6	استخدام مخططات الجسم الحر للمقارنة بين اتجاه عجلة الجسم واتجاه القوة غير المتوازنة المؤثرة على الجسم	1,2,3,4	93

الشكل 3 تمثل رسومات الكرة في اليد والكرة المعلقة في الخيط نماذج تصويرية. يظهر مخطط الجسم الحر بجانب كل نموذج.

مخططات الجسم الحر كما أن النماذج التصويرية ومخططات الحركة مفيدة في حل مسائل الحركة، ستساعدك التمثيلات المشابهة في تحليل كيفية تأثير القوى في الحركة. الخطوة الأولى هي رسم الحالة كما هو موضح في **الشكل 3**. ارسم دائرة حول النظام. وحدد كل أماكن ملامسة النظام للمحيط الخارجي. ففي هذه الأماكن يؤثر المسبّب بقوة تلامس. ثم حدد القوى التي تؤثر في النظام. وسوف يوفر هذا رسما تخطيطيا.

مخطط الجسم الحر هو تمثيل فيزيائي يوضح القوى التي تؤثر في نظام ما. اتبع هذه الإرشادات عند رسم مخطط الجسم الحر:

- يتم رسم مخطط الجسم الحر منفصلًا عن رسم حالة المسألة.
- استخدم نموذج الجسيم. ومثّل الجسم بنقطة.
- مثّل كل قوة بسهم يشير إلى الاتجاه الذي تؤثر فيه القوة. ارسم دائمًا متجهات القوة بحيث تشير بعيدًا عن الجسم. حتى لو كانت القوة دفعًا.
- ارسم كل سهم بحيث يتناسب طوله مع مقدار القوة. في القالب، ترسم هذه المخططات قبل معرفة مقادير كل القوى. في هذه الحالة. يمكنك استخدام أفضل تقدير.
- ضع اسمًا لكل قوة. استخدم الرمز F مع كتابة الاسم أسفل الرمز لتحديد كل من المسبّب والجسم التي تؤثر فيه القوة.
- اختر اتجاهًا موجبًا ووضّح هذا في المخطط.

استخدام مخططات الجسم الحر ومخططات الحركة تذكّر أن التسارع يحدث نتيجة للقوى غير المتوازنة. إذا كان مخطط الحركة يشير إلى أن الجسم يتسارع. ينبغي أن يتضمن مخطط الجسم الحر لذلك الجسم قوة غير متوازنة في اتجاه التسارع نفسه.

☑ تأكد من فهمك **قارن** بين اتجاه تسارع جسم ما واتجاه القوة غير المتوازنة التي تؤثر في ذلك الجسم.

جمع القوى

ماذا يحدث إذا دفعت مع صديقك طاولة وأثر فيها كل منكما بقوة قدرها 100 N؟ عندما تدفعان الطاولة معًا في الاتجاه نفسه. فإنكما تكسبانها ضعف التسارع الذي تكتسبه إذا أثر أحدكما فيها بقوة قدرها 100 N. عندما يدفع كلاكما الطاولة في اتجاهين متعاكسين بمقدار القوة نفسه كما في **الشكل 4**. لا توجد قوة غير متوازنة. لذلك لا تتسارع الطاولة بل تظل مستقرة.

الشكل 4 تمثل القوة المحصلة المؤثرة في الطاولة المجموع المتجهي لكل القوى التي تؤثر في الطاولة. في هذه الحالة تُحسب القوى الأفقية فقط المؤثرة في الطاولة.

القوة المحصلة يعرض الجزء السفلي من **الشكل 4** مخططات الجسم الحر في الحالتين. يوضح المخطط الثالث في **الشكل 4** مخطط الجسم الحر في الحالة الثالثة التي يدفع فيها صديقك الطاولة في الاتجاه المعاكس أقوى من دفعك لها مرتين. يوجد أسفل كل مخطط من مخططات الجسم الحر متجه يمثل محصلة القوتين. عندما يكون متجها القوتين في الاتجاه نفسه، يمكن استبدالهما بمتجه واحد طوله يساوي مجموع طوليهما. عندما تكون القوتان في اتجاهين متعاكسين، يمكن استبدالهما بمتجه واحد طوله يساوي الفرق بين طوليهما. والمصطلح الآخر الذي يعبر عن مجموع متجهات كل القوى المؤثرة في أحد الأجسام هو **القوة المحصلة**.

ويمكنك، أيضًا، تحليل الحالة رياضيًا. أطلق اسم الاتجاه الموجب على الاتجاه الذي تدفع فيه الطاولة بقوة قدرها 100 N. في الحالة الأولى، الممثّلة في الجزء الأيسر من **الشكل 4**، يدفع صديقك بقوة سالبة قدرها 100 N وينتج عن جمعهما معًا قوة محصلة قدرها 0 N، مما يعني أنه لا يوجد تسارع. في الحالة الثانية، يكون مقدار القوة التي يؤثر بها صديقك 100 N. لذلك تكون القوة المحصلة 200 N في الاتجاه الموجب. وتتسارع الطاولة في الاتجاه الموجب. في الحالة الثالثة، تكون القوة التي يؤثر بها صديقك 200− N. لذلك تكون القوة المحصلة 100 N− وتتسارع الطاولة في الاتجاه السالب.

تطبيقات

في كل من الحالات التالية، حدّد النظام وارسم مخطط الحركة وارسم مخطط الجسم الحر. سمِّ كل القوى بمسبباتها. ووضّح اتجاه التسارع والقوة المحصلة. ارسم المتجهات بالأطوال المناسبة. تجاهل مقاومة الهواء ما لم يتم الإشارة إلى غير ذلك.

1. يسقط لاعب القفز الحر إلى أسفل في الهواء بسرعة متجهة ثابتة. (يؤثر الهواء في الشخص بقوة اتجاهها إلى أعلى).
2. إذا كنت تمسك بكرة بيسبول في راحة يدك وتقذفها إلى أعلى. فارسم رسومات للكرة عندما لا تزال تلمس يدك.
3. بعد أن تغادر الكرة يدك، ترتفع للأعلى ثم تقل سرعتها.
4. بعد أن تصل الكرة إلى أقصى ارتفاع، تسقط للأسفل ثم تزيد سرعتها.
5. **مسألة تحفيزية** تلتقط الكرة بيدك وتجعلها تسكن.

ام س/ح/ن

تطبيقات

في كل من الحالات التالية، حدّد النظام وارسم مخطط الحركة وارسم مخطط الجسم الحر. سمِّ كل القوى بمسبّباتها. ووضّح اتجاه التسارع والقوة المحصلة. ارسم المتجهات بالأطوال المناسبة. تجاهل مقاومة الهواء ما لم يتم الإشارة إلى غير ذلك.

1. يسقط لاعب القفز الحر إلى أسفل في الهواء بسرعة متجهة ثابتة. (يؤثر الهواء في الشخص بقوة اتجاهها إلى أعلى).
2. إذا كنت تمسك بكرة بيسبول في راحة يدك وتقذفها إلى أعلى. فارسم رسومات للكرة عندما لا تزال تلمس يدك.
3. بعد أن تغادر الكرة يدك، ترتفع للأعلى ثم تقل سرعتها.
4. بعد أن تصل الكرة إلى أقصى ارتفاع، تسقط للأسفل ثم تزيد سرعتها.
5. **مسالة تحفيزية** تلتقط الكرة بيدك وتجعلها تسكن.

مسائل تدريبية

كتاب الطالب، ص *93*

1. راجع دليل الحلول عبر الإنترنت للاطلاع على رسم الحركة ورسم الجسم الحر.
2. راجع دليل الحلول عبر الإنترنت للاطلاع على رسم الحركة ورسم الجسم الحر.
3. راجع دليل الحلول عبر الإنترنت للاطلاع على رسم الحركة ورسم الجسم الحر.
4. راجع دليل الحلول عبر الإنترنت للاطلاع على رسم الحركة ورسم الجسم الحر.
5. راجع دليل الحلول عبر الإنترنت للاطلاع على رسم الحركة ورسم الجسم الحر.

ام س/ح/ن

8	ربط اتجاه العجلة باتجاه القوة المحصلة	الشكل 5	94

التسارع والقوة

لاستكشاف كيفية تأثير القوى في حركة أحد الأجسام. فكّر في إجراء مجموعة من التحققات. تأمل الحالة البسيطة المعروضة في الشكل العلوي من **الشكل 5** وفيها تؤثر بقوة في أحد الأجسام أفقيًا. سيكون البدء بالاتجاه الأفقي مفيدًا لأن الجاذبية لا تؤثر أفقيًا. لتقليل التعقيدات الناتجة عن احتكاك الجسم بالسطح. ينبغي أن تجري التحققات على سطح أملس مثل طاولة محمولة جيدًا. وستستخدم، أيضًا، عربة بعجلات تدور بسلاسة.

التأثير بقوة ثابتة كيف يمكنك التأثير بقوة ثابتة غير متوازنة؟ يمكنك استخدام جهاز يُسمى الميزان الزنبركي. يوجد زنبرك داخل المقياس يمتد بشكل متناسب مع مقدار القوة المؤثرة. يتم تدريج الجزء الأمامي من المقياس لقراءة القوة بوحدات النيوتن. إذا سحبت المقياس بحيث تظل القراءة على الجزء الأمامي ثابتة، فستكون القوة المؤثرة ثابتة. يعرض الشكل الفوتوغرافية العلوية من **الشكل 5** ميزانًا زنبركيًا يسحب عربة ذات مقاومة منخفضة بقوة ثابتة غير متوازنة.

إذا كنت تجري هذا التحقق وتقيس السرعة المتجهة للعربة لفترة من الزمن، فإنه من الممكن أن ترسم رسمًا بيانيًا مثل الخط الأخضر الموضح في الرسومات البيانية للسرعة المتجهة - الزمن التي تمثل القوى الثابتة في الشكل الأوسط من **الشكل 5**. يشير الميل الثابت للخط المستقيم في الرسم البياني السرعة المتجهة - الزمن إلى زيادة السرعة المتجهة بمعدل ثابت. المعدل الثابت لتغير السرعة المتجهة يعني أن التسارع ثابت. ويكون هذا التسارع الثابت نتيجة القوة الثابتة غير المتوازنة التي يؤثر بها الميزان الزنبركي في العربة.

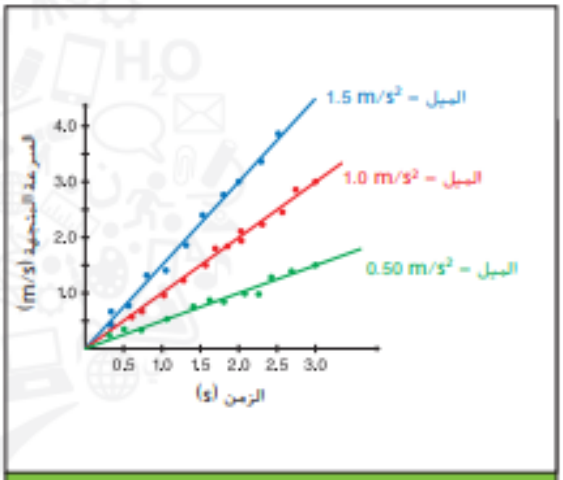
كيف يعتمد التسارع على القوة؟ كرّر التحقق باستخدام قوة ثابتة أكبر. ثم كرّره مرة أخرى باستخدام قوة أكبر كثيرًا. ارسم الرسم البياني للسرعة المتجهة - الزمن لكل قوة مثل الخطوط المستقيمة الأحمر والأزرق في الشكل الأوسط من **الشكل 5**. تذكّر أن ميل الخط المستقيم يمثل تسارع العربة. احسب ميل كل خط مستقيم ومثّل النتائج لكل قوة لترسم الرسم البياني للتسارع - القوة كما هو موضح في الشكل السفلي من **الشكل 5**.

يوضح الرسم البياني أن العلاقة بين القوة والتسارع علاقة خطية. ونظرًا لأن العلاقة خطية، يمكنك تطبيق معادلة الخط المستقيم:

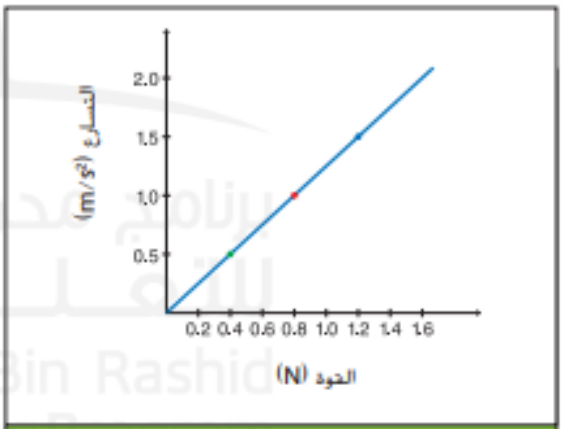
$$y = kx + b$$

مقطع y يساوي 0. لذلك يتم تبسيط المعادلة الخطية إلى $y = kx$. ويمثل المتغير y التسارع في حين يمثل المتغير x القوة. ومن ثم يساوي التسارع ناتج ضرب ميل الخط المستقيم في القوة المحصلة المؤثرة.

التأثير بقوة ثابتة



الرسومات البيانية للسرعة المتجهة – الزمن للقوى الثابتة



تغيرات تسارع جسم بتغير القوى المؤثرة فيه

الشكل 5 يؤثر الميزان الزنبركي بقوة ثابتة غير متوازنة في العربة. ينتج عن تكرار التحقق باستخدام قوى مختلفة رسومات بيانية للسرعة المتجهة - الزمن ذات ميول مختلفة.

ام س/ح/ن

1	تحديد شروط أن يكون الجسم في حالة اتزان	الشكل 9	99
16	تصنيف القوات على أنها إما قوى التماس أو قوى ميدانية وإدراك أنها ناتجة عن التفاعلات التي تسببها العوامل	12	99 كتابي

الشكل 9 يكون الجسم في حالة اتزان إذا لم تتغير سرعته المتجهة. في كلتا الحالتين المصورتين هنا، لا تتغير السرعة المتجهة. لذا من المؤكد أن القوة المحصلة تساوي صفرًا.

الاتزان وفقًا لقانون نيوتن الأول، تسبّب القوة المحصلة تغيرًا في السرعة المتجهة للجسم. إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا، فإن الجسم في حالة **اتزان**. يكون الجسم متزنًا إذا كان يتحرك بسرعة متجهة ثابتة. لاحظ أن البقاء في حالة السكون يمثل حالة خاصة للسرعة المتجهة الثابتة حيث $\vec{v} = 0$. يعرّف قانون نيوتن الأول القوة المحصلة بأنها شيء ما يغير حالة الاتزان. إذا لم توجد قوة محصلة مؤثرة في الجسم، فإن الجسم لا يكتسب تغيرًا في السرعة أو الاتجاه ويكون في حالة اتزان. كما يوضح **الشكل 9**، على الأقل من حيث القوى المحصلة المؤثرة. لا يوجد فرق بين الجلوس على كرسي والسقوط بسرعة متجهة ثابتة أثناء القفز الحر بالمظلات - السرعة المتجهة لا تتغير. لذلك تكون القوة المحصلة صفرًا.

عند تحليل القوى والحركة، من المهم أن نضع في الحسبان أن العالم الواقعي مليء بالقوى التي تقاوم الحركة والتي تُسمى قوى الاحتكاك. وليس من السهل الحصول على عالم نيوتن المثالي الخالي من الاحتكاك. إذا حللت حالة، واكتشفت أن النتيجة مختلفة عن تجربة مشابهة أجريتها سابقًا، فاسأل نفسك هل هذا بسبب وجود قوى الاحتكاك. على سبيل المثال، إذا دفعت كتابًا على طاولة، فسيتوقف سريعًا. للوهلة الأولى، يبدو أن قانون نيوتن الأول خاطئًا في هذه الحالة بسبب تغير السرعة المتجهة للكتاب بالرغم من عدم وجود قوة واضحة تؤثر في الكتاب. ومع ذلك، فإن القوة المحصلة المؤثرة في الكتاب هي قوة الاحتكاك بين الطاولة والكتاب في الاتجاه المعاكس للحركة.

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

الاتزان (Equilibrium)

- **الاستخدام العلمي**
  الحالة التي تكون فيها القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا.
  عندما يكون أحد الأجسام متوازنًا، تكون سرعته المتجهة ثابتة.
- **الاستخدام العام**
  حالة الاتزان
  أفسد التلوث توازن النظام البيئي.

القسم 1 مراجعة

12. **الفكرة الرئيسة** حدد كلًا مما يلي بحرف **A** أو **B** أو **C**: الكتلة والقصور الذاتي ودفع اليد والاحتكاك ومقاومة الهواء وقوة ارجاع الزنبرك والجاذبية والتسارع.
   A. قوة تلامس
   B. قوة مجال
   C. ليست قوة
13. **مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لكيس من السكر يتم رفعه بيدك بسرعة متزايدة. حدد النظام بصفة خاصة. استخدم النصوص السفلية لوضع تسميات لكل القوى ومتجهاتها. تذكر أن ترسم الأسهم بالأطوال الصحيحة.
14. **مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لدلو ماء يتم رفعه بحبل بسرعة متناقصة. حدد النظام بصفة خاصة. ضع تسميات لكل القوى بمتجهاتها وارسم الأسهم بالأطوال الصحيحة.
15. **التفكير الناقد** لا يؤثر في قالب ما إلا قوة أفقية قدرها 1 N. ويتم قياس التسارع الأفقي للقالب. عندما تؤثر القوة الأفقية نفسها في قالب ثانٍ، يكون التسارع الأفقي ثلاثة أمثال الأول. ماذا يمكنك استنتاجه عن كتلتي القالبين؟

القسم 1 مراجعة

كتاب الطالب ص 99

12. a. الدفع باليد، الاحتكاك، مقاومة الهواء، قوة النابض
    b. الجاذبية
    c. الكتلة، القصور الذاتي، التسارع

12	وصف الوزن الظاهري لجسم يتسارع رأسيا لأعلى أو لأسفل (يبدأ من السكون ، ويصل إلى سرعة ثابتة ، ثم يتوقف)	الشكل 11 ، المثال 3	102, 103

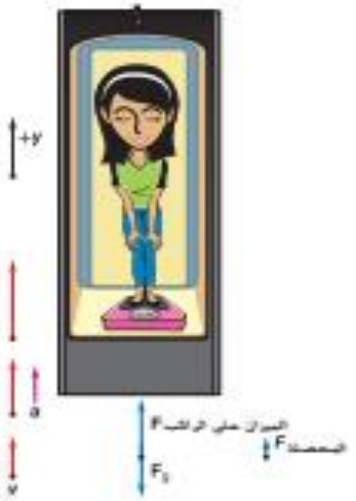
ام س/ح/ن

الوزن الظاهري ما الوزن؟ تذكرا لأن قوة الوزن يتم تعريفها كالتالي $F_g = mg$، F_g تتغير عندما تتغير g. تكون g ثابتة تقريبًا على سطح الأرض أو بالقرب منه. لذلك لا يختلف وزن الجسم بشكل ملحوظ عندما يتحرك بالقرب من سطح الأرض. إذا كان الميزان المنزلي لا يوفر إلا القوة المؤثرة فيك إلى أعلى، فإنه يقرأ وزنك. ماذا يقرأ الميزان إذا وقفت بقدم واحدة عليه والأخرى على الأرض؟ ماذا لو ضغط صديق على كتفيك إلى أسفل أو دفع مرفقيك إلى أعلى؟ إذا توجد قوى تلامس أخرى تؤثر فيك، ولن يقرأ الميزان وزنك.

ماذا يحدث إذا وقفت على الميزان داخل مصعد؟ طالما أنك لا تتسارع، فسيقرأ الميزان وزنك. ماذا يقرأ الميزان إذا تسارع المصعد إلى أعلى؟ يوضح **الشكل 11** النموذجين التصويري والفيزيائي لهذه الحالة. فأنت تمثل النظام. والاتجاه إلى أعلى هو الاتجاه الموجب. لأن اتجاه تسارع النظام يكون إلى أعلى. من المؤكد أن القوة المحصلة ستكون إلى أعلى. يجب أن تكون القوة التي يؤثر بها الميزان إلى أعلى أكبر من قوة وزنك إلى أسفل. ومن ثم تكون قراءة الميزان أكبر من وزنك.

إذا استطلت مصعدًا يتسارع إلى أعلى، فسوف تشعر كما لو كنت أثقل لأن أرضية المصعد تضغط بدرجة أقوى على قدميك. ومن ناحية أخرى، إذا كان المصعد يتسارع إلى أسفل، حينها ستشعر أنك أخف وزنًا وسيقرأ الميزان أقل من وزنك. تُعد القوة التي يؤثر بها الميزان مثالًا على **الوزن الظاهري**، الذي يمثل قوة الدعم المؤثرة في الجسم.

تأكد من فهمك **صف** قراءة الميزان عندما يتسارع المصعد إلى أعلى من السكون وعندما يصل إلى سرعة ثابتة وعندما يبدأ بالتباطؤ حتى يتوقف.



الشكل 11 إذا كنت تتسارع إلى أعلى، فمن المؤكد أن القوة المحصلة المؤثرة فيك ستكون إلى أعلى. يجب أن يؤثر الميزان بقوة إلى أعلى أكبر من قوة وزنك إلى أسفل.

تخيل أن الحبل الذي يمسك المصعد انقطع. ماذا يقرأ الميزان عندئذ؟ تتسارع أنت والميزان بمقدار $a = g$. ووفقًا لهذه الصيغة، يقرأ الميزان صفرًا ويكون وزنك الظاهري صفرًا. بمعنى أنك تكون عديم الوزن. ومع ذلك، لا يعني **انعدام الوزن** أن وزن الجسم يساوي صفرًا بالفعل، بل يعني عدم وجود قوى تلامس تؤثر في دعم الجسم وأن الوزن الظاهري يساوي صفرًا. بطريقة مشابهة للمصعد الذي يسقط، يخضع رواد الفضاء لانعدام الوزن في المدار نظرًا لأنهم ومركبتهم الفضائية في حالة سقوط حر. ستدرس الجاذبية وانعدام الوزن بتفاصيل أكثر في وحدة لاحقة.

استراتيجيات | حل المسائل

القوة والحركة

عند حل مسائل القوة والحركة، استخدم الإستراتيجيات التالية.

1. اقرأ المسألة بتمعن وارسم نموذجًا مصورًا.
2. ضع دائرة حول النظام واختر نظام إحداثيات.
3. حدّد الكميات المعلومة والمجهولة.
4. أنشئ نموذجًا فيزيائيًا من خلال رسم مخطط الحركة مع توضيح اتجاه التسارع.
5. صمم مخطط الجسم الحر موضحًا كل القوى المؤثرة في الجسم.
6. استخدم قوانين نيوتن للربط بين التسارع والقوة المحصلة.
7. أعد ترتيب المعادلة لإيجاد الكمية المجهولة.
8. عوّض عن الكميات المعلومة بوحداتها في المعادلة وحل المعادلة.
9. تحقق من نتائجك لتتبين ما إذا كانت منطقية.

مختبر الفيزياء

القوى في المصعد

كيف يتغير الوزن الظاهري عند استقلال المصعد؟

تجربة مصغرة

الكتلة والوزن

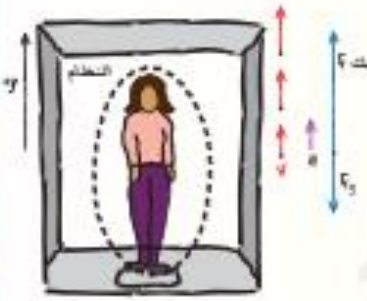
ما العلاقة بين الكتلة والوزن؟

مثال 3

الوزن الحقيقي والظاهري إذا كانت كتلتك 75.0 kg. وتقف على ميزان منزلي داخل مصعد. بداية من السكون، يتسارع المصعد إلى أعلى بمقدار $2.00\ m/s^2$ لمدة 2.00 s ثم يسير بسرعة ثابتة. هل تكون قراءة الميزان أثناء التسارع أكبر من قراءة الميزان عندما يكون المصعد في حالة السكون أو مساوية لها أو أقل منها؟

1 تحليل المسألة

- ارسم مخططًا للموقف.
- اختر نظامًا إحداثيًا بحيث يكون الاتجاه الموجب إلى أعلى.
- ارسم مخطط الحركة لكل من v وa.
- ارسم مخطط الجسم الحر. يكون اتجاه القوة المحصلة هو اتجاه التسارع. وبالتالي تكون القوة للأعلى أكبر من القوة للأسفل



المعلوم	المجهول
$m = 75.0\ kg$	$F_{الميزان} = ?$
$a = 2.00\ m/s^2$	
$t = 2.00\ s$	
$g = 9.8\ N/kg$	

2 إيجاد المجهول

$F_{المحصلة} = ma$

$F_{المحصلة} = F_{الميزان} + (-F_g)$

تكون F_g سالية نظرًا لأنها في الاتجاه السالب الذي يحدده النظام الإحداثي.

أوجد قيمة $F_{الميزان}$

$F_{الميزان} = F_{المحصلة} + F_g$

المصعد في حالة السكون

$F_{الميزان} = F_{المحصلة} + F_g$

لا يتسارع المصعد. لذلك، $F_{المحصلة}$ = 0.00 N.

$= F_g$

بالتعويض عن $F_{المحصلة}$ بـ 0.00 N.

$= mg$

بالتعويض عن F_g بـ mg.

$= (75.0\ kg)(9.8\ N/kg)$

بالتعويض عن m بـ 75.0 kg، g بـ 9.8 N/kg.

$= 735\ N$

المصعد يتسارع إلى أعلى.

$F_{الميزان} = F_{المحصلة} + F_g$

بالتعويض عن $F_{المحصلة}$ بـ ma، F_g بـ mg.

$= ma + mg$

بالتعويض عن m بـ 75.0 kg، a بـ $2.00\ m/s^2$، g بـ 9.8 N/kg.

$= (75.0\ kg)(2.00\ m/s^2) + (75.0\ kg)(9.8\ N/kg)$

$= 885\ N$

تكون قراءة الميزان أكبر عندما يتسارع المصعد (885 N) من قراءته عندما يكون المصعد في حالة السكون (735 N).

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** $kg \cdot m/s^2$ هي وحدة القوة، وتعادل N.
- **هل الإشارة منطقية؟** تتوافق الإشارة الموجبة مع النظام الإحداثي.
- **هل المقدار واقعي؟** تكون $F_{الميزان}$ = 885 N أكبر مما هي عليه في حالة السكون عندما تكون $F_{الميزان}$ تساوي 735 N. ويكون مقدار الزيادة 150 N. الذي يمثل 20 في المئة تقريبًا من الوزن في حالة السكون. والتسارع إلى أعلى يساوي 20% تقريبًا من التسارع الناتج عن الجاذبية. لذلك يكون المقدار منطقيًا.

18	سرد خواص زوج التفاعل وتحديد أزواج الفعل ورد الفعل لمو اقف مختلفة	الشكلان 17 و18	109 كتابي

الشد

الشد اسم محدد للقوة التي يؤثر بها حبل أو حبل. وللتبسيط في هذا الكتاب المدرسي سنعتبر أن كل الحبوط والحبال عديمة الكتلة. في **الشكل 17**، يوشك الحبل أن ينقطع في المنتصف. إذا انقطع الحبل، فسيسقط الدلو. ولكن قبل أن ينقطع، من المؤكد أنه توجد قوى تمسك جزأي الحبل معًا. تمثل القوة التي يؤثر بها الجزء العلوي من الحبل في الجزء السفلي $F_{\text{العلوي في السفلي}}$. ينص قانون نيوتن الثالث على أنه من المؤكد أن هذه القوة جزء من زوجي التأثير المتبادل. والعضو الآخر من الزوجين هو القوة التي يؤثر بها الجزء السفلي من الحبل في الجزء العلوي، وهي $F_{\text{السفلي في العلوي}}$. وتتضح هذه القوى المتساوية في المقدار والمتضادة في الاتجاه في **الشكل 17**.

الشكل 17 يساوي الشد في الحبل وزن كل الأجسام المعلقة به.

فكّر في هذه الحالة بطريقة أخرى. قبل انقطاع الحبل، يكون الدلو في حالة توازن. وهذا يعني أنه يجب أن تساوي قوة وزنه إلى أسفل قوة الشد في الحبل إلى أعلى في المقدار وتعاكسها في الاتجاه. وبالمثل، إذا نظرت إلى النقطة في الحبل فوق الدلو مباشرة، فستجد أنها في حالة توازن أيضًا. ومن ثم يجب أن تكون قوة الشد في الحبل أدناها التي تسحب إلى أسفل مساوية في المقدار لقوة الشد في الحبل أعلاها التي تسحب إلى أعلى. يمكنك التحرك على طول الحبل إلى أعلى والتفكير في أي نقطة. لترى أن قوى الشد في أي نقطة في الحبل تسحب بالتساوي في كلا الاتجاهين. لذلك، يساوي الشد في الحبل وزن كل الأجسام أدناه.

تفحص قوى الشد الموضحة في **الشكل 18**. إذا كان الفريق A يؤثر بقوة قدرها 500 N، ولا يتسارع الحبل. فمن المؤكد حينها أن الفريق B يسحب بقوة قدرها 500 N. ما مقدار الشد في الحبل؟ إذا كان كل فريق يسحب بقوة قدرها 500 N، فهل يكون مقدار الشد 1000 N؟ لتحديد ذلك، فكّر في الحبل باعتباره مقسومًا إلى نصفين. لا يتسارع الجانب الأيسر. لذلك تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه صفرًا. لذلك، $F_{\text{الجانب الأيمن في الجانب الأيسر}}$ = 500 N = $F_{\text{في الجانب الأيسر}}$. وبطريقة مشابهة، $F_{\text{الجانب الأيسر في الجانب الأيمن}}$ = 500 N = $F_{\text{في الجانب الأيمن}}$. ولكن تمثل قوتا الشد $F_{\text{الجانب الأيمن في الجانب الأيسر}}$ و$F_{\text{الجانب الأيسر في الجانب الأيمن}}$ زوجي التأثير المتبادل. ومن ثم تكونان متساويتين في المقدار ومتضادتين في الاتجاه. لذلك، يساوي الشد في الحبل القوة التي يسحب بها كل فريق أو 500 N. وللتحقق من هذا، يمكنك قطع الحبل من المنتصف وربط النهايتين في ميزان زنبركي. يقرأ الميزان 500 N.

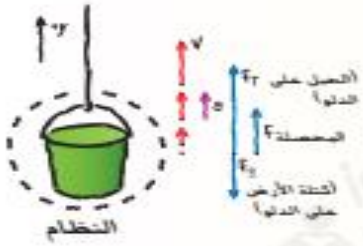
الشكل 18 لا يتسارع الحبل، لأن قوتي الشد متساويتان للفريقين على جانبي الحبل.

ام س/ح/ن

19	تطبيق قوانين نيوتن لحل المسائل التي تنطوي على القوى العمودية وقوى الشد، بما في ذلك أنظمة الأجسام المتصلة بواسطة الأوتار وآلة أتوود	المثال 5	110 كتابي

مثال 5

رفع الدلو يتم رفع دلو كتلته 50.0 kg بحبل. لن ينقطع الحبل إذا كان الشد 525 N أو أقل. بدأ الدلو من حالة السكون وبعد رفعه مسافة 3.0 m بلغت سرعته 3.0 m/s. إذا كان التسارع ثابتًا. فهل يكون الحبل معرضًا للانقطاع؟



1 تحليل المسألة

- ارسم مخططًا للموقف.
- ارسم نظامًا إحداثيًا يشير المحور الموجب فيه إلى أعلى.
- ارسم مخطط الحركة مع تحديد v و a.
- ارسم مخطط الجسم الحر وضع تسميات القوى.

المعلوم	المجهول
$m = 50.0\ kg$ $v_f = 3.0\ m/s$	$F_T = ?$
$v_i = 0.0\ m/s$ $d = 3.0\ m$	

2 إيجاد المجهول

تمثل $F_{المحصلة}$ مجموع القوة الموجبة للحبل التي تسحب إلى أعلى (F_T) وقوة الوزن السالبة $(-F_g)$ التي تسحب إلى أسفل كما هو محدد بالنظام الإحداثي.

$$F_{المحصلة} = F_T + (-F_g)$$

$$F_T = F_{المحصلة} + F_g$$

$$= ma + mg$$

► بالتعويض عن $F_g = mg$ ، $F_{المحصلة} = ma$

v_i ، v_f ، d معلومة.

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

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

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

► بالتعويض عن $v_i = 0.0\ m/s^2$.

$$F_T = ma + mg$$

$$= m\left(\frac{v_f^2}{2d}\right) + mg$$

► بالتعويض عن $a = v_f^2 / (2d)$.

$$= (50.0\ kg)\left(\frac{(3.0\ m/s)^2}{2(3.0\ m)}\right) + (50.0\ kg)(9.8\ N/kg)$$

► بالتعويض عن $m = 50.0\ kg$، $v_f = 3.0\ m/s$، $d = 3.0\ m$، $g = 9.8\ N/kg$

$$= 560\ N$$

الحبل معرض للانقطاع نظرًا لأن الشد يتجاوز 525 N.

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** يثبت التحليل البُعدي صحة $kg\text{-}m/s^2$، وهي N.
- **هل الإشارة منطقية؟** ينبغي أن تكون القوة إلى أعلى موجبة.
- **هل المقدار واقعي؟** يُعد المقدار أكبر بقليل من 490 N، وهو وزن الدلو.

$$F_g = mg = (50.0\ kg)(9.8\ N/kg) = 490\ N$$

تطبيقات

32. يحاول علي ومالك إصلاح إطار في سيارة علي. لكنهما يواجهان صعوبة في فك الإطار. عندما يسحبان معًا في الاتجاه نفسه، مالك بقوة قدرها 23 N وعلي بقوة قدرها 31 N. أمكنهما بالكاد نزع الإطار من العجلة. ما مقدار القوة بين الإطار والدولاب؟

33. مسألة تحفيزية وضعت معدات في دلو بحيث اصبحت كتلته 45Kg فأراد رفع الدلو فوق سطح منزل بواسطة حبل يتحمل شدا لا يتجاوز 450 N. فما أقصى تسارع يمكن أن يكتسبه الدلو أثناء سحبه إلى أعلى السطح؟؟

مسائل تدريبية

كتاب الطالب، ص 110

32. 54 N

33. $0.91\ m/s^2$

ام س/ح/ن

7	الجمع بين القوى لإيجاد القوة المحصلة المؤثرة على جسم ماربط اتجاه العجلة (التسارع) باتجاه القوة المحصلة	36,37 ,34	111

الشكل 19 لا تساوي القوة العمودية وزن الجسم دائمًا.

القوة العمودية

عندما يتلامس جسمان في أي وقت، يؤثر كل منهما في الآخر بقوة. فكّر في صندوق مستقر على طاولة. توجد قوة إلى أسفل تؤثر في الصندوق بسبب الجاذبية الأرضية. وأيضًا، توجد قوة إلى أعلى تؤثر بها الطاولة في الصندوق. يجب أن توجد هذه القوة نظرًا لأن الصندوق في حالة توازن. تمثل **القوة العمودية** قوة التلامس المتعامدة التي يؤثر بها سطح ما في سطح آخر.

تكون القوة العمودية متعامدة على مستوى التلامس بين الجسمين دائمًا. لكن هل تساوي وزن الجسم دائمًا؟ يوضح **الشكل 19** ثلاث حالات تتضمن صندوقًا بالوزن نفسه. ماذا لو ربطت خيطًا بالصندوق وسحبته إلى أعلى قليلًا. ولكن ليس بدرجة كافية ليتسارع الصندوق كما هو موضح في الشكل b من **الشكل 19**؟ عندما تطبق قانون نيوتن الثاني على الصندوق والقوى المؤثرة في الصندوق. نجد أن $F_N + F_{\text{الخيط في الصندوق}} - F_g = ma = 0$ N. ويمكن إعادة ترتيبها لتصبح $F_N = F_g - F_{\text{الخيط في الصندوق}}$.

يمكنك أن تلاحظ أنه في هذه الحالة تكون القوة العمودية التي تؤثر بها الطاولة في الصندوق أقل من وزن الصندوق (F_g). وبالمثل، إذا ضغط على الصندوق الموجود على الطاولة إلى أسفل كما هو موضح في الشكل c من **الشكل 19**، فسوف تكون القوة العمودية أكبر من وزن الصندوق. سيكون إيجاد القوة العمودية مهمًا عند دراسة الاحتكاك بالتفصيل.

مختبر الفيزياء

قانون نيوتن الثالث ما أزواج التأثير المتبادل بين عربات القطار؟

القسم 3 مراجعة

34. الفكرة الرئيسة أمسك كرة ساكنة في يدك في الهواء كما في **الشكل 20**. حدّد كل قوة تؤثر في الكرة وزوجي التأثير المتبادل.

الشكل 20

35. القوة تخيل أنك تخفض الكرة لأسفل في **الشكل 20** بسرعة متزايدة. هل تتغير أي من القوى أو القوة الأخرى المقابلة لها في زوجي التأثير المتبادل؟ وضح ذلك.

36. الشد يتدلى من السقف ثقل مربوط بحبل عديم الكتلة. ويتم ربط ثقل ثان بالثقل الأول ويتدلى أسفله بقطعة حبل أخرى عديمة الكتلة. إذا كانت كتلة كل ثقل تساوي 5.0 kg. فما الشد في كل حبل؟

37. الشد يتدلى من السقف ثقل مربوط بحبل عديم الكتلة. ويتم ربط ثقل كتلته 3.0 kg بالثقل الأول ويتدلى أسفله بقطعة حبل أخرى مهملة الكتلة. مقدار الشد في الحبل العلوي يساوي 63.0 N. أوجد الشد في الحبل السفلي وكتلة الثقل العلوي.

38. التفكير الناقد توضع سنارة بين فريقي شد الحبل بحيث لا يرى كل فريق الآخر. ربط أحد الفريقين طرف الحبل من جهته بشجرة. إذا سحب الفريق الآخر بقوة قدرها 500 N. فما مقدار الشد في الحبل؟ اشرح.

ام س/ح/ن

القسم 3 مراجعة

34. القوى المؤثرة في الكتاب هي قوة الجاذبية المتجهة إلى أسفل بسبب كتلة الأرض وقوة اليد المتجهة إلى أعلى. ويتمثل النصف الآخر من أزواج التأثير المتبادل في قوة الكتاب في الأرض وقوة الكتاب في اليد.

35. راجع دليل الحلول عبر الإنترنت للاطلاع على رسم الحركة ورسومات الجسم الحر.

36. بالنسبة إلى الحبل السفلي مع الاتجاه الموجب إلى أعلى: 49 N. بالنسبة إلى الحبل العلوي مع الاتجاه الموجب إلى أعلى: 98 N.

37. بالنسبة إلى الحبل السفلي مع الاتجاه الموجب إلى أعلى: 29 N. بالنسبة إلى الكتلة العلوية مع الاتجاه الموجب إلى أعلى: 3.5 kg.

38. ستكون قوة الشد 500 N. والحبل في حالة توازن. أي أن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا. يبذل الفريق والشجرة قوتين متساويتين في اتجاهين متضادين.

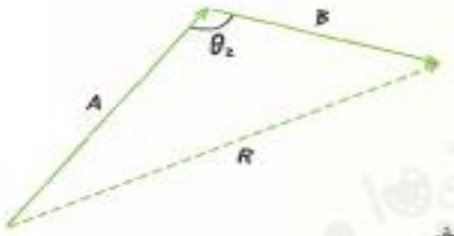
14	أوجد مقدار واتجاه محصلة متجهين في بعدين باستخدام علم المثلثات، نظرية فيثاغورس (حالة المتجهات العمودية) ، وقوانين الجيب وجيب التمام.	المثال 1 و Q1 و 2	124

مثال 1

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

1 تحليل المسألة

- ارسم متجهي الإزاحة A و B والزاوية التي بينهما.



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

2 إيجاد المجهول

عندما تكون زاوية θ تساوي 90°. استخدم نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار متجه المحصلة.

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

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

بالتعويض عن A = 25 km ،B = 15 km ◄

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

$$= 29\ km$$

عندما تكون زاوية θ لا تساوي 90°. استخدم قانون جيب التمام لإيجاد مقدار متجه المحصلة.

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

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

بالتعويض عن A = 25 km ،B = 15 km ،θ_2 = 135° ◄

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

$$= 37\ km$$

3 تقييم الإجابة

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

تطبيقات

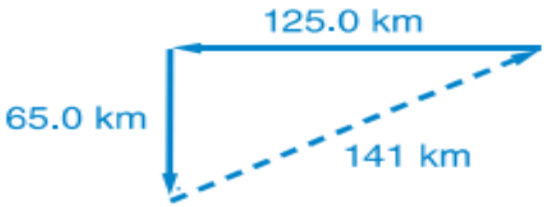
1. تسير سيارة 125.0 km غربا ثم 65.0 km جنوبا. ما مقدار إزاحتها؟ أوجد حل هذه المسألة بيانيا وجبريا وقارن إجاباتك ببعضها.
2. يمشي متسوقان من باب المركز التجاري إلى سيارتيهما. قطعا مسافة 250.0 m على طول ممر السيارات ثم اتجها بينا بزاوية 90° وقطعا مسافة أخرى 60.0 m. كم تبعد سيارة المتسوقين عن باب المركز التجاري؟ أوجد حل هذه المسألة بيانيا وجبريا وقارن إجاباتك ببعضها.
3. يمشي مسافر 4.5 km في اتجاه واحد ثم يتجه يمينا بزاوية 45° ويمشي 6.4 km أخرى. ما مقدار إزاحة المسافر؟
4. **التحدي** تمشي نيلة على الرصيف أولاً مسافة 5.0 cm جنوبا. ثم تتجه إلى الجنوب الغربي وتمشي 4.0 cm. ما مقدار إزاحة النيلة؟

ام س/ح/ن

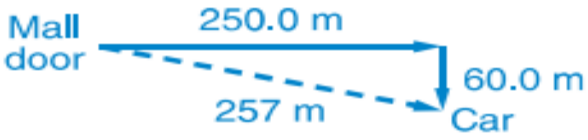
مسائل تدريبية

كتاب الطالب ص *124*

1. $R = 141\ \text{km}$



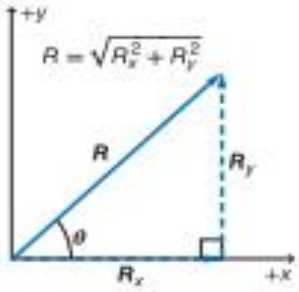
2. $R = 257\ \text{m}$



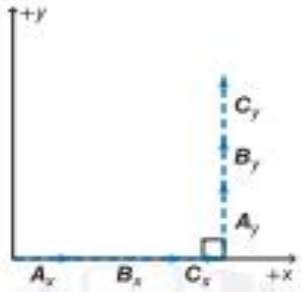
3. $1.0 \times 10^{1}\ \text{km}$

4. $8.3\ \text{cm}$

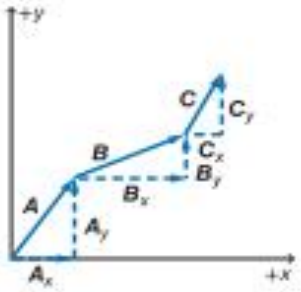
15	أوجد محصلة متجهين أو أكثر جبريا عن طريق جمع مركبتي المتجهات وإيجاد مقدارها ((R2=2Rx + Ry	الشكل 6	127 كتابي



يمكن حساب مقدار متجه المحصلة R باستخدام نظرية فيثاغورس.



اجمع مركبات المحور x مع بعضها ومركبات المحور y مع بعضها



اجمع المتجهات بيانيًا بوضعها بطريقة متتالية.

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

جمع المتجهات جبريًا

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

$$R_x = A_x + B_x + C_x$$

وبالمثل، تجمع مركبات y لتكوين مركبة y الخاصة بمتجه المحصلة.

$$R_y = A_y + B_y + C_y$$

نظرًا لأن R_x و R_y يكوّنان زاوية قائمة (90°)، يمكنك حساب مقدار متجه المحصلة باستخدام نظرية فيثاغورس.

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

لمعرفة اتجاه متجه المحصلة، تذكّر أن الزاوية التي يكونها المتجه مع المحور x تمثلها المعادلة التالية.

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

يمكنك معرفة الزاوية باستخدام مفتاح $\tan^{-1}$ على الآلة الحاسبة. لاحظ أنه عندما تكون $\theta > 0$، تعطي معظم الآلات الحاسبة الزاوية بين 0° و90°. عندما تكون $\theta < 0$، ستكون الزاوية المذكورة بين 0° و−90°.

استراتيجيات — حل المسائل

جمع المتجهات

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

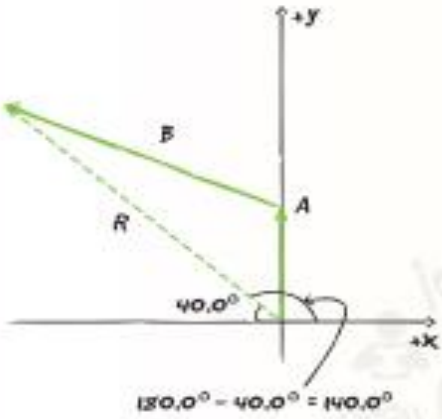
1. اختر نظامًا إحداثيًا.
2. حلل المتجهات إلى مركبات x الخاصة بها باستخدام $A_x = A\cos\theta$ ومركبات y الخاصة بها باستخدام $A_y = A\sin\theta$. حيث إن θ هي الزاوية المقيسة عكس اتجاه عقارب الساعة من المحور x الموجب.
3. اجمع متجهات المركبات أو اطرحها في اتجاه x.
4. اجمع متجهات المركبات أو اطرحها في اتجاه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

ام س/ح/ن

5	تحديد مكونات متجه في نظام الإحداثيات الديكارتي باستخدام حساب المثلثات	المثال 2	128

مثال 2

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



1 تحليل المسألة

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

المعلوم
شمالاً $A = 5.0\ km$
$R = 15.0\ km$. 40.0° في الشمال الغربي
$\theta = 140.0°$

المجهول
$B = ?$

2 إيجاد المجهول

أوجد مركبات متجه المحصلة **R**.

$R_x = R\cos\theta$
$= (15.0\ km)\cos 40°$
$= 11.5\ km$

◄ بالتعويض عن $R = 15.0\ km$، $\theta = 40°$.

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

◄ بالتعويض عن $R = 15.0\ km$، $\theta = 40°$.

نظرًا لأن **A** باتجاه الشمال، $A_x = 0.0\ km$، $A_y = 5.0\ km$.
استخدم مركبات **R** و **A** لإيجاد مركبات **B**.

$B_x = R_x - A_x$
$= 11.5\ km - 0.0\ km$
$= 11.5\ km$

◄ بالتعويض عن $R_x = 11.5\ km$، $A_x = 0.0\ km$.

$B_y = R_y - A_y$
$= 9.64\ km - 5.0\ km$
$= 4.6\ km$

◄ بالتعويض عن $R_y = 9.64\ km$، $A_y = 5.0\ km$.

◄ هذا المركب باتجاه الشمال.

استخدم مركبات المتجه **B** لإيجاد مقدار المتجه **B**.

$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}$
$\sqrt{(11.5\ km)^2 + (4.6\ km)^2}$
$= 12.4\ km$

◄ بالتعويض عن $B_x = 11.5\ km$، $B_y = 4.6\ km$.

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

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

◄ بالتعويض عن $B_y = 4.6\ km$، $B_x = -11.5\ km$.

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

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

3 تقييم الإجابة

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

ام س/ح/ان

9	حل متجه إلى متجهين متعامدين في نظام الإحداثيات الديكارتي.	12,13 ,11	129

القسم 1 مراجعة

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

الشكل 9

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

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

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

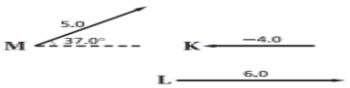
15. **العمليات الإبدالية** يقول علماء الرياضيات إن جمع المتجهات عملية إبدالية لأن ترتيب المتجهات المضافة غير مهم.

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

   b. ما العملية الحسابية العادية (الجمع والطرح والضرب والقسمة) التي تُعد إبدالية؟ ما العملية غير الإبدالية؟ أعط مثالاً لكل عملية لدعم استنتاجك.

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

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

11	10. طرح مُتّجه في الشكل 7—5 اطرح المُتّجه K من المتجه L.  الشكل 7—5 $6.0 - (-4.0) = 10.0$ إلى جهة اليمين
12	
13	جمع المُتّجهات أوجد محصلة المُتّجهات الثلاثة المبينة في الشكل 7—5. $R_x = K_x + L_x + M_x$ $= -4.0 + 6.0 + 4.0$ $= 6.0$ $R_y = K_y + L_y + M_y$ $= 0.0 + 0.0 + 3.0$ $= 3.0$ $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ $= \sqrt{6.0^2 + 3.0^2}$ $= 6.7$ $\theta = \tan^{-1}(\frac{R_y}{R_x})$ $= \tan^{-1}(\frac{3}{6})$ $= 27°$ $R = 6.7$ في اتجاه يصنع زاوية 27° على الأفقي.

القسم 1 مراجعة
كتاب الطالب ص 129

11. $M_x = 4.0$ إلى اليمين
$M_y = 3.0$ لأعلى
12. كلا المتجهين أفقيّ. لذا لا تحتوي أي منهما على المركبة y.
$K_x = -4.0, K_y = 0$
$L_x = 6.0, L_y = 0$
13. $R = 6.7$ عند 27°
14. $6.0 - (-4.0) = 10.0$ إلى اليمين
15. a. تؤدي طريقتا الجمع ***M*** و***L*** إلى المتجه ***R*** نفسه.
b. يُعد الجمع والضرب عمليتين تراكميتين.
الأمثلة: $3 + 4 = 4 + 3$
$2 + 5 = 5 + 2$

يُعد الطرح والقسمة عمليتين غير تراكميتين.
الأمثلة: $10 - 3 \neq 3 - 10$
$8 \div 2 \neq 2 \div 8$

ام س/ح/ن

2	تعريف قوة الاحتكاك كنوع من القوة بين سطحين ملامسين، وتحديد اتجاهها.	الشكل 10	130
13	تحديد معاملات الاحتكاك الحركي والساكن.	كما هو مذكور في الكتاب	130

القسم 2

الاحتكاك

الفكرة الرئيسة

الاحتكاك عبارة عن قوة بين سطحين متلامسين.

الأسئلة الرئيسة

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

مراجعة المفردات

القوة force الدفع أو السحب الذي يمارس على جسم ما

المفردات الجديدة

الاحتكاك الحركي
kinetic friction

الاحتكاك السكوني static friction

معامل الاحتكاك الحركي
coefficient of kinetic friction

معامل الاحتكاك السكوني
coefficient of static friction

الفيزياء في حياتك

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

الاحتكاك الحركي والسكوني

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

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

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

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

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

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

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

يزداد الاحتكاك السكوني ليصل إلى أقصى حد ليحقق التوازن مع القوة المطبقة.

ام س/ح/ن

استعن بالشكل 10

الاحتكاك والقوة ارسم الصور الواردة في **الشكل 10** على السبورة. ارسم متجهات القوى التي توضح القوة المبذولة ومقاومة الاحتكاك في كل حالة. اشرح أن الاحتكاك الثابت سيتناسب مع القوة المبذولة لمقاومة الحركة كما هو مبين في الشكل اليسرى. سيتحرك الجسم فقط عندما تتجاوز القوة المبذولة قوة المقاومة كما هو مبين في الشكل اليمنى.

التفكير الناقد

الاحتكاك العالي أو المنخفض اسأل الطلاب هل من الأفضل أن يكون لديك احتكاك عالٍ أم منخفض بين الأسطح. يعتمد ذلك على الحالة. اطلب من الطلاب أن يقدموا أمثلة لكل حالة. من أمثلة الحالات ذات الاحتكاك المنخفض المكابس في المحركات والزلاجات على الثلج. ومن أمثلة الحالات التي يفضل الاحتكاك العالي فيها المحاة على الورق أو قماز ماسك القلم الذي يحكم القبض على السارية. ض م منطقي-رياضي

استخدام تجربة الفيزياء

في معامل الاحتكاك، سيحدد الطلاب معامل الاحتكاك السكوني والحركي.

مثال إضافي للحل داخل الفصل

استخدم مثال المسألة 3.

المسألة يجر طفل حذاءً ثقيلاً نعله مطاطي من أرجطته على رصيف بسرعة ثابتة تصل إلى 0.35 m/s. إذا كانت كتلة الحذاء تساوي 1.56 kg ومعامل الاحتكاك الحركي يساوي 0.65. فما المركبة الأفقية للقوة التي يبذلها الطفل؟ (افترض أن النعل يلامس الرصيف ولا يتحرك حوله).

الحل $F_{net} = ma = 0$

$ma = 0 \quad F_{net} = F_x - F_f$

بتعويض النواغ. $F_x = F_f$

$F_x = \mu F_n = \mu mg = (0.65)(1.56\ kg)$
$(9.8\ N/kg) = 9.9\ N$

المناقشة

المسألة ما الحالات التي يفضل فيها استخدام معامل احتكاك عالٍ بين الأسطح؟

الحل الأمثلة المحتملة هي أحذية الركض على المضمار وورق الصنفرة على الخشب وفرامل السيارات على العجلات وإطارات السيارات على الطرق. ض م

عرض عملي سريع

الاحتكاك

الوقت المقدّر 10 دقائق

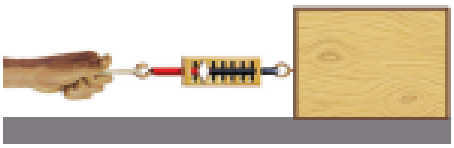
المواد ورقة كعك غير لاصقة، قالب خشبي مغطى باللباد مقاس (6 in × 3 in × 1 in)

الإجراء اطلب من الطلاب أن يتوقعوا جانب القالب الذي سيتطلب قوة أكبر لدفعه على ورقة الكعك بسرعة ثابتة. ثم اطلب من بعض الطلاب أن يحركوا أكبر جانب من القالب المغطى باللباد بسلاسة على طول ورق الكعك غير اللاصق. كرر ذلك مع الجانب الأصغر من القالب. اطلب من الطلاب تلخيص نتائجهم أمام طلاب الفصل.

تصبح قوة الاحتكاك هي نفسها في كلتا الحالتين. بغض النظر عن مساحة الأسطح المتلامسة.

10	اربط بيانيا قوة الاحتكاك بالقوة العمودية وابحث عن معامل الاحتكاك الحركي.	الشكل 12	131

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



الشكل 11 يمارس الميزان الزنبركي قوة ثابتة على القالب.

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

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

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

قوة الاحتكاك الحركي

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

$$F_k = \mu_k F_N$$

مختبر الفيزياء

حادث صدم وهروب

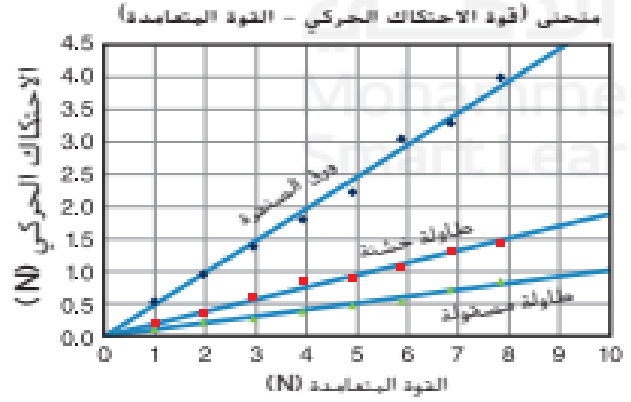
المختبر الجنائي كيف تتمكن من تحديد سرعة السيارة بواسطة فحص علامات الإطارات المتروكة في موقع الحادث؟

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

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

الجدول 1 الاحتكاك الحركي مقابل القوة المتعامدة (ورق الصنفرة)

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



ام س/ح/ن

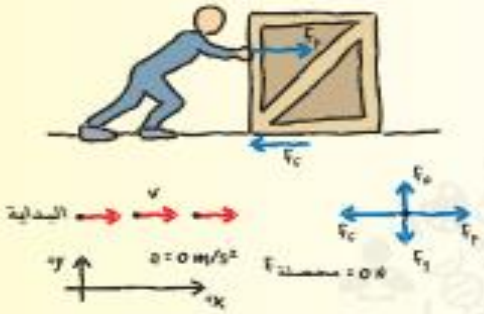
11	تطبيق العلاقات التي تربط القوة العمودية بأقصى احتكاك ساكن وبالاحتكاك الحركي لحساب المجهول معلومات مثل قوة الاحتكاك أو معامل الاحتكاك أو القوة العمودية (Ff,static=μsFN and Fk,kinetic=μkN)	المثال 3 ، Q15,16	133

مثال 3

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

1 تحليل المسألة

- حدد القوى وأنشئ نظامًا إحداثيًا.
- ارسم مخططًا للحركة يوضح أن السرعة (v) ثابتة و $a = 0$.
- ارسم مخطط الجسم الحر.



المعلوم	المجهول
$m = 25.0$ kg	؟ = مقدار قوة دفعك للصندوق F_{p}
$a = 0.0$ m/s²	
$v = 1.0$ m/s	
$\mu_k = 0.20$	

2 إيجاد المجهول

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

$$F_N = -F_g$$

بتعويض $F_g = mg$ ◄

$$= -mg$$

بتعويض $g = 9.8$ N/kg ،$m = 25.0$ kg ◄

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

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

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

$$F_{\text{مقدار قوة دفعك للصندوق}} = \mu_k F_N$$

بتعويض $F_N = 245$ N ،$\mu_k = 0.20$ ◄

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

$$= 49 \text{ N}$$

$F_{\text{مقدار قوة دفعك للصندوق}} = 49$ N، إلى اليمين

3 تقييم الإجابة

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

تطبيقات

18. تؤثر مروة بقوة أفقية تبلغ 36 N وهي تسحب مزلجة وزنها 52 N على رصيف من الأسمنت بسرعة ثابتة. ما معامل الاحتكاك الحركي بين الرصيف الجانبي والمزلجة المعدنية؟ تجاهل مقاومة الهواء.

19. يسحب حسن صندوقًا مبتلًا بالكتب من مكتبه إلى سيارته. يبلغ إجمالي وزن كل من الصندوق والكتب معًا 134 N. إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين الرصيف والصندوق يبلغ 0.55، فما مقدار القوة التي يجب أن يدفع حسن بها الصندوق في اتجاه أفقي لكي يبدأ في التحرك؟

20. يجلس مروان على سجادة صغيرة موضوعة على أرضية خشبية مصقولة. يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين السجادة والأرضية الخشبية الزلقة 0.12 فقط. إذا كان مروان يزن 650 N، فما مقدار القوة الأفقية اللازمة لسحب السجادة ومروان على الأرضية بسرعة ثابتة؟

21. **التحدي** تحتاج إلى أن تحرك أريكة كتلتها 105 kg إلى مكان مختلف في الغرفة. تحتاج إلى قوة تبلغ 403 N لكي تبدأ الأريكة في التحرك. ما معامل الاحتكاك السكوني بين الأريكة والسجادة؟

ام س/ح/ن

18	يؤثر فتى بقوة أفقية مقدارها 36 N في زلاجة وزنها 52 N عندما يسحبها على رصيف أسمنتي بسرعة متنظمة. ما معامل الاحتكاك الحركي بين الرصيف والزلاجة الفلزية؟ أهمل مقاومة الهواء. $F_N = mg = 52\,\text{N}$ لما كانت السرعة ثابتة، فإن قوة الاحتكاك تساوي القوة التي يؤثر بها الفتى في الزلاجة، وتساوي 36 N. $f_k = \mu_k F_N$	وعليه فإن، $\mu_k = \frac{f_k}{F_N}$ $= \frac{36\,\text{N}}{52\,\text{N}}$ $= 0.69$
19	يدفع عامر صندوقًا ممتلئًا بالكتب من مكتبه إلى سيارته. فإذا كان وزن الصندوق والكتب معًا 134 N ومعامل الاحتكاك السكوني بين البلاط والصندوق 0.55، فما مقدار القوة التي يجب أن يدفع بها عامر حتى يبدأ الصندوق في الحركة؟	$F_{\text{عامر في الصندوق}} = f_s$ $= \mu_s F_N$ $= \mu_s mg$ $= (0.55)(134\,\text{N})$ $= 74\,\text{N}$

مسائل تدريبية

18. 0.69
19. 74 N
20. 78 N
21. 0.39

تطبيقات

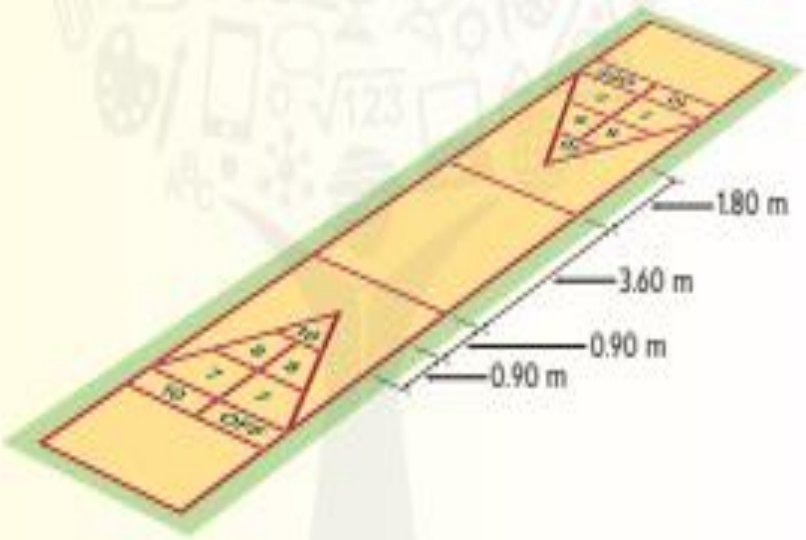
22. ينزلق قالب كتلته 1.4 kg على سطح خشن بحيث تقل سرعة القالب بمعدل $1.25\ m/s^2$. كم يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين القالب والسطح؟

23. تريد أن تحرك خزانة كتب كتلتها 41 kg إلى مكان مختلف في غرفة المعيشة. إذا كنت تدفع بقوة تبلغ 65 N وتتسارع خزانة الكتب بمعدل $0.12\ m/s^2$. فكم يبلغ معامل الاحتكاك الحركي بين خزانة الكتب والسجادة؟

24. افترض أن القوة التي تدفع بها الصندوق هي الواردة في مثال المسألة 4. ما المدة المستغرقة لكي تتضاعف سرعة الصندوق لتصبح 2.0 m/s ؟

25. يقود عمر بسرعة 23 m/s. يرى فرع شجرة مرميًا على الطريق. يبدأ بالضغط على الفرامل عندما كان فرع الشجرة على بعد 60.0 m أمامه. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الإطارات المبللة في السيارة والطريق 0.41. فهل ستتوقف السيارة قبل الاصطدام بالفرع؟ علمًا بأن كتلة السيارة 1200 kg.

26. **التحدي** يدفع فهد قرص في لعبة الأقراص. بسرعة 6.5 m/s كما هو موضح في **الشكل 13**. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين القرص والملعب الصلب يبلغ 0.31. فما المسافة التي يقطعها القرص قبل أن يتوقف؟ هل ستتوقف رميةُ فهد في الجزء المقسم إلى 10 نقاط في الملعب؟



الشكل 13

ام س/ح/ن

22

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

$$F_{\text{المحصلة}} = \mu_k F_N$$
$$ma = \mu_k mg$$
$$\mu_K = \frac{a}{g}$$
$$= \frac{1.25\ m/s^2}{9.80\ m/s^2}$$
$$= 0.128$$

23

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

$$F_{\text{المحصلة}} = F - \mu_k F_N = F - \mu_k mg = ma$$
$$\mu_k = \frac{F - ma}{mg}$$
$$= \frac{65\ N - (41\ kg)(0.12\ m/s^2)}{(41\ kg)(9.80\ m/s^2)}$$
$$= 0.15$$

25

. عندما كان عبد الله يقود سيارته في ليلة ممطرة بسرعة 23 m/s، 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 والطريق0.41، فهل تتوقف السيارة قبل أن تصطدم بالفرع، علمًا بأن كتلة السيارة 2400 kg؟

حدّد الاتجاه الموجب على أنه اتجاه حركة السيارة.

$$F_{\text{المحصلة}} = -\mu_k F_N = -\mu_k mg = ma$$
$$a = -\mu_k g$$

ثم أوجد المسافة باستعمال المعادلة الآتية:

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

وعوّض $d_i = 0$، ومن ثم حل المعادلة بالنسبة لـ d_f.

$$d_f = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$$
$$= \frac{v_f^2 - v_i^2}{(2)(-\mu_k g)}$$
$$= \frac{(0.0\ m/s)^2 - (23\ m/s)^2}{(2)(-0.41)(9.80\ m/s^2)}$$
$$= 66\ m$$

مسائل تدريبية

22. 0.13
23. 0.15
24. 0.50 s
25. 66 m. لذا يرتطم بالفرع قبل أن يتوقف.
26. 6.7 m. سيتوقف القرص في الجزء المكون من 10 نقاط.

3	تذكر أنه لكي يكون الجسم في حالة اتزان، يجب أن تكون القوة المحصلة المؤثرة عليه صفرا.	كما هو مذكور في الكتاب	136

القسم 3

القوى في بُعدين

الفكرة الرئيسة

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

الأسئلة الرئيسة

- كيف يمكن إيجاد القوة اللازمة لتحقيق الاتزان؟
- كيف تُحلَّل مركبتي متجهات القوة للحركة على سطح مائل؟

مراجعة المفردات

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

المفردات الجديدة

قوة التوازن equilibrant

الفيزياء في حياتك

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

إعادة النظر في الاتزان

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

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

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

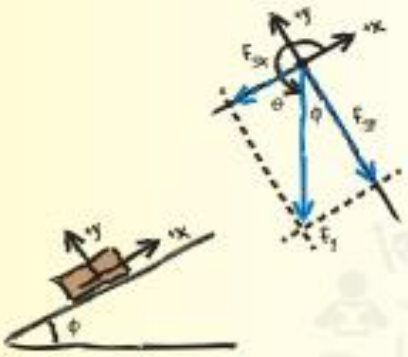
الشكل 14 الحلقة لا تتسارع. ومن ثم لا بد أن محصلة القوة المؤثرة فيها تساوي صفرًا.
قارن بين البركة الرأسية لقوة السحب لأعلى في اتجاه اليمين ووزن الكتلة المتدلية من الحلقة.

ام س/ح/ن

20	تطبيق قوانين نيوتن على المحورين x و y لجسم يتحرك على مستوى مائل مع وبدون احتكاك	المثال 5 ، 29 Q، 31	139 كتابي

مثال 5

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



1 تحليل المسألة

- ارسم نظامًا إحداثيًا يشير فيه المحور x الموجب إلى أعلى السطح المائل.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبيّنًا F_g ومركّبتيها F_{gx} وF_{gy} والزاويتين θ وϕ.

المعلوم	المجهول
$F_g = 562\ N$ في الاتجاه السفلي	$F_{gx} = ?$
$\phi = 30.0°$	$F_{gy} = ?$
	$\theta = ?$

2 إيجاد المجهول

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

$\theta + \phi = 270°$

بالتعويض $\phi = 30°$ ثم إعادة الترتيب.

$\theta = 270° - 30°$

$= 240°$

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

بالتعويض $\theta = 240.0°$، $F_g = 562\ N$.

$= (562\ N)(\cos 240.0°)$

$= -281\ N$

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

بالتعويض $\theta = 240.0°$، $F_g = 562\ N$.

$= (562\ N)(\sin 240.0°)$

$= -487\ N$

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوة بالنيوتن.
- **هل الإشارات لها مدلول؟** تشير المركّبتان إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.
- **هل المقادير واقعية؟** قيمة كل من المركّبتين أقل من F_g، كما كان متوقعًا.

تطبيقات

33. تصعد نملة بسرعة ثابتة كثيب تل يميل عن المستوى الرأسي بزاوية 30.0°. ارسم مخطط الجسم الحر لهذه النملة.

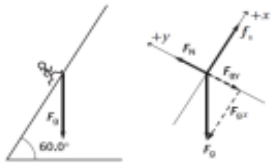
34. حرّك عمر وأحمد طاولةً بعيدًا عن أشعة الشمس. كان على الطاولة كأسٌ من عصير الليمون، وكانت كتلة الكأس 0.44 kg. رفع أحمد طرف الطاولة من ناحيته قبل أن يرفع عمر الطرف المقابل. فمالت الطاولة على المستوى الأفقي بزاوية 15.0°. أوجد مركّبتي وزن الكأس الموازية لسطح الطاولة والعمودية عليه.

35. يتزلج عليٌّ، الذي كتلته 43.0 kg، على عمود درابزين في منزل جدّيه. إذا كان عمود الدرابزين يصنع زاوية 35.0° مع المستوى الأفقي، فما مقدار القوة العمودية بين علي وعمود الدرابزين؟

36. التحدي وُضعت حقيبة على سطح مائل كما هو موضح في **الشكل 18**. ما مقدار الزاوية θ المطلوبة لتكون مركّبة وزن الحقيبة الموازية للسطح مساويةً لنصف مقدار مركّبة وزنها العمودية عليه؟

الشكل 18

ام س/ح/ن

33	**29.** يصعد شخص بسرعة ثابتة تلاً يميل على الرأسي بزاوية 60°. ارسم مخطط الجسم الحر لهذا الشخص. 
34	حرّك أحمد وسمير طاولة عليها كأس كتلتها 0.44 kg بعيدًا عن أشعة الشمس. فرفع أحمد طرف الطاولة من جهته قبل أن يرفع سمير الطرف المقابل، فمالت الطاولة على الأفقي بزاوية 15°. أوجد مركّبتي وزن الكأس الموازية لسطح الطاولة والعمودية عليه. $F_{g,\text{موازية}} = F_g \sin\theta$ $= (0.44\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(\sin 15.0^\circ)$ $= 1.1\ \text{N}$ $F_{g,\text{عمودية}} = F_g \cos\theta$ $= (0.44\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(\cos 15.0^\circ)$ $= 4.2\ \text{N}$
35	∴ ينزلق سامي في حديقة الألعاب على سطح مائل يصنع زاوية 35° مع الأفقي. إذا كانت كتلته 43 kg، فما مقدار القوة العمودية بينه وبين السطح المائل؟ $F_N = mg\cos\theta$ $= (43.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(\cos 35.0^\circ)$ $= 345\ \text{N}$
36	إذا وضعت حقيبة سفر على سطح مائل، فما مقدار الزاوية التي يجب أن يميل بها هذا السطح بالنسبة إلى المحور الرأسي حتى تكون مركّبة وزن الحقيبة الموازية للسطح مساوية لنصف مقدار مركّبتها العمودية عليه؟ $F_{g,\text{موازية}} = F_g \sin\theta$. عندما تكون الزاوية بالنسبة للمحور الأفقي $F_{g,\text{عمودية}} = F_g \cos\theta$. عندما تكون الزاوية بالنسبة للمحور الأفقي $F_{g,\text{عمودية}} = 2F_{g,\text{موازية}}$ $2 = \frac{F_{g,\text{عمودية}}}{F_{g,\text{موازية}}}$ $= \frac{F_g \cos\theta}{F_g \sin\theta}$ $= \frac{1}{\tan\theta}$ $\theta = \tan^{-1}(\frac{1}{2})$ $= 26.6^\circ$ بالنسبة للمحور الأفقي أو $= 63.4^\circ$ بالنسبة للمحور الرأسي

الفيزياء في واقع الحياة

الاتزان والتوازن السكوني أحد أهم تطبيقات متجهات القوة التي يستخدمها المهندسون المعماريون والمصممون في تحقيق الاتزان في الهياكل التي يصممونها وتُعرف باسم التوازن السكوني. يُعد الاتزان عنصرًا حيويًا سواء أكان الهيكل جسرًا أو مبنى أو طريقًا سريعًا. ينبغي تشييد مبانٍ بأسطح ذات قمم بحيث تكون القوة الخارجية في المكان الذي يلتحم فيه السطح بالحائط متوازنة. يمكن القيام بذلك عن طريق دعامة خارجية أو كتيفة داخلية. وفي كل حالة، تُبذل قوة داخلية أفقية لتوازن المركبة الخارجية لمتجه السطح.

الأسطح المائلة

المناقشة

المسألة إذا انزلق جسم لأسفل سطح مائل، فهل يعتمد تسارعه على كتلته؟ أم على معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين؟ أم على زاوية الميل؟

الحل يعتمد على الزاوية ومعامل الاحتكاك، لكنه لا يعتمد على كتلة الجسم.

$A = g(\sin\theta - \mu_k\cos\theta)$. لأن θ كبير لدرجة أنه يسمح بحدوث انزلاق. ش م

استخدام التجربة المصغّرة

في القوى على السطح، سيقيس الطلاب مقدار القوة اللازمة لسحب جسم ما بسرعة ثابتة أعلى سطح مائل.

استخدام تجربة الفيزياء

في الاحتكاك على السطح، سيحقق الطلاب في تسارع جسم ما ينزلق أسفل منحدر. وسيقارنون هذا بقيمتهم المحددة من واقع التجربة لمقدار التسارع.

استخدام تجربة الفيزياء

في القوى العمودية، يحدد الطلاب بالتجربة كيف تسرع قوتان مختلفتان، عندما تعملان بشكل متفصلة، جسمًا معينًا.

مثال إضافي للحل داخل الفصل

استخدم مثال المسألة 5.

المسألة يجلس جيف، الذي يزن 640.0 N، على منحدر تل ينحدر بزاوية مقدارها 35.0° من الاتجاه الأفقي. فما مركبات وزنه الموازية لسطح التل والعمودية عليه؟

الحل إن اختيار محاور مثل $+y$ الذي يوجد أسفل المنحدر ويكون عموديًا عليه و$+x$ الذي يوجد أسفل المنحدر، يؤدي إلى:

$F_{gx} = (640.0\ \text{N})(\sin 35.0°) = 367\ \text{N}$

$F_{gy} = (640.0\ \text{N})(\cos 35.0°) = 524\ \text{N}$

مثال إضافي للحل داخل الفصل

استخدم مثال المسألة 6.

المسألة ينزلق طفل من نقطة سكون أعلى زلاقة في ملعب. إذا كانت الزلاقة تميل بزاوية 30.0° وكان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاقة وسروال الطفل يساوي 0.18. فكم يبلغ تسارع الطفل؟

الحل $F_{gx} - F_{fx} = ma_x$

$mg(\sin\theta) - \mu mg(\cos\theta) = ma_x$

$a_x = g(\sin\theta) - \mu g(\cos\theta)$

$= (9.80\ \text{N/kg})(\sin 30.0°)$

$- 0.18(9.80\ \text{N/kg})(\cos 30.0°)$

$= 3.4\ \text{m/s}^2$

كتابي

3 التقويم

تقويم الفكرة الرئيسة

الحركة على لوح منحدر اسأل الطلاب كيف سيصممون محاور لحركة انزلاق صندوق أدوات أسفل لوح منحدر. ضع المحور *y* عموديًا على اللوح والمحور *x* موازيًا لسطحه. اطلب من الطلاب أن يصفوا كيف ترتبط القوة العمودية بزاوية اللوح. كلما زادت الزاوية، قلت القوة العمودية ($F_N = mg \cos \theta$).

التأكد من الفهم

عوامل التوازن اسأل كيف يمكن بذل قوتين بمقدار 6.0 N و8.0 N على جسم لتحصل على قوة ناتجة مقدارها 10.0 N. يمكن بذل القوتين بزاوية مقدارها 90° مع بعضهما البعض. ارسم القوتين. ثم اسأل كيف يمكن إضافة قوة ثالثة لتحقيق الاتزان. ينبغي أن يصل مقدار القوة الثالثة إلى 10.0 N وتتجه في الاتجاه المقابل لهذه القوة الناتجة التي مقدارها 10.0–N. ذكّر الطلاب أن هذه القوة الثالثة تعد عامل توازن.

إعادة التدريس

تحليل المتجهات أحد تحليلات المتجهات الأكثر شيوعًا هو تحليل وزن جسم على سطح مائل. كرّر هذا التحليل خطوة بخطوة. مع التأكيد على السبب الذي يجعل كل مركبة تقع في المكان الذي توجد فيه. ولا يمكن أن تكون المركبة أكبر من الوزن الإجمالي للجسم. لاحظ أن رسم مثلث كبير سيساعد الطلاب.

مسائل تدريبية

33. انظر دليل الحلول عبر الإنترنت للاطلاع على رسم الجسم الحر.

34. $F_{g,\text{عمودي}} = 4.2\ \text{N}$ ؛ $F_{g,\text{موازٍ}} = 1.1\ \text{N}$

35. 345 N

36. 26.6° بالنسبة إلى الاتجاه الأفقي

17	تطبيق قانون نيوتن الثاني لحل المسائل العددية	38 ,37	141

تطبيقات

37. ارجع إلى الصندوق الموجود على السطح المائل في مثال 5. احسب مقدار التسارع. ما مقدار سرعة الصندوق بعد مرور s 4.00؟

38. قرر جبال أن يجرب الانزلاق إلى أسفل المنحدر المستخدم في مثال المسألة 6. لكن اختلف انزلاق جبال عن انزلاق عمر. فبعد أن دفع فراد نفسه ليبدأ الانزلاق، انزلق بسرعة ثابتة. ما معامل الاحتكاك الحركي بين جبال وسطح المنحدر؟

39. انزلقت داليا، التي كتلتها 45 kg، إلى أسفل منزلق مائل على المستوى الأفقي بزاوية 45°. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين داليا وسطح المنزلق 0.25، فما مقدار تسارعها؟

40. **التحدي** وضعت كتابي فيزياء أحدهما فوق الآخر كما هو موضح في **الشكل 19**. وقمت بإمالة الكتاب السفلي بالقدر الذي يبدأ معه الكتاب العلوي في الانزلاق. أجريت خمس محاولات وقست الزوايا الموضحة في **الجدول 3**.

الجدول 3 المحاولات وزاوية الميل

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

الشكل 19

a. ما متوسط الزاوية ϕ المقيسة خلال المحاولات الخمس؟

b. ما مقدار معامل الاحتكاك السكوني بين غلافي الكتابين؟ استخدام متوسط الزاوية ϕ الذي أوجدته في السؤال **(a)**.

c. إذا افترضنا أنك قست تسارع الكتاب العلوي إلى أسفل فوجدته $1.3\ m/s^2$، فما مقدار معامل الاحتكاك الحركي؟ افترض أن الزاوية ϕ تساوي قيمة المتوسط الذي أوجدته في السؤال **(a)**.

القسم 3 مراجعة

41. **الفكرة الرئيسة** يُسحب متزلج على الماء كتلته 63 kg بحبل على سطح مائل بصنع زاوية 14.0° مع المستوى الأفقي بقوة شد في الحبل تعادل 512 N. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الشخص المتزلج والسطح المائل 0.27، فما مقدار تسارع الشخص المتزلج؟ وما اتجاهه؟

42. **القوى** من طرائق تخليص سيارتك من الوحل أن تربط طرف حبل متين بالسيارة وطرفه الآخر بشجرة. ثم تسحب الحبل من نقطة المنتصف بزاوية قائمة على الحبل. ارسم مخطط الجسم الحر ثم وضّح كيف يمكن أن تكون القوة المؤثرة في السيارة كبيرة حتى لو بذلت قوة صغيرة عند سحب الحبل.

43. **الكتلة** تُعلّق لوحة النتائج الإلكترونية في صالة ألعاب رياضية باستخدام عشرة أسلاك متينة. تصنع ستة من هذه الأسلاك زاوية 8.0° مع المستوى الرأسي، بينما تصنع الأسلاك الأربعة الأخرى زاوية 10.0° مع المستوى الرأسي. إذا كان الشد في كل سلك 1300 N، فما مقدار كتلة لوحة النتائج الإلكترونية؟

44. **جمع المتجهات** ما مجموع المتجهات الثلاثة التي تُشكّل مثلثًا عند وضع رأس متجه على ذيل آخر؟ إذا كانت هذه المتجهات تمثل القوى المؤثرة في جسم ما، فما الذي يعنيه ذلك بالنسبة إلى حالة الجسم؟ صف الحركة الناتجة عن هذه القوى الثلاث المؤثرة في الجسم.

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

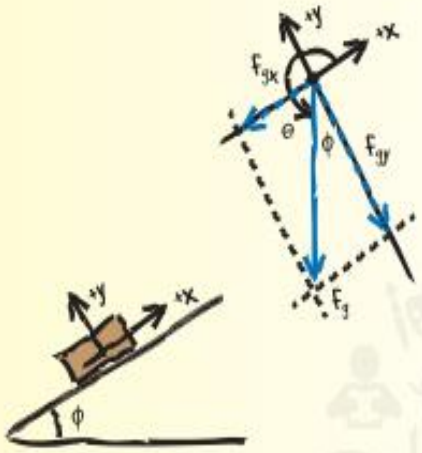
الشكل 20

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

ام س/ح/ن

مثال 5

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



1 تحليل المسألة

- ارسم نظامًا إحداثيًا يشير فيه المحور *x* الموجب إلى أعلى السطح المائل.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبيّنًا F_g ومركّبتيها F_{gx} وF_{gy} والزاويتين θ وϕ.

المعلوم	المجهول
$F_g = 562\ N$ في الاتجاه السفلي	$F_{gx} = ?$
$\phi = 30.0°$	$F_{gy} = ?$
	$\theta = ?$

2 إيجاد المجهول

$\theta + \phi = 270°$

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

$\theta = 270° - 30°$

$= 240°$

◄ بالتعويض $\phi = 30°$ ثم إعادة الترتيب.

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

$= (562\ N)(\cos 240.0°)$

$= -281\ N$

◄ بالتعويض $F_g = 562\ N$ و$\theta = 240.0°$.

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

$= (562\ N)(\sin 240.0°)$

$= -487\ N$

◄ بالتعويض $F_g = 562\ N$ و$\theta = 240.0°$.

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوة بالنيوتن.
- **هل الإشارات لها مدلول؟** تشير المركّبتان إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.
- **هل المقادير واقعية؟** قيمة كل من المركّبتين أقل من F_g، كما كان متوقعًا.

مسائل تدريبية

37. 4.90 m/s²; 19.6 m/s
38. 0.75
39. 5.2 m/s²
40. أ.

$$\phi_{average} = \frac{21° + 17° + 21° + 18° + 19°}{5}$$

$$= 19°$$

b. 0.34

c. 0.20

39

يتزلق 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؟

$$F_{\text{وزن الشخص الموازي للسطح المائل}} - f_k = ma$$

$$a = \frac{F_{\text{وزن الشخص الموازي للسطح المائل}} - f_k}{m}$$

$$= \frac{mg\sin\theta - \mu_k F_N}{m}$$

$$= \frac{mg\sin\theta - \mu_k mg\cos\theta}{m}$$

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

$$= (9.80\ \text{m/s}^2)\left[\sin 45^\circ - (0.25)(\cos 45^\circ)\right]$$

$$= 5.2\ \text{m/s}^2$$

40

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

$$F_{\text{المحصلة }y} = ma_y = 0$$

$$F_{\text{المحصلة }y} = F_{\text{الأسلاك في لوحة النتائج}} - F_g$$

$$= 6F_{\text{السلك}}\cos\theta_6 + 4F_{\text{السلك}}\cos\theta_4 - mg = 0$$

$$m = \frac{6F_{\text{السلك}}\cos\theta_6 + 4F_{\text{السلك}}\cos\theta_4}{g}$$

$$= \frac{6(1300.0\ \text{N})(\cos 8.0^\circ) + 4(1300.0\ \text{N})(\cos 10.0^\circ)}{(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 1.31\times10^3\ \text{kg}$$

41

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

$$F_N = mg\cos\theta$$

$$F_{\text{الحبل في الصندوق}} - F_g - f_k = ma$$

$$F_{\text{الحبل في الصندوق}} - mg\sin\theta - \mu_k mg\cos\theta = ma$$

$$a = \frac{F_{\text{الحبل في الصندوق}} - mg\sin\theta - \mu_k mg\cos\theta}{m}$$

$$= \frac{512\ \text{N} - (63\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(\sin 14.0^\circ) - (0.27)(63\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(\cos 14.0^\circ)}{63\ \text{kg}}$$

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