الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التربية الوطنية — **ى ثانوية بن رشد المشرية**

السنة الثالثة علوم تجريبية — **السنة الدراسية: 2023–2024**

اختبار الفصل الأول في مادة: العلوم الفيزيائية — **المدة: 03 سا**

التمرين الأول (07 نقاط)

الرواسب المتشكلة داخل المسخن المائي (chauffe-eau) ، تتكون أساسا من كربونات الكالسيوم $CaCO_{3(S)}$، التي يتم التخلص منها باستعمال روح الملح (esprit de sel) الذي هو أساسا محلول مائي لحمض كلور الماء $\left(H_3O^+_{(aq)}, C\ell^-_{(aq)}\right)$.

يهدف هذا التمرين إلى دراسة حركية التحول الكيميائي التام الحادث بين شوارد الهيدرونيوم $H_3O^+_{(aq)}$ و كربونات الكالسيوم.

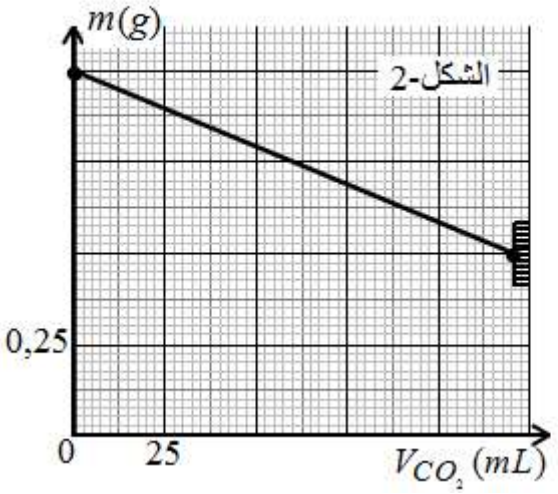
نضع في دورق زجاجي كتلة m_0 من مسحوق كربونات الكالسيوم النقية و عند اللحظة $t=0$ نضيف لها حجما $V=100mL$ من محلول حمض لحمض كلور الماء $H_3O^+_{(aq)}$ تركيزه المولي C_0.

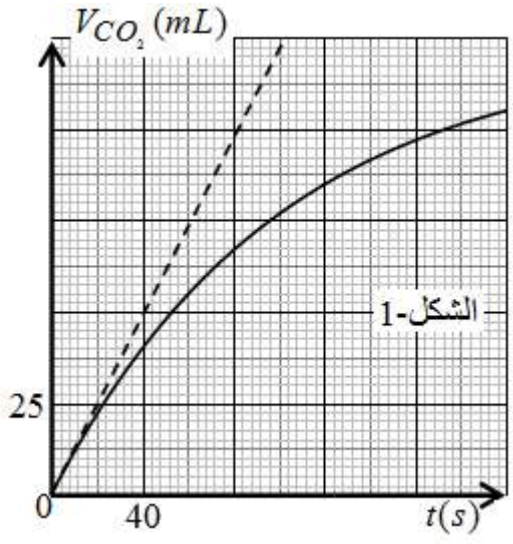
ننمذج التحول الحادث بمعادلة التفاعل الكيمائي التالية :

$$CaCO_{3(S)} + 2H_3O^+_{(aq)} = Ca^{2+}_{(aq)} + CO_{2(g)} + 3H_2O_{(\ell)}$$

المتابعة الزمنية للتحول الكيميائي الحادث ، سمحت برسم المنحنى البياني الممثل لتغيرات V_{CO_2} حجم ثنائي أكسيد الكربون المتشكل بدلالة الزمن (الشكل-1)، وتغيرات كتلة كربونات الكالسيوم m بدلالة V_{CO_2} حجم ثنائي أكسيد الكربون المتشكل (الشكل-2)

المعطيات: - الكتلة المولية الجزيئية لكربونات الكالسيوم : $M = 100\,g.mol^{-1}$





1- انجز رسم تخطيطي للتركيب التجريبي المستعمل لإجراء هذه المتابعة الزمنية للتحول الكيميائي الحادث.

2- التحول الحادث بطيء أم سريع ؟ علل.

3-1- أنشئ جدول تقدم التفاعل .

3-2- اعتمادا على جدول تقدم التفاعل بين أن كتلة كربونات الكالسيوم m المتبقية خلال التحول الكيميائي تعطى بالعلاقة :

$$m = -\frac{M}{V_M}V_{CO_2} + m_0$$

3-3- اعتمادا على البيان في الشكل-2 حدد:

3-3-1- قيمة الكتلة الابتدائية m_0.

3-3-2 - الحجم المولي V_M في شروط التجربة.

3-3-3- قيمة $V_f(CO_2)$ حجم ثنائي أكسيد الكربون المتشكل في نهاية التفاعل.

3-3-4- استنتج قيمة التقدم الأعظمي x_{max}.

3-3-5- حدد المتفاعل المحد ثم استنتج قيمة C_0 التركيز المولي لمحلول حمض كلور الماء المستعمل.

4-1- عرف السرعة الحجمية للتفاعل v_{vol} ثم بين أنها عبارتها تعطى بالعلاقة : $v_{vol}(t)=\frac{1}{V.V_M}.\frac{dV_{CO_2}(t)}{dt}$

4-2- حدد قيمة السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة $t=0$.

4-3- استنتج قيمة السرعة الحجمية لاختفاء شوارد الهيدرونيوم عند نفس اللحظة $t=0$.

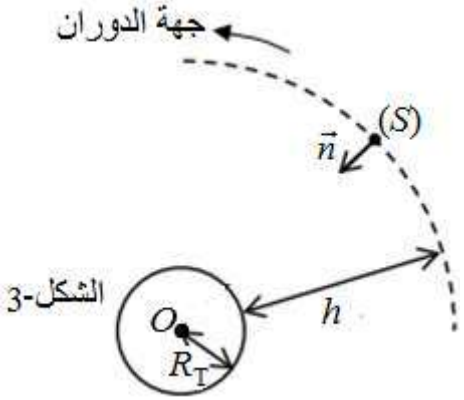
5- عرف زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ ثم حدد قيمته بيانيا.

6- نعيد نفس التجربة مع استعمال كتلة كربونات الكالسيوم $m_1=2m_0$، بين أثر العامل الحركي على:

تقدم التفاعل الأعظمي x_{max}. – السرعة الحجمية للتفاعل عند $t=0$. – حجم الغاز $V_f(CO_2)$ عند نهاية التفاعل.

التمرين الثاني (07 نقاط)

يدور قمر إصطناعي (S) كتلته m حول الأرض على إرتفاع h من سطحها وفق مدار دائري مركزه مركز الأرض بالسرعة المدارية v ويخضع فقط لقوة جذب الأرض له $\vec{F}_{T/S}$.



الشكل-3

نعتبر أن الأرض كروية الشكل نصف قطرها R_T و كتلتها M_T.

1- ما هو المرجع المناسب لدراسة حركة القمر الإصطناعي (S) حول الأرض ؟

1-2- انقل الشكل-3 على ورقة إجابتك ومثل عليه شعاع السرعة المدارية $\vec{v}$ وشعاع قوة جذب الأرض $\vec{F}_{T/S}$.

2-2- اكتب العبارة الشعاعية للقوة $\vec{F}_{T/S}$ بدلالة : G ، m ، M_T ، R_T ، h و شعاع وحدة ناظمي $\vec{n}$.

حيث G هو ثابت الجذب العام $G=6,67\times10^{-11}SI$

3-2- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على مركز عطالة (S) بين أن حركة القمر الإصطناعي (S) دائرية منتظمة.

4-2- إستنتج عبارة السرعة المدارية v بدلالة G ، M_T ، R_T و h.

4-3- أذكر نص القانون الثالث لكبلر ثم بين أن : $\frac{T^2}{(R_T+h)^3}=\frac{4\pi^2}{G.M_T}$ حيث T دور القمر الاصطناعي (S) .

4- يعطى تسارع الجاذبية الأرضية g على ارتفاع h من سطح الأرض بالعلاقة : $g=\frac{G.M_T}{(R_T+h)^2}$

1-4- أثبت أن : $\frac{1}{\sqrt{g}}=A.h+B$ ، حيث A و B مقدارين ثابتين يطلب تعين عبارتيهما.

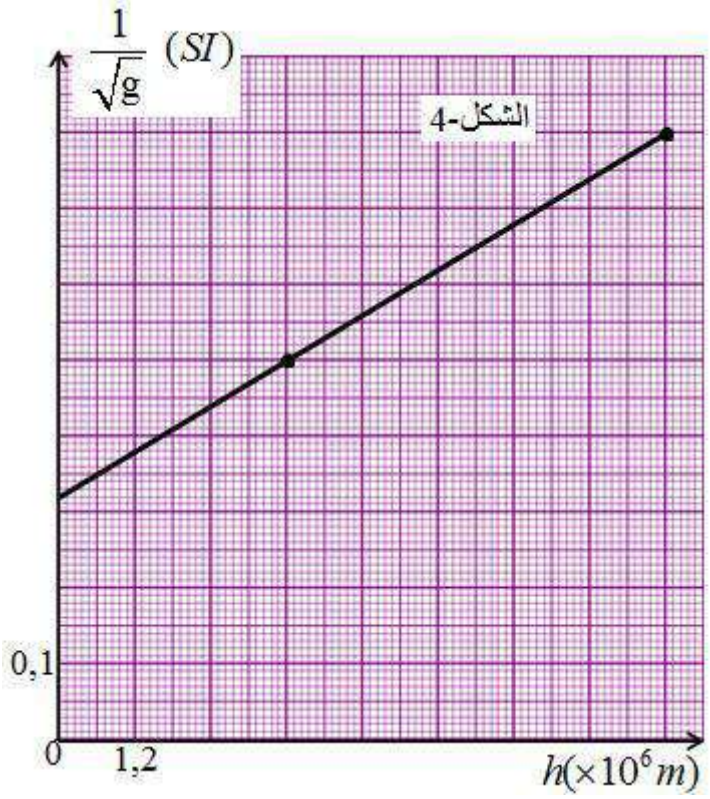
2-4- البيان في الشكل-4 يعطي تغيرات $\frac{1}{\sqrt{g}}$ بدلالة الارتفاع h .

بإستغلال البيان :

- جد كتلة الأرض M_T و نصف قطرها R_T.

- قيمة تسارع الجاذبية g_0 على سطح الأرض $(h=0)$

5- يدور قمر إصطناعي (S') في إتجاه دوران الأرض حول محورها عند مستوى خط الإستواء في مدار دائري فيه تسارع الجاذبية الأرضية $g=0,224\ m.s^{-2}$.



الشكل-4

5-1- جد الإرتفاع h للقمر (S') عن سطح الأرض و سرعته v.

5-2- هل القمر (S') جيومستقر ؟ علل.

التمرين الثالث (06 نقاط)

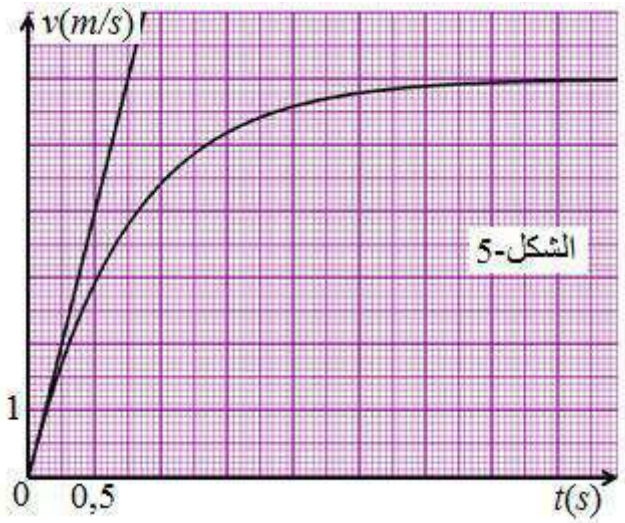
يعطى تسارع الجاذبية الأرضية : $g=9,8m.s^{-2}$

خلال حصة الأعمال المخبرية ، تمت دراسة حركة السقوط الشاقولي لكرية كتلتها $m=2,65g$ و حجمها V.

تسقط الكرية دون سرعة إبتدائية عند $t=0$ في الهواء كتلته الحجمية $\rho_a = 1,3\ kg.m^{-3}$ وفق محور شاقولي $O\vec{z}$.

معالجة شريط الفيديو لسقوط هذه الكرية ببرمجية علام ألي مكنت من الحصول على البيان في الشكل-5

تخضع الكرية أثناء سقوطها إضافة إلى قوة ثقلها $\vec{P}$ و دافعة أرخميدس $\vec{\Pi}$ إلى قوة إحتكاك $\vec{f}$ معاكسة لإتجاه الحركة و شدتها $f=k.v$ حيث k ثابت الإحتكاك و v سرعة مركز عطالة الكرية .



الشكل-5

1-1- ما هو المرجع المناسب لدراسة حركة الكرية ؟

1-2- ما هي الفرضية التي أن يحققها هذا المرجع حتى يكون صالحا للدراسة و متى تتحقق هذه الفرضية ؟

2- بإستغلال البيان جد :

2-1- قيمة السرعة الحدية $v_{\lim}$.

2-2- قيمة τ الزمن المميز للحركة .

2-3- إستنتج قيمة التسارع الإبتدائي a_0 ثم بين أنه لا يمكن إهمال دافعة أرخميدس $\vec{\Pi}$ أمام الثقل $\vec{P}$.

3-1- مثل القوى المطبقة على مركز عطالة الكرية عند $t=0$ و عند لحظة t.

3-2- بتطبق القانون الثاني لنيوتن ، جد المعادلة التفاضلية للسرعة وضعها على الشكل : $\frac{dv}{dt}+Av=B$

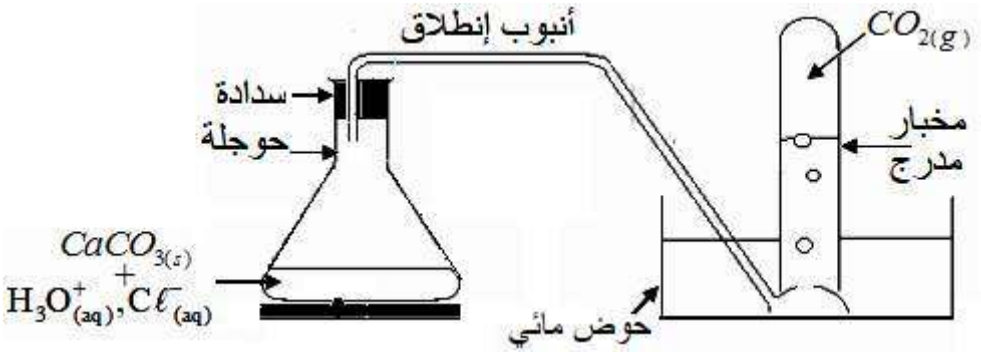
3-3- بإستغلال المعادلة التفاضلية جد:

3-3-1- عبارة التسارع الإبتدائي a_0 بدلالة g ، m ، ρ_a و V ثم أحسب قيمة V حجم الكرية.

3-3-2- أعط عبارة $v_{\lim}$ ثم أحسب قيمة ثابت الإحتكاك k محددا وحدته في الجملة الدولية بالتحليل البعدي.

التمرين الأول (07 نقاط)

1- رسم تخطيطي للتركيب التجريبي المستعمل



2- التحول الحادث بطيء لأن مدة استغراقه أكثر من ثانية(1s).

3-1- جدول تقدم التفاعل .

المعادلة	$CaCO_{3(s)} + 2H_3O^+_{(aq)} = Ca^{2+}_{(aq)} + CO_{2(g)} + 3H_2O_{(\ell)}$				
t=0	$\frac{m_0}{M}$	C_0V	0	0	بوفرة
t	$\frac{m_0}{M} - x$	C_0V-2x	x	x	
t_f	$\frac{m_0}{M} - x_{max}$	C_0V-2x_{max}	x_{max}	x_{max}	

3-2- إثبات العلاقة :

من جدول التقدم نجد : $n = \frac{m}{M} = \frac{m_0}{M} - x \quad \leftarrow \quad m = -M.x + m_0$ .....(1)

$$n(CO_2) = \frac{V_{CO_2}}{V_M} = x \quad \text{.....(2)}$$

نعوض (2) في (1) نجد : $m = -M.\frac{V_{CO_2}}{V_M} + m_0 \quad \leftarrow \quad \boxed{m = -\frac{M}{V_M}V_{CO_2} + m_0}$ .....(3)

3-3- قيمتي m_0 و V_M :

البيان في الشكل-2 قطعة مستقيمة معادلتها : $m = a.V_{CO_2} + b$ .....(4)

حيث a معامل توجيه المستقيم : $a = \frac{\Delta m}{\Delta V_{CO_2}} = \frac{1 - 0,5}{0 - 4,8 \times 25 \times 10^{-3}} \approx -4,17 g.L^{-1}$

$$b = 4 \times 0,25 = 1g$$

بمطابقة (3) و (4) نجد : $-\frac{M}{V_M} = a \rightarrow V_M = -\frac{M}{a} = -\frac{100}{-4,17} = 24L.mol\ell^{-1}$

$\boxed{m_0 = b = 1g}$ و $\boxed{V_M = 24L.mol\ell^{-1}}$

3-3-3- قيمة $V_f(CO_2)$: $V_f(CO_2) = 4,8 \times 25 \times 10^{-3} = 0,12L$

$$\boxed{V_f(CO_2) = 0,12L = 120mL}$$

3-3-4- قيمة التقدم الأعظمي x_{max} : $x_{max} = \frac{V_f(CO_2)}{V_M} = \frac{0,12}{24} = 5 \times 10^{-3} mol\ell$

$$\boxed{x_{max} = 5 \times 10^{-3} mol\ell}$$

3-3-5- المتفاعل المحد :

بما أن $m_f(CaCO_3)=0,5g\neq 0$ و التفاعل تام فإن H_3O^+ هو المتفاعل المحد.

استنتاج قيمة C_0 :

$$C_0V-2x_{\max}=0 \quad \rightarrow \quad C_0=\frac{2x_{\max}}{V}=\frac{2\times 5\times 10^{-3}}{100\times 10^{-3}}=0,1mol.L^{-1}$$

$$\boxed{C_0=0,1mol.L^{-1}}$$

4-1- عرف السرعة الحجمية للتفاعل v_{vol} :

هي مقدار تغير تقدم التفاعل خلال وحدة من الزمن في وحدة من حجم المزيج المتفاعل عبارتها : $v_{vol}(t)=\frac{1}{V}\frac{dx(t)}{dt}$

نشتق العلاقة (2) بالنسبة للزمن :

$$\frac{dx(t)}{dt}=\frac{1}{V_M}.\frac{dV_{CO_2}(t)}{dt}$$

و منه :

$$\frac{1}{V}\frac{dx(t)}{dt}=\frac{1}{V.V_M}.\frac{dV_{CO_2}(t)}{dt}$$

إذن :

$$\boxed{v_{vol}(t)=\frac{1}{V.V_M}.\frac{dV_{CO_2}(t)}{dt}}$$

حيث $\frac{dV_{CO_2}(t)}{dt}$ هو ميل المماس عند اللحظة t على المنحنى البياني $V_{CO_2}=f(t)$

4-2- قيمة السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة t=0.

$$v_{vol}(0)=\frac{1}{100\times 10^{-3}\times 24}\times\left(\frac{50\times 10^{-3}-0}{40-0}\right)=0,52\times 10^{-3}mol.s^{-1}.L^{-1}$$

$$\boxed{v_{vol}(0)=0,52\ mmol.s^{-1}.L^{-1}}$$

4-3- استنتاج قيمة السرعة الحجمية لاختفاء شوارد الهيدرونيوم عند نفس اللحظة t=0.

$$v_{vol(H_3O^+)}(0)=2v_{vol}(0)=2\times 0,52=1,04$$

$$\boxed{v_{vol(H_3O^+)}(0)=1,04\ mmol.s^{-1}.L^{-1}}$$

5- عرف زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$: هو الزمن اللازم حتى يبلغ تقدم التفاعل نصف قيمته النهائية.

- قيمة $t_{1/2}$:

من العلاقة (2) نجد :

$$\frac{V_{CO_2}(t_{1/2})}{V_M}=x(t_{1/2})=\frac{x_f}{2} \quad \leftarrow \quad \boxed{V_{CO_2}(t_{1/2})=V_M.\frac{x_f}{2}}$$

التفاعل تام $x_f=x_{\max}$:

$$V_{CO_2}(t_{1/2})=24\times\frac{5\times 10^{-3}}{2}=60\times 10^{-3}L=60mL$$

أو :

$$V_{CO_2}(t_{1/2})=\frac{V_f(CO_2)}{2}=\frac{120}{2}=60mL$$

بالإسقاط على البيان في الشكل-1 نجد :

$$\boxed{t_{1/2}=68s}$$

6- بما أن زدنا في كتلة المتفاعل بزيادة (كربونات الكالسيوم) فيبقى المتفاعل المحد نفسه H_3O^+ و بالتالي :

يبقى التقدم الأعظمي $x_{\max}$ نفسه : $x_{\max}=5\times 10^{-3}mol$

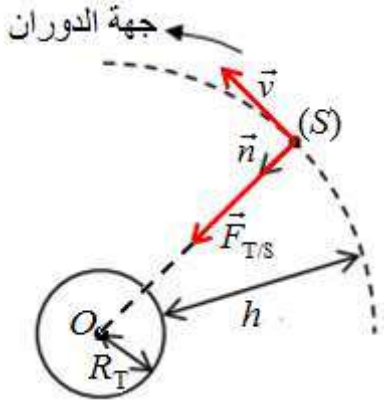
يبقى $V_f(CO_2)$ نفسه : $V_f(CO_2)=0,12L$

زيادة التركيز المولي الإبتدائي لمتفاعل أو زيادة كتلة متفاعل يسبب زيادة في السرعة الحجمية للتفاعل عند t=0.

التمرين الثاني (07 نقاط)

1- المرجع المناسب لدراسة حركة القمر الإصطناعي (S) حول الأرض : المرجع الجيومركزي.

2-1- التمثيل



2-2- العبارة الشعاعية للقوة $\vec{F}_{T/S}$: $\vec{F}_{T/S}=G.\dfrac{M_T.m}{(R_T+h)^2}\vec{n}$

2-3- إثبات أن حركة القمر الإصطناعي (S) دائرية منتظمة :

نطبق القانون الثاني لنيوتن على مركز عطالة (S) في المرجع الجيومركزي.

$$\sum \vec{F}_{ext}=m.\vec{a} \rightarrow \vec{F}_{I/S}=m.\vec{a}$$

$$G\frac{M_T.m}{(R_T+h)^2}\vec{n}=m.\vec{a} \rightarrow \boxed{\vec{a}=\frac{G.M_T}{(R_T+h)^2}\vec{n}}$$

$\|\vec{a}\|=\dfrac{G.M_T}{(R_T+h)^2}=C^{st}>0$ ← شعاع التسارع $\vec{a}$ و شعاع الوحدة الناظمي $\vec{n}$ لهما نفس الحامل و الإتجاه .

إذن الشعاع $\vec{a}$ هو شعاع تسارع ناظمي : $\vec{a}=\vec{a}_n$

و منه حركة القمر الإصطناعي (S) حول الأرض دائرية منتظمة.

2-4- عبارة السرعة المدارية v :

$$a=a_n \rightarrow \frac{G.M_T}{(R_T+h)^2}=\frac{v^2}{R_T+h}$$

$$v^2=\frac{G.M_T}{R_T+h} \rightarrow \boxed{v=\sqrt{\frac{G.M_T}{R_T+h}}}$$

3-4- أذكر نص القانون الثالث لكبلر:

يتناسب طردا مربع الدور T مع مكعب البعد بين مركزي الأرض و القمر الإصطناعي (S).

إثبات أن : $\dfrac{T^2}{(R_T+h)^3}=\dfrac{4\pi^2}{G.M_T}$

$$T=\frac{2\pi(R_T+h)}{v} \rightarrow T^2=\frac{4\pi^2(R_T+h)^2}{v^2}=4\pi^2(R_T+h)^2.\frac{R_T+h}{G.M_T}$$

$$T^2=\frac{4\pi^2(R_T+h)^3}{G.M_T} \rightarrow \boxed{\frac{T^2}{(R_T+h)^3}=\frac{4\pi^2}{G.M_T}}$$

1-4- أثبات العلاقة :

$$g=\frac{G.M_T}{(R_T+h)^2} \rightarrow \sqrt{g}=\frac{\sqrt{G.M_T}}{R_T+h}$$

$$\frac{1}{\sqrt{g}}=\frac{R_T+h}{\sqrt{G.M_T}} \rightarrow \boxed{\frac{1}{\sqrt{g}}=\frac{1}{\sqrt{G.M_T}}h+\frac{R_T}{\sqrt{G.M_T}}}$$

ومنه : $A=\dfrac{1}{\sqrt{G.M_T}}$ و $B=\dfrac{R_T}{\sqrt{G.M_T}}$

2-4- البيان في الشكل-4 هو قطعة مستقيمة معادلتها : $\dfrac{1}{\sqrt{g}}=A.h+B$

حيث A معامل توجيه القطعة المستقيمة : $A=\dfrac{0,8-0,5}{(9,6-3,6)\times10^6}=5\times10^{-8}\ (SI)$

و : $B=0,32\ (SI)$

- كتلة الأرض M_T : $A=\frac{1}{\sqrt{G.M_T}} \rightarrow A^2=\frac{1}{G.M_T}$

$$M_T=\frac{1}{G.A^2}=\frac{1}{6,67\times10^{-11}\times\left(5\times10^{-8}\right)^2}=6\times10^{24}$$

$$\boxed{M_T=6\times10^{24}kg}$$

نصف قطر الأرض R_T : $B=\frac{R_T}{\sqrt{G.M_T}}=A.R_T \rightarrow R_T=\frac{B}{A}=\frac{0,32}{5\times10^{-8}}=6,4\times10^{-6}$

$$\boxed{R_T=6,4\times10^{6}m=6400km}$$

- قيمة تسارع الجاذبية g_0 على سطح الأرض $(h=0)$: $\frac{1}{\sqrt{g_0}}=B \rightarrow \frac{1}{g_0}=B^2$

$$\frac{1}{g_0}=B^2 \rightarrow g_0=\frac{1}{B^2}=\frac{1}{0,32^2}\approx9,8$$

$$\boxed{g_0\approx9,8\ m.s^{-2}}$$

5-1- قيمة الإرتفاع h للقمر (S') عن سطح الأرض:

$$\frac{1}{\sqrt{g}}=A.h+B \rightarrow A.h=\frac{1}{\sqrt{g}}-B=\frac{1}{\sqrt{0,224}}-0,32=1,79$$

$$A.h=1,79 \rightarrow h=\frac{1,79}{A}=\frac{1,79}{5\times10^{-8}}=3,58\times10^{7}\text{m}$$

$$\boxed{h=3,58\times10^{7}\text{m}=35800\ km}$$

سرعته v : $v=\sqrt{\frac{G.M_T}{R_T+h}}=\sqrt{\frac{6,67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}{6,4\times10^{6}+3,58\times10^{7}}}=3,08\times10^{3}$

$$\boxed{v=3,08\times10^{3}m.s^{-1}}$$

5-2- دور القمر (S') :

$$T=\frac{2\pi\left(R_T+h\right)}{v}=T=\frac{6,28\times\left(6,4\times10^{6}+3,58\times10^{7}\right)}{3,08\times10^{3}}=8,6\times10^{4}\text{s}$$

$$\boxed{T=\frac{8,6\times10^{4}}{3600}=23,9\text{h}\approx24\text{h}}$$

نعم القمر (S') جيومستقر لأن يدور في إتجاه دوران الأرض حول محورها عند مستوى خط الإستواء و دوره يساوي دور الأرض حول محورها.

<u>التمرين الثالث (06 نقاط)</u>

1-1- ما هو المرجع المناسب لدراسة حركة الكرية : هو المرجع السطحي الأرضي.

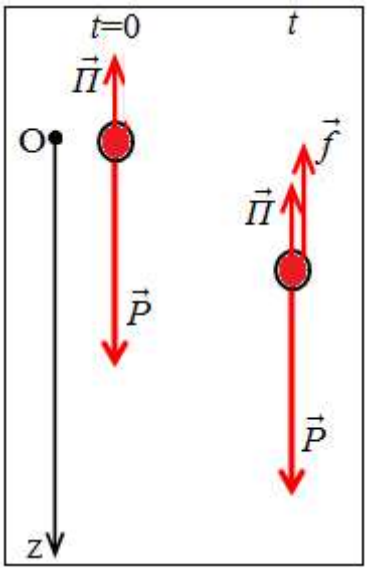
1-2- الفرضية التي أن يحققها هذا المرجع حتى يكون صالحا للدراسة : أن يكون غاليليا.

تتحقق هذه الفرضية عندما تكون مدة دراسة الحركة قصيرة جدا أمام مدة دوران الأرض حول نفسها.

2-1- قيمة السرعة الحدية v_{lim} : $\boxed{v_{lim}=6m.s^{-1}}$

2-2- قيمة الزمن المميز للحركة τ : $\boxed{\tau=0,75s}$

2-3- قيمة التسارع الإبتدائي a_0 : $a_0=\left(\frac{dv}{dt}\right)_{t=0}=\frac{v_{lim}}{\tau}=\frac{6}{0,75}=8$ ؛ و منه $\boxed{a_0=8\ m.s^{-2}}$



$a_0 < g \leftarrow$ لا يمكن إهمال دافعة أرخميدس $\vec{\Pi}$ أمام الثقل $\vec{P}$.

3-1- تمثيل القوى المطبقة على مركز عطالة الكرية عند $t=0$ و عند لحظة t.

3-2- المعادلة التفاضلية للسرعة :

نطبق القانون الثاني لنيوتن على مركز عطالة الكرية في المرجع المرجع السطحي الأرضي : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f} = m.\vec{a}$

بالإسقاط على محور الحركة $O\vec{z}$: $P - \Pi - f = m.a_z = m.a$

$$mg - \rho_a.V.g - k.v = m\frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = g\left(1 - \frac{\rho_a V}{m}\right) - \frac{k}{m}v \rightarrow \boxed{\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = g\left(1 - \frac{\rho_a V}{m}\right)}$$

3-3-1- عبارة التسارع الإبتدائي a_0 :

بما أن $v=0$ عند $t=0$ فإن : $\left(\frac{dv}{dt}\right)_0 = a_0 = g\left(1 - \frac{\rho_a V}{m}\right)$

حساب قيمة V حجم الكرية : $a_0 = g\left(1 - \frac{\rho_a V}{m}\right) \rightarrow 1 - \frac{\rho_a V}{m} = \frac{a_0}{g}$

$$1 - \frac{\rho_a V}{m} = \frac{a_0}{g} \rightarrow \frac{\rho_a V}{m} = 1 - \frac{a_0}{g} = \frac{g - a_0}{g}$$

$$V = \frac{m(g - a_0)}{g.\rho_a} = \frac{2,65\times10^{-3}(9,8-8)}{9,8\times1,3} = 3,74\times10^{-4}$$

$$\boxed{V = 3,74\times10^{-4} m^3}$$

3-3-2- عبارة $v_{\lim}$:

في النظام الدائم $v = v_{\lim}$ و $\frac{dv}{dt} = 0$ ، نعوض في المعادلة التفاضلية نجد : $\frac{k}{m}v_{\lim} = a_0 \rightarrow \boxed{v_{\lim} = \frac{m.a_0}{k}}$

حساب قيمة ثابت الإحتكاك k : $v_{\lim} = \frac{m.a_0}{k} \rightarrow k = \frac{m.a_0}{v_{\lim}} = \frac{2,65\times10^{-3}\times8}{6} = 3,53\times10^{-3}$

وحدة ثابت الإحتكاك k في الجملة الدولية بالتحليل البعدي: $k = \frac{f}{v} \rightarrow [k] = \frac{[f]}{[v]} = \frac{[P]}{[v]} = \frac{[m.g]}{[v]}$

$$[k] = \frac{[M][L][T]^{-2}}{[L][T]^{-1}} = [M][T]^{-1}$$

وحدة ثابت الإحتكاك k في الجملة الدولية هي $kg.s^{-1}$ ؛

و منه : $\boxed{k = 3,53\times10^{-3} kg.s^{-1}}$