المصطلح	القانون	وحدة القياس	ملاحظات
الزخم الخطي	$\boldsymbol{p = mv}$	kg.m/s	الزخم الخطي كمية متجهة واتجاهه هو بنفس اتجاه السرعة
القوة المحصلة والقانون الثاني لنيوتن في الحركة	$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$	N	أن مقدار القوة المحصلة اللازم التأثير بها في جسم لتغيير زخمه الخطي يزداد بزيادة مقدار هذا التغير
الدفع (Impulse) (I)	$I = \sum F \Delta t = m\Delta v$ $\Delta \vec{p} = \vec{p}_{final} - \vec{p}_{initial}$	kg.m/s	المساحة المحصورة بين منحنى (القوة – الزمن) = الدفع
حفظ الزخم الخطي والقانون الثالث لنيوتن في الحركة	$\sum p_i = \sum p_f$	kg.m/s	الزخم الخطي الكلي لنظام معزول قبل التصادم مباشرة يساوي الزخم الخطي الكلي للنظام بعد التصادم مباشرة
الطاقة الحركية الخطية	$KE = \frac{1}{2} mv^2$	J	قد تكون الطاقة الحركية للأجسام المتصادمة محفوظة، وقد تكون غير محفوظة؛ اعتمادًا على نوع التصادم. فإذا لم تكن الطاقة الحركية محفوظة فهذا يعني أن جزءًا منها تحوّل إلى شكل أو أشكال أخرى من الطاقة، مثل الطاقة الحرارية والطاقة الصوتية.
التصادم المرن	$\sum p_i = \sum p_f$ $\frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2 = \frac{1}{2} m_A v_{Af}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bf}^2$		في التصادم المرن يكون مجموع الطاقة الحركية لأجزاء النظام قبل التصادم مساوياً مجموع طاقتها الحركية بعد التصادم؛ أي أن الطاقة الحركية للنظام محفوظة.
السرعة النهائية لتصادم عديم المرونة بين جسمين،	$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_f$ $v_f = \frac{m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi}}{m_A + m_B}$		التصادم غير المرن لا يكون مجموع الطاقة الحركية لأجزاء النظام قبل التصادم مساوياً مجموع طاقتها الحركية بعد التصادم؛ أي أن الطاقة الحركية للنظام غير محفوظة.
السرعة الابتدائية قبل الاصطدام	$v_{1A} = \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1}\right)\sqrt{2gh}$		أطبق قانون حفظ الزخم الخطي على النظام قبل التصادم مباشرة وبعد التصادم مباشرة كما يأتي: $\sum p_i = \sum p_f$ $m_1 v_{1A} + 0 = (m_1 + m_2) v_B$ $v_B = \frac{m_1 v_{1A}}{m_1 + m_2}$

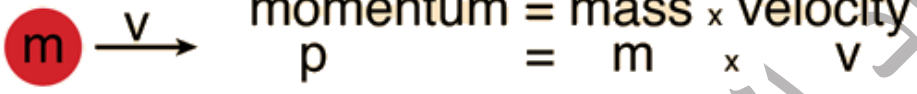
اعداد المعلم مصطفى دعمس

الزخم الخطي (كمية التحرك) Linear momentum

عندما تتحرك شاحنة وسيارة بمقدار السرعة نفسه؛ فإن إيقاف الشاحنة أصعب من إيقاف السيارة. وعند تحرُّك سيارتين متماثلتين متساويتين في الكتلة بسرعتين مختلفتين مقدارا؛ فإن إيقاف السيارة الأقل سرعة أسهل من إيقاف السيارة الأكبر سرعة. فما الكمية الفيزيائية التي تعتمد على كل من كتلة الجسم وسرعته؟

يُعرّف **الزخم الخطي (كمية التحرك)** **Linear momentum** لجسم؛ بأنه ناتج ضرب كتلة الجسم (m) في سرعته المتجهة (v)، رمزه $\boldsymbol{p}$ ،ويُقاس بوحدة kg.m/s حسب النظام الدولي للوحدات.

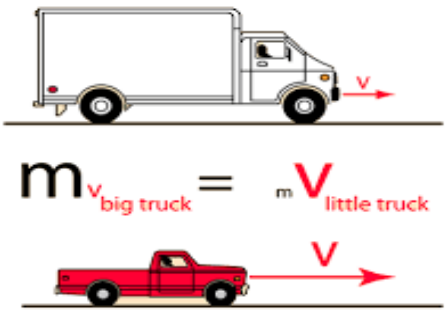
الزخم الخطي = كتلة الجسم (m) × سرعته المتجهة (v)



ويعبّر عنه بالمعادلة الآتية: $p = mv$

فمن خلال التعريف يتضح لنا أن **الزخم الخطي كمية متجهة** ، واتجاهه هو بنفس اتجاه السرعة. ويعتمد على عاملين اذكرهما؟

سؤال: انطلقت رصاصة كتلتها 10g من فوهة بندقية صيد بسرعة 400m/s.احسب الزخم الخطي للرصاصة ؟



فعلى سبيل المثال تملك شاحنة زخما اكبر بكثير من الزخم الذي تملكه سيارة لها نفس السرعة، وهذا يعطي انطباعا بان القوة اللازمة لإيقاف الشاحنة اكبر من تلك القوة اللازمة لإيقاف السيارة الصغيرة.

إذا كانَ هناكَ سيارتانِ تسيرانِ خلفَ بعضِهما في نفسِ الاتِّجاه ، وحَدَثَ تصادمٌ بيْنَهُما؛
فسيكونُ أخفَّ بكثيرٍ منْ تصادمِ نفسِ السيارتينِ بنفسِ سرعتِيهما ولكنْ وجهًا لوجهٍ في اتجاهينِ متضادَّينِ.

الزخم الخطي والقانون الثاني لنيوتن في الحركة
Linear Momentum and Newton's Second Law of Motion

يلزم التأثير بقوة في جسم لتغيير مقدار زخمه الخطي أو اتجاهه أو كليهما. ويستخدم القانون الثاني لنيوتن في الحركة للربط بين الزخم الخطي للجسم والقوة المحصلة المؤثرة فيه، علماً أن نيوتن صاغ قانونه الثاني بدلالة الزخم الخطي كما يأتي:

$$\sum F = \frac{dp}{dt}$$

حيث $\sum F$ هي القوة المحصلة المؤثرة في الجسم. وعند ثبات الكتلة يمكن إعادة كتابة القانون الثاني لنيوتن بدلالة الزَخْم كما يأتي:

$$\sum F = \frac{d(mv)}{dt} = m\ \frac{dv}{dt} = \sum \vec{F} = m\vec{a}$$

وعندما يحدث تغير في الزخم الخطي (Δp) لجسم خلال فترة زمنية معينة (Δt)؛ يمكن إعادة كتابة العلاقة السابقة في الصورة الآتية:

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

وينص القانون الثاني لنيوتن في الحركة بحسب هذه الصيغة على أن:

" المعدل الزمني لتغير الزخم الخطي لجسم يساوي القوة المحصلة المؤثرة فيه ويكون مُتجه التغير في الزخم الخطي باتجاه القوة المحصلة دائما".

ونستنتج من العلاقة السابقة أن مقدار القوة المحصلة اللازم التأثير بها في جسم لتغيير زخمه الخطي يزداد بزيادة مقدار هذا التغير.

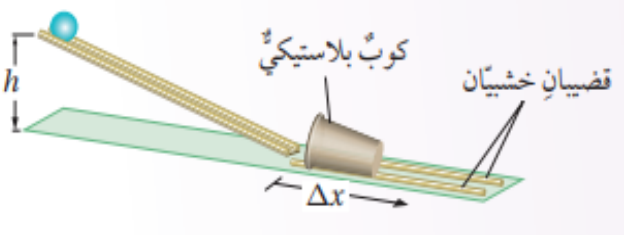
أتأمل الصورة ص7 :

يعتمد عمل الصاروخ على قانون حفظ الزخم الخطي. ولكي أصف حركة المكوك الفضائي والصاروخ يلزمني معرفة الزخم الخطي لهما، كما يلزم معرفة القانون الثاني لنيوتن بدلالة تغير الزخم الخطي $\sum F = \frac{dp}{dt}$ ؛ لأن كتلة الصاروخ متغيرة.

تجربة استهلالية: الصفحة 9

تأثير كتلة الجسم وسرعته في التصادمات

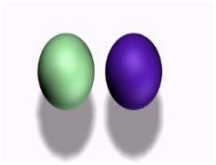
التجربة (1): عند إفلات كرة موضوعة عند أعلى مستوى مائل كما في الشكل، فإنها تصطدم عند نهاية المستوى بالكوب البلاستيكي وتحركه. وعند تكرار التجربة باستخدام كرة ذات كتلة أكبر يتحرك الكوب البلاستيكي مسافة أكبر.



التحليل والاستنتاج

يتحرك الكوب البلاستيكي مسافة أكبر عند اصطدام الكرة الزجاجية به مقارنة بالمسافة التي يتحركها عند اصطدام كرة التنس به؛ حيث كتلة الكرة الزجاجية أكبر، فيكون زخم الكرة الزجاجية عند التصادم مع الكوب أكبر، فتدفع الكوب مسافة أكبر.

اعداد المعلم مصطفى دعمس



التجربة (2): عند وضع كرتين من الزجاج على سطح طاولة، ودفع إحداهما باتجاه الأخرى، يحدث بينها تصادم. وعند تكرار التجربة باستخدام كرة من الزجاج وكرة التنس يحدث كذلك بينهما تصادما. هذه التصادمات تؤدي إلى حركة الكرات باتجهات وسرعات مختلفة.

- ما العوامل التي تؤثر في سرعة كل من الكرتين بعد تصادمهما؟
- ما العوامل التي تحدد اتجاه جركة كل من الكرتين بعد تصادمهما؟

التحليل والاستنتاج

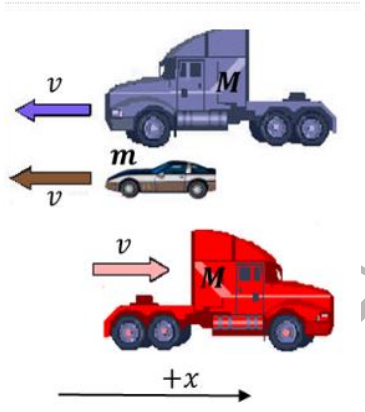
- سرعة الكرتين بعد تصادمهما يعتمد على:

1. السرعة المتجهة لكل من الكرتين المتصادمتين، 2. كتلتي الكرتين المتصادمتين.

- العوامل التي تحدد اتجاه جركة كل من الكرتين بعد تصادمهما: طبيعة التصادم وسرعة الكرة المتحركة وكتلتها، هل حدث التصادم وجها لوجه (في بعد واحد) أم لم يكن كذلك،
نوع التصادم(مرن، غير مرن).

أتحقق: ما المقصود بالزخم الخطي ؟

الزخم الخطي (كمية التحرك) لجسم هو ناتج ضرب كتلة الجسم (m) في سرعته المتجهة (v) ، رمزه p وهو كميةٌ متجهة، له اتجاه السرعة نفسه.



سؤال: معتمدا على البيانات المثبتة على الشكل، وإذا علمت أن للشاحنتين الكتلة نفسها (M)، وكتلة السيارة (m). و المركبات الثلاثة تتحرك بالسرعة نفسها، أقارن بين الزخم الزخم الخطي للمركبات الثلاثة مقدارا واتجاها.

الحل: الزخم كمية متجهة، وباعتبار محور $(+x)$ هو الاتجاه الموجب، فإن الزخم الخطي للشاحنة الحمراء $(M\ v)$ وللشاحنة الزرقاء $(-M\ v)$، فيكون الزخم الخطي للشاحنتين متساوي في المقدار، وباتجاهين متعاكسين. أمالسيارة فزخمها $(-mv)$ وهو أقل من مقدارا من زخم الشاحنة وباتجاه زخم الشاحنة الزرقاء.

أفكر: هل يمكن أن يكون مقدار الزخم الخطي لسيارة مساويًا مقدار الزخم الخطي لشاحنة كبيرة كتلتها أربعة أضعاف كتلة السيارة؟

نعم؛ إذا كان مقدار سرعة السيارة يساوي أربعة أضعاف مقدار سرعة الشاحنة.

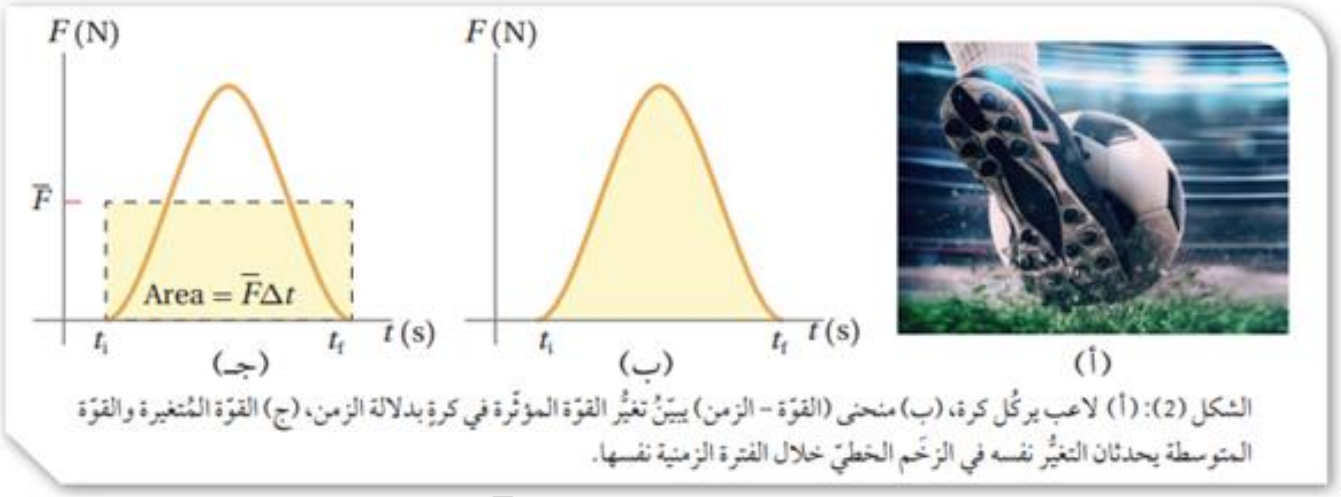
العلاقة بين الزخم الخطي والدفع Relationship between Linear Momentum and Impulse

عندما يركل لاعبَ كرة قدم ساكنة ؛ يحدث تلامس بين قدمه والكرة لمدة زمنية، وتتغير سرعتها المتجهة بسبب القوة المؤثرة فيها من قدم اللاعب، وتكتسب الكرة زخماً خطياً باتجاه محدد، نتيجة دفع قدم اللاعب لها.

يُعرّف **الدفع (Impulse) (I)** المؤثر في جسم بأنّه ناتجِ ضرب القوة المحصلة المؤثرة في الجسم في زمن تأثيرها ، كما يأتي:

$$I = \sum F \, \Delta t$$

تسمى هذه المعادلةَ مبرهنة (الزخم الخطي- الدفع) Impulse - momentum theorem وتنصّ على أن: دفع قوة محصلة مؤثرة في جسم يساوي التغير في زخمه الخطي. والدفع كمية متجهة، يكون باتجاه تغير الزخم الخطي، وهو اتجاه القوة المحصلة نفسه. وبما أن الزخم الخطي والدفع والقوة كميات متجهة فإنّ الإشارات الموجبة والسالبة ضرورية لتحديد اتجاهاتها، لذا؛ يلزم اختيار نظام إحداثيّات يحدد فيه الاتجاه الموجب.



الشكل (2): (أ) لاعب يركُل كرة، (ب) منحنى (القوّة – الزمن) يبيّنُ تغيُّر القوّة المؤثّرة في كرةٍ بدلالة الزمن، (ج) القوّة المُتغيرة والقوّة المتوسطة يحدثان التغيُّر نفسه في الزخم الخطيّ خلال الفترة الزمنية نفسها.

يبيّنُ الشكل (2/ أ) قدمَ لاعبٍ يركُل كرةَ قدم؛ فيتغيّرُ زخَمُها الخطيُّ بسبب قوّته المؤثّرة فيها. بينما يُوضّح الشكل (2/ ب) كيفيّة تغيُّر مقدارِ تلك القوّة مع الزمن أثناء مُلامَسةِ قدم اللاعب للكرة لفترةٍ زمنيّةٍ (Δt). يُحسَبُ مقدارُ الدفعِ المُؤثّر في الكرةِ عن طريق إيجاد المساحة Area تحت منحنى (القوّة – الزمن) المُوضّح في الشكل (2/ ب)، أو باستخدام مقدارِ القوّة المُتوسّطةِ مضروبًا في زمن تأثيرها، كما في الشكل (2/ جـ)، عن طريق إيجاد المساحة المحصورة تحت منحنى (القوّة المتوسّطة – الزمن) خلال الفترة الزمنيّة نفسها. والقوّة المتوسّطةُ ($\bar{F}$) كما في الشكل (2/ جـ) هي القوّة المُحصّلة الثابتة التي إذا أثرت في الجسم لفترةٍ زمنيّةٍ (Δt) لأحدثت الدفع نفسَهُ الذي تحدثُهُ القوّة المُتغيّرة أثناء الفترةِ الزمنيّة نفسِها. وأستخدم مُبَرهنة (الزخَم الخطيّ – الدفع) في توضيح نقطتين مهمتين:

1. عند ثبات القوّة المُحصّلة المؤثّرة، يزدادُ التغيُّر في الزخَم الخطيّ بزيادة زمن تأثير هذه القوّة. فمثلًا؛ عند دفع عربةِ تسوّقٍ بقوةٍ ثابتةٍ، يزدادُ التغيُّر في زخَمها الخطيّ بزيادة زمن تأثير القوّة فيها. أنظر الشكل (3/ أ). وعند ركل لاعب كُرة قدمٍ يزدادُ التغيُّر في زخَمها الخطيّ بزيادة زمن تلامُسِها مع قدمه.
2. عند ثبات مقدار التغيُّر في الزخَم الخطيّ، يتناسبُ مقدار القوّة المُحصّلة المؤثّرة عكسيًّا مع زمن تأثيرها. فمثلًا؛ يثني المظليُّ رجليه لحظة ملامسة قدميه سطح الأرض، وهذا يجعلُ تغيّر زخَمه الخطيّ يستغرقُ فترةً زمنيّةً أطول، فيقلُّ مقدارُ القوّة المُحصّلة المؤثّرة فيه. أنظر الشكل (3/ ب). كما أنني أثني رجليَّ تلقائيًّا عند مُلامَسة قدمي سطح الأرض بعد القفز.

الشكل (3):
(أ) يزدادُ مقدار التغيُّر في الزخَم الخطيّ للعربة بزيادة زمن تأثير القوّة فيها.
(ب) يَثني المظليُّ رجليهِ لحظة ملامسة قدميه سطحَ الأرض لزيادة زمن التغيُّر في زخَمه الخطيّ.

أتحقق: عرّف القوة المحُصلة المؤثرة في جسم باستخدام القانون الثاني لنيوتن ($\vec{F} = m\vec{a}$)؟

القوة المحُصلة المؤثرة في جسم تساوي المعدل الزمني لتغُّير زخمه الخطي $\sum F = \frac{d}{dt}$

أتحقق : ما العلاقة بين دفع قوة محصلة مؤثرة في جسم والتغيُّر في زخمه الخطي؟

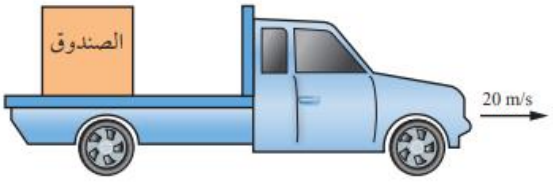
بحسب مبرهنة (الزخم الخطي– الدفع) فإن : "دفع قوة محصلة مؤثرة في جسم يساوي التغُيّرفي زخمه الخطي. ($I = \sum F\Delta t = m\Delta v = \Delta \boldsymbol{p} = \boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$)

$$\text{Impulse} = \Delta\vec{p} = \vec{p}_{final} - \vec{p}_{initial}$$

$$I = \Delta \boldsymbol{p} = \boldsymbol{p}_{final} - \boldsymbol{p}_{initial} = \boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$$

مصطفى دعمس

المثال 1



الشكل (4): شاحنة تحمل صندوقًا تتحرك شرقًا بسرعة ثابتة.

وُضعَ صندوقٌ كتلتُهُ (100 kg) في شاحنةٍ تتحرّك شرقًا بسرعة مقدارها (20 m/s)، كما هو مُوضّحٌ في الشكل (4). إذا ضغط السائقُ على دَوّاسةِ المكابح، فتوقّفت الشاحنةُ خلال (5.0 s) من لحظةِ الضغطِ على المكابح؛ فأحسبُ مقدارَ ما يأتي:

أ . الزخَم الخطيّ الابتدائيُّ للصُندوق.

ب. الدفع المُؤثّر في الصُّندوق.

جـ. قوّة الاحتكاك المُتوسّطة اللازم تأثيرُها في الصُّندوق لمنعهِ من الانزلاق.

المُعطيات: $m = 100\ \text{kg},\ v_i = 20\ \text{m/s},\ +x,\ v_f = 0,\ \Delta t = 5.0\ \text{s}.$

المطلوب: $p_i = ?,\ \mathbf{I} = ?,\ \bar{f}_s = ?$

الحلّ:

أختارُ نظام إحداثياتٍ يكونُ فيه الاتّجاه الموجب باتّجاه حركةِ الشاحنة، وهو باتّجاه محور $+x$.

أ . تتحرّك الشاحنةُ باتّجاه محور $+x$؛ لذا تكون السرعةُ المُتّجهةُ الابتدائيّة للصُّندوق موجبةً، وأحسبُ زخَمه الخطيّ الابتدائيّ كما يأتي:

$$p_i = mv_i = 100 \times 20$$
$$= 2 \times 10^3\ \text{kg.m/s}$$
$$\boldsymbol{p}_i = 2 \times 10^3\ \text{kg.m/s},\ +x$$

الزخَم الخطيُّ الابتدائيّ موجبٌ؛ فيكون باتّجاه محور $+x$.

ب. أستخدم مُبَرهنة (الزخَم الخطيّ – الدفع) لحسابِ الدفع. ألاحظُ أن الزخَم الخطيَّ النهائيَّ للصُّندوق يساوي صفرًا؛ لأنّ مقدارَ سرعته المُتّجهة النهائيّة يساوي صفرًا.

$$\mathbf{I} = \Delta p = p_f - p_i$$
$$= mv_f - 2 \times 10^3 = 100 \times 0 - 2 \times 10^3$$
$$= -2 \times 10^3\ \text{kg.m/s}$$
$$\mathbf{I} = 2 \times 10^3\ \text{kg.m/s}, -x$$

الدفع سالبٌ، حيث يؤثّر في اتّجاه الغرب $(-x)$؛ لأنه يؤثر في الصُّندوق بعكس اتّجاه سرعته الابتدائية.

جـ. أستخدم القانون الثاني لنيوتن لحساب قوّة الاحتكاك اللازم تأثيرُها في الصُّندوق لمنعه من الانزلاق، وهي نفسُها القوّة المتوسّطة المؤثّرة فيه خلالَ فترة توقُّف الشاحنة.

$$\sum F = \bar{f}_s = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$
$$\bar{f}_s = \frac{-2 \times 10^3}{5.0} = -4 \times 10^2\ \text{N}$$
$$\bar{f}_s = 4 \times 10^2\ \text{N},\ -x$$

تؤثّرُ قوّة الاحتكاك في الاتّجاه المُعاكسِ لاتّجاه سُرعة الصُّندوق؛ لذا يكونُ اتّجاهها في اتّجاه $-x$ (غربًا).

المثال 2

يركُلُ لاعبٌ كرةَ قدمٍ ساكنةً كتلتُها (0.450 kg)؛ فتنطلِقُ بسرعة (30.0 m/s) في اتّجاه محور $+x$. أنظرُ الشكل (5). إذا علمتُ أنّ مقدار القوّة المتوسّطةَ المؤثّرة في الكرةِ خلالَ زمن تلامُسِها مع قدم اللاعب يُساوي (135 N)؛ فأحسبُ مقدارَ ما يأتي بإهمالِ وزنِ الكرة مُقارنةً بالقوّة المؤثّرة فيها.

الشكل (5): لاعب يركل كرة قدم.

أ. الزخَم الخطيّ للكرة عند لحظةِ ابتعادِها عن قدم اللاعب.

ب. زمنُ تلامُسِ الكرة مع قدم اللاعب.

جـ. الدفعُ المُؤثّر في الكرة خلال زمنِ تلامُسها مع قدم اللاعب.

المعطيات: $m = 0.450\ \text{kg},\ v_i = 0\ \text{m/s},\ \boldsymbol{v}_f = 30.0\ \text{m/s},\ +x,\ \sum \boldsymbol{F} = 135\ \text{N},\ +x.$

المطلوب: $p_f = ?,\ \Delta t = ?,\ \text{I} = ?$

الحلّ:

أختارُ نظام إحداثيّاتٍ يكونُ فيه الاتّجاه الموجب باتّجاه محور $+x$.

أ. أحسبُ الزخَم الخطيّ للكرة لحظة ابتعادِها عن قدم اللاعب، وهو يساوي زخَمها الخطيّ النهائيّ.

$$p_f = mv_f = 0.450 \times 30.0$$
$$= 13.5\ \text{kg.m/s}$$
$$\boldsymbol{p}_f = 13.5\ \text{kg.m/s},\ +x$$

الزخَمُ الخطيُّ النهائيّ موجبٌ؛ إذ تتحرّك الكرةُ في اتّجاه محور $+x$.

ب. أستخدمُ القانون الثاني لنيوتن لحساب زمنِ تلامُسِ الكرةِ مع قدمِ اللاعب كما يأتي:

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

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{\sum F} = \frac{p_f - p_i}{135} = \frac{13.5 - 0}{135}$$
$$= 0.10\ \text{s}$$

جـ. أستخدمُ مُبَرهنةَ (الزخَم الخطيّ – الدفع) لحساب الدفع.

$$\text{I} = \Delta p = p_f - p_i$$
$$= 13.5 - 0 = 13.5\ \text{kg.m/s}$$
$$\mathbf{I} = 13.5\ \text{kg.m/s},\ +x$$

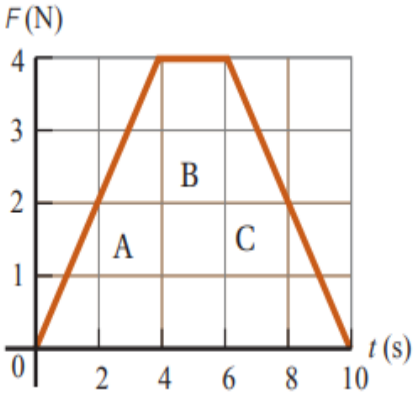
الدفعُ موجبٌ؛ حيث يؤثر في اتّجاه محور $+x$؛ لأنه يؤثر في الكرة باتّجاه القوّة المُحصّلة المؤثّرة فيها من قدم اللاعب.

كما يُمكن حسابُ الدفع باستخدامِ تعريفِ الدفع كما يأتي:

$$\text{I} = \sum F \Delta t$$
$$= 135 \times 0.10 = 13.5\ \text{N.s}$$
$$\mathbf{I} = 13.5\ \text{N.s},\ +x$$

المثال 3

تؤثّرُ قوّةٌ محصّلةٌ باتّجاه محور $+x$ في صندوقٍ ساكنٍ كتلتهُ (3 kg) مدّةً زمنيةً مقدارُها (10 s). إذا علمتُ أنّ مقدار القوّة المُحصّلة يتغيّرُ بالنسبة للزمن كما هو مُوضّح في منحنى (القوّة – الزمن) في الشكل (6)؛ فأحسبُ مقدارَ ما يأتي:



الشكل (6): منحنى (القوّة – الزمن).

أ. الدفع المؤثّر في الصُّندوق خلالَ الفترة الزمنيّة لتأثير القوّة المُحصّلة، وأُحدّد اتّجاهه.

ب. السرعة النهائيّةُ للصُّندوق في نهاية الفترة الزمنيّة لتأثير القوّة المُحصّلة، وأُحدّد اتّجاهها.

جـ. القوّة المتوسطة المؤثّرة في الصُّندوق خلال هذه الفترة الزمنيّة.

المعطيات: $m = 3\ \text{kg},\ v_i = 0\ \text{m/s},\ \Delta t = 10\ \text{s}$, المنحنى البياني.

المطلوب: $\mathbf{I} = ?,\ v_f = ?,\ \overline{F} = ?$

الحلّ:

أختارُ نظامَ إحداثيّاتٍ يكونُ فيه الاتّجاه الموجبُ باتّجاه محور $+x$.

أ. الدفعُ المؤثّر في الصُّندوق خلالَ فترةِ تأثير القوّة يُساوي المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الزمن) ومحور الزمن، ويساوي مجموع المساحات A و B و C.

وأحسبُ مقدارَهُ كما يأتي:

$$\mathbf{I} = A + B + C$$

$$= \frac{1}{2} \times (4-0) \times 4 + 4 \times (6-4) + \frac{1}{2} \times (10-6) \times 4$$

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

$$\mathbf{I} = 24\ \text{kg.m/s},\ +x$$

اتّجاه الدفع باتّجاه القوّة المُحصّلة المؤثّرة في الصُّندوق، أي باتّجاه محور $+x$.

ب. أستخدم مبرهنة (الزخَم الخطيّ - الدفع) لحساب مقدار السرعة النهائيّة للصُّندوق في نهاية الفترة الزمنية.

$$\mathbf{I} = \Delta p = p_f - p_i$$

$$24 = mv_f - 0$$

$$v_f = \frac{24}{3} = 8\ \text{m/s}$$

السرعةُ النهائيّةُ موجبةٌ، فيكونُ اتّجاهها باتّجاه محور $+x$.

جـ. أستخدمُ القانون الثاني لنيوتن لحساب القوّة المتوّسطة المؤثّرة في الصُّندوق، كما يأتي:

$$\sum F = \overline{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{24}{10} = 2.4\ \text{N}$$

يكون اتّجاه القوّة المتوسطة باتّجاه القوّة المُحصّلة نفسه؛ أي باتّجاه المحور $+x$.

تمرين

أحسبُ: كرةُ تنسٍ كتلتُها (0.060 kg)؛ يقذِفُها لاعبٌ إلى أعلى، وعند وصولها إلى قمّة مسارِها الرأسيّ يضربُها أُفقيًّا بالمَضرِب فتنطلقُ بسرعةٍ مقدارُها (55 m/s) في اتّجاهِ محور $+x$. أنظر الشكل (7). إذا علمتُ أنّ زمنَ تلامُس الكرة مع المَضرِب (4.0×10^{-3} s)؛ أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . الدفع الذي يؤثّر به المضربُ في الكرة.

ب. القوّة المتوسّطةُ التي أثّر بها المَضرِب في الكرة.

الشكل (7): لاعب يقذف كرة تنس.

أ. أستخدم مبرهنة (الزخم الخطي – الدفع) لحساب الدفع، مع مراعاة أن مقدار سرعة الكرة عند قمة مسارها يساوي صفرًا، حيث يكون زخمها الابتدائي صفرًا.

$$I = \Delta p = p_f - p_i$$
$$I = mv_f - mv_i$$
$$= 0.060 \times 55 - 0 = 3.3 \text{ kg. m/s}$$
$$\mathbf{I} = 3.3 \text{ kg. m/s}, +x$$

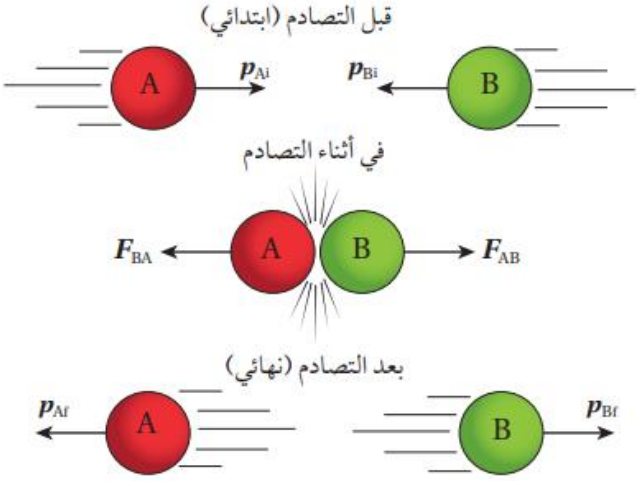
ب. أستخدم القانون الثاني لنيوتن.

$$\sum F = \bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{3.3}{4.0 \times 10^{-3}} = 825 \text{ N}$$
$$\sum \boldsymbol{F} = 825 \text{ N}, +x$$

دعمس

حفظ الزخم الخطي Conservation of Linear Momentum

يكون الزخم الخطي محفوظا تحت شروط معينة. ولكي نتتوصَّل إلى قانون حفظ الزخم الخطي؛ أنظر الشكل ، الذي يُوضّح تصادم كرتي بلياردو في بُعدٍ واحد. أتذكر أن النظام المعزول system Isolated هو النظام الذي تكون القوة المحصلة الخارجية المؤثرة فيه صفراً ، وتكون القوى المؤثرة قوى داخلية فقط . ويمكن عدُّ النظام المكون من كرتي البلياردو في الشكل معزولاً؛ إذ أنَ القوى الخارجية المؤثرة فيه، مثل قوة الاحتكاك مثلاً ، تكون صغيرة مقارنة بالقوة التي تؤثر بها كل من الكرتين في الأخرى في أثناء التصادم (قوى داخلية في النظام)؛ لذا نهمل هذه القوى الخارجية.



حفظ الزخم الخطي والقانون الثالث لنيوتن في الحركة

Conservation of Linear Momentum and Newton's Third Law of Motion

يُوضّح الشكل السابق كرتي بلياردو قبل التصادم مباشرةً ، وفي أثناء التصادم، وبعده مباشرة. تؤثر كل كرة بقوة في الكرة الأخرى في أثناء عملية تصادمهما معا، وأفترض أنَ مقدار كل من القوتين ثابت في أثناء الفترة الزمنية لتلامس الكرتين. تكونُ هاتان القّوتان مُتساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه؛ بحسب القانون الثالث لنيوتن في الحركة، إذ أنهما تمثلان زوجي تأثيرمُتبادل(فعل ورد فعل)، يُعبّر عنهما كما يأتي:

$$F_{AB} = -F_{BA}$$

الفترة الزمنيّة التي أثرت بها الكرة A في الكرة B بالقوة F_{AB} في أثناء تلامس الكرتين هي نفسها الفترة الزمنيّة التي أثرت بها الكرة B في الكرة A بالقوة F_{BA}؛ لذا فإنَه طرفي المعادلة السابقة بالفترة الزمنية لتلامس الكرتين نتوصل إلى العلاقة الآتية:

$$F_{AB}\ \Delta t = -F_{BA}\ \Delta t$$

أي أن دفع الكرة A في الكرة B $(I_{AB} = \Delta \boldsymbol{p}_B)$ يساوي في المقدار دفع الكرة B في الكرة A $(I_{BA} = \Delta p_A)$ ويعاكسُه في الاتجاه. وبما أن التغير في الزخم الخطي يساوي الدفع بحسب مبرهنة (الزخم الخطي – الدفع)، فإنّهُ يمكن كتابة العلاقة السابقة كما يأتي:

$$I_{AB} = -I_{BA}$$

$$\Delta \boldsymbol{p}_B = -\Delta \boldsymbol{p}_A$$

أي أن:

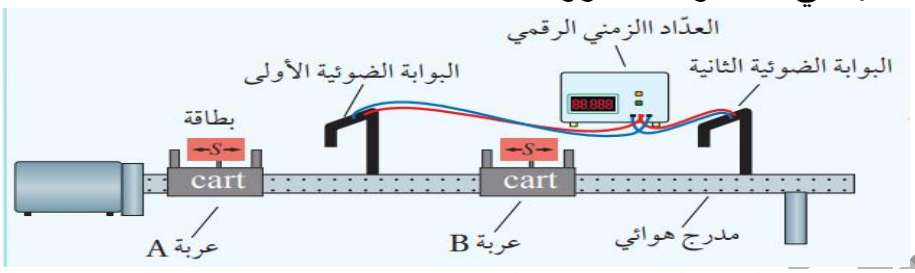
$$\boldsymbol{p}_{Bf} - \boldsymbol{p}_{Bi} = -\boldsymbol{p}_{Af} - \boldsymbol{p}_{Ai}$$

وبإعادة ترتيب حدود المعادلة السابقة نحصل على معادلة قانون حفظ الزخم الخطي

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

حيث v_{Ai} و v_{Ai} تمثلان السرعتين المتجهتين للجسم الأول قبل التصادم وبعده مباشرة على الترتيب، وv_{Bi} و v_{Bi} تمثلان السرعتين المتجهتين للجسم الثاني قبل التصادم وبعده مباشرة على الترتيب. تشير هذه المعادلة إلى **قانون حفظ الزخم الخطي** إذ ينص على أنّهُ : "عندما يتفاعل جسمان أو أكثر في نظام معزول، يظل الزخم الخطي الكلي للنظام ثابتا". كما يُمكن التعبير عنه بأنّ : الزخم الخطي الكلي لنظام معزول قبل التصادم مباشرة يساوي الزخم الخطي الكلي للنظام بعد التصادم مباشرة.

ويعدُّ جميع الأنظمة التي نتعامل معها في هذه الوحدة معزولة.



التجربة 1 : حفظ الزَخم الخطي

التحليل والاستنتاج

إجابات الأسئلة :

1 .ستختلف الإجابات بحسب مقدار قوة الدفع المؤثرة في العربة A(مقدار سرعتها الابتدائية)، وكتلتي العربتين.

2 .ستختلف الإجابات بحسب مقدار السرعة المتجهة لكل عربة ومقدار كتلتها.

3 .ستختلف الإجابات بحسب مقدار السرعة المتجهة لكل عربة ومقدار كتلتها.

4 .يكون الزخم الخطي الكلي للعربتين في كل حالة محفوظا؛ أي أن الزخم الخطي الكلي الابتدائي لنظام العربتين في كل محاولة يساوي الزخم الخطي الكلي النهائي لهما.

5 .إجابة محتملة: نعم، تطابقت نتائج تجربتي مع قانون حفظ الزخم الخطي للمحاولتين، وأستنتج أن الزخم الخطي يكون دائما محفوظا في التصادمات للأنظمة المعزولة.

إجابة محتملة: لا، لم تتطابق نتائج تجربتي مع قانون حفظ الزخم، نتيجة وجود أخطاء ارتكبتها في أثناء تنفيذ التجربة، ويجب إعادة تنفيذ التجربة بدقة مراعيا تجنب الوقوع في الأخطاء .

6 .مصادر الخطأ المحتملة: قياس الكتلة، وجود ميلان في المدرج الهوائي، قياس طول كل من البطاقتين، وجود قوة احتكاك كبيرة بالنسبة لقوى التالمس المتبادلة، خطأ في إجراء الحسابات، التقريب، عدم استخدام النظام الدولي للوحدات (تعويض طول البطاقة بوحدة cm)،...

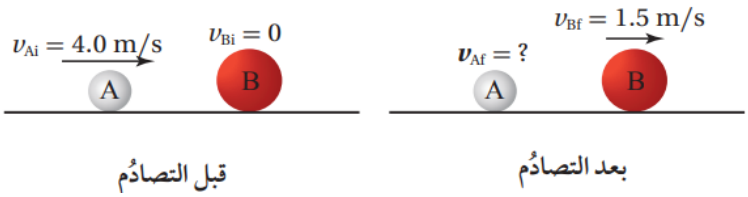
ألاحظُ بعد تنفيذ التجربة أن الزخَم الخطيّ الكُلّي لنظام العربتين قبل التصادُم يساوي الزخَم الخطيّ الكُلّي لنظام العربتين بعد التصادُم. وهو ما يُثبتُ قانون حفظ الزخَم الخطيّ في الأنظمة المعزولة، حيثُ الزخَم الخطيّ لأيّ نظامٍ معزولٍ لا يتغيّر.

يُمكن أن يحتوي نظام على أعدادٍ مختلفة من الأجسام المُتفاعِلة (المُتصادِمة) معًا، وقد يحدثُ التصادُم بينها في بُعدٍ واحدٍ أو بُعدين أو ثلاثة أبعادٍ، وبعد تصادُم هذه الأجسام؛ فإنّها قد ترتدُّ عن بعضها بعضًا، أو تلتصقُ ببعضِها بعضًا، أو تنفصل عن بعضها بعضًا (الانفجارات مثلًا).

مثال4:

يوضح الشكل تصادم كرتين(A و B)حيث تحركت الكرة(A) باتجاه محور $(+x)$ بسرعة $(4.0\ \mathrm{m/s})$ نحو الكرة (B)الساكنة. بعد التصادم تحركت الكرة (B)بسرعة مقدارها $(1.5\ \mathrm{m/s})$ باتجاه$(+x)$.

إذا علمت أن $(m_A = 1.0\ \mathrm{kg})$ و $(m_B = 2.0\ \mathrm{kg})$ فاحسب مقدار سرعة الكرة(A) بعد التصادم وأحدد اتجاهها.



قبل التصادُم بعد التصادُم

المعطيات: $v_{Ai} = 4.0\ \mathrm{m/s}, +x,\ \ v_{Bi} = 0, v_{Bf} = 1.5\ \mathrm{m/s}, +x, m_A = 1.0\ \mathrm{kg}, m_B = 2.0\ \mathrm{kg}.$

المطلوب: $v_{Af} = ?$

الحلّ:

أختارُ نظام إحداثياتٍ يكونُ فيه الاتّجاه الموجِبُ باتّجاه محور $+x$. ثم أُطبّقُ قانون حفظ الزخَم الخطيِّ على نظام الكُرَتين.

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

$$\boldsymbol{p}_{Ai} + \boldsymbol{p}_{Bi} = \boldsymbol{p}_{Af} + \boldsymbol{p}_{Bf}$$

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

$$1.0 \times 4.0 + 2.0 \times 0 = 1.0 \times v_{Af} + 2.0 \times 1.5$$

$$v_{Af} = 4.0 - 3.0 = 1.0\ \mathrm{m/s}$$

$$\boldsymbol{v}_{Af} = 1.0\ \mathrm{m/s}, +x$$

بما أنّ السرعةَ المُتّجهةَ النهائيّة للكُرة A موجبةٌ؛ فهذا يعني أن اتّجاه سرعتها باتّجاه محور $+x$، أي بنفس اتّجاه سرعتها قبل التصادُم.

عرفتُ أن الزخَم الخطيّ يكون محفوظًا أيضًا عندما ينفصلُ جسمٌ إلى أجزاءٍ تبتعدُ عن بعضها بعضًا. فإذا كان الجسم ساكنًا؛ فإنَّ الأجسامَ الناتجة عن الانفصال تبدأُ حركتها من حالة السكون، وتكون اتّجاهاتِ حركتها بحيث يبقى الزخَمُ الخطيّ الكُلّي بعد انفصالها مساويًا له قبل انفصالها في المقدار؛ أي صفرًا في هذه الحالة. وهذا يُفسّر سبب ارتداد البندقية للخلف عند إطلاق رصاصةٍ منها، كما يُفسّر لماذا يحتاج خرطوم إطفاء الحريق عادةً إلى أكثر من إطفائيٍّ للإمساك به عند اندفاع الماء منه، كما هو مُوضّح في الشكل.

أكثر من إطفائي يُمسك بخرطوم إطفاء الحريق.

أتحقق: علام ينص قانون حفظ الزخم الخطي على أنّه :

"عندما يتفاعل جسمان أو أكثر في نظامٍ معزول، يظل الزخم الخطي الكلي للنظام ثابتاً ". كما يمكن التعبير عنه بأن: الزخم الخطي الكلي لنظام معزول قبل التصادم مباشرة يساوي الزخم الخطي الكلي للنظام بعد التصادم مباشرة .

المثال 5

مدفعٌ ساكنٌ كتلتُه (2.0×10^3 kg)، فيه قذيفةٌ كتلتُها (50.0 kg). أُطلقت القذيفة أُفقيًّا من المدفع بسرعة (1.2×10^2 m/s) باتّجاه محور $+x$. أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . الدفعُ الذي تؤثّر به القذيفة في المدفع، وأُحدّد اتّجاهه.

ب. سرعة ارتداد المدفع.

المعطيات: أفترض رمز المدفع A ورمز القذيفة B.

$$m_A = 2.0 \times 10^3 \text{ kg},\ m_B = 50.0 \text{ kg},\ v_{Ai} = 0,\ v_{Bi} = 0,\ \boldsymbol{v}_{Bf} = 1.2 \times 10^2 \text{ m/s},\ +x.$$

المطلوب: $\mathbf{I}_{BA} = ?,\ v_{Af} = ?$

الحلّ:

أختارُ نظامَ إحداثياتٍ يكونُ فيه الاتّجاهُ الموجبُ باتّجاهِ محور $+x$.

أ. الدفعُ الذي تؤثّر به القذيفةُ في المدفع ($\mathbf{I}_{BA}$) يُساوي في المقدار الدفع الذي يؤثر به المدفع في القذيفة ($\mathbf{I}_{AB}$)، ويُعاكسُه في الاتّجاه. أستخدم مبرهنة (الزخَم الخطيّ – الدفع) لحساب الدفع الذي تؤثّر به القذيفةُ في المدفع.

$$\mathbf{I}_{BA} = -\mathbf{I}_{AB} = -\Delta \boldsymbol{p}_B$$

$$I_{BA} = -(p_{Bf} - p_{Bi})$$

$$= -m_B(v_{Bf} - v_{Bi}) = -50.0 \times (1.2 \times 10^2 - 0)$$

$$= -6.0 \times 10^3 \text{ kg.m/s}$$

$$\mathbf{I}_{BA} = 6.0 \times 10^3 \text{ kg.m/s}, -x$$

الدفع سالبٌ، حيث يؤثّر في المدفع باتّجاه محور $-x$.

ب. أُطبّق قانون حفظ الزخَم الخطيّ على القذيفة والمدفعَ قبل إطلاقِ القذيفة وبعد إطلاقها مباشرةً، مع ملاحظة أن مجموع الزخَم الخطيِّ للقذيفةِ والمدفع يساوي صفرًا قبل إطلاق القذيفة.

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

$$\boldsymbol{p}_{Ai} + \boldsymbol{p}_{Bi} = \boldsymbol{p}_{Af} + \boldsymbol{p}_{Bf}$$

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

$$2.0 \times 10^3 \times 0 + 50.0 \times 0 = 2.0 \times 10^3 \times v_{Af} + 50.0 \times 1.2 \times 10^2 = 0$$

$$v_{Af} = \frac{-6.0 \times 10^3}{2.0 \times 10^3} = -3.0 \text{ m/s}$$

$$\boldsymbol{v}_{Af} = 3.0 \text{ m/s}, -x$$

بما أن السرعة المُتّجهةَ النهائيّة للمدفع (A) سالبةٌ، فهذا يعني أن اتّجاه سرعته باتّجاه محور $-x$.

مراجعة الدرس

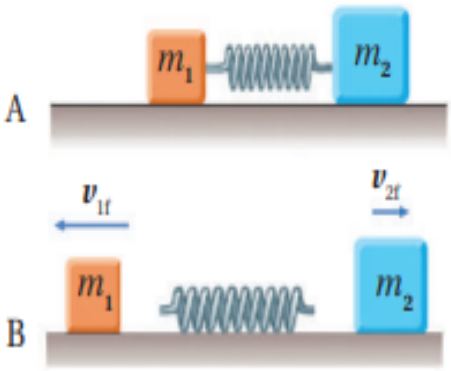
1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصودُ بالزخَم الخطيِّ لجسم؟ ما العلاقة بين الدفع المؤثر في جسم والتغيُّر في زخَمه الخطيّ؟

2. **أُحلِّلُ:** بحسب علاقة تعريف الزخَم الخطيّ $p = mv$ ؛ تكون وحدةُ قياسهِ kg.m/s، وبحسب مبرهنة (الزخَم الخطيّ – الدفع) تكون وحدةُ قياسهِ (N.s). أُثبت أن هاتين الوحدتين مُتكافئتان.

3. **أوضِّحُ:** متى يكون الزخَم الخطيّ لنظام محفوظًا؟

4. **أفسِّرُ:** ذهب محمّد إلى مدينة الألعاب، وعند قيادته سيارةً كهربائيةً واصطدامها بالسيارات الأُخرى وجد أن تأثير هذه التصادُمات عليه قليلٌ. وعند تركيزِ انتباهه على هذه السيارات؛ لاحظ وجود حزامٍ من مادّة مطاطيّة يحيط بجسم السيارة. أُفسّر سببَ وجود هذا الحزام المطاطيّ.

5. **أُحلِّلُ وأستنتج:** وضعت إسلام نابض خفيف مضغوط بين صندوقين كتلتيهما m_1 و m_2 موضوعين على سطح أفقي أملس، كما هو مبين في الشكل A. لحظة إفلات إسلام النابض، تحرّك الصندوقان باتجاهين متعاكسين كما في الشكل B. إذا علمت أن $m_2 = 2m_1$ ، فأجد نسبة مقدار سرعة الصندوق الأول النهائية إلى مقدار سرعة الصندوق الثاني النهائية لحظة ابتعاد كلّ منهما عن النابض.



6. **أُحلِّلُ وأستنتج:** في أثناء مشاهدة هند عرضًا عسكريًّا لمجموعة من جنود الجيش العربي الأردني لفت انتباهها إسناد الجنود كعوبَ بنادِقهم على أكتافهم بإحكام عند إطلاق الرصاص منها. لماذا يفعلون ذلك؟

7. **أُصدرُ حُكمًا:** في أثناء جلسة نقاش داخل غرفة الصف عن كيفيّة حركةِ المركبات الفضائيّة في الفضاء، قالت بتول: «تندفع المركبة الفضائية في الغلاف الجويّ للأرض، ويتغيّرُ مقدار سرعتها واتّجاه حركتها عندما تدفعُ الغازات المنطلقة من الصواريخ المثبتة عليها الهواء الجويّ، وأنه لا فائدةَ من وجودِ هذه الصواريخ في المركبة الفضائية في الفضاء؛ إذ لا يُمكنُ لهذه الصواريخ أن تُغيّر مقدارَ سرعةِ هذه المركبةِ في الفضاءِ أو اتّجاه حركتها؛ لأنه لا يوجدُ هواءٌ في الفضاء تدفعه الغازاتُ الخارجةُ منها». أناقشُ صحّةَ قولِ بتول.

حل مراجعة الدرس

1. الزخم الخطي لجسم يساوي ناتج ضرب كتلة الجسم (m) في سرعته المتجهة (v) ، رمزه p، وهو كمية متجهة.

2. دفع قوة مؤثرة في جسم يساوي التغير في زخمه الخطي، $I = \Delta p$

$$N.s = \frac{kg.m}{s^2} \times s = kg.m/s$$

3. يكون الزخم الخطي محفوظا للنظام المعزول، وهو نظام تكون القوة المحصلة الخارجية المؤثرة فيه تساوي صفراً. وعندما تكون القوى الخارجية المؤثرة في النظام صغيرة جدا مقارنة بالقوى الداخلية المتبادلة بين أجزاء النظام بحيث يمكن إهمالها، يمكن التعامل مع النظام على أنه معزول وأن زخمه الخطي محفوظ.

4. يزيد الحزام المطاطي زمن التصادم، مما يقّلل من مقدار القوة المؤثرة في السيارات نتيجة التصادم.
يؤدي تشوه هذه الأجزاء بسهولة إلى زيادة الزمن المستغرق لتوقف السيارة (زمن التصادم)، ولأن $\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ فإن مقدار القوة المؤثرة في السيارة والرّكاب نتيجة التصادم سيقل بزيادة زمن التصادم.

5. أختار الاتّجاه الموجب (اتّجاه محور $+x$) باتجاه حركة أحد الصندوقين. ونطبّقُ قانون حفظ الزخَم الخطيّ على نظام الصندوقين، مع مراعاة أن $m_2 = 2m_1$.

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

$$\boldsymbol{p}_{1i} + \boldsymbol{p}_{2i} = \boldsymbol{p}_{1f} + \boldsymbol{p}_{2f}$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$0 = -m_1 \times v_{1f} + 2m_1 \times v_{2f}$$

$$2v_{2f} = v_{1f}$$

$$\frac{v_{1f}}{v_{2f}} = 2$$

6. عند عدم إسناد البندقية على الكتف فإنها ترتد في الاتجاه المعاكس لحركة الرصاصة نتيجة حفظ الزخم الخطي ، مما يجعلها تصطدم بالكتف. لكن عند تثبين البندقية بالكتف يكون زخم الارتداد لكتلة الجندي وكتلة البندقية معاً ، مسبباً سرعة ارتداد مقدارها أقل بكثير من سرعة ارتداد البندقية منفردة في الحالة الأولى؛ لأن كتلة الجندي والبندقية معاً أكبر بكثير من كتلة البندقية.

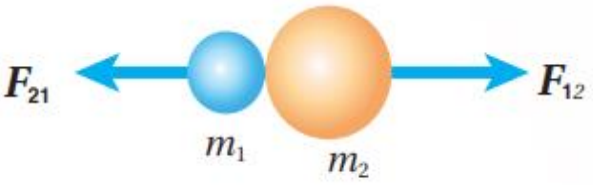
7. قول بتول غير صحيح علميّاً ، فحسب قانون حفظ الزخم الخطي، عندما تندفع الغازات المقذوفة من الصاروخ فإنها تدفع الصاروخ نفسه إضافة إلى المركبة الفضائية.

الدرس 2: التصادمات Collisions

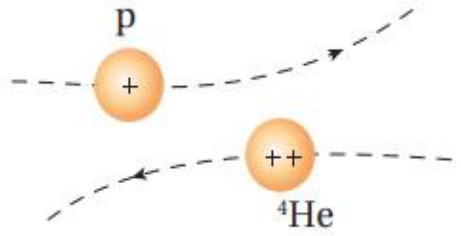
الزخم الخطي والطاقة الحركية في التصادمات

Linear Momentum and Kinetic Energy in Collisions

يُستخدم مصطلح تصادم لتمثيل حدث يقترب فيه جسمان أحدهما من الآخر، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة. وقد يتضمن التصادم تلامساً بين جسمين، كما هو موضّح في الشكل (أ) ، أو عدم حدوث تلامس بينهما كما في تصادم جسيمات مشحونة على المستوى دون الجاهري ، مثل تصادم بروتون بجسيم ألفا (نواة ذرة الهيليوم)، كما هو موضّح في الشكل (ب). فنظراً لأنّ كلا الجُسيمين مشحونان بشحنة موجبة، فإنهما يتنافران عندما يقتربان من بعضهما بعضا، دون الحاجة إلى تلامسهما.



الشكل (أ): تصادم جسمين على المستوى الجاهري
(يمكن رؤيتها بالعين المجردة)



الشكل (ب): تصادم جسمين على المستوى دون الجاهري
(الشكل ليس ضمن مقياس رسم)

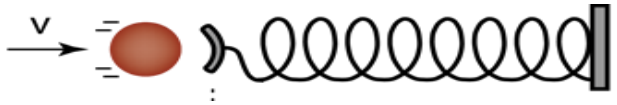
التصادمات والطاقة الحركية Collisions and Kinetic Energy

تعرّفت في الدرس السابق أن الزخم الخطي محفوظ دائماً عند تصادم الأجسام أو انفصال بعضها عن بعض في الأنظمة المعزولة. فهل تكون الطاقة الحركية محفوظة أيضاً في هذه التصادمات؟

الطاقة الحركية الخطية لجسم (KE) Linear kinetic energy:

هي الطاقة المرتبطة بحركته عند انتقاله من مكان إلى آخر (حركة انتقالية)، وتعتمد على كل من: كتلة الجسم (m) ومقدار سرعته (v)، ويعبّر عنها بالمعادلة الآتية: $KE = \frac{1}{2} mv^2$

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$



قد تكون الطاقة الحركية للأجسام المتصادمة محفوظة، وقد تكون غير محفوظة؛ اعتمادًا على نوع التصادم. فإذا لم تكن الطاقة الحركية محفوظة فهذا يعني أن جزءًا منها تحوّل إلى شكل أو أشكال أخرى من الطاقة، مثل الطاقة الحرارية والطاقة الصوتية. وتصنّف التصادمات بحسب حفظ الطاقة الحركية إلى نوعين رئيسين، هما: التصادم المرن، والتصادم غير المرن.

سؤال: احسب الزخم الخطي لكرة كتلتها 2Kg تتحرك نحو الجنوب بطاقة حركية 16J ؟

$$2)\ K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{p^2}{2m}$$

$$p = \sqrt{2\ m\ K}$$

$$= \sqrt{2 \times 2 \times 16}$$

$$= \sqrt{64}$$

$$\mathbf{p} = 8\ \text{kg.m/s} \qquad \text{(جنوباً)}$$

التصادم المرن Elastic collision

في التصادم المرن يكون مجموع الطاقة الحركية لأجزاء النظام قبل التصادم مساوياً مجموع طاقتها الحركية بعد التصادم؛ أي أن الطاقة الحركية للنظام محفوظة. ومن الأمثلة عليها التصادمات بين كرات البلياردو، كما في الشكل (ب). وهنا نهمل خسران جزء صغير من الطاقة على شكل طاقة صوتية مثلاً.

عند تصادم جسمين A و B تصادمًا مرنا، فإنني أُطبق معادلتي حفظ الزخم الخطي وحفظ الطاقة الحركية وحفظ الطاقة الحركية عليهما كما يأتي:

$$\sum \boldsymbol{p_i} = \sum \boldsymbol{p_f}$$

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

$$\sum \boldsymbol{p_i} = \sum \boldsymbol{p_f}$$

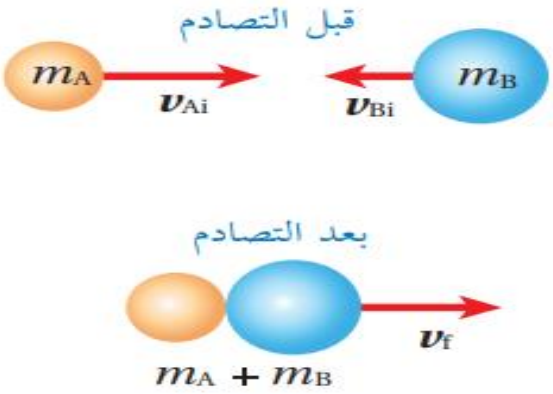
$$\frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2 = \frac{1}{2} m_A v_{Af}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bf}^2$$

التصادم غير المرن collision Inelastic

التصادم غير المرن لا يكون مجموع الطاقة الحركيّة لأجزاء النظام قبل التصادم مساويَاً مجموع طاقتها الحركية بعد التصادم؛ أي أن الطاقة الحركيّة للنظام غير محفوظة. ومن أمثلتها اصطدام كرة مطاطية بسطح صلب (مضرب مثلاً)، حيث تفقد جزءاً من طاقتها الحركية عندما تتشوه الكرة في أثناء ملامستها للسطح . أنظر الشكل.

لكن الزخم الخطيً يكون محفوظا في كل أنواع التصادمات التي تكون فيها القوى الخارجية المؤثرة في النظام (إن وجدت) صغيرة جداً مقارنة بقوى الفعل ورد الفعل المتبادلة بين الأجسام المتصادمة.

ويوصف التصادم غير المرن بأنه تصادم عديم المرونة collision inelastic Perfectly



عندما تلتحم الأجسام المتصادمة معاً بعد التصادم، لتصبح جسماً واحداً تساوي كتلته مجموع كتل الأجسام المتصادمة. ومثال ذلك ما يحدث عند اصطدام كرتي صلصال معا، أو اصطدام سيارتين وتحركهما معاً بعد التصادم.

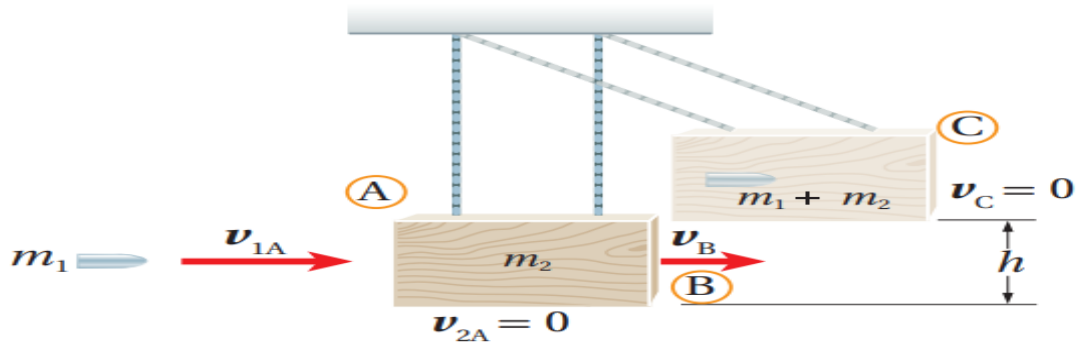
وأحسبُ مقدار السرعة النهائية لتصادم عديم المرونة بين جسمين، كما هو موضح في الشكل ، بتطبيق قانون حفظ الزخم الخطي على النظام المكون منهما كما يأتي:

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_f$$

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

تطبيق: البندول القذفي

البندول القذفي pendulum Ballistic يُستخدم لقياس مقدار سرعة مقذوف ، مثل الرصاصة. إذ تطلق رصاصة كتلتها (m_1) باتجاه كتلة ساكنةٍ كبيرة من الخشب كتلتها (m_2) ،مُعلقة رأسيّاً بخيطين خفيفين. فتخترق الرصاصة قطعة الخشب وتستقر داخلها، ويتحرك النظام المكون منهما كجسم واحد، ويرتفع مسافة رأسية (h) . أنظر الشكل.



ويمكن حساب مقدار سرعة الرصاصة قبل اصطدامها بقطعة الخشب إذا عرفت مقدار (h).

سوف أستخدم الرمز (A) ليمثل النظام قبل التصادم مباشرة، والرمز (B) ليُمثل النظام بعد التصادم مباشرة، أما الرمز (C) فيمثل النظام عند أقصى ارتفاع (h) . وألاحظ من الشكل أن اتجاه حركة النظام المكون من قطعة الخشب والرصاصة بعد التصادم مباشرة يكون باتجاه حركة الرصاصة نفسه قبل التصادم في مستوى الصفحة، ونحو اليمين. أطبق قانون حفظ الزخم الخطي على النظام قبل التصادم مباشرة وبعد التصادم مباشرة كما يأتي:

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

$$m_1 v_{1A} + 0 = (m_1 + m_2) v_B$$

$$v_B = \frac{m_1 v_{1A}}{m_1 + m_2}$$

لا توجد قوىً غير محافظة تبذل شغلًا على النظام في أثناء حركته بعد التصادُم مباشرةً وصولًا إلى أقصى ارتفاع (h) عند الموقع (C)؛ لذا تكون الطاقة الميكانيكيّة محفوظةً، وأفترضُ أنّ طاقة الوضع (الناشئة عن الجاذبية) لقطعة الخشب لحظة بدء حركتها عند الموقع (B) تساوي صفرًا ($PE_B = 0$)، بافتراض موقعها عند (B) مستوى إسناد. كما أنّ طاقتها الحركية عند أقصى ارتفاعٍ تُساوي صفرًا؛ أي أن ($KE_C = 0$).

$$ME_B = ME_C$$

$$KE_B + PE_B = KE_C + PE_C$$

$$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_B^{\,2} + 0 = 0 + (m_1 + m_2)g\,h$$

بتعويض (v_B) من معادلة حفظ الزخم؛ أجد علاقةً لحساب (v_{1A}).

$$\frac{1}{2}\left(\frac{m_1 v_{1A}}{m_1 + m_2}\right)^2 = g\,h$$

$$v_{1A} = \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1}\right)\sqrt{2g\,h}$$

أفكر: ص 25

عند تصادم جسمين في بُعد واحد تصادماً عديم المرونة، ما الشرط الضروري لتفقد الطاقة الحركية الابتدائية للنظام بعد الاصطدام؟

الإجابة: أن يكون الزخم الخطي الابتدائي للجسم الأول مساويا في المقدار للزخم الخطي الابتدائي للجسم الثاني، ومعاكساً له في الاتجاه؛ أي أن الزخم الخطي الابتدائي للنظام يساوي صفر.

✓ **أتحقّق**: أُقارنُ بين التصادُم المَرِن، والتصادُم غير المَرِن، والتصادُم عديم المرونة من حيث: حفظ الزخَم الخطيّ، حفظ الطاقة الحركية، التحامُ الأجسام بعد التصادُم.

نوع التصادم / وجه المقارنة	المرن	غير المرن	عديم المرونة
حفظ الزخم الخطي	محفوظ	محفوظ	محفوظ
حفظ الطاقة الحركية	محفوظة	غير محفوظة	غير محفوظة
التحام الأجسام بعد التصادم	لا يوجد التحام	لا يوجد التحام	يوجد التحام

وقد اقتصرت دراستُنا على التصادم في بعد واحد One–Dimensional Collision حيث يتحرّكُ جسمان قبل التصادُم على امتداد الخط المستقيم نفسِه، ويتصادمان رأسًا برأس Head on collision، بحيثُ تبقى حركتيهما بعد التصادُم على المسار المستقيم نفسه، أنظر الشكل .

أتحقق: متى يكون التصادم في بُعدٍ واحد؟

عندما يتحرّك جسمان قبل التصادم على امتداد الخط المستقيم نفسه، ويتصادمان رأساً برأس Head on collision، بحيث تبقى حركتيهما بعد التصادم على المسار المستقيم نفسه.

المثال 6

تتحرك الكرة (A) باتّجاه محور $+x$ بسرعة $(6.0\ m/s)$؛ فتصطدم رأسًا برأس بكرةٍ أُخرى (B) أمامَها تتحرك باتّجاه محور $+x$ بسرعة $(3.0\ m/s)$. كما يوضح الشكل، بعد التصادُم تحرّكت الكرة (B) بسرعةٍ مقدارُها $(5.0\ m/s)$ بالاتّجاه نفسه قبل التصادُم. إذا علمتُ أن $(m_A = 5.0\ kg,\ m_B = 3.0\ kg)$، فأُجيبُ عمّا يأتي:

أ. أحسب مقدار سرعة الكرة (A) بعد التصادم، وأُحدد اتجاهها.

ب. أحدد نوع التصادم.

تصادم كرتين في بُعد واحد.

المعطيات:

$v_{Ai} = 6.0\ m/s,\ +x,\ v_{Bi} = 3.0\ m/s,\ +x, v_{Bf} = 5.0\ m/s,\ +x,\ m_A = 5.0\ kg,\ m_B = 3.0\ kg.$

المطلوب:

$v_{Af} = ?$

الحلّ:

أختار نظام إحداثيّاتٍ يكون فيه الاتّجاه الموجب باتّجاه محور $+x$.

أ. أُطبق قانونَ حفظ الزخَم الخطيّ على نظام الكرتين.

$$\sum p_i = \sum p_f$$

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

$$5.0 \times 6.0 + 3.0 \times 3.0 = 5.0\, v_{Af} + 3.0 \times 5.0$$

$$v_{Af} = 4.8\ m/s$$

بما أن سُرعةَ الكرة (A) بعد التصادُم موجبةٌ؛ فهذا يعني أنّ اتّجاه سرعتها باتّجاه محور $+x$.

ب. لتحديد نوع التصادُم يلزم حساب التغيُّر في الطاقة الحركية.

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m_A v_{Af}^{\ 2} + \frac{1}{2} m_B v_{Bf}^{\ 2} - \left[\frac{1}{2} m_A v_{Ai}^{\ 2} + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^{\ 2}\right]$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2} \times \left[5.0 \times (4.8)^2 + 3.0 \times (5.0)^2\right] - \frac{1}{2} \times \left[5.0 \times (6.0)^2 + 3.0 \times (3.0)^2\right]$$

$$\Delta KE = -8.4\ J$$

بما أن التغيُّر في الطاقة الحركية للنظام سالبٌ، فهذا يعني حدوثَ نقصٍ في الطاقة الحركيّة، والكرتان لم تلتحما بعد التصادُم؛ إذًا التصادُم غيرُ مرن.

مثال7 : كرتا بلياردو كتلة كل منهما (16.0 kg . تتحرك الكرة الحمراء (A) باتجاه محور x + بسرعة (2m/s) نحو الكرة الزرقاء (B) الساكنة وتتصادمان رأسا برأس تصادماً مرناً، أنظر الشكل. أحسب مقدار سرعة الكرة (B) بعد التصادم، وأُحدد اتجاهها.

تصادم مرن لكرتين في بُعد واحد.

المعطيات: $m_A = m_B = 0.16\ \text{kg},\ v_{Ai} = 2\ \text{m/s},\ +x,\ v_{Bi} = 0.$

المطلوب: $v_{Bf} = ?$

الحلّ: أختارُ نظام إحداثيّاتٍ يكون فيه الاتّجاه الموجب باتّجاه محور $+x$.

أُطبّقُ قانون حفظ الزخَم الخطيّ على نظام الكرتين.

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

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

لأنّ $m_A = m_B$ ؛ فإنها تُختَصر من المعادلة وتصبح كما يأتي:

$$v_{Ai} + v_{Bi} - v_{Af} + v_{Bf}$$

$$2 + 0 = v_{Af} + v_{Bf}$$

$$v_{Af} + v_{Bf} = 2$$

أجد v_{Af} بدلالة v_{Bf} كما يأتي:

$$v_{Af} = 2 - v_{Bf} \quad \ldots\ldots 1$$

بما أنه يوجد كميتان مجهولتان؛ أحتاج إلى معادلةٍ ثانيةٍ أحصل عليها بتطبيق حفظ الطاقة الحركيّة على نظام الكرتين قبل التصادُم وبعدَه؛ لأن التصادُم مرن.

$$\frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2 = \frac{1}{2} m_A v_{Af}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bf}^2$$

ولأن $m_A = m_B$ فإنّها تُختَصر من المعادلة، وأُعوّض $v_{Bi} = 0$، وتصبح كما يأتي:

$$4 + 0 = v_{Af}^2 + v_{Bf}^2$$

$$v_{Af}^2 + v_{Bf}^2 = 4 \quad \ldots\ldots 2$$

بتعويض المعادلة 1 في المعادلة 2 لإيجاد مقدار v_{Bf}؛ أحصلُ على ما يأتي:

$$(2 - v_{Bf})^2 + v_{Bf}^2 = 4$$

$$4 + v_{Bf}^2 - 4v_{Bf} + v_{Bf}^2 = 4$$

$$2v_{Bf}^2 - 4\, v_{Bf} = 0$$

$$v_{Bf}\,(v_{Bf} - 2) = 0$$

وبحلّ هذه المعادلة أتوصّل إلى حلّيْن لها، الأول: $v_{Bf} = 2\ \text{m/s}$، والثاني: $v_{Bf} = 0$. الحلُّ الأول يُوضّح أنّ سرعة الكرة (B) بعد التصادُم موجبةٌ، وهذا يعني أن اتّجاه سرعتها باتّجاه محور $+x$، أي باتّجاه سرعة الكرة (A) نفسِه قبل التصادُم.

بتعويض الحل الثاني $v_{Bf} = 0$ في المعادلة 1 أجد أن $v_{Af} = 2\ m/s$، أي أنّ الكرة A اخترقت الكرة B واستمرت في الحركة باتّجاه محور $+x$، وهذا غير ممكن، إذًا: $v_{Bf} = 2\ m/s$.

أي أنّ الكرةَ (A) سكنت بعد التصادُم، بينما اكتسبت الكرةُ (B) السرعةَ الابتدائية للكرة (A). وهذا يحدُث إذا كان التصادُم مرنًا، وكان للكرتين الكتلة نفسها.

مثال 8: أطلق سامي سهماً كتلته (03.0 kg) أفقياً باتجاه بندول قذفي كتلته (72.0 kg)؛ فاصطدم به والتحما معاً، بحيث كان أقصى ارتفاع وصل إليه البندول فوق المستوى الابتدائي له يساوي (20cm). باعتبار تسارع السقوط الحر ($10m/s^2$)، أُجيب عما يأتي:

أ . أي مراحل حركة النظام المُكوّن من البندول والسهم يكون فيها الزخم الخطي محفوظا؟

ب. أي مراحل حركة النظام تكون فيها الطاقة الميكانيكيّة محفوظة؟

جـ. أحسب مقدار السرعة الابتدائية للسهم.

المعطيات: أفترض رمز كتلة البندول القذفيّ A ورمز السهم B.

$$m_A = 0.72\ kg,\ m_B = 0.03\ kg,\ h = 20\ cm = 0.20\ m,\ g = 10\ m/s^2.$$

المطلوب:

$$v_{Bi} = ?$$

الحلّ:

أ .يكون الزخَم الخطيّ محفوظًا في التصادُم عديم المرونة بين السهم والبندول.

ب.تكون الطاقة الميكانيكيّة محفوظةً للسهم قبل التصادُم، كما تكونُ الطاقة الميكانيكيّة محفوظةً للبندول والسهم بدءًا من حركتهما معًا بعد التصادُم مباشرةً، وحتى وصولهما إلى أقصى ارتفاع، وذلك عند إهمال قوى الاحتكاك.

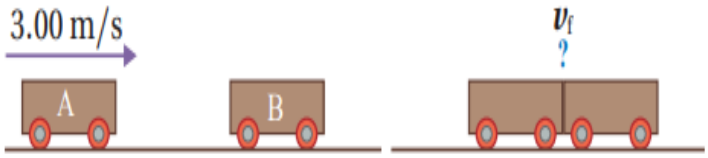
جـ.أحسبُ مقدار السرعة الابتدائية للسهم باستخدام النتيجة السابقة التي توصلت إليها في البندول القذفيِّ، كما يأتي:

$$v_{Bi} = \left(\frac{m_A + m_B}{m_B}\right)\sqrt{2gh}$$

$$= \left(\frac{0.72 + 0.03}{0.03}\right)\sqrt{2 \times 10 \times 0.20}$$

$$= 50\ m/s$$

مثال 9: عربة قطار كتلتها (1.8×10^3 kg) تتحرك في مسار أُفقي مستقيم لسكة حديد بسرعة مقدارها(3.00 m/s) محور x + ، فتصطدم بعربة أُخرى كتلتها (2.20×10^3 kg) تقف على المسار نفسه، وتلتحمان معا وتتحركان على المسار المستقيم لسكة الحديد نفسه، كما هو موضح في الشكل أُجيب عما يأتي:



أ . أحسب مقدار سرعة عربتي القطار بعد التصادم، وأُحدّد اتجاهها.

ب. ما نوع التصادم؟ وهل الطاقة الحركية محفوظة في هذا النوع من التصادمات؟

المعطيات: $m_A = 1.80 \times 10^3\ \text{kg},\ m_B = 2.20 \times 10^3\ \text{kg},\ v_{Ai} = 3.00\ \text{m/s}, +x,\ v_{Bi} = 0.$

المطلوب: $v_f = ?$

الحل: أختار نظام إحداثيات يكون فيه الاتّجاه الموجب باتّجاه محور $+x$.

أ . أُطبّق قانون حفظ الزخَم الخطيِّ على العربتين قبل التصادُم مباشرةً وبعد التصادُم مباشرةً.

$$\sum p_i = \sum p_f$$

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_f$$

$$1.80 \times 10^3 \times 3.00 + 2.20 \times 10^3 \times 0 = (1.80 \times 10^3 + 2.20 \times 10^3)\, v_f$$

$$v_f = 1.35\ \text{m/s}$$

$$v_f = 1.35\ \text{m/s}, +x$$

ب.بما أن عربتي القطار التحمتا معًا بعد التصادُم فهو تصادم عديم المرونة. وأتأكّدُ من ذلك عن طريق مقارنة الطاقة الحركية لنظام العربتين قبل التصادُم بالطاقة الحركية للنظام بعد التصادُم.

$$KE_i = \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2 = \frac{1}{2} \times 1.80 \times 10^3 \times (3.00)^2 + \frac{1}{2} \times 2.20 \times 10^3 \times 0$$

$$= 8.10 \times 10^3\ \text{J}$$

$$KE_f = \frac{1}{2} (m_A + m_B) v_f^2 = \frac{1}{2} (1.80 \times 10^3 + 2.20 \times 10^3) \times (1.35)^2$$

$$= 3.65 \times 10^3\ \text{J}$$

$$\Delta KE = 3.65 \times 10^3 - 8.10 \times 10^3$$

$$= -4.45 \times 10^3\ \text{J}$$

التغير في الطاقة الحركية سالب، أي أن الطاقة الحركية غير محفوظة، والعربتان التحمتا معاً بعد التصادم؛ لذا فإنَّ **التصادم عديم المرونة**.

تمرين ص 30:

1. **أحسب**: أطلق مُحقِّق رصاصة كتلتها (030.0 kg) أُفقياً باتجاه بندول قذفي كتلته (97.0 kg)، فاصطدمت به والتحما معاً، فكان أقصى ارتفاع وصل إليه البندول فوق المستوى الابتدائي له (45 cm) . أحسب مقدار السرعة الابتدائية للرصاصة.

الحل:

$$v_{1A} = \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1}\right)\sqrt{2gh}$$

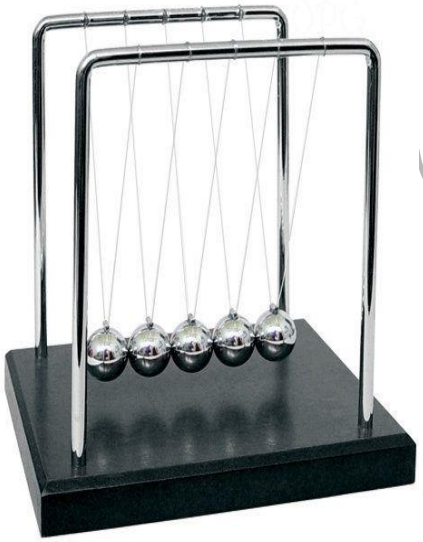
$$= \left(\frac{0.030 + 0.97}{0.030}\right)\sqrt{2 \times 10 \times 0.45} = 100 \text{ m/s}$$

2. **تفكير ناقد**: تظهر في الشكل أدناه لعبة شهيرة تسمى كرات نيوتن (Newton's cardle)؛ تتكون من كرات عدّة فلزّية متماثلة متراصّة معلّقة بخيوط خفيفة. عند سحب إحدى الكرات الفلزية الخارجية نحو الخارج ثم إفلاتها؛ فإنّها تصطدم تصادمًا مرنًا بالكرة التي كانت مجاورة لها، وبدلًا من حركة هذه الكرة؛ أُلاحظ أنّ الكرة الخارجية على الجانب الآخر من اللعبة تقفز في الهواء.

أ . **أُفسّر** ما الذي حدث.

ب. **أتوقع**: ماذا سيحدث إذا سحبتُ كرتين من الجانب الأيسر جانبيًّا ثم أفلتّهما معًا؟

جـ. **أتوقع**: ماذا سيحدث إذا رفعتُ الكرتين الخارجيتين كلتيهما على الجانبين إلى الارتفاع نفسه وأفلتّهما في اللحظة نفسها؟



الاجابة:

أ. توضح هذه اللعبة قانون حفظ الزخم الخطي، فالكرات متراصة لا يوجد فراغ بينها يسمح بحركتها، وبتطبيق قانون حفظ الزخم الخطي بين كل كرتين متجاورتين ينتقل الزخم الخطي من كرة إلى أُخرى حتى يصل الكرة التي على الجانب الآخر فتقفز في الهواء.

ب. بما أن الكرات متماثلة والتصادم مرن فإنه سيقفز كرتين من الجانب الآخر حسب قانون حفظ الزخم الخطي.
(حفظ الطاقة الحركية يؤدي الى قفز كرتين وليس كرة واحدة).

ج. يكون الزخم الخطي الكلي صفراً مباشرة قبل التصادم ومباشرة بعده أيضا، لذا تتحرك الكرتان في اتجاهين متعاكسين وبسرعات مقاديرها متساوية مباشرة بعد التصادم (ويتحقق حفظ الطاقة الحركية)، وتعود كل منهما الى ارتفاعها الابتدائي نفسه نتيجة لحفظ الطاقة الميكانيكية.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما نوعا التصادُم بحسب حفظ الطاقة الحركية؟ وما الفرق بينهما؟

2. **أُفسّر:** عندما تتصادم سيارتان فإنهما عادةً لا تلتحمان معًا؛ فهل يعني ذلك أنّ تصادُمَهما مرنٌ؟ أوضح إجابتي.

3. **أُحلّل وأستنتج:** تصادَم جسمان تصادُمًا مرنًا. أُجيب عمّا يأتي:

أ. هل مقدارُ الزخَم الخطيّ لكلّ جسمٍ قبل التصادُم يساوي مقدارَ زخَمه الخطيّ بعد التصادُم؟ أُفسّر إجابتي.

ب. هل مقدارُ الطاقة الحركية لكلّ جسمٍ قبل التصادُم يساوي مقدار طاقته الحركية بعد التصادُم؟ أُفسّر إجابتي.

4. **أستخدم المتغيرات:** كرةُ صلصالٍ كتلتها (2 kg) تتحرك شرقًا بسرعةٍ ثابتةٍ، وتصطدم بكرة صلصالٍ أُخرى ساكنة، فتلتحمان معًا وتتحركان شرقًا بسرعة يساوي مقدارُها رُبعَ مقدار السرعة الابتدائية للكرة الأولى. أحسبُ مقدار كتلة الكرة الثانية.

5. **أُحلّل وأستنتج:** كرتا بلياردو (A و B) لهما الكتلة نفسها وتتحركان في الاتّجاه نفسه في خط مستقيم، كما هو موضّحٌ في الشكل. قبل التصادُم، مقدار سرعة الكرة (A) يزيد بمقدار (1.2 m/s) عن مقدار سرعة الكرة (B). بعد التصادُم، مقدار سرعة الكرة (A) يساوي مقدار سرعة الكرة (B) قبل التصادُم، ومقدار سرعة الكرة (B) يزيد بمقدار (1.2 m/s) عن مقدار سرعة الكرة (A). هل التصادُم مرن أم غير مرن؟ أوضّح إجابتي.

6. **أُصدر حُكمًا:** تتحرك شاحنة غربًا بسرعةٍ ثابتة؛ فتصطدم تصادمًا عديم المرونة مع سيارةٍ صغيرةٍ تتحرّكُ شرقًا بمقدار سرعة الشاحنة نفسه. أُجيب عمّا يأتي:

أ. أيّهما يكون مقدار التغيُّر في زخمها الخطي أكبر: الشاحنة أم السيارة؟

ب. أيّهما يكون مقدار التغيُّر في طاقتها الحركية أكبر: الشاحنة أم السيارة؟

إجابات مراجعة الدرس ص 31

1 .نوعا التصادم: تصادم مرن، وتصادم غير مرن.
الفرق بينهما: في التصادم المرن تكون الطاقة الحركية محفوظة للأجسام المتصادمة، والأجسام لا تلتحم بعد التصادم.
في التصادم غير المرن لا تكون الطاقة الحركية محفوظة للأجسام المتصادمة، وقد تلتحم الأجسام معاً بعد التصادم حيث يسمّى عندها تصادم عديم المرونة.
2 .لا، التصادم غير المرن ؛ إذ يُبدّد جزء من الطاقة الحركية الكلية في تهشيم هيكل السيارتين مثلاً، يُبدّد جزء بسيط على شكل طاقة صوتية، إضافة إلى أشكال أُخرى من الطاقة.
3 .أ. الزخم الخطي للنظام المكوّن من الجسمين يكون محفوظا، وليس لكل جسم على حدة.
ب. التصادم مرن، لذا فإن الطاقة الحركية للنظام المكوّن من الجسمين تكون محفوظة، وليس لكل جسم على حدة.

4. أُطبق قانون حفظ الزخم الخطي على النظام المكوّن من الكرتين.

$$\Sigma \boldsymbol{p}_{\mathrm{i}} = \Sigma \boldsymbol{p}_{\mathrm{f}}$$
$$m_{\mathrm{A}} v_{\mathrm{Ai}} + m_{\mathrm{B}} v_{\mathrm{Bi}} = (m_{\mathrm{A}} + m_{\mathrm{B}})\, v_{\mathrm{f}}$$
$$2 \times v_{\mathrm{Ai}} + m_{\mathrm{B}} \times 0 = (2 + m_{\mathrm{B}}) v_{\mathrm{f}}$$

أعوّض: $v_{\mathrm{f}} = \frac{1}{4} v_{\mathrm{Ai}}$.

$$2 \times v_{\mathrm{Ai}} = (2 + m_{\mathrm{B}}) \frac{1}{4} v_{\mathrm{Ai}}$$
$$m_{\mathrm{B}} = 6\ \mathrm{kg}$$

5. أحسب التغير في الطاقة الحركية للكرتين كما يأتي:

$$\Delta KE = KE_{\mathrm{f}} - KE_{\mathrm{i}}$$
$$= \frac{1}{2} m {v_{\mathrm{Af}}}^2 + \frac{1}{2} m {v_{\mathrm{Bf}}}^2 - \left[\frac{1}{2} m {v_{\mathrm{Ai}}}^2 + \frac{1}{2} m {v_{\mathrm{Bi}}}^2\right]$$
$$= \frac{1}{2} \times m \times v^2 + \frac{1}{2} \times m \times (v + 1.2)^2 - \frac{1}{2} \times m \times (v + 1.2)^2 - \frac{1}{2} \times m \times v^2 = 0$$

إذًا التصادم مرن.

6. أ. الزخم الخطي محفوظ قبل التصادم وبعده مباشرة. فيكون التغيّر في الزخم الخطي للنظام صفرًا، وهذا يعني أنّ مقداري التغيّر في الزخم الخطي للسيارة والشاحنة متساويان.

ب. السرعتان الابتدائيتان للشاحنة والسيارة متساويتان في المقدار، وسرعتهما النهائية هي نفسها لأنهما التحمتا معًا، لذا فإن التغير في الطاقة الحركية يعتمد على الكتلة فقط، وبما أن كتلة الشاحنة أكبر فإن التغير في طاقتها الحركية أكبر.

مراجعة الوحدة

1. أضعُ دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ جملة ممّا يأتي:

1. وحدة قياس الزخَم الخطيِّ حسب النظام الدولي للوحدات، هي:
أ . N.m/s. ب. $kg.m^2/s$. جـ. N/s. د. kg.m/s.

2. كلّما زاد زمن تأثير قوّة (F) في جسم كتلته (m):
أ . زاد الدفع المؤثر فيه، وزاد التغيُّر في زخَمه الخطيّ.
ب. زاد الدفع المؤثر فيه، ونقصَ التغيُّر في زخَمه الخطيّ.
جـ. نقصَ الدفع المؤثر فيه، وزاد التغيُّر في زخَمه الخطيّ.
د . نقصَ كلّ من: الدفع المؤثر فيه، والتغيُّر في زخَمه الخطيّ.

3. يعتمد الزخَمُ الخطيُّ لجسم على:
أ . كتلته فقط. ب. سرعته المُتّجهة فقط.
جـ. كتلته وسرعته المُتّجهة. د . وزنه وتسارع السقوط الحر.

4. يتحرّك جسم كتلته (10 kg) أُفقيًّا بسرعة ثابتة (5 m/s) شرقًا. إنّ مقدار الزخَم الخطيّ لهذا الجسم واتّجاهه هو:
أ. 0.5 kg.m/s شرقًا. ب. 50 kg.m/s غربًا. جـ. 2 kg.m/s غربًا. د. 50 kg.m/s شرقًا.

5. تتحرك سيارة شمالًا بسرعةٍ ثابتةٍ؛ بحيث كان زخمُها الخطي يساوي (9×10^4 N.s). إذا تحركت السيارة جنوبًا بمقدار السرعة نفسه فإن زخَمها الخطيّ يساوي:
أ. 9×10^4 N.s ب. -9×10^4 N.s جـ. 18×10^4 N.s د. 0 N.s

6. تركض لينا غربًا بسرعة مقدارها (3 m/s). إذا ضاعفت لينا مقدارَ سرعتها مرّتان فإنّ مقدار زخَمها الخطيّ:
أ . يتضاعفُ مرّتان. ب. يتضاعف أربع مرات. جـ. يقلُّ بمقدار النصف. د. يقلُّ بمقدار الربع.

7. صندوقان (A وB) يستقران على سطح أفقيٍّ أملسٍ. أثّرت في كل منهما القوّة المُحصّلة نفسُها باتّجاه محور $+x$ للفترة الزمنية (Δt) نفسِها. إذا علمتُ أن كتلة الصُّندوق (m_A) أكبر من كتلة الصُّندوق (m_B)؛ فأيُّ العلاقات الآتية صحيحة في نهاية الفترة الزمنية؟
أ. $p_A < p_B, KE_A < KE_B$ ب. $p_A = p_B, KE_A > KE_B$
جـ. $p_A = p_B, KE_A < KE_B$ د . $p_A > p_B, KE_A > KE_B$

8. رُميَتْ كرةٌ كتلتُها m أُفقيًّا بسرعة مقدارها v نحو جدار؛ فارتدّت الكرة أُفقيًّا بمقدار السرعة نفسه. إنّ مقدار التغيُّر في الزخَم الخطيّ للكرة يساوي:
أ. mv ب. $-mv$ جـ. $2mv$ د. صفرًا

9. كرةُ (A) تتحرك بسرعة (2 m/s) غربًا؛ فتصطدم بكرةٍ أُخرى ساكنةٍ (B) مماثلةٍ لها تصادُمًا مرنًا في بُعدٍ واحد. إذا توقفت الكرة (A) بعد التصادُم، فإنّ مقدارَ سرعة الكرة (B) واتّجاهَها بعد التصادُم يساوي:
أ. 2 m/s شرقًا. ب. 2 m/s غربًا. جـ. 1 m/s شرقًا. د. 1 m/s غربًا.

مراجعة الوحدة

10. يركض عمرُ شرقًا بسرعة (4.0 m/s)، ويقفز في عربةٍ كتلتُها (90.0 kg) تتحرك شرقًا بسرعةٍ مقدارها (1.5 m/s). إذا علمتُ أن كتلة عمر (60.0 kg)؛ فما مقدارُ سرعة حركة عمرَ والعربة معًا؟ وما اتّجاهها؟

أ. 2.0 m/s شرقًا. ب. 5.5 m/s غربًا. جـ. 4.2 m/s غربًا. د. 2.5 m/s شرقًا.

11. تقفز شذى من قاربٍ ساكنٍ كتلته (300 kg) إلى الشاطئ بسرعةٍ أفقيّةٍ مقدارُها (3 m/s). إذا علمت أن كتلة شذى (50 kg) فما مقدار سرعة حركة القارب؟ وما اتّجاهها؟

أ. 3 m/s نحو الشاطئ. ب. 3 m/s بعيدًا عن الشاطئ.

جـ. 0.5 m/s بعيدًا عن الشاطئ. د. 18 m/s نحو الشاطئ.

أقرأُ الفقرة الآتية، ثم أُجيب عن الأسئلة (12–14) بافتراض الاتّجاه الموجب باتّجاه محور $+x$.

سيارةٌ رياضيةٌ كتلتُها (1.0×10^3 kg) تتحرّك شرقًا ($+x$) بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارها (90.0 m/s)، فتصطدم بشاحنةٍ كتلتُها (3.0×10^3 kg) تتحرّك في الاتّجاه نفسه. بعد التصادُم التحمتا معًا وتحركتا على المسار المستقيم نفسه قبل التصادُم بسرعةٍ مقدارُها (25 m/s).

12. ما الزخَم الخطيّ الكُلّي للسيارة والشاحنة بعد التصادُم؟

أ. -7.5×10^4 kg.m/s ب. 1.0×10^5 kg.m/s

جـ. 7.5×10^4 kg.m/s د. -1.0×10^5 kg.m/s

13. ما الزخَم الخطيّ الكُلّي للسيارة والشاحنة قبل التصادُم؟

أ. -7.5×10^4 kg.m/s ب. 7.5×10^4 kg.m/s جـ. 1.0×10^5 kg.m/s د. -1.0×10^5 kg.m/s

14. ما السرعة المُتّجهة للشاحنة قبل التصادُم مباشرةً؟

أ. −25 m/s ب. 25 m/s جـ. −3.3 m/s د. 3.3 m/s

15. المساحة المحصورة تحت منحنى (القوّة – الزمن) تساوي مقدار:

أ. القوّة المُحصّلة ب. الزخَم الخطيّ جـ. الدفع د. الطاقة الحركية

2. أُفسّرُ ما يأتي:

أ . تقف نرجسُ على زلاجةٍ ساكنةٍ موضوعةٍ على أرضيّة غرفةٍ ملساء وهي تحمل حقيبتها. وعندما قذفت حقيبتها إلى الأمام تحركت هي والزلاجة معًا إلى الخلف.

ب. تُغطّى أرضيّة ساحات الألعاب عادةً بالعشب أو الرمل، حيث يكمن خطر سقوط الأطفال.

3. أُحلّل: يقف صيّاد على سطح قاربٍ صيدٍ طويلٍ ساكنٍ، ثم يتحرك من نهاية القارب نحو مقدمته. أُجيب عمّا يأتي:

أ . **أُفسّر:** هل يتحرك القارب أم لا؟ أُفسّر إجابتي.

ب. **أُقارن** بين مجموع الزخَم الخطيّ للقارب والصيّاد قبل بدء حركة الصيّاد وبعد حركته.

4. أُحلّل: جسمان (A و B) لهما الطاقة الحركية نفسها، هل يكون لهما مقدار الزخَم الخطيّ نفسه؟ أُفسّر إجابتي.

مراجعة الوحدة

5. **التفكير الناقد:** حمل رائدُ فضاءٍ حقيبة معدّاتٍ خاصةٍ لإصلاح خللٍ في الهيكل الخارجي للمحطّة الفضائية، وفي أثناء ذلك انقطع الحبل الذي يثبته بها. أقترحُ طريقةً يُمكن أن يعود بها الرائد إلى المحطّة الفضائية. أفسّر إجابتي.

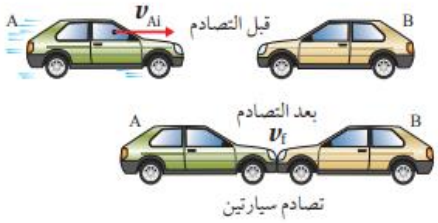
6. **أُصدرُ حُكمًا:** في أثناء دراسة غيثٍ لهذا الدرس، قال: «إنَّ وسائل الحماية في السيارات قديمًا أفضل منها في السيارات الحالية؛ إذ أن هياكل السيارات الحديثة مرنةٌ تتشوّه بسهولة عند تعرّض السيارة لحادث، على عكس هياكل السيارات القديمة الصلبة». أناقشُ صحّةَ قولِ غيث.

7. **أُحلّل وأستنتج:** تتحرّك سيارةٌ كتلتها (1.35×10^3 kg) بسرعةٍ مقدارُها (15 m/s) شرقًا، فتصطدم بجدارٍ وتتوقف تمامًا خلال فترة زمنيّةٍ مقدارُها (0.115 s)، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . التغيُّر في الزخَم الخطيّ للسيارة.

ب. القوّة المتوسطة التي يؤثر به الجدار في السيارة.

8. **أحسبُ:** السيارة (A) كتلتها (1.1×10^3 kg) تتحرك بسرعة (6.4 m/s) باتّجاه محور $+x$، فتصطدم رأسًا برأس بسيارةٍ ساكنةٍ (B) كتلتها (1.2×10^3 kg)؛ وتلتحم السيارتان معًا بعد التصادُم وتتحرّكان على المسار المستقيم نفسه قبل التصادُم، كما هو موضح في الشكل المجاور. أحسبُ مقدار ما يأتي:



أ . سرعة السيارتين بعد التصادُم، وأُحدّد اتّجاهها.

ب. الدفع الذي تؤثر به السيارة (B) في السيارة (A).

ب. الدفع الذي تؤثر به السيارة (B) في السيارة (A).

9. **أستخدم الأرقام:** جسمٌ ساكنٌ موضوع على سطح أُفقيٍّ أملس يتكون من جزأين، A و B. كتلة الجزء A تساوي (8.0×10^2 kg)، وكتلة الجزء B تساوي (1.5×10^3 kg). إذا انفصل الجزء B عن الجزء A وتحرك مبتعدًا بسرعة (10.0 m/s)، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . سرعة اندفاع الجزء A، وأُحدّد اتّجاهها.

ب. الدفع المؤثر في الجزء A .

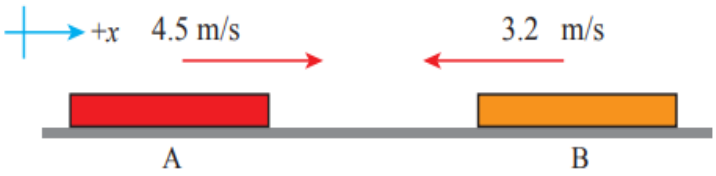
10. **أُصدرُ حُكمًا:** في أثناء دراسة رُوَيْدَا هذه الوحدة، قالت: «إنَّه عندما يقفز شخص من ارتفاعٍ معيّنٍ عن سطح الأرض؛ فإنه يتعيّن عليه أن يُبقي رجليه ممدودتين لحظة ملامسة قدميه سطح الأرض حفاظًا على سلامته». أناقشُ صحة قول رُوَيْدَا بناءً على المفاهيم الفيزيائية التي تعلمتُها في هذه الوحدة.

11. **أحسبُ:** أثّرت قوّة محصلة مقدارها (1×10^3 N) في جسم ساكن كتلته (10 kg) وحرّكته باتّجاهها فترةً زمنيةً مقدارها (0.01 s). أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . التغيُّر في الزخَم الخطيّ للجسم.

ب. السرعة النهائية للجسم.

مراجعة الوحدة



12. جسمان (A و B)، ينزلقان باتّجاهين متعاكسين على مسار أُفقي مستقيم أملس كما هو موضح في الشكل، فيصطدمان رأسًا برأس ويرتدان باتّجاهين متعاكسين على المسار المستقيم نفسه. إذا علمت أن كتلة الجسم A تساوي (0.28 kg)، وسرعة الجسمين بعد التصادُم مباشرةً: ($v_{Af} = -1.9$ m/s) و ($v_{Bf} = 3.7$ m/s)، فأُجيب عمّا يأتي:

أ . أحسبُ مقدار كتلة الجسم (B).

ب. أستخدم القانون الثالث لنيوتن في الحركة لتوضيح سبب أن يكون الزخَم الخطيّ محفوظًا في هذا التصادُم.

جـ. أوضح هل التصادُم مرنٌ أم غير مرن؟

13. أطلقت مريمُ سهمًا كتلته (0.20 kg) أُفقيًّا بسرعة مقدارها (15 m/s) باتّجاه الغرب نحو هدف ساكن كتلته (5.8 kg)، فاصطدم به واستقرّ فيه وتحرّكا كجسم واحد نحو الغرب. أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . سرعة النظام (السهم والهدف) بعد التصادُم.

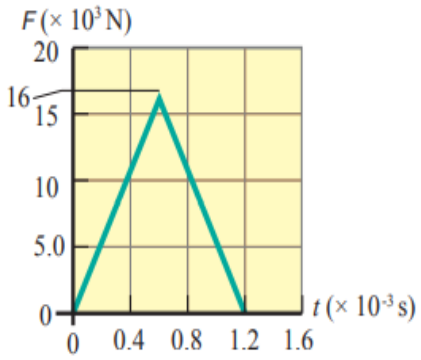
ب. التغيُّر في الطاقة الحركية للنظام.

14. تنزلق كرة زجاجية كتلتها (0.015 kg) باتّجاه الغرب بسرعة مقدارها (0.225 m/s)، فتصطدم رأسًا برأس بكرة أخرى كتلتها (0.030 kg) تنزلق شرقًا بسرعة مقدارها (0.180 m/s). بعد التصادُم ارتدّت الكرة الأولى شرقًا بسرعة مقدارها (0.315 m/s). أُجيب عمّا يأتي:

أ . أحسبُ مقدار سرعة الكرة الثانية بعد التصادُم، وأُحدّد اتّجاهها.

ب. أُحدّد نوع التصادُم.

15. **أُفسّر البيانات:** يوضح الشكل المجاور منحنى (القوّة – الزمن) للقوة المُحصّلة المؤثّرة في كرة بيسبول كتلتها (145 g) في أثناء زمن تلامسها مع المضرب. أستعين بهذا المنحنى والبيانات المثبتة فيه للإجابة عمّا يأتي بإهمال وزن الكرة:



أ. ما الذي يُمثّله الرقم (16) على محور القوّة؟

ب. أحسبُ مقدار الدفع المؤثر في الكرة خلال زمن تلامسها مع المضرب.

جـ. أحسبُ مقدار السرعة النهائية للكرة في نهاية الفترة الزمنية لتأثير القوّة المُحصّلة فيها باعتبارها ساكنة لحظة بدء تأثير القوّة المُحصّلة.

د. أحسبُ مقدار القوّة المتوسطة المؤثّرة في الكرة خلال زمن تلامسها مع المضرب.

إجابات مراجعة الوحدة 36 - 33 ا

.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
د	أ	ج	د	ب	أ	ج	ج	ب	د	ج	ب	ج	د	ج

.2

أ. الزخم الخطي للنظام (نرجس–الحقيبة–الزلاجة) محفوظ ويساوي صفرًا؛ بسبب وضع السكون قبل رمي الحقيبة، فالزخم الخطي للحقيبة عند قذفها يساوي الزخم الخطي لنرجس والزلاجة في المقدار، ويعاكسه في الاتجاه، لذلك تتحرك نرجس والزلاجة بعكس اتجاه حركة الحقيبة.

ب. العشب أو الرمل يتشوهان أثناء الاصطدام، بحيث يزداد زمن اصطدام الطفل. وباستخدام العلاقة $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ ، ولأن مقدار التغير في الزخم ثابت، فإن مقدار القوة المؤثرة يقل بزيادة Δt.

.3

أ. نعم يتحرك القارب؛ الزخم الخطي محفوظ، لذا فإن حركة الصيّاد نحو مقدمة القارب تؤدي إلى حركة القارب في الاتجاه المعاكس بمقدار الزخم الخطي نفسه، فيكون مجموع الزخم الخطي لهما صفرًا.

ب. الزخم الخطي الابتدائي للنظام المكوّن من القارب والصيّاد يساوي صفرًا، لذا يجب أن يساوي الزخم الخطي النهائي للنظام صفرًا أيضًا بحسب قانون حفظ الزخم الخطي.

4. لهما الطاقة الحركية نفسها:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2 \Rightarrow p_1v_1 = p_2v_2$$

لذلك يمتلكان مقدار الزخم الخطي نفسه فقط إذا تساوت سرعتاهما في المقدار وتساوت كتلتاهما أيضا.

5. يرمي رائد الفضاء حقيبة المعدّات بعيدًا عن المحطة الفضائية، وحسب قانون حفظ الزخم الخطي يندفع الرائد نحو المحطة.

6. كلام غيث غير صحيح علميًا؛ لأن التشوّه في هيكل السيارة عند تعرّضها لحادث يُساهم في إبطاء سرعتها تدريجيًا، وبالتالي زيادة زمن التصادم ممّا يُقلّل من مقدار القوة المؤثرة في السائق والركاب.

.7

أ. أختار الاتجاه الموجب باتجاه محور $+x$ (الشرق)، وأحسب التغير في الزخم الخطي للسيارة كما يأتي:

$$\Delta p = p_f - p_i = mv_f - mv_i = m(v_f - v_i)$$
$$= 1.35 \times 10^3 \times (0 - 15)$$
$$= -20.25 \times 10^3 \text{ kg.m/s}$$
$$= -2.025 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

التغير في الزخم الخطي سالب، إذ يكون باتجاه محور x–؛ باتجاه القوة المحصلة التي يؤثر بها الجدار في السيارة.

ب. أستخدم القانون الثاني لنيوتن.

$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-2.025 \times 10^4}{0.115} = -1.761 \times 10^5 \text{ N}$$

.8

أ. أختار نظام إحداثيات يكون فيه الاتجاه الموجب باتجاه محور $+x$.

أُطبّق قانون حفظ الزخم الخطي؛ الزخم الخطي الكلي للسيارتين قبل التصادم مباشرة يساوي الزخم الخطي الكلي لهما بعد التصادم مباشرة. بعد التصادم تتحرك السيارتان معًا كجسم واحد، بالسرعة نفسها على المسار نفسه قبل التصادم.

$$\sum p_i = \sum p_f$$

$$p_{Ai} + p_{Bi} = p_f$$

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_f$$

$$1.1 \times 10^3 \times 6.4 + 1.2 \times 10^3 \times 0 = (1.1 \times 10^3 + 1.2 \times 10^3) v_f$$

$$v_f = \frac{7.04 \times 10^3}{2.3 \times 10^3} = 3.06 \text{ m/s} \approx 3.1 \text{ m/s}$$

$$v_f = 3.1 \text{ m/s}, +x$$

السرعة المتجهة النهائية للسيارتين موجبة، وهذا يعني أن اتجاه سرعتهما باتجاه محور $+x$، أي بنفس اتجاه حركة السيارة (A) قبل التصادم.

ب. الدفع الذي تؤثر به السيارة (B) في السيارة (A) هو $(\mathbf{I}_{BA})$ ويساوي التغير في الزخم الخطي للسيارة (A). أستخدم مبرهنة (الزخم الخطي – الدفع) لحسابه.

$$I_{BA} = \Delta p_A = p_{Af} - p_{Ai}$$

$$= m_A(v_{Af} - v_{Ai}) = 1.1 \times 10^3 \times (3.1 - 6.4)$$

$$= -3.63 \times 10^3 \text{ kg. m/s}$$

$$\mathbf{I}_{BA} = 3.63 \times 10^3 \text{ kg. m/s}, -x$$

أسئلة إضافية

1- في الشكل الموضح ، ما مقدار واتجاه السرعة النهائية ؟

$P = m\,v$
$P = 30kg \cdot 2.0m/s$
$P = 60kgm/s$

$m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$
$30kg \cdot (+2.0m/s) = 22kg \cdot v_2$
$v_2 = +2.73m/s$

2- ما مقدار كتلة دراجة زخمها الخطي 108 kg·m/s عند سرعة 12 m/s ؟

m=9 kg

3- جد مقدار القوة المحصلة عند دفع جسم 18.2 N·s خلال 0.5 s .

F= 36.4 N

4- تعمل قوة ناتجة تبلغ 150 N على مقطورة Kg300. احسب المدة التي تستغرقها هذه القوة لتغيير سرعة المقطورة من m/s2 إلى m/s2 في نفس الاتجاه. افترض أن القوى تعمل على اليمين وهو اتجاه حركة المقطورة.

الحل:

$$\vec{F}_{net}\Delta t = \Delta\vec{p}$$
$$= m\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$
$$\Delta t = \frac{m}{\vec{F}_{net}}(\vec{v}_f - \vec{v}_i)\,.$$

$$\Delta t = \frac{m}{\vec{F}_{net}}(\vec{v}_f - \vec{v}_i)$$
$$\Delta t = \left(\frac{300}{+150}\right)((+6) - (+2))$$
$$\Delta t = \left(\frac{300}{150}\right)(4)$$
$$\Delta t = \frac{(300)\,(+4)}{150}$$
$$\Delta t = 8\ s$$

5- اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي :

1- اي الكميات الآتية تمثل المعدل الزمني للتغير في الزخم الخطي ؟

أ) الدفع ب) الشغل ج) القوة د) التسارع

2- ما مقدار الدفع على الحائط عند اصطدام جسم كتلته 2kg يتحرك بسرعة 4m/s وارتداده بنفس السرعة بوحدة (N.s) باتجاه معاكس لحركته ؟

أ)8 ب) 16 ج)0 د32

3- اذا مثلت العلاقة البيانية بين الزخم الخطي لجسم على محور الصادات والزمن على محور السينات فان ميل الخط المستقيم يمثل :
أ) الزخم ب) مقلوب الدفع ج) الطاقة الحركية د) القوة
4- جسم كتلته 0.5kg سقط من ارتفاع 180cm عن سطح الأرض ، ما مقدار زخمه عند وصوله الأرض بوحدة (kg.m/s)
أ)5 ب)6 ج)3 د)9
5- في منحنى (القوة – الزمن) فان المساحة تحت المنحنى تمثل :
أ) التغير في السرعة ب) التسارع ج) الدفع د) الزخم
6- في التصادم عديم المرونة تكون النسبة بين الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم الى الطاقة الحركية للنظام بعد التصادم :
أ) اقل من واحد ب) واحد ج) اكبر من واحد د) صفرا
7- أي الكميات التالية تبقى محفوظة دائما في أي تصادم في نظام معزول :
أ) طاقة الحركة ب) الزخم ج) السرعة د) الطاقة الحركية
8- عندما يصطدم جسمان مختلفان في الكتلة فان الدفع الذي يؤثر فيه كل جسم في الآخر :
أ) متساو في المقدار ومتعاكس في الاتجاه لكل انواع التصادمات
ب) متساو في المقدار ومتعاكس في الاتجاه للتصادمات المرنة فقط
ج) متساو لكل انواع التصادمات
د) متساو في المقدار ومتعاكس في الاتجاه للتصادمات عديمة المرنة فقط
9- أي العبارات التالية ليست صحيحة لجميع انواع التصادمات في نظام معزول :
أ) يكون احد الجسيمين على الأقل متحركا ب) الطاقة الحركية للنظام محفوظة
ج) قد لا يتلامس الجسمان المتصادمان د) الزخم للنظام محفوظ
10- كرتان متماثلتان تتحركان باتجاهين متعاكسين بالسرعة نفسها . ان الزخم الخطي للنظام :
أ) mv ب)$2mv$ ج)0 د)$\frac{1}{2}mv^2$
11- اصطدم جسم كتلته (ك) وسرعته (ع) تصادما عديم المرونة مع جسم اخر ساكن كتلته (3) أمثال الأول ، فان الطاقة الحركية الضائعة نتيجة التصادم تساوي :
أ)$\frac{1}{2}mv^2$ ب)$\frac{1}{4}mv^2$ ج)$\frac{1}{8}mv^2$ د)$\frac{3}{8}mv^2$
12- كم مرة يتغير الدفع عند مضاعفة القوة المحصلة؟
أ) ضعفين ب)4 أضعاف ج) $\frac{1}{2}$ ضعف د) $\frac{1}{4}$ ضعف
13- ما هو التغير في زخم شخص كتلته 85 kg يركض بسرعة 8m/s للأمام عند الاصطدام بجدار والارتداد بسرعة 3m/s ؟
أ) 935kg.m/s - ب)1251 kg.m/s - ج) 435kg.m/ د) 894kg.m/s
14- الدفع يساوي:
أ) التغير في الزخم ب) التغير في سرعة كتلة الجسم ج) التغير في زمن القوة المحصلة د) جميع ما ذكر
15- ما مقدار الزخم الذي يمكن أن يمتلكه جسم متحرك بمضاعفة الكتلة؟
أ) ضعفين ب)4 أضعاف ج) $\frac{1}{2}$ ضعف د) $\frac{1}{4}$ ضعف
16- ما مقدار القوة المطلوبة لإيقاف كرة بيسبول 0.145 kg تتحرك بسرعة 44m/s في 0.020 s ؟
أ) 319N - ب) 319N ج) 638N د) 638N -