

تصحيح الامتحان الوطني الموحد للبيكالوريا الدورة الاستدراكية 2008

المادة : الفيزياء والكيمياء
الشعب : شعبة العلوم التجريبية مسلك علوم الحياة
والأرض ومسلك العلوم الزراعية وشعبة العلوم
والتكنولوجيات بمسلكها
المعامل : 5
مدة الإنجاز : 3 س

الكيمياء 7 نقط

1. تفاعل الأسترة

* معادلة تفاعل الأسترة الحاصل :



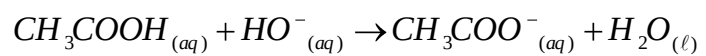
تسمية الإستر E : إيثانوات البروبيل

2.1. انشاء الجدول الوصفي لتفاعل الأسترة :

المعادلة الكيميائية		$CH_3 - COOH + CH_3 - CH_2 - CH_2 - OH \rightleftharpoons CH_3 - COOCH_2 - CH_2 - CH_3 + H_2O$			
حالة المجموعة	تقدم التفاعل	كميات المادة بالمول (mol)			
الحالة البدئية	0	1	1	0	0
خلال التحول	x	1-x	1-x	x	x
الحالة النهائية حالة التوازن	$x_f = x_{eq}$	$1 - x_{eq}$	$1 - x_{eq}$	x_{eq}	x_{eq}

2. معايرة الحمض المتبقي في الدورق رقم 1

المعادلة الكيميائية للتفاعل حمض - قاعدة الحاصل أثناء المعايرة :



كمية مادة الحمض المتبقي في الدورق.

- تعبير كمية مادة الحمض المتبقي في الحجم $V_1 = 5mL$ من المحلول (S)

- عند التكافؤ : $n(CH_3COOH) = n(HO^-)_E$

- $n(CH_3COOH) = C_B \cdot V_{B,E}$

- تحديد n_a كمية مادة الحمض المتبقي في الدورق :

$$n_a = n(CH_3COOH) \times \frac{V_0}{V_1}$$

$$n_a = C_B \cdot V_{B,E} \cdot \frac{V_0}{V_1} \text{ ومنه :}$$

$$n_a = 1,028,4 \cdot 10^{-3} \times \frac{100}{5}$$

$$n_a = 0,568 \text{ mol}$$

3.2. كمية مادة الإستر E المتكون:

حسب الجدول الوصفي لتفاعل الأسترة نكتب :

$$n(E) = 1 - n_a \text{ و } n(E) = x_{\text{éq}} \text{ ومنه : } n(E) = 1 - x_{\text{éq}}$$

$$n(E) = 0,432 \text{ mol أي : } n(E) = 1 - 0,568$$

وبالتالي فإن كمية مادة الإستر المتكون هي $n(E) = 0,432 \text{ mol}$

3. التطور الزمني لتفاعل الأسترة :

3.1. تعبير السرعة الحجمية v لتفاعل الأسترة .

$$v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$$

عند اللحظة $t = 0$: تكون قيمة السرعة الحجمية لتفاعل الأسترة هي :

$$v(t = 0) = \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{dx}{dt} \right)_{t=0}$$

تمثل المعامل الموجه لمماس المنحنى $x = f(t)$ عند اللحظة $t = 0$.

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)_{t=0} = \frac{0,536 - 0}{1 - 0} = 0,536 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ أي : } \left(\frac{dx}{dt} \right)_{t=0} = 0,536 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$v(t = 0) = \frac{0,536}{132,7 \cdot 10^{-3}} = 4,04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \text{ أي : } v(t = 0) = 4,04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

2.3.

من بين العوامل التي تمكن من الزيادة في السرعة الحجمية للتفاعل دون تغيير الحالة النهائية للمجموعة الكيميائية نذكر درجة الحرارة .

3.3. تعيين قيمة زمن نصف التفاعل.

قيمة زمن نصف التفاعل هو المدة الزمنية اللازمة لكي يأخذ تقدم التفاعل نصف قيمته النهائية أي أن : $x_{1/2} = \frac{x_f}{2}$

$$x_{1/2} = 0,335 \text{ mol القيمة } t_{1/2} = 0,75 \text{ h} = 45 \text{ min}$$

4.3. قيمة r مردود التفاعل

يعبر عن مردود تفاعل الأسترة بالعلاقة : $r = \frac{\text{كمية مادة الإستر المتكون تجريبيا}}{\text{كمية مادة الإستر المتكون باعتبار التحول كلي}}$

حسب الجدول الوصفي لتفاعل الأسترة نجد : $n_i(\text{alcohol}) = x_{\text{max}} = 1 \text{ mol}$ أو $n_i(\text{acide}) = x_{\text{max}} = 1 \text{ mol}$

$$r = \frac{x_{\text{éq}}}{x_{\text{max}}} = \frac{0,67}{1} = 0,67$$

إذن مردود التحول هو 67% .

5.3. إيجاد قيمة ثابتة التوازن K المقرونة بتفاعل الأسترة :

$$K = \frac{\text{ester}_{\text{éq}} \times \text{eau}_{\text{éq}}}{\text{alcohol}_{\text{éq}} \times \text{acide}_{\text{éq}}}$$

يعبر عن ثابتة التوازن بالعلاقة :

$$K = \frac{\frac{n_{\text{éq}}(\text{ester})}{V} \times \frac{n_{\text{éq}}(\text{eau})}{V}}{\frac{n_{\text{éq}}(\text{alcohol})}{V} \times \frac{n_{\text{éq}}(\text{acide})}{V}}$$

أي أن : باعتبار الجدول الوصفي لتفاعل الأسترة نكتب :

$$K = \frac{x_{eq}^2}{(1-x_{eq})^2}$$

ونعلم أن : $x_{eq} = 0,67$ إذن : $K \approx 4$

4. التحكم في الحالة النهائية للمجموعة الكيميائية

1.4. حساب قيمة خارج التفاعل $Q_{r,i}$ في الحالة البدئية الجديدة ، واستنتاج منحنى تطور المجموعة الكيميائية.

$$Q_{r,i} = \frac{ester_i \times eau_i}{alcohol_i \times acide_i} \text{ : يعبر عن خارج التفاعل بالعلاقة :}$$

$$Q_{r,i} = \frac{\frac{n_i}{V} ester \times \frac{n(eau)}{V}}{\frac{n_i}{V} (alcohol) \times \frac{n(acide)}{V}} \text{ : أي أن :}$$

$$Q_{r,i} = \frac{n_i ester \times n_i(eau)}{n_i(alcohol) \times n_i(acide)} \text{ وبالتالي فإن :}$$

مع : $n_i(acide) = 1,33mol$ و $n_i(alcohol) = 0,33mol$ و $n_i ester = n_i(eau) = x_{eq} = 0,67mol$

$$Q_{r,i} = \frac{0,67^2}{0,33 \times 1,33} \text{ ومنه فإن :}$$

$$Q_{r,i} = 1,02 \text{ أي أن :}$$

وبما أن : $K \approx 4$ و $Q_{r,i} = 1,02$

فإن : $Q_{r,i} < K$

طبقا لمعيار التطور التلقائي لمجموعة كيميائية ، فإن المجموعة تتطور تلقائيا في منحنى تكون الإستر وذلك من أجل تزايد Q_r نحو ثابتة التوازن K .

2. 4 . التحقق من أن قيمة x'_{eq} تقدم التفاعل في حالة التوازن الجديد هي $x'_{eq} = 0,845mol$

ننشئ الجدول الوصفي لتفاعل الأسترة.

المعادلة الكيميائية		$CH_3COOH + CH_3 - CH_2 - CH_2 - OH \rightleftharpoons CH_3COOC_3H_7 + H_2O$			
حالة المجموعة	تقدم التفاعل	كميات المادة بالمول (mol)			
الحالة البدئية	0	2	1	0	0
خلال التحول	x	2-x	1-x	x	x
الحالة النهائية حالة التوازن الجديد	x'_{eq}	$2 - x'_{eq}$	$1 - x'_{eq}$	x'_{eq}	x'_{eq}

$$K = \frac{ester_{eq} \times eau_{eq}}{alcohol_{eq} \times acide_{eq}} \text{ تعبير ثابتة التوازن هو :}$$

$$K = \frac{\frac{n_{\text{eq}}(\text{ester})}{V} \times \frac{n_{\text{eq}}(\text{eau})}{V}}{\frac{n_{\text{eq}}(\text{alcool})}{V} \times \frac{n_{\text{eq}}(\text{acide})}{V}} \quad \text{أي أن :}$$

$$K = \frac{n_{\text{eq}}(\text{ester}) \times n_{\text{eq}}(\text{eau})}{n_{\text{eq}}(\text{alcool}) \times n_{\text{eq}}(\text{acide})} \quad \text{ومنه فإن :}$$

$$K = \frac{x_{\text{eq}}'^2}{(2 - x_{\text{eq}}')(1 - x_{\text{eq}}')} \quad \text{يعني أن :}$$

$$3x_{\text{eq}}'^2 - 12x_{\text{eq}}' + 8 = 0 \quad \text{حيث } k = 4 \quad \text{فإن :}$$

$$0 < x_{\text{eq}}' < 1 \text{ mol} \quad \text{حيث } x_{\text{eq}}' \quad \text{نحسب}$$

$$\sqrt{\Delta} = 6,93 \quad \Delta = 48 \quad \text{أي أن}$$

$$\text{ومنه : } x_{\text{eq}1}' = \frac{12 - 6,93}{6} = 0,845 \quad \text{و } x_{\text{eq}2}' = \frac{12 + 6,93}{6} = 3,15 \quad \text{غير مقبول.}$$

$$\text{إذن : } x_{\text{eq}} = 0,845 \text{ mol}$$

3.4. استنتاج قيمة المردود الجديد r' لتفاعل الأسترة :

$$\text{بما أن : } r' = \frac{x_{\text{eq}}'}{x_{\text{max}}} \quad \text{مع } x_{\text{max}} = 1 \text{ mol}$$

$$r' = \frac{0,845}{1} = 0,845 \quad \text{فإن :}$$

$$\text{إذن مردود التفاعل هو } r' = 84,5\%$$

الفيزياء : 13 نقطة

التمرين 1 : دراسة موجة صوتية وموجة ضوئية

1. التعيين التجريبي لسرعة انتشار الصوت

1.1 تعيين قيمة الدور T للموجات الصوتية المنبعثة من مكبر الصوت.

يتعين قيمة الدور T مبياناً اعتماداً على العلاقة : الحساسية الأفقية $\times$ عدد التدرجات $T =$

$$T = 6 \text{ div} \times 0,1 \text{ ms} / \text{div}$$

$$T = 0,4 \text{ ms}$$

$$T = 6.10^{-4} \text{ s} \quad \text{أي أن :}$$

2.1 أ- تحديد قيمة λ طول الموجة الصوتية

تساوي المسافة التي ينزاح بها الميكروفون R_2 على الميكروفون R_1 حيث يصبح الرسمان التذبذبيان من جديد ولأول

مرة على توافق في الطور طول الموجة للصوتية إذن : $\lambda = d_2 - d_1$

$$\lambda = 61,5 - 41 \quad \text{أي } \lambda = 20,5.10^{-2} \text{ m}$$

ب- حساب V سرعة انتشار الموجة الصوتية في الهواء .

$$V = \frac{\lambda}{T} \quad \text{سرعة انتشار الموجة يعبر عنها ب :}$$

$$\text{ت.ع : } V = \frac{20,5.10^{-2}}{6.10^{-4}}$$

أي أن : $V = 341,7 \text{ m.s}^{-1}$

2. التعيين التجريبي لطول الموجة لموجة ضوئية

1.2. تسمية الظاهرة التي تبرزها التجربة : ظاهرة حيود الضوء .

2.2. تعبير الفرق الزاوي θ بدلالة L و D

يعبر عن الفرق الزاوي بين وسط الهدب المركزي وأول هذب مظلم بالعلاقة التالية : $\theta = \frac{\lambda}{a}$

وحسب (الشكل 3) نكتب : $\tan \theta = \frac{L}{D}$ أي : $\tan \theta = \frac{L}{2D}$ وبما أن : $\tan \theta = \theta(\text{rad})$ نكتب : $\theta = \frac{L}{2D}$ 3.2. حساب λ

يعرف الفرق الزاوي بين وسط الهدب المركزي وأول هذب مظلم بالعلاقة التالية : $\theta = \frac{\lambda}{a}$

من السؤال (2.2) نكتب : $\theta = \frac{L}{2D}$

أي أن : $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$

ومنه فإن : $\lambda = \frac{La}{2D}$

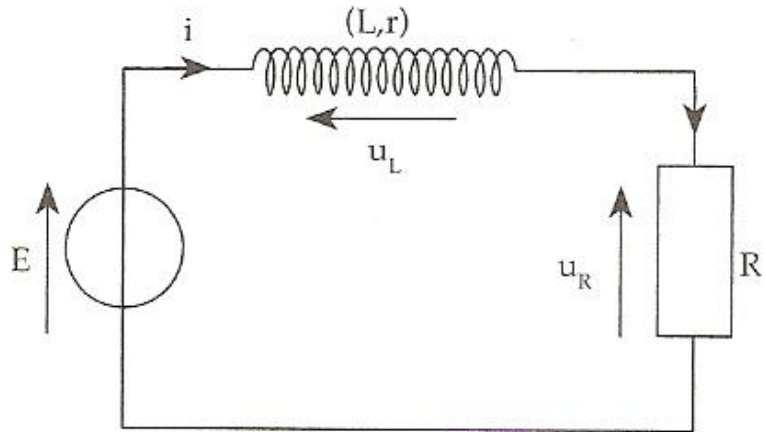
يعني أن : $\lambda = \frac{7,6 \cdot 10^{-2} \times 5 \cdot 10^{-5}}{2 \times 3}$

إذن : $\lambda = 6,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

التمرين 2 : ثنائي القطب RL-التذبذبات الحرة في دارة RLC متوالية

1. استجابة ثنائي القطب RL لرتبة توتر صاعدة

إثبات المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار المار في الدارة .



بتطبيق قانون إضافية التوترات نكتب : $E = u_L + u_R$

حسب قانون أوم :

بالنسبة للموصل الأومي نكتب : $u_R = Ri$

بالنسبة للوشية نكتب : $u_L = Ri + L \frac{di}{dt}$

بتعويض u_R و u_L نجد : $E = ri + L \frac{di}{dt} + Ri$

يعني أن : $L \frac{di}{dt} + (R+r)i = E$

وبالتالي فإن : $\frac{di}{dt} + \frac{R+r}{L}i = \frac{E}{L}$

2.1. تعبير A و τ :

$$\frac{di}{dt} = \frac{A}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

بتعويض $i(t)$ و $\frac{di}{dt}$ في المعادلة التفاضلية نكتب :

$$\frac{A}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{R+r}{L} A (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{E}{L}$$

يعني أن : $\frac{A}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + \left(\frac{R+r}{L} \right) A - \frac{R+r}{L} A e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{E}{L}$

ومنه فإن : $A e^{-\frac{t}{\tau}} \left(\frac{1}{\tau} - \frac{R+r}{L} \right) = \frac{E - A \frac{R+r}{L}}{L}$

هذه العلاقة تتحقق كيفما كان المتغير t ، بحيث $A \neq 0$

نستنتج أن : $\frac{1}{\tau} - \frac{R+r}{L} = 0$

وبالتالي فإن : $\tau = \frac{L}{R+r}$ و : $\frac{E - A \frac{R+r}{L}}{L} = 0$

ومنه فإن : $A = \frac{E}{R+r}$

3.1. تأثير الوشيعية على إقامة التيار عند غلق الدارة .

من خلال منحنى الشكل 2 يتبين أن شدة التيار i تصل إلى النظام الدائم أي قيمتها القصوى بعد مدة تقارب 3ms ، وبالتالي فإن الوشيعية تؤخر إقامة التيار .

4.1. التعيين المبياني لقيمة ثابتة الزمن τ

τ هي أفصول نقطة تقاطع المماس للمنحنى $i = f(t)$ عند اللحظة $t = 0$ والمقارب $i = 2A$. $\tau = 0,5ms$

5.1. تحديد قيمة كل من r و L .

نجد مبيانيا في النظام الدائم أن : ثابتة $i = 2A =$

يعني أن : $\frac{di}{dt} = 0$

المعادلة التفاضلية السابقة في النظام الدائم تصبح كالتالي : $\frac{R+r}{L}i = \frac{E}{L}$

يعني أن : $R+r i = E$

وبالتالي فإن : $r = \frac{E}{i} - R$

ت.ع : $r = \frac{12}{2} - 5,5$

أي أن : $r = 0,5\Omega$

تحديد قيمة L :

$$\tau = \frac{L}{R+r} \quad \text{بما أن :}$$

$$L = \tau (R+r) \quad \text{فإن :}$$

$$L = 0,5 \cdot 10^{-3} (5,5 + 0,5) \quad \text{ت.ع :}$$

$$L = 3mH \quad \text{وبالتالي فإن :}$$

2. التذبذبات الحرة في دائرة RLC متوالية

1.2. إقران نظام التذبذبات لكل وثيقة :

- الوثيقة 1 : بما أن وسع التوتر u_c يتناقص خلال التذبذبات فإن نظام التذبذبات نظام شبه دوري،
الوثيقة 2 : بما أن التذبذبات غائية و u_c يتناقص وينعدم بسرعة فإن النظام لا دوري (النظام الحرج)

2.2. تحديد قيمة T شبه الدور للتذبذبات :

من الوثيقة 1 يتبين أن قيمة الدور T هي : $T = 4 \text{ ms}$

3.2. استنتاج قيمة C سعة المكثف :

بما أن تعبير الدور الخاص للتذبذبات الحرة غير المخمدة هو $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ و : $T = T_0$

$$\text{فإن : } C = \frac{T^2}{4\pi^2 \times L} \quad \text{أي أن : } C = 4,05 \cdot 10^{-4} F \quad \text{أو } C = 4,05 \mu F$$

4.2. تحديد قيمة الطاقة الكهربائية المبددة بمفعول جول في الدارة بين اللحظتين $t = 0$ و $t_1 = 8ms$

بما أن الطاقة الكلية للدائرة هي : $\xi = E_e + E_m$

$$\text{مع } E_m = \frac{1}{2} Li^2 \quad \text{و } E_e = \frac{1}{2} Cu_c^2$$

فإنه :

- عند اللحظة $t = 0$: لدينا u_c قصوى

$$\text{إذن } i = C \frac{du_c}{dt} = 0 \quad \text{ومنه } E_{c0} \text{ قصوى و } E_{m0} \text{ منعدمة أي أن : } \xi_0 = E_{c0}$$

$$\text{وبالتالي فإن : } \xi_0 = \frac{1}{2} Cu_{c0}^2$$

- عند اللحظة t_1 : لدينا E_{e1} قصوى و E_{m1} منعدمة

$$\text{وبالتالي فإن : } \xi_1 = \frac{1}{2} Cu_{c1}^2$$

- تعبير تغير الطاقة الكلية للدائرة $\Delta \xi$ بين $t = 0$ و $t_1 = 8ms$

$$\Delta \xi = \xi_1 - \xi_0 = \frac{1}{2} C(u_{c1}^2 - u_{c0}^2) \quad -$$

$$\Delta \xi = -4,05 \cdot 10^{-5} J \quad \text{أي أن : } \Delta \xi = 0,5 \times 4,05 \cdot 10^{-6} (4^2 - 6^2) \quad -$$

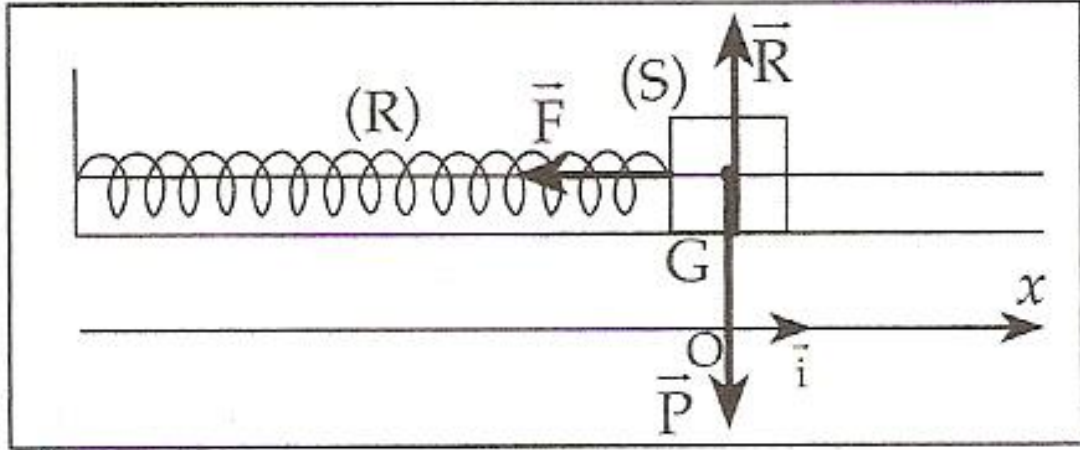
إذن قيمة الطاقة المبددة هي $4,05 \cdot 10^{-5} J$

التمرين 3 : دراسة المجموعة المتذبذبة (جسم صلب - نابض)

1. دراسة المجموعة المتذبذبة في حالة إهمال الاحتكاكات

إثبات المعادلة التفاضلية واستنتاج طبيعة حركة S

المجموعة المدروسة : الجسم S



مرجع الدراسة : المرجع الأرضي الذي نعتبره غاليليا
 جرد القوى :

$\vec{P}$ وزن الجسم (S)

$\vec{R}$ القوة المطبقة من طرف المستوى الأفقي

$\vec{F}$ قوة الارتداد المطبقة من طرف النابض

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن نكتب : $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$

يعني أن : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\vec{a}_G$

بالإسقاط في المعلم $(O, \vec{i})$

نجد : $P_x + R_x + F_x = m\vec{a}_{Gx}$

يعني أن : $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{K}{m}x = 0$ أو $0 + 0 - Kx = m\frac{d^2x}{dt^2}$

إذن المعادلة التفاضلية من الدرجة الثانية وخطية وحلها جيبي ولدينا كذلك حركة G تتم على قطعة مستقيمة نستنتج إذن أن حركة الجسم (S) حركة إزاحة مستقيمة جيبيية.

2.1. حساب قيمة صلابة النابض :

بما أن تعبير الدور الخاص للمجموعة المتذبذبة هو : $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$

فإن : $K = \frac{m \times 4\pi^2}{T_0^2}$

أي أن : $K = \frac{92.10^{-3} \times 4\pi^2}{(0,6)^2}$

ومنه : $K \approx 10N.m^{-1}$

3.1. كتابة المعادلة الزمنية للحركة :

حل المعادلة التفاضلية السابقة هو : $x(t) = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$

ولدينا : $x_m = 4.10^{-2}m$ و $T_0 = 0,6s$

لتحديد φ طور الحركة عند $t = 0$ نعلم الشروط البدئية للحركة حيث : $x(0) = 0$ و $x(0) = X_m$

حل المعادلة التفاضلية عند $t = 0$ هو : $x(0) = X_m \cos \varphi$

وبما أن : $x(0) = X_m$

فإن : $x(0) = X_m \cos \varphi$

أي أن : $\cos \varphi = +1$

ومنه : $\varphi = 0$

وبالتالي المعادلة الزمنية للحركة تكتب كالتالي : $x(t) = 4.10^{-2} \cos\left(\frac{10\pi}{3}t\right) (m)$

4.1. تحديد منحنى وشدة قوة الارتداد $\vec{F}$ عند اللحظة $t_1 = 0,3s$

تعبير قوة الارتداد المطبقة من طرف النابض عند لحظة t هو : $\vec{F} = -Kx(t)\vec{i}$

وحسب المعادلة الزمنية للحركة نكتب : $\vec{F} = -KX_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)\vec{i}$

تعبير قوة الارتداد عند اللحظة t_1 هو $\vec{F}_1 = -KX_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t_1\right)\vec{i}$

أي أن : $\vec{F}_1 = -0,4 \cos(\pi)\vec{i}$ أو $\vec{F}_1 = 0,4\vec{i}$

وبالتالي نستنتج أن منحنى قوة الارتداد $\vec{F}_1$ هو منحنى $\vec{i}$ وشدتها هي $F_1 = 0,4N$

2. الدراسة الطاقية للمجموعة المتذبذبة

1.1. تعيين المنحنى الممثل لكل من E_{pe} و E_m مع التعليل .

بما أن $E_{pe} = \frac{1}{2}Kx^2 + C$ وحسب الحالة المرجعية لطاقة الوضع المرنة فإن : $C = 0$ أي أن $E_{pe} = \frac{1}{2}Kx^2$ ،

وبما أن $x(0) = X_m$ فإن $E_{pe}(0) = \frac{1}{2}KX_m^2$ أي أن E_{pe} قصوى وتنعدم عند مرور G من موضع توازنه.

وبالتالي فإن المنحنى 1 هو المنحنى الممثل لطاقة الوضع المرنة E_{pe} .

بما أن $E_m = E_c + E_{pe}$. فعندما تكون E_{pe} قصوى ، E_c تنعدم والعكس صحيح. أي أن E_m لا تنعدم خلال

التذبذبات ومنه فإن المنحنى 3 هو الذي يمثل الطاقة الميكانيكية E_m .

2.2. تفسير تناقص الطاقة الميكانيكية

تناقص الطاقة الميكانيكية راجع لوجود احتكاكات بين الجسم الصلب (S) والمستوى الأفقي ، حيث تتبدد الطاقة الكلية على شكل حرارة ناتجة عن قوى الاحتكاك.

3.2. إيجاد قيمة شغل القوة المطبقة من طرف النابض بين اللحظتين $t = 0$ و $t_1 = 0,3s$

شغل القوة المطبقة من طرف النابض على الجسم (S) بين اللحظتين $t = 0$ و $t_1 = 0,3s$ يساوي مقابل تغير طاقة

الوضع المرنة بين هاتين اللحظتين أي : $w(\vec{F}) = -\Delta_{pe} = -\left(E_{pe1} - E_{pe0}\right)$ عند اللحظة $t_1 = 0,3s$: $E_{pe1} = 0,004J$

أي أن : $w(\vec{F}) = 0,008 - 0,004$ من $t \rightarrow t_1$

يعني أن : $w(\vec{F}) = 0,004J$ من $t \rightarrow t_1$

أو $w(\vec{F}) = 4.10^{-3}J$ من $t \rightarrow t_1$

أي أن : $w(\vec{F}) = -(E_{pe1} - E_{pe0})$ من $t \rightarrow t_1$

$w(\vec{F}) = -(E_{pe0} - E_{pe1})$ من $t \rightarrow t_1$

مبيانيا نجد: عند $t = 0$: $E_{pe0} = 0,008J$