

تصحيح موضوع الامتحان الوطني للفيزياء الدورة العادية 2013 الدورة العادية  
مسلك العلوم الفيزيائية

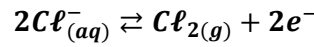
الكيمياء :

الجزء الأول : التحليل الكهربائي لمحلول كلورور القصدير II .

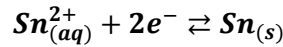
1-تبيانة التركيب التجريبي :

2-معادلات التفاعل :

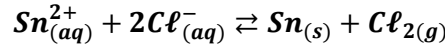
بجوار الأنود يحدث تفاعل اكسدة لأيون  $Cl^-$  :



بجوار الكاثود يحدث تفاعل اختزال لأيون  $Sn^{2+}$  :

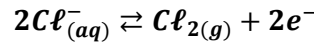


المعادلة الحصيلة للتحليل الكهربائي :



3-حساب حجم غاز  $Cl_2$  الناتج خلال مدة التحليل :

حسب نصف معادلة الأكسدة :



الجدول الوصفي لتفاعل الأكسدة :

كمية مادة الإلكترونات المتبادلة ب (mol)	$2Cl^-_{(aq)} \rightleftharpoons Cl_{2(g)} + 2e^-$			معادلة التفاعل
0	$n_i(Cl^-)$	0	-	كميات المادة في الحالة البدئية ب (mol)
$2x_f$	$n_i(Cl^-) - x_f$	$x_f$	-	كميات المادة في الحالة النهائية ب (mol)

$$\begin{cases} n(Cl_2) = x \\ n(e^-) = 2x \end{cases} \Rightarrow n(Cl_2) = \frac{n(e^-)}{2}$$

كما أن :

$$\begin{cases} n(Cl_2) = \frac{V(Cl_2)}{V_m} \\ n(e^-) \cdot F = I \cdot \Delta t \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n(Cl_2) = \frac{V(Cl_2)}{V_m} \\ n(e^-) = \frac{I \cdot \Delta t}{F} \end{cases} \Rightarrow \frac{V(Cl_2)}{V_m} = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$$

حجم غاز  $Cl_2$  هو :

$$V(Cl_2) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F} \cdot V_m$$

ت.ع:

$$V(Cl_2) = \frac{1,5 \times 80 \times 60}{2 \times 9,65 \cdot 10^4} \times 24 = 0,89 L$$

الجزء الثاني : تفاعل الأمونياك

1-دراسة المحلول المائي للأمونياك :

1.1-نسبة التقدم النهائي للتفاعل :

الجدول الوصفي التقدم :

معادلة التفاعل		$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+ + HO^-_{(aq)}$			
حالة المجموعة	التقدم	كميات المادة ب (mol)			
البداية	0	$C_B \cdot V$	وفير	0	0
النهائية	$x_f$	$C_B \cdot V - x_f$	وفير	$x_f$	$x_f$

حسب الجدول الوصفي :

$$x_f = n_f(HO^-) = [HO^-]_f \cdot V$$

حسب الجداء الأيوني للماء :  $[HO^-]_f = \frac{K_e}{[H_3O^+]_f} = \frac{K_e}{10^{-pH}} = K_e \cdot 10^{pH}$  أي  $K_e = [H_3O^+]_f \cdot [HO^-]_f$

$$x_f = K_e \cdot 10^{pH} \cdot V$$

التقدم النهائي تكتب :

التقدم الاقصى : المتفاعل المحد هو الامونياك نكتب :  $C_B \cdot V - x_{max} = 0$  أي  $x_{max} = C_B \cdot V$

نسبة التقدم النهائي يكتب :

$$\tau = \frac{K_e \cdot 10^{pH}}{C_B} \Leftrightarrow \tau = \frac{x_f}{x_{max}} \Leftrightarrow \tau = \frac{K_e \cdot 10^{pH} \cdot V}{C_B \cdot V}$$

$$\tau \approx 3\% \quad \text{أي} \quad \tau = \frac{10^{14} \times 10^{10,75}}{2 \cdot 10^{-2}} = 2,8 \cdot 10^{-2}$$

ت.ع :

استنتاج : تفاعل الامونياك مع الماء محدود .

1.2-خارج التفاعل عند التوازن :

$$Q_{r,\acute{e}q} = \frac{[NH_4^+]_{\acute{e}q} [HO^-]_{\acute{e}q}}{[NH_3]_{\acute{e}q}}$$

حسب الجدول الوصفي :

$$\begin{cases} [NH_4^+]_{\acute{e}q} = [HO^-]_{\acute{e}q} = \frac{x_f}{V} = \frac{\tau C_B V}{V} = \tau C_B \\ [NH_3]_{\acute{e}q} = \frac{C_B \cdot V - x_f}{V} = C_B - \frac{x_f}{V} = C_B - \tau C_B = C_B(1 - \tau) \end{cases}$$

$$Q_{r,\acute{e}q} = C_B \frac{\tau^2}{1 - \tau} \Leftrightarrow Q_{r,\acute{e}q} = \frac{(\tau C_B)^2}{C_B(1 - \tau)}$$

$$Q_{r,\acute{e}q} = 2 \cdot 10^{-2} \times \frac{(2,8 \cdot 10^{-2})^2}{1 - 2,8 \cdot 10^{-2}} = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

ت.ع :

1.3-التحقق من قيمة  $pK_A$  :

حسب تعريف ثابتة الحمضية :

$$K_A = \frac{[NH_3]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[NH_4^+]_{\acute{e}q}}$$

ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التفاعل المدروس تكتب :

$$K = \frac{[NH_4^+]_{\acute{e}q} [HO^-]_{\acute{e}q}}{[NH_3]_{\acute{e}q}} = \frac{[NH_4^+]_{\acute{e}q} [HO^-]_{\acute{e}q}}{[NH_3]_{\acute{e}q}} \cdot \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[H_3O^+]_{\acute{e}q}} = \frac{[NH_4^+]_{\acute{e}q}}{[NH_3]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}} K_e$$

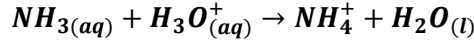
ت.ع:

$$K = \frac{K_e}{K_A} = \frac{10^{-14}}{1,6 \cdot 10^{-5}} = 6,25 \cdot 10^{-10}$$

$$pK_A = -\log K_A = -\log(6,25 \cdot 10^{-10}) = 9,2$$

2- معايرة محلول مائي للأمونياك بمحلول حمض الكلوريدريك

### 2.1- معادلة تفاعل المعايرة :



### 2.2.1- تحديد نقطة التكافؤ مبيانيا :

باستعمال طريقة المماسات نجد إحداثيات نقطة التكافؤ :

$$\begin{cases} V_{AE} \simeq 22,4 \text{ mL} \\ pH_E \simeq 5,7 \end{cases}$$

### 2.2.2- تحديد $C_B$ تركيز المحلول القاعدي :

عند التكافؤ نكتب :  $n_0(NH_3) = n_E(H_3O^+)$  أي :  $C'_B \cdot V_B = C_A \cdot V_{BE}$

$$C'_B = C_A \cdot \frac{V_{AE}}{V_B}$$

$$C'_B = 2 \cdot 10^{-2} \times \frac{22,4}{30} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \quad \text{ت.ع:}$$

### 2.2.3- اختيار الكاشف الملون:

الكاشف الملون المناسب هو الذي مجال انعطافه يضم قيمة pH عند التكافؤ أي:  $pH_E \simeq 5,7$   
الكاشف المناسب هو أحمر الكلوروفينول لأن :  $5,2 < pH_E < 6,8$

### 2.2.4- حجم المحلول الحمضي اللازم إضافته لتحقيق العلاقة $[NH_4^+] = 15[NH_3]$ :

$$pH = pK_A + \log \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} \quad \text{نطبق العلاقة :}$$

$$pH_1 = 9,2 + \log \frac{[NH_3]}{15[NH_3]} \quad \text{نستنتج قيمة pH الخليط الموافقة للحجم  $V_{A1}$  :}$$

$$pH_1 = 9,2 - \log 15 = 8,0$$

باستعمال المبيان عن طريق الإسقاط نجد :  $V_{A1} \simeq 21 \text{ mL}$

الفيزياء:

الموجات:

1-طبيعة الضوء التي تبرزها ظاهرة الحيود:

تبرز ظاهرة الحيود أن طبيعة الضوء موجية .

1-2-تعبير طول الموجة:

تعبير الفرق الزاوي:

$$\tan\theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$$

باعتبار  $\theta$  صغيرة فإن  $\tan\theta \approx \theta$ :

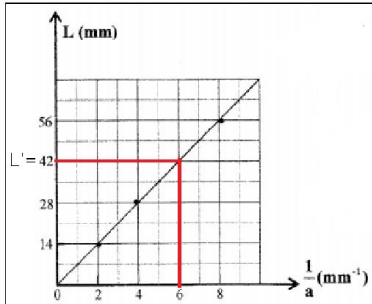
$$\theta = \frac{L}{2D} \text{ و } \theta = \frac{\lambda}{a}$$

$$\text{ومنه: } \lambda = \frac{aL}{2D} \text{ أي } \frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$$

1.3.1-قيمة  $\lambda$  طول الموجة:

المبيان  $L = f\left(\frac{1}{a}\right)$  عبارة عن دالة خطية معادلتها تكتب: (1)  $L = K \cdot \frac{1}{a}$  حيث  $K$  المعامل الموجه:

$$K = \frac{\Delta L}{\Delta\left(\frac{1}{a}\right)} = \frac{14 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{2 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1}} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$



$$\lambda = \frac{K}{2D}$$

لدينا:  $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$  وبالتالي: (2)  $L = 2\lambda D \cdot \frac{1}{a}$

من العلاقتين (1) و (2) نستنتج:  $2\lambda D = K$  أي:

ت.ع:

$$\lambda = \frac{7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}{2 \times 5,54 \text{ m}} = 631 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 631 \text{ nm}$$

1.3.2-طاقة الفوتون:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow E = h\nu$$

$$E = \frac{3,15 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,97 \text{ eV} \Leftrightarrow E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{632 \cdot 10^{-9}} = 3,15 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

ت.ع:

2-تحديد القطر d:

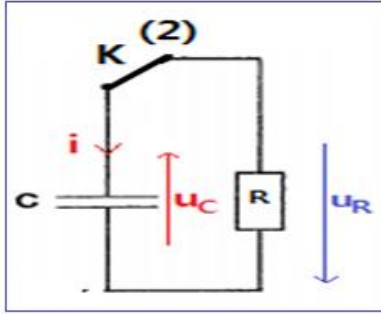
عند  $L' = 42 \text{ mm}$  نجد مبيانيا  $\frac{1}{a} = 6 \text{ mm}^{-1}$

نعوض a بد d نكتب:  $\frac{1}{d} = 6 \text{ mm}^{-1}$  ومنه:  $d = \frac{1}{6 \text{ mm}^{-1}} = 0,17 \text{ mm}$

الكهرباء :

1-دراسة ثنائي القطب RC خاضع لرتبة توتر :

1.1-المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر بين مرطى المكثف :



قانون إضافية التوترات :

$$u_R + u_C = 0$$
$$Ri + u_C = 0$$

نعلم أن:  $i = C \frac{du_C}{dt}$  و  $q = C \cdot u_C$  وبالتالي  $i = \frac{dq}{dt}$

نحصل على المعادلة التفاضلية :

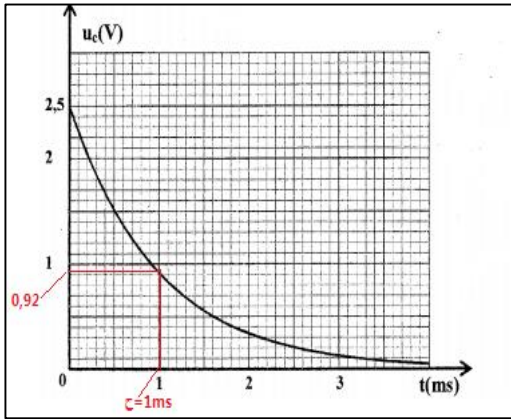
$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

1.2-تعبير ثابتة الزمن :

حل المعادلة التفاضلية:  $u_C(t) = U_m e^{-\frac{t}{\tau}}$  الدالة المشتقة هي:  $\frac{du_C}{dt} = -\frac{U_m}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$   
نعوض في المعادلة التفاضلية:  $-RC \frac{U_m}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + U_m e^{-\frac{t}{\tau}} = 0 \Leftrightarrow U_m e^{-\frac{t}{\tau}} \left(1 - RC \cdot \frac{1}{\tau}\right) = 0$   
لكي تتحقق هذه المعادلة في كل لحظة يجب أن يكون :

$$\tau = RC \Leftrightarrow 1 - RC \cdot \frac{1}{\tau} = 0$$

1.3-التحقق من سعة المكثف :



نستنتج من تعبير ثابتة الزمن:  $C = \frac{\tau}{R}$

لدينا  $u_C(\tau) = U_m e^{-1} = 0,37 \times 2,5 = 0,92V$

باستعمال الاسقاط نجد:  $\tau \approx 1 ms$

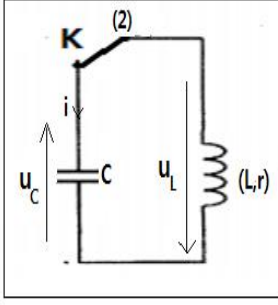
ت.ع:  $C = \frac{10^{-3}}{1.10^6} = 1.10^{-9} F$  أي  $C = 1nF$

2-دراسة التذبذبات الحرة في دائرة RLC متوالية :

2.1-نوع نظام التذبذبات :

يبين الشكل 3 نظاما تذبذبيا شبه دوريا .

2.2-المعادلة التفاضلية التي تحققها الشحنة q :



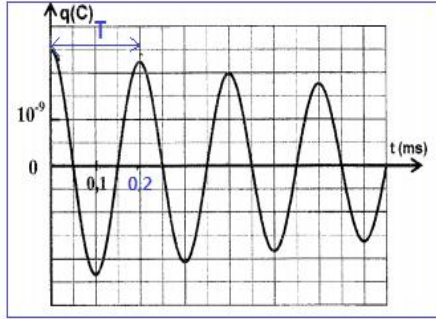
حسب قانون إضافية التوترات :  $u_L + u_C = 0$   
 أي :  $L \frac{di}{dt} + ri + \frac{q}{C} = 0$  (1)  $\Leftarrow L \frac{di}{dt} + ri + \frac{q}{C} = 0$   
 نعلم أن:

$$\begin{cases} i = \frac{dq}{dt} \\ \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \end{cases}$$

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + r \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$$

المعادلة التفاضلية للشحنة q :

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{r}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot q = 0$$



2.3-قيمة معامل التحريض الذاتي للوشية :

باعتبار شبه الدور يساوي الدور الخاص للتذبذبات نكتب :

$$T = T_0 = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$$

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} \Leftarrow T^2 = 4\pi^2 L \cdot C$$

مبيانيا شيه قيمة شبه الدور هي :  $T = 0,2ms$

$$L = \frac{(0,2 \cdot 10^{-3})^2}{4\pi^2 \times 10^{-9}} \simeq 1H \quad \text{ت.ع.}$$

2.4-حساب الطاقة المبددة بمفعول جول :

في كل من اللحظتين  $t_1 = 0$  و  $t_2 = 2T$  تكون شحنة المكثف قصوية  $\Leftarrow E_e = \frac{1}{2C} q^2$

عندما تكون الشحنة قصوية تكون شدة التيار في الدارة منعدمة  $\Leftarrow E_m = \frac{1}{2} Li^2 = 0$

الطاقة الكلية تكون :  $E_t = E_e + E_m = \frac{1}{2C} q^2$   
 الطاقة المبددة هي :

$$\Delta E_T = E_{T2} - E_{T1} = \frac{1}{2C} q_2^2 - \frac{1}{2C} q_1^2 = \frac{1}{2C} (q_2^2 - q_1^2)$$

باستعمال المبيان نجد :  $q_2 = 2 \cdot 10^{-9} C$  و  $q_1 = 2,5 \cdot 10^{-9} C$

ت.ع.:

$$\Delta E_T = \frac{1}{2 \times 10^{-9}} \times [(2 \cdot 10^{-9})^2 - (2,5 \cdot 10^{-9})^2] = 1,125 \cdot 10^{-9} J$$

3-استقبال إشارة مضمنة الوسع :

### 3.1- دور الجزء 3 في عملية إزالة التضمين :

حذف المركبة المستمرة للتوتر (توتر الازاحة).

### 3.2- تردد الموجة الملتقطة من طرف الجهاز :

تنتقي الدارة المتوالية  $L_1C$  التوتر الذي تردده يساوي ترددها الخاص نكتب :  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C}}$   
ت.ع:  $f_0 = 151,7 \cdot 10^3 \text{ Hz}$  أي  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,1 \cdot 10^{-3} \times 1 \cdot 10^{-9}}}$   $f_0 = 151,7 \text{ kHz}$

### 3.3- قيمة المقاومة $R_2$ :

للحصول على كشف غلاف جيد يجب أن تحقق ثابتة الزمن  $\tau$  كاشف الغلاف الشرط التالي :

$$T_s = \frac{1}{f_s} \text{ و } T_p = \frac{1}{f_0} \quad \tau = R_2 C_2 \quad \text{مع} \quad T_p \ll \tau < T_s$$

$$\frac{1}{f_0 C_2} \ll R_2 < \frac{1}{f_s C_2} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{1}{f_0} \ll R_2 C_2 < \frac{1}{f_s}$$

$$\text{ت.ع:} \quad \frac{1}{151,7 \cdot 10^3 \times 4,7 \cdot 10^{-9}} \ll R_2 < \frac{1}{10^3 \times 4,7 \cdot 10^{-9}} \quad \text{أي} \quad 1,4 \cdot 10^3 \Omega \ll R_2 < 2,13 \cdot 10^5 \Omega$$
$$1,4 \text{ k}\Omega \ll R_2 < 213 \text{ k}\Omega$$

المقاومة الملائمة  $R = 150 \text{ k}\Omega$

### الميكانيك :

### الجزء الاول : دراسة حركة مركز قصور كرة

### 1- المعادلتين الزميتين $v_x(t)$ و $v_y(t)$ :

بتأثير تأثير الهواء تخضع الكرة لوزنها فقط :  $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$   
بتطبيق القانون الثاني لنيوتن نكتب :  $\vec{P} = m \cdot \vec{a}_G$  أي :  $\vec{a}_G = \vec{g} \leftarrow m \cdot \vec{a}_G = m \cdot \vec{g}$   
بالاسقاط في المعلم  $(O, x, y)$  إحداثيات متجهة التسارع هما :

$$\left| \begin{array}{l} \text{حركة } G \text{ منتظمة على } Ox \\ \text{حركة } G \text{ متغيرة بانتظام على } Oy \end{array} \right. \begin{array}{l} \rightarrow a_x = 0 \\ \rightarrow a_y = -g \end{array}$$

المعادلتان الزميتان للسرعة هما :

$$\left| \begin{array}{l} v_x(t) = v_{0x} \\ v_y(t) = -gt + v_{0y} \end{array} \right.$$

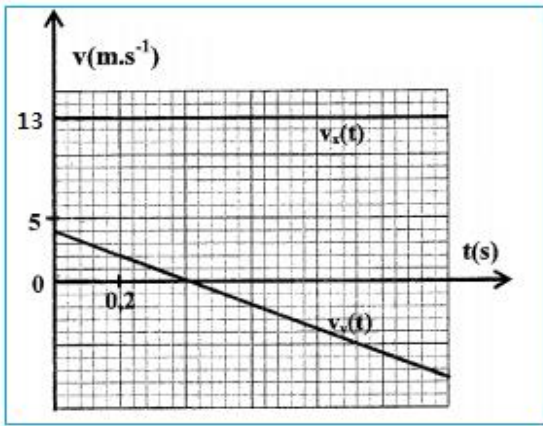
حسب الشروط البدئية نكتب :

$$\left| \begin{array}{l} v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha \end{array} \right.$$

نستنتج المعادلتين الزميتين للسرعة :

$$\left| \begin{array}{l} v_x(t) = v_0 \cdot \cos\alpha \\ v_y(t) = -gt + v_0 \cdot \sin\alpha \end{array} \right.$$

## 2- قيمة سرعة القذف وزاوية القذف:



بالاعتماد على المبيان معادلتي السرعة هما :

$$\begin{cases} v_x(t) = 13 & (m.s^{-1}) \\ v_y(t) = -10t + 4 & (m.s^{-1}) \end{cases}$$

نستنتج من المعادلتين الزميتين للسرعة ما يلي :

$$\begin{cases} v_0 \cdot \cos\alpha = 13 \\ -gt + v_0 \sin\alpha = -gt + 4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0 \cdot \cos\alpha = 13 & (1) \\ v_0 \cdot \sin\alpha = 4 & (2) \end{cases}$$

حساب  $v_0$  :

$$(1)^2 + (2)^2 \Leftrightarrow (v_0 \cdot \cos\alpha)^2 + (v_0 \cdot \sin\alpha)^2 = 13^2 + 4^2$$

$$\Rightarrow v_0^2(\cos^2\alpha + \sin^2\alpha) = 185 \Rightarrow v_0 = \sqrt{185} = 13,6 m.s^{-1}$$

حساب  $\alpha$  :

$$\frac{(2)}{(1)} \Leftrightarrow \frac{v_0 \cdot \sin\alpha}{v_0 \cdot \cos\alpha} = \frac{4}{13} \Rightarrow \tan\alpha = \frac{4}{13} \Rightarrow \alpha = 17,1^\circ$$

### 1- معادلة المسار :

$$\begin{cases} v_x = 13 \\ v_y = -10t + 13,6 \times \sin(17,1^\circ) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_x = 13 \\ v_y = -10t + 4 \end{cases} \quad \text{من معادلتی السرعة :}$$

تكامل المعادلتين الزميتين للسرعة نحصل على :

$$\begin{cases} x(t) = 13t + x_0 \\ y(t) = -5t^2 + 4t + y_0 \end{cases}$$

باستعمال الشروط البدئية نكتب :

$$\begin{cases} x(t) = 13t & (1) \\ y(t) = -5t^2 + 4t + 2,60 & (2) \end{cases} \quad \text{نستنتج المعادلتين الزميتين :} \quad \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = y_A = H = 2,60 m \end{cases}$$

نحصل على معادلة المسار بإقصاء الزمن بين المعادلتين الزميتين :

المعادلة (1) تكتب :  $t = \frac{x}{13}$  نعوض  $t$  في المعادلة (2) نحصل على معادلة المسار :

$$y(x) = -5 \left(\frac{x}{13}\right)^2 + 4 \left(\frac{x}{13}\right) + 2,60 \Rightarrow y(x) = -0,03x^2 + 0,31x + 2,60$$

## 2- شروط قبول الاسال هل تحقق ؟

الشرط الأول :

لكي تمر الكرة فوق الشبكة ذي الارتفاع  $h$  ينبغي أن يتحقق الشرط التالي :  $y(d) > h$

نعوض الافصول  $x$  ب  $d$  في معادلة المسار نحصل على :

$$y(d) = -0,03d^2 + 0,31d + 2,60 \Rightarrow y(d) = -0,03 \times 9^2 + 0,31 \times 9 + 2,60 = 2,96m$$

بما أن :  $h = 2,50 m$  فإن :  $y(d) > h$  وبالتالي الشرط الأول يتحقق .

الشرط الثاني :

لسقوط الكرة في مجال الخصم ينبغي أن يحقق أفصول موضع ارتطام الكرة بالأرض الشرط التالي :  $x < d + D$  أي :  $x < 18 m$

يكون أرتوب سقوط الكرة على الأرض منعدم :

$$y(x) = 0 \Rightarrow -0,03x^2 + 0,31x + 2,60 = 0$$

$$x = \frac{-0,31 \mp \sqrt{0,31^2 + 4 \times 0,03 \times 2,60}}{2 \times (-0,03)} \rightarrow \begin{cases} x_1 = 15,8 m \\ x_2 < 0 \end{cases}$$



نلاحظ أن :  $x < 18 \text{ m}$  إذن الشرط الثاني يتحقق الكرة تسقط في مجال الخصم .

الجزء الثاني : الدراسة الطاقية لحركة نواس اللي :

1- الطاقة الميكانيكية لنواس اللي :

الطاقة الميكانيكية لنواس اللي هي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع :  $E_m = E_c + E_p$   
 طاقة الوضع لنواس اللي هي مجموع طاقة الوضع الثقالية وطاقة وضع اللي :  $E_p = E_{pp} + E_{pt}$   
 لدينا  $E_{pt} = 0$  الحالة المرجعية منطبقة مع المستوى الأفقي المار من  $G$  نكتب :

$$E_m = E_c + E_{pt}$$

تتعدم الطاقة الحركية عندما تكون طاقة الوضع اللي قصوية ومنه :  $E_m = E_{pt \max}$

$$E_{pt \max} = 5 \times 1,8 = 9 \text{ mJ}$$

$$E_m = 9 \text{ mJ}$$

2- السرعة الزاوية في اللحظة  $t_1 = 0,5 \text{ s}$  :

عند اللحظة  $t_1$  لدينا حسب المبيان  $E_{pt}(t_1) = 0$  وبالتالي الطاقة الحركية قصوية وهي

$$E_m = E_{c \max} = \frac{1}{2} J_{\Delta} \dot{\theta}^2$$

$$|\dot{\theta}| = \sqrt{\frac{2E_m}{J_{\Delta}}} \xrightarrow{\text{ع}} |\dot{\theta}| = \sqrt{\frac{2 \times 9 \cdot 10^{-3}}{2,3 \cdot 10^{-3}}} = 2,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

3- شغل مزدوجة اللي بين اللحظتين  $t_0 = 0$  و  $t_1 = 0,5 \text{ s}$  :

$$W_{t_1 \rightarrow t_2} = -\Delta E_{pt} = -(E_{pt}(t_1) - E_{pt}(t_2))$$

باستعمال المبيان :

$$W_{t_1 \rightarrow t_2} = -(0 - 9) = 9 \text{ mJ}$$

