المستوى : السنة الثانية ثـانوي

الوحدة **02** **العمل والطاقة الحركية** (حالة الحركة الإنسحابية)

GUEZOURI A. Lycée Maraval - Oran

ماذا يجب أن أعرف حتى أقول : إني استوعبت هذا الدرس

1 - يجب أن أفرّق بين انسحاب جسم ودورانه .

2 - يجب أن أعرف العلاقة الرياضية التي تعبّر عن الطاقة الحركية خلال انسحاب جسم .

3 – يجب أن أعرف العلاقة الرياضية التي تعبّر عن عمل قوّة وكيفية حساب هذا العمل في مختلف الحالات .

4 - يجب أن أعرف أن عمل قوّة ثقل جسم لا يتعلق بالمسار المسلوك.

الدرس

1 – انسحاب جسم :

نقول أن جسما ينسحب عندما يكون لكل النقط المشكّلة للجسم نفس منحى وجهة شعاع السرعة .

2 – الطاقة الحركيّة :

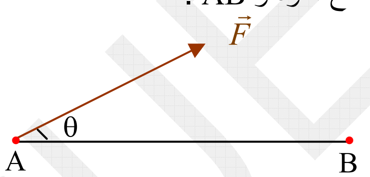
تتعلق الطاقة الحركية لجسم ينسحب بكتلته وسرعته $E_c = \frac{1}{2}Mv^2$ ، حيث M : (kg) ، v : (m/s) ، E_c : (J) (Joule)

3 – عمل قوّة ثابتة

القوة الثابتة $\vec{F}$ هي القوة التي تحافظ على جهتها ومنحاها وشدتها عندما تنتقل نقطة تأثيرها . نعبّر عن عملها بين A و B بالعلاقة :

$$W_{AB}\left(\vec{F}\right) = F\ AB\cos\theta$$

حيث AB المسافة التي تقطعها نقطة تأثير القوة $\vec{F}$ و θ هي الزاوية المباشرة المحصورة بين شعاع القوة و AB .

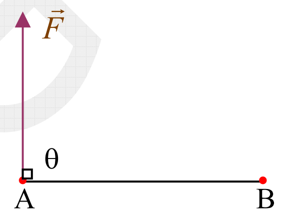


إذا كان $cos\ \theta > 0$ يكون العمل موجبا ، ونقول عنه أنه **عمل محرّك** .

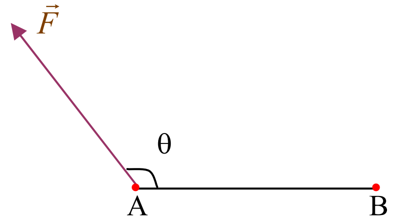
إذا كان $cos\ \theta < 0$ يكون العمل سالبا ، ونقول عنه أنه **عمل مقاوم** .

إذا كان $cos\ \theta = 0$ ، أي $\theta = 90°$ ، يكون العمل معدوما ، ونقول أن القوّة **لا تعمل** .

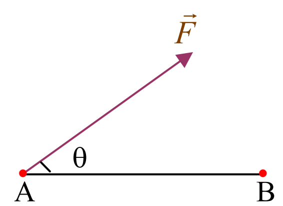
تنتقل نقطة تأثير القوّة $\vec{F}$ من A نحو B :



$\vec{F}$ لا تعمل

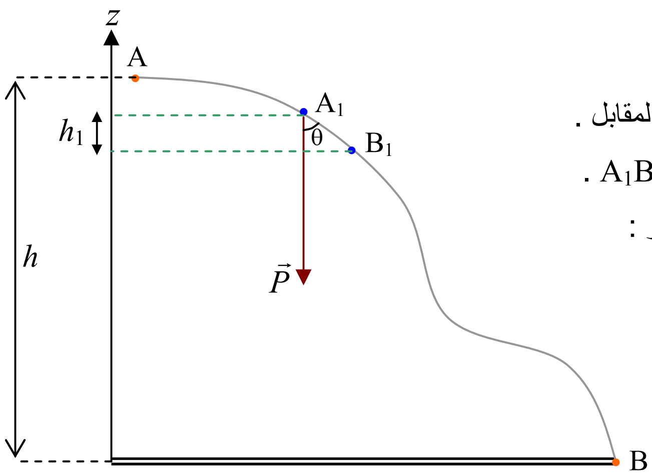


عمل $\vec{F}$ مقاوم



عمل $\vec{F}$ محرّك

4 – عمل قوّة الثقل



نعتبر ورقة ثقلها $\vec{P}$ تسقط من A نحو B وفق المسار المبيّن في الشكل المقابل .

لو قسّمنا هذا المسار إلى قطع صغيرة نحصل على خطوط مستقيمة مثل A_1B_1 .

نعلم أن قوة الثقل هي قوة ثابتة ، وبالتالي يكون عملها من A_1 إلى B_1 هو :

$$W_1\left(\vec{P}\right) = P\ A_1B_1 \cos\theta \qquad (1)$$

ولدينا $\cos\theta = \dfrac{h_1}{A_1B_1}$ ، وبالتالي من العلاقة (1) نكتب :

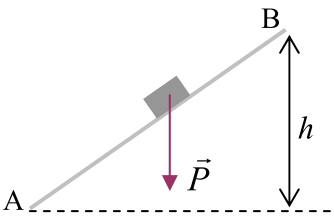
$$W_1\left(\vec{P}\right) = P\ h_1$$

نكرّر حساب العمل في كل جزء من المسار ، وبجمع هذه الأعمال نجد العمل من A إلى B :

$$W = W_1\left(\vec{P}\right) + W_2\left(\vec{P}\right) + ... = P\ h_1 + P\ h_2 + ... = P\left(h_1 + h_2 + ...\right)$$

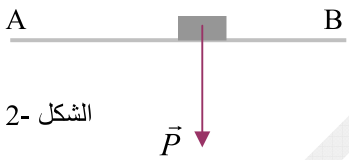
ولدينا $h_1 + h_2 + ... = h$ ، ومنه **عمل قوة الثقل لا يتعلق بالمسار المسلوك ، بل يتعلق فقط بأول نقطة وآخر نقطة منه** .

$$W_{AB}\left(\vec{P}\right) = P\ h = Mg\ h \qquad (1)$$



الشكل - 1

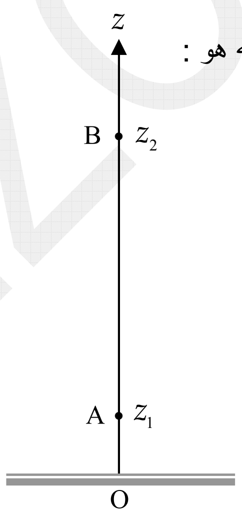
- إذا كان الجسم ينتقل نحو الأعلى فإن عمل الثقل يكون سالبا $W_{AB}\left(\vec{P}\right) = -P\ h$ (الشكل -1)
- إذا كان الجسم ينتقل أفقيا فإن عمل ثقله يكون معدوما (الشكل – 2)



الشكل -2

بصفة عـامة :

نوجّه الارتفاعات بواسطة المحور $\left(\overrightarrow{Oz}\right)$.



- عندما ينزل جسم من النقطة B إلى النقطة A ، فإن عمل قوة ثقله هو :

$$\boxed{W\left(\vec{P}\right) = P\left(z_2 - z_1\right)} \qquad (2)$$

- عندما يصعد من النقطة A إلى النقطة B فإن عمل قوة ثقله هو

$$\boxed{W\left(\vec{P}\right) = P\left(z_1 - z_2\right)} \qquad (3)$$

في العلاقة (2) العمل محرّك وفي العلاقة (3) العمل مقاوم لأن $z_2 > z_1$

في العلاقة (1) : $h = \left|z_2 - z_1\right|$

النشاطات

1 – عمل قوة ثابتة

النشاط 1 ص 34

- يجب تثبيت مجفف الشعر على بعد ثابت عن العربة (يتحرك مع العربة) لكي يبقى ضغط التيار الهوائي المنبعث من المجفف ثابتا ، وبالتالي تكون القوة المطبقة منه على العربة ثابتة .
- يجب أن يكون التيار الهوائي أفقيا ومن جهة النقطة A حتى يكون شعاع القوة التي يؤثر بها موازيا لـ AB ، لأن عبارة العمل هي $W = F\ AB \cos\theta$ ، وفي هذه الحالة لدينا $\theta = 0$ ، ومنه $\cos\theta = 1$ والتي توافق أعظم قيمة للعمل W ، أي العربة تصل بأقصى سرعة إلى B .
- في هذه الحالة نجعل التيار الهوائي يسقط أفقيا عليها من جهة B ، فتكون الزاوية $\theta = 180°$ ، وبالتالي $\cos\theta = -1$ ، فيصبح العمل سالبا ، أي مقاوما ، وهذا العمل هو أعظم عمل سالب .
- إذا كان حامل القوة عموديا على العربة فإنها لا تتحرك ، أي أن عمل هذه القوة يكون معدوما لأن $\theta = 90°$ ومنه $\cos\theta = 0$.

النشاط 2 ص 35

حتى يصبح للنشاط معنى نستبدل العبارة الأولى بالعبارة التالية : **يؤثر أربعة أشخاص على سيارة بواسطة القوى الممثلة في الشكل** .

ملاحظة : ليس من المعقول أن الأشخاص يريدون نقل العربة من A نحو B ويؤثرون عليها بالقوى $\vec{F_1}$ و $\vec{F_4}$

1 - القوة التي تجعل العربة تصل إلى النقطة B بأقصى سرعة هي $\vec{F_3}$ ، لأن الزاوية بين $\vec{F_3}$ و AB هي $\theta = 0$ ، أي $\cos\theta = 1$ وبالتالي تكون لدينا أكبر قيمة للعمل .

2 - المقصود هنا هو مفعول التحريك ومفعول العرقلة ، فلكي تبقى العربة فوق الخط AB يجب أن تتعادل القوتان $\vec{F_4}$ و $\vec{F_2}$ وهما قوتان ليس لهما أي مفعول في الحركة على AB .

القوّة $\vec{F_1}$ تعرقل حركة العربة من A إلى B .

3 - العلاقتان $F\,d\alpha$ و $F\ d\sin\alpha$ لا معنى لهما في عبارة العمل ، أما العلاقتان $F\ d\cos\alpha$ و Fd فتعبّران عن عمل قوة ثابتة ، حيث العبارة الثانية توافق أعظم عمل ، أي أن شعاع القوة موازي للانتقال AB وموجّه من A نحو B .

حـالات خـاصة

- القوّة معدومة : هذا معناه أننا لم نؤثر على العربة أو أثرنا عليها بمجموعة من القُوى محصّلتها معدومة . وبالتالي يكون العمل معدوما .
- القوة عمودية على مسار نقطة تطبيقها : العمل معدوم ، لأن الزاوية θ بين شعاع القوّة وAB قائمة ، وبالتالي $\cos\theta = 0$.
- الانتقال AB معدوم : هذا معناه أن عمل القوة معدوم (لم تنتقل) .

2 – العمل المحرّك والعمل المقاوم

النشاط 1 ص 35

1 – هذه القوّة مساعدة للحركة .

2 - بفرض أن الخيط الذي نجرّ به العربة موازي لـ AB :

$$W_{AB}\left(\vec{F}\right) = F\ AB\cos\theta = 1000 \times 100 \times \cos 0 = 1,0 \times 10^5 J$$

3 - هذا العمل محرك وبالتالي فهو موجب .

النشاط 2 ص 35

1 - هذه القوّة معرقلة للحركة لأنها تعمل على إيقاف العربة .

2 - $W_{AB}\left(\vec{F}\right) = F\ AB\cos\theta = 500 \times 50 \times \cos 180 = -2,5 \times 10^4 J$

3 - قوة الفرامل تعرقل الحركة ، وبالتالي عملها يكون سالبا .

إكمال الفراغات

تكون القوة المطبّقة على متحرّك في **جهة** الحركة **مساعدة** لحركته ، وتكون إشارة عمل هذه القوّة **موجبة** ، وندعوه عملا **محرّكا** .
تكون القوّة المطبّقة على متحرّك في **الاتجاه** (المقصود الجهة) المعاكس للحركة **معيقة** لحركته ، وتكون إشارة عمل هذه القوّة **سالبة** وندعوه عملا **مقاوما** .

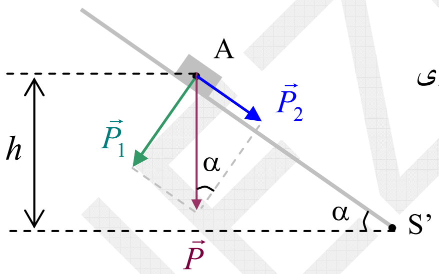
3 – عمل الثقل

- عبارة عمل قوة الثقل : $W\left(\vec{P}\right) = P \times AS$

- في هذه الحالة نطبّق عبارة العمل على قوّة تنسحب موازية للانتقال AB ، أي : $W_{AB}\left(\vec{P}\right) = P\ AB = P\ h$

- عبارة عمل الثقل أثناء قذف الكرة أفقيا من الموضع A : نفس العبارة لأن عمل الثقل مستقلّ عن المسار المتّبع انظر للدرس .

- عبارة عمل الثقل عندما ينزل الجسم فوق مستو مائل :



يُمكن تحليل قوة الثقل إلى مركبتن ، إحداهما عمودية على المستوي المائل $\left(\vec{P}_1\right)$ والأخرى موازية للمستوي المائل $\left(\vec{P}_2\right)$.

عمل القوة $\vec{P}$ هو مجموع عملي القوتين $\vec{P}_1$ و $\vec{P}_2$

$$W_{AS'}\left(\vec{P}\right) = W_{AS'}\left(\vec{P}_1\right) + W_{AS'}\left(\vec{P}_2\right) = 0 + P_2\ AS' \qquad (1)$$

لأن $\vec{P}_1$ عمودية على المسار 'AS و $\vec{P}_2$ موازية للمسار ، ونعلم أن $\sin\alpha = \frac{h}{AS'}$ ، ولدينا كذلك $\sin\alpha = \frac{P_2}{P}$.

بالتعويض في العلاقة (1) نجد : $W_{AS'}\left(\vec{P}\right) = P\sin\alpha \times \frac{h}{\sin\alpha} = P\ h$.

- نستنتج من كل ما سبق أن عمل الثقل لا يتعلّق بالمسار المسلوك .

إكمال الفراغات

عمل الثقل لا **يتعلّق** بالطريق **المتبع** من طرف المتحرّك ، بل يتعلّق **بقيمة** الثقل و**الفرق** في الارتفاع h بين الموضع **الابتدائي** والموضع **النهائي** فقط ، أي : $W\left(\vec{P}\right) = P\ h$

4 – العمل والطاقة الحركية

النشاط 1 ص 37

نقول عن نابض أنه خرج من مجال مرونته عندما نثبّته من أحد طرفيه ونسحب طرفه الآخر بقيمة كبيرة وعندما نتركه يبقى مشوّها ولا يرجع لطوله الطبيعي .

في الموضع A :

- ليس للعربة طاقة حركية لأنها ساكنة وليس لها طاقة كامنة ثقالية إذا اعتبرنا أن الارتفاع معدوم على الطاولة . أما النابض قد خزّن طاقة كامنة مرونية لأنه مستطال .

في الموضع B :

- لا يخزّن النابض طاقة لأن طوله أصبح مساويا لطوله الطبيعي l_0 .
- تكتسب العربة طاقة حركية ، وهي الطاقة التي تحولت من النابض من كامنة مرونية لحركية لدى العربة .

حساب سرعة العربة في الموضع B : نقسّم المسافة على الزمن $v = \frac{\Delta x}{4\tau}$

ملاحظة 1 : أجريت التجربة الأخيرة بخمس حمولات وليس بثلاث حمولات ، لأن قيمة الحمولة هي $m = 0{,}376 - 0{,}276 = 0{,}1 \text{ kg}$

وبالتالي يكون عدد الحمولات في التجربة الأخيرة هو : $n = \frac{0,776 - 0,276}{0,1} = 5$

ملاحظة 2 : النقط على الشريط غير مرسومة بشكل علمي دقيق ، حيث نعلم أن أكبر سرعة للعربة تكون في النقطة B . ثم أن بعد النقطة B نلاحظ في الشكل أن النابض لم يصبح له أي تأثير ، وبالتالي تكون حركة العربة إما منتظمة أو متباطئة (حالة وجود احتكاك) .

حتى تكون الأمور دقيقة نعتبر أن النقطة B على الشريط ليست هي النقطة B على الشكل ، لأن على جانبي هذه النقطة لدينا حركتان مختلفتان .

نعتمد على الجدول ونواصل الحل .

ملء الجدول :

كتلة العربة : M (kg)		Δx (m)	$v\ (m/s)$	$M^2 v$	Mv	Mv^2
عربة بدون حمولة	0,276	0,066	1,65	0,125	0,455	0,751
عربة بحمولة واحدة	0,376	0,055	1,39	0,196	0,522	0,726
عربة بحمولتين	0,476	0,050	1,25	0,283	0,595	0,743
عربة بخمس حمولات	0,776	0,039	0,97	0,584	0,752	0,730

في الموضع A :

- تملك الجملة (عربة + نابض) طاقة كامنة مرونية مخزّنة في النابض ، لأن هذا الأخير مستطال .
- طاقة الجملة متساوية في كل الحالات الأربع ، لأن هذه الطاقة تخص النابض (نفس الاستطالة في كل الحالات) وليس العربة ، إذن مهما كانت كتلة العربة مع الحمولات ، فإن الجملة تكون لها نفس الطاقة .

في الموضع B :

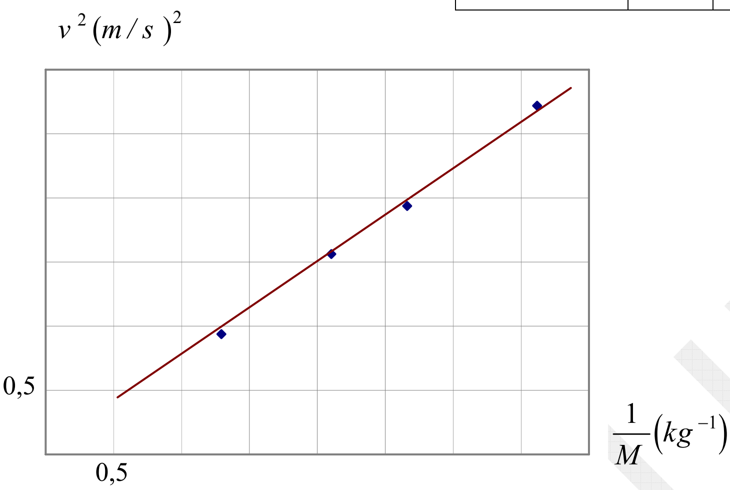
- طاقة الجملة عبارة عن طاقة حركية اكتسبتها العربة ، لأن النابض لم يصبح يخزّن طاقة لأن طوله يساوي طوله الطبيعي l_0 .
- طاقة الجملة متساوية في الحالات الأربعة ، لأنها تمثّل الطاقة التي كانت مخزّنة في الجملة ، وهذه الطاقة تتعلق باستطالة النابض (نفس الاستطالة في كل الحالات) .

- نمط التحويل ميكانيكي .
- قيمة التحويل هي نفسها في كل تجربة ، لأن في كل تجربة كان النابض يخزّن نفس الطاقة في الوضع A (نفس الاستطالة) .
- من الجدول نلاحظ أنه كلما زادت الكتلة تنقص السرعة في النقطة B .

بما أن العبارة Mv^2 في الجدول ثابتة ، فهي التي تناسب التحويل الذي حدث في الجملة في مختلف الحالات .

تغيرات مربّع السرعة v^2 بدلالة مقلوب الكتلة $\frac{1}{M}$: $v^2 = f\left(\frac{1}{M}\right)$

$v^2 (m/s)^2$	2,72	1,93	1,56	0,94
$\frac{1}{M}(kg^{-1})$	3,62	2,66	2,10	1,29



نلاحظ أن البيان عبارة عن خط مستقيم في حدود أخطاء التجربة .

إكمال الفراغات

تتعلق الطاقة الحركية لجسم متحرك **بكتلته** و**سرعته** ، وتتناسب طرديا مع المقدار Mv^2 ، وتكون عبارتها من الشكل $E_C = K_C \times Mv^2$ ، حيث K_c قيمة ثابتة تمثل معامل التناسب .

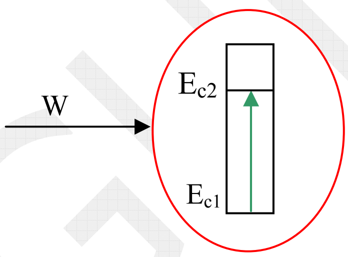
النشاط 2 ص 39 : تحديد الثابت K_c

الجزء أ

1 - ينزل الجسم المعلّق في الخيط فيؤدّي ثقله لسحب العربة ، فتتغيّر طاقتها الحركية من $E_{c1} = 0$ إلى E_{c2}

2 - معادلة انحفاظ الطاقة : $E_{c1} + W = E_{c2}$ ، وبما أن $E_{c1} = 0$ (العربة ساكنة) فإن $W = E_{c2}$

للعلم : النابض لا يتغيّر طوله أثناء الحركة .



الجزء ب

1 - **ملاحظة** : توجد أخطاء كثيرة في شريط تسجيل الحركة ، لهذا نستبدل هذا التسجيل بتسجيل آخر ونستعمل عربة كتلتها M = 240 g

الشريط الجديد : حيث المسافات مقاسة بـ mm

A_0A_1	A_1A_2	A_2A_3	A_3A_4	A_4A_5	A_5A_6	A_6A_7	A_7A_8	A_8A_9	A_9A_{10}	$A_{10}A_{11}$	$A_{11}A_{12}$	$A_{12}A_{13}$
2,2	6,6	11,2	15,7	20,2	24,7	29,1	33,7	38,2	42,7	47,2	51,7	56,2

2 - سرعة العربة في المواضع المطلوبة :

$$v_2 = \frac{A_1A_3}{2\tau} = \frac{(6,6+11,2)\times 10^{-3}}{0,08} = 0,222\ m/s$$

$$v_4 = \frac{A_3A_5}{2\tau} = \frac{(15,7+20,2)\times 10^{-3}}{0,08} = 0,448\ m/s$$

$$v_6 = \frac{A_5A_7}{2\tau} = \frac{(24,7+29,1)\times 10^{-3}}{0,08} = 0,672\ m/s$$

$$v_8 = \frac{A_7A_9}{2\tau} = \frac{(33,7+38,2)\times 10^{-3}}{0,08} = 0,898\ m/s$$

$$v_{10} = \frac{A_9A_{11}}{2\tau} = \frac{(42,7+47,2)\times 10^{-3}}{0,08} = 1,123\ m/s$$

طويلة شعاع تغيّر السرعة :

$$\Delta v_3 = v_4 - v_2 = 0,448 - 0,222 = 0,226\ m/s$$

$$\Delta v_5 = v_6 - v_4 = 0,672 - 0,448 = 0,224\ m/s$$

$$\Delta v_7 = v_8 - v_6 = 0,898 - 0,673 = 0,225\ m/s$$

$$\Delta v_9 = v_{10} - v_8 = 1,123 - 0,898 = 0,225\ cm/s$$

3 - نلاحظ أن طويلة شعاع تغيّر السرعة ثابتة في حدود دقة التجربة ، ومنه نستنتج أن القوة التي كانت تؤثر على العربة ثابتة .

4 – المسافات d_i من الجدول :

$A_0A_1 = 2,2$ mm ، $A_0A_2 = 8,8$ mm ، $A_0A_3 = 20$ mm ، $A_0A_4 = 35,7$ mm ، $A_0A_5 = 55,9$ mm ،
$A_0A_6 = 80,6$ mm ، $A_0A_7 = 109,7$ mm ، $A_0A_8 = 143,4$ mm ، $A_0A_9 = 181,6$ mm ، $A_0A_{10} = 224,3$ mm

5 - أعمال القوة المؤثرة على العربة خلال هذه الانتقالات (نحسب في المواضع التي حسبنا فيها سرعة العربة اختصارا) :

$$W_{A_0,A_2}(\vec{F}) = F\ A_0A_2 = 0,67\times 8,8\times 10^{-3} = 5,9\times 10^{-3} J$$

$$W_{A_0,A_4}(\vec{F}) = F\ A_0A_4 = 0,67\times 35,7\times 10^{-3} = 2,40\times 10^{-2} J$$

$$W_{A_0,A_6}(\vec{F}) = F\ A_0A_6 = 0,67\times 80,6\times 10^{-3} = 5,40\times 10^{-2} J$$

$$W_{A_0,A_8}(\vec{F}) = F\ A_0A_8 = 0,67\times 143,4\times 10^{-3} = 9,60\times 10^{-2} J$$

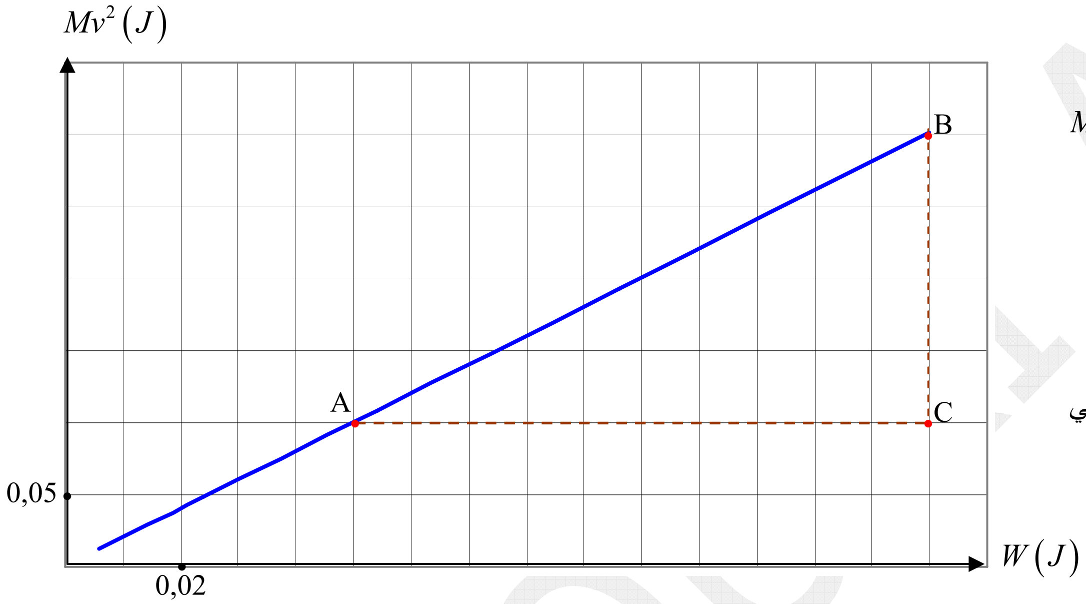
$$W_{A_0,A_{10}}(\vec{F}) = F\ A_0A_{10} = 0,67\times 224,3\times 10^{-3} = 1,5\times 10^{-1} J$$ ....

6 – قيمة المقدار Mv^2 في المواضع السابقة : (نحسب هذا المقدار في المواضع التي حسبنا فيها سرعة العربة)

الموضع	A_2	A_4	A_6	A_8	A_{10}
$Mv^2 (J)$	0,012	0,048	0,108	0,193	0,302

7 - تدوين النتائج في جدول واحد :

الموضع	$v(m/s)$	$d(mm)$	$Mv^2(J)$	$W = Fd(J)$
2	0,222	8,8	0,012	$5,9 \times 10^{-3}$
4	0,448	35,7	0,048	$2,4 \times 10^{-2}$
6	0,672	80,6	0,108	$5,4 \times 10^{-2}$
8	0,898	143,4	0,193	$9,6 \times 10^{-2}$
10	1,123	224,3	0,302	$15,0 \times 10^{-2}$



الجزء جـ :

1 - رسم البيان $Mv^2 = f(W)$

نلاحظ أن البيان خط مستقيم

2 - ميل البيان :

$$a = \frac{BC}{AC} = \frac{4 \times 0,05}{5 \times 0,02} = 2$$

3 - العلاقة الممثلة في الشكل هي

$Mv^2 = a\ W$ ، وبالتالي :

$W = \frac{1}{a} Mv^2$ ، ولدينا من

الجزء (أ) : $W = E_C$ و $E_C = K_C Mv^2$

ومنه : $K_C = \frac{1}{2}$

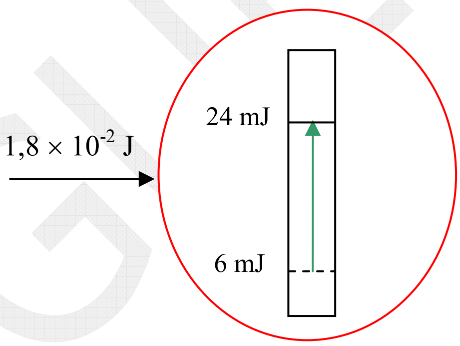
الجزء د :

1 - نمثل الحصيلة الطاقوية مثلا بين الوضع 2 و الوضع 4 :

بين الوضعين 2 و 4 المسافة $A_2A_4 = 26,9\ mm$ ، ويكون العمل المنجز من طرف القوة المؤثرة على العربة

$$W_{A_2A_4}(\vec{F}) = 0,67 \times 26,9 \times 10^{-3} = 1,8 \times 10^{-2}\ J$$

ولدينا $E_{C2} = \frac{1}{2} M v_2^2 = 6 \times 10^{-3} J$ ، $E_{C4} = \frac{1}{2} M v_4^2 = 24 \times 10^{-3} J$



2 – لاحظ في الجدول أن $W = \frac{1}{2} Mv^2$ ، حيث أن $\frac{1}{2} Mv^2$ هو التغير في الطاقة الحركية ، لأن الطاقة الحركية الابتدائية كانت معدومة في كل تجربة (انطلاق العربة من السكون) ، وبالتالي يكون التغيّر في الطاقة الحركية بين وضعين هو العمل المنجز بين هذين

الوضعين من طرف القوى المؤثرة على العربة . للتذكير أن عملي قوة الثقل وقوة رد فعل الطاولة على العربة معدومان لأن هاتين القوتين عموديتان على المسار .

نستنتج أن $W_{1\to 2}\left(\vec{F}\right)=E_{c_2}-E_{c_1}=\Delta\ E_c$ ، حيث $\Delta\ E_C$ هو التغيّر في الطاقة الحركية .

إكمال الفراغات

عندما ينسحب جسم ذو كتلة M بسرعة v تكون طاقته الحركية $E_C=\frac{1}{2}Mv^2$.

تغيّر **الطاقة الحركية** للعربة بين موضعين يساوي عمل القوى المؤثرة على هذه العربة بين هذين الموضعين