 5-8c فإنها تبدأ في الحركة. من الواضح إذاً أن هناك قيمة قصوى لقوة الاحتكاك السكوني، وعندما تصبح قوتك أكبر من القيمة القصوى للاحتكاك السكوني تبدأ الأريكة في الحركة، ويبدأ الاحتكاك الحركي في التأثير بدلًا من الاحتكاك السكوني.

الشكل 5-8 هناك حد لقدر قوة الاحتكاك السكوني في تجاوبه مع القوة المؤثرة.



شريحة التدريس 5-2، ص 29

شريحة التدريس 5-3، ص 31

ربط الرياضيات مع الفيزياء

**الملف الخاص** بمصادر الفصول 5-7

دليل مراجعة الفصل، ص 12-18

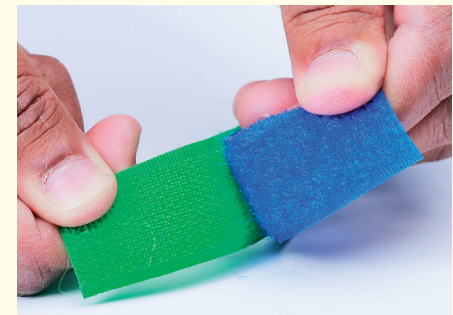
اختبار قصير 5-2، ص 20

## التفكير الناقد

**احتكاك كبير أو قليل** أسأل الطلاب: أيهما أفضل: أن يكون الاحتكاك بين الأسطح كبيراً أم قليلاً؟ **يعتمد ذلك على الحالة موضع الدراسة.** اطلب إلى الطلاب إعطاء أمثلة على كل منهما. **حالات تتطلب احتكاكاً قليلاً** مثل: حركة المكابس في المحركات، وحركة الزلاجات على الثلج. **ومن الأمثلة على حالات تتطلب احتكاكاً كبيراً:** حركة الممحة على الورق، أو الكتابة بالقلم على الورق. **2م منطقي - رياضي**

## استخدام التشابه

**نشاط للبحث في الاحتكاك** إن التفاعل المتبادل بين شريطين بلاستيكيين لاصقين لهما خطاطيف دقيقة - كما هو موضح أدناه - تشبيه مبسط على قوة الاحتكاك بين جسمين. حيث يلتحم السطحان المتلامسان جزئياً ببعضهما ببعض على المستوى المجهرى. اطلب إلى الطلاب البحث حول كيفية عمل هذا الشريط ورسم بعض المخططات التي تساعد على توضيح ذلك. **2م**



## المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

**السرعة الثابتة** يستعمل بعض الطلاب الاحتكاك غطاء يعلق عليه الخطأ المفاهيمي التالي: تنتج الحركة بسرعة ثابتة فقط عندما تؤثر قوة في جسم بصورة متواصلة. ولتجنب الوقوع في مثل هذا الخطأ المفاهيمي لا تدع الطلاب يعتادوا الإجابة أن الاحتكاك هو المسؤول عن أي نقص في السرعة، فمثلاً يمكن أن تؤثر قوة في جسم بصورة متواصلة وتسبب نقصان سرعته في حين لا تعد هذه القوة قوة احتكاك، كما في حالة تباطؤ جسم قُذِف إلى أعلى في الهواء.

**نموذج لقوى الاحتكاك** علام تعتمد قوة الاحتكاك؟ تعتمد قوة الاحتكاك بشكل أساسي على المواد التي تتكون منها السطوح. فعلى سبيل المثال قوة الاحتكاك بين نعل حذاءك والأسمت تكون أكبر مما بين نعل الحذاء والسطح الجليدي. وقد يبدو منطقياً أن تعتمد قوة الاحتكاك أيضاً على مساحة سطح الجسمين المتلامسين أو سرعتي حركتهما، 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.



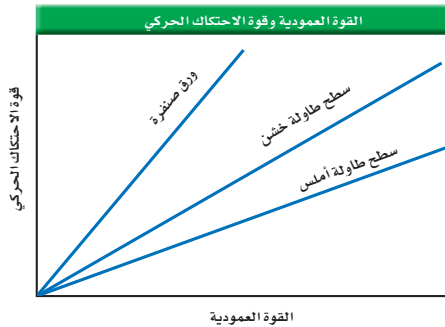
الشكل 9-5 يسحب الميزان النابضي الكتلة بقوة ثابتة.

فإذا سحبنا مثلاً جسماً على سطح ما بسرعة منتظمة فإن قوة الاحتكاك يجب أن تساوي القوة التي سحبنا الجسم بها وتعاكسها طبقاً لقوانين نيوتن. ويمكن سحب جسم معلوم الكتلة على سطح طاولة بسرعة منتظمة بواسطة ميزان نابضي، كما في الشكل 9-5 لقياس القوة التي تسحب بها هذا الجسم. ثم يمكنك بعد ذلك وضع كتلة إضافية فوق سطح الكتلة الأولى لزيادة القوة العمودية وإعادة القياس مرة أخرى.

عند رسم البيانات تحصل على خطوط بياني، كما في الشكل 10-5. لاحظ أن هناك تناسباً طردياً بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية؛ فكل خط من الخطوط يقابل السطح الذي سحبنا عليه الكتلة. لاحظ كذلك أن ميل الخط الذي يقابل سطح ورق الصنفرة أكبر من ميل الخط الذي يقابل السطح الأملس للطاولة. ويجب أن نتوقع أن سحب الكتلة على سطح ورق الصنفرة أصعب من سحبها على السطح الأملس للطاولة. لذا فإن الميل يرتبط بمقدار قوة الاحتكاك الناتجة. ويُسمى ميل هذا الخط معامل الاحتكاك الحركي، ويرمز إليه بـ  $\mu_k$ . ويربط معامل الاحتكاك الحركي بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية على النحو التالي:

$$f_k = \mu_k F_N$$

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



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

## مشروع فيزياء

### نشاط

**الاحتكاك السطحي** أسأل الطلاب: لماذا نُخدش سطوح بعض المواد عندما ينزلق بعضها على بعض، بينما ينزلق بعضها الآخر دون أي عناء؟ تُظهر دراسات الاحتكاك على المستوى الذري التأثير المحدود لتركيب السطح. حيث يكون انزلاق بعض السطوح قليلاً عندما تكون رطبة، ويكون انزلاق بعض الأجسام الخشنة أحياناً أسهل من انزلاق الأجسام الملساء. اطلب إلى الطلاب زيارة المكتبة وجمع معلومات من مراجع تفسر الاحتكاك على المستوى الذري. **2م لغوي**

## مثال صفي

**سؤال** يسحب طفل حذاءً ثقيلاً ذا نعل مطاطي بواسطة أربطته على خرسانة جافة بسرعة ثابتة مقدارها  $0.35 \text{ m/s}$ . إذا كانت كتلة الحذاء  $1.56 \text{ kg}$ ، فما مقدار المركبة الأفقية للقوة التي يؤثر بها الطفل في الحذاء؟ اعتبر أن معامل الاحتكاك الحركي بين الحذاء والخرسانة  $U_k = 0.65$

$$F_{\text{محصلة}} = ma = 0$$

**الجواب**

$$F_{\text{محصلة}} = F_x - f_k$$

$$ma = 0$$

بالتعويض ينتج:

$$F_x = f_k$$

$$F_x = \mu_k F_N = \mu_k mg$$

$$= (0.65)(1.56 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 9.9 \text{ N}$$

## المناقشة

**سؤال** متى يكون معامل الاحتكاك الكبير بين سطحين مفيداً؟

**الجواب** بعض الأمثلة: أحذية الركض على المضمار، وورق الصنفرة على الخشب، وكوابح السيارة على العجلات، وإطارات السيارة على الطريق.

مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 5-2

الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com.sa](http://www.obeikaneducation.com.sa)



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

$$f_s \leq \mu_s F_N$$

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

في معادلة قوة الاحتكاك السكوني القصوى يمثل الرمز  $\mu_s$  معامل الاحتكاك السكوني بين السطحين. أما  $F_N$  فيمثل 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 دائماً، فقد تزيد على ذلك في بعض الظروف الخاصة.

الجدول 5-1		
معاملات الاحتكاك المثالية		
$\mu_k$	$\mu_s$	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)

## عرض سريع

جمع المتجهات

الزمن المقدر 10 دقائق

**المواد والأدوات** وعاء مسطح غير قابل للالتصاق، وقطعة خشبية مغطاة بقماش ناعم أبعادها  $(15 \text{ cm} \times 7.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm})$ .  
**الخطوات** اطلب إلى الطلاب توقع أي سطح من القطعة الخشبية تحتاج إلى قوة أكبر لدفعها لتحرك بسرعة ثابتة على السطح.

ثبت الوعاء على سطح الطاولة ثم اطلب إلى أحد الطلاب أن يحرك القطعة الخشبية عندما تركز على سطحها الأكبر، ثم أعد الخطوة السابقة نفسها عندما تركز على سطحها الأصغر. اطلب إلى الطلاب تلخيص نتائجهم وعرضها على زملائهم في الصف. تبقى قوة الاحتكاك نفسها في الحالتين بغض النظر عن مساحة السطحين المتلامسين.

## تطوير المفهوم

### عرض للعلاقة بين الاحتكاك والقوة العمودية

اطلب إلى أحد الطلاب أن يدفع صندوقاً فارغاً على أرضية أفقية مستوية بسرعة ثابتة، ثم ضع حملاً ثقيلاً في الصندوق واطلب إليه دفع الصندوق مرة أخرى على الأرضية نفسها. ثم اطلب إليه أن يقارن بين القوة اللازمة لدفع الصندوق في الحالتين. واسأل الطلاب: لماذا يستلزم قوة أكبر عند دفع الصندوق في الحالة الثانية؟ تزداد القوة اللازمة؛ لأنَّ زيادة القوة العمودية تزيد من قوة الاحتكاك. **2م حسي - حركي**

### مسائل تدريبية

15. 0.69

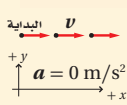
16. 74 N

17. 84 N

18. 0.6 N

### مثال 3

**قوى احتكاك موازنة** إذا دفعت صندوقاً خشبياً كتلته 25.0 kg على أرضية خشبية بسرعة منتظمة مقدارها 1.0 m/s فما مقدار القوة التي أثرت بها في الصندوق؟



$F_{\text{محصلة}} = 0 \text{ N}$

#### 1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القوى وارسم نظاماً إحداثياً.
- ارسم مخطط الحركة، على أن تبين السرعة الثابتة  $v$  و  $a = 0$ .
- ارسم مخطط الجسم الحر.

#### المجهول

$F_{\text{الدفع}} = ?$

#### المعلوم

$m = 25.0 \text{ kg}$

$v = 1.0 \text{ m/s}$

$a = 0.0 \text{ m/s}^2$

$\mu_k = 0.20$  (الجدول 1-5)

#### 2 إيجاد الكمية المجهولة

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

بالتعويض  $F_g = mg$

$$F_N = -F_g = -mg$$

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

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

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

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

$$f_k = \mu_k mg = F_{\text{الدفع}}$$

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

$$= 49 \text{ N}$$

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

#### دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 91، 92

#### 3 تقويم الجواب

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

### مسائل تدريبية

15. يؤثر فتى بقوة أفقية مقدارها 36 N في زلاجة وزنها 52 N عندما يسحبها على رصيف أسمبتي بسرعة منتظمة. 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 معاً 134 N ومعامل الاحتكاك السكوني بين البلاط والصندوق 0.55، فما مقدار القوة التي يجب أن يدفع بها عامر حتى يبدأ الصندوق في الحركة؟

## الفيزياء في الحياة

### معلومة للمعلم

**الزلاجة المائية** يُظهر الجدول 1-5 أنَّ معامل الاحتكاك بين الإطارات المطاطية وخرسانة الطريق الرطبة أقلَّ من قيمة معامل الاحتكاك بينهما عندما تكون الخرسانة جافة. وفي حالة وجود تجمع مائي على سطح الطريق تتشكَّل طبقة من الماء بين الطريق والإطارات فلا يحدث تقريباً أيّ تلامس بين الإطارات والطريق، وهكذا فإنَّ الإطارات تتحرك على طبقة من الماء. وبما أنَّ معامل الاحتكاك بين المطاط والماء صغير جداً، فمن المستحيل التوقف خلال مسافة قصيرة.

### مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 3-5

الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com.sa](http://www.obeikaneducation.com.sa)

## مثال صفي

**سؤال في المثال الصفّي السابق، إذا سحب الطفل الحذاء بنصف القوة السابقة.**

**الجواب إذا كانت القوة الجديدة نصف القوة السابقة، فإن التسارع يساوي صفراً ولن يتحرك الحذاء.**

**سؤال إذا سحب الطفل الحذاء في الاتجاه الأفقي بقوة إضافية لقوته السابقة مقدارها 2.0 N، فما تسارع الحذاء؟**

**الجواب**

$$F_{\text{محصلة}} = ma$$

$$F_x - f_k = ma$$

$$a = \frac{F_x - f_k}{m} = \frac{11.9 \text{ N} - 9.9 \text{ N}}{1.56 \text{ Kg}}$$

$$= 1.3 \text{ m/s}^2$$

## تعزير الفهم

**عرض للمقارنة بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي** استعمل ميزاناً نابضياً كبيراً كي يتمكن الطلاب من قراءة تدريجه وذلك عندما تسحب كتاباً على سطح طاولة. وضح للطلاب أن القوة اللازمة لبدء حركة الكتاب أكبر بكثير من القوة اللازمة لاستمرار حركته. ثم اطلب إليهم توضيح مشاهداتهم بدلالة قوتي الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي. يمكن إجراء هذا النشاط في مجموعات صغيرة باستعمال موازين نابضية صغيرة. **2 م بصري - مكاني**

## مثال 4

17. تستقر زلاجة وزنها 52 N على ثلج متراكم. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.12، وجلس شخص وزنه 650 N على الزلاجة فما مقدار القوة اللازمة لسحب الزلاجة على الثلج بسرعة ثابتة؟
18. آلة معينة بها قطعتان فولاذيتان يجب أن تُدلك كل منهما بالأخرى بسرعة ثابتة. فإذا كانت القوة الضرورية لضبان أداء القطعتين بصورة مناسبة 5.8 N قبل معالجة تقليل الاحتكاك بينهما، فاحسب - مستعيناً بالجدول 1-5 - القوة المطلوبة ليكون أداؤهما مناسباً بعد معالجتهما بالزيت.

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

### 1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم مخطط الحركة مبيناً  $v$  و  $a$ .

• ارسم مخطط الجسم الحر على أن تكون  $F_{\text{دفع}}$  ضعف ما كانت عليه في المثال 3.

**المعلوم**

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

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

**المجهول**

$a = ?$

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

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

بالتعويض  $F_g = mg$

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

بالتعويض  $F_{\text{محصلة}} = ma$

$$F_{\text{محصلة}} = F_{\text{دفع}} - f_k$$

$$ma = F_{\text{دفع}} - f_k$$

$$a = \frac{F_{\text{دفع}} - f_k}{m}$$

### دليل الرياضيات

فصل المتغير 92

أوجد قيمة  $f_k$ .

بالتعويض  $F_N = mg$

بالتعويض  $f_k = \mu_k (mg)$

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

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

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

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

### 3 تقييم الجواب

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



## مسائل تدريبية

19. 0.128

20. 0.15

21. 5.5 m

22. 66 m؛ لذا فإنه يصطدم بالفرع قبل أن يتمكن من التوقف.

## مسائل تدريبية

19. تنزلق قطعة خشبية كتلتها 1.4 kg على سطح خشبي، فتتباطأ بتسارع مقداره  $1.25 \text{ m/s}^2$ . ما معامل الاحتكاك الحركي بين القطعة الخشبية والسطح؟
20. ساعدت والدك لتحريك خزانة كتب كتلتها 41 kg في غرفة المعيشة. فإذا دفعت الخزانة بقوة 65 N وتسارعت بمقدار  $0.12 \text{ m/s}^2$ ، فما معامل الاحتكاك الحركي بين الخزانة والسجادة؟
21. سُرّع قرص في لعبة على أرضية خرسانية حتى وصلت سرعته إلى  $5.8 \text{ m/s}$  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 ممطرة بسرعة  $23 \text{ m/s}$ ، إذ شاهد فرع شجرة ملقى على الطريق فضغط على المكابح. إذا كانت المسافة بين السيارة والفرع لحظة الضغط على المكابح 60.0 m، وكان معامل الاحتكاك الحركي بين إطارات السيارة والطريق 0.41، فهل تتوقف السيارة قبل أن تصطدم بالفرع، علمًا بأن كتلة السيارة 2400 kg؟

عند التعامل مع الحالات التي تتضمن قوى الاحتكاك ينبغي تذكر الأمور التالية:  
أولاً: يؤثر الاحتكاك دائماً في اتجاه يعاكس اتجاه الحركة (أو عندما يكون الجسم على وشك الحركة في حالة الاحتكاك السكوني).

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 السكوني في القوة العمودية يعطي القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني.

## تطبيق الفيزياء

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

## تطبيق الفيزياء

- تتغير قابلية الالتصاق بأسطح المواد لأن الاحتكاك السطحي للمواد المختلفة متفاوت. مثلاً، لمنع الكتابة على الجدران في الأماكن العامة يتم طلاء سطوحها بمادة تُشكّل طبقة يستحيل معها الكتابة بأقلام الحبر أو الرصاص أو أقلام التلوين الدائمة عليها.

### 3. التقويم

#### التحقق من الفهم

معاملات الاحتكاك لمعرفة ما إذا فهم الطلاب متى يُستعمل كل من معاملي الاحتكاك، اطلب إليهم حل مسألة يتطلب حلها استعمال أحد معاملي الاحتكاك فقط، وزودهم بمعاملي الاحتكاك. واسألهم بعد أن يحلوا المسألة: أي معامل احتكاك استعملوه، ولماذا؟

#### 2م منطقي - رياضي

#### إعادة التدريس

توضيح الاحتكاك السكوني وضح للطلاب أن مقدار قوة الاحتكاك السكوني يمكن أن يتغير، وأن معامل الاحتكاك السكوني يحدد القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني. اسحب جسمًا ثقيلًا بقوى مختلفة مستعملًا ميزانًا نابضيًا كبيرًا، واطلب إلى الطلاب وصف التغير في القوى. 2م

#### 5-2 مراجعة

23. احتكاك قارن بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.
24. قوة الاحتكاك انزلق صندوق كتلته 25 kg على أرضية صالة رياضية، ثم توقف. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق وأرضية الصالة 0.15، فما مقدار قوة الاحتكاك التي أثرت فيه؟
25. سرعة ألقى أحمد بطاقة فانزلق على سطح الطاولة مسافة 0.35 m قبل أن تتوقف. إذا كانت كتلة البطاقة 2.3 g، ومعامل الاحتكاك الحركي بينها وبين سطح الطاولة 0.24، فما السرعة الابتدائية للبطاقة؟
26. قوة إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين طاولة كتلتها 40.0 kg وسطح الأرض يساوي 0.43، فما أكبر قوة أفقية يمكن أن تؤثر في الطاولة دون أن تحركها؟
27. تسارع انتقل سامي إلى شقة جديدة فوضع خزانته على أرضية صندوق الشاحنة. ما القوة التي تجعل الخزانة تتسارع عندما تتسارع الشاحنة إلى الأمام؟ وتحت أي ظرف يمكن للخزانة أن تنزلق؟ وفي أي اتجاه؟
28. التفكير الناقد تدفع طاولة كتلتها 13 kg بقوة أفقية مقدارها 20 N، دون أن تحركها، وعندما دفعتها بقوة أفقية 25 N اكتسبت تسارعًا مقداره  $0.26 \text{ m/s}^2$ . ما الذي يمكن أن تستنتجه عن معاملي الاحتكاك السكوني والحركي؟

الفيزياء للمواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

#### 5-2 مراجعة

23. التشابه: يؤثر كل منهما في اتجاه يعاكس حركة الجسم (عندما يكون متحركًا أو على وشك الحركة) وينتجان عن احتكاك سطحين مع بعضهما البعض.
- الاختلاف: ينشأ الاحتكاك السكوني عندما لا يكون هناك حركة نسبية بين سطحين، أما الاحتكاك الحركي فينتج عندما يكون هناك حركة نسبية بينهما. ومعامل الاحتكاك السكوني بين سطحين أكبر من معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين نفسيهما.
24. 37 N
25. 1.3 m/s
26. 170 N
27. إن الاحتكاك بين الخزانة وأرضية صندوق الشاحنة يجعل الخزانة تتسارع إلى الأمام. وتنزلق الخزانة إلى الخلف إذا كانت القوة التي تسبب في تسارعها أكبر من  $\mu_s mg$ .
28.  $0.17, 0.16 \leq \mu_s < 0.20$

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

درست حالات عديدة تتضمن قوى في بعدين، منها الحالة التالية: 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، وفيما يلي ستستخدم مهاراتك في جمع المتجهات لتحليل حالات وأمثلة تتضمن قوى غير متعامدة تؤثر في جسم ما.

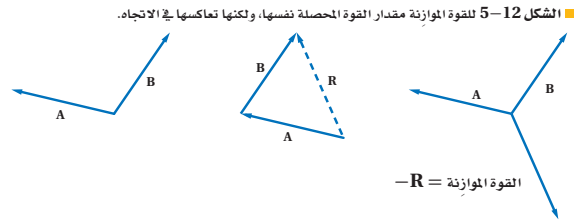
الاتزان Equilibrium

درست في الفصل الرابع أن الجسم يتزن عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفراً. 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 صفراً كان الجسم متزناً.

يبين الشكل 11a-5 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 11b-5 جمع المتجهات الثلاثة A، B، C. لاحظ أن المتجهات الثلاثة تشكل مثلثاً مغلقاً، لذا فإن القوة المحصلة تساوي صفراً، لذا يكون الجسم متزناً.

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

لكي نجد هذه القوة عليك أن تجد أولاً 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 متزناً القوة الموازنة. ويوضح الشكل 12-5 خطوات إيجاد هذه القوة المتجهة، وهي خطوات عامة تستعمل أياً كان عدد المتجهات.

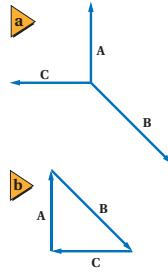


الأهداف

- تحدد 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 صفراً.

1. التركيز

نشاط

**شدّ الحبل وضح للطلاب أنك إذا سحبت طرف حبل وبقي خصمك ثابتاً في مكانه يمسك بالطرف الآخر للحبل، فإن هذا الطرف يؤثر في خصمك بقوة مساوية للقوة التي تؤثر أنت بها في الحبل. وعندما يبدأ خصمك بالحركة فإن القوتين في طرفي الحبل تبقىان متساويتين. ارسم مخطط الجسم الحر لتبين للطلاب أنه عندما تكون القوة المحصلة المؤثرة في الحبل تساوي صفراً، فإن الفريقين يكونان متعادلان. وحتى يفوز أحدهما يجب أن تكون القوى غير متوازنة. م 2**

بصري - مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

**الاتزان** يجب أن يكون مفهوم الاتزان مألوفاً للطلاب من خلال دراستهم للفصل الرابع، حيث استعمل الطلاب هذا المفهوم في بُعد واحد.

2. التدريس

استخدام الشكل 11-5

يبين الشكل ثلاث قوى جُمعت لتنتج قوة محصلة مساوية للصففر. ويمكن الحصول على النتيجة نفسها وذلك بإلغاء القوة A مع المركبة الرأسية للقوة B، ثم إلغاء القوة C مع المركبة الأفقية للقوة B. م 2

تطوير المفهوم

**عرض للاتزان** اربط جسمًا بميزانين نابضيين باستعمال خيطين متساويين في الطول. ارفع الجسم باستعمال الميزانين، ثم بين للطلاب من خلال العرض أنه يمكن أن يتحقق الاتزان بطرائق عدة من خلال تغيير ميل الميزانين بحيث تتغير الزاوية بين الخيطين وبالتالي تتغير القوة التي يؤثر بها كل خيط.

5-3 إدارة المصادر

شريحة التدريس 4-5، ص 33  
ورقة عمل التجربة، ص 7  
ورقة عمل مختبر الفيزياء، ص 8  
ربط الرياضيات مع الفيزياء  
دليل التجارب العملية، ص 20

**الملف الخاص** بمصادر الفصول 7-5  
دليل مراجعة الفصل، ص 18-12  
تعزيز الفهم، ص 22  
الإثراء، ص 24  
اختبار قصير 3-5، ص 21



## المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

**القوة الموازنة** عند محاولة إيجاد القوة الموازنة لقوتين، يقوم معظم الطلاب عادةً بإيجاد محصلة المتجهين وتسميتها القوة الموازنة. ولمساعدتهم على تجنب الوقوع في هذا الخطأ، أسألهم: ما اتجاه تأثير القوة الموازنة؟ ثم ذكرهم بأن القوة الموازنة متجه لها مقدار القوة المحصلة نفسه ولكنها تعاكسها في الاتجاه. **م 2**

### مسألة تحفيز

$$\begin{aligned} F_{1x} &= 58.3\text{N}, & F_{1y} &= 17.8\text{N} \\ F_{2x} &= 16.7\text{N}, & F_{2y} &= 34.2\text{N} \\ F_{3x} &= -7.52\text{N}, & F_{3y} &= 53.5\text{N} \\ F_{4x} &= -74.3\text{N}, & F_{4y} &= 56.0\text{N} \\ F_{5x} &= -60.7\text{N}, & F_{5y} &= -23.3\text{N} \\ F_{6x} &= -26.4\text{N}, & F_{6y} &= -98.5\text{N} \\ F_{7x} &= 0.0\text{N}, & F_{7y} &= -26.0\text{N} \\ F_{8x} &= 28.8\text{N}, & F_{8y} &= -71.4\text{N} \\ F_{9x} &= 27.8\text{N}, & F_{9y} &= -42.8\text{N} \\ F_{10x} &= 81.7\text{N}, & F_{10y} &= -7.15\text{N} \\ F_x &= 44.38\text{N}, & F_y &= -107.65\text{N} \\ F_{\text{محصلة}} &= \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2} \\ &= \sqrt{(44.38\text{N})^2 + (-107.65\text{N})^2} \\ &= 116\text{N} \\ \theta_{\text{محصلة}} &= \tan^{-1} \left( \frac{F_y}{F_x} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{-107.65\text{N}}{44.38\text{N}} \right) \\ &= -67.6^\circ \\ F_{\text{الموازنة}} &= 116\text{N} \text{ وتصنع زاوية } 112.4^\circ \text{ بالنسبة للأفقي} \\ &\text{أو} \\ &= 116\text{N} \text{ تصنع زاوية } 22.4^\circ \text{ غرب الشمال} \end{aligned}$$

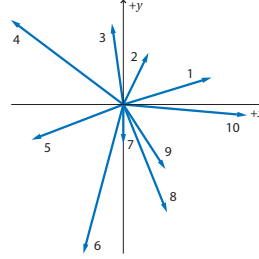
مصادر الفصول 5-7

شريعة التدريس 5-4

الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com.sa

### مسألة تحفيز

أوجد القوة الموازنة للقوى التالية:



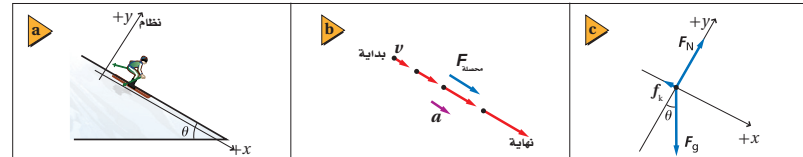
- $F_1 = 61.0\text{ N}$  في اتجاه يصنع زاوية  $17.0^\circ$  شمال الشرق.
- $F_2 = 38.0\text{ N}$  في اتجاه يصنع زاوية  $64.0^\circ$  شمال الشرق.
- $F_3 = 54.0\text{ N}$  في اتجاه يصنع زاوية  $8.0^\circ$  غرب الشمال.
- $F_4 = 93.0\text{ N}$  في اتجاه يصنع زاوية  $53.0^\circ$  غرب الشمال.
- $F_5 = 65.0\text{ N}$  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 اقتضت على الاتجاه الأفقي أو الرأسي. كيف يمكن تطبيق هذه القوانين على حالة مماثلة لما في الشكل 5-13a، التي ينزل فيها متزلج على مستوى مائل؟

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



### تجربة إضافية

#### الاتزان

**الهدف** تحقيق الاتزان بين ثلاث قوى وتحليل متجهات القوى.

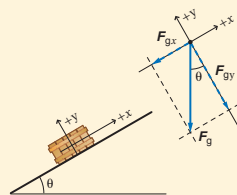
**المواد والأدوات** ثلاثة موازين نابضية بتدريج 5 N، وخيط طوله 1 m.

**الخطوات** اثن الخيط من المنتصف حول خطاف الميزان A، واربط الميزان B في طرف الخيط والميزان C في الطرف الآخر. ثم اطلب إلى الطلاب توقع قراءة الميزان A إذا ابتعد الميزانان B و C عن بعضهما وبقيت قراءتهما ثابتة. حرّك كلا الميزانين B و C بعيداً حتى تتكوّن بينهما زاوية مقدارها  $45^\circ$ ، وسجّل القراءات جميعها. تكون قراءة الميزان A أقل من مجموع قراءتي الميزانين B و C.

**التقويم** ناقش لماذا كانت قراءة الميزان A أقل من مجموع قراءتي الميزانين B و C؟ واسأل الطلاب: ما قراءة الميزان A إذا ابتعد الميزانان B و C عن بعضهما بحيث يصبح الخيط مستقيماً؟ (صفر) ناقش الطلاب في كيفية تأثير هذه المشاهدات في استنتاجاتهم.

مثال 5

مركبتا الوزن لجسم على سطح مائل يستقر صندوق وزنه 562 N على سطح مائل يصنع زاوية  $30.0^\circ$  فوق الأفقي. أوجد مركبتي قوة الوزن الموازية للسطح والعمودية عليه.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نظاماً إحداثياً يشير فيه المحور  $x$  الموجب إلى أعلى السطح المائل.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبيناً  $F_g$  ومركبتها  $F_{gx}$  و  $F_{gy}$  والزاوية  $\theta$ .

المعلوم

$$F_g = 562 \text{ N} \quad \theta = 30.0^\circ \quad F_{gx} = ? \quad F_{gy} = ?$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

$F_{gx}$  و  $F_{gy}$  سالتان لأنهما تشيران إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.

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

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

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

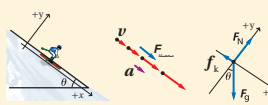
$$\text{بالتعويض } \theta = 30.0^\circ \text{ و } F_g = 562 \text{ N}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس القوة بوحدة نيوتن.
- هل للإشارات معنى؟ تشير المركبتان 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 kg على زلاجة، وينزل 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 s من بدء الحركة، علماً بأنه انزلق من السكون؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- كون نظاماً إحداثياً.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبيناً عليه  $F_g$  و  $F_N$  و  $f_k$ .
- ارسم مخطط الحركة مبيناً تزايد السرعة المتجهة  $v$  وكل من  $a$  و  $F$  معجلة على محور  $x$  الموجب، كما في الشكل 13-5.

التفكير الناقد

مركبتا القوة اطلب إلى الطلاب مشاهدة بعض الصور أو أفلام الفيديو لرافعي الأثقال وتحديد كيف تكون المادة التي قدّمت في هذا الجزء مناسبة للحصول على تقنية ناجحة لرفع الأثقال. من الممكن أن يساعد رسم مخططات القوى الطلاب على توضيح تفسيراتهم. مركبة قوة رافع الأثقال العمودية على القضيب الحامل للأثقال هي التي تؤدي إلى رفعه، حيث يُمسك رافع الأثقال هذا القضيب بإحكام لتمكينهم من زيادة هذه القوة العمودية. 2م بصري - مكاني

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

بناء الكوخ المُقَبَّب والقوى الموازية يستعمل شعب الأسكيمو القوى الموازية في بناء الكوخ المُقَبَّب وهو عبارة عن بناء على شكل قبة يُبنى من كتل من الجليد على شكل مكعبات أو أشباه مكعبات. تسحب الجاذبية هذه الكتل فيقترب بعضها من بعض، وتضغط كل كتلة على الكتلة المجاورة لها من الجانبين ومن الأعلى ومن الأسفل. إن الكتلة التي في قمة القبة هي الكتلة الأكثر أهمية، حيث يبقى الصف العلوي للقبة متحرّكاً حتى توضع هذه الكتلة فينتج عن ذلك قوة محصلة مساوية للصفر.

## مثال صفحي

**سؤال** تنزلق زلاجة من السكون من أعلى تلة مغطاة بالثلج، فإذا كانت زاوية ميل التلة  $30^\circ$  على الأفقي ومعامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج  $0.18$ ، فما مقدار تسارع الزلاجة؟

### الجواب

$$\begin{aligned} F_{gx} - f_{fx} &= ma_x \\ mg(\sin \theta) - \mu_k mg(\cos \theta) &= ma_x \\ a_x &= g(\sin \theta) - \mu_k g(\cos \theta) \\ &= (9.80 \text{ m/s}^2)(\sin 30.0^\circ) - 0.18(9.80 \text{ m/s}^2)(\cos 30.0^\circ) \\ &= 3.4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

## المناقشة

**سؤال** إذا انزلق جسم على سطح مائل إلى أسفل فهل يعتمد مقدار تسارع الجسم على كتلته؟ وهل يعتمد مقدار تسارعه على معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين؟ أو على زاوية ميل السطح؟

### الجواب

يعتمد مقدار تسارع الجسم على زاوية ميل السطح وعلى معامل الاحتكاك الحركي ولا يعتمد على كتلة الجسم. **2 م**

### المجهول

$$a = ? \quad v_f = ?$$

### المعلوم

$$\begin{aligned} \theta &= 37^\circ \\ v_i &= 0.0 \text{ m/s} \\ m &= 62 \text{ kg} \\ \mu_k &= 0.15 \\ t &= 5.0 \text{ s} \end{aligned}$$

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

في اتجاه المحور  $y$ :

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

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

حل لإيجاد القوة العمودية  $F_N$

$$F_{\text{محصلة } y} = F_N - F_{gy}$$

$$\begin{aligned} F_N &= F_{gy} \\ &= mg(\cos \theta) \end{aligned}$$

### دليل الرياضيات

فصل المتغير 92

$F_{gy}$  سالبة لأنها في اتجاه محور  $y$  السالب

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

$$F_{gy} = mg \cos \theta$$

في اتجاه المحور  $x$ :

حل لإيجاد التسارع  $a$ .

$$F_{\text{محصلة } x} = F_{gx} - f_k$$

$f_k$  سالبة لأنها في اتجاه محور  $x$  السالب للنظام الإحداثي

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

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

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

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

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

بقسمة كلا الطرفين على  $m$ ، والتعويض عن  $a_x$  بـ  $a$

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

لأن التسارع في اتجاه محور  $x$  الموجب

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

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

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

$$v_f = v_i + at$$

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

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

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

### 3 تقييم الجواب

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

## الفيزياء في الحياة

### معلومة للمعلم

**الاتزان الاستاتيكي** إن أحد أهم تطبيقات متجهات القوة هو ما يقوم به المصممون والمهندسون للحصول على توازن يُعرف بالاتزان السكوني في البناء الذي يصمّمونه. والتوازن من الأمور الحيوية، سواء أكان البناء جسراً أم بناية أم طريقاً سريعاً. فتُبْنى البنايات التي تكون سقوفها مدببة (على شكل كوخ) بحيث تتوازن القوة الخارجية عند التقاء السقف مع الحائط. ويمكن عمل ذلك من خلال دعائم بناء خارجية رأسية أو دعائم عرضية. وتطبق في أي حالة منهما قوة أفقية موازنة متجهة إلى الداخل بحيث تُوازن المركبة الخارجية لمتجه وزن السقف. **2 م**

## تجربة

### أثر الزاوية

**الهدف** استكشاف مركبتي المتجه وجمع المتجهات.  
**المواد والأدوات** ميزان نابضي بتدريج 5N، وكتلة تعليق مقدارها 500 g، ومنقلة، ولوح أملس أو ورق مقوى.

**النتائج المتوقعة** عندما يُعلق الجسم بواسطة الميزان تكون قراءة الميزان 4.9N. وبما أن السطح المائل عديم الاحتكاك نسبياً، فإن قراءة الميزان عند سحبك للجسم إلى الأعلى تكون ما بين 3.5N و 3.6N.

### التحليل والاستنتاج

$$\begin{aligned} F_x &= mg \sin \theta \\ &= (0.5 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) (0.707) \\ &= 3.5 \text{ N} \end{aligned}$$

4. قد تختلف الإجابات. لكن يجب أن تكون قراءة الميزان على السطح المائل هي تقريباً قيمة المركبة نفسها التي حصلنا عليها من السؤال 3.

### مسائل تدريبية

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

30. حرك أحد وسمير طاولة عليها كأس كتلتها 0.44 kg بعيداً عن أشعة الشمس. رفع أحد طرف الطاولة من جهته قبل أن يرفع سمير الطرف المقابل، فالت الطاولة على الأفقي بزاوية 15°. أوجد مركبتي وزن الكأس الموازية لسطح الطاولة والعمودية عليه.



الشكل 14-5

31. بين الشكل 14-5 شخصاً كتلته 50.0 kg يجلس على كرسي في عيادة طبيب الأسنان. فإذا كانت مركبة وزنه العمودية على مستوى مقعد الكرسي 449 N، فما الزاوية التي يميل بها الكرسي بالنسبة إلى المحور الأفقي؟

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

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

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

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

36. في المثال رقم 6 إذا ازداد الاحتكاك بين الشخص والثلج فجأة إلى أن أصبحت القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفراً بعد مرور 5.0 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 موازياً 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 مائلاً بزاوية 45°. ثم علق جسماً كتلته 500 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 مركبة وزن الجسم الموازية للسطح المائل.

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

تجربة عملية  
كيف يتحرك الجسم المنزلق على سطح مائل؟  
ارجع إلى دليل التجارب العملية

### مسائل تدريبية

29. انظر دليل حلول المسائل.

$$F_g \text{ موازية، } = 1.1 \text{ N} \quad 30.$$

$$F_g \text{ عمودية، } = 4.2 \text{ N}$$

$$23.6^\circ \quad 31.$$

$$345 \text{ N} \quad 32.$$

$$63.4^\circ \text{ بالنسبة للرأسي.} \quad 33.$$

$$3.8 \text{ m/s}^2 \quad 34.$$

$$5.2 \text{ m/s}^2 \quad 35.$$

$$0.75 \quad 36.$$

### 3. التقويم

#### التحقق من الفهم

**القوى الموازنة** اسأل الطلاب: كيف يمكن التأثير في جسم بقوتين مقدار إحداهما 6.0N، والأخرى 8.0N بحيث تكون القوة المحصلة 10.0N؟ **تؤثر** **القوتان في الجسم بحيث تكون الزاوية بينهما 90°**. ارسم مخططاً بيانياً لهاتين القوتين، ثم اسأل: كيف يمكن التأثير بقوة ثالثة لكي يحدث الاتزان؟ **يجب أن يكون مقدار القوة الثالثة 10.0N في اتجاه يعاكس اتجاه القوة المحصلة**. ذكّر الطلاب بأن القوة الثالثة هي القوة الموازنة. **2م منطقي - رياضي**

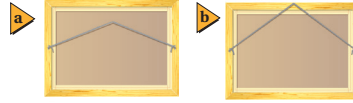
#### إعادة التدريس

**تحليل المتجه** إحدى أكثر طرائق تحليل المتجهات شيوعاً هي تلك المستعملة في تحليل وزن جسم ما موضوع على سطح مائل. أعد التحليل خطوة خطوة مع توضيح اتجاه كل مركبة، وأن كلاً من المركبتين لا يمكن أن تكون أكبر من وزن الجسم. قد يساعدك رسم مثلث كبير على ذلك.

لاحظ أنك تحتاج إلى تطبيق قانون نيوتن الثاني في اتجاه المحور x مرة، وفي اتجاه المحور y مرة أخرى. ولأن الوزن لا يشير إلى اتجاه أي من المحورين فإننا نقوم بتحليله إلى 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 بسلكتين طويلتين. وإذا كانت القوة المؤثرة في السلكتين 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 تخليص سيارتك من الوحل أن تربط طرف حبل غليظ بالسيارة وطرفه الآخر بشجرة، ثم تسحب الحبل من نقطة المنتصف بزاوية 90° بالنسبة إلى الحبل. ارسم مخطط الجسم الحر، ثم وضح لماذا تكون القوة المؤثرة في السيارة كبيرة حتى عندما تكون القوة التي تسحب بها الحبل صغيرة؟

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

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

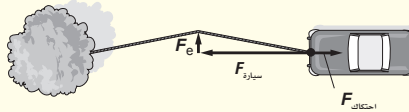
الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

#### 3-5 مراجعة

40.  $F_T = \frac{F_g}{2 \sin \theta}$ ، لذا فإن  $F_T$  تقل كلما زادت قيمة  $\theta$ . وفي الشكل 5-15b، تكون الزاوية  $\theta$  هي الأكبر.

41. لا؛ لأن اتجاه قوة الاحتكاك في عكس اتجاه حركة المتزلج، إضافة إلى أن مركبة قوة الوزن الموازية للتل تكون في اتجاه أسفل التل وليس إلى أعلاه.

الابتدائي للحبل والموضع الذي أزيح إليه).



38.  $1.31 \times 10^3 \text{ kg}$

39.  $3.2 \text{ m/s}^2$  والاتجاه إلى أعلى السطح المائل.

37. انظر دليل حلول المسائل. توضّح المتجهات المبينة في مخطط الجسم الحر أن تأثير قوة عمودية، مهما كانت صغيرة، على الحبل تؤدي إلى زيادة قوة الشدّ فيه إلى الحدّ الذي يمكن بواسطته التغلب على قوة الاحتكاك. وحيث إن  $F_T = \frac{F}{2 \sin \theta}$ ، فإن قيم صغيرة لـ  $\theta$  تؤدي إلى زيادة كبيرة في قوة الشدّ (حيث تمثّل  $\theta$  الزاوية بين الموضع



## مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصّة مختبر واحدة.

**المهارات العملية** القياس باستعمال وحدات SI، واستعمال الأرقام، وجمع البيانات وتنظيمها، والتقدير.

**احتياطات السلامة** تأكد من أن الملزّمة مثبتة إلى الطاولة بإحكام. كما يجب أن يكون الطلاب حذرين في أثناء استعمال الكتل الخشبيّة خوفاً من احتوائها على تشققات.

**المواد البديلة** يمكن استبدال السطح الخشبي بورق الصنفرة بعد تثبيته على سطح متحرّك مثل الورق المقوى، كذلك فإن أيّ جسم جوانبه مستوية يمكن أن يكون بديلاً عن الكتل الخشبيّة.

**استراتيجيات التدريس**

● حذّر الطلاب ألا يؤثروا بقوة أكبر من القوة اللاّزمة لسحب الكتلة بسرعة ثابتة. ومن المهم ألا يسارع الطلاب الكتلة حالما تبدأ في الحركة

**جدول البيانات 1**

$F_N(N)$	قوة الاحتكاك السكوني $f_s(N)$			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	القيمة المتوسطة
2.1	1.5	1.7	1.4	1.5

**جدول البيانات 2**

$F_N(N)$	قوة الاحتكاك الحركي $f_k(N)$			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	القيمة المتوسطة
2.1	0.85	0.65	0.75	0.75

**جدول البيانات 3**

$F_N(N)$	$f_s(N)$	$f_k(N)$	$\mu_s$	$\mu_k$
2.10	1.53	0.75	0.73	0.36

**جدول البيانات 4**، الزاوية  $\theta$  عندما يبدأ الجسم بالانزلاق على المستوى المائل

$\theta$	$\tan\theta$
$21^\circ$	0.38

## مختبر الفيزياء

### معامل الاحتكاك

تنشأ قوتا الاحتكاك السكوني والحركي بين سطحين متلامسين. فالاحتكاك السكوني قوة يجب أن يُغلب 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، و  $F_N$  القوة العمودية المؤثرة في الجسم. أمّا القيمة القصوى للاحتكاك السكوني  $f_s$  فتُحسب بالعلاقة  $f_s = \mu_s F_N$ ؛ حيث يمثل  $\mu_s$  معامل الاحتكاك السكوني، و  $F_N$  القوة العمودية المؤثرة في الجسم. إن القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني التي يجب أن يتغلب عليها الجسم حتى يبدأ حركته هي  $F_N \mu_s$ . فإذا أثّرت بقوة ثابتة  $F_{\text{دفع}}$  لتحريك جسم على سطح أفقي بسرعة ثابتة فإن قوة الاحتكاك التي تُمانع حركة الجسم تساوي في المقدار القوة المؤثرة  $F_{\text{دفع}}$  وتعاكسها في الاتجاه؛ أي أن  $F_k = F_{\text{دفع}}$ . وعندما يكون الجسم على سطح أفقي والقوة المؤثرة فيه أفقية فإن القوة العمودية تساوي وزن الجسم في المقدار وتعاكسه في الاتجاه.

### سؤال التجربة

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

#### الخطوات

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

#### الأهداف

- تقيس القوة العمودية وقوة الاحتكاك المؤثرة في جسم حين يبدأ حركته، وعندما يكون متحرّكاً.
- تستعمل الأرقام لحساب  $\mu_k$  و  $\mu_s$ .
- تقارن بين قيم  $\mu_k$  و  $\mu_s$ .
- تحلّل نتائج الاحتكاك الحركي.
- تقدّر الزاوية التي يبدأ عندها الجسم في الانزلاق على سطح مائل.

#### احتياطات السلامة



#### المواد والأدوات

- شريط لاصق
- خيط طوله 1 m
- ميزان نابضي
- قطعة خشبيّة ملزّمة
- سطح خشبي
- بكرة

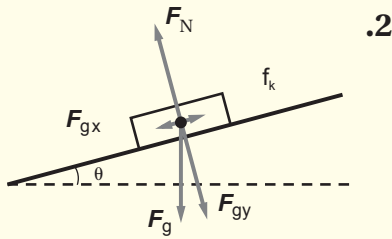


## التحليل

1. الإجابات في الجدولين 1 و 3
2. الإجابات في الجدولين 2 و 3
3. الإجابة في الجدول 3
4. الإجابة في الجدول 3
5. الإجابة في الجدول 4

## الاستنتاج والتطبيق

1. يستنتج الطلاب من خبراتهم اليومية ومشاهداتهم على الأجسام المتحركة أن القوة اللازمة لبدء حركة جسم ما تكون أكبر من القوة اللازمة للمحافظة عليه متحركاً؛ لذا فإن قيمة  $\mu_s$  أكبر من قيمة  $\mu_k$ ، أي أن  $\mu_s > \mu_k$ .



3. تمثل قيمة  $\tan \theta$  معامل الاحتكاك الحركي لأن

$$\tan \theta = \frac{f_k}{F_{gx}} = \frac{f_k}{F_N} = \mu_k$$

4. يجب أن تكون قيمة  $\tan \theta$  مساوية لقيمة  $\mu_k$ ، أمّا قيمة  $\mu_s$  فيجب أن تكون أكبر من  $\tan \theta$  وأكبر من  $\mu_k$ .

## التوسع في البحث

ستختلف الإجابات باختلاف المواد المستعملة، على أن تكون قيم  $\mu$  في قاعة الصف ما بين صفر وواحد.

## الفيزياء في الحياة

بما أن  $\tan \theta = \mu_k$  عندما يتحرك المتزلج على سطح التل بسرعة ثابتة، فإننا نحتاج فقط إلى معرفة زاوية ميل السطح.

جدول البيانات 3				
$\mu_k$	$\mu_s$	$f_k (N)$	$f_s (N)$	$F_N (N)$

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

1. **قارن** تفحص قيم  $\mu_k$  و  $\mu_s$  التي حصلت عليها. وتحقق من معقولية النتائج.
2. **استخدم النمذج** 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.
3. ما الذي يمثله  $\tan \theta$  اعتياداً على مخططك، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الزاوية  $\theta$  هي الزاوية التي يبدأ عندها الجسم في الانزلاق؟
4. **قارن** بين قيمة  $\tan \theta$  (تجريبياً) و  $\mu_k$  و  $\mu_s$ .

## التوسع في البحث

- كّر التجربة باستعمال سطوح أخرى ذات خصائص مختلفة.
- إذا تزلجت 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				
$F_N (N)$	قوة الاحتكاك السكوني $f_s (N)$			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط

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

8. كّر الخطوتين 6 و 7 مرتين.
9. كّر الخطوتين 6 و 7، وعندما تبدأ القطعة في الانزلاق اسحب بدرجة كافية لجعلها تتحرك بسرعة ثابتة على السطح الأفقي. سجل هذه القوة على أنها قوة الاحتكاك الحركي في جدول البيانات 2.
10. كّر الخطوة 9 مرتين.
11. ضع القطعة عند نهاية السطح، ثم ارفعه من جهة القطعة ببطء حتى يصبح مائلاً. وانقر القطعة برفق حتى تتحرك وتتغلب على قوة الاحتكاك السكوني. وإذا توقفت القطعة فأعدها إلى أعلى السطح المائل، وكّر 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

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

## تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية وزع الطلاب في مجموعات واطلب إليهم اختيار سطوح ومواد مختلفة لمقارنة نتائجهم بقيم  $\mu$  الواردة في هذا الفصل. يحدّد الطلاب كيفية قياس القوى المختلفة من خلال سحب الكتلة على السطح، ويستعملون البيانات التي حصلوا عليها لتحديد معامل الاحتكاك.

## التقنية والمجتمع

### الأفعوانيات Roller Coasters

حالي سكونه وحركته. وتساعد هذه الأعضاء على اتزان الجسم بتزويد الدماغ بالمعلومات، فيرسل الدماغ بدوره رسائل عصبية إلى العضلات لتحقيق الاتزان. ونظرًا إلى التغير المستمر في موقع الراكب خلال الأفعوانية ترسل الأعضاء رسائل متضاربة إلى الدماغ، فتتعدد العضلات وتتقلص خلال الرحلة.

وتدرك أنك تتحرك بسرعة كبيرة من خلال مشاهدتك الأجسام التي تمر بالقرب منك بسرعة كبيرة. لذا يستغل المصممون المناظر المحيطة بالمنعطفات والانحناءات والأنفاق لإعطاء الراكب قدرًا كبيرًا من المشاهد المثيرة. وفقدان التوازن جزء من إشارة المتحمسين. ولجذب المزيد من الزوار تصمم متنزهات التسلية باستمرار أفعوانيات تزيد من مستوى الإثارة. وقد تؤدي المثيرات ورسائل الأذن الداخلية إلى الغثيان.



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

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

معامل القوة يهتم مصممو الأفعوانية بمقدار القوى المؤثرة في الراكب، ويصممونها بحيث تهز القوى الراكب دون أن تؤذي. ويقيس المصممون مقدار القوى المؤثرة في الراكب من خلال حساب معامل

القوة، حيث يساوي معامل القوة حاصل قسمة القوة التي يؤثر بها المقعد في الراكب على وزن الراكب. افترض أن وزن الراكب  $600\text{ N}$ ، فإذا كان الراكب أسفل التل فقد يكون معامل القوة الضعيف؛ وهذا يعني أن الراكب يشعر أسفل التل أن وزنه ضعف وزنه الحقيقي؛ أي  $1200\text{ N}$ . وعلى العكس من ذلك يشعر الشخص عند القمة وكأن وزنه نصف وزنه الحقيقي. وهكذا فإن المصممين يولدون الإثارة بتغيير الوزن الظاهري للراكب.

عوامل الإشارة يعالج مصممو الأفعوانيات الطريقة التي تجعل الجسم يشعر بالإثارة. فمثلاً تتحرك الأفعوانية فوق أول التل ببطء شديد إلى أن تخدع الراكب، فيشعر أن التل أعلى كثيرًا من حقيقته. تشعر أعضاء الأذن الداخلية بموقع الرأس في

### التوسع

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

### الخلفية النظرية

من المناسب هنا مناقشة السلوك وعلم وظائف الأعضاء؛ وذلك لأنّها يحدّدان كيفية إدراكنا لحركة أجسامنا وتسارعها، ومن المهم هنا التأكيد على أنّ الموضوعات التي تناقش هذه العملية وتفصيلاتها ما زالت قيد البحث، حيث إنّ البحث في علم وظائف أعضاء الأحاسيس وإدراك موضع الجسم ما زال مستمرًا، لوجود عدّة نظريات متناقضة.

### استراتيجيات التدريس

■ أشرك الطلاب في مناقشة حول كيفية إدراكنا للحركة والقوة والتسارع عندما تؤثر في أجسامنا، وهذه ليست مهمة بسيطة؛ لأنّها تتطلب اختبارًا موضوعيًا للأحاسيس التي تلازمنا منذ الولادة.

■ استعمل صورة أو مخططًا بيانيًا لأفعوانية في مدينة ألعاب، واطلب إلى الطلاب وصف القوى التي تؤثر فيها عند النقاط المختلفة على طول المسار الذي تسلكه.

### نشاط

ردود فعل النظام الهيكلي العظمي اطلب إلى الطلاب البحث عن آخر ما توصّل إليه العلماء في دراسة فهم نظام التوازن (الأذن الداخلية) وأنظمة ردود الفعل في الجسم ومعرفة كيف تساعدنا هذه الأنظمة على حفظ توازن الجسم. حيث تمكننا هذه الأجهزة من الإحساس بالمكان والاتجاه وحركة الجسم وأعضائه، واطلب إلى الطلاب المقارنة بين نتائج دراستهم.

### التوسع

1. سيُشعر كل راكب بالتأثيرات نفسها عند النقاط نفسها على طول الرحلة، فالركاب الذين يكونون في الخلف يتأثرون بقوى تتزايد بشكل تراكمي؛ نظرًا إلى تسارع العربات الأمامية؛ ولذا فعند قمة تلّ ما تتسارع العربة الأخيرة بمقدار أكبر من تسارع العربة الأولى، ويشعر الركاب في العربة
2. الخلفية بمقدار أكبر من انعدام الوزن.
3. من مزايا النظام الهيدروليكي أنّه يشغل حيّزًا صغيرًا، وتؤثر القوة في هذا النظام بدقة، ويمكن أيضًا الوصول إلى السرعة القصوى في زمن قصير. ولكن يحتاج هذا النظام إلى نظام كوابح أكثر فعالية من غيره.



### المفاهيم الرئيسية

يمكن أن يستخدم الطلاب العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسية في الفصل.



قم بزيارة الموقع الإلكتروني التالي:  
[www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

5-1 المتجهات Vectors	
<p><b>المفاهيم الرئيسية</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>يمكن استعمال نظرية فيثاغورس لتحديد مقدار المتجه المحصل عندما تكون الزاوية بين المتجهين <math>90^\circ</math>.</li> </ul> $R^2 = A^2 + B^2$ <ul style="list-style-type: none"> <li>يستعمل قانون جيب التمام وقانون الجيب لإيجاد مقدار محصلة متجهين إذا كان مقدار الزاوية بينهما لا يساوي <math>90^\circ</math>.</li> </ul> $R^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos \theta$ $\frac{R}{\sin \theta} = \frac{A}{\sin a} = \frac{B}{\sin b}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>مركبتا المتجه عبارة عن متجهين يُسقطان على المحاور.</li> </ul> $\cos \theta = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{A_x}{A} \Rightarrow A_x = A \cos \theta$ $\sin \theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{A_y}{A} \Rightarrow A_y = A \sin \theta$ $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{R_y}{R_x} \right)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>يمكن جمع المتجهات من خلال جمع المركبات التي في اتجاه المحور x وفي اتجاه المحور y بشكل منفصل.</li> </ul>	<p><b>المفردات</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>المركبات</li> <li>تحليل المتجه</li> </ul>
5-2 الاحتكاك Friction	
<p><b>المفاهيم الرئيسية</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>تؤثر قوة الاحتكاك عندما يتلامس سطحان.</li> <li>تناسب قوة الاحتكاك مع القوة العمودية.</li> <li>قوة الاحتكاك الحركي تساوي معامل الاحتكاك الحركي مضروباً في القوة العمودية.</li> <li>قوة الاحتكاك السكوني أقل من أو تساوي معامل الاحتكاك السكوني مضروباً في القوة العمودية.</li> </ul> $f_k = \mu_k F_N$ $f_s \leq \mu_s F_N$	<p><b>المفردات</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>الاحتكاك الحركي</li> <li>الاحتكاك السكوني</li> <li>معامل الاحتكاك الحركي</li> <li>معامل الاحتكاك السكوني</li> </ul>
5-3 القوة والحركة في بعدين Force and Motion in Two Dimensions	
<p><b>المفاهيم الرئيسية</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>تُسمى القوة التي تؤثر في جسم لتجعله يتزن القوة الموازنة.</li> <li>يمكن الحصول على القوة الموازنة بإيجاد القوة المحصلة المؤثرة في الجسم، ثم التأثير بقوة تساويها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.</li> <li>الجسم الموجود على سطح مائل له مركبة وزن في اتجاه يوازي السطح تجعل الجسم يتسارع في اتجاه أسفل السطح.</li> </ul>	<p><b>المفردات</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>القوة الموازنة</li> </ul>

عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

### خريطة المفاهيم

42. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

### إتقان المفاهيم

43. ارسم - مستعملًا مقياس رسم مناسب -

سهمين يُمثلان الكمية المتجهتين، اجمع بطريقة الرأس مع الذيل، ثم ارسم سهمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير، ثم قس طول هذا السهم وحدد اتجاهه.

44. يمكن تحريك المتجه دون تغيير طوله أو اتجاهه.

45. المحصلة هي الجمع الاتجاهي لمتجهين أو أكثر، وهي تمثل الكمية الناتجة من إضافة المتجهات إلى بعضها البعض.

46. لا تتأثر.

47. اعكس اتجاه المتجه الثاني ثم اجمعهما.

48. تُقاس الزاوية في اتجاه عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور  $+x$ .

49. قوة الاحتكاك أكبر من القوة العمودية. يُمكنك سحب جسم على سطح ما وقياس القوة التي تحتاج إليها لتحريكه بسرعة ثابتة، ثم قياس وزن الجسم.

50. لا يحدث أي اختلاف لأن قوة الاحتكاك لا تعتمد على مساحة السطح.

51. أحد المحاور رأسياً بحيث يكون المحور الموجب في اتجاه الأعلى أو في اتجاه الأسفل.

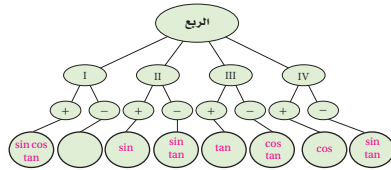
52. يجب أن يكون المحوران متعامدين. يرسم محور  $y$  الموجب بزاوية تميل على الرأسي بمقدار  $30^\circ$  بحيث يكون عمودياً على محور  $x$ .

53. القوة المحصلة المؤثرة في الكتاب تساوي صفرًا.

54. نعم. حسب القانون الأول لنيوتن يُمكن

### خريطة المفاهيم

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



### إتقان المفاهيم

43. صف كيف يمكن جمع متجهين بطريقة الرسم؟ (5-1)  
44. أيّ الأفعال التالية يُسمح بها عند جمع متجه مع متجه آخر بطريقة الرسم: تحريك المتجه، أو دوران المتجه، أو تغيير طول المتجه؟ (5-1)

45. اكتب بكمالاتك الخاصة تعريفاً واضحاً للمحصلة متجهتين أو أكثر. فسر ما تمثله. (5-1)

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

47. وضح الطريقة التي يمكن أن تستعملها ل طرح كمتيتين متجهتين بطريقة الرسم ( $F_1 - F_2$  مثلاً). (5-1)

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

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

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

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

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

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

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

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

a. فصف أفضل نظام إحداثي لتحليل الحركة.

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

### تطبيق المفاهيم

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

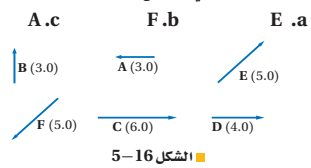
57. كيف تتغير الإزاحة المحصلة عندما تزداد الزاوية بين متجهين من  $0^\circ$  إلى  $180^\circ$ ؟

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

### إتقان حل المسائل

#### 1-5 المتجهات

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



### إتقان حل المسائل

#### 1-5 المتجهات

##### المستوى 1

59. a.  $E_x = 3.5$ ,  $E_y = 3.5$

b.  $F_x = -3.5$ ,  $F_y = -3.5$

c.  $A_x = -3.0$ ,  $A_y = 0.0$

ذلك مادامت سرعة الجسم ثابتة وتسارعه يساوي صفر.

55. a. اجعل المحور  $y$  عمودياً على السطح المائل، واجعل المحور  $x$  يشير في اتجاه أعلى السطح وموازيًا له.

b. إحدى المركبتين موازية للسطح المائل والأخرى عمودية عليه.

### تطبيق المفاهيم

56. 10 mm

57. تزداد المحصلة.

58. المركبة المتجهة شمالاً ( $y$ ) هي الأطول.

## تقويم الفصل 5

### المستوى 2

60. **a.** انظر دليل حلول المسائل.  
**b.** انظر دليل حلول المسائل.  
**c.** انظر دليل حلول المسائل.  
**d.** انظر دليل حلول المسائل.

61.  $4.0 \times 10^1 \text{ m}$ ، في اتجاه يصنع زاوية  $45^\circ$  شرق الجنوب. انظر دليل حلول المسائل.  
 62.  $79 \text{ N}$  في اتجاه يصنع زاوية  $54^\circ$  على الأفقي.

### 5-2 الاحتكاك

#### المستوى 1

63.  $1.2 \text{ m/s}^2$

#### المستوى 2

64. **a.**  $1.0 \times 10^1 \text{ N}$

**b.** 0.20

### 5-3 القوة والحركة في بعدين

65.  $74.4 \text{ N}$ ، في اتجاه يصنع زاوية  $253^\circ$  بالنسبة للأفقي.

#### المستوى 3

66. **a.**  $4.0 \text{ m/s}^2$

**b.** 93 N

### مراجعة عامة

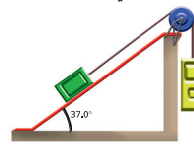
67. 283.6 N

68. **a.** 166 N

**b.** 3.6 km

## تقويم الفصل 5

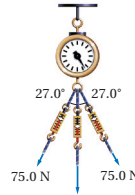
مُعلق كما في الشكل 5-18. إذا كانت كتلة الجسم المعلق  $16.0 \text{ kg}$  وكتلة الجسم الثاني  $8.0 \text{ kg}$ ، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح المائل  $0.23$ ، وتُركت المجموعة لتتحرك من السكون فاحسب:  
**a.** مقدار تسارع المجموعة.  
**b.** مقدار قوة الشد في الحيط.



الشكل 5-18

### مراجعة عامة

67. يُسحب الميزان في الشكل 5-19 بثلاثة حبال. ما مقدار القوة المحصلة التي يقرأها 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:

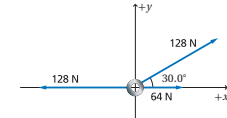
- a.** فما القوة التي يتطلبها دفع الصخرة إلى قمة الجبل بسرعة ثابتة؟  
**b.** إذا دفعت الصخرة بسرعة  $0.25 \text{ m/s}$ ، وتطلب الوصول إلى قمة الجبل  $8.0$  ساعات، فما ارتفاع الجبل؟

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

- a.** D و A  
**b.** D و C  
**c.** C و A  
**d.** E و F

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

### 5-2 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 فتكسبه تسارعاً مقداره  $6.0 \text{ m/s}^2$  في اتجاهها.  
**a.** كم تبلغ قوة الاحتكاك بين الجسم والسطح؟  
**b.** ما مقدار معامل الاحتكاك الحركي؟

### 5-3 القوة والحركة في بعدين

65. يتزن جسم تحت تأثير ثلاث 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 جسيان بخيط يمر فوق بكر ملساء مهملة الكتلة، بحيث يستقر أحدهما على سطح مائل، والآخر

## تقويم الفصل 5

## تقويم الفصل 5

69. a.  $4.90 \times 10^2 \text{ N}$

b.  $1.5 \times 10^2 \text{ N}$

c.  $49 \text{ N}$

d.  $2.0 \times 10^2 \text{ N}$

70.  $24 \text{ m}$

### التفكير الناقد

71. انظر دليل حلول المسائل،  $49 \text{ m}$

72. كلام عبد الله هو الصحيح؛ سيصلان إلى أسفل المنزل في الوقت نفسه.

### الكتابة في الفيزياء

73. ستختلف الإجابات. قد تتضمن زيوت

التشحيم وإنقاص القوة العمودية لتقليل قوة الاحتكاك.

74. ستختلف الإجابات.

### مراجعة تراكمية

75. a.  $90.0 \text{ g}$

b.  $1.68 \text{ km}$

c.  $128.6 \text{ kg}$

d.  $47.9 \text{ s}$

76.  $11.2 \text{ km/h}$

أو  $10 \text{ km/h}$  باستعمال رقم معنوي واحد.

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

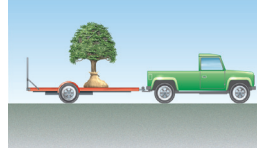
a. وزن الزلاجة.

b. القوة اللازمة لكي تبدأ الزلاجة في الحركة.

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

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

70. الطبيعة تُنقل شجرة بشاحنة ومقطورة ذات سطح مستو، كما في الشكل 20-5. إذا انزلت قاعدة الشجرة فإنها ستقلب وتتلطف. 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 تتسارع بانتظام دون أن تنزلق الشجرة أو تنقلب؟



الشكل 20-5

### التفكير الناقد

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

72. حلل واستنتج تحول أحمد وسعيد وعبد الله في مدينة الألعاب، فرأوا المنزلق العملاق، وهو سطح مائل طوله  $70 \text{ m}$ ، يميل بزاوية  $27^\circ$  على الأفقي. وقد تمهبا رجل وابنه للانزلاق على هذا المنزلق. وكانت كتلة الرجل  $135 \text{ kg}$ ، وكتلة الابن  $20 \text{ kg}$ . تساءل أحمد: كم يقل الزمن الذي يتطلبه انزلاق الرجل عن الزمن الذي يتطلبه انزلاق الابن؟ أجاب سعيد: سيكون الزمن اللازم للابن أقل. فتدخل عبدالله قائلاً: إنكما على خطأ، سيصلان إلى أسفل المنزلق في الوقت نفسه. 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 ثلاثاً، موضحاً دور الفيزياء في عمل كل منها.

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

### مراجعة تراكمية

75. اجمع أو اطرح كلاً مما يلي، 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  $1.5 \text{ h}$  بسرعة متوسطة مقدارها  $10 \text{ km/h}$ ، ثم ركبتها مدة  $30 \text{ min}$  بسرعة متوسطة مقدارها  $15 \text{ km/h}$ . احسب مقدار سرعتك المتوسطة في هذه الرحلة.

## اختبار مقنن الفصل 5-

### سلم تقدير

يمثل الجدول الآتي نموذجاً لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة.

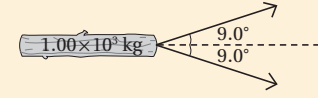
العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهماً كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، وقد تضمن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهماً للموضوعات الفيزيائية التي درسها. واستجابته صحيحة وتظهر فهماً أساسياً، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهماً جزئياً للموضوعات الفيزيائية. وربما استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحل، أو قدّم حلاً صحيحاً، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهماً محدوداً جداً للموضوعات الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدم الطالب حلاً غير صحيح تماماً، أو لا يستجيب أبداً.

## اختبار مقنن

### أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

- يُسحب جذع شجرة كتلته  $1.00 \times 10^3 \text{ kg}$  بجزارين. إذا كانت الزاوية المحصورة بين الجزارين  $18.0^\circ$  (كما في الشكل)، وكل جزار يسحب بقوة  $8.00 \times 10^2 \text{ N}$ ، فما مقدار القوة المحصلة التي سيؤثران بها في جذع الشجرة؟  
 1.  $1.58 \times 10^3 \text{ N}$  (C) 250 N (A)  
 1.60  $\times 10^3 \text{ N}$  (D) 1.52  $\times 10^3 \text{ N}$  (B)

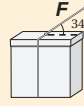


- يحاول طيارٌ الطيران مباشرة في اتجاه الشرق بسرعة  $800.0 \text{ km/h}$ . فإذا كانت سرعة الرياح القادمة من اتجاه الجنوب الغربي  $80.0 \text{ km/h}$  فما السرعة النسبية للطائرة بالنسبة للأرض؟  
 (A) شمال الشرق  $5.7^\circ$ ،  $804 \text{ km/h}$   
 (B) شمال الشرق  $3.8^\circ$ ،  $858 \text{ km/h}$   
 (C) شمال الشرق  $4.0^\circ$ ،  $859 \text{ km/h}$   
 (D) شمال الشرق  $45^\circ$ ،  $880 \text{ km/h}$

- قرّر بعض الطلاب بناء عربة خشبية كتلتها  $30.0 \text{ kg}$  فوق زلاجة. فإذا وضعت العربة على الثلج 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)

- أوجد مقدار المركبة الرأسية (y) لقوة مقدارها  $95.3 \text{ N}$  تؤثر بزاوية  $57.1^\circ$  بالنسبة إلى الأفقي.  
 114 N (C) 51.8 N (A)  
 175 N (D) 80.0 N (B)

- يؤثر خيط في صندوق كما في الشكل أدناه بقوة مقدارها  $18 \text{ N}$  تميل على الأفقي بزاوية  $34^\circ$ . ما مقدار المركبة الأفقية للقوة المؤثرة في الصندوق؟  
 21.7 N (C) 10 N (A)  
 32 N (D) 15 N (B)



- لاحظ عبدالله في أثناء قيادته لدراجته الهوائية على طريق شجرة مكسورة تغلق الطريق على بُعد  $42 \text{ m}$  منه. فإذا كان عبد الله 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 الممتدة

- بدأ رجل المشي من موقع يبعد  $310 \text{ m}$  شمالاً 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؟
- يجلس طفل كتلته  $41.2 \text{ kg}$  على سطح يميل على الأفقي بزاوية  $52.4^\circ$ . إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بينه وبين السطح  $0.72$ ، فما مقدار قوة الاحتكاك السكوني التي تؤثر في الطفل؟

### إرشاد

#### الآلات الحاسبة ليست سوى آلات

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

### أسئلة الاختيار من متعدد

- |     |     |     |
|-----|-----|-----|
| B.3 | C.2 | C.1 |
| D.6 | B.5 | B.4 |

### الأسئلة الممتدة

- $5.5 \times 10^2 \text{ m}$
- $1.8 \times 10^2 \text{ N}$



الأهداف	المواد والأدوات
<b>افتتاحية الفصل</b>	
<b>6-1 حركة المقذوف</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. تلاحظ أن الحركتين الأفقية والرأسيّة للمقذوف مستقلتان.</li> <li>2. تربط بين أقصى ارتفاع يصل إليه المقذوف، وزمن تحليقه في الهواء، وسرعته الابتدائية الرأسية باستعمال الحركة الرأسية.</li> <li>3. تحدّد المدى الأفقي باستعمال الحركة الأفقية.</li> <li>4. تفسّر كيف يعتمد شكل مسار المقذوف على الإطار المرجعي الذي يُلاحظ منه.</li> </ol>	<p><b>تجارب الطالب</b></p> <p><b>تجربة استهلاكية</b> خلفية مقسمة إلى مربعات، وكرة.</p> <p><b>تجربة</b> كرتان كتلة إحداهما ضعف كتلة الثانية، وطاولة سطحها أفقي.</p> <p><b>تجربة إضافية</b> كرة جولف، وساعة إيقاف.</p> <p><b>عرض المعلم</b></p> <p><b>عرض سريع</b> طاولة، وكرتان زجاجيتان متماثلتان.</p>
<b>6-2 الحركة الدائرية</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>5. تفسّر لماذا يتسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري.</li> <li>6. تصف كيف يعتمد مقدار التسارع المركزي على سرعة الجسم، ونصف قطر مساره الدائري.</li> <li>7. تحدّد القوة التي تسبب التسارع المركزي.</li> </ol>	<p><b>عرض المعلم</b></p> <p><b>عرض سريع</b> مقعد دوّار، ومقياس تسارع.</p>
<b>6-3 السرعة المتجهة النسبية</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>8. تحلّل حالات تكون فيها مجموعة المحاور متحركة.</li> <li>9. تحلّ مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.</li> </ol>	<p><b>تجارب الطالب</b></p> <p><b>مختبر الفيزياء</b> شريط ورق، وقطع بلاستيك، وأربطة مطاطية، وورق، ومسامير، ومقص، ومطرقة صغيرة، وأنايب بلاستيكية، ومشابك ورق، وقطع خشبية، وقاطع أسلاك، ومنشار صغير، ومنقلة.</p>

### طرائق تدريس متنوعة

**1م** أنشطة مناسبة للطلاب ذوي صعوبات التعلم. **2م** أنشطة مناسبة للطلاب ذوي المستوى المتوسط. **3م** أنشطة مناسبة للطلاب المتفوقين (فوق المتوسط).

التقنية	شرائح ومصادر قابلة للنسخ
تتضمن أعمال المعلم: نسخة المعلم التفاعلية، تخطيط الدرس مع مفكرة، التقويم، ارتباطات بمواقع إلكترونية.	
	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 6. دليل مراجعة الفصل، ص 47-51 اختبار قصير 1-6، ص 52 شريحة التدريس 1-6، ص 59 شريحة التدريس 2-6، ص 61 ورقة عمل التجربة، ص 42 ربط الرياضيات مع الفيزياء
مسألة الأسبوع على الموقع الإلكتروني: <a href="http://Obeikaneducation.com">Obeikaneducation.com</a>	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 6. دليل مراجعة الفصل، ص 47-51 اختبار قصير 2-6، ص 53 شريحة التدريس 3-6، ص 63 ربط الرياضيات مع الفيزياء دليل التجارب العملية، ص 25
	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 6. دليل مراجعة الفصل، ص 47-51 تعزيز الفهم، ص 55 الإثراء، ص 57 اختبار قصير 3-6، ص 54 شريحة التدريس 4-6، ص 65 ورقة عمل مختبر الفيزياء، ص 43 دليل التجارب العملية، ص 31 ربط الرياضيات مع الفيزياء
مصادر التقويم	
<b>التقنية</b> الموقع الإلكتروني <a href="http://Obeikaneducation.com">Obeikaneducation.com</a>	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 6 تقويم الفصل 6، ص 67 اختبارات الفيزياء التحضيرية

# الفصل 6

## الحركة في بعدين

### الفصل 6

### الحركة في بعدين Motion in Two Dimensions



#### ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

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

#### الأهمية

إن وسائل النقل والألعاب في مدينة الألعاب لا تخلو من آلات أو أجزاء آلات تتحرك على شكل مقذوفات أو تتحرك حركة دائرية، أو تتأثر بالسرعة النسبية. أرجوحة دوارة قبل أن تبدأ هذه الأرجيح في الدوران تكون المقاعد معلقة رأسيًا، وعندما تسارع تتأرجح المقاعد بعيدًا؛ مائلة بزاوية ما.

#### فكر

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

الفيديو عبر المواقع الإلكترونية  
www.ohekaneducation.com

#### نظرة عامة إلى الفصل

تُعَمَّم في هذا الفصل مبادئ الكينماتيكا (علم الحركة) والديناميكا (علم التحريك) التي طوّرت في الفصول 2 - 5 لتشمل الحركة في بعدين. وستحلّل حركة المقذوفات إلى حركتين: إحداها أفقيّة بسرعة ثابتة، والأخرى رأسيّة بتسارع ثابت، كما ستستعمل قوانين نيوتن في تحليل الحركة الدائريّة، وسيختتم الفصل بمناقشة السرعة النسبيّة.

#### فكر

نعم؛ لأنّ التسارع هو التغيّر في السرعة المتجهة مقسومًا على الفترة الزمنية اللازمة لإحداث هذا التغيّر، وحيث إنّ السرعة المتجهة كمية متّجهة فإنّ التغيّر في اتجاه السرعة المتجهة يُنتج التسارع أيضًا.

#### المفردات الرئيسية

- المقذوف
- مسار المقذوف
- الحركة الدائريّة المنتظمة
- التسارع المركزي
- القوة المركزيّة

#### تجربة استهلاكية

**الهدف** توضيح استقلالية الحركة الأفقيّة عن الحركة الرأسية.

**المواد والأدوات** خلفية مقسمة إلى مربعات، وكرة.

#### استراتيجيات التدريس

- لعمل خلفية مقسمة إلى مربعات على لوحة ارسم خطوطاً سمكية بمسافات فاصلة مقدارها 10 cm، وخطوطاً رفيعة بمسافات فاصلة مقدارها 5 cm بين الخطوط السمكية.
- اترك الكرة تتدحرج على سطح طاولة أفقيّة وذلك للتأكد من أنّ لها حركة أفقيّة فقط.

**النتائج المتوقعة** السرعة المتجهة الأفقيّة ثابتة في حين تزايد السرعة المتجهة الرأسية في اتجاه الأسفل.

**التحليل** تزداد السرعة المتجهة الرأسية في اتجاه الأسفل في حين تبقى السرعة المتجهة الأفقيّة ثابتة.

#### التفكير الناقد

يتضمن مسار الجسم الذي يُقذف أفقيًا مركبة أفقيّة وأخرى رأسيّة، وتكون النتيجة مسارًا منحنياً في اتجاه الأسفل.

## 6-1 حركة المقذوف

### 1. التركيز

#### نشاط

**حركة المقذوف** اطلب إلى طالبين تبادل قذف كرة خفيفة بشكل قوسي للأعلى أمام الطلاب. واطلب إلى الطلاب الآخرين التركيز على كل من الحركتين الأفقية والرأسيّة للكرة وإتاحة المجال لهم لوصف الحركة الرأسيّة، أولاً كما تبدو لمراقب يُشاهد الحركة من موقع فوق الطالبين مباشرة، ثم كما تبدو للطالب الذي يقذف الكرة.

#### 1م حسي - حركي

### الربط مع المعرفة السابقة

**الكينماتيكا (علم الحركة)** نماذج الحركة التي طوّرها الطلاب في الفصلين 2 و 3 في تحليل الحركة بسرعة متجهة ثابتة وفي تحليل الحركة بتسارع ثابت، ستُستعمل في تحليل الحركتين الأفقية والرأسيّة للمقذوفات.

## تجربة استهلاكية

### كيف يمكن وصف حركة المقذوف؟

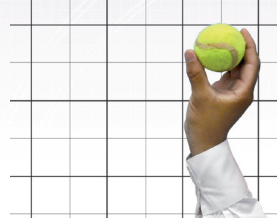
**سؤال التجربة** هل يمكنك وصف حركة مقذوف في كلا الاتجاهين الأفقي والرأسي؟

#### الخطوات

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

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

**التفكير الناقد** صف حركة جسم يُقذف أفقيًا.



## 6-1 حركة المقذوف Projectile Motion

### الأهداف

- تلاحظ أن الحركتين الأفقية والرأسيّة للمقذوف مستقلتان.
- تربط بين أقصى ارتفاع يصل إليه المقذوف، وزمن تحليقه في الهواء، وسرعته الابتدائية الرأسيّة باستعمال الحركة الرأسيّة.
- تحدد المدى الأفقي باستعمال الحركة الأفقية.
- تفسر كيف يعتمد شكل مسار المقذوف على الإطار المرجعي الذي يُلاحظ منه.

### المفردات

المقذوف  
مسار المقذوف

إذا راقبت كرة قدم قذفت أو ضفدعًا يقفز فسوف تلاحظ أنها يتحركان في الهواء في مسارات متشابهة، كما في حركة السهام والطلقات بعد قذفها. وكل مسار من هذه المسارات عبارة عن منحنى يتحرك الجسم فيه إلى أعلى مسافة ما، ثم يغير اتجاهه بعد فترة ويتحرك إلى أسفل، وربما تكون معتادًا على رؤية هذا المنحنى الذي يُسمى في الرياضيات القطع المكافئ. يُسمى الجسم الذي يطلق في الهواء مقذوفًا. ما القوى التي تؤثر في الجسم المقذوف بعد إطلاقه؟ يمكنك رسم مخطط الجسم الحر للمقذوف، وتحديد كل القوى المؤثرة فيه. فبغض النظر عن نوع الجسم المقذوف، فإنه عند إطلاقه واكتسابه سرعة ابتدائية، وبإهمال قوة مقاومة الهواء تكون القوة الوحيدة التي تؤثر فيه في أثناء حركته في الهواء هي قوة الجاذبية الأرضية، وهذه القوة هي التي تجعله يتحرك في مسار منحنٍ أو على شكل قطع مكافئ. إن حركة الجسم المقذوف في الهواء تسمى مسار المقذوف، وإذا عرفت السرعة الابتدائية للمقذوف فستتمكن من حساب مسار الجسم.

## 6-1 إدارة المصادر

شريحة التدريس 2-6، ص 61  
ورقة عمل التجربة، ص 42  
ربط الرياضيات مع الفيزياء

**الملف الخاص** بمصادر الفصول 5-7  
دليل مراجعة الفصل، ص 47-51  
اختبار قصير 1-6، ص 52  
شريحة التدريس 1-6، ص 59



## 2. التدريس

### تجربة



#### السقوط من فوق الحافة

الهدف توضيح أن مسار المقذوف لا يعتمد على كتلته.

المواد والأدوات كرتان كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى، وطاولة سطحها أفقي.

النتائج المتوقعة ستصطدمان بالأرض معاً وعلى

البعد نفسه من الطاولة.

التحليل والاستنتاج

5. لا تؤثر كتلة الكرة في حركتها. الكتلة

ليست عاملاً مؤثراً في هذه التجربة، ولا

تظهر الكتلة في أي من المعادلات التي

تصف حركة المقذوفات.

### عرض سريع



#### استقلالية الحركة

الزمن المقدر 5 دقائق

المواد والأدوات كرتان زجاجيتان متماثلتان، وطاولة.

الخطوات وضح الطبيعة المستقلة للحركتين الأفقية والرأسيّة. ثم ارفع كرة لتصبح بموازية سطح الطاولة وضع الكرة الأخرى على سطح الطاولة عند حافتها، ثم أفلت الكرة الأولى واقذف الثانية أفقيّاً في اللحظة نفسها. سيلاحظ الطلاب أن الكرتين تصطدمان بالأرض معاً ويسمعون صوت اصطدامهما بها في الوقت نفسه.

### تطوير المفهوم

استقلالية السرعتين المتجهتين وضح للطلاب أنّ الحركة الأفقية (السرعة المتجهة الأفقية) للمقذوف ثابتة في غياب مقاومة الهواء، في حين أن السرعة الرأسية للمقذوف تتغير، حيث تؤدي قوة الجاذبية الأرضية إلى إنقاصها في أثناء الصعود كما تؤدي إلى زيادتها في أثناء الهبوط.

### تجربة

السقوط من فوق الحافة  
أحضر كرتين، كتلة إحداهما ضعف كتلة الثانية.

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

4. اختبر توقعاتك.

#### التحليل والاستنتاج

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

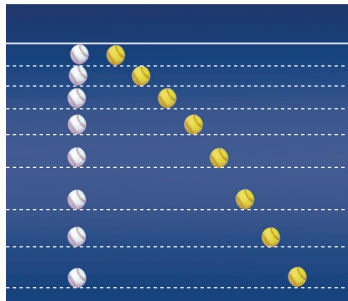
### استقلالية الحركة في بُعدين

#### Independence of Motion in Two Dimensions

إذا وقف طالبان أحدهما أمام الآخر وتقاذفا الكرة، فما شكل مسار حركة الكرة في الهواء كما تشاهده؟ إنه مسار منحني (قطع مكافئ)، كما تعلمت سابقاً. ثرى، لماذا تتخذ الكرة هذا المسار؟ تخيل أنك تقف مباشرة خلف أحد اللاعبين وتراقب حركة الكرة عندما تُضرب، ثم تُشبه حركتها؟ ستلاحظ أنها تصعد إلى أعلى، ثم تعود إلى أسفل كأى جسم يُقذف رأسياً إلى أعلى في الهواء. ولو كنت تراقب حركة الكرة من منطاد مرتفع فوق اللاعبين، فأى حركة تشاهد عندئذ؟ ستلاحظ أن الكرة تسير أفقيّاً بسرعة ثابتة من لاعب إلى آخر، كأى جسم ينطلق بسرعة أفقية ابتدائية، مثل حركة قرص مطاطي على جليد ناعم. إن حركة المقذوف هي تركيب لهاتين الحركتين.

لماذا تتحرك المقذوفات بهذه الكيفية؟ أى قوى تؤثر في الكرة بعد أن تغادر يد اللاعب؟ إذا أمهلت مقاومة الهواء فإن القوة الوحيدة المؤثرة هي قوة الجاذبية الأرضية إلى أسفل. كيف يؤثر ذلك في حركة الكرة؟ تعطي قوة الجاذبية الأرضية الكرة تسارعاً إلى أسفل.

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



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

### مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم

#### نشاط

المركبة الرأسية للحركة زوّد الطلاب بصورة مشابهة عن الشكل 1-6. اطلب إليهم استعمال المسطرة، ورسم خطّ يصل بين كل صورتين متقابلتين للكرتين. واطلب إليهم استعمال مستوى أو منقلة لإثبات أنّ هذه الخطوط أفقية ومستقيمة وذلك بالاعتماد على أحد طرفي الصورة. وضح للطلاب أن الموقع الرأسى للجسمين هو نفسه في كل فترة، وبهذا فإنهما يسقطان بالمعدل نفسه بغض النظر عن المركبة الأفقية للحركة. **1م بصري - مكاني**

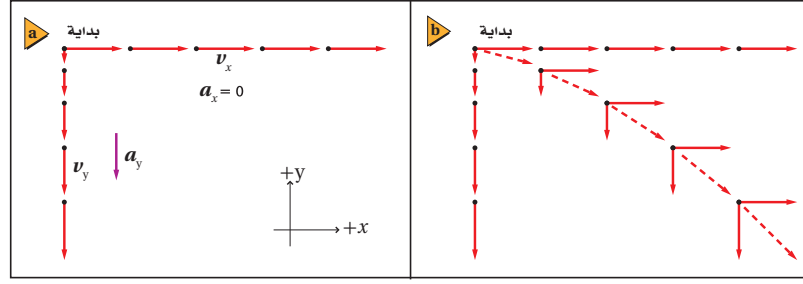


## نشاط



### ■ السرعة المتجهة الأفقية الثابتة

ثبتت قارورة كبيرة قطر فوهتها 5 cm على الأرض في وضع يستطيع الطلاب المرور بجانبها بأمان، وأعطى كل طالب كرة نصف قطرها أصغر من نصف قطر فوهة القارورة. ثم اطلب إليهم المرور بالقرب من القارورة بسرعة ثابتة والكرة بيد كل واحد منهم إلى جانبه من القارورة، ثم يلقي الكرة في القارورة عندما يكون قريباً منها أو بجانبها. اسأل الطلاب بعد تنفيذ النشاط، عند أي نقطة يفضل إفلات الكرة لتسقط داخل القارورة؟ **يجب أن تفلت الكرة قبل أن تكون فوق فوهة القارورة.** **م 2 حسي- حركي**



يبين الشكل 6-2a مخططين منفصلين للحركتين الأفقية والرأسية لجسم مقذوف؛ حيث يمثل مخطط الحركة الرأسية حركة الكرة التي أسقطت في اتجاه المحور  $y$ ، بينما يبين مخطط الحركة الأفقية السرعة الثابتة في اتجاه المحور  $x$  للكرة المقذوفة. إن السرعة في الاتجاه الأفقي ثابتة دائماً لعدم وجود قوى تؤثر في الكرة في هذا الاتجاه. **الشكل 6-2b** لتشكل السرعة المتجهة الكلية. ويمكن ملاحظة أن السرعة الأفقية الثابتة والتسارع الرأسي المنتظم قد أنتجا معاً مساراً يتخذ شكل القطع المكافئ.

### استراتيجيات حل المسألة

#### الحركة في بُعدين

- يمكن تحديد حركة المقذوف في بُعدين عن طريق تحليل الحركة إلى مركبتين متعاملتين.
1. حلل حركة المقذوف إلى حركة رأسية (في اتجاه المحور  $y$ )، وأخرى أفقية (في اتجاه المحور  $x$ ).
  2. الحركة الرأسية للمقذوف هي نفسها حركة جسم قُذف رأسياً إلى أعلى أو أسقط أو قُذف رأسياً إلى أسفل؛ حيث تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الجسم وتسبب تسارعه بمقدار  $g$ . راجع القسم 3-3 لتنشيط ذاكرتك حول حلول مسائل السقوط الحر.
  3. تحليل الحركة الأفقية للمقذوف يشبه تماماً حل مسألة حركة جسم يتحرك أفقياً بسرعة متجهة ثابتة. فعند إهمال مقاومة الهواء لا توجد قوة أفقية تؤثر في الجسم، ولأنه لا توجد قوى تؤثر في المقذوف في الاتجاه الأفقي فلا يوجد تسارع أفقي؛ أي أن  $a_x = 0.0$ . (في حل المسائل استعمل الطرق نفسها التي تعلمتها سابقاً في القسم 2-4).
  4. الحركتان الأفقية والرأسية لها الزمن نفسه؛ فالزمن منذ إطلاق المقذوف حتى اصطدامه بالهدف هو الزمن للحركتين الأفقية والرأسية. ولذا عند حساب الزمن لإحدى الحركتين تكون قد حسبت الزمن للحركة الثانية.

### مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 1-6

الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com.sa](http://www.obeikaneducation.com.sa)

### مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 2-6

الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com.sa](http://www.obeikaneducation.com.sa)

### الخلفية النظرية للمحتوى

#### معلومة للمعلم

**علاقة المدى مع الزمن** لا تكون الرميات الحرة في كرة السلة بسيطة كما يتوقعها البعض. فمن أجل ضمان دخول الكرة في السلة على اللاعب أخذ زاوية إطلاق الكرة وسرعتها المتجهة الابتدائية في الحسبان؛ وذلك لعلاقتها بزمان تحليق الكرة والارتفاع الرأسي المطلوب؛ حيث يكون مسارها على شكل قطع مكافئ. ولزمن تحليق الكرة دور مهم في الوصول إلى المدى الأفقي المناسب من أجل سقوط الكرة داخل السلة.

## مسائل تدريبية

1. a. 4.00 s

b.  $2.0 \times 10^1 \text{ m}$

c.  $v_x = 5.0 \text{ m/s}$ ,  $v_y = 39.2 \text{ m/s}$

2. 1 m/s

## مسائل تدريبية

1. قُذِفَ حجر أفقيًا بسرعة  $5.0 \text{ m/s}$  من فوق سطح بناية ارتفاعها  $78.4 \text{ m}$ .

a. ما الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى أسفل البناية؟

b. على أي بُعد من قاعدة البناية يرتطم الحجر بالأرض؟

c. ما مقدار المركبتين الرأسية والأفقية لسرعة الحجر قبيل اصطدامه بالأرض؟

2. يشترك عمر وصديقه في إعداد نموذج لمصنع ينتج زرافات خشبية. وعند نهاية خط الإنتاج تنطلق الزرافات أفقيًا من حافة حزام ناقل وتسقط داخل صندوق في الأسفل. فإذا كان الصندوق يقع على بُعد  $0.6 \text{ m}$  أسفل الحزام، وعلى بُعد أفقي مقداره  $0.4 \text{ m}$ ، فما مقدار السرعة الأفقية للزرافات عندما تترك الحزام الناقل؟

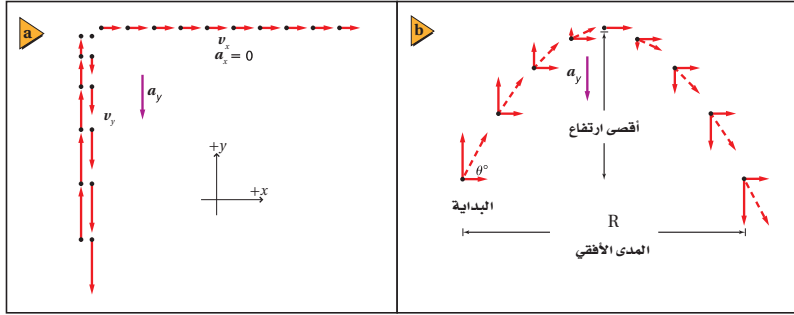
## المقذوفات التي تطلق بزاوية

### Projectiles Launched at an Angle

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

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

■ الشكل 3-6 اجمع الاتجاهي  $v_p$  عند كل موضع يشير إلى اتجاه التحليق.



## المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

التسارع عند قمة المسار للمقذوف اطلب إلى الطلاب رسم مخطط الجسم الحر للمقذوف عند قمة مساره. يعتقد بعض الطلاب أن تسارع المقذوف عند قمة مساره يساوي صفرًا، أو قد يشيرون إلى أنه لا يوجد قوة تؤثر فيه عند هذه النقطة. وضح لهم أن قوة الجاذبية الأرضية هي القوة الوحيدة المؤثرة في الجسم وتؤثر فيه في اتجاه الأسفل. لذلك يكون للمقذوف تسارع في اتجاه الأسفل. **2م بصري - مكاني**

## تجربة إضافية



### ارتداد الكرة

الهدف تستقصي استقلالية الحركتين: الأفقية والرأسية. المواد والأدوات كرة جولف، وساعة إيقاف.

### الخطوات

1. ضع الكرة في يدك، ومدّ يدك أفقيًا بحيث تصبح الكرة على مستوى كتفك.
2. أفلت الكرة واطلب إلى زميلك في المختبر تحديد الفترة الزمنية بين وقتي إفلاتها واصطدامها بالأرض.
3. كرر الخطوة 2 في أثناء سيرك بسرعة ثابتة.

التقويم ستكون الفترتان الزمنيةتان متساويتين. أسأل الطلاب: ماذا يعني تساوي الفترتين الزمنيةتين بالنسبة للحركتين الرأسية والأفقية للكرة؟ **ستختلف** الإجابات. فنظرًا لأن الفترتين الزمنيةتين متساويتان فإن الحركة الأفقية للمقذوف لم تؤثر في حركته الرأسية. والمسؤول عن تحديد الفترة الزمنية هو حركته الرأسية.

## طرائق تدريس متنوعة

### نشاط

**إعاقة بصرية** لمساعدة الطلاب على تكوين تصور عن شكل مسار المقذوف، ثبت خيوطًا على مسطرة مترية بحيث تكون المسافات الفاصلة بينها متساوية، حيث تمثل هذه المسافات فترات زمنية متساوية. كما يجب أن تكون أطوال الخيوط بالنسب التالية:  $1:4:9:16:25$  وهكذا. تمثل أطوال الخيوط المسافة الرأسية التي يقطعها الجسم المقذوف. ثبت مشبك غسيل صغير (يمثل الجسم المقذوف) في نهاية كل خيط لكي يستطيع الطلاب إدراك شكل مسار المقذوف. وعند مسك المسطرة وإمالتها بزوايا مختلفة بالنسبة للأفقي يستطيع الطلاب محاكاة المسارات التي يسلكها المقذوف عند إطلاقه بزوايا مختلفة. **2م حسي - حركي**

## مثال صفي

**سؤال** يضرب طالب كرة موضوعة على أرض أفقية من السكون لتنتقل بسرعة ابتدائية  $7.8 \text{ m/s}$  وتميل بزاوية  $32^\circ$  على الأفقي.

- a. ما زمن تحليق الكرة في الهواء؟  
b. ما أقصى ارتفاع تصله الكرة؟  
c. ما المدى الأفقي للكرة؟

### الجواب

$$v_{yi} = v_i \sin \theta = (7.8 \text{ m/s}) \sin 32^\circ = 4.1 \text{ m/s}$$

$$v_{xi} = v_i \cos \theta = (7.8 \text{ m/s}) \cos 32^\circ = 6.6 \text{ m/s}$$

a. لحظة الإنطلاق  $y = 0$

$$0 = 0 + v_{yi} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$t = \frac{2v_{yi}}{g} = \frac{2(4.1 \text{ m/s})}{(9.80 \text{ m/s}^2)} = 0.84 \text{ s}$$

$$y_{\max} = v_{yi} \left(\frac{1}{2} t\right) - \frac{1}{2} g \left(\frac{1}{2} t\right)^2$$

$$= (4.1 \text{ m/s})(0.42 \text{ s}) - \frac{1}{2} (9.80 \text{ m/s}^2) (0.42 \text{ s})^2 = 0.86 \text{ m}$$

$$R = v_{xi} t = (6.6 \text{ m/s})(0.84 \text{ s}) = 5.5 \text{ m} \quad \text{c.}$$

## تعزيز الفهم

المقذوفات، والكينماتيكا، والمتجهات اطلب إلى الطلاب وضع قائمة بالمفاهيم التي درسوها في الفصول السابقة والتي يحتاجون إليها لتحليل حركة المقذوف، بحيث تتضمن هذه القوائم: السرعة المتجهة، التسارع، السقوط الحر، تحليل المتجهة، استقلالية المتجهات المتعامدة. **2م لغوي**

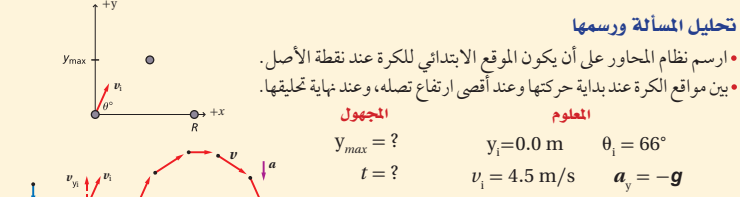
## التفكير الناقد

**حركة المقذوف** تم قذف ثلاثة أجسام متساوية الكتلة رأسياً إلى أعلى بسرعات ابتدائية متساوية، انطلق الأول من نقطة على سطح القمر، والثاني من سطح الأرض، والثالث من قاع بركة ماء في الأرض، قارن بين مسارات الأجسام الثلاثة. **المدى الأفقي** للأجسام الثلاثة يساوي صفراً، وترتيب الأجسام تنازلياً حسب أقصى ارتفاع تصله على النحو التالي: القمر، الأرض، قاع البركة.

## مثال 1

**تحليق كرة** قُذفت كرة بسرعة متجهة  $4.5 \text{ m/s}$  في اتجاه يصنع زاوية  $66^\circ$  على الأفقي. ما أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟ وما زمن تحليقها عندما تعود إلى المستوى نفسه الذي قُذفت منه؟

### 1 تحليل المسألة ورسمها



### 2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المركبة الرأسية للسرعة الابتدائية  $v_{yi}$  بالتعويض  $\theta_i = 66^\circ$ ,  $v_i = 4.5 \text{ m/s}$

أوجد صيغة أو معادلة للزمن  $t$ .

بالتعويض  $a_y = -g$

احسب الزمن  $t$ .

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.

زمن الصعود = زمن النزول

زمن التحليق = زمن الصعود + زمن النزول

### 3 تقويم الجواب

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

## متقدم

## نشاط

**مسارات المقذوفات** شاهد مع الطلاب شريط فيديو يوضح إطلاق كرة سلة في اتجاه الحلقة، ثم اطلب إليهم قياس زمن التحليق، وتسجيل المسافة بين نقطتي البداية والنهاية، وبواسطة هذه القياسات اطلب إليهم حساب كل من السرعة المتجهة الابتدائية الأفقية والسرعة المتجهة الابتدائية الرأسية، والسرعة المتجهة الابتدائية (متضمنة زاوية الإطلاق)، وأقصى ارتفاع. ثم اطلب إليهم اختيار رياضة أخرى فيها حركة مقذوفات؛ مثل: التنس، أو الجولف. اطلب إليهم تحليل حركة المقذوف، ومقارنتها مع حركة كرة السلة. **3م بصري - مكاني**

3. a. 2.76 s

b. 9.30 m

c. 64.5 m

4. زمن التحليق 4.77 s، المدى الأفقي

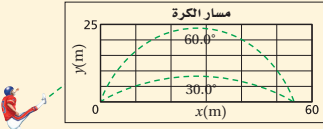
64.4 m، أقصى ارتفاع 27.9 m

5. 37 m/s في اتجاه يميل على الأفقي

بزاوية 83°.

مسائل تدريبية

3. قذف لاعب كرة من مستوى الأرض بسرعة متجهة ابتدائية 27.0 m/s في اتجاه يميل على الأفقي بزاوية مقدارها 30.0°، كما في الشكل 4-6. أوجد كلاً من الكميات التالية، علماً أن مقاومة الهواء مهملة:



a. زمن تحليق الكرة.  
b. أقصى ارتفاع تصله الكرة.  
c. المدى الأفقي للكرة.

الشكل 4-6

4. في السؤال السابق، إذا قذف اللاعب الكرة بالسرعة نفسها

ولكن في اتجاه يصنع زاوية 60.0° على الأفقي، فما زمن تحليق الكرة؟ وما المدى الأفقي؟ وما أقصى ارتفاع تصله الكرة؟

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

مسارات المقذوفات تعتمد على موقع المشاهد

Trajectories Depend upon the Viewer

افترض أنك تجلس في حافلة، وقذفت كرة إلى أعلى ثم التقطتها عند عودتها إلى أسفل. تبدو الكرة لك أنها سلكت مساراً مستقيماً إلى أعلى وإلى أسفل. لكن ما الذي يشاهده 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 المقذوفات حتى الآن. وقد تكون مقاومة الهواء قليلة جداً تجاه بعض المقذوفات إلا أنها تكون كبيرة تجاه مقذوفات أخرى. ففي كرة الجولف مثلاً تؤدي التواءات الصغيرة على سطح الكرة إلى تقليل مقاومة الهواء، ومن ثم إلى زيادة المدى الأفقي. أما في كرة البيسبول فإن دورانها حول نفسها يجعلها تتأثر بقوة تؤدي إلى انحرافها عن مسارها. من المهم أن نتذكر أن قوة مقاومة الهواء موجودة دائماً، وقد تكون مهمة.

### 3. التقويم

#### التحقق من الفهم

عرض للسرعة المتجهة والتسارع اقذف كرة رأسياً في اتجاه الأعلى واسأل الطلاب الأسئلة التالية: كيف تتغير السرعة المتجهة في أثناء صعود الكرة؟ **تناقص السرعة المتجهة الرأسية.** ما سرعة الكرة المتجهة عند أقصى ارتفاع لها؟ **صفر.** كيف تتغير السرعة المتجهة في أثناء سقوط الكرة؟ **تزايد السرعة المتجهة في اتجاه الأسفل.** ما تسارع الكرة في أثناء صعودها؟ **التسارع الناشئ عن قوة الجاذبية الأرضية ويكون في اتجاه الأسفل  $9.80 \text{ m/s}^2$ .** ما تسارع الكرة في أثناء سقوطها؟  **$9.80 \text{ m/s}^2$  في اتجاه الأسفل. 2م**

#### إعادة التدريس


نشاط استقلالية السرعات المتجهة أعط الطلاب المركبتين الأفقية والرأسية للسرعة المتجهة الابتدائية لمقذوف، ثم اطلب إليهم حساب مركبتي السرعة المتجهة عند لحظات زمنية مختلفة خلال تحليق المقذوف. نبّه الطلاب إلى أن السرعة المتجهة الأفقية ثابتة في حين تتغير السرعة المتجهة الرأسية باستمرار.

**2م منطقي - رياضي**

#### 6-1 مراجعة

6. رسم تخطيطي للجسم الحر ينزلق مكعب من الجليد على سطح طاولة دون احتكاك وبسرعة متجهة ثابتة، إلى أن يغادر حافة الطاولة ساقطاً في اتجاه الأرض. ارسم مخطط الجسم الحر للمكعب، وكذلك مخطط حركة الجسم عند نقطتين على سطح الطاولة ونقطتين في الهواء.
7. حركة المقذوف تُقذف كرة في الهواء بزاوية  $50.0^\circ$  بالنسبة إلى المحور الرأسي وبسرعة ابتدائية  $11.0 \text{ m/s}$ . احسب أقصى ارتفاع تصله الكرة.
8. حركة المقذوف قذفت كرة تنس من نافذة ترتفع  $28 \text{ m}$  فوق سطح الأرض بسرعة ابتدائية مقدارها

$$\begin{array}{ll} \text{a. } v_x & \text{b. زمن تحليق الجسم} \\ \text{c. } y_{\max} & \text{d. R} \end{array}$$

الفيزياء  عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

#### 6-1 مراجعة

6. انظر دليل حلول المسائل.
7.  $2.55 \text{ m}$
8.  $27.1 \text{ m}$
9. a. لن تتغير.
- b. تكون أكبر على القمر.
- c. تكون أكبر على القمر (إذا قُذف الجسم بزاوية على الأفقي).
- d. تكون أكبر على القمر.



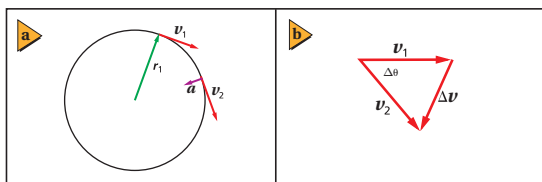
6-2 الحركة الدائرية Circular Motion

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

وصف الحركة الدائرية Describing Circular Motion

الحركة الدائرية المنتظمة هي حركة جسم أو جسيم بسرعة ثابتة المقدار حول دائرة نصف قطرها ثابت. ويُحدد موقع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة بالنسبة إلى مركز الدائرة بمتجه الموقع  $r$ ، كما في الشكل 6-5a. وعندما يدور الجسم حول الدائرة فإن طول متجه الموقع لا يتغير، لكن اتجاهه يتغير. ولإيجاد سرعة الجسم يجب إيجاد متجه الإزاحة الذي يعرف بـ  $\Delta r$ . وبين الشكل 6-5b متجهي موقع:  $r_1$  عند بداية فترة زمنية، و  $r_2$  عند نهايتها. تذكر أن متجه الموقع هو متجه إزاحة ذيله عند نقطة الأصل. ولعلك تلاحظ من رسم المتجهات أن  $r_1$ ،  $r_2$  تُطرحان لإعطاء المتجهة  $\Delta r$  خلال الفترة الزمنية. وكما تعلم فإن السرعة المتجهة المتوسطة تساوي  $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ ، لذا فإن السرعة المتجهة المتوسطة في الحركة الدائرية تساوي  $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ . ومتجه السرعة له اتجاه الإزاحة نفسه، لكن بطول مختلف. في الشكل 6-6a يمكنك ملاحظة أن متجه السرعة عمودي على متجه الموقع؛ أي مماس لمحيط الدائرة، وعندما يدور متجه السرعة حول الدائرة يبقى مقداره ثابتًا، لكن اتجاهه يتغير.

كيف تحدد اتجاه تسارع الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة؟ يبين الشكل 6-6a متجهي السرعة  $v_1$  و  $v_2$  عند بداية الفترة الزمنية ونهايتها. ويمكن إيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتجهة  $\Delta v$  بطرح سرعتين المتجهتين  $v_1$  و  $v_2$  كما في الشكل 6-6b. 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 يسمّى هذا التسارع التسارع المركزي.

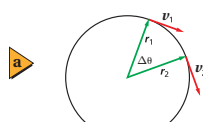


الأهداف

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

المفردات

الحركة الدائرية المنتظمة  
التسارع المركزي  
القوة المركزية



■ الشكل 6-5 الإزاحة  $\Delta r$  لجسم في حركة دائرية مقسومة على الزمن تساوي السرعة المتجهة المتوسطة خلال هذه الفترة الزمنية.

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

1. التركيز

نشاط

**القوة المركزية** ارسم دائرة كبيرة قطرها 50 cm على الأقل على ورقة كبيرة. انقر كرة تنس لإكسابها سرعة ابتدائية، ثم اطلب إلى الطلاب أن يلاحظوا محاولة طالب أو أكثر تحريك هذه الكرة على محيط الدائرة بمواصلة النقر عليها. ثم اطلب إليهم اعتبار أن كل دفعة تمثل قوة، واسألهم ما الذي يلاحظونه على اتجاه كل قوة؟ **يكون اتجاه كل قوة في اتجاه مركز الدائرة.** 1م بصري - مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

**الكميات المتجهة** اطلب إلى الطلاب تذكر أن السرعة المتجهة والتسارع هما من الكميات المتجهة؛ لأن لكل منهما مقدارًا واتجاهًا.

2. التدريس

■ استخدام الشكل 6-6

وضّح للطلاب أن الشكل 6-6b يستعمل التعريف  $\Delta v = v_2 - v_1$  حيث  $\Delta v = v_2 - v_1$ ، وذلك بإعادة كتابتها على الصورة  $v_2 = v_1 + \Delta v$ . 2م

6-2 إدارة المصادر

شريحة التدريس 3-6، ص 63  
ربط الرياضيات مع الفيزياء  
دليل التجارب العملية، ص 25

**الملف الخاص** بمصادر الفصول 7-5  
دليل مراجعة الفصل، ص 51-47  
اختبار قصير 2-6، ص 53



## تطبيق الفيزياء

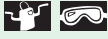
اطلب إلى الطلاب رسم مخطط الجسم الحر للأثقال الموزنة، وأن يوضحوا أنه يتولد قوة محصلة في السلك في اتجاه الداخل تُسبب التسارع المركزي للثقل الموزن، وبالتالي فإن الثقل الموزن يؤثر بقوة في اتجاه الخارج في السلك فيبقى السلك مشدوداً تبعاً لقانون نيوتن الثالث.

### 2م بصري - مكاني

## تطوير المفهوم

القوة المحصلة وضح للطلاب أنه أينما وجد تسارع مركزي، لابد من وجود مصدر يولد قوة في اتجاه المركز.

### عرض سريع



## التسارع المركزي

### الزمن المقدر 5 دقائق

المواد والأدوات مقعد دوّار، ومقياس تسارع.

### الخطوات

1. اطلب إلى طالب أن يجلس على مقعد دوّار، ثم يُدوّر المقعد والطالب ممسكاً بمقياس تسارع على امتداد يده.
2. اطلب إلى الطالب مسك مقياس التسارع بصورة مماسية للمسار الدائري واطلب إلى الطلاب الآخرين ملاحظة قراءة مقياس التسارع.
3. أعد الخطوة 2 بتكليف الطالب بحمل مقياس التسارع على امتداد نصف قطر الدائرة. **سيشير المقياس إلى انعدام التسارع في الخطوة 2، لكن هناك تسارعاً في اتجاه المركز في الخطوة 3.**

## المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

**القوة المركزية** قد يظن بعض الطلاب أنه إذا زال تأثير القوة المركزية فسيبقى الجسم يتحرك في مساره الدائري. ولمساعدتهم على تصحيح هذا الخطأ المفاهيمي، دوّر كرة فلين مربوطة في نهاية خيط فوق رأسك في مسار دائري ثم أفلت الخيط، ستلاحظ أن الكرة تتحرك في خط مستقيم مماساً للمسار الدائري عند نقطة الإفلات.

## تطبيق الفيزياء

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

## التسارع المركزي Centripetal Acceleration

كيف يمكنك أن تحسب مقدار التسارع المركزي لجسم ما؟ قارن بين المثلث الناتج عن متجهات الموقع في الشكل 5a-6 والمثلث الناتج عن متجهات السرعة في الشكل 6b-6. إن الزاوية بين  $r_1$  و  $r_2$  هي نفسها الزاوية بين  $v_1$  و  $v_2$ ، لذا يكون المثلثان متشابهين. وهكذا فإن  $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$ . وبقسمة الطرفين على الزمن  $\Delta t$  ينتج:

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

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

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

وبالتعويض نجد أن:

حل هذه المعادلة لإيجاد  $a$  وارمز لها بالرمز  $a_c$  تعبيراً عن التسارع المركزي.

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

التسارع المركزي

يشير اتجاه التسارع المركزي إلى مركز الدائرة دائماً، 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 يساوي:

$$a_c = \left( \frac{2\pi r}{T} \right)^2 \frac{1}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

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

$$F_{\text{محصلة}} = ma_c$$

القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدائرية

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



## الفيزياء في الحياة

### معلومة للمعلم

**قوى g** يتعرض الطيارون الذين يقودون الطائرات المقاتلة أو طائرات العروض البهلوانية لقوى تُعرف بقوى **g**؛ وهي مقياس للزيادة الظاهرية في قوة الجاذبية الناتجة عن القوة التي يؤثر بها المقعد في الطيار. فعند الانعطاف بمقدار  $g$  (4-5) فإن الوزن الظاهري للطيار يكون أربعة أو خمسة أمثال وزنه الحقيقي، فإذا كان وزنه 900 N فسيبدو وزنه عندئذ 4500 N. وكلما كان الانعطاف حاداً كانت القوة التي يؤثر بها المقعد أكبر؛ أي أن قوى  $g$  تزداد بشكل كبير. وعند قوة  $9g$  يبدأ نظر الطيار بالتدهور، إذ يعاني الطيار من انكماش في الرؤية، كما يتعرض للحظات لحالة يكون فيها كل شيء يراه باللونين الأسود والأبيض فقط.

## المناقشة

**سؤال** ما أوجه التشابه والاختلاف بين متجهي السرعة والتسارع في الحركة الدائرية؟

**الجواب** كلاهما له مقدار ثابت واتجاه متغير، ولكنها تختلفان في الاتجاه؛ فاتجاه السرعة يكون مماسياً للمسار، بينما يكون اتجاه التسارع في اتجاه المركز. **2م**

## مثال صفي

**سؤال** ذهب أحمد في رحلة صيد سمك، وأراد أن يدور الصنارة من جهة الطعم في حركة دائرية، وكانت كتلة الطعم 0.028 kg وطول خيط الصنارة بين يده والطعم 0.75 m. فإذا دار الطعم دورة واحدة في 1.2 s فما مقدار القوة التي يؤثر بها خيط الصنارة في الطعم؟

**الجواب**  

$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 4\pi^2 \frac{(0.75 \text{ m})}{(1.2 \text{ s})^2} = 21 \text{ m/s}^2$$

$$F_T = ma_c = (0.028 \text{ kg})(21 \text{ m/s}^2) = 0.59 \text{ N}$$

## تعزيز الفهم

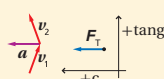
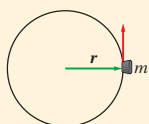
**نشاط القوة المحصلة** ألصق عدة أنابيب بعضها ببعض لتشكيل مساراً على شكل نصف دائرة فوق قطعة خشب أو كرتون مقوى، ثم دحرج كرة زجاجية صغيرة عبر هذه الأنابيب، واطلب إلى الطلاب ملاحظة سير الكرة عند خروجها من الطرف الثاني للأنابيب والذي سيكون خطاً مستقيماً. **2م بصري - مكاني**

عند حل مسائل على الحركة الدائرية المنتظمة من المفيد اختيار محورين: أحدهما في اتجاه التسارع، حيث يكون دائرياً في اتجاه مركز الدائرة. ونُسَمَّى هذا المحور  $c$ ؛ أي مركزياً. أما المحور الثاني فيكون في اتجاه السرعة المماسية للدائرة، ونُسَمَّى  $tang$ ؛ أي مماسياً. وستطبق قانون نيوتن الثاني على هذين المحورين، كما فعلت في مسائل الحركة ذات البُعدين في الفصل الخامس. تذكر أن القوة المركزية هي تسمية أخرى لمحصلة القوى المؤثرة في اتجاه المركز؛ فهي تمثل مجموع القوى الحقيقية 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 المماسية للدائرة عند نقطة إفلاتها. تذكر أنه إذا لم تستطع تحديد مصدر القوة فإن هذه القوة غير موجودة.

## مثال 2

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



$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4\pi^2 (0.93 \text{ m})}{(1.18 \text{ s})^2} = 26 \text{ m/s}^2$$

$$F_T = ma_c = (0.013 \text{ kg})(26 \text{ m/s}^2) = 0.34 \text{ N}$$

**المجهول**

قوة الشد  $F_T = ?$

**المعلوم**

$r = 0.93 \text{ m}$   $T = 1.18 \text{ s}$   $m = 13 \text{ g}$

## 2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب التسارع المركزي.

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

**دليل الرياضيات**

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 92، 91

استخدم القانون الثاني لنيوتن لحساب قوة الشد في الخيط.

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

## 3 تقييم الجواب

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

## متقدم

## نشاط

**المنعطفات المائلة** اطلب إلى الطلاب الحصول على مواصفات منعطف مائل على طريق سريع، أو تقدير قيمة زاوية ميله. وباستعمال زاوية ميل المنعطف والسرعة القصوى المسموحة على الطريق اطلب إليهم تحديد القيمة الدنيا لمعامل الاحتكاك السكوني بين الطريق والعجلات اللازمة لمنع السيارة من الانزلاق. **3م منطقي - رياضي**

## مسائل تدريبية

10.  $3.1 \text{ m/s}^2$ ، قوة الاحتكاك التي تؤثر بها الطريق في حذاء العداء تسبب القوة المؤثرة في العداء.

11.  $a_c = 8.6 \text{ m/s}^2$ ،  $\mu_s = 0.88$

12.  $8.1 \text{ km}$

## التفكير الناقد

المنعطفات المائلة أسأل الطلاب: لماذا ينصح بأن تكون المنعطفات على الطرق السريعة مائلة؟ لأن الطريق المائلة تُنتج مركبة أفقية لوزن السيارة تزيد من القوة المحصلة التي تؤثر في اتجاه مركز المنعطف، والتي تسبب التسارع المركزي للسيارة عند حركتها فيه. 2م

## المناقشة

سؤال لماذا تنزلق في اتجاه الخارج عندما تكون في مركبة تتحرك في منعطف؟

الجواب إذا لم تكن قوة الاحتكاك السكوني بينك وبين المقعد كافية عندما تنعطف المركبة، فإن القصور الذاتي لجسمك يجعله يستمر في الحركة في خط مستقيم حتى تلامس باب المركبة. 2م

## 3. التقويم

### التحقق من الفهم

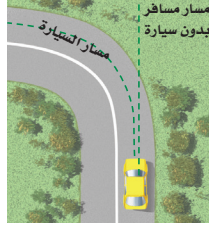
الحركة الدائرية المنتظمة اطلب إلى الطلاب وصف مقدار السرعة، والسرعة المتجهة، والتسارع لجسم يتحرك حركة دائرية منتظمة. 2م

### التوسع

نشاط المحطات الفضائية اختر مقاطع من أفلام وثائقية تبين محطة فضاء دوارة ثم شاهدها مع الطلاب. ثم زود الطلاب ببعض المعلومات عن المحطة واطلب إليهم قياس الزمن الدوري للمركبة وحساب التسارع المركزي لشخص داخلها، ثم حساب قيمة "g" في المركبة.

## مسائل تدريبية

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 السكوني 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 سيتركب الراكب إلى الأمام في خط مستقيم إذا لم تؤثر فيه السيارة بقوة إلى الداخل.

## A Nonexistence force القوة الوهمية

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

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

## 6-2 مراجعة

13. الحركة الدائرية المنتظمة ما اتجاه القوة المؤثرة في الملابس في أثناء دوران الغسالة؟ وما الذي يولد هذه القوة؟
14. مخطط الجسم الحر إذا كنت تجلس في المقعد الخلفي لسيارة تنعطف إلى اليمين، فارسم مخطط الحركة، ومخطط الجسم الحر للإجابة عن الأسئلة التالية:
- a. ما اتجاه تسارعك؟ وما مصدرها؟
- b. ما اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيك؟ وما مصدرها؟
15. القوة المركزية إذا حُرِّك حجر كتلته  $40.0 \text{ g}$  مثبت في نهاية خيط طوله  $0.60 \text{ m}$  في مسار دائري أفقي بسرعة مقدارها  $2.2 \text{ m/s}$ ، فما مقدار قوة الشد في الخيط؟
16. التسارع المركزي ذكر مقال في جريدة أنه عندما

غير المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

## 6-2 مراجعة

13. القوة في اتجاه مركز أسطوانة الغسالة. تولد الجدران القوة المؤثرة في الملابس.
14. a. يتسارع جسمك في اتجاه اليمين. b. اتجاه القوة المحصلة إلى اليمين. تنتج القوة من مقعد السيارة.
15.  $0.32 \text{ N}$
16. يوجد تسارع في اتجاه المركز لأن اتجاه السرعة متغير؛ لذا لا بد من وجود قوة محصلة في اتجاه مركز الدائرة التي يُشكّلها المنعطف. تُنتج الطريق تلك القوة، وبسبب الاحتكاك بين
17.  $61 \text{ N}$
18. تُسبب الجاذبية الأرضية القوة التي تعمل على تسارعك، وتؤدي حركتك الدائرية المنتظمة إلى تقليل وزنك الظاهري.



### 6-3 السرعة المتجهة النسبية

#### Relative Velocity 6-3 السرعة المتجهة النسبية

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

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

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

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

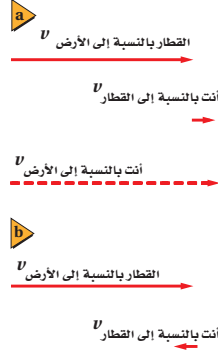
وتكتب المعادلة الرياضية السابقة عموماً على النحو التالي:

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

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

- تحليل حالات تكون فيها مجموعة المحاور متحركة.
- تحليل مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.



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

## 1. التركيز

### نشاط

**الأرصدة المتحركة** ضع سيارة صغيرة ثابتة السرعة على سطح ورق مقوى طويل موضوع على سطح طاولة، ثم اتركها تتحرك. اطلب إلى الطلاب وصف حالتين يكون فيها للسيارة المتحركة سرعة نسبية تساوي صفراً. اسحب الورق المقوى في عكس اتجاه حركة السيارة أو تحرك بالسرعة والاتجاه نفسه الذي تتحرك فيه السيارة. 2م

### الربط مع المعرفة السابقة

**السرعة المتجهة وجمع المتجهات** يعمّق الطلاب فهمهم للسرعة ليتضمن السرعة النسبية، ويطبقون عملية جمع المتجهات على متجهات السرعة المتجهة.

## 2. التدريس

### تطوير المفهوم

**الأطر (المحاور) المرجعية** وضح أن  $v_{a/b}$  تمثل سرعة الجسم  $a$  عندما تُقاس بالنسبة للمحاور المرجعية للمشاهد  $b$ ، وأن  $v_{b/c}$  تمثل سرعة المحاور المرجعية للمشاهد  $b$  عندما تُقاس بالنسبة للمحاور المرجعية للمشاهد  $c$ ، وأن  $v_{a/c}$  تمثل سرعة الجسم  $a$  عندما تُقاس بالنسبة للمحاور المرجعية للمشاهد  $c$ .

### تعزيز الفهم

**جمع المتجهات** مجموع متجهين يؤثران في البعد نفسه هو مجموعهما الجبري وليس مجموعهما الحسابي لذلك لا تنس أخذ إشارة المتجهات في الحسبان عند جمعها.

### 6-3 إدارة المصادر

شريحة التدريس 4-6، ص 65

ورقة عمل مختبر الفيزياء، ص 43

ربط الرياضيات مع الفيزياء

دليل التجارب العملية، ص 31

**الملف الخاص** بمصادر الفصول 7-5

دليل مراجعة الفصل، ص 47-51

تعزيز الفهم، ص 55

الإثراء، ص 57

اختبار قصير 3-6، ص 54



مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 4-6

الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com.sa



## استخدام التشابه

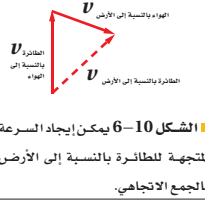
الحركة المحصلة وصافي الأجر استعمال التشابه التالي لمساعدة الطلاب على فهم أن  $v_{y/g}$  هي سرعتهم المحصلة بالنسبة إلى الأرض في الشكل 6-9b. فإذا كان أجرك هو 20 ريالاً في الساعة، وكنت تدفع 4 ريالات في الساعة، أجرة لوقوف سيارتك أثناء العمل، فإن صافي أجرك هو 16 ريالاً في الساعة.

## المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

نشاط مسار السرعة النسبية اطلب إلى الطلاب رسم إزاحة الكرة في المثال 3. المسار هو خط مستقيم باتجاه  $v_{m/w}$ . قد يرسم بعضهم المسار على شكل منحني (قطع مكافئ). لذا ساعدهم على صنع نموذج للحركة النسبية باستعمال الاستراتيجية الواردة في "استخدام النماذج" في الصفحة التالية. **2م بصري - مكاني**

## استخدام الشكل 6-10

بيّن للطلاب كيف يطبقون قانوني الجيب وجيب التمام لإيجاد مقدار  $v_{p/g}$  (سرعة الطائرة بالنسبة للأرض) واتجاهها. **2م**

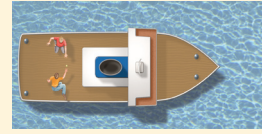


الشكل 6-10 يمكن إيجاد السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض بالجمع الاتجاهي.

ينطبق هذا المبدأ في جمع السرعات النسبية على الحركة في بُعدين أيضاً، 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 يطرون عنده، ويجب جمع هذين المتجهين، كما في الشكل 6-10، للحصول على سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض. وسوف يُرشد المتجه المُحصّل للطيار إلى السرعة التي يجب أن تسير بها الطائرة، والاتجاه الذي تسلكه للوصول إلى مقصدهم. والوضع مشابه عند حركة قارب في تيار متحرك من الماء.

## مثال 3

**السرعة المتجهة النسبية لكرة** يركب أحمد وجال قارباً يتحرك في اتجاه الشرق بسرعة  $4.0 \text{ m/s}$ . دحرج 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 لتمثل سرعة القارب بالنسبة إلى الماء، وسرعة الكرة بالنسبة إلى القارب. حيث ترمز  $m$  للكرة، و  $b$  للقارب، و  $w$  للماء.

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

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن سرعتين متعامدتان، استعمل نظرية فيثاغورس.

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

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

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

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

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

### دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل 97

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

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

$$= 11^\circ \text{ شمال الشرق}$$

لحساب مقدار الزاوية التي تحركت بها الكرة

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

تتحرك 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 للإشارات معنى؟ ستكون الإشارات جميعها موجبة.
- هل الجواب منطقي؟ السرعة المحسوبة قريبة من القيم الأخرى للسرعة المعطاة في المثال.

## مثال صفي

**سؤال** يضع حسن حقيبة أمتعته في المطار على الحزام الناقل الذي يتحرك في اتجاه الغرب بسرعة  $0.150 \text{ m/s}$ ، وكان هناك خنفساء تمشي على الحقيبة إلى الشمال بسرعة  $0.050 \text{ m/s}$ ، فما سرعة الخنفساء بالنسبة إلى الأرض؟

### الجواب

$0.16 \text{ m/s}$  وبزاوية  $18^\circ$  في اتجاه شمال الغرب. باستعمال الرموز التالية:  $l$  (للخنفساء)،  $b$  (للحقيبة)، و  $g$  (للأرض).

$$v_{l/g}^2 = v_{b/g}^2 + v_{l/b}^2$$

$$v_{l/g}^2 = (0.150 \text{ m/s})^2 + (0.050 \text{ m/s})^2$$

$$v_{l/g} = 0.16 \text{ m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1} (v_{l/b} / v_{b/g}) \quad \text{الاتجاه:}$$

$$= \tan^{-1} \frac{(0.050 \text{ m/s})}{(0.150 \text{ m/s})}$$

$$= 18^\circ \quad \text{في اتجاه شمال الغرب}$$

## الخلفية النظرية للمحتوى

### معلومة للمعلم

**التيارات النفائسة وحركة الطائرات** التيارات النفائسة رياح تهب بسرعة كبيرة على شكل تيارات هوائية على ارتفاع  $12 \text{ km}$  تقريباً، وهي أكثر شيوعاً في نصف الكرة الشمالي بين خطي عرض  $30^\circ - 70^\circ$  وكذلك بين خطي عرض  $20^\circ - 50^\circ$ . وتعتمد سرعة الرياح على تدرج الحرارة؛ حيث إن متوسط سرعتها في الصيف  $55 \text{ km/h}$  تقريباً، وفي الشتاء  $120 \text{ km/h}$  تقريباً، وقد ترتفع سرعتها إلى  $400 \text{ km/h}$ . إن معرفة مواقع هذه التيارات مهم جداً لحركة الطائرات.

## استخدام التماذج

عرض للسرعة النسبية يمكنك استعمال سيارة لعبة ثابتة السرعة وقطعة طويلة من الورق لمحاكاة حركة قارب يتحرك بسرعة ثابتة في نهر. فحركة السيارة تمثل  $v_{b/w}$ ، ويمكن سحب الورقة بسرعة ثابتة لمحاكاة حركة التيار  $v_{w/g}$ . اطلب إلى الطلاب ملاحظة أن سرعة القارب بالنسبة إلى الأرض،  $v_{b/g}$ ، تكون في خط مستقيم.

### مسائل تدريبية

19.  $17 \text{ m/s}$

20.  $2.0 \text{ m/s}$ ، في عكس اتجاه حركة القارب.

21.  $1.7 \times 10^2 \text{ km/h}$

### مسائل تدريبية

19. إذا كنت تركب قطارًا يتحرك بسرعة مقدارها  $15.0 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى الأرض، وركضت مسرعًا 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 راصدًا يقف على ضفة النهر فيجدها  $0.5 \text{ m/s}$  بالنسبة إليه. ما سرعة ماء النهر؟ وهل يتحرك ماء النهر في اتجاه حركة القارب أم في اتجاه معاكس؟
21. تطير طائفة 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 الطائفة 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 للطيور نفسها بالنسبة إلى سطح الأرض. وتعد هذه الرحلة الجوية مثالاً عملياً على جمع السرعات المتجهة النسبية، يوضح بجلاء عظمة الخالق سبحانه وتعالى، بما أودعه في هذه المخلوقات من تركيب وما فطرها عليه من سلوك. فلو أن أحد هذه الطيور حلق فوق الخليج العربي، بحيث يواجه رياحاً قوية معاكسة لاتجاه حركته، فإن طاقته سوف تنفذ قبل وصوله إلى الشاطئ الآخر، مما قد يؤدي إلى هلاكه، كما أن الرياح القوية التي تهب في اتجاه عمودي على اتجاه حركة الطائر ستسبب انحرافه تدريجياً عن مساره، ومن ثم تغير وجهته. وقد زود الخالق سبحانه وتعالى هذه الطيور بأدوات ملاحظة طبيعية تتيح لها الطيران بسرعات محددة في اتجاهات دقيقة، مما يُمكنها من بلوغ وجهتها. ويمكنك جمع السرعات المتجهة النسبية بطريقة الرسم التي تعلمتها في الفصل السابق.

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

### مسألة تحفيز

يُدور طارق حجراً كتلته  $m$  مربوطاً بحبل في مسار دائري أفقي فوق رأسه، فكان ارتفاع الحجر فوق سطح الأرض  $h$ . ويمثل  $r$  نصف قطر الدائرة، و  $F_T$  مقدار قوة الشد في الحبل. وفجأة انقطع الحبل وسقط الحجر على الأرض، فقطع مسافة أفقية  $s$  من لحظة انقطاع الحبل إلى ارتطامه بالأرض. أوجد تعبيراً رياضياً للمسافة بدلالة كل من  $F_T$  و  $r$  و  $h$ . هل يتغير التعبير الرياضي إذا تحرك طارق بسرعة  $0.50 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى الأرض؟

### مسألة تحفيز

$$s = vt, F_T = ma_c = \frac{mv^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{Tr}{m}} : h = \frac{1}{2} gt^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$s = vt = \sqrt{\frac{Tr}{m}} \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{2Trh}{mg}$$

أي أن:

نعم، يتغير التعبير إذا تحرك طارق بسرعة  $0.50 \text{ m/s}$  بالنسبة إلى الأرض. وإذا تحرك الحجر في اتجاه حركة طارق نفسها، فإن سرعة الحجر بالنسبة إلى الأرض ستكون أكبر، وعليه فإن  $s$  يكون لها قيمة أكبر.

### 3. التقويم

#### التحقق من الفهم

معادلة السرعة النسبية راجع الشكل العام لمعادلة السرعة النسبية، ثم اطلب إلى الطلاب أن يوضحوا إذا كانت السرعة المتجهة لجسم ما تتأثر بحركة المحاور المرجعية أم لا، وذلك عندما تقاس سرعته المتجهة بواسطة شخص يقف في محور مرجعي متحرك بسرعة متجهة ثابتة. لا؛ لو كانت تتأثر فلن نستطيع استعمال معادلة السرعة النسبية. **م 2**

#### إعادة التدريس

السرعة النسبية اطلب إلى كل طالب أن يكتب مسألة عن موضوع السرعة النسبية على ورقة ويكتب حلها خلف الورقة نفسها. ثم اطلب إليهم تبادل الأوراق فيما بينهم وحل المسائل مرة أخرى. اطلب إليهم بعد ذلك عرض حلولهم لطلاب آخرين في الصف ليحددوا بدورهم إذا كانت هناك اختلافات في حلول المسألة نفسها أم لا. **م 2 متفاعل**

#### 6-3 مراجعة

22. السرعة النسبية قارب صيد سرعته 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 قارب 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 تطير طائرة في اتجاه الجنوب بسرعة  $175 \text{ km/h}$  بالنسبة إلى هواء، وهناك رياح تهب في

- اتجاه الشرق بسرعة  $85 \text{ km/h}$  بالنسبة إلى الأرض. ما مقدار سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
25. السرعة النسبية لطائرة تطير 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 تمامًا لنقطة انطلاقك، فصف كيف توجه القارب بدلالة مركبتي سرعتك بالنسبة إلى الماء؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

#### 6-3 مراجعة

22. أقصى سرعة يصل إليها بالنسبة إلى الشاطئ هي عندما يتحرك القارب بأقصى سرعة له في اتجاه تيار النهر نفسه وتساوي  $5 \text{ m/s}$ ، وأدنى سرعة له عندما يتحرك القارب في عكس اتجاه التيار وتساوي  $1 \text{ m/s}$ .
23.  $17 \text{ m/s}$ ، في اتجاه يصنع زاوية  $33^\circ$  غرب الشمال.
24.  $190 \text{ km/h}$ ، في اتجاه يصنع زاوية  $64^\circ$  جنوب الشرق.
25.  $2.8 \times 10^2 \text{ km/h}$  في اتجاه يصنع زاوية  $72^\circ$  شمال الشرق.
26. اجعل مركبة سرعتك الموازية لاتجاه النهر مساوية لسرعة النهر في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه.

# مختبر الفيزياء

## صمم تجربتك

## مختبر الفيزياء • صمم تجربتك

### إلى الهدف

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

### سؤال التجربة

ما العوامل التي تؤثر في مسار مقذوف؟

### الخطوات

1. فكر في العوامل التي قد تؤثر في مسار المقذوفات ودونها.
2. ضع تصميمك الخاص بأداة إطلاق المقذوفات، وحدد أي جسم سيكون هدفًا للمقذوفات؟
3. خذ في الاعتبار تصميم أداة إطلاق المقذوفات، وحدد العاملين الرئيسيين المؤثرين في مسار المقذوفات التي ستطلقها.
4. اختر الأداة التي صممتها، وناقش العوامل المؤثرة فيها مع معلمك، ثم أجرِ التعديلات الضرورية.
5. اقترح أسلوبًا لتحديد أثر العوامل التي دونتها في مسار المقذوفات.
6. احصل على موافقة المعلم على الطريقة التي ستبنيها قبل جمع البيانات.

### الأهداف

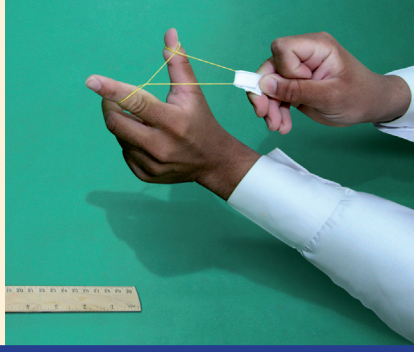
- تصمم نماذج قاذفات، ثم تلخص العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف.
- تستعمل النماذج لتتوقع مكان هبوط المقذوف.

### احتياطات السلامة



### المواد والأدوات

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



### عينة بيانات

المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)	استطالة قطعة المطاط (cm)
36	0.0
55	0.5
141	1.0
182	1.5
236	2.0

المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)	زاوية الإطلاق (°)
20	0
40	40
20	60
15	70
0	90

الزمن المقترح حصتان أو ثلاث حصص صفية.

المهارات العملية تصميم النماذج، والتلخيص، واستعمال النماذج، والتوقع.

احتياطات السلامة نبه الطلاب إلى ضرورة الحذر عند استعمالهم الأدوات والأجسام الحادة فقد تسبب لهم الجروح.

المواد البديلة يمكن للطلاب أن يحضروا لعبًا تطلق مقذوفات، كما يمكنهم استعمال كاميرا فيديو إذا أرادوا قياس سرعة الإطلاق بوصفها متغيرًا.

### استراتيجيات التدريس

● وضح توقعاتك حول حركة المقذوفات قبل أن يبدأ الطلاب بتنفيذ التجربة.

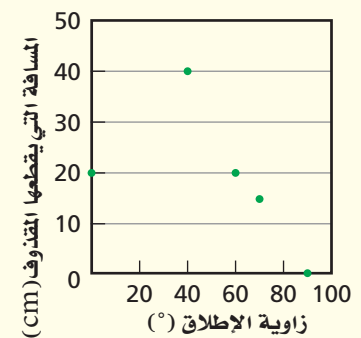
● خصص مساحات محددة لكل مجموعة في المختبر، وأكد على اتباع احتياطات السلامة عند البدء بتنفيذ التجربة.

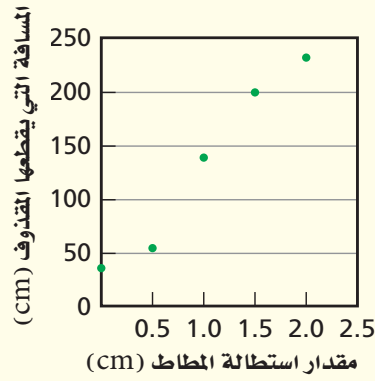
● شجع الطلاب على ابتكار أداة تقذف في مستوى واحد فقط؛ أي التركيز على دراسة الحركة في بُعدين (في اتجاه الأعلى وفي اتجاه الأمام). واطلب إليهم الانتباه إلى أي مؤثرات خارجية قد تؤثر في التجربة مثل: نسائم الهواء، أو نفخ الطلاب الهواء في اتجاه المقذوف.

● ملاحظة العوامل المؤثرة في المدى، غير أولًا زاوية إطلاق المقذوف ولاحظ أثر ذلك. ثم غير مسافة استطالة قطعة المطاط ولاحظ أيضًا أثر ذلك.

### التحليل

1. تعدد الإجابات التالية مثالًا لبيانات نموذجية.





- كلما استطالت قطعة المطاط أكثر زاد المدى، وكلما تغيرت الزاوية يتغير المدى أيضًا. ويكون أكبر مدى عندما تكون زاوية الإطلاق  $45^\circ$  بالنسبة للأفقي.

### الاستنتاج والتطبيق

- العاملان الرئيسان المؤثران في مسار المقذوف هما: سرعة الإطلاق، وزاوية الإطلاق.
- ستختلف الإجابات.
- القوانين التي تحكم الفيزياء لا تخضع للأخطاء المنتظمة والعشوائية ذاتها التي يحدثها الطلاب عند إجراء قياساتهم أو عند تنفيذهم خطوات العمل.

### التوسع في البحث

- إذا أجريت هذه التجربة خارج المختبر قد تؤدي الرياح دورًا مهمًا عن طريق تأثيرها في مسار المقذوف.
- إذا كان الهدف مرتفعًا بالنسبة للقاذف فعلى الطالب أن يزيد زاوية الإطلاق أو السرعة الابتدائية للمقذوف؛ لكي يصل إلى الهدف.
- إذا كان القاذف أعلى من الهدف فإنك تحتاج إلى تقليل زاوية الإطلاق أو تقليل سرعة الإطلاق.

### الفيزياء في الحياة

- لكي يكون تأثير الظروف في الفريقين متساويًا من حيث اتجاه الرياح، وأشعة الشمس، وغيرهما.
- إذا أهملت مقاومة الهواء فيجب قذف الكرة بزاوية  $45^\circ$  بالنسبة للأفقي. أما في حالة وجود مقاومة الهواء فيجب قذفها بزاوية أقل من  $45^\circ$  قليلًا.

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

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

### التوسع في البحث

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

### الفيزياء في الحياة

- في لعبة كرة القدم يُقال إن الرياح تلعب مع الفريق أو تلعب ضده.
- لماذا يتم تبديل مرمى الفريقين في الشوط الثاني؟
  - ما الزاوية التي يقذف بها حارس المرمى الكرة لتصل إلى أبعد مدى ممكن؟



### التحليل

- أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها مثل بيانيًا البيانات التي حصلت عليها لتتوقع كيف يمكنك إصابة الهدف.
- حلل ما العلاقات بين كل متغير اختبرته وبين المسافة التي يقطعها المقذوف؟

### الاستنتاج والتطبيق

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

## تجربة استقصاء بديلة

**لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية** ما العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف؟ اطلب إلى الطلاب أن يقرروا أي جانب من جوانب حركة المقذوفات (المدى، الارتفاع، زمن التحليق) سيستقصون عنه؟ وأي العوامل المؤثرة في حركة المقذوف (زاوية الإطلاق، سرعة الإطلاق، شكل المقذوف، تركيب المقذوف) سيستقصون عنه أيضًا في هذه التجربة؟ اطلب إلى الطلاب صياغة فرضية قابلة للاختبار، واختيار موادهم بأنفسهم، وكذلك اختيار الطريقة التي سيختبرون بها فرضيتهم، وناقشهم في خطتهم وفي احتياطات السلامة قبل بدء تنفيذ التجربة.





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 مغزلية فإن الأجسام داخلها ستلتصق بها بسبب الحركة الدورانية. وإذا سُرعت 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. وتناسب القوة المركزية طردياً مع البعد عن مركز الجسم الدوار عند ثبات الزمن الدوري. لذا يمكن بناء محطة فضاء دوارة مكونة من حلقات متحدة 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 ويجمعون ملاحظات في هذه المحطة. لقد شاهدوا تشكل قطرات الماء بوصفها كرات طافية، واستنبطوا الفاصولياء 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 منعها، مما يمكن الإنسان من العيش في الفضاء زمناً أطول.

وقد شوهدت آثار سلبية لحالة انعدام الوزن؛ إذ تعمل العضلات على الأرض ضد قوة الجاذبية الأرضية، لكن في غياب هذه القوة فإن عدم استعمال العضلات يُضعفها، 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 عُدلت محطة الفضاء لنحاكي الجاذبية. فكيف يمكن تحقيق ذلك؟

**دوران محطة الفضاء** هل سبق أن ركبت لعبة في مدينة الألعاب تعمل بالقوة المركزية؟ يقف كل شخص مستنداً إلى حائط أسطواني كبير، ثم تأخذ الأسطوانة في الدوران أسرع فأُسرع، بحيث يشعر كل شخص أنه مضغوط إلى الجدار. ونتيجة للتسارع المركزي يلتصق 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.

#### التوسع

1. ابحث عن العوامل التي ينبغي أن يراعيها المصممون لعمل محطة دوارة تحاكي جاذبية الأرض.
2. طبق إذا كنت رائد فضاء في محطة دوارة، وشعرت بقوة تدفعك بعيداً عن جدار المحطة، ففسر ما يجري بدلالة قوانين نيوتن والقوة المركزية.
3. تفكير ناقداً ما المزايا التي تمنحها المحطة الدوارة لروادها؟ وما سلبياتها؟

#### الخلفية النظرية

لا يوجد محطة فضائية دوارة في الوقت الحاضر على الرغم من أن الاهتمام بهذا المفهوم يعود إلى عقود عدة. فقد وضع آرثر كلارك الفكرة في ستينيات القرن الماضي في كتابه ضمن قصص الخيال العلمي المنشور عام 2001م أوديسا الفضاء A Space Odyssey.

وأكبر عقبة في بناء هذه المحطة هي أن المحطات الصغيرة يجب أن تدور بسرعة كبيرة لمحاكاة 1g. وهذا يمكن أن يحدث مشكلة لأن الأذن الداخلية تشعر بالدوران، حيث إن الدوران بمعدل 1 rpm (دورة واحدة في الدقيقة) قد لا يشكل معضلة، في حين أن الدوران بمعدل 2 rpm أو أكثر يسبب الأذى لكثير من الناس.

#### استراتيجيات التدريس

■ اطلب إلى الطلاب العمل في مجموعات صغيرة لتصميم نموذج لمحطة فضائية، بحيث تكون الخطوة الأولى لكل فريق هي تحديد الهدف من ذهابهم إلى الفضاء. أما الخطوة الثانية فهي البحث عن نماذج لهذه المحطات، فمثلاً على الطلاب البحث عن نماذج اقترحها د. فيرنر فون براون، وجيرارد أونيل وآرثر كلارك. أعط الطلاب أسئلة محددة للبحث، من مثل: ما قطر محطتك الفضائية؟ ما السرعة المماسية التي يجب الوصول إليها لمحاكاة الجاذبية الأرضية؟ وكم سيكون الزمن الدوري لهذه المحطة؟ واطلب إليهم تلخيص استقصائهم في تقرير مكتوب.

#### نشاط

**قُطر المحطة الفضائية** اطلب إلى الطلاب تحديد قيمة أقل قطر للمحطة الفضائية بحيث يمكنها محاكاة تسارع الجاذبية الأرضية،  $10.0 \text{ m/s}^2$  تقريباً، وذلك عند دورانها بمعدل 1.0 rpm.

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

$$d = 2r = 2 \frac{(T^2 g)}{4\pi^2}$$

$$= 2 \frac{(1.0 \text{ min})^2 (10.0 \text{ m/s}^2)}{(4\pi^2)} \left( \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$= 1.8 \text{ km}$$

#### التوسع

1. يجب أن يأخذ المهندسون في الحسبان معدل دوران محطة الفضاء إضافة إلى قطرها لمحاكاة جاذبية الأرض.
2. بالاعتماد على محاور مرجعية خارج محطة الفضاء فإن القوة المحصلة للإطار الخارجي للمحطة تؤثر في رائد الفضاء بقوة دفع في اتجاه الداخل، فتزوده بتسارع مركزي. وتؤثر قوة الرائد في الإطار
3. ستختلف الإجابات. إحدى الفوائد أن الحركة تُنتج "جاذبية اصطناعية". ومن سلبياتها أن الأعضاء الحساسة في الأذن الداخلية ستشعر بالدوران، وقد يؤدي ذلك إلى ظهور أعراض مرضية مثل دوار البحر.

### المفاهيم الرئيسية

يمكن أن يستخدم الطلاب العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسية في الفصل.



#### 6-1 حركة المقذوف Projectile Motion

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>الحركتان الرأسية والأفقية للمقذوف مستقلة.</li> <li>المركبة الرأسية لحركة المقذوف لها تسارع ثابت.</li> <li>إذا أهملنا مقاومة الهواء فلن يكون للمركبة الأفقية لحركة المقذوف تسارع، وتكون سرعتها المتجهة ثابتة.</li> <li>تحل مسائل حركة المقذوفات أولاً باستعمال الحركة الرأسية لربط الارتفاع، وزمن التحليق، والسرعة الابتدائية الرأسية، ثم نجد المسافة المقطوعة أفقياً.</li> <li>يعتمد المدى الأفقي على تسارع الجاذبية وعلى مركبة السرعة المتجهة الابتدائية.</li> <li>يُسمى المسار الذي يتبعه المقذوف في الهواء القطع المكافئ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>المقذوف</li> <li>مسار المقذوف</li> </ul>

#### 6-2 الحركة الدائرية Circular Motion

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>الجسم الذي يسير بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري يتسارع في اتجاه مركز الدائرة، لذا يكون له تسارع مركزي.</li> <li>مقدار التسارع المركزي يساوي حاصل قسمة مربع السرعة على نصف قطر المسار الدائري.</li> </ul> $a_c = \frac{v^2}{r}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>يمكن التعبير عن التسارع المركزي بدلالة الزمن الدوري T.</li> </ul> $a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>لا بد أن يكون هناك قوة محصلة في اتجاه المركز للحصول على تسارع مركزي.</li> </ul> $F_{\text{محصلة}} = ma_c$ <ul style="list-style-type: none"> <li>متجه السرعة لجسم له تسارع مركزي يكون دائماً في اتجاه المماس للمسار الدائري.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>الحركة الدائرية المنتظمة</li> <li>التسارع المركزي</li> <li>القوة المركزية</li> </ul>

#### 6-3 السرعة المتجهة النسبية Relative Velocity

المفاهيم الرئيسية	
<ul style="list-style-type: none"> <li>يمكن استعمال الجمع الاتجاهي لحل مسائل السرعة المتجهة النسبية.</li> </ul> $v_{a/c} = v_{a/b} + v_{b/c}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>مفتاح الحل لمسائل السرعة المتجهة النسبية في بعدين هو رسم المثلث المناسب الذي يمثل السرعات المتجهة الثلاث.</li> </ul>	

### خريطة المفاهيم

27. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

### إتقان المفاهيم

28. a. أكبر مركبة رأسية للسرعة عند النقطة E.

b. عند إهمال مقاومة الهواء، فإن السرعة الأفقية هي نفسها عند النقاط جميعها. والسرعة الأفقية ثابتة ومستقلة عن السرعة الرأسية.

c. أقل سرعة رأسية تكون عند النقطة B.

d. التسارع هو نفسه عند النقاط جميعها.

29. ستكون الطائرة فوق الرزمة مباشرة عندما تصطدم الرزمة بالأرض. كلتاها لها السرعة الأفقية نفسها، وستبدو الرزمة كأنها تتحرك أفقياً في أثناء سقوطها رأسياً بالنسبة لمراقب على الأرض.

30. a. لا، في أثناء الحركة في منعطف يتغير اتجاه السرعة المتجهة، وبالتالي لا يمكن للتسارع أن يساوي صفراً.

b. لا، قد يكون مقدار التسارع ثابتاً، ولكن اتجاهه متغير.

31. تنتج الحركة الدائرية عندما تكون القوة عمودية دائماً على اتجاه السرعة اللحظية للجسم.

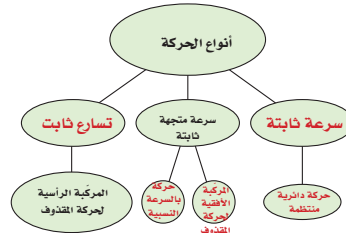
32. يمكن الحصول على مقدار السرعة النسبية لتلك السيارة بالنسبة إلى سيارتك عن طريق جمع مقدار سرعتي السيارتين معاً. وحيث إنه من المحتمل أن تتحرك كل من السيارتين حسب السرعة المحددة، فإن السرعة النسبية تكون أكبر من السرعة المحددة.

### تطبيق المفاهيم

33.  $-20 \text{ m/s}$ ؛ تشير الإشارة السالبة إلى أن الاتجاه إلى أسفل.

### خريطة المفاهيم

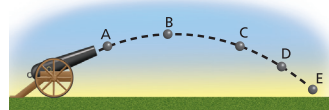
27. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: سرعة ثابتة، المركبة الأفقية لحركة المقذوف، تسارع ثابت، حركة بالسرعة النسبية، حركة دائرية منتظمة.



### إتقان المفاهيم

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

- أين يكون مقدار المركبة الرأسية للسرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟
- أين يكون مقدار المركبة الأفقية للسرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟
- أين تكون السرعة الرأسية أقل ما يمكن؟
- أين يكون مقدار التسارع أقل ما يمكن؟



الشكل 11-6

29. ألقى قائد طائرة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة وعلى ارتفاع ثابت رزمة ثقيلة. إذا أهملت مقاومة الهواء فأين تكون الطائرة بالنسبة للرزمة عندما ترتطم

الرزمة بالأرض؟ ارسم مسار الرزمة كما يراه مراقب على الأرض. (1-6)

30. هل يمكنك الدوران في منعطف بالتسارعين الأتيين؟ فسر إجابتك. (2-6)

- تسارع يساوي صفراً.
- تسارع ثابت.

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

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

### تطبيق المفاهيم

33. كرة البيسبول قذفت كرة رأسياً إلى أعلى بسرعة متجهة  $20 \text{ m/s}$ . ما سرعة الكرة المتجهة عند عودتها إلى نقطة الإطلاق نفسها؟ أهمل مقاومة الهواء.

34. كرة القدم يرمي لاعب كرة 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، ثم التفتت عند الارتفاع نفسه الذي رُميت منه، فما زمن تحليقها في الهواء؟ مع إهمال مقاومة الهواء.

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

36. تخيل أنك تجلس في سيارة وتقفز كرة رأسياً إلى أعلى.

- إذا كانت السيارة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة فهل تسقط الكرة أمامك أم خلفك، أم في يدك؟
- إذا كانت السيارة تتحرك في منعطف بسرعة ثابتة المقدار فأين تسقط الكرة؟

35. يؤثر كل من مقدار واتجاه سرعة القفز في طول الوثبة، لذلك فإن الارتفاع يؤثر فيها. ويتحقق أكبر مدى أفقي عندما تتساوى المركبتان الأفقية والرأسية لسرعة القفز؛ أي عندما تكون زاوية الوثب  $45^\circ$  بالنسبة للأفقي. إذاً يؤثر كل من الارتفاع ومقدار السرعة في المدى.

36. a. ستسقط الكرة في يدي؛ لأنني والكرة والسيارة تتحرك بالسرعة نفسها.

b. ستسقط الكرة بجانبني في اتجاه خارج المنعطف. سيُبين منظر علوي أن الكرة تتحرك في خط مستقيم بينما أنا والسيارة نتحرك في اتجاه الخارج من تحت الكرة.

## تقويم الفصل 6

37. السرعة النسبية لسيارتين تتحركان في الاتجاه نفسه أقل من السرعة النسبية لهما عندما تتحركان في اتجاهين متعاكسين، وبالتالي فإن تجاوز السيارتين لبعضهما البعض بسرعة نسبية أقل يستغرق زمناً أطول.

### إتقان حل المسائل

#### 6-1 حركة المقذوف

##### المستوى 1

38. 29 m

39. a. 0.500 s

b. 0.800 m/s

40. 3.2 m

##### المستوى 2

41. a. 31 m

b.  $2.1 \times 10^2$  m

#### 6-2 الحركة الدائرية

##### المستوى 1

42. a.  $9.59 \text{ m/s}^2$

b.  $5.90 \times 10^3 \text{ N}$

##### المستوى 2

43.  $5.0 \times 10^2 \text{ N}$ ,  $71 \text{ m/s}^2$

44. 18 m/s

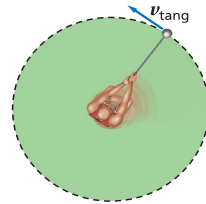
## تقويم الفصل 6

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

#### 6-2 الحركة الدائرية

42. سباق السيارات تكمل سيارة كتلتها 615 kg دورة سباق في مضمار دائري نصف قطره 50.0 m في 14.3 s. إذا تحركت السيارة بسرعة ثابتة المقدار

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



الشكل 6-13

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

37. الطريق السريع إذا أردت أن تتجاوز سيارة بسيارتك على الطريق السريع، وكانت السيارتان تسيران في الاتجاه نفسه فسوف تستغرق زمناً أطول مما لو كانت السيارتان تسيران في اتجاهين متعاكسين. فسر ذلك.

#### إتقان حل المسائل

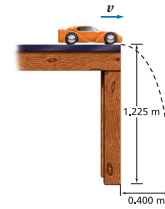
#### 6-1 حركة المقذوف

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

39. يبين الشكل 6-12 نموذجاً لسيارة لعبة تسقط من حافة طاولة ارتفاعها 1.225 m لتصطدم بالأرض على بُعد 0.400 m من قاعدة الطاولة.

a. ما الزمن الذي تستغرقه السيارة في الهواء؟

b. ما مقدار سرعة السيارة لحظة مغادرتها سطح الطاولة؟



الشكل 6-12

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

41. الرماية رمي سهم سرعته 49 m/s في اتجاه يصنع زاوية  $30.0^\circ$  مع الأفقي فأصاب الهدف.

a. ما أقصى ارتفاع يصل إليه السهم؟



## تقويم الفصل 6

### تقويم الفصل 6

#### 6-3 السرعة المتجهة النسبية

المستوى 3

45.  $1.6 \times 10^2 \text{ km/h}$  في اتجاه يصنع زاوية  $18^\circ$  غرب الجنوب.

46. a.  $5.0 \text{ m/s}$  في اتجاه يصنع زاوية  $53^\circ$  بالنسبة لضفة النهر

b. الموازية:  $3.0 \text{ m/s}$ ، العمودية:  $4.0 \text{ m/s}$

47. a.  $8.0 \text{ m/s}$  في اتجاه الشرق

b.  $1.0 \times 10^1 \text{ m/s}$

#### مراجعة عامة

48.  $1157 \text{ m/s}$

49.  $24 \text{ N}$

#### التفكير الناقد

50. لا. تُغيّر قوة الجاذبية الرأسية سرعة السيارات، لذلك لا تكون حركة السيارات حركة دائرية منتظمة.

51. إن النظام لا يتحرك حركة دائرية منتظمة؛

فقوة الجاذبية الأرضية تزيد مقدار سرعة الكرة عندما تتحرك نزولاً في اتجاه الأسفل وتقلل من مقدار سرعتها عندما تتحرك الكرة صعوداً في اتجاه الأعلى. لذلك فالتسارع المركزي الذي يحافظ على حركتها في مسار دائري يكون أكبر في الأسفل وأقل عند قمة مسارها. فعند القمة تكون قوة الجاذبية وقوة الشد في الاتجاه نفسه؛ لذلك تكون قوة الشد المطلوبة أقل. أما في الأسفل فتكون قوة الجاذبية وقوة الشد في اتجاهين متعاكسين (قوة الجاذبية في اتجاه الأسفل وقوة الشد في اتجاه الأعلى)؛ لذلك تكون قوة الشد في الخيط أكبر.

#### 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 تجدف بقارب كما 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  $4.0 \text{ m/s}$ :

a. فما سرعة قاربك بالنسبة إلى ضفة النهر؟

b. احسب مركبتي السرعة المتجهة لقاربك:

الموازية لضفة النهر، والعمودية عليها.



الشكل 6-14

47. التجديف إذا كنت تجدف في نهر يتدفق في اتجاه

الشرق، ولأن 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. إطلاق قذيفة تتحرك طائرة بسرعة  $375 \text{ m/s}$

بالنسبة إلى الأرض. فإذا أطلقت قذيفة إلى الأمام

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

$0.50 \text{ m}$ ، وتتحرك حركة دائرية منتظمة في مستوى

رأسي 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، وتتحرك في مسار دائري في المستوى

الرأسي، حلل حركة هذا النظام وصفه، مع أخذ 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

المعنوية بصورة صحيحة.

a.  $(5 \times 10^6 \text{ m})(4.2 \times 10^7 \text{ m})$

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.  $(6.3 \times 10^{-1} \text{ m})/(3.8 \times 10^2 \text{ s})$

#### مراجعة تراكمية

52. a.  $2 \times 10^{16} \text{ m}^2$

b.  $1.4 \times 10^{-7} \text{ km}^2$

c.  $2.8 \text{ kg/m}^3$

d.  $1.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}$



## اختبار مقنن الفصل 6-

### سَلَم تقدير

يمثل الجدول الآتي نموذجاً لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهماً كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، وقد تضمن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهماً للموضوعات الفيزيائية التي درسها. واستجابته صحيحة وتظهر فهماً أساسياً، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهماً جزئياً للموضوعات الفيزيائية. وربما استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحل، أو قدّم حلاً صحيحاً، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهماً محدوداً جداً للموضوعات الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدم الطالب حلاً غير صحيح تماماً، أو لا يستجيب أبداً.

## اختبار مقنن

### أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يرمي طالب طولته 1.60 m كرة في اتجاه يصنع زاوية  $41.0^\circ$  مع الأفقي، وبسرعة ابتدائية  $9.40 \text{ m/s}$ . على أي بُعد من الطالب تسقط الكرة؟  
 (A) 4.55 m (B) 5.90 m  
 (C) 8.90 m (D) 10.5 m

2. تقف نحلة على حافة عجلة دوّارة، وعلى بُعد 2.8 m من المركز. إذا كان مقدار السرعة المماسية للنحلة  $0.89 \text{ m/s}$ ، فما مقدار تسارعها المركزي؟  
 (A)  $0.11 \text{ m/s}^2$  (B)  $0.28 \text{ m/s}^2$   
 (C)  $0.32 \text{ m/s}^2$  (D)  $2.2 \text{ m/s}^2$

3. جسم كتلته  $0.82 \text{ kg}$  مربوط في نهاية خيط مهمل الكتلة طولته 2.0 m، ويتحرك في مسار دائري أفقي. إذا كان مقدار القوة المركزية المؤثرة فيه تساوي 4.0 N، فما مقدار السرعة المماسية لهذه الكتلة؟  
 (A) 2.8 m/s (B) 3.1 m/s  
 (C) 4.9 m/s (D) 9.8 m/s

4. تدخل سيارة كتلتها 1000 kg مساراً دائرياً نصف قطره 80.0 m، بسرعة مقدارها  $20.0 \text{ m/s}$ . ما مقدار القوة المركزية التي سببها الاحتكاك بحيث لا تنزلق السيارة؟  
 (A) 5.0 N (B)  $2.5 \times 10^2 \text{ N}$   
 (C)  $5.0 \times 10^3 \text{ N}$  (D)  $1.0 \times 10^3 \text{ N}$

5. 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 m/s (B) 8 m/s  
 (C) 40 m/s (D) 100 m/s

6. ما أقصى ارتفاع تصل إليه تفاحة كتلتها 125 g تُقذف في اتجاه يميل على الأفقي بزاوية مقدارها  $78^\circ$  وبسرعة ابتدائية مقدارها  $18 \text{ m/s}$ ؟  
 (A) 0.70 m (B) 16 m  
 (C) 32 m (D) 33 m

### أسئلة الاختيار من متعدد

1. D  
2. B  
3. B  
4. C  
5. B  
6. B  
7. D

### الأسئلة الممتدة

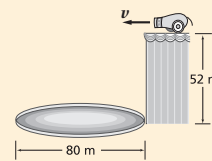
8. 82 m، تسقط الكرة خارج الحلقة؛ لذا يجب ضبط المدفع ليطلق القذيفة في اتجاه الأسفل قليلاً.  
 9. 59 N

7. أسقطت برتقالة من ارتفاع معين في اللحظة نفسها التي أطلقت فيها رصاصة أفقياً من بندقية من الارتفاع نفسه. أي العبارات التالية 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 سرعتاهما متساويتين.  
 (D) سيصطدم الجسبان بالأرض في اللحظة نفسها.

### الأسئلة الممتدة

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



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

### إرشاد

#### تدريب تحت ظروف مشابهة للاختبار

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

الأهداف	المواد والأدوات
<b>افتتاحية الفصل</b>	
<b>7-1 حركة الكواكب والجاذبية</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. تربط بين قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني.</li> <li>2. تحسب الزمن الدوري ومقدار السرعة المدارية.</li> <li>3. تصف أهمية تجربة كافندش.</li> </ol>	<p>تجارب الطالب</p> <p><b>تجربة استهلاكية</b> منقلة، ومسطرة مصرية.</p> <p>عرض المعلم</p> <p><b>عرض سريع</b> كرتا جولف.</p>
<b>7-2 استخدام قانون الجذب الكوني</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>4. تحلّ مسائل على الحركة المدارية.</li> <li>5. تربط انعدام الوزن مع أجسام في حالة سقوط حرّ.</li> <li>6. تصف مجال الجاذبية.</li> <li>7. تقارن بين كتلة القصور وكتلة الجاذبية.</li> <li>8. تقارن بين وجهتي نظر نيوتن وأينشتاين حول الجاذبية.</li> </ol>	<p>تجارب الطالب</p> <p><b>تجربة</b> قلم رصاص، وكأس ورقية، وماء ملون.</p> <p><b>تجربة إضافية</b> خيط، وميزان نابضي، وجسم كتلته 1 kg.</p> <p><b>مختبر الفيزياء</b> قطعة ورق مقوى، وطبق ورقي أبيض، ودبوسان، ومسطرة مصرية، وقلم رصاص، وأربعة أربطة مطاطية.</p> <p>عرض المعلم</p> <p><b>عرض سريع</b> مقعد دوّار، ومقياس تسارع.</p>

### طرائق تدريس متنوعة

**1م** أنشطة مناسبة للطلاب ذوي صعوبات التعلم.
 **2م** أنشطة مناسبة للطلاب ذوي المستوى المتوسط.
 **3م** أنشطة مناسبة للطلاب المتفوقين (فوق المتوسط).

التقنية	شرائح ومصادر قابلة للنسخ
تتضمن أعمال المعلم: نسخة المعلم التفاعلية، تخطيط الدرس مع مفكرة، التقويم، ارتباطات بمواقع إلكترونية.	
	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 7. دليل مراجعة الفصل، ص 84-80 اختبار قصير 1-7، ص 85 شريحة التدريس 1-7، ص 90 شريحة التدريس 2-7، ص 92 شريحة التدريس 3-7، ص 94 ربط الرياضيات مع الفيزياء
مسألة الأسبوع على الموقع الإلكتروني: <a href="http://Obeikaneducation.com">Obeikaneducation.com</a>	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 7. دليل مراجعة الفصل، ص 84-80 تعزيز الفهم، ص 87 الاثراء، ص 88 اختبار قصير 2-7، ص 86 ورقة عمل التجربة، ص 74 ورقة عمل مختبر الفيزياء، ص 75 ربط الرياضيات مع الفيزياء دليل التجارب العملية، ص 37، 43

#### مصادر التقويم

<b>التقنية</b> الموقع الإلكتروني <a href="http://Obeikaneducation.com">Obeikaneducation.com</a>	<b>الملف الخاص</b> بمصادر الفصول 5-7، الفصل 7 تقويم الفصل 7، ص 96 اختبارات الفيزياء التحضيرية
---	---

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

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

### الأهمية

تساعدك قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني على فهم حركة الكواكب والأقمار الاصطناعية. المذنبات اكتُشفت مذنب هال-بوب على يد العالمين آلن هال وتوماس بوب عام 1995م. ودخل هذا المذنب نظامنا الشمسي عام 1997م، وكان مرئيًا في كاليفورنيا، وظهرت مناظر لذيله الغباري الأبيض وذيله الأيوني الأزرق.

### فكر

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

القياس عبر المواقع الإلكترونية  
www.ohekaneducation.com

### نظرة عامة إلى الفصل

يعرض هذا الفصل القوانين التي تحكم حركة الكواكب من منظور تاريخي. كما يتضمّن مناقشة قوانين كبلر وتفسيرها من خلال قانون نيوتن في الجذب الكوني، ومناقشة الوزن وحالة انعدام الوزن في المدار. كما يعرض الفصل مفهوم مجالات الجاذبية.

### فكر

هذه صورة للمذنب هال - بوب عند أقرب نقطة له من الشمس، ويمكن الحكم من خلال ذيل المذنب بأن المذنب هال - بوب يتوجّه نحو الشمس التي تقع على يمين الصورة بالنسبة لموقع المذنب. وللمذنب هال - بوب زمن دوري كبير، ويدور حول الشمس في مدار إهليلجيّ.

### المفردات الرئيسية

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



### تجربة استهلاكية

**الهدف** تبين أنّ الكواكب تسير في مدارات إهليلجيّة، وذلك من خلال رسم البيانات على ورق رسم بياني مناسب.

### التفكير الناقد

**التحليل** مدار عطارد له شكل إهليلجيّ حيث تكون الشمس في إحدى بؤرتيه.

**المواد والأدوات** منقلة، ومسطرة ممتريّة.

**استراتيجيات التدريس**

- راجع مع الطلاب كيفية استعمال المنقلة لرسم الزوايا. كمثال على مقياس الرسم للمسافة استعمل وحدة فلكية (AU)  $3.5 \text{ cm} = 0.35 \text{ AU}$ .

**النتائج المتوقعة** انظر دليل حلول المسائل.



## 7-1 حركة الكواكب والجاذبية

### 1. التركيز

#### نشاط

مقياس أمسك كرة بولينج بيدك وأخبر الطلاب بأنها تمثل الشمس، ثم اطلب إليهم أن يجدوا جسمًا آخر يمثل الأرض مستعملين مقياس رسم مناسب. يُمكنك الاستعانة بالجدول 1-7. **المقياس هو  $10^9 \times 1:6$  ؛ لذا يكون قطر الأرض  $2 \text{ mm}$  تقريبًا.** أحضر أجسامًا مثل: كرة تنس و حبة ذرة و حبة بلوط وحبوب فلفل و حبة جوز ورأس دبوس. وضح للطلاب أنهم في النشاطات القادمة سيستعملون الكرة وحبوب الفلفل لبناء نموذج للنظام الشمسي. **2م بصري - مكاني**

#### الربط مع المعرفة السابقة

**الجاذبية** يُطبق الطلاب القانون الثاني لنيوتن في الحركة على قوة جديدة، وهي قوة الجاذبية، التي تُسبب ظهور التسارع المركزي لقمر اصطناعي يتحرك في مداره.

## تجربة استهلاكية

### هل يمكنك عمل نموذج لحركة عطارد؟

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

#### الخطوات

1. استعمل جدول البيانات لرسم مدار عطارد باستعمال مقياس الرسم  $1 \text{ AU} = 10 \text{ cm}$ . ولاحظ أن الوحدة الفلكية الواحدة AU تساوي بُعد الأرض عن الشمس،  $1 \text{ AU} = 1.5 \times 10^8 \text{ km}$ .
2. احسب المسافة بوحدة cm لكل مسافة مقيسة بوحدة AU.
3. عيّن مركز ورقتك، وارسم خطًا صفيًا أفقيًا وخطًا صفيًا رأسيًا عند هذه النقطة.
4. ضع المقلة على الخط الأفقي على أن يكون مركزها منطبقًا على مركز الورقة، وفس الدراجات، ثم ضع علامة.

#### التحليل

مسار عطارد		
$d \text{ (AU)}$	$\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	
0.35	4	
0.31	61	
0.32	122	
0.38	172	
0.43	209	
0.46	239	
0.47	266	
0.44	295	
0.40	330	
0.37	350	

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

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

## 7-1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

#### الأهداف

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

#### المفردات

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

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

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

## 7-1 إدارة المصادر

### الملف الخاص بمصادر الفصول 7-5

شريحة التدريس 2-7، ص 92

شريحة التدريس 3-7، ص 94

ربط الرياضيات مع الفيزياء

دليل مراجعة الفصل، ص 84-80

اختبار قصير 1-7، ص 85

شريحة التدريس 1-7، ص 90



## 2. التدريس

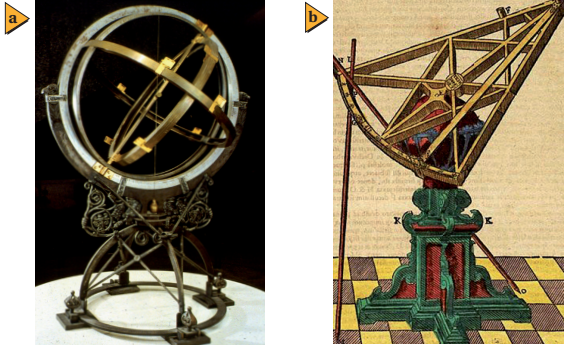
### المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الشمس مركز النظام الشمسي قد يظن بعض الطلاب أن فكرة الشمس مركز النظام الشمسي كانت موجودة أيام كوبرنيكس، أو جاليليو، أو نيوتن. فعلياً لم يُقبل البرهان المبني على المشاهدات والملاحظات حتى الثلاثينيات من القرن التاسع عشر، وقبل نظام كوبرنيكس لأنه كان أسهل من النموذج الذي يعتبر الأرض مركزاً للنظام، كما أنّ قوانين نيوتن استطاعت أن تصف حركة الكواكب في نظام كوبرنيكس (الشمس مركز النظام الشمسي). لكنها لم تستطع أن تصف مدارات الكواكب حول الأرض في النموذج الذي يعتبر الأرض مركزاً للنظام.

### تطوير المفهوم

بناء نموذج لحركة الكواكب تعرّف معلومات الطلاب عن الأرض والشمس والنظام الشمسي، وذلك من خلال مشاهداتهم اليومية، مثل الحركة الظاهرية للشمس حول الأرض، وتفاصيل حركتها في السماء، وحركة النجوم في الليل وعلى مدار السنة. ثم اطلب إليهم بناء نموذج يوضح هذه المشاهدات. إذا اختار الطلاب نموذجاً مركزه الشمس، فاسألهم: ما المشاهدات التي تدعم هذا الاختيار؟

2م بصري - مكاني

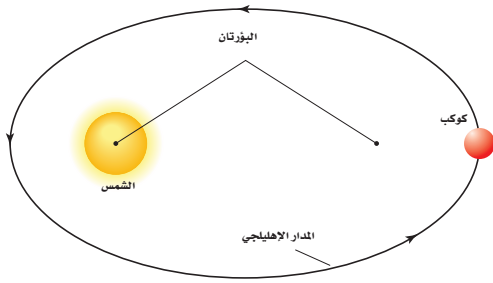


الشكل 1-7 من بين الأجهزة الضخمة التي بناها براهي واستعملها على جزيرة Hven جهاز الأسطرلاب (a)، وآلة السدس (b)، وهي في الأصل من ابتكار علماء المسلمين.

### قوانين كبلر Kepler's Laws

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

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



الشكل 2-7 تدور الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.

### مشروع فيزياء

#### نشاط

**مدارات لامركزية** اطلب إلى الطلاب أن يبحثوا عن نماذج تاريخية مختلفة للنظام الشمسي، لتفسر كيف أثر ذلك في كبلر؟ واسألهم: لماذا يجب معرفة أن مدارات الكواكب إهليلجية على الرغم من أن كوبرنيكس عمل على فرضية أن المدارات دائرية؟ ثم اطلب إليهم العمل معاً لرسم وتوضيح المدارات اللامركزية لبعض الكواكب. واسألهم: هل نبتون هو الكوكب الأبعد دائماً عن الشمس؟ لا؛ لأنه بسبب المدار الإهليلجي وبحسب موقعه في النقطة الأقرب أو النقطة الأبعد عن الشمس، يكون نبتون أقرب إلى الأرض من أورانوس أحياناً. 2م بصري - مكاني

### مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 7-1

الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com.sa](http://www.obeikaneducation.com.sa)

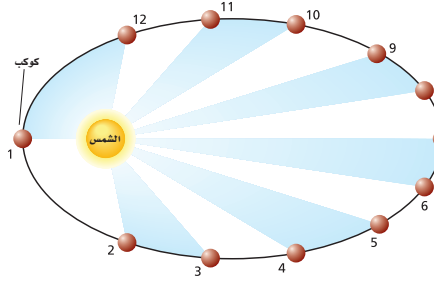
## المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

**المدارات الإهليلجية** ارسم على السبورة دائرة قطرها 1 m ثم ضع الشمس على بعد 1 cm من مركز الدائرة. إن الفرق بين مركزي المدار الدائري والمدار الإهليلجي في هذه الحالة يساوي 0.07 mm. ثم اسأل: أين يكون موقع الأرض بالنسبة إلى الشمس خلال فصل الشتاء في نصفها الشمالي؟ **تكون الأرض قريبة من الشمس خلال شهر يناير.** يتن الطلاب أن الفصول الأربعة على الأرض ليست ناتجة عن موقع الأرض بالنسبة إلى الشمس، ولكن بسبب ميل محور الأرض. فعند ميل نصف الكرة الشمالي بعيداً عن الشمس، لا تسقط أشعة الشمس عمودية عليه، خاصة كلما اتجهنا إلى القطب الشمالي، حيث تسقط الأشعة بزوايا سقوط كبيرة وبالتالي تكون تلك المناطق باردة. **2م**

### نشاط



**اختلاف الموقع النجمي** تتغير مواقع النجوم القريبة إلى الأرض مع تغير موقع الأرض حول الشمس. اطلب إلى الطلاب عمل هذا النشاط لنمذجة اختلاف الموقع النجمي. تحتاج في هذا النشاط إلى كويين سعة كل منهما 1 لتر، مزودين بغطاءين بلاستيكيين، ومصباحين كهربائيين (ضع أحد المصباحين المضيئين في منتصف غرفة الصف والآخر في الجهة البعيدة)، وشريط لاصق. ائقب منتصف كل كوب ثقباً صغيراً، ثم اربط الكوبين بحيث يكونان متجاورين. سيمثل الكوبان تلسكوبين، حيث يمثل أحدهما موقع الأرض في شهر فبراير، ويمثل الآخر موقعها في شهر يوليو، كما يمثل أحد المصباحين نجماً قريباً، ويمثل الآخر نجماً بعيداً. ضع الكويين بعيداً عن المصباحين في غرفة الصف ثم عثمها، ولاحظ صورتَي النجمين على غطاء كل كوب، إحدى الصورتين للمصباح القريب، والأخرى للمصباح البعيد. وتكون صورة المصباح القريب مزاحة قليلاً عند مقارنتها بصورة المصباح البعيد. وهذا ما يراه الفلكيون ولكن على نحو مضخم. **2م حسي - حركي**



الشكل 3-7 يتحرك الكوكب بأقصى سرعة عندما يكون قريباً من الشمس، ويتحرك أبطأ عندما يكون بعيداً عنها. ويمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية.

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

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

القانون الثالث لكبلر

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

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

الجدول 1-7			
بيانات الأجرام			
الجسم	متوسط نصف القطر (m)	الكثافة (kg)	متوسط البعد عن الشمس (m)
الشمس	$6.96 \times 10^8$	$1.99 \times 10^{30}$	—
عطارد	$2.44 \times 10^6$	$3.30 \times 10^{23}$	$5.79 \times 10^{10}$
الزهرة	$6.05 \times 10^6$	$4.87 \times 10^{24}$	$1.08 \times 10^{11}$
الأرض	$6.38 \times 10^6$	$5.98 \times 10^{24}$	$1.50 \times 10^{11}$
المريخ	$3.40 \times 10^6$	$6.42 \times 10^{23}$	$2.28 \times 10^{11}$
المشتري	$7.15 \times 10^7$	$1.90 \times 10^{27}$	$7.78 \times 10^{11}$
زحل	$6.03 \times 10^7$	$5.69 \times 10^{26}$	$1.43 \times 10^{12}$
أورانوس	$2.56 \times 10^7$	$8.68 \times 10^{25}$	$2.87 \times 10^{12}$
نبتون	$2.48 \times 10^7$	$1.02 \times 10^{26}$	$4.50 \times 10^{12}$

## الفيزياء في الحياة

### معلومة للمعلم

**علم الفلك في الحضارات القديمة** كان علم الفلك يشكل جزءاً رئيساً في العديد من الثقافات والأديان. حيث كانت معرفة طول السنة أساساً للحضارات التي تعتمد على الزراعة، فأجرت شعوب أمريكا الوسطى مشاهدات دقيقة لكوكب الزهرة، وأما المسلمون فقد اهتموا بدراسة علم الفلك لمعرفة أوقات الصلاة وتحديد اتجاه القبلة ورؤية هلال رمضان، وبُني الأسطرلاب في بغداد في القرن الثامن، وهو جهاز لقياس مواقع النجوم والكواكب، وقد شاهد سكان الصين انفجار السديم Nebula عام 1054م، وهذا الحدث لم يُشاهد في الغرب.

## مثال صفي

**سؤال** يوروبا هو أحد أقمار كوكب المشتري وزمنه الدوري 3.55 أيام. فكم وحدة يبعد عن مركز المشتري؟

**الجواب**

$$r_E^3 = (4.2 \text{ وحدة})^3 \left( \frac{3.55 \text{ يوم}}{1.8 \text{ يوم}} \right)^2$$

$$= 288 \text{ (وحدة)}^3$$

$$r_E = 6.6 \text{ وحدة}$$

## مسائل تدريبية

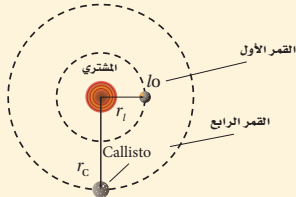
- 11 وحدة .
- 2.8 سنة .
- 684 يومًا .
- a. 88.6 min . b.  $3.2 \times 10^2 \text{ km}$  .
- $4.30 \times 10^4 \text{ km}$  .

## تعزيز الفهم

**قوانين كبلر** قارن بين مداري قمر كوكب المشتري: الأول والرابع كما في المثال. ثم اسأل الطلاب: كيف استعمل جاليليو القانون الثالث لكبلر؟ **عامل جاليليو** المشتري كـ الشمس، والأقمار كما لو كانت كواكب سيّارة تدور حوله. **م2**

## مثال 1

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



**1 تحليل المسألة ورسمها**

- ارسم مداري القمرين الأول والرابع للمشتري.
- عَيّن نصفَي قطري المدارين.

**المعلوم**  $T_I = 1.8 \text{ يوم}$   $T_C = 16.7 \text{ يومًا}$   $r_I = 4.2 \text{ وحدة}$

**المجهول**  $r_C = ?$

## 2 إيجاد الكمية المجهولة

حل القانون الثالث لكبلر لإيجاد  $r_C$

بالتعويض:  $T_I = 1.8 \text{ يوم}$  و  $T_C = 16.7 \text{ يومًا}$ ، وحدة  $r_I = 4.2$

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

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

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

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

$$= 19 \text{ وحدة}$$

## 3 تقويم الجواب

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

## مسائل تدريبية

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

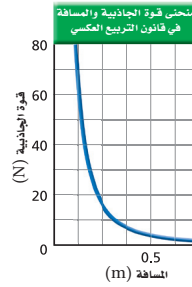
## مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم

## نشاط

**مدارات إهليلجية** ارسم مدارًا دائريًا، ثم راجع مع الطلاب موضوع الحركة الدائرية. استعمل رسوم الحركة الدائرية لتوضيح كيف يؤدي التسارع المركزي إلى تغيير في اتجاه السرعة المتجهة، ويبيّن أنّ القوة التي تسبّب هذا التسارع تكون في اتجاه المركز. ثم ارسم مدارًا إهليلجيًا بحيث تكون الشمس في إحدى بؤرتيه، وارسم خطوطًا من الشمس إلى نقاط مختارة على المدار الإهليلجي، مع ملاحظة أنّ القوة المؤثرة في الكوكب تكون على امتداد الخط الواصل بين الكوكب والشمس، ويكون التسارع في هذا الاتجاه أيضًا. ووضح أنّ التسارع يكون عموديًا على المدار (لا يوجد تغير في مقدار السرعة) عند أقرب نقطة وأبعد نقطة عليه، أمّا عند النقاط الأخرى فلا يكون التسارع عموديًا على المدار بسبب وجود مركبة للسرعة في اتجاه المدار (حيث تزيد سرعة الكوكب أو تقل). **م1 بصري - مكاني**

## التفكير الناقد

تناسب التربيع العكسي يتضمن قانون نيوتن في الجاذبية أمثلة على التناسب الطردي وتناسب التربيع العكسي. وضح للطلاب باستعمال الأرقام كيف تتغير القوة المحسوبة بواسطة قانون الجذب الكوني (العام)، عندما تأخذ الكتلة الأولى مع نصف الكتلة الثانية، أو ضعفها، أو ثلاثة أضعافها. ثم أعد الحسابات لعدد من التغيرات في المسافة. عندما نأخذ نصف إحدى الكتلتين تقل القوة إلى النصف، وعند مضاعفة الكتلة تتضاعف القوة، وعندما تتضاعف الكتلة إلى ثلاثة أمثالها تتضاعف القوة ثلاثة أمثالها أيضًا، وهكذا. أمّا عندما تقل المسافة بين الجسمين إلى النصف فإن القوة تتضاعف إلى أربعة أمثال قيمتها، في حين تقلل مضاعفة المسافة القوة إلى الربع، وتقلل مضاعفة المسافة لثلاثة أمثالها القوة إلى التسع. م 2



الشكل 4-7: تتغير قوة الجاذبية بتغير المسافة وفق قانون التربيع العكسي.

## قانون نيوتن في الجذب الكوني

### Newton's Law of Universal Gravitation

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

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

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

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

قانون الجذب الكوني

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

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

### الرياضيات في الفيزياء

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

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

## عرض سريع



### قانون نيوتن في الجاذبية

الزمن المقدر 5 دقائق

المواد والأدوات كرتا جولف.

### الخطوات

أمسك كرة جولف في كل يد، بحيث تكون الكرة الأولى على ارتفاع 1 m من أرضية الصف والأخرى على ارتفاع 2 m تقريبًا من الأرضية نفسها. ثم اطلب إلى الطلاب تأمل معادلة قانون الجاذبية العام  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ، والمقارنة بين القوتين المؤثرتين في الكرتين. تكون القوتان متساويتين تقريبًا لأن  $r$  تقاس بحساب البعد عن مركز الأرض.

### مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 7-2

الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com.sa

## الفيزياء في الحياة

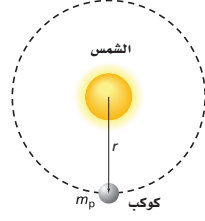
### معلومة للمعلم

التلسكوب أجرى كل من براهي وكبلر عملهما دون تلسكوب، بينما استعمل جاليليو تلسكوبًا بسيطًا عند اكتشافه أقمار المشتري، وحلقات كوكب زحل، وأطوار كوكب الزهرة. ولقد دعمت هذه الاكتشافات نموذج الشمس كمركز للنظام الشمسي. اسأل الطلاب: ما الذي تميز به التلسكوبات عن العين المجردة؟ اطلب إليهم مراقبة النجوم بالاشتراك مع نادٍ فلكي محلي، وتلخيص مشاهداتهم، وتوضيح كيف ساعد التلسكوب على تحقيق ذلك. يجمع التلسكوب ضوءًا أكثر مما تستطيعه العين، مما يمكن من رؤية الأجسام ذات الإضاءة الخافتة. م 1



## تطوير المفهوم

قانون نيوتن في الجاذبية لم يكن واضحاً من خلال قانون الجذب الكوني أنه يمكن تفسير قوة جذب جسم كبير كالأرض على تفاحة. فقد استغرق نيوتن 20 عاماً في تطوير حساب التفاضل والتكامل لإثبات هذه الحقيقة. ارسم على السبورة مخططاً للأرض والتفاحة، واسأل الطلاب: ماذا يمكن أن يحدث لو جَزَّأنا الأرض إلى مجموعة من الصخور؟ ثم ارسم أسهماً تمثل القوى بين هذه الصخور والتفاحة، ووضح كيف يختصر التماثل القوى من جهتي اليسار واليمين. فمن خلال رسم أشكال مخروطية صغيرة لها زوايا مختلفة نلاحظ أن كمية الصخور البعيدة عن التفاحة أكبر من كمية الصخور القريبة منها، وهذا من شأنه أن يعوّض عن قوة أضعف بين التفاحة وأجزاء الأرض البعيدة عنها. **2م بصري - مكاني**



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

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

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

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

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

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

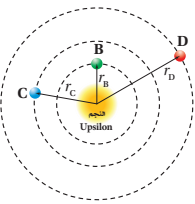
$$T = \sqrt{\left( \frac{4\pi^2}{G m_s} \right) r^3}$$

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{G m_s}} \quad \text{الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس}$$

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

#### مسألة تحفيز



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

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



مصادر الفصول 5-7

شريحة التدريس 7-3

الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com.sa](http://www.obeikaneducation.com.sa)

#### مسألة تحفيز

$$1. \quad \frac{r_B^3}{T_B^2} = 9.6 \times 10^{-6} \text{ AU}^3/\text{days}^2 \quad \text{للكوكب B}$$

$$\frac{r_C^3}{T_C^2} = 9.77 \times 10^{-6} \text{ AU}^3/\text{days}^2 \quad \text{للكوكب C}$$

$$\frac{r_D^3}{T_D^2} = 9.82 \times 10^{-6} \text{ AU}^3/\text{days}^2 \quad \text{للكوكب D}$$

وهذا يتفق مع القانون الثالث لكبلر.

$$2. \quad \text{لنظام الأرض - الشمس} \quad \frac{r^3}{T^2} = \frac{(1.000 \text{ AU})^3}{(1.000 \text{ yr})^2} = 1.000$$

$$\frac{r^3}{T^2} = 9.77 \times 10^{-6} \text{ AU}^3/\text{days}^2 \quad \text{لنظام الكوكب Upsilon - C}$$

$$= (9.77 \times 10^{-6} \text{ AU}^3/\text{days}^2)(365 \text{ day/yr})^2$$

$$= 1.30 \text{ AU}^3/\text{yr}^2 \quad \text{كتلة النجم تساوي 1.3 من كتلة الشمس}$$



## استخدام الشكل 6-7

اعرض صوراً لموازين اللي وموازين كافندش المَحْوَسَة. حيث تعمل قوة الجاذبية التي تؤثر بها الكتل الكبيرة في الكتل الصغيرة على التواء السلك. ويمكن قياس مقدار اللي بملاحظة انحراف شعاع الضوء، حيث يولّد السلك عزماً يتناسب مع مقدار زاوية انحراف الشعاع. ويمكن حساب ثابت التناسب من خلال قياس الزمن الدوري لاهتزازه، ثم تُقاس زاوية الاتزان، وبَعدها يمكن حساب قوة الجاذبية. **م 2**

### المناقشة

**سؤال صمّم** شريحة توضح فيها شخصاً يقف على سطح كويكب، واطلب إلى الطلاب تقدير قيمة  $g$  على سطح الكويكب، علماً بأن نصف قطر الكويكب يساوي 1.5 m وكثافته مساوية لكثافة كوكب فيستا وهي  $3.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . اعتماداً على قيمة  $g$  التي حسبتها، صف ما الذي يحدث عندما يقفز هذا الشخص إلى الأعلى؟

### الجواب

$$V = 14\text{m}^3$$

$$m = (3.3 \times 10^3 \text{ kg / m}^3)(14\text{m}^3)$$

$$= 4.6 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$g = \frac{F}{m} = \frac{Gm}{r^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2) (4.6 \times 10^4 \text{ kg})}{(1.5\text{m})^2} = 6.9 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

سيكون ارتفاع قفزته عالياً جداً **م 2**

## قياس ثابت الجذب الكوني

### Measuring the Universal Gravitational Constant

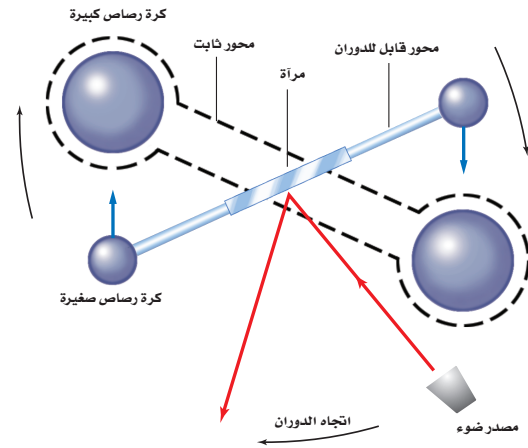
ما قيمة الثابت  $G$ ؟ تبدو قوة التجاذب بين جسمين على الأرض ضعيفة نسبياً، ويصعب الكشف عن هذه القوة بين كتلتي كرتي البولنج مثلاً. في الواقع استغرق الأمر 100 عام بعد نيوتن ليتمكن العلماء من تصميم جهاز حساس بما يكفي لقياس قوة الجاذبية.

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



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

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



## تطوير المفهوم

**قيمة الثابت G** مشتقة من قانون نيوتن في الجذب الكوني، حيث إنَّ الثابت G هو الرقم المستعمل في حساب قوة الجاذبية. كانت القيمة المقبولة للثابت G في ثمانينيات القرن الماضي هي:

$$6.67260 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

تساوي 0.01%. أمَّا القيمة المقبولة حديثاً فهي

$$G = 6.67390 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

تساوي 0.0014%. وما زال العلماء يبحثون في طبيعة

الجاذبية، فمثلاً الجاذبية في الفضاء ليست قوة مباشرة،

فبدلاً من أن يحسب العلماء قيمة G فإنَّهم يقيسون

الضغط المتولد من الفضاء على المادّة/الطاقة المكافئة

لها. ولحساب الجاذبية بدقة أكثر فإنَّ العلماء يضربون

نسبة التواء الفضاء (RSW) في ثابت الفضاء (SC).

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

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

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

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

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

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

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

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

فإننا نحصل على القيمة التالية لكتلة الأرض:

$$m_E = \frac{(9.80 \text{ m/s}^2) \times (6.38 \times 10^6 \text{ m})^2}{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2)} = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

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

## الخلفية النظرية للمحتوى

### معلومة للمعلم

**قوة الجاذبية** اطلب إلى الطلاب مناقشة الأسئلة التالية: ما مدى شمولية قانون نيوتن في الجذب الكوني؟ هل تعتمد قوة الجاذبية على الكتلة؟ وهل تعتمد أيضاً على نوع مادة الكتلة؟ هل يمكن أن تعتمد على الأرقام النسبية لعدد البروتونات والنيوترونات في المادّة؟ كانت الاختبارات المبكرة على يد العالم الهنغاري لورند اتقوس (Lorand Eotvos) المولود في عام 1848م الذي اخترع ميزان الليّ الحساس إذ قارن بين قوى الجاذبية المؤثرة في أجسام مختلفة لها كتلة القصور نفسها، مستخدماً أنواعاً مختلفة من الخشب والمعادن. وتوصل إلى أنَّ القوى متساوية لخمسة أجزاء في البليون.

### 3. التقويم

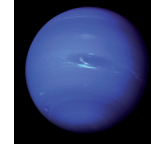
#### التحقق من الفهم

رسم مخطط الجسم الحرّ ارسّم مدارًا دائريًا يُمثّل مدار قمر اصطناعي حول الأرض، وحدّد موقعين للقمر الاصطناعي في مداره، ثمّ اطلب إلى الطلاب نسخ الرسم في دفاترهم. ثم اطلب إليهم تحديد القوة أو القوى المؤثرة فيه واتجاه تسارعه على الرسم. يكون هناك قوة واحدة فقط مؤثرة فيه هي  $F_g$  ويجب أن تكون في اتجاه الأرض، كما يجب أن يكون متّجه التسارع في اتجاه القوة نفسه. ناقش الطلاب: لماذا لا يوجد قوى أخرى تُؤثر في القمر الاصطناعي؟ حيث إنّه لا يوجد أيّ جسم يلامس القمر، فإنّ قوى التلامس غير موجودة. إنّ القوة بعيدة المدى المؤثرة في القمر الاصطناعي هي قوة الجاذبية الأرضية؛ لذلك يوجد قوة واحدة فقط. إذا ذكر الطلاب القوة المركزيّة أو قوة الطرد المركزي كقوة إضافية تُؤثر في القمر، فاسألهم: ما مصدر هذه القوة؟ وذكرهم بعدم حساب القوة مرتين. **2م** بصري - مكاني

#### إعادة التدريس

عرض للكتلة أحمل كرة ذات كتلة صغيرة (كرة جولف مثلاً) في يد و كرة ذات كتلة أكبر (كرة بولينغ مثلاً) باليد الأخرى، ثمّ اسأل الطلاب، هل طريقة سقوط الكرتين تساعدنا على معرفة شيء عن كتلتيهما أو عن كتلة الأرض؟ وكيف ينطبق هذا السؤال على الأقمار الاصطناعية؟ للجسمين التسارع نفسه، ولا يعتمد على كتلتيهما، ولكن يعتمد التسارع على كتلة الأرض، وينطبق الشيء نفسه على حركة الأقمار الاصطناعية. **2م**

#### 7-1 مراجعة



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

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

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

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

10. التفكير الناقد يحتاج رفع صخرة على سطح القمر إلى قوة أقل من التي تحتاج إليها على الأرض. كيف تؤثر قوة الجاذبية الضعيفة على سطح القمر في مسار الحجر عند قذفه أفقيًا؟

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

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

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

#### 7-1 مراجعة

10. a. يبقى المسار قطعًا مكافئًا، ولكنه سيكون أعرض بكثير (المدى الأفقي كبير).

b. يكون الأذى أكبر على سطح الأرض؛ لأنّ قيمة  $g$  على الأرض أكبر من قيمتها على القمر

6.  $6.02 \times 10^5$  يوم

7. ستزداد قيمة  $g$ .

8.  $1.2 \times 10^{-7} \text{ N}$ ، 0.82 جزء من بليون من الوزن.

9. تكون قيمة  $G$  نفسها؛ لأنّه باستعمال قيمة  $G$  نفسها تمّ بنجاح وصف التجاذب بين أجسام ذات تراكيب كيميائية مختلفة.

## 7-2 استخدام قانون الجذب الكوني

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

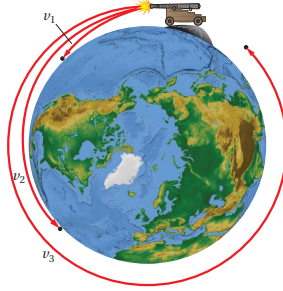
اكتُشف الكوكب أورانوس عام 1781م، وبحلول عام 1830م كان واضحاً أن مدار أورانوس الذي تم حسابه بقانون الجاذبية لا يتفق مع المدار الفعلي لهذا الكوكب. فاقترح عالمان فلكيان وجود كوكب آخر غير مكتشف يجذب أورانوس بالإضافة إلى جذب الشمس له. وقد قاما بحساب مدار هذا الكوكب عام 1845م، وبعد سنة أعلن فلكيون في مرصد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

#### مدارات الكواكب والأقمار الاصطناعية Orbits of Planets and Satellites

استخدم نيوتن رسماً، كما في الشكل 9-7، ليوضح تجربة ذهنية حول حركة الأقمار الاصطناعية، فتخيل مدفعاً يطلق قذيفة في اتجاه أفقي بسرعة معينة. هذه القذيفة لها سرعة أفقية وأخرى رأسية، ولذلك يكون مسارها قطعاً مكافئاً، ثم تسقط على الأرض.

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

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



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

#### الأهداف

- تحليل مسائل على الحركة المدارية.
- تربط انعدام الوزن مع أجسام في حالة سقوط حر.
- تصف مجال الجاذبية.
- تقارن بين كتلة القصور وكتلة الجاذبية.
- تقارن بين وجهتي نظر نيوتن وأينشتاين حول الجاذبية.

#### المفردات

- مجال الجاذبية
- كتلة القصور
- كتلة الجاذبية

## 1. التركيز

### نشاط

**حركة المقذوفات تحذير:** ضع نظارات واقية. ارفع كرة (تنس مثلاً) إلى أعلى بطول ذراعك. أفلت الكرة ثم أمسكها عند أعلى موقع بعد ارتدادها عن أرضية الصف. اطرح على الطلاب الأسئلة التالية: ما المسافة التي قطعها الكرة في الثانية الأولى من سقوطها؟ (4.9 m). اعتبر أن الكرة قُذفت أفقياً بالسرعات التالية: 10 m/s، 50 m/s، 500 m/s، ما المسافة الرأسية التي ستقطعها الكرة في الثانية الأولى؟ (4.9 m). ما المسافة الأفقية التي ستقطعها الكرة في الثانية الأولى في كل حالة؟ 10 m، 50 m، 500 m. وما شكل مسارها؟ سيكون منحنيًا. اطلب إلى الطلاب ربط هذا النشاط بالشكل 9-7. **1٢ بصري - مكاني**

### الربط مع المعرفة السابقة

**حركة الأقمار الاصطناعية** اطلب إلى الطلاب تطبيق قانون نيوتن في الجاذبية على حركة الأقمار الاصطناعية. يحتاج الطلاب إلى مراجعة مفهوم الوزن والكتلة. **1٢**

## 2. التدريس

### تطوير المفهوم

■ **المدارات** ابدأ مع الطلاب بالحقيقة التالية: يسقط الجسم القريب من سطح الأرض في اتجاهها ويقطع مسافة مقدارها 4.9 m في الثانية الأولى. أنشئ جدولاً للمسافات الأفقية التي سيقطعها الجسم في تلك الثانية وذلك عند سرعات أفقية مختلفة.

■ **الرسم التخطيطي** ساعد الطلاب على تقدير انحناء سطح الأرض من خلال رسم مخطط مناسب، ثم وضح لهم أنه عندما تسير مسافة أفقية x على سطح الأرض، فإنك تجتاز سطحها

بزواوية  $\theta$ ، ويُعبّر عن هذه الزاوية بالعلاقة التالية:  $\tan \theta = x/r_E$ ، حيث تمثل  $r_E$  نصف قطر الأرض وتساوي  $6.37 \times 10^3$  km. وعندما تقطع هذه الزاوية فإن سطح الأرض ينخفض عن الخط الأفقي مسافة رأسية y تُعطى بالعلاقة التالية:  $r_E(1 - \cos \theta)$ . فمثلاً إذا كانت  $x = 8$  km، فإن  $\tan \theta = 1.3 \times 10^{-3}$  و  $y = 5$  m. **2٢**

## تطبيق الفيزياء

◀ قمران اصطناعيان للاستشعار عن بعد يسميان GOES يعملان على تغطية النصف الغربي من الكرة الأرضية، يُسمى الأول GOES-East وهو ثابت فوق خط الطول  $75^\circ W$ . ويُسمى الآخر GOES-West وهو ثابت فوق خط الطول  $135^\circ W$ . كتلة كل منهما  $2100 \text{ kg}$  وأطلق كل منهما بواسطة صاروخ. وحل القمر الاصطناعي GOES-12 المعروف باسم GOES-East محل القمر GOES-8 وذلك بعد أكثر من ست سنوات من الخدمة. وهناك قمر اصطناعي ثالث في المدار يمكن أن يتحرك إلى الموقع إذا حدث عطل في أي من القمرين. ▶

## تطوير المفهوم

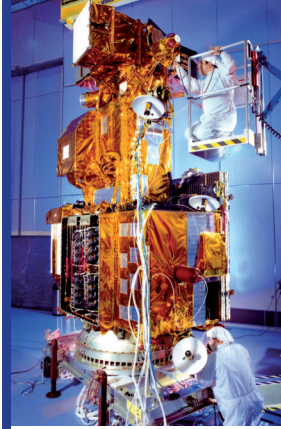
السرعة المدارية اطلب إلى الطلاب أن يفسروا كيف يعتمد مقدار سرعة جسم يتحرك في مدار دائري على نصف قطر المدار، وذلك من خلال السؤالين التاليين: إذا ضاعفت نصف القطر فماذا يحدث لمقدار السرعة؟ سيصبح مقدار السرعة  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ، أو  $70.7\%$  من مقدار سرعته الأصلية. وإذا ضاعفت نصف القطر فماذا يحدث للزمن الدوري؟ سيكون الزمن الدوري  $\sqrt{2^3}$  أو  $2.8$  مرة ضعف الزمن الدوري الأصلي. **2م**

## استخدام النماذج

أين سيكون المريخ عند منتصف الليل؟ اطلب إلى كل طالب رسم دائرتين تمثلان مداري الأرض والمريخ بمقياس رسم مناسب على ورقة كبيرة، يمكن أن يرسموا مدار الأرض بنصف قطر  $15 \text{ cm}$  ومدار المريخ بنصف قطر  $23 \text{ cm}$ ، ثم اطلب إليهم تحديد مواقع الأرض في مدارها حول الشمس في كل شهر، والبحث عن التواريخ التي يكون فيها المريخ في أقرب مكان إلى الأرض أو في أبعد مكان عنها. واطلب إليهم استعمال الزمن الدوري للمريخ (684 يومًا) لتحديد موقع المريخ في كل شهر من شهور الأرض. بما أن الجزء المظلم من السماء يكون في منتصف الليل في الاتجاه البعيد عن الشمس، فاطرح السؤال التالي: ما الشهور التي يُمكن رؤية المريخ فيها؟ ومتى يكون المريخ في الشرق أو في الجنوب (بالنسبة لسكان النصف الشمالي للكرة الأرضية) أو في الغرب؟ **2م بصري - مكاني**

## تطبيق الفيزياء

◀ المدار المتزامن مع الأرض يدور القمر الاصطناعي GOES-12 لتتوقعات الجوية حول الأرض دورة كل يوم على ارتفاع  $35,785 \text{ km}$  وتطابق السرعة المدارية للقمر معدل دوران الأرض، لذا يبدو القمر بالنسبة لمراقب على الأرض كأنه فوق بقعة معينة على خط الاستواء. ولذلك يُوجه طبق الاستقبال على الأرض في اتجاه معين، ولا يلزم تغيير اتجاهه لا لتقاطعات الإشارات المرسل من القمر الاصطناعي. ▶



الشكل 10-7 يوجه القمر الاصطناعي لاندسات 7 عن بُعد، وكتلته  $2200 \text{ kg}$ ، ويدور حول الأرض على ارتفاع  $705 \text{ km}$ .

الربط مع علم الأرض

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 7-2 إدارة المصادر

**الملف الخاص بمصادر الفصول 7-5**

دليل مراجعة الفصل، ص 84-80

تعزيز الفهم، ص 87

الاثراء، ص 88

اختبار قصير 2-7، ص 86

ورقة عمل التجربة، ص 74

ورقة عمل مختبر الفيزياء، ص 75

ربط الرياضيات مع الفيزياء

دليل التجارب العملية، ص 37، 43



## مثال صفي

**سؤال** يخطط المهندسون لوضع محطة الفضاء الدولية (ISS) في مدار على ارتفاع 450 km من سطح الأرض، فكم سيكون مقدار سرعتها المدارية؟ وكم سيكون زمنها الدوري؟

**الجواب**

**المعطيات**

$$\begin{aligned} h &= 4.50 \times 10^5 \text{ m} \\ r_E &= 6.38 \times 10^6 \text{ m} \\ G &= 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2 \\ m_E &= 5.97 \times 10^{24} \text{ Kg} \end{aligned}$$

لتحديد نصف قطر المدار:

أضف ارتفاع القمر عن سطح الأرض إلى نصف قطر الأرض.

$$\begin{aligned} r &= h + r_E \\ &= 4.50 \times 10^5 \text{ m} + 6.38 \times 10^6 \text{ m} \\ &= 6.83 \times 10^6 \text{ m} \end{aligned}$$

لحساب مقدار السرعة:

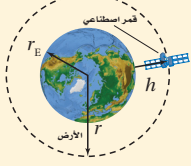
$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{Gm_E}{r}} \\ &= \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}{6.83 \times 10^6 \text{ m}}} \\ &= 7640 \text{ m/s} \\ &= 27,500 \text{ km/h} \quad \text{أو} \end{aligned}$$

لحساب الزمن الدوري:

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{(6.83 \times 10^6 \text{ m})^3}{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}} \\ &= 5620 \text{ s} \\ &\approx 94 \text{ min} \quad \text{أو} \end{aligned}$$

## مثال 2

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



### 1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم الوضع مبينًا ارتفاع المدار.

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

### 2 إيجاد الكمية المجهولة

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

$$\begin{aligned} r &= h + r_E \\ &= 2.25 \times 10^5 \text{ m} + 6.38 \times 10^6 \text{ m} = 6.61 \times 10^6 \text{ m} \end{aligned}$$

بالتعويض  $h = 2.25 \times 10^5 \text{ m}$ ,  $r_E = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}} = \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}{6.61 \times 10^6 \text{ m}}}$$

احسب السرعة

$$v = 7.76 \times 10^3 \text{ m/s} \quad G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2, m_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}, r = 6.61 \times 10^6 \text{ m}$$

بالتعويض  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ ,  $m_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$ ,  $r = 6.61 \times 10^6 \text{ m}$

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

احسب الزمن الدوري

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(6.61 \times 10^6 \text{ m})^3}{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}}$$

بالتعويض  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ ,  $m_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$ ,  $r = 6.61 \times 10^6 \text{ m}$

$$T = 5.35 \times 10^3 \text{ s}$$

### 3 تقويم الجواب

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

## مسائل تدريبيه

افترض أن مدار الأقمار دائري عند حل المسائل التالية:

- افترض أن القمر في المثال السابق تحرك إلى مدار نصف قطره أكبر 24 km من نصف القطر السابق، فكم يصبح مقدار سرعته؟ وهل هذه السرعة أكبر أم أقل مما في المثال السابق؟
- استعمل تجربة نيوتن الذهنية في حركة الأقمار الاصطناعية لحل ما يلي:
  - حساب مقدار سرعة إطلاق قمر اصطناعي من مدفع بحيث يصبح في مدار يبعد 150 km عن سطح الأرض.
  - احسب الزمن الذي يستغرقه القمر الاصطناعي (بالثواني والدقائق) ليكمل دورة حول الأرض ويعود إلى المدفع.
- استعمل البيانات المتعلقة بعطارد المعطاة في الجدول 1-7 لإيجاد ما يلي:
  - مقدار سرعة قمر اصطناعي في مدار على بُعد 260 km من سطح عطارد.
  - الزمن الدوري لهذا القمر.

## مهن في الحياة اليومية

### معلومة للمعلم

**الفلكي** يدرس الفلكي المتخصص في الأبحاث أصل الكون وتطور تركيبه، ويدرس فلكيون آخرون ظواهر كانت قبل عقود ذات اهتمام في كتب العلوم؛ كأصداء الضوء حول النجوم المنفجرة، والرياح الكونية، وعدسات الجاذبية. إن أفضل طريقة لإعداد الشخص للعمل بوصفه عالم فلك هي تلقي تعليم متقدم في الرياضيات، حيث تُعد دراسة الرياضيات أفضل طريقة للتحضير لدراسة الفيزياء التي تُعد جزءًا مكملًا لدراسة أي فلكي.

## مسائل تدريبيه

- $7.75 \times 10^3 \text{ m/s}$ ، أقل
- a.  $7.8 \times 10^3 \text{ m/s}$   
b. 88 min
- a.  $2.86 \times 10^3 \text{ m/s}$   
b. 1.65 h

## تجربة

### ماء عديم الوزن

**الهدف** مشاهدة آثار حالة انعدام الوزن في السقوط الحر.

**المواد والأدوات** قلم رصاص، وكأس ورقية، وماء ملون.

**النتائج المتوقعة** يتوقع الطلاب انسكاب الماء من الفتحة السفلية وليس من الفتحة الجانبية، ناقش توقعاتهم قبل اختبارها.

### التحليل والاستنتاج

3. عند إسقاط الكأس سيبقى الماء فيها.

4. لا يوجد ضغط من الماء على الكأس أو العكس، حيث إنهما يتسارعان بتسارع الجاذبية الأرضية نفسه، لذلك فهما في حالة انعدام وزن ظاهري.

### المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

**انعدام الوزن** يظن كثير من الناس أن جاذبية الأرض تتوقف عند نهاية الغلاف الجوي، ويُعزّز هذا المفهوم غير الصحيح من خلال الاستعمال غير الصحيح لمفهوم انعدام الوزن والجاذبية الميكروية (microgravity). عند مناقشة التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية بعيداً عن الأرض وضح للطلاب أن تطوير نيوتن لقانون الجذب الكوني يستند إلى إدراكه أن جاذبية الأرض تمتد إلى القمر كما تمتد إلى أبعد من ذلك بكثير.

### المناقشة

**سؤال** كيف يمكن استعمال برك الماء لنمذجة انعدام الوزن، ومحاكاة ما يواجهه رواد الفضاء على القمر أو في المحطات الفضائية؟

**الجواب** يشعر الشخص أن وزنه أقل؛ وذلك بسبب قوة الطفو الناتجة عن الماء والمؤثرة فيه إلى أعلى. ويمكن للشخص أن يُجرب الشعور بانعدام الوزن إلى حدٍّ ما من خلال أدائه بعض الحركات داخل البركة. **2م**

### تجربة

#### ماء عديم الوزن

يُجرى هذا النشاط خارج الفصل. استعمل قلم رصاص لإحداث فتحتين في كأس ورقية؛ إحداها في قاع الكأس والأخرى في جانبها، ثم أغلق الفتحتين بإصبعيك واملأ الكأس بالماء الملون.

1. توقع ما يحدث عندما تُسقط الكأس سقوطاً حرّاً.

2. اختبر توقعك؛ أسقط الكأس، وراقب ما يحدث.

#### التحليل والاستنتاج

3. صف مشاهداتك.

4. فسر النتائج.

#### الشكل 11-7 يظهر أحد رواد

الفضاء في حالة انعدام الوزن في مكوك

الفضاء كولومبيا، حيث يسقط المكوك

بما فيه سقوطاً حرّاً في اتجاه الأرض



### تسارع الجاذبية الأرضية

#### Acceleration Due To Gravity

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

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

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

ولذلك فإن

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

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

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

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

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

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

وبالتالي فإن

يوضح هذا أنه كلما ابتعدت عن الأرض فإن التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يقل تبعاً للعلاقة التربيع العكسي هذه. ترى، ماذا يحدث لو زنك  $F_g$  كلما ابتعدت أكثر وأكثر عن مركز الأرض؟

**الوزن وانعدام الوزن** من المحتمل أنك شاهدت صوراً مشابهة لتلك الموضحة في الشكل 11-7، حيث يظهر رواد الفضاء في مركبة فضائية في حالة تسمى (zero-g) أو انعدام الوزن. يدور المكوك على ارتفاع 400 km فوق سطح الأرض، وعند هذه المسافة

يكون  $g = 8.7 \text{ m/s}^2$ ؛ أي أقل قليلاً من قيمته على سطح الأرض. لذا فإن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في المكوك لا تساوي صفراً بالتأكيد. وتسبب هذه الجاذبية دوران المكوك حول الأرض. فلماذا يبدو رواد الفضاء إذاً عديمي الوزن؟

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

## الوزن في حالة السقوط الحر

**الهدف** دراسة أثر السقوط الحر في الوزن الظاهري.

**المواد والأدوات** خيط، وميزان نابضي، وجسم كتلته 1kg.

## الخطوات

اطلب إلى الطلاب ربط الخيط في أعلى الميزان، ثم تعليق جسم كتلته 1 kg بخطاف الميزان، وفي أثناء الإمساك بالخيط اطلب إليهم أن يسقطوا الميزان وملحقاته.

**التقويم** ما قراءة الميزان عند إفلات الخيط (عند سقوط الكتلة والميزان معاً)؟ فسر إجابتك.

ستكون القراءة صفراً، وعلى الطلاب ملاحظة أن القراءة تصبح صفراً مباشرة، ويتسارع كل من الكتلة والميزان في اتجاه الأسفل معاً.

## مجال الجاذبية

## The Gravitational Field

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

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

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

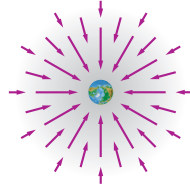
المجال الجاذبي

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

افترض أن هناك مجالاً جاذبياً ناتجاً عن الشمس، فإن أي كوكب كتلته  $m$  سيخضع لقوة تؤثر فيه، تعتمد على كتلة الكوكب ومقدار المجال في ذلك المكان؛ أي  $F = mg$  في اتجاه الشمس.

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

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



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

## الخلفية النظرية للمحتوى

## معلومة للمعلم

**مجال الجاذبية** تبعت فكرة "التأثير عن بعد" القلق. افترض أن الشمس لم تعد موجودة، فإذا كانت الجاذبية تؤثر عن بعد فسيكون تأثيرها في هذه الحالة لحظياً. فعند لحظة اختفاء الشمس، تبدأ الأرض بالتحرك في مسار بخط مستقيم مماساً للمدار عند تلك النقطة. إن مفهوم المجال يجعل كل الأحداث محلية، فلا تتأثر كتلة الأرض بكتلة الشمس ولكن تتأثر الأرض بمجال الشمس الجاذبي الذي يؤثر في موقع الأرض. وقد أجريت حديثاً تجربة تهدف إلى قياس سرعة قوة الجاذبية بالنسبة إلى سرعة الضوء فوجد العلماء أنها تساوي 1.06 مرة من سرعة الضوء (بنسبة خطأ 20%)، ولكن علماء آخرين رفضوا هذا التحليل ورأوا أن هذه التجربة ليست إلا تجربة لقياس سرعة الضوء.



## قياس كتلة القصور

الزمن المقدر 15 دقيقة

**المواد والأدوات** نصل منشار، وكتل مختلفة، وشريط لاصق.

**الخطوات** اربط أحد طرفي نصل منشار بالمقعد على أن يُسمح له بالاهتزاز أفقيًا. ثبت أجسامًا ذات كتل مختلفة بالطرف الآخر للنصل باستعمال الشريط اللاصق، ثم قس الزمن الدوري للاهتزاز. **لاحظ أن الزمن الدوري يعتمد على الجذر التربيعي للكتلة، والتي هي كتلة القصور هنا.**

## نوعا الكتلة

## Two Kinds of Mass

تذكر أنه عند مناقشة مفهوم الكتلة في الفصل الرابع، تم تعريف ميل المنحنى في الرسم البياني للتسارع - القوة أنه مقلوب الكتلة، ويعبر عنه بالعلاقة  $k = \frac{1}{m}$ . ومن العلاقة الخطية بين القوة والتسارع تم التوصل إلى أن:  $a \propto F$ ، ومنها  $a = kF$ ، ومن ثم فإن  $a = \frac{1}{m}F$ ، ولذا فإن  $m = \frac{F}{a}$ ، أي أن الكتلة هي نسبة مقدار القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما إلى مقدار تسارعه. ويسمى هذا النوع من الكتلة المرتبط بقصور الجسم **كتلة القصور**، وتُعطى بالمعادلة:

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

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

تُقاس كتلة القصور بالتأثير بقوة في الجسم ثم قياس تسارعه باستعمال ميزان القصور، ومنها الميزان الموضح في الشكل 13-7. وكلما كانت كتلة الجسم أكبر كان الجسم أقل تأثرًا بأي قوة، لذا يكون تسارعه أقل. وتُعد كتلة القصور مقياسًا لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من أنواع القوى المؤثرة فيه.

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

**تدريسية عملية**  
هل كتلة القصور تساوي كتلة الجاذبية؟  
ارجع إلى دليل التجارب العملية

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



## استخدام الشكل 15-7

وجّه انتباه الطلاب إلى دراسة مخطط الزمن الموضح في الشكل، ثم ناقشهم في التطورات التي شهدتها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية على مرّ العصور، واطلب إليهم كتابة تقارير توضح إسهامات العلماء العرب والمسلمين في تطوّر علم الفلك.



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

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

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

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

تجربة عملية

كيف تقيس الكتلة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية

الشكل 15-7 التطورات التي شهدتها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية.

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



1400

600

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



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

## متقدم

## نشاط

**المقاييس والموازن** اجمع أكبر عدد ممكن من الأدوات التي يمكن استعمالها لقياس الوزن، ثم حدّد طريقة عمل كل منها. مثلاً يقيس الميزان النابضي استطالة النابض الناتجة عن القوة (الوزن) المؤثرة فيه، ويستعمل الميزان الإلكتروني الاستطالة أيضًا ولكنه يستعمل المقاومة الكهربائية لقياسها، بينما يقارن الميزان ذو الأذرع بين قوة الجاذبية على الجسم وقوة الجاذبية على كتلة المعايرة، أمّا ميزان كتلة القصور فيقيس الزمن الدوري للاهتزاز الذي يعتمد على كل من: كتلة القصور للجسم والقوة التي يؤثر بها نابض الميزان. **3م حسي - حركي**



## التفكير الناقد

**الجاذبية إن القوى، تبعاً لقانون نيوتن في الجاذبية، تؤثر من مركز كل جسم بقوة جذب في مركز الجسم الآخر، ويكون اتجاه تأثير القوتين على امتداد الخط الواصل بين المركزين.** ارسم على السبورة الأرض وقمرًا اصطناعيًا في مداره حولها. ثم اسأل الطلاب أن يفسروا لماذا تكون القوة المحصلة في اتجاه مركز الأرض على الرغم من وجود كتل تجذب القمر الاصطناعي إلى يمين ويسار الخط الذي يربطه بمركز الأرض؟ تلميح: افترض أن الأرض مكونة من صخور منفصلة تجذب كل منها القمر الاصطناعي. ارسم أسهمًا تمثل القوى الناتجة عن كل هذه الصخور، واطلب إلى الطلاب تحديد مركبات القوى الناتجة عن الصخور التي على يمين الخط الواصل بين المركزين ومركبات القوى الناتجة عن الصخور التي على يسار الخط نفسه. **المركبات التي تعامد الخط الواصل بين مركزي الجسمين من جهة اليمين تُوازن المركبات المقابلة لها الموجودة على يسار الخط.** ثم اسألهم: ما المركبات التي تُجمع؟ المركبات التي تُجمع هي التي **توازي الخط الواصل بين مركزي الجسمين.** **م3** **بصري - مكاني**

كيف يختلف نوعا الكتلتين؟ افترض أن لديك بطيخة في أرضية صندوق سيارتك، فإذا تسارعت السيارة في اتجاه الأمام فإن البطيخة ستندرجح إلى الخلف بالنسبة إلى السيارة. وهذا بسبب كتلة قصور البطيخة التي تقاوم التسارع. والآن افترض أن السيارة بدأت صعود منحدر، فإن البطيخة ستندرجح إلى الخلف مرة أخرى ولكنها ستجذب هذه المرة بسبب كتلة الجاذبية إلى أسفل في اتجاه الأرض. وقد أعلن نيوتن أن كتلة القصور وكتلة الجاذبية متساويتان من حيث المقدار. وتسمى هذه الفرضية مبدأ التكافؤ. وكل التجارب التي أجريت حتى الآن توصلت إلى نتائج تدعم صحة هذا المبدأ. وكان العالم ألبرت أينشتاين أيضًا مهتمًا بمبدأ التكافؤ وجعله نقطة رئيسة في نظريته عن الجاذبية. ويبين الشكل 15-7 التطورات التي شهدتها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية.

### نظرية أينشتاين في الجاذبية

#### Einstein's Theory of Gravity

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

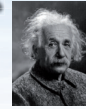
إن مفهوم مجال الجاذبية يتيح لنا تصور طريقة تأثير الجاذبية في الأجسام عندما تكون بعيدة بعضها عن بعض. افترض أينشتاين أن الجاذبية ليست مجرد قوة، بل هي تأثير من الفضاء نفسه، وبناءً على فرضية أينشتاين فإن الكتلة تغير الفضاء المحيط بها، فتجعله منحنيًا، وتسارع الأجسام الأخرى بسبب الطريقة التي تسير بها في هذا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

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



1900

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



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



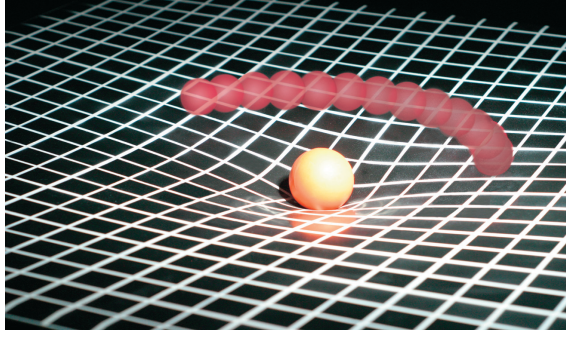
1600

## استخدام الشكل 7-16

اسأل الطلاب: لماذا لا تتحرك الكرة الصغيرة في خط مستقيم؟ تسلك الكرة مساراً منحنياً على الشبك المطاطي؛ وذلك بسبب انحناء الشبكة. ماذا يحدث للكرة الكبيرة إذا أصبحت الكرة الصغيرة أكبر كتلة؟ ستحدث الكرة الصغيرة منطقة منحنية خاصة بها في الشبك، تؤدي إلى التأثير بقوة في الكرة الكبيرة، مما يؤدي إلى تسارعها. 2م

## استخدام التشابه

انحناء الفضاء الانحناء في الشبك المطاطي يشبه الانحناء في الفضاء الذي تسببه الكتلة. ذكر الطلاب أن الفضاء ثلاثي الأبعاد، وليس ثنائي الأبعاد كما يبدو في الشبك المطاطي، غير أن هذا التشبيه يجعل المفاهيم المجردة أكثر واقعية ووضوحاً؛ فهو يوضح كيف تسبب الكتلة انحناء الفضاء، وكيف يؤثر هذا الفضاء المنحني بقوة.



الشكل 7-16 تسبب المادة انحناء الفضاء تماماً كما يؤثر جسم في شبك مطاطي حوله. الأجسام المتحركة بالقرب من الكتلة تسلك مساراً منحنياً في الفضاء. تتحرك الكرة الحمراء في اتجاه حركة عقارب الساعة حول الكتلة المركزية.

من طرق تصور كيفية تأثير الفضاء بالكتلة، مقارنة الفضاء بشبكة كبيرة من المطاط ثنائية الأبعاد، كما هو موضح في الشكل 7-16، حيث تمثل الكرة الصفراء جسماً كتلته كبيرة جداً على الشبكة، وهي تسبب الانحناء. والكرة الحمراء تدور عبر الشبكة، وتحاكي حركة جسم في الفضاء.

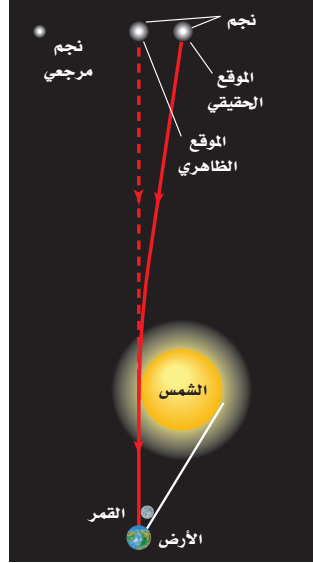
تتسارع الكرة الحمراء عندما تتحرك بالقرب من المنطقة المنحنية من الشبكة. وبالطريقة نفسها فإن كلاً من الشمس والأرض تجذب الأخرى؛ بسبب طريقة تشوه الفضاء الناجم عن الجسمين.

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

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

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

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



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

## الخلفية النظرية للمحتوى

### معلومة للمعلم

**النظرية النسبية العامة** تم إثبات العديد من تنبؤات النظرية النسبية العامة لأينشتاين. فمثلاً ينحرف ضوء النجوم ضعف الانحراف الذي توقعته جاذبية نيوتن. كما تم إثبات قدرة الأجسام ذات الكتل الضخمة - مثل المجرات - على العمل كعدسات؛ وذلك من خلال الصور الملتقطة بتلسكوب هابل الفضائي. كما وجد أن النجوم النيوترونية أو النجوم النابضة التي تدور بسرعات عالية جداً تبطن من سرعة دورانها (غزلها) بطريقة تتفق مع تنبؤات نظرية النسبية العامة؛ حيث تسبب موجات الجاذبية تباطؤاً في سرعة دوران (غزل) النجوم النابضة. وقد أنشئ مرصد للبحث عن موجات الجاذبية والتقاطها من النجوم فوق المستعرة والنجوم النابضة سمي مرصد موجات الجاذبية المتداخلة الليزري Laser Interferometer Gravitational-Wave Observator (LIGO).

### 3. التقويم

#### التحقق من الفهم

مجال الجاذبية راجع مع الطلاب كيفية حساب وزن جسم ما باستعمال العلاقة التالية:  $F_g = mg$ ، حيث إن

$F_g$ : وزن الجسم بـ N.

$m$ : كتلة الجسم بـ kg.

$g$ : شدة مجال الجاذبية بـ N/kg.

اطلب إلى الطلاب أن يحسبوا شدة مجال الجاذبية حول الأرض. عليهم أن يحسبوا  $g$  بوحدة N/kg عند مسافات تساوي  $nr_E$ ، حيث  $n = 1, 2, 3, 4, 5$ . ثم اطلب إلى كل منهم حساب وزنه (بوحدة N) عند تلك المسافات باستعمال كتلته (بوحدة kg). **2م**

#### إعادة التدريس

انعدام الوزن راجع مع الطلاب الطرائق المستعملة في قياس كتلة القصور وكتلة الجاذبية والوزن، وناقش ثلاث حالات يكون فيها وزنك الظاهري قريباً من الصفر. ابدأ بمسافات تكون فيها بعيداً جداً عن أي كوكب أو قمر اصطناعي أو نجم حيث لا تؤثر فيك قوة جاذبية. ثم عندما تؤثر فيك قوة مثل قوة الطفو أو تكون متسارعاً بمعدل  $g$  جنباً إلى جنب مع الميزان، أو أية مؤثرات أخرى تؤثر فيك. اسأل الطلاب: ما الذي سيحدثون به عندما يختبرون أو يجربون مثل تلك الحالات؟ سيختبرون شعور انعدام الوزن. **1م**

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

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

#### 7-2 مراجعة

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

16. الزمن الدوري والسرعة قمران اصطناعيان في مدارين دائريين حول الأرض؛ يبعد الأول 150 km عن سطح الأرض، والثاني 160 km. a. أي القمرين له زمن دوري أكبر؟ b. أي القمرين سرعته أكبر؟

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

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

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

a. أوجد النسبة بين مجال جاذبية الأرض وبين مجال جاذبية الشمس عند مركز القمر. b. عندما يكون القمر في طور ربعه الثالث (ليلة 21 في الشهر)، الشكل 18-7، يكون اتجاهه بالنسبة إلى الأرض عمودياً على اتجاه الأرض بالنسبة إلى الشمس. ما محصلة المجال الجاذبي للأرض والشمس عند مركز القمر؟



غير المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

#### 7-2 مراجعة

17. نعم؛ لأن الكرتي عديم الوزن وليس عديم الكتلة، فلا يزال له قصور ويمكنه توليد قوى تماس مع قدمك.

18. تدور الأرض في اتجاه الشرق وتضاف سرعتها المتجهة إلى سرعة القمر الاصطناعي المتجهة الناتجة عن الصاروخ، وبذلك تقلل السرعة المتجهة التي يتعين على الصاروخ تزويدها له.

14. a. 2.3 b.  $6.4 \times 10^{-3}$  N/kg

15. سُدس شدة مجال الجاذبية الأرضية تقريباً، أو 1.5 N/kg.

16. a. القمر الذي على بعد 160 km من سطح الأرض له زمن دوري أكبر.

b. القمر الذي على بعد 150 km من سطح الأرض.

# مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصّة مختبر واحدة.

**المهارات العملية** استعمال التفسيرات العلمية، والملاحظة والاستنتاج، والمقارنة، وصياغة النماذج، والتفكير الناقد، والقياس، واستخلاص النتائج، وجمع البيانات وتنظيمها.

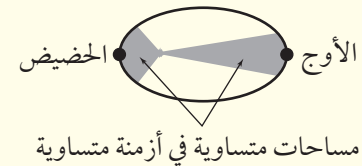
**احتياطات السلامة** يمكن أن تؤذي الدبابيس الحادّة أيدي الطلاب، إضافة إلى ضرورة حماية العينين لكل من ينفذ الأنشطة العلميّة أو يشاهدها.

**المواد البديلة** لا يوجد.

**استراتيجيات التدريس**

• ذكّر الطلاب بأنه عند حساب  $d$  (المسافة بين البؤرتين) يجب عليهم حساب  $\frac{d}{2}$  لإيجاد بُعد البؤرة عن المركز.

• وضح القانون الثاني لكبلر بالاستعانة بالشكل أدناه:



• وضح للطلاب أنّ الخط الذي يصل الكوكب مع الشمس يسمح بمساحات متساوية في أزمنة متساوية عندما يسير الكوكب في مدار إهليلجي.

• ذكّر الطلاب بأنهم في هذه التجربة يقارنون بين شكل المدارات فقط وأن أبعادها المرسومة ليست أبعادها الحقيقية، ولورُسمت المدارات الحقيقية لكان مدار نبتون أكبر بكثير من مدار الأرض.

## مختبر الفيزياء

نمذجة مدارات الكواكب والأقمار

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

سؤال التجربة

ما شكل مدارات الكواكب والأقمار في النظام الشمسي؟

الخطوات

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

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

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

الأهداف

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

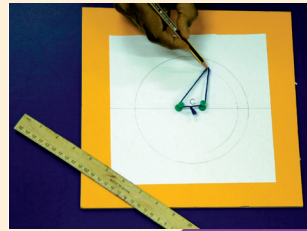
احتياطات السلامة



■ الدبابيس حادة ويمكن أن تخدش الجسم.

المواد والأدوات

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



عينة بيانات

الجسم	e	d(cm)	A المقيسة	P المقيسة	e المقيسة	% نسبة الخطأ
دائرة	0	0.00	10.0	10.1	0.0050	*
الأرض	0.017	0.33	10.2	9.9	0.15	12 %
مذنب	0.70	8.2	17.3	2.7	0.73	4.3 %

• لاحظ أن حساب نسبة الخطأ للدائرة غير ممكن؛ لأن ذلك يعني أننا نقسم على صفر.



## التحليل

1. انظر بيانات جدول الإجابة.

2. انظر بيانات جدول الإجابة.

3. انظر بيانات جدول الإجابة، فمثلاً للمذنب  

$$e = \frac{14.6}{20} = 0.73$$

4. انظر بيانات جدول الإجابة.

5. كلتا البؤرتين عند المركز.

6. مدار الأرض قريب جداً من شكل الدائرة.

7. مدار المذنب يبدو مفلطحاً أكثر من المدارات الأخرى.

## الاستنتاج والتطبيق

1. نعم، يسير المذنب والكواكب في مدارات إهليلجية.

2. لأنّ لامركزية الأرض صغيرة، لا يستطيع كبلر استنتاج أنّ مدارها إهليلجي.

3. تسير أسرع عندما تكون في الحضيض؛ حسب القانون الثاني لكبلر فإنّ مساحات متساوية تُمسح في أزمنة متساوية؛ ولأنّ المساحة صغيرة عندما تكون الكواكب في الحضيض، فإنّ عليها أن تسير بسرعة كبيرة فيه.

4.  $\frac{v_p}{v_A} = 10.2/9.9 = 1.03$

## التوسع في البحث

1. اجمع معلومات عن تواريخ وأماكن وجود كوكب ما، واستعمل المساحات والتواريخ لتحقيق القانون الثاني لكبلر.

2. استعمل نموذجاً حاسوبياً مزوداً بالحركة الحقيقية لكوكب ما لتثبت القانون الثالث لكبلر، وبذلك يمكن قياس الزمن الدوري والبعد.

## الفيزياء في الحياة

يمكن للطلاب البحث في المدارات الإهليلجية للأقمار الاصطناعية. شجعهم على اختيار قمر واحد على الأقل؛ لكي يرسموا بيانات المدار ويحددوا شكل المدار الذي يسلكه هذا القمر.

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

4. يساعد القانون الثاني لكبلر على تحديد نسبة سرعة الأرض في الأوج والحضيض ( $v_A/v_P$ ). لتحديد هذه النسبة احسب أولاً المساحة التي تمسحها الأرض في مدارها، وهذه المساحة تساوي تقريباً مساحة مثلث مساحته  $\frac{1}{2} \times$  البعد عن الشمس  $\times$  سرعته في تلك الفترة  $\times$  الزمن. إذا كانت المساحة التي يمسحها الكوكب في فترات زمنية محددة (30 يوماً مثلاً) متساوية عند الأوج والحضيض، فإنه يمكن كتابة هذه العلاقة على النحو التالي:  

$$\frac{1}{2} P v_P t = \frac{1}{2} A v_A t$$
  
 ما النسبة  $\frac{v_P}{v_A}$  لكوكب الأرض؟

### التوسع في البحث

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

### الفيزياء في الحياة

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



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

### التحليل

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

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

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

### الاستنتاج والتطبيق

1. هل ينطبق القانون الأول لكبلر على المدار الذي رسمته؟ وضح.  
 2. درس كبلر بيانات مدار المريخ (e = 0.093) واستنتج أن الكواكب تتحرك حول الشمس في مدارات إهليلجية. ماذا كان يستنتج لو كان على المريخ ودرس حركة الأرض؟  
 3. أين تكون سرعة الكوكب أكبر: عند الأوج أم الحضيض؟ ولماذا؟

## تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اقترح على الطلاب اختيار أسئلتهم للاستقصاء مستعملين مواد التجربة والمعادلات المعطاة. فمثلاً قد يختار الطلاب أحد كواكب النظام الشمسي، أو يقيسون مساحات متساوية لتحديد سرعة الكوكب في أماكن مختلفة من مداره. وتصميم مثل هذه التجارب يساعد الطلاب على تطوير التفكير الناقد لديهم ومهارة حل المسائل أيضاً.



### الخلفية النظرية

ينهار النجم للدخل عندما يموت وعند ذلك تصبح المسافات بين مكونات النجم صغيرة جدًا والمجال الجاذبي كبيرًا جدًا. ذكر الطلاب بالمعادلة  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$  ووضح لهم أن الذرات تحوي فراغًا كبيرًا، فالنواة في الذرة مثل حبة البازلاء في الملعب. وعندما تضغط قوة الجاذبية الكبيرة الفراغات الداخلية في الذرات، يزداد انكماش النجم المنهار وينتج عن ذلك زيادة كبيرة في قوة جاذبيته.

هكذا تنهار النجوم الكبيرة مكونة الثقوب السوداء، في حين تنكمش النجوم المتوسطة ويصبح شكلها كرويًا حيث يكون الضغط عليها أقل وتتعاقد فيها قوة الجاذبية مع القوى الناتجة عن مبدأ الاستبعاد لباولي.

ينص مبدأ الاستبعاد لباولي على أنه لا يمكن للإلكترونين أو نيوترونين أن يشغلا مستوى الكم نفسه؛ أي لا يمكن أن يمتلكا الأرقام الكمية نفسها. ولكن جاذبية النجوم الكبيرة ذات الكتلة الأكبر من كتلة الشمس بعشرين مرة تغلب على مبدأ الاستبعاد لباولي فيصبح المقام  $r^2$  عمليًا صفرًا، وهذا هو الجسم المفرد (الاستثنائي).

### استراتيجيات التدريس

■ تُغيّر الجاذبية مسار الضوء، ويمكن مشاهدة ذلك فقط عندما تكون المسافات أو قوة الجاذبية كبيرة جدًا. وضح ذلك من خلال عرض تفسير أينشتاين للموقع المشاهد لكوكب عطارد.

### المناقشة

بحث ما الأدلة على وجود الثقوب السوداء؟ يمكن تعرّف الثقوب السوداء من خلال انحراف خطوط الطيف النجمي للنجوم التي تدور حولها. كما أن انبعاث الأشعة السينية من مصدر غير مرئي وتذبذب نجم يدور حول ثقب أسود تستعمل لتعرّف وجود ثقب أسود.

ما المقصود رياضياً بـ "الجسم المفرد"؟  
 $d = \frac{m}{v}$ ، عندما تقترب  $v$  من الصفر فإن  $d$  تقترب من اللانهاية. حيث تمثل  $d$  الكثافة، و  $v$  الحجم، و  $m$  الكتلة.

### الثقوب السوداء Black Holes

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

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

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

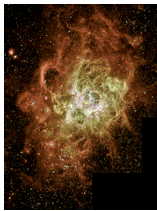
$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

حيث تمثل  $G$  ثابت نيوتن في الجذب الكوني، و  $M$  كتلة الثقب الأسود، و  $c$  سرعة الضوء.

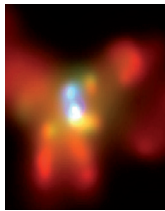
تُعرف حافة الكرة التي نصف قطرها  $R_s$  بأفق الحدث. وسرعة الإفلات عند أفق الحدث تساوي سرعة الضوء؛ ولأنه لا يوجد شيء يسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء فإن الأجسام التي تقترب من هذه المنطقة لا يمكن أن تنجو أو تفلت.

دلائل مباشرة وغير مباشرة للثقوب السوداء ثلاث خصائص يمكن قياسها نظريًا، هي: الكتلة، والزخم الزاوي، والشحنة الكهربائية. ويمكن تحديد كتلة

الثقب الأسود من خلال المجال الجاذبي الذي يولده. وتحسب الكتلة باستعمال صيغة معدلة للقانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. وقد أثبتت دراسات (ناسا) أن الثقب الأسود يدور حول نفسه مثل النجوم والكواكب. ويدور الثقب الأسود لأنه يحتفظ بالزخم الزاوي للنجم الذي كوّنهُ. ويفترض العلماء أن الثقب الأسود يمكن أن يشحن كهربائيًا عندما يسقط عليه أحد أنواع الشحنة الكهربائية الزائدة، على الرغم من عدم قدرة العلماء على قياس شحنته حتى الآن. كما يمكن الكشف عن الأشعة السينية الناتجة عن الغازات الفائقة الحرارة. على الرغم من أننا لا نعرف كل شيء عن الثقوب السوداء إلا أن هناك دلائل مباشرة وغير مباشرة على وجودها. وسوف تؤدي الأبحاث المتواصلة والبعثات الخاصة إلى فهم أكبر لحقيقة الثقوب السوداء.



صورة هابل للمجرة NGC 6240



صورة شاندرا بالأشعة السينية لثقبين أسودين في NGC 6240.

### التوسع

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

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

حيث:  $G$  ثابت نيوتن في الجذب الكوني، و  $M$  كتلة الثقب الأسود، و  $R_s$  نصف قطر الثقب الأسود. يتبين أن هذه السرعة تساوي سرعة الضوء  $c$ .

### التوسع

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

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

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{2GM} \times c^2}$$

$$v = c$$

عوض مستخدمًا

وينتج أن

### المفاهيم الرئيسية

يمكن أن يستعمل الطلاب العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسية في الفصل.



#### 7-1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>ينص القانون الأول لكبلر على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.</li> <li>ينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمان متساوية.</li> <li>ينص القانون الثالث لكبلر على أن مربع النسبة بين الزمنين الدوريين لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين بعديهما عن الشمس.</li> </ul> $\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3$ <ul style="list-style-type: none"> <li>ينص قانون نيوتن في الجذب الكوني على أن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما، ويعبر عن قوة الجذب بالعلاقة:</li> </ul> $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>يمكن استعمال قانون نيوتن في الجذب الكوني لإعادة كتابة القانون الثالث لكبلر على الصورة التالية:</li> </ul> $T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>القانون الأول لكبلر</li> <li>القانون الثاني لكبلر</li> <li>القانون الثالث لكبلر</li> <li>قوة الجاذبية</li> <li>قانون الجذب الكوني (العام)</li> </ul>

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

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<ul style="list-style-type: none"> <li>يُعبّر عن سرعة جسم يتحرك في مدار دائري بالقانون:</li> </ul> $v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>يُعبّر عن الزمن الدوري لقمر اصطناعي يتحرك في مدار دائري بالعلاقة:</li> </ul> $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>كل الأجسام لها مجالات جاذبية تحيط بها.</li> <li>كتلتنا القصور والجاذبية مفهومان مختلفان، إلا أنها متساويان في مقدار الكتلتين.</li> </ul> $g = \frac{Gm}{r^2}$ $m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm}$ $m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{معصلة}}}{a}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>مجال الجاذبية</li> <li>كتلة القصور</li> <li>كتلة الجاذبية</li> </ul>

عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

### خريطة المفاهيم

19. انظر دليل حلول المسائل.

### إتقان المفاهيم

20. تتحرك الأرض في مدارها ببطء أكبر خلال

الصيف، ووفق القانون الثاني لكبلر، يجب أن تكون أبعد عن الشمس؛ لذلك تكون الأرض أقرب إلى الشمس في أشهر الشتاء.

21. لا. إن تساوي المساحات المقطوعة في وحدة الزمن يُطبّق على كل كوكب على حدة.

22. عرف نيوتن أن القمر يتحرك في مدارٍ منحنٍ لذلك فهو يتسارع، وعرف كذلك أن التسارع يتطلب وجود قوة مؤثرة.

23. قاس الكتلة بدقة وقاس المسافة وقوة التجاذب بينها، ثم حسب قيمة  $G$  باستعمال قانون نيوتن في الجذب الكوني.

24. وفقًا لقانون نيوتن، فإن  $F \propto \frac{1}{r^2}$ . فإذا ضاعفنا المسافة قلّت القوة إلى الربع.

25. سرعته، حيث إنه يسقط طوال الوقت في اتجاه الأرض.

26. تعتمد السرعة فقط على  $b$  (البعد عن الأرض) و  $c$  (كتلة الأرض).

27. قوة الجاذبية بينه وبين الأرض في اتجاه مركز الأرض.

$$\frac{N}{kg} = \frac{kg \cdot m/s^2}{kg} = m/s^2 \quad 28.$$

29. تتضاعف قيمة  $g$ .

### تطبيق المفاهيم

30. لا يعتمد التسارع على كتلة الجسم؛ وذلك لأن الأجسام ذات الكتلة الأكبر تحتاج إلى قوة أكبر لتتسارع بالمعدل نفسه.

31. يجب أن تعرف الزمن الدوري ونصف قطر المدار لأحد الأقمار على الأقل.

### خريطة المفاهيم

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

### إتقان المفاهيم

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

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

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

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

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

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

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

a. كتلة القمر.

b. البعد عن الأرض.

c. كتلة الأرض.

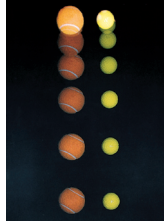
27. ما مصدر القوة التي تسبب التسارع المركزي لقمر اصطناعي في مداره؟ (7-2)

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

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

### تطبيق المفاهيم

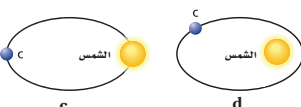
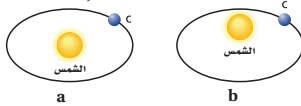
30. كرة التنس قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم ما قرب سطح الأرض تتناسب مع كتلة الجسم. يبين الشكل 7-19 كرة تنس وكرة تنس طاولة في حالة سقوط حر. لماذا لا تسقط كرة التنس بسرعة أكبر من كرة تنس الطاولة؟



الشكل 7-19

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

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



الشكل 7-20

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

32. d هو المدار الممكن فقط، أمّا في a و b فلا تكون الشمس في البؤرة، وفي c فإن الكوكب ليس في مدار حول الشمس.

33. لا؛ حيث إنّ القوتين تمثّلان الفعل ورد الفعل، وتبعًا للقانون الثالث لنيوتن فهما متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

## تقويم الفصل 7

34. لا يتغير؛ لأنّ الثابت  $G$  ثابت كوني لا يعتمد على كتلة الأرض. أمّا قوة جذبها فإنها ستتضاعف.

35. إذا زاد نصف قطر المدار يزداد الزمن الدوري.

36. قيمة  $g$  على المشتري تساوي ثلاثة أمثال قيمتها على الأرض.

37. ستتضاعف أيضًا.

### إتقان حل المسائل

#### 7-1 حركة الكواكب والجاذبية

##### المستوى 1

38. 12 سنة أرضية.

39.  $6.1 \times 10^{-9} \text{ N}$

40.  $4.17 \times 10^{23} \text{ N}$

41.  $8.0 \times 10^{-10} \text{ N}$

42.  $6.5 \times 10^{-8} \text{ N}$

43.  $9.11 \times 10^{-31} \text{ Kg}$

44.  $19 r_E$

##### المستوى 2

45.  $m_1 = 0.37 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 2 m_1 = 0.75 \text{ kg}$

##### المستوى 3

46. a.  $2.24 \times 10^{15} \text{ m}^2/\text{s}$

b.  $2.0 \times 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$

#### 7-2 استخدام قانون الجذب الكوني

##### المستوى 1

47.  $6.68 \text{ N/kg}$

48. a.  $2.0 \times 10^{20} \text{ N}$

b.  $0.0028 \text{ N/kg}$

##### المستوى 2

49.  $1.60 \text{ N/kg}$

## تقويم الفصل 7

مركزها  $21.8 \text{ cm}$ . ما قوة الجاذبية التي تؤثر بها كل منهما في الأخرى؟ (7-2)  
43. إذا كانت قوة الجاذبية بين إلكترونين البعد بينهما  $1.00 \text{ m}$  تساوي  $5.54 \times 10^{-71} \text{ N}$ ، فاحسب كتلة الإلكترون.

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

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

46. تُقاس المساحة بوحدة  $\text{m}^2$ ، لذا فإن المعدل الزمني للمساحة التي يمسحها كوكب أو قمر هي  $\text{m}^2/\text{s}$ .  
a. ما معدل المساحة ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) التي تمسحها الأرض في مدارها حول الشمس؟

b. ما معدل المساحة ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) التي يمسحها القمر في مداره حول الأرض؟ افترض أن متوسط المسافة بين الأرض والقمر  $3.9 \times 10^8 \text{ m}$ ، والزمن الدوري للقمر حول الأرض 27.33 يومًا.

#### 7-2 استخدام قانون الجذب الكوني

47. كتاب كتلته  $1.25 \text{ kg}$  ووزنه في الفضاء  $8.35 \text{ N}$ ، ما قيمة المجال الجاذبي في ذلك المكان؟

48. إذا كانت كتلة القمر  $7.34 \times 10^{22} \text{ kg}$  ويُعد مركزه عن مركز الأرض  $3.8 \times 10^8 \text{ m}$ ، وكتلة الأرض  $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$ ، فاحسب:

a. مقدار قوة الجذب الكلي بينهما.

b. مقدار مجال الجاذبية للأرض على القمر.

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

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

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

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

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

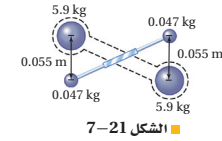
#### إتقان حل المسائل

##### 7-1 حركة الكواكب والجاذبية

38. المشتري أبعد من الأرض عن الشمس 5.2 مرة.

احسب الزمن الدوري له بالسنوات الأرضية.

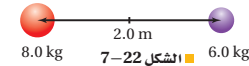
39. يبين الشكل 7-21 جهاز كاندش المستعمل في حساب  $G$ . وهناك كتلة رصاص كبيرة  $5.9 \text{ kg}$  وكتلة صغيرة  $0.047 \text{ kg}$ ، المسافة بين مركزيهما  $0.055 \text{ m}$ ، احسب قوة التجاذب بينهما.



الشكل 7-21

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

41. إذا كان البعد بين مركزي كرتين  $2.0 \text{ m}$ ، كما في الشكل 7-22، وكانت كتلة إحداهما  $8.0 \text{ kg}$  وكتلة الأخرى  $6.0 \text{ kg}$ ، فما قوة الجاذبية بينهما؟



الشكل 7-22

42. كرتان متماثلتان، كتلة كل منهما  $6.8 \text{ kg}$ ، والبعد بين



## تقويم الفصل 7

المستوى 3

50.  $7.35 \text{ m/s}^2$

### مراجعة عامة

51.  $2.01 \times 10^{30} \text{ kg}$

52. مقدار السرعة:  $v = 3.46 \times 10^3 \text{ m/s}$

الزمن الدوري:  $T = 6.45 \times 10^3 \text{ s}$   
أو  $= 1.79 \text{ h}$

53.  $84.5 \text{ min}$

### التفكير الناقد

54. a.  $F_{sm} = (5.90 \times 10^{-3} \text{ N}) m$

$F_{mm} = (3.40 \times 10^{-5} \text{ N}) m$

b. تجذب الشمس الماء الموجود على سطح الأرض بقوة أكبر مئة مرة من قوة جذب القمر له.

c.  $(2.28 \times 10^{-6} \text{ N}) m$

d.  $(1.00 \times 10^{-6} \text{ N}) m$

e. القمر.

f. ينتج المد بسبب الفرق بين قوة جذب القمر للماء الموجود على سطح الأرض القريب منه، وقوة جذب الماء للماء الموجود على سطح الأرض البعيد عنه.

### الكتابة في الفيزياء

55. أحد القياسات البسيطة التقريبية تمت على يد العالم جيمس برادي James Bradley عام 1732م. كما يجب أن تناقش الإجابات القياسات التي تمت أثناء مرور كوكب الزهرة والتي رصدت في تسعينيات القرن السابع عشر.

56. تمكّن علماء الفلك من قياس السرعة الصغيرة للنجوم الناتجة عن قوى جاذبية الكواكب الضخمة المؤثرة فيها، حيث تمّ حساب السرعة من خلال قياس انزياح دوبلر لضوء النجم والناتج عن هذه الحركة. وتتذبذب السرعة بسبب دوران الكواكب حول النجم، مما أتاح لهم حساب

## تقويم الفصل 7

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

e. أيّ الجسمين - الشمس أم القمر - له فرق كبير بين القوتين اللتين يسببهما على الماء الموجود على سطح الأرض، القريب منه والسطح البعيد عنه؟  
f. لماذا تُعد العبارة التالية مضللة: "ينتج المد عن قوة جذب من القمر"؟ استبدل بها عبارة صحيحة توضح كيف يسبب القمر ظاهرة المدّ على الأرض.

### الكتابة في الفيزياء

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

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

### مراجعة تراكمية

57. الطائرات أفلعت طائرة من مدينة الدمام عند الساعة 2:20 بعد الظهر، وحطت في مطار الرياض عند الساعة 3:15 بعد الظهر من اليوم نفسه. فإذا كان متوسط سرعة الطائرة في الهواء  $441.0 \text{ km/h}$ ، فما مقدار المسافة بين المدينتين؟

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

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

### مراجعة عامة

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

52. استعمل البيانات في الجدول 7-1 لحساب مقدار السرعة والزمن الدوري لقمر اصطناعي يدور حول المريخ على ارتفاع  $175 \text{ km}$  من سطحه.

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

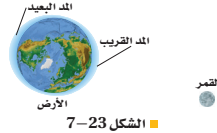
### التفكير الناقد

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

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

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

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



88

الزمن الدوري للكوكب. وبمعرفة السرعة يمكن تقدير أبعاد الكوكب وكتلته.

وبمقارنة أبعاد الكواكب في المجموعة الشمسية وأزمانها الدورية بكواكب متعدّدة، وباستعمال القانون الثالث لكبلر، يمكن للفلكيين أن يحصلوا على أبعاد النجوم والكواكب وكتلها بصورة أفضل.

### مراجعة تراكمية

57.  $404 \text{ km}$

58.  $5.0 \times 10^{-7} \text{ N}$ ، مصدر القوة هو قوة الاحتكاك بين الحشرة والقرص.



### سَلَم تقدير

يمثل الجدول الآتي نموذجاً لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهماً كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، وقد تضمن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهماً للموضوعات الفيزيائية التي درسها. واستجابته صحيحة وتظهر فهماً أساسياً، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهماً جزئياً للموضوعات الفيزيائية. وربما استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحل، أو قدّم حلاً صحيحاً، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهماً محدوداً جداً للموضوعات الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدم الطالب حلاً غير صحيح تماماً، أو لا يستجيب أبداً.

### اختبار مقنن

#### أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. قمران في مداريهما حول كوكب؛ نصف قطر مدار أحدهما  $8.0 \times 10^6 \text{ m}$  وزمنه الدوري  $1.0 \times 10^6 \text{ s}$ ، ونصف قطر مدار القمر الثاني  $2.0 \times 10^7 \text{ m}$ . ما الزمن الدوري للقمر الثاني؟

- (A)  $5.0 \times 10^5 \text{ s}$  (B)  $2.5 \times 10^6 \text{ s}$   
(C)  $4.0 \times 10^6 \text{ s}$  (D)  $1.3 \times 10^7 \text{ s}$

2. بين الرسم التالي قمرًا نصف قطره مداره  $6.7 \times 10^4 \text{ km}$  ومقدار سرعته  $2.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ ، يدور حول كوكب صغير. ما كتلة الكوكب الذي يدور حوله القمر؟

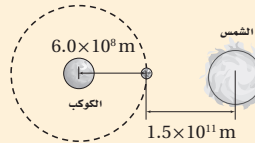
- (A)  $2.5 \times 10^{18} \text{ kg}$  (B)  $4.0 \times 10^{20} \text{ kg}$   
(C)  $2.5 \times 10^{23} \text{ kg}$  (D)  $4.0 \times 10^{28} \text{ kg}$



#### الأسئلة الممتدة

5. يدور قمر حول كوكب، ويخضع في أثناء ذلك لقوة جذب من الكوكب وقوة جذب من الشمس أيضًا. بين الرسم أدناه القمر في حالة كسوف الشمس عندما يكون الكوكب والقمر والشمس على خط واحد. فإذا كانت كتلة القمر  $7.39 \times 10^{21} \text{ kg}$ ، وكتلة الكوكب  $2.4 \times 10^{26} \text{ kg}$ ، وكتلة الشمس  $2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$ ، وبُعد القمر عن مركز الكوكب  $6.0 \times 10^8 \text{ m}$ ، وبُعد القمر عن مركز الشمس  $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ ، فما النسبة بين قوة الجاذبية التي يؤثر بها الكوكب في القمر وقوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في القمر خلال كسوف الشمس؟

- (A) 0.5 (B) 2.5  
(C) 5.0 (D) 7.5



6. قمران في مداريهما حول كوكب، فإذا كان القمر  $S_1$  يستغرق 20 يومًا ليدور حول الكوكب ويبعد عن مركزه  $2 \times 10^5 \text{ km}$ ، في حين أن القمر  $S_2$  يستغرق 160 يومًا، فما بُعد القمر  $S_2$  عن مركز الكوكب؟

#### إرشاد

##### خطّط لعملك ونفّذ خطّتك

خطّط لعملك بحيث تعمل قليلاً ولكن بشكل يومي منتظم، بدلاً من عمل الكثير في وقت واحد؛ فمفتاح فهم وحفظ المعلومات يكون بتكرار المراجعة والممارسة. فإذا درست ساعة واحدة في الليلة خمسة أيام متتالية سيكون فهم المعلومات وحفظها أفضل من الاعتكاف على الدراسة طوال الليل قبل الاختبار.

#### أسئلة الاختيار من متعدد

3. B

2. D

1. C

5. D

4. C

#### الأسئلة الممتدة

6.  $6.8 \times 10^5 \text{ km}$

الفصل الخامس

18. قبل وضع الزيت:

$$f_k = \mu_k F_N$$

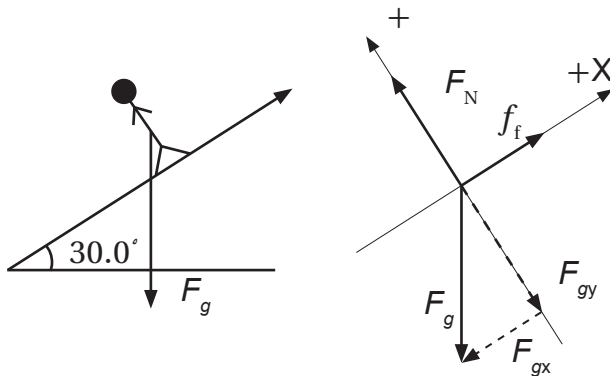
لذا فإن:

$$F_N = \frac{f_k}{\mu_k} = \frac{5.8 \text{ N}}{0.58} = 1.0 \times 10^1 \text{ N}$$

بعد وضع الزيت:

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k F_N \\ &= (0.06)(1.0 \times 10^1) \\ &= 0.6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{محصلة}} &= F - \mu_k F_N \\ &= F - \mu_k mg = ma \\ \mu_k &= (F - ma) / mg = \frac{65 \text{ N} - (41 \text{ kg})(0.12 \text{ m/s}^2)}{(41 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)} \\ &= 0.15 \end{aligned}$$

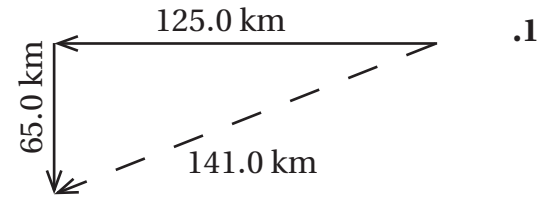


20.

29.

31.

$$\begin{aligned} F_{g, \text{عمودية}} &= F_g \cos \theta = mg \cos \theta \\ \theta &= \cos^{-1} \left( \frac{F_{g, \text{عمودية}}}{mg} \right) \\ &= \cos^{-1} \left( \frac{449}{(50 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)} \right) \\ &= 23.6^\circ \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} R^2 &= A^2 + B^2 \\ R &= \sqrt{A^2 + B^2} \\ &= \sqrt{(65.0)^2 + (125.0)^2} \\ &= 141 \text{ km} \end{aligned}$$

3. على اعتبار أن اتجاهي الشرق والشمال موجبان

$$\begin{aligned} d_{1W} &= d_1 (\sin \theta) = (0.40 \text{ km})(\sin 60^\circ) = 0.35 \text{ km} \\ d_{1N} &= d_1 (\cos \theta) = (0.40 \text{ km})(\cos 60^\circ) = 0.20 \text{ km} \\ d_{2W} &= 0.50 \text{ km} \quad d_{2N} = 0.00 \text{ km} \\ R_W &= d_{1W} + d_{2W} = 0.35 \text{ km} + 0.50 \text{ km} = 0.85 \text{ km} \\ R_N &= d_{1N} + d_{2N} = 0.20 \text{ km} + 0.00 \text{ km} = 0.20 \text{ km} \\ R &= \sqrt{R_W^2 + R_N^2} \\ &= \sqrt{(0.85)^2 + (0.20)^2} \\ &= 0.87 \text{ km} \\ \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{R_W}{R_N} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{0.85 \text{ km}}{0.20 \text{ km}} \right) \\ &= 77^\circ \end{aligned}$$

0.87 km في اتجاه يضع زاوية 77° غرب الشمال

5. المحصلة تساوي 10.0 km، وباستخدام نظرية فيثاغورس يكون مقدار الإزاحة شرقاً

$$\begin{aligned} R^2 &= A^2 + B^2 \\ B &= \sqrt{R^2 - A^2} \quad \text{لذا فإن} \\ &= \sqrt{(10.0 \text{ km})^2 - (8.0 \text{ km})^2} \\ &= 6.0 \text{ km} \end{aligned}$$

$$F_N = mg = 52 \text{ N} \quad \text{15.}$$

بما أن السرعة ثابتة فإن قوة الاحتكاك تساوي القوة التي يؤثر بها الفتى وتساوي 36 N

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k F_N \\ \mu_k &= \frac{f_k}{F_N} = \frac{36 \text{ N}}{52 \text{ N}} = 0.69 \end{aligned} \quad \text{لذا فإن}$$

## حلول بعض المسائل التدريبية

c.  $v_x = 5 \text{ m/s}$ ، وهي السرعة الابتدائية الأفقية نفسها؛ وذلك لأن تسارع الجاذبية الأرضية يؤثر فقط في الحركة الرأسية. لحساب المركبة الرأسية، نستخدم

$$v = v_i + gt$$

$$v = v_y$$

بتعويض

و  $v_i = 0$  (المركبة الابتدائية للسرعة الرأسية).

عند  $t = 4.00 \text{ s}$ ، تكون

$$\begin{aligned} v_y &= gt = (9.80 \text{ m/s}^2)(4.00 \text{ s}) \\ &= 39.2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

.4

زمن التحليق:

$$\begin{aligned} t &= \frac{2 v_i \sin \theta}{g} \\ &= \frac{2 (27.0 \text{ m/s})(\sin 60.0^\circ)}{9.80 \text{ m/s}^2} \\ &= 4.77 \text{ s} \end{aligned}$$

المدى الأفقي:

$$\begin{aligned} x &= (v_i \cos \theta)t \\ &= (27.0 \text{ m/s})(\cos 60.0^\circ)(4.77 \text{ s}) \\ &= 64.4 \text{ m} \end{aligned}$$

أقصى ارتفاع:

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{2} (4.77 \text{ s}) = 2.38 \text{ s} \\ y &= (v_i \sin \theta)t - \frac{1}{2} g t^2 \\ &= (27.0 \text{ m/s})(\sin 60.0^\circ)(2.38 \text{ s}) \\ &\quad - \frac{1}{2} (9.80 \text{ m/s}^2)(2.38 \text{ s}) \\ &= 27.9 \text{ m} \end{aligned}$$

يكون عند منتصف زمن التحليق

33. عندما تكون الزاوية  $\theta$  مقيسة بالنسبة للأفقي فإن:

$$F_{g, \text{موازية}} = F_g (\sin \theta)$$

$$F_{g, \text{عمودية}} = F_g \cos \theta$$

وبالتالي فإن:

$$F_{g, \text{عمودية}} = 2F_{g, \text{موازية}}$$

$$2 = \frac{F_{g, \text{عمودية}}}{F_{g, \text{موازية}}} = \frac{F_g \cos \theta}{F_g \sin \theta} = \frac{1}{\tan \theta}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{1}{2} \right)$$

بالنسبة للأفقي  $26.6^\circ$

أو  $63.4^\circ$  بالنسبة للرأسي

34.

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

$$\begin{aligned} a &= (9.80 \text{ m/s}^2)(\sin 31^\circ - (0.15)(\cos 31^\circ)) \\ &= 3.8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

## الفصل السادس

1. a. لأن  $v_y = 0$

فإنه يمكن كتابة المعادلة التالية

$$y - v_y t = -\frac{1}{2} g t^2$$

على الصورة التالية:

$$y = -\frac{1}{2} g t^2$$

$$t^2 = -\frac{2y}{g} \text{ أو } t = \sqrt{-\frac{2y}{g}}$$

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{-\frac{2y}{g}} \\ &= \sqrt{\frac{-2(-78.4 \text{ m})}{(9.80 \text{ m/s}^2)}} \\ &= 4.00 \text{ s} \end{aligned}$$

b.

$$\begin{aligned} x &= v_x t \\ &= (5.0 \text{ m/s})(4.00 \text{ s}) \\ &= 2.0 \times 10^1 \text{ m} \end{aligned}$$

.11

$$a_c = v^2/r = \frac{(22 \text{ m/s})^2}{56 \text{ m}} = 8.6 \text{ m/s}^2$$

$$f_s = \mu_s F_N \text{ تعلم أن}$$

حيث تنشأ القوة المركزية نتيجة لتأثير قوة الاحتكاك  
هذه؛ لذا فإن

$$f_s = ma_c$$

$$F_N = mg \text{ وقيمة القوة العمودية}$$

فتكون أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني

$$\mu_s = f_s/F_N = \frac{ma_c}{mg} = \frac{a_c}{g} = \frac{8.6 \text{ m/s}^2}{9.80 \text{ m/s}^2} = 0.88$$

.5

$$\left(\frac{T_s}{T_M}\right)^2 = \left(\frac{r_s}{r_M}\right)^3$$

وينتج أن

$$\begin{aligned} r_s &= \sqrt[3]{r_M^3 \left(\frac{T_s}{T_M}\right)^2} \\ &= \sqrt[3]{(3.90 \times 10^5 \text{ km})^3 \left(\frac{1.00 \text{ يوم}}{27.3 \text{ يومًا}}\right)^2} \\ &= \sqrt[3]{7.96 \times 10^{13} \text{ km}^3} \\ &= 4.30 \times 10^4 \text{ km} \end{aligned}$$

.a.12

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{Gm_E}{r_E + h}} \\ &= \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}{(6.38 \times 10^6 \text{ m} + 1.5 \times 10^5 \text{ m})}} \\ &= 7.8 \times 10^3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

.21

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{v_p^2 + v_w^2} \\ &= \sqrt{(150 \text{ km/h})^2 + (75 \text{ km/h})^2} \\ &= 1.7 \times 10^2 \text{ km/h} \end{aligned}$$

.b

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{(r_E + h)^3/Gm_E} \\ T &= 2\pi \sqrt{\frac{(6.38 \times 10^6 \text{ m}) + (1.5 \times 10^5 \text{ m})}{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}} \\ &= 5.3 \times 10^3 \text{ s} \\ &\approx 88 \text{ min} \end{aligned}$$

### الفصل السابع

1. بإعطاء رمز G لهذا القمر

$$\begin{aligned} \left(\frac{T_G}{T_I}\right)^2 &= \left(\frac{r_G}{r_I}\right)^3 \\ r_G &= \sqrt[3]{\left(\frac{7.15 \text{ أيام}}{1.8 \text{ يوم}}\right)^2 (4.2 \text{ وحدات})^3} \\ &= \sqrt[3]{6.63 \times 10^1 (\text{وحدات})^3} \\ &= 4.0 \text{ وحدات} \end{aligned}$$

3. بإعطاء رمز M للمريخ E وللأرض

$$\left(\frac{T_M}{T_E}\right)^2 = \left(\frac{r_M}{r_E}\right)^3, r_M = 1.52 r_E$$

لذا فإن

$$\begin{aligned} T_M &= R \left(\frac{r_M}{r_E}\right)^3 T_E^2 \\ &= \sqrt{\left(\frac{1.52 r_E}{r_E}\right)^3 (365 \text{ يومًا})^2} \\ &= \sqrt{4.68 \times 10^5 (\text{يومًا})^2} \\ &= 684 \text{ يوم} \end{aligned}$$



القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في السطح الآخر عندما يحتك السطحان أحدهما بالآخر بسبب حركة أحدهما أو كليهما.

الاحتكاك الحركي  
Kinetic Friction

القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في السطح الثاني عندما لا توجد حركة بينهما.

الاحتكاك السكوني  
Static Friction



عملية تجزئة المتجه إلى مركبتيه الأفقية والعمودية.

تحليل المتجه  
Vector Resolution

تسارع جسم يتحرك حركة دائرية بسرعة ثابتة المقدار ويكون في اتجاه مركز الدائرة التي يتحرك فيها الجسم.

التسارع المركزي  
Centripetal  
Acceleration



حركة جسم أو جسيم في مسار بسرعة ثابتة المقدار حول دائرة نصف قطرها ثابت.

الحركة الدائرية المنتظمة  
Uniform Circular  
Motion



ينص على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.

القانون الأول لكبلر  
Kepler's First law

ينص على أن مربع نسبة الزمن الدوري لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعديهما عن الشمس.

القانون الثالث لكبلر  
Kepler's Third law

ينص على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية.

القانون الثاني لكبلر  
Kepler's Second  
law

ينص على أن قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما.

قانون الجذب الكوني (العام)  
Law of Universal  
Gravitation

قوة التجاذب بين جسمين والتي تتناسب طردياً مع كتل الأجسام.

قوة الجاذبية  
Gravitational Force



القوة الوهمية التي يبدو أنها تسحب الجسم المتحرك بسرعة دائرية ثابتة.	القوة الطاردة عن المركز
محصلة القوى التي تؤثر في اتجاه مركز دائرة والتي تسبب التسارع المركزي للجسم.	Centrifugal Force
القوة التي تجعل الجسم متزنًا، وتكون مساوية في المقدار لمحصلة القوى ومعاكسة لها في الاتجاه.	القوة المركزية
	Centripetal Force
	القوة الموازنة
	Equilibrant



تحدد مقدار قوة الجاذبية بين جسمين.	كتلة الجاذبية
مقياس للممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من القوى.	Gravitational Mass
	كتلة القصور
	Inertial Mass



التأثير المحيط بجسم له كتلة، والذي يساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم ومقسومًا على مربع البعد عن مركز الجسم.	مجال الجاذبية
مسقط المتجه على أحد المحاور.	Gravitational Field
المسار الذي يسلكه الجسم المقذوف في الفضاء.	مركبة المتجه
ميل الخط الممثل للعلاقة البيانية بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية، وهو ثابت بلا وحدات قياس.	Component of Vector
ثابت بلا وحدات قياس، ويعتمد على السطحين المتلامسين، ويستعمل لحساب قوة الاحتكاك السكونية العظمى قبل بداية الحركة.	Trajectory مسار المقذوف
جسم يُطلق في الهواء مثل كرة القدم، وله حركتان مستقلتان إحداها أفقية والأخرى رأسية، وبعد إطلاقه يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبية فقط.	معامل الاحتكاك الحركي
	Coefficient of Kinetic Friction
	معامل الاحتكاك السكوني
	Coefficient of Static Friction
	المقذوف
	Projectile

