

## نبذة عن الشكل

الألعاب الدائرية ربما ركب معظم الطلاب أرجوحة في الملاهي. تتكون هذه الألعاب من مقاعد مربوطة بسلاسل متصلة بعمود رأسي دوار. اطلب من الطلاب وصف اللعبة من حيث السرعة الزاوية المتجهة من بداية ركوب اللعبة حتى نهايته. ما الذي يجعل السرعة الزاوية المتجهة للأرجوحة تتغير أثناء الركوب؟ ساعد الطلاب على فهم أن جميع الأجسام التي تغير سرعتها الزاوية المتجهة تخضع لمحصلة عزم دوران.



## بدء النشاط العملي

في نشاط الأجسام الدوارة، يمكن أن يكتشف الطلاب أجسامًا مختلفة في عزم القصور الذاتي.

## نظرة عامة على الوحدة

على غرار السرعة الخطية، تخضع الحركة الدورانية لقوانين نيوتن. ولكن يوجد انحراف إضافي: تتعرض أجزاء الجسم المختلفة الدوارة لسرعات متجهة وتسارعات مختلفة. يلزم معرفة مفاهيم جديدة مثل العزم وعزم القصور الذاتي وعدة رموز جديدة لوصف هذا النوع الشائع من الحركة. يلزم وجود العزم لتحديد هل الجسم في حالة اتزان دوراني أم لا. قبل أن يدرس الطلاب المادة العلمية الواردة في هذه الوحدة، ينبغي عليهم دراسة:

- الحركة المتسارعة في بُعد واحد
- جمع متجهات في بُعدين
- قوانين نيوتن للحركة
- قوانين نيوتن للجذب العام
- الحركة المنتظمة في بُعد واحد
- حل المسائل الواردة في هذه الوحدة، سيحتاج الطلاب إلى التعرف على ما يلي:
- بيانات الرسم البياني
- الترميز العلمي
- الميل
- حل المعادلات من الدرجة الأولى

## عرض الفكرة الرئيسية

الحركة الخطية والدائرية توقع ماذا سيحدث ليوبو سقط أثناء الإمساك بنهاية الخيط. سيدور اليوبو أثناء سقوطه. هل سيتسارع بسرعة  $9.8 \text{ m/s}^2$ ؟ لا. أسقط اليوبو للتأكد. نتج عن قوة الشد الصاعدة في الخيط وجود عزم مما تسبب في تغيير السرعة الزاوية المتجهة. قوة الشد الصاعدة هي السبب الذي لم يجعل اليوبو يتسارع بسرعة  $9.8 \text{ m/s}^2$  ولكن بسرعة أقل.

## نشاط تحفيزي

**تدوير كرة القدم** باستخدام كرة قدم، اسأل الطلاب أولاً متى يمكن التعامل معها كجسيم نقطي. يمكن التعامل مع كرة القدم كجسيم نقطي عندما تكون حركتها الدورانية صغيرة مقارنة بسرعتها الخطية. عندما تمسك بها بين يديك وتدورها عرضاً في جميع الاتجاهات الممكنة، اطلب منهم التفكير في جميع الكميات التي يلزم تحديدها لوصف موضع كرة القدم وكيفية تدويرها وكيفية حركتها. لا ينبغي أن تتضمن الكميات  $X$  و  $Y$  و  $Z$  (والسرعات المتجهة الثلاث) لمركز الكرة فحسب، بل ينبغي أن تتضمن أيضاً اتجاه الكرة حول محاور الدوران الثلاثة (محور رأسي ومحورين أفقيين) ومدى سرعة دورانها حول هذه المحاور الثلاثة. ناقش بإيجاز أجسام أخرى تُعد حركات دورانها مهمة بالنسبة إليها.

ض م بصري-مكاني

## الربط بالمعرفة السابقة

**الحركة الخطية** سيستخدم الطلاب الكميات التي تصف الحركة الخطية (الموضع والسرعة المتجهة والتسارع) وهندسة الدوائر لوضع معادلات للحركة الدورانية.

## 2 التدريس

## الإزاحة الزاوية

## تطوير المفاهيم

**الرموز اليونانية** ستكون الرموز المستخدمة للكميات الواردة في الحركة الدورانية —  $\theta$  (ثيتا) و  $\omega$  (أوميغا) و  $\alpha$  (ألفا) و  $\tau$  (تاو)—غير مألوفة لمعظم الطلاب. وضح أن هذه الرموز تُستخدم للتمييز بين الحركة الخطية والدورانية. **الراديان** يعتمد قياس الزاوية بالراديان (rad) على النسبة بين طول القوس ونصف قطر الدائرة. وضح بالعمليات الحسابية أن وحدات الراديان بلا أبعاد.

## التعزيز

**الدرجة والراديان** لمساعدة الطلاب على التعود على القياس بالراديان، ارسم رسماً دائرياً يوضح الزوايا شائعة الاستخدام ( $30^\circ$  و  $45^\circ$  و  $60^\circ$  و  $90^\circ$  و  $120^\circ$  و  $180^\circ$  وما إلى ذلك) وقياسات الراديان المرتبطة بها ( $\frac{\pi}{6}$  و  $\frac{\pi}{4}$  و  $\frac{\pi}{3}$  و  $\frac{\pi}{2}$  و  $\frac{2\pi}{3}$  و  $\pi$  وما إلى ذلك). وضح للطلاب

ض م بصري-مكاني

## تطوير المفاهيم

**الفكرة الرئيسية** ضع تمثلاً صغيراً على قرص دوار باتجاه الحافة الخارجية. ضع التمثال على موضع الساعة 12 على القرص الدوار. أعط طالباً ساعة إيقاف لحساب وقت الحركة وطالباً آخر شريط قياس من القماش الناعم. شغل القرص الدوار واطلب من الطالب حساب زمن حركة التمثال لعدة دورات. اطلب من الطالب قياس إجمالي المسافة التي قطعها التمثال باستخدام شريط القياس المصنوع من القماش. اسأل الطلاب إذا كانت هناك طريقة أسهل لقياس المسافة المقطوعة. قد يقول الطلاب إنه من الأسهل حساب عدد الدورات وقياس نصف قطر المسار الدائري لتحديد هذه القيمة من محيط الدائرة. أخبر الطلاب أن الإزاحة الزاوية  $\theta$  ترتبط بالمسافة الخطية التي قاسها شريط القياس المصنوع من القماش وحدد الإزاحة الزاوية بالراديان. ثم اطلب من الطلاب تحديد متوسط السرعة الزاوية المتجهة  $\omega$  بوحدات rad/s.

## التفكير الناقد

**الزوايا "الطبيعية"** للبدء، اطلب من الطلاب التفكير في طريقة طبيعية لقياس الزوايا. ثم ارسم على السبورة نصفي قطر في دائرة كبيرة بزاوية  $60^\circ$  تقريباً ( $\frac{\pi}{3}$  راديان) بعيداً عن بعضهم. أوجد بدقة قياس

نصف القطر وطول القوس المحصور. اطلب من الطلاب حساب نسبة طول القوس إلى نصف القطر وتحديد بأي صيغة يكون قياس الزاوية عددياً أقرب من هذه النسبة. ينبغي أن تكون النسبة 1 تقريباً وسيصبح  $\frac{\pi}{3}$  راديان الأقرب حينئذٍ. على هذا الأساس، يصبح الراديان الصيغة الطبيعية لقياس الزوايا. ض م بصري-مكاني

## عرض عملي سريع

## الإزاحة الزاوية



الزمن المقدّر 10 min

**المواد** عجلة دراجة وعصا قياس وشريط قياس مصنوع من القماش.

**الإجراء** قس نصف قطر العجلة. حدد نقطة واحدة على الجدار الجانبي للعجلة في الإطار الخارجي. ضع العجلة على الأرض بحيث تكون النقطة المحددة لأسفل. دوّر العجلة على الأرض دورة واحدة وقيس المسافة التي قطعتها العجلة على الأرض. استخدم هذه المعلومات لربط  $\theta$  بالمسافة المقطوعة. ستكون

المسافة المقطوعة  $2\pi r$ . ق م حركي

## تقويم الفكرة الرئيسة

حركة ساعة بها عقرب للثواني أحضر إلى غرفة الفصل ساعة كبيرة بها عقرب للثواني. اطلب من الطلاب تحديد الإزاحة الزاوية بالراديان (بداية من 12)

لعقرب الثواني عندما يصل إلى  $\theta = \frac{3\pi}{2} \cdot 9$  راديان. اطلب

من الطلاب تحديد السرعة الزاوية المتجهة لعقرب الثواني.

$\omega = 0.10 \text{ rad/s}$ . اطلب من الطلاب تحديد التسارع

الزاوي لعقرب الثواني.  $\alpha = 0 \text{ rad/s}^2$ .

## التأكد من الفهم

توضيح السرعة الزاوية المتجهة استخدم عجلة كبيرة،

يُفضل واحدة مرفقة بها بكرة صغيرة. حدد نقطة على

الإطار الخارجي. لف خيطًا حول العجلة. اسحب نهاية

الخيط بسرعة متجهة ثابتة. اطلب من الطلاب ملاحظة

السرعة الزاوية المتجهة للعجلة. كرر سحب الخيط بنفس

السرعة المتجهة الثابتة تقريبًا كما كان من قبل. لف

الخيط في هذه المرة حول البكرة الصغيرة. ولكن أولاً،

اطلب منهم توقع هل ستتغير السرعة الزاوية المتجهة.

السرعة الزاوية المتجهة:  $\omega = \frac{v}{r}$ .

بما أن نصف القطر أصغر، يجب أن تكون السرعة الزاوية

المتجهة أكبر.

## التوسيع

تحديد التسارع الزاوي اطلب من الطلاب التفكير في

عجلة معلقة على بُعد عدة أقدام من سطح الأرض يوازي

محورها سطح الأرض. يوجد جسم ثقيل معلق في خيط

ملفوف حول المحور عدة مرات. كيف يمكن استخدام

المجسات لقياس التسارع الزاوي للعجلة؟ يمكن توصيل

مستشعر الحركة الدورانية بالجهاز.

اسأل هل التسارع الخطي لنقطة على محيط الدائرة

سيختلف إذا استخدمت بكرة؟  $a = \frac{v^2}{r}$  تعتمد العلاقة على

$r$ . عند استخدام البكرة، سيصبح  $a$  أصغر بكثير.



## تحديد المفاهيم الخاطئة

متوسط السرعة والسرعة اللحظية كما في حالة

الحركة الخطية، تُعد قيم متوسط السرعة والسرعة

اللحظية للسرعة الزاوية المتجهة والتسارع الزاوي للجسم

محيرة في كثير من الأحيان. إذا كانت السرعة الزاوية

المتجهة متغيرة، فيمكن للمرء دائمًا أن يحدد متوسط

السرعة الزاوية المتجهة، لكن يمكن للمرء أيضًا في كل

لحظة تحديد السرعة الزاوية المتجهة اللحظية. إذا كان

الموضع الزاوي مرسومًا كدالة زمنية، فإن السرعة الزاوية

المتجهة اللحظية ستمثل ظل الرسم البياني. إذا كانت

السرعة الزاوية المتجهة تتغير بمعدل ثابت، فإن التسارع

الزاوي المتوسط واللحظي سيكون واحدًا.

**ض م** منطقي-رياضي

## استعن بالجدول 1

الإزاحة الزاوية والخطية ارسم على السبورة رسمًا

يوضح العلاقة بين الإزاحة الزاوية والخطية ويوضح كيفية

زيادة  $X$  مع  $r$  لثبات  $\theta$ . وضح، باستخدام رسومات الحركة،

علاقة التشابه بين  $v$  و  $r$  لثبات  $\omega$ .

**ض م** بصري-مكاني

## التأكد من فهم النص ومراجعة التعليقات التوضيحية

### مراجعة التعليقات التوضيحية

يمثل المتغير  $r$  المسافة التي تبعتها النقطة عن مركز الجسم الدوار. يمثل المتغير  $x$  المسافة التي تتحركها النقطة. يمثل المتغير  $\theta$  زاوية الدوران.

### التأكد من فهم النص

$4\pi$

### التأكد من فهم النص

السرعة الزاوية المتجهة هي الإزاحة الزاوية للجسم مقسومة على الزمن الذي يستغرقه الجسم لتحقيق الإزاحة الزاوية.

### التأكد من فهم النص

تصف السرعة الزاوية المتجهة والتسارع الزاوي على حد سواء حركة الجسم. ولكن التسارع الزاوي يساوي التغير الذي يحدث في السرعة الزاوية المتجهة مقسومًا على الوقت اللازم لحدوث التغير.

### مسائل تدريبية

1. a.  $-120\pi \text{ rad}$  أو  $-377 \text{ rad}$

b.  $-2\pi \text{ rad}$  أو  $-6.28 \text{ rad}$

c.  $-\frac{\pi}{6} \text{ rad}$  أو  $-0.524 \text{ rad}$

2. a.  $6\pi \text{ rad}$

b.  $2\pi \text{ rad/min}$

c. تسارع سالب لأن اللعبة تبطئ حتى تتوقف عن الحركة

3.  $0.707 \text{ m}$

4. a. التغيرات التي تحدث في السرعة واحدة. لذا تصبح التسارعات الخطية واحدة.

b. بسبب انخفاض نصف قطر العجلة من  $35.4 \text{ cm}$  إلى  $24 \text{ cm}$ ، سيزيد التسارع الزاوي.  $\alpha_1 = 5.23 \text{ rad/s}^2$ ;  $\alpha_2 = 7.7 \text{ rad/s}^2$

5. بما أن  $\omega = \frac{v}{r}$ ، إذا زاد  $r$ ، فإن  $\omega$  سيقبل أيضًا عدد الدورات.

## القسم 1 مراجعة

6. a.  $2.36 \times 10^6 \text{ s}$

b.  $2.66 \times 10^{-6} \text{ rad/s}$

c.  $4.63 \text{ m/s}$

d. تبلغ السرعة على خط استواء الأرض  $464 \text{ m/s}$  أو 100 مرة أسرع تقريبًا.

7. a.  $\Delta\theta = -\frac{\pi}{3} \text{ rad}$

b.  $\Delta\theta = -4\pi \text{ rad}$

c.  $\Delta\theta = -240\pi \text{ rad}$

8.  $-8.3 \text{ rad/s}^2$

9. الإزاحة الزاوية — نعم؛ المسافة الخطية — لا. لأنها دالة نصف القطر

10. a.  $52 \text{ rad/s}$  أو  $5.0 \times 10^2 \text{ rev/min}$

b.  $25 \text{ rad/s}$  أو  $2.4 \times 10^2 \text{ rev/min}$

c.  $-5.9 \times 10^{-3} \text{ rad/s}^2$



## نشاط تحفيزي

ذراع الرافعة استخدم باب غرفة الفصل أو جسماً آخر كبيراً يدور على محور حول حافة واحدة. اطلب من الطلاب اكتشاف كيف يغير موضع القوة المؤثرة واتجاهها دوران الباب. وضّح كيف يحدث أكبر دوران لأقل قوة عندما تؤثر القوة عمودياً في الباب إلى أبعد ما يمكن عن المفصلة. **ض م حركي**

## الربط بالمعرفة السابقة

القوة سيستخدم الطلاب مفهوم الحركة الزاوية وقانون نيوتن الثاني وهندسة الدوائر لتوضيح قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية.

## 2 التدريس

## القوة والسرعة الزاوية المتجهة

## تطوير المفاهيم

الحد الأقصى للعزم عند لف خيط حول جسم. سيصبح دائياً مماساً للدائرة ومن ثم يكون عمودياً على نصف القطر. The torque exerted when you exert a force  $F$  on the string is  $\tau = rF$  **ض م**

## نشاط التحدي في الفيزياء

الفكرة الرئيسة أحضر كرة قدم إلى الفصل. أعط هذه الكرة إلى طالب واطلب منه أن يقف أمام الغرفة. ارم "خط مرمى" على الأرض بشريط لاصق من نوع معين. اطلب من الطالب الذي يحمل كرة القدم أن يقف على بُعد يضع أقدام من "خط المرمى". كيف ينبغي التصدي للاعب لمنعه من الانتقال إلى "خط المرمى"؟ قد يجيب الطلاب أنه ينبغي التصدي للاعب عند مستوى تحت الخصر. احرص على أن تشرح للطلاب أن التصدي عند مستوى تحت الخصر يولد عزماً على اللاعب يجعل جسمه يدور بسرعة متجهة زاوية معينة. ستجعل هذه الحركة الزاوية اللاعب يرتطم بالأرض بشكل أسرع من ملامسته عند مستوى الخصر. قد تتسبب ملامسة اللاعب عند مستوى الخصر في انتقال اللاعب عدة أقدام قبل عرقلة لمنعه من الوصول إلى "خط المرمى". حرصاً على سلامة الطلاب، ذكرهم بأن هذا مجرد عرض توضيحي ولا تسمح لهم بالتصدي للعارض.

## استعن بالشكل 6

تصورات معادلة العزم استكشف معادلة العزم:  $\tau = Fr \sin \theta$ . لاحظ أنه يمكن كتابتها بالصيغة  $\tau = r(F \sin \theta)$  أو  $\tau = F(r \sin \theta)$ . في الحالة الأولى، يمكن تفسيرها كقوة، نقل بسبب الزاوية التي تؤثر فيها. مضروبة في المسافة. في الحالة الثانية، قوة مضروبة في ذراع رافعة، تعتمد على المسافة والزاوية التي تؤثر فيها القوة.

## ض م منطقي-رياضي

## المناقشة

المسألة عند أي نقطة بين جانب المفصلة والحافة الخارجية من الباب ستولد قوة محددة عمودية على الباب نفس عزم قوة متساوية في القوة ولكن بزاوية  $30^\circ$  على طول الحافة الخارجية للباب؟

الحل سيكون العزم متساوياً إذا كانت القوة تؤثر في منتصف الباب. **ض م**

## مثال إضافي للحل داخل الفصل

استخدم مثال المسألة 1.

المسألة ما القوة المطبقة عند استخدام مفتاح الربط نفسه (كما في مثال المسألة) بعزم مقداره  $35\text{ N}\cdot\text{m}$  عند زاوية مقدارها  $75^\circ$  من الخط العمودي؟

الحل مقارنة بالزاوية  $60^\circ$  من الخط العمودي في مثال المسألة، تعد الزاوية  $75^\circ$  من الخط العمودي أقرب إلى الزاوية القائمة بذراع نصف قطري. ومن ثم، فإن القوة اللازمة لبلوغ عزم  $35\text{ N}\cdot\text{m}$  ينبغي أن تقل عن القوة الموجودة في مثال المسألة.

$$F = \frac{\tau}{r \sin \theta} = \frac{(35\text{ N}\cdot\text{m})}{(0.25\text{ m})\sin(75^\circ)} = 1.4 \times 10^2\text{ N}$$

## التدريس المتمايز

ضعاف البصر استشر العزم! أدر عصا المكنسة حول طرف واحد على المحور. ثبت خطافات في الجزء السفلي على مسافات متفاوتة من المحور. اسمح لأحد الطلاب ضعاف البصر بأن يختبر رفع جسم ثقيل. علّق الجسم من خطاف محدد أثناء رفع الطالب للطرف الحر لعصا المكنسة. اطلب من الطالب أن يصف القوة المبذولة على عصا المكنسة. صِف للطالب موقع الخطاف. كرر هذا النشاط باستخدام خطاف آخر واطلب من الطالب أن يكون علاقة بين العزم وذراع الرافعة. بدلاً من ذلك، اطلب من طالب أن يسحب خطافاً لأسفل باستخدام ميزان لبذل قوة ثابتة مع ضبط الزاوية لتغيير العزم. **ض م حركي**

رسم بياني لذراع رافعة أسأل الطلاب عن كيفية تمثيل ذراع الرافعة بيانيًا. لتصور كيف أن تأثير قوة في زاوية يقلل من ذراع الرافعة، ينبغي أن يستخدم الطلاب المثال الموضح في الشكل 6 لرسم ذراع الرافعة عند تأثير قوة في مفتاح بطول 25 cm بزاوية 15° و 30° و 45° و 60° و 75°. ما طول أذرع هذه الرافعة؟ 6.5 cm و 12 cm و 18 cm و 22 cm و 24 cm

ض م منطقي-رياضي

## إيجاد محصلة العزم

### استخدام التشبيه

المتوسطات نقطة التوازن، كما هي محددة حيث تساوي جميع المشاركات في مجموع محصلة العزم صفرًا. يمكن مقارنتها بأنواع أخرى من المتوسطات الرياضية. على سبيل المثال، فكر في درجات الطلاب في امتحان العلوم. إن إضافة درجة أعلى بكثير من متوسط غرفة الفصل أو أقل بكثير منه ستجعل المتوسط يتحرك أكثر مقارنة بإضافة درجة أقرب إلى المتوسط الأولي.

### الفيزياء في الحياة اليومية

مفتاح ربط العزم يُعد بذل العزم الصحيح عند ربط برغي مهمًا جدًا — العزم ضعيف جدًا ولن يؤثر البرغي بقوة كافية لكي يبقى الجسمين مغًا. ومن ناحية أخرى، إذا بذلت الكثير من العزم، فمن الممكن أن تكسر البرغي. صُمم مفتاح ربط العزم ليمنع الشخص من بذل الكثير من العزم. يوجد في الطرز البسيطة مقبض مرن ومؤشر دقيق يحول المقدار الذي أثناء المقبض إلى عزم. بينما يوجد في الطرز الأعلى ثمنًا جهاز يصدر نفرة مسموعة عند بذل العزم الصحيح. يوجد في معظم المفاتيح الكهربائية والهوائية مؤشرات عزم مدمجة لمنع العمال من بذل عزم زائد.

### مثال إضافي للحل داخل الفصل

استخدم مثال المسألة 2.

المسألة افترض أن عاتشة استبدلت بآمال التي تزن 52 kg. أين ينبغي أن تجلس آمال؟

الحل  $F_{gM} = m_M g = (52 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg}) = 5.1 \times 10^2 \text{ N}$ . استبدل 4.2 بـ 5.1 في المعادلة النهائية

لنحصل على

$$r_M = \frac{(5.5 \times 10^2 \text{ N})(1.75 \text{ m})}{(5.5 \times 10^2 \text{ N} + 5.1 \times 10^2 \text{ N})} = -0.91 \text{ m}$$

### المناقشة

المسألة أخبر الطلاب أن يتخيلوا لوحًا خشبيًا متناسقًا ثقيلًا جدًا طوله  $l$  وكتلته  $m_1$  يمتد عبر مسافة  $r$  على حافة منصة صغيرة. لم يُثبت اللوح على المنصة بأي طريقة. أسأل الطلاب عن العوامل التي تحدد أقصى قيمة للمسافة  $r$  بحيث يمكن لشخص كتلته  $m_2$  أن يمشي إلى نهاية اللوح. اطلب من الطلاب وضع معادلة لهذه المسافة القصوى.

الحل يعمل طول اللوح وموضع مركز اللوح بالنسبة إلى حافة المنصة وكتلة الشخص على تحديد المسافة القصوى.

ضع المعادلة مع الأخذ في الاعتبار أولاً أن اللوح متناسق، لذا يمكن اعتبار أن الكتلة تؤثر في مركزه. ثم افترض أن الشخص في نهاية اللوح أثناء ضبطه للحصول على أقصى مسافة  $r$  قبل أن يتقلب اللوح. محصلة العزم تساوي صفرًا. اضبط العزم الذي في اتجاه عقارب الساعة بحيث يساوي العزم الذي في عكس اتجاه عقارب الساعة ثم أوجد الحل لمعرفة نتائج  $r$

$$m_1 g \left( \frac{l}{2} - r \right) = m_2 g r$$

$$r = \left( \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right) \frac{l}{2}$$

### خلفية عن المحتوى

الأرجوحة السبب في جميع التغيرات التي تحدث في الحركة الدورانية هو محصلة العزم. عند دراسة حالة الأرجوحة، قد تحتاج إلى تذكير بعض الطلاب بأن العزم كمية متجهة في ديناميكا الحركة الدورانية يمكن جمعها. وقد تكون متوازنة أو غير متوازنة. إذا كان العزم غير متوازن على الأرجوحة، فإن اللوح سيدور. يبذل شخصان على النهايتين المتقابلتين من الأرجوحة عزمًا في اتجاهين متضادين. إذا كان عزمهما المبدول متساويًا في المقدار ومضادًا في الاتجاه، فإن اللوح لن يدور. إذا كان وزن الشخصين متساويًا، فإن اللوح سيصبح متزنًا عندما يجلسان على مسافة متساوية من المحور — أو نقطة الارتكاز. في هذه الحالة، إذا كان وزنهما غير متساو، فإن الشخص الأثقل يجب أن يجلس بالقرب من المحور لكي يصبح اللوح متزنًا.

### استخدام التجربة الفيزيائية

في نشاط الرفع، يمكن أن يوضح الطلاب كيف تقلل الرافعة من الجهد اللازم لإحداث قوى كبيرة.

### استخدام التجربة الفيزيائية

في نشاط العزم، يمكن أن يقيس الطلاب القوى التي تُحدث العزم.

### تطوير المفاهيم

**المسافة والعزم** وضَّح للطلاب أن العزم يُجمع إذا كان في الاتجاه نفسه ويُطرح إذا كان في اتجاه مختلف. اطلب من الطلاب التفكير في دفع باب لفتحه. يُعد مكان الدفع واتجاهه من العوامل المهمة في تحديد السهولة التي يمكنهم من خلالها دفع الباب لفتحه. ربما شاهد بعضهم الأطفال الصغار وهم يوضحون أنه عندما يدفعون الباب بعيدًا عن المفصلات (نقطة الدوران)، يصبح فتحه أسهل. بعبارة أخرى، تؤدي زيادة مسافة نصف القطر إلى زيادة العزم. قد يفهم الطلاب عزم القصور الذاتي بعد فهم أهمية المسافة في تعريف العزم. **أم بصري-مكاني**

### استعن بالجدول 2

**توزيع الكتلة** اطلب من الطلاب مقارنة عزم القصور الذاتي لجسم كروي وأسطوانة وحلقة بنفس الكتلة ونصف القطر. ذكّر الطلاب أنه كلما كانت الكتلة بعيدة عن المحور، كان عزم القصور الذاتي أكبر. اسأل الطلاب عن الجسم الذي يوجد جزء كبير من كتلته بعيدًا عن المحور. **توجد كتلة الحلقة جميعها على الحافة؛ الأسطوانة في الوسط. معظم كتلة الجسم الكروي بالقرب من المحور.**

**ض م**

### تطوير المفاهيم

**تكامل الكتلة** يتطلب حساب عزم القصور الذاتي استخدام حساب التكامل. من الناحية النظرية، يقسّم الجسم إلى أجزاء صغيرة من الكتلة. تُضرب الكتلة الصغيرة في مربع المسافة من المحور. تُجمع حواصل الضرب هذه على جميع أجزاء الكتل الصغيرة.

### التعزيز

**توضيح** إذا كان لجسمين نفس الكتلة ولكنهما مختلفان في الشكل، فإن الجسم الذي وُزعت كتلته بعيدًا عن محور الدوران سيكون له عزم قصور ذاتي أكبر. اعرض للطلاب مجموعات ثنائية من الأجسام التي لها نفس الكتلة ولكنها مختلفة في الشكل، مثل الحلقة والقرص. اطلب منهم تحديد الجسم الذي ينبغي أن يكون عزم قصوره الذاتي أكبر. ينبغي أن يكون الطلاب قادرين على توضيح أن الشكل الحلقي له عزم قصور ذاتي أكبر. **أم حركي**

**الطلاب دون المستوى** اطلب من الطلاب أن يحققوا في كيفية تأثير عزم القصور الذاتي في السرعة المتجهة لجسم معين. اطلب من الطلاب أن يستخدموا طوقًا وقرصًا لهما نفس القطر والعرض والكتلة. اسأل الطلاب ما الجسم الذي توجد كتلته في أبعد نقطة من مركزه. **الطوق** ما تسأل الطلاب عنه حقًا هو تحديد كيف توزع كتلة كل جسم حول محور دورانه. اسأل الطلاب أن يتوقعوا ما الجسم الذي سيصل إلى الجزء السفلي من الميل أولاً. واطلب منهم أن يختبروا توقعاتهم. أرشد الطلاب أن يضعوا القرص والطوق على ميل ويحرروهما في آن واحد. سيصل القرص الصلب إلى الجزء السفلي أولاً. **أم حركي**

### مثال إضافي للحل داخل الفصل

استخدم مثال المسألة 3.

**المسألة** في حالة تدوير العصا، في مثال المسألة 3، بمقدار حوالي ربع المسافة من جسم واحد مستدير، فكيف يمكن مقارنة عزم القصور الذاتي بالمثالين؟

**الحل** يبلغ جسم واحد مستدير ربع طول القضيب من المحور؛ يبلغ الجسم الآخر ثلاثة أرباع

$$I = m\left(\frac{1}{4}l\right)^2 + m\left(\frac{3}{4}l\right)^2 = m\left(\frac{5}{8}l\right)^2$$

$$\text{إذن } I = (0.30 \text{ kg})\left(\frac{5}{8}(0.65 \text{ m})\right)^2 = 0.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

ما الوسيط بين الحالتين الآخرين.

## استخدام التجربة المصغرة

في العزم المتوازن، يمكن للطلاب إيجاد شرط الاتزان وحساب العزم.

## قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية

### عرض عملي سريع

### قانون نيوتن الثاني للحركة

### الدورانية

الزمن المقدر 5 دقائق

**المواد:** أنبوبتا مياه 3/4" PVC طول كل منها 1 m، أربعة قضبان حديد تسليح طول كل قضيب 0.3 m

**الإجراء:** أمام طلاب الفصل، أدخل قضيبين من الحديد المسلح في أنبوبة واحدة بحيث يتلاقيان عند المركز. أدخل القضيبين الحديدين الآخرين في الأنبوبة الأخرى بحيث يصحان بمحاذاة أطراف الأنبوبة. اطلب من الطلاب رفع الأنبوب ليلاحظوا أن كتلتها واحدة. اطلب من الطلاب أن يمسكوا كل أنبوبة من المركز ويقوموا بتدويرها إلى الأمام وإلى الخلف. يسهل ملاحظة العزم اللازم لتسريع الأنبوب في المعصمين.

### خلفية عن المحتوى

**وصف الحركة الدورانية:** تتعلق الحركة الدورانية بحركة جسم صلب حول نقطة تُسمى محور الدوران. لوصفها، نستخدم نظامًا إحداثيًا يتيح لنا قياس الزوايا المتغيرة. التسارع الزاوي ( $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$  rad/s<sup>2</sup>) هو معدل تغير السرعة الزاوية المتجهة ( $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  rad/s). تُعد السرعة الزاوية المتجهة والتسارع الزاوي كميات متجهة. يُحدّد متجه التسارع الزاوي وفقًا لمتجه السرعة الزاوية المتجهة المشار إليه على طول محور الدوران. في الحركة الدورانية، نظرًا لأن عزم القصور الذاتي ( $I$ ) يوضح كيفية توزيع كتلة جسم حول محور الدوران، يمكن أيضًا وصف العزم ( $\tau$ , tau) بأنه حاصل ضرب عزم القصور الذاتي في التسارع الزاوي ( $\tau = I\alpha$ ).

### عرض عملي سريع

### نموذج عزم القصور الذاتي

### ومقاومة الحركة

الزمن المقدر 10 دقائق

**المواد:** شريط لاصق، أربع، عصا قياس، ساعة إيقاف

### الإجراء

1. ألصق أربعًا على العلامتين 40 cm و 60 cm على عصا القياس. تحذير: ينبغي أن يرتدي الجميع نظارات واقية.
2. اطلب من أحد الطلاب أن يمسك عصا القياس أفقيًا، من العلامة 50 cm. بذراع ممدود. اطلب من طالب آخر أن يستخدم ساعة إيقاف لتسجيل مقدار الوقت الذي يحتاج إليه الطالب الأول ليؤرجع عصا القياس ذهابًا وإيابًا. من الاتجاه الأفقي إلى الرأسي، خمس مرات بأقصى سرعة ممكنة.
3. كرر هذا مع وضع أربع عند العلامتين 25 cm و 75 cm ومرة أخرى عند العلامتين 10 cm و 90 cm. اسأل الطلاب ماذا يحدث لزمّن التأرجح (الوقت اللازم لكل تأرجح) عندما توزع الكتلة بعيدًا عن مركز الدوران. ينبغي أن يزيد الزمن، بسرعة، زيادة مقدارها ثمانية عن المرة الأولى. إذا بذل الطالب جهد التواء مماثلًا في كل المحاولات الثلاث، يوضح هذا أنه عندما توزع الكتل النقطية بعيدًا عن محور الدوران، تزداد مقاومتها للدوران أسرع مما ستشير إليه العلاقة الطردية. **ض م حركي**

### نشاط التحدي في الفيزياء

#### اختبار صلاحية النماذج اطلب من الطلاب أن

يحسبوا عزم القصور الذاتي المضاف للربع بسبب دورانه. إذا كان الربع هو المسافة  $r$  من محور الدوران، فإن عزم قصوره الذاتي ككتلة نقطية هو  $I = mr^2$ .

وعزم قصوره الذاتي كقرص رقيق هو  $I_{\text{disk}} = m\left(\frac{1}{12}h^2 + \frac{1}{4}r^2\right)$  حيث  $h$  هي كثافته و  $r$  هي نصف قطره. احسب عزم القصور الذاتي المضاف بسبب دورانه. ما الكسر العشري لعزم قصوره الذاتي كجسيم نقطي عندما يبعد 10 cm عن المحور؟ وعندما يبعد 2 cm عن المحور؟

$$m = 5.5 \text{ g}, r = 12 \text{ mm}, h = 1.3 \text{ mm}$$

$$I_{\text{disk}} = 2.0 \times 10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \text{ عند } 2 \text{ cm}$$

$$I = 2.2 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \text{ عند } 10 \text{ cm}$$

$I = 5.5 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ . إذن يكون عزم القصور الذاتي المضاف حوالي 9 بالمائة عند 2 cm ويكون حوالي 0.4 بالمائة عند 10 cm. **ق م منطقي-رياضي**

استخدم مثال المسألة 4.

**المسألة** تُسرّع العجلة المستخدمة في مثال المسألة من نقطة السكون إلى  $8.00 \text{ rev/s}$  في  $5.00 \text{ s}$  فقط. إلى أي مدى ستتأثر القوة اللازمة؟

**الحل** تتغير كمية واحدة معروفة فقط ( $t$ ). في الجزء "a"، يتضح التسارع الزاوي الآن عن طريق  $\alpha = \frac{2\pi(8.00 \text{ rev/s})}{5.00 \text{ s}} = 10.1 \text{ rad/s}^2$  إنه أكبر

ثلاثة أضعاف. يتناسب العزم والقوة أيضًا مع التسارع الزاوي، لذا يزيدان أيضًا ثلاثة أضعاف. ومن ثم، تساوي القوة  $16.5 \text{ N}$ .

### 3 التقويم

#### تقويم الفكرة الرئيسة

**الاحتكاك بوصفه قوة عزم** أدر عجلة الدراجة أو جسمًا آخر يشبه القرص بحيث يتحرك بسرعة إلى حد ما. اطلب من الطلاب أن يكتبوا قائمة بالطرق المختلفة لإيقاف العجلة أو القرص باستخدام ممحاة سبورة طباشيرية أو سبورة بيضاء. اختبر عددًا قليلًا من الطرق. ما الطريقة التي تعمل على نحو أفضل؟ قد يجيب الطلاب أن أفضل طريقة هي تطبيق قوة على حافة العجلة ذات أكبر قدر ممكن من القوة. اشرح كيف تقل السرعة المتجهة الزاوية بشكل أسرع عند تطبيق أقصى عزم. تتطلب زيادة العزم إلى أقصى قدر تطبيق قوة بعيدة عن مركز العجلة قدر الإمكان.

#### التأكد من الفهم

**التوضيح** قدّم دراجة أو ركّب عجلة أو ارسم ترس دراجة بدواسة على السبورة. اسأل الطلاب ما موقع الدواسة الذي سيختارونه لتشغيل الدراجة من نقطة السكون. واطلب منهم أن يستخدموا العزم وقانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية في إجاباتهم. عندما تكون الدواسة أفقية، يصبح العزم الخاص بقوة محددة أكبر ما يكون. إذا شغل أحد دواسة الدراجة بزواوية تبدأ من  $30^\circ$  إلى  $45^\circ$  فوق المستوى الأفقي، فإن العزم يقل إلى  $87$  بالمائة فقط أو  $71$  بالمائة من أقصى قدر له، ولكن الدواسة يمكن أن تبعد قبل أن يهبط العزم إلى الصفر في الجزء السفلي. **ض م**

#### إعادة التدريس

**عزم القصور الذاتي** راجع عزم القصور الذاتي وحقيقة أنه يمكن التعبير عنه كنسبة العزم إلى التسارع الزاوي. أحضر مجموعة متنوعة من الأجسام ذات كتلة متساوية وعزم قصور ذاتي مختلف، بداية من أنابيب مبطنة بحدديد تسليح إلى قطع معدنية مستخدمة في أقلام رصاص أو حلقات وأسطوانات صلبة. اطلب من الطلاب أن يستنبطوا طرقًا لمقارنة قوى عزم القصور الذاتي للعنصرين. **ض م**

#### تحديد المفاهيم الخاطئة

**القصور الذاتي والعزم** يمتلك عزم القصور الذاتي لكتلة نقطية عاملين هما قيمة الكتلة ومربع مسافتها من محور الدوران. ولأن العزم يتضمن حاصل ضرب القوة في قوة المسافة الأولى، قد يحدث خلط. قد يساعد التلميح التالي الطلاب على فهم هذا الأمر. أولاً، ذكّر الطلاب أن التسارع الزاوي يرتبط بالتسارع الخطي،  $a = r\alpha$ . وبعد ذلك، ينبغي أن يطبق الطلاب قانون نيوتن الثاني للحركة الخطية،  $F = ma$ . والآن، اطلب منهم ضرب كلا طرفي هذه المعادلة في  $r$ ،  $Fr = r^2\alpha$ . إذن،  $\frac{Fr}{r^2} = \frac{\tau}{I}$ . يشكل التسارع

الزاوي والعزم وعزم القصور الذاتي، على النحو المحدد، عمل قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية. **ض م**

#### نشاط التحدي في الفيزياء

**سباق العلب** اطلب من الطلاب أن يتسابقوا لدرجة عليتي حساء، حساء سائل مقابل حساء غليظ القوام، على لوح مائل. اسأل الطلاب ما العلبة التي تتفوق على الأخرى. لماذا؟ اطلب من الطلاب أن يبدؤوا السباق بعلب ذات أنصاف أقطار مختلفة ويحللوا النتائج ويعرضوها أمام الفصل. يمثّل مفتاح الفهم في اختيار محور الدوران في المكان الذي تلامس العلبة المائل فيه. اجمع عزم القصور الذاتي لجسم نقطي عند حافة العلبة على عزم القصور الذاتي للعلبة، إذن  $I = mr^2 + I_{\text{علبة}}$ . بعد ذلك، يؤدي تطبيق القانون الثاني لنيوتن إلى  $a = \frac{g \sin \theta}{1 + \frac{I_{\text{can}}}{mr^2}}$ .

تعمل علبة الحساء السائل كطوق لأن السائل لا يدور في وقت السباق القصير. تعمل علبة الحساء الغليظ القوام كأسطوانة صلبة لذا تفوقت على العلبة الأخرى. ولا يؤثر نصف قطر العلبة في التسارع. **ق م حركي**

## التأكد من فهم النص ومراجعة التعليقات التوضيحية

### مراجعة التعليقات التوضيحية

يجب استخدام جيب الزاوية عندما لا تساوي الزاوية  $(\theta)$   $90^\circ$ .

### التأكد من فهم النص

يمثل المتغير  $L$  طول ذراع الرافعة. يمثل المتغير  $r$  المسافة الواصلة من محور الدوران إلى النقطة التي تطبق فيها القوة. يمثل المتغير  $\theta$  الزاوية بين القوة ومحور الدوران إلى النقطة التي تطبق فيها القوة.

### التأكد من فهم النص

يمثل المتغير  $T$  العزم. يمثل المتغير  $F$  القوة. يمثل المتغير  $r$  المسافة الواصلة من محور الدوران إلى النقطة التي تطبق فيها القوة. يمثل المتغير  $\theta$  الزاوية بين القوة ومحور الدوران إلى النقطة التي تطبق فيها القوة.

### مراجعة التعليقات التوضيحية

يلزم عزم أقل عندما توضع يدك في منتصف الكتاب. لأن متوسط مسافة كتلة الكتاب من محور الدوران أقل بكثير في هذه الحالة.

### التأكد من فهم النص

$$I = mr^2$$

### مسائل تدريبية

11.  $1.4 \times 10^2 \text{ N}$

12.  $0.407 \text{ m}$

13. a.  $36.6^\circ$

b.  $30.2^\circ$

14.  $94 \text{ N}\cdot\text{m}$

15.  $1.1 \times 10^2 \text{ N}\cdot\text{m}; 0.0 \text{ N}\cdot\text{m}$

16.  $1.5 \text{ m}$

17. يجب بذل عزم مقداره  $+2.70 \text{ N}\cdot\text{m}$ .

18.  $0.056 \text{ kg}$

19.  $0.042 \text{ kg}$

20.  $789 \text{ N}$

21. عند مضاعفة  $r$ ، تُضرب  $I$  بـ 4 مرات.

22. كلما زادت الكتلة التي تبعد عن المركز، أصبح عزم القصور الذاتي أكبر. ومن ثَمَّ، تكون قيمة الكرة الجوفة أكبر من  $I$ .

23. a.  $4.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

b.  $2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

c.  $1.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

24. a. تختلف قيم عزم القصور الذاتي. إذا كان التباعد

بين الأجسام الكروية هو  $r$  ويمتلك كل جسم كروي الكتلة  $m$ ، إذن سيكون الدوران حول الجسم الكروي A هو  $I = mr^2 + m(2r)^2 = 5mr^2$ . وسيكون الدوران حول الجسم الكروي C هو  $I = mr^2 + mr^2 = 2mr^2$ . وسيكون عزم القصور الذاتي أكبر عند الدوران حول الجسم الكروي A.

b. حول الجسم الكروي A:  $0.020 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ; حول الجسم الكروي C:  $0.008 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

25.  $16 \text{ rev/s}$

26.  $9.0 \text{ N}$

27.  $5.5 \text{ N}$

28.  $4.3 \text{ N}$

29.  $8.99 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

30.  $7.7 \text{ N}$

## التحدي في الفيزياء

$B > C > D > A$

### القسم 2 مراجعة

31. لتوليد عزم بأقل قوة، ينبغي أن تدفع بالقرب من الحافة وعند الزوايا القائمة للباب قدر الإمكان.

32.  $\frac{F_{\text{صديق}}}{F_{\text{أنت}}} = 1.8$ . يدفع صديقك ضعف ما تدفع أنت تقريبًا.

33. a.  $0.44 \text{ N}\cdot\text{m}$

b.  $1.6 \text{ N}$

34.  $29 \text{ N}\cdot\text{m}$

35. الجسم الكروي > القرص الصلب > العجلة. كلما قل عزم القصور الذاتي، قل العزم اللازم لتعطي جسمًا ما التسارع الزاوي نفسه.

36.  $5.99 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

37. العزم:  $\tau = Fr \sin \theta$ . تنتج القوة بسبب الاحتكاك، ويتسبب العزم في تدوير الكرة في اتجاه عقارب الساعة. وفي حالة عدم وجود احتكاك على السطح، فمن ثَمَّ لن توجد قوة موازية لهذا السطح ولا عزم ومن ثَمَّ لن يوجد دوران. تذكر، يتم تجاهل القوى التي تؤثر في النقطة المحورية (مركز الكرة). انظر دليل الحلول عبر الإنترنت للاطلاع على رسم الجسم الحر.



## نشاط تحفيزي

**نقطة التوازن** استخدم قضيبًا واحدًا صلبًا أو عصا أو خيطًا معينًا وثلاثة أثقال وأظهر حركة بسيطة. ينبغي أن يكون هناك ثقلان متساويان تقريبًا وأن يكون الثقل الثالث نصف وزنهما تقريبًا. اربط مجموعات مختلفة مكونة من ثقلين من الأثقال الثلاث في العصا. وفي كل حالة، حاول أن تحتفظ بالحركة عن طريق ربط قطعة أخرى من الخيط في نقطة التوازن التي يقترحها الطلاب. استمر في تجربة اقتراحاتهم حتى تتوازن الحركة. دع الطلاب يتصورون المكان الذي ينبغي أن تكون فيه نقطة التوازن في ضوء المجموعات المختلفة.

ض م بصري-مكاني

## الربط بالمعرفة السابقة

**الاتزان** سيجمع الطلاب بين مفهومي محصلة القوة وصافي العزم لتحليل حالات الاتزان. وبعد ذلك سيوسعون معرفتهم بالسرعة المتجهة الزاوية والسرعة المتجهة الخطية في الحالات التي تحدث فيها الحركة داخل إطار مرجعي دوار.

## 2 التدريس

## مركز الكتلة

## تطوير المفاهيم

**أهمية مركز الكتلة** يمتلك جسم ما أو مجموعة أجسام مركز كتلة. وهو النقطة التي يمكن اعتبار الكتلة الكلية عندها فاعلة. على سبيل المثال، اطلب من الطلاب أن يحددوا موقع مركز كتلة جسم وزن 10 kg وجسم وزن 20-kg ويبعدان 3 m عن بعضهما البعض. في هذه الحالة، يقع مركز الكتلة على خط بين الجسمين عند نقطة تبعد 1 m عن جسم وزن 20 kg وعند نقطة تبعد 2 m عن جسم وزن 10 kg. ض م بصري-مكاني

## التعزيز

**الفكرة الرئيسة** صف هذا المشهد السينمائي وارسمه على السبورة. في أحد الأفلام المشهورة، تحاول عالمتان إغلاق باب يوجد ديناصور رابتور على جانبه الآخر. وتضغط إحدهما على الباب بالقرب من المقبض بينما تدفع الأخرى بالقرب من المفصلات. تزعم عالمة التي تدفع بالقرب من المفصلات أنها لا تتمكن من ترك الباب لتحمل سلاحًا لأن عالمة الأخرى لا تستطيع إغلاق الباب بمفردها. لماذا ينبغي على عالمة التي تدفع بالقرب من المفصلات أن توقف الدفع وتحمل السلاح؟ ربما يجيب الطلاب أن عالمة التي تدفع بالقرب من المفصلات تبذل عزمًا قليلًا في هذه الحالة وينبغي أن تدفع بالقرب من مقبض الباب أو تحمل السلاح.

اشرح أن العزم يزيد عندما تكون القوة أبعد ما يمكن عن المفصلات. ولفترة زمنية لا بأس بها، تبذل عالمة التي تدفع عن طريق المقبض العزم الذي يكفي لإبطال عزم رابتور. سيظل الباب في حالة الاتزان هذه، حيث تساوي كل محصلة القوى وصافي العزم صفرًا، بينما تفادى عالمة التي تدفع بالقرب من المفصلات لاستعادة السلاح.

## عرض عملي سريع

## مركز الكتلة

الزمن المقدّر 10 دقائق

**المواد** قطعة كبيرة من الإسفنج (يبلغ سمكها 10 cm وطولها حوالي 30-50 cm)، عصوان من عصي التآلق الكيميائي (بطول 15 cm تقريبًا)

## الإجراء

1. جهّز العصا الكيميائية. اثنّب فتحة في الإسفنج بالقرب من إحدى الحواف ثم مرر عصا التآلق من خلالها. أوجد مركز كتلة الإسفنج بالإضافة إلى عصا التآلق. حدد مركز الكتلة واثنّب فتحة فيه ومرر عصا التآلق الثانية من هذه الفتحة. إذا كانت عصي التآلق غير ثقيلة بدرجة كافية، فأضف أثقالاً مثل ثقالات الرصاص.
2. ألقِ الإسفنج في جميع أنحاء الغرفة، الأمر الذي يجعلها تدور بسرعة. اسأل ما المسار الذي اتخذته. هل كل الأجزاء اتبعت المسار نفسه؟ قوس؛ لا
3. ثم أطفئ أنوار الغرفة. ألقِ الإسفنج مرة ثانية. واطلب من الطلاب أن يصفوا المسار. سلكت عصا التآلق في مركز الكتلة مسارًا مكافئًا؛ وشكلت العصا الأخرى دوائر حولها.

## الفيزياء في واقع الحياة

إذا كان الطلاب قادرين على رؤية تتبع جهاز الكمبيوتر لجسم لاعب القفز العالي الذي يتجاوز الآخرين في القفز، فسيرون مسارًا مرسومًا. حسب مركز كتلة لاعب القفز أو مركز الثقل، على هيئة قطع مكافئ مثالي. ابحث عبر الإنترنت عن مقطع فيديو لقفزات عالية وبرنامج لتحليل الفيديو. ساعد الطلاب على تحليل القفزات العالية باستخدام البرنامج.

## مركز الكتلة والثبات

## تطوير المفاهيم

**الإمالة** احصل على صناديق ذات أشكال مختلفة. املاً بعضها بمواد ثقيلة ومستقرة، إلى حد ما، لا تتحرك داخل الصندوق. اطلب من الطلاب أن يحاولوا قلب الصناديق (بحرص) ويحللوا الحالات التي تكون مستقرة فيها والحالات التي لا تكون مستقرة فيها. تحدّ الطلاب لإيجاد مركز كتلة الصناديق.

ض م حركي

## شروط الاتزان

### عرض عملي سريع



### الاتزان ومركز الكتلة

الزمن المقدّر 5 min

المواد لا يوجد

**الإجراء** اطلب من أحد الطلاب أن يقف على أطراف أصابعه مع وضع أصابع قدميه مقابلة لجدار ما. سيجد هذا الطالب ذلك صعبًا للغاية إن لم يكن مستحيلًا. ناقش السبب في ذلك.

**مركز الكتلة ومركز الثقل** بالنسبة إلى جسم صلب، يستطيع الفرد أن يستبدل كتلة الجسم بأكملها بكتلة نقطية مساوية لكتلة الجسم التي تقع في مركز الجسم الصلب. سيدور الجسم حول مركز كتلته تقريبًا. يُعد مركز الكتلة أيضًا نقطة توازن الجسم؛ أي أن الجسم يمكن تعليقه من مركز كتلته ولن يدور. ولن يخرج عن حالة التوازن. وبالمثل، يجب أن تمر كل حبال تعليق الكتلة من خلال مركز الكتلة لأنه لا يمكن أن يوجد صافي العزم على الجسم عندما يكون معلقًا في حالة اتزان. هذا هو أساس الطريقة المستخدمة لإيجاد مركز الكتلة عن طريق تقاطع حبال التعليق. يُستخدم مصطلحا مركز الكتلة ومركز الثقل بالتبادل.

## استخدام التجربة المصغرة

في ألعاب الخدوف، يستطيع الطلاب أن يطوروا مفهوم مركز الكتلة ويطبقوا قانون نيوتن الأول حيث يرتبط بتدوير الأجسام (القصور الذاتي الدوار).

## استخدام التجربة الفيزيائية

في نشاط الاتزان، يستطيع الطلاب أن يجمعوا بيانات عن القوى التي تؤثر في السقالات وينظمونها.

### التعزيز

**الثبات** راجع الثبات والاتزان مع الطلاب عن طريق طرح سؤال عليهم حول كيف يقفون لمنع أنفسهم من السقوط. اطلب من أحد الطلاب أن ينحني على الأرضية. ضع مرفقيه وساعديه على ركبتيه على الأرضية. اطلب من شخص آخر أن يضع صندوقًا صغيرًا في متناول يد هذا الطالب. ثم اطلب منه أن يضع يديه خلف ظهره ويحاول لمس الصندوق بأفقه. بصفة عامة، يكون الذكور غير مستقرين في هذه الحركة لأنه يجب عليهم أن يحركوا مركز كتلتهم الأعلى أمام الركبة. وعادة ما تستطيع الإناث القيام بهذه الحركة.

### نشاط مشروع الفيزياء

**استقرار السيارات** يخضع استقرار السيارات، وخاصة السيارات التي لديها مراكز كتلة عالية مثل السيارات الرياضية، لتقاش عام ويحظى باهتمام كبير. اطلب من الطلاب إجراء بحث حول آراء الإدارة الوطنية لسلامة المرور على الطرق السريعة وجهات تصنيع السيارات والمستشارين المستقلين. لاحظ أن مناقشة الاستقرار، في هذه الوحدة، ركزت على الاستقرار السكوني. من ناحية أخرى، إذا كان الجسم في حالة دوران، فيلزم عزم إضافي لتقليل السرعة المتجهة الزاوية. يمكن استخدام صناديق لمحاكاة هذه الحالات. ينبغي أن يعرض الطلاب نتائجهم أمام طلاب الفصل. **ض م لغوي**

### مثال إضافي للحل داخل الفصل

استخدم مثال المسألة 5.

**المسألة** افترض أن الفرد يرفع طرف السلم الأقرب إلى المسند B. فإذا ستكون القوة التي يجب أن يبذلها هذا الفرد؟ ما القوة التي سبذلها المسند المتبقي؟

**الحل** في هذه الحالة،  $F_B = 0$ . القوتان غير المعروفتين هما  $F_B$  و  $F_A$ . التغيير الوحيد في الحل هو  $F_B$ ، الذي يساوي الآن 1.20 m. إذن

$$F_B = \frac{(0.30 \text{ m})(56.84 \text{ N})}{1.20 \text{ m}} = 14 \text{ N}$$

$$F_A = \left( \frac{1 - 0.30 \text{ m}}{1.20 \text{ m}} \right) (56.84 \text{ N}) = 43 \text{ N}$$

الاتزان السكوني أخبر الطلاب أن كلمة سكوني تعني "حالة غير متغيرة". ثم أسأل هل هذا التعريف يعني أيضًا أنه لا يجب أن تكون هناك قوى تؤثر في جسم ما في حالة الاتزان السكوني. لا. أكد أن هناك قوى تؤثر في الأجسام التي توجد في حالة اتزان سكوني وأن هذه القوى متوازنة لذا تساوي محصلة قوتها صفرًا. كلمة اتزان مشتقة من كلمة "توازن".

### تطوير المفاهيم

**مركز الكتلة** أسأل الطلاب أين سيجدون مركز كتلة السلم. **وسط درجة السلم المركزية.** مع الافتراض أن **الكثافة ثابتة.** اطلب من الطلاب أن يرسموا رسمًا لجسم حر خاضعًا للقوى الموجودة على السلم الذي يرتكز على مسندين. تعيين القوى: يكون المسند الأيسر هو  $F_A$  والمسند الأيمن هو  $F_B$ . تكون هذه القوى موازية لبعضها البعض وتؤثر في الاتجاه التصاعدي. اطلب من الطلاب أن يكتبوا محصلة القوة التي تؤثر في السلم للسلم الذي سيكون في حالة اتزان.  $F_A + F_B - F_g = 0$ , or  $F_A + F_B = F_g$

**ض م بصري-مكاني**

### المهن

**المهندسون المعماريون والمصممون** يمكن الاستعانة بقوانين علم الإستاتيكا لتحليل القوى التي تؤثر في الأجسام التي تكون في حالة اتزان. يستخدم المهندسون المعماريون والمهندسون المدنيون قوانين علم الإستاتيكا لتحديد السلامة الهيكلية لتصميماتهم. في ميونيخ بألمانيا، يُعد مبنى بي إم دبليو وملت منشأة للمؤتمرات مبنية بحيث يبدو السطح كسحابة عائمة. مكنت قوانين الإستاتيكا المهندسين المعماريين من استخدام 11 عمودًا فقط لدعم سطح فولاذي يمتد على بُعد  $2\frac{1}{2}$  من ملاعب كرة القدم الموجودة على الأطراف.

### تطوير المفاهيم

**العزم** ذكّر الطلاب أن العزم هو حاصل ضرب القوة ( $F$ ) في ذراع الرافعة  $rF$  arm  $T = rF$ . في مثال المسألة، تقع كل من  $F_A$  و  $F_B$  و  $F_g$  عمودية على السلم. اطلب من الطلاب أن يعرفوا ذراع رافعة كل قوة. إنه المسافة الممتدة على طول السلم من محور الدوران إلى النقطة التي تؤثر فيها كل قوة. **ض م**

الاتزان الدوّار اطلب من الطلاب الرجوع مرة أخرى إلى مثال المسألة 5 داخل الفصل. وضح أن المعادلة  $F_A + F_B - F_g = 0$  (أو  $F_A + F_B = F_g$ ) تبين محصلة القوة التي تؤثر في السلم. واطلب منهم أن يجدوا  $F_A$  و  $F_B$ . استخدم الشرط الثاني من شروط الاتزان السكوني: يجب أن يكون السلم في حالة اتزان دوّار. اسأل الطلاب ما الشرط اللازم ليصبح السلم في حالة اتزان دوّار. يجب أن يكون صافي العزم صفرًا. **ض م**

### التدريس المتمايز

**الطلاب دون المستوى** عادة ما تتضمن مسائل الاتزان معادلة لمحصلة القوة - حيث يجب أن يساوي مجموعها صفرًا للاتزان - ومعادلة أخرى لصافي العزم، حيث يجب أن يساوي مجموعها صفرًا أيضًا. تتضمن معظم المسائل التي يواجهها الطلاب جسمًا ذا توزيع منتظم للكتلة ووزنًا منفصلًا يؤثر في نقطة معينة على طول الجسم ونقطتين للدعم. ينبغي أن يدرك الطلاب أن اختيار محور الدوران عند النقطة التي تؤثر فيها إحدى القوى أو عند مركز كتلة الجسم الموزع سييسط المسألة. تأكد أن الطلاب يستطيعون استخدام هذه المبادئ لصياغة المعادلات الصحيحة. ثم عالج معهم الصعوبات التي قد يواجهونها أثناء إكمال الحل الجبري. **أ م**

## الإطارات المرجعية الدوّارة و"قوة" الطرد المركزي و"قوة" كوريوليس



### تحديد المفاهيم الخاطئة

**القوى الظاهرية** قد يظن الطلاب أنهم يشعرون بقوة تدفعهم إلى الخلف وهم بداخل سيارة تسرع إلى الأمام أو تدفعهم للخارج عند تغيير الاتجاه. أكد عليهم مرة ثانية أن قانون نيوتن الأول يطبق فقط في الإطارات المرجعية التي لا يمكن زيادة سرعتها. ومن ثمّ عندما تسرع السيارة إلى الأمام، يشعر الطالب أن هناك "قوة" تدفعه إلى الخلف. في الواقع، تدفع قوة ما الطالب إلى الأمام مع السيارة. الأمر الذي يجعل جسم الطالب يرجع إلى الخلف في المقعد. يبدو هذا كأنه قوة تدفع الطالب إلى الخلف، ويكون هذا في الحقيقة نتيجة للقصور الذاتي لجسم الطالب الذي يقاوم التسارع. ينطبق الأمر ذاته على "قوى" الطرد المركزي.

**القوى الظاهرة** يبدو أن "قوى" الطرد المركزي وكوريوليس تظهر في الإطارات المرجعية الدوارة، ولكن في كل حالة، يكون الأثر شخصيًا في الواقع من وجهة نظر الشخص أو الجسم الذي يقع ضمن الإطار المرجعي. على سبيل المثال، تشكل "قوة" الطرد المركزي مفهومًا خاطئًا عامًا ورئيسًا، بالتحديد، لأنها تبدو حقيقية. وعلى الرغم من ذلك، يُعد فهم القوة الظاهرة مهمًا لأن قوانين نيوتن لا تطبق إلا في إطارات مرجعية ثابتة. **ض م**

**منطقي-رياضي**

## التأكد من الفهم

**مركز الكتلة** أعد حاملًا دائريًا. اربط شريطًا في الجزء العلوي من الحامل الدائري بحيث يشكل دعامة موازية للطاولة المخترية. قدّم خيطًا ومقصًا وشريطًا لاصقًا وقلم تحديد وجسمًا صغيرًا غير منتظم الشكل. اجعل الطلاب يعتمدون بأفعالك لإيجاد مركز كتلة الجسم الصغير غير منتظم الشكل. علق الجسم من الدعامة. عندما يتوقف عن الحركة، حدد المكان الذي سقط فيه الخيط بشريط لاصق أو قلم تحديد. علق الجسم مرة أخرى بحيث يسقط الخيط في موقع مختلف على الجسم. حدد الخط الذي شكله الخيط. مركز كتلة الجسم هو المكان الذي تقاطع فيه الخطان.

## إعادة التدريس

**عرض توضيحي للاتزان** اسأل الطلاب ماذا نحتاج للحفاظ على سكون جسم ممتد ساكن. عندما يساوي مجموع مركبات القوى في كل الاتجاهات الثلاث صفرًا، فلن يسرع الجسم. وضح اختلال الاتزان عن طريق موازنة عصا قياس على إصبعك، ثم لف الإصبع قليلاً بحيث تدور العصا. ناقش قوى العزم والقوى الفاعلة عندما تكون عصا القياس في حالة اتزان.

## 3 التقويم

### تقويم الفكرة الرئيسة

**توازن علب الصودا** اطلب من كل طالب أن يحضر علب صودا فارغة. اطلب من الطلاب أن يحاولوا موازنة علب الصودا الفارغة على الحافة السفلية من العلب. لماذا لن تتوازن العلب الفارغة على الحافة؟ **يولد مركز كتلة العلب عزمًا حول النقطة المحورية، الأمر الذي يجعل العلب تدور أو تُقلب.** ثم اطلب من الطلاب أن يضيفوا كميات قليلة من الماء في العلب ببطء ليحددوا هل يستطيعون موازنة العلب على حافتها السفلية أم لا. لماذا يمكن أن تتوازن العلب الآن؟ **يقع مركز كتلة العلب فوق النقطة المحورية مباشرة ولا يولد صافي العزم، مما يعني أن العلب لن تُقلب.**

## القسم 3 مراجعة

42. a. يسقط كتاب معين دون أن يدور  
b. تدور أرجوحة غير متوازنة حتى ترتطم قدم شخص ما بالأرض  
43. نعم، يتحرك جسم ما كأن كل كتلته متمركزة عند مركز الكتلة. لا يتضمن التعريف شيئاً يتطلب أن تكون كل كتلة الجسم أو جزء منها في ذلك الموقع.  
44. سيرتفع مركز كتلة السيارة، ولكن حجم قاعدتها لن يزيد. إذن يلزم إمالة السيارة بزاوية أصغر لتصل إلى مركز الكتلة خارج قاعدة السيارة.  
45. يقع في وسط الأسطوانة في الجزء المفتوح.  
46. الإجابة المحتملة: احصل على قطعة من الخيط واربط ثقلاً صغيراً فيها. علق الخيط والثقل في إحدى زوايا الكتاب. ارسم خطاً على طول الخيط. علق الخيط والثقل في زاوية أخرى من الكتاب. وارسم خطاً على طول الخيط مرة أخرى. مركز الكتلة هو النقطة التي يتقاطع عندها الخطان.  
47. تبذل كتلة الأرض قوة دفع لأسفل. يبذل سطح القرص الدوّار قوة دفع لأعلى لتوازن الجاذبية وقوة دفع للداخل بسبب الاحتكاك الذي يحد القطعة النقدية الصغيرة بتسارعها المركزي. لا توجد قوة دفع للخارج. إذا لم تكن هناك قوة للاحتكاك، فستتحرك القطعة النقدية الصغيرة في خط مستقيم.  
48. على الرغم من أن الرياح توفر القوة التي تولّد تيارات المحيطات السطحية، يؤثر دوران الأرض بشكل كبير على حركة هذه التيارات، في اتجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الشمالي، وفي عكس اتجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الجنوبي. نظراً لدوران الأرض حول محورها شرقاً، تنحرف تيارات محيطية إلى اليمين (شرقاً) في نصف الكرة الشمالي وإلى اليسار (غرباً) في نصف الكرة الجنوبي.

## التأكد من فهم النص ومراجعة التعليقات التوضيحية

## التأكد من فهم النص

مركز الكتلة هو نقطة تقع على الجسم وتتحرك بالطريقة نفسها التي سيتحرك بها جسيم نقطي.

## التأكد من فهم النص

عندما يقع مركز الكتلة أعلى قاعدة الجسم، يصبح أكثر استقراراً.

## التأكد من فهم النص

قوة الطرد المركزي هي قوة ظاهرة، لا توجد بالفعل، يبدو أنها تدفع الجسم للخارج في شكل إطار مرجعي دوّار.

## التأكد من فهم النص

ستحسب الزاوية، التي تقع في الاتجاه الغربي، اللازمة لتعويض دوران الأرض.

## مسائل تدريبية

$$38. F_B = 32 \text{ N}; F_A = 8.0 \times 10^1 \text{ N}$$

$$39. \text{a. عكس اتجاه عقارب الساعة } F_B (0.51 \text{ m}).$$

$$\text{في اتجاه عقارب الساعة: } F_A (0.66 \text{ m}) -$$

$$\text{b. } F_B (0.51 \text{ m}) = -F_A (0.66 \text{ m})$$

$$\text{c. } 31 \text{ N}$$

$$\text{d. ستصبح } F_A \text{ أكبر، وستصبح } F_B \text{ أقل.}$$

$$40. F_{\text{النهاية}} = 0 \text{ N}; F_{\text{الوسط}} = 2.4 \times 10^2 \text{ N}$$

$$41. F_{\text{النهاية}} = -8.3 \times 10^2 \text{ N}; F_{\text{الوسط}} = 1.8 \times 10^3 \text{ N}$$

# الدوران السريع

## أجهزة الطرد المركزي

### الغاية

رؤية تطبيق مبادئ الحركة الدورانية في قطعة من المعدات المختبرية الشائعة، الطاردة المركزي

### الخلفية

من وجهة نظر علماء الفيزياء، لم يُصاغ اسم الطاردة المركزية المختبرية جيدًا. حيث تستغل الطاردة المركزية غياب قوة الجذب المركزي في الخليط السائل لتفصل ذلك الخليط. تتطلب الحركة الدائرية قوة. يتم توفير كل القوة على السائل عن طريق جدران أنبوبة الطاردة المركزية، أما داخل الأنبوبة فتفصل الكثافة المكونات المختلفة الخليط لأنها غير قادرة على توليد قوة جذب مركزي كافية على بعضها البعض لتحتفظ بتكوينها الأصلي.

### استراتيجيات التدريس

تستخدم عربة الكرنفال المعروفة مبادئ مماثلة. تعكس هذه العربة طبيعة الطاردة المركزية عن طريق تدوير الراكبين بسرعة حتى يمسكون بجدار العربة، حتى حينما تتحرك الأرضية من تحت أقدامهم. يشعر الراكبون أن العربة تميل على الرغم أنها لا تزال أفقية. يحدث هذا الوهم بسبب التسارع المركزي (الذي يدفع الحائط للداخل) الذي يحاكي القوة العمودية (التي تدفع الأرض لأعلى). صمّم نموذجًا لعربة الكرنفال من خلال تكليف طلاب الفصل بأن يضعوا تقديرات معقولة لمعدل الدوران والاحتكاك الموجود في العربة.

### لمزيد من التعمق <<<

**النتائج المتوقعة** ستتنوع الإجابات. تستخدم الطاردات المركزية لفصل سوائل الجسم مثل الدم ولعزل الأحماض النووية والبروتينات من عينات الأنسجة المعالجة وفصل البلاستيدات الخضراء أو العضيات الأخرى من الأنسجة الخلوية وفي العديد من الاستخدامات الأخرى.



## القسم 1

### إتقان المفاهيم

49. إنه ثابت.  
50. يساوي صفراً.  
51. تدور كل أجزاء الجسم الصلب بمعدل السرعة المتجهة الزاوية نفسه وليس بنفس معدل السرعة المتجهة الخطية.  
52. إنه للداخل (مركزي).

### إتقان المسائل

53. 0.600 rad  
54. 51 rad/s  
55. 0.49 m  
56. a. 197 rad/s  
b. 492 rad  
57.  $-7.54 \text{ rad/s}^2$   
58. 17.5 cm/s  
59. a. 2.73  
b. 1.65  
c. 71g  
60.

## القسم 2

### إتقان المفاهيم

61. كلهم مختلفون. من لديه أكبر كتلة، ويقع على مسافة أبعد من المحور، لديه أكبر عزم قصور ذاتي.  
62. يؤثر التسارع الزاوي في البرغي الذي يولد قوة. يمكن بذل قوى عزم مختلفة بمفاتيح ربط ذات أطوال مختلفة.  
63. دُكر بأن  $\tau = Fr \sin \theta$ . إذاً،  $E < D < C < 0$ .  
B < A

### إتقان المسائل

64. N 23  
65. 3.8 N·m  
66. 0.050 kg·m<sup>2</sup>  
67. a.  $7.5 \times 10^2 \text{ rad/s}$   
b. 0.72 N  
68. 0.048 kg·m<sup>2</sup>

## القسم 3

### إتقان المفاهيم

69. عندما تكون العجلة متوازنة، لدرجة أنها لا تميل (تدور) في اتجاه ما، لا يُبذل صافي العزم عليها. يعني هذا أن مركز الكتلة يقع عند النقطة المحورية.  
70. يقع فوق الخط مباشرة بين النقاط التي تلامس العجلتان الأرض عندها. لا يُبذل صافي العزم على الشاحنة، لذا تكون مستقرة بشكل مؤقتة.  
71. يجب أن يكون مركز كتلتك فوق نقطة الدعم. يقع مركز كتلتك في وسط جسمك تقريباً. ومن ثم عندما تقف على أصابع قدميك، يجب أن يكون نصف جسمك تقريباً أمام أصابع قدميك ونصف جسمك الآخر خلفها. إذا كانت أصابع قدميك مقابلة للحائط، فلا يمكن أن يقع جزء ما من جسمك أمام أصابع قدميك.  
72. يحرك مركز كتلته بالقرب من رأسه.  
73. يقع مركز كتلة السيارة ذات العجلات الأكبر عند أعلى نقطة. ومن ثم، ليس من الضروري أن تميل بعيداً جداً قبل أن تتحرك إلى الجانب الآخر.

### إتقان المسائل

74. a. سيرفع نصف الكتلة فقط، في الطرف المقابل.  
 $F_{\text{least}} = 61 \text{ N}$   
b. سيرفع الكتلة بأكملها. عند مركز كتلة اللوح (الأوسط).  $F_{\text{أكبر}} = 120 \text{ N}$   
75. 1.16 m من أمام السيارة  
76.  $F_{\text{right}} = 62 \text{ N}$  لأعلى،  $F_{\text{left}} = 38 \text{ N}$  لأعلى

### تطبيق المفاهيم

77. تمتاز الأسنان بسرعات متجهة خطية متطابقة. لأن أنصاف الأقطار مختلفة و  $\omega = v/r$ ، تقل السرعة المتجهة الزاوية للترس الأكبر.  
78. يمكنك بذل عزم معين وقياس التسارع الزاوي الناتج.  
79. كلما زادت الكتلة التي تبعد عن المحور، زاد عزم القصور الذاتي. إذا كان العزم ثابتاً، فسيزيد عزم القصور الذاتي وسيقل التسارع الزاوي. ومن ثم يكون لدى العجلة التي تقع كتلتها في الغالب عند المحور أقل عزم قصور ذاتي وأكبر تسارع زاوي. ويكون لدى العجلة التي تقع كتلتها في الغالب بالقرب من الحافة أكبر عزم قصور ذاتي وأقل تسارع زاوي.  
80. لا يمكن أن يزيد معدل دورانها إلا في حالة بذل عزم عليها. تولد قوة احتكاك الممر الضيق على الكرة هذه القوة. وعندما تلف الكرة بدون انزلاق، فليس هناك المزيد من قوة الاحتكاك الحركي ومن ثم لا يوجد المزيد من العزم.

81. ضع أنبوب إطالة على طرف مفتاح الربط لزيادة ذراع الرافعة أو أبذل قوة على الزوايا القائمة مع مفتاح الربط أو أبذل قوة أكبر، ربما عن طريق قيام شخصين بالدفع على طرف مفتاح الربط.
82. تولّد هذه القوى عزمًا يساوي صفرًا لأن ذراع الرافعة يساوي صفرًا.
83. يزيد القطب عزم القصور الذاتي بسبب كتلته وطوله. تُقرب أطراف القطب المتدلية مركز الكتلة من السلك، ومن ثم تقلل العزم المبذول على السائر. يقلل عزم القصور الذاتي الزائد والعزم الناقص التسارع الزاوي إذا أصبح السائر غير متوازنًا. يستطيع السائر أيضًا أن يستخدم القطب بسهولة لتحريك مركز الكتلة فوق السلك لتعويض عدم الاستقرار.
84. لديك سرعة متجهة مماسية أمامية، لذا سيسقط المفتاح من يدك بفعل تلك السرعة المتجهة. لذا، ينبغي أن تلقه في وقت مبكر.
85. يجعل هذا العزم الذي تولّدته تلك القوة يساوي صفرًا، الأمر الذي يقلل عدد قوى العزم التي يجب حسابها.
86. سيكون عزم القصور الذاتي للجسم الذي يشبه قرصًا أقل من عزم القصور الذاتي للجسم الذي يشبه طوقًا، لذا  $D > A > C > B > E$ .
- مراجعة شاملة**
87. a.  $\alpha = \frac{3g}{2l}$   
b. لا؛ حيث تتغير الزاوية بين الباب والوزن. ومن ثَمَّ، يتغير التسارع.
88.  $5.0 \times 10^2 \text{ rad/s}^2$
89.  $F_{\text{يسار}} = 1.5 \times 10^2 \text{ N}$ ;  $F_{\text{يمين}} = 6.0 \times 10^2 \text{ N}$
90. تستطيع سوكي أن تتحرك  $0.848 \text{ m}$  من الدعامة أو  $0.848 - 1.75 = -0.90 \text{ m}$  من الطرف.
91.  $-1.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
92. a. يظل مركز الكتلة دائمًا فوق نقطة التلامس مع سطح الأسطوانة الثابتة، لذا تحرك مركز الكتلة  $2.50 \text{ m}$ .  
b.  $2.00 \text{ m/s}$   
c.  $8 \text{ rad/s}$
93. a.  $21 \text{ rad/s}$   
b.  $16 \text{ rev}$   
c.  $1.0 \times 10^2 \text{ rad}$
94. a.  $-2.2 \text{ rad/s}^2$   
b.  $-1.3 \times 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}$
95. لأن زيادة نصف القطر تقلل السرعة المتجهة الزاوية، فإنها ستقلل أيضًا قراءة عداد السرعة.
96.  $F_{\text{الحبل}} = \frac{(0.86 \text{ m}^2/\text{s}^2)M}{h - 0.25 \text{ m}}$  لاحظ أنه عندما تسحب الصندوق عند ارتفاع مركز كتلته، تصبح قيمة المقام صفرًا. يعني هذا أنه يمكنك سحب مقدار قوة معين دون أن يُقلب الصندوق.
97. a. بما أن الكتل هي نفسها، إذن فالأوزان هي نفسها. ومن ثم يلزم نفس قوة الدفع لأعلى لرفع كل حمولة.  
b. سيصبح من السهل منع قطعة الخشب الطويلة من الدوران لأنها تتسم بعزم قصور ذاتي أكبر.
98. a.  $86 \text{ N}$   
b. يتعين على فارس أن يرفع  $2.0 \text{ m}$  عن طرف اللوح الخاص بمراد.
- التفكير الناقد**
99.  $4.20 \times 10^2 \text{ N}$
100. a.  $21 \text{ N}\cdot\text{m}$   
b. تساوي قوة الشد المبذولة في الحبل  $64 \text{ N}$ .
101. ستتغير الإجابات، ولكن الصيغة الصحيحة للإجابة هي، "أن الحدافة تلف بسرعة متجهة زاوية مقدارها  $20 \text{ rad/s}$  عندما يُبذل تسارع زاوي ثابت مقداره  $3.5 \text{ rad/s}^2$  لتبطلتها. ما الزاوية التي لفتت من خلالها بعد مرور  $4 \text{ s}$ ؟"
102. ستختلف الإجابات، الصيغة المحتملة للإجابة الصحيحة هي، "يضع إحدى يديه على بُعد  $20 \text{ cm}$  أمام مركز السلم ويضع اليد الأخرى على بُعد  $40 \text{ cm}$  خلف مركز السلم. ما القوى التي تبذلها كل يد؟"
103. a. عندما  $\omega = 0.0$   
b. عندما  $\alpha = 0.0$   
c. عندما  $\omega = 0.0$  لحظيًا، ولكن  $\alpha$  لا تساوي صفرًا. ستظل  $\omega$  في حالة تغيير.  
d. نعم، طالما أن  $\omega$  ثابتة ولا تساوي صفرًا.
104. يبذل الطريق قوة على الإطارات التي تُدخل السيارة في وضع سكون. ويكون مركز الكتلة فوق الطريق. ومن ثم يُبذل صافي العزم على السيارة، الأمر الذي يتسبب في تدويرها في الاتجاه الذي يجعل الجزء الأمامي ينزل لأسفل.

## اكتب في موضوع في الفيزياء

105. بالنسبة إلى الكوكب والقمر ذوي الكثافات المتطابقة، فإن حد روش يساوي 2.446 ضعف نصف قطر الكوكب. يبلغ حد روش الأرض 18,470 km.

106. تعمل القوة التي تبذلها الأرض على الإطار على تسريع السيارة. يُولد الحرك هذه القوة، ويُولد هذه القوة عن طريق تدوير المحور. يساوي العزم القوة المبذولة على حافة الإطار مضروبة في نصف قطر الإطار. وقد تتسبب التروس الموجودة في ناقل الحركة في تغيير القوة ولكنها لا تغير العزم. ومن ثم يصل مقدار العزم الذي يولده الحرك إلى العجلات.

## مراجعة تراكمية

24 N .a.107

-2.0 m/s<sup>2</sup>.b

18.4°.108

122 km/h. عند 14.2° غرب الشمال

972 N.110

## تدريب على الاختبار المعياري

### اختيار من متعدد

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

### الحل الحر

7.  $44 \text{ N}\cdot\text{m}$

### معايير رصد الدرجات

يُعد سلم التقدير التالي أداة لتسجيل عينات الأسئلة التي تعتمد على الإجابات الحرة.

النقاط	الوصف
4	يُظهر الطالب أن لديه فهمًا شاملاً للمبادئ الفيزيائية التي درسها. وقد تتضمن إجابته أخطاءً بسيطة لا تقلل من إظهار فهمه التام.
3	يُظهر الطالب أن لديه فهمًا للمبادئ الفيزيائية التي درسها. وتكون إجابته صحيحة في مجملها وتُظهر فهمًا أساسيًا وليس كاملاً لموضوعات الفيزياء.
2	يُظهر الطالب أن لديه فهمًا جزئيًا للمبادئ الفيزيائية التي درسها. وربما استخدم الطالب النهج الصحيح للتوصل إلى الحل أو ربما خرج بإجابة صحيحة، لكن عمله ينقصه فهم أساسي للمفاهيم الفيزيائية التي درسها.
1	يُظهر الطالب أن لديه فهمًا محدودًا للمبادئ الفيزيائية التي درسها. وتكون إجابته غير كاملة وبها أخطاء كثيرة.
0	يقدم الطالب إجابة غير صحيحة تمامًا أو لا يجيب على الإطلاق.