

التذبذبات الميكانيكية

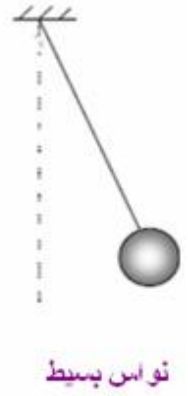
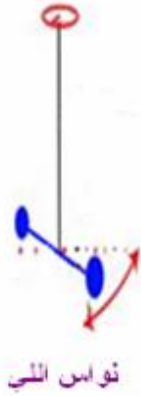
Les oscillations mécaniques

I المجموعات الميكانيكية المتذبذبة.

(1) أمثلة لبعض المتذبذبات الميكانيكية.

نعطي بعض المجموعات الميكانيكية المتذبذبة :

- **النواس البسيط**: يتكون من جسم صلب ، كتلته m ، ومرتبطة بخيط غير قابل للمد.
- **النواس المرن**: يتكون من جسم صلب كتلته m مرتبط بطرف نابض صلابته k .
- **النواس الوزن**: جسم صلب غير قابل للتشويه يمكنه إنجاز حركة تذبذبية حول محور ثابت لا يمر بمركز قصوره.
- **نواس اللي**: يتكون من سلك فلزي قابل للالتواء، مثبت من طرفه العلوي، ويحمل في طرفه السفلي قضيبا متجانسا معلقا من مركز قصوره.

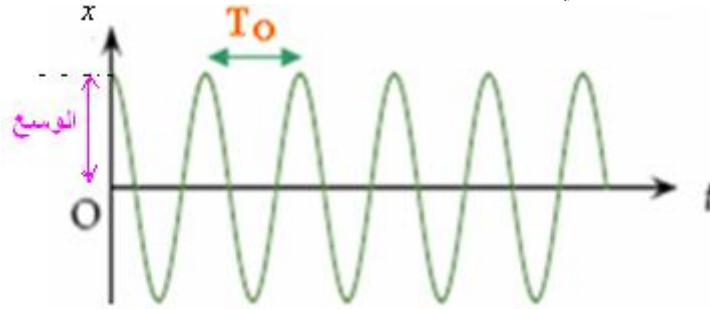


وبصفة عامة ، تعتبر المجموعة متذبذبا ميكانيكيا إذا كانت تنجز حركة تذبذبية (أي حركة ذهاب وإياب) حول موضع التوازن.

(2) مميزات الحركة التذبذبية.

كل حركة تذبذبية تتميز بما يلي:

- **موضع التوازن المستقر**: هو الموضع الذي إذا زحزح عنه المتذبذب يعود إليه ليستقر فيه.
- **الدور الخاص**: هو مدة انجاز ذبذبة واحدة. (بينما التردد الخاص: عدد الذبذبات المنجزة في الثانية).
- **الوسع**: هو القيمة القصوى الموجبة التي يأخذها المقدار الذي يعبر عن مدى ابتعاد أو انحراف المتذبذب عن موضع توازنه المستقر.



3-خمود التذبذبات الميكانيكية. أ-تعريف:

نزيج نواسا مرنا ، عن موضع التوازن المستقر ، ثم نحرر المجموعة ، نلاحظ أن وسع التذبذبات يتناقص إلى أن يتوقف المتذبذب عن الحركة . تسمى هذه الظاهرة : **ظاهرة الخمود**.

تحدث ظاهرة الخمود بسبب الاحتكاكات التي يمكن تصنيفها إلى صنفين :

- **احتكاكات مائعة**، تحدث عند تماس المتذبذب مع جسم مانع كالهواء أو الماء.
- **احتكاكات صلبة** تحدث عند تماس المتذبذب مع جسم صلب .

(ب) أنظمة خمود التذبذبات الميكانيكية.

● **حالة الخمود الضعيف**: يتناقص وسع المتذبذب تدريجيا إلى أن يستقر في موضع توازنه

المستقر. وبذلك تكون حركة المتذبذب شبه دورية.

وشبه الدور T
 $T \approx T_0$



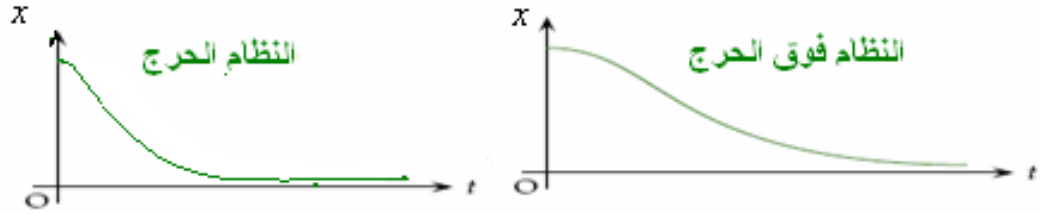
● حالة الخمود الحاد: النظام اللادوري.

في هذه الحالة تكون حركة المتذبذب لا دورية وحسب أهمية الخمود نحصل على الحالات التالية:

■ النظام تحت الحرج: ينجز خلاله المتذبذب ذبذبة واحدة قبل أن يتوقف. (انظر الشكل)



■ النظام الحرج: يعود خلاله المتذبذب إلى موضع توازنه المستقر دون أن يتذبذب.



■ النظام فوق الحرج: يستغرق خلاله المتذبذب وقتا طويلا لكي يعود إلى موضع توازنه المستقر دون أن يتذبذب.

ملحوظة: لصيانة الحركة التذبذبية نستعمل أجهزة ملائمة تمكن من تعويض الطاقة المبددة وبذلك تصبح الحركة التذبذبية مصادرة. مثلا يمكن صيانة حركة شفرة مهتزة باستعمال كهر مغناطيس.

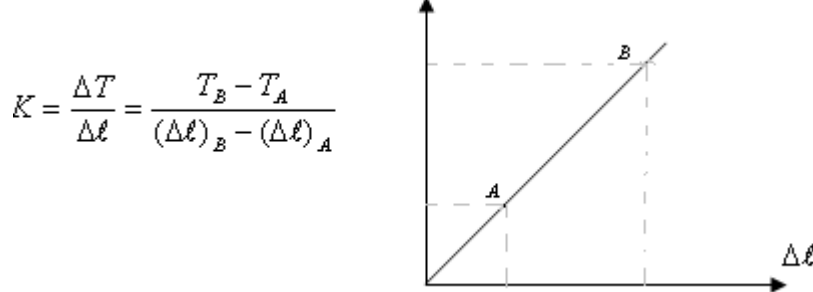
II دراسة مجموعات ميكانيكية متذبذبة.

1) النواس المرن:

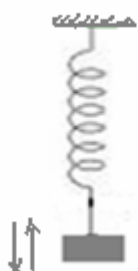
(أ) الدراسة التجريبية

تحديد صلابة النابض.

شدة القوة المقرونة بتوتر النابض تتناسب اطرادا مع إطالته $\Delta \ell$: $T = K \Delta \ell$ حيث K صلابة النابض، وهي ثابتة تميز النابض ويعبر عنها في النظام العالمي للوحدات ب: N/m والإطالة: $\Delta \ell = l_f - l_0$. ومبيانيا صلابة النابض تساوي المعامل الموجه للمستقيم الذي يمثل تغيرات شدة توتر النابض بدلالة إطالته $\Delta \ell$.



$$K = \frac{\Delta T}{\Delta \ell} = \frac{T_B - T_A}{(\Delta \ell)_B - (\Delta \ell)_A}$$



تحديد العوامل الفيزيائية المؤثرة على الدور الخاص

- نعلق جسما صلبا كتلته m في طرف نابض طوله الأصلي ℓ_0 .

- نزيح الجسم رأسيا نحو الأسفل بالوسع x_m ثم نحرره بدون سرعة بدئية.

- بواسطة ميقت نقيس مدة 10 تذبذبات. ثم نحسب الدور الخاص للتذبذبات.

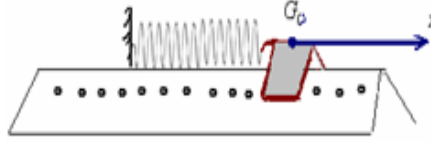
- نغير الكتلة ونقيس من جديد بنفس الطريقة السابقة الدور الخاص للتذبذبات.

- نغير النابض ونقيس من جديد بنفس الطريقة السابقة الدور الخاص للتذبذبات.

نستنتج أن الدور الخاص للتذبذبات يتعلق بصلابة النابض وكتلة الجسم المعق.

● المعادلة التفاضلية:

نعتبر نواصير مرنة أفقيا مكونا من خيال كتلته m مثبت في طرف نابض ذي لفات غير متصلة وموضوع فوق نضد هوائي أفقي كما يبينه الشكل التالي:



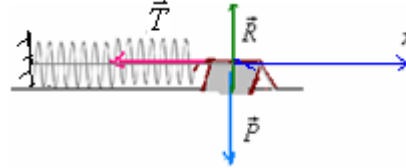
بعد تشغيل المعصفة الهوائية، نزيح الخيال أفقيا عن موضع توازن بمسافة x_m ثم نحرره. فتصبح له حركة تذبذبية غير مخمدة .

المجموعة المدروسة {الخيال}

جرد القوى: الخيال خلال حركته يخضع للقوى التالية: $\vec{P}$: وزنه .

قوة $\vec{R}$: تأثير النضد الهوائي وهي عمودية على سطح التماس (الاحتكاكات مهملة) .

$\vec{T}$: القوة المقرونة بتوتر النابض $\vec{T} = -K.x.\vec{i}$ قوة ارتداد (تسعى دائما إلى رد الجسم الصلب إلى موضع توازنه المستقر G_O) بحيث x قيمة جبرية.



تطبيق القانون الثاني لنيوتن: $\Sigma \vec{F} = m.\vec{a}_G$

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = m.\vec{a}_G$$

الإسقاط على المحور ox

$$0 + 0 - Kx = m.a_x$$

$$m.\ddot{x} + Kx = 0 \quad \Leftrightarrow \quad -Kx = m.\frac{d^2x}{dt^2}$$

ويمكن كتابتها كما يلي: $\ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$ وهي المعادلة التفاضلية للحركة.

K : صلابة النابض و m كتلة الجسم .

● المعادلة الزمنية للحركة:

حل المعادلة التفاضلية: $\ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$ هو دالة جيبية تكتب كما يلي: $x(t) = x_m \cos(\omega_o t + \varphi)$

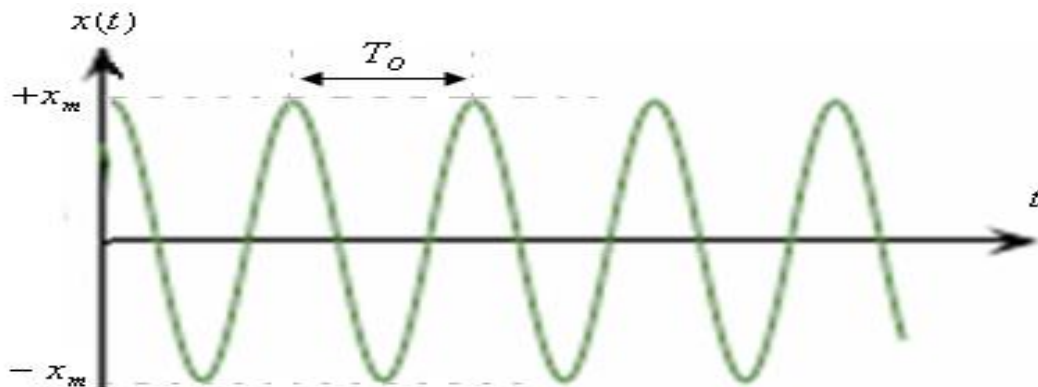
$x(t)$: الاستطالة وهي مقدار جبري $-x_m \leq x(t) \leq +x_m$ يعبر عنها ب (m) .

x_m : وسع الحركة وهي الاستطالة القصوى ب (m) .

$\omega_o t + \varphi$: طور الحركة التذبذبية عند اللحظة t وحدته (rad)

φ : طور الحركة عند أصل التواريخ ب (rad) .

ω_o : النبض الخاص ب rad/s وهو مرتبط مع الدور الخاص T_o بالعلاقة التالية: $T_o = \frac{2\pi}{\omega_o}$



$$-1 \leq \cos(\omega_o t + \varphi) \leq +1$$

$$-x_m \leq x_m \cos(\omega_o t + \varphi) \leq +x_m$$

$$-x_m \leq x(t) \leq +x_m$$

ملحوظة: بما أن:

فإن:

للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع : Talamid.ma

• النبض الخاص والدور للنواس المرن:

بما أن : $x(t) = x_m \cos(\omega_o t + \varphi)$ هو حل المعادلة التفاضلية $\ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0$

نبحث عن المشتقة الثانية ل: x ثم نعوض في المعادلة التفاضلية :

$$\dot{x}(t) = -\omega_o x_m \sin(\omega_o t + \varphi)$$

$$\ddot{x}(t) = -\omega_o^2 x_m \cos(\omega_o t + \varphi) = -\omega_o^2 x(t)$$

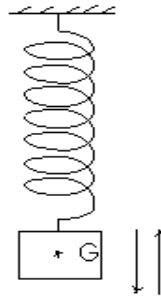
نعوض في المعادلة التفاضلية التي تصبح كما يلي:

$$T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{K}{m}}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad \text{ولدينا} \quad \omega_o = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad \Leftarrow -\omega_o^2 x + \frac{K}{m}x = 0$$

$$T_o = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad \text{الدور الخاص للنواس المرن}$$

(ج) تطبيق رقم 1: النواس الرن الرأسي

نعتبر نواسا مرنا رأسيا مكونا من نابض صلابته $K = 20N/m$ وجسم صلب كتلته $m = 200g$. نزيح الجسم S رأسيا نحو الأسفل عن موضع توازنه ب $3cm$ ثم نحرره بدن سرعة بدنية.



تعتبر معلما $(o, \vec{i})$ رأسيا موجها نحو الأسفل أصله O منطبق مع مركز قصور الجسم S عند التوازن G_o . عند اللحظة $t = 0$ يمر الجسم من موضع توازنه المستقر G_o في المنحى الموجب.

(1) أوجد إطالة النابض $\Delta \ell_o$ عند التوازن .

(2) أوجد المعادلة التفاضلية للحركة.

(3) أوجد المعادلة الزمنية للحركة .

(4) احسب الدور الخاص لحركة المتذبذب.

نعطي : $g = 10N/Kg$

(1) المجموعة المدروسة { الجسم S }

جرد القوى : الجسم عند التوازن يخضع للقوى التالية • $\vec{P}$: وزن الجسم .

• $\vec{T}_o$: القوة المقرونة بتوتر الخيط عند التوازن شدتها $T_o = K\Delta \ell_o$

من خلال شرط الوازن لدينا : $T_o = P = m.g$ أي : $mg - K\Delta \ell_o = 0$ هذه العلاقة تعبر عن شرط التوازن.

$$\Delta \ell_o = \frac{m.g}{K} = \frac{0,2Kg \cdot 10N/Kg}{20N/m} = 0,1m = 10cm$$
 ومنه إطالة النابض عند التوازن هي $10cm$

(2) تطبيق القانون الثاني لنيوتن :

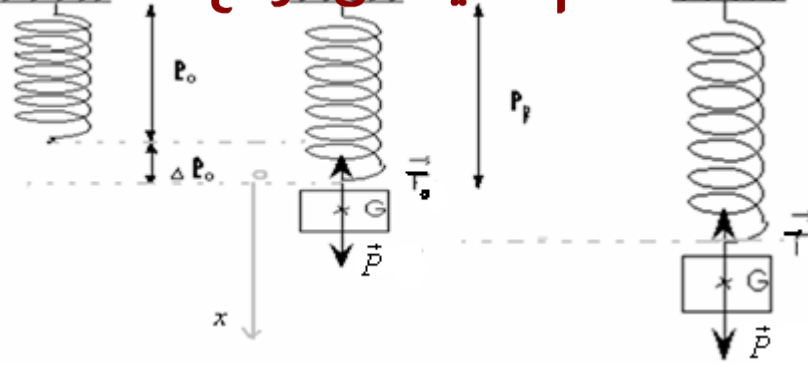
خلال حركته يخضع الجسم S للقوى التالية: • $\vec{P}$: وزن الجسم

• $\vec{T}$: القوة المقرونة بتوتر الخيط خلال التذبذب. $\vec{T} = -K(\Delta \ell_o + x)\vec{i}$

$$\vec{P} + \vec{T} = m.\vec{a}_G \quad \text{تكتب كما يلي} \quad \Sigma \vec{F} = m.\vec{a}_G \quad \text{العلاقة}$$

$$(2) \vec{P} - K(\Delta \ell_o + x)\vec{i} = m.\vec{a}_G$$

نعتبر معلما $(o, \vec{i})$ موجها نحو الأسفل أصله O . منطبق مع الطرف السفلي للنابض عند التوازن (انظر الشكل)



بإسقاط العلاقة (2) على المحور (o, x) نحصل على :

$$+ P - K(\Delta l_o + x) = m.a_x$$

$$mg - K\Delta l_o - Kx = m.\ddot{x}$$

وبما أنه من خلال شرط التوازن $mg - K\Delta l_o = 0$ فإن العلاقة السابقة تصبح:

$$-Kx = m.\ddot{x} \quad \text{أي:} \quad \ddot{x} + \frac{K}{m}x = 0 \quad \text{المعادلة التفاضلية لحركة النواس المرن الراسي.}$$

(3) حل المعادلة التفاضلية السابقة يكتب كما يلي: $x(t) = x_m \cos(\omega_o t + \varphi)$

من خلال المعطيات لدينا: $x_m = 3\text{cm}$

ومن خلال الشروط البدئية لدينا عند اللحظة $t = 0$ ، $x = 0$ ، إذن: $0 = x_m \cos \varphi \Rightarrow \cos \varphi = 0 \Rightarrow \varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ وبما أنه عند

اللحظة $t = 0$ يمر الجسم من موضع توازنه في المنحى الموجب $v > 0$ عند هذه اللحظة

$$v = \dot{x} = -x_m \omega_o \sin(\omega_o t + \varphi) \quad \text{فإن:} \quad x(t) = x_m \cos(\omega_o t + \varphi)$$

$$\text{وعند } t = 0 \quad \text{لدينا} \quad v = -x_m \omega_o \sin \varphi > 0 \Rightarrow \sin \varphi < 0 \Rightarrow \varphi < 0 \quad \text{إذن:} \quad \varphi = -\frac{\pi}{2}$$

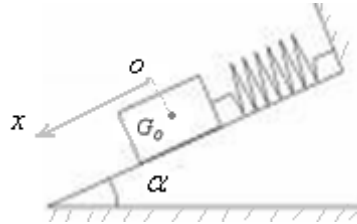
$$\text{وبالتالي:} \quad x(t) = 3.10^{-2} \cos(\omega_o t - \frac{\pi}{2})$$

$$(4) \text{النابض الخاص:} \quad \omega_o = \sqrt{\frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{20}{0,2}} = \sqrt{100} = 10 \text{rad/s}$$

$$\text{الدور الخاص:} \quad T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} = \frac{2\pi}{10} = 0,628 \text{s} = 628 \text{ms}$$

(د) تطبيق رقم 2: النواس المرن المائل.

جسم صلب كتلته $m = 100\text{g}$ بإمكانه أن ينزلق بدون احتكاك فوق نضد هوائي ، مائل بزاوية $\alpha = 10^\circ$ بالنسبة للمستوى الأفقي. هذا الجسم مرتبط بنابض كما يبينه الشكل التالي:



علما أن إطالة النابض عند التوازن $\Delta l_o = 8\text{cm}$ ، وشدة الثقالة $g = 9,8 \text{N/kg}$.

(1) أوجد صلابة النابض.

(2) نزيح الجسم الصلب عن موضع توازنه المستقر نحو الأسفل بـ 3cm ثم نحرره بدون سرعة بدئية .

(1-2) أوجد المعادلة التفاضلية للحركة.

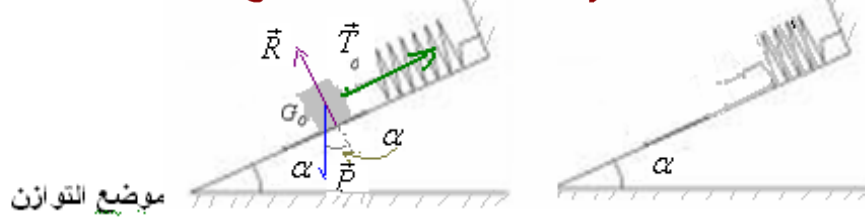
2-2: علما أن مركز قصور الجسم يمر، عند اللحظة $t = 0$ من النقطة ذات الألفصول $x = +1,5\text{cm}$ ومنه: في المنحى الموجب .

أوجد المعادلة الزمنية للحركة التذبذبية .

(3-2) احسب الدور الخاص للحركة التذبذبية.

الإجابة:

(1) دراسة التوازن:



عند التوازن ، يخضع الجسم الصلب للقوى التالية :
 $\vec{P}$: وزنه .

$\vec{R}$: القوة المطبقة من طرف سطح التماس ، وهي عمودية على السطح ، لأن التماس يتم بدون احتكاك.
 $\vec{T}_O$: القوة المقرونة بتوتر النابض عند التوازن ، شدتها: $T_O = k \cdot \Delta l_o$.

لدينا عند التوازن : $\vec{P} + \vec{T}_O + \vec{R} = \vec{0}$

بالإسقاط على المحور ox :

$$+ P \sin \alpha - T_O + 0 = 0 \quad \text{وهو شرط التوازن} \quad m \cdot g \cdot \sin \alpha - k \cdot \Delta l_o = 0$$

$$k = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha}{\Delta l_o} = \frac{0,1 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times \sin 10}{8 \times 10^{-2} \text{ m}} \approx 2,13 \text{ N / m} \quad \text{ومنه :}$$

(2) 1-2) خلال الحركة التذبذبية يخضع الجسم الصلب للقوى التالية:

$\vec{P}$: وزنه .

$\vec{R}$: القوة المطبقة من طرف سطح التماس ، وهي عمودية على السطح ، لأن التماس يتم بدون احتكاك.

$\vec{T}$: القوة المقرونة بتوتر النابض عند التوازن ، شدتها: $\vec{T} = -k(x + \Delta l_o) \vec{i}$

تطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\vec{P} + \vec{T} + \vec{R} = m \cdot \vec{a}_G$$

بإسقاط العلاقة السابقة على المحور ox :

$$+ P \sin \alpha + 0 - k(x + \Delta l_o) = m \cdot a_x$$

$$(2) \quad m \cdot g \cdot \sin \alpha - k \cdot x - k \Delta l_o = m \cdot \ddot{x} \quad \text{أي :}$$

ومن خلال شرط الوازن لدينا : $m \cdot g \cdot \sin \alpha - k \cdot \Delta l_o = 0$ إذن العلاقة (2) تصبح : $-k \cdot x = m \cdot \ddot{x}$

$$m \cdot \ddot{x} + k \cdot x = 0 \quad \text{أي :} \quad \ddot{x} + \frac{k}{m} \cdot x = 0$$

(2-2) المعادلة الزمنية للحركة :

حل المعادلة التفاضلية $\ddot{x} + \frac{k}{m} \cdot x = 0$ هي عبارة عن دالة جيبية على الشكل : $x = x_m \cdot \cos(\omega_o \cdot t + \varphi)$

$$\text{مع :} \quad x_m = 3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{النابض الخاص :} \quad \omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{2,13}{0,1}} = 4,61 \text{ rad / s}$$

$$\text{إذن الحل يصبح :} \quad x = 3 \times 10^{-2} \cdot \cos(4,61 \cdot t + \varphi)$$

تحديد الطور φ عند أصل التواريخ : من خلال الشروط البدئية لدينا : عند اللحظة $t = 0$ ، $x = +1,5 \text{ cm} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$\text{بالتعويض في الحل السابق :} \quad x = x_m \cdot \cos(\omega_o \cdot t + \varphi) \quad \text{نحصل على :} \quad 1,5 \times 10^{-2} = 3 \times 10^{-2} \cdot \cos(\varphi)$$

$$\text{ومنه :} \quad \cos \varphi = 0,5 \quad \Leftarrow \quad \varphi = \cos^{-1}(0,5) = \pm \frac{\pi}{3}$$

وبما أن الجسم يمر من هذه النقطة عند أصل التواريخ في المنحنى الموجب ، فإن $v > 0$ (عند $t = 0$).

$$\text{لدينا :} \quad x = x_m \cdot \cos(\omega_o \cdot t + \varphi)$$

$$\text{إذن :} \quad v = \dot{x} = -x_m \cdot \omega_o \cdot \sin(\omega_o \cdot t + \varphi)$$

$$\text{وعند } t = 0 \quad v = \dot{x} = -x_m \cdot \omega_o \cdot \sin \varphi > 0 \quad \Leftarrow \quad \sin \varphi < 0 \quad \Leftarrow \quad \varphi < 0$$

$$\text{إذن :} \quad \varphi = -\frac{\pi}{3} \quad \text{وبالتالي المعادلة الزمنية للحركة هي :} \quad x = 3 \times 10^{-2} \cdot \cos(4,61 \cdot t - \frac{\pi}{3})$$

(3-2) الدور الخاص :

$$T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 1,36s$$

(2) نواس اللي: خاص بمسلكي العلوم الرياضية والفيزيائية

(أ) الدراسة التجريبية:

في المرحلة الأولى: دراسة تأثير ثابتة اللي C.

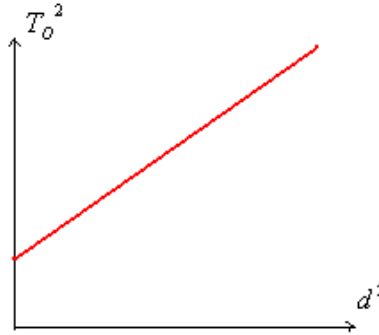
نستعمل نواسا للي ، ندير القضيب أفقيا حول المحور Δ الرأسي (المار من مركز القصور G للقضيب)، ثم نحرره بدون سرعة بدنية . وباستعمال ميقت نقيس دور التذبذبات. ثم نعوض السلك بسلك آخر ونعيد التجربة.

من خلال هذه الدراسة نستنتج أن دور التذبذبات يتعلق **بثابتة اللي للسلك** المستعمل.

في المرحلة الثانية: دراسة تأثير عزم قصور المجموعة الصلبة الععلقة في طرف السلك.

نحتفظ بنفس السلك ونثبت السحمتين على القضيب على نفس المسافة d من المحور Δ . ثم ندير المجموعة أفقيا بزاوية θ ونحررها بدون سرعة بدنية. ونقيس الدور الخاص للحركة التذبذبية.

نعيد التجربة مع تغيير موضعي السحمتين (أي تغيير المسافة d). نرسم المنحنى الذي يمثل تغيرات مربع الدور الخاص T_o^2 بدلالة d^2 . نحصل على منحنى على الشكل التالي:



(ب) الدراسة النظرية: (لنواس اللي) خاص بمسلكي العلوم الرياضية والفيزيائية.

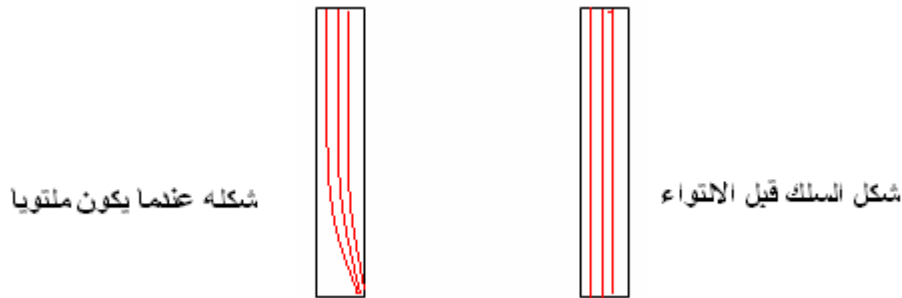
● مفهوم عزم مزدوجة اللي:

يتكون نواس اللي من سلك فلزي قابل للي ومن قضيب معدني معلق من مركز قصوره بأحد طرفي السلك .



عندما ندير القضيب أفقيا حول المحور Δ الرأسي بزاوية θ_m ثم نحرره بدون سرعة بدنية . نلاحظ أنه ينجز حركة تذبذبية دورانية حول موضع التوازن مما يدل على أن السلك الملتوي يؤثر عليه.

وهذا التأثير ناتج عن مجموع قوى اللي التي يسلطها السلك عندما يكون ملتويا.



مجموع قوى اللي لها نفس خاصيات مزدوجة قوتين و نقرن بها مزدوجة تسمى **بمزدوجة اللي**.

وبذلك ، كل سلك قابل للي ، عندما يكون ملتويا ، يسلط مزدوجة اللي التي **تقاوم التواءه** والتي تسعى إلى إرجاع السلك إلى وضعيته البدنية.

ونرمز لعزم مزدوجة اللي ب: M_t (وهي مزدوجة ارتداد).

وتبين التجربة أن عزم مزدوجة اللي تتناسب إطرادا مع زاوية الالتواء، ومعامل التناسب بينهما ثابتة تميز السلك وتسمى : ثابتة اللي ونرمز إليها ب: C.

بحيث : M_t : عزم مزدوجة اللي ب: $M.t$

$$M_t = -C.\theta$$

C : ثابتة اللي ب: $N.m/rad$

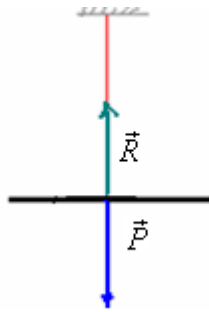
θ : زاوية التواء السلك ب: rad

والإشارة (-) تدل على أن عزم مزدوجة اللي عزم ارتداد.

ملحوظة : تتعلق ثابتة اللي بنوعية السلك المستعمل وبطولته ومساحة مقطعه.

هذا الملف تم تحميله من موقع : Talamid.ma

ندير قضيب نواس اللي بزاوية θ_m ثم نحرره بدون سرعة بدنية. فتصبح له حركة تذبذبية . وفي غياب الاحتكاكات تبقى التذبذبات مصونة.



المجموعة المدروسة {القضيب}
جرد القوى: القضيب خلال الحركة يخضع للقوى التالية:

- $\vec{P}$: وزنه.
- $\vec{R}$: تأثير السلك .
- قوى اللي ذات العزم: $M_t = -C.\theta$

تطبيق العلاقة الأساسية للتحريك على القضيب: $\Sigma M_{\Delta} \vec{F} = J_{\Delta} . \ddot{\theta}$

$$\text{أي: } M_{\Delta} \vec{P} + M_{\Delta} \vec{R} + M_t = J_{\Delta} . \ddot{\theta}$$

$$M_{\Delta} \vec{P} = 0 \text{ و } M_{\Delta} \vec{R} = 0 \text{ لأن خطي تأثيرهما يتقاطعان مع محور الدوران.}$$

$$0 + 0 - C.\theta = J_{\Delta} . \ddot{\theta} \quad \text{إذن:}$$

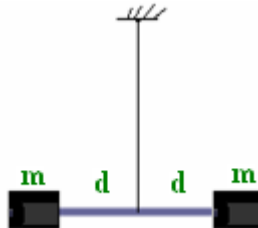
$$\text{أي: } J_{\Delta} . \ddot{\theta} + C\theta = 0 \quad \text{ومنه: } \ddot{\theta} + \frac{C}{J_{\Delta}} \theta = 0 \text{ المعادلة التفاضلية للحركة التذبذبية لنواس اللي.}$$

حل هذه المعادلة دالة جيبية تكتب كما يلي: $\theta(t) = \theta_m \cos(\omega_o t + \varphi)$

$$(1) T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} = 2\pi \sqrt{\frac{J_{\Delta}}{C}}$$

نبضها الخاص: $\omega_o = \sqrt{\frac{C}{J_{\Delta}}}$ ب: rad/s و دوره الخاص

ملحوظة: إذا كان القضيب يحمل سحمتين مماثلتين لهما نفس الكتلة. (أنظر الشكل)

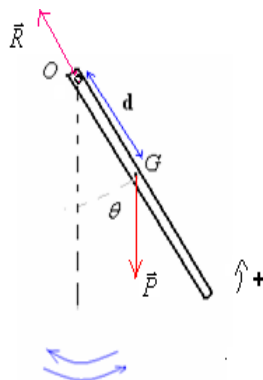


$$\text{عزم قصوره: } J'_{\Delta} = J_{\Delta} + 2md^2 \quad \text{مع: } J_{\Delta} \text{ : عزم القضيب. ودوره الخاص: } T'_o = 2\pi \sqrt{\frac{J_{\Delta} + 2md^2}{C}} \quad (2)$$

3 (النواس الوازن): (خاص بمسلكي العلوم الفيزيائية والرياضية)

المعادلة التفاضلية للحركة:

نزيج النواس الوازن عن موضع توازنه ونحرره بدون سرعة بدنية . ونعلم موضع المجموعة في كل لحظة بالزاوية θ التي يكونها OG مع المستقيم الرأسى المار من O .



خلال حركته يخضع النواس الوازن للقوى التالية :

- $\vec{P}$: وزنه .

- $\vec{R}$: تأثير محور الدوران .

$$-P.d.\sin\theta + 0 = J_{\Delta} \cdot \ddot{\theta} \quad \Leftrightarrow \quad M_{\Delta} \vec{P} + M_{\Delta} \vec{R} = J_{\Delta} \cdot \ddot{\theta} \quad \text{أي:}$$

أي: $\ddot{\theta} + \frac{mg.d}{J_{\Delta}} \sin\theta = 0$ (وهي المعادلة التفاضلية لكنها غير خطية عزم الوزن لا يتناسب مع θ)

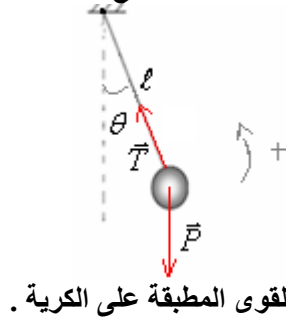
الحل ليس بدالة جيبية باستثناء حالة التذبذبات الصغيرة $\theta < 15^\circ$. حيث يمكننا أن نكتب بتقدير مقبول: $\sin\theta \approx \theta$

و تصبح المعادلة التفاضلية كما يلي: $\ddot{\theta} + \frac{mg.d}{J_{\Delta}} \theta = 0$ النبض الخاص: $\omega_o = \sqrt{\frac{mg\ell}{J_{\Delta}}}$

حل هذه الأخيرة دالة جيبية تكتب كما يلي: $\theta(t) = \theta_m \cos(\omega_o t + \varphi)$

تعبير الدور الخاص لنواس وازن في حالة التذبذبات الصغيرة يكتب كما يلي: $T_o = 2\pi \sqrt{\frac{J_{\Delta}}{m.g.d}}$

(3) **النواس البسيط:** (خاص بمسلكي العلوم الفيزيائية والرياضية) عند إزاحته عن موضع توازنه وتحريره بدون سرعة بدئية يصبح النواس البسيط في حركة تذبذبية.



جرد القوى المطبقة على الكرة.

$\vec{P}$: وزن الكرة.

$\vec{T}$: القوة المطبقة من طرف الخيط.

تطبيق العلاقة الأساسية للتحريك: $\Sigma M_{\Delta} \vec{F} = J_{\Delta} \cdot \ddot{\theta}$ مع: $J_{\Delta} = m.\ell^2$

$$-P.\ell.\sin\theta + 0 = J_{\Delta} \cdot \ddot{\theta} \quad \Leftrightarrow \quad M_{\Delta} \vec{P} + M_{\Delta} \vec{T} = J_{\Delta} \cdot \ddot{\theta}$$

$$-mg.\ell.\sin\theta + 0 = m.\ell^2 \cdot \ddot{\theta}$$

بالنسبة للتذبذبات ذات الوسع الصغير: $-mg.d.\theta = m.\ell^2 \cdot \ddot{\theta}$ أي: $\ddot{\theta} + \frac{g}{\ell} \theta = 0$

$$T_o = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \Leftrightarrow \quad \omega_o = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \quad \Leftrightarrow$$

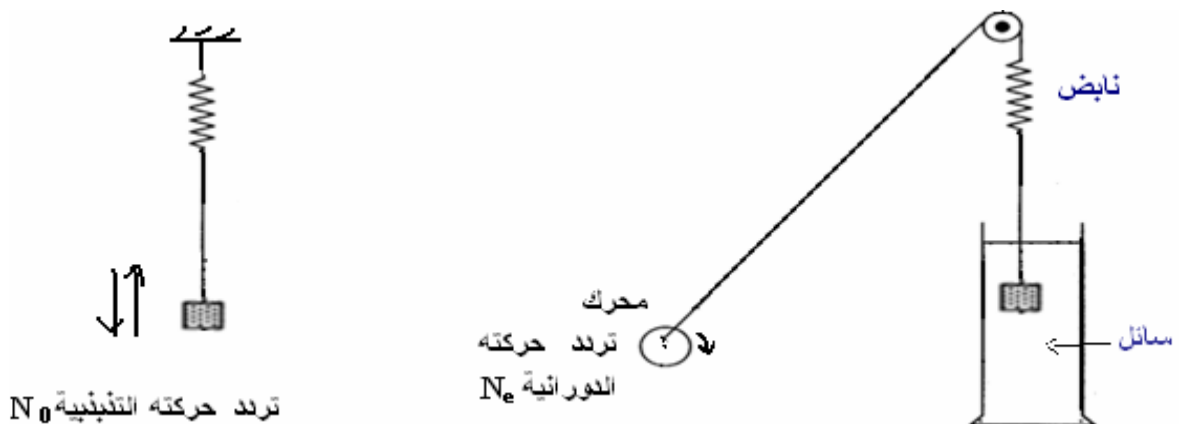
III ظاهرة الرنين الميكانيكي:

(1) التذبذبات القسرية:

تؤثر الاحتكاكات على التذبذبات الميكانيكية فتصبح حركتها مخمدة. ويمكن صيانتها بتعويض الطاقة المبددة بكيفية تتناسب مع طبيعة المتذبذب.

بحيث يتم ربط المتذبذب الميكانيكي مع جهاز يمنحه الطاقة اللازمة لكي تصير حركته مصونة. هذا الجهاز يسمى بالمتذبذب (Excitateur)، وهو مجموعة ذات حركة تذبذبية تفرض دورها T_e على المجموعة المتذبذبة (الرنان) résonateur الذي تصبح تذبذباته قسرية.

(2) أمثلة لبعض التذبذبات القسرية: (أ) المثال الأول:



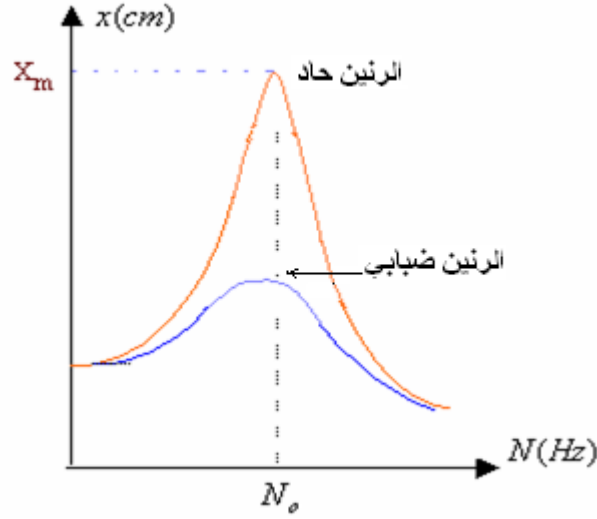
في هذا التركيب، النواس المرن يلعب دور الرنان ترددده الخاص N_0 بينما المحرك هو المنير ترددده N_e . يتم ربط المتذبذب الميكانيكي مع المحرك الذي يمنحه الطاقة اللازمة لكي تصير حركته مصنونة وبذلك يصبح مجبرا على التذبذب بتردد يفرضه المحرك. عند تغيير تردد المحرك نحصل على أقصى وسع لتردد الرنان عندما نضبط تردد المثير (المحرك) على قيمة توافق التردد الخاص

للرنان (النواس المرن). $N_0 = N_e$ نقول أن المجموعة في حالة رنين. الدور الخاص للرنان (النواس المرن) هو: $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$

وتردده الخاص هو مقلوب الدور الخاص.

ملحوظة : كلما كان الخمود ضعيفا كلما كانت ظاهرة الرنين بارزة فنحصل على الرنين الحاد الذي يتجلى في كون وسع التذبذبات القسرية يأخذ قيمة كبيرة عند الرنين.

وفي حالة الخمود القوي يكون الرنين ضبابيا بحيث يصبح وسع التذبذبات القسرية عند الرنين صغيرا.



يتكون هذا الجهاز من نواسين وازنين يربط بينهما على مستوى محور دورانها المشترك نابض حلزوني. النواس الذي يحمل السحمة هو المثير. عندما نزيحه عن موضع توازنه ثم نحرره يتذبذب ويجبر النواس الثاني على التذبذب بتردد مساو لتردده ، تقول أن تذبذبات هذا الأخير أصبحت قسرية. وبتغيير تردد الرنان نحصل على الرنين عندما يصبح للنواسين نفس التردد . في غياب هذا الجهاز يمكن استعمال نواسين وازنين وربطهما بواسطة نابض ذي لفات غير متصلة كما يبينه الشكل التالي:

