الاهتزازات الحرّة لجملة ميكانيكية

تصميم الدرس

- دراسة بعض الجمل.
- النواس المرن.
- المعادلة التفاضلية للنواس المرن
- النواس الثقلي.

دراسة بعض الجمل

الهزاز الميكانيكي هو كل جملة تتحرك بحركة ذهاب و إياب حول وضع التوازن المستقر عموما.
مثال: أرجوحة،غشاء مكبر الصوت...

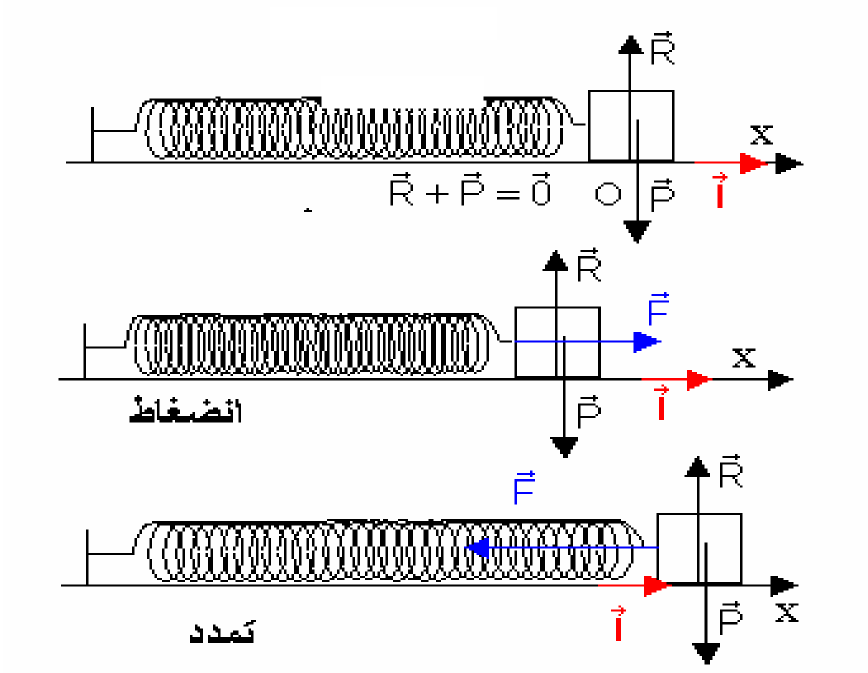
النواس المرن

يتكون النواس المرن من نابض حلقاته غير متلاصقة، كتلته مهملة و ثابت مرونته k مثبت مـن أحـد طرفيه، و طرفه الآخر موصول بجسم ، ويكون الجسم إما معلقا أو موضوعا على مستو أفقي.

أ- **قوة الإرجاع المطبقة من طرف نابض:**
نفرض جسما صلبا كتلته m موضوعا على مستو أفقي و موصول من طرفي الآخر إلى نابض مـرن حلقاته غير متلاصقة و كتلته مهملة و ثابت مرونته k، طوله الأصلي أي في وضع راحته هو l_0 .

- في الحالة التي يكون فيها النابض **في وضع راحته** ، فإنّ القوتين المطبقتين علـى الجملـة هما:
  - ✓ ثقل الجسم: $\vec{P}$
  - ✓ قوة فعل المستوي على الجسم $\vec{R}$.
- نزيح النابض عن وضع راحته، فيصبح طوله الجديد l، و نتركه لحاله.

نعتبر المعلم الأرضي للمخبر مرجعا غاليليا و نعتبر المعلم $(O, \vec{i}, \vec{j})$ المرتبط بهذا المرجع.
الجملة المدروسة هي: الجسم ذو الكتلة m .



يخضع الجسم إلى ثلاث قوى :

$\vec{P}$: فعل جاذبية الأرض على الجسم أي ثقل الجسم.

$\vec{R}$: فعل المستوي على الجسم حيث نهمل الاحتكاك.

$\vec{F}$: فعل النابض على الجسم، و تسمى قوة إرجاع.

إنّ شدة القوة F تتناسب طردا مع استطالة النابض x حيث:

$$F = k\,|L - L_0| = k\,|x|$$

إذا كان النابض منضغطا، فإنّه يسعى للرجوع إلى وضع راحته، فيطبق قوة $\vec{F}$ في جهة x , أي أن $\vec{F}$ و $\vec{i}$ لهما نفس الاتجاه.

$\vec{F} = k.x.\vec{i}$: $x < 0$

إذا كان النابض ممددا (مستطيلا)، فإنه يسعى للرجوع إلى وضع راحته، فيطبق قوة $\vec{F}$ في الجهة المعاكسة لـ $\vec{i}$ x أي $\vec{F}$ و $\vec{i}$ لهما اتجاه معاكس.

$\vec{F} = -k.x.\vec{i}$: $x > 0$

ب- الاهتزازات الحرة غير المتخامدة :

الاهتزازة هي الطريق الذي يسلكه النواس بين مرورين متتاليين من نفس النقطة و في نفس الاتجاه.

نقول عن الاهتزازات بأنّها حرّة عندما لا يؤثر عليها الوسط الخارجي أي أنّها لا تستقبل(ولا تعطي) أي طاقة من(أو إلى) الوسط الخارجي، بعد بدايتها في الاهتزاز.

تكون الاهتزازات غير متخامدة إذا أهملنا الاحتكاك.

الاهتزازات الحرة للجملة جسم – نابض أفقي

تجربة:

الهدف:

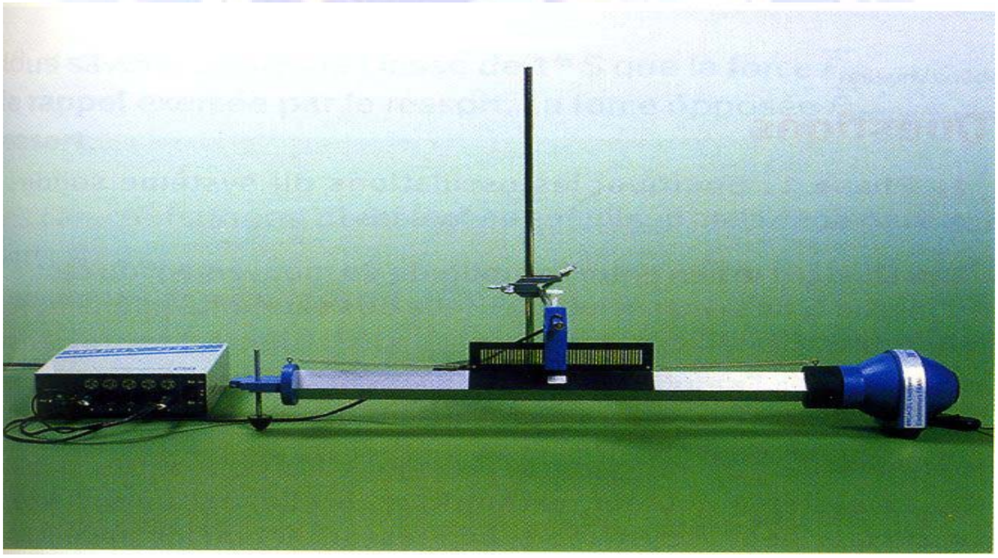
دراسة مميزات الاهتزازات الحرة للجملة (جسم – نابض أفقي)

الأدوات المستعملة:

- نابضان حلقاتهما غير متلاصقة
- كتل
- مسطرة
- كرونومتر
- طاولة هوائية

التجربة:

نوصل جسما S كتلته $m = 80\ g$ معلومة، بإمكانه القيام بحركة انسحابية على نضد هوائي بين نابضين أفقيين متماثلين (الصورة) ، ثابت مرونتهما $k_1 = 10\ N / m$.



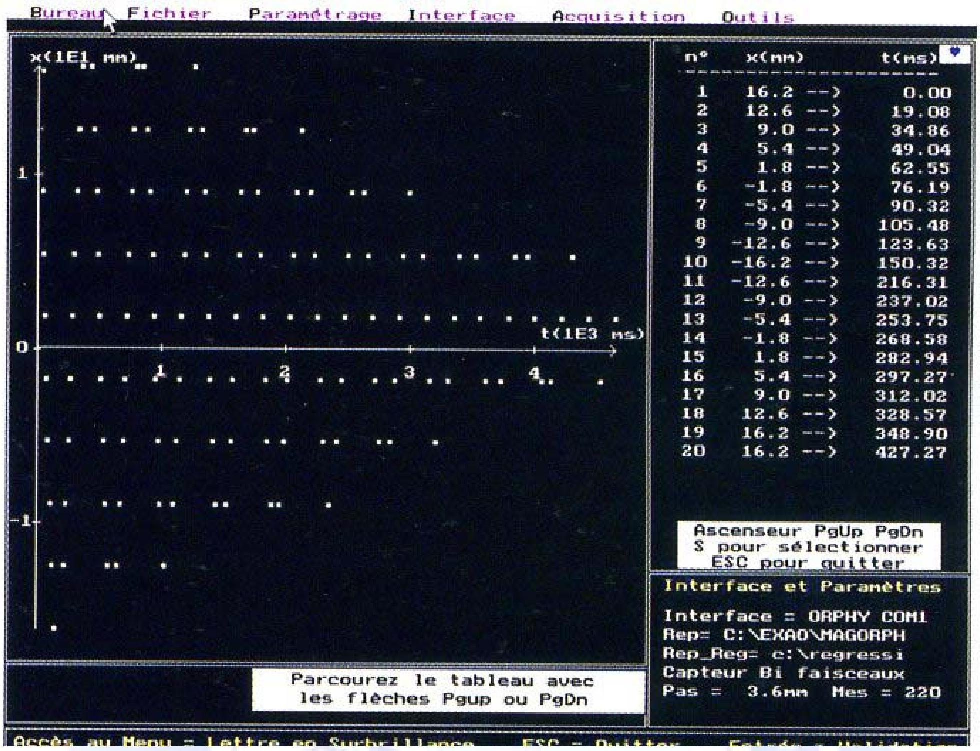
تكون قوى الاحتكاك ضعيفة و هذا بسبب وجود النضد الهوائي.

نسجل ،بواسطة جهاز خاص موصول إلى حاسوب، أوضاع نقطة M من الجسم بدلالة الزمن .

نفرض أنّ فعل النابضين يكافئ فعل نابض واحد ثابت مرونته $k = 2\ k_1$.

نزيح الجسم عن وضع توازنه و نتركه بدون سرعة ابتدائية.

يمثل الشكل التالي تسجيل أوضاع M بدلالة الزمن.



1- هل الاهتزازات المسجلة توافق حركة دورية ؟ ما هو سبب تخامد الحركة ؟

2- أ- قس قيمة شبه دور الاهتزازات.

ب- قارن هذه القيمة مع قيمة الدور الذاتي للاهتزازات غير المتخامدة. ماذا تستنتج ؟ (تبين الدراسة النظرية أنّ قيمة الدور الذاتي تعطى بالعلاقة $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$)

3- أ- إذا زادت قيمة قوى الاحتكاكات ، قارن الحركة المتحصل عليها بالسابقة.

ب- هل يمكن ملاحظة حركة غير دورية ؟

4- نعوض النابضين بآخرين ثابت مرونتهما مختلف عن الأول. قس شبه دور الاهتزازات. ماذا تستنتج ؟

التحليل:

1- إنّ الاهتزازات المسجلة هي شبه دورية و ليست دورية، حيث نلاحظ على التسجيل أنها تتخامد وذلك بسبب الاحتكاكات (فعل الهواء أساسا).

2- أ- شبه الدور:

من التسجيل نلاحظ أن $T = 0,4\ s$.

ب- المقارنة:

نحسب أولا الدور الذاتي.

لدينا $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

ت ع :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{80 \times 10^{-3}}{20}} = 0{,}397 \quad s$$

$$T_0 = 0{,}4 \quad s$$

نلاحظ أنّ $T \simeq T_0$

3- عند زيادة الاحتكاكات، فإنّ تخامد الاهتزازات يزداد، و بالتالي تتلاشى الحركة في مدّة أقـل مـن المدّة الأولى.

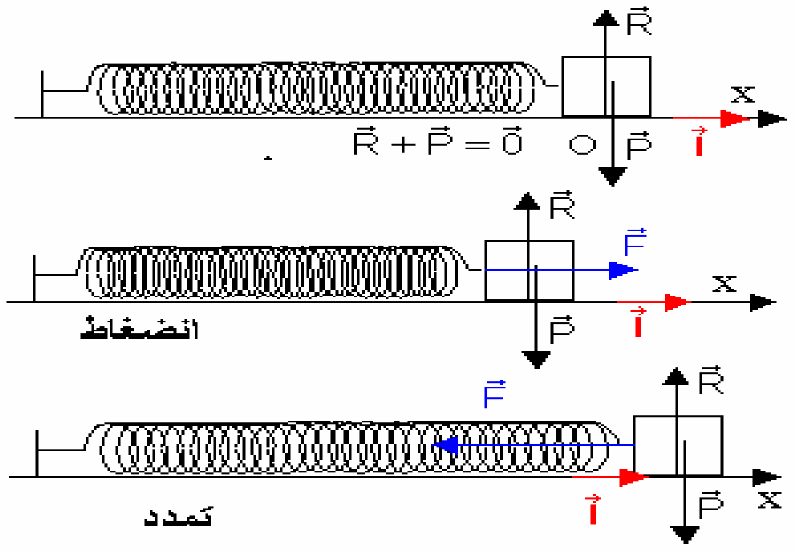
ب- نستطيع ملاحظة حركة غير دورية و ذلك بزيادة قوى الاحتكاكات أكثر فأكثر.

4- عند قياس شبه الدور، نلاحظ أنّه يتناسب عكسا مع ثابت المرونـة، و هـذا مـا تبينـه العلاقـة $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

المعادلة التفاضلية :

نعتبر نواسا مرنا حيث ندرس الاهتزازات الحرة للجسم عندما نبعده عـن وضـع توازنـه الابتـدائي و نتركه حرا.

نطبق القانون الثاني لنيوتن (قانون مركز العطالة) في مرجع غاليلي أرضي على الجملة، و ننسب لها معلما متعامدا $(O, \vec{i}, \vec{j})$.



نعلم أنّه في مرجع غاليلي يكون مجموع القوى الخارجية المطبقة على الجسم تساوي جداء كتلة الجسم و تسارع مركز عطالته.

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\,\vec{a}_G$$

نسقط على الشعاع $\vec{a}_G$: = شعاع التسارع لمركز عطالة الجسم.

$$0 + 0 - k\,x = m\,a_x$$

$$m\,a_x + k\,x = 0$$

حيث:

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}.x = 0$$

تسمى هذه المعادلة **المعادلة التفاضلية من الدرجة الثانية للنواس المرن**.

نتيجة :

في غياب الاحتكاكات ، فإنّ حركة مركز العطالة جسم تتحقق حسب المعادلة التفاضلية :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}.x = 0$$

حل المعادلة التفاضلية:

نتحقق أن المعادلة:

$$x = x_m.\cos\left(\frac{2\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right)$$

هي حل لهذه المعادلة التفاضلية، حيث:

x_m = سعة الحركة تقدّر بالمتر (m) و هي موجبة دائما.

T_0 = الدور الذاتي للاهتزازات ، وحدته الثانية (s)، و هو الزمن الذي تعيد فيه حركة G نفسها.

مهما يكن t نستطيع أن نكتب:

$$x(t) = x(t + T_0)$$

$$x_m . \cos\left(\frac{2\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right) = x_m . \cos\left(\frac{2\pi.t}{T_0} + 2\pi + \varphi_0\right)$$

$\left(\frac{2\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right)$ = صفحة (طور) الاهتزازات في اللحظة t و هو مقدر بالراديان.

φ_0 = الصفحة (الطور) في اللحظة t = 0 و هو مقدر بالراديان.

نحسب السرعة: (و هي المشتق الأول للمطال x)

$$\frac{dx}{xt} = -x_m . \frac{2\pi}{T_0} . \sin\left(\frac{2\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right)$$

نحسب التسارع: (و هو المشتق الأول للسرعة أي المشتق الثاني للمطال)

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -x_m . \frac{4\pi^2}{T_0^2} . \cos\left(\frac{2\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right)$$

نحسب $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}.x$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}.x = -x_m \frac{4.\pi^2}{T_0^2} \cos\left(\frac{2.\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right) + \frac{k}{m} x_m . \cos\left(\frac{2.\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right)$$

$$= \left(\frac{k}{m} - \frac{4.\pi^2}{T_0^2}\right) . x_m \cos\left(\frac{2.\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right)$$

تكون $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}.x = 0$ إذا كان: $\frac{k}{m} - \frac{4.\pi^2}{T_0^2} = 0$

أي :

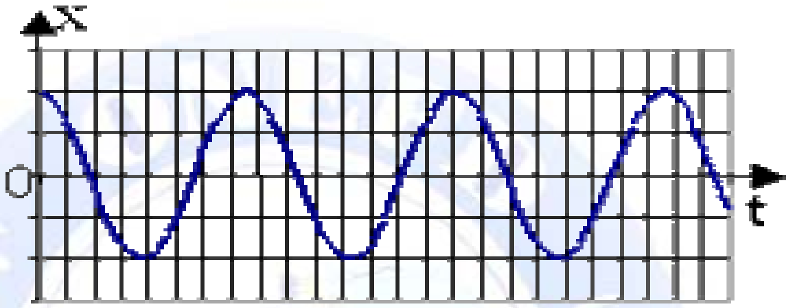
$$T_0 = 2\pi . \sqrt{\frac{m}{k}}$$

يسمى T_0 الدور الذاتي للنواس المرن.

نتيجة:

إنّ الاهتزازات الحرة لنواس مرن غير متخامدة هي جيبية تواترها: $f = \frac{1}{T_0}$

و منحناها يكون على شكل حركة اهتزازية جيبية



تعيين x_m و φ:

نعتبر الشروط الابتدائية البسيطة و هي التي من أجلها يترك الجسم لحالـه دون سـرعة ابتدائيـة، و نجذب النابض في اللحظة $t = 0$.

$x(t=0) = x_m > 0$ و $\frac{dx}{dt}(t=0) = 0$

$$\frac{dx}{xt}(t=0) = -x_m . \frac{2\pi}{T_0} . \sin(\varphi_0) = 0$$

هذا يعني أنّ : $\sin\varphi_0 = 0$ أي :

$$\varphi = \pi \text{ أو } \varphi = 0$$

الحل البسيط هو

$$x(t) = x_m . \cos\left(\frac{2\pi . t}{T_0}\right)$$

التحليل البعدي :

تعريف:

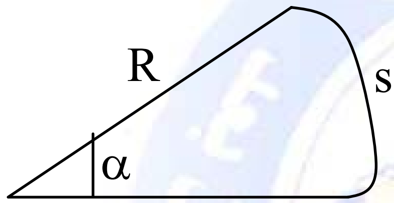
- ✓ إنّ معرفة بعد مقدار G يُعْـلمنا عن طبيعته الفيزيائية. إنّ بعد المقدار G يُرمز له بـ الرمز [G].

مثال: إذا كان G عبارة عن كتلة، إذن [G] = M ، لها بعد كتلة، و نقول كذلك أنّها متجانسة لكتلة.

- ✓ إنّ العلاقة [G] = M هي المعادلة لأبعاد المقدار G.
- ✓ عند كتابة المعادلة لأبعاد المقدار G، ونجد [G] = 1، نقول أنّ المقدار بدون بعد أو بعده 1 ، وهذا لا يعني أنّ ليس له وحدة، بل يمكن أن يكون له وحدة.

مثال:

إنّ قيمة الزاوية α في الرسم المقابل تعطى بالعلاقة:



$\alpha = \dfrac{s}{R}$ حيث R = نصف قطر الدائرة، أي:

$$[\alpha] = \frac{[s]}{[R]} = \frac{L}{L} = 1$$

و نعلم أنّ وحدة الزاوية α في هذه الحالة هي الراديان (rad).

- ✓ تكون معادلة متجانسة إذا كان لطرفيها نفس البعد.
- ✓ إنّ التحليل البعدي يسمح من التحقق من تجانس عبارة من حيث الوحدة. علما أنّ عبارة غير متجانسة تكون حتما خاطئة.

بعض القواعد:

- ✓ نستطيع جمع فقط المقادير التي لها نفس البعد.
- ✓ بعد جداء هو جداء البعدين: [AB] = [A].[B].
- ✓ بعد A^n هو $[A]^n$، حيث n = عدد بدون بعد.
- ✓ من أجل الدوال التالية: sin(u) , cos(u) , tan(u) , ln(u) , log(u) , e^u ، فإنّ المقدار u يكون بدون بعد.
- ✓ تستطيع المعادلة لأبعاد أي مقدار G أن تكتب على الشكل :

$$[G] = L^a \; M^b \; T^c \; I^d \; J^e \; \theta^f \; N^g$$

أبعاد بعض المقادير:

المقدار	البعد الموافق	الوحدة في الجملة الدولية
الطول	L	المتر (m)
الكتلة	M	الكيلوغرام (kg)
الزمن	T	الثانية (s)
شدّ التيار	I	الأمبير (A)
درجة الحرارة	θ	كالفن (K)
كمية المادة	N	مول (mol)
الشدّة الضوئية	J	الكانديلا (Cd)

نتحقق من أنّ الدور T يتعلق بـ الكتلة m وبثابت مرونة النابض k .

نبحث بالتحليل البعدي عن عبارة $T_0 = f(k , m)$.

من العلاقة السابقة للدور، نستطيع أن نكتب أنّ :

$$T_0 = C.k^a.m^b$$

حيث C = ثابت بدون وحدة.

حسب عبارة قوة إرجاع النابض (F = k.x)، فإنّ:

$$[k]=[F].[L]^{-1}$$

لكن: $[F] = M.L.T^{-2}$ أي: $[k] = M.T^{-2}$

$$[T_0] = [k]^a.[M]^b = M^a.T^{-2a}.M^b$$

$$[T_0] = M^{a+b}.T^{-2a}$$

بما أن $[T] = T$ فإنّ :

$$\begin{cases} a + b = 0 \\ -2a = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = -\dfrac{1}{2} \\ b = +\dfrac{1}{2} \end{cases}$$

و نجد أنّ علاقة الدور تتحقق بـ : $T_0 = C\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

ملاحظة:

إن التحليل البعدي لا يسمح بتعيين C ، لكن الدراسة التجريبية هي التي تبين أن $C = 2\pi$

تعيين C تجريبيا :

تجربة:

من أجل كتل مختلفة، نقيس في كل مرة الزمن لعشر اهتزازات كاملة لنواس مرن ثابت مرونته k = 10 N/m، نسجل النتائج في الجدول التالي.

علما أنّ $T = \dfrac{t}{10}$

M(g)	140	160	180	200
t (s)	7,4	7,9	8,4	8,9
T(s)				
T^2 (s^2)				

1/ أكمل الجدول

2/ ارسم البيان $T^2 = f(m)$

3/ أحسب ميله.

4/ اضرب قيمة الميل في قيمة ثابت المرونة.

5/ استنتج عبارة الدور الذاتي للنواس المرن.

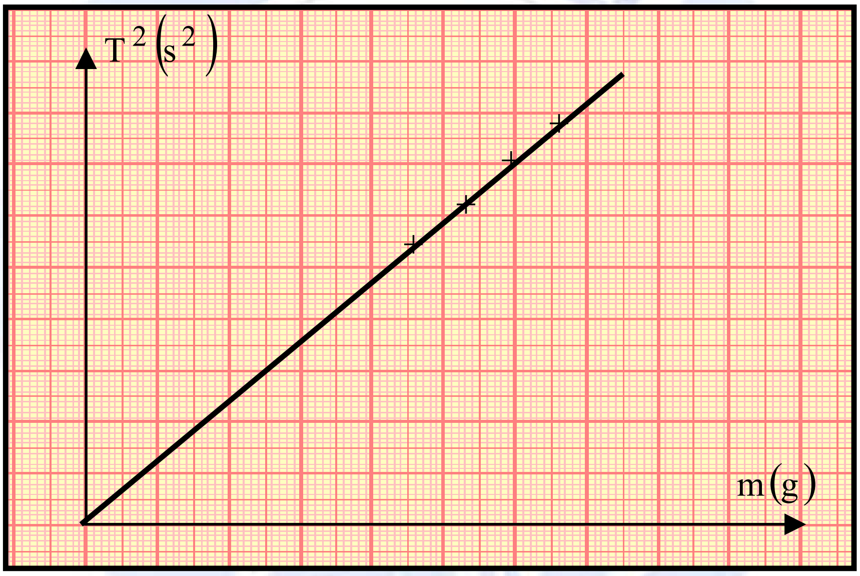
التحليل:

1/ الجدول:

علما أنّ $T = \frac{t}{10}$

T(s)	0,74	0,79	0,84	0,89
$T^2(s)$	0,548	0,624	0,705	0,792

2/ رسم المنحنى $T^2 = f(m)$:



3/ حساب الميل:

$$a = \frac{\Delta T^2}{\Delta m} = \frac{0;355 - 0}{90.10^{-3} - 0} = 3,94\ s^2/kg$$

$$a = 3,94\ s^2/kg$$

4/ حساب a.k:

$$a.k = 3,94 \times 10 = 39,4$$

5/ نلاحظ أنّ $39,4 \simeq 4.\pi^2$ أي $a.k = 4.\pi^2$ أي $a = \frac{4\pi^2}{k}$ ... (1)

البيان خط مستقيم يمر من المبدأ، معادلته من الشكل: $T^2 = a.m$ ... (2)

نعوض (1) في (2)، نجد: $T^2 = \frac{4\pi^2}{k}.m$ و منه نجد: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

حيث:

T تقدر بالثانية (s) .

m تقدر بالكيلوغرام (kg).

k يقدر بالنيوتن على المتر (N / m).

إيجاد المعادلة التفاضلية باستعمال مبدإ انحفاظ الطاقة:

لقد رأينا في السنة الثانية أنّ الطاقة الميكانيكية لجملة هي مجموع طاقتيها الكامنة و الحركية.

نستطيع إذن أن نعرف الطاقة الميكانيكية لجملة " كتلة – نابض أفقي " كمجموع الطاقة الحركية للكتلـة E_c (الكتلة ليس لها طاقة كامنة ثقلية لأن الجملة تبقى أفقية و لا يوجد تغير في الارتفـاع) والطاقـة الكامنة المرونية للنابض E_{pe} (النابض ليس له طاقة حركية لأنّ كتلته مهملة).

نستطيع أن نكتب: $E_M = E_c + E_{pe}$

خلال اهتزازة واحدة للنواس المرن، فإنّ:

عندما تقترب الكتلة من وضع التوازن $(x = 0)$، فإنّ الطاقة الحركية E_c تتزايد و الطاقة الكامنـة المرونية E_{pe} تتناقص.

عندما تبتعد الكتلة عن وضع التوازن، فإنّ الطاقة الحركية E_c تتناقص والطاقة الكامنة المرونيـة E_{pe} تتزايد.

و خلال الحركة يوجد تحول للطاقة الحركية إلى طاقة كامنة مرونية والعكس.

لدينا المعادلة الزمنية لحرة النواس المرن، والتي هي من الشكل:

$$x = x_m . \cos\left(\frac{2\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right)$$

معادلة السرعة تكون من الشكل:

$$V = \frac{dx}{xt} = -x_m . \frac{2\pi}{T_0} . \sin\left(\frac{2\pi.t}{T_0} + \varphi_0\right)$$

$$E_M = \frac{1}{2}m.V^2 + \frac{1}{2}k.x^2$$

$$E_M = \frac{1}{2}m.x_m^2 . \frac{4\pi^2}{T_0^2} . \sin^2\left(\frac{2\pi}{T_0}.t + \varphi_0\right) + \frac{1}{2}k.x_m^2 . \cos^2\left(\frac{2\pi}{T_0}.t + \varphi_0\right)$$

لدينا:

$$T_0 = 2\pi.\sqrt{\frac{m}{k}}$$

نربع العلاقة:

$$T_0^2 = 4\pi^2.\frac{m}{k} \quad \text{أي} \quad \frac{4\pi^2}{T_0^2} = \frac{k}{m}$$

$$E_M = \frac{1}{2}m.x_m^2.\frac{k}{m}.\sin^2\left(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi_0\right) + \frac{1}{2}k.x_m^2.\cos^2\left(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi_0\right)$$

$$E_M = \frac{1}{2}k.x_m^2\left[\sin^2\left(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi_0\right)+\cos^2\left(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi_0\right)\right]. = \frac{1}{2}k.x_m^2 = C^{te}$$

$$E_M = \frac{1}{2}k.x_m^2$$

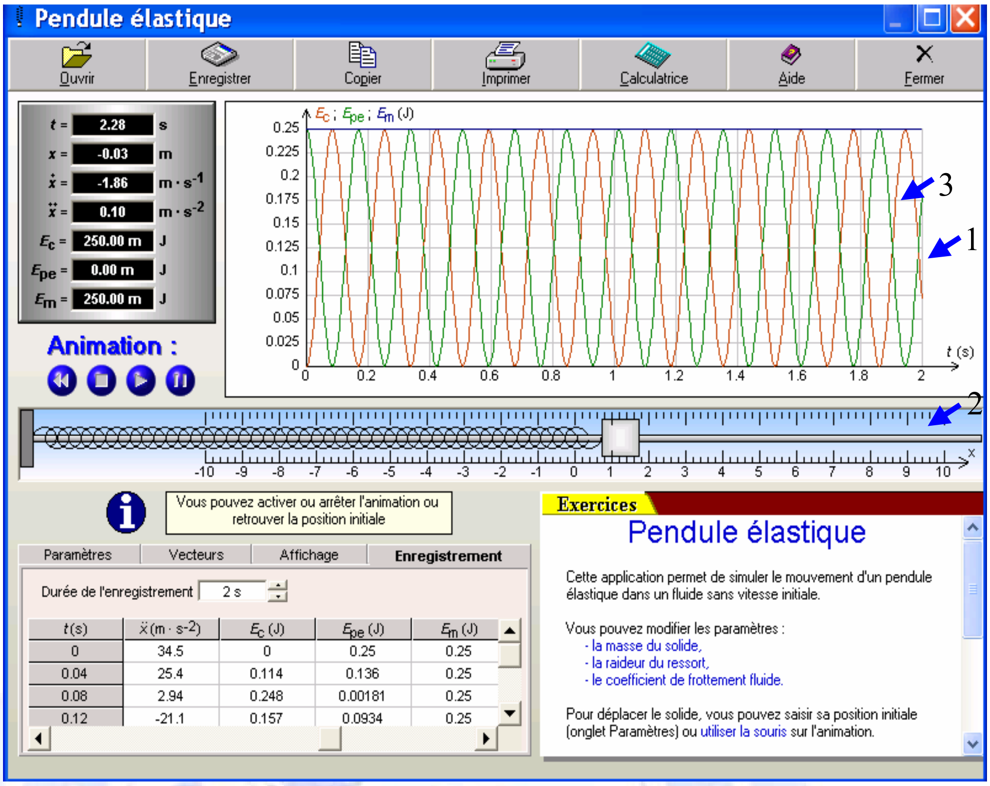
نتيجة:

عند عدم وجود الاحتكاك، فإنّ الطاقة الميكانيكية للجملـة (كتلـة – نـابض أفقـي) تكـون ثابتـة:

$$E_M = \frac{1}{2}k.x_m^2$$

نقول إنّ الجملة محفوظة.

نستطيع أن نتحقق من ذلك بواسطة محاكاة (Microméga Hatier) حيث نلاحظ في حالة عدم وجود الاحتكاك أن الطاقة الميكانيكية تكون ثابتة أي محفوظة و أنّ التناقص في الطاقة الحركية يقابله تزايـد في الطاقة الكامنة المرونية.



t(s)	ẍ (m · s-2)	Ec (J)	Epe (J)	Em (J)
0	34.5	0	0.25	0.25
0.04	25.4	0.114	0.136	0.25
0.08	2.94	0.248	0.00181	0.25
0.12	-21.1	0.157	0.0934	0.25

تمثل الأرقام الموجودة على المنحنيات :

1. الطاقة الحركية.
2. الطاقة الكامنة.
3. الطاقة الميكانيكية، و هي ثابتة.

المعادلة التفاضلية للنواس المرن

بما أنّ الطاقة الميكانيكية ثابتة، نكتب:

$$E_M = \frac{1}{2} m . V^2 + \frac{1}{2} k . x^2 = C^{te}$$

نفاضل (نشتق) هذه العلاقة بالنسبة للزمن حيث:

$V = \frac{dx}{dt} = x'$ و $\frac{dV}{dt} = x''$ ، نجد:

$$\frac{1}{2} m . 2 . V . \frac{dV}{dt} + \frac{1}{2} k . 2 . x . \frac{dx}{xt} = 0$$

$$m . x' . x'' + k . x . x' = 0$$

$$m . x'' + k . x = 0$$

$$x'' + \frac{k}{m} . x = 0$$

$$x'' + \frac{k}{m} . x = 0$$

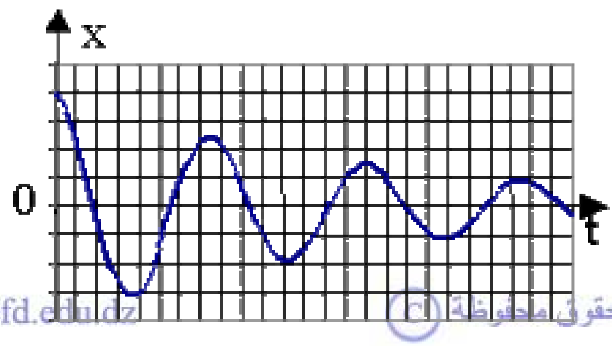
نلاحظ أنّنا نجد نفس المعادلة التفاضلية.

- الاهتزازات المتخامدة

إذا كانت قوة الاحتكاك (فعل الهواء أو المستوي) المطبقة على الجسم الموصول بالنابض غير مهملـة، فإن سعة الاهتزازات تتناقص مع الزمن، و نقول إن الاهتزازات تتخامد.

عندما يكون التخامد ضعيفا، فإنّ حركة النواس تكون شبه دورية و يكون شبه الدور T مقاربا لـدور الحقيقي T_0 .

$$T \simeq T_0 = 2\pi . \sqrt{\frac{m}{k}}$$

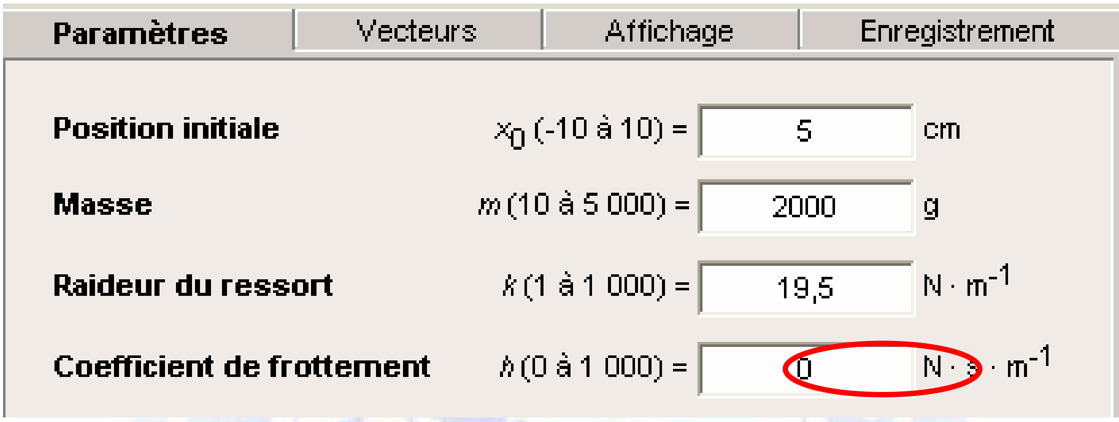


نتحقق من ذلك تجريبيا:

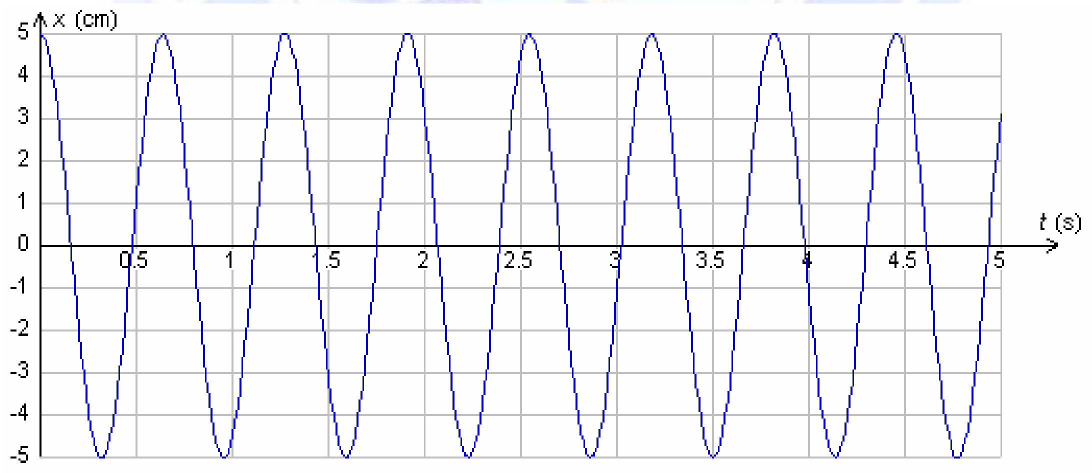
نستعمل محاكاة ببرنامج خاص بحيث نستعمل نفس النواس المرن.

حالة اهتزازات غير متخامدة (الاحتكاكات مهملة):

نستعمل محاكاة (Microméga Hatier) و ذلك بإهمال الاحتكاك حيث نختار في البرنامج معامـل الاحتكاك يساوي الصفر.



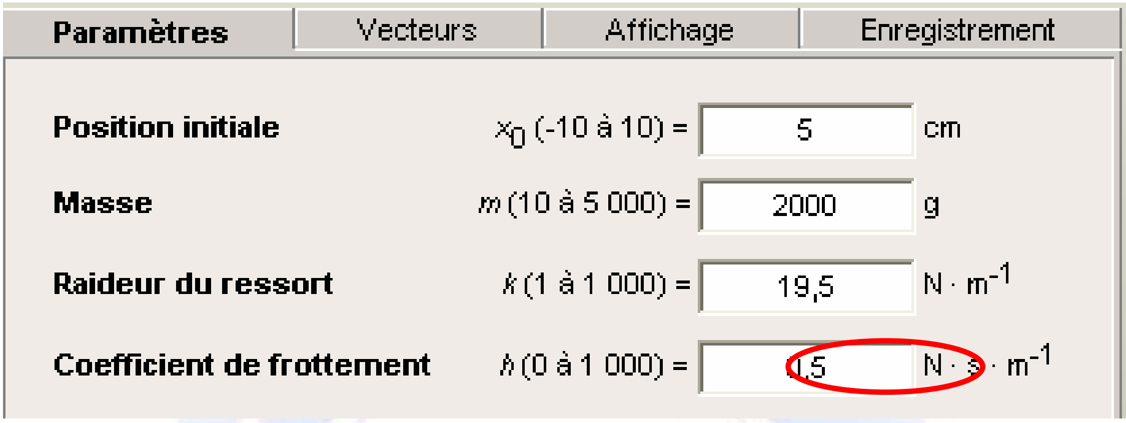
نتحصل على البيان التالي:



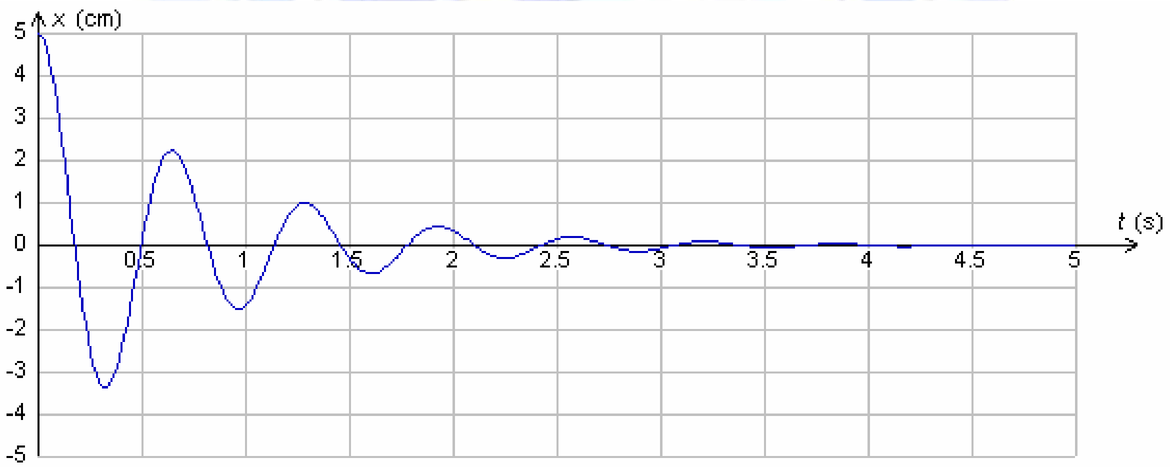
نلاحظ أنّ الحركة دورية (اهتزازية جيبية)

حالة اهتزازات متخامدة (الاحتكاكات موجودة):

نستعمل محاكاة (Microméga Hatier) و ذلك بعدم إهمال الاحتكاك حيث نختار فـي البرنـامج معامل الاحتكاك لا يساوي الصفر (مثلا 0,5 N.s / m. انظر الجدول الموالي):



نتحصل على البيان التالي:



نلاحظ أن الحركة ليست دورية بل شبه دورية، حيث تتلاشى بعد مدّة.

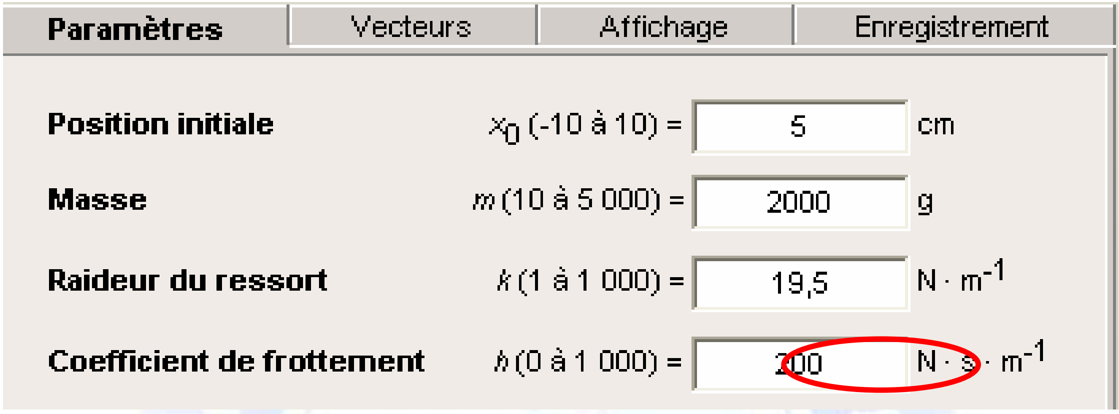
إذا قارنا قيمتي الدور الذاتي (في حالة إهمال الاحتكاك) و شبه الدور (في حالة وجـود الاحتكـاك)، نلاحظ من البيانين أن قيمة الدور الذاتي تساوي قيمة شبه الدور.

حالة تخامد كبير:

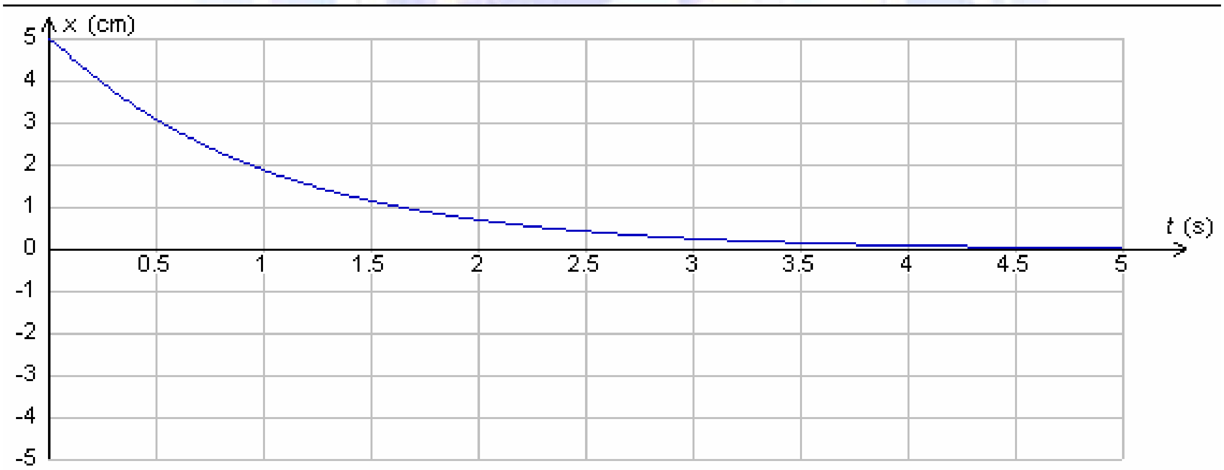
عندما تكون الاحتكاكات كبيرة فإن النواس المرن، عندما يزاح عن وضع توازنه و يتـرك لحالـه، يرجع إلى وضع توازنه دون أن يهتز.

و تنعدم سعته بسرعة كبيرة.

باستعمال المحاكاة دائما (معامل الاحتكاك يساوي 200 N.s / m) :



نتحصل على البيان التالي



نلاحظ أنّ السعة تنعدم بسرعة و تصبح الحركة غير دورية.

ومع الاحتكاكات لا تكون الطاقة الميكانيكية للجملة (جسم – نابض) محفوظة، بل تتناقص و تتحول إلى حرارة.

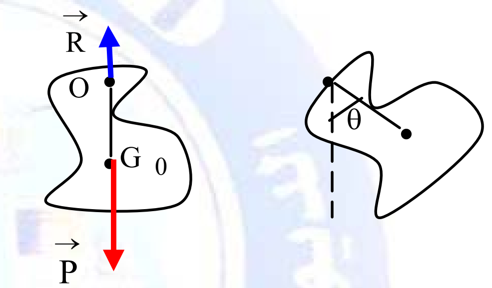
النواس الثقلي

3-1- تعريف :

النواس الثقلي هو كل جملة تهتز حول محور أفقي لا يمر من مركز عطالتها.

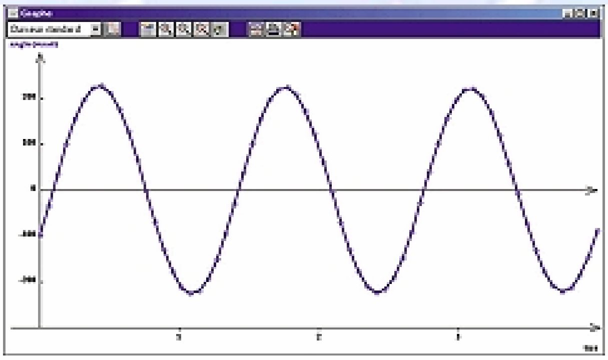
وضع التوازن المستقرللنواس الثقلي هو الذي يكون فيه مركز العطالة أسفل محور الدوران.

نزيح النواس عن وضع توازنه بزاوية θ فيكتسب حركة دورانية.



نترك النواس لحاله بعد إزاحته عن وضع توازنه، و بواسطة جهاز خاص يسمح لنا بإتباع تطور الفاصلة الزاوية θ.

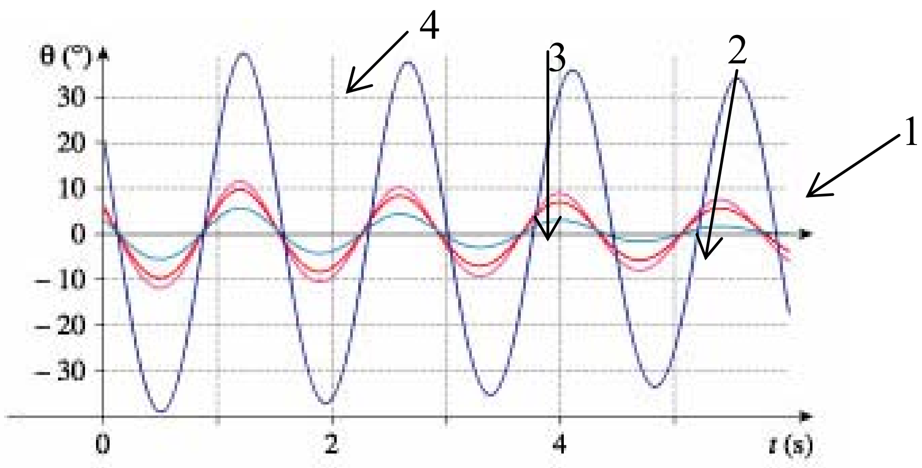
عندما يكون التخامد ضعيفا جدا، نلاحظ أن النواس تكون له حركة دورية، و تتغير الفاصلة θ بين قيمتين $+\theta_m$ و $-\theta_m$ حيث θ_m = السعة الزاوية للحركة، كما يكون له دور T.



عندما يكون التخامد ضعيفا، فإنّه يكون للهزاز حركة شبه دورية و له دور يسمى: شبه الدور.

3-2- تواقت الاهتزازات صغيرة السعة :

لدينا الشكل التالي و الممثل للمطالات الزاوية لنواس ثقلي من أجل سعات مختلفة.

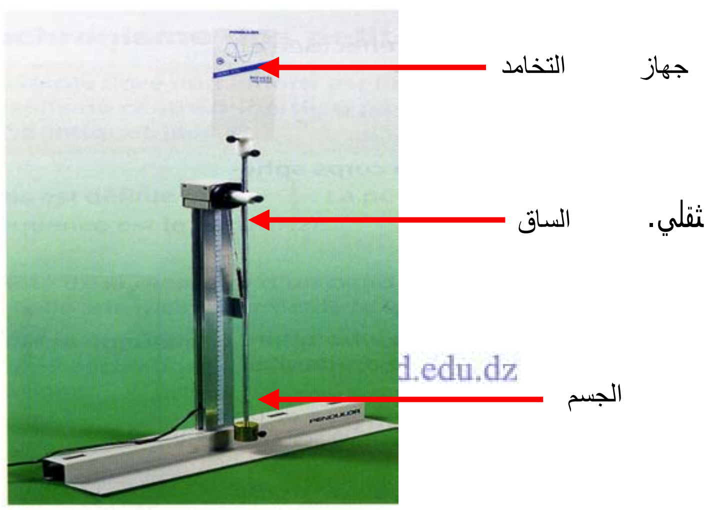


نلاحظ أن المنحنيات 1، 2، 3 التي تكون من أجلها السعة الزاوية صغيرة لها نفس الدور، أي مهما تغيرت السعة حيث $\theta < 10°$، فإنّ الدور يبقى ثابتا، فهو لا يتعلق بالسعة الزاوية.
نلاحظ من المنحنى 4 ذي السعة كبيرة أن دوره مختلف عن الأخرى.

نتيجة:

من أجل سعات صغيرة $\theta < 10°$، فإنّ دور النواس الثقلي يبقى ثابتا، نقول بأن الاهتزازات متواقتة (تهتز بنفس الدور)

3-3- النواس الثقلي المتخامد:



تجربة:

الهدف:

ملاحظة تأثير التخامد على اهتزازات نواس ثقلي.

الأدوات المستعملة:

- نواس ثقلي.

التجربة:

يتكون النواس المستعمل في هذه التجربة

من ساق معدنية كتلتها مهملة، تتحرك حول

محور (Δ) أفقي و عمودي عليها.

نربط جسما مركز عطالته G في النهاية السفلى

للساق. بتجهيز خاص، نستطيع تسجيل $\theta(t_i)$ في لحظات t_i حيث $t_{i+1} - t_i = \tau$ و τ = ثابت.

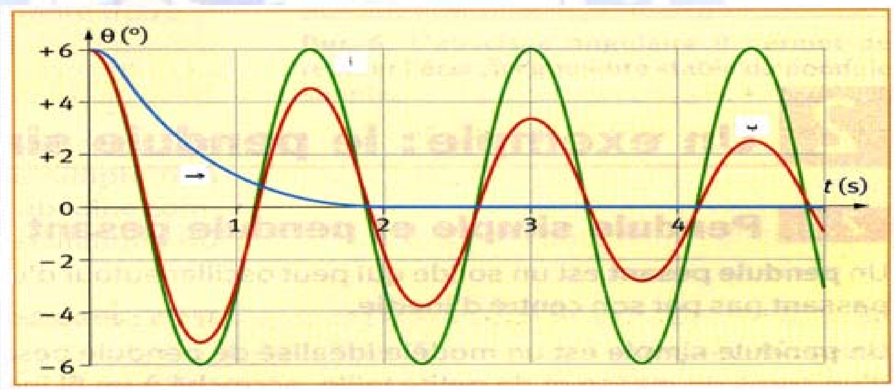
نستطيع أن نثبت على الساق جهاز تخامد كتلته مهملة و سطحه متغير.

نزيح الساق عن وضع توازنها بدون جهاز التخامد و ذلك بزاوية قدرها $5°$ تقريبا، ثم نتركها لحالها بدون سرعة ابتدائية في اللحظة $t = 0$

نسجل الفاصلة الزاوية $\theta(t)$ للساق و الممثلة في الشكل الموالي (أ).

نثبت على الساق جهاز تخامد سطحه A_1 و نعيد التجربة السابقة ، فنتحصل على الشكل (ب).

ثم نغير السطح إلى A_2 أكبر بكثير أمام A_1، فنتحصل على الشكل (جـ).



1- في غياب التخامد، و في شروط التجربة، فإنّ حركة النواس غير متخامدة. برّر.

2- إنّ الدور المقاس على الشكل (أ) هو الدور الذاتي T_0 للحركة. عين قيمته بيانيا.

3- بوجود جهاز التخامد ذي السطح A_1 ، تكون حركة النواس متخامدة، فماهو الفرق بين هذه الحركة و الحركة في التجربة الأولى ؟

4- تتميز حركة النواس هذه بشبه دور. عرّف شبه الدور.

5- عين قيمة شبه الدور T بيانيا، ثمّ قارن قيمته مع قيمة الدور الذاتي. ماذا تستنتج ؟

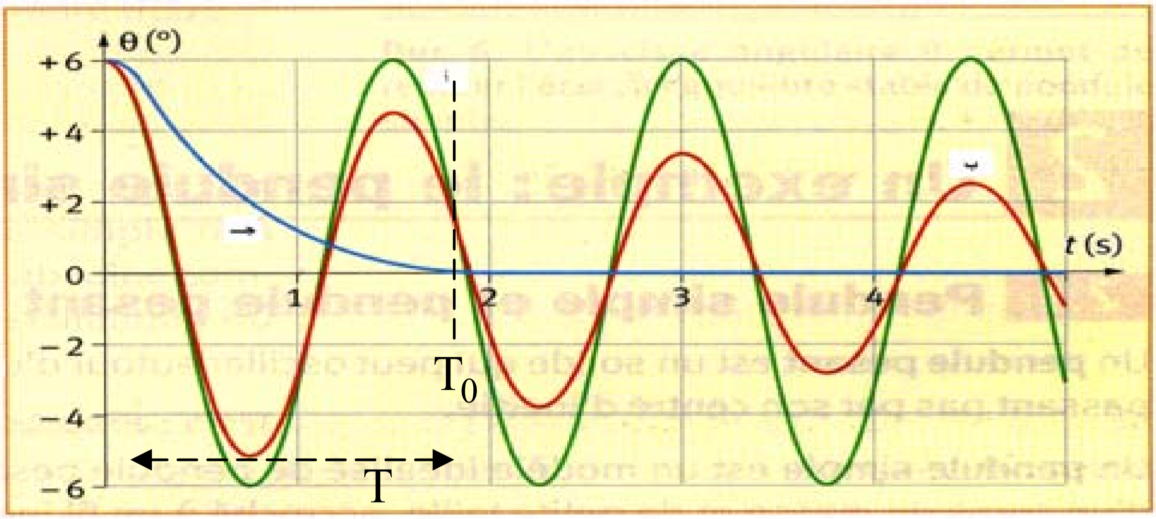
6- صف شكل المنحنى المتحصل عليه عندما يكون السطح كبير جدا (شكل جـ)

هل نستطيع تعريف شبه الدور في هذه الحالة ؟

التحليل:

1- نلاحظ من الشكل (أ) أن سعة الحركة ثابتة بمرور الزمن، إذن فالحركة غير متخامدة.

2- تعيين الدور الذاتي:



من الشكل (أ)، نجد $T_0 = 1,5\ s$.

3- الفرق بين الحركتين:

نلاحظ أن السعة في الشكل (ب) تتناقص بمرور الزمن، نقول إنّ الحركة شبه نعينه دورية.

4- تعريف شبه الدور:

شبه الدور T هو الزمن الفاصل بين مرورين متتاليين في نفس الاتجاه من وضعية التوازن.

5- تعيين قيمة شبه الدور:

من الشكل (ب) نعين شبه الدو، نجد $T = 1,5\ s$.

نلاحظ أن $T = T_0$.

6- نلاحظ أنّ سعة الحركة تنعدم بسرعة كبيرة و بالتالي لا يمر النواس مرة ثانية من وضعية توازنه المستقرة. نقول إنّ الحركة ليست دورية.