سلسلة دروس و تمارين في مادة العلوم الفيزيائية- ثانية ثانوي

إعداد الأستاذ : فرقاني فارس

عرض نظري مفصل

04

الميكانيك و الطاقة

الطاقة الكامنة

الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

****

www.sites.google.com/site/faresfergani

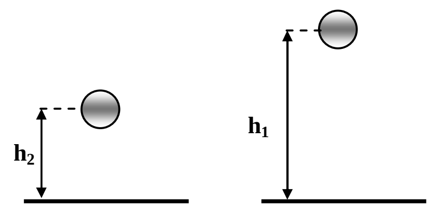
تاريخ آخر تحديث : 2013/03/22

1 – الجملة القابلة للتشوه و الطاقة الكامنة :

- نقول عن جملة أنها قابلة للتشوه ، إذا تغيرت المسافة بين مختلف أجزائها و مختلف النقاط المادية المكونة لها ، و بتشوه الجملة تكتسب هذه الأخيرة طاقة تدعى طاقة كامنة يرمز لها بـ E_P و وحدتها الجول (J) .
- أهم الجمل الميكانيكية القابلة للتشوه و التي ستكون محول الدراسة في برنامجنا هي :

● الجملة (جسم + أرض) :

الشكل-1 :

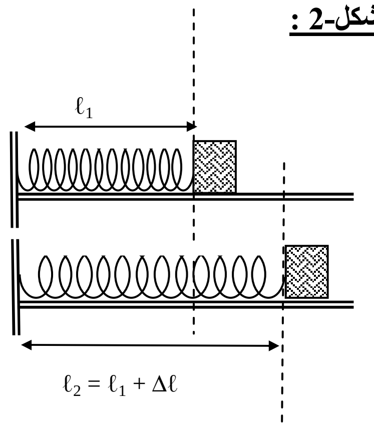


$h_1 \neq h_2$ ← الجملة (جسم+ أرض) تشوهت .

- تتشوه الجملة (جسم + أرض) إذا تغير البعد بين الجسم و الأرض .
- عندما تتشوه الجملة (جسم + أرض) تكتسب طاقة كامنة ثقالية يرمز لها بـ E_{PP} .

● الجملة (جسم + نابض)

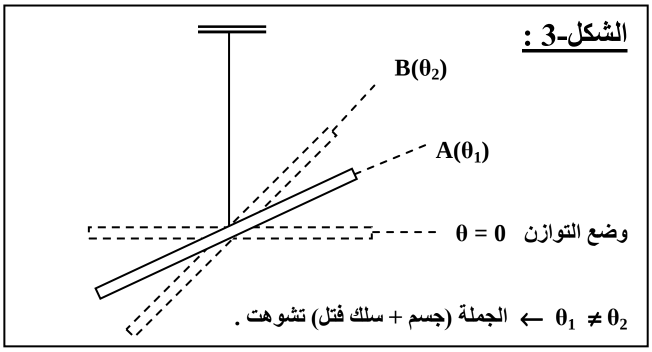
الشكل-2 :



$\ell_1 \neq \ell_2$ ← الجسم (جسم + نابض) تشوهت

- تتشوه الجملة (جسم + نابض) عندما يتغير طول النابض (استطالة أو انضغاط) .
- عندما تتشوه الجملة (جسم + نابض) تكتسب طاقة كامنة مرونية يرمز لها بـ E_{Pe} .

● الجملة (جسم + سلك فتل)



- تتشوه الجملة (جسم + سلك فتل) عندما يفتل السلك بزاوية معينة θ .
- عندما تتشوه الجملة (جسم + سلك فتل) تكتسب طاقة كامنة فتلية θ يرمز لها بـ E_{Pe} .

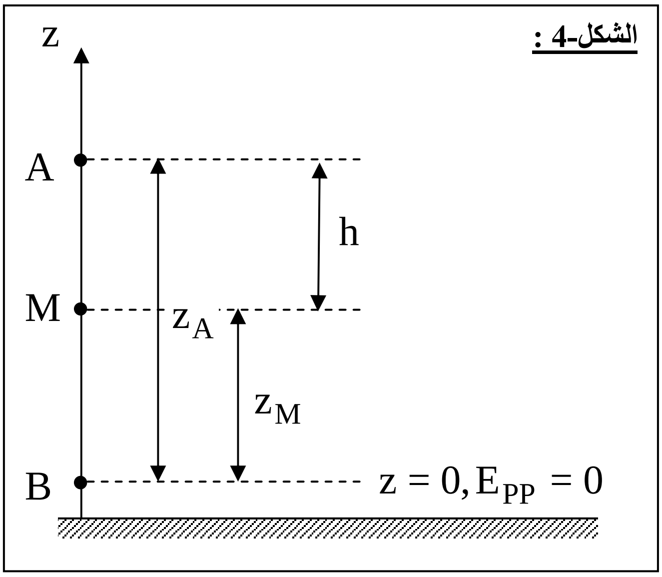
ملاحظة :

- في الحقيقة الطاقة الكامنة لجملة مادية هي مقدار موجب ، لكننا معها كمقدار جبري ، حيث تقاس بالنسبة لمرجع نعتبر عنده الطاقة الكامنة معدومة . علما أن التغير في الطاقة الكامنة لا يتغير بتغير المرجع .
- بالنسبة للطاقة الكامنة المرونية و الطاقة الكامنة الفتلية عادة نعتبر وضع التوازن مرجعا لحساب الطاقة الكامنة المرونية ($x = 0$) و الطاقة الكامنة الفتلية ($\theta = 0$) .

2 – الطاقة الكامنة الثقالية :

نشاط-1 :

- جسم نقطي (S) كتلته m يسقط حرا (بدون سرعة ابتدائية) ابتداءا من موضع A باتجاه موضع B مرورا بموضع كيفي M (تهمل تأثيرات الهواء على الجسم) .
- نعتبر المستوي الأفقي المار من الموضع B مرجعا لحساب الطاقة الكامنة الثقالية ، و في هذه الحالة نعتبر z_A هو بعد الموضع A عن المستوي المرجعي ، z_M بعد الموضع الكيفي M عن المستوي المرجعي (الشكل-4) .



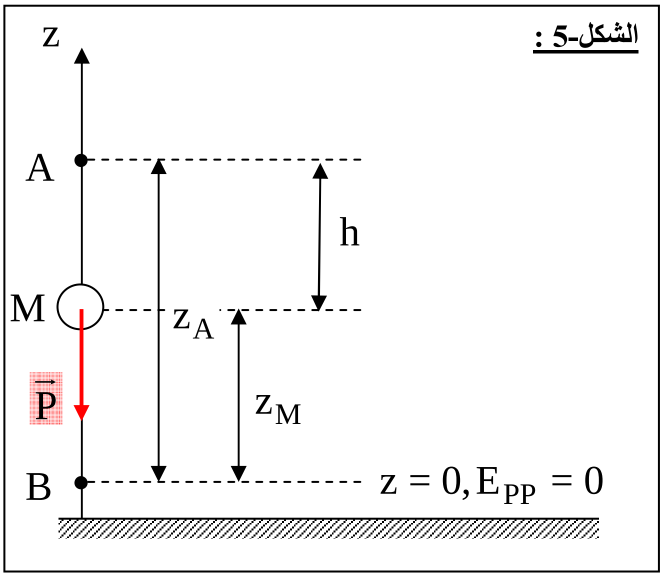
1- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة و باعتبار الجملة (جسم + أرض) أوجد عند الموضع M عبارة الطاقة الحركية E_{CM} بدلالة E_{PPA} الطاقة الكامنة الثقالية عند الموضع A و E_{PPM} الطاقة الكامنة الثقالية عند الموضع M .

2- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة على الجملة (جسم) أوجد عند الموضع M عبارة الطاقة الحركية E_C بدلالة z_A ارتفاع الموضع A عن المستوي المرجعي و z_M ارتفاع الموضع M عن المستوي المرجعي .

3- اعتمادا على العبارتين السابقتين استنتج عبارة الطاقة الكامنة الثقالية عند الموضع A و الموضع الكيفي M .

تحليل النشاط :

1- عبارة الطاقة الحركية E_{CM} بدلالة E_{PPA} ، E_{PPM} :



- الجملة المدروسة : (جسم + أرض)
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليلي .
- لا توجد قوى خارجية .
- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة على الجملة بين الموضعين A و M :

$E_A + E_{مكتسبة} - E_{مقدمة} = E_M$

$E_{CA} + E_{ppA} = E_{CM} + E_{ppM}$

▪ $E_{CA} = 0 \quad (v_A = 0)$

و منه يصبح :

$E_{ppA} = E_{CM} + E_{ppM}$

$E_{CM} = E_{ppA} - E_{ppM}$ .... (1)

1- عبارة الطاقة الحركية E_{CM} بدلالة z_A ، z_M :

- الجملة المدروسة : (جسم S)
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليلي .
- القوى الخارجية المؤثرة : الثقل $\vec{P}$.
- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة على الجملة بين الموضعين A و M :

$E_A + E_{مكتسبة} - E_{مقدمة} = E_M$

▪ $E_{CA} = 0 \quad (v_A = 0)$

▪ $W_{A-M}(\vec{P}) = m.g.h = m.g\,(z_A - z_M) = m.g.z_A - m.g.z_M$

و منه يصبح :

$$0 + m.g.z_A - m.g.z_M = E_{CM}$$

$$E_{CM} = m.g.z_A - m.g.z_M \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

3- عبارة الطاقة الكامنة الثقالية عند الموضع A و الموضع الكيفي M :

مما سبق لدينا :

$$E_{CM} = E_{ppA} - E_{ppM} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$E_{CM} = m.g.z_A - m.g.z_M \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

بالمطابقة نجد :

$$E_{ppA} = m.g.z_A$$

$$E_{ppM} = m.g.z_B$$

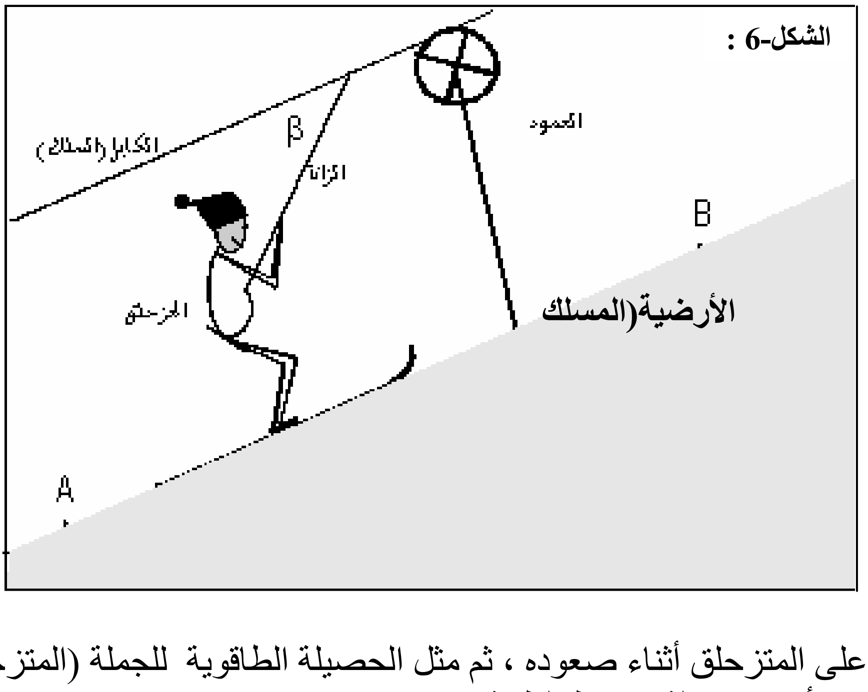
نتيجة :

عندما يكون جسم (S) على ارتفاع z من مستوي مرجعي فإن الجملة (جسم S + أرض) تمتلك طاقة كامنة ثقالية يعبر عنها بالعلاقة :

$$\boxed{E_{pp} = m.g.z}$$

نشاط-2 : (هل الطاقة الكامنة الثقالية طاقة مخزنة أم تحويل طاقوي ؟

- مصعد يتحرك بسرعة ثابتة، على جزء مستقيم AB من المسلك (الشكل-6) .
- نريد دراسة التحويلات الطاقوية بين المتزحلق والأجسام المحيطة به وذلك خلال صعود المتزحلق على الطول AB من المسلك.



1- مثل القوى المطبقة على المتزحلق أثناء صعوده ، ثم مثل الحصيلة الطاقوية للجملة (المتزحلق) بين موضعه الإبتدائي و موضع كيفي و أكتب معادلة إنحفاظ الطاقة .

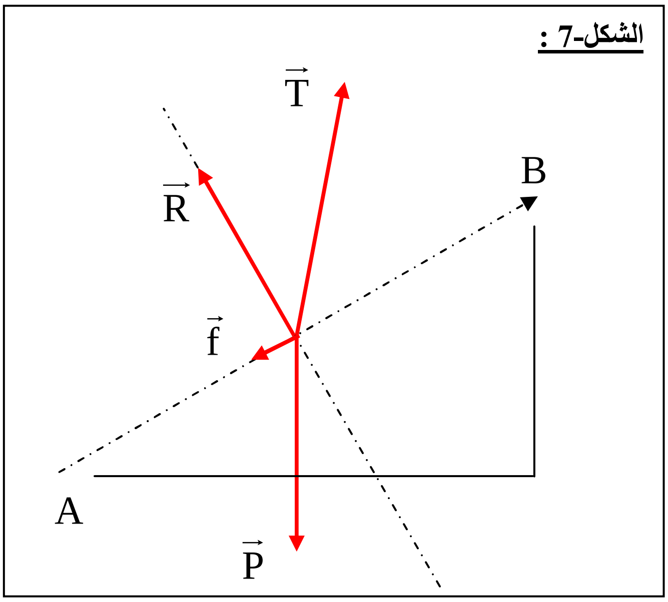
2- في رأيك، هل المتزحلق يستقبل أو يقدّم الطاقة ، أثناء قطعه الجزء AB من المسلك ؟

- في حالة الإجابة بنعم، ما هي الأجسام التي قدّمت له هذه الطاقة (و/أو) ما هي الأجسام التي أخذت الطاقة منه؟
- في حالة الإجابة بلا، لماذا؟

3- هل توجد في رأيك، طاقة مخزّنة من طرف المتزحلق والتي يمكن أن تسترجع عند الهبوط مثلا؟
4- هل توجد في رأيك، طاقة ضائعة من طرف المتزحلق والتي لا يمكن أن يسترجعها؟
تصنف الإجابات على ثلاث: الطاقة المستقبلة، الطاقة المخزنة(التي يمكن استرجاعها)، الطاقة الضائعة(لا يمكن استرجاعها) .

تحليل النشاط :

1- تمثيل القوى :

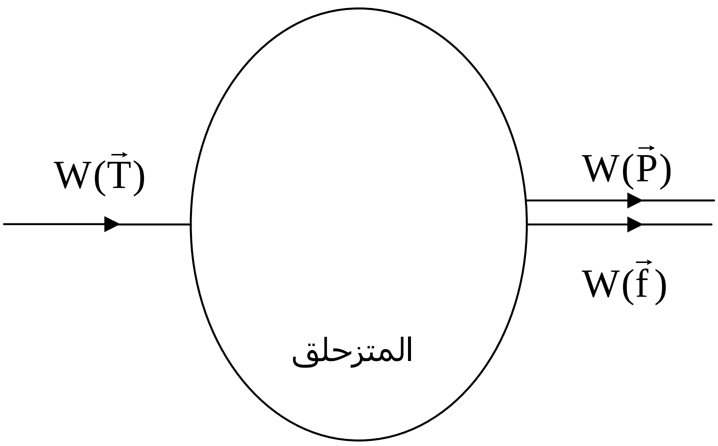


الشكل-7 :

الحصيلة الطاقوية للجملة (جسم) :

- القوى الخارجية المؤثرة على الجملة :
- قوة توتر الخيط $\vec{T}$ ← جهتها في جهة الحركة ← $W_{A\text{-}B}(\vec{T}) > 0$. أي عملها طاقة مكتسبة .
- قوة الثقل $\vec{P}$ ← جهتها معاكسة لجهة الحركة ← $W_{A\text{-}B}(\vec{P}) < 0$. أي عملها طاقة مقدمة .
- قوة الاحتكاك $\vec{f}$ ← جهتها معاكسة لجهة الحركة ← $W_{A\text{-}B}(\vec{f}) < 0$. أي عملها طاقة مقدمة .

- أشكال الطاقة : حركية ثابتة أثناء الإنتقال من A إلى B لأن سرعة المتزحلق ثابتة أثناء هذا الانتقال .
و عليه تكون الحصيلة الطاقوية للجملة (متزحلق) كما يلي :



معادلة إنحفاظ الطاقة :

بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة على الجملة (متزحلق) بين الموضعين A و B يكون :

$$E_A + E_{مكتسبة} - E_{مقدمة} = E_B$$

$$E_{CA} + W_{A\text{-}B}(\vec{T}) - (|W_{A\text{-}B}(\vec{P})| + |W_{A\text{-}B}(\vec{f})|) = E_{CB}$$

و كون أن الطاقة الحركية ثابتة أثناء الانتقال من A إلى B أي $E_{CA} = E_{CB}$ يصبح :

$$W_{A\text{-}B}(\vec{T}) - |W_{A\text{-}B}(\vec{P})| - |W_{A\text{-}B}(\vec{f})| = 0$$

2- أثناء قطع المسافة AB يستقبل المتزحلق طاقة مساوية لعمل قوة التوتر $W(\vec{T})$ ، يُترك للمحيط بسب الاحتكاك جزءا من هذه الطاقة المساوي لعمل قوة الإحتكاك $|W(\vec{f})|$ ، أما الجزء المتبقي المساوي لعمل قوة الثقل $|W(\vec{P})|$ يُخزّن من طرف المتزحلق عندما يكون في تأثير متبادل مع الأرض .

3- نعم توجد طاقة مخزّنة من طرف المتزحلق و التي يمكن أن تسترجع عند الهبوط ، هذه الطاقة هي الطاقة اللازمة لرفع المتزحلق من A إلى B و التي تكون مساوية لعمل قوة التوتر $W_{A\text{-}B}(\vec{T})$ ، يمكن استرجاع هذه الطاقة عند هبوط المتزحلق على شكل طاقة ناتجة عن تأثير متبادل بين الأرض و المتزحلق و قيمة هذه الطاقة مساوية لقيمة عمل قوة الثقل $|W_{A\text{-}B}(\vec{P})|$.

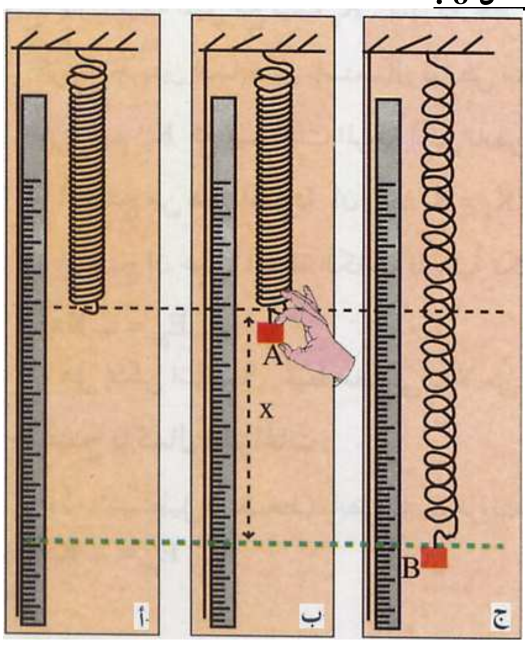
4- نعم توجد طاقة ضائعة من طرف المتزحلق و التي لا يمكن أن يسترجعها هي الطاقة الضائعة بفعل الاحتكاك قيمتها مساوية لعمل قوة الاحتكاك $|W(\vec{f})|$ و التي نجدها على شكل تغير في الطاقة الداخلية للثلج و المتزحلق .

3- الطاقة الكامنة المرونية :

نشاط :

نربط جسم كتلته M إلى أحد طرفي نابض مرن طويل ثابت مرونته K = 50 N/m ، ثم نتركه يسقط من الموضع A بدون سرعة ابتدائية فيستطيل النابض حتى الموضع B أين تنعدم سرعة الجسم و يستطيل عندئذ النابض بالمقدار x (الشكل-8) .

الشكل-8 :



1- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة على الجملة (جسم + أرض + نابض) بين الموضعين A و B و باعتبار المستوي الأفقي المار من الموضع B مرجعا لحساب الطاقة الكامنة الثقالية ، أثبت أن الطاقة الكامنة المرونية للجملة (جسم + نابض + أرض) عند الموضع B أين يكون النابض مستطالا بالمقدار x يعبر عنها بالعلاقة : $E_{pe} = m.g.x$.

2- كررنا التجربة من أجل قيم مختلفة للكتلة M و قمنا في كل مرة بقياس الاستطالة x للنابض تحصلنا على النتائج المدونة في الجدول التالي :

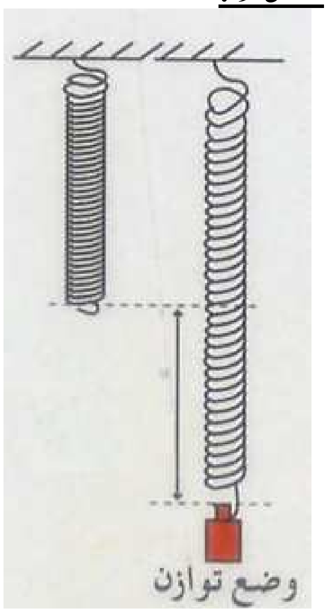
M(kg)	x(m)	$E_{pe} = Mgx$ (J)	$x^2(m^2)$
0.100	0.04		
0.150	0.06		
0.200	0.08		
0.250	0.10		

أ- أكمل الجدول . نعتبر $g = 10\ m/s^2$.

ب- أرسم البيان $E_{Pe} = f(x^2)$ ، ثم بين أن معادلة هذا البيان من الشكل $E_{Pe} = K_e\ x^2$ حيث K_e هو ميل البيان يطلب حسابه .

3- لتعيين الثابت K_e قم بمعايرة النابض السابق و ذلك بتعليق أجسام مختلفة في نهايته و قمنا بقياس استطالته في كل مرة عندما تتزن الجملة المتكونة من النابض و الجسم .

الشكل-9 :



الجدول التالي يمثل النتائج المتحصل عليها :

M(kg)	x(m)	T = M.g (N)
0.100	0.02	
0.150	0.03	
0.200	0.04	
0.250	0.05	

ب- اعتماد على شرط التوازن أثبت أن توتر النابض يعبر عنه بالعلاقة : $T = M.g$ و اعتمادا على هذه العلاقة أكمل الجدول السابق .

ب- أرسم البيان $T = f(x)$ ، ثم بين أنه معادلته من الشكل $T = K_e'\ x$ حيث K_e' هو ميل هذا البيان يطلب حسابه .

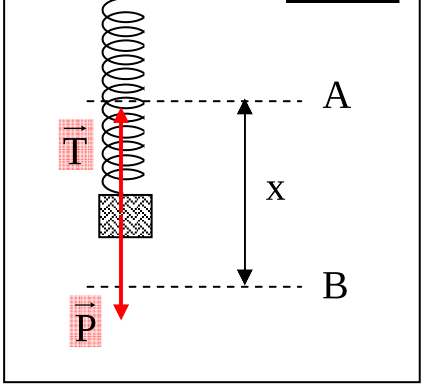
3- قارن قيمتي K_e ، K_a' بقيمة K ثابت مرونة النابض .

5- كررنا التجربة باستعمال نوابض أخرى مختلفة تحصلنا على نفس المقارنة . استنتج إذن عبارة قوة توتر النابض و عبارة الطاقة الكامنة المرونية .

تحليل النشاط :

1- إثبات أن $E_{pe} = m.g.x$:

الشكل-10:



- الجملة المدروسة : (جسم + أرض + نابض)
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليلي .
- لا توجد قوى خارجية مؤثرة على الجملة .
- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة بين الموضعين A و B :

$E_A + E_{مكتسبة} - E_{مقدمة} = E_B$

$E_{CA} + E_{ppA} + E_{peA} = E_{CB} + E_{ppB} + E_{peB}$

- $E_{CA} = 0 \ \ (v_A = 0)$
- $E_{ppA} = m.g.z_A = m.g.x$
- $E_{peA} = 0 \ \ (x = 0)$
- $E_{CB} = 0 \ \ (v_B = 0)$
- $E_{ppB} = 0$ (المستوي المرجعي)

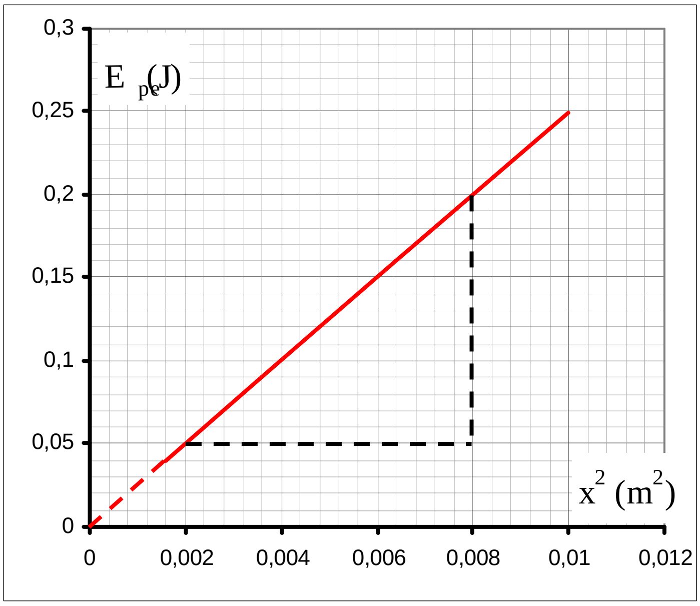
يصبح لدينا :

$E_{peB} = m.g.x$

2- أ- إكمال الجدول :

M(kg)	x(m)	$E_{pe} = Mgx$ (J)	$x^2(m^2)$
0.100	0.04	0.04	$1.6 . 10^{-3}$
0.150	0.06	0.09	$3.6 . 10^{-3}$
0.200	0.08	0.16	$6.4 . 10^{-3}$
0.250	0.10	0.25	10^{-2}

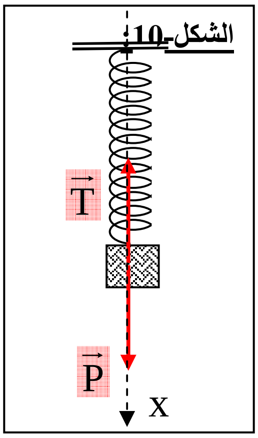
ب- البيان $E_{pe} = f(x^2)$:



- البيان $E_{pe} = f(x^2)$ عبارة عن مستقيم معادلته من الشكل $E_{pe} = K_e\, x^2$ حيث K_e هو ميل هذا البيان .
- من البيان :

$$K_e = \frac{3.0.05}{3.0.002} = 25$$

3- إثبات أن توتر النابض يعبر عنه بالعلاقة $T = M.g$ في حالة التوازن :



- الجملة المدروسة : جسم (S) .
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليلي .
- القوى الخارجية المؤثرة على الجملة : الثقل $\vec{P}$ ، توتر النابض $\vec{T}$.
- شرط توازن الجملة :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$$

$$\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$$

بتحليل العلاقة الشعاعية وفق المحور ox الشاقولي نحو الأسفل :

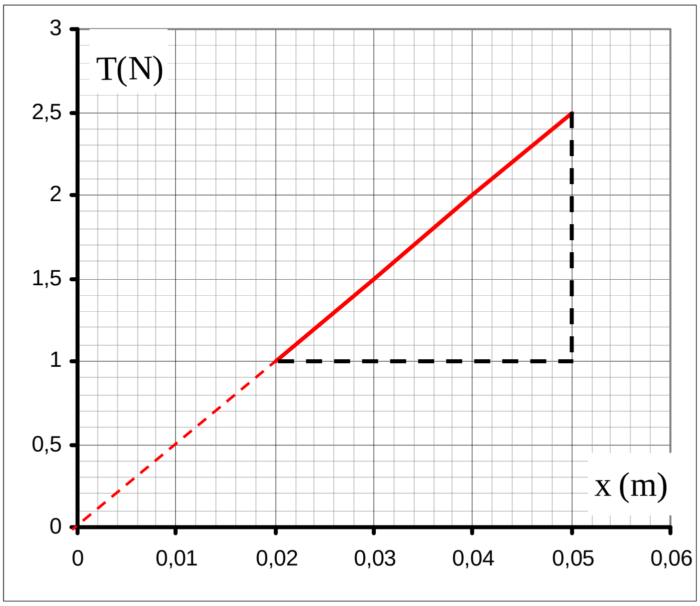
$$P - T = 0$$

$$M.g - T = 0 \;\rightarrow\; T = M.g$$

- إكمال الجدول :

M(kg)	x(m)	T = M.g (N)
0.100	0.02	1.0
0.150	0.03	1.5
0.200	0.04	2.0
0.250	0.05	2.5

ب- البيان $T = f(x)$:



البيان $T = f(x)$ عبارة عن مستقيم يمر من المبدأ معادلته من الشكل $T = K_e' x$ حيث K_e' هو ميل هذا البيان .

- من البيان :

$$K_e' = \frac{3.0.5}{3.0.01} = 50$$

3- مقارنة قيمتي K_e ، K_a' بقيمة K :

$K = 50$

$K_e = 25 \rightarrow K_e = \frac{K}{2}$

$K_e' = 50 \rightarrow K_e' = K$

4- عبارة شدة قوة التوتر T و الطاقة الكامنة المرونية E_{pe} :

مما سبق :

$$E_{Pe} = K_e x^2$$

$$T = Ke' x$$

و حيث أن : $K_e = \frac{K}{2}$ ، $K_e' = K$ يكون :

$$E_{Pe} = \frac{1}{2} K x^2$$
$$T = K x$$

نتيجة :

- عندما يستطيل نابض مرن ثابت مرونته K أو ينضغط بمقدار x ، يؤثر على الجسم المرتبط به بقوة توتر T شدتها يعبر عنها بالعلاقة :

$$\boxed{T = K x}$$

- عندما يستطيل النابض أو ينضغط بمقدار x فإن الجملة (جسم + نابض) عندئذ تملك طاقة كامنة مرونية يعبر عنها بالعلاقة :

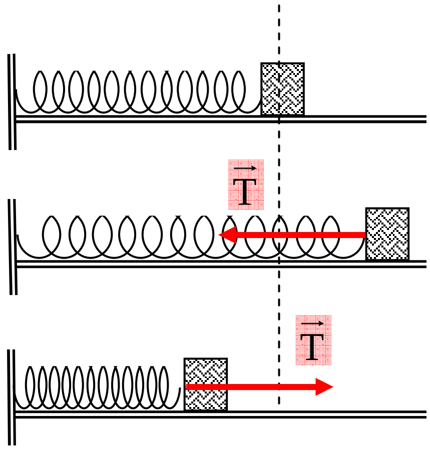
$$\boxed{E_{pe} = \frac{1}{2} K x^2}$$

- يقدر ثابت مرونة النابض k بـ N/m

ملاحظة :

جهة قوة توتر النابض تكون باتجاه داخل النابض عندما يكون النابض مستطالا و يكون في اتجاه خارج النابض عندما يكون منضغطا ، أما حاملها يكون منطبق على محور النابض في الحالتين (الشكل) .

الشكل-12 :

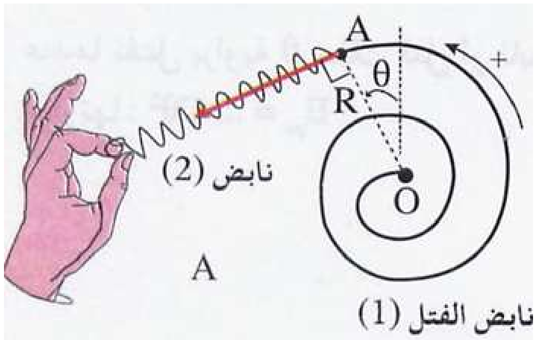


3– الطاقة الكامنة الفتلية :

نشاط :

- نابض حلزوني مسطح ندعوه **نابض فتل** (1) ثابت فتله C = 0.125 N.m/rad يثبت من طرفه الداخلي في النقطة O ، و باستعمال نابض (2) معاير ثابت مرونته K = 12.5 N/m نطبق على الطرف الحر لنابض الفتل (1) قوة عمودية على AO نختاره مرجعا لقياس زاوية دوران نقطة تطبيق القوة (الشكل) .

الشكل-6 :



1- غيرنا في الشدة القوة المطبقة و قسنا في كل مرة الاستطالة x للنابض (2) و زاوية الدوران θ لنابض الفتل (1) الجدول التالي يمثل النتائج المتحصل عليها بأخذ $R = 10\ cm$:

x(cm)	θ (rd)	F (N)	$M = M_{/o}(\vec{F}) = F.R$
4	0.4	0.5	
8	0.8	1.0	
12	1.2	1.5	

أ- أكمل الجدول .

ب- أرسم البيان $M = f(\theta)$ ، الذي يمثل تغيرات عزم مزدوجة الفتل و المساوي لعزم القوة $\vec{F}$ ، ثم بين أن معادلته من الشكل $M = C_e\,\theta$ حيث C_e هو ميل هذا البيان يطلب حسابه .

2- لحساب الطاقة المخزنة في نابض الفتل المستعمل في (النشاط-1) نقبل أن الطاقة المخزنة في نابض الفتل (1) تساوي في كل وضع الطاقة المخزنة في النابض (2) . باستعمال النتائج المدونة في الجدول السابق أملأ الجدول التالي :

x(cm)	θ (rd)	الطاقة المخزنة في النابض (1) $E_{Pe} = 1/2Kx^2(J)$	$\theta^2 (rd)^2$
4	0.4		
8	0.8		
12	1.2		

أ- أرسم منحنى تغيرات الطاقة E_{pe} المخزنة في النابض (1) بدلالة مربع الزاوية θ^2 ثم بين أن معادلته من الشكل $E_{pe} = C_e{}'\,\theta^2$ حيث K_c' هو ميل هذا البيان يطلب حسابه .

ب- قارن بين قيمتي C_e ، $C_e{}'$ و قيمة C ثابت فتل السلك .

3- قارن قيمة C_e مع قيمة ثابت فتل النابض C . ماذا تلاحظ ؟

4- استنتج أن عبارة الطاقة الكامنة المرونية لنابض الفتل تكتب على الشكل : $E_{pe} = \frac{1}{2}C\theta^2$.

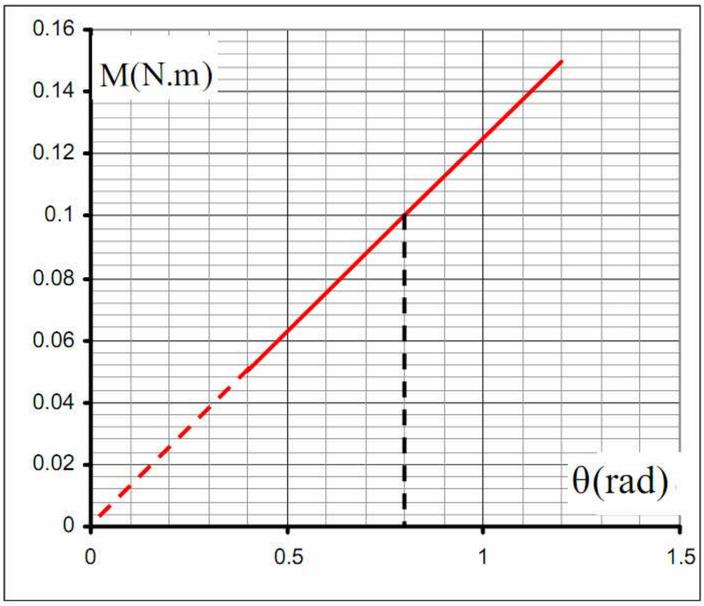
5- كررنا التجربة باستعمال نوابض فتل أخرى مختلفة تحصلنا على نفس المقارنة . استنتج إذن عبارة عزم مزدوجة الفتل و عبارة الطاقة الكامنة الفتلية .

تحليل النشاط :

1- أ- إكمال الجدول :

x(cm)	θ (rd)	F (N)	$M = M_{/o}(\vec{F}) = F.R$
4	0.4	0.5	0.05
8	0.8	1.0	0.10
12	1.2	1.5	0.15

ب- البيان $M = f(\theta)$:



البيان $M = f(\theta)$ عبارة عن مستقيم يمر من المبدأ معادلته $M = C_e\,\theta$ عبارة عن مستقيم يمر من المبدأ معادلته $M = C_e\,\theta$ حيث C_e هو ميل هذا البيان .

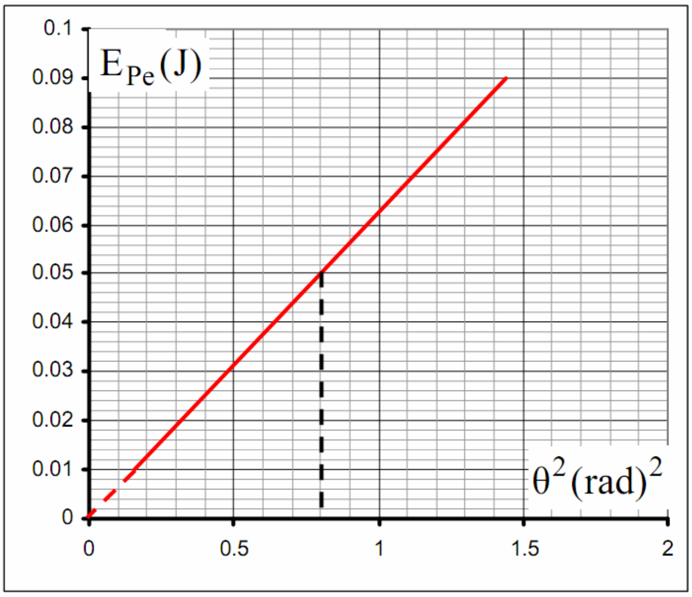
- من البيان :

$$C_e = \frac{5.0.02}{1.6\ .0.5} = 0.125$$

2- أ - إكمال الجدول :

x(cm)	θ (rd)	الطاقة المخزنة في النابض (1) $E_{Pe} = 1/2Kx^2(J)$	$\theta^2(rd)^2$
4	0.4	0.01	0.16
8	0.8	0.04	0.64
12	1.2	0.09	1.44

ب- البيان $E_{pe} = f(\theta^2)$:



البيان $E_{pe} = f(\theta)$ عبارة عن مستقيم يمر من المبدأ معادلته من الشكل $E_{pe} = C_e'\,\theta^2$ حيث C_e' هو ميل هذا البيان .

$$C_e = \frac{5 . 0.01}{1.6\ . 0.5} = 0.0625$$

جـ- المقارنة بين C_e و C_e' مع C :

$C = 0.125$

$C_e = 0.125 \rightarrow C_e = C$

$C_e = 0.125 \ \rightarrow \ C_e = \dfrac{C}{2}$

4- عبارة شدة قوة التوتر T و الطاقة الكامنة المرونية E_{pe} :

مما سبق :

$M = C_e\theta$

$E_{Pe} = C_e'\,\theta^2$

و حيث أن : $C_e = C$ ، $C_e'\dfrac{C}{2}$ يكون :

$M = C\theta$

$E_{Pe} = \dfrac{1}{2}\,C\,\theta^2$

نتيجة :

- عندما يفتل نواس فتل ثابت فتله C بمقدار ، يؤثر على الجسم المرتبط به بمزدوجة فتل عزمها M يعبر عنها بالعلاقة :

$$\boxed{M = C\,\theta}$$

- عندما يفتل نواس فتل بمقدار θ فإن الجملة (جسم + سلك فتل) عندئذ تملك طاقة كامنة فتلية يعبر عنها بالعلاقة :

$$\boxed{E_{pe} = \frac{1}{2} C \theta^2}$$

يقدر ثابت الفتل بـ N.m/rad .

** الأستاذ : فرقاني فارس **
ثانوية مولود قاسم نايت بلقاسم
الخروب - قسنطينة
Fares_Fergani@yahoo.Fr
Tel : 0771998109