المجـال (I) : الطـاقـة .

الوحـدة ④: الطاقة الكامنة :

● **الكفاءات المستهدفة :**

- يكشف عن مختلف أشكال الطاقة و أنماط تحويلها من أجل وضعيات مختلفة و حسب الجملة المختارة .
- ينجز كيفيا حصيلة طاقوية و يعبر عنها بالكتابة الرمزية .
- يكتب في أمثلة مختلفة المعادلة المعبرة عن إنحفاظ الطاقة .
- يفسر مجهريا ظاهرة طاقوية .

3 1°– الطاقة الكامنة الثقالية (E_{pp}) :

1°- أ) مقاربة أولية لعبارة الطاقة الكامنة الثقالية:

نشاط 1 : نعلق جسمًا كتلته **M** بواسطة خيط مطاطي .... (الشكل– 1) .

يبين (الشكل – 1 أ) خيطًا مطاطيًا في حالة راحة (غير متوتر) .

1) أسحب الجسم باليد نحو الأسفل حتى يصبح المطاط مستطالاً كفاية ، نسمي هذا الموضع **A** و نعتبره موضعًا مرجعيًا لحساب الطاقة الكامنة الثقالية (شكل – 1 ب) .

2) حرّر الجسم في لحظة ما و علّم على مسطرة أقصى إرتفاع **h** بالنسبة للموضع المرجعي **A** يبلغه هذا الجسم . نسمي هذا الموضع **B** (شكل – 1 جـ) .

نسمي :

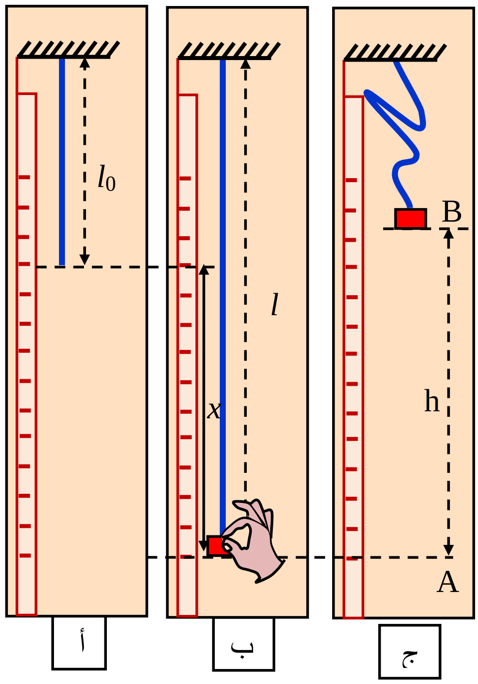
l_0 : الطول الأصلي للمطاط (الشكل – أ).

l : طول المطاط الكلي (الشكل – ب) .

x : إستطالة المطاط أي : $x = l - l_0$.

h : أقصى إرتفاع عن الموضع المرجعي **A** يبلغه الجسم .

أعد التجربة من أجل قيم مختلفة للكتلة **M** و دوّن نتائجك في الجدول التالي :



الشكل – 1

M (kg)	h (m)	$\frac{1}{M}$	$\frac{1}{M^2}$	$\frac{1}{\sqrt{M}}$
0,100	0,50			
0,150	0,33			
0,200	0,25			

● تحليل نتائج القياس :

1°- مثل الحوصلة الطاقوية للجملة المكونة من المطاط ، الجسم و الأرض بين الموضعين **A** و **B** . (تهمل الطاقة المحولة إلى الوسط الخارجي بفعل الاحتكاك) .

2°- ماهو شكل الطاقة المخزنة في الجملة عند الموضع **A**؟

3°- ماهو شكل الطاقة المخزنة في الجملة عند الموضع **B**؟

4°- ماهو التحول الطاقوي الذي حدث في الجملة بين الموضعين **A** و **B** ؟

5°- هل قيمة هذا التحول هي نفسها في كل الحالات الموافقة لمختلف الكتل ؟ علل .

6°- كيف تتغير قيمة الارتفاع **h** عندما تزداد الكتلة ؟

7°- أرسم المنحنى الممثل لتغيرات الارتفاع **h** بدلالة مقلوب الكتلة ($\frac{1}{M}$) ثم بدلالة مقلوب مربع الكتلة ($\frac{1}{M^2}$) ، ثم بدلالة مقلوب جذر الكتلة ($\frac{1}{\sqrt{M}}$) . ماذا تستنتج ؟

8°- استنتج من السؤال السابق العبارة من العبارات الثلاث التالية : M^2h ، Mh ، Mh^2 التي تناسب التحويل الطاقوي الذي حدث في الجملة في مختلف الحالات .

9°- استنتج عبارة الطاقة الكامنة الثقالية E_{pp} .

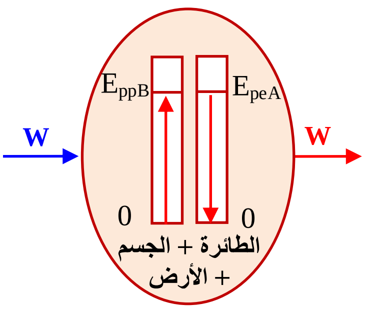
الجواب :

● تكملة الجدول .... لاحظ الجدول المرفق جانبه.

M (kg)	h (m)	$\frac{1}{M}$	$\frac{1}{M^2}$	$\frac{1}{\sqrt{M}}$
0,100	0,50	10	100	3,16
0,150	0,33	6,67	44,4	2,58
0,200	0,25	5	25	2,24

1°- الحوصلة الطاقوية للجملة (**المطاط + الجسم + الأرض**) :

باعتبار المستوى الأفقي المار بالموضع **A** كمستوى ابتدائي مرجعي لقياس الطاقات الكامنة الثقالية (**E_{pp}=0**) و وضع التوازن عند تعليق الجسم بالمطاط كمرجع لقياس الطاقة الكامنة المرونية (**E_{pe}=0**) و بإهمال كل التحولات الطاقوية غير المفيدة يمكن نمذجة الحصيلة الطاقوية للجملة كما في الشكل المقابل .



2°- كما هو موضح بالشكل فإن شكل الطاقة المخزنة في الجملة عند الموضع **A** هو **طاقة كامنة مرونية E_{pe}** .

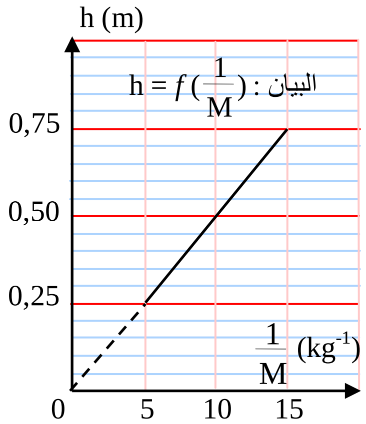
3°- شكل الطاقة المخزنة في الجملة عند الموضع **B** هو **طاقة كامنة ثقالية E_{pp}** .

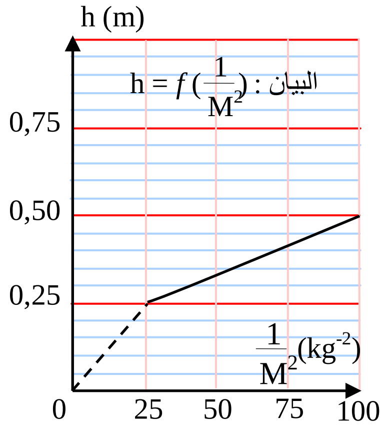
4°- التحول الطاقوي الحادث في الجملة بين الموضعين **A** و **B** هو نمط تحويل ميكانيكي **W** (يُحسب بعمل قوة توتر المطاط الذي يُعادل عمل ثقل الجسم) .

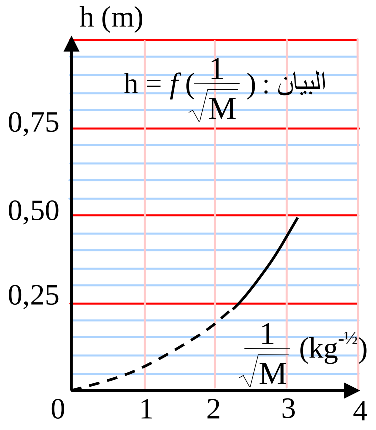
5°- نعم قيمة التحويل هي نفسها بالنسبة لجميع الكتل لأنه يتعلق باستطالة المطاط و هي نفسها في جميع التجارب .

6°- بما أن التحويل الطاقوي محفوظ في جميع التجارب ويعادل عمل ثقل الجسم فإن الارتفاع **h** يتناسب عكسًا مع الكتلة **M** .

7°- رسم المنحنيات البيانية : $h = f(\frac{1}{M})$ ، $h = f(\frac{1}{M^2})$ ، $h = f(\frac{1}{\sqrt{M}})$ على الورق الملمتري .







بيانيا نستنتج أن : الارتفاع **h** يتناسب طردًا مع مقلوب الكتلة الموافقة **(1/M)** كما يوضحه البيان : **h = f(1/M)** أعلاه .

8°- مما سبق يتضح أن : $h = C^{te}.(1/M)$ .... علاقة خطية بين الارتفاع **h** و مقلوب الكتلة **(1/M)** حيث : C^{te} ثابت يمثل الميل " معامل التوجيه " للمستقيم المائل المار من المبدأ : $h = C^{te}.(1/M)$ بالتالي $Mh = C^{te} =$ **ثابت** و العبارة المناسبة للتحويل الطاقوي الحادث في الجملة في مختلف الحالات هي العبارة : $Mh = C^{te} =$ **ثابت** .

9°- مما سبق نستنتج أنه بالنسبة للجسم : $E_A = E_B \Leftrightarrow 0 = E_{pp} - W$

ولدينا بالتعريف : $W = P.h$ ... (عمل الثقل) ⇐ $E_{pp} = W = P.h = P.\ C^{te}.(1/M) = (P/M).Mh = K_{pp}.Mh$ حيث : $K_{pp} = P/M$.

- **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

تتعلق الطاقة الكامنة الثقالية لجسم **بكتلته** و **ارتفاعه عن سطح الأرض** وتتناسب طردًا مع المقدار **Mh** وتكون عبارتها من الشكل $E_{pp} = K_{pp}.M.h$ حيث K_{pp} قيمة ثابتة تمثل معامل التناسب .

1°- ب) **تحديد الثابت** K_{pp} (نشاط - 2) :

ترك جسم كتلته **M = 0,1kg** يسقط بدون سرعة ابتدائية من حافة طاولة على ارتفاع **h** من سطح الأرض ، يُمثل (الشكل – 2) المقابل تسجيل حركة الجسم . باختيار الجملة **(الجسم + الأرض)** حيث المجال الزمني الفاصل بين كل تسجيلين متتاليين هو : $\tau = 0,05\ s$.

1°– أحسب سرعة الجسم في المواضع : M_0 ، M_2 ، M_4 ، M_6 ، M_8 وأملأ الجدول التالي :

الموضع	v (m/s)	h (m)	½Mv² (J)	M.h (kg.m)
M_0				
M_2				
M_4				
M_6				
M_8				

2°– أرسم المنحنى الممثل لتغيرات الطاقة الحركية E_c بدلالة المقدار **Mh** .

3°– أكتب معادلة المنحنى و ضعها على الشكل : $E_c = U'_0 - K_1U$

حيث : $U = Mh$ ، $U'_0 = K_1\ Mh_0$.

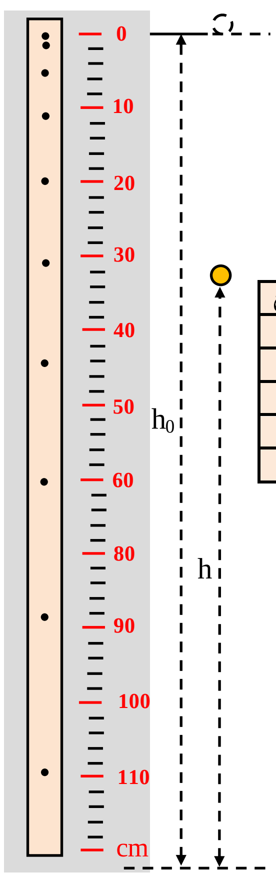
4°– استنتج قيمة : K_1 .

5°– تحقق أن معادلة انحفاظ الطاقة بين الموضعين الموافقين للارتفاعين **h** ، h_0 تكتب على الشكل : $E_c + E_{pp} = E_{p0}$

حيث : E_{p0} هي **الطاقة الكامنة الثقالية** عند الموضع الموافق للارتفاع h_0 .

E_{pp} و E_c هما على الترتيب **الطاقة الكامنة الثقالية** و **الطاقة الحركية** عند الموضع الموافق للارتفاع **h** .

6°– استنتج العلاقة بين K_1 و K_{pp} ثم عبارة **الطاقة الكامنة الثقالية** E_{pp} .



الشكل – 2

- **الجواب** :

1°– حساب السرعات : v_0 ، v_2 ، v_4 ، v_6 ، v_8 في المواضع M_0 ، M_2 ، M_4 ، M_6 ، M_8

على الترتيب (لاحظ الجدول الموالي) حيث : $v_i = \frac{M_iM_{i+1}}{\Delta t} = \frac{d_i}{2\tau} ... (\frac{m}{s})$

ولدينا : **في الشكل** : 11,5 cm → 100 cm

و منه : $1\ cm \rightarrow 8,7\ cm$ .... (سلم الرسم)

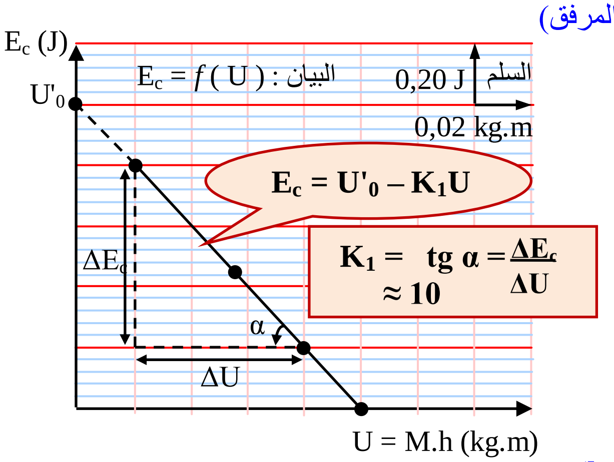
$\therefore$ $v_0 = 0\ m/s$ لأن الجسم ينطلق من السكون دون سرعة ابتدائية .

كذلك : $v_2 = (1\times8,7)\times10^{-2}/(2\times0,05) = 0,870\ m/s$

وتُحسب بقية السرعات بنفس الطريقة .

● تكملة الجدول :

الموضع	v (m/s)	h (m)	$\frac{1}{2}Mv^2$ (J)	M.h (kg.m)
M_0	0	1,00	0	0,100
M_2	0,870	0,95	0,04	0,095
M_4	1,914	0,80	0,18	0,080
M_6	3,045	0,55	0,46	0,055
M_8	3,915	0,20	0,77	0,020



2°ـ رسم البيان : $E_c = f(U)$ على الورق الملمتري (أنظر البيان المرفق)

حيث : $E_c = 1/2\ Mv^2$ ، $U = Mh$.

3°ـ البيان : $E_c = f(U)$ عبارة عن خط مستقيم مائل لا يمر من المبدأ معادلته من الشكل : $E_c = K_1(U_0 - U) = U'_0 - K_1U$.

4°ـ الثابت : K_1 هو الميل (معامل التوجيه) قيمته بيانيًا :

$K_1 = 10\ u.I$

كذلك : $U'_0 = K_1Mh_0 = 1\ u.I$ بالتالي : $E_c = U'_0 - K_1U$

$\therefore$ $\boxed{E_c = 1 - 10U = 1 - 10\ Mh}$.

5°ـ نظريًا : باعتبار سطح الأرض $(h = 0)$ كمستوى ابتدائي مرجعي لقياس الطاقات الكامنة الثقالية $(E_{pp} = 0)$ وباعتبار الجسم يسقط بتأثير قوة ثقله الوحيدة $\vec{P}$ فإن معادلة انحفاظ الطاقة بين الموضعين الموافقين للارتفاعين h_0 و h هي :

$E_0(h_0) = E(h) \Leftrightarrow 0 + E_{p0} = E_c + E_{pp} \Leftrightarrow \boxed{E_{p0} = E_c + E_{pp}}$

6°ـ بالرجوع إلى معادلة الانحفاظ : $E_{p0} = E_c + E_{pp}$ ، يكون لدينا : $E_c = E_{p0} - E_{pp} \Leftarrow E_c - 0 = E_{p0} - E_{pp}$

$\therefore$ $E_c - E_{c0} = -(E_{pp} - E_{p0}) \Leftarrow \boxed{\Delta E_c = -\Delta E_{pp}}$.

لدينا من التجربة السابقة : $E_{pp} = K_{pp}.Mh = K_{pp}.U$

$\therefore$ $E_{p0} = K_{pp}.U_0 \Leftarrow \Delta E_c = -K_{pp}(U - U_0) = E_c - 0$

بالتالي : $E_c = K_{pp}.U_0 - K_{pp}.U$.........(1)

بيانيًا لدينا : $E_c = U'_0 - K_1U$.........(2)

$\Leftarrow$ بالمقارنة بين العلاقتين (1) و (2) نجد : $U'_0 = K_{pp}.U_0 = 1\ J$

كذلك : $\boxed{K_{pp} = K_1 \simeq 10\ N/kg}$.

$\therefore$ عبارة **الطاقة الكامنة الثقالية** E_{pp} اعتمادا على ما سبق هي : $\boxed{E_{pp} = K_{pp}.Mh = K_1.Mh = 10Mh}$.

● **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

عندما يكون جسم كتلته **M** على ارتفاع **h** من سطح الأرض **(h = 0)** ، وباختيار الجملة (**الجسم** + **الأرض**) تكون الطاقة الكامنة الثقالية للجملة $E_{pp} = M.g.h$.

● نتائج & ملاحظات :

1°- إن الثابت : $K_{pp} = K_1 = g$ هو **تسارع الجاذبية الأرضية** على سطح الأرض و قيمته تُعادل تقريبًا : **10 N / kg** (في **الجزائر العاصمة**) :

$g = 9,80\ N/kg$ وفي العاصمة الفرنسية **باريس** : $g = 9,81\ N/kg$) .

2°- كما أسلفنا : $\Delta E_c = -\Delta E_{pp} \Leftrightarrow E_c - E_{c0} = -(E_{pp} - E_{pp0}) \Leftrightarrow$

$E_c + E_{pp} = E_{c0} + E_{pp0} \Leftrightarrow E = E_0$.

3 - 2°) **الطاقة الكامنة المرونية و الفتلية (E_{pe})** :

2° - 1) **الطاقة الكامنة المرونية** :

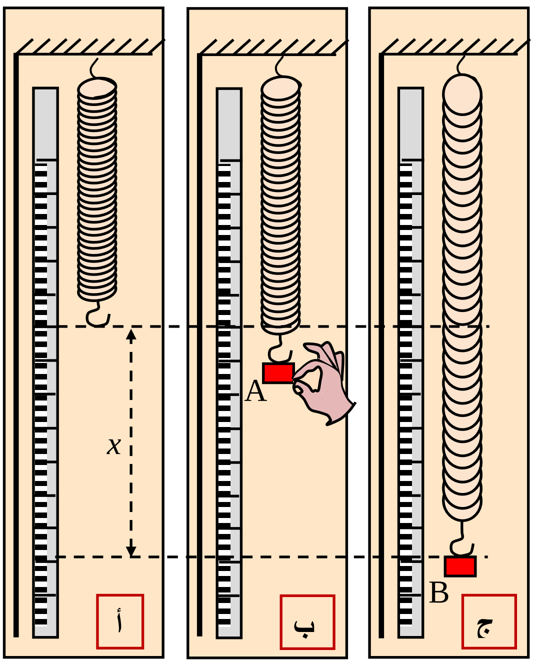
2° - 1 / أ) **مقاربة أولية لعبارة الطاقة الكامنة المرونية(نشاط - 1)** :

نربط جسمًا كتلته **M** إلى أحد طرفي نابض طويل ، ثم نتركه يسقط من الموضع **A** بدون سرعة ابتدائية فيستطيل النابض حتى الموضع **B** أين تنعدم سرعة الجسم و يستطيل النابض بالمقدار x (الشكل – 3 جـ) .

1°- مثل الحوصلة الطاقوية للجملة المكونة من النابض ، الجسم و الأرض بين الموضعين **A** و **B**.

2°- استنتج من معادلة انحفاظ الطاقة بين الموضعين **A** و **B** المعادلة التالية : $E_{pe} = \Delta E_{pp}$ حيث : E_{pe} هي الطاقة الكامنة المرونية للنابض .

3°- كرّر التجربة من أجل قيم مختلفة للكتلة **M** و قس في كل مرة الاستطالة



الشكل – 3

x للنابض .

4°- دوّن نتائجك في الجدول المقابل :

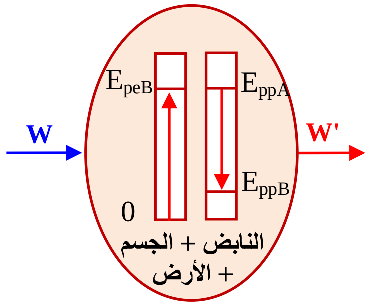
5°- أرسم المنحنى الممثل لتغيرات E_{pe} $(E_{pe} = Mgx)$ بدلالة المقدار x^2 . ماذا تلاحظ ؟

6°- أحسب ميل المنحنى و استنتج أن عبارة الطاقة الكامنة المرونية تكتب بالشكل : $E_{pe} = K_e x^2$.

M (kg)	x (m)	Mgx (J)	x^2 (m^2)

● الجواب :

1°- الحوصلة الطاقوية للجملة (**النابض + الجسم + الأرض**) : لاحظ الشكل



2°- معادلة انحفاظ الطاقة للجملة بين الموضعين A و B تكتب اعتمادا على نموذج الحصيلة الطاقوية المرفق كالتالي :

$$E_A = E_B \Leftrightarrow 0 + E_{p0} + W - W' = 0 + E_{pe} + E_{pp}$$

$$\therefore\ E_{p0} - E_{pp} = E_{pe} \Leftrightarrow \boxed{\Delta E_{pp} = E_{pe}}$$

3°- نعلق في كل مرة كتلة معايرة M في النابض و نقيس استطالته الموافقة x ، والنتائج المحصل عليها ندّونها في الجدول المقابل :

4°- جدول القياسات :

M (kg)	x (m)	Mgx (J)	x^2 (m^2)
0,100	0,04	0,04	0,0016
0,150	0,06	0,09	0,0036
0,200	0,08	0,16	0,0064
0,250	0,10	0,25	0,0100

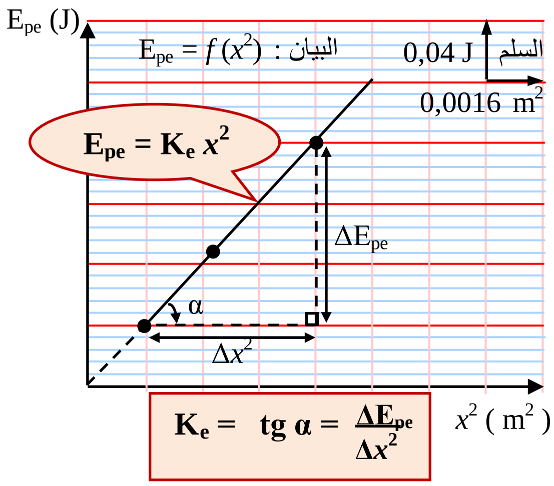
5°- رسم البيان $E_{pe} = f(x^2)$ على الورق الملمتري ... (أنظر البيان أسفله).

نلاحظ أن : البيان $E_{pe} = f(x^2)$ عبارة عن خط مستقيم مائل يمر من المبدأ معادلته من الشكل : $E_{pe} = K_e x^2$ أي أن : E_{pe} تتناسب طردًا مع x^2 ...(K_e = ثابت : الميل أو معامل التوجيه) .

6°- بيانيًا : $K_e = tg\alpha = \Delta E_{pe}/\Delta x^2$

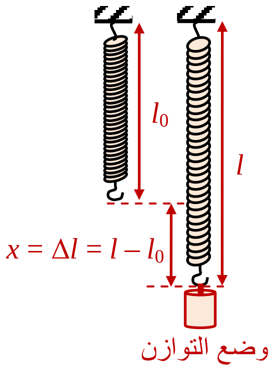
$= (3\times0,04) /(3\times0,0016) = 25$ u.I

$\therefore\ \boxed{K_e = 25\ N/m} \Rightarrow \boxed{E_{pe} = K_e x^2 = 25\ x^2}$.



2°- 1 / ب) تعيين الثابت K_e (نشاط - 2) :

لتعيين الثابت K_e قُم بمعايرة النابض المستعمل في التجربة السابقة علق في نهاية النابض أجسامًا مختلفة الكتلة و قس في كل مرة الاستطالة عند وضعية توازن الجسم (الشكل جانبه) .



ـ دوّن نتائجك في جدول (الجدول أدناه) .

ـ أرسم منحنى المعايرة الممثل لتغيرات القوة المطبقة على النابض T = Mg بدلالة الاستطالة x. ماذا تلاحظ ؟

ـ أحسب ميل المنحنى الذي يُمثل **ثابت مرونة النابض (K)** .

ـ قارن قيمة الميل K مع قيمة الثابت K_e . ماذا تلاحظ ؟

ـ كرّر التجربتين السابقتين باستعمال نوابض مختلفة (ثوابت مرونة مختلفة) .

ـ قارن في كل مرة قيمة K_e مع قيمة ثابت المرونة لكل نابض . ماذا تلاحظ ؟

ـ استنتج من هذه المقارنة أن : $K_e = \dots K$ حيث K هو ثابت مرونة النابض .

ـ استنتج أن عبارة **الطاقة الكامنة المرونية** تكتب بالشكل : $E_{pe} = \dots K x^2$.

ـ هل يمكن استعمال سلك مطاطي بدلاً من نابض في الأنشطة السابقة ؟ ناقش .

M (kg)	x (m)	Mg (N)

● **الجواب :**

ـ جدول القياسات .... (لاحظ الجدول المقابل) .

M (kg)	x (m)	Mg (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

ـ رسم منحنى معايرة النابض : $T = f(x)$ على الورق الملمتري ... (أنظر البيان المرفق أدناه) .

نلاحظ أن البيان عبارة عن " خط مستقيم مائل يمر من المبدأ " معادلته من الشكل : $T = K x$ حيث : K ثابت يمثل ميل المستقيم (فيزيائيًا) يُعرف بـ : **ثابت المرونة**) أي أن :

استطالة النابض x تتناسب طردًا مع القوة المطبقة **T** " **قوة توتر النابض** " .

ـ بيانياً : الميل (ثابت المرونة) :

$$K = tg\alpha = \Delta T/\Delta x = (3\times0,5)/(3\times0,01) = 50\ u.I$$

∴ $\boxed{K = 50\ N/m}$ .... (ثابت مرونة النابض المستعمل) .

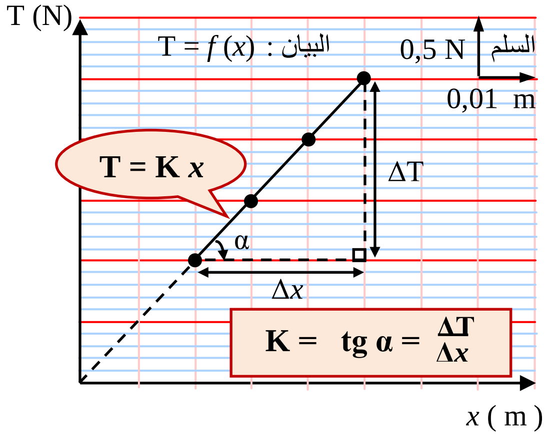
ـ لدينا : $K_e = 25\ N/m$ ....(النشاط ـ1)

و لدينا : $K = 50\ N/m$ ....(النشاط ـ2)

مما سبق يتضح أن : $\boxed{K_e = ½\ K}$.

ـ عند إعادة التجربتين السابقتين باستخدام نوابض مختلفة نجد في كل مرة نفس العلاقة بين الثابتين K_e و K أي دوما :

$\boxed{K_e = ½\ K}$ بالنسبة لأي نابض .



• **نتيجة** : $\boxed{K_e = ½\ K}$

ـ لدينا مما سبق : عبارة **الطاقة الكامنة المرونية** : $E_{pe} = K_e\ x^2$

بالرجوع إلى النتيجة الأخيرة السابقة تصبح هذه العبارة بشكلها النهائي التالي : $\boxed{E_{pe} = ½\ K\ x^2}$.

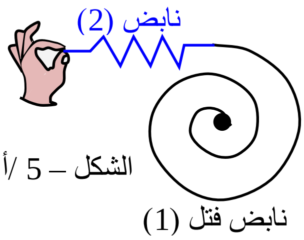
ـ نعم يمكن استبدال النابض بسلك من المطاط لأن كليهما يُخزن **طاقة كامنة مرونية** .

• **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

> عندما يستطيل (ينضغط) نابض ثابت مرونته **K** بمقدار **x** تكتب عبارة طاقته **الكامنة المرونية** على الشكل التالي : $E_{pe} = ½\ K\ x^2$.

°2 - 2) الطاقة الكامنة الفتلية :

°2 - 2 / أ) معايرة نابض الفتل (نشاط ـ 1) :

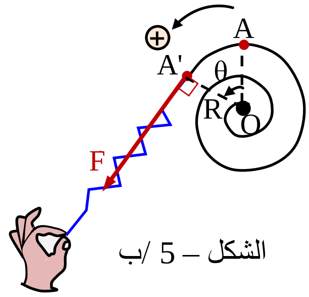


ثبت نابض حلزوني مسطح ندعوه " نابض فتل (1) " من طرفه الداخلي في النقطة O ، مثل ما هو مبين في الشكل – 4 (يمكنك صنعه من سلك معدني مرن تديره بيدك) .

باستعمال نابض (2) معاير ثابت مرونته K ، طبق على الطرف الحر لنابض الفتل (1) قوة عمودية على AO . اختر مرجعًا لقياس زاوية دوران نقطة تطبيق القوة .

1 - غيّر في شدة القوة المطبقة و قس في كل مرة استطالة النابض (2) و زاوية دوران نابض الفتل (1) .

2 - دون نتائجك في الجدول التالي :



استطالة النابض (2) x (cm)	زاوية دوران نابض الفتل θ (rd)	شدة القوة F (N)	عزم القوة F بالنسبة لنقطة تثبيت نابض الفتل

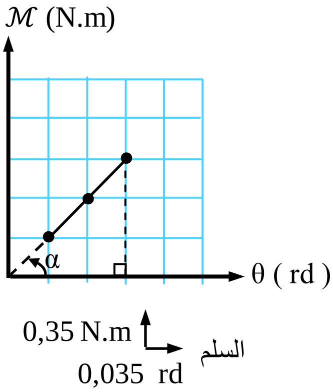
3 - ارسم تغيرات عزم القوة بدلالة تغيرات زاوية دوران نابض الفتل .

4 - احسب ميل المنحنى الذي يمثل ثابت فتل النابض .

• **الجواب** :

2 - جدول القياسات ... (لاحظ الجدول المرفق) .

استطالة النابض (2) x (cm)	زاوية دوران نابض الفتل θ (rd)	شدة القوة F (N)	عزم القوة F بالنسبة لنقطة تثبيت نابض الفتل
9,0	0,0349	3,49	0,349
17,5	0,0697	6,97	0,697
26,0	0,1047	10,47	1,047



3 - رسم البيان $\mathcal{M}_{\vec{F}/O} = f\ (\theta)$ ... (لاحظ البيان المقابل) .

4 - حساب ميل المنحنى $\mathcal{M}_{\vec{F}/O} = f\ (\theta)$:

كما هو مبين على البيان ، ميل المنحنى هو : $tg\,\alpha = \frac{\Delta\mathcal{M}}{\Delta\theta} = \frac{3\times0,35}{3\times0,035} = 10\ N.m/rd$

∴ ثابت فتل النابض الحلزوني المسطح : $C = 10\ N.m.rd^{-1}$