LYCEE SEYDINA LIMAMOULAYE GUEDIAWAYE — ANNEE SCOLAIRE
CELLULE DE SCIENCES PHYSIQUES — TS1/TS3 — 2022/2023

COMPOSITION 1ER SEMESTRE SCIENCES PHYSIQUES TS1 / TS3 DUREE : 04 H

EXERCICE 1 — 2,5 POINTS

On traite une masse m = 2,0 g de carbonate de calcium par un volume V = 100 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire C = 100 mmol.L^{-1}. L'équation bilan de la réaction est :

$$CaCO_{3(S)} + 2\ H_3O^+_{(aq)} \longrightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + CO_{2(g)} + 3\ H_2O$$

Le dioxyde de carbone CO_2 formé est récupéré grâce à un montage approprié. Son volume noté V(CO_2) est mesuré à la température T = 293 K et sous la pression P = 101,3 kPa. Le graphe donnant les variations du volume de dioxyde de carbone V_{CO_2} en fonction du temps est donné par la courbe de la figure 1. On désigne par x le nombre de mole de $CaCO_3$ ayant réagi à chaque instant.

1.1 Exprimer V_{CO_2} en fonction de x, de la température T et de la pression P. (0,5 pt)

1.2. Montrer que l'expression de la vitesse volumique V de formation de CO_2 en fonction de V_{CO_2}, de la température T, de la pression P et du volume V_s de la solution est : $V = \frac{P}{RTV_S} \cdot \frac{d}{dt}(V_{CO_2})$ où R est la constante du gaz parfait . (0,5 pt)

1.3. Déterminer, en exploitant le graphe de la figure 1, la vitesse volumique de formation de CO_2 à l'instant t = 0 en mmol.L^{-1}.s^{-1}. La tangente à la courbe à l'instant t = 0 est tracée en pointillé sur la figure 1 (0,5 pt)

1.4. Trouver le temps de demi-réaction. (0,5 pt)

1.5. Déterminer la concentration en ions calcium dans la solution au temps de demi-réaction. (0,5 pt)

Données : R = 8,314 SI ; Masses molaires atomiques en g/mol : M (C) = 12 ; M(O) = 16 ; M (Ca) = 40

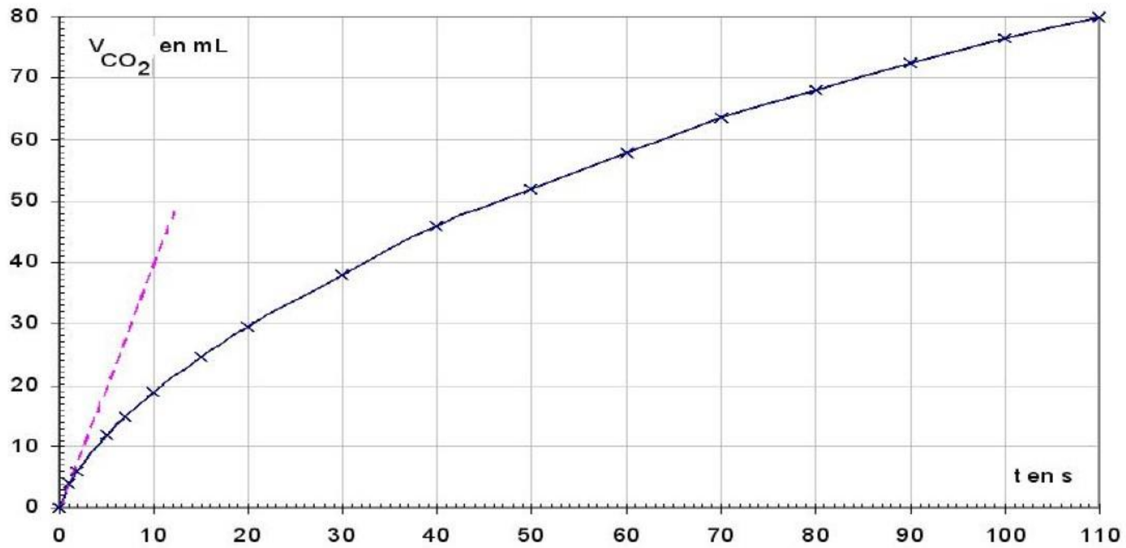

Figure 1.

EXERCICE 2 — 3,75 POINTS

M($Ca(OH)_2$) = 74 g.mol^{-1} ; *M*(HCl) = 36,5 g.mol^{-1} .

L'hydroxyde de calcium est utilisé dans le traitement de l'eau douce pour augmenter le pH de l'eau afin que les tuyaux ne se corrodent pas là où l'eau de base est acide, car il est autorégulateur et n'augmente pas trop le pH. L'acide chlorhydrique est le constituant principal du suc gastrique, liquide permettant la digestion et l'assimilation des aliments dans l'estomac. S'il est très concentré, l'acide chlorhydrique est extrêmement corrosif et ses fumées peuvent être toxiques.

Un groupe d'éléves du lycéé seydina limamoulaye s'interesse à deux produits qu'ils ont trouvé dans leur laboratoire : de l'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$ solide et une bouteille contenant une solution commerciale S_o d'acide chlorhydrique.

2.1. Les élèves décident de préparer une solution S_1 d'hydroxyde de calcium de concentration massique volumique C_1 dont le pH=12,3.

2.1.1. Ecrire l'équation de la dissociation de l'hydroxyde de calcium dans l'eau. (0,25 pt)
2.1.2. Trouver la masse d'hydroxyde de calcium à dissoudre par litre de solution pour préparer la solution S_1. (0,5 pt)
2.2. L'étiquette de la bouteille contenant la solution commerciale S_o d'acide chlorhydrique porte les indications suivantes : pourcentage massique 30,7% ; densité d=1,19 ; masse molaire M=36,5 g/mol. Les élèves veulent préparer un 500 mL de solution S_2 d'acide chlorhydrique de concentration molaire $C_2 = 1.10^{-1}$ mol.L^{-1}.
Décrire avec précision le mode opératoire (masse à peser ou volume à prélever, verrerie à utiliser, précautions à prendre) pour préparer la solution S_2. (0,5 pt)
2.3. Les élèves décident d'effectuer un dosage pour vérifier l'authenticité des indications de l'étiquette de la bouteille contenant la solution commerciale S_o d'acide chlorhydrique.
Ils prélèvent un échantillon de volume V= 10 mL de la solution S_2 qu'ils diluent dix fois pour obtenir une solution S_3 d'acide chlorhydrique de concentration molaire volumique C_A. Ensuite ils prélèvent un volume V_A = 20 mL de la solution S_3 qu'ils placent dans un bêcher pour effectuer son dosage par une solution d'hydroxyde de calcium de concentration molaire C_B= 1.10^{-2} mol.L^{-1}.
On note V_{BE} le volume de la solution d'hydroxyde de calcium qu'il faut verser pour atteindre l'équivalence acido-basique.
2.3.1. Définir l'équivalence pour une réaction entre un acide fort et une base forte. (0,25 pt)
2.3.2. Les élèves discutent du choix d'un dosage colorimétrique ou d'un dosage pHmétrique. Pour chacun de ces types de dosage préciser un avantage et un inconvénient. (0, 25 pt)
2.3.3. Montrer que lorsque le volume de la solution d'hydroxyde de calcium versé est la moitié du volume V_{BE}, on peut écrire que : $[H_3O^+] = \frac{2.C_A.C_B}{4.C_B + C_A}$ (0, 5 pt)
2.3.4. Pour $V_B = \frac{V_{BE}}{2}$ la mesure du pH donne 2,4. Trouver les valeurs de la concentration C_A ainsi que le volume V_{BE}. (0, 75 pt)
2.3.5. En déduire le pourcentage massique de la solution commerciale S_0 puis conclure. (0, 5 pt)

EXERCICE 3 — 5 POINTS

On considère le dispositif représenté à la figure 2 ci-contre.
Le solide A de masse m_1 = 200 g glisse sans frottement sur le plan incliné d'un angle α = 30° par rapport à l'horizontal. Il est relié au solide B de masse m_2 = 420 g par l'intermédiaire d'un fil inextensible, de masse négligeable passant sur la gorge d'une poulie (P), de masse négligeable, mobile sans frottement autour d'un axe horizontal. Un ressort (R) à spires non jointives, de masse négligeable, de longueur à vide ℓ_0 =25 cm et de constante de raideur k = 40 N.m^{-1} est fixé en E et est lié au solide A.

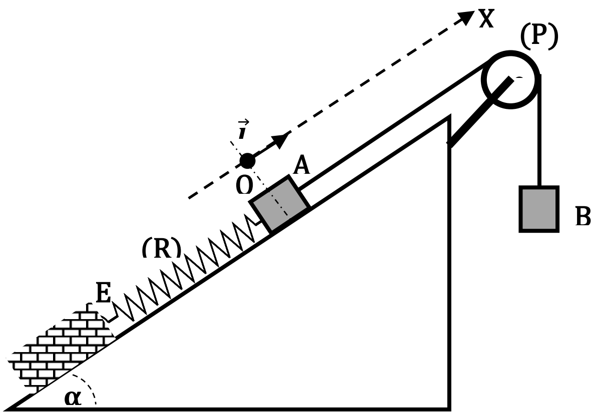

Figure 2

Le centre d'inertie du solide A et le centre d'inertie du solide B sont dans le même plan horizontal à l'équilibre.
La position, à l'équilibre du centre d'inertie du solide A, est prise comme état de référence pour les énergies potentielles de pesanteur ; pour l'énergie potentielle élastique, la référence est prise pour la position du ressort ni allongé ni comprimé. **On pendra g = 10 m.s^{-2}.**
3.1. On considère que le dispositif est en équilibre :
3.1.1. Faire le bilan des forces extérieures qui s'exercent sur le solide A. En déduire si le ressort est allongé ou comprimé. (0, 5 pt)
3.1.2. Représenter les forces extérieures qui s'exercent sur le solide A. Trouver la déformation x_0 du ressort à l'équilibre. (0, 75 pt)
3.2. Le système étant en équilibre, on déplace B verticalement vers le bas d'une longueur d = 5 cm puis on l'abandonne sans vitesse à la date t = 0.
3.2.1. Par une étude dynamique, Etablir l'équation différentielle régissant le mouvement du centre d'inertie du solide A. (1 pt)

3.2.2. La solution de cette équation différentielle est de la forme $\boldsymbol{x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi)}$:

5.2.2.1. Exprimer la pulsation propre ω_0 du mouvement en fonction de k, m_1 et m_2. En déduire l'expression et la valeur de la période propre du mouvement de A. (0, 5 pt)

5.2.2.2. Etablir l'équation horaire de l'élongation x du mouvement de A. On prendra pour origine des espaces la position de A à l'équilibre. On suppose que les deux brins de fil restent toujours tendus et que le fil ne glisse pas sur la poulie. (0, 5 pt)

3.2.3. Montrer que l'énergie cinétique et l'énergie potentielle sont des fonctions sinusoïdales de même pulsation ω_e que l'on exprimera en fonction de ω_0. (0, 75 pt)

3.2.4. Déterminer l'expression de l'énergie mécanique du système « ressort-solide A-solide B-Terre » à tout instant en fonction de $k,\ m_1,\ m_2,\ x, x_0\ \ et\ \ \dot{x} = \frac{dx}{dt}$. En déduire son expression en fonction de k, x_0 et x_m élongation maximale. (1 pt)

EXERCICE 4	**4,5 POINTS**

La théorie de Newton repose sur quatre lois fondamentales qui ont servi à décrire et à prédire le mouvement d'objets observables dans l'univers, y compris celui des planètes de notre système solaire. Ces lois sont utilisées dans toutes les autres branches de la physique ainsi d'ailleurs que dans la plupart des autres sciences de la matière. Ces lois fondamentales sont présentées sous les noms :

- Principe de l'inertie
- Relation fondamentale de la dynamique ou théorème du centre d'inertie
- Principe de l'action et de la réaction
- Loi de gravitation.

4.1 Mouvement circulaire d'un satellite autour d'une planète

La planète Saturne possède plusieurs anneaux qui l'entourent. Dans ces différents anneaux se déplacent des satellites suivant des mouvements circulaires.

On considère Janus, un des satellites de de Saturne. Janus sera assimilé à un point matériel de masse m, distant de r = $159.10^3 km$ du centre de Saturne de masse M. La seule force à considérer est la force d'interaction gravitationnelle entre les deux corps. On considère que le satellite décrit un mouvement circulaire autour du centre de masse de la planète avec une période de révolution T= 17 h 58 mn.

4.1-1 Enoncer la loi de la gravitation universelle. (0, 25 pt)

4.1-2 Par application de la deuxième loi de Newton, montrer que le mouvement du satellite est uniforme. On précisera le référentiel d'étude. (0, 5 pt)

4.1-3 Etablir l'expression de la vitesse du satellite en fonction de G, r et M. (0, 25 pt)

4.1-4 Etablir l'expression de sa période T et retrouver la troisième loi de Kepler : $\frac{T^2}{r^3}$ = constante. (0, 5 pt)

4.1-5 Déterminer la masse de la planète Saturne. (0, 5 pt)

4.2 Nature exacte de la trajectoire d'un satellite autour d'une planète

La trajectoire générale d'un satellite autour d'une planète est une conique (cercle, parabole, hyperbole ou ellipse)

4.2.1. On considère la force de gravitation exercée par une planète A de centre A sur le satellite de centre B : $\vec{F}_{A/B} = F_G = -\ G\ \frac{m_A m_B}{r^2}\ \vec{u}_{AB}$ (figure 2) où m_A masse de la planète et m_B masse du satellite

et $\vec{u}_{AB} = \vec{e}_r = \frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|} = \frac{\vec{r}}{\|\vec{r}\|}$; soit $\vec{r} = \overrightarrow{AB}$

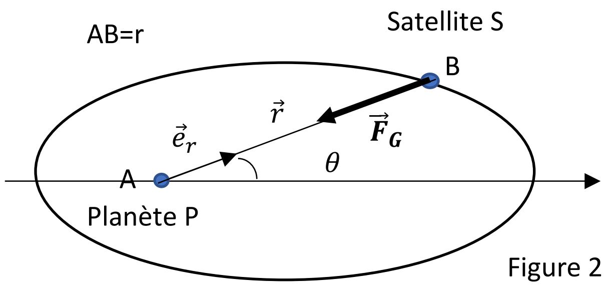

Figure 2

Le satellite est assimilé à un point et sa trajectoire est elliptique. On établit que l'accélération $\vec{a}$ du satellite est telle que : $\vec{a} = -C^2u^2\left[\frac{d^2u}{d\theta^2} + u\right]\vec{e}_r$; θ est la coordonnée angulaire voir figure 2

avec u = $\frac{1}{r}$; C = r v = constante avec v la vitesse du satellite ;

4.2-1-1- A partir du théorème de centre d'inertie, écrire l'équation différentielle régissant le mouvement du satellite en fonction des variables u , θ et des constantes C , G et m_P masse de la planéte. (0, 75 pt)

4.2-1-2- On établit que la solution de l'équation différentielle peut s'écrire sous la forme :

$r(\theta) = \frac{p}{1+e\cos\theta}$; où p et e sont des constantes.

Déterminer l'expression de p en fonction en fonction de C, G et mp. (0, 5 pt)

4-2-2-le satellite est un satellite terrestre et il est lancé à partir d'un point M_0 ($\theta = 0$) de rayon $r_0 = R_T$ +h et avec la vitesse v_1= 14 km.s^{-1} ,(R_T= 6400 km et h = 180 km) pour atteindre une nouvelle trajectoire de rayon r.

4-2-2-1- Montrer que $p = \frac{r_0^2 v_1^2}{GM_T}$ et faire l'application numérique avec $M_T = 6{,}02.10^{24} kg$. (0, 5 pt)

4-2-2-2-A partir des données initiales et de l'équation : $r = \frac{p}{1+e\cos\theta}$, déterminer la valeur de e (0, 5 pt)

4-2-2-3- En déduire la nature de la trajectoire en tenant compte des informations consignées dans le tableau ci-après

(0, 25 pt)

Valeur de e	0	< 1	1	> 1
Nature de la trajectoire	cercle	ellipse	parabole	hyperbole

EXERCICE 5 — 4,5 POINTS

5.1 L'atome d'hydrogène : étude dynamique

L'atome de BOHR, est un modèle de l'atome d'hydrogène : on suppose que l'électron est en mouvement circulaire uniforme autour du noyau constitué par le proton et supposé immobile. Soit r le rayon de la trajectoire de l'électron.

5.1.1 Donner l'expression de la norme de la force électrostatique exercée par le proton sur l'électron. (0,25)

5.1.2 Appliquer la deuxième loi de Newton à l'électron et en déduire l'expression de son énergie cinétique E_c en fonction de k, e et r. (0,5)

5.1.3 Exprimer le travail élémentaire de la force électrostatique s'exerçant sur l'électron pour une variation élémentaire dr du rayon de sa trajectoire. En déduire l'expression W du travail de cette force , sachant que l'électron se déplace en réalité dans un volume tel que le rayon passe de r_1 à r_2. Que peut-on dire de la force électrostatique ? (0,75)

5.1.4 En considérant la relation entre la variation ΔE_p de l'énergie potentielle électrostatique et le travail W, montrer que l'énergie potentielle de l'atome est $E_p = -\frac{ke^2}{r}$ où r est la distance noyau – électron, en choisissant l'infini comme référence. (0,5)

5.1.5 Exprimer l'énergie mécanique totale E du système noyau – électron, en fonction de k, e, r. (0,5)

5.2. Quantification

La mécanique quantique donne le moment de la quantité de mouvement de l'électron : $mvr = n\frac{h}{2\pi}$,

m étant la masse de l'électron ; v sa vitesse ; h étant la constante universelle de Planck et n le nombre quantique principal (entier naturel).

5.2.1. Exprimer r et E en fonction de k, m, e, n, h. (0,5)

5.2.2. Calculer r_1 en mètre et en micromètre, E_1 en joule et en eV, lorsque n = 1. (0,5)

5.2.3. Montrer que l'énergie de l'atome peut s'écrire $E_n = -\frac{A}{n^2}$, où A sera exprimé en joules puis en électron-volts. (0,5)

5.2.4. On considère l'atome d'hydrogène excité (n = 4), il se désexcite en revenant à l'état fondamental. Calculer la variation d'énergie de l'atome et la longueur du photon émis. (0,5)

Données : Constante de Planck $h = 6{,}62.10^{-34}$ J.s ; charge élémentaire $e = 1{,}6.10^{-19}$ C ;
masse de l'électron $m = 9\ .10^{-31}$ kg ; $k = 9.10^{9}$ S.I.

FIN DU SUJET