

الزخم وحفظه

Momentum & Its Conservation

الفصل 3

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الزخم والدفع، وتوظيف العلاقات والمفاهيم المرتبطة معها عند التعامل مع الأجسام المتفاعلة.
- ربط القانون الثالث لنيوتن في الحركة مع قانون حفظ الزخم.

الأهمية

الزخم هو مفتاح النجاح في العديد من الألعاب الرياضية، ومنها البيسبول، وكرة القدم، وهوكي الجليد، والتنس.

البيسبول تتعلق أحلام لاعبي البيسبول بتمكنهم من ضرب الكرة لتتخذ مساراً طويلاً يأخذها إلى خارج الملعب. فعندما يقوم لاعب بضرب الكرة يتغير شكل كل من الكرة والمضرب لحظة تصادمهما تحديداً، ثم يتغير زخم كل منهما. ويحدد التغير في الزخم الناتج عن التصادم نجاح اللاعب في الضربة.

فكر

ما القوة المؤثرة في مضرب البيسبول عند ضرب الكرة إلى خارج الملعب؟

يعتمد الدفع على الفترة الزمنية التي استغرقتها القوة عند التأثير في المضرب. وفي هذه الحالة تساوي القوة القصوى 14700 N تقريباً. وهذا الموضوع تم التعرض له بالتفصيل في بند استخدام الشكل 1-2.

تجربة استهلاكية

ماذا يحدث عندما تصطدم كرة

بلاستيكية جوفاء بكرة مصمتة؟

سؤال التجربة ما الاتجاه الذي تتحرك فيه كل من الكرتين البلاستيكيتين الجوفاء والمصمتة بعد تصادمهما مباشرة؟

الخطوات

1. دحرج كرة مصمتة وكرة بلاستيكية جوفاء إحداها في اتجاه الأخرى على سطح أملس.
2. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معاً.
3. أعد التجربة، على أن تحافظ على الكرة المصمتة ساكنة، وتدحرج الكرة البلاستيكية الجوفاء نحوها.
4. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معاً.
5. أعد التجربة مرة أخرى على أن تحافظ هذه المرة على بقاء الكرة البلاستيكية الجوفاء ساكنة، وتدحرج الكرة المصمتة نحوها.

التحليل

ما العوامل التي تؤثر في سرعة الكرتين بعد تصادمهما؟ وما العوامل التي تحدد اتجاه حركة كل منهما بعد تصادمهما؟

تؤثر كل من الكتلة والسرعة

المتجهة في مقدار سرعة حركة الكرتين بعد التصادم واتجاههما. فالكرة التي لها زخم أكبر سوف تؤثر أكثر في الكرة الأخرى. فإذا كان للكرتين الزخم نفسه تقريباً فسوف ترتدان على الأرجح إلى الخلف. ولكن إذا كان هناك فرق كبير في الكتلة أو السرعة فعندها سوف تتحرك الكرة التي لها زخم أكبر إلى الأمام بعد التصادم، ولكن بسرعة أقل.

6. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما.

التحليل

ما العوامل التي تؤثر في سرعة الكرتين بعد تصادمهما؟ وما العوامل التي تحدد اتجاه حركة كل منهما بعد تصادمهما؟

التفكير الناقد ما العامل أو العوامل التي تسبب ارتداد الكرة المصمتة إلى الخلف بعد اصطدامها بالكرة البلاستيكية الجوفاء؟



التفكير الناقد ما العامل أو العوامل التي تسبب ارتداد الكرة المصمتة إلى الخلف بعد اصطدامها بالكرة البلاستيكية الجوفاء؟

سوف تكون السرعة المتجهة

العامل الوحيد الأكثر أهمية. فإذا تحركت الكرة الجوفاء بسرعة متجهة كبيرة واصطدمت مباشرة بالكرة المصمتة (التي كانت ساكنة قبل التصادم $v = 0$) فعندها سوف ترجع الكرة المصمتة إلى الوراء، وتتحرك الكرة الجوفاء (التي لها كتلة أقل مقارنة بتلك المصمتة) بسرعة أكبر لتكون هي الكرة المؤثرة في الكرة المصمتة.

الدفع والزخم Impulse and Momentum

ما العلاقة بين سرعتين المتجهتين للكرة قبل التصادم وبعده والقوة المؤثرة فيها؟ يصف القانون الثاني لنيوتن في الحركة كيف تتغير السرعة المتجهة لجسم بفعل القوة المحصلة المؤثرة فيه؛ إذ يحدث التغير في السرعة المتجهة للكرة بسبب قوة المضرب المؤثرة في الكرة، وتتغير القوة خلال الزمن، كما في الشكل 1-3. تنضغط الكرة بعد التلامس مباشرة، وتستمر القوة في التزايد حتى تصل إلى أقصى قيمة لها (أكبر من وزن الكرة أكثر من 10000 مرة)، ثم تستعيد الكرة شكلها، وتتحرك مبتعدة عن المضرب بسرعة، ويقل مقدار القوة مباشرة ليصبح صفرًا. ويستغرق هذا الحدث فترة زمنية مقدارها 3.0 ms. فكيف تستطيع حساب التغير في السرعة المتجهة لكرة البيسبول؟

الدفع يمكن إعادة كتابة القانون الثاني لنيوتن، $F = ma$ ، باستخدام تعريف التسارع بأنه حاصل قسمة التغير في السرعة المتجهة على الزمن الضروري لإحداث التغير. ويمثل ذلك بالمعادلة:

$$F = ma = m \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)$$

بضرب طرفي المعادلة في الفترة الزمنية Δt ، نحصل على المعادلة التالية: $F\Delta t = m\Delta v$. إن **الدفع**، أو $F\Delta t$ ، هو حاصل ضرب متوسط القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثير القوة. ويقاس الدفع بوحدة N.s. ويتم إيجاد مقدار الدفع في الحالات التي تتغير فيها القوة مع الزمن من خلال تحديد المساحة تحت منحنى العلاقة البيانية للقوة مع الزمن. انظر إلى الشكل 1-3.

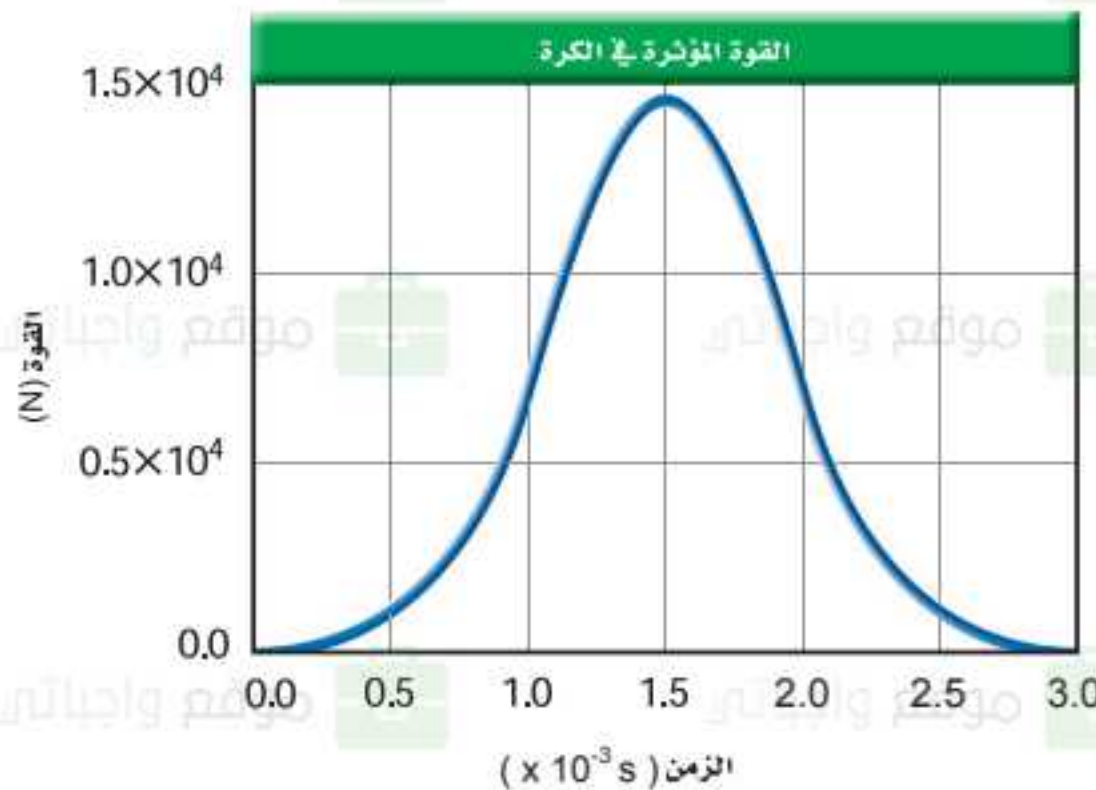
يحتوي الجانب الأيمن من المعادلة، $m\Delta v$ ، على التغير في السرعة المتجهة:

$\Delta v = v_f - v_i$. حيث يكون $m\Delta v = mv_f - mv_i$. ويعرف حاصل ضرب كتلة الجسم m في سرعته المتجهة v بـ **زخم** الجسم؛ حيث يقاس الزخم بوحدة kg.m/s. ويعرف زخم الجسم بالزخم الخطي أيضًا، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

$$p = mv$$

الزخم

زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته المتجهة.



الشكل 1-3 تزداد القوة المؤثرة في الكرة، ثم تتناقص بسرعة خلال عملية التصادم، كما في هذا الشكل البياني الذي يوضح منحنى القوة - الزمن.

دلالة الألوان

- متجهات الزخم والدفع باللون البرتقالي.
- متجهات القوة باللون الأزرق.
- متجهات التسارع باللون البنفسجي.
- متجهات الإزاحة باللون الأخضر.
- متجهات السرعة باللون الأحمر.

تطبيق الفيزياء

أحذية الركض

يُعد الركض على الأقدام عملاً شاقاً؛ فعندما يضرب العداء الأرض بقدمه تؤثر الأرض في القدم بقوة تساوي أربعة أمثال وزنه. ويصمم الحذاء الرياضي بحيث يكون نعله مزوداً بوسائد امتصاص؛ لتقليل القوة المؤثرة في القدم، مع المحافظة على دفع جيد، من خلال إطالة زمن تأثير

القوة.

بالرجوع إلى المعادلة $F\Delta t = m\Delta v = m v_f - m v_i$ ، حيث إن $m v_f = p_f$

و $m v_i = p_i$ ، فإنه يمكننا إعادة كتابة هذه المعادلة على النحو الآتي:

$$F\Delta t = m\Delta v = p_f - p_i$$

يصف الجانب الأيمن من هذه المعادلة $p_f - p_i$ التغير في زخم جسم ما. وبذلك يكون الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه. وهذا يسمى **نظرية الدفع - الزخم**. ويعبر عن هذه النظرية من خلال المعادلة الآتية:

$$F\Delta t = p_f - p_i \quad \text{نظرية الدفع - الزخم}$$

الدفع على جسم ما يساوي زخم الجسم النهائي مطروحاً منه زخمه الابتدائي.

إذا كانت القوة المؤثرة في جسم ثابتة فإن الدفع عبارة عن حاصل ضرب القوة في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها هذه القوة. وعموماً لا تكون القوة ثابتة، لذا يتم إيجاد الدفع باستخدام متوسط القوة مضروباً في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها، أو عن طريق إيجاد المساحة تحت منحنى القوة - الزمن.

ولأن السرعة كمية متجهة فإن الزخم أيضاً كمية متجهة. وبشكل مشابه لا بد أن يكون الدفع كمية متجهة؛ لأن القوة كمية متجهة. وهذا يعني ضرورة أخذ الإشارات في الاعتبار عند التعامل مع الحركة في بعد واحد.

استخدام نظرية الدفع - الزخم

Using the Impulse Momentum Theorem

ما التغير في زخم كرة البيسبول؟ بناءً على نظرية الدفع - الزخم، فإن التغير في الزخم يساوي الدفع المؤثر في الجسم. ويمكن حساب الدفع المؤثر في كرة بيسبول باستخدام منحنى القوة - الزمن؛ حيث يساوي المساحة تحت المنحنى. في الشكل 1-3، الدفع يساوي $13.1 \text{ N}\cdot\text{s}$ تقريباً. ويكون اتجاه الدفع في اتجاه القوة نفسه. لذا فإن التغير في زخم الكرة يساوي $13.1 \text{ N}\cdot\text{s}$ أيضاً، ولأن $1 \text{ N}\cdot\text{s}$ تساوي $1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ ، فإن الزخم الذي تكتسبه الكرة يساوي $13.1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ ، ويكون اتجاهه في نفس اتجاه القوة المؤثرة في الكرة.

افترض أن لاعباً ما ضرب كرة كتلتها 0.145 kg بمضرب، وأن السرعة المتجهة للكرة قبل اصطدامها بالمضرب تساوي -38 m/s . وبافتراض الاتجاه الموجب نحو رامي الكرة، يكون الزخم الابتدائي لكرة البيسبول:

$$p_i = (0.145 \text{ kg}) (-38 \text{ m/s}) = -5.5 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$$

ما زخم الكرة بعد التصادم؟ طبق نظرية الدفع - الزخم لإيجاد الزخم النهائي:

$$p_f = p_i + F\Delta t$$

أي أن الزخم النهائي هو مجموع الزخم الابتدائي والدفع. ويحسب

الزخم النهائي للكرة على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} p_f &= p_i + 13.1 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \\ &= -5.5 \text{ kg} \cdot \text{m/s} + 13.1 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \\ &= + 7.6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \end{aligned}$$

ما السرعة المتجهة النهائية للكرة؟ بما أن $p_f = mv_f$ ، فإنه يمكن حساب v_f كالآتي:

$$v_f = \frac{p_f}{m} = \frac{+ 7.6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0.145 \text{ kg}} = + 52 \text{ m/s}$$

إن ضرب الكرة في الاتجاه الصحيح بسرعة 52 m/s يكفي لاجتياز حدود الملعب.

نظرية الدفع – الزخم والحفاظ على الحياة

يحدث تغير كبير في الزخم عندما يكون الدفع كبيراً. وينتج الدفع الكبير إما عن قوة كبيرة تؤثر خلال فترة زمنية قصيرة، أو عن قوة صغيرة تؤثر خلال فترة زمنية طويلة، وقد روعيت هذه المفاهيم الفيزيائية عند تصميم أنظمة الأمان في السيارات الحديثة، ومن ذلك تزويدها بوسائد هوائية.

ماذا يحدث للسائق عندما تتوقف السيارة فجأة نتيجة تصادم؟ يساوي الزخم النهائي p_f في حالات التصادم صفراً، أما الزخم الابتدائي p_i فلا يتأثر بوجود الوسادة الهوائية أو عدمه، وتبعاً لذلك يكون الدفع $F \Delta t$ هو نفسه في الحالتين؛ في وجود الوسادة وفي عدم وجودها. ما عمل الوسادة الهوائية؟ تعمل الوسادة الهوائية، كتلك المبينة في الشكل 2 - 3 على توفير الدفع المطلوب، لكنها تقلل القوة عن طريق زيادة زمن تأثيرها، كما أنها توزع تأثير القوة على مساحة أكبر من جسم الشخص، مما يقلل من احتمال حدوث الإصابات.



الشكل 2-3 تنتفخ الوسادة الهوائية في أثناء التصادم، حيث تسبب القوة الناجمة عن التصادم تحفيز المجس الذي يحفز بدوره تفاعلاً كيميائياً ينتج غازاً، مما يؤدي إلى انتفاخ الوسادة الهوائية بسرعة.



مثال 1



متوسط القوة تتحرك مركبة كتلتها 2200 kg بسرعة 94 km/h (26 m/s)، حيث يمكنها التوقف خلال 21 s، عن طريق الضغط على الكوابح برفق، ويمكن أن تتوقف المركبة خلال 3.8 s إذا ضغط السائق على الكوابح بشدة، بينما يمكن أن تتوقف خلال 0.22 s إذا اصطدمت بحائط أسمتي. ما متوسط القوة المؤثرة في المركبة في كل حالة من حالات التوقف؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم النظام.
- اختر نظام إحداثيات وحدد الاتجاه الموجب ليكون في اتجاه السرعة المتجهة للسيارة.
- اعمل رسماً تخطيطياً لمتجهات الزخم والدفع.

المجهول

المعلوم

F = ? الضغط على الكوابح برفق	$m = 2200 \text{ kg}$	$\Delta t = 21 \text{ s}$ الضغط على الكوابح برفق
F = ? الضغط على الكوابح بشدة	$v_i = + 26 \text{ m/s}$	$\Delta t = 3.8 \text{ s}$ الضغط على الكوابح بشدة
F = ? الاصطدام بحائط	$v_f = + 0.0 \text{ m/s}$	$\Delta t = 0.22 \text{ s}$ الاصطدام بحائط

2 إيجاد الكمية المجهولة

أولاً: نحسب الزخم الابتدائي p_i :

$$\begin{aligned} p_i &= mv_i \\ &= (2200 \text{ kg}) (+ 26 \text{ m/s}) \\ &= + 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $m = 2200 \text{ kg}, v_i = + 26 \text{ m/s}$

ثانياً: نحسب الزخم النهائي p_f :

$$\begin{aligned} p_f &= mv_f \\ &= (2200 \text{ kg}) (+ 0.0 \text{ m/s}) \\ &= 0.0 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $m = 2200 \text{ kg}, v_f = + 0.0 \text{ m/s}$

ثالثاً: نطبق نظرية الدفع - الزخم للحصول على القوة المطلوبة لإيقاف المركبة:

$$\begin{aligned} F\Delta t &= p_f - p_i \\ &= (+ 0.0 \text{ kg.m/s}) - (5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}) \\ &= - 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $p_i = 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}, p_f = 0.0 \text{ kg.m/s}$

$$\begin{aligned} F &= \frac{- 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{\Delta t} \\ F_{\text{الضغط على المكابح برفق}} &= \frac{- 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{21 \text{ s}} \\ &= - 2.7 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{الضغط على المكابح بشدة}} &= \frac{- 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{3.8 \text{ s}} \\ &= - 1.5 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{الاصطدام بحائط}} &= \frac{- 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{0.22 \text{ s}} \\ &= - 2.6 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

204-205

عوض مستخدماً $\Delta t = 21 \text{ s}$ الضغط على الكوابح برفق

عوض مستخدماً $\Delta t = 3.8 \text{ s}$ الضغط على الكوابح بشدة

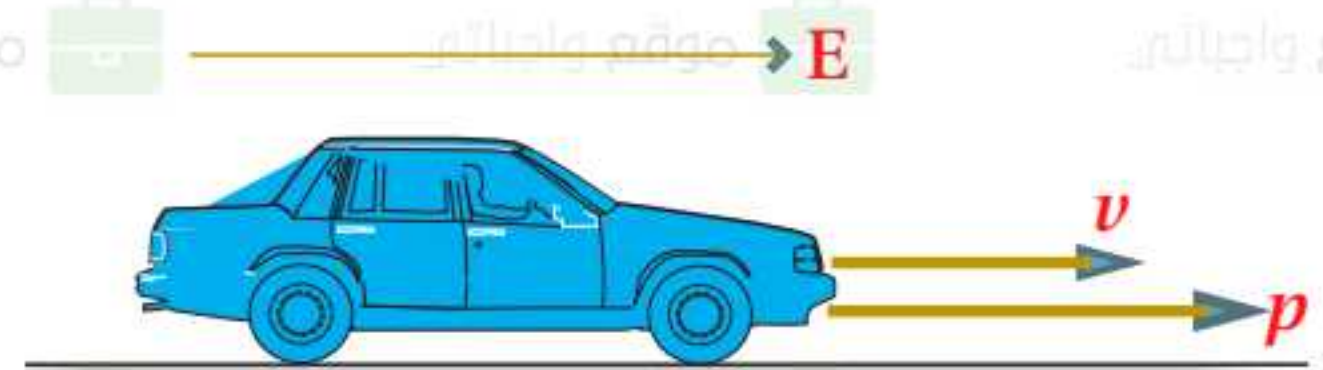
عوض مستخدماً $\Delta t = 0.22 \text{ s}$ الاصطدام بحائط

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس القوة بالنيوتن، وكان الجواب بالوحدة N نفسها.
- هل للاتجاه معنى؟ تؤثر القوة في الاتجاه المعاكس لسرعة السيارة، لذا يكون اتجاه القوة في الاتجاه السالب.
- هل الجواب منطقي؟ يزن الشخص عدة مئات نيوتن، لذا فمن المنطقي أن تكون القوة اللازمة لإيقاف سيارة عدة آلاف نيوتن، ولأن الدفع في عمليات الإيقاف الثلاثة هو نفسه؛ فكلما قل زمن التوقف أكثر من عشر مرات ازدادت القوة أكثر من عشر مرات.

1. تتحرك سيارة صغيرة كتلتها 725 kg بسرعة 115 km/h في اتجاه الشرق. عبر عن حركة السيارة برسم تخطيطي.

a. احسب مقدار زخمها وحدد اتجاهه، وارسم سهمها على الرسم التخطيطي يعبر عن الزخم.



$$p = mv$$

$$= (725 \text{ kg})(115 \text{ km/h})\left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right)\left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)$$

$$= 2.32 \times 10^4 \text{ kg.m/s شرقاً}$$

b. إذا امتلكت سيارة أخرى الزخم نفسه، وكانت كتلتها 2175 kg، فما سرعتها المتجهة؟

$$v = \frac{p}{m}$$

$$= \frac{(2.32 \times 10^4 \text{ kg.m/s})\left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right)\left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}}\right)}{2175 \text{ kg}}$$

$$= 38.4 \text{ km/h شرقاً}$$

2. إذا ضغط السائق في السؤال السابق على الكوابح بشدة لإبطاء السيارة خلال 2.0 s. وكان متوسط القوة المؤثرة في السيارة لإبطائها يساوي $5.0 \times 10^3 \text{ N}$ ،

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

$$F = -5.0 \times 10^3 \text{ N}$$

a. ما التغير في زخم السيارة؟ ما مقدار واتجاه الدفع على السيارة؟

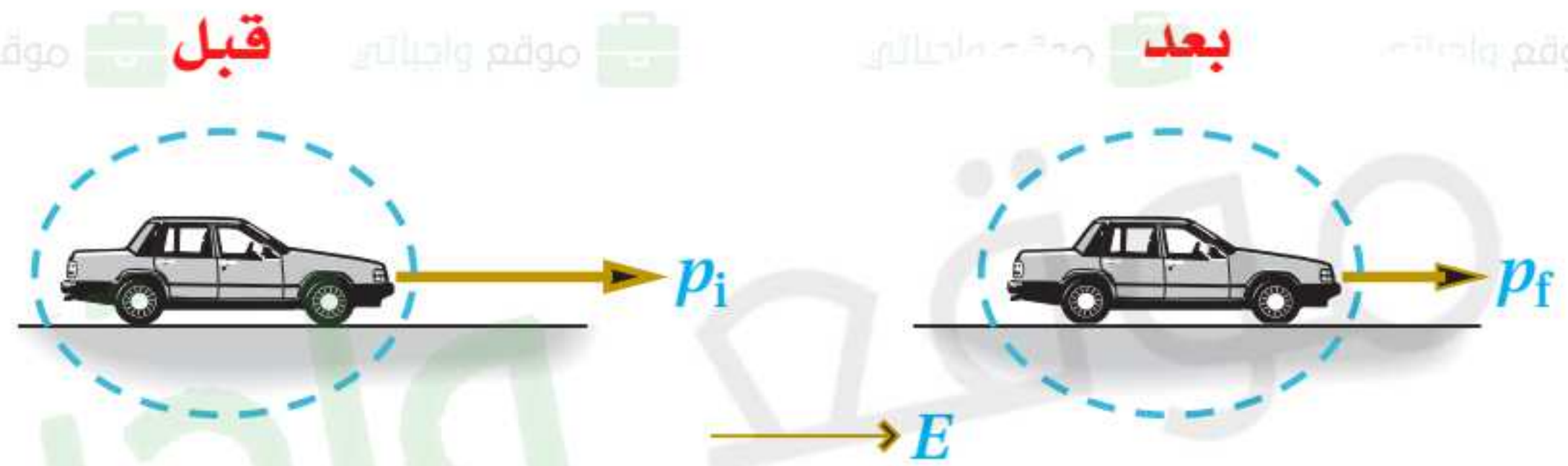
$$\text{الدفع} = F\Delta t$$

$$= (-5.0 \times 10^3 \text{ N})(2.0 \text{ s})$$

$$= -1.0 \times 10^4 \text{ N.s}$$

اتجاه الدفع نحو الغرب ومقداره $1.0 \times 10^4 \text{ N.s}$

b. أكمل الرسمين لما قبل الضغط على الكوابح وبعده، ثم حدّد الزخم والسرعة المتجهة للسيارة بعد الانتهاء من الضغط على الكوابح.



$$p_i = 2.32 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \text{ شرقاً}$$

$$F\Delta t = \Delta p = p_f - p_i$$

$$p_f = F\Delta t + p_i$$

$$= -1.0 \times 10^4 \text{ kg.m/s} + 2.32 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

$$= 1.3 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \text{ شرقاً}$$

$$p_f = mv_f$$

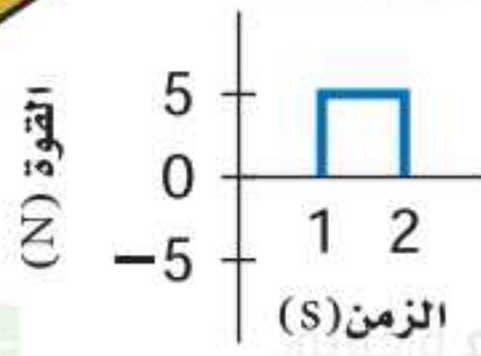
$$v_f = \frac{p_f}{m} = \frac{1.3 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{725 \text{ kg}}$$

$$= 18 \text{ m/s}$$

$$= 65 \text{ km/h} \text{ شرقاً}$$

3. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg على ممر الانزلاق بسرعة متجهة مقدارها 2.0 m/s. احسب سرعة الكرة، واتجاه حركتها بعد تأثير كل دفع من الدفعين المبينين في الشكلين 3-3a و 3-3b.

a



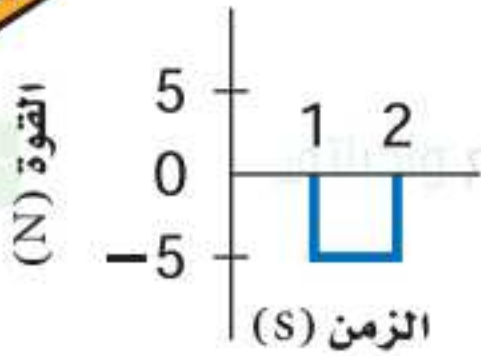
$$F\Delta t = p_f - p_i = mv_f - mv_i \quad \text{a}$$

$$v_f = \frac{F\Delta t + mv_i}{m}$$

$$= \frac{(5.0 \text{ N})(1.0 \text{ s}) + (7.0 \text{ kg})(2.0 \text{ m/s})}{7.0 \text{ kg}}$$

في اتجاه السرعة المتجهة الأصلية نفسها 2.7 m/s

b



$$v_f = \frac{F\Delta t + mv_i}{m} \quad \text{b}$$

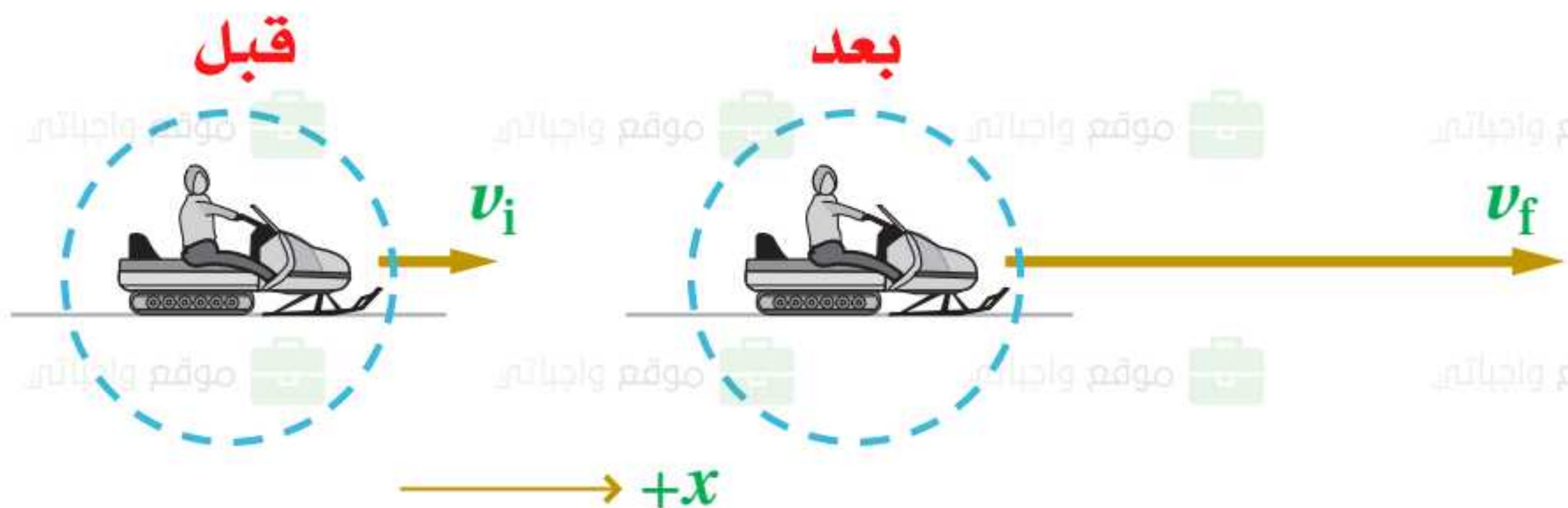
$$= \frac{(-5.0 \text{ N})(1.0 \text{ s}) + (7.0 \text{ kg})(2.0 \text{ m/s})}{7.0 \text{ kg}}$$

في اتجاه السرعة المتجهة الأصلية نفسها 1.3 m/s

الشكل 3-3

4. سائق عربة ثلج كتلتها 240.0 kg، وذلك بالتأثير بقوة أدت إلى زيادة سرعتها من 6.0 m/s إلى 28.0 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 60.0 s.

a. ارسم مخططاً يمثل الوضعين الابتدائي والنهائي للعربة.



b. ما التغير في زخم العربة؟ وما الدفع على العربة؟

$$\Delta p = F\Delta t$$

$$= m(v_f - v_i)$$

$$= (240.0 \text{ kg})(28.0 \text{ m/s} - 6.00 \text{ m/s})$$

$$= 5.28 \times 10^3 \text{ kg.m/s}$$

c. ما مقدار متوسط القوة التي أثرت في العربة؟

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{5.28 \times 10^3 \text{ kg.m/s}}{60.0 \text{ s}} = 88.0 \text{ N}$$

5. افترض أن شخصًا كتلته 60.0 kg موجود في المركبة التي اصطدمت بالحائط الأسمنتية في المثال 1، حيث السرعة المتجهة للشخص مساوية للسرعة المتجهة للمركبة قبل التصادم وبعده، وتغيرت هذه السرعة المتجهة خلال 0.2 s. ارسم مخططًا يمثل المسألة.



a. ما متوسط القوة المؤثرة في الشخص؟

$$F\Delta t = \Delta p = p_f - p_i$$

$$F = \frac{p_f - p_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.0 \text{ kg.m/s}) - (60.0 \text{ kg}) (94 \text{ km/h})}{0.20 \text{ s}}$$

$$\left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)$$

$$= 7.8 \times 10^3 \text{ N في عكس اتجاه الحركة}$$

b. يعتقد بعض الأشخاص أنّ بإمكانهم أن يوقفوا اندفاع أجسامهم إلى الأمام في مركبة ما عندما تتوقف فجأة، وذلك بوضع أيديهم على لوحة العدادات. احسب كتلة جسم وزنه يساوي القوة التي حسبتها في الفرع **a**. وهل تستطيع رفع مثل هذه الكتلة؟ وهل أنت قويّ بدرجة كافية لتوقف جسمك باستخدام ذراعيك؟

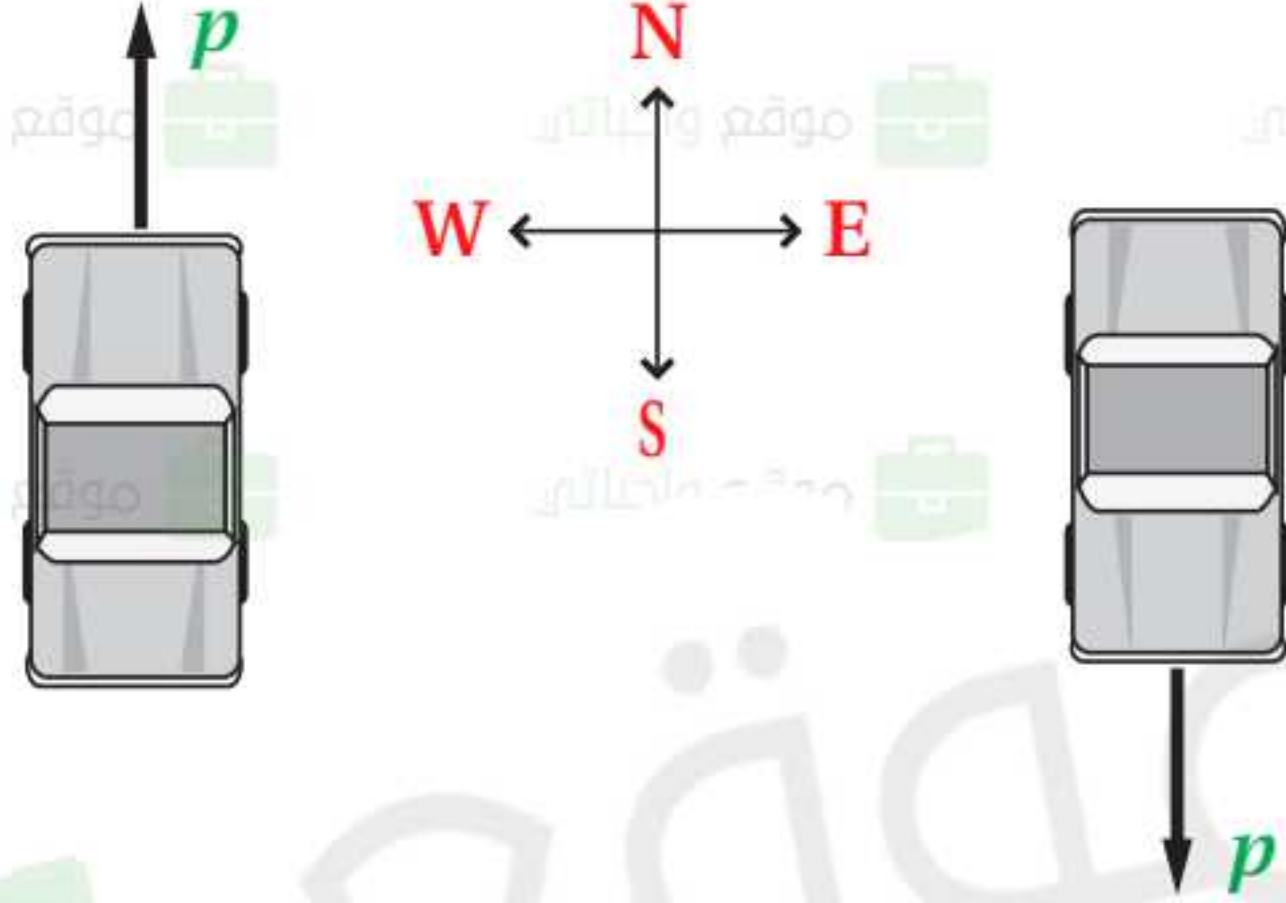
$$F_g = mg$$

$$m = \frac{F_g}{g} = \frac{7.8 \times 10^3 \text{ N}}{9.80 \text{ m/s}^2} = 8.0 \times 10^2 \text{ kg}$$

ومثل هذه الكتلة لا يمكن رفعها لأنها ثقيلة؛ لذا لا يمكنك إيقاف جسمك بأمان بذراعيك.

6. **الزخم** هل يختلف زخم سيارة تتحرك جنوباً عن زخم السيارة نفسها عندما تتحرك شمالاً، إذا كان مقدار السرعة في الحالتين متساوياً؟ ارسم متجهات الزخم لتدعم إجابتك.

نعم؛ فالزخم كمية متجهة، ويكون زخما السيارتين في اتجاهين متعاكسين.



7. **الدفع والزخم** عندما تقفز من ارتفاع معين إلى الأرض فإنك تشني رجلك لحظة ملامسة قدميك الأرض. بين لماذا تفعل هذا اعتماداً على المفاهيم الفيزيائية التي تعلمتها في هذا الفصل.

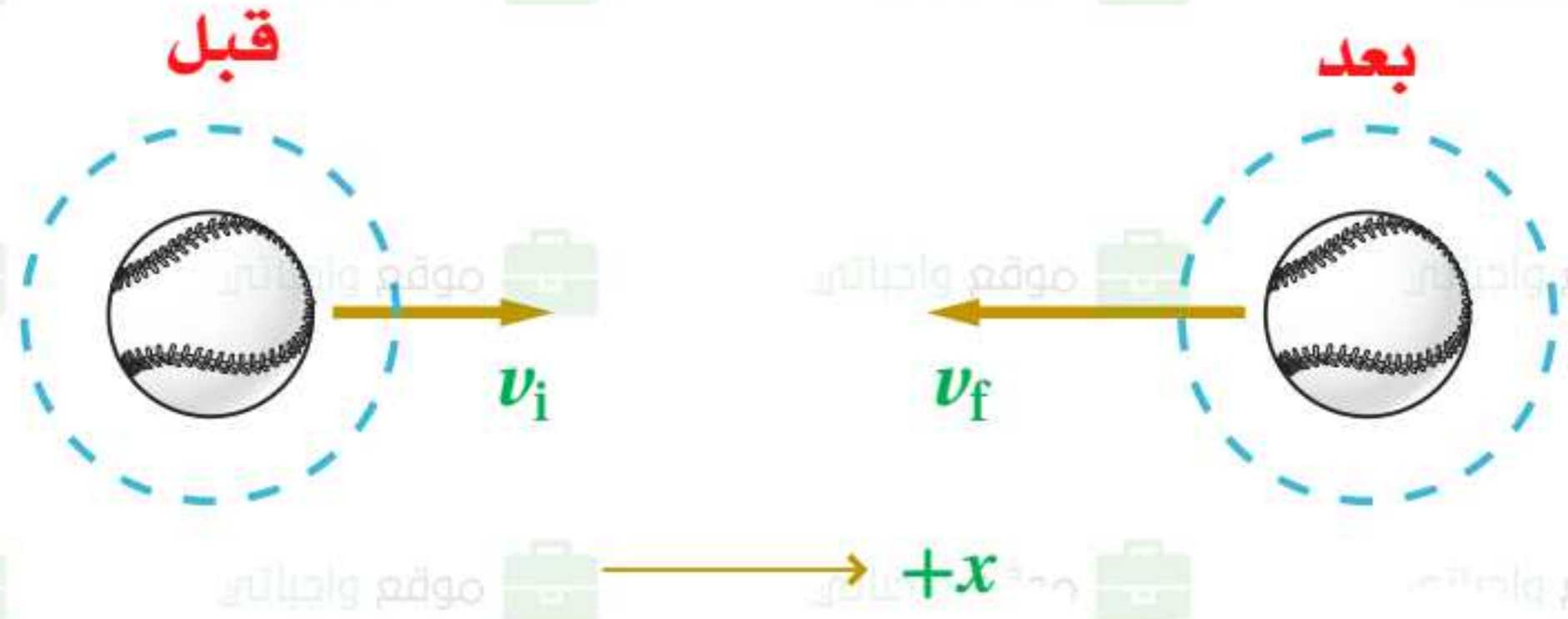
لقد قللت القوة بزيادة الفترة الزمنية التي استغرقتها لإيقاف حركة جسمك.

8. **الزخم** أيهما له زخم أكبر، ناقلة نفط راسية بثبات في رصيف ميناء، أم قطرة مطر ساقطة؟

لقطرة المطر الساقطة زخم أكبر؛ لأن ناقلة النفط في وضع السكون لها زخم يساوي صفراً.

9. **الدفع والزخم** قذفت كرة بيسبول كتلتها 0.174 kg أفقيًا بسرعة 26.0 m/s . وبعد أن ضربت الكرة بالمضرب تحركت في الاتجاه المعاكس بسرعة 38.0 m/s .

a. ارسم متجهات الزخم للكرة قبل ضربها بالمضرب وبعده.



b. ما التغير في زخم الكرة؟

$$\begin{aligned}\Delta p &= m(v_f - v_i) \\ &= (0.174 \text{ kg})(38.0 \text{ m/s} - (-26.0 \text{ m/s})) \\ &= 11.1 \text{ kg.m/s}\end{aligned}$$

c. ما الدفع الناتج عن المضرب؟

$$F\Delta t = p_f - p_i$$

$$= \Delta p$$

$$= 11.1 \text{ kg.m/s}$$

$$= 11.1 \text{ N.s}$$

d. إذا بقي المضرب متصلاً بالكرة مدة 0.80 ms فما متوسط القوة التي أثر بها المضرب في الكرة؟

$$F\Delta t = m(v_f - v_i)$$

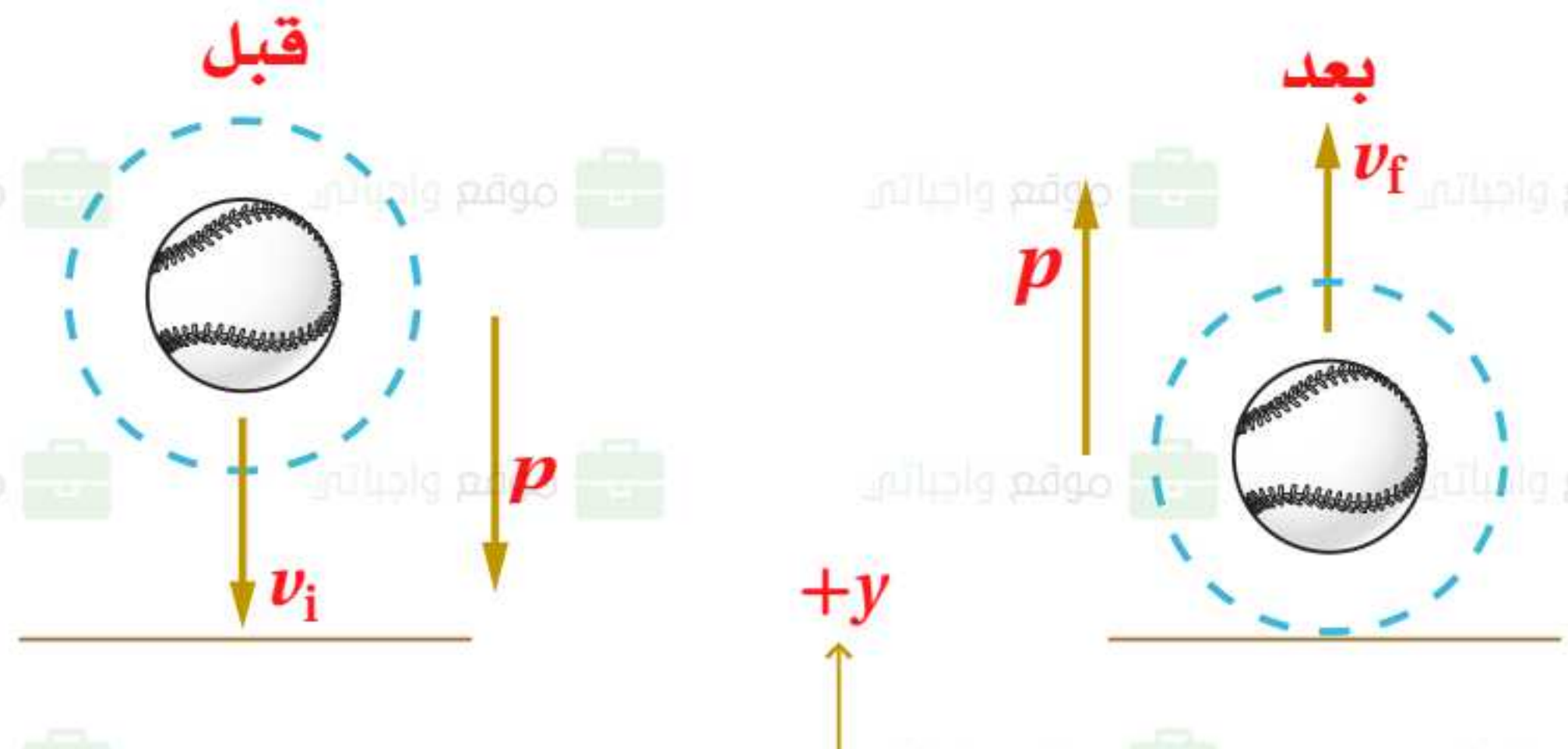
$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.174 \text{ kg}) (38.0 \text{ m/s} - (-26.0 \text{ m/s}))}{(0.80 \text{ ms}) \left(\frac{1 \text{ s}}{1000 \text{ ms}} \right)}$$

$$= 1.4 \times 10^4 \text{ N}$$

10. **الزخم** إن مقدار سرعة كرة السلة لحظة اصطدامها بالأرض هو نفسه بعد التصادم مباشرة. هل يعني ذلك أن التغير في زخم الكرة يساوي صفراً عند اصطدامها بالأرض؟ إذا كان الجواب بالنفي ففي أي اتجاه يكون التغير في الزخم؟ ارسم متجهات الزخم لكرة السلة قبل أن تصطدم بالأرض وبعده.

لا، يكون التغير في الزخم إلى أعلى؛ فقبل أن تصطدم الكرة بالأرض يكون متجه الزخم إلى أسفل، وبعد التصادم يكون متجه الزخم إلى أعلى.



11. **التفكير الناقد** يصوّب رام سهامه في اتجاه هدف، فتتغرز بعض السهام في الهدف، ويرتد بعضها الآخر عنه. افترض أن كتل السهام وسرعاتها المتجهة متساوية، فأَيّ السهام ينتج دفعًا أكبر على الهدف؟ تلميح: ارسم مخططًا تبيّن فيه زخم السهام قبل إصابة الهدف وبعدها في الحالتين.

تنتج الأسهم المرتدة عن الهدف دفعًا أكبر؛ لأن لها زخمًا في الاتجاه المعاكس عند ارتدادها، وهذا يعني أن لديها تغيرًا كبيرًا في الزخم.



3-2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

لقد درست في الدرس الأول من هذا الفصل، كيف تغير القوة المؤثرة في فترة زمنية زخم كرة بيسبول. ولقد تعلمت من القانون الثالث لنيوتن أن القوى هي نتيجة للتفاعلات بين جسمين؛ فعندما يؤثر المضرب في الكرة بقوة فإن الكرة تؤثر في المضرب بمقدار القوة نفسه ولكن في الاتجاه المعاكس. فهل يتغير زخم المضرب؟

تصادم جسمين Two - Particle Collisions

عندما يضرب اللاعب كرة البيسبول فإن المضرب ويد اللاعب وذراعيه والأرض التي يقف عليها تتفاعل معاً، لذا لا يمكن اعتبار المضرب جسماً منفصلاً. لتيسير دراسة التصادم يمكن أن نتفحص نظاماً أبسط، مقارنة بالنظام المركب السابق، كالتصادم بين كرتين. انظر الشكل 3-4.

إن كل كرة تؤثر في الأخرى بقوة في أثناء عملية تصادم الكرتين معاً، وإن القوتين اللتين تؤثر بهما كل كرة في الأخرى متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، على الرغم من اختلاف حجمي الكرتين وسرعتيهما المتجهتين؛ وذلك استناداً إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة، وتُمثل هاتان القوتان بالمعادلة الآتية:

$$\mathbf{F}_{C \text{ في } D} = -\mathbf{F}_{D \text{ في } C}$$

ما العلاقة بين الدفعين اللذين تبادلت الكرتان التأثير بهما؟ بما أن القوتين أثرتا خلال الفترة الزمنية نفسها فإن دفعي الكرتين يجب أن يكونا متساويين في المقدار ومتعاكسين في الاتجاه. كيف تغير زخم الكرتين نتيجة للتصادم؟

استناداً إلى نظرية الدفع-الزخم فإن التغير في الزخم يساوي الدفع، وتبعاً لذلك فإن التغير في الزخم لكل من الكرتين كالآتي:

$$p_{Cf} - p_{Ci} = \mathbf{F}_{C \text{ في } D} \Delta t \quad \text{للكرة C}$$

$$p_{Df} - p_{Di} = \mathbf{F}_{D \text{ في } C} \Delta t \quad \text{وللكرة D}$$

والآن نقارن بين التغير في الزخم لكل من الكرتين؛ حيث إن الفترة الزمنية التي تؤثر خلالها القوتان هي نفسها، كما أن $\mathbf{F}_{C \text{ في } D} = -\mathbf{F}_{D \text{ في } C}$ وفقاً للقانون الثالث لنيوتن في الحركة، فإن دفعي الكرتين متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه. وتبعاً لذلك فإن:

$$p_{Cf} - p_{Ci} = -(p_{Df} - p_{Di})$$

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على الآتي:

$$p_{Cf} + p_{Df} = p_{Ci} + p_{Di}$$

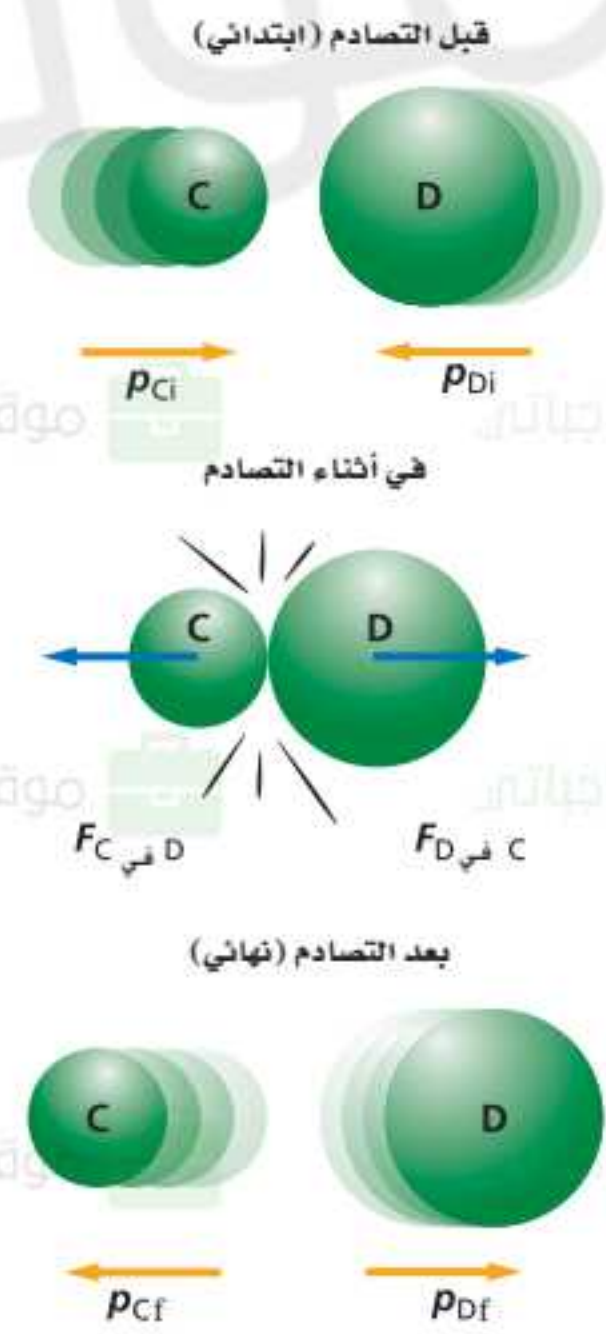
وتشير هذه المعادلة إلى أن مجموع زخم الكرتين قبل التصادم يساوي مجموع زخميها بعد التصادم. وهذا يعني أن الزخم المكتسب من الكرة D يساوي الزخم المفقود من الكرة C. فإذا كان النظام يتكوّن من الكرتين فإن زخم النظام يكون ثابتاً أو محفوظاً.

الأهداف

- تربط بين القانون الثالث لنيوتن وحفظ الزخم.
- تعرّف الظروف اللازمة لحفظ الزخم.
- تحل مسائل حفظ الزخم.

المفردات

- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم



الشكل 3-4 عندما تصطدم كرتان فإن كلا منهما تؤثر في الأخرى بقوة مما يؤدي إلى تغير زخميها.

الزخم في نظام مغلق معزول

Momentum in a Closed, Isolated System

ما الشروط التي يكون عندها زخم النظام المكون من كرتين محفوظاً؟ إن الشرط الأول والأكثر وضوحاً هو عدم فقدان النظام أو اكتسابه كتلة. ويُسمى النظام الذي لا يكتسب كتلة ولا يفقدها **بالنظام المغلق**. أما الشرط الثاني لحفظ الزخم في أيّ نظام فهو أن تكون القوى المؤثرة فيه قوى داخلية؛ أي لا تؤثر في النظام قوى من أجسام موجودة خارجه.

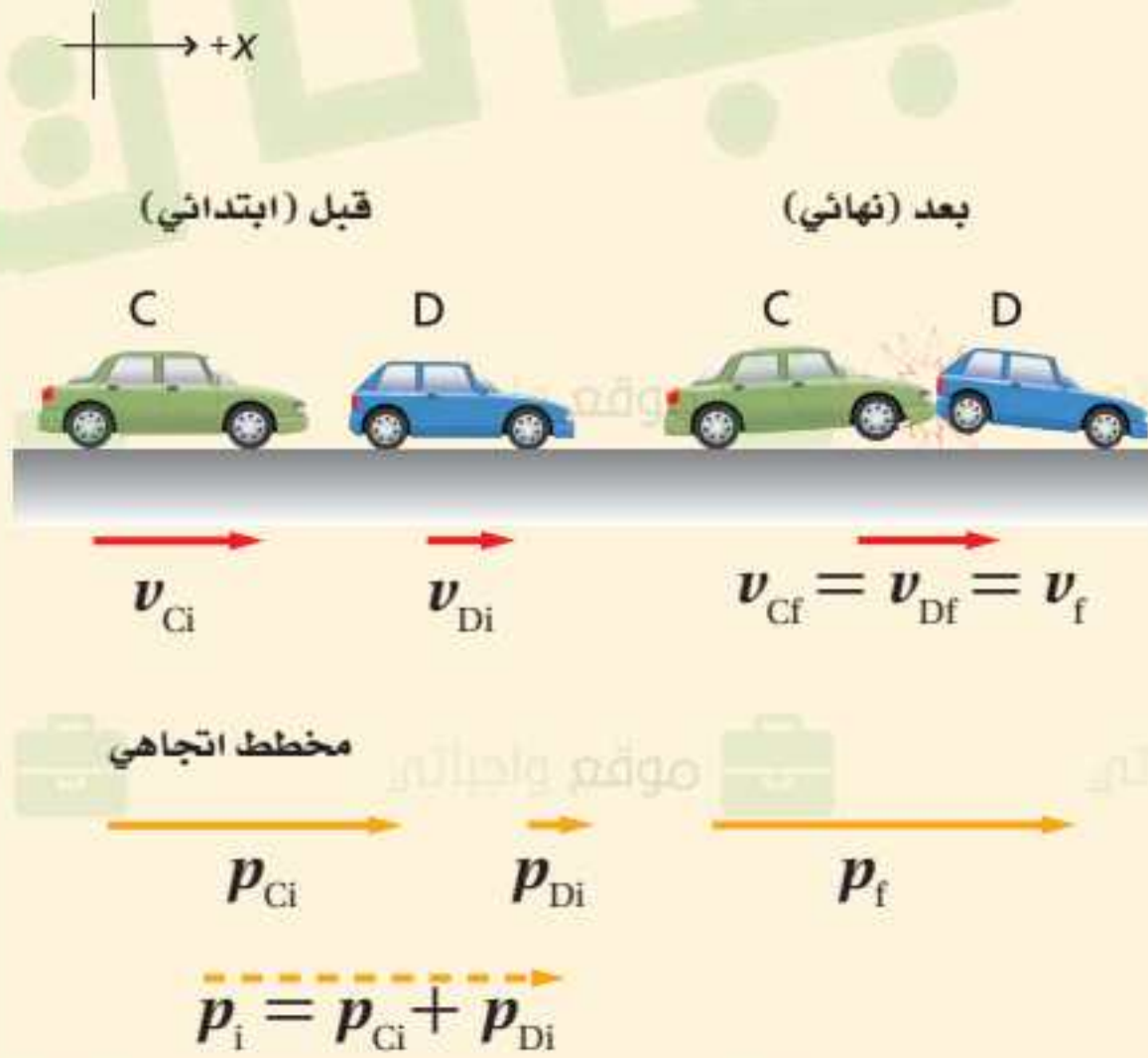
يوصف النظام المغلق بأنه **نظام معزول** عندما تكون محصلة القوى الخارجية عليه تساوي صفراً. ولا يوجد على سطح الكرة الأرضية نظام يمكن وصفه بأنه معزول تماماً؛ بسبب وجود تفاعلات بين النظام ومحيطه. وغالباً ما تكون هذه التفاعلات صغيرة جداً، بحيث يمكن إهمالها عند حل المسائل الفيزيائية.

يمكن للأنظمة أن تحتوي على أيّ عدد من الأجسام، وهذه الأجسام يمكن أن يلتحم (يلتصق) بعضها ببعض أو تتفكك عند التصادم. وينص **قانون حفظ الزخم** على أن زخم أي نظام مغلق ومعزول لا يتغير. وسيجعلك هذا القانون قادراً على الربط بين ظروف النظام قبل التفاعل وبعده، دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل هذا التفاعل.

مثال 2

السرعة تحركت سيارة كتلتها 1875 kg بسرعة 23 m/s ، فاصطدمت بمؤخرة سيارة صغيرة كتلتها 1025 kg تسير على الجليد بسرعة 17 m/s في الاتجاه نفسه، فالتحمت السيارتان إحداهما بالأخرى. ما السرعة التي تتحرك بها السيارتان معاً بعد التصادم مباشرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها



المجهول

$$v_f = ?$$

المعلوم

$$m_C = 1875 \text{ kg}$$

$$v_{Ci} = + 23 \text{ m/s}$$

$$m_D = 1025 \text{ kg}$$

$$v_{Di} = + 17 \text{ m/s}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

الزخم محفوظ لأن الأرضية الملساء (الجليد) تجعل القوة الخارجية الكلية على السيارتين صفراً تقريباً.

$$p_i = p_f$$

$$p_{Ci} + p_{Di} = p_{Cf} + p_{Df}$$

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = m_C v_{Cf} + m_D v_{Df}$$

بما أن السيارتين التحمتا معًا فإن لهما السرعة المتجهة نفسها بعد التصادم (v_f).

$$v_{Cf} = v_{Df} = v_f$$

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = (m_C + m_D) v_f$$

$$\begin{aligned} v_f &= \frac{(m_C v_{Ci} + m_D v_{Di})}{(m_C + m_D)} \\ &= \frac{(1875 \text{ kg})(+23 \text{ m/s}) + (1025 \text{ kg})(+17 \text{ m/s})}{(1875 \text{ kg} + 1025 \text{ kg})} \\ &= +21 \text{ m/s} \end{aligned}$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 213

نعيد ترتيب المعادلة لنحسب v_f .

$$v_{Di} = +17 \text{ m/s}, m_C = 1875 \text{ kg}$$

$$v_{Ci} = +23 \text{ m/s}, m_D = 1025 \text{ kg}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس السرعة بـ m/s ، وكان الجواب بهذه الوحدات نفسها.
- هل للاتجاه معنى؟ v_i و v_f ، في الاتجاه الموجب، لذا يجب أن تكون قيمة v_f موجبة.
- هل الجواب منطقي؟ إن مقدار السرعة النهائية v_f يقع بين سرعة كل من السيارتين قبل التصادم، ولكنه أقرب إلى سرعة السيارة الكبيرة، وهذا منطقي.

مسائل تدريبية

12. اصطدمت سيارتا شحن كتلة كل منهما $3.0 \times 10^5 \text{ kg}$ ، فالتصقتا معًا، فإذا كانت سرعة إحدهما قبل التصادم مباشرة 2.2 m/s ، وكانت الأخرى ساكنة، فما سرعتها النهائية؟

$$p_i = p_f$$

$$mv_{Ai} + mv_{Bi} = 2mv_f$$

$$v_f = \frac{v_{Ai} + v_{Bi}}{2}$$

$$= \frac{2.2 \text{ m/s} + 0.0 \text{ m/s}}{2}$$

$$= 1.1 \text{ m/s}$$

13. يتحرك قرص لعبة هوكي كتلته 0.105 kg بسرعة 24 m/s ، فيمسك به حارس مرمى كتلته 75 kg في حالة سكون. ما السرعة التي ينزلق بها حارس المرمى على الجليد؟

$$0.034 \text{ m/s}$$

14. اصطدمت رصاصة كتلتها 35.0 g بقطعة خشب ساكنة كتلتها 5.0 kg ، فاستقرت فيها، فإذا تحركت قطعة الخشب والرصاصة معاً بسرعة 8.6 m/s فما السرعة الابتدائية للرصاصة قبل التصادم؟

$$m_{\text{الرصاصة}} v_{i, \text{الرصاصة}} + m_{\text{قطعة الخشب}} v_{i, \text{قطعة الخشب}} = (m_{\text{الرصاصة}} + m_{\text{قطعة الخشب}}) v_f$$

حيث إن v_f هي السرعة النهائية المشتركة للرصاصة وقطعة الخشب.

لما كانت

$$v_{i, \text{قطعة الخشب}} = 0.0 \text{ m/s},$$

فإن

$$v_{i, \text{الرصاصة}} = \frac{(m_{\text{الرصاصة}} + m_{\text{قطعة الخشب}}) v_f}{m_{\text{الرصاصة}}}$$

$$= \frac{(0.0350 \text{ kg} + 5.0 \text{ kg})(8.6 \text{ m/s})}{0.0350 \text{ kg}}$$

$$= 1.2 \times 10^3 \text{ m/s}$$

15. تحركت رصاصة كتلتها 35.0 g بسرعة 475 m/s ، فاصطدمت بكيس من الطحين كتلته 2.5 kg موضوع على أرضية ملساء في حالة سكون، فاخرقت الرصاصة الكيس، انظر إلى الشكل 3-5، وخرجت منه بسرعة 275 m/s. ما سرعة الكيس لحظة خروج الرصاصة منه؟



الشكل 3 - 5

2.8 m/s

16. إذا اصطدمت الرصاصة المذكورة في السؤال السابق بكرة فولاذية كتلتها 2.5 kg في حالة سكون، فارتدت الرصاصة عنها بسرعة مقدارها 5.0 m/s ، فكم تكون سرعة الكرة بعد ارتداد الرصاصة؟

6.7 m/s

17. تحركت كرة كتلتها 0.50 kg بسرعة 6.0 m/s ، فاصطدمت بكرة أخرى كتلتها 1.00 kg تتدحرج في الاتجاه المعاكس بسرعة مقدارها 12.0 m/s. فإذا ارتدت الكرة الأقل كتلة إلى الخلف بسرعة مقدارها 14 m/s بعد التصادم فكم يكون مقدار سرعة الكرة الأخرى بعد التصادم؟

2.0 m/s في الاتجاه المعاكس.

التحليل والاستنتاج

7. صف ارتفاع ارتداد كل من الكرتين عندما تسقط كل كرة على حدة.

ستتوقع الإجابات، تترد الكرة الصغيرة والكرة الكبيرة إلى 80% من الارتفاع الذي سقطتا منه.

8. قارن بين ارتفاعات الارتداد في الخطوتين 6 و 7.

ستتوقع الإجابات، سوف تترد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع أقل من الكرة الصغيرة، فهنا سوف تترد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع 3 cm تقريباً عندما تسقط من ارتفاع 15 cm، أما الكرة الصغيرة فسوف تترد إلى ارتفاع 60 cm.

9. فسّر ملاحظتك.

تحول الزخم من الكرة الكبيرة إلى الكرة الصغيرة مسبباً ارتداد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع أقل ولكن الكرة الصغيرة لها كتلة أقل لذا تترد إلى ارتفاع أعلى. وهكذا يكون الزخم محفوظاً خلال التصادم.

الشكل 6-3 القوى الداخلية المؤثرة بواسطة المتزلج C "الصبي الأكبر"، والمتزلج D "الصبي الأصغر" لا تستطيع أن تغير الزخم الكلي للنظام.

من المهم جداً تعريف أيّ نظام بدقة، فمثلاً يتغير زخم كرة بيسبول عندما تؤثر قوة خارجية ناتجة عن المضرب فيها. وهذا يعني أن كرة البيسبول ليست نظاماً معزولاً. من جهة أخرى فإن الزخم الكلي لكرتين متصادمتين ضمن نظام معزول لا يتغير؛ لأن جميع القوى تكون بين الأجسام الموجودة داخل النظام. هل تستطيع إيجاد السرعات المتجهة النهائية للمتزلجين الموجودين في الشكل 6-3؟ افترض أنهما يتزلجان على سطح ناعم، دون وجود قوى خارجية، وأنهما انطلقا من السكون، وكان أحدهما خلف الآخر. دفع المتزلج C "الصبي الأكبر"، المتزلج D "الصبي الأصغر"، فتحركا في اتجاهين متعاكسين، ولأن قوة الدفع قوة داخلية، فإنه يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لإيجاد السرعات النسبية للمتزلجين. كان الزخم الكلي للنظام قبل الدفع يساوي صفراً، لذا يجب أن يكون الزخم الكلي صفراً بعد الدفع أيضاً.

$$\begin{aligned} \text{قبل} \quad & p_{Ci} + p_{Di} \\ \text{بعد} \quad & p_{Cf} + p_{Df} = 0 \\ & p_{Df} = -p_{Cf} \\ & m_D v_{Df} = -m_C v_{Cf} \end{aligned}$$

تم اختيار نظام الإحداثيات ليكون الاتجاه الموجب إلى اليمين. يكون زخما المتزلجين بعد الدفع متساويين في المقدار ومتعاكسين في الاتجاه. ويعد رجوع المتزلج C إلى الخلف بعد الدفع مثلاً على حالة الارتداد. فهل تكون سرعتان المتجهتان للمتزلجين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه أيضاً؟ يمكن إعادة كتابة المعادلة الأخيرة أعلاه، لإيجاد السرعة المتجهة للمتزلج C، على النحو الآتي:

$$v_{Cf} = \left(\frac{m_D}{-m_C} \right) v_{Df}$$

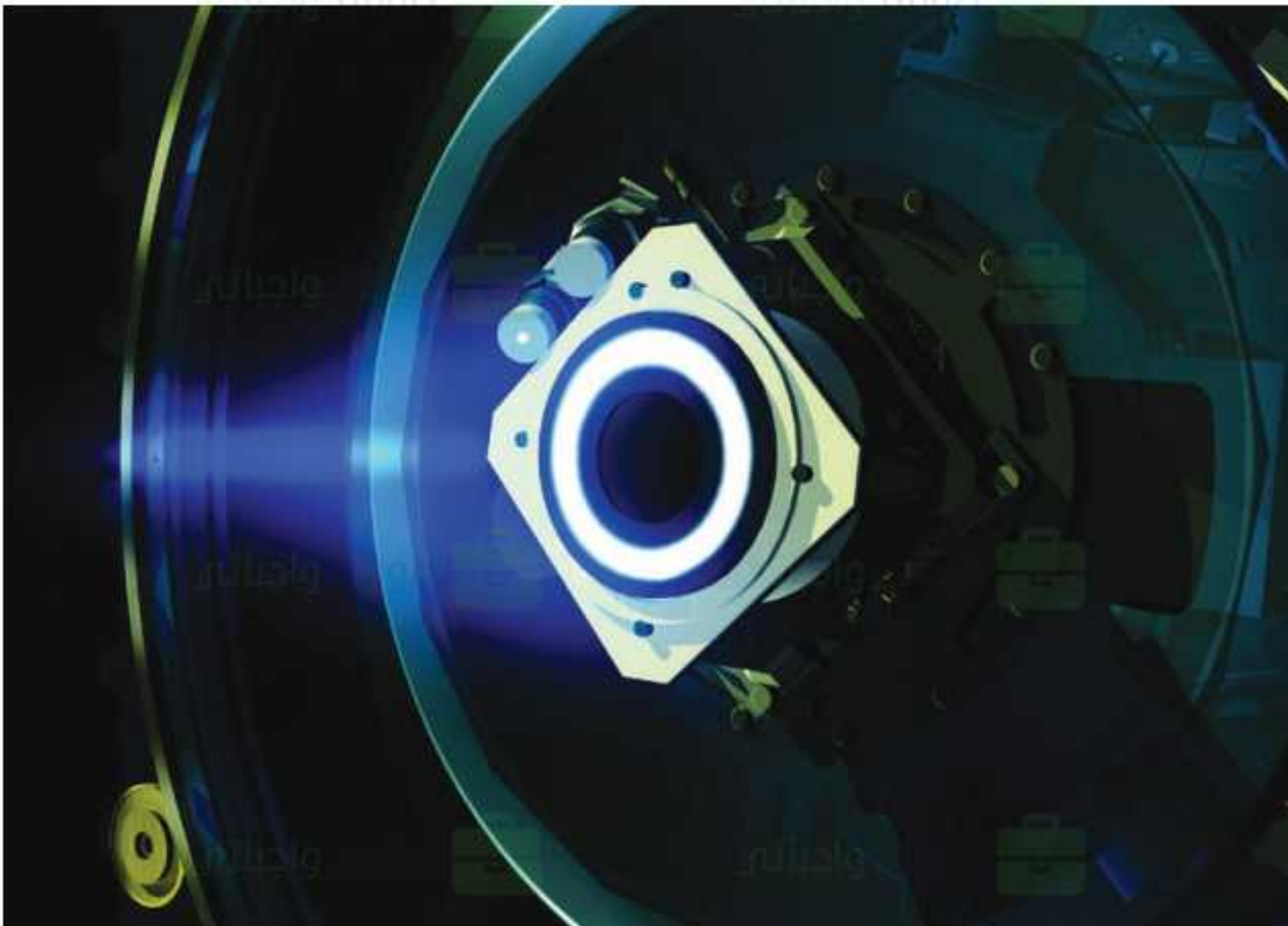
لذا فإن سرعتين المتجهتين تعتمدان على نسبة كتلتي المتزلجين إحداها إلى الأخرى. فمثلاً إذا كانت كتلة المتزلج C 68.0 kg وكتلة المتزلج D 45.4 kg، كانت نسبة سرعتين المتجهتين لهما 45.4: 68.0، أو 1.50، لذا فإن المتزلج الذي كتلته أقل يتحرك بسرعة متجهة أكبر. ولا يمكنك حساب السرعة المتجهة لكلا المتزلجين إذا لم يكن لديك معلومات عن مقدار قوة دفع المتزلج C للمتزلج D.



الدفع في الفضاء Propulsion in Space

كيف تتغير السرعة المتجهة للصاروخ في الفضاء؟ يُزود الصاروخ بالوقود والمادة المؤكسدة، وعندما يمتزجان معًا في محرك الصاروخ تنتج غازات حارة بسبب الاحتراق، وتخرج من فوهة العادم بسرعة كبيرة. فإذا كان الصاروخ والمواد الكيميائية هما النظام، فإن النظام يكون مغلقًا. وتكون القوى التي تنفث الغازات قوى داخلية، لذا يكون النظام معزولاً أيضًا. ولذلك فإن الأجسام الموجودة في الفضاء يمكنها أن تتسارع، وذلك باستخدام قانون حفظ الزخم وقانون نيوتن الثالث في الحركة.

تمكن مسبار ناسا الفضائي، والمسمى "Deep Space 1" من المرور بأحد الكويكبات منذ بضعة سنوات، وذلك بفضل استخدام تقنية حديثة فيه، تتمثل في "محرك أيوني" يؤثر بقوة مماثلة للقوة الناتجة عن ورقة مستقرة على يد شخص. يبين الشكل 3-7 المحرك الأيوني، الذي يعمل بشكل مختلف عن المحرك التقليدي للصاروخ؛ والذي فيه تندفع نواتج التفاعل الكيميائي - التي تحدث داخل حجرة الاحتراق - بسرعة عالية من الجزء الخلفي من الصاروخ. أما في المحرك الأيوني فإن ذرات الزينون تنطلق بسرعة مقدارها 30 km/s ، مولدة قوة مقدارها 0.092 N فقط. ولكن كيف يمكن لمثل هذه القوة الصغيرة أن تنتج تغييرًا كبيرًا في زخم المسبار؟ على عكس الصواريخ الكيميائية التقليدية والتي يعمل محركها لدقائق قليلة فقط، فإن المحرك الأيوني في المسبار يمكن أن يعمل أيامًا، أو أسابيع أو حتى أشهرًا؛ لذا فإن الدفع الذي يوفره المحرك يكون كبيرًا بدرجة كافية تسمح بزيادة زخم المركبة الفضائية التي كتلتها 490 kg حتى تصل إلى السرعة المطلوبة لإنجاز مهمتها.

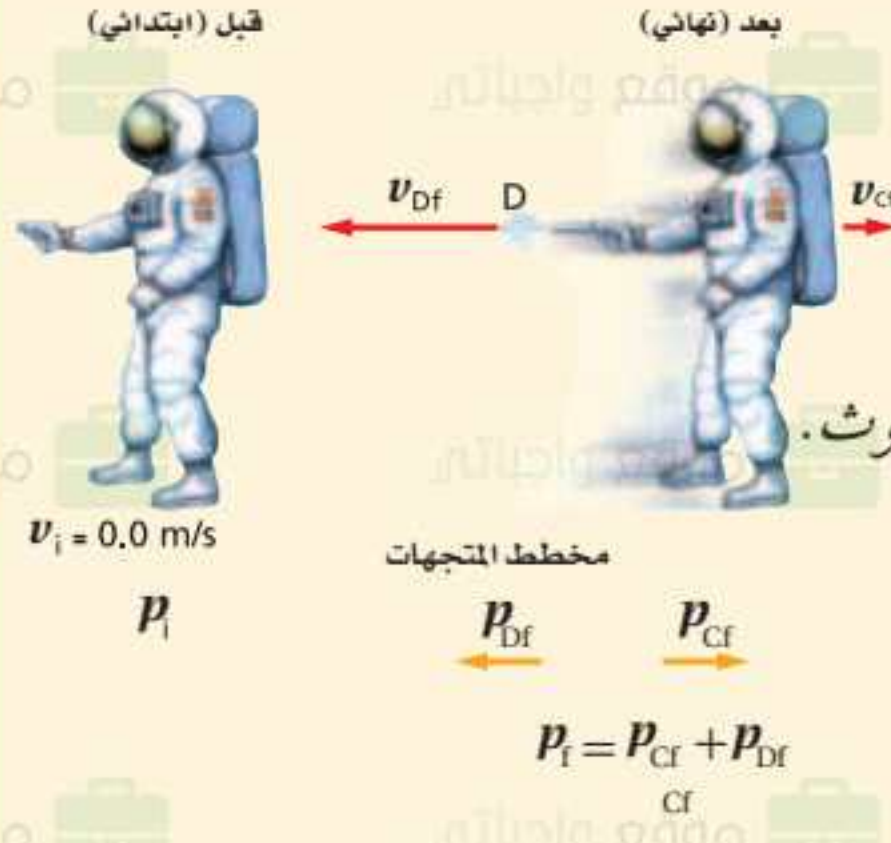


الشكل 3-7 تتأين ذرات الزينون الموجودة في المحرك الأيوني عن طريق قذفها بالإلكترونات، ثم تسرع أيونات الزينون الموجبة إلى سرعات عالية.

مثال 3

السرعة أطلق رائد فضاء في حالة سكون غازًا من مسدس دفع، ينفث 35 g من الغاز الساخن بسرعة 875 m/s ، فإذا كانت كتلة رائد الفضاء والمسدس معًا 84 kg ، فما مقدار سرعة رائد الفضاء؟ وفي أي اتجاه يتحرك بعد أن يطلق الغاز من المسدس؟

→ +x



1 تحليل المسألة ورسمها

• تعريف النظام

• بناء محور إحداثيات

• رسم الظروف "قبل" و "بعد"

• رسم مخطط يبين متجهات الزخم.

ملاحظة: يشير الحرف C إلى رائد الفضاء والمسدس معًا، والحرف D إلى الغاز المنفوث.

المجهول

$$v_{Cf} = ?$$

المعلوم

$$m_C = 84 \text{ kg}, m_D = 0.035 \text{ kg}$$

$$v_{Ci} = v_{Di} = + 0.0 \text{ m/s}$$

$$v_{Df} = - 875 \text{ m/s}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

يتكون النظام من رائد الفضاء والمسدس والمواد الكيميائية التي أنتجت الغاز.

$$p_i = p_{Ci} + p_{Di} = + 0.0 \text{ kg.m/s}$$

قبل أن يطلق المسدس الغاز، كانت جميع أجزاء النظام في

حالة سكون، لذا يكون الزخم الابتدائي صفرًا.

نستخدم قانون حفظ الزخم لإيجاد p_f

$$p_i = p_f$$

$$+ 0.0 \text{ kg.m/s} = p_{Cf} + p_{Df}$$

زخم رائد الفضاء والمسدس معًا يساوي زخم الغاز المنطلق

من المسدس في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.

$$p_{Cf} = - p_{Df}$$

نحل لإيجاد السرعة المتجهة النهائية للرائد، v_{Cf} .

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

$$m_C v_{Cf} = - m_D v_{Df}$$

$$v_{Cf} = \left(\frac{-m_D v_{Df}}{m_C} \right)$$

$$= \frac{(-0.035 \text{ kg})(-875 \text{ m/s})}{84 \text{ kg}} = + 0.36 \text{ m/s}$$

$$m_D = 0.035 \text{ kg}, v_{Df} = - 875 \text{ m/s}, m_C = 84 \text{ kg}$$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ تقاس السرعة بـ m/s ، والجواب بوحدة m/s .

• هل للاتجاه معنى؟ سرعة الرائد المتجهة في الاتجاه المعاكس لاتجاه انبعاث الغاز.

• هل الجواب منطقي؟ كتلة الرائد أكبر كثيرًا من كتلة الغاز المنبعث؛ لذا من المنطقي أن تكون سرعة الرائد المتجهة أقل

بكثير من سرعة الغاز المتجهة.

18. أطلق نموذج لصاروخ كتلته 4.00 kg ، بحيث نفث 50.0 g من الوقود المحترق من العادم بسرعة مقدارها 625 m/s ، ما سرعة الصاروخ المتجهة بعد احتراق الوقود؟ تلميح: أهمل القوتين الخارجيتين الناتجتين عن الجاذبية ومقاومة الهواء.

7.91 m/s

19. ترتبط عربتان إحداهما مع الأخرى بخيط يمنعها من الحركة، ولدى احتراق الخيط دفع نابض مضغوط بينهما العربتين في اتجاهين متعاكسين، فإذا اندفعت إحدى العربتين وكتلتها 1.5 kg بسرعة متجهة 27 cm/s إلى اليسار، فما السرعة المتجهة للعربة الأخرى التي كتلتها 4.5 kg ؟

9.0 cm/s إلى اليمين

20. قامت صفاء وديمة بإرساء زورق، فإذا تحركت صفاء التي كتلتها 80.0 kg إلى الأمام بسرعة 4.0 m/s عند مغادرة الزورق، فما مقدار واتجاه سرعة الزورق وديمة إذا كانت كتلتها معاً تساوي 115 kg ؟

2.8 m/s في الاتجاه المعاكس

التصادم في بعدين Two- Dimensional Collisions

لقد درست الزخم في بعد واحد فقط، ولكن يجب أن تعلم أن قانون حفظ الزخم يطبق على جميع الأنظمة المغلقة التي لا تؤثر فيها قوى خارجية، بغض النظر عن اتجاهات حركة الأجسام قبل تصادمها وبعده. ولكن ما الذي يحدث عندما تتصادم الأجسام في بعدين أو ثلاثة؟ يبين الشكل 3-8 ما يحدث عندما تصطدم كرة البلياردو C بالكرة D التي كانت في حالة سكون. افترض أن كرتي البلياردو هما النظام، فيكون الزخم الابتدائي للكرة المتحركة p_{Ci} ، وللكرة الثابتة صفرًا؛ لذا يكون زخم النظام قبل التصادم p_{Ci} .

تتحرك الكرتان بعد التصادم، وتمتلكان زخمًا، وإذا أهمل الاحتكاك مع الطاولة، فيكون النظام معزولاً ومغلقاً؛ لذا يمكن استخدام قانون حفظ الزخم (الزخم الابتدائي يساوي المجموع المتجه للزخم النهائي) أي أن:

$$p_{Ci} = p_{Cf} + p_{Df}$$

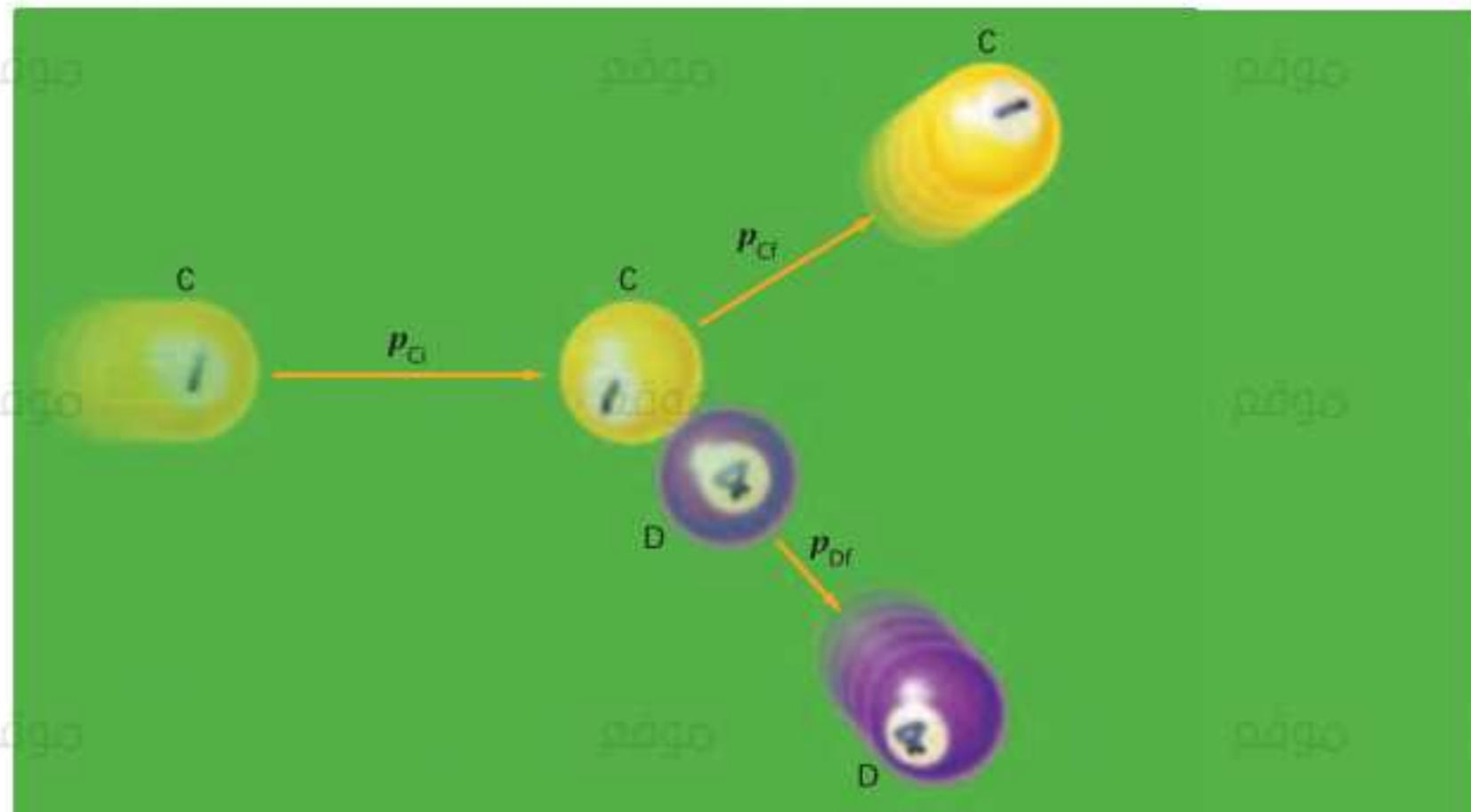
وتساوي الزخم قبل التصادم وبعده يعني أن مجموع مركبات المتجهات قبل التصادم وبعده يجب أن يكون متساوياً. وإذا كان الإحداثي الأفقي (x) في اتجاه الزخم الابتدائي، تكون المركبة الرأسية (y) للزخم الابتدائي تساوي صفرًا. ويجب أن يساوي مجموع المركبات الرأسية (y) النهائية للزخم صفرًا أيضًا.

$$p_{Cf,y} + p_{Df,y} = 0$$

تكون المركبتان الرأسيتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه، وتبعًا لذلك لا بد أن تكون إشارتهما مختلفتين. أمّا مجموع المركبات الأفقية للزخم فيساوي:

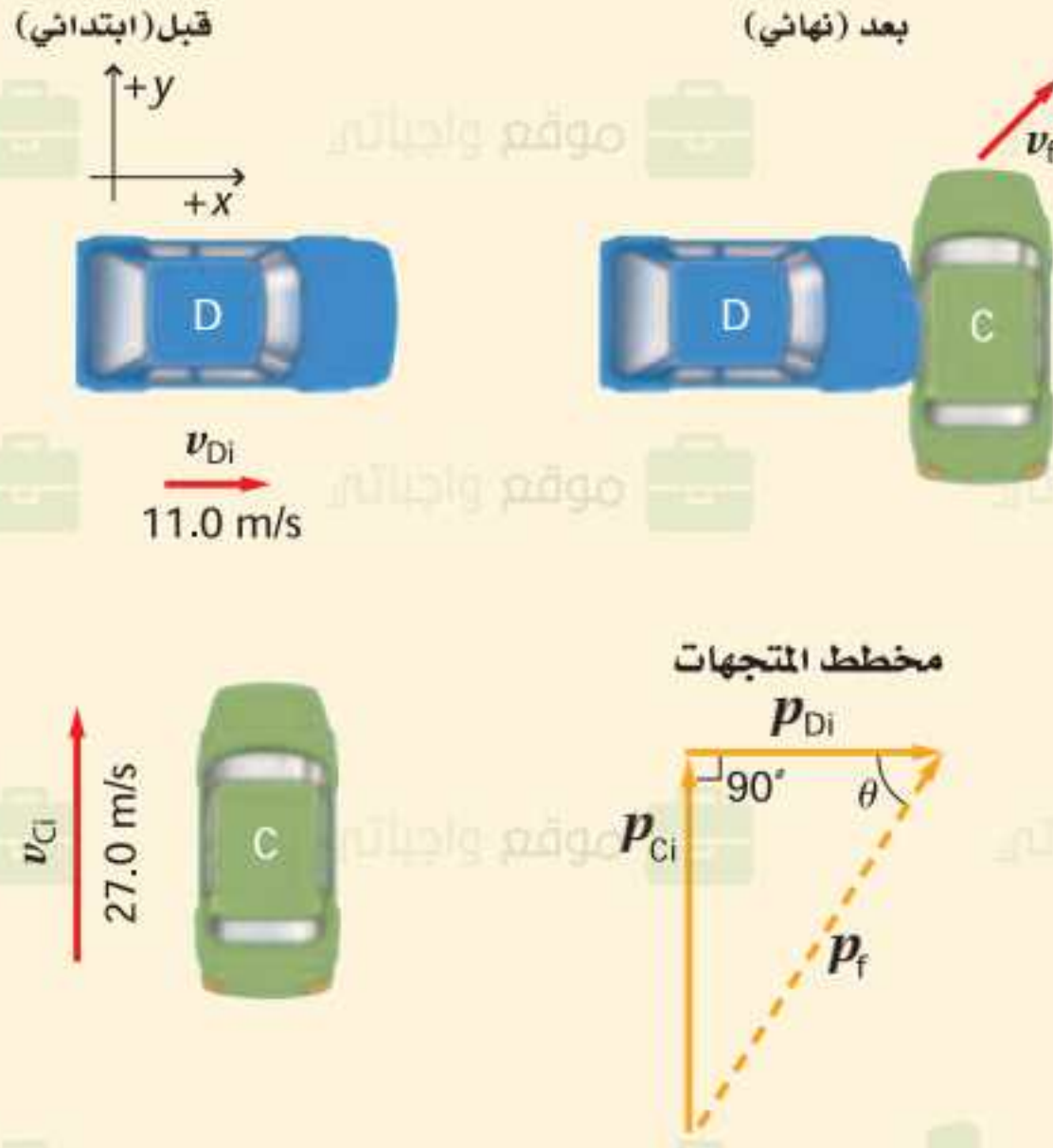
$$p_{Ci} = p_{Cf,x} + p_{Df,x}$$

■ الشكل 3-8 يطبق قانون حفظ الزخم على جميع الأنظمة المعزولة والمغلقة، بغض النظر عن اتجاهات حركة الأجسام قبل التصادم وبعده.



مثال 4

السرعة تحركت السيارة C شمالاً بسرعة 27 m/s ، فاصطدمت بالسيارة D التي كانت تتحرك شرقاً بسرعة 11.0 m/s ، فسارت السيارتان وهما متصلتان معاً بعد التصادم. فإذا كانت كتلة السيارة C (1325 kg) ، وكتلة السيارة D (2165 kg) ، فما مقدار سرعتيهما واتجاهيهما بعد التصادم؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- تعريف النظام
- رسم الحالتين قبل التصادم وبعده
- بناء محاور الإحداثيات، بحيث يمثل المحور الرأسي (y) الشمال، والمحور الأفقي (x) الشرق.
- رسم مخطط لمتجهات الزخم.

المعلوم

$$\begin{aligned} m_C &= 1325 \text{ kg} \\ m_D &= 2165 \text{ kg} \\ v_{Ci,y} &= 27.0 \text{ m/s} \\ v_{Di,x} &= 11.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

المجهول

$$\begin{aligned} v_{f,x} &= ? \\ v_{f,y} &= ? \\ \theta &= ? \end{aligned}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

حدد الزخم الابتدائي للسيارتين، وزخم النظام.

$$\begin{aligned} p_{Ci} &= m_C v_{Ci,y} \\ &= (1325 \text{ kg})(27.0 \text{ m/s}) \\ &= 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s (شمالاً)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{Di} &= m_D v_{Di,x} \\ &= (2165 \text{ kg})(11.0 \text{ m/s}) \\ &= 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s (شرقاً)} \end{aligned}$$

$$p_{f,x} = p_{i,x} = 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

$$p_{f,y} = p_{i,y} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

$$p_f = \sqrt{(p_{f,x})^2 + (p_{f,y})^2}$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s})^2 + (3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s})^2} \\ &= 4.30 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

$$\text{عوض مستخدماً } v_{Ci,y} = 27.0 \text{ m/s}, m_C = 1325 \text{ kg}$$

$$\text{عوض مستخدماً } m_D = 2165 \text{ kg}, v_{Di,y} = 11.0 \text{ m/s}$$

نستخدم قانون حفظ الزخم لإيجاد p_f

$$\text{عوض مستخدماً } p_{i,x} = p_{Di} = 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

$$\text{عوض مستخدماً } p_{i,y} = p_{Ci} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

نستخدم المخطط لصياغة المعادلات لـ $p_{f,x}$ و $p_{f,y}$

$$\text{عوض مستخدماً } p_{f,x} = 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s}, p_{f,y} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{fy}}{p_{fx}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}\right)$$

$$= 56.4^\circ$$

$$v_f = \frac{p_f}{(m_c + m_d)}$$

$$= \frac{4.30 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{(1325 \text{ kg} + 2165 \text{ kg})}$$

$$= 12.3 \text{ m/s}$$

نحل لإيجاد θ :

$$p_{fy} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

$$p_{fx} = 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

نحدد مقدار السرعة النهائية:

$$p_f = 4.3 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

$$m_c = 1325 \text{ kg}, m_d = 2165 \text{ kg}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس السرعة بـ m/s وكذلك كانت وحدات السرعة في الإجابة.
- هل للإشارات معنى؟ الإجابتان موجبتان والزوايا كذلك مناسبة.
- هل الجواب منطقي؟ بما أن السيارتين التحتما معاً فإنه يجب أن تكون v_f أصغر من v_{ci} .

مسائل تدريبية

21. تحركت سيارة كتلتها 925 kg شمالاً بسرعة 20.1 m/s ، فاصطدمت بسيارة كتلتها 1865 kg متحركة غرباً بسرعة 13.4 m/s ، فالتحتما معاً. ما مقدار سرعتها واتجاهها بعد التصادم؟

11.2 m/s بزاوية 36.6° شمال الغرب.

22. اصطدمت سيارة كتلتها 1732 kg متحركة شرقاً بسرعة 31.3 m/s ، بسيارة أخرى كتلتها 1383 kg متحركة جنوباً بسرعة 11.2 m/s ، فالتحتما معاً. ما مقدار سرعتها واتجاهها مباشرة بعد التصادم؟

18.1 m/s بزاوية 15.9° جنوب الشرق.

23. تعرضت كرة بلياردو ساكنة كتلتها 0.17 kg للاصطدام بكرة مماثلة لها متحركة بسرعة 4.0 m/s ، فتحررت الكرة الثانية بعد التصادم في اتجاه يميل 60.0° إلى يسار اتجاهها الأصلي، في حين تحررت الكرة الأولى في اتجاه يميل 30° إلى يمين الاتجاه الأصلي للكرة المتحركة. ما سرعة كل من الكرتين بعد التصادم؟

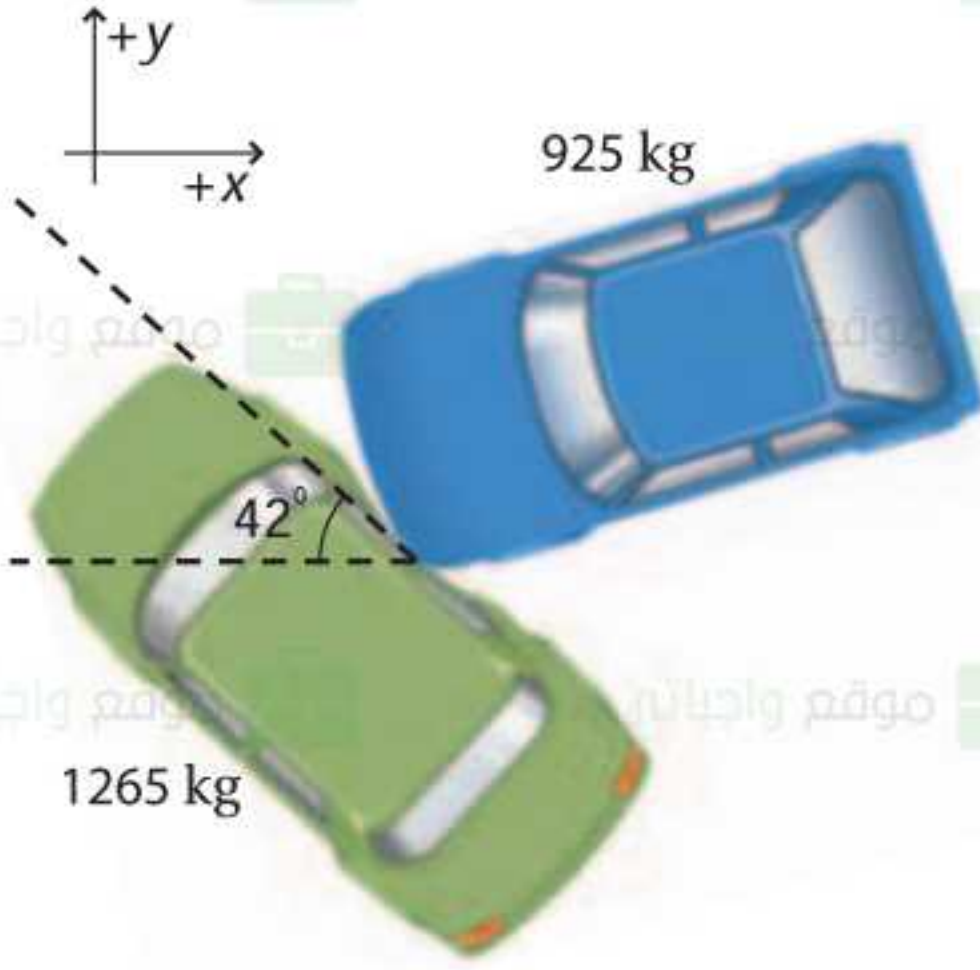
3.5 m/s بزاوية 30.0° نحو اليمين

و 2.0 m/s بزاوية 60.0° نحو اليسار.

24. تحركت سيارة كتلتها 1923 kg شمالاً، فاصطدمت بسيارة أخرى كتلتها 1345 kg متحركة شرقاً بسرعة 15.7 m/s ، فالتحتما معاً وتحركتا بسرعة مقدارها 14.5 m/s وتميل على الشرق بزاوية مقدارها 63.5° . فهل كانت السيارة المتحركة شمالاً متجاوزة حد السرعة 20.1 m/s قبل التصادم؟

22.1 m/s ؛ نعم، إنها تتعدى حد السرعة.

كان صديقك يقود سيارة كتلتها 1265 kg في اتجاه الشمال، فصدته سيارة كتلتها 925 kg متجهة غرباً، فالتحمتا معاً، وانزلقتا 23.1 m في اتجاه يصنع زاوية 42° شمال الغرب. وكانت السرعة القصوى المسموح بها في تلك المنطقة 22 m/s. افترض أن الزخم كان محفوظاً خلال التصادم، وأن التسارع كان ثابتاً في أثناء الانزلاق، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الإطارات والأسفلت 0.65.



1. ادّعى صديقك أنه لم يكن مسرعاً، لكن السائق الآخر كان مسرعاً. كم كانت سرعة سيارة صديقك قبل التصادم؟

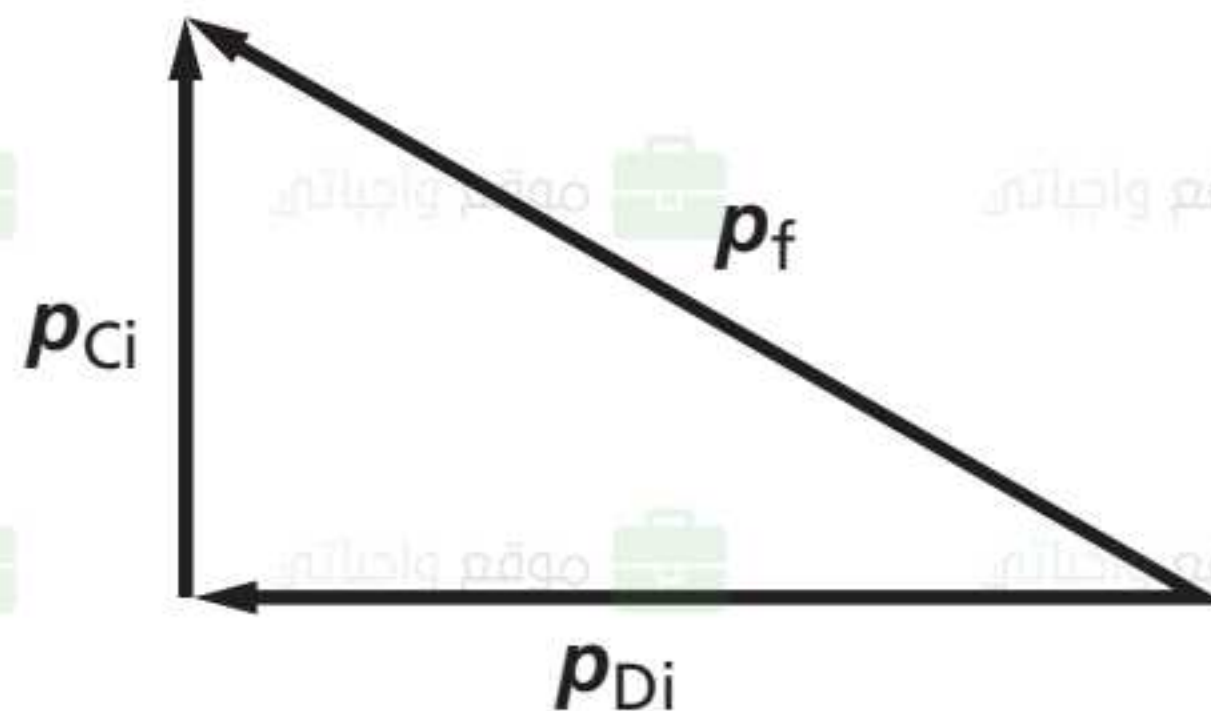
$$2.0 \times 10^1 \text{ m/s}$$

2. كم كانت سرعة السيارة الأخرى قبل التصادم؟ وهل يمكنك أن تدعم ادعاء صديقك؟

$$3.0 \times 10^1 \text{ m/s}$$

لم يتجاوز الصديق حد السرعة

22 m/s. السيارة الأخرى تجاوزت الحد.



27. **الزخم** يركض لاعب القفز بالزانة في اتجاه نقطة الانطلاق بزخم أفقي. من أين يأتي الزخم الرأسي عندما يقفز اللاعب فوق العارضة؟

يأتي الزخم الرأسي من قوة دفع الأرض للزانة، وتكتسب الأرض زخمًا رأسيًا مساويًا في المقدار ومعاكسًا في الاتجاه.

28. **الزخم الابتدائي** ركض لاعبان في مباراة كرة قدم من اتجاهين مختلفين، فاصطدما وجهًا لوجه عندما حاولا ضرب الكرة برأسيهما، فاستقرًا في الجو، ثم سقطا على الأرض. صف زخميها الابتدائيين.

بما أن زخمهما النهائي يساوي صفرًا، فإن زخميها الابتدائيين متساويان مقدارًا ومتعاكسان اتجاهًا.

29. **التفكير الناقد** إذا التقطت كرة وأنت واقف على لوح تزلج فإنك ستندفع إلى الخلف. أما إذا كنت تقف على الأرض فإنه يمكنك تجنب الحركة عندما تلتقط الكرة. اشرح كلتا الحالتين باستخدام قانون حفظ الزخم، موضحًا أي نظام استخدمت في كلتا الحالتين.

في حالة لوح التزلج، تكون أنت والكرة ولوح التزلج نظامًا معزولًا، ويتوزع زخم الكرة عليكم. أما في الحالة الثانية فهناك قوة خارجية، ما لم يتم تضمين الأرض؛ لذا يكون الزخم غير محفوظ. وإذا تم تضمين كتلة الأرض الكبيرة في النظام فإن التغيير في سرعتها لا يكاد يذكر (يمكن إهماله).

25. **السرعة** تحركت عربة وزنها 24.5 N من السكون على مستوى طوله 1.0 m ويميل على الأفق بزاوية 30.0° . انظر إلى الشكل 3-9. اندفعت العربة إلى نهاية المستوى المائل، فصدمت عربة أخرى وزنها 36.8 N موضوعة عند أسفل المستوى المائل.

a. احسب مقدار سرعة العربة الأولى عند أسفل المستوى المائل.



الشكل 3-9

b. إذا التحمت العربتان معًا فما سرعة انطلاقهما بعد التصادم؟

3.13 m/s

26. **حفظ الزخم** يستمرّ مضرب لاعب كرة التنس في التقدم إلى الأمام بعد ضرب الكرة، فهل يكون الزخم محفوظًا في التصادم؟ فسّر ذلك، وتنبه إلى أهمية تعريف النظام.

لا؛ لأن كتلة المضرب أكبر كثيرًا من كتلة الكرة، ويحدث تغير صغير في سرعته. بالإضافة إلى أن المضرب محمول بكتلة كبيرة وهي الذراع المتحركة المرتبطة مع الجسم المتصل بالأرض؛ لذا فإن المضرب والكرة لا يشكلان نظامًا معزولًا.

مختبر الفيزياء

الاصطدامات الملتحمة

تصطدم في هذا النشاط عربة متحركة بعربة ثابتة، فتلتحمان معاً في أثناء التصادم. وعليك أن تقيس كلاً من السرعة المتجهة وكتلة العربتين قبل التصادم وبعده، ثم تحسب الزخم قبل التصادم وبعده.

سؤال التجربة

كيف يتأثر زخم نظام ما بالاصطدام الملتحم؟

الأهداف

- تصف كيفية انتقال الزخم في أثناء التصادم.
- تحسب الزخم لكل من الأجسام المتصادمة.
- تفسر البيانات الناتجة عن التصادم.
- تستخلص نتائج تدعم قانون حفظ الزخم.



احتياطات السلامة

المواد والأدوات

استخدام الإنترنت.

الخطوات

1. اعرض مقطع الفيديو 1 للفصل 3 الموجود في: physicspp.com/internet_lab لتحديد كتل العربات.



التحليل

1. احسب السرعات المتجهة الابتدائية والنهائية لكل نظام من العربات.
2. احسب الزخم الابتدائي والنهائي لكل نظام من العربات.
3. **عمل الرسوم البيانية واستخدامها** ارسم رسماً بيانياً يمثل العلاقة بين الزخم النهائي والزخم الابتدائي المقابل له لجميع مقاطع الفيديو.

1. احسب السرعات المتجهة الابتدائية والنهائية لكل نظام من العربات.

المقطع 2: $v_{li} = 90 \text{ cm/s},$

$v_{12f} = 50 \text{ cm/s}$

المقطع 3: $v_{13i} = 90 \text{ cm/s},$

$v_{123f} = 60 \text{ cm/s}$

المقطع 4: $v_{li} = 100 \text{ cm/s},$

$v_{123f} = 30 \text{ cm/s}$

المقطع 5: $v_{13i} = 90 \text{ cm/s},$

$v_{1234f} = 40 \text{ cm/s}$

2. احسب الزخم الابتدائي والنهائي لكل نظام من العربات.

المقطع 2: $4 \times 10^4 \text{ g.cm/s} = \text{الزخم الابتدائي}$

$4 \times 10^4 \text{ g.cm/s} = \text{الزخم النهائي}$

المقطع 3: $7 \times 10^4 \text{ g.cm/s} = \text{الزخم الابتدائي}$

$7 \times 10^4 \text{ g.cm/s} = \text{الزخم النهائي}$

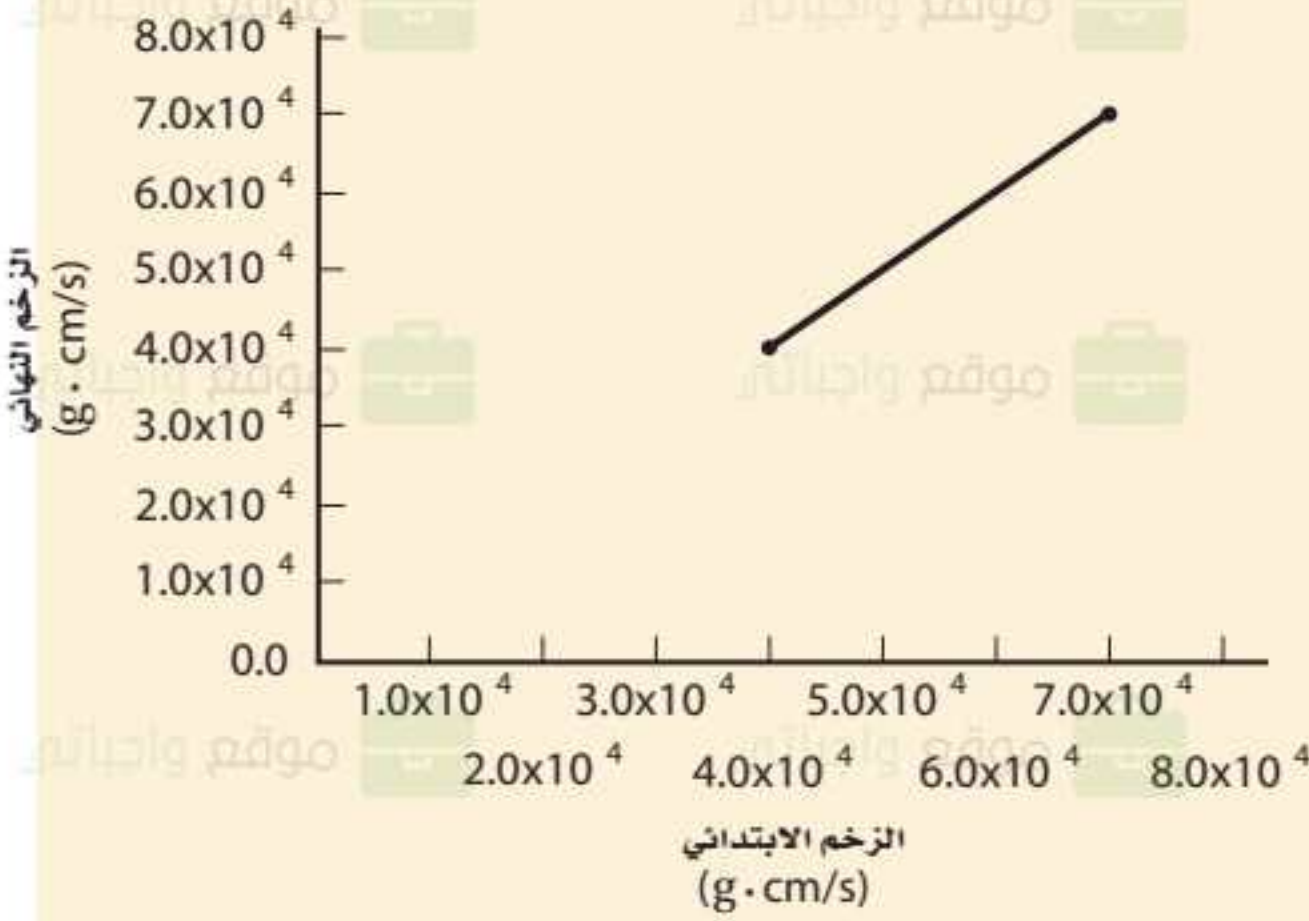
المقطع 4: $4 \times 10^4 \text{ g.cm/s} = \text{الزخم الابتدائي}$

$4 \times 10^4 \text{ g.cm/s} = \text{الزخم النهائي}$

المقطع 5: $7 \times 10^4 \text{ g.cm/s} = \text{الزخم الابتدائي}$

$7 \times 10^4 \text{ g.cm/s} = \text{الزخم النهائي}$

3. عمل الرسوم البيانية واستخدامها ارسم رسمًا بيانيًا يمثل العلاقة بين الزخم النهائي والزخم الابتدائي المقابل له لجميع مقاطع الفيديو.



رقم العربة	الكتلة (g)
1	4.35×10^2
2	4.25×10^2
3	3.83×10^2
4	4.16×10^2

المسافة المقطوعة خلال المغادرة (cm)	السرعة المتجهة النهائية (cm /s)	كتلة العربات المغادرة (g)	الزخم النهائي (g.cm /s)
5	50	8.60×10^2	4×10^4
6	60	1.24×10^3	7×10^4
3	30	1.24×10^3	4×10^4
4	40	1.66×10^3	7×10^4

المسافة المقطوعة للوصول (cm)	السرعة المتجهة الابتدائية (cm /s)	كتلة العربات الواصلة (g)	الزخم الابتدائي (g.cm /s)
9	90	4.35×10^2	4×10^4
9	90	8.18×10^2	7×10^4
10	100	4.35×10^2	4×10^4
9	90	8.18×10^2	7×10^4

التوسع في البحث

الاستنتاج والتطبيق

1. صف كيف تبدو بيانات السرعة المتجهة والزخم إذا لم تلتحم العربات معاً، بل ارتدّ بعضها عن بعض.
يمكن ألا يكون للعربة الواصلة سرعة متجهة أو يكون لها سرعة متجهة سالبة بعد التصادم، ويمكن أن يكون للعربة المغادرة سرعة مساوية لسرعة العربة الواصلة قبل الصدم أو أكبر اعتماداً على حجم العريبتين.
2. صمم تجربة لتختبر تأثير الاحتكاك في أنظمة العربات في أثناء التصادم. توقع كيف يختلف ميل الخط في الرسم البياني السابق عما في التجربة، ثم نفذ تجربتك.

1. ما العلاقة بين الزخم الابتدائي والزخم النهائي لأنظمة العربات في التصادمات الملتحمة؟
يكون الزخم الابتدائي والنهائي متساويين مع عدم الدقة في القياس.

2. ماذا يُمثل ميل الخط في رسمك البياني نظرياً؟

يجب أن يكون ميل الخط المستقيم في الرسم البياني الذي يمثل العلاقة بين الزخم النهائي والزخم الابتدائي مساوياً 1.00.

3. يمكن أن تكون البيانات الابتدائية والنهائية غير مطابقة للواقع، ويعود هذا إلى دقة الأدوات، ووجود الاحتكاك، وعوامل أخرى. هل يكون الزخم الابتدائي أكبر أم أقل من الزخم النهائي في الحالة النموذجية؟ فسر إجابتك.

سوف يكون الزخم الابتدائي أكبر قليلاً من الزخم النهائي؛ وذلك لأن الزخم في هذا النظام يمكن أن يفقد بفعل القوى الخارجية المؤثرة في النظام، مثل الاحتكاك على محاور العربة.

1. افترض أن لاعبًا في مباراة كرة قدم اصطدم بلاعب آخر في وضع السكون فالتحما معًا. ما الذي يحدث للسرعة المتجهة للنظام المكون من اللاعبين إذا كان الزخم محفوظًا؟

سرعة اللاعبين معًا كنظام أقل من سرعة اللاعب الأول وحده.

2. إذا صدمت سيارة متحركة مؤخرة سيارة ثابتة والتحمتا معًا، فما الذي يحدث للسرعتين المتجهتين للسيارتين الأولى والثانية؟

عندما تصطدم سيارة متحركة بسيارة ساكنة من الخلف تقل سرعة السيارة المتحركة وتتحرك السيارة الساكنة وتزداد سرعتها، وإذا التحمت السيارتان فإن سرعة السيارتين معًا بعد التصادم تكون أقل من سرعة السيارة المتحركة قبل التصادم.

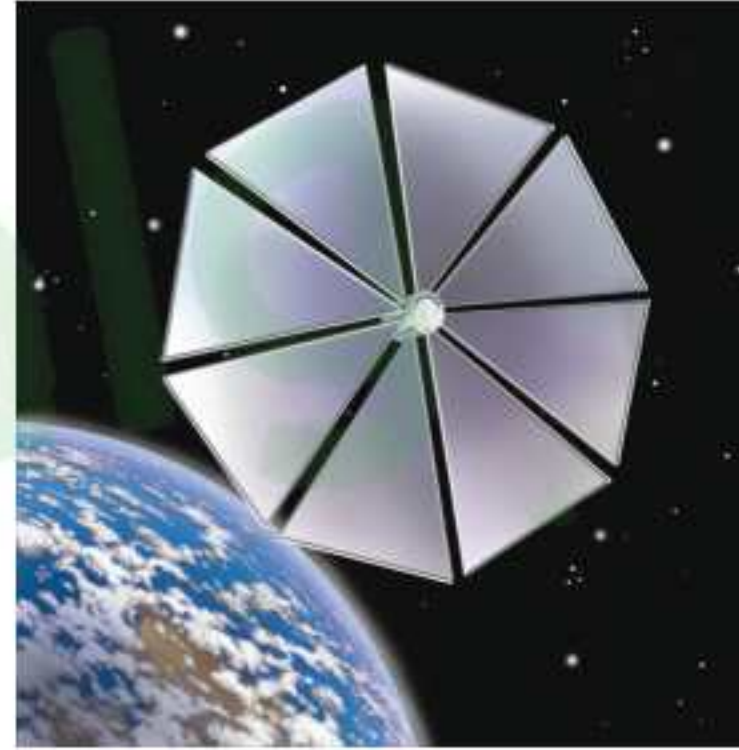
تقنية المستقبل

Solar Sailing الإبحار الشمسي

متقدمة لتحريك كتل كبيرة عبر مسافات شاسعة في الفضاء خلال زمن معقول.

الرحلات المستقبلية يُعد Cosmos 1 - وهو مشروع عالمي تموله جهة خاصة - نموذج الشراع الشمسي الأول. أطلق Cosmos 1 من منصة إطلاق صواريخ مائية في 21 يونيو من العام 2005. وقد بدت المركبة الفضائية مثل وردة لها ثمان أوراق كبيرة (بتلات) من الأشرعة الشمسية. وعلى الرغم من تواضع وجهة مهمة Cosmos 1 إلا أنه لم يتح له المجال لاختبار التكنولوجيا الجديدة التي يحملها؛ وذلك بسبب عدم استكمال احتراق المرحلة الأولى من مراحل الصاروخ، كما هو محدد له، مما منع Cosmos 1 من دخول المدار كما هو مفترض.

تتخطى أهمية الأشرعة الشمسية كونها تقنية مثالية لقطع المسافات الشاسعة في الفضاء، كالارتحال بين الكواكب دون وقود، فهي تعد أيضاً بإمكانات جديدة لمحطات مراقبة الطقس الأرضية والفضائية؛ إذ تمكنها من تغطية أشمل للأرض، كما تتيح التحذير المبكر من العواصف الشمسية لتجنب أضرارها.



رسم تنبؤي لكيفية ظهور Cosmos 1، الشراع الشمسي الأول في الفضاء.

لاحظ يوهانس كبلر قبل 400 سنة تقريباً أن ذيول المذنبات تبدو وكأنها واقعة تحت تأثير ربح خفيفة مصدرها هبات قادمة من الشمس، فاعتقد أن السفن ستكون قادرة على التنقل في الفضاء عن طريق أشرعة مصممة للتقاط هذه الهبات، ومن هنا وُلدت فكرة الأشرعة الشمسية.

كيف يعمل الشراع الشمسي؟ الشراع الشمسي مركبة فضائية دون محرك؛ حيث يعمل الشراع وكأنه مرآة عملاقة حرة الحركة من النسيج. وتصنع الأشرعة الشمسية عادة من غشاء من البولستر والألومنيوم سمكه 5 مايكرون، أو غشاء من البولي أميد مع طبقة من الألومنيوم سمكها 100 nm يتم ترسيبها بالتساوي على أحد الوجهين لتشكل سطحاً عاكساً.

توفر أشعة الشمس المنعكسة قوة للصواريخ بدلاً من الوقود، حيث تتكون أشعة الشمس من جسيمات تسمى فوتونات، تنقل الفوتونات زخمها إلى الشراع عندما ترتد عنه بعد اصطدامها به. لكن اصطدام الفوتونات يولد قوة صغيرة مقارنة بالقوة التي يولدها وقود الصواريخ، وكلما زاد اتساع الشراع حصل على قوة أكبر من اصطدام عدد أكبر من الفوتونات، ولذلك تصل أبعاد الأشرعة الشمسية إلى ما يقرب من الكيلومتر.

الإبحار الشمسي وسرعة الشراع الشمسي تستمر الشمس في تزويد الشراع بالفوتونات بكميات ثابتة تقريباً طوال وقت الرحلة الفضائية، مما يسمح للمركبة الفضائية بالوصول إلى سرعات عالية بعد فترة من بدء الارتحال. وبالمقارنة بالصواريخ التي تحمل كميات كبيرة من الوقود لدفع كتل كبيرة، لا تحتاج الأشرعة الشمسية إلا إلى فوتونات من الشمس. ولذلك قد تكون الأشرعة الشمسية طريقة

التوسع

ابحث كيف تساعد الأشرعة الشمسية في التحذير المسبق من العواصف الشمسية؟

1. **تفكير ناقد** يتوقع لنموذج شراع شمسي معين أن يستغرق وقتاً أطول للوصول إلى المريخ من مركبة فضائية يدفعها صاروخ يعمل بالوقود، ولكنه سيستغرق وقتاً أقل للوصول إلى نبتون من المركبة الفضائية التي يدفعها صاروخ. فسّر ذلك.

تقنية المستقبل

Solar Sailing الإبحار الشمسي

التوسع

ابحث كيف تساعد الأشعة الشمسية في التحذير المسبق من العواصف الشمسية؟

1. **تفكير ناقد** يتوقع لنموذج شراع شمسي معين أن يستغرق وقتاً أطول للوصول إلى المريخ من مركبة فضائية يدفعها صاروخ يعمل بالوقود، ولكنه سيستغرق وقتاً أقل للوصول إلى نبتون من المركبة الفضائية التي يدفعها صاروخ. فسّر ذلك.

يزداد زخم الشراع الشمسي بمعدل قليل وثابت، لذا يستغرق وقتاً أطول قبل أن تصبح سرعة الشراع الشمسي أكبر من سرعة السفن ذات الدفع الصاروخي الكيميائي.

دليل مراجعة الفصل

الفصل 3

3-1 الدفع والزخم Impulse and Momentum

المفردات

- الدفع
- الزخم
- نظرية الدفع - الزخم

المفاهيم الرئيسية

- عندما تحل مسألة زخم فابدأ باختبار النظام قبل الحدث وبعده.
- زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة وهو كمية متجهة.
- الدفع على جسم ما يساوي حاصل ضرب متوسط القوة المحصلة المؤثرة فيه في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها تلك القوة.

$$p = m v$$

$$F \Delta t = \text{الدفع}$$

$$F \Delta t = p_f - p_i$$

3-2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

المفردات

- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

المفاهيم الرئيسية

- استنادًا إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة وقانون حفظ الزخم تكون القوتان المؤثرتان في جسيمين متصادمين معًا متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.
- يكون الزخم محفوظًا في النظام المغلق والمعزول.
- يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لتفسير دفع الصواريخ.
- يستخدم تحليل المتجهات لحل مسائل حفظ الزخم في بعدين.

$$p_f = p_i$$

خريطة المفاهيم

30. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الكتلة، الزخم، متوسط القوة، الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.



إتقان المفاهيم

31. هل يمكن أن يتساوى زخم رصاصة مع زخم شاحنة؟
فسّر ذلك. (3-1)

نعم؛ لكي يكون للرصاصة زخم الشاحنة نفسه، يجب أن تكون سرعتها أكبر كثيراً من سرعة الشاحنة؛ لأن كتلة الشاحنة أكبر كثيراً من كتلة الرصاصة.

$$m_{\text{الشاحنة}} v_{\text{الشاحنة}} = m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{الرصاصة}}$$

32. رمى لاعب كرة فتلقفها لاعب آخر. مفترضاً أن مقدار سرعة الكرة لم يتغير في أثناء تحليقها في الجو، أجب عن الأسئلة الآتية: (1-3)

a. أي اللاعبين أثر في الكرة بدفع أكبر؟

يؤثر ضارب الكرة ومتلقيها بمقدار الدفع نفسه في الكرة ولكن في اتجاهين متعاكسين.

b. أي اللاعبين أثر في الكرة بقوة أكبر؟

يؤثر متلقي الكرة بقوة أكبر في الكرة؛ لأن الفترة الزمنية التي تؤثر فيها القوة أصغر.

33. ينص القانون الثاني لنيوتن على أنه إذا لم تؤثر قوة محصلة في نظام ما فإنه لا يمكن أن يكون هناك تسارع. هل نستنتج أنه لا يمكن أن يحدث تغير في الزخم؟ (1-3)

إذا لم يكن هناك قوة محصلة على النظام فهذا يعني أنه لا يوجد دفع محصل على النظام، ولا يوجد تغير في الزخم، لكن قد يكون لأجزاء مفردة من النظام تغير في الزخم طالما بقي التغير المحصل في الزخم يساوي صفراً.

34. لماذا تُزود السيارات بمصّ صدمات يمكنه الانضغاط في أثناء الاصطدام؟ (1-3)

تزود السيارات بمصّ صدمات ينضغط في أثناء التصادم؛ لزيادة زمن التصادم، مما يقلل من القوة.

خريطة المفاهيم

35. ما المقصود "بالنظام المعزول"؟ (2-3)

النظام المعزول هو النظام الذي لا تؤثر فيه أي قوى خارجية.

36. في الفضاء الخارجي، تلجأ المركبة الفضائية إلى تشغيل صواريخها لتزيد من سرعتها المتجهة. كيف يمكن للغازات الحارة الخارجة من محرك الصاروخ أن تغير سرعة المركبة المتجهة حيث لا يوجد شيء في الفضاء يمكن للغازات أن تدفعه؟ (2-3)

لما كان الزخم محفوظاً فإن التغير في زخم الغازات في اتجاه ما يجب أن يوازن بتغير مساو له في زخم المركبة الفضائية في الاتجاه المعاكس.

37. تتحرك كرة على طاولة البلياردو، فتصطدم بكرة ثانية ساكنة. فإذا كان للكرتين الكتلة نفسها، وسكنت الكرة الأولى بعد تصادمهما معاً. فماذا يمكننا أن نستنتج حول سرعة الكرة الثانية؟ (2-3)

يجب أن تتحرك الكرة الثانية بنفس سرعة الكرة الأولى قبل أن تصدمها.

38. أسقطت كرة سلة في اتجاه الأرض. وقبل أن تصطدم

بالأرض كان اتجاه الزخم إلى أسفل، وبعد أن اصطدمت بالأرض أصبح اتجاه الزخم إلى أعلى. (2-3)

a. لماذا لم يكن زخم الكرة محفوظاً، مع أن الارتداد عبارة عن تصادم؟

لا يكون زخم الكرة الساقطة محفوظاً؛ لأن الأرض ليست جزءاً من النظام، حيث تؤثر بقوة خارجية، لذا يوجد دفع يؤثر في الكرة.

b. أي نظام يكون فيه زخم الكرة محفوظاً؟

يكون الزخم الكلي محفوظاً إذا كان النظام مكوناً من الكرة والأرض.

39. تستطيع قوة خارجية فقط أن تغير زخم نظام ما.

وضح كيف تؤدي القوة الداخلية لكوابح السيارة إلى إيقافها. (2-3)

عندما يضغط السائق على كوابح السيارة فإنها توقف السيارة وذلك بإيقاف الإطارات؛ حيث تؤثر قوة الاحتكاك الخارجية للطريق في الإطارات في الاتجاه المعاكس لحركة السيارة؛ لذا تتوقف السيارة. ولكن إذا لم يكن هناك قوة احتكاك – عندما يكون الطريق جليداً مثلاً – فعندئذ لا يكون هناك قوة خارجية لإيقاف السيارة.

تطبيق المفاهيم

40. اشرح مفهوم الدفع باستخدام الأفكار الفيزيائية بدلاً من المعادلات الرياضية.

الدفع هو أن تؤثر قوة F في جسم ما خلال فترة زمنية Δt مسببة تغيراً في زخمه بمقدار $F\Delta t$.

41. هل يمكن أن يكتسب جسم ما دفعةً من قوة صغيرة أكبر من الدفع الذي يكتسبه من قوة كبيرة؟ فسر ذلك.

نعم، إذا أثرت قوة صغيرة فترة زمنية طويلة فإنها تنتج دفعةً أكبر.

42. إذا كنت جالساً في ملعب بيسبول واندفعت الكرة نحوك خطأً، فأيهما أكثر أماناً لإمساك الكرة بيديك: تحريك يديك نحو الكرة ثم تثبيتها عند الإمساك بها، أم تحريك يديك في اتجاه حركة الكرة نفسه؟ فسر ذلك.

عليك تحريك يدك في نفس اتجاه حركة الكرة؛ وذلك لتزيد الفترة الزمنية للتصادم، ومن ثم تقلل القوة.

تقويم الفصل 3

46. **كرة تنس** عندما تترد كرة تنس عن حائط ينعكس زخمها. فسّر هذه العملية باستخدام قانون حفظ الزخم، محدّدًا النظام ومضمّنًا تفسيرك رسمًا تخطيطيًا.

نفترض أن النظام يتكون من الكرة والحائط والأرض، فيكتسب الحائط والأرض بعض الزخم خلال التصادم.

47. تخيل أنك تقود سفينة فضائية تتحرك بين الكواكب بسرعة كبيرة، فكيف تستطيع إبطاء سرعة سفيتك من خلال تطبيق قانون حفظ الزخم؟

وذلك بإطلاق كمية من الغاز العادم بسرعة كبيرة في نفس اتجاه حركة السفينة، لذا فإن زخم هذا الغاز سوف يقلل من زخم السفينة الفضائية ومن ثم تقل سرعتها.

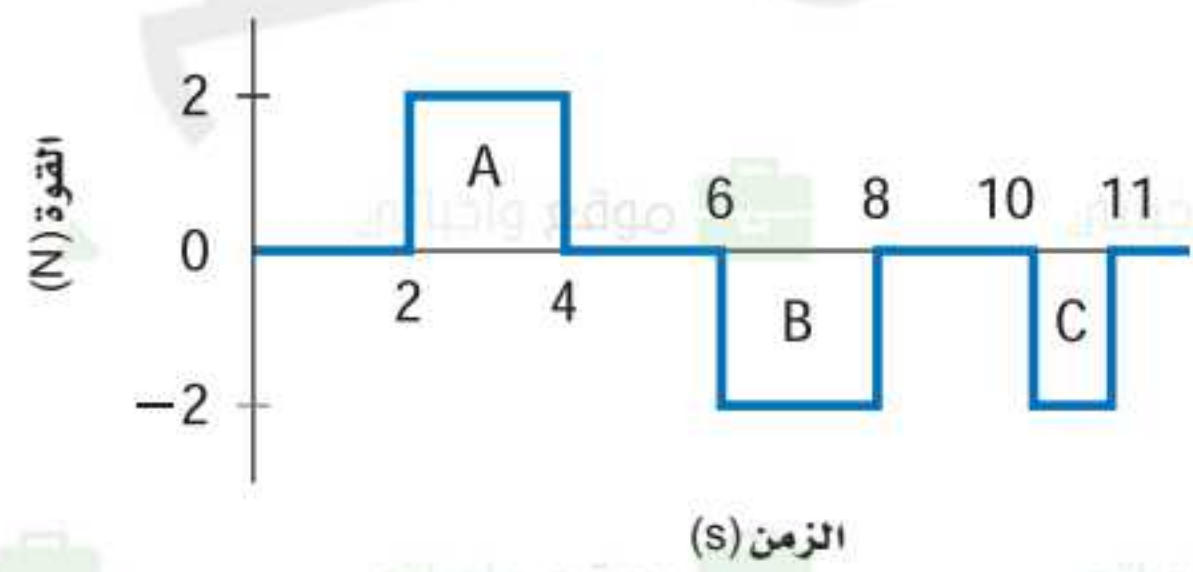
48. اصطدمت شاحنتان تبدوان متماثلتين على طريق زلق (تجاهل الاحتكاك)، وكانت إحدى الشاحنتين ساكنة، فالتحمت الشاحنتان معًا وتحركتا بسرعة مقدارها أكبر من نصف مقدار السرعة الأصلية للشاحنة المتحركة. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن حمولة كل من الشاحنتين؟

إذا تساوت كتلتا الشاحنتين فسوف تتحركان بعد التصادم بنصف مقدار سرعة الشاحنة المتحركة؛ لذا لابد أن تكون حمولة الشاحنة المتحركة أكبر.

43. انطلقت رصاصة كتلتها 0.11 g من مسدس بسرعة 323 m/s ، بينما انطلقت رصاصة أخرى مماثلة من بندقية بسرعة 396 m/s . فسّر الاختلاف في مقدار سرعتي الرصاصتين، مفترضًا أن الرصاصتين تعرضتا لمقدار القوة نفسه من الغازات المتمددة.

تستغرق الرصاصة الخارجة من البندقية زمنًا أطول؛ لذا تكتسب زخمًا أكبر.

44. إذا تعرض جسم ساكن إلى قوى دفع تم تمثيلها بالمنحنى الموضح في الشكل 3-10، فصف حركة الجسم بعد كل من الدفع A، و B، و C.



الشكل 3-10

بعد زمن الدفع A يتحرك الجسم بسرعة متجهة موجبة وثابتة. وبعد زمن الدفع B يصبح الجسم ساكنًا. وبعد زمن الدفع C يتحرك الجسم بسرعة متجهة سالبة وثابتة.

45. بينما كان رائد فضاء يسبح في الفضاء، انقطع الحبل الذي يربطه مع السفينة الفضائية، فاستخدم الرائد مسدس الغاز ليرجع إلى الوراء حتى يصل السفينة. استخدم نظرية الدفع - الزخم والرسم التخطيطي؛ لتوضح فاعلية هذه الطريقة.

عندما يطلق رائد الفضاء الغاز من المسدس في الاتجاه المعاكس للسفينة، يولد المسدس دفعا يؤدي إلى تحريك الرائد في اتجاه السفينة.

تقويم الفصل 3

49. لماذا يُنصح بإسناد كعب البندقية على الكتف عند بداية تعلم الإطلاق؟ فسّر ذلك بدلالة الدفع والزخم.

عندما تحمل البندقية بشكل حرف إن زخم الارتداد للبندقية يؤثر في الاتجاه

المعاكس لحركة الرصاصة، وسوف تكتسب البندقية سرعة أكبر مما يؤدي

إلى اصطدامها بالكتف. يجب أن يؤثر زخم الارتداد في كتلتك وكتلة البندقية

مسبباً سرعة أقل في الاتجاه المعاكس لحركة الرصاصة.

50. **طلقات الرصاص** أطلقت رصاصتان متساويتان في الكتلة على قوالب خشبية موضوعة على أرضية ملساء،

فإذا كانت سرعتا الرصاصتين متساويتين، وكانت إحدى الرصاصتين مصنوعة من المطاط والأخرى من

الألومنيوم، وارتدت الرصاصة المطاطية عن القالب، في حين استقرت الرصاصة الأخرى في الخشب، ففي أي

الحالتين سيتحرك القالب الخشبي أسرع؟ فسّر ذلك.

يكون الزخم محفوظاً؛ لذا فإن زخم القالب والرصاصة بعد التصادم

يكون مساوياً لزخم الرصاصة قبل التصادم. للرصاصة المطاطية

زخم سالب بعد التصادم بالقالب؛ لذا يجب أن يكون زخم القالب

الذي ارتدّت عنه الرصاصة المطاطية أكبر، أي أن سرعته أكبر.

1-3 الدفع والزخم

51. **جولف** إذا ضربت كرة جولف كتلتها 0.058 kg، بقوة مقدارها 272 N بمضرب، فأصبحت سرعتها

المتجهة 62.0 m/s، فما زمن تلامس الكرة بالمضرب؟

$$\Delta t = \frac{m\Delta v}{F} = \frac{(0.058 \text{ kg}) (62.0 \text{ m/s})}{272 \text{ N}} = 0.013 \text{ s}$$

تقويم الفصل 3

53. **بولنج** إذا أثرت قوة مقدارها 186 N في كرة بولنج كتلتها 7.3 kg مدة 0.40 s، فما التغير في زخم الكرة؟ وما التغير في سرعتها المتجهة؟

$$\Delta p = F\Delta t$$

$$= (186 \text{ N})(0.40 \text{ s})$$

$$= 74 \text{ N.s}$$

$$= 74 \text{ kg.m/s}$$

$$\Delta v = \frac{\Delta p}{m}$$

$$= \frac{F\Delta t}{m}$$

$$= \frac{(186 \text{ N})(0.40 \text{ s})}{7.3 \text{ kg}}$$

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

54. تتسارع شاحنة نقل كتلتها 5500 kg من 4.2 m/s إلى 7.8 m/s، خلال 15 s وذلك عن طريق تطبيق قوة ثابتة عليها.

a. ما التغير الحاصل في الزخم؟

$$\Delta p = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (5500 \text{ kg})(7.8 \text{ m/s} - 4.2 \text{ m/s})$$

$$= 2.0 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

52. رُميت كرة بيسبول كتلتها 0.145 kg بسرعة 42 m/s. ففرضها لاعب المضرب أفقيًا في اتجاه الرامي بسرعة 58 m/s.

a. أوجد التغير في زخم الكرة.

افتراض أن اتجاه رمي كرة البيسبول هو الاتجاه الموجب

$$\Delta p = mv_f - mv_i = m(v_f - v_i)$$

$$= (0.145 \text{ kg})(-58 \text{ m/s} - (+42 \text{ m/s}))$$

$$= -14 \text{ kg.m/s}$$

b. إذا لامست الكرة المضرب مدة 4.6×10^{-4} s

فما متوسط القوة في أثناء التلامس؟

$$F\Delta t = \Delta p$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

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

$$= \frac{(0.145 \text{ kg})(-58 \text{ m/s} - (+42 \text{ m/s}))}{4.6 \times 10^{-4} \text{ s}}$$

$$= -3.2 \times 10^4 \text{ N}$$

تقويم الفصل 3

56. الكرة الطائرة اقتربت كرة كتلتها 0.24 kg من أروى

بسرعة مقدارها 3.8 m/s في أثناء لعبة الكرة الطائرة،

فضربت أروى الكرة بسرعة مقدارها 2.4 m/s في

الاتجاه المعاكس. ما متوسط القوة التي أثرت بها أروى

في الكرة إذا كان زمن تلامس يديها بالكرة 0.025 s؟

$$F = \frac{m\Delta v}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.24 \text{ kg})(-2.4 \text{ m/s} - 3.8 \text{ m/s})}{0.025 \text{ s}}$$

$$= -6.0 \times 10^1 \text{ N}$$

57. الهوكي ضرب لاعبٌ قرص هوكي مؤثرًا فيه بقوة

ثابتة مقدارها 30.0 N مدة 0.16 s. ما مقدار الدفع

المؤثر في القرص؟

$$F\Delta t = (30.0 \text{ N})(0.16 \text{ s})$$

$$= 4.8 \text{ N.s}$$

58. التزلج إذا كانت كتلة أخيك 35.6 kg، وكان لديه

لوح تزلج كتلته 1.3 kg، فما الزخم المشترك لأخيك

مع لوح التزلج إذا تحركا بسرعة 9.50 m/s؟

$$p = mv$$

$$= (m_{\text{أخيك}} + m_{\text{اللوح}})v$$

$$= (35.6 \text{ kg} + 1.3 \text{ kg})(9.50 \text{ m/s})$$

$$= 3.5 \times 10^2 \text{ kg.m/s}$$

b. ما مقدار القوة المؤثرة في الشاحنة؟

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

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

$$= \frac{(5500 \text{ kg})(7.8 \text{ m/s} - 4.2 \text{ m/s})}{15.0 \text{ s}}$$

$$= 1.3 \times 10^3 \text{ N}$$

55. أطلق ضابط شرطة رصاصة كتلتها 6.0 g بسرعة

350 m/s داخل حاوية بهدف اختبار أسلحة القسم.

إذا أوقفت الرصاصة داخل الحاوية خلال 1.8 ms،

فما متوسط القوة التي أوقفت الرصاصة؟

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

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

$$= \frac{(0.0060 \text{ kg})(0.0 \text{ m/s} - 350 \text{ m/s})}{1.8 \times 10^{-3} \text{ s}}$$

$$= -1.2 \times 10^3 \text{ N}$$

تقويم الفصل 3

59. ضرب لاعبٌ قرصَ هوكي ساكنًا كتلته 0.115 kg ، فأثر فيه بقوة ثابتة مقدارها 30.0 N في زمن مقداره 0.16 s ، فما مقدار السرعة التي سيتجه بها إلى الهدف.

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

ولما كانت:

$$v_i = 0$$

فإن:

$$v_f = \frac{F\Delta t}{m}$$

$$= \frac{(30.0 \text{ N})(0.16 \text{ s})}{0.115 \text{ kg}}$$

$$= 42 \text{ m/s}$$

60. إذا تحرك جسم كتلته 25 kg بسرعة متجهة $+12 \text{ m/s}$ قبل أن يصطدم بجسم آخر، فأوجد الدفع المؤثر فيه إذا تحرك بعد التصادم بالسرعة المتجهة

$$\text{a. } +8.0 \text{ m/s}$$

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (25 \text{ kg})(8.0 \text{ m/s} - 12 \text{ m/s})$$

$$= -1.0 \times 10^2 \text{ kg.m/s}$$

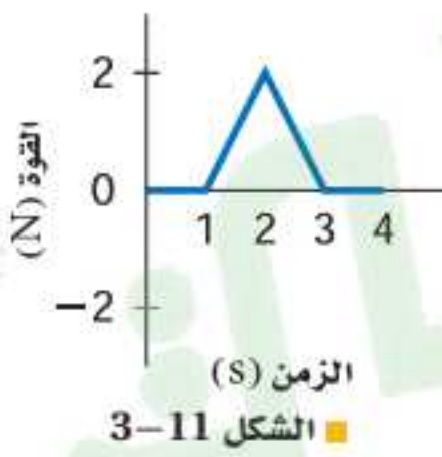
$$\text{b. } -8.0 \text{ m/s}$$

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (25 \text{ kg})(-8.0 \text{ m/s} - 12 \text{ m/s})$$

$$= -5.0 \times 10^2 \text{ kg.m/s}$$

61. تتحرك كرة كتلتها 0.150 kg في الاتجاه الموجب بسرعة مقدارها 12 m/s ، بفعل الدفع المؤثر فيها والموضح في الرسم البياني في الشكل 3-11. ما مقدار سرعة الكرة عند 4.0 s ؟



$$F\Delta t = m\Delta v$$

$$m\Delta v = \text{مساحة الرسم}$$

$$\frac{1}{2} (2.0 \text{ N})(2.0 \text{ s}) = m(v_f - v_i)$$

$$2.0 \text{ N.s} = (0.150 \text{ kg})(v_f - 12 \text{ m/s})$$

$$v_f = \frac{2.0 \text{ kg.m/s}}{0.150 \text{ kg}} + 12 \text{ m/s}$$

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

تقويم الفصل 3

62. **البيسبول** تتحرك كرة بيسبول كتلتها 0.145 kg بسرعة 35 m/s قبل أن يمسكها اللاعب مباشرة.

a. أوجد التغير في زخم الكرة.

$$\Delta p = m(v_f - v_i)$$

$$= (0.145 \text{ kg})(0.0 \text{ m/s} - 35 \text{ m/s})$$

$$= -5.1 \text{ kg.m/s}$$

b. إذا كانت اليد التي أمسكت الكرة، والمحمية بقفاز، في وضع ثابت، حيث أوقفت الكرة خلال 0.050 s، فما متوسط القوة المؤثرة في الكرة؟

$$\Delta p = F_{\text{متوسط}} \Delta t$$

$$F_{\text{متوسط}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.145 \text{ kg})(0.0 \text{ m/s} - 35 \text{ m/s})}{0.050 \text{ s}}$$

$$= -1.0 \times 10^2 \text{ N}$$

c. إذا تحركت اليد في أثناء إيقاف الكرة إلى الخلف حيث استغرقت الكرة 0.500 s لتتوقف، فما متوسط القوة التي أثرت فيها اليد في الكرة؟

$$\Delta p = F_{\text{متوسط}} \Delta t$$

وعليه فإن:

$$F_{\text{متوسط}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.145 \text{ kg})(0.0 \text{ m/s} - 35 \text{ m/s})}{0.500 \text{ s}}$$

$$= -1.0 \times 10^1 \text{ N}$$

63. **هوكي** إذا اصطدم قرص هوكي كتلته 0.115 kg بعمود المرمى بسرعة 37 m/s، وارتد عنه في الاتجاه المعاكس بسرعة 25 m/s، انظر الشكل 12-3.



a. فما الدفع على القرص؟

$$F \Delta t = m(v_f - v_i)$$

$$= (0.115 \text{ kg})(-25 \text{ m/s} - 37 \text{ m/s})$$

$$= -7.1 \text{ kg.m/s}$$

تقويم الفصل 3

b. إذا حدث 1.5×10^{23} تصادم كل ثانية، فما متوسط القوة المؤثرة في الجدار؟

$$7.8 \text{ N}$$

65. حلقت طائرة إنقاذ حيوانات في اتجاه الشرق بسرعة 36.0 m/s ، وأسقطت رزمة علف من ارتفاع 60.0 m ، انظر إلى الشكل 3-13. أوجد مقدار واتجاه زخم رزمة العلف قبل اصطدامها بالأرض مباشرة، علماً بأن وزنها 175 N .



$$888 \text{ kg.m/s} \text{ بزاوية } 43.6^\circ$$

b. وما متوسط القوة المؤثرة في القرص، إذا استغرق التصادم $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}$ ؟

$$F\Delta t = m(v_f - v_i)$$

$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.115 \text{ kg})(-25 \text{ m/s} - 37 \text{ m/s})}{5.0 \times 10^{-4} \text{ s}}$$

$$= -1.4 \times 10^4 \text{ N}$$

64. إذا تحرك جزيء نيوترون كتلته $4.7 \times 10^{-26} \text{ kg}$ بسرعة 550 m/s ، واصطدم بجدار الإناء الذي يحويه مرتدًا إلى الورا بمقدار السرعة نفسه.

a. فما الدفع الذي أثر به الجزيء في الجدار؟

$$F\Delta t = m(v_f - v_i)$$

$$= (4.7 \times 10^{-26} \text{ kg})(-550 \text{ m/s} - 550 \text{ m/s})$$

$$= -5.20 \times 10^{-23} \text{ kg.m/s}$$

الدفع الذي أثر به الجدار في الجزيء يساوي

$$-5.20 \times 10^{-23} \text{ kg.m/s}$$

الدفع الذي أثر به الجزيء في الجدار يساوي

$$+5.20 \times 10^{-23} \text{ kg.m/s}$$

تقويم الفصل 3

d. هل يمكنك رفع مثل هذا الوزن بذراعيك؟



e. لماذا يُنصح باستخدام كرسي أطفال في السيارة، بدلاً من احتضان الطفل؟

**لن تكون قادراً على حماية طفل في
حضانك في أثناء وقوع التصادم.**

67. **الصواريخ** تستخدم صواريخ صغيرة لعمل تعديل بسيط في مقدار سرعة الأقمار الاصطناعية. فإذا كانت قوة دفع أحد هذه الصواريخ 35 N، وأُطلق لتغيير السرعة المتجهة لمركبة فضائية كتلتها 72000 kg بمقدار 63 cm/s، فما الفترة الزمنية التي يجب أن يؤثر الصاروخ في المركبة خلالها؟

$$F\Delta t = m\Delta v$$

$$\Delta t = \frac{m\Delta v}{F}$$

$$= \frac{(72000 \text{ kg})(0.63 \text{ m/s})}{35 \text{ N}}$$

$$= 1.3 \times 10^3 \text{ s}$$

$$\text{أو } 22 \text{ min}$$

66. **حادث** اصطدمت سيارة متحركة بسرعة 10.0 m/s

بحاجز وتوقفت خلال 0.050 s. وكان داخل السيارة طفل كتلته 20.0 kg. افترض أن سرعة الطفل المتجهة تغيرت بنفس مقدار تغير سرعة السيارة المتجهة وفي الفترة الزمنية نفسها.

a. ما الدفع اللازم لإيقاف الطفل؟

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (20.0 \text{ kg})(0.0 \text{ m/s} - 10.0 \text{ m/s})$$

$$= -2.00 \times 10^2 \text{ kg.m/s}$$

b. ما متوسط القوة المؤثرة في الطفل؟

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(20.0 \text{ kg})(0.0 \text{ m/s} - 10.0 \text{ m/s})}{0.050 \text{ s}}$$

$$= -4.0 \times 10^3 \text{ N}$$

c. ما الكتلة التقريبية لجسم وزنه يساوي القوة المحسوبة في الفرع b؟

$$F_g = mg$$

$$m = \frac{F_g}{g} = \frac{4.0 \times 10^3 \text{ N}}{9.80 \text{ m/s}^2}$$

$$= 4.1 \times 10^2 \text{ kg}$$

تقويم الفصل 3

3-2 حفظ الزخم

68. كرة القدم ركض لاعب كرة قدم كتلته 95 kg بسرعة 8.2 m/s، فاصطدم في الهواء بلاعب دفاع كتلته 128 kg يتحرك في الاتجاه المعاكس، وبعد تصادمهما معًا في الجو أصبحت سرعة كل منهما صفرًا.

a. حدّد الوضعين قبل الاصطدام وبعده، ومثلّهما برسم تخطيطي.

قبل: $m = 95 \text{ kg}$ اللاعب الأول

$v = 8.2 \text{ m/s}$ اللاعب الأول

$m = 128 \text{ kg}$ لاعب الدفاع

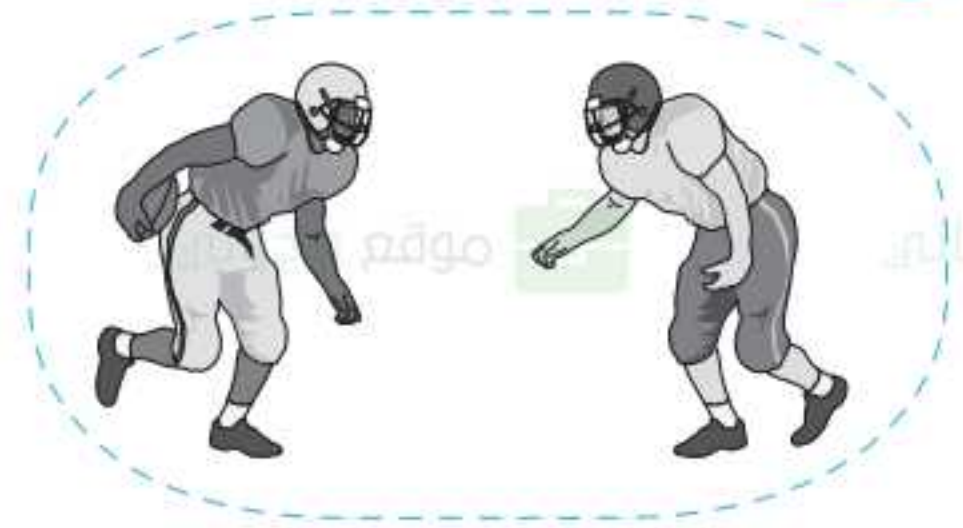
$v = ?$ لاعب الدفاع

بعد:

$m = 223 \text{ kg}$

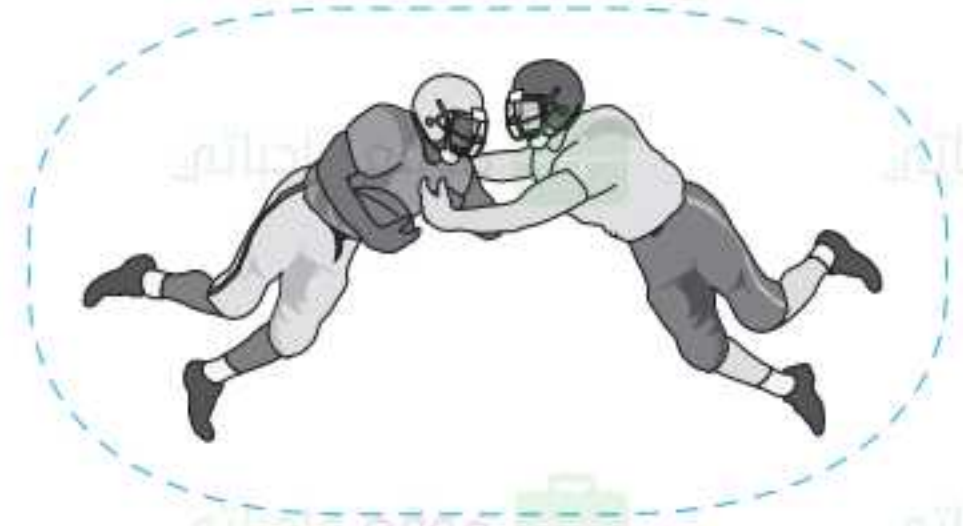
$v_f = 0 \text{ m/s}$

قبل
 $v_{\text{اللاعب الأول}}$ $v_{\text{لاعب الدفاع}}$



$+x$
بعد

$v_{\text{اللاعب الأول}} = v_{\text{لاعب الدفاع}} = 0$



تقويم الفصل 3

3-2 حفظ الزخم

b. كم كان زخم اللاعب الأول قبل التصادم؟

$$\begin{aligned} p_{\text{اللاعب الأول}} &= m_{\text{اللاعب الأول}} v_{\text{اللاعب الأول}} = (95 \text{ kg})(8.2 \text{ m/s}) \\ &= 7.8 \times 10^2 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

c. ما التغير في زخم اللاعب الأول؟

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{اللاعب الأول}} &= p_f - p_{\text{اللاعب الأول}} \\ &= 0 - p_{\text{اللاعب الأول}} = -7.8 \times 10^2 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

d. ما التغير في زخم لاعب الدفاع؟

$$+7.8 \times 10^2 \text{ kg.m/s}$$

e. كم كان زخم لاعب الدفاع قبل التصادم؟

$$-7.8 \times 10^2 \text{ kg.m/s}$$

f. كم كانت سرعة لاعب الدفاع قبل التصادم؟

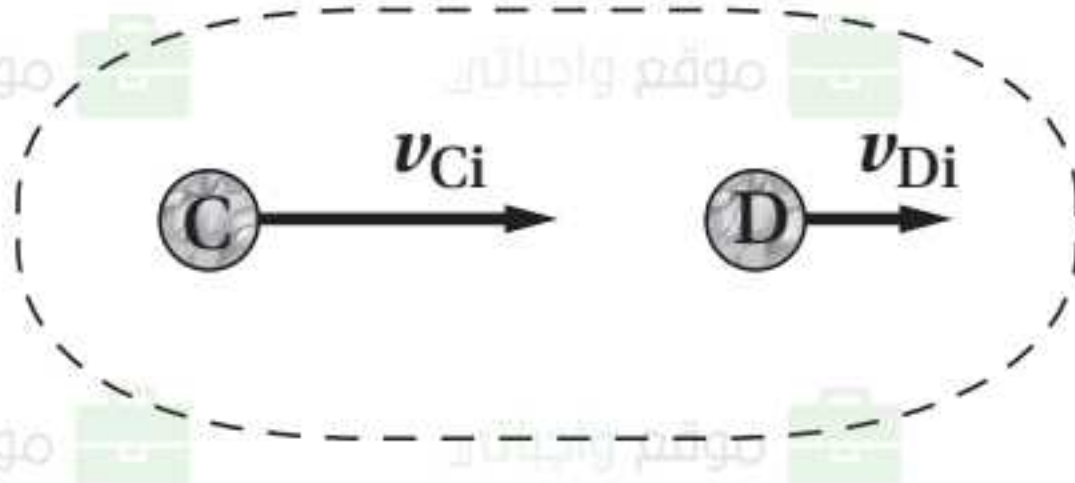
$$m_{\text{لاعب الدفاع}} v_{\text{لاعب الدفاع}} = -7.8 \times 10^2 \text{ kg.m/s}$$

$$v_{\text{لاعب الدفاع}} = \frac{-7.8 \times 10^2 \text{ kg.m/s}}{128 \text{ kg}}$$

$$= -6.1 \text{ m/s}$$

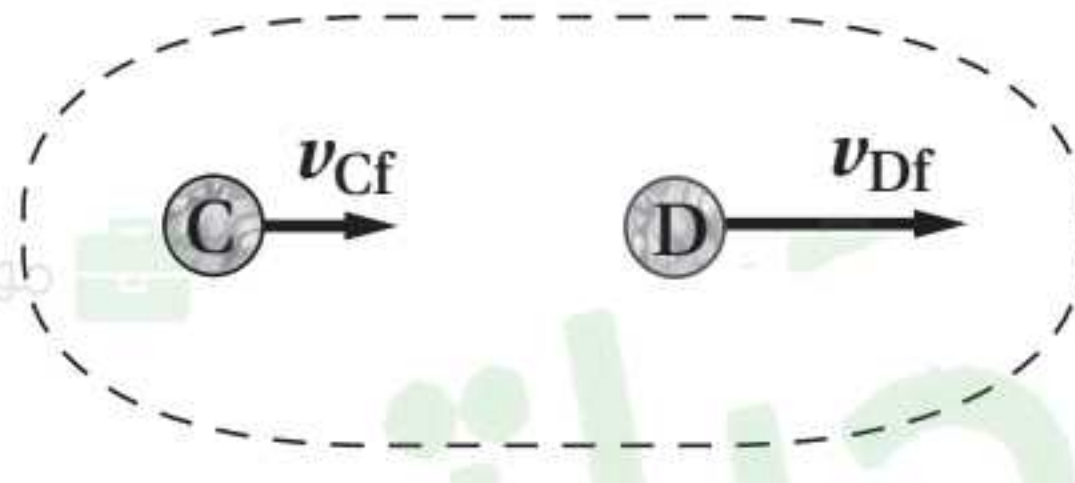
تقويم الفصل 3

قبل



→ +x

بعد



→ +x

b. احسب زخمي الكرتين قبل التصادم.

$$m_C v_{Ci} = (5.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.200 \text{ m/s})$$

$$= 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg.m/s}$$

$$m_D v_{Di} = (1.00 \times 10^{-2} \text{ kg})(0.100 \text{ m/s})$$

$$= 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg.m/s}$$

c. احسب زخم الكرة C بعد التصادم.

$$m_C v_{Cf} = (5.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.080 \text{ m/s})$$

$$= 4.0 \times 10^{-4} \text{ kg.m/s}$$

69. تحركت كرة زجاجية C كتلتها 5.0 g بسرعة مقدارها

20.0 cm/s، فاصطدمت بكرة زجاجية أخرى D

كتلتها 10.0 g تتحرك بسرعة 10 cm/s في الاتجاه

نفسه. أكملت الكرة C حركتها بعد الاصطدام بسرعة

مقدارها 8.0 cm/s وفي الاتجاه نفسه.

a. ارسم الوضع، وعرف النظام، ثم حدّد الوضعين

قبل التصادم وبعده، وأنشئ نظام إحداثيات.

قبل:

$$m_C = 5.0 \text{ g}$$

$$m_D = 10.0 \text{ g}$$

$$v_{Ci} = 20.0 \text{ cm/s}$$

$$v_{Di} = 10.0 \text{ cm/s}$$

بعد:

$$m_C = 5.0 \text{ g}$$

$$m_D = 10.0 \text{ g}$$

$$v_{Cf} = 8.0 \text{ cm/s}$$

$$v_{Df} = ?$$

تقويم الفصل 3

70. أطلقت قذيفة كتلتها 50.0 g بسرعة متجهة أفقية مقدارها 647 m/s، من منصة إطلاق كتلتها 4.65 kg، تتحرك في الاتجاه نفسه بسرعة 2.00 m/s. ما السرعة المتجهة للمنصة بعد الإطلاق؟

4.94 m/s، أو -4.94 m/s إلى الخلف.

71. تحركت رصاصة مطاطية كتلتها 12.0 g بسرعة متجهة مقدارها 150 m/s، فاصطدمت بطوبة أسمنتية ثابتة كتلتها 8.5 kg موضوعة على سطح عديم الاحتكاك، وارتدت في الاتجاه المعاكس بسرعة متجهة -1.0×10^2 m/s، انظر الشكل 3-14. ما السرعة التي ستتحرك بها الطوبة؟

0.35 m/s



الشكل 3-14

d. احسب زخم الكرة D بعد التصادم.

$$p_{Ci} + p_{Di} = p_{Cf} + p_{Df}$$

$$p_{Df} = p_{Ci} + p_{Di} - p_{Cf}$$

$$= 1.00 \times 10^{-3} \text{ kg.m/s} + 1.00 \times 10^{-3}$$

$$\text{kg.m/s} - 4.0 \times 10^{-4} \text{ kg.m/s}$$

$$= 1.6 \times 10^{-3} \text{ kg.m/s}$$

e. ما مقدار سرعة الكرة D بعد التصادم؟

$$p_{Df} = m_D v_{Df}$$

لذا فإن:

$$v_{Df} = \frac{p_{Df}}{m_D}$$

$$= \frac{1.6 \times 10^{-3} \text{ kg.m/s}}{1.00 \times 10^{-2} \text{ kg}}$$

$$= 1.6 \times 10^{-1} \text{ m/s} = 0.16 \text{ m/s}$$

$$= 16 \text{ cm/s}$$

تقويم الفصل 3

73. لوح التزلج يركب أحمد الذي كتلته 42 kg لوح تزلج كتلته 2.00 kg، ويتحركان بسرعة 1.20 m/s. فإذا قفز أحمد عن اللوح وتوقف لوح التزلج تمامًا في مكانه، فما مقدار سرعة قفزه؟ وما اتجاهه؟

$$m_{\text{لوح التزلج}} v_i + m_{\text{أحمد}} v_i = m_{\text{لوح التزلج}} v_f + m_{\text{أحمد}} v_f$$

ولما كانت:

$$v_{\text{لوح التزلج}} = 0, v_{\text{أحمد}} = v_i = v_f$$

فإن:

$$v_{\text{أحمد}} = \frac{(m_{\text{لوح التزلج}} + m_{\text{أحمد}}) v_i}{m_{\text{أحمد}}} = \frac{(42.00 \text{ kg} + 2.00 \text{ kg})(1.20 \text{ m/s})}{42.00 \text{ kg}}$$

في الاتجاه نفسه الذي كان يتحرك فيه 1.26 m/s

72. دفعت عربتا مختبر متصلتان بنابض إحداهما نحو الأخرى لينضغط النابض، وتسكن العربتان. وعند انفلاتهما ابتعدت العربة التي كتلتها 5.0 kg بسرعة متجهة 0.12 m/s، في حين ابتعدت العربة الأخرى التي كتلتها 2.0 kg في الاتجاه المعاكس. ما السرعة المتجهة للعربة ذات الكتلة 2.0 kg؟

$$m_1 v_i = -m_2 v_f$$

$$v_f = \frac{m_1 v_i}{-m_2} = \frac{(5.0 \text{ kg})(0.12 \text{ m/s})}{-(2.0 \text{ kg})}$$

$$= -0.30 \text{ m/s}$$

تقويم الفصل 3

76. **الترليج** يقف متزلجان أحدهما مقابل الآخر، ثم يتدافعان بالأيدي. إذا كانت كتلة الأول 90 kg، وكتلة الثاني 60 kg

a. ارسم الوضع محددًا حالتيهما قبل التدافع، وبعده، وأنشئ نظام إحداثيات.

قبل:

$$v_i = 0.0 \text{ m/s}, m_D = 90.0 \text{ kg}, m_K = 60.0 \text{ kg}$$

بعد:

$$m_K = 60.0 \text{ kg}, m_D = 90.0 \text{ kg}, v_{Kf} = ?, v_{Df} = ?$$

b. أوجد النسبة بين سرعتي المتزلجين في اللحظة التي أفلتا فيها أيديهما.

$$p_{Ki} + p_{Di} = 0.0 \text{ kg.m/s} = p_{Kf} + p_{Df}$$

لذا فإن

$$m_K v_{Kf} + m_D v_{Df} = 0.0 \text{ kg.m/s}$$

$$m_K v_{Kf} = -m_D v_{Df}$$

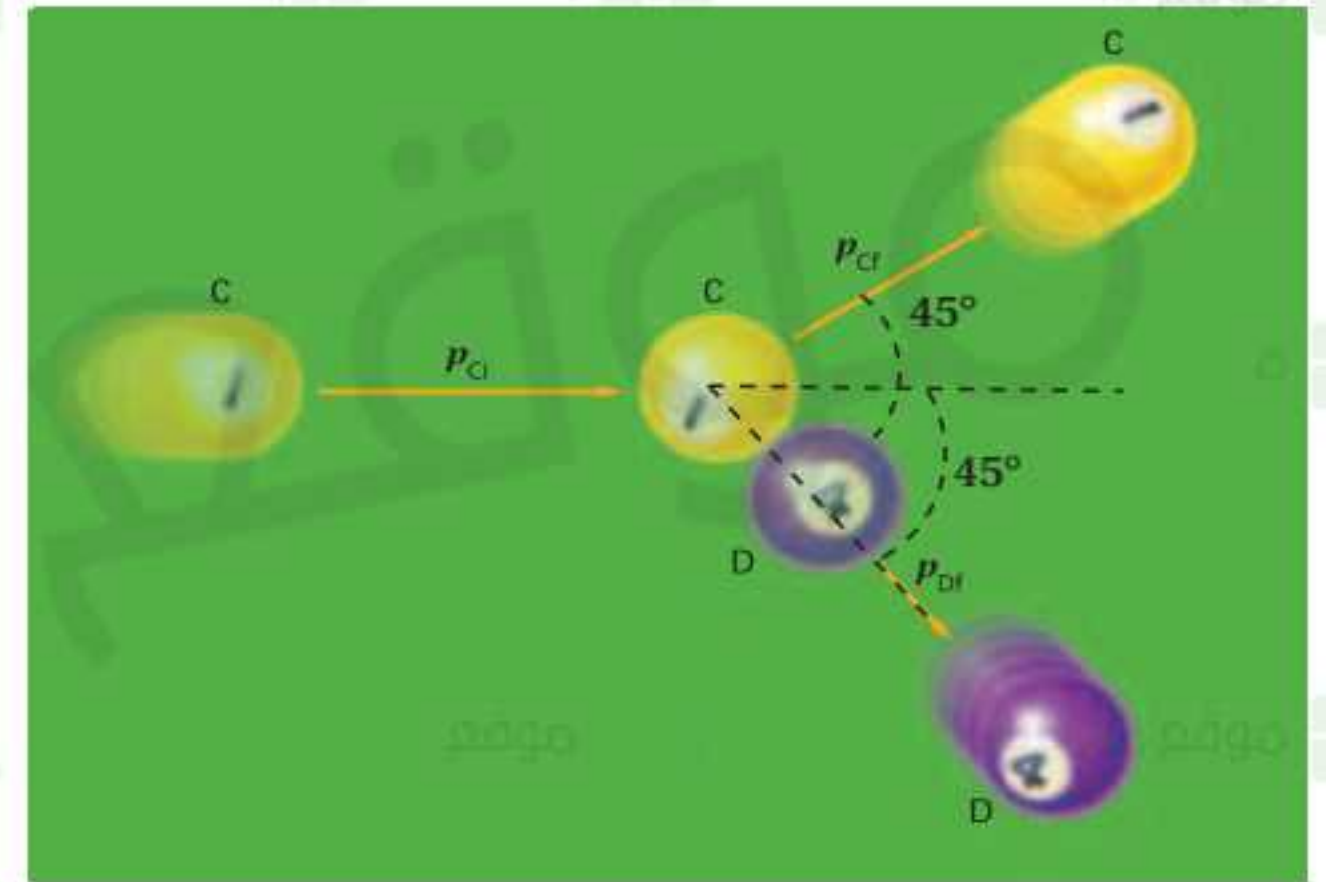
وعليه، فإن النسبة بين سرعتي المتزلجين تساوي

$$\frac{v_{Kf}}{v_{Df}} = -\left(\frac{m_D}{m_K}\right) = -\left(\frac{90.0 \text{ kg}}{60.0 \text{ kg}}\right) = -1.50$$

وتدل الإشارة السالبة على أن سرعتين

المتجهتين في اتجاهين معاكسين.

74. **البلياردو** تدحرجت كرة بلياردو كتلتها 0.16 kg بسرعة 4.0 m/s، فاصطدمت بالكرة الثابتة التي تحمل رقم أربعة والتي لها الكتلة نفسها. فإذا تحركت الكرة الأولى بزاوية 45° فوق الخط الأفقي، وتحركت الكرة الثانية بالزاوية نفسها تحت الخط الأفقي - انظر الشكل 3-15 - فما السرعة المتجهة لكل من الكرتين بعد التصادم؟



الشكل 3-15

الكرة الأولى: 2.8 m/s

الكرة الرابعة: 2.8 m/s

75. اصطدمت شاحنة كتلتها 2575 kg، بمؤخرة سيارة صغيرة ساكنة كتلتها 825 kg، فتحركتا معًا بسرعة 8.5 m/s. احسب مقدار السرعة الابتدائية للشاحنة، وذلك بإهمال الاحتكاك بالطريق.

11 m/s

تقويم الفصل 3

79. تغيرت السرعة المتجهة لسيارة كتلتها 625 kg من 10.0 m/s إلى 44.0 m/s خلال 68.0 s، بفعل قوة خارجية ثابتة.

a. ما التغير الناتج في زخم السيارة؟

$$\begin{aligned}\Delta p &= m\Delta v = m(v_f - v_i) \\ &= (625 \text{ kg})(44.0 \text{ m/s} - 10.0 \text{ m/s}) \\ &= 2.12 \times 10^4 \text{ kg.m/s}\end{aligned}$$

b. ما مقدار القوة التي أثرت في السيارة؟

$$\begin{aligned}F\Delta t &= m\Delta v \\ \text{لذا فإن:} \\ F &= \frac{m\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t} \\ &= \frac{(625 \text{ kg})(44.0 \text{ m/s} - 10.0 \text{ m/s})}{68.0 \text{ s}} \\ &= 313 \text{ N}\end{aligned}$$

c. أي المتزلجين سرعته أكبر؟

للمتزلج ذي الكتلة الأقل سرعة أكبر.

d. أي المتزلجين دفع بقوة أكبر؟

إن القوتين متساويتان مقداراً

ومتعاكستان اتجاهًا.

77. تحركت كرة بلاستيكية كتلتها 0.200 kg بسرعة 0.30 m/s فاصطدمت بكرة بلاستيكية أخرى كتلتها 0.100 kg تتحرك في الاتجاه نفسه بسرعة 0.10 m/s. بعد التصادم استمرت الكرتان في الحركة في اتجاههما نفسه قبل التصادم. فإذا كانت السرعة الجديدة للكرة ذات الكتلة 0.100 kg هي 0.26 m/s، فكم تكون السرعة الجديدة للكرة الأخرى؟

0.22 m/s في الاتجاه الأصلي نفسه.

مراجعة عامة

78. تؤثر قوة ثابتة مقدارها 6.00 N في جسم كتلته 3.00 kg مدة 10.0 s. ما التغير في زخم الجسم وسرعته المتجهة؟

20.0 m/s، 60.0 kg.m/s

تقويم الفصل 3

80. سيارة سباق تتسارع سيارة سباق كتلتها 845 kg من

موقف السكون إلى 100.0 km/h خلال 0.90 s.

a. ما التغير في زخم السيارة؟

$$\Delta p = m(v_f - v_i)$$

$$= (845 \text{ kg})(100.0 \text{ km/h} - 0.0 \text{ km/h}) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)$$
$$= 2.35 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

b. ما متوسط القوة المؤثر في السيارة؟

$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(845 \text{ kg})(100.0 \text{ km/h} - 0.0 \text{ km/h}) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{0.90 \text{ s}}$$
$$= 2.6 \times 10^4 \text{ N}$$

c. ما الذي ولّد هذه القوة؟

تولدت هذه القوة من خلال الاحتكاك مع الطريق

تقويم الفصل 3

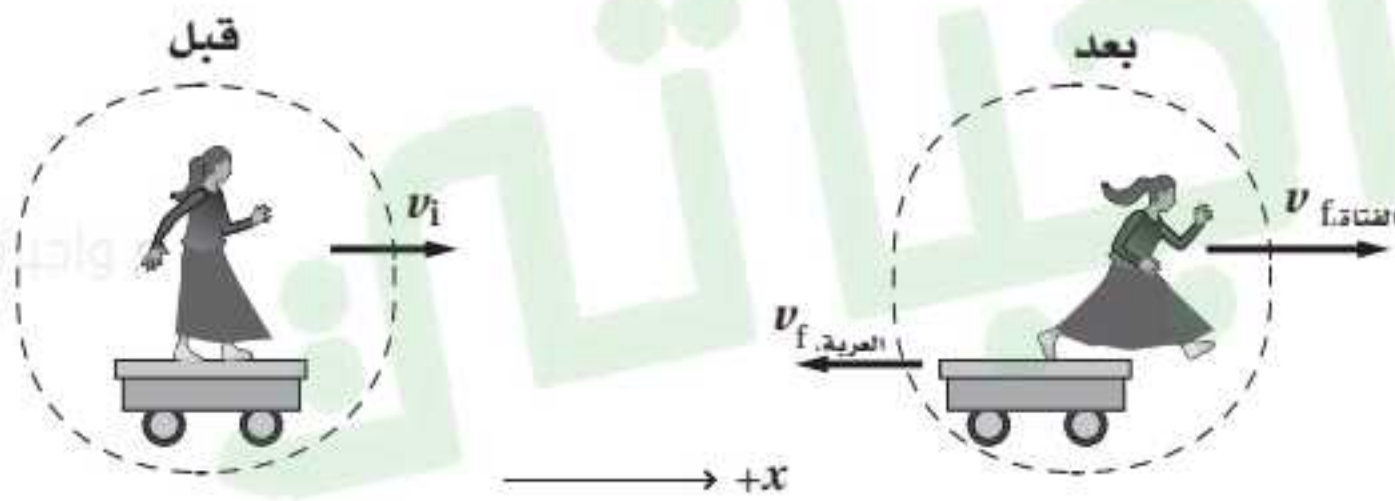
بعد :

$$m_{\text{الفتاة}} = 50.0 \text{ kg}$$

$$m_{\text{العربة}} = 10.0 \text{ kg}$$

$$v_{f, \text{الفتاة}} = 7.0 \text{ m/s}$$

$$v_{f, \text{العربة}} = ?$$



b. أوجد السرعة المتجهة للعربة بعد أن قفزت منها الفتاة.

$$-5.0 \text{ m/s}, \text{ أو } 5.0 \text{ m/s} \text{ غرباً}$$

81. هوكي الجليد تحرك قرص هوكي كتلته 0.115 kg

بسرعة 35.0 m/s، فاصطدم بسترة كتلتها 0.365 kg رميت على الجليد من قبل أحد المشجعين، فانزلق القرص والسترة معاً. أوجد سرعتهم المتجهة.

$$m_{\text{السترة}} v_f + m_{\text{قرص الهوكي}} v_i = m_{\text{قرص الهوكي}} v_f$$

$$v_f = \frac{m_{\text{قرص الهوكي}} v_i}{m_{\text{السترة}} + m_{\text{قرص الهوكي}}} = \frac{(0.115 \text{ kg})(35.0 \text{ m/s})}{(0.115 \text{ kg} + 0.365 \text{ kg})}$$

$$= 8.39 \text{ m/s}$$

82. تتركب فتاة كتلتها 50.0 kg عربة ترفيه كتلتها 10.0 kg،

وتتحرك شرقاً بسرعة 5.0 m/s. فإذا قفزت الفتاة من مقدمة العربة ووصلت الأرض بسرعة 7.0 m/s في اتجاه الشرق بالنسبة إلى الأرض.

a. ارسم الوضعين قبل القفز وبعده، وعيّن نظام إحداثياتهما.

قبل :

$$m_{\text{الفتاة}} = 50.0 \text{ kg}$$

$$m_{\text{العربة}} = 10.0 \text{ kg}$$

$$v_i = 5.0 \text{ m/s}$$

تقويم الفصل 3

83. قفز شاب كتلته 60.0 kg إلى ارتفاع 0.32 m.
a. ما زخمه عند وصوله إلى الأرض؟

$$v^2 = v_0^2 + 2dg$$

لذا تكون السرعة المتجهة للشاب

$$v = \sqrt{2dg}$$

ويكون زخم الشاب

$$p = mv = m\sqrt{2dg}$$

$$= (60.0 \text{ kg})\sqrt{(2)(0.32 \text{ m})(9.80 \text{ m/s}^2)}$$

$$= 1.5 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \text{ إلى أسفل}$$

b. ما الدفع اللازم لإيقاف الشاب؟

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

ولإيقاف الشاب فإن

$$v_f = 0$$

لذا فإن

حيث تدل الإشارة السالبة على أن الدفع يجب أن يؤثر إلى

$$F\Delta t = -mv_f = -p = -1.5 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \text{ أعلى}$$

تقويم الفصل 3

c. عندما يهبط الشاب على الأرض تنثني ركبتاه مؤديتين إلى إطالة زمن التوقف إلى 0.050 s. أوجد متوسط القوة المؤثرة في جسم الشاب.

$$F\Delta t = m\Delta v = m\sqrt{2dg}$$

$$F = \frac{m\sqrt{2dg}}{\Delta t}$$

$$= (60.0 \text{ kg}) \frac{\sqrt{(2)(0.32 \text{ m})(9.80 \text{ m/s}^2)}}{0.050 \text{ s}}$$

$$= 3.0 \times 10^3 \text{ N}$$

d. قارن بين قوة إيقاف الشاب ووزنه.

$$F_g = mg = (60.0 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = 5.98 \times 10^2 \text{ N}$$

قوة إيقاف الشاب تساوي 5 أضعاف وزنه تقريباً.

تقويم الفصل 3

التفكير الناقد

84. **تطبيق المفاهيم** يركض لاعب كتلته 92 kg بسرعة 5.0 m/s، محاولاً الوصول إلى المرمى مباشرة، وعندما وصل خط المرمى اصطدم بلاعبين من فريق الخصم في الهواء كتلة كل منهما 75 kg، وقد كانا يركضان في عكس اتجاهيه، حيث كان أحدهما يتحرك بسرعة 2.0 m/s، والآخر بسرعة 4.0 m/s، فالتحموا جميعاً، وأصبحوا كأنهم كتلة واحدة.

a. ارسم الحدث موضعاً الوضع قبل الاصطدام وبعده.

قبل:

$$m_A = 92 \text{ kg}$$

$$m_B = 75 \text{ kg}$$

$$m_C = 75 \text{ kg}$$

$$v_{Ai} = 5.0 \text{ m/s}$$

$$v_{Bi} = -2.0 \text{ m/s}$$

$$v_{Ci} = -4.0 \text{ m/s}$$

بعد:

$$m_A = 92 \text{ kg}$$

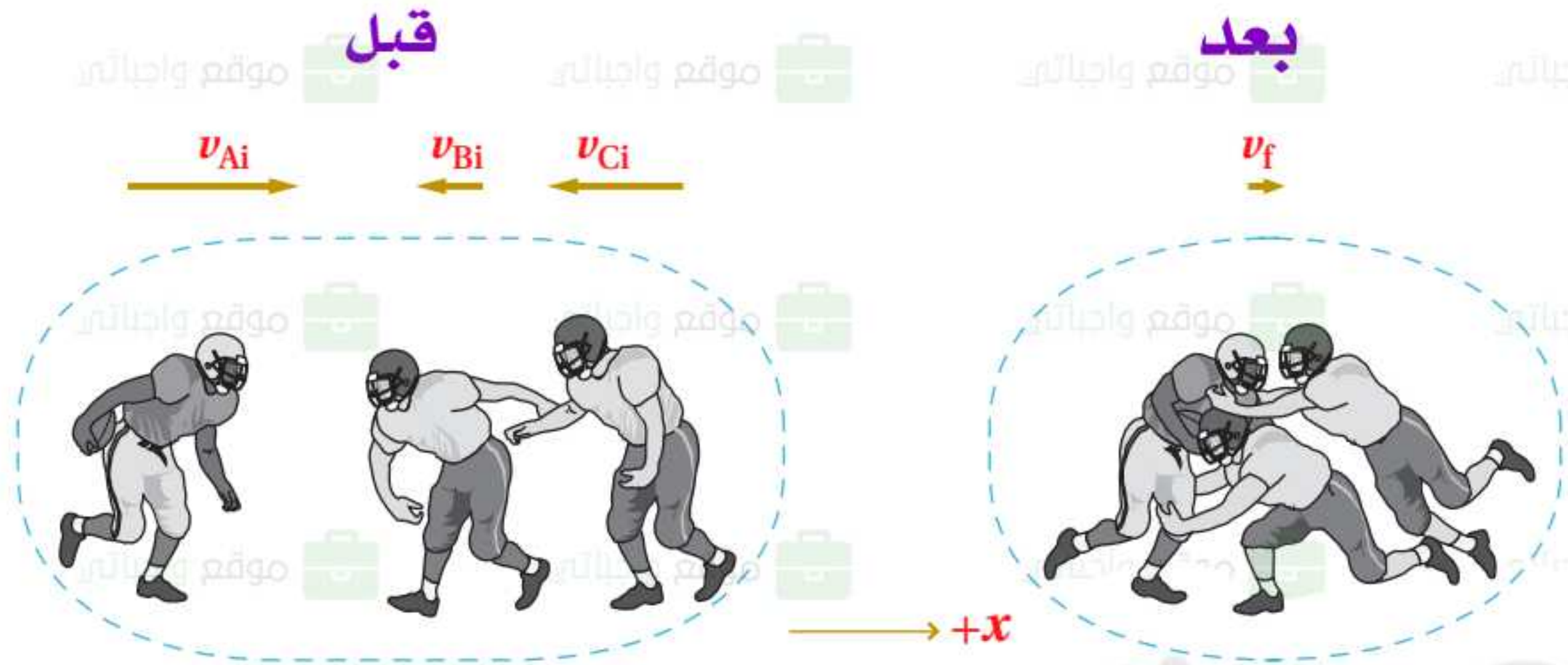
$$m_B = 75 \text{ kg}$$

$$m_C = 75 \text{ kg}$$

$$v_f = ?$$



تقويم الفصل 3



b. ما السرعة المتجهة للاعبين الكرة بعد التصادم؟

$$p_{Ai} + p_{Bi} + p_{Ci} = p_{Af} + p_{Bf} + p_{Cf}$$

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} + m_C v_{Ci} = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf} + m_C v_{Cf}$$

$$= (m_A + m_B + m_C) v_f$$

$$v_f = \frac{m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} + m_C v_{Ci}}{m_A + m_B + m_C}$$

$$= \frac{(92 \text{ kg})(5.0 \text{ m/s}) + (75 \text{ kg})(-2.0 \text{ m/s}) + (75 \text{ kg})(-4.0 \text{ m/s})}{92 \text{ kg} + 75 \text{ kg} + 75 \text{ kg}}$$

$$= 0.041 \text{ m/s}$$

تقويم الفصل 3

الكتابة في الفيزياء

85. كيف يمكن أن تصمم حواجز الطريق السريع لتكون أكثر فاعلية في حماية أرواح الأشخاص؟ ابحث في هذه القضية، وصف كيف يمكن استخدام الدفع والتغير في الزخم في تحليل تصاميم الحواجز.

لا يعتمد التغير في زخم السيارة على كيفية توقف السيارة، وهكذا فإن الدفع أيضاً لا يتغير. ولتقليل القوة يجب زيادة الفترة الزمنية التي تستغرقها السيارة للتوقف. ويعمل استخدام حواجز قادرة على زيادة الفترة الزمنية اللازمة لتوقف السيارة على تقليل القوة، وتستخدم عادة الحواجز البلاستيكية المرنة المملوءة بالرمل.

86. على الرغم من أن الوسائد الهوائية تحمي العديد من الأرواح، إلا أنها قد تسبب إصابات تؤدي إلى الموت. اكتب آراء صانعي السيارات في ذلك، وحدد ما إذا كانت المشاكل تتضمن الدفع والزخم أو أشياء أخرى.

هناك طريقتان لكي تعمل الوسائد الهوائية على تقليل الإصابات. أولاً تزيد الوسائد الهوائية من الفترة الزمنية التي يؤثر خلالها الدفع، لذا فهي تقلل القوة. ثانياً أن الوسادة الهوائية توزع القوة على مساحة أكبر، لذا فهي تقلل الضغط. وهكذا فإن الإصابات الناتجة عن تأثير قوى من أجسام صغيرة تقل. إن معظم أخطار الوسائد الهوائية تنجم عن أن هذه الوسائد يجب أن تنتفخ بسرعة كبيرة. يمكن لسطح الوسادة الهوائية أن يصل إلى الراكب بسرعة قد تصل إلى 322 km/h ، أو تحدث الإصابات عندما تصطدم الوسادة الهوائية المتحركة بالراكب. وما زالت هذه الأنظمة تتطور حتى ينضبط معدل امتلاء الوسادة الهوائية بالغازات لتتطابق حجم الراكب.

تقويم الفصل 3

مراجعة تراكمية

87. لُفَّ حبلٌ حول طبل قطره 0.600 m. وسُحِبَ بآلة تؤثر فيه بقوة ثابتة مقدارها 40.0 N مدة 2.00 s. وفي هذه الفترة تم فك 5.00 m من الحبل. أوجد ω ، α عند 2.0 s. (الفصل 2)

التسارع الزاوي يساوي حاصل قسمة التسارع الخطي لحافة الطبل على نصف قطر الطبل.

$$\alpha = \frac{a}{r}$$

ويتم إيجاد التسارع الخطي من معادلة الحركة.

$$x = \frac{1}{2} at^2$$

$$a = \frac{2x}{t^2}$$

لذا فإن التسارع الزاوي يساوي:

$$\alpha = \frac{a}{r} = \frac{2x}{rt^2}$$

$$= \frac{(2)(5.00 \text{ m})}{\left(\frac{0.600 \text{ m}}{2}\right) (2.00 \text{ s})^2}$$

$$= 8.33 \text{ rad/s}^2$$

عند نهاية الزمن 2.00 s، تحسب السرعة المتجهة الزاوية على النحو الآتي:

$$\omega = \alpha t$$

$$= \frac{2xt}{rt^2}$$

$$= \frac{2x}{rt}$$

$$= \frac{(2)(5.00 \text{ m})}{\left(\frac{0.600 \text{ m}}{2}\right) (2.00 \text{ s})}$$

$$= 16.7 \text{ rad/s}$$

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ينزلق متزلج كتلته 40.0 kg على الجليد بسرعة مقدارها 2 m/s، في اتجاه زلاجة ثابتة كتلتها 10.0 kg على الجليد. وعندما وصل المتزلج إليها اصطدم بها، ثم واصل المتزلج انزلاقه مع الزلاجة في الاتجاه الأصلي نفسه لحركته. ما مقدار سرعة المتزلج والزلاجة بعد تصادمهما؟

- (A) 0.4 m/s
(B) 0.8 m/s
(C) 1.6 m/s
(D) 3.2 m/s

2. يقف متزلج كتلته 45.0 kg على الجليد في حالة سكون عندما رمى إليه صديقه كرة كتلتها 5.0 kg، فانزلق المتزلج والكرة إلى الوراء بسرعة مقدارها 0.50 m/s، فما مقدار سرعة الكرة قبل أن يمسكها المتزلج مباشرة؟

- (A) 2.5 m/s
(B) 3.0 m/s
(C) 4.0 m/s
(D) 5.0 m/s

3. ما فرق الزخم بين شخص كتلته 50.0 kg يركض بسرعة مقدارها 3.00 m/s، وشاحنة كتلتها 3.00×10^3 kg تتحرك بسرعة مقدارها 1.00 m/s؟

- (A) 1275 kg. m/s
(B) 2550 kg. m/s
(C) 2850 kg. m/s
(D) 2950 kg. m/s

4. أثرت قوة مقدارها 16 N في حجر بدفع مقداره 0.8 kg. m/s مسببةً تحليق الحجر عن الأرض بسرعة مقدارها 4.0 m/s. ما كتلة الحجر؟

- (A) 0.2 kg
(B) 0.8 kg
(C) 1.6 kg
(D) 4.0 kg

الأسئلة الممتدة

5. تسقط صخرة كتلتها 12.0 kg على الأرض. ما الدفع على الصخرة إذا كانت سرعتها المتجهة لحظة الاصطدام بالأرض 20.0 m/s؟

$$\begin{aligned} F\Delta t &= m\Delta v = (12.0 \text{ kg})(20.0 \text{ m/s} - 0.00 \text{ m/s}) \\ &= 2.4 \times 10^2 \text{ kg.m/s} \\ &= 2.40 \times 10^2 \text{ N.s} \end{aligned}$$

يكون دفع الصخرة على الأرض هو $2.4 \times 10^2 \text{ N.s}$ ، ولذلك يكون دفع الأرض على الصخرة $-2.40 \times 10^2 \text{ N.s}$