الطاقة الحركية والزخم الخطي في الأنظمة المعزولة

- الطاقة الحركية: الطاقة التي يمتلكها الجسم المتحرك أي يكتسبها او يبذلها الجسم نتيجة حركته وتعتمد على:

1- الكتلة(m): طردية بثبوت السرعة
2- مربع السرعة(v^2): طردية بثبوت الكتلة

- قانون الطاقة الحركية: $KE = \frac{1}{2} m v^2$

Kenetic Energy الطاقة الحركية

K_E

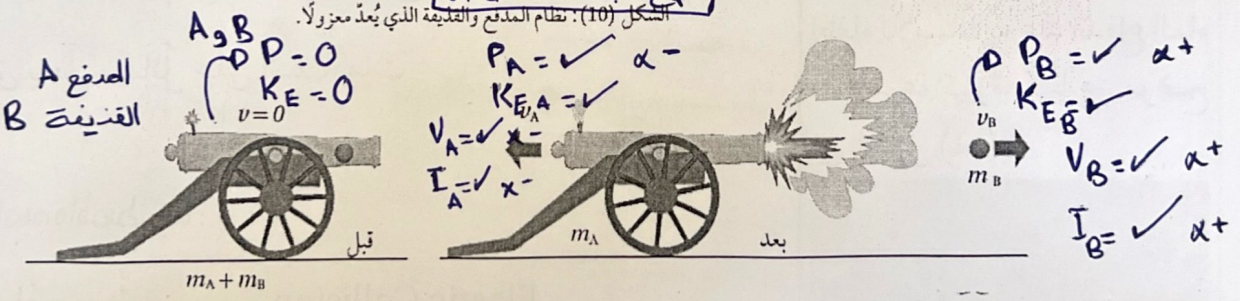
- وحدة القياس: جول ($Kg.m^2.s^{-2}$)

سندرس نوعين من التغير في الطاقة الحركية للأنظمة المعزولة:

1- تفكك جسم الى جسمين مثل أطلاق قذيفة من مدفع وانفصال صاروخ فضائي الى جزئين
2- التصادمات.

حفظ الزخم الخطي عند إطلاق قذيفة

ΔP محفوظ
ΔEP لا تساوي EP



الشكل (10): نظام المدفع والقذيفة الذي يُعدّ معزولًا.

بما 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.

Scanned with CamScanner

page 23

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 ما يأتي:

أ . الدفعُ الذي تؤثّر به القذيفة في المدفع.

ب. سرعة ارتداد المدفع.

المدفع A :- $v_{iA} = 0$ m/s , $m_A = 2.0 \times 10^3$ Kg

قذيفة B :- $v_{Bi} = 0$ m/s / $m_B = 50$ Kg / $v_{Bf} = 1.2 \times 10^2$ m/s , $x+$

1 $I_{AB} = I_{BA}$

$I = \Delta P_B = P_{Bf} - P_{Bi}$

$= m_B v_{Bf} - m_B v_{Bi}$

$= 50 \times (1.2 \times 10^2) - 50(0)$

$= 6 \times 10^3$ Kg.m/s, $x+$

$I_{AB} = 6 \times 10^3$ N.S , $x+$

$I_{BA} = 6 \times 10^3$ N.S , $x-$

2 $EP_{\text{قبل}} = EP_{\text{بعد}}$

$m_A v_{iA} + m_B v_{iB} = m_A v_{fA} + m_B v_{fB}$

$0 + 0 = 2 \times 10^3 \times v_{fA} + 50 \times 1.2 \times 10^2$

$0 = 2 \times 10^3 v_{fA} + 6 \times 10^3$

$-6 \times 10^3 \quad -6 \times 10^3$

$\frac{-6 \times 10^3}{2 \times 10^3} = \frac{2 \times 10^3 v_{fA}}{2 \times 10^3}$

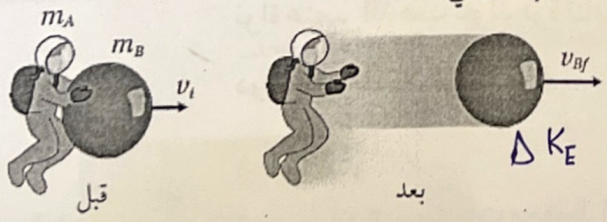
$v_{fA} = -3$ m/s

$= 3$ m/s, $x-$

المثال 6

page 24

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 (12). أحسب ما يأتي:



أ . سرعة رائد الفضاء بعد قذفه للجسم. v_{Bf}

ب. التغير في الطاقة الحركية للنظام، مفسّرًا سبب هذا التغير. dok

الجسم B :- $m_B = 40$ Kg / $v_{Bf} = 21$ m/s , $x+$ / $v_i = 6$ m/s , $x+$

رائد الفضاء A :- $m_A = 80$ Kg / $v_i = 6$ m/s , $x+$

1 v_{Bf}

$EP_{\text{قبل}} = EP_{\text{بعد}}$

$m_A v_{iA} + m_B v_{iB} = m_A v_{fA} + m_B v_{fB}$

$80 \times 6 + 40 \times 6 = 80 \times v_{fA} + 40 \times 21$

$480 + 240 = 80 v_{fA} + 840$

$720 = 80 v_{fA} + 840$

$-840 \quad -840$

$-120 = 80 v_{fA}$

$\frac{-120}{80} = \frac{80 v_{fA}}{80}$

$v_{fA} = -1.5$ m/s $\rightarrow 1.5$ m/s, $x-$

2 ΔK_E

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

$\frac{1}{2}(80)(1.5)^2 + \frac{1}{2}(40)(21)^2 = \frac{1}{2}(80)(6)^2 + \frac{1}{2}(40)(6)^2$

$90 + 8820 = 1440 + 7120$

$8910 = 2160$

$8910 - 2160 = 6750$ J

الزخم محفوظ

الطاقة الحركية غير محفوظة.

المثال 7 page 27

تصادم مرن

كرتا بلياردو كتلة كلٍّ منهما (0.16 kg). تتحرّك الكرةُ (A) باتّجاه محور $+x$ بسرعة (2 m/s) نحو الكرة (B) الساكنة وتتصادمان رأسًا برأس تصادمًا مرنًا، أنظر الشكل (15). أحسبُ سرعة الكرة (B) بعد التصادُم.

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

المطلوب: $v_{Bf} = ?$

الشكل (15): تصادم مرن لكرتين في بُعد واحد.

الحلّ:

كرة A :- $m_A = 0.16\,Kg$ / $v_{Ai} = 2\,m/s$

كرة B :- $m_B = 0.16\,Kg$ / $v_{Bi} = 0\,m/s$

① $m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$

$0.16 \times 2 + 0.16 \times 0 = 0.16 \times v_{Af} + 0.16 \times v_{Bf}$

$\frac{0.32}{0.16} + 0 = \frac{0.16}{0.16} v_{Af} + \frac{0.16}{0.16} v_{Bf}$

① $2 = v_{Af} + v_{Bf}$

② $v_{Ai} + v_{Af} = v_{Bi} + v_{Bf}$

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

② $v_{Af} - v_{Bf} = -2$

③ $v_{Af} + v_{Bf} = 2$

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

$\frac{2 v_{Bf}}{2} = \frac{4}{2}$

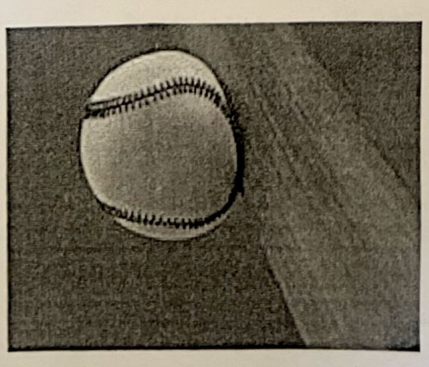
$v_{Bf} = 2\,m/s,\ +x$

$v_{BA} + 2 = +2$

$v_{BA} = 0\,m/s$

2-تصادم غير مرن:

- الزخم الخطي محفوظ في جميع أنواع التصادمات.
- الطاقة الحركية للنظام تكون غير مَحفوظة أي أن مجموع الطاقة الحركية لأجزاء النظام قبل التصادم لا يكون مساويا لمجموع الطاقة الحركية لأجزاء النظام بعد التصادم.
- من الأمثلة عليها عندما تصطدم كرة مطاطية بمضرب حيث يحدث تشوّه للكرة وضياع جزء من الطاقة.



الشكل (16): يُعد تصادم كرة مطاطية بالمضرب تصادمًا غير مرن.

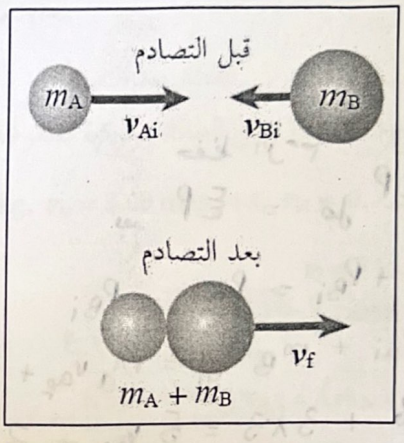
Scanned with CamScanner

3-تصادم عديم المرونة:

ويوصَفُ التصادُم غيرُ المَرن بأنه تصادُمٌ عديم المرونة Perfectly inelastic collision عندما تلتحم الأجسام المتصادمة معًا بعد التصادُم، لتصبح جسمًا واحدًا تساوي كتلتهُ مجموع كتل الأجسام المتصادمة. ومثالُ ذلك ما يحدث عند اصطدام كُرَتي صلصالٍ معًا، أو اصطدام سيارتين وتحرُّكهما معًا بعد التصادُم.

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

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



✓ أتحقّق: أقارن -في جدول- بين التصادم المرن، والتصادم غير المرن، والتصادم عديم المرونة في الأنظمة المعزولة، من حيث: حفظ الزخم الخطّي، حفظ الطاقة الحركية، التحام الأجسام بعد التصادُم.

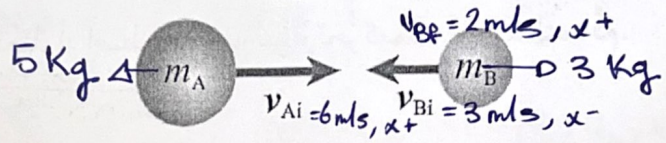
نوع التصادم / المقارنة	التصادم المرن	التصادم غير المرن	التصادم عديم المرونة
حفظ الزخم الخطي	محفوظ	محفوظ	محفوظ
حفظ الطاقة الحركية	محفوظ	غير محفوظ	غير محفوظ
التحام الاجسام بعد التصادم	لا يلتحم	لا يلتحم	يلتحم

Scanned with CamScanner

page 29

المثال 8

تتحرّك الكرة (A) باتّجاه محور $x+$ بسرعة (6.0 m/s)؛ فتصطدم رأسًا برأس بكرةٍ أُخرى (B) أمامَها تتحرّك باتّجاه محور $x-$ بسرعة (3.0 m/s). أنظرُ الشكل (18). بعد التصادُم تحرّكت الكرة (B) بسرعةٍ (2.0 m/s) باتجاه محور $x+$. إذا علمتُ أن ($m_A = 5.0$ kg, $m_B = 3.0$ kg)، فأُجيبُ عمّا يأتي:



الشكل (18): تصادم كرتين في بُعد واحد.

أ . أحسبُ سرعة الكرة (A) بعد التصادُم.

ب. أحدّد نوع التصادُم.

حفظ الزخم

1 $\sum P_{قبل} = \sum P_{بعد}$

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

$m_a v_{ai} + m_B v_{Bi} = m_a v_{af} + m_B v_{Bf}$

$5 \times 6 + 3 \times -3 = 5 v_{Af} + 3 \times 2$

$30 + (-9) = 5 v_{Af} + 6$

$5 v_{Af} = 30 + (-9) + 6$

$\frac{5 v_{Af}}{5} = \frac{15}{5}$

$v_{Af} = 3$ m/s, $x+$

2 دائمًا لتحديد نوع التصادم نطبق قانون حفظ الطاقة الحركية

$\sum KE_i = \sum KE_f$

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

$\frac{1}{2} \times 5 \times 6^2 + \frac{1}{2} \times 3 \times 3^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 3^2 + \frac{1}{2} \times 3 \times$

$\frac{180}{2} + \frac{27}{2} = \frac{45}{2} + \frac{12}{2}$

$\frac{207}{2} = \frac{67}{2}$

$KE_f - KE_i = \frac{67}{2} - \frac{207}{2}$

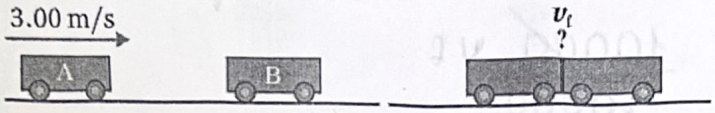
$= -$ ← تغيّرت الطاقة الحركية

إذًا التصادم غير مرن

28.5

المثال 9

عربة قطارٍ (A) كتلتُها $(1.80 \times 10^3\ \text{kg})$ تتحرّك في مسارٍ أُفقيٍّ مستقيمٍ لسكة حديدٍ بسرعةٍ $(3.00\ \text{m/s})$ باتّجاه محور $+x$، فتصطدم بعربة أُخرى (B) كتلتُها $(2.20 \times 10^3\ \text{kg})$ تقف على المسار نفسه، وتلتحمان معًا وتتحرّكان على المسار المستقيم لسكة الحديد نفسه، كما هو موضّحٌ في الشكل (19). أُجيب عمّا يأتي:



الشكل (19): تصادم عربتي قطار.

أ . أحسبُ سرعة عربتي القطار بعد التصادُم.

ب. ما نوع التصادُم؟ وهل الطاقة الحركية محفوظة في هذا النوع من التصادُمات؟ أُبرّر إجابتي.

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: $v_f = ?$

② النظام عديم الحرونة ← التحام
الطاقة الحركية غير محفوظة ← اثبت ← أوجد ΔKe

① الزخم محفوظ

$$\Delta Ke = Ke_f - Ke_i$$

$$\left[\frac{1}{2}(m_A + m_B)v_f^2 - \left(\frac{1}{2}m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2}m_B v_{Bi}^2\right)\right]$$

$$\left(\frac{1}{2} \times (1.80 \times 10^3 + 2.20 \times 10^3)\ 1.35^2\right) - \left(\frac{1}{2} \times 1.80 \times 10^3 \times 3^2 + \frac{1}{2} \times 2.20 \times 10^3 \times 0^2\right)$$

$$= 2 \times 10^3 * 1.8225 - 8.1 \times 10^3$$

$$= 3.645 \times 10^3 - 8.1 \times 10^3$$

$$= -4.455 \times 10^3\ \text{J}$$

غير محفوظة

$$\varepsilon P_i = \varepsilon P_f$$

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

$$1.80 \times 10^3 \times 3 + 2.20 \times 10^3 + 0 = (1.8 \times 10^3 + 2.2 \times 10^3) v_f$$

$$\frac{5.4 \times 10^3}{4 \times 10^3} = \frac{4 \times 10^3}{4 \times 10^3} v_f$$

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

تمرين

واجب

أستخدم الأرقام: تتحرك عربة قطار (A) في مسار أفقي مستقيم بسرعة $(2.00\ \text{m/s})$ شرقًا فتصطدم بعربة (B) تتحرك على المسار نفسه بسرعة $(1.00\ \text{m/s})$ غربًا، وتلتحمان معا. إذا علمت أن $(m_A = m_B = 5000\ \text{kg})$، أحسب الطاقة الحركية المفقودة في التصادم.

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

$$P_1 = mv = 5000 \times 2 = 10000\ \text{Kg.m/s}$$

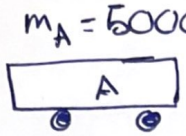
$$P_2 = mv = 5000 \times 1 = 5000\ \text{Kg.m/s}$$

$$P_f = P_1 + P_2 = 10000 + 5000 = 15000\ \text{Kg.m/s}$$

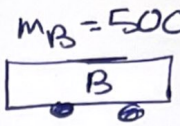
$$KE_1 = \frac{1}{2} \times 5000 \times 1^2 = 2500$$

$$KE_2 = \frac{1}{2} \times 5000 \times 2^2 = 10000$$

$$KE_f = 2500 + 10000 = 12500\ \text{J}$$



$V_{Ai} = 2\ m/s, x+$



$V_{Bi} = 1\ m/s, x-$

1 $E_{Pi} = E_{Pf}$ ← الزخم محفوظ

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

$$5000 \times 2 + 5000 \times -1 = 5000 + 5000\ v_f$$

$$10000 + (-5000) = 10000\ v_f$$

$$\frac{5000}{10000} = \frac{10000}{10000} v_f$$

$$v_f = 0.5\ m/s, x+$$

2 التصادم ← عديم المرونة ← التحام

الطاقة الحركية غير محفوظة ← أثبت ← أوجد ΔK_e

$$\Delta K_e = K_{ef} - K_{ei}$$

$$= \left[\frac{1}{2}(m_A + m_B) v_f^2 - \left(\frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2\right)\right]$$

$$\left[\frac{1}{2}(5000 + 5000)(0.5)^2 - \left(\frac{1}{2}(5000 \times (2^2)) + \frac{1}{2}(5000 \times (-1

$$[5000(0.25) - (1000 + 2500)]$$

$$= 1250 - 12500$$

$$= -11250\ J$$

تطبيقات على الزخم - البزول القذفي

17th of Sep, 2025

* الطاقة الحركية Ke

$Ke = \frac{1}{2} mv^2$ (J)

* طاقة الوضع Pe

$Pe = mgh$ (J)

Kg الكتلة — g الجاذبية الأرضية $10 m/s^2$ — h الارتفاع m

* قوة الجاذبية (الوزن) $Fg = mass * g = mg$ (N)

الكتلة — $10 m/s^2$

السقوط الحر:

يسقط جسم

1- اتجاه الحركة ↓

2- $V_i = 0$

3- V_f قيمة سالبة

4- السرعة تزيد

Mechanical Energy = $Ke_i = 0$ (أقل قيمة) + Pe = أعلى قيمة

$V_i = 0$

h = 0 نأخذ من عند سطح الأرض إلى الأعلى

h = أعلى قيمة

$y = h$

$h = 10 m$

$h = 4$

سطح الأرض

$h = 0$ أقل قيمة

$Pe = 0$ + Ke = أعلى قيمة = Me

V = قيمة سالبة ← للاتجاه

أعلى قيمة ← Ke = أعلى قيمة

سؤال رقم 8 ص 35 — 17th of Sep, 2025

$m_A + m_B = 500\,Kg$ / $v_i = ??$ / $V_{Af} = 200\,m/s$ / $V_{Bf} = 5\,m/s, x+$

$m_A = 20\,Kg$ لا تنسى

نظام معزول ← الزخم محفوظ

$P_i = P_f$

$m * v = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf}$

$500 \times v = 20 \times 200 + 480 \times 5$

$500v = 4000 + 2400$

$\frac{500v}{500} = \frac{6400}{500}$

$v = 12.8\ m/s$

سؤال رقم 5 ص 35 :

B	A
$m_B = 2m$	$m_A = m$
$V_B = V, x+$	تفرلف :- لايوجد قوى خارجية مؤثرة
	أملس :- لاتوجد قوى مقاومة
بعد $m = m_A + m_B$	$V_A = V, x-$

$P_i = P_f$

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

$(m)(-v) + (2m)(+v) = (m + 2m) v_f$

$-mv + 2mv = 3m\, v_f$

$\frac{mv}{3m} = \frac{3m}{3m} v_f$

$v_f = \frac{v}{3}, x+$

Scanned with CamScanner

(6) Ke للنظام قبل

$$Ke_i = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$$

$$\frac{1}{2}(m)(-v)^2 + \frac{1}{2}(2m)(+v)^2$$

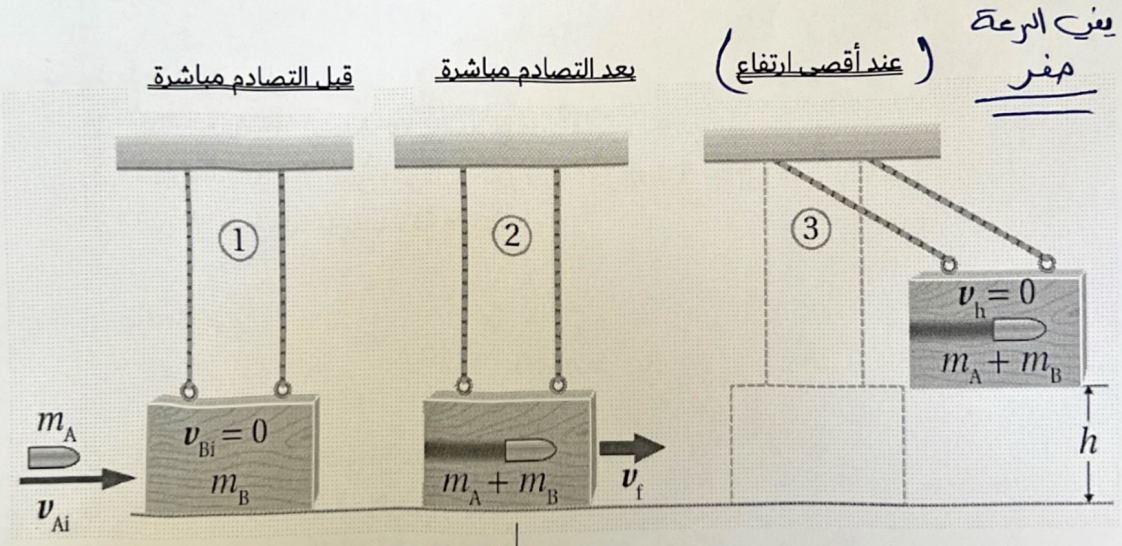
$$= \frac{1}{2} mv^2 + mv^2$$

$$= \frac{3}{2} mv^2$$

الجواب ج

تطبيق: البندول القذفيّ

مبدأ عمله: البندول القَذفِيّ Ballistic pendulum يُستخدم لقياس مقدارِ سُرعة مقذوفٍ، مثل الرصاصة. إذ تُطلق رصاصةٌ كتلتُها (m_A) باتّجاه قالب كبير ساكن من الخشب كتلته (m_B)، مُعلّق رأسيًّا بخيطين خفيفين. فتخترق الرصاصة قطعة الخشب وتستقرُّ داخلَها، ويتحرّك النظام المُكوّن منهما كجسم واحد، ويرتفع إلى أقصى مسافةً رأسيّةً (h). أنظرُ الشكل (20). ويمكن حسابُ مقدار سرعة الرصاصة قبل اصطدامها بقطعة الخشب بمعرفة مقدار (h).



$$m_A v_{Ai} + 0 = (m_A + m_B) v_f$$

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

$$ME_2 = ME_3$$

$$KE_2 + PE_2 = KE_3 + PE_3$$

$$\frac{1}{2}(m_A + m_B) v_f^2 + 0 = 0 + (m_A + m_B) g h$$

$$v_f^2 = 2gh \longrightarrow v_f = \sqrt{2gh}$$

Scanned with CamScanner

page 32

المثال 10

أطلق سعدٌ سهمًا كتلته (0.03 kg) أُفقيًّا باتّجاه بندول قذفيٍّ كتلته (0.72 kg)؛ فاصطدم به والتحما معًا، بحيث كان أقصى ارتفاع وصل إليه البندول فوقَ المستوى الابتدائي له (20 cm). بافتراض تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، وبإهمال القوى الخارجية، أُجيبُ عمّا يأتي:

أ. أيُّ مراحل حركة النظام المُكوّن من البندول والسهم يكون فيها الزخمُ الخطّي محفوظًا؟

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

جـ. أحسبُ مقدار السرعة الابتدائية للسهم. $v_{Ai} = ??$

$m_A = 0.03\ Kg$ السهم

$m_B = 0.72\ Kg$ البندول

$h = \frac{20}{100} m = 0.2 m$

$g = 10 m/s^2$

الجواب الكتاب ص

أ جواب ص32 / ب جواب ص32

ج بين مرحلة (2 و 3)

$Me_2 = Me_3$

$Pe + Ke = Pe + Ke$

$mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = mgh_3 + \frac{1}{2}mv_3^2$

$mg(0) + \frac{1}{2}(0.72+0.03)v_2^2 = (0.72+0.03)\times 10 \times 0.2$

$\frac{0.75}{2}v_2^2 = 0.75 \times 2 \times \frac{2}{0.75}$

$\sqrt{v_2^2} = \sqrt{4}$

$v_2 = 2\ m/s, \rightarrow +$

بين مرحلة (1 و 2) الزخم محفوظ

$P_i = P_f$

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

$(0.03)v_{Ai} + 0.72(0) = (0.72+0.03)(2)$

$\frac{0.03}{0.03} v_{Ai} = \frac{0.75(2)}{0.03}$

$v_{Ai} = 50\ m/s, \rightarrow +$

Scanned with CamScanner

page 33

تمرين

1. أستخدم الأرقام: أطلق مُحقّقٌ رصاصةً كتلتُها (0.030 kg) أُفقيًّا باتّجاه بندول قذفي كتلته (0.97 kg)، فاصطدمت به والتحما معًا، فكان أقصى ارتفاع وصل إليه البندول فوق المستوى الابتدائي له (45 cm). أحسبُ مقدار السرعة الابتدائية للرصاصة.

$m = 0.030\ Kg$ / $m = 0.97\ Kg$ / $h = \frac{45\ cm}{100} = 0.45\ m$ / $v_{Ai} = ??$

رصاصة — بندول

1 $Me_3 = Pe_2$ بعد التصادم

$(Pe_3 + Ke_3) = (Pe_2 + Ke_2)$

$mgh_3 + \frac{1}{2}mv_3^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$

$(1)(10)(0.45) + \frac{1}{2}(1)(0) = (1)(10)(0) + \frac{1}{2}(1)(v_2^2)$

$\frac{4.5}{0.5} = \frac{0.5}{0.5}v_2^2$

$\sqrt{v_2^2} = \sqrt{9}$

$v_2 = 3$

2 $Pe_i = Pe_f$ (بين مرحلة 1 و 2)

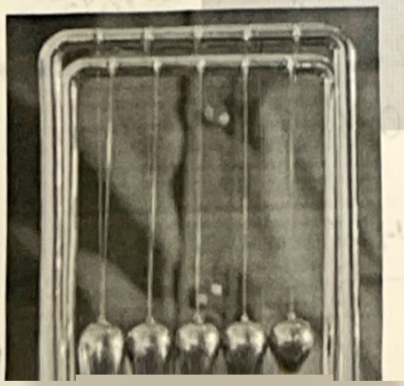
$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = m v_f$

$0.030\ v_{Ai} + 0.97 \times 0 = 1(3)$

$\frac{0.030}{0.030} v_{Ai} = \frac{3}{0.030}$

$v_{Ai} = 100\ m/s, x^+$

2. 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 الكُرتين الخارجيّتين نحو الخارج ثم إفلاتها؛ فإنّها تصطدم تصادمًا مرنًا بالكرة التي كانت مجاورة لها، أُلاحظ أنّ الكرة الخارجية على الجانب الآخر من اللعبة تقفز في الهواء.



أ. أُفسّر ما حدث.

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