المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء ٢

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثانية

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة ١٤٤٥ - ٢٠٢٣

يُوزع مجّاناً ولا يُباع

ⓒ وزارة التعليم، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وزارة التعليم

الفيزياء ٢ -نظام المسارات- الفصل الدراسي الثالث - / وزارة التعليم. الرياض ، ١٤٤٣هـ .

٢٤٢ص ؛ ٢١ X ٢٧,٥ سم

ردمك : ٧-٠٩٠-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

١ ـ الفيزياء٢ ـ كتب دراسية السعودية. أ ـ العنوان

ديوي ٥٣٠,٠٧١٢ ١٤٤٣/٨١١٤

رقم الإيداع : ١٤٤٣/٨١١٤

ردمك : ٧-٠٩٠-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:

يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

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

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

المقدمة

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

يأتي اهتمام المملكة العربية السعودية بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب (فيزياء٢) لنظام المسارات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (٢٠٣٠) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ويمكن الرجوع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (٢٠٣٠) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحا وتفسيرا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، ومظللة باللون الأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

ونسأله سبحانه أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

الفصل 3

الزخم وحفظه

Momentum & Its Conservation

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الزخم والدفع، وتوظيف العلاقات والمفاهيم المرتبطة معهما 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 تقريبًا. وهذا الموضوع تم التعرض له بالتفصيل في بند استخدام **الشكل 1–2**.

موقع واجباتي

تجربة استهلالية

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 إحداهما في اتجاه الأخرى على سطح أملس.
2. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معًا.
3. أعد التجربة، على أن تحافظ على الكرة المصمتة ساكنة، وتدحرج الكرة البلاستيكية الجوفاء نحوها.
4. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معًا.
5. أعد التجربة مرة أخرى على أن تحافظ هذه المرة على بقاء الكرة البلاستيكية الجوفاء ساكنة، وتدحرج الكرة المصمتة نحوها.
6. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما.

التحليل

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

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

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–1 الدفع والزخم Impulse and Momentum

إن مشاهدة لاعب البيسبول وهو يضرب الكرة ليحرز النقاط أمر مثير للدهشة. حيث يرمي لاعب المرمى الكرة في اتجاه اللاعب ذي المضرب، الذي يضربها بدوره لترتد بسرعة كبيرة تحت تأثير دفع المضرب. ستقوم بدراسة التصادم في هذا الفصل بطريقة مختلفة عما فعلت في الفصول السابقة؛ حيث كان التركيز على القوتين المتبادلتين بين الكرة والمضرب وما ينتج عنهما من تسارع. أما في هذا الفصل فالتركيز على التفاعل الفيزيائي بين الجسمين المتصادمين. إن الخطوة الأولى في تحليل التفاعل الفيزيائي بين الجسمين هي وصف ما حدث للكرة والمضرب قبل التصادم وفي أثنائه وبعده. ونستطيع تبسيط دراسة التصادم بين الكرة والمضرب بافتراض أن جميع الحركات أفقية؛ حيث تحركت الكرة في اتجاه المضرب قبل التصادم، وتأثرت الكرة بالمضرب مما أدى إلى انضغاطها في أثناء التصادم، فتحركت الكرة بسرعة أكبر مبتعدة عن المضرب بعد تصادمهما، وأكمل المضرب مساره ولكن بسرعة أقل.

الأهداف

- **تتعرّف** مفهوم الزخم.
- **تحدّد** مقدار الدفع الواقع على جسم.

المفردات

الدفع

الزخم

نظرية الدفع – الزخم

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التحليل

ما العوامل التي تؤثر في سرعة الكرتين بعد تصادمهما؟ وما العوامل التي تحدّد 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 تقريبًا 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.

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 السرعتين 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 مباشرةً 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، $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$، باستخدام تعريف التسارع بأنه حاصل قسمة التغير في السرعة المتجهة على الزمن الضروري لإحداث التغير. ويمثل ذلك بالمعادلة:

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

بضرب طرفي المعادلة في الفترة الزمنية Δt ، نحصل على المعادلة التالية: $\boldsymbol{F}\Delta t = m\Delta \boldsymbol{v}$

إن **الدفع**، أو $\boldsymbol{F}\Delta t$ 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**.

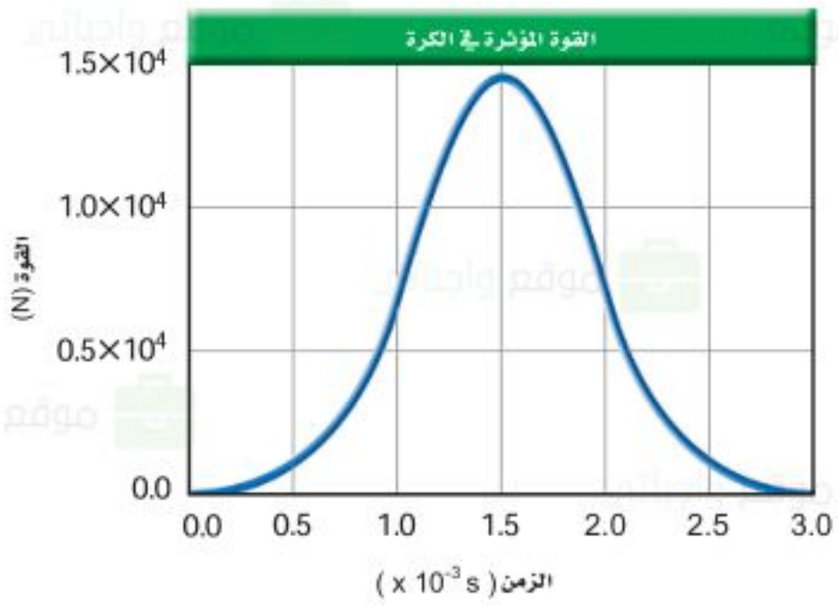
يحتوي الجانب الأيمن من المعادلة، $m\Delta \boldsymbol{v}$ على التغير في السرعة المتجهة: $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i$. حيث يكون $m\Delta \boldsymbol{v} = m\boldsymbol{v}_f - m\boldsymbol{v}_i$. ويعرف حاصل ضرب كتلة الجسم m في سرعته المتجهة $\boldsymbol{v}$ **بزخم** الجسم؛ حيث يقاس الزخم بوحدة kg.m/s. ويعرف زخم الجسم بالزخم الخطي أيضًا، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

الزخم $\quad \boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$

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

دلالة الألوان

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



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

بالرجوع إلى المعادلة $\boldsymbol{F}\Delta t = m\Delta \boldsymbol{v} = m\,\boldsymbol{v}_{\mathrm{f}} - m\,\boldsymbol{v}_{\mathrm{i}}$ ، حيث إن $m\,\boldsymbol{v}_{\mathrm{f}} = \boldsymbol{p}_{\mathrm{f}}$ و $m\,\boldsymbol{v}_{\mathrm{i}} = \boldsymbol{p}_{\mathrm{i}}$ ، فإنه يمكننا إعادة كتابة هذه المعادلة على النحو الآتي:

$$\boldsymbol{F}\Delta t = m\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{p}_{\mathrm{f}} - \boldsymbol{p}_{\mathrm{i}}$$

يصف الجانب الأيمن من هذه المعادلة $\boldsymbol{p}_{\mathrm{f}} - \boldsymbol{p}_{\mathrm{i}}$ 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:

نظرية الدفع – الزخم $\boldsymbol{F}\Delta t = \boldsymbol{p}_{\mathrm{f}} - \boldsymbol{p}_{\mathrm{i}}$

الدفع على جسم ما يساوي زخم الجسم النهائي مطروحًا 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. وعمومًا لا تكون القوة ثابتة، لذا يتم إيجاد الدفع باستخدام متوسط القوة مضروبًا في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها، أو عن طريق إيجاد المساحة تحت منحنى القوة – الزمن.

ولأنّ السرعة كمية متجهة فإن الزخم أيضًا كمية متجهة. وبشكل مشابه لا بد أن يكون الدفع كمية متجهة؛ لأنَّ 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

مـا 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 N.s تقريبًا. ويكون اتجاه الدفع في اتجاه القوة نفسه. لذا فإنّ التغير في زخم الكرة يساوي 13.1 N.s أيضًا، ولأنّ 1 N.s تساوي 1 kg.m /s، فإنَّ الزخم الذي تكتسبه الكرة يساوي 13.1 kg.m /s، ويكون اتجاهه في نفس اتجاه القوة المؤثرة في الكرة.

افترض أنَّ لاعبًا 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:

$$\boldsymbol{p}_{\mathrm{i}} = (0.145\ \mathrm{kg})\ (-38\ \mathrm{m/s}) = -5.5\ \mathrm{kg.m/s}$$

ما زخم الكرة بعد التصادم؟ طبّق نظرية الدفع – الزخم لإيجاد الزخم النهائي:

$\boldsymbol{p}_{\mathrm{f}} = \boldsymbol{p}_{\mathrm{i}} + \boldsymbol{F}\Delta t$. أي أن الزخم النهائي هو مجموع الزخم الابتدائي والدفع. ويحسب

تطبيق الفيزياء

أحذية الركض

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

الزخم النهائي للكرة على النحو الآتي:

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

ما السرعة المتجهة النهائية للكرة؟ بما أنّ $\boldsymbol{p}_f = m\boldsymbol{v}_f$ ، فإنه يمكن حساب $\boldsymbol{v}_f$ كالآتي:

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

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 كبيرًا. 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.

الشكل 2–3 تنتفخ الوسادة الهوائية في أثناء التصادم، حيث تسبب القوة الناجمة عن التصادم تحفيز المجس الذي يحفز بدوره تفاعلًا كيميائيًا ينتج غازًا، مما يؤدي إلى انتفاخ الوسادة الهوائية بسرعة.

ماذا يحدث للسائق عندما تتوقف السيارة فجأة نتيجة تصادم؟ يساوي الزخم النهائي $\boldsymbol{p}_f$ في حالات التصادم صفرًا، أما الزخم الابتدائي $\boldsymbol{p}_i$ فلا يتأثر بوجود الوسادة الهوائية أو عدمه، وتبعًا لذلك يكون الدفع $\boldsymbol{F}\,\Delta t$ 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 أنّها توزع تأثير القوة على مساحة أكبر من جسم الشخص، ممّا يقلّل من احتمال حدوث الإصابات.

الربط مع رؤية 2030

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

مجتمع حيوي

من أهداف الرؤية

٤. ٣. ٢ تعزيز السّلامَة المُروريّة

مثـــال 1

متوسط القوة تتحرك مركبة كتلتها 2200 kg بسرعة (26 m /s) 94 km /h ، 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 أسمنتي. ما متوسط القوة المؤثرة في المركبة في كل حالة من حالات التوقف؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم النظام.
- اختر نظام إحداثيات وحدِّد الاتجاه الموجب ليكون في اتجاه السرعة المتجهة للسيارة.
- اعمل رسمًا تخطيطيًّا لمتجهات الزخم والدفع.

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

أولاً: نحسب الزخم الابتدائي p_i :

عوّض مستخدمًا $m = 2200\ \text{kg}$ ، $v_i = +26\ \text{m/s}$

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

ثانيًا: نحسب الزخم النهائي، p_f :

عوّض مستخدمًا $m = 2200\ \text{kg}$ ، $v_f = +0.0\ \text{m/s}$

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

ثالثًا: نطبق نظرية الدفع – الزخم للحصول على القوة المطلوبة لإيقاف المركبة:

عوّض مستخدمًا $p_i = 5.7 \times 10^4\ \text{kg.m/s}$ ، $p_f = 0.0\ \text{kg.m/s}$

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

$$F = \frac{-5.7 \times 10^4\ \text{kg.m/s}}{\Delta t}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

204–205

عوّض مستخدمًا $\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = 21\ \text{s}$.

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

عوّض مستخدمًا $\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = 3.8\ \text{s}$.

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

عوّض مستخدمًا $\Delta t_{\text{الاصطدام بحائط}} = 0.22\ \text{s}$.

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

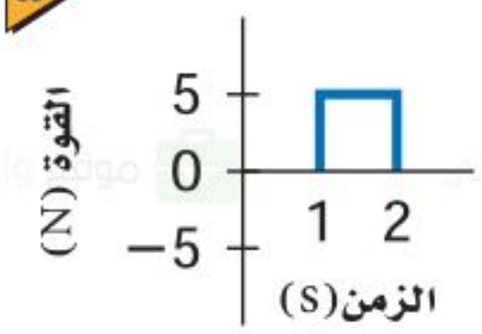
3 تقويم الجواب

- **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 قلّ 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 سهما على الرسم التخطيطي يعبر عن الزخم.

a



$$p = mv$$

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

$$= 2.32\times10^{4}\ \text{kg.m/s}\ \text{شرقًا}$$

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

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

$$= \frac{(2.32\times10^{4}\ \text{kg.m/s})\left(\frac{3600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)\left(\frac{1\ \text{km}}{1000\ \text{m}}\right)}{2175\ \text{kg}}$$

$$= 38.4\ \text{km/h}\ \text{شرقًا}$$

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

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

$$F = -5.0\times10^{3}\ \text{N}$$

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

$$\text{الدفع} = F\Delta t$$

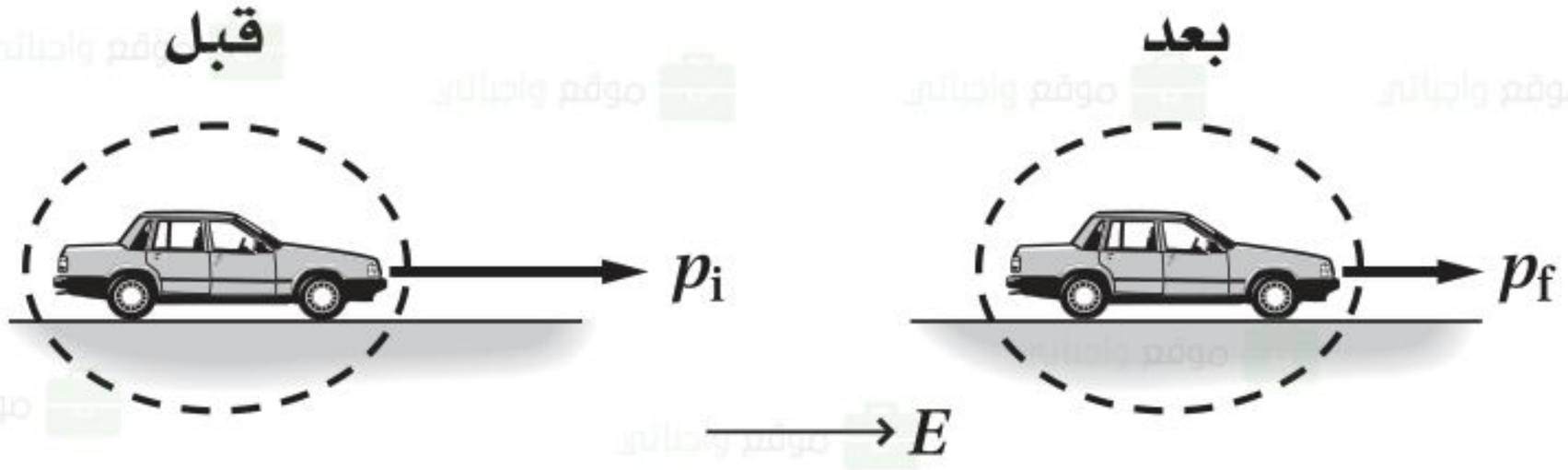
$$= (-5.0\times10^{3}\ \text{N})(2.0\ \text{s})$$

$$= -1.0\times10^{4}\ \text{N.s}$$

اتجاه الدفع نحو الغرب ومقداره 1.0×10^{4} N.s

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

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



$$p_i = 2.32\times10^4\ \text{kg.m/s}\ \text{شرقًا}$$

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

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

$$= -1.0\times10^4\ \text{kg.m/s} + 2.32\times10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$= 1.3\times10^4\ \text{kg.m/s}\ \text{شرقًا}$$

$$p_f = mv_f$$

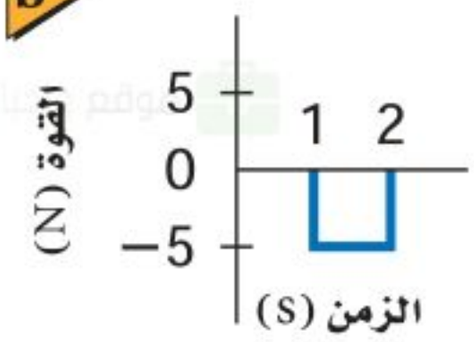
$$v_f = \frac{p_f}{m} = \frac{1.3\times10^4\ \text{kg.m/s}}{725\ \text{kg}}$$

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

$$= 65\ \text{km/h}\ \text{شرقًا}$$

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 3a–3 و3b – 3**.

b



الشكل 3 – 3

a.

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

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

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

$= 2.7\ \text{m/s}$ في اتجاه السرعة المتجهة الأصلية نفسها

b.

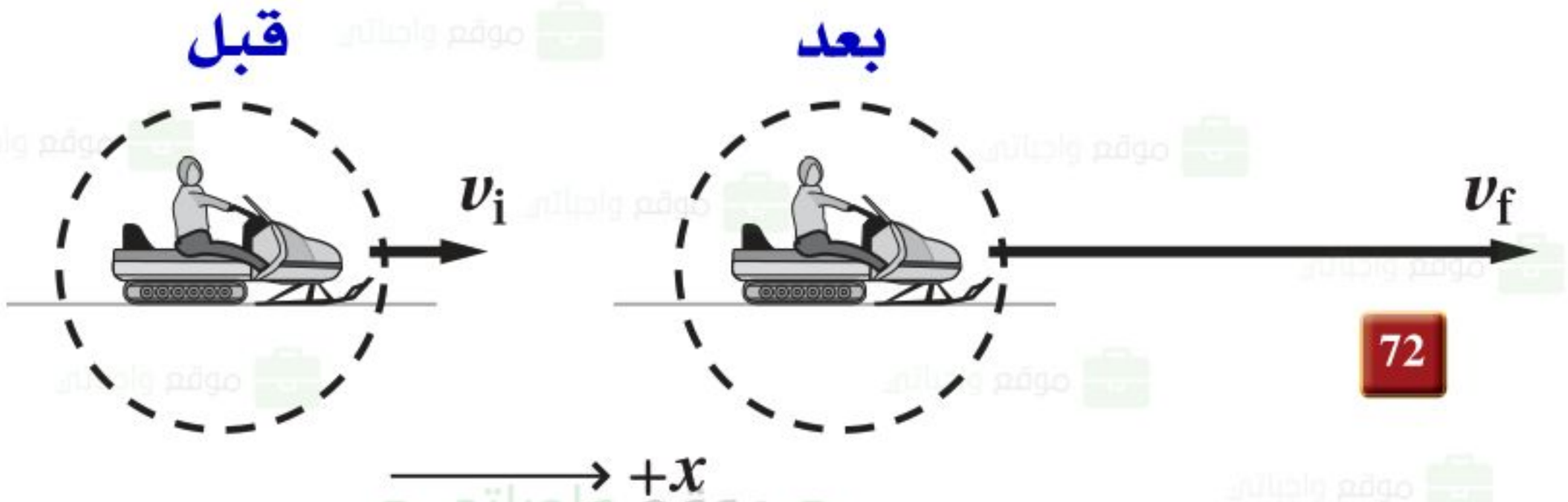
$$v_f = \frac{F\Delta t + mv_i}{m}$$

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

$= 1.3\ \text{m/s}$ في اتجاه السرعة المتجهة الأصلية نفسها

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

a. ارسم مخططًا يمثل الوضعين الابتدائي والنهائي للعربة.



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

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

$$= m(v_f - v_i)$$

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

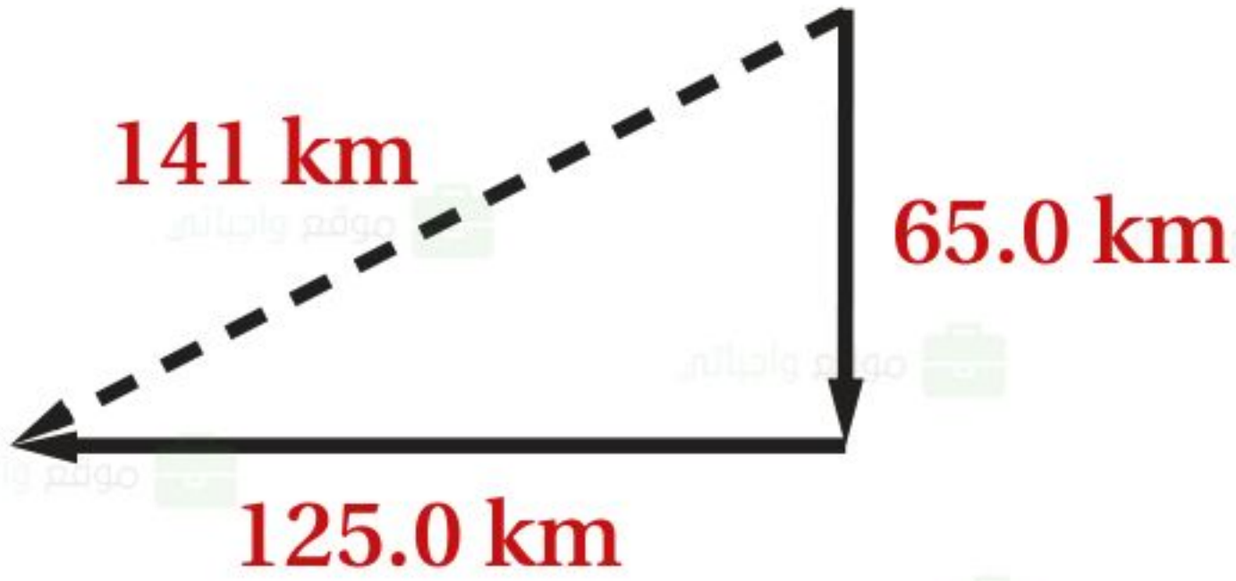
$$= 5.28\times10^3\ \text{kg.m/s}$$

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 أنَّ شـــخصًا كتلته 60.0 kg موجود في المركبة التي اصطدمت بالحائط الأســـمنتي 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؟

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

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

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

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

$$= 7.8\times10^3\ \text{N}$$ في عكس اتجاه الحركة

b. يعتقد بعض الأشـــخاص أنّ بإمكانهم أن يوقفوا اندفاع أجســـامهم 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؟

$$F_g = mg$$

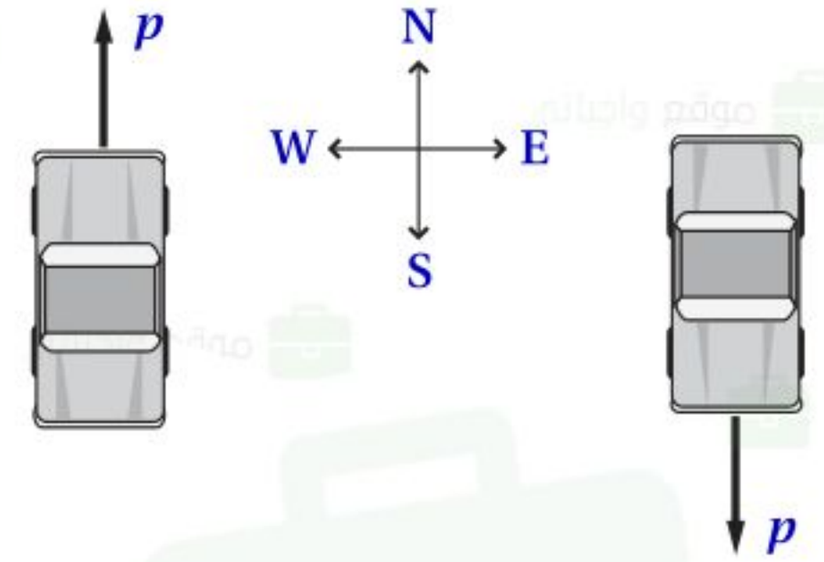
$$m = \frac{F_g}{g} = \frac{7.8\times10^3\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2} = 8.0\times10^2\ \text{kg}$$

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

موقع واجباتي

6. **الزخم** هل يختلف زخم سيارة تتحرك جنوبًا عن زخم السيارة نفسها عندما تتحرك شمالاً، إذا كان مقدار السرعة في الحالتين متساويًا؟ 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 تثني رجليك لحظة ملامسة قدميك الأرض. بيّن لماذا تفعل هذا اعتمادًا على المفاهيم الفيزيائية التي تعلمتها في هذا الفصل.

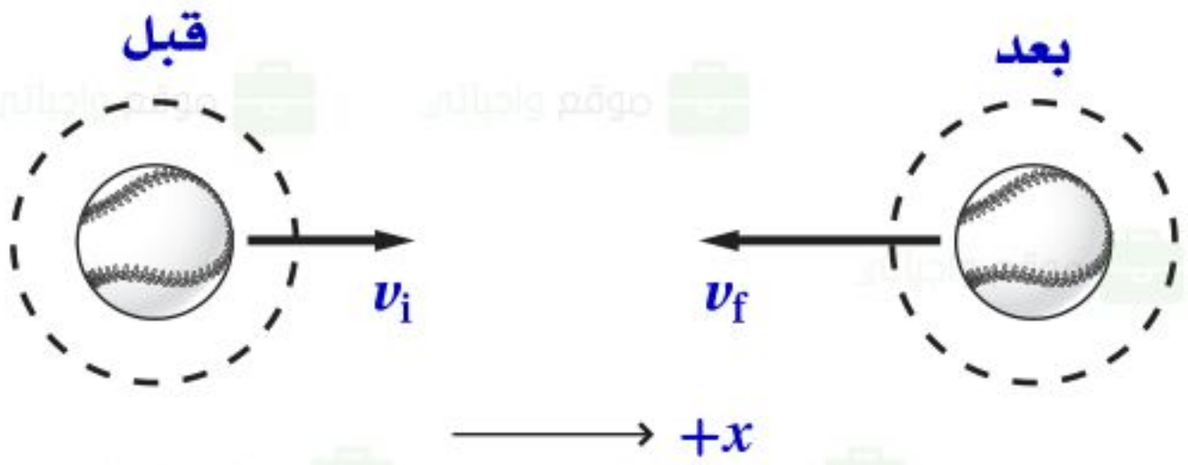
لقد قلّلت القوة بزيادة الفترة الزمنية التي استغرقتها لإيقاف حركة جسمك.

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

لقطرة المطر الساقطة زخم أكبر؛ لأنّ ناقلة النفط في وضع السكون لها زخم يساوي صفرًا.

9. **الدفع والزخم** قذفت كرة بيسبول كتلتها 0.174 kg أفقيًّا بسرعة 26.0 m/s. وبعد أن ضُربت 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؟

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

$$= (0.174\ \text{kg})(38.0\ \text{m/s} - (-26.0\ \text{m/s}))$$

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

c. ما الدفع الناتج عن المضرب؟

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

$$= \Delta p$$

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

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

موقع واجباتي

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

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

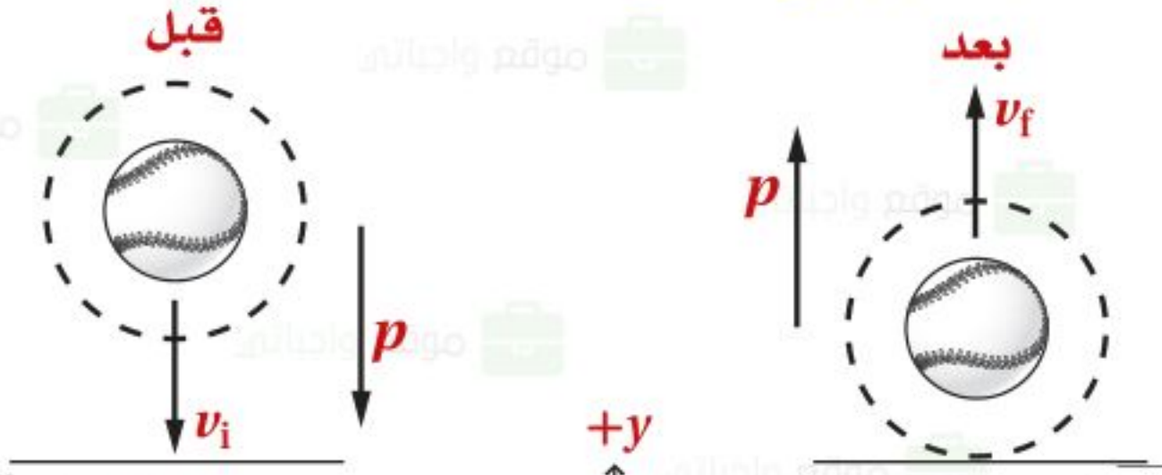
$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

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

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

10. الزخم إنّ مقدار سرعة كرة السلة لحظة اصطدامها بالأرض هو نفسه بعد التصادم مباشرة. هل يعني ذلك أن التغير في زخم الكرة يساوي صفرًا عند اصطدامها بالأرض؟ إذا كان الجواب بالنفي ففي أيّ 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، فتنغرز بعض السهام في الهدف، ويرتد بعضها الآخر عنه. افترض أن كتل السهام وسرعاتها المتجهة متساوية، فأيّ 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

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

لقد درست في القسم الأول من هذا الفصل، كيف تغير القوة المؤثرة في فترة زمنية زخمَ كرة بيسبول. ولقد تعلمت من القانون الثالث لنيوتن أنّ القوى هي نتيجة للتفاعلات بين جسمين؛ فعندما يؤثر المضرب في الكرة بقوة فإنّ 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 فإنّ المضرب ويد اللاعب وذراعيه والأرض التي يقف عليها تتفاعل معًا، لذا لا يمكن اعتبار المضرب جسمًا منفصلاً. لتيسير دراسة التصادم يمكن أن نتفحص نظامًا أبسط، مقارنة بالنظام المركب السابق، كالتصادم بين كرتين. انظر **الشكل 4–3** .

إن كل كرة تؤثر في الأخرى بقوة في أثناء عملية تصادم الكرتين معًا، وإن القوتين اللتين تؤثر بهما كلّ كرة في الأخرى متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، على الرغم من اختلاف حجمي الكرتين وسرعتيهما المتجهتين؛ وذلك استنادًا إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة، وتُمثل هاتان القوتان بالمعادلة الآتية: $\boldsymbol{F}_{\text{C في D}} = -\boldsymbol{F}_{\text{D في C}}$.

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

استنادًا إلى نظرية الدفع–الزخم فإنّ التغير في الزخم يساوي الدفع، وتبعًا لذلك فإن التغير في الزخم لكل من الكرتين كالآتي:

للكرة C : $\boldsymbol{p}_{\text{Cf}} - \boldsymbol{p}_{\text{Ci}} = \boldsymbol{F}_{\text{C في D}}\,\Delta t$

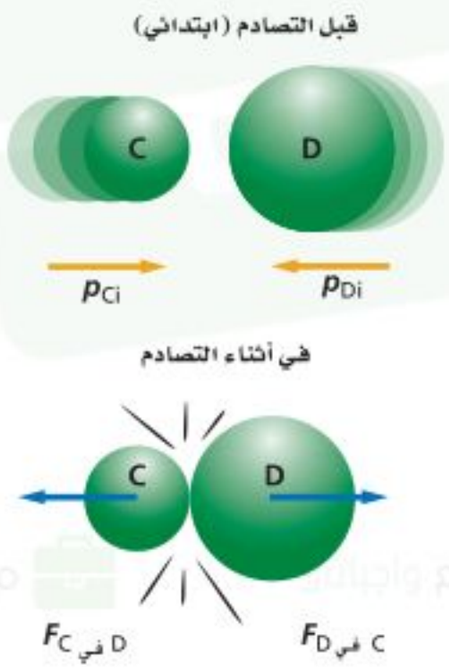
وللكرة D : $\boldsymbol{p}_{\text{Df}} - \boldsymbol{p}_{\text{Di}} = \boldsymbol{F}_{\text{D في C}}\,\Delta t$

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

$$\boldsymbol{p}_{\text{Cf}} - \boldsymbol{p}_{\text{Ci}} = -(\boldsymbol{p}_{\text{Df}} - \boldsymbol{p}_{\text{Di}})$$

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على الآتي: $\boldsymbol{p}_{\text{Cf}} + \boldsymbol{p}_{\text{Df}} = \boldsymbol{p}_{\text{Ci}} + \boldsymbol{p}_{\text{Di}}$

وتشير هذه المعادلة إلى أنّ مجموع زخم الكرتين قبل التصادم يساوي مجموع زخميهما بعد التصادم. وهذا يعني أنّ الزخم المكتسب من الكرة D يساوي الزخم المفقود من الكرة C. فإذا كان النظام يتكوّن من الكرتين فإنّ زخم النظام يكون ثابتًا أو محفوظًا.



الشكل 4–3 عندما تصطدم كرتان فإن كلًّا منهما تؤثر في الأخرى بقوة مما يؤدي إلى تغير زخميهما.

موقع واجباتي

الزخم في نظام مغلق معزول

Momentum in a Closed، Isolated System

مـــا الشروط التي يكون عندها زخم النظام المكون مـــن كرتين محفوظًا؟ إنّ الشرط الأول والأكثر وضوحًا هو عدم فقدان النظام أو اكتسابه كتلة. ويُسمى النظام الذي لا يكتسب كتلة ولا يفقدها **بالنظام المغلق**. أما الـــشرط الثاني لحفظ الزخم في أيّ نظام فهـــو 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 صفرًا. ولا يوجد على سطح الكرة الأرضية نظام يمكن وصفه بأنّه معزول تمامًا؛ بسبب وجود تفاعلات بين النظام ومحيطه. وغالبًا ما تكون هذه التفاعلات صغيرة جدًّا، بحيث يمكن إهمالها عند حل المسائل الفيزيائية.

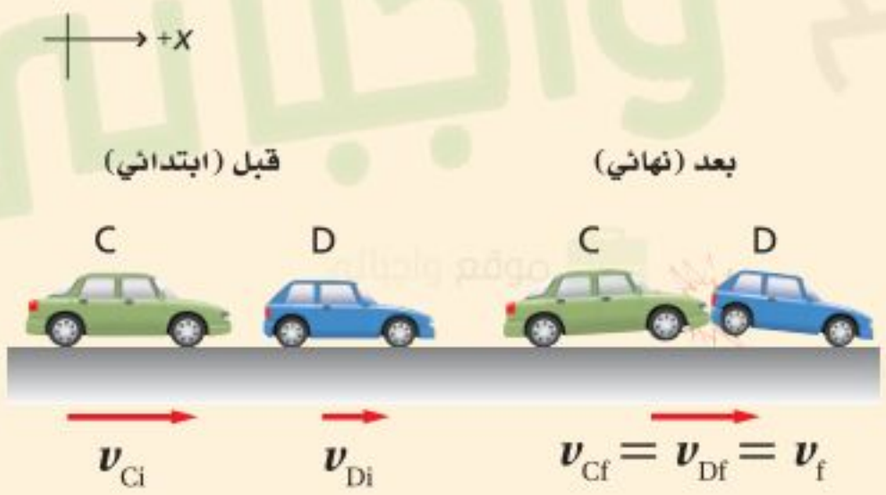
يمكن للأنظمة أن تحتوي على أيّ عدد من الأجســـام، وهذه الأجســـام يمكن أن يلتحم (يلتصق) بعضها ببعـــض أو تتفكك عند التصادم. وينص **قانون حفظ الزخم** على أن زخم أي نظام مغلق ومعزول لا يتغير. وســـيجعلك هذا القانون قادرًا على الربط بين ظروف النظام قبل التفاعـــل وبعده، دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل هذا التفاعل.

مثـــــال 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 معًا بعد التصادم مباشرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- تعريف النظام
- بناء نظام إحداثيات
- رسم تخطيطي يمثل حالتي السيارتين قبل التصادم وبعده.
- رسم تخطيطي لمتجهات الزخم.



المعلوم

$m_C = 1875\ kg$

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

$m_D = 1025\ kg$

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

المجهول

$v_f = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

الزخم محفوظ لأنّ الأرضية الملساء (الجليد) تجعل القوة الخارجية الكلية على السيارتين صفرًا تقريبًا. $p_i = p_f$

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

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

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

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 213

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

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

نعيد ترتيب المعادلة لنحسب v_f.

عوّض مستخدمًا $m_C = 187\ kg$، $v_{Di} = +17 m/s$

$m_D = 1025\ kg$، $v_{ci} = +23\ m/s$

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

$$= \frac{(1875\ kg)\ (+23\ m/s) + (1025\ kg)\ (+17\ m/s)}{(1875\ kg + 1025\ kg)}$$

$$= +21\ m/s$$

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؟** إنّ مقدار السرعة النهائية v_f يقع بين سرعة كل من السيارتين قبل التصادم، ولكنه أقرب إلى سرعة السيارة الكبيرة، وهذا منطقي.

موقع واجباتي

12. اصطدمت سيارتا شحن كتلة كل منهما $3.0 \times 10^5\ \text{kg}$، فالتصقتا معًا، فإذا كانت سرعة إحداهما قبل التصادم مباشرة $2.2\ \text{m/s}$، وكانت الأخرى ساكنة، فما سرعتهما 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 $0.105\ \text{kg}$ بسرعة $24\ \text{m/s}$ ، فيمسك به حارس مرمى كتلته $75\ \text{kg}$ في حالة سكون. ما السرعة التي ينزلق بها حارس المرمى على الجليد؟

$$p_{\text{i، حارس المرمى}} + p_{\text{i، قرص الهوكي}} = p_{\text{f، قرص الهوكي}} + p_{\text{f، حارس المرمى}}$$

$$m_{\text{حارس المرمى}} v_{\text{i، حارس المرمى}} + m_{\text{قرص الهوكي}} v_{\text{i، قرص الهوكي}} = m_{\text{قرص الهوكي}} v_{\text{f، قرص الهوكي}} + m_{\text{حارس المرمى}} v_{\text{f، حارس المرمى}}$$

وبما أن:

$$v_{\text{i، حارس المرمى}} = 0.0\ \text{kg.m/s}$$

فإن:

$$m_{\text{قرص الهوكي}} v_{\text{i، قرص الهوكي}} = (m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{حارس المرمى}}) v_f$$

حيث إن

هي السرعة النهائية المشتركة لحارس المرمى وقرص الهوكي

$$v_f = v_f \text{ قرص الهوكي، } = v_f \text{ حارس المرمى،}$$

$$v_f = \frac{m_{\text{قرص الهوكي}}\, v_{i,\text{حارس المرمى}}}{(m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{حارس المرمى}})}$$

$$= \frac{(0.105\ \text{kg})(24\ \text{m/s})}{(0.105\ \text{kg} + 75\ \text{kg})} = 0.34\ \text{m/s}$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

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

$$m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{i، الرصاصة}} + m_{\text{قطعة الخشب}} v_{\text{i، قطعة الخشب}} = (m_{\text{الرصاصة}} + m_{\text{قطعة الخشب}}) v_{\text{f}}$$

حيث إن v_{f} هي السرعة النهائية المشتركة للرصاصة وقطعة الخشب.

لما كانت

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

فإن

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

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

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

موقع واجباتي

■ الشكل 5 – 3

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

$$m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{i،الرصاصة}} + m_{\text{الكيس}} v_{\text{i،الكيس}} = m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{f،الرصاصة}} + m_{\text{الكيس}} v_{\text{f،الكيس}}$$

حيث إن

$$v_{\text{i،الكيس}} = 0.0\ \text{m/s}$$

$$v_{\text{f،الكيس}} = \frac{\left(m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{i،الرصاصة}} - m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{f،الرصاصة}}\right)}{m_{\text{الكيس}}}$$

$$v_{\text{f،الكيس}} = \frac{m_{\text{الرصاصة}}\left(v_{\text{i،الرصاصة}} + v_{\text{f،الرصاصة}}\right)}{m_{\text{الكيس}}}$$

$$= \frac{(0.0350\ \text{kg})(475\ \text{m/s} - 275\ \text{m/s})}{2.5\ \text{kg}}$$

$$= 2.8\ \text{m/s}$$

موقع واجباتي

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؟

النظام يمثل الرصاصة والكرة

$$m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{i،الرصاصة}} + m_{\text{الكرة}} v_{\text{i،الكرة}} = m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{f،الرصاصة}} + m_{\text{الكرة}} v_{\text{f،الكرة}}$$

بما أن

$$v_{\text{i،الكرة}} = 0.0\ \text{m/s}\ ,\ v_{\text{f،الرصاصة}} = -5.0\ \text{m/s}$$

فإن

$$v_{\text{i،الكرة}} = \frac{m_{\text{الرصاصة}} \left(v_{\text{i،الرصاصة}} - v_{\text{f ،الرصاصة}}\right)}{m_{\text{الكرة}}}$$

$$= \frac{(0.0350\ \text{kg})\ (475\ \text{m/s} - (-5.0\ \text{m/s}))}{2.5\ \text{kg}}$$

$$= 6.7\ \text{m/s}$$

17. تحركت كرة كتلتها 0.50 kg بسرعة 6.0 m /s، فاصطدمت بكرة أخرى كتلتها 1.00 kg تتدحرج في الاتجاه المعاكس بسرعة مقدارهـــا 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؟

افترض أن الكرة الأولى هي الكرة C تتحرك ابتدائيًا في الاتجاه الموجب (نحو الأمام).

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

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

$$= \frac{(0.50\ \text{kg})\ (6.0\ \text{m/s}) + (1.00\ \text{kg})\ (-12.0\ \text{m/s}) - (0.50\ \text{kg})\ (-14\ \text{m/s})}{2.5\ \text{kg}}$$

$$= -2.0\ \text{m/s},$$

أو في الاتجاه المعاكس 2.0 m/s

الارتداد Recoil

مـن المهم جدًّا تعريـف أيّ نظام بدقة، فمثـلاً يتغير زخم كرة بيسـبول عندما تؤثر قوة خارجية ناتجة عن المضرب فيها. وهذا يعني أن كرة البيسـبول ليسـت نظامًا معزولاً. من جهة أخرى فإن الزخم الـكلي لكرتين متصادمتين ضمن نظام معزول لا يتغير؛ لأنّ جميع القوى تكون بين الأجسـام الموجودة داخل النظام. هل تسـتطيع إيجاد السرعات المتجهة النهائية للمتزلجين الموجودين في **الشـكل 6 – 3**؟ افترض أنهما يتزلجان على سطح ناعم، دون وجود قوى خارجية، وأنهما انطلقا من السكون، وكان أحدهما خلف الآخر.

دفع المتزلـجُ C "الصبي الأكـبر"، المتزلجَ D "الصبـي الأصغر"، فتحـركا في اتجاهين متعاكسـين، ولأن قوة الدفع قوة داخلية، فإنه يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لإيجاد السرعات النسبية للمتزلجين. كان الزخم الكلي للنظام قبل الدفع يساوي صفرًا، لذا يجب أن يكون الزخم الكلي صفرًا بعد الدفع أيضًا.

	قبل	بعد
$$\boldsymbol{p}_{Cf} + \boldsymbol{p}_{Df}$$	$$=$$	$$\boldsymbol{p}_{Ci} + \boldsymbol{p}_{Di}$$
$$\boldsymbol{p}_{Cf} + \boldsymbol{p}_{Df}$$	$$=$$	$$0$$
$$\boldsymbol{p}_{Df}$$	$$=$$	$$-\boldsymbol{p}_{Cf}$$
$$m_D \boldsymbol{v}_{Df}$$	$$=$$	$$-m_C \boldsymbol{v}_{Cf}$$

تم اختيار نظام الإحداثيات ليكون الاتجاه الموجـب إلى اليمين. يكون زخما المتزلجين بعد الدفع متساويين في المقدار ومتعاكسـين في الاتجاه. ويعد رجوع المتزلج C إلى الخلف بعد الدفع مثالًا على حالة الارتداد. فهل تكون السرعتان المتجهتان للمتزلجين متسـاويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه أيضًا؟

يمكن إعادة كتابة المعادلة الأخيرة أعلاه، لإيجاد السرعة المتجهة للمتزلج C، على النحو الآتي:

$$\boldsymbol{v}_{Cf} = \left(\frac{m_D}{-m_C}\right) \boldsymbol{v}_{Df}$$

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

■ **الشـكل 6–3** القوى الداخلية المؤثرة بواسطة المتزلج C "الصبي الأكبر"، والمتزلج D "الصبي الأصغر" لا تستطيع أن تغير الزخم الكلي للنظام.

تجـربة

التحليل والاستنتاج

7. صـف ارتفـاع ارتـداد كل مـن الكرتـين عندما تسـقط كل كرة على حدة.

ستتنوع الإجابات، ترتد الكرة الصغيرة والكرة الكبيرة إلى 80% من الارتفاع الذي سقطتا منه.

8. قارن بين ارتفاعات الارتداد في الخطوتين 6 و7.

ستتنوع الإجابات، سوف ترتد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع أقل من الكرة الصغيرة، فهنا سوف ترتد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع 3 cm تقريبًا عندما تسقط من ارتفاع 15 cm، أما الكرة الصغيرة فسوف ترتد إلى ارتفاع 60 cm.

9. فسّر ملاحظاتك.

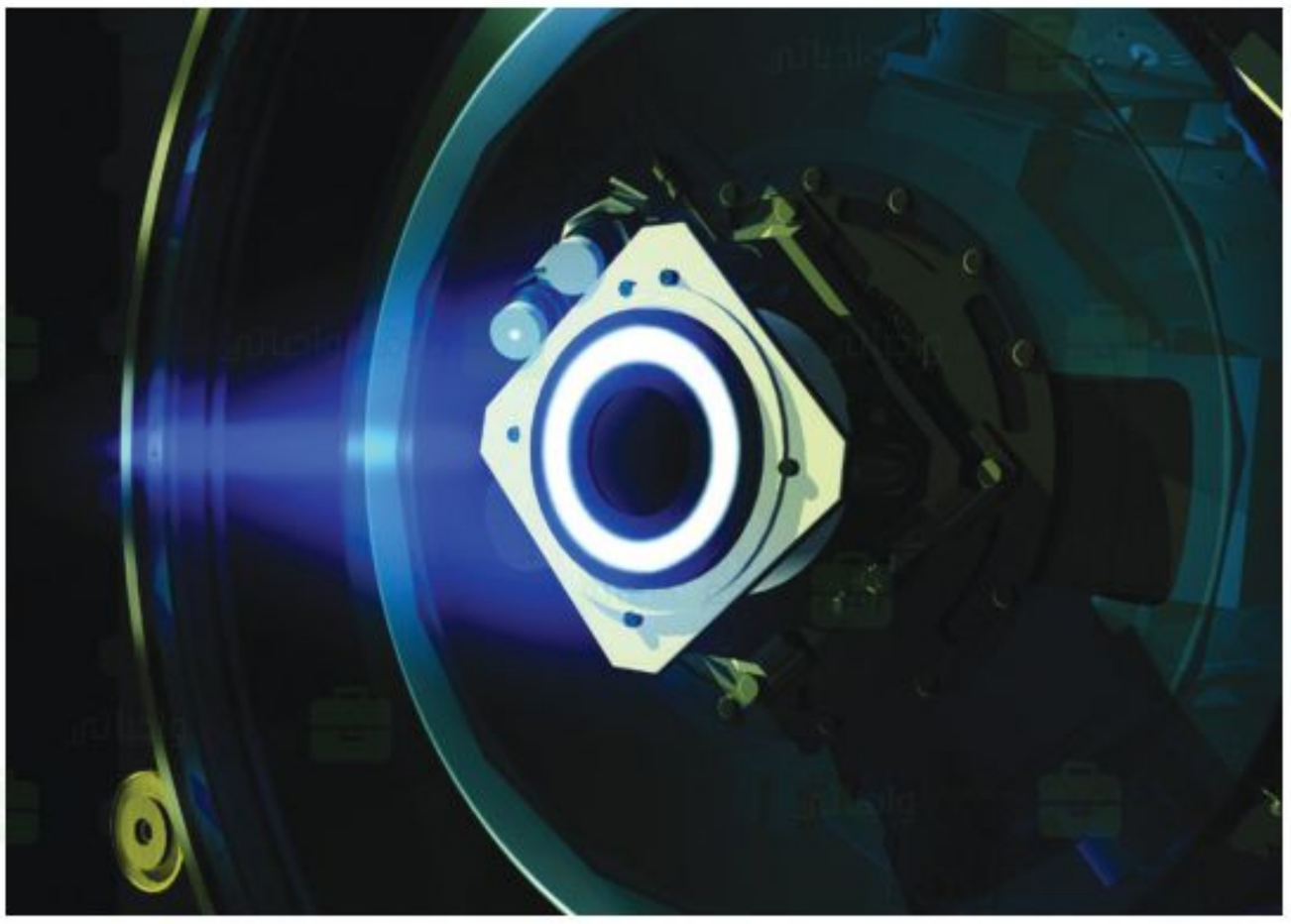
تحول الزخم من الكرة الكبيرة إلى الكرة الصغيرة مسببًا ارتداد الكرة الكبيرة إلى ارتفاع أقل ولكن الكرة الصغيرة لها كتلة أقل لذا ترتد إلى ارتفاع أعلى. وهكذا يكون الزخم محفوظًا خلال التصادم.

موقع واجباتي

الدفع في الفضاء Propulsion in Space

كيف تتغير السرعة المتجهة للصاروخ في الفضاء؟ يُزوَّد الصاروخ بالوقود والمادة المؤكسدة، وعندما يمتزجان معًا في محرك الصاروخ تنتج غازات حارة بسبب الاحتراق، وتخرج من فوهة العادم بسرعة كبيرة. فإذا كان الصاروخ والموادّ الكيميائية هما النظام، فإن النظام يكون مغلقًا. وتكون القوى التي تنفث الغازات قوى داخلية، لذا يكون النظام معزولاً أيضًا. ولذلك فإنّ 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 7–3** 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 فإنّ ذرات الزينون تنطلق بسرعة مقدارها 30 km /s، مولِّدة قوة مقدارها 0.092 N فقط. ولكن كيف يمكن لمثل هذه القوة الصغيرة أن تنتج تغيرًا كبيرًا في زخم المسبار؟ على عكس الصواريخ الكيميائية التقليدية والتي يعمل محركها لدقائق قليلة فقط، فإنّ المحرك الأيوني في المسبار يمكن أن يعمل أيامًا، أو أسابيع أو حتى أشهرًا؛ لذا فإنّ الدفع الذي يوفِّره المحرك يكون كبيرًا بدرجة كافية تسمح بزيادة زخم المركبة الفضائية التي كتلتها 490 kg حتى تصل إلى السرعة المطلوبة لإنجاز مهمتها.



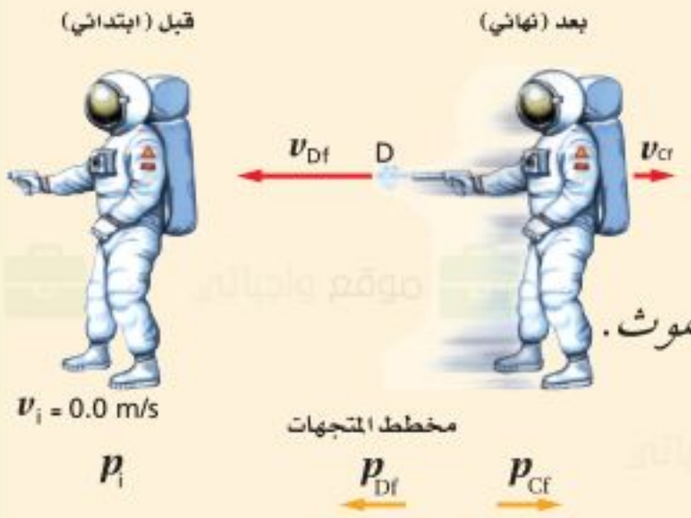
■ **الشكل 7–3** تتأين ذرات الزينون الموجودة في المحرك الأيوني عن طريق قذفها بالإلكترونات، ثم تسرع أيونات الزينون الموجبة إلى سرعات عالية.

مثـــــال 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 أيّ اتجاه يتحرك بعد أن يطلق الغاز من المسدس؟

1 تحليل المسألة ورسمها

$\longrightarrow +x$



- 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.*

المعلوم

$m_C = 84$ kg ، $m_D = 0.035$ kg

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

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

المجهول

$v_{Cf} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

قبل أن يطلق المسدس الغاز، كانت جميع أجزاء النظام في حالة سكون، لذا يكون الزخم الابتدائي صفرًا.

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

نستخدم قانون حفظ الزخم لإيجاد p_f

زخم رائد الفضاء والمسدس معًا يساوي زخم الغاز المنطلق من المسدس في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.

$$p_i = p_f$$

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

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

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

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

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

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

عوّض مستخدمًا $m_D = 0.035$ kg ، $v_{Df} = -875$ m/s ، $m_C = 84$ kg

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

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.

موقع واجباتي

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.

$$p_{\text{i، الصاروخ}} + p_{\text{i، الوقود}} = p_{\text{f،الصاروخ}} + p_{\text{f، الوقود}}$$

حيث

$$p_{\text{f،الصاروخ}} + p_{\text{f، الوقود}} = 0.0\ \text{kg.m/s}$$

إذا كانت كتلة الصاروخ الابتدائية (بما فيها كتلة الوقود) تساوي:

$$m_{\text{الصاروخ}} = 4.00\ \text{kg},$$

عندها تكون كتلة الصاروخ النهائية تساوي:

$$m_{\text{f،الصاروخ}} = 4.00\ \text{kg} - 0.0500\ \text{kg} = 3.95\ \text{kg}$$

$$0.0\ \text{kg.m/s} = m_{\text{f،الصاروخ}}\, v_{\text{f،الصاروخ}} + m_{\text{الوقود}}\, v_{\text{f،الوقود}}$$

$$v_{\text{f، الصاروخ}} = \frac{-m_{\text{الوقود}}\, v_{\text{f،الوقود}}}{m_{\text{f،الصاروخ}}}$$

$$= \frac{-(0.0500\ \text{kg})(-625\ \text{m/s})}{3.95\ \text{kg}}$$

$$= 7.91\ \text{m/s}$$

19. ترتبط عربتان إحداهما مع الأخرى بخيط يمنعهما 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؟

افترض أن العربة التي كتلتها 1.5 kg تمثل العربة C، وأن العربة التي كتلتها 4.5 kg تمثل العربة D.

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

ولما كانت:

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

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

فإن:

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

$$= \frac{-(1.5\ \text{kg})(-27\ \text{cm/s})}{4.5\ \text{kg}}$$

$$= 9.0\ \text{cm/s}\ \text{إلى اليمين}$$

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 كتلتاهما معًا تساوي 115 kg؟

$$p_{\text{i، صفاء}} + p_{\text{i، ديمة}} = p_{\text{f، صفاء}} + p_{\text{f، ديمة}}$$

ولما كانت:

$$p_{\text{i، صفاء}} = p_{\text{i، ديمة}} = 0.0\ \text{kg.m/s}$$

فإن:

$$m_{\text{صفاء}}\, v_{\text{f، صفاء}} = -m_{\text{ديمة}}\, v_{\text{f، ديمة}}$$

$$v_{\text{f، ديمة}} = \frac{-m_{\text{صفاء}}\, v_{\text{f، صفاء}}}{m_{\text{ديمة}}}$$

$$= \frac{-(80.0\ \text{kg})\ (4.0\ \text{m/s})}{115\ \text{kg}}$$

$$= 2.8\ \text{m/s}$$ في الاتجاه المعاكس

موقع واجباتي

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 8–3** ما يحدث عندما تصطدم كرة البلياردو C بالكرة D التي كانت في حالة سكون. افترض أنّ كرتي البلياردو هما النظام، فيكون الزخم الابتدائي للكرة المتحركة $\boldsymbol{p}_{Ci}$، وللكرة الثابتة صفرًا؛ لذا يكون زخم النظام قبل التصادم $\boldsymbol{p}_{Ci}$.

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

$$\boldsymbol{p}_{Ci} = \boldsymbol{p}_{Cf} + \boldsymbol{p}_{Df}$$

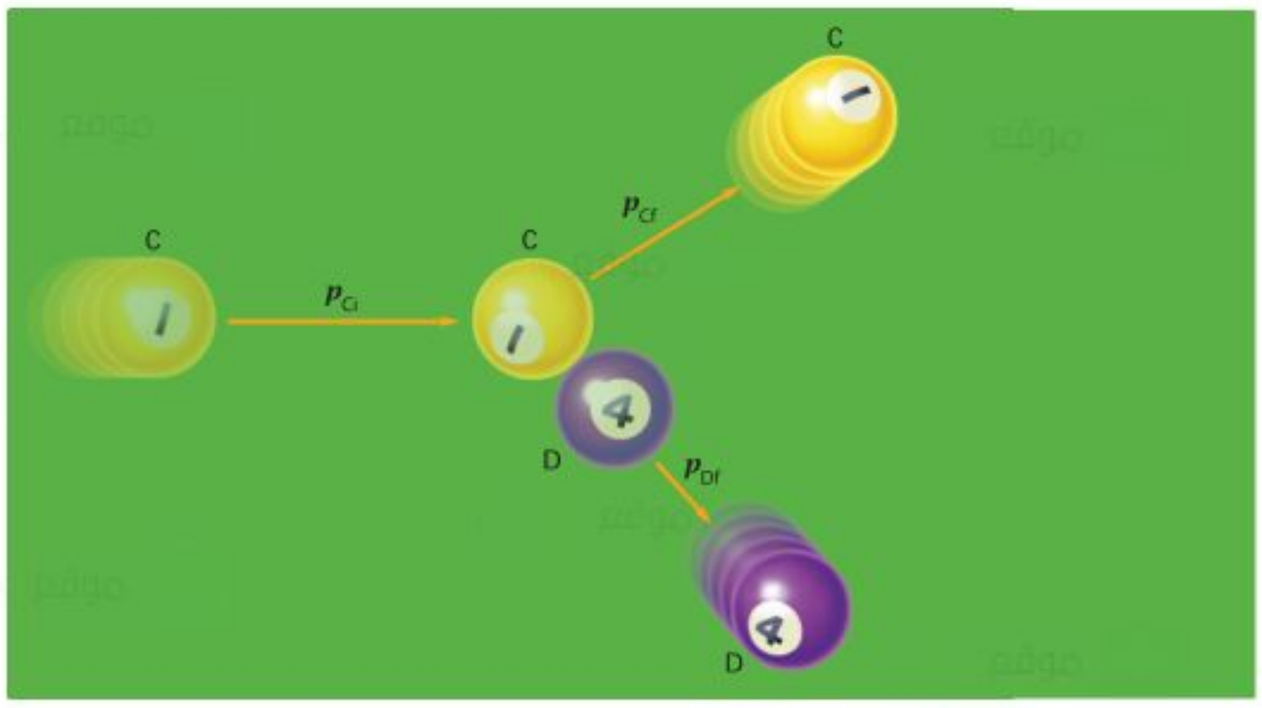
وتَساوي الزخم قبل التصادم وبعده يعني أنّ مجموع مركبات المتجهات قبل التصادم وبعده يجب أن يكون متساويًا. وإذا كان الإحداثي الأفقي (x) في اتجاه الزخم الابتدائي، تكون المركبة الرأسية (y) للزخم الابتدائي تساوي صفرًا. ويجب أن يساوي مجموع المركبات الرأسية (y) النهائية للزخم صفرًا أيضًا.

$$\boldsymbol{p}_{Cf,y} + \boldsymbol{p}_{Df,y} = 0$$

تكون المركبتان الرأسيتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه، وتبعا لذلك لابد أن تكون إشارتاهما مختلفتين. أمّا مجموع المركبات الأفقية للزخم فيساوي:

$$\boldsymbol{p}_{Ci} = \boldsymbol{p}_{Cf,x} + \boldsymbol{p}_{Df,x}$$

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

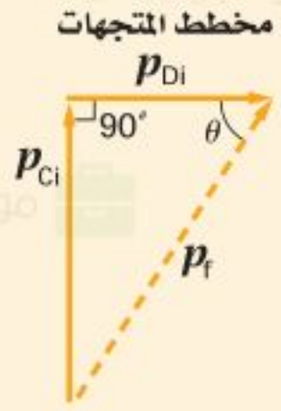


مثـــــال 4

السرعة تحركت السيارة C شمالاً بسرعة 27 m /s ، فاصطدمت بالسيارة D التي كانت تتحرك شرقًا بسرعة 11.0 m /s، فسارت السيارتان وهما متصلتان معًا بعد التصادم. فإذا كانت كتلة السيارة C (1325 kg) ، وكتلة السيارة D (2165 kg) ، فما مقدار سرعتهما واتجاههما 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

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

المجهول

$v_{f,x} = ?$
$v_{f,y} = ?$
$\theta = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

حدد الزخم الابتدائي للسيارتين، وزخم النظام.

عوّض مستخدمًا $m_C = 1325\ \text{kg}$ ، $v_{Ci,y} = 27.0\ \text{m/s}$

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

عوّض مستخدمًا $m_D = 2165\ \text{kg}$ ، $v_{Di,y} = 11.0\ \text{m/s}$

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

نستخدم قانون حفظ الزخم لإيجاد p_f

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

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

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

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

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

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

$$p_f = \sqrt{(p_{f,x})^2 + (p_{f,y})^2}$$
$$= \sqrt{(2.38 \times 10^4\ \text{kg.m/s})^2 + (3.58 \times 10^4\ \text{kg.m/s})^2}$$
$$= 4.30 \times 10^4\ \text{kg.m/s}$$

21. تحركت سيارة كتلتها 925 kg شمالاً بسرعة 20.1 m /s، فاصطدمت بسيارة كتلتها 1865 kg متحركة غربًا بسرعة 13.4 m /s، فالتحمتا معًا. ما مقدار سرعتهما واتجاههما بعد التصادم؟

قبل:

$$p_{i,y} = m_y v_{i,y}$$

$$= (925\ \text{kg})(20.1\ \text{m/s})$$

$$= 1.86\times10^{4}\ \text{kg.m/s}$$

$$p_{i,x} = m_x v_{i,x}$$

$$= (1865\ \text{kg})(-13.4\ \text{m/s})$$

$$= -2.50\times10^{4}\ \text{kg.m/s}$$

$$p_{f,y} = p_{i,y}$$

$$p_{f,x} = p_{i,x}$$

$$p_f = p_i$$

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

$$= \sqrt{(-2.5\times10^{4}\ \text{kg.m/s})^2 + (1.86\times10^{4}\ \text{kg.m/s})^2}$$

$$= 3.12\times10^{4}\ \text{kg.m/s}$$

$$v_f = \frac{p_f}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{3.12\times10^{4}\ \text{kg. m/s}}{(925\ \text{kg} + 1865\ \text{kg})} = 11.2\ \text{m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{f,y}}{p_{f,x}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.86\times10^{4}\ \text{kg.m/s}}{-2.50\times10^{4}\ \text{kg.m/s}}\right)$$

$$= 36.6^{\circ}\ \text{شمال الغرب}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2022 - 1444

22. اصطدمت سيارة كتلتها 1732 kg متحركة شرقا بسرعة 31.3 m /s ، بسيارة أخرى كتلتها 1383 kg متحركة جنوبًا بسرعة 11.2 m /s، فالتحمتا معًا. ما مقدار سرعتهما واتجاههما مباشرة بعد التصادم؟

قبل :

$$p_{i,x} = p_{1,x} + p_{2,x}$$

$$= m_1 v_{1i} + 0$$

$$p_{i,y} = p_{1,y} + p_{2,y}$$

$$= 0 + m_2 v_{2i}$$

$$_{f} = p_{i}$$

$$p = \sqrt{p_{i,x}{}^2 + p_{i,y}{}^2}$$

$$= \sqrt{(m_1 v_{1i})^2 + (m_2 v_{2i})^2}$$

$$v_f = \frac{p_f}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{\sqrt{(m_1 v_{1i})^2 + (m_2 v_{2i})^2}}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{\sqrt{((1732\ \text{kg})(31.3\ \text{m/s}))^{2+}((1383\ \text{kg})(-11.2\ \text{m/s}))^2}}{1782\ \text{kg} + 1383\ \text{kg}}$$

$$= 18.1\ \text{m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{i,y}}{p_{i,x}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{m_2 v_{2i}}{m_1 v_{1i}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{(1383\ \text{kg})(-11.2\ \text{m/s})}{(1732\ \text{kg})(31.3\ \text{m/s})}\right)$$

$= 15.9^\circ$ جنوب الشرق

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

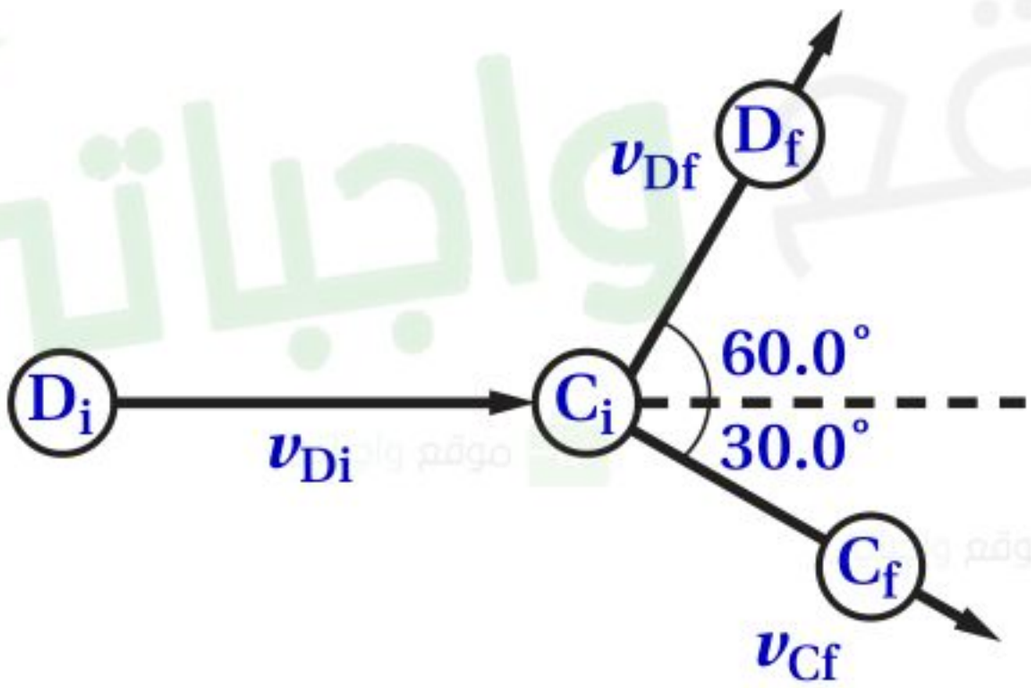
$$p_{Ci} + p_{Di} = p_{Cf} + p_{Df}$$

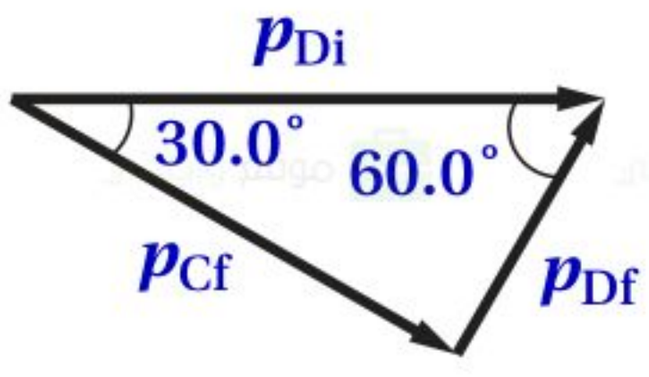
حيث

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

$$m_C = m_D = m = 0.17 \text{ kg}$$

مخطط المتجهات





يزوِّدنا مخطط المتجهات بمعادلتي الزخم النهائيتين للكرة التي تكون ساكنة (C) في البداية، والكرة التي تكون متحركة (D) في البداية.

$$p_{Cf} = p_{Di} \sin 60.0^\circ$$

$$p_{Df} = p_{Di} \cos 60.0^\circ$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

يمكننا استخدام معادلة الزخم للكرة الساكنة لإيجاد سرعتها المتجهة النهائية.

$$p_{Cf} = p_{Di} \sin 60.0°$$

$$mv_{Cf} = mv_{Di} \sin 60.0°$$

$$v_{Cf} = v_{Di} \sin 60.0°$$

$$= (4.0 \text{ m/s})(\sin 60.0°)$$

$$= 3.5 \text{ m/s}, \text{ نحو اليمين } 30\ 0°$$

.

ويمكننا استخدام معادلة الزخم للكرة المتحركة لإيجاد سرعتها المتجهة النهائية.

$$p_{Df} = p_{Di} \cos 60.0°$$

$$mv_{Df} = mv_{Di} \cos 60.0°$$

$$v_{Df} = v_{Di} \cos 60.0°$$

$$= (4.0 \text{ m/s})(\cos 60.0°)$$

$$= 2.0 \text{ m/s}, \text{ نحو اليسار } 60.0°$$

موقع واجباتي

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

قبل:

$$p_{i,x} = m_2 v_{2,i}$$

$$= (1345\ \text{kg})(15.7\ \text{m/s})$$

$$= 2.115 \times 10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$p_f = p_i$$

$$= (m_1 + m_2) v_f$$

$$= (1345\ \text{kg} + 1923\ \text{kg})(14.5\ \text{m/s})$$

$$= 4.74 \times 10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$p_{f,y} = p_f \sin\theta$$

$$= (4.74 \times 10^4\ \text{kg.m/s})(\sin 63.5°)$$

$$= 4.24 \times 10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$p_{f,y} = p_{i,y} = m_1 v_{1,i}$$

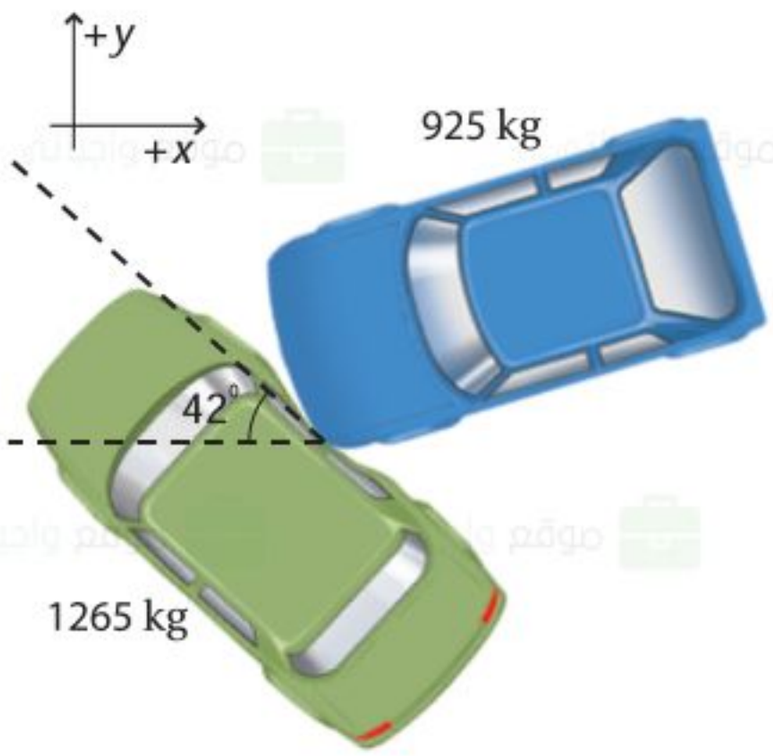
$$v_{1,i} = \frac{p_{f,y}}{m_1} = \frac{4.24 \times 10^4\ \text{kg.m/s}}{1923\ \text{kg}}$$

$$= 22.1\ \text{m/s}$$

نعم، إنها تتعدى حد السرعة

مسألة تحفيز

كان صديقك يقود سيارة كتلتها 1265 kg في اتجاه الشمال، فصدمته سيارة كتلتها 925 kg متجهة غربًا، فالتحمتا معًا، وانزلقتا 23.1 m في اتجاه يصنع زاوية 42° شمال الغرب. وكانت السرعة القصوى المسموح بها في تلك المنطقة 22 m /s. افترض أنّ الزخم كان محفوظًا خلال التصادم، وأنّ التسارع كان ثابتًا في أثناء الانزلاق، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الإطارات والأسفلت 0.65.



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

يوفر مخطط المتجهات معادلة الزخم لسيارة صديقك،

$$p_{Ci} = p_f \sin 42°$$

فتكون السرعة المتجهة الابتدائية لسيارة صديقك، عندئذ:

$$v_{Ci} = \frac{p_{Ci}}{m_C} = \frac{p_f \sin 42°}{m_C} \quad \frac{(m_C + m_D)\, v_f \sin 42°}{m_C}$$

يمكننا إيجاد v_f عن طريق إيجاد التسارع وزمن الانزلاق في أثناء التصادم، فالتسارع يساوي:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{\mu F_g}{m} = \frac{\mu(m_C + m_D)g}{m_C + m_D} = \mu g$$

ويمكن حساب الزمن بمعادلة المسافة.

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

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2d}{\mu g}}$$

موقع واجباتي

السرعة المتجهة النهائية (وهي سرعة السيارتين معًا بعد التصادم مباشرة) عندئذٍ تساوي:

$$v_f = at = \mu g \sqrt{\frac{2d}{\mu g}} = \sqrt{2d\mu g}$$

وباستخدام ذلك، يمكننا الآن إيجاد السرعة المتجهة الابتدائية لسيارة صديقك.

$$v_{Ci} = \frac{(m_C + m_D)\, v_f \sin 42^\circ}{m_C}$$

$$= \frac{(m_C + m_D)\, \sqrt{2d\mu g}\ (\sin 42^\circ)}{m_C}$$

$$= \frac{(1265\ \text{kg} + 925\ \text{kg}) \left(\sqrt{(2)\ (23.1\ \text{m})(0.65)(9.80\ \text{m/s}^2)} \right) (\sin 42^\circ)}{1265\ \text{kg}}$$

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445
موقع واجباتي

موقع واجباتي

مسألة تحفيز

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

بواسطة مخطط المتجهات، تكون معادلة الزخم للسيارة الأخرى على النحو الآتي:

$$p_{Di} = p_f \cos 42°$$

$$= (m_C + m_D) v_f \cos 42°$$

$$= (m_C + m_D) \sqrt{2d\mu g} \, (\cos 42°)$$

تكون معادلة السرعة المتجهة الابتدائية للسيارة الأخرى عندئذٍ تساوي:

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

$$= \frac{(m_C + m_D)\sqrt{2d\mu g} \, (\cos 42°)}{m_D}$$

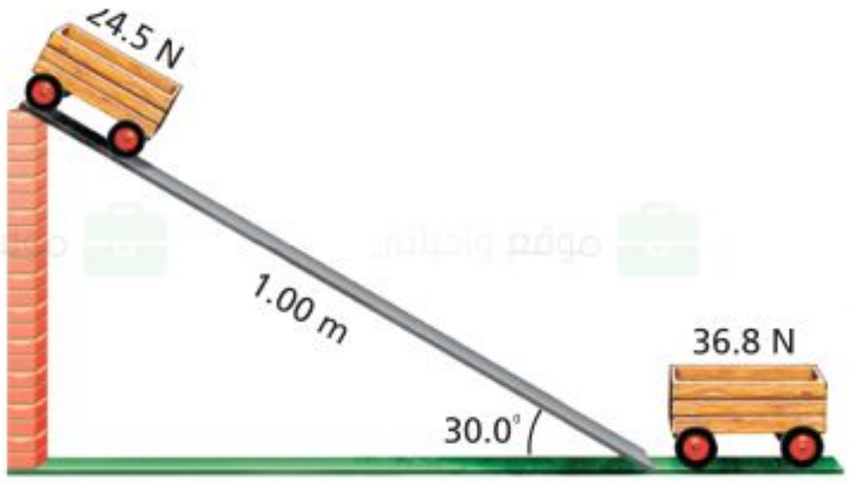
$$= \frac{(1265\ \text{kg} + 925\ \text{kg}) \left(\sqrt{(2)(23.1\ \text{m})(0.65)(9.80\ \text{m/s}^2)}\right) (\cos 42°)}{925\ \text{kg}}$$

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

لم يتجاوز الصديق حدّ السرعة 22 m/s، في حين تجاوزت السيارة الأخرى هذا الحد.

موقع واجباتي

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



الشكل 9 – 3

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

القوة الموازية لسطح المستوى المائل هي:

$$F_{\parallel} = F_g \sin\theta$$

ولما كانت:

$$a = \frac{F_{\parallel}}{m}, m = \frac{F_g}{g}$$

فإن:

$$a = \frac{F_g \sin\theta}{\frac{F_g}{g}} = g \sin\theta$$

ويرتبط كل من السرعة المتجهة للعربة وتسارعها بواسطة معادلة الحركة

$$v^2 = v_i^2 + 2a(d - d_i)$$

حيث

$$v_i = 0, d_i = 0$$

$$v^2 = 2ad$$

لذا فإن:

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

$$= \sqrt{(2)\ (g \sin\theta)\ (d)}$$

$$= \sqrt{(2)\ (9.80\ \text{m/s}^2)(\sin 30.0°)(1.00\ \text{m})}$$

$$= 3.13\ \text{m/s}$$

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

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

لذا، فإن:

$$v_f = \frac{m_C v_{Ci}}{m_C + m_D}$$

$$= \frac{\left(\frac{F_C}{g}\right) v_{Ci}}{\frac{F_C}{g} + \frac{F_D}{g}}$$

$$= \frac{F_C v_{Ci}}{F_C + F_D}$$

$$= \frac{(24.5\ \text{N})(3.13\ \text{m/s})}{24.5\ \text{N} + 36.8\ \text{N}}$$

$$= 1.25\ \text{m/s}$$

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 أنّ المضرب محمول بكتلة كبيرة وهي الذراع المتحركة المرتبطة مع الجسم المتصل بالأرض؛ لذا فإن المضرب والكرة لا يشكلان نظامًا معزولاً.

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 رأسيًّا 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، فاستقرَّا في الجو، ثم سقطا على الأرض. صف زخميهما الابتدائيين.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445
موقع واجباتي

29. **التفكير الناقد** إذا التقطت كرة وأنت واقف على لوح تزلج فإنّك 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 استخدمتَ في كلتا الحالتين.

في حالة لوح التزلج، تكوِّن 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 التغير في سرعتها لا يكاد يذكر (يمكن إهماله).

موقع واجباتي

موقع واجباتي

مختبر الفيزياء

التحليل

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

المقطع 2: $v_{1i} = 90\ \text{cm/s},$

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

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

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

المقطع 4: $v_{1i} = 100\ \text{cm/s},$

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

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: الزخم الابتدائي $= 4\times10^4\ \text{g.cm/s}$

الزخم النهائي $= 4\times10^4\ \text{g.cm/s}$

المقطع 3: الزخم الابتدائي $= 7\times10^4\ \text{g.cm/s}$

الزخم النهائي $= 7\times10^4\ \text{g.cm/s}$

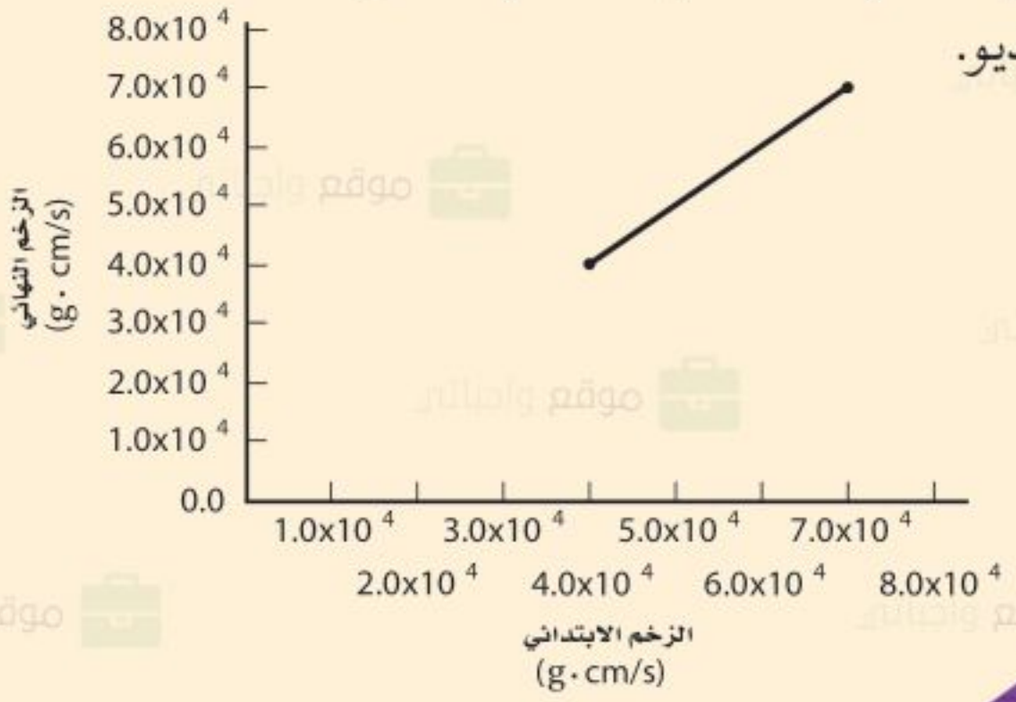
المقطع 4: الزخم الابتدائي $= 4\times10^4\ \text{g.cm/s}$

الزخم النهائي $= 4\times10^4\ \text{g.cm/s}$

المقطع 5: الزخم الابتدائي $= 7\times10^4\ \text{g.cm/s}$

الزخم النهائي $= 7\times10^4\ \text{g.cm/s}$

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



موقع واجباتي

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 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

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

الاستنتاج والتطبيق

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 نظريًّا؟

يجب أن يكون ميل الخط المستقيم في الرسم البياني الذي يمثل العلاقة بين الزخم النهائي والزخم الابتدائي مساويًا 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؟ فسّر 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.

التوسع في البحث

1. صف كيف تبدو بيانات السرعة المتجهة والزخم إذا لم تلتحم العربات معًا، 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 اعتمادًا على حجم العربتين.

2. صمّم تجربة لتختبر تأثير الاحتكاك في أنظمة العربات في أثناء التصادم. توقع كيف يختلف ميل الخط في الرسم البياني السابق عمّا في التجربة، ثم نفذ تجربتك.

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.

الفصل 3
التقويم

لاحظ يوهانس كبلر **قبل 400 سنة تقريبًا** أنّ ذيول المذنبات تبدو وكأنها واقعة تحت تأثـير ريح خفيفة مصدرها هبّات قادمة من الشـمس، فاعتقد أنّ السفن ستكون قادرة على التنقل في الفضاء عـن طريق أشرعة مصممة لالتقاط هذه الهبّات، ومن هنا وُلدت فكرة الأشرعة الشمسية.

كيف يعمل الشراع الشمسي؟ الشراع الشمسي مركبة فضائية دون محرك؛ حيث يعمل الـشراع وكأنه مرآة عملاقة حرة الحركة من النسـيج. وتصنع الأشرعة الشمسـية عادة من غشاء من البولستر والألومنيوم سمكه 5 مايكرون، أو غشاء من البولي أميد مع طبقة من الألومنيوم سـمكها 100 nm يتم ترسيبها بالتساوي على أحد الوجهين لتشكّل سطحًا عاكسًا.

توفر أشـعة الشـمس المنعكسـة قوة للصواريخ بدلًا من الوقود، حيث تتكون أشعة الشـمس من جسـيمات تسمى فوتونات، تنقـل الفوتونات زخمها إلى الشراع عندما ترتد عنه بعد اصطدامها به. لكن اصطدام الفوتونات يولد قوة صغيرة مقارنة بالقوة التي يولدها وقود الصواريخ، وكلما زاد اتسـاع 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 تقريبًا طوال وقت الرحلة الفضائية، مما يسـمح للمركبة الفضائية بالوصول إلى سرعـات عالية بعد فترة من بدء الارتحـال. وبالمقارنة بالصواريـخ التي تحمـل كميات كبيرة مـن الوقود لدفع كتـل كبيرة، لا تحتاج الأشرعة الشمسـية إلا إلى فوتونات من الشـمس. ولذلك قد تكون الأشرعة الشمسية طريقة

التوسـع

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

1. **تفكير ناقد** يتوقع لنموذج شراع شـمسي معين أن يسـتغرق وقتًا أطول للوصول إلى المريخ من مركبة فضائية يدفعها صـاروخ يعمل بالوقـود، ولكنه سيسـتغرق وقتًا أقل للوصول إلى نبتون من المركبة الفضائية التي يدفعها صاروخ. فسّر ذلك.

يـزداد زخـم الـشراع الشـمسي بمعدل قليل وثابت، لذا يستغرق وقتًـا أطول قبـل أن تصبح سرعة الشراع الشـمسي أكـبر من سرعة السـفن ذات الدفـع الصاروخـي الكيميائي.

موقع واجباتي

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

3–1 الدفع والزخم Impulse and Momentum

المفردات

- الدفع
- الزخم
- نظرية الدفع – الزخم

المفاهيم الرئيسة

- عندما تحل مسألة زخم فابدأ باختبار النظام قبل الحدث وبعده.
- زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة وهو كمية متجهة.

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

- الدفع على جسم ما يساوي حاصل ضرب متوسط القوة المحصلة المؤثرة فيه في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها تلك القوة.

$$\text{الدفع} = \boldsymbol{F}\Delta t$$

- الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه.

$$\boldsymbol{F}\Delta t = \boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$$

3–2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

المفردات

- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

المفاهيم الرئيسة

- 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.

$$\boldsymbol{p}_f = \boldsymbol{p}_i$$

- يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لتفسير دفع الصواريخ.
- يستخدم تحليل المتجهات لحلّ مسائل حفظ الزخم في بعدين.

موقع واجباتي

الفصل 3
التقويم

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. (1–3)

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

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

32. رمى لاعبٌ كرةً فتلقفها لاعب آخر. مفترضًا أن مقدار سرعة الكـــرة لم يتغير في أثناء تحليقها في الجوِّ، أجب عن الأسئلة الآتية: (1–3)

a. أي اللاعبين أثَّر في الكرة بدفع أكبر؟

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

b. أي اللاعبين أثَّر 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 صفرًا.

موقع واجباتي

الفصل 3 التقويم

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

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

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

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

36. في الفضاء الخارجي، تلجأ المركبة الفضائية إلى تشغيل صواريخها لتزيد مـــن 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 محفوظًا فإن التغير في زخم الغازات في اتجاه ما يجب أن يوازن بتغير مساوٍ 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 معًا. 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 محفوظًا، مع أن الارتداد عبارة عن تصادم؟

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

b. أي نظام يكون فيه زخم الكرة محفوظًا؟

يكون الزخم الكلي محفوظًا إذا كان النظام مكونًا من الكرة والأرض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

الفصل 3 التقويم

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 تؤثّر قوة الاحتكاك الخارجية للطريق في الإطارات في الاتجاه المعاكس لحركة السيارة؛ لذا تتوقّف السيارة. ولكن إذا لم يكن هناك قوة احتكاك – عندما يكون الطريق جليدًا مثلاً – فعندئذٍ 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 مسببةً تغيرًا في زخمه بمقدار $F\Delta t$.

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

نعم، إذا أثّرت قوة صغيرة فترة زمنية طويلة فإنها تنتج دفعًا أكبر.

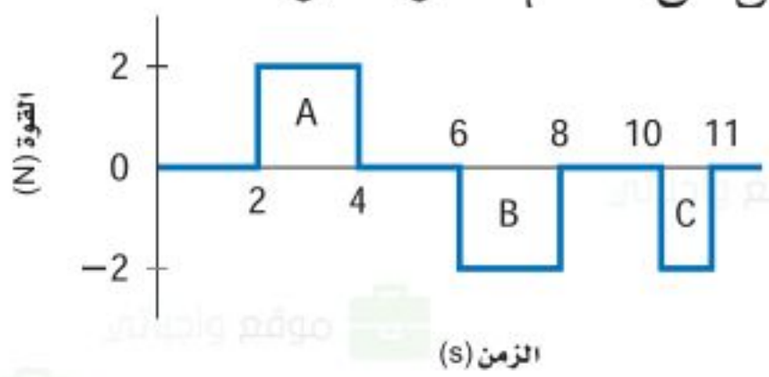
42. إذا كنت جالسًا في ملعب بيسبول واندفعت الكرة نحوك خطأً، فأيهما أكثر أمانًا لإمساك الكرة بيديك: تحريك يديك نحو الكرة ثم تثبيتهما عند الإمساك بها، أم تحريك يديك في اتجاه حركة الكرة نفسه؟ فسّر ذلك.

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

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 أنّ 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 **10–3**، فصف حركة الجسم بعد كلٍّ من الدفع A، و B، و C.



الشكل 10–3

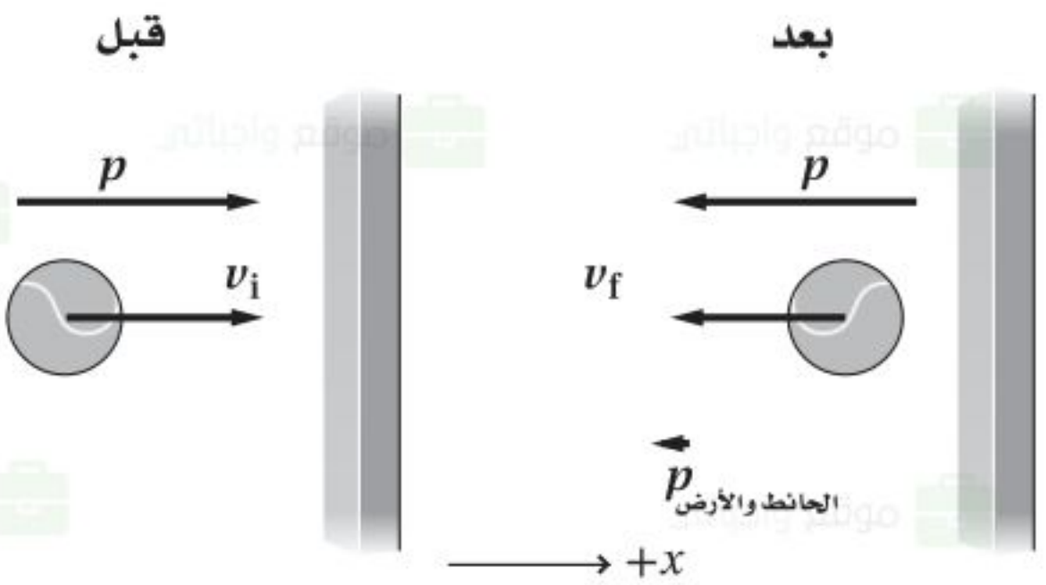
بعد زمن الدفع A يتحرك الجسم بسرعة متجهة موجبة وثابتة. وبعد زمن الدفع B يصبح الجسم ساكنًا. وبعد زمن الدفع C يتحرك الجسم بسرعة متجهة سالبة وثابتة.

تقويم الفصل 3

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، يولّد المسدس دفعًا يؤدي إلى تحريك الرائد في اتجاه السفينة.

46. **كرة تنس** عندما ترتد كرة تنس عن حائط ينعكس زخمها. فسّر هذه العملية باستخدام قانون حفظ الزخم، محدِّدًا النظام ومضمِّنًا تفسيرك رسمًا تخطيطيًّا.



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 سفينتك 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.

تقويم الفصل 3

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

عندما تحمل البندقية بشكل حر فإن 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 مسببًا سرعة أقل في الاتجاه المعاكس لحركة الرصاصة.

50. **طلقات الرصاص** أُطلقت 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 محفوظًا؛ لذا فإن زخم القالب والرصاصة بعد التصادم يكون مساويًا 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.

51. **جولف** إذا ضُربت كرة جولف كتلتها 0.058 kg، بقوة مقدارها 272 N بمضرب، فأصبحت سرعتها المتجهة 62.0 m /s، فما زمن تلامس الكرة بالمضرب؟

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

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

a. أوجد التغير في زخم الكرة.

افترض 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 $4.6 \times 10^{-4}\ s$، فما متوسط القوة في أثناء التلامس؟

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

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

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

$$= \frac{(0.145\ kg)(-58\ m/s - (+42\ m/s))}{4.6\times10^{-4}\ s}$$

$$= -3.2\times10^{4}\ N$$

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؟

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

$$= (186\ N)(0.40\ s)$$

$$= 74\ N.s$$

$$= 74\ kg.m/s$$

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

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

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

$$= 1.0\times10^{1}\ m/s$$

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؟

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

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

$$= 2.0\times10^{4}\ kg.m/s$$

b. ما مقدار القوة المؤثرة في الشاحنة؟

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

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

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

$$= 1.3\times10^{3}\ N$$

تقويم الفصل 3

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؟

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

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

$$= \frac{(0.0060\ \text{kg})(0.0\ \text{m/s} - 350\ \text{m/s})}{1.8\times10^{-3}\ \text{s}}$$

$$= -1.2\times10^{3}\ \text{N}$$

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؟

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

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

$$= -6.0\times10^{1}\ \text{N}$$

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؟

$$p = mv$$

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

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

$$= 3.5\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

موقع واجباتي

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 m /s قبل أن يصطدم بجسم آخر، فأوجد الدفع المؤثر فيه إذا تحرك بعد التصادم بالسرعة المتجهة

a. +8.0 m /s

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

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

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

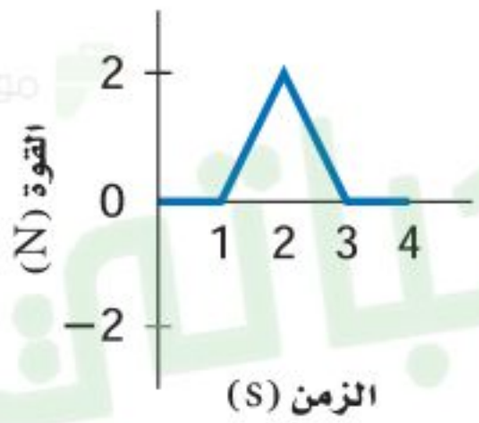
b. −8.0 m /s

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

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

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

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 11–3**. ما مقدار سرعة الكرة عند 4.0 s؟



■ الشكل 11–3

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

مساحة الرسم $= m\Delta v$

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

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

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

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

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؟

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

وعليه فإن:

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

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

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

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؟

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

وعليه فإن:

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

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

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

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**.

الشكل 12–3

a. فما الدفع على القرص؟

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

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

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

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

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

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

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

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

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

a. فما الدفع الذي أثر به الجزيء في الجدار؟

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

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

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

الدفع الذي أثّر به الجدار في الجزيء يساوي $-5.20 \times 10^{-23}\ kg.m/s$

الدفع الذي أثّر به الجزيء في الجدار يساوي $+5.20 \times 10^{-23}\ kg.m/s$

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

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

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

إذا أخذ في الاعتبار التصادمات جميعها فإن القوة تكون:

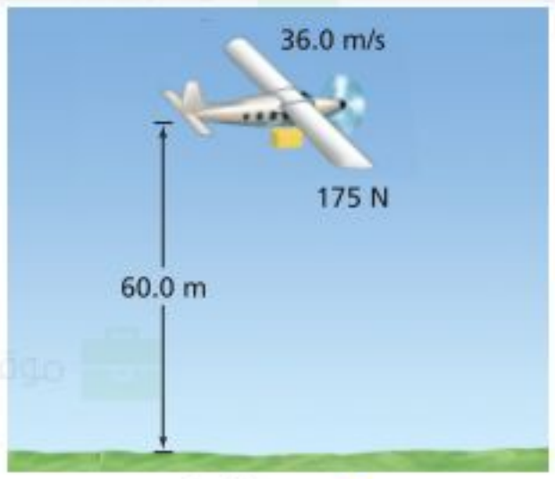
$$F_{\text{كلية}} = (1.5 \times 10^{23})\ \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= (1.5 \times 10^{23})$$

$$\frac{(4.7 \times 10^{-26}\ kg)(-550\ m/s - 550\ m/s)}{1.0\ s}$$

$$= 7.8\ N$$

تقويم الفصل 3



الشكل 13–3

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

استخدم أولا حركة المقذوف لإيجاد السرعة المتجهة لرزمة العلف.

$$p = mv$$

ولحساب v خذ في الاعتبار مركّبتيها الأفقية والرأسية.

$$v_x = 36.0\ \mathrm{m/s}$$

$$v_y^2 = v_{iy}^2 + 2dg = 2dg$$

لذا فإن:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_x^2 + 2dg}$$

ويكون الزخم عندئذٍ:

$$p = \frac{F_g v}{g} = \frac{F_g \sqrt{v_x^2 + 2dg}}{g}$$

$$= \frac{(175\ \text{N})\sqrt{(36.0\ \text{m/s})^2 + (2)(60.0\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}}{9.80\ \text{m/s}^2}$$

$$= 888\ \text{kg. m/s}$$

وتكون الزاوية بالنسبة إلى الأفقي:

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x}$$

$$= -\frac{\sqrt{2dg}}{v_x}$$

$$= -\frac{\sqrt{(2)(60.0\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}}{36.0\ \text{m/s}}$$

$$= -43.6°$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

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؟

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

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

$$= -2.00\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

b. ما متوسط القوة المؤثرة في الطفل؟

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

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

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

$$= -4.0\times10^{3}\ \text{N}$$

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

$$F_g = mg$$

$$m = \frac{F_g}{g} = \frac{4.0\times10^{3}\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2}$$

$$= 4.1\times10^{2}\ \text{kg}$$

d. هل يمكنك رفع مثل هذا الوزن بذراعك؟

لا

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

لن تكون قادرًا على حماية طفل في حضنك في أثناء وقوع التصادم.

موقع واجباتي

67. **الصواريخ** تُستخدم 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؟

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

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

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

$$= 1.3\times10^{3}\ \text{s}$$

$$= 22\ \text{min}$$ أو

3–2 حفظ الزخم

68. **كرة القدم** ركض لاعبُ كرةِ 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، ومثِّلهما برسم تخطيطي.

قبل:

$$m_{\text{اللاعب الأول}} = 95\ \text{kg}$$

$$v_{\text{اللاعب الأول}} = 8.2\ \text{m/s}$$

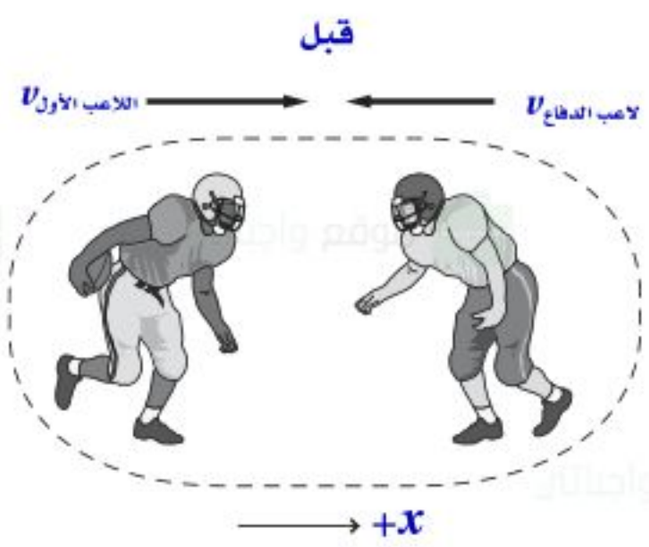
$$m_{\text{لاعب الدفاع}} = 128\ \text{kg}$$

$$v_{\text{لاعب الدفاع}} = ?$$

بعد:

$$m = 223\ \text{kg}$$

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



تقويم الفصل 3

b. كم كان زخم اللاعب الأول قبل التصادم؟

$$p_{\text{اللاعب الأول}} = m_{\text{اللاعب الأول}} v_{\text{اللاعب الأول}}$$

$$= (95\ \text{kg})(8.2\ \text{m/s})$$

$$= 7.8\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

c. ما التغير في زخم اللاعب الأول؟

$$\Delta p_{\text{اللاعب الأول}} = p_f - p_{\text{اللاعب الأول}}$$

$$= 0 - p_{\text{اللاعب الأول}} = -7.8\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

d. ما التغير في زخم لاعب الدفاع؟

$$+7.8\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

e. كم كان زخم لاعب الدفاع قبل التصادم؟

$$-7.8\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

f. كم كانت سرعة لاعب الدفاع قبل التصادم؟

$$m_{\text{لاعب الدفاع}} v_{\text{لاعب الدفاع}} = -7.8\times10^{2}\ \text{kg. m/s}$$

$$v_{\text{لاعب الدفاع}} = \frac{-7.8\times10^{2}\ \text{kg. m/s}}{128\ \text{kg}}$$

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

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، وعرّف النظام، ثم حدّد الوضعين قبل التصادم وبعده، وأنشئ نظام إحداثيات.

قبل:

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

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

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

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

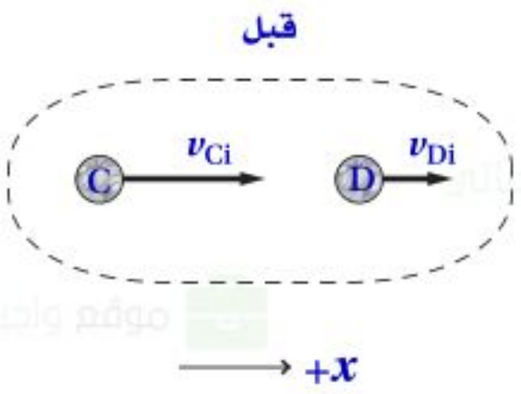
بعد:

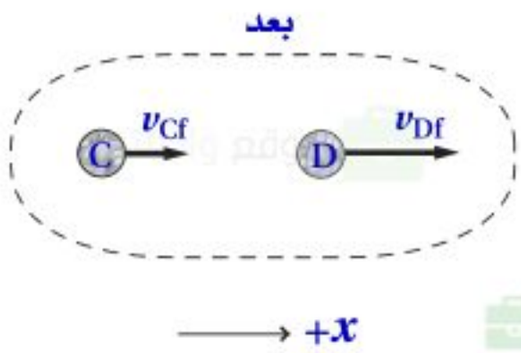
$$m_C = 5.0\ \text{g}$$

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

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

$$v_{Df} = ?$$





b. احسب زخمي الكرتين قبل التصادم.

$$m_C v_{Ci} = (5.0\times10^{-3}\,\text{kg})(0.200\,\text{m/s})$$

$$= 1.0\times10^{-3}\,\text{kg.m/s}$$

$$m_D v_{Di} = (1.00\times10^{-2}\,\text{kg})(0.100\,\text{m/s})$$

$$= 1.0\times10^{-3}\,\text{kg.m/s}$$

c. احسب زخم الكرة C بعد التصادم.

$$m_C v_{Cf} = (5.0\times10^{-3}\,\text{kg})(0.080\,\text{m/s})$$

$$= 4.0\times10^{-4}\,\text{kg.m/s}$$

d. احسب زخم الكرة D بعد التصادم.

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

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

$$= 1.00\times10^{-3}\,\text{kg.m/s} + 1.00\times10^{-3}\,\text{kg.m/s} - 4.0\times10^{-4}\,\text{kg.m/s}$$

$$= 1.6\times10^{-3}\,\text{kg.m/s}$$

e. ما مقدار سرعة الكرة D بعد التصادم؟

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

لذا فإن:

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

$$= \frac{1.6\times10^{-3}\ \text{kg. m/s}}{1.00\times10^{-2}\ \text{kg}}$$

$$= 1.6\times10^{-1}\ \text{m/s} = 0.16\ \text{m/s}$$

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

موقع واجباتي

70. أُطلقت 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؟

أفترض أن C ترمز إلى القذيفة وأن D ترمز إلى منصة الإطلاق.

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

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

لذا فإن:

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

على افتراض أن القذيفة C أطلقت في اتجاه حركة منصة الإطلاق D.

$$v_{Df} = \frac{(0.0500\ \text{kg})(2.00\ \text{m/s}) + (4.65\ \text{kg})(2.00\ \text{m/s}) - (0.0500\ \text{kg})(647\ \text{m/s})}{4.65\ \text{kg}}$$

$$= -4.94\ \text{m/s},$$

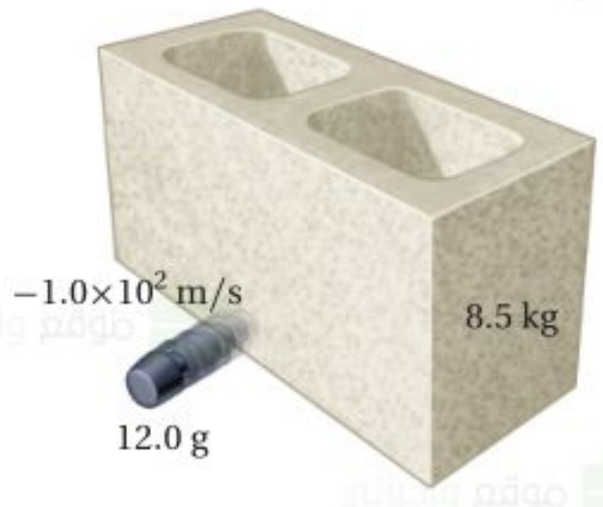
أو

$= 4.94$ m/s إلى الخلف

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

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 14–3**. ما السرعة التي ستتحرك بها الطوبة؟



الشكل 14–3

افترض أن C ترمز إلى الرصاصة المطاطية وأن D ترمز إلى الطوبة الأسمنتية.

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

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

لما كانت الحالة الابتدائية للطوبة هي السكون فإن:

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

$$= \frac{(0.0120\ \text{kg})(150\ \text{m/s} - (-1.0\times10^2\ \text{m/s}))}{8.5\ \text{kg}}$$

$$= 0.35\ \text{m/s}$$

موقع واجباتي

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

$$m_1 v_i = -m_2 v_f$$

$$v_f = \frac{m_1 v_i}{-m_2}$$

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

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

موقع واجباتي

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؟

$$m_{\text{أحمد}} v_{\text{i،أحمد}} + m_{\text{لوح التزلج}} v_{\text{i،لوح التزلج}} = m_{\text{أحمد}} v_{\text{f،أحمد}} + m_{\text{لوح التزلج}} v_{\text{f، لوح التزلج}}$$

ولما كانت:

$$v_{\text{f،لوح التزلج}} = 0 \, , \, v_{\text{i،أحمد}} = v_{\text{i، لوح التزلج}} = v_{\text{i}}$$

فإن:

$$v_{\text{f،أحمد}} = \frac{(m_{\text{أحمد}} + m_{\text{لوح التزلج}}) \, v_{\text{i}}}{m_{\text{أحمد}}}$$

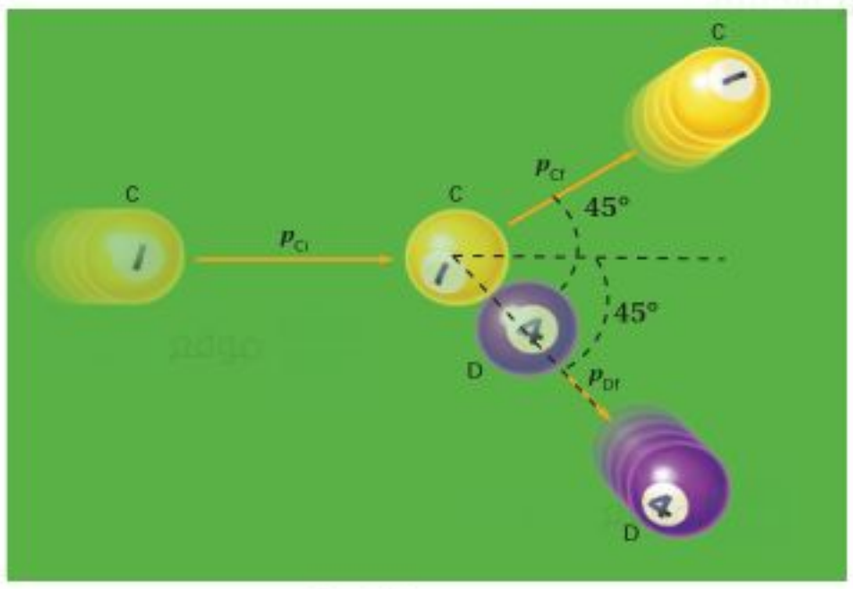
$$= \frac{(42.00 \text{ kg} + 2.00 \text{ kg})(1.20 \text{ m/s})}{42.00 \text{ kg}}$$

$= 1.26 \text{ m/s}$ في الاتجاه نفسه الذي كان يتحرك فيه

موقع واجباتي

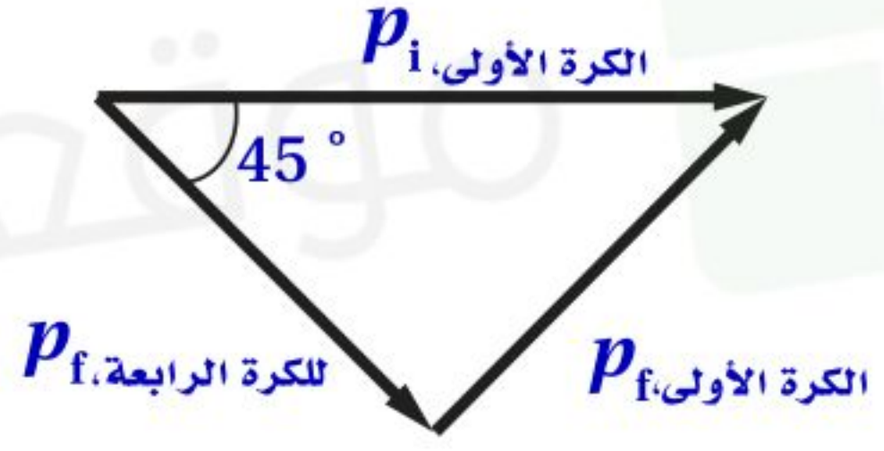
تقويم الفصل 3

74. البلياردو تدحرجت كـــرة بلياردو كتلتها 0.16 kg بسرعة 4.0 m/s، فاصطدمـــت 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 15–3** – فما السرعة المتجهة لكل من الكرتين بعد التصادم؟



■ **الشكل 15–3**

يمكننا الحصول على معادلات الزخم من مخطط المتجهات.



$$p_{f,\text{الكرة الأولى}} = p_{i,\text{الكرة الأولى}} \sin 45°$$

$$m_{\text{الكرة الأولى}} v_{f,\text{الكرة الأولى}} = m_{\text{الكرة الأولى}} v_{i,\text{الكرة الأولى}} \sin 45°$$

$$v_{f,\text{الكرة الأولى}} = v_{i,\text{الكرة الأولى}} \sin 45°$$

$$= (4.0\ \text{m/s})(\sin 45)$$

$$= 2.8\ \text{m/s}$$

بالنسبة إلى الكرة الرابعة:

$$p_{\text{f، الكرة الرابعة}} = p_{\text{i، الكرة الأولى}} \cos 45^\circ$$

$$m_{\text{الكرة الرابعة}} v_{\text{f، الكرة الرابعة}} = m_{\text{الكرة الأولى}} v_{\text{i، الكرة الأولى}} (\cos 45^\circ)$$

ولما كانت

$$m_{\text{الكرة الرابعة}} = m_{\text{الكرة الأولى}}$$

فإن

$$v_{\text{f، الكرة الرابعة}} = v_{\text{i، الكرة الأولى}} \cos 45^\circ$$

$$= (4.0\ \text{m/s})(\cos 45^\circ)$$

$$= 2.8\ \text{m/s}$$

موقع واجباتي

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.

$$p_{\text{i، الشاحنة}} + p_{\text{i، السيارة}} = p_{\text{f، الشاحنة}} + p_{\text{f، السيارة}}$$

$$m_{\text{الشاحنة}} v_{\text{i، الشاحنة}} = (m_{\text{الشاحنة}} + m_{\text{السيارة}}) v_{\text{f}}$$

لذا فإن:

$$v_{\text{i، الشاحنة}} = \frac{(m_{\text{الشاحنة}} + m_{\text{السيارة}}) v_{\text{f}}}{m_{\text{الشاحنة}}}$$

$$= \frac{(2575\ \text{kg} + 825\ \text{kg})\ (8.5\ \text{m/s})}{2575\ \text{kg}}$$

$$= 11\ \text{m/s}$$

موقع واجباتي

76. التزلج 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، وأنشيء نظام إحداثيات.

افترض أن D يرمز إلى المتزلج الأول وأن K يرمز إلى المتزلج الثاني.

قبل :

$$m_K = 60.0\ \text{kg}$$

$$m_D = 90.0\ \text{kg}$$

$$v_i = 0.0\ \text{m/s}$$

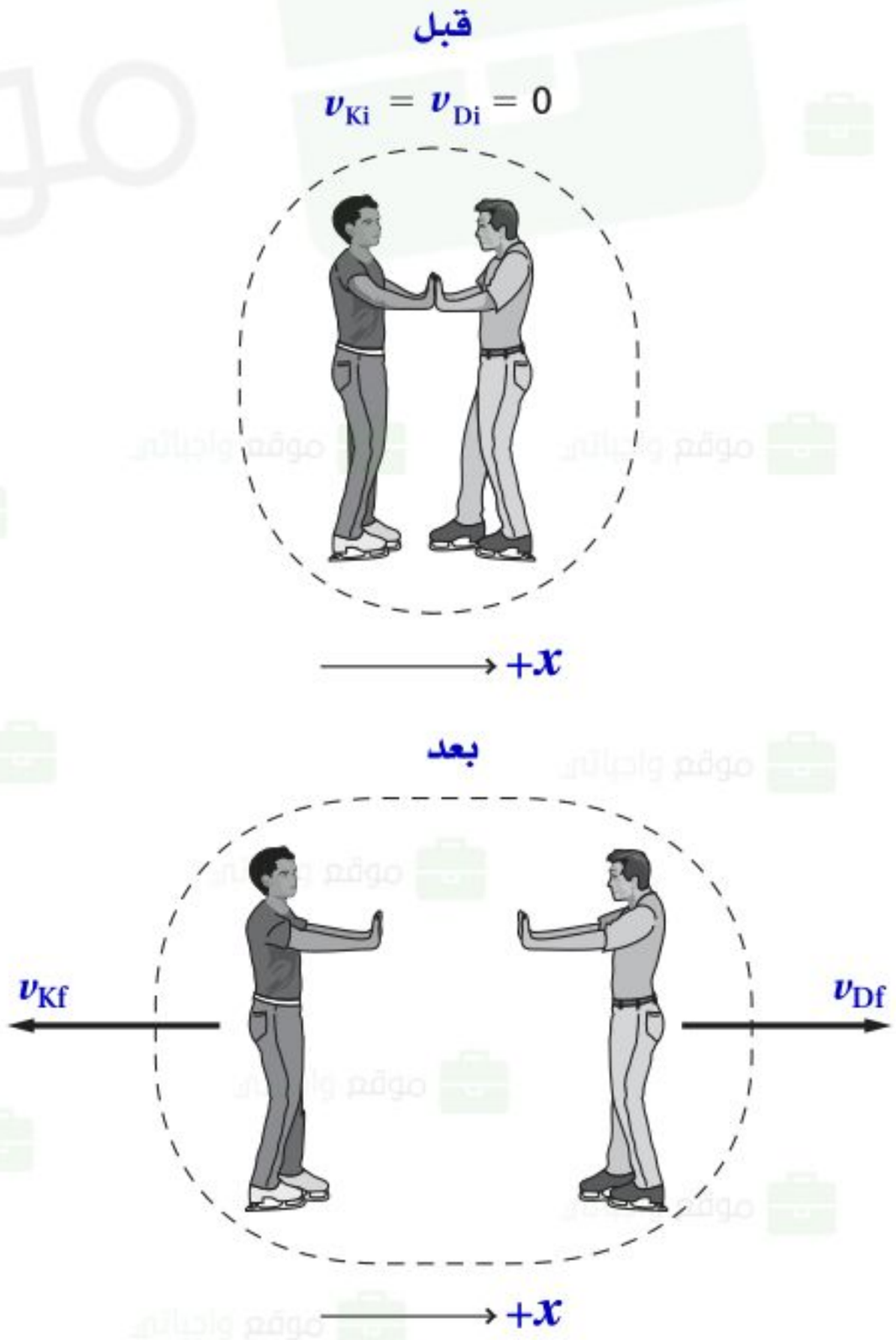
بعد :

$$m_K = 60.0\ \text{kg}$$

$$m_D = 90.0\ \text{kg}$$

$$v_{Kf} = ?$$

$$v_{Df} = ?$$



موقع واجباتي

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 السرعتين المتجهتين في اتجاهين معاكسين.

c. أي المتزلجين سرعته أكبر؟

للمتزلج ذي الكتلة الأقل سرعة أكبر.

d. أي المتزلجين دفع بقوة أكبر؟

إن القوتين متساويتان مقدارًا ومتعاكستان اتجاهًا.

موقع واجباتي

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؟

بافتراض أن C ترمز للكتلة 0.200 kg، وD للكتلة 0.100 kg

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

لذا فإن

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

$$= \frac{(0.200\ \text{kg})(0.30\ \text{m/s}) + (0.100\ \text{kg})(0.10\ \text{m/s}) - (0.100\ \text{kg})(0.26\ \text{m/s})}{0.200\ \text{kg}}$$

= 0.22 m/s في الاتجاه الأصلي نفسه

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

مراجعة عامة

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

التغير في زخم الجسم يساوي:

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

$$= (6.00\ \text{N})(10.0\ \text{s})$$

$$= 60.0\ \text{N.s} = 60.0\ \text{kg.m/s}$$

التغير في سرعة الجسم المتجهة يحسب بواسطة الدفع

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

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

$$= \frac{(6.00\ \text{N})(10.0\ \text{s})}{3.00\ \text{kg}}$$

$$= 20.0\ \text{m/s}$$

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

a. ما التغير الناتج في زخم السيارة؟

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

$$= (625\ \text{kg})(44.0\ \text{m/s} - 10.0\ \text{m/s})$$

$$= 2.12\times10^4\ \text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار القوة التي أثرت في السيارة؟

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

لذا فإن:

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

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

$$= \frac{(625\ \text{kg})(44.0\ \text{m/s} - 10.0\ \text{m/s})}{68.0\ \text{s}}$$

$$= 313\ \text{N}$$

80. **سيارة سباق** تتسارع سيارة سباق كتلتها 845 kg من 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.

موقع واجباتي

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 معًا. أوجد سرعتهما المتجهة.

$$m_{\text{قرص الهوكي}} v_{i,\text{قرص الهوكي}} = (m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{السترة}}) v_f$$

$$v_f = \frac{m_{\text{قرص الهوكي}} v_{i,\text{قرص الهوكي}}}{m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{السترة}}}$$

$$= \frac{(0.115\ \text{kg})(35.0\ \text{m/s})}{(0.115\ \text{kg} + 0.365\ \text{kg})}$$

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

82. تركب فتاة كتلتها 50.0 kg عربة ترفيه كتلتها 10.0 kg، وتتحرك شرقًا 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:

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

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

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

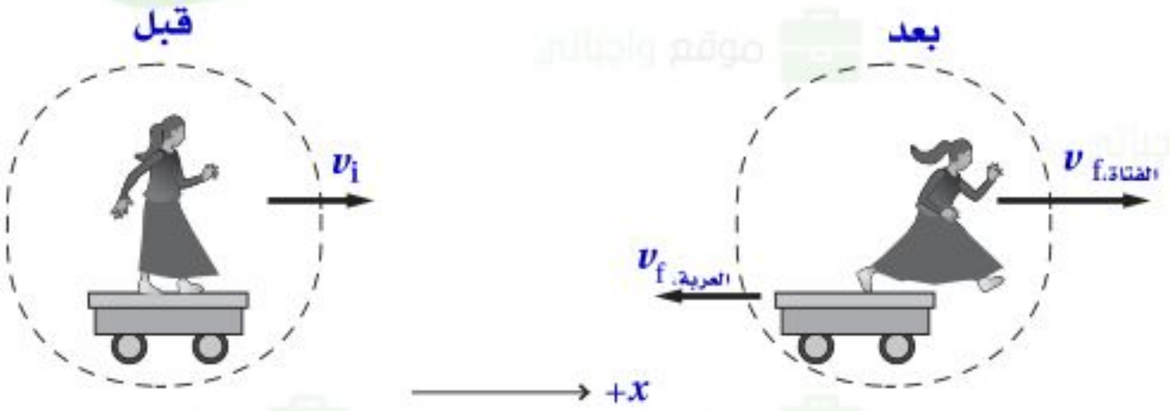
بعد:

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

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

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

$$v_{f,\text{العربة}} = ?$$



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

$$(m_{\text{الفتاة}} + m_{\text{العربة}})v_{\text{i}} = m_{\text{الفتاة}}v_{\text{f،الفتاة}} + m_{\text{العربة}}v_{\text{f،العربة}}$$

لذا فإن

$$v_{\text{f،العربة}} = \frac{(m_{\text{الفتاة}} + m_{\text{العربة}})v_{\text{i}} - m_{\text{الفتاة}}v_{\text{f،الفتاة}}}{m_{\text{العربة}}}$$

$$= \frac{(50.0\ \text{kg} + 10.0\ \text{kg})\ (5.0\ \text{m/s}) - (50.0\ \text{kg})(7.0\ \text{m/s})}{10.0\ \text{kg}}$$

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

أو غربًا 5.0 m/s

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

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

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

$$= 1.5\times10^2\ \text{kg. m/s}$$ **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

$$F\Delta t = -mv_f = -p = -1.5\times10^2\ \text{kg.m/s}$$ **أعلى**

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

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

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

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

$$= 3.0\times10^3\ \text{N}$$

d. قارن بين قوة إيقاف الشاب ووزنه.

$$F_g = mg = (60.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2) = 5.98\times10^2\ \text{N}$$

قوة إيقاف الشاب تساوي 5 أضعاف وزنه تقريبًا.

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 اتجاهه، حيث كان أحدهما يتحرك بسرعة 2.0 m /s، والآخر بسرعة 4.0 m /s، فالتحموا جميعًا، وأصبحوا كأنهم كتلة واحدة.

a. ارسم الحدث موضحًا الوضع قبل الاصطدام وبعده.

قبل:

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

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

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

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

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

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

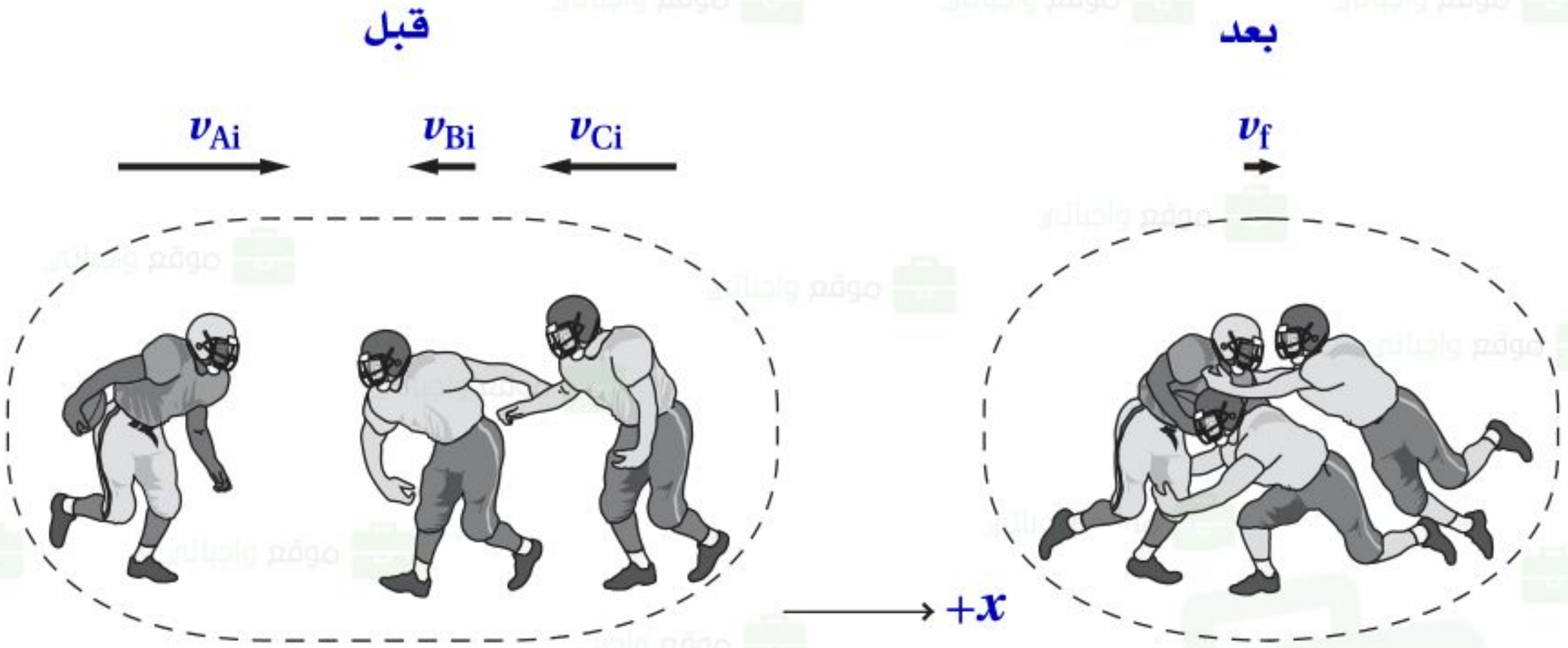
بعد:

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

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

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

$$v_f = ?$$



b. ما السرعة المتجهة للاعبي 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 فإنّ الدفع أيضًا 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 الحاويات البلاستيكية المرنة المملوءة بالرمل.

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

هناك طريقتان لكي تعمل الوسائد الهوائية على تقليل الإصابات. أولا تزيد الوسائد الهوائية من الفترة الزمنية التي يؤثر خلالها الدفع، لذا فهي تقلل القوة. ثانيًا أن الوسادة الهوائية توزّع 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 أنّ هذه الوسائد يجب أن تنتفخ بسرعة كبيرة. يمكن لسطح الوسادة الهوائية أن يصل إلى الراكب بسرعة قد تصل إلى 322 km/h، وتحدث الإصابات عندما تصطدم الوسادة الهوائية المتحركة بالراكب. وما زالت هذه الأنظمة تتطور حتى ينضبط معدل امتلاء الوسادة الهوائية بالغازات لتطابق حجم الراكب.

موقع واجباتي

مراجعة تراكمية

87. لُفّ حبلٌ حول طبل قطره 0.600 m. وسُحب بآلة تؤثر فيه بقوة ثابتة مقدارها 40.0 N مدة 2.00 s. وفي هذه الفترة تم فك 5.00 m من الحبل. أوجد س، 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:

$$\omega = \alpha t$$

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

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

$$= \frac{(2)(500\ \text{m})}{\left(\frac{0.600\ \text{m}}{2}\right)(2.00\ \text{s})}$$

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

موقع واجباتي

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 زلاّجة ثابتة كتلتها 10.0 kg على الجليد. وعندما وصل المتزلج إليها اصطدم بها، ثم واصل المتزلج انزلاقه مع الزلاّجة في الاتجاه الأصلي نفسه لحركته. ما مقدار سرعة المتزلج والزلّاجة 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؟

$$F\Delta t = m\Delta v = (12.0\ \text{kg})(20.0\ \text{m/s} - 0.00\ \text{m/s})$$

$$= 2.4\times10^2\ \text{kg.m/s}$$

$$= 2.40\times10^2\ \text{N.s}$$

يكون دفع الصخرة على الأرض هو 2.4×10^2 N.s، ولذلك يكون دفع الأرض على الصخرة -2.40×10^2 N.s

موقع واجباتي