النيشان
محمد الخواجا

الزَّخمُ الخطيُّ والتَّصادُمات

النيشان في الفيزياء

الأستاذ محمد موسى الخواجا

0780539995

الوحدة الأولى :

الزخم الخطي والتصادمات

لمفهوم الزخَم الخطّي، وحفظِه والتصادمات وأنواعِها، تأثيراتٌ وتطبيقات مختلفة في كثير من الظواهر اليومية، ويعتمد عليها مبدأُ عملِ كثيرٍ من الأجهزة والآلات المهمّة في حياتنا .

الدرس الأول : الزخَم الخطّي والدفع

الفكرة الرئيسة : ترتبط مفاهيمُ الدفع والقوّة والتغيّر في الزخَم الخطّي بعلاقاتٍ رياضيّةٍ . ولحفظ الزخَم الخطّي أهمّية كبيرة في حياتنا اليومية .

الدرس الثاني : تطبيقات على حفظ الزخم الخطي

الفكرة الرئيسة : للتصادُمات نوعانِ رئيسانِ؛ تُساعد معرفتُهما في تصميم أجهزةٍ وأدواتٍ عدّةٍ يعتمد مبدأُ عملِها على هذه التصادُمات والحمايةِ منها .

الدرس الأول :

الزخم الخطي والدفع

الزخم الخطي

عندما تتحرك شاحنة وسيارة بالسرعة نفسها ، فإن إيقاف الشاحنة أصعب من إيقاف السيارة . أما عند تحرك سيارتين متساويتين في الكتلة ، فإن إيقاف السيارة الأقل سرعة أسهل من إيقاف السيارة الأكبر سرعة .

الزخم الخطي (كمية التحرك) : حاصل ضرب كتلة الجسم (m) في سرعته المتجهة (v) .

$$p = m\,v$$

- يرمز للزخم الخطي بالرمز (p) ، ويقاس بوحدة ($Kg\,.\,m\,/\,s$) .
- الزخم الخطي كمية متجهة ، له اتجاه السرعة نفسه .
- يعتبر الزخم الخطي مقياسا لممانعة الجسم لتغيير حالته الحركية .

العوامل التي يعتمد عليها الزخم الخطي :

كتلة الجسم (m) ، ويتناسب معها طرديا .

سرعة الجسم (v) ، ويتناسب معها طرديا .

قاعدة : كلما كان زخم الجسم أكبر ، كانت القوة التي نحتاجها لتغيير حالته الحركية أكبر .

سؤال (1) : ما وحدة قياس الزخم في النظام العالمي للوحدات ؟

كيلوغرام . متر / ثانية ($Kg.m/s$)

سؤال (2) : ما العوامل التي يعتمد عليها الزخم الخطي ؟

- كتلة الجسم (m)
- سرعة الجسم (v)

سؤال (3) : ما المقصود بأن زخم جسم ($10\ Kg.m/s$) .

- أن جسم كتلته $1\ kg$ يتحرك بسرعة $10\ m/s$.

أو نقول :

- أن جسم كتلته $10\ kg$ يتحرك بسرعة $1\ m/s$.

سؤال (4) : هل يختلف زخم سياره تتحرك جنوبا عن زخم السياره نفسها عندما تتحرك شمالا وبمقدار السرعه نفسها .

نعم، يختلفان في الاتجاه فقط، ولكنهما متساويان في المقدار.

سؤال (5) : ايهما له زخم اكبر ناقله نفط مثبته برصيف ميناء ام قطره مطر ساقطه .

قطرة المطر الساقطة هي التي لها زخم أكبر. والسبب :لأن ناقلة النفط ساكنة (سرعتها = صفر)، وبالتالي فإن زخمها يساوي صفراً مهما بلغت كتلتها. أما قطرة المطر فهي متحركة، وبالتالي لها زخم أكبر من الصفر.

سؤال (6) : سيارة كتلتها $1000\ Kg$ **تسير بسرعة** $20\ m/s$ **باتجاه الشرق ، احسب زخمها .**

$$P = m\,v = 20 \times 1000 = 20000$$
$$= 2 \times 10^4\ Kg.m/s \quad (+x)$$

سؤال (7) : في السؤال السابق ، كم يصبح الزخم عندما تتضاعف السرعة مرتين ؟

$$P = m\,v = 40 \times 1000 = 20000$$
$$= 4 \times 10^4\ Kg.m/s\ ,(+x)$$

سؤال (8) : ركل لاعب كرة قدم كتلتها 440 g **باتجاه المرمى الذي يقع إلى جهة الشرق ، إذا علمت أن الكرة تحركت لحظة ركلها بسرعة** 25 m/s **، فجد الزخم الخطي للكرة .**

$$p = m\,v = \frac{440}{1000} \times 25 = 11\ Kg.m/s\ ,(+x)$$

سؤال (9) : مركبتان متساويتان في الكتلة ، وسرعة الأولى ضعفا سرعة الثانية ، أيهما تحتاج قوة أكبر لإيقافها في نفس الفترة الزمنية ، فسر ذلك ؟

كلما كان الزخم أكبر ، فإن الجسم يحتاج قوة أكبر لإيقافه ، ولأن سرعة الأولى ضعفي سرعة الثانية ، فإن زخم الأولى ضعفي زخم الثانية ، وعليه فإن المركبة الأولى تحتاج قوة أكبر لإيقافها .

سؤال (10) : جسمان ($a\ ,b$) **، يتحركان بالسرعة نفسها ، فإذا كانت كتلة الجسم** (a) **ضعفي كتلة الجسم** (b) **، فاحسب زخم الجسم** (b) **بدلالة زخم الجسم** (a) .

$$m_a = 2m_b\ ,v_a = v_b$$
$$\frac{p_a}{p_b} = \frac{m_a v_a}{m_b v_b} = \frac{2m_b}{m_b} = \frac{2}{1}$$

سؤال 1: جسمان (A,B) لهما الكتلة نفسها، إذا كانت الطاقة الحركية للجسم A تساوي 4 أضعاف الطاقة الحركية للجسم B، فكم تبلغ نسبة زخم الجسم A إلى زخم الجسم B $(\frac{p_A}{p_B})$ ؟

سؤال 2: سيارة وشاحنة ضخمة تتحركان بحيث يكون لهما الزخم الخطي نفسه، أيهما يمتلك طاقة حركية أكبر؟ ولماذا؟

سؤال 3: إذا تضاعف زخم جسم بمقدار مرتين $(2p)$ مع ثبوت كتلته، فماذا يحدث لطاقته الحركية؟

سؤال 4: جسم كتلته $4\ kg$ يمتلك طاقة حركية مقدارها $50\ J$، احسب مقدار زخمه الخطي.

سؤال 5: قذيفة كتلتها $2\ kg$ وزخمها الخطي يساوي $60\ kg.m/s$، احسب الطاقة الحركية التي تمتلكها هذه القذيفة.

سؤال 6: هل يمكن لجسم أن يمتلك طاقة حركية دون أن يكون له زخم خطي؟ وضح إجابتك.

العلاقة بين الطاقة الحركية والزخم الخطي :

$$KE = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (m v) v = \frac{1}{2} P v \quad \rightarrow KE = \frac{1}{2} P v$$

ويمكن أن نقول :

وبضرب الطرفين في (m)

$$KE = \frac{1}{2} m v^2$$

$$m\,KE = \frac{1}{2} m^2 v^2 = \frac{1}{2} P^2 \quad \rightarrow P = \sqrt{2\,m\,KE}$$

سؤال (11) : احسب زخم كرة كتلتها (2Kg) تتحرك نحو الجنوب ، ولها طاقة حركية مقدارها (16 J) .

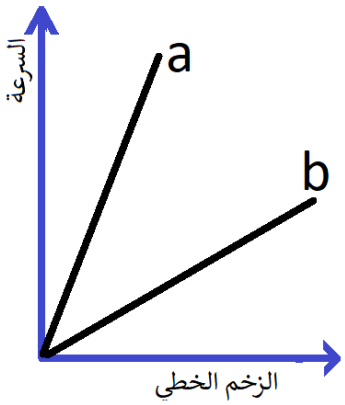
جنوباً , $p = \sqrt{2\,m\,KE} = \sqrt{2 \times 2 \times 16} = \sqrt{64} = 8\ kg.m/s$

سؤال (12) : متى يتساوى الزخم الخطي للجسم مع طاقته الحركية ؟

$$p = KE \rightarrow mv = \frac{1}{2} mv^2 \rightarrow v^2 - v = 0 \rightarrow v = 0 , v = 2\ m/s$$

عندما يكون الجسم ساكنا أو تكون سرعته $2m/s$.

سؤال (13) : يمثل الشكل البياني المجاور العلاقة بين الزخم الخطي والسرعة لجسمين (a , b) ، أي الجسمين هو الذي تكون كتلته أكبر ، وأي الجسمين يكون زخمه أكبر بثبوت السرعة ، وأي الجسمين تكون سرعته أكبر بثبوت الزخم الخطي .



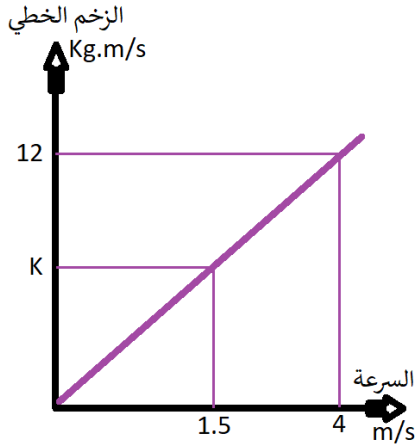
الجسم (b) تكون كتلته أكبر ، لأن ميل منحنى الجسم (b) أقل ، وميل المنحنى في الشكل يمثل مقلوب الكتلة .

بثبوت السرعة يكون الزخم الخطي للجسم (b) أكبر .

بثبوت الزخم الخطي تكون السرعة للجسم (a) أكبر .

سؤال (14) : الشكل المجاور يوضح منحنى العلاقة بين سرعة جسم وزخمه الخطي معتمدا على الرسم البياني :

- **احسب كتلة الجسم**
- **احسب الزخم الخطي للجسم عند النقطة k**



$$m = \frac{\Delta P}{\Delta v} = \frac{12 - 0}{4 - 0} = 3Kg$$

$$P_K = m\,v = 3 \times 1.5 = 4.5\ Kg.m/s$$

سؤال 7: هل يمكن أن يكون مقدار الزخم الخطي لسيارة مساويًا لمقدار الزخم الخطي لشاحنة كبيرة كتلتها عشرة أضعاف كتلة السيارة؟ أفسر إجابتي.

سؤال 8: إذا زادت الكتلة لجسم متحرك إلى الضعف وقلت سرعته إلى النصف، ماذا يحدث لكل من زخمه الخطي وطاقته الحركية؟

سؤال كتاب الأنشطة : استنتج: عند تحرك سيارة في مسار دائري بسرعة ثابتة مقدارًا؛ هل يتغير زخمها الخطي؟ أفسر إجابتي.

الزخم الخطي والقانون الثاني لنيوتن في الحركة

يلزم قوة لتغيير مقدار الزخم الخطي أو اتجاهه أو كليهما . فإذا اثرت قوه في جسم متحرك فانها تسبب لهذا الجسم احد الامور الاتيه :

- زياده سرعه الجسم اذا كانت باتجاه حركته الأصلية .
- نقصان سرعه الجسم اذا كانت عكس اتجاه حركته الأصلية .
- عكس اتجاه حركه الجسم اذا كانت عكس اتجاه حركته الأصلية .

ينص **قانون نيوتن الثاني في الحركة** حسب صيغة الزخم على أن : ((المعدل الزمني للتغير في الزخم الخطي لجسم يساوي القوة المحصلة المؤثرة فيه)) .

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

انتبه :

يكون متجه التغير في الزخم الخطي باتجاه القوة المحصلة دائما .

سؤال (15) : ما العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ومعدل تغير زخمه الخطي ؟

تتناسب القوة المحصلة المؤثرة في الجسم طرديا مع المعدل الزمني للتغير في الزخم الخطي .

سؤال (16) : أثبت العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في الجسم والتغير في الزخم الخطي للجسم رياضيا .

$$\sum F = m\,a = m\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{mv_f - mv_i}{\Delta t} = \frac{P_f - P_i}{\Delta t} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

سؤال (17) : سيارة كتلتها 1200 Kg تسير بسرعة 20 m/s نحو السينات الموجب ، فإذا ضغط السائق على الكوابح فانخفضت السرعة إلى 8 m/s ، في نفس الاتجاه في زمن مقداره 6 s ، احسب متوسط القوة التي أثرت في السيارة خلال هذه الفترة .

نفرض أن اتجاه $+x$ هو الاتجاه الموجب :

$$\sum F = m\,a = m\frac{\Delta v}{\Delta t} = 1200\frac{8-20}{6} = 1200\frac{-12}{6} = -2400\ N$$

والاشارة السالبة تعني أن اتجاه القوة باتجاه المحور $-x$.

سؤال (18) : جسم كتلته 2 Kg ، ينطلق من السكون بتأثير قوة مقدارها 20 N ، لمدة زمنية 0.2 s ، اوجد كم تصبح سرعة الجسم .

$$\Delta P = \sum F\,\Delta t = 20 \times 0.2 = 4\ Kg.m/s$$
$$4 = m\Delta v$$
$$4 = 2\,(v_f - 0)$$
$$v_f = 2\ m/s$$

سؤال (19) : تتحرك سياره كتلتها 900 Kg بسرعه متجهه 72 Km/h باتجاه الشرق :

- **اوجد مقدار زخمها الخطي واتجاهه .**
- **إذا ضغط السائق على الكوابح بشدة لتتوقف السيارة خلال 2 s ، فما قيمة متوسط قوة الاحتكاك .**

$$p = m\,v = 900 \times 72 \times \frac{10}{36} = 18000\ Kg.m/s\ , +x$$
$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{900\times(0-20)}{2} = -9000\ N\ , -x$$

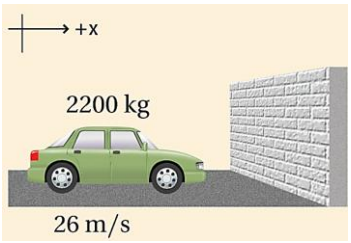
سؤال 9: تؤثر قوة محصلة ثابتة مقدارها 80 N على جسم ساكن لمدة 3 s . ما مقدار التغير في الزخم الخطي للجسم؟

سؤال 10: كرة بيسبول كتلتها 0.15 kg تسير أفقياً بسرعة 40 m/s نحو الشرق، ضربها ضربة لاعب بالمضرب فارتدت نحو الغرب بسرعة 50 m/s . إذا كان زمن التلامس بين المضرب والكرة 0.05 s، فما متوسط القوة المحصلة التي أثر بها المضرب على الكرة؟

سؤال 11: جسم كتلته 2 kg يتغير زخمه الخطي من 10 $Kg.m/s$ إلى 20 $Kg.m/s$ خلال زمن قدره 2 s.

- ما مقدار القوة المحصلة المؤثرة عليه؟
- احسب التغير في طاقته الحركية (ΔKE) .

سؤال (20) : تتحرك مركبه كتلتها $2200\ Kg$ **بسرعه** $26\ m/s$ **، حيث يمكنها التوقف خلال** $21\ s$ **عن طريق الضغط على الكوابح برفق ، ويمكن ان تتوقف المركبه خلال** $3.8\ s$ **اذا ضغط السائق على الكوابح بشده ، بينما يمكنها ان تتوقف خلال** $0.22\ s$ **اذا اصطدمت بحائط اسمنتي ، فما متوسط القوه المؤثره في المركبه في كل حاله من حالات التوقف هذه .**



عند الضغط على الكوابح برفق :

$$\sum F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{m\,\Delta v}{\Delta t} = \frac{2200\times(0-26)}{21} = -2.7\times10^{3}\ N$$

عند الضغط على الكوابح بشدة :

$$\sum F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{m\,\Delta v}{\Delta t} = \frac{2200\times(0-26)}{3.8} = -1.5\times10^{4}\ N$$

عند الاصطدام بالحائط :

$$\sum F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{m\,\Delta v}{\Delta t} = \frac{2200\times(0-26)}{0.22} = -2.6\times10^{5}\ N$$

سؤال (21) : لماذا يُنصح سائقو السيارات بترك مسافة أمان كافية والتوقف تدريجياً بدلاً من الضغط المفاجئ على الكوابح عند حدوث خطر؟ (فسر ذلك بدلالة الزخم والقوة).

لأن إيقاف السيارة يعني إحداث تغيير ثابت في زخمها الخطي(Δp) . بناءً على العلاقة$(F = \frac{\Delta p}{\Delta t})$ ، فإن القوة المحصلة تتناسب عكسياً مع زمن التأثير.

أما عند التوقف تدريجياً، يزداد زمن التوقف(Δt) ، مما يؤدي إلى تقليل متوسط القوة المحصلة المؤثرة على السيارة والركاب، وبالتالي تقليل احتمالية التعرض لإصابات أو أضرار.

سؤال (22) : هل يتغير زخم المركبات الزراعية التي تسير بسرعة ثابتة في أثناء حصادها للمحصول وتخزينه داخلها ؟ ولماذا ؟

نعم يتغير ، حيث تزاد الكتلة مع زيادة الحمولة ، فيزداد الزخم الخطي .

العلاقة بين الزخَم الخطّي والدفع

الدفع : حاصل ضرب القوة المحصلة المؤثرة في الجسم في زمن تأثير القوة.

انتبه :

- يرمز للدفع بالرمز (I) .
- يقاس الدفع بوحدة ($N.s$) وهي تكافئ $(Kg.m/s)$.
- يمكن التعبير عن الدفع على أنه التغير في الزخم الخطي .
- الدفع كمية متجهة يكون اتجاهها باتجاه القوة المحصلة وهو كذلك باتجاه تغير الزخم الخطي .
- الإشارة السالبة في الدفع تدل على الاتجاه فقط .

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

يمكن استخدام القانون الثاني لنيوتن للتعبير عن الدفع بالعلاقة الآتية :

$$I = \Delta P$$

وتسمى هذه المعادلة باسم مبرهنة **(الزخم الخطي – الدفع)** . وتنص على أن : دفع قوة محصلة مؤثرة في جسم يساوي التغير في زخمه الخطي .

ملاحظات مهمة جدا

- $(I_{12} = \Delta p_2)$: دفع الجسم (1) على (2) يساوي التغير في زخم الجسم (2) .
- $(I_{21} = \Delta p_1)$: دفع الجسم (2) على (1) يساوي التغير في زخم الجسم (1) .
- $(I_{12} = -I_{21})$: دفع الجسم (1) على (2) يساوي دفع الجسم (2) على (1) ويعاكسه في الاتجاه .

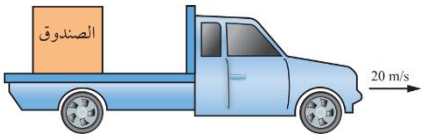
سؤال (23) : جسم كتلته $50\ Kg$ ، تتناقص سرعته بمقدار $3\ m/s$ خلال $0.2\ s$ تحت تاثير قوه ، احسب :

- **الدفع على الجسم .**
- **مقدار القوه المحصله المؤثره في الجسم**

$$I = \Delta P = m\,\Delta v = 50 \times (-3) = -150\ N.s$$
$$\sum F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{I}{\Delta t} = \frac{-150}{0.2} = -750\ N$$

سؤال (24) : وضع صندوق كتلته (100 Kg) في شاحنة تتحرك شرقا بسرعة مقدارها (20 m/s) . إذا ضغط السائق على دواسة المكابح ، فتوقفت الشاحنة خلال (0.5 s) من لحظة الضغط على المكابح ، احسب مقدار ما يأتي :

- **الزخم الخطي الابتدائي للصندوق .**
- **الدفع المؤثر في الصندوق .**
- **قوة الاحتكاك المتوسطة اللازم تأثيرها في الصندوق لمنعه من الانزلاق .**



$$P = m\,v = 100 \times 20 = 2 \times 10^3\ Kg.m/s\ , +x$$
$$I = \Delta P = m\,\Delta v = 100 \times (0 - 20) =$$
$$-2 \times 10^3\ Kg.m/s\ = 2 \times 10^3\ Kg.m/s\ , -x$$
$$\sum F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{-2\times10^3}{0.5} = -4 \times 10^3\ N = 4 \times 10^3\ N\ , -x$$

سؤال (25) : يركل لاعب كرة قدم ساكنة كتلتها ($0.45\ Kg$) ، فتنطلق بسرعة ($30\ m/s$) في اتجاه المحور ($+x$) . إذا علمت أن القوة المتوسطة المؤثرة في الكرة خلال زمن تلامسها مع قدم اللاعب تساوي ($135\ N$) ، احسب ما يأتي بإهمال وزن الكرة مقارنة بالقوة المؤثرة فيها :

سؤال 12: تتحرك عربة كتلتها $15\ kg$ بسرعة $4\ m/s$ نحو الشرق. أثرت عليها قوة محصلة باتجاه الشرق أيضاً فزادت سرعتها لتصبح $10\ m/s$.

- احسب مقدار الدفع المؤثر على العربة.
- إذا استمر تأثير القوة لمدة $2\ s$، فما مقدار هذه القوة؟

سؤال 13: كرة تنس كتلتها $0.06\ kg$ تقترب من المضرب أفقياً بسرعة $50\ m/s$ نحو الغرب، ضربها اللاعب فارتدت نحو الشرق بسرعة $60\ m/s$. إذا كان متوسط قوة الدفع المؤثرة من المضرب $660\ N$، فاحسب زمن تلامس الكرة مع المضرب.

سؤال 14: أطلقت رصاصة كتلتها ($20\ g = 0.02\ kg$) أفقياً بسرعة $400\ m/s$ نحو كتلة خشبية ثابتة . اخترقت الرصاصة الخشب وخرجت منه من الجانب الآخر بسرعة $100\ m/s$. احسب الطاقة الحركية المفقودة .

- **زخم الكرة عند لحظة ابتعادها عن قدم اللاعب .**
- **زمن تلامس الكرة مع قدم اللاعب .**
- **الدفع المؤثر في الكرة خلال زمن تلامسها مع قدم اللاعب .**

$$P = m\,v = 0.45 \times 30 = 13.5\ Kg.m/s\ , +x$$
$$\Delta t = \frac{\Delta P}{\sum F} = \frac{13.5-0}{135} = 0.1\ s$$
$$I = \Delta P = 13.5 - 0 = 13.5\ N.s\ , +x$$

سؤال (26) : كرة تنس كتلتها ($0.06\ Kg$) ، يقذفها لاعب إلى أعلى ، وعند وصولها إلى قمة مسارها الرأسي يضربها أفقيا بالمضرب فتنطلق بسرعة مقدارها ($55\ m/s$) في اتجاه محور ($+x$) ، إذا علمت أن زمن تلامس الكرة مع المضرب ($4\ x\ 10^{-3}\ s$) ، احسب مقدار ما يأتي :

- **الدفع الذي يؤثر به المضرب في الكرة .**
- **القوة المتوسطة التي أثر بها المضرب في الكرة .**

$$I = \Delta P = m\,\Delta v = 0.06 \times (55 - 0) = 3.3\ N.s\ , +x$$
$$\sum F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{3.3}{4\times10^{-3}} = 825\ N\ , +x$$

سؤال (27) : سيارة كتلتها 1200 Kg تسير بسرعة $20\ m/s$ نحو السينات الموجب ، فإذا ضغط السائق على كوابح السيارة فانخفضت سرعتها إلى $8\ m/s$ في نفس الاتجاه في زمن مقداره $6\ s$ ، احسب متوسط القوة التي أثرت في السيارة خلال هذه الفترة .

$$\sum F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{m\,\Delta v}{\Delta t} = \frac{1200\times(8-20)}{6} = \frac{-14400}{6} = -2400\ N$$
$$= 2400\ N\ , -x$$

قواعد :

عند ثبات مقدار القوة المحصلة المؤثرة ، يزداد مقدار التغير في الزخم الخطي بزيادة زمن تأثير هذه القوة .

مثلا :

- دفع عربة تسوق بقوة ثابتة ، يزداد زخمها الخطي بزيادة زمن تأثير القوة فيها .
- عند ركل لاعب كرة قدم يزداد زخمها الخطي بزيادة زمن تلامسها مع قدم اللاعب .

عن ثبات مقدار التغير في الزخم الخطي ، يتناسب مقدار القوة المحصلة المؤثرة عكسيا مع زمن تأثيرها .

مثلا :

- يثني المظلي رجليه لحظة ملامسة قدميه سطح الأرض لزيادة زمن التغير في زخمه الخطي ، فيقل مقدار القوة المحصلة المؤثرة فيه .

سؤال (28) : فسر : تنكسر بيضة نيئة إذا سقطت من ارتفاع ما باتجاه أرض صلبة من الإسمنت وقد لا تنكسر البيضة نفسها إذا وقعت على أرض رملية من الارتفاع نفسه .

سؤال 15: كرةُ تنسٍ كتلتُها $(0.06\ Kg)$؛ يرميها لاعبٌ إلى أعلى قليلًا، وعند بلوغها أقصى ارتفاعٍ يضربُها أفقيًّا بالمضرب؛ فتنطلقُ بسرعةٍ $(55\ m/s)$ في اتجاهِ محورِ $+x$. إذا علمتَ أنَّ زمنَ تلامُسِ الكرةِ مع المضربِ $(4 \times 10^{-3}s)$؛ أحسبُ ما يأتي:

أ . الدفعَ الذي يؤثّرُ به المضربُ في الكرةِ.

ب. القوّةَ المتوسّطةَ التي أثّرَ بها المضربُ في الكرةِ.

الربط بالتكنولوجيا

تنتفخ الوسادة الهوائية في أثناء حدوث تصادم لسيارة، إذ تُحفّز القوّة الناتجة عن التصادم مجسًّا يُطلق تفاعلًا كيميائيًّا ينتج عنه غاز يؤدي إلى انتفاخ الوسادة بسرعة . وتعمل الوسادة الهوائية على زيادة زمن تأثير القوّة الذي خلاله يتوقّف جسم الراكب عن الحركة، وبالتالي تقليل مقدار القوّة المؤثّرة فيه؛ فيقلّل ذلك من احتمال حدوث الإصابات أو خطورتها . كما تعمل الوسادة الهوائية على توزيع القوّة على مساحة كبيرة من جسم الراكب، فيقل ضغط هذه القوة المؤثّر فيه .

بسبب زيادة زمن التصادم بين البيضة والرمل وبالتالي تقليل القوة المؤثرة في البيضة

سؤال (29) : لماذا يلجأ سائق السيارة إلى الضغط على الفرامل لفترات زمنية متتالية حتى تتوقف السيارة عند الاقتراب من مفترق طرق او إشارة ضوئية ؟

إن الضغط على الفرامل لفترات زمنية متتالية يسبب الزيادة في زمن التأثير بالقوة الذي يتم خلاله إيقاف جسم السيارة عن الحركة ، وبالتالي تقليل مقدار القوة المؤثرة فيه .

سؤال (30) : يصمم الحذاء الرياضي بحيث يكون نعله مزودا بوسائد امتصاص ، فسر ذلك .

لتقليل القوة المؤثرة في القدم ، من خلال إطالة زمن تأثير القوة .

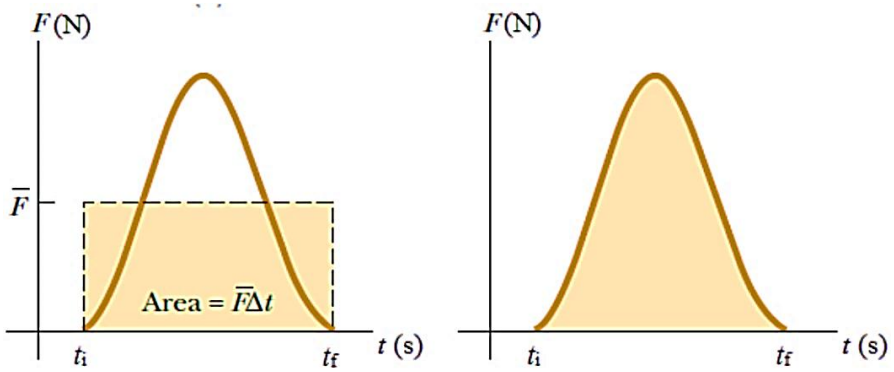
سؤال (31) : لماذ تكون مواسير بنادق الصيد طويلة ؟

ليزداد زمن تأثير القوة على الرصاصة فيكون الدفع على الرصاصة أكبر وبالتالي تكسب الرصاصة سرعة أكبر فتصل إلى مسافة أكبر .

سؤال (32) : ذهب محمد إلى مدينة الألعاب ، وعند قيادته سيارة كهربائية واصطدمت بالسيارات الأخرى وجد أن تأثير هذه التصادمات عليه قليل . وعند تركيز انتباهه على هذه السيارات ، لاحظ وجود حزام من مادة مطاطية يحيط بجسم السيارة . فسر سبب وجود هذا الحزام المطاطي .

ليسبب زيادة زمن التصادم بين السيارتين وبالتالي تقليل القوة المؤثرة في كل من السيارتين .

العلاقة بين القوة المؤثرة في الجسم وزمن تأثير القوة

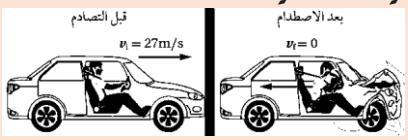


يبين الشكل العلاقة بين القوة المتغيرة المؤثرة في جسم وزمن تأثيرها ، والمساحة تحت المنحنى تساوي الدفع (التغير في الزخم الخطي للجسم) . ولحساب الزخم الخطي نستخدم متوسط القوة كما في الشكل الأيسر .

يمكن حساب الدفع في الشكل من خلال حساب المساحة تحت منحنى $(F-t)$. أي أن :

$$I = Area$$

سؤال كتاب الأنشطة : يُبيّن الشكل سيّارة تتحرّك بسرعة $(27m/s)$ فتصطدم بجدار وتتوقّف. تعمل الوسادة الهوائية وحزام الأمان على إبطاء سرعة السائق تدريجيًا؛ بحيث يستغرق زمنًا مقداره $(2.5\ s)$ ليتوقّف عن الحركة، فتكون القوّة المؤثّرة في جسمه (F). ودون استخدام حزام الأمان والوسادة، يصبح زمن توقّف السائق عن الحركة $(0.2\ s)$، فتكون القوّة المؤثّرة في جسمه في هذه الحالة:



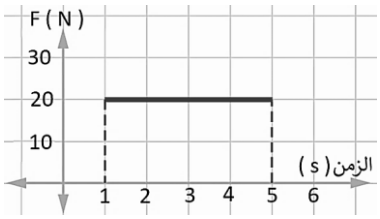
أ. $54F$ ب. $12.5F$

ج. $27F$ د. $2.5F$

مساحات مهم حفظها :

- مساحة المستطيل
  الطول × العرض
- مساحة المثلث
  $\frac{1}{2}$ طول القاعدة × الارتفاع
- مساحة الدائرة
  π × مربع نصف القطر
- مساحة شبه المنحرف
  $\frac{1}{2}$ مجموع طول القاعدتين × الارتفاع

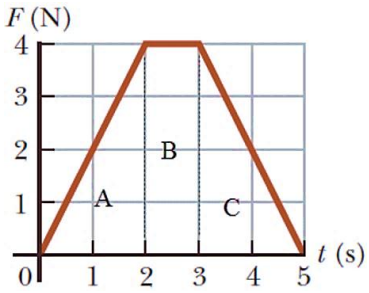
سؤال (33) : يوضح الشكل التمثيل البياني لمنحنى (القوة – الزمن) . جد مقدار الدفع الذي تحدثه القوة في الفترة الزمنية ($t = 1\,s$) إلى ($t = 5\,s$) .



$$I = A = F.\Delta t = 20 \times (5-1)$$
$$= 80\ N.s$$

سؤال (34) : تؤثر قوة محصلة باتجاه محور ($+x$) في صندوق ساكن كتلته ($3\,Kg$) مدة زمنية مقدارها ($5\,s$) . إذا علمت أن مقدار القوة المحصلة يتغير بالنسبة للزمن كما هو موضح بالرسم البياني ، احسب ما يأتي :

- **الدفع المؤثر في الصندوق خلال الفترة الزمنية لتأثير القوة المحصلة ، وحدد اتجاهه .**
- **السرعة النهائية للصندوق في نهاية الفترة الزمنية لتأثير القوة المحصلة ، وحدد اتجاهه .**
- **القوة المتوسطة المؤثرة في الصندوق خلال هذه الفترة الزمنية .**



الدفع يساوي المساحة تحت المنحنى :

$$I = A_A + A_B + A_C$$
$$\mathrm{I} = \left(\frac{1}{2} \times 2 \times 4\right) + (1 \times 4) + \left(\frac{1}{2} \times 2 \times 4\right) = 4 + 4 + 4$$
$$\mathrm{I} = 12\ N.s\ , +x$$

السرعة النهائية تحسب من العلاقة :

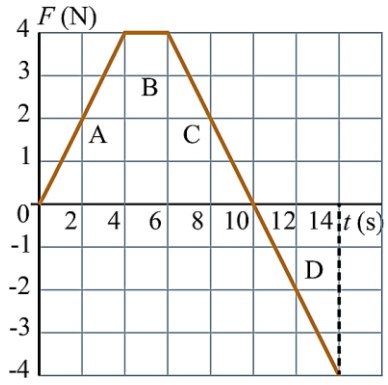
$$\Delta v = \frac{I}{m} = \frac{12}{3} = 4\ m/s$$
$$4 = v_f - 0$$
$$v_f = 4\ m/s$$

متوسط القوة :

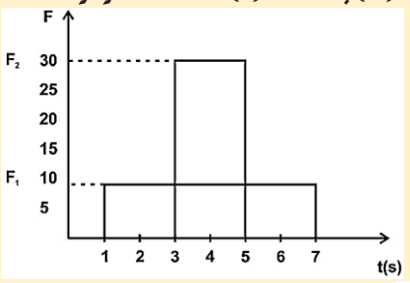
$$\sum F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{12}{5} = 2.4\ N\ , +x$$

سؤال (35) : تؤثر قوّةٌ محصّلةٌ باتجاه محور x في صندوقٍ ساكنٍ كتلتهُ ($4\,Kg$) مدّةً زمنيةً مقدارُها ($14\,s$) . إذا علمتُ أنّ مقدار القوّة المُحصّلة واتجاهها يتغيران بالنسبة للزمن كما هو مُوضّح في منحنى (القوّة - الزمن) : فأحسبُ ما يأتي:

- **الدفع الكليّ المؤثر في الصّندوق نتيجةً لتأثير القوّة المُحصّلة.**
- **السرعة النهائيّة للصّندوق في نهاية المدة الزمنيّة لتأثير القوّة المُحصّلة.**

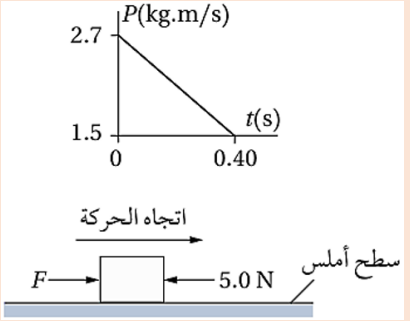


سؤال 16: معتمداً على بيانات الشكل البياني الذي يمثل علاقة القوة (F) بالزمن (t) ، أوجد ما يأتي :



- دفع القوة F_1
- زمن تأثير القوة F_1
- دفع القوة F_2
- زمن تأثير القوة F_2
- ماذا تستنتج؟

سؤال كتاب الأنشطة : يتحرك صندوق على سطح أفقي أملس باتجاه اليمين، وفي أثناء حركته أثرت فيه قوتان ثابتتان إحداهما (F) والقوة الثانية $(5N)$ ، كما هو مبين في الشكل. الرسم البياني يبين التغير في الزخم الخطي للصندوق مع الزمن. ما مقدار القوة (F)؟



أ. $2N$ ب. $3N$

ج. $5N$ د. $8N$

- **القوّة المتوسطة المؤثرة في الصّندوق خلال هذه المدة الزمنيّة.**

الدفع يساوي المساحة تحت المنحنى :

$$I = A_A + A_B + A_C + A_D$$
$$= \left(\frac{1}{2} \times 4 \times 4\right) + (2 \times 4) + \left(\frac{1}{2} \times 4 \times 4\right) + \left(\frac{1}{2} \times 4 \times (-4)\right)$$
$$I = 16\ N.s\ , +x$$

السرعة النهائية تحسب من العلاقة :

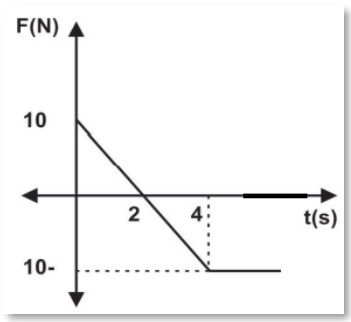
$$\Delta v = \frac{I}{m} = \frac{16}{4} = 4\ m/s$$
$$4 = v_f - 0$$
$$v_f = 4\ m/s\ , +x$$

متوسط القوة :

$$\sum F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{16}{14} = 1.1\ N\ , +x$$

سؤال (36) : جسم كتلته 2 Kg يتحرك بسرعة 5 m/s على سطح أفقي أملس ، أثرت عليه قوة متغيرة مثلت بيانيا مع الزمن كما في الشكل المجاور ، بالاعتماد على البيانات المثبتة عليه ، أوجد :

- **أكبر سرعة يمكن أن يمتلكها الجسم في نفس اتجاه حركته .**
- **زمن توقف الجسم .**



اكبر سرعه يمكن ان يمتلكها الجسم عند التقاء منحنى القوه الزمن مع محور الزمن ، أي عند $(t = 2\ s)$:

$$I = A = m\ \Delta v$$
$$A = \frac{1}{2} \times 2 \times 10 = 10\ N.s$$
$$10 = 2 \times (v_f - 5)$$
$$v_f = 10\ m/s$$

لحساب زمن توقف الجسم ، نحسب الدفع الكلي عندما تكون السرعه الابتدائيه $5\ m/s$ والسرعه النهائيه صفر رياضيا . ونساويها بالمساحه تحت المنحنى من اللحظه $t_i = 0$ الى اللحظه $t_f = t$:

$$I = m\ \Delta v = 2 \times (0 - 5) = -10\ N.s$$
$$I = A = \frac{1}{2} \times 2 \times 10 + \frac{1}{2} \times 2 \times (-10) + (t - 4) \times (-10)$$
$$-10 = -10t + 40$$
$$-10t = -50$$
$$t = 5\ s$$

حفظ الزخم الخطي

النظام المعزول : هو النظام التي تكون القوه المحصله الخارجيه المؤثره فيه صفرا وتكون القوه المؤثره في قوه داخليه فقط .

انتبه :

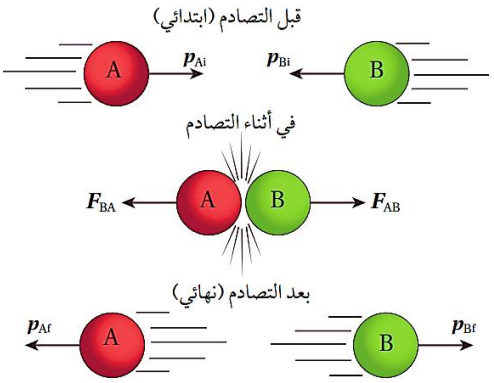
في جميع الاسئله التي سنقوم بدراستها سيكون النظام معزولا .

سؤال (37) : متى يمكنني اهمال القوى الخارجيه المؤثره في نظام لكي نعتبره نظاما معزولا .

يمكن اعتبار النظام معزولا عندما تكون القوى الخارجيه المؤثره فيه صغيره جدا مقارنه بالقوه التي تؤثر بها مكونات النظام في بعضها .

ينص **قانون حفظ الزخم** الخطي على انه : عندما يتفاعل جسمان او اكثر في نظام معزول يظل الزخم الخطي الكلي للنظام ثابتا .

اثبات قانون حفظ الزخم الخطي رياضيا :



القوة التي يؤثر بها الجسم الأول بالثاني تساوي القوة التي يؤثر بها الجسم الثاني بالأول :

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

بضرب الطرفين في (Δt) :

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

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

ولأن الدفع يساوي التغير في الزخم الخطي :

$$\Delta P_A = -\Delta P_B$$

$$P_{Af} - P_{Ai} = -(P_{Bf} - P_{Bi})$$

$$P_{Af} - P_{Ai} = -P_{Bf} + P_{Bi}$$

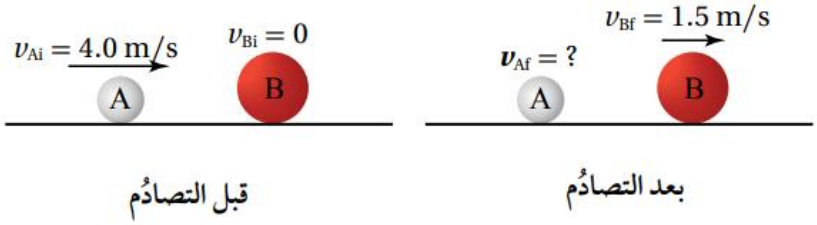
نعيد ترتيب الحدود :

$$P_{Af} + P_{Bf} = P_{Ai} + P_{Bi}$$

$$\sum P_i = \sum P_f$$

يمكن التعبير عن **حفظ الزخم الخطي** بأن : الزخم الخطي الكلي للنظام المعزول قبل التصادم مباشره يساوي الزخم الخطي الكلي للنظام بعد التصادم مباشره .

سؤال (38) : يوضح الشكل تصادم كرتين (A و B) ، حيث تتحرك الكرة A بسرعة مقدارها $4\ m/s$ باتجاه المحور $+x$ نحو الكرة B الساكنة . وبعد التصادم تحركت الكرة B بسرعة مقدارها $1.5\ m/s$ باتجاه المحور $+x$. إذا علمت أن ($m_A = 1\ Kg$) و أن ($m_B = 2\ Kg$) ، احسب مقدار سرعة الكرة A بعد التصادم وحدد اتجاهها .



نفرض أن $+x$ هو الاحداثي الموجب :

ملاحظات مهمة جدا :

- القوة التي يؤثر بها الجسم الأول بالثاني تساوي القوة التي يؤثر بها الجسم الثاني بالأول .
- دفع الجسم الأول على الثاني يساوي دفع الجسم الثاني على الأول ويعاكسه في الاتجاه .
- التغير في زخم الجسم الأول يساوي التغير في زخم الجسم الثاني ويعاكسه في الاتجاه .
- الزخم الخطي الكلي للنظام المعزول قبل التصادم مباشره يساوي الزخم الخطي الكلي للنظام بعد التصادم مباشره وفي نفس الاتجاه .

سؤال 17: لماذا يحتاج خرطوم إطفاء الحريق عادة إلى أكثر من رجل إطفاء للإمساك به عند اندفاع الماء منه بسرعة كبيرة، كما هو موضح في الشكل؟

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$$
$$1 \times 4 + 2 \times 0 = 1 \times v_{Af} + 2 \times 1.5$$
$$4 = v_{Af} + 3$$
$$v_{Af} = 1\ m/s\ , +x$$

سؤال (39) : يجلس طالب كتلته (35 Kg) في قارب ساكن كتلته (65 Kg) ، إذا قذف الولد صندوقا كتلته (6 Kg) أفقيا بسرعة مقدارها (10 m/s) . وبإهمال مقاومة الماء ، جد سرعة القارب بعد قذف الصندوق مباشرة .

بما أن القارب ساكن فإن الزخم الكلي قبل رمي الصندوق صفرا ، لذلك فإن :

$$\sum P_i = P_{\text{الولد}} + P_{\text{القارب}} + P_{\text{الصندوق}} = 0$$
$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$0 = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$$
$$0 = 100\ v_{Af} + 6 \times 10$$
$$-60 = 100\ v_{Af}$$
$$v_{Af} = \frac{-60}{100} = -0.6\ m/s$$

والاشارة السالبة تعني أن اتجاه حركة القارب عكس اتجاه رمي الصندوق .

سؤال (40) : مدفع ساكن كتلته ($2\ x\ 10^3\ Kg$) ، فيه قذيفة كتلتها $50\ Kg$. أطلقت القذيفة أفقيا من المدفع بسرعة ($1.2\ x\ 10^2\ m/s$) باتجاه المحور ($+x$) . احسب مقدار ما يأتي :

- **الدفع الذي تؤثر به القذيفة في المدفع ، وحدد اتجاهه .**
- **سرعة ارتداد المدفع .**

نفرض أن $+x$ هو الاحداثي الموجب :

$$I = -\Delta P_{\text{قذيفة}} = -m.\Delta v_{\text{قذيفة}} = -50 \times (1.2\ x\ 10^2 - 0)$$
$$= -6 \times 10^3\ m/s$$

والاشارة السالبة تعني ان اتجاه الدفع باتجاه المحور $-x$.

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$0 = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$$
$$0 = 2 \times 10^3\ v_{Af} + 50 \times 1.2 \times 10^2$$
$$-6 \times 10^3 = 2 \times 10^3\ v_{Af}$$
$$v_{Af} = \frac{-6 \times 10^3}{2 \times 10^3} = -3\ m/s\ = 3\ m/s\ , -x$$

سؤال (41) : عربة قطار كتلتها $2000\ Kg$ تتحرك على قضبان مستقيمة أفقية بسرعة $2\ m/s$ اصطدمت بها عربة أخرى كتلتها $3000\ Kg$ تسير بالاتجاه نفسه وبسرعة $5\ m/s$ ، وتحركتا معا كجسم واحد ، فما مقدار السرعة المشتركة بعد التصادم .

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_{Bf}$$

ملاحظات مهمة جدا :

عندما ينشطر جسم ساكن الى جزئين :

- الجسم الذي تكون كتلته اقل تكون سرعته أكبر وطاقته الحركية أكبر .
- الزخم الخطي الكلي للنظام يساوي صفر .
- التغير في الزخم الخطي الكلي للنظام صفر .

سؤال كتاب الأنشطة : يتحرك جسم (A) على سطح أفقي عديم الاحتكاك بسرعة (v_1)، اصطدم بجسم ساكن (B) مساوٍ له في الكتلة. بعد التصادم التحم الجسمان معًا وتحركا بسرعة (v_2). إن النسبة بين السرعتين $(\frac{v_1}{v_2})$ تساوي:

أ. $\frac{1}{2}$ ب. $\frac{2}{1}$

ج. $\frac{1}{4}$ د. $\frac{4}{1}$

سؤال 18: وضعت اسلام نابض خفيف مضغوط بين صندوقين كتلتيهما (m_1) و(m_2) ، موضوعين على سطح افقي املس ، لحظة افلات اسلام النابض تحرك الصندوقان باتجاهين متعاكسين ، اذا علمت ان $(m_2 = 2m_1)$ ، فاحسب نسبة مقدار سرعة الصندوق الاول النهائية الى مقدار سرعة الصندوق الثاني النهائية لحظة ابتعاد كل منهما عن النابض .

$$2000 \times 2 + 3000 \times 5 = 5000 \times v_f$$
$$v_f = \frac{19000}{5000} = 3.8\ m/s$$

سؤال (42) : ينفجر جسم ساكن كتلته (m) إلى جسمين كتلة كل منهما (m_1 ، m_2) ، فإذا كانت كتلة (m_1) ضعفي كتلة (m_2) ، بين أي الكتلتين تكون سرعتها أكبر .

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$0 = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$
$$0 = 2m_2 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$
$$2m_2 v_{1f} = -m_2 v_{2f}$$
$$v_{1f} = -\frac{1}{2} v_{2f}$$

من العلاقة وبما أن الزخم الخطي لكلا الجسمين ثابت ، لذلك فإن الجسم الذي تكون كتلته أكبر تكون سرعته أقل ، فتكون سرعة الجسم (m_2) أكبر .

سؤال (43) : إذا دفع رجل كتلته 70 Kg يقف على أرض جليدية أفقية ولدا ساكنا كتلته 50 Kg ، فكم يساوي التغير في زخم الرجل والولد معا بوحدة ($Kg.m/s$) ؟

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$\Delta P = \sum P_f - \sum P_i = 0$$

سؤال (44) : قذيفة كتلتها 2 Kg انطلقت أفقيا بسرعة 200 m/s من فوهة مدفع ساكن كتلته 500 Kg ، ما سرعة ارتداد المدفع بوحدة (m/s) ؟

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$0 = m_{\text{مدفع}} v_{\text{مدفع}f} + m_{\text{قذيفة}} v_{\text{قذيفة}f}$$
$$0 = 500 \times v_{\text{مدفع}f} + 2 \times 200$$
$$v_{\text{مدفع}f} = \frac{-400}{500} = -0.8\ m/s$$

والاشارة السالبة تعني أن اتجاه المدفع عكس اتجاه القذيفة .

سؤال (45) : في أثناء مشاهدة هند عرضا عسكريا لمجموعة من جنود الجيش ، لفت انتباهها اسناد كعوب بنادقهم على أكتافهم عند اطلاق الرصاص منها . لماذا يفعلون ذلك .

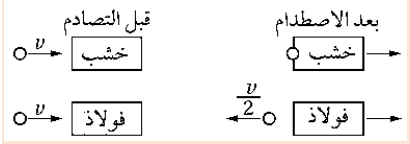
عند اطلاق الرصاصة من البندقية يكون الزخم محفوظا ، فيكون زخم الرصاصة مساويا لزخم البندقية ، لذلك فإن البندقية ترتد للخلف أثناء اطلاق الرصاصة ، فيتم اسنادها على أكتافهم فيكون زخم الرصاصة مساويا لزخم البندقية والشخص معا فيقل ارتداد البندقية .

مراجعة الدرس :

الفكرة الرئيسة: ما المقصودُ بالزخَم الخطّي لجسم؟ ما العلاقة بين الدفع المؤثّر في جسم والتغيُّر في زخَمه الخطّي؟

الزخم الخطي (ويُسمى أيضاً كمية الحركة) هو مقياس لمدى صعوبة إيقاف جسم متحرك، ويُعرّف فيزيائياً بأنه حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته المتجهة.

سؤال كتاب الأنشطة : قالبان متساويان في الكتلة ساكنان على سطح أفقي أملس؛ الأول خشبي والثاني فولاذي. أطلقت كرتان فولاذيتان متماثلتان بسرعة أفقية (v) كما في الشكل؛ كرة نحو كل قالب. انغرست الكرة الفولاذية الأولى في القالب الخشب وتحركا معًا بعد التصادم. والكرة الثانية ارتدت عن القالب الفولاذي للخلف بسرعة $(\frac{v}{2})$. أي الجمل الآتية تصف ما يحدث للقالبين بعد التصادمين مباشرة؟



أ . يتحرك القالبان بالسرعة نفسها.

ب . يتحرك القالب الفولاذي بسرعة أكبر من القالب الخشبي.

ج . يتحرك القالب الخشبي بسرعة أكبر من القالب الفولاذي.

د. يجب معرفة كتل كل من الكرة والقالبين؛ لنقرر أي القالبين أسرع.

الدفع المؤثر في جسم خلال فترة زمنية يساوي التغير في زخمه الخطي خلال هذه الفترة.

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

وفقاً لقانون نيوتن الثاني:

$$\text{القوة } (F) = \text{الكتلة } (m) \times \text{التسارع } (a)$$

بالتعويض عن الكميات بوحدات قياسها:

$$\text{نيوتن } (N) = kg \times \frac{m}{s^2}$$

الآن، نأخذ وحدة الدفع $(N.s)$ ونعوض فيها بقيمة النيوتن الفكّية:

نكتب الوحدة المراد تفكيكها:

$$N.s$$

نعوض عن النيوتن (N) بما يكافئه $(kg.\frac{m}{s^2})$:

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

نختصر الثواني (s) الموجودة في البسط مع واحدة من الثواني المربعة (s^2) الموجودة في المقام:

$$kg.m/s$$

النتيجة :

$$1\ N.s = 1Kg.m/s$$

أوضّحُ: متى يكون الزخَم الخطّي لنظام محفوظًا؟

يكون الزخم الخطي لنظام ما محفوظاً (أي ثابتاً لا يتغير مع الزمن) عندما يتحقق شرط أساسي واحد وهو :أن يكون النظام مغلقاً ومعزولاً.

أفسّرُ: ذهب محمّد إلى مدينة الألعاب، وعند قيادته سيارةً كهربائيةً واصطدامها بالسيارات الُأخرى 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 .

الحزام المطاطي مرن وقابل للانضغاط، مما يؤدي إلى زيادة زمن التصادم (Δt) عند الاصطدام. وبناءً على مبرهنة (الدفع - الزخم)، فإن زيادة الزمن تؤدي إلى تقليل القوة المحصلة (F) المؤثرة على محمد والسيارة، مما يقلل من شدة الصدمة ويحميه من الإصابات.

أفسرُ ما يأتي :

أ . يسند الصياد كعب بندقية الصيد إلى كتفه بإحكام عند إطلاق الرصاص .

يسند الصياد البندقية بإحكام لسببين رئيسيين يعتمدان على قانون حفظ الزخم الخطي:

- زيادة الكتلة وتقليل سرعة الارتداد :عند الإطلاق، تدفع الرصاصةُ البندقيةَ للخلف بفعل رد الفعل (حفظ الزخم). عندما يسندها الصياد

بكتفه، تصبح كتلة البندقية وجسم الصياد كتلتاً واحدة كبيرة ، مما يقلل بشكل كبير من سرعة ارتداد البندقية للخلف فلا تؤذي كتفه.

- منع التصادم المؤلم :الالتصاق المحكم يمنع البندقية من التحرك مسافة حرة ثم الاصطدام العنيف بكتف الصياد، مما يحميه من الإصابة.

ب . تغيّر المركبة الفضائية من مقدار سرعتها أو اتجاه حركتها عن طريق التحكم بكمية الغازات المندفعة منها واتجاه اندفاعها .

تعتمد المركبة الفضائية في حركتها على قانون حفظ الزخم الخطي (أو قانون نيوتن الثالث: الفعل ورد الفعل) :

عندما تنفث المركبة الغازات من محركاتها باتجاه معين بزخم محدد $(p = mv)$، فإن المركبة ترتد تلقائياً في الاتجاه المعاكس بزخم مساوٍ له في المقدار، ليبقى الزخم الكلي للنظام ثابتاً ومحفوظاً.

- لتغيير مقدار السرعة :يتم التحكم في كمية الغازات المندفعة وسرعتها (زيادة أو تقليل قوة الدفع).
- لتغيير اتجاه الحركة :يتم التحكم في اتجاه اندفاع الغازات (عن طريق توجيه الفوهات)، مما يجبر المركبة على الانحراف في الاتجاه المعاكس المطلوب.

أستخدم الأرقام: تنزلق عربة (A) كتلتها $(0.2\ Kg)$ على مدرج هوائي (عديم الاحتكاك) بسرعة $(5\ m/s)$ باتجاه $(+x)$، فتصطدم بعربة أخرى (B) ساكنة على المدرج كتلتها $(0.6\ Kg)$. إذا كان التغير في الزخم الخطّي للعربة (A) نتيجة التصادم يساوي $(-1.5\ Kg.m/s)$؛ أحسب ما يأتي :

أ . سرعة كُلّ من العربتين بعد التصادم مباشرةً .

ب . زمن التلامس بين العربتين إذا كانت القوة التي أثرت بها إحدى العربتين في الأخرى $(5\ N)$.

أ . سرعة كُلّ من العربتين بعد التصادم مباشرةً .

$$\Delta p_A = m_A(v_{fA} - v_{iA})$$
$$-1.5 = 0.2 \times (v_{fA} - 5)$$
$$v_{fA} = -2.5\ m/s\ = 2.5\ m/s\ , -x$$
$$\Delta p_B = m_A(v_{fB} - v_{iB})$$
$$+1.5 = 0.6 \times (v_{fB} - 0)$$
$$v_{fA} = +2.5\ m/s\ = 2.5\ m/s\ , +x$$

ب . زمن التلامس بين العربتين .

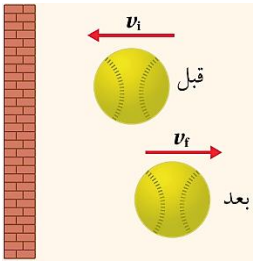
$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t}\ \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta p}{\sum F} = \frac{1.5}{5} = 0.3\ s$$

أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة ممّا يأتي:

1. أثرت قوة محصلة مقدارها $(3.2\ N)$ في جسم ساكن كتلته $(4\ Kg)$ مدةً زمنيةً مقدارُها $(20\ s)$، وحركته باتجاهها. إنّ مقدار السرعة النهائية للجسم بوحدة (m/s) يساوي:

أ . 64 ب. 16 جـ. 4 د . 0.04

2. كرة كتلتها $(0.5\ Kg)$ تتحرك باتجاه محور $-x$، فتصطدم بجدار بسرعة $(v_i = 30\ m/s)$، وترتد عنه بسرعة (v_f)، كما يبين الشكل. إذا كان الدفع المؤثر في الكرة $(25\ Kg.m/s)$؛ فإن مقدار السرعة (v_f) بوحدة (m/s) يساوي:

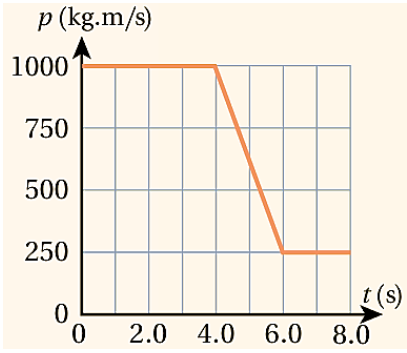


أ . 80 ب. 30
جـ. 20 د . 5

3. شاحنة غير محملة بالبضائع تتحرك بسرعة (v)، عند الضغط على المكابح توقفت خلال مدة زمنية (Δt_1). عندما تكون هذه الشاحنة محملة بالبضائع، وتتحرك بالسرعة نفسها وتؤثر المكابح بالقوة نفسها تتوقف خلال مدة زمنية (Δt_2). أيُّ العلاقات الآتية تصف التغير في الزخم الخطي ومدة التوقف في الحالتين؟

أ . $\Delta p_2 > \Delta p_1 , \Delta t_2 > \Delta t_1$ ب. $\Delta p_2 < \Delta p_1 , \Delta t_2 < \Delta t_1$
جـ. $\Delta p_2 = \Delta p_1 , \Delta t_2 > \Delta t_1$ د . $\Delta p_2 > \Delta p_1 , \Delta t_2 < \Delta t_1$

يبين الشكل المجاور تمثيلًا بيانيًا للزخم الخطي لدراجة هوائية متحركة خلال مدّة $(8\ s)$. عند اللحظة $(t = 4\ s)$ استخدم راكب الدراجة المكابح. معتمدًا على الرسم البياني، أجيب عن الفقرتين الآتيين :



4. ما مقدار القوة المحصلة التي أثرت في الدراجة في أثناء استخدام المكابح؟

أ . 125 N ب. 250N جـ. 375 N د . 750 N

5. إذا كانت السرعة الابتدائية للدراجة $(20\ m/s)$، فإن سرعتها النهائية بعد استخدام المكابح تساوي:

أ . 15m/s ب. 10m/s جـ. 8m/s د . 5m/s

الدرس الثاني :

تطبيقات على حفظ الزخم الخطي

الطاقة الحركية والزخم الخطي في الأنظمة المعزولة

الجسم المتحرك يمتلك زخمًا خطيًا، كذلك الجسم المتحرك يمتلك طاقة حركة انتقالية، تعتمد على كل من كتلة الجسم، ومقدار سرعته، و يعبر عنها بالمعادلة الآتية :

$$KE = \frac{1}{2}\, m\, v^2$$

في الأنظمة المعزولة يكون :

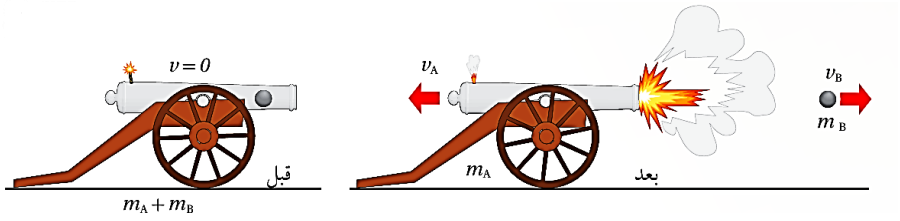
- الزخم الخطي محفوظًا .
- الطاقة الحركية فلا تكون محفوظة دائمًا.

التغير في الطاقة الحركية لنوعين من الأنظمة المعزولة :

$$(\Delta KE = KE_f - KE_i)$$

- الأول: تفكّك جسم إلى جسمين مثل إطلاق مدفع لقذيفة، وانفصال صاروخ فضائي إلى جزأين خلال مراحل حركته.
- الثاني : فيخصّ التصادمات.

حفظ الزخم الخطي عند إطلاق قذيفة



يوضح الشكل مدفعًا ساكنًا كتلته (m_A) وبداخله قذيفة كتلتها (m_B) . قبل إطلاق القذيفة يكون الزخم الخطي للنظام المكون منهما صفرًا، وكذلك الطاقة الحركية . وعند انفجار البارود تؤثر قوة الانفجار في القذيفة فتخرج من فوهة المدفع بسرعة (v_B) باتجاه اليمين، ويرتد المدفع بسرعة (v_A) باتجاه اليسار . وبما أن تفكك النظام يحدث نتيجة تأثير قوى فعل ورد فعل داخلية، ناتجة عن انفجار البارود؛ فإن الزخم الخطي يكون محفوظًا، شريطة أن تكون قوة الاحتكاك الخارجية التي يؤثر بها سطح الأرض في المدفع مهملة مقارنة بالقوى الداخلية .

بعد الانفجار، يكون الزخم الخطّي الكُلّي للنظام مساويًا للزخم الخطي الكلي قبل الانفجار؛ ويساوي صفرًا . ومع ذلك فإن طاقة الحركة للنظام ليست محفوظة . إذ يكتسب النظام مقدارًا كبيرًا من طاقة الحركة بعد الانفجار؛ هذه الزيادة في طاقة الحركة للنظام مصدرها الطاقة الناتجة عن الانفجار نفسه .

انتبه :

في الأنظمة المعزولة التي يكون فيها الجسم مُتحركًا قبل الانقسام (انفصال صاروخ إلى جزأين مثلا)، يكون الزخم الخطي محفوظًا أيضًا، ويمتلك النظام طاقةً حركيةً قبل الانقسام، وبعد الانقسام يزداد مقدار هذه الطاقة عمّا كان عليه قبل الانقسام .

حفظ الزخم الخطي رياضيا :

$$p_i = p_{1f} + p_{2f}$$

$$(m_1 + m_2)v_i = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

التغير في الطاقة الحركية رياضيا :

- **لكل جسم على حده :**

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m\,(v_f^2 - v_i^2)$$

- **للنظام كاملا :**

$$\Delta KE = \left(\frac{1}{2}m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{2f}^2\right) - \left(\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_f^2\right)$$

سؤال (46) : مدفعٌ ساكنٌ كتلتُه $(2 \times 10^3\ Kg)$**، فيه قذيفةٌ كتلتُها** $(50\ Kg)$ **أُطلقت القذيفة أفقيًّا من المدفع بسرعة** $(1.2 \times 10^2\ m/s)$ **باتجاه محور** $+x$**. أحسبُ ما يأتي:**

أ . الدفعُ الذي تؤثر به القذيفة في المدفع.

ب. سرعة ارتداد المدفع.

الدفعُ الذي تؤثّر به القذيفةُ في المدفع (I_{BA})

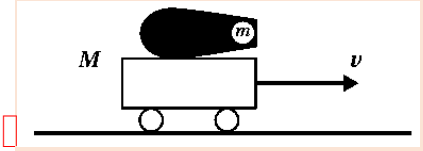
$$I_{BA} = -I_{AB} = -\Delta p_B \rightarrow I_{BA} = -\left(p_{Bf} - p_{Bi}\right)$$
$$= -m_B(v_{Bf} - v_{Bi})$$
$$= -50.0 \times (1.2 \times 10^2 - 0)$$
$$= -6.0 \times 10^3\ kg.m/s$$
$$I_{BA} = 6.0 \times 10^3\ kg.m/s, -x$$

سرعة ارتداد المدفع.

$$\sum p_i = \sum p_f$$
$$p_i = p_{Af} + p_{Bf}$$
$$(m_A + m_B)v_i = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$$
$$(2 \times 10^3 + 50) \times 0 = 2 \times 10^3\, v_{Af} + 50 \times 1.2 \times 10^2$$
$$v_{Af} = 3.0\ m/s, -x$$

سؤال (47) : رائد فضاء كتلته $(80\ Kg)$ **يحمل جسمًا كتلته** $(40\ Kg)$**، ويتحرك باتجاه محور** $(+x)$ **بسرعة ثابتة** $(6\ m/s)$**، قذف الجسم باتجاه محور** $(+x)$ **بسرعة** $(21\ m/s)$**، كما في الشكل . أحسب ما يأتي:**

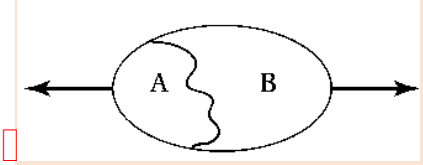
سؤال كتاب الأنشطة : مدفع بداخلة كرة كتلتها (m)، المدفع مثبت على عربة تتحرك بسرعة ابتدائية (v) باتجاه محور $(+x)$، كما يبين الشكل المجاور، كتلة المدفع والكرة والعربة (M). عندما تنطلق الكرة من المدفع بسرعة (v_B)؛ فإن سرعة المدفع والعربة بعد الإطلاق مباشرة:



أ. $\frac{Mv - mv_B}{M-m}$ ب. $\frac{Mv + mv_B}{M-m}$

ج. $\frac{Mv + mv_B}{M}$ د. $\frac{-Mv - mv_B}{M+m}$

سؤال كتاب الأنشطة : مقذوفة ألعاب نارية ساكنة لحظيا على ارتفاع معين انفجرت إلى قسمين (A) و (B)، حيث $(m_B = 2m)$ و $(m_A = m)$، تحركا أفقيًا باتجاهين متعاكسين، كما يبين الشكل. إذا كانت الطاقة الحركية الكلية التي انتقلت إليهما (E)، فإن مقدار سرعة القسم (A) بعد الانفجار مباشرة:



أ. $\sqrt{\frac{E}{m}}$ ب. $\sqrt{\frac{2E}{m}}$

ج. $\sqrt{\frac{2E}{3m}}$ د. $\sqrt{\frac{4E}{3m}}$

أ . سرعة رائد الفضاء بعد قذفه للجسم.
ب. التغير في الطاقة الحركية للنظام، مفسّرًا سبب هذا التغير.

$$\Sigma p_i = \Sigma p_f$$
$$(m_A + m_B)v_i = m_A\, v_{Af} + m_B\, v_{Bf}$$
$$(80 + 40) \times 6 = 80\, v_{Af} + 40 \times 21$$
$$v_{Af} = -1.5\ m/s\ , -x$$

التغير في الطاقة الحركية:

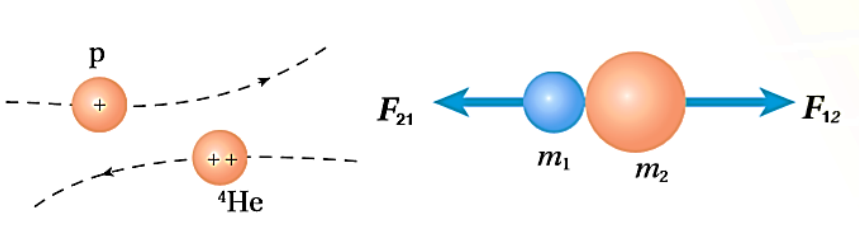
$$\Delta KE = \frac{1}{2}m_A(v_{Af})^2 + \frac{1}{2}m_B(v_{Bf})^2 - \frac{1}{2}(m_A + m_B)(v_i)^2$$
$$\Delta KE = \frac{1}{2} \times 80 \times (-1.5)^2 + \frac{1}{2} \times 40 \times (21)^2 - \frac{1}{2} \times (120) \times (6)^2$$
$$\Delta KE = 90 + 8820 - 2160 = 6750\,J$$

الطاقة الحركية والزخم الخطي في التصادمات

التصادم : تأثير متبادل بين جسمين أو أكثر أحدهما على الأقل متحرك ، وتؤثر خلاله الأجسام المتصادمة بعضها في بعض بقوة خلال فترة زمنية قصيرة نسبيا .

عند التصادم يكون التفاعل المتبادل بين الأجسام المتصادمة أكبر بكثير من التفاعل بين النظام والمحيط ، وعندها يمكننا اهمل أي قوى أخرى خلال فترة التصادم القصيرة . وبذلك يعد النظام معزولا ، ويكون الزخم الكلي محفوظا .

أحيانا يتضمن التصادم تلامسا للجسمين كما في الشكل (أ) ، أو عدم تلامس بينهما كما في الشكل (ب) الذي يمثل تصادم جسيمين مشحونين ، فهما يتنافرا عندما يقتربا من بعضهما دون الحاجة إلى تلامسهما .



(ب) (أ)

- (أ) تصادم جسمين على المستوى الجاهري (يمكن رؤيتها بالعين المجردة) .
- (ب) تصادم جسمين مشحونين على المستوى المجهري (لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة) .

أنواع التصادمات :

- التصادم المرن : عندما لا يحدث نقص في الطاقة نتيجة للتصادم .
- التصادم غير المرن : عندما يحدث نقص في الطاقة الحركية .

← إذا التحم الجسمان معا وتحركا كجسم واحد بعد التصادم تكون حالة خاصة من التصادم غير المرن ، ويسمى تصادما عديم المرونة .

- يكون الزخم الخطي محفوظا دائما عند تصادم الأجسام ، أو انفصالها عن بعضها في الأنظمة المعزولة .
- تكون الطاقة الحركية محفوظة ، وقد تكون غير محفوظة ، حسب نوع التصادم .
- عندما لا تكون الطاقة محفوظة فذلك يعني تحول جزء من الطاقة الحركية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة ، مثل الطاقة الحرارية الناتجة من تأثير قوة الاحتكاك .

سؤال (48) : حدث تصادم في نظام مكون من جسمين فنقصت الطاقة الحركية بمقدار J 200 ، هل هذا التصادم مرن ، فسر اجابتك .

التصادم غير مرن ، لأن الطاقة الحركية في النظام غير محفوظة .

سؤال (49) : حدث تصادم في نظام مكون من جسمين فارتفعت حرارة النظام ، هل هذا التصادم مرن ، فسر اجابتك .

التصادم غير مرن ، بسبب تحول جزء من الطاقة إلى طاقة حرارية ، مما يعني فقد النظام لجزء من طاقته الحركية .

سؤال (50) : قارن بين التصادم المرن والتصادم غير المرن من حيث: حفظ الزخم الخطي الكلي، حفظ الطاقة الحركية الكلية، وحدوث تشوه أو تولد حرارة.

وجه المقارنة	التصادم المرن	التصادم غير المرن
الزخم الخطي الكلي	محفوظ $\sum p_i = \sum p_f$	محفوظ $\sum p_i = \sum p_f$
الطاقة الحركية الكلية	محفوظة $\sum KE_i = \sum KE_f$	غير محفوظة $\sum KE_i \neq \sum KE_f$ وتتناقص
التشوه والآثار المصاحبة	لا يحدث تشوه للأجسام، ولا يتولد صوت أو حرارة.	يحدث تشوه في شكل الأجسام، ويتولد طاقة حرارية وصوتية.

سؤال (51) : يُعد التصادم "عديم المرونة تماماً" حالة خاصة من التصادمات غير المرنة. اشرح ما الذي يميز هذا التصادم؟ وماذا يحدث للأجسام بعده؟

ما يميز هذا التصادم هو أنه يشهد أكبر ضياع ممكن للطاقة الحركية لصالح أشكال أخرى من الطاقة. بعد التصادم مباشرة، تلتحم الأجسام المتصادمة معاً لتصبح جسماً واحداً متحركاً، وتكون لها سرعة نهائية مشتركة (v_f).

المعادلة الرياضية للزخم بعد الالتحام:

$$m_1\, v_{1i} + m_2\, v_{2i} = (m_1 + m_2)v_f$$

سؤال (52) : في التصادمات غير المرنة، تقل الطاقة الحركية الكلية للنظام بعد التصادم ($\Delta KE < 0$). أين يذهب هذا النقص في الطاقة؟

النقص في الطاقة الحركية لا يفنى (حسب قانون حفظ الطاقة الكلية)، بل يتشكل ويتحول إلى أشكال أخرى غير ميكانيكية، مثل:

- طاقة تشويه داخلي: شغل مبذول لتغيير شكل الأجسام (مثل انبعاج هيكل السيارة).
- طاقة حرارية: تتولد نتيجة الاحتكاك العنيف بين جزيئات المواد المتصادمة.
- طاقة صوتية: متمثلة في صوت الارتطام الناشئ عن التصادم.

سؤال (53) : تُصمم مقدمة السيارات الحديثة بحيث تتهشم وتنبعج بسهولة عند تعرضها لحادث (مناطق التشوه). ما نوع التصادم المستهدف؟ وكيف يسهم في حماية الركاب؟

- نوع التصادم: تصادم غير مرن.
- آلية الحماية: عندما تنبعج مقدمة السيارة وتتهشم، فإنها تقوم بـ:
  - امتصاص جزء كبير جداً من الطاقة الحركية وتحويلها إلى طاقة تشويه للهيكل بدلاً من انتقالها لداخل مقصورة الركاب.
  - زيادة زمن التلامس (زمن التصادم Δt): ووفقاً للعلاقة ($F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$)، كلما زاد زمن التغير في الزخم، قلت القوة المحصلة المؤثرة على الركاب، مما يقلل من خطورة الإصابات.

سؤال (54) : عند إطلاق رصاصة نحو قطعة خشبية معلقة (البندول القذيفي)، تنغرس الرصاصة داخلها وترتفع المجموعة معاً. حدد نوع التصادم، وهل يمكن استخدام حفظ الطاقة الحركية لحساب سرعة الرصاصة الابتدائية؟

- نوع التصادم: تصادم عديم المرونة تماماً (بسبب التحام الرصاصة بالخشب).
- إمكانية استخدام حفظ الطاقة الحركية: لا، لا يمكن استخدام قانون حفظ الطاقة الحركية؛ لأن الطاقة الحركية في هذا التصادم غير محفوظة وهناك ضياع كبير فيها نتيجة قوى الاحتكاك الشديدة أثناء انغراس الرصاصة. (لحساب السرعة، يجب الاعتماد أولاً على قانون حفظ الزخم الخطي لإيجاد السرعة المشتركة بعد التصادم مباشرة، ثم استخدام قانون حفظ الطاقة الميكانيكية لأثناء صعود الكتلة).

سؤال (55) : علل فيزيائياً: "الزخم الخطي محفوظ في جميع أنواع التصادمات طالما أن النظام معزول، بينما لا تكون الطاقة الحركية محفوظة إلا في التصادم المرن".

- حفظ الزخم: يعتمد فقط على شرط واحد وهو أن يكون النظام معزولاً $(\sum F_{ext} = 0)$. وبناءً على قانون نيوتن الثالث، فإن القوى المتبادلة أثناء التصادم هي قوى داخلية (فعل ورد فعل) متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه، فيلغي دفع بعضها بعضاً، وبالتالي يظل الزخم الكلي ثابتاً مهما كانت طبيعة التصادم.
- عدم حفظ الطاقة الحركية: لأن الطاقة الحركية تعتمد على طبيعة ومرونة المواد المتصادمة؛ فإذا كانت المواد قابلة للتشوه أو التحلل الحراري (غير مرنة) تضيع أجزاء من الطاقة، أما إذا كانت الأجسام صلبة ومثالية (مرنة) تعود الأجسام لشكلها وتتحرك دون أي فقد في الطاقة.

سؤال (56) : سقطت كرة مطاطية من ارتفاع معين نحو أرضية صلبة، فارتدت للأعلى لكنها لم تصل لنفس الارتفاع الأصلي. حلل هذه الظاهرة.

- نوع التصادم: التصادم بين الكرة والأرض هو تصادم غير مرن.
- التحليل الفيزيائي: لحظة اصطدام الكرة بالأرض، فُقد جزء من طاقتها الحركية وتحول إلى حرارة وصوت (صوت الارتطام) بالإضافة إلى شغل مستهلك في تشويه شكل الكرة مؤقتاً أثناء التلامس. وبسبب هذا النقص في الطاقة الحركية، ارتدت الكرة بسرعة ابتدائية (v_f) أقل من سرعة وصولها للأرض (v_i)، وبما أن طاقتها الحركية لحظة الارتداد أصبحت أقل، فلن تتمكن من الوصول إلى ارتفاعها الأصلي.

التصادم المرن

في التصادم المرن يكون مجموع الطاقة الحركية لأجزاء النظام قبل التصادم مساويا لمجموع الطاقة الحركية بعد التصادم ، أي أن الطاقة الحركية للنظام محفوظة .

من أمثلة التصادمات المرنة تصادم كرات البلياردو ، وهنا نهمل خسران جزء بسيط جدا من الطاقة على شكل طاقة صوتية مثلا .

عند تصادم جسمين (A و B) تصادما مرنا ، فإننا نطبق معادلتي :

حفظ الزخم الخطي .

$$\Sigma P_i = \Sigma P_f$$
$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$$

حفظ الطاقة الحركية .

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

سؤال كتاب الأنشطة : كرتان متساويتان في الكتلة تتحركان باتجاهين متعاكسين بمقدار السرعة نفسه، كما يبين الشكل. تصادمتا تصادمًا مرنًا، مجموع الطاقة الحركية للنظام المكون من الكرتين بعد التصادم يساوي:

أ. 0 ب. $\frac{1}{2}mv^2$

ج. mv^2 د. $2mv^2$

سؤال (57) : تحركت كرة كتلتها $2\ Kg$ بسرعة $9\ m/s$ شرقا ، فتصادمت مع أخرى ساكنة كتلتها $4\ Kg$. فإذا كان التصادم مرنا ، وفي بعد واحد . أوجد سرعة الكرتين بعد التصادم مباشرة .

نفرض أن اتجاه الشرق هو الاتجاه الموجب :

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$
$$2 \times 9 + 4 \times 0 = 2v_{1f} + 4v_{2f}$$
$$9 = v_{1f} + 2v_{2f} \quad .... \quad (1)$$
$$\sum KE_i = \sum KE_f$$
$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$
$$\frac{1}{2} \times 2 \times 81 + \frac{1}{2} \times 4 \times 0 = \frac{1}{2} \times 2 \times v_{1f}^2 + \frac{1}{2} \times 4 \times v_{2f}^2$$
$$81 = v_{1f}^2 + 2v_{2f}^2 \quad .... \quad (2)$$

بالتعويض نجد أن :

$$v_{1f} = -3\ m/s$$
$$v_{2f} = 6\ m/s$$

سؤال (58) : جسم كتلته $4\ Kg$ يتحرك لليمين بسرعة $2\ m/s$ ، اصطدم بجسم آخر كتلته $2\ Kg$ ، ويتحرك في اتجاه معاكس وبالسرعة نفسها ، احسب سرعة كل من الجسمين بعد التصادم مباشرة إذا كان التصادم مرنا .

نفرض أن اتجاه اليمين هو الاتجاه الموجب :

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$
$$4 \times 2 + 2 \times (-2) = 4v_{1f} + 2v_{2f}$$
$$2 = 2v_{1f} + v_{2f} \quad .... \quad (1)$$
$$\sum KE_i = \sum KE_f$$
$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$
$$\frac{1}{2} \times 4 \times 4 + \frac{1}{2} \times 2 \times 4 = \frac{1}{2} \times 4 \times v_{1f}^2 + \frac{1}{2} \times 2 \times v_{2f}^2$$
$$12 = 2v_{1f}^2 + v_{2f}^2 \quad .... \quad (2)$$

بالتعويض نجد أن :

$$v_{1f} = -\frac{2}{3}\ m/s$$
$$v_{2f} = \frac{10}{3}\ m/s$$

سؤال (59) : جسم سرعته $55\ m/s$ وكتلته m_1 تصادم تصادما مرنا مع جسم آخر ساكن كتلته $5\ Kg$ ، وبعد التصادم تحرك الجسم الأول في الاتجاه المعاكس بسرعة $20\ m/s$ ، احسب كلا من :

- **كتلة الجسم الأول .**
- **سرعة الجسم الثاني بعد التصادم مباشرة .**

نفرض أن اتجاه حركة الجسم الأول الابتدائية هو الاتجاه الموجب :

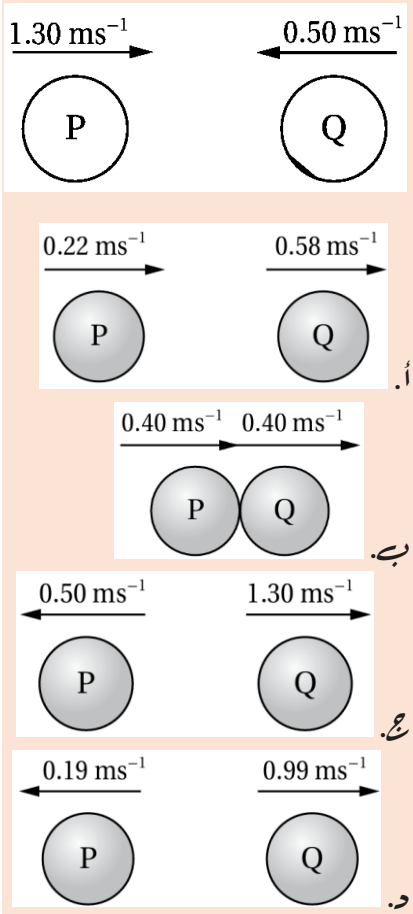
ملاحظات مهمة جدا :

بتقدر تستخدم القانون :

$$(v_{1f} + v_{1i} = v_{2f} + v_{2i})$$

بدل قانون حفظ الطاقة الحركية في التصادم المرن . جرب حل الاسئلة باستخدام هذا القانون .

سؤال كتاب الأنشطة : كرتان متساويتا الكتلة (P, Q) تتحركان في خط مستقيم نحو بعضهما بعضًا، كما في الشكل المجاور، اصطدمتا معًا رأسًا برأس تصادمًا مرنًا. أي من الأشكال الآتية يوضح الكرتين بشكل صحيح بعد التصادم؟



$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$
$$m_1 \times 55 + 5 \times 0 = m_1 \times (-20) + 5 \times v_{2f}$$
$$15\, m_1 = v_{2f} \quad .... \quad (1)$$
$$\sum KE_i = \sum KE_f$$
$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$
$$\frac{1}{2} m_1 \times 3025 + \frac{1}{2} \times 5 \times 0 = \frac{1}{2} m_1 \times 400 + \frac{1}{2} \times 5 \times v_{2f}^2$$
$$2625\, m_1 = 2.5\, v_{2f}^2 \quad .... \quad (2)$$

بالتعويض نجد أن :

$$m_1 = 4.67\ Kg$$
$$v_{2f}^2 = 70\ m/s$$

سؤال (60) : كرتا بلياردو كتلة كل منهما ($0.16\ Kg$) . تتحرك الكرة الحمراء (A) باتجاه محور $+x$ بسرعة $2\ m/s$ نحو الكرة الزرقاء (B) الساكنة وتتصادمان رأسا برأس تصادما مرنا ، كما في الشكل . احسب مقدار سرعة الكرة (B) بعد التصادم ، وحدد اتجاهها .

نفرض ان اتجاه $+x$ هو الاتجاه الموجب :

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$$
$$0.16 \times 2 + 0.16 \times 0 = 0.16\, v_{Af} + 0.16\, v_{Bf}$$
$$2 = v_{Af} + v_{Bf} \quad .... \quad (1)$$
$$\sum KE_i = \sum KE_f$$
$$\frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2 = \frac{1}{2} m_A v_{Af}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bf}^2$$
$$\frac{1}{2} \times 0.16 \times 4 + 0 = \frac{1}{2} \times 0.16 \times v_{Af}^2 + \frac{1}{2} \times 0.16 \times v_{Bf}^2$$
$$4 = v_{Af}^2 + v_{Bf}^2 \quad .... \quad (2)$$

بالتعويض نجد أن :

$$v_{Af} = 0$$
$$v_{Bf} = 2\ m/s$$

التصادم غير المرن

عندما يتم فقد جزء من الطاقة أثناء التصادم ، فإن هذه الطاقة تتحول إلى شكل آخر من أشكال الطاقة . وفي التصادم غير المرن يكون الزخم محفوظا كغيرها من أنواع التصادمات ، وعليه فإن :

$$\boldsymbol{\Sigma P_i = \Sigma P_f}$$
$$\boldsymbol{m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}}$$

يتم فقد جزء من الطاقة الحركية أثناء التصادم غير المرن ، فتكون الطاقة

سؤال 19: يتحرك جسم كتلته m_1 بسرعة v_{1i} على خط مستقيم أملس، ويصطدم تصادماً مرناً مركزياً (في بعد واحد) بجسم آخر كتلته m_2 يتحرك على الخط نفسه بسرعة v_{2i}. أثبت رياضياً أن السرعة النسبية للجسمين قبل التصادم تساوي السرعة النسبية لهما بعد التصادم في المقدار وتعاكسها في الاتجاه، أي أن:

$$(v_{1i} - v_{2i}) = -(v_{1f} - v_{2f})$$

سؤال 20: يتحرك جسم كتلته m_1 بسرعة ابتدائية v_{1i} نحو جسم آخر كتلته m_2 ساكن $(v_{2i} = 0)$ فوق سطح أفقي أملس، فاصطدم به تصادماً مرناً مركزياً في بعد واحد. أثبت رياضياً أن السرعة النهائية للجسم الأول (v_{1f}) تُعطى بالعلاقة الآتية:

$$v_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) v_{1i}$$

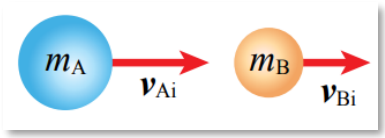
الحركية لأجزاء النظام قبل التصادم أكبر من الطاقة الحركية لأجزاء النظام بعد التصادم ، وعليه فإن :

$$\Delta KE = \sum KE_f - \sum KE_i$$

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

من أمثلة التصادم غير المرن اصطدام كرة مطاطية بسطح صلب (مضرب مثلا) ، حيث تفقد جزءا من طاقتها الحركية عندما تتشوه الكرة في أثناء ملامستها للسطح . ويكون الزخم الخطي محفوظا .

سؤال (61) : تتحرك الكرة (A) باتجاه المحور $+x$ بسرعة ($6\ m/s$) ، فتصطدم رأسا برأس مع كرة أخرى (B) أمامها تتحرك باتجاه $+x$ بسرعة مقدارها ($3\ m/s$) . وبعد التصادم تحركت الكرة (B) بسرعة مقدارها ($5\ m/s$) بالاتجاه نفسه قبل التصادم . إذا علمت أن ($m_A = 5Kg\ , m_B = 3Kg$) ، أجب عما يأتي :



- **احسب مقدار سرعة الكرة (A) بعد التصادم ، وحدد اتجاهها .**
- **حدد نوع التصادم .**

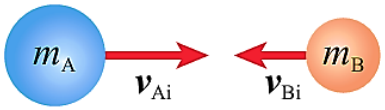
$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$(m\,v_i)_A + (m\,v_i)_A = (m\,v_f)_A + (m\,v_f)_A$$
$$5 \times 6 + 3 \times 3 = 5v_{Af} + 3 \times 5$$
$$v_{Af} = 4.8\ m/s \qquad +x$$

لتحديد نوع التصادم نحسب التغير في الطاقة الحركية للنظام (ΔKE) ، فإذا كانت ($\Delta KE \neq 0$) يكون التصادم غير مرن .

$$\Delta KE = \sum KE_f - \sum KE_i$$
$$= \left(\frac{1}{2}mv_{Af}^2 + \frac{1}{2}mv_{Bf}^2\right) - \left(\frac{1}{2}mv_{Ai}^2 + \frac{1}{2}mv_{Bi}^2\right)$$
$$\Delta KE = \left(\frac{1}{2} \times 5 \times 23.04 + \frac{1}{2} \times 3 \times 25\right) - \left(\frac{1}{2} \times 5 \times 36 + \frac{1}{2} \times 3 \times 9\right)$$
$$\Delta KE = -8.4\ J$$

الفرق في الطاقة الحركة لايساوي صفرا ، لذلك فإن الطاقة الحركية غير محفوظة ، فيكون التصادم غير مرن .

سؤال (62) : تتحرّك الكرة (A) باتجاه محور $+x$ بسرعة ($6m/s$)؛ فتصطدم رأسًا برأس بكرة أخرى (B) أمامَها تتحرّك باتجاه محور $-x$ بسرعة ($3m/s$) . أنظرُ الشكل . بعد التصادُم تحرّكت الكرة (B) بسرعة ($3m/s$) باتجاه محور $+x$. إذا علمتُ أن ($m_A = 5Kg$) و أن ($m_B = 3Kg$) ، فأجيبُ عمّا يأتي :



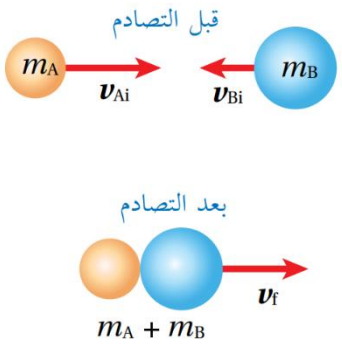
- احسب مقدار سرعة الكرة (A) بعد التصادم ، وحدد اتجاهها .
- حد نوع التصادم .

$$\Sigma p_i = \Sigma p_f$$
$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$$
$$5.0 \times 6.0 - 3.0 \times 3.0 = 5.0\, v_{Af} + 3.0 \times 3.0$$
$$v_{Af} = 2.4\, m/s\,, +x$$
$$\Delta KE = \sum KE_f - \sum KE_i$$
$$= \left(\frac{1}{2}mv_{Af}^2 + \frac{1}{2}mv_{Bf}^2\right) - \left(\frac{1}{2}mv_{Ai}^2 + \frac{1}{2}mv_{Bi}^2\right)$$
$$\Delta KE = \left(\frac{1}{2}\times 5 \times 5.76 + \frac{1}{2}\times 3 \times 9\right) - \left(\frac{1}{2}\times 5 \times 36 + \frac{1}{2}\times 3 \times 9\right)$$
$$\Delta KE = -76\, J$$

التصادم عديم المرونة

يوصف التصادم غير المرن بأنه عديم المرونة ، عندما تلتحم الأجسام المتصادمة معا بعد التصادم ، لتصبح جسما واحدا ، كتلته تساوي مجموع كتل الأجسام المتصادمة ، مثل :

- اصطدام كرتي صلصال معا .
- اصطدام سيارتين وتحركهما معا بعد التصادم .



بتطبيق **قانون حفظ الزخم الخطي** ، فإن :

$$\Sigma P_i = \Sigma P_f$$
$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = (m_1 + m_2) v_f$$
$$v_f = \frac{m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}}{m_1 + m_2}$$

والتغير في الطاقة الحركية للنظام :

$$\Delta KE = \sum KE_f - \sum KE_i$$
$$= \left(\frac{1}{2}m_A + \frac{1}{2}m_B\right) v_f - \left(\frac{1}{2}mv_{Ai}^2 + \frac{1}{2}mv_{Bi}^2\right)$$

سؤال (63) : يتحرك جسم كتلته $16\, Kg$ في الاتجاه $(+x)$ بسرعة $3\, m/s$ ، ويتحرك جسم آخر كتلته $4\, Kg$ في الاتجاه $(-x)$ بسرعة $5\, m/s$ ، يصطدم الجسمان بشكل مباشر، ويلتحمان ، جد سرعتهما بعد الاصطدام مباشرة .

سؤال 21: أثبت رياضياً أنه في التصادم عديم المرونة في بعد واحد بين كتلة متحركة m_1 بسرعة v_1 وكتلة أخرى ساكنة m_2 $(v_2 = 0)$ ، فإن النسبة المئوية للطاقة الحركية المفقودة من النظام تعتمد فقط على نسب الكتل، وتُعطى بالعلاقة:

$$\frac{\Delta KE}{KE_i} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

سؤال 22: عند تصادم جسمين في بعد واحد تصادمًا عديم المرونة، ما الشرط الضروري لتُفقد الطاقة الحركية الابتدائية للنظام جميعها بعد الاصطدام؟

نفرض الاتجاه الموجب هو ($+x$) :

$$v_f = \frac{m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}}{m_1 + m_2} = \frac{16\times 3 + 4\times(-5)}{16+5} = \frac{28}{21} = 1.33\ m/s\ , +x$$

سؤال (64) : سيارة كتلتها $500\ Kg$ تسير بسرعة $36\ Km/h$ باتجاه الغرب ، تصادمت رأسا برأس مع شاحنة كتلتها $1500\ Kg$ ، وتسير بسرعة $72\ Km/h$ باتجاه الشرق ، فالتحمتا معا . جد ما يأتي :

- **السرعة المشتركة لهما بعد الالتحام .**
- **التغير في طاقة حركة كل منهما .**

$$v_{\text{سيارة}} = 36 \times \frac{10}{36} = 10\ m/s$$

$$v_{\text{شاحنة}} = 72 \times \frac{10}{36} = 20\ m/s$$

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$(m\ v_i)_{\text{سيارة}} + (m\ v_i)_{\text{شاحنة}} = \left(m_{\text{سيارة}} + m_{\text{شاحنة}}\right) v_f$$

$$500 \times (-10) + 1500 \times (20) = 2000\ v_f$$

$$v_f = 12.5\ m/s \qquad +x$$

$$\Delta KE_{\text{شاحنة}} = KE_f - KE_i = \frac{1}{2} m \left(v_f^2 - v_i^2\right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 1500 \times (156.25 - 400) = -1.8 \times 10^5\ J$$

$$\Delta KE_{\text{سيارة}} = KE_f - KE_i = \frac{1}{2} m \left(v_f^2 - v_i^2\right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 500 \times (156.25 - 100) = 1.4 \times 10^4\ J$$

سؤال (65) : كرة صلصال كتلتها ($2\ Kg$) تتحرك شرقا بسرعة ثابتة ، وتصطدم بكرة صلصال أخرى ساكنة ، فالتحمان معا وتتحركان شرقا بسرعة تساوي ربع مقدار السرعة الابتدائية للكرة الأولى . احسب مقدار كتلة الكرة الثانية .

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$(m\ v_i)_{\text{a}} + (m\ v_i)_{\text{b}} = (m_{\text{a}} + m_{\text{b}}) v_f$$

$$2v + m \times 0 = (2 + m)\frac{v}{4}$$

$$2v = \frac{v}{4}(2 + m)$$

$$8 = 2 + m$$

$$m = 6\ Kg$$

سؤال (66) : عربة قطار كتلتها $2000\ Kg$ تتحرك على قضبان مستقيمة أفقية بسرعة $2\ m/s$ اصطدمت بها عربة أخرى كتلتها $3000\ Kg$ تسير بالاتجاه نفسه وبسرعة $5\ m/s$ ، وتحركتا معا كجسم واحد ، فما مقدار السرعة المشتركة بعد التصادم .

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$(m\ v_i)_{\text{A}} + (m\ v_i)_{B} = (m_{\text{A}} + m_{\text{B}}) v_f$$

$$2000 \times 2 + 3000 \times 5 = 5000 v_f$$

$$19000 = 5000 v_f$$

$$v_f = 3.8\ m/s$$

سؤال كتاب الأنشطة : يبين الشكل سيارتين كتلتيهما $(m_A = m)$ و $(m_B = 2m)$ تتحركان باتجاهين متعاكسين، سرعة السيارة (A) تساوي (v)، تصادمتا رأسًا برأس تصادمًا عديم المرونة وتوقفتا عن الحركة. مستعينًا بالشكل؛ أجيب عن الفقرتين :

1 - مقدار سرعة السيارة (B) قبل التصادم مباشرة تساوي:

أ. $2v$ ب. v

ج. $\frac{v}{2}$ د. $\frac{v}{4}$

2 - طاقة الحركة المفقودة في التصادم تساوي:

أ. $\frac{3}{4}mv^2$ ب. $\frac{1}{2}mv^2$

ج. $\frac{1}{4}mv^2$ د. 0

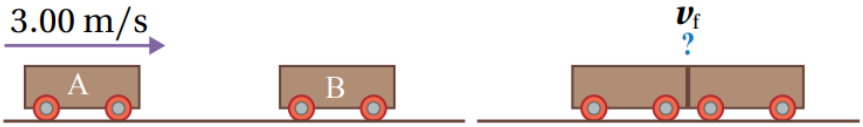
سؤال كتاب الأنشطة : أطلقت رصاصة كتلتها $(5g)$ رأسيًا للأعلى بسرعة $(200m/s)$، باتجاه قالب من الطين في حالة سكون، كتلته $(95g)$، كما هو مبين في الشكل. اصطدمت الرصاصة بقالب الطين وانغرزت فيه، ثم تحركا معًا بسرعة واحدة للأعلى. ما مقدار سرعة القالب والرصاصة بعد التصادم مباشرة؟

سؤال (67) : كرتان متساويتان في الكتلة ، إحداهما ساكنة ، والأخرى تتحرك نحوها بسرعة (v_o) ، فالتحمتا وتحركتا معا بسرعة (v) ، بين أن السرعة النهائية تعطى بالعلاقة ($v = \frac{1}{2} v_o$) .

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$(m\,v_i)_A + (m\,v_i)_B = (m_A + m_B)v_f$$
$$m(v_o) + m(0) = 2mv_f$$
$$v_f = \frac{v_o}{2}$$

سؤال (68) : عربة قطار (A) كتلتها ($1.8\ x\ 10^3\ Kg$) تتحرك في مسار أفقي مستقيم لسكة حديد بسرعة مقدارها ($3\ m/s$) باتجاه محور $+x$ ، فتصطدم بعربة أخرى (B) كتلتها ($2.2\ x\ 10^3\ Kg$) تقف على المسار نفسه ، وتلتحمان معا وتتحركان على المسار المستقيم لسكة الحديد نفسه ، كما هو موضح بالشكل . أجب عما يأتي :

- **احسب مقدار سرعة عربتي القطار بعد التصادم ، وحدد اتجاهها .**
- **ما نوع التصادم ؟ وهل الطاقة الحركية محفوظة في هذا النوع من التصادمات ؟ فسر إجابتك .**



$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$(m\,v_i)_A + (m\,v_i)_B = (m_A + m_B)v_f$$
$$1.8 \times 10^3 \times 3 + 2.2 \times 10^3 \times 0 = 4 \times 10^3 \times v_f$$
$$5.4 \times 10^3 = 4 \times 10^3 \times v_f$$
$$v_f = 1.35\ m/s \qquad +x$$

بما أن عربتي القطار التحمتا معا بعد التصادم فيكون التصادم عديم المرونة ، ولاثبات ذلك نحسب التغير في الطاقة الحركية للنظام :

$$\Delta KE = \sum KE_f - \sum KE_i$$
$$= \left(\frac{1}{2}(m_A + m_B)v_f^2\right) - \left(\frac{1}{2}mv_{Ai}^2 + \frac{1}{2}mv_{Bi}^2\right)$$
$$\Delta KE = \left(\frac{1}{2} \times 4 \times 10^3 \times 1.8\right) - \left(\frac{1}{2} \times 1.8 \times 10^3 \times 9 + 0\right)$$
$$= 3645 - 8100 = -4455\ J$$

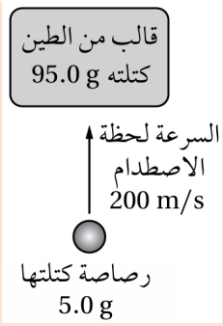
وبما أن التغير في الطاقة الحركية سالب فإن الطاقة الحركية غير محفوظة ، والعربتان التحمتا معا بعد التصادم ، لذا فإن التصادم عديم المرونة .

مراجعة الدرس :

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

نوعا التصادم:

- تصادم مرن :تكون فيه الطاقة الحركية محفوظة (لا تضيع أي طاقة) .



أ. $10m/s$ ب. $9.8m/s$

ج. $9.5m/s$ د. $8.9m/s$

سؤال كتاب الأنشطة : كرة فولاذية كتلتها $(0.5\ Kg)$ تتحرك على سطح أفقي أملس بسرعة $4\ m/s$، نحو قالب فولاذي ساكن كتلته $(2.5\ Kg)$؛ فتحرك القالب بسرعة $(1.2\ m/s)$. كما في الشكل المجاور.

أجيب عن الأسئلة الآتية:

أ . أستخدم الأرقام: أحسب سرعة الكرة بعد التصادم مباشرة.

ب. أستنتج: هل التصادم مرن أم غير مرن؟ أوضح إجابتي حسابيًا.

- تصادم غير مرن :تكون فيه الطاقة الحركية غير محفوظة (يضيع جزء منها على شكل حرارة، صوت، أو تشوه).

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

التصادم ليس مرناً بل هو غير مرن . السبب :لأن الطاقة الحركية غير محفوظة؛ حيث يتحول جزء كبير منها إلى طاقة تشويه (تهشم هياكل السيارات)، وطاقة صوتية (صوت الارتطام)، وطاقة حرارية.

أستنتج: تصادَم جسمان تصادُمًا مرنًا . أُجيب عمّا يأتي :

أ . هل يتساوى الزخَم الخطّي لكلّ جسمٍ قبل التصادُم مع زخَمه الخطّي بعد التصادُم؟ أُفسّر إجابتي .

ب . هل تتساوى الطاقة الحركية لكلّ جسمٍ قبل التصادُم مع طاقته الحركية بعد التصادُم؟ أُفسّر إجابتي .

أ. الزخم الخطي لكل جسم

لا يتساوى بالضرورة.

التفسير :قانون الحفظ ينطبق على مجموع الزخم الخطي الكلي للنظام $(\sum p_i = \sum p_f)$ وليس على كل جسم بمفرده. أثناء التصادم، يحدث تبادل في الزخم بين الجسمين؛ بحيث يقل زخم أحد الجسمين بمقدار يعادل تماماً الزيادة في زخم الجسم الآخر $(\Delta p_1 = -\Delta p_2)$.

ب. الطاقة الحركية لكل جسم

لا تتساوى بالضرورة.

التفسير :في التصادم المرن، يكون مجموع الطاقة الحركية الكلية للنظام محفوظاً $(\sum KE_i = \sum KE_f)$. أما بالنسبة لكل جسم على حدة، فإن الطاقة الحركية تتغير نتيجة لانتقال جزء منها من جسم إلى آخر أثناء التصادم (على شكل دفع)، طالما كانت كتل الأجسام أو سرعتها الابتدائية مختلفة.

أستخدم الأرقام: كرةُ صلصالٍ كتلتها $(2Kg)$ تتحرّك شرقًا بسرعةٍ ثابتةٍ، وتصطدم بكرة صلصالٍ أُخرى ساكنة، فتلتحمان معًا وتتحرّكان شرقًا بسرعة مقدارُها رُبعَ مقدار السرعة الابتدائية للكرة الأولى . أحسبُ كتلة الكرة الثانية .

$$\sum P_i = \sum P_f$$
$$(m\,v_i)_a + (m\,v_i)_b = (m_a + m_b)v_f$$
$$2v + m \times 0 = (2 + m)\frac{v}{4}$$
$$2v = \frac{v}{4}(2 + m)$$
$$8 = 2 + m$$
$$m = 6\ Kg$$

أستنتج : كرتا بلياردو (A) و (B) لهما الكتلة نفسها وتتحركان في الاتّجاه نفسه في خط مستقيم، كما هو موضّحٌ في الشكل . بالاستعانة بالبيانات المثبّتة في الشكل، أُبيّن إذا كان التصادم مرنًا أم غير مرن .

سؤال 23: أستخدم الأرقام: تتحرك عربة قطار (A) في مسار أفقي مستقيم بسرعة $(2\ m/s)$ شرقًا فتصطدم بعربة (B) تتحرك على المسار نفسه بسرعة $(1\ m/s)$ غربًا، وتلتحمان معا. إذا علمت أن $(m_A = m_B = 500\ Kg)$، أحسب الطاقة الحركية المفقودة في التصادم.

سؤال 24: تظهر في الشكل أدناه لعبة شهيرة تسمى كرات نيوتن $(Newton's\ cradle)$؛ تتكون من كرات عدة فلزية متماثلة متراصة معلقة بخيوط خفيفة. عند سحب إحدى الكرتين الخارجيتين نحو الخارج ثم إفلاتها؛ فإنها تصطدم تصادمًا مرنًا بالكرة التي كانت مجاورة لها، ألاحظ أن الكرة الخارجية على الجانب الآخر من اللعبة تقفز في الهواء.

أ . أفسّر ما حدث.

ب. أصدر حكمًا: ادّعى طالب أنه عند سحب كرتين ثم إفلاتهما، وإذا كانت سرعة كل كرة قبل التصادم (v)، ستتوقف الكرتان عن الحركة بعد التصادم، وسوف يندفع من الجهة المقابلة كرة واحدة سرعتها $(2v)$، مبررًا ذلك بأن الزخم يكون محفوظًا

عندما يتصادم جسمان لهما الكتلة نفسها $(m_A = m_B)$ تصادماً مرناً في بعد واحد، فإنهما يتبادلان السرعات تماماً، وهو ما يظهر بوضوح في الرسم حيث أخذت الكرة B سرعة الكرة A ، وأخذت الكرة A سرعة الكرة B .

أصدر حُكمًا: تتحرّك شاحنة غربًا بسرعةٍ ثابتة؛ فتصطدم تصادمًا عديم المرونة مع سيارةٍ صغيرةٍ تتحرّك شرقًا بمقدار سرعة الشاحنة نفسه . أُجيب عمّا يأتي :

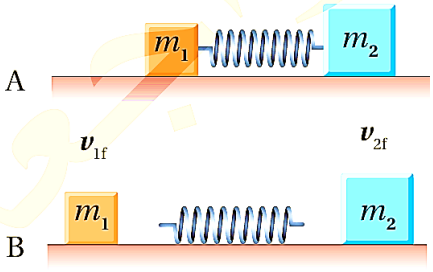
أ . أيّهما يكون التغير في مقدار زخمها الخطّي أكبر؛ الشاحنة أم السيارة؟

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

أ . التغير في مقدار الزخم الخطي متساوٍ لكلّ من الشاحنة والسيارة.

ب . التغير في الطاقة الحركية للشاحنة أكبر من التغير في الطاقة الحركية للسيارة.

أستنتج: وضعت إسلام نابضًا خفيفًا مضغوطًا بين صندوقين كتلتيهما m_1 و m_2 موضوعين على سطح أفقي أملس، كما هو مبين في الشكل A . لحظة إفلات إسلام الصندوقين، تحرّكا باتجاهين متعاكسين كما في الشكل B .



إذا علمت أنّ $m_2 = 2m_1$، فأجد ما يأتي :

أ . نسبة مقدار سرعة الصندوق الأول إلى مقدار سرعة الصندوق الثاني لحظة ابتعاد كلّ منهما عن النابض .

ب . نسبة طاقة الحركة للصندوق الأول إلى طاقة الحركة للصندوق الثاني .

أ. نسبة مقدار سرعة الصندوق الأول إلى مقدار سرعة الصندوق الثاني $(\frac{v_{1f}}{v_{2f}})$

بما أن النظام معزول ولا تؤثر عليه قوى خارجية في الاتجاه الأفقي، فإن الزخم الخطي للنظام يكون محفوظًا :

$$\sum P_i = \sum P_f$$

وبما أن الصندوقين كانا ساكنين في البداية :

$$0 = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

عند حركة الصندوقين في اتجاهين متعاكسين (بفرض اتجاه اليمين موجبًا واليسار سالبًا) :

$$0 = -m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

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

نعوض الآن بقيمة $m_2 = 2m_1$:

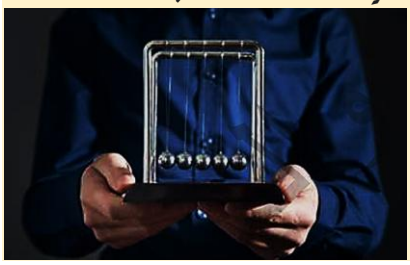
$$m_1 v_{1f} = (2m_1) v_{2f}$$

بقسمة الطرفين على m_1 :

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

في هذه الحالة عند إجراء تجربة عملية لاحظ الطالب اندفاع كرتين سرعة كل منهما (v).

أبيّن الخطأ الذي وقع فيه الطالب في إدعائه، موضحاً السبب وراء النتيجة التي شاهدها الطالب.



إذن، نسبة مقدار السرعة هي :

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

ب. نسبة طاقة الحركة للصندوق الأول إلى طاقة الحركة للصندوق الثاني $(\frac{KE_1}{KE_2})$:

قانون طاقة الحركة هو :

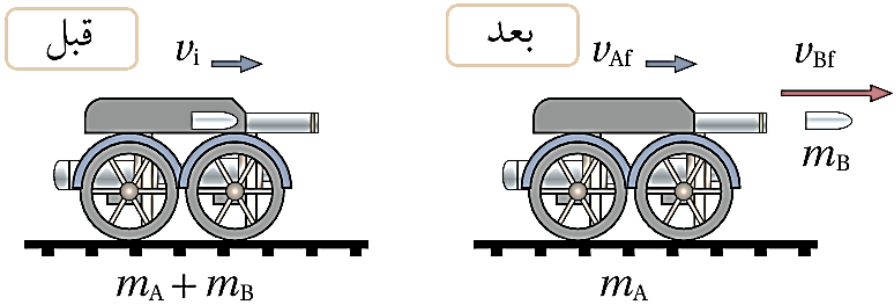
$$KE = \frac{1}{2} m v^2$$

لإيجاد النسبة بين الطاقتين :

$$\frac{KE_1}{KE_2} = \frac{\frac{1}{2} m_1 v_1^2}{\frac{1}{2} m_2 v_2^2} = \frac{m_1 4v_2^2}{2m_1 v_2^2} = \frac{2}{1}$$

أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة ممّا يأتي:

1. عربة مدفع كتلتها والقذيفة بداخلها $(500\ Kg)$ تتحرك على سكة حديد أفقية، كما في الشكل. أطلقت العربة قذيفةً كتلتها $(20\ Kg)$ بسرعة $(200\ m/s)$ شرقًا، فأصبحت سرعة العربة بعد الإطلاق $(5\ m/s)$ شرقًا. إذا علمتُ أن نظام العربة والقذيفة معزول؛ فإن مقدار سرعة النظام قبل الإطلاق مباشرةً بوحدة (m/s):



أ . 3.2 ب . 5.8 جـ. 12.8 د . 13

2. كرتان من المعجون؛ الأولى كتلتها $(2\ Kg)$ تتحرك بسرعة $(5\ m/s)$ باتجاه الشرق، فتصطدم بالكرة الثانية وكتلتها $(3\ Kg)$ تتحرك بسرعة $(4\ m/s)$ باتجاه الغرب. بعد التصادم التحمت الكرتان معاً، إن سرعتهما بوحدة (m/s):

أ . 0.4 غربا ب . 0.4 شرقا جـ. 4.4 غربا د . 4.4 شرقا

كرة (A) كتلتها $(0.8\ Kg)$ تتحرك بسرعة $(5\ m/s)$ شرقًا؛ اصطدمت بكرة ساكنة (B) كتلتها $(2.4\ Kg)$ تصادمًا مرنًا . فأجيب عن الفقرتين الآتيتين :

3. سرعة الكرة (B) بعد التصادم مباشرة بوحدة (m/s):

أ . 2.5 شرقا ب . 7.5 شرقا جـ. 2.5غربا د . 7.5 غربا

4. طاقة حركة الكرة (B) بعد التصادم مباشرة بوحدة جول (J) تساوي:

أ . 2.5 ب . 5 جـ. 7.5 د . 10

عربة (A) كتلتها (m) تنزلق على مسار أفقي مستقيم أملس بسرعة (v) باتجاه $(-x)$، اصطدمت بعربة أخرى (B) كتلتها $(2m)$ تنزلق على المسار

نفسه بسرعة (v) باتجاه $(+x)$. إذا علمتُ أن العربتين التحمتا معًا بعد التصادم وتحركتا على المسار نفسه؛ أجيب عن الفقرتين الآتيتين :

5. سرعة الجسم الناتج عن التحام العربتين بعد التصادم بدلالة (v) تساوي:

أ . $\frac{1}{3}v$ باتجاه $(+x)$ ب . $\frac{1}{3}v$ باتجاه $(-x)$

جـ. v باتجاه $(+x)$ د . v باتجاه $(-x)$

6. الطاقة الحركية للنظام المكوّن من العربتين قبل التصادم بدلالة كل من (m) و (v) تساوي:

أ . $\frac{1}{2}mv^2$ ب . $\frac{2}{3}mv^2$ جـ. mv^2 د . $\frac{3}{2}mv^2$

الإثراء والتوسع: تصميم السيارة والسلامة

عند توقف سيارةٍ بشكلٍ مفاجئ نتيجةً لحدوث تصادم، فإن قوىً كبيرةً تؤثر في السيارة وركّابها، وتُبدّد طاقاتهم الحركية.

يوجد في مقدّمة السيارة ونهايتها مناطق انهيار (ماصّات صدمات) $Crumple\ zones$؛ تنبعج وتتشوّه بطريقةٍ يحدث فيها امتصاص الطاقة الحركيّة للسيارة وركّابها تدريجيًّا، كما هو موضّح في الصورة. حيث يتشوّه هيكل السيارة المرن المصنوع من صفائح ليّنة، ما يؤدي إلى تناقص سرعتها تدريجيًا وامتصاص جزءٍ كبيرٍ من الطاقة الحركية للسيارة والركّاب، وهذا بدوره يزيد زمن التصادم، ويقلّل مقدار القوّة المُحصّلة المؤثّرة في السيارة والركّاب، ما يقلّل احتمالية تعرّضهم لإصابات خطيرة.

أما أحزمةُ الأمان $Seat\ belts$؛ فتؤثر في الركّاب بقوةٍ بعكس اتجاه حركة السيارة، ففي أثناء الاصطدام، يُثبّت حزام الأمان الراكبَ في المقعد، وبما أن مقدار التغيّر في الزّخم الخطّي للراكب ثابت (فهو يعتمد على كتلة الراكب وسرعة السيارة سواءً استخدم حزام الأمان أم لم يستخدمه)؛ فإنّ مقدار القوّة المؤثرة فيه يصبح أقلَّ نتيجةَ زيادة زمن توقف جسمه. وفي حال عدم استخدام حزام الأمان سيرتطم الراكب بعجلة القيادة أو زجاج السيارة الأمامي، ويتوقّف خلال مدّة زمنية قصيرة مقارنةً بزمن التوقّف عندما يستخدم حزام الأمان، ما يعني تأثّر جسمه بقوّة أكبر.

تنتفخ الوسائد الهوائية $Air\ bags$ الموجودة في بعض السيارات عند حدوث تصادم؛ وتحمي السائق والركّاب من الإصابات الخطرة، فهي مثلًا؛ تحمي السائق من الاصطدام بعجلة القيادة، وتزيد زمن تغيّر سرعته، فيقلُّ مقدار القوّة المؤثّرة فيه، وتوزّع القوّة المؤثرة فيه على مساحة أكبر من جسمه.

أما مساند الرأس $Head\ restraints$؛ فتضمن حركة رأس الراكب والسائق إلى الأمام مع الجسم، عند صدم السيارة من الخلف. وهذا يمنع كسر الجزء العلوي من العمود الفقري أو تلفه.

تُساعد وسائل الأمان الثانوية هذه جميعُها على الحماية من الإصابات الخطرة عند وقوع الحوادث. أما عوامل السلامة الأساسية فهي التي تُسهم في منع وقوع الحوادث وتعتمد على:

- ثبات السيارة على الطريق.
- كفاءة المكابح.
- فاعلية أنظمة القيادة والتوجيه.
- مقدرة السائق على التعامل مع المتغيرات التي تحدث في أثناء القيادة، إضافةً إلى انتباه السائق.

سؤال (69) : ماذا يحدث للسيارة وركّابها عند التوقف المفاجئ نتيجة حدوث تصادم؟

تؤثر قوىً كبيرة في السيارة وركّابها، وتعمل هذه القوى على تبديد طاقاتهم الحركية.

سؤال (70) : ما هي مناطق الانهيار (Crumple zones)، وأين توجد في السيارة؟

هي مناطق تُصمم لتكون بمثابة ماصّات للصدمات، وتوجد في مقدمة السيارة مؤخرتها.

سؤال (71) : كيف تعمل مناطق الانهيار على حماية الركاب من الناحية الفيزيائية؟

تنبعج وتتشوّه هذه المناطق بطريقة تدريجية لأن هيكلها المرن مصنوع من صفائح ليّنة. يؤدي هذا التشوه إلى:

- تناقص سرعة السيارة تدريجيًّا.
- امتصاص جزء كبير من الطاقة الحركية للسيارة والركاب.
- زيادة زمن التصادم، مما يقلل من مقدار القوة المحصلة المؤثرة في السيارة والركاب، وبالتالي تقليل احتمالية التعرض لإصابات خطيرة.

سؤال (72) : كيف تؤثر أحزمة الأمان في الركاب أثناء الاصطدام؟

تؤثر في الركاب بقوة تكون بعكس اتجاه حركة السيارة، مما يعمل على تثبيت الراكب في مقعده ومنع اندفاعه.

سؤال (73) : علل فيزيائياً: يقل مقدار القوة المؤثرة في الراكب عند استخدام حزام الأمان، بالرغم من أن التغير في زخمه الخطي ثابت.

التغير في الزخم الخطي (Δp) ثابت لأنه يعتمد فقط على كتلة الراكب وسرعة السيارة (سواء استخدم الحزام أم لا). ولكن حزام الأمان يعمل على زيادة زمن توقف الجسم، وبما أن القوة تتناسب عكسياً مع الزمن عند ثبوت التغير في الزخم، فإن مقدار القوة المؤثرة في الراكب يصبح أقل.

سؤال (74) : ماذا يحدث للراكب في حال عدم استخدامه لحزام الأمان أثناء التصادم؟

سيرتطم الراكب بعجلة القيادة أو الزجاج الأمامي للسيارة، ويتوقف جسمه خلال مدة زمنية قصيرة جداً (مقارنة بزمن التوقف عند استخدام الحزام)، مما يعني تأثر جسمه بقوة دفع أكبر بكثير تؤدي لإصابات بليغة.

سؤال (75) : ما هي وظيفة الوسائد الهوائية عند حدوث تصادم؟

تنتفخ لحماية السائق والركاب من الإصابات الخطرة؛ مثل حماية السائق من

الاصطدام المباشر بعجلة القيادة.

سؤال (76) : كيف تقلل الوسادة الهوائية من خطر الإصابة فيزيائياً؟

تعمل على:

- زيادة زمن تغير سرعة السائق (زمن التصادم)، مما يقلل من مقدار القوة المؤثرة فيه.
- توزيع القوة المؤثرة على مساحة أكبر من جسمه، مما يقلل من تركيز الضغط والإصابة.

سؤال (77) : ما هي أهمية مساند الرأس في المقاعد، وتحديداً عند صدم السيارة من الخلف؟

تضمن حركة رأس الراكب والسائق إلى الأمام مع الجسم في نفس الوقت، مما يمنع كسر الجزء العلوي من العمود الفقري (الرقبة) أو تلفه نتيجة الاندفاع المفاجئ للخلف.

سؤال (78) : ما الفرق بين "وسائل الأمان الثانوية" و"عوامل السلامة الأساسية" في السيارات؟

- وسائل الأمان الثانوية: هي وسائل تُسهم في الحماية من الإصابات الخطرة وتخفيف أثرها عند وقوع الحادث بالفعل (مثل: مناطق الانهيار، أحزمة الأمان، الوسائد الهوائية، ومساند الرأس).
- عوامل السلامة الأساسية: هي عوامل تهدف أساساً إلى منع وقوع الحوادث من البداية.

سؤال (79) : ما هي العوامل الأساسية التي تسهم في منع وقوع حوادث السيارات؟

تعتمد على:

- ثبات السيارة على الطريق.
- كفاءة المكابح (الفرامل).
- فاعلية أنظمة القيادة والتوجيه.
- مقدرة السائق على التعامل مع المتغيرات التي تحدث أثناء القيادة.
- انتباه السائق ويقظته.