المستوى : السنة الثانية ثـانوي

الوحدة **04** **الطــاقة الكـامنة**

GUEZOURI A. Lycée Maraval – Oran حسب الطبعة 2012 / 2013 للكتاب المدرسي

ماذا يجب أن أعرف حتى أقول : إني استوعبت هذا الدرس

1 - يجب أن أعرف مدلول الطاقة الكامنة الثقالية .

2 - يجب أن أعرف عبارة الطاقة الكامنة الثقالية ، وأنها تتعلق بالوضع المرجعي .

3 - يجب أن أعرف أن التغيّر في الطاقة الكامنة الثقالية لا يتعلّق بالوضع المرجعي .

4 – يجب أن أعرف العلاقة بين التغيّر في الطاقة الكامنة الثقالية وعمل قوة الثقل .

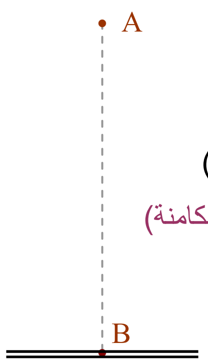
5 – يجب أن أعرف أن النابض لا يخزّن طاقة إلا إذا كان مستطالا أو متقلّصا .

6 – يجب أن أعرف أن قوة التوتر في النابض قوة غير ثابتة ، وأن التغير في الطاقة الكامنة هو مقدار عمل قوة التوتر .

الدرس

I - الطاقة الكامنة الثقالية

1 – مدلول الطاقة الكامنة الثقالية



الشكل - 1

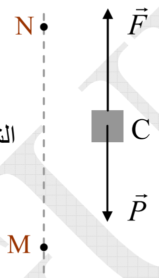
نترك جسما يسقط من النقطة A نحو النقطة B من سطح الأرض ، حيث $AB = h$. فكلما كانت النقطة A أبعد عن B كلما كانت الطاقة الحركية للجسم أكبر عند وصوله إلى النقطة B . هذه الطاقة الحركية لم تكن سوى طاقة أخرى مخزّنة في الجسم ، لكن لا تظهر إلا إذا سقط الجسم ، فهي كامنة فيه (مختبئة) وتسمّى الطاقة الكامنة الثقالية . (شكل -1)

... كلنا يعرف **الكمين** (Embuscade) الذي ينصبه الجنود للعدوّ ، بحيث يروه ولا يراهم . إن طاقة الجنود المختفية (الكامنة) نسبة إلى **الكمين** تظهر على شكل هجوم وقتال أثناء الانقضاض على العدوّ .

ثقالية : معناها الناتجة عن الفعلين المتبادلين بين الجسم والأرض ، نسبة لثقل الجسم ، أي جذب الأرض للأجسـام .

نرمز لهذه الطاقة بالرمز **E_{pp}** . E : Energie , p : potentielle , p : (de) pesanteur

2 – إمكانية قياس هذه الطاقة

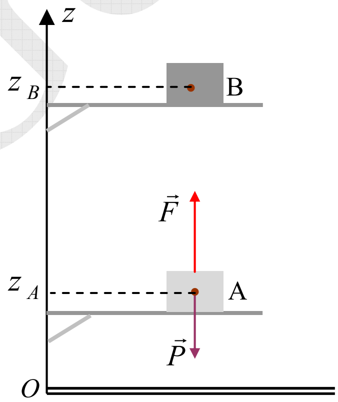


الشكل - 2

ننفق جهدا عضليا لكي نرفع الجسم C من النقطة M إلى النقطة N الأعلى منها (شكل - 2) . يُخزّن هذا الجهد في الجسم على شكل طاقة كامنة ثقالية . نُنمذج هذا الجهد بقوّة $\vec{F}$ تُلغي مفعول قوة ثقل الجسم $\vec{P}$ أثناء الصعود .

إن الجهد الذي أنفقنـاه يُمكن قياسه ، وبالتالي الطاقة الكامنة الثقالية مقدار قابل للقياس .

3 – عبارة الطاقة الكامنة الثقالية



نحمل جسما (حقيبة مثلا) من النقطة A فاصلتها على المحور الشاقولي Oz هي z_A إلى النقطة B التي فاصلتها z_B .

سرعة الجسم في A : $v_A = 0$

سرعة الجسم في B : $v_B = 0$

بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة : $E_{cB} - E_{cA} = W_{AB}\left(\vec{F}\right) + W_{AB}\left(\vec{P}\right)$ (1)

ولدينا $E_{cA} = E_{cB} = 0$

وبالتالي $W_{AB}\left(\vec{F}\right) = -\ W_{AB}\left(\vec{P}\right)$ ، ونعلم أن $W_{AB}\left(\vec{P}\right) = -P\left(z_B - z_A\right)$ لأن عمل الثقل في هذه الحالة مقاوم

أما $h = z_B - z_A$ هو الارتفاع بين A و B .

لدينا من العلاقة (1) $W_{AB}\left(\vec{F}\right) = -\ W_{AB}\left(\vec{P}\right) = -\left[-P\left(z_B - z_A\right)\right] = Mg\left(z_B - z_A\right)$

أي : $W_{AB}\left(\vec{F}\right) = Mg\, z_B - Mg\, z_A$

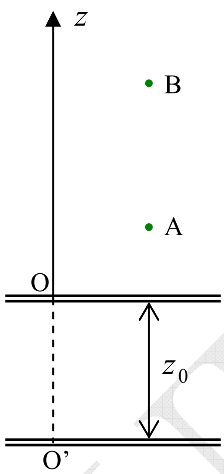
نسمّي $Mg\, z_B$ و $Mg\, z_A$ الطاقة الكامنة الثقالية للجسم في النقطة B و A على الترتيب بالنسبة للمستوي الأفقي المار بالنقطة O المأخوذة اختياريا ، ونكتب $W_{AB}\left(\vec{F}\right) = E_{ppB} - E_{ppA}$

كل جسم كتلته M ويوجد مركز عطالته G على ارتفاع z_G عن سطح الأرض يملك طاقة كامنة ثقالية $E_{pp} = Mg\, z_G$

أو نعبّر عنها بـ $E_{pp} = Mg\, h$

E_{pp} (J) , M (kg) , g (N/kg) , h (m)

4 – التغيّر في الطاقة الكامنة الثقالية



نرفع جسما من النقطة A إلى النقطة B .

- باعتبار المبدأ هو النقطة O يكون لدينا : $E_{ppB} = Mg\, z_B$ و $E_{ppA} = Mg\, z_A$

ويكون التغيّر في الطاقة الكامنة $\Delta E_{pp} = Mg\left(z_B - z_A\right)$

- باعتبار المبدأ هو النقطة O’ يكون لدينا :

$E'_{ppB} = Mg\left(z_B + z_0\right)$ و $E'_{ppA} = Mg\left(z_A + z_0\right)$

ويكون التغيّر في الطاقة الكامنة : $\Delta E'_{pp} = Mgz_B + Mgz_0 - Mgz_A - Mgz_0 = Mg\left(z_B - z_A\right)$

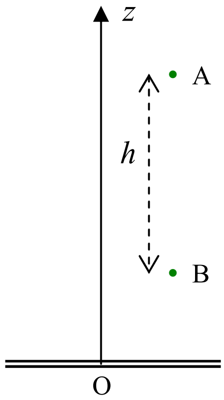
وبالتالي : $\Delta E_{pp} = \Delta E'_{pp}$

- لا يمكن حساب الطاقة الكامنة الثقالية لجسم إلا بعد اختيار مستو أفقي نعتبر عنده الارتفاع يساوي الصفر ، نسمي هذا المستوي **الوضع المرجعي** للطاقة الكامنة الثقالية ، أي أن الطاقة الكامنة عبارة عن قيمة جبرية ، يمكن أن تكون موجبة أو سالبة أو معدومة ، على عكس الطاقة الحركية التي هي دائما موجبة .

الطاقة الكامنة الثقالية معرّفة دائما بتقريب ثابت .
هذا الكلام معناه أننا لما نحسب الطاقة الكامنة الثقالية نضيف لها قيمة أخرى ، أي طاقة كامنة أخرى E_{pp0} ، و هذه القيمة تتعلق بالوضع المرجعي ، بحيث تكون $E_{pp0} = 0$ إذا كان الوضع المرجعي هو مبدأ المحور Oz .

- التغير في الطاقة الكامنة لا يتعلّق بالوضع المرجعي ، أي أن ΔE_{pp} مستقلّ عن z_0 .

5 – علاقة التغير في الطاقة الكامنة الثقالية بعمل قوة الثقل



يسقط جسم من A إلى B بفعل ثقله فقط ، فيكون التغيّر في الطاقة الكامنة الثقالية :

$$\Delta E_{pp} = E_{ppB} - E_{ppA} = Mgz_B - Mgz_A = Mg\left(z_B - z_A\right)$$

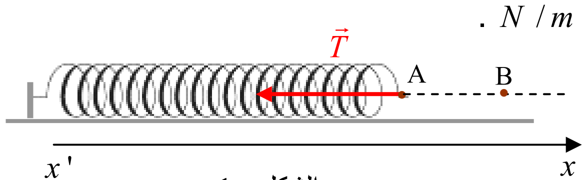
مع العلم أن $z_B - z_A = -h$ ، ومنه $\Delta E_{pp} = -Mgh$ ، وبالتالي

$$\boxed{\Delta E_{pp} = -\, W_{AB}\left(\vec{P}\right)}$$

II - الطاقة الكامنة المرونية

1 – عمل قوة التوتر في نابض

نسحب أفقيا النقطة A (الطرف الأيمن للنابض) بواسطة خيط مثلا (الشكل – 1) ، فيزداد طوله وتنشأ فيه قوة $\vec{T}$ هي قوّة التوتر في النابض ، وهي قوة شدتها غير ثابتة ، بل تتعلق باستطالة النابض كما مر معنا ذلك في السنة الرابعة متوسط ، حيث شدّتها هي $T = kx$ حيث k عبارة عن عدد ثابت بالنسبة لنابض واحد يسمى ثابت المرونة ويُقاس بـ N/m .

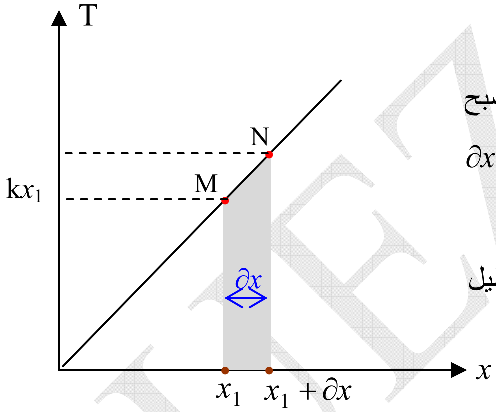


الشكل - 1

بما أن القوّة $\vec{T}$ لا تبقى ثابتة أثناء انتقالها ، إذن لا نحسب عملها بالعلاقة $W_{AB}\left(\vec{T}\right) = -T \times AB$ ، بل نجد عملها بيانيا بالطريقة التالية :

نرسم البيان $T = f\left(x\right)$ (الشكل – 2) .

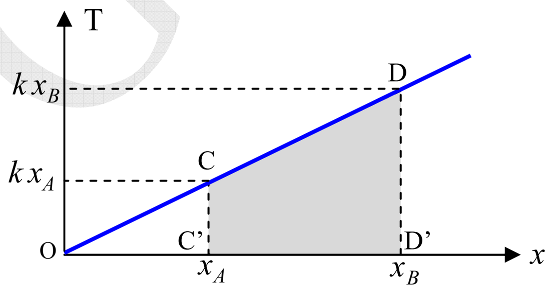
عندما تنتقل النقطة A من الفاصلة x_1 إلى الفاصلة $x_1 + \partial x$ ، أي عندما تنتقل بالمسافة الصغيرة جدا ∂x ، نعتبر أن شدّة القوة $\vec{T}$ تبقى ثابتة ، وبالتالي يُمكن حساب عملها بالعلاقة $\left|\mathrm{w}_{\partial x}\left(\vec{T}\right)\right| = T \times \partial x$.



بما أن ∂x صغير جدّا ، فإن النقطتين M و N تكونان تقريبا على استقامة أفقية واحدة ، ويصبح الشكل الملوّن عبارة عن مستطيل طوله $T = kx_1$ وعرضه ∂x ، والعمل خلال الانتقال ∂x هو مساحة هذا المستطيل (أي الطول × العرض) .

العمل من الفاصلة $x = 0$ إلى الفاصلة x هو مجموع عدة مساحات لمستطيلات مثل المستطيل السابق ، أي مساحة مثلث قاعدته x وارتفاعه kx ، وبالتالي عمل قوة التوتر من النقطة A إلى النقطة B هو مساحة هذا المثلث ، أي $\left|W_{AB}\left(\vec{T}\right)\right| = \dfrac{kx \times x}{2} = \dfrac{1}{2}kx^2$

بصفة عامة ، لما تنتقل قوة التوتر من النقطة A ذات الفاصلة x_A إلى النقطة B ذات الفاصلة x_B يكون عملها مساويا لقيمة الفرق بين مساحتي المثلثين ’ODD و ’OCC ، أي :



$$\left|W_{AB}\left(\vec{T}\right)\right| = \frac{kx_B \times x_B}{2} - \frac{kx_A \times x_A}{2}$$

$$\boxed{\left|W_{AB}\left(\vec{T}\right)\right| = \frac{1}{2}k\left(x_B^2 - x_A^2\right)}$$

ملاحظة : للتبسيط وضعنا القيمة المطلقة للعمل ، لأن في مثالنا عمل $\vec{T}$ سالب .

2– عبـارة الطاقة الكامنة المرونية

في مثالنا السابق عمل قوة التوتر سالب ، أي $W_{AB}(\vec{T}) = -\frac{1}{2}k\left(x_B^2 - x_A^2\right) = \frac{1}{2}k\,x_A^2 - \frac{1}{2}k\,x_B^2$

قيمة العمل المنجز من طرف القوّة $\vec{T}$ هو الفرق الذي يحدث في الطاقة الكامنة المخزنة في النابض بفعل تقلّصه أو استطالته ، وبهذا نسمي العبارتين $\frac{1}{2}k\,x_A^2$ و $\frac{1}{2}k\,x_B^2$ على الترتيب الطاقتان الكامنتان المرونيتان في النابض في الفاصلتين x_A و x_B ، حيث أخذنا $x = 0$ عندما يكون النابض بطوله الطبيعي l_0 ، وعلى هذا الأساس نكتب : $E_{peA} = \frac{1}{2}k\,x_A^2$ و $E_{peB} = \frac{1}{2}k\,x_B^2$

الطاقة الكامنة المرونية المخزنة في نابض مستطال أو متقلّص بالقيمة x
$E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$
E_{pe} (J) , x (m) , k (N/m)

3– التغيّر في الطاقة الكامنة المرونية

عندما تنتقل نقطة تأثير قوة التوتر في النابض من النقطة A ذات الفاصلة x_A إلى النقطة B ذات الفاصلة x_B يكون التغيّر في الطاقة الكامنة المرونية $\Delta E_{pe} = E_{peB} - E_{peA} = \frac{1}{2}kx_B^2 - \frac{1}{2}kx_A^2$ ، ويكون عمل قوة التوتر $W_{AB}(\vec{T}) = \frac{1}{2}k\,x_A^2 - \frac{1}{2}kx_B^2$

وبالتالي:

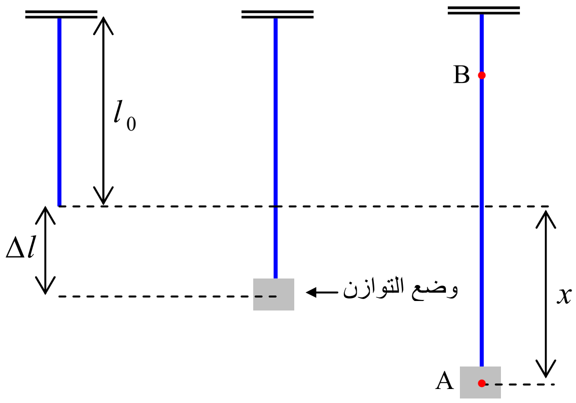
$$\boxed{\Delta E_{pe} = -\,W\left(\vec{T}\right)}$$

ملاحظة : الطاقة الكامنة الفتلية تابعة للوحدة الثالثة (العمل والطاقة في حالة الدوران) . هذا الدرس مقرّر على شعبتي الرياضيات والتقني رياضي ، وغير مقرّر على شعبة العلوم التجريبية .

I - الطــاقة الكامنة الثقالية

النشاط 1 ص 76

نتائج التجربة

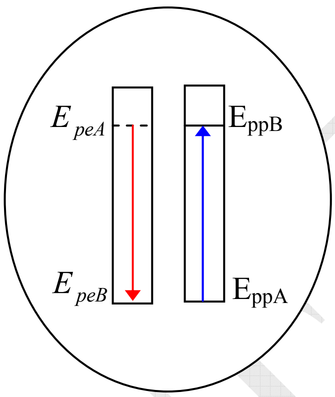


نأخذ في كل تجربة $x = 20cm$ ، ونستعمل كتلا M بحيث يكون من أجل كل كتلة $x > \Delta l$.

نحصل على النتائج المدوّنة في الجدول .

M (kg)	h (m)	$\frac{1}{M}\left(kg^{-1}\right)$	$\frac{1}{M^2}\left(kg^{-2}\right)$	$\frac{1}{\sqrt{M}}\left(kg^{-\frac{1}{2}}\right)$
0,030	0,68	33,3	1111	5,77
0,050	0,41	20,0	400	4,47
0,100	0,20	10,0	100	3,16

1 – الحصيلة الطاقوية



الجملة (جسم + مطاط + أرض)

2 – الطاقة المخزّنة في الجملة عند الوضع A هي طاقة كامنة مرونية .

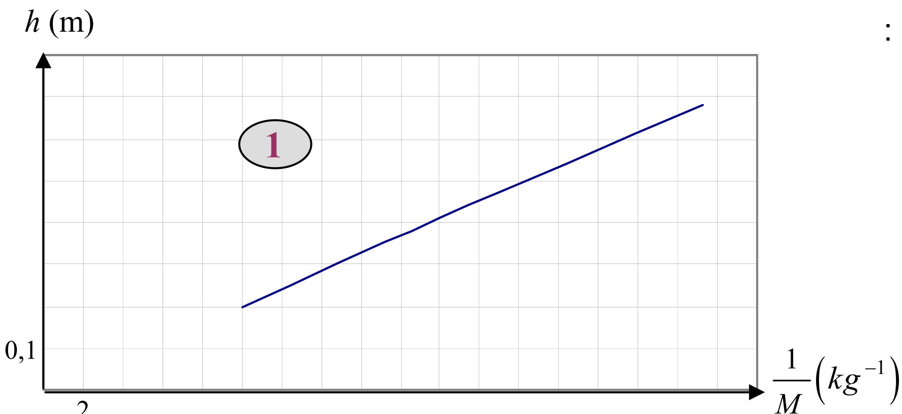
3 – الطاقة المخزّنة في الجملة عند الوضع B هي طاقة كامنة ثقالية .

4 - تحوّل ميكانيكي ، حيث تحولت الطاقة الكامنة المرونية من المطاط إلى طاقة كامنة ثقالية في الجسم المعلق جرّاء ازدياد الإرتفاع .

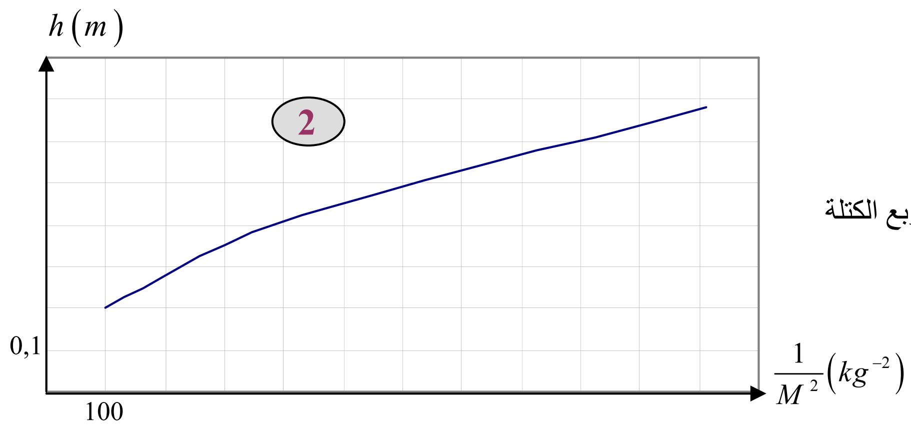
5 – قيمة التحوّل هي نفسها في كل الحالات ، لأن الطاقة المحوّلة هي نفس الطاقة ، أي هي الطاقة التي كانت مخزنة في المطّاط والتي لا تتعلق إلا باستطالة المطاط (20 cm) ومرونته .

6 – نلاحظ في الجدول أنه عندما تزداد الكتلة تنقص قيمة h (طبعا لأن الطاقة المحوّلة من المطاط هي نفسها في كل تجربة) .

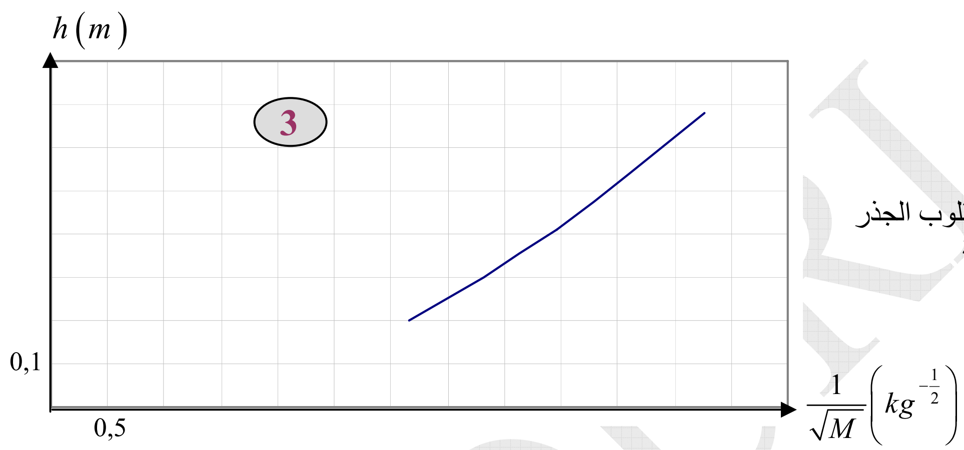
7 - المنحنيات :



تغيّرات الارتفاع بدلالة مقلوب الكتلة



تغيّرات الارتفاع بدلالة مقلوب مربع الكتلة



تغيّرات الارتفاع بدلالة مقلوب الجذر التربيعي للكتلة

8 – نلاحظ في البيان 1 أن الارتفاع يتناسب مع مقلوب الكتلة (البيان خط مستقيم من الشكل $y = ax$) ، وبالتالي يكون $\frac{h}{\frac{1}{M}} = C$ ،

حيث C عبارة عن ثابت ، وبالتالي يكون $hM = C$ ، أي أن العبارة hM تُناسب التحويل الطاقوي .

9 – الطاقة الكامنة الثقالية تتناسب مع الجداء hM ، وبالتالي $E_{pp} = K_{pp}Mh$

إكمال الفراغات

تتعلق الطاقة الكامنة الثقالية لجسم ، باعتبار الجملة (الجسم + الأرض) **بكتلة** الجسم M و**ارتفاعه *h* عن سطح الأرض** (الوضع المرجعي بصفة عامة) ، وتتناسب طردا مع المقدار **M *h*** ، وتكون عبارتها من الشكل :
$E_{pp} = K_{pp}$ **M *h*** ، حيث K_{pp} قيمة ثابتة تمثّل معامل التناسب .

النشاط 2 ص 77

نضيف المعطيات التالية للنشاط (معطيات ناقصة)

- كتلة الجسم $M = 100\ g$
- الفاصل الزمني للتسجيل $\tau = 50\ ms$

المسافات على شريط التسجيل 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
1,5	4,5	7,5	10,5	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5

السلم المعطى هو : 1,2 cm على شريط التسجيل يوافق 10 cm في الحقيقة ، أي أن 1 cm يوافق $\frac{10}{1,2} = 8,33cm$

كل المسافات في الجدول السابق نحولها إلى cm ونضربها في 8,33

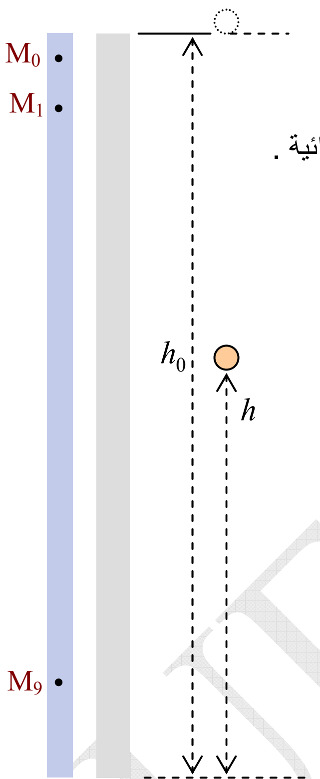
تصبح لدينا المسافات الحقيقية التي قطعتها الكرة مقاسة بـ cm:

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
1,2	3,7	6,2	8,7	11,2	13,7	16,2	18,7	21,2

1 - $v_8 = \frac{M_7M_9}{2\tau} = \frac{(18,7+21,2)\times 10^{-2}}{0,05\times 2} = 4,0\,m/s$ ، $v_6 = \frac{M_5M_7}{2\tau} = \frac{(13,7+16,2)\times 10^{-2}}{0,05\times 2} = 3,0\,m/s$

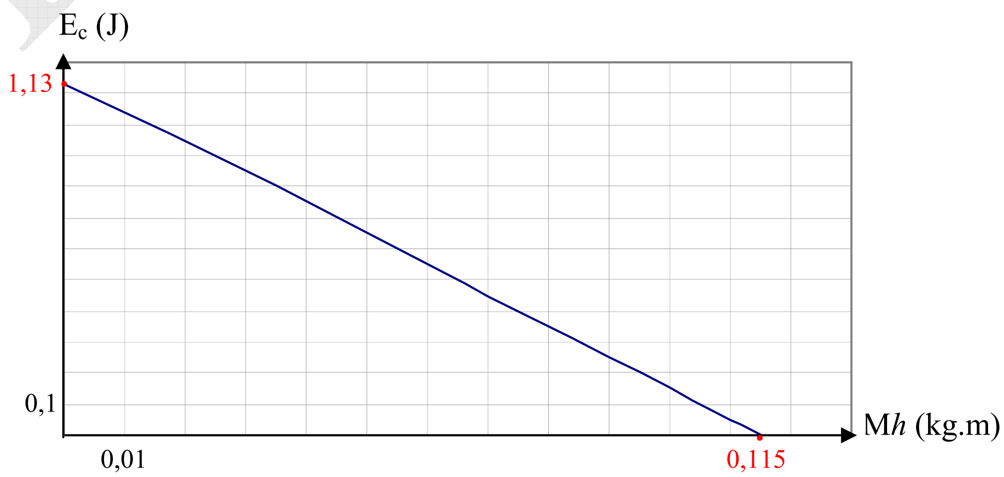
$$v_4 = \frac{M_3M_5}{2\tau} = \frac{(8,7+11,2)\times 10^{-2}}{0,05\times 2} = 2,0\,m/s$$

$v_2 = \frac{M_1M_3}{2\tau} = \frac{(3,7+6,2)\times 10^{-2}}{0,05\times 2} = 1,0\,m/s$ ، $v_0 = 0$ ، لأن الكرية تُركت بدون سرعة ابتدائية .



الموضع	$v\,(m/s)$	$h\,(m)$	$\frac{1}{2}Mv^2$	Mh
M_0	0	1,15	0	0,115
M_2	1,0	1,10	0,05	0,110
M_4	2,0	0,95	0,20	0,095
M_6	3,0	0,70	0,45	0,070
M_8	4,0	0,35	0,80	0,035

2 – المنحني $E_c = f\,(Mh)$



معادلة المستقيم من الشكل $y = ax + b$ ، حيث a معامل التوجيه ، $a < 0$.

نكتب الطاقة الحركية على الشكل : $E_c = U_0 - K_1 U$ ، حيث $U_0 = 1{,}13$ ، و K_1 هو معامل توجيه المستقيم .

$K_1 = \dfrac{1{,}13}{0{,}115} = 9{,}8$ ، وبالتالي $E_c = 1{,}13 - 9{,}8U$

4 – K_1 محسوب سابقا

5 - نأخذ مثلا $h = 0{,}7$ m .

الطاقة الكامنة في الوضع M_0 هي $E_{pp0} = K_1 M h_0 = 9{,}8 \times 0{,}115 = 1{,}127\,J$

الطاقة الكامنة عند الارتفاع h : $E_{pp} = K_1 M h = 9{,}8 \times 0{,}07 = 0{,}686\,J$

$E_{pp0} - E_{pp} = 1{,}127 - 0{,}686 = 0{,}441\,J$ ، نلاحظ أن هذه القيمة هي تقريبا قيمة الطاقة الحركية عند نفس الارتفاع (0,45 J)

وبالتالي يكون قانون الانحفاظ محققا $E_{pp} + E_c = E_{pp0}$

6 - مما تقدم لدينا $K_{pp} = K_1 = g = 9{,}8\,SI$ ، وبذلك تكون عبارة الطاقة الكامنة الثقالية : $E_{pp} = Mgh$

إكمال الفراغات

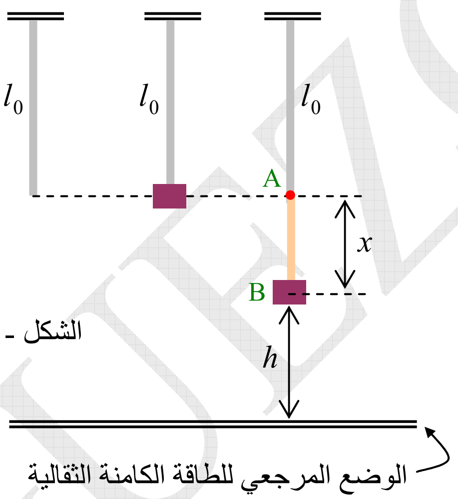
عندما يكون جسم كتلته M على ارتفاع h عن سطح الأرض ، وباختيار الجملة **(الجسم + الأرض)** تكون الطاقة الكامنة الثقالية للجملة $E_{pp} = Mgh$

II - الطاقة الكامنة المرونية

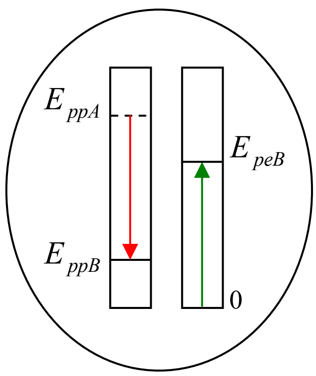
نشاط ص 79

1 – الحصيلة الطاقوية بين الوضعين A و B .

نعلم أن $E_{cA} = E_{cB} = 0$



الشكل - 1



2 – معادلة انحفاظ الطاقة تُكتب على الشكل : $E_{ppA} = E_{peB} + E_{ppB}$ ، ومنه $E_{peB} = E_{ppA} - E_{ppB}$

وبالتالي $E_{pe} = -\Delta E_{pp}$ (1) (يجب إضافة الإشارة – في العبارة المكتوبة في الكتاب المدرسي)

3 - و 4 - (إجراء التجربة وتدوين النتائج على الجدول)

M (kg)	x (m)	Mgx (J)	x^2 (m^2)
0,1	0,049	0,048	$2,4\times10^{-3}$
0,2	0,098	0,192	$9,6\times10^{-3}$
0,4	0,196	0,768	$3,8\times10^{-2}$
0,5	0,245	1,200	$6,0\times10^{-2}$

5 – نبيّن أولا أن $E_{pe} = Mgx$

لدينا في الشكل – 1 : $\Delta E_{pp} = E_{ppB} - E_{ppA} = Mgh - Mg\left(h + x\right)$

$$\Delta E_{pp} = Mgh - Mgh - Mgx = -Mgx$$

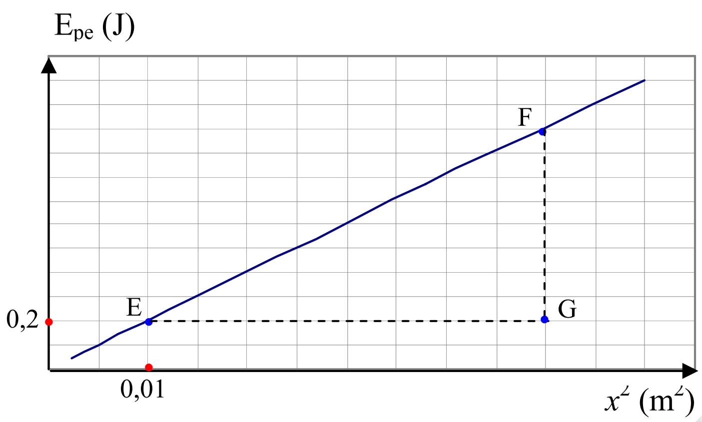
ولدينا من العلاقة (1) $E_{pe} = -\Delta E_{pp} = -\left(-Mgx\right) = Mgx$

التمثيل البيـــاني : الشكل – 2

6 - ميل البيان هو $\frac{FG}{EG} = \frac{4\times0,2}{4\times0,01} = 20$

البيان عبارة عن خط مستقيم يمر بالمبدأ ، فمعادلته هي

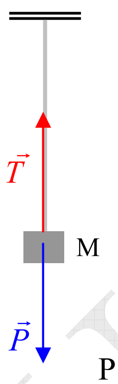
$E_{pe} = K_e x^2$ ، حيث $K_e = 20\,SI$ هو ميل البيان .



الشكل – 2

تعيين الثابت K_e :

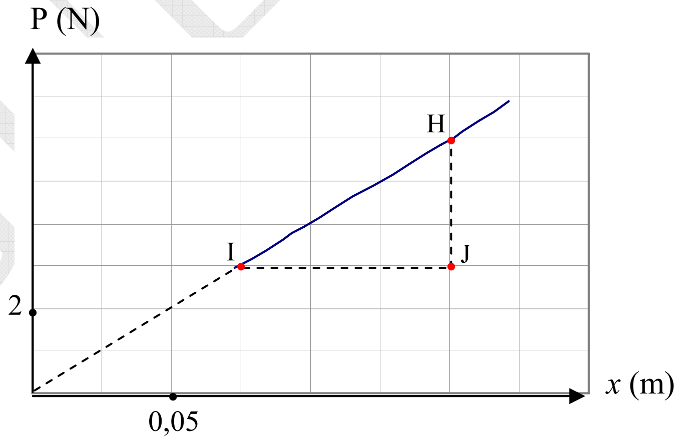
– نعاير النابض ، وذلك بقياس استطالته عند التوازن من أجل مختلف الكتل المسجّلة المعلقة به . (رغم أن هذه النتائج متوفرة لدينا من السؤال 3) .



M (kg)	0,3	0,4	0,6	0,7
Mg = T (N)	2,94	3,92	5,88	6,86
$\Delta l = x\,(cm)$	7,3	9,8	14,7	17,1

– القوة المطبقة على النابض هي قوة التوتر $T = P = Mg$

ميل المنحنى هو ثابت مرونة النابض K لأن قوة التوتّر تُكتب على الشكل $T = Kx$



$$K = \frac{HJ}{IJ} = \frac{3\times1}{3\times0,025} = 40\,SI$$

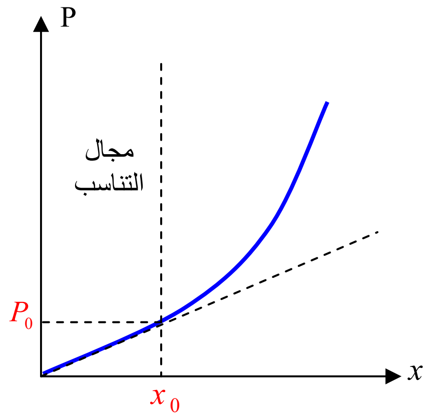
يمكنك تكرار التجربة بنوابض مختلفة .

– نلاحظ أن $K_e = \frac{1}{2}K$ في حدود دقة التجربة

– عبارة الطاقة الكامنة المرونية هي

$E_{pe} = \frac{1}{2}Kx^2$ ، حيث وحدة ثابت مرونة النابض K هي N/m (النيوتن على المتر) .

– عند معايرة مطاط نحصل على البيان التالي :



التناسب لا يبقى مستمرا بين ثقل الجسم المعلّق في المطاط واستطالة المطاط .

يتناسب الثقل مع الاستطالة فقط من أجل قيم صغيرة جدا لـ P .

نلاحظ في البيان أنه من أجل القيم الأصغر من P_0 يكون ثابت مرونة المطاط

$K = \frac{P}{x}$ ، وتصبح هذه العلاقة غير صحيحة من أجل قيم أكبر من P_0 .

السبب :

في النابض سبب اختزان الطاقة الكامنة المرونية هو ابتعاد الحلقات عن بعضها أو اقترابها من بعضها .

أما بالنسبة للمطاط يكون اختزان الطاقة في جزيئات المادة . يتشكل المطاط من جزيئات عملاقة تسمى البوليميرات Les Polymers . تزداد أطوال الروابط بين هذه الجزيئات عندما يستطيل المطاط ، فتكتسب الجزيئات طاقة داخلية وتفقدها عندما يرجع المطاط لطوله الطبيعي . وحتى لا نبتعد عن البرنامج نقول أن ابتعاد الحلقات عن بعضها في النابض ليس كابتعاد الجزيئات عن بعضها في المطاط .

إكمال الفراغات

عندما يستطيل (أو يُضغط) نابض ثابت مرونته K بمقدار x تُكتب عبارة **طاقته الكامنة المرونية** على الشكل التالي : $E_{pe} = \frac{1}{2} K x^2$