

TS1 et TS2

Devoir Surveillé de PHYSIQUE CHIMIE

Date : 08/02/13 | Durée : 3h30 | Calculatrice : autorisée | Exercice à ne pas traiter pour les spé : 1

Consignes : L'exercice de spécialité fait l'objet d'un texte à part ; **rendre une copie séparée** au nom du professeur.

La présentation sera soignée, les résultats demandés encadrés, tout résultat non justifié ne sera pas pris en compte.

Chaque exercice sera rédigé sur une copie particulière

Aucun sujet ne sera introduit dans les copies dont chaque feuille sera nominative.

Les éventuels documents à compléter seront recopiés ou découpés et collés sur la copie, aucune feuille volante ne sera prise en compte.

Exercice 1 : L'accélérateur de Widerøe

Document 1 : Présentation des accélérateurs linéaires.

Un accélérateur linéaire, couramment appelé LINAC, envoie contre une cible un faisceau de particules chargées, d'énergie déterminée. Il en existe plusieurs sortes : Cockcroft-Walton, Van de Graaf, tandem, etc. En 1928, le physicien norvégien Rolf Widerøe (1902-1996) développe un dispositif qui accélère des ions de potassium en utilisant un générateur de 25,0 kV et de 1,00 MHz.



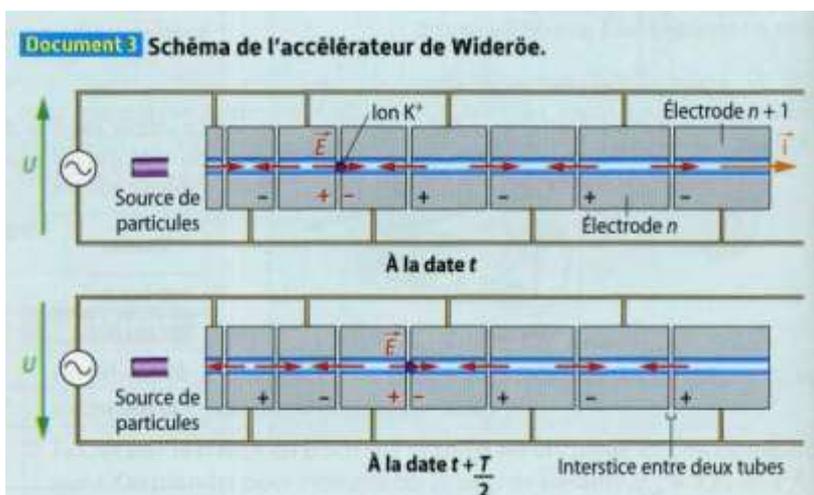
Document 2 Principe des accélérateurs de type Widerøe-Alvarez.

Dans une enceinte où règne un vide poussé, on fait passer un flot de particules chargées dans une série de tubes métalliques. Ces tubes sont des électrodes reliés successivement aux bornes d'une source de tension alternative $u(t) = U \sin(2\pi ft)$ dite radiofréquence. Cette tension crée un champ électrique axial dans les interstices qui séparent les tubes, ce qui a pour effet d'accélérer les particules présentes dans les intervalles. On peut considérer qu'à l'intérieur des tubes, le champ est nul et que les particules s'y déplacent à vitesse constante.

D'après <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/accelin.html>

Le temps mis par les particules pour traverser un tube doit être exactement la moitié de la période de la source alternative pour assurer le changement de polarité. Entre ces électrodes, il y a un espace. Dans cet espace, la particule accélérera en raison des polarités qui ont changé. Par exemple, une particule de charge négative entre dans une électrode positive, l'électrode suivante est alors négative. Elle dérive pendant une demi-période dans l'électrode. Quand elle s'apprête à sortir, l'électrode est devenue négative et l'électrode suivante positive. La particule est donc accélérée vers l'électrode suivante, et ainsi de suite.

D'après <http://feynman.phy.ulaval.ca/marleau/pp/04accelerateurs/AccelerateursdeParticules.htm>



Questions

Répondre à l'aide de ses connaissances et des documents.

1. Entre la sortie A d'une électrode et rentrée B de l'électrode suivante règne un champ électrique que l'on considère homogène et statique : $\vec{E} = E_0 \vec{T}$ avec $E_0 = \frac{V_A - V_B}{AB}$. Un ion potassium K^+ supposé ponctuel de masse $m = 6,48 \times 10^{-26}$ kg et de charge $q = 1,60 \times 10^{-19}$ C se déplace de A à B ($\vec{AB} = AB \vec{T}$)

- Déterminer l'expression du travail de la force électrique exercée sur l'ion de A à B en fonction de E_0 .
- En déduire la variation d'énergie cinétique de l'ion entre A et B en fonction de q et $U = V_A - V_B$.

2. L'ion entre en B avec la vitesse $\vec{v} = v \vec{T}$ dans une électrode et en sort en C. Quelle doit être la longueur BC de l'électrode ?

3. Dans l'expérience de Wideröe, l'ion entre dans l'accélérateur avec une vitesse initiale quasiment nulle.

- Exprimer la vitesse v de l'ion à l'entrée de la $(n + 1)^e$ électrode. Effectue l'application numérique pour $n = 6$.
- Quelle est donc la longueur de la $(n + 1)^e$ électrode ? Effectuer l'application numérique pour n variant de 1 à 5.

Exercice 2 : De la Terre au trou noir central de notre galaxie

Document 1 : Hypathie d'Alexandrie et l'orbite terrestre

Dans le film *Agora* (2009), le réalisateur Alejandro Amenábar fait revivre Hypathie d'Alexandrie, mathématicienne et astronome reconnue au IV^e siècle après Jésus-Christ. Elle serait la première à avoir, par des mesures de navigation, proposé la théorie du système héliocentrique : la Terre tourne autour du Soleil, non en faisant des cercles, mais en faisant des ellipses.

L'ellipse est l'ensemble des points dont la somme des distances aux points F_1 et F_2 , appelés foyers, est constante ; tout point M de l'ellipse vérifie :

$$F_1M + F_2M = \text{constante}$$

On donne (figure 1) le vocabulaire « géométrique » de l'ellipse.

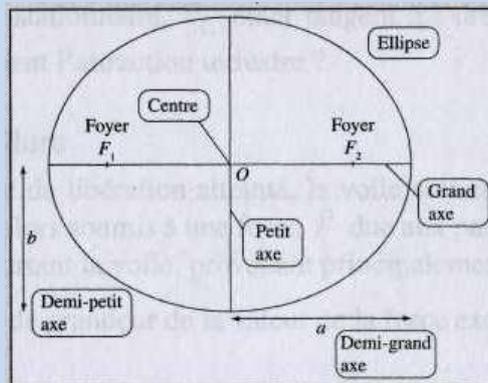


Figure 1

Document 2 : Kepler [1571-1630] et les orbites des planètes

Johannes Kepler a étudié l'hypothèse héliocentrique (la Terre tourne autour du Soleil) de Nicolas Copernic, et découvert que les planètes ne tournent pas en cercles parfaits autour du Soleil, mais en suivant des ellipses. En utilisant les observations très précises réalisées par l'astronome Tycho Brahé, Kepler établit les trois lois qui portent son nom.

En 1609, viennent les deux premières lois :

- 1^{re} loi de Kepler: les planètes décrivent des trajectoires elliptiques dont le Soleil est un foyer.

La trajectoire de la Terre autour du Soleil n'est pas exactement un cercle, mais une ellipse dont le Soleil est un des foyers. On appelle périhélie le point le plus proche du Soleil sur cette ellipse ; on appelle aphélie le point le plus éloigné du Soleil sur cette ellipse.

- 2^e loi de Kepler : le mouvement de chaque planète est tel que le segment de droite reliant le Soleil et la planète balaie des aires égales pendant des durées égales

- En 1618 viendra la troisième loi de Kepler : pour toutes les planètes, le rapport entre le cube du demi-grand axe de la trajectoire et le carré de la période est le même, et cette constante est indépendante de la masse de la planète.

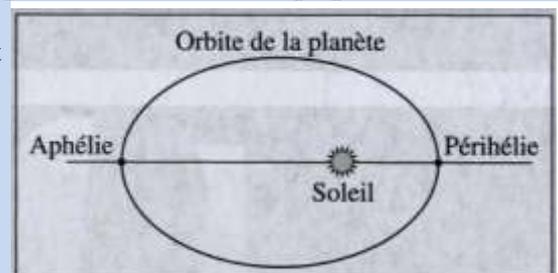
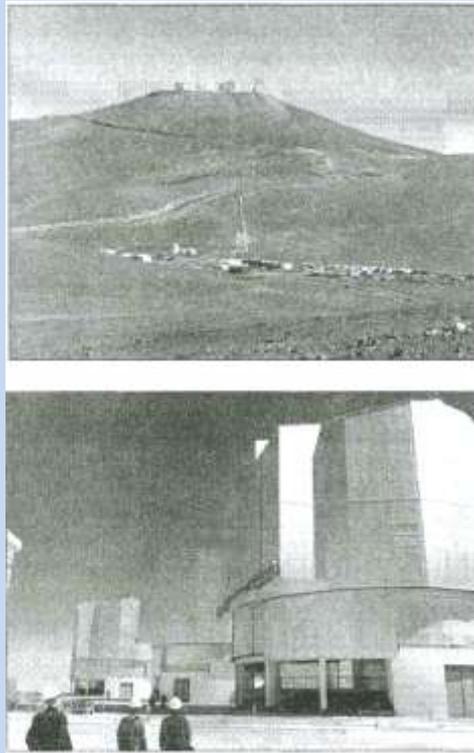


Figure 2

Document 3 : Le Very Large Telescope (Chili) et l'orbite d'une étoile autour du trou noir central de notre galaxie



Le VLT, mont Paranal, désert d'Atacama, Chili

© Michel Faye, avril 2012

Le *Very Large Telescope* (VLT) est un ensemble de quatre télescopes principaux et quatre auxiliaires à l'Observatoire du Cerro Paranal, situé dans le désert d'Atacama au nord du Chili, à une altitude de 2 635 mètres. Il a été réalisé par l'Observatoire européen austral (ESO). Il permet l'étude de l'Univers dans les longueurs d'onde allant de l'ultraviolet à l'infrarouge.

C'est en observant une étoile proche du centre de notre galaxie qu'une équipe internationale comprenant des astronomes de l'Observatoire de Paris et de l'Observatoire de Grenoble a mis en évidence de façon quasi certaine l'existence au centre de notre galaxie d'un trou noir. Pour arriver à cette conclusion, ils ont montré que le mouvement de l'étoile S2 proche de l'objet central massif SgrA* (une source qui n'est détectable qu'aux longueurs d'onde radio) se fait suivant une orbite elliptique (figure 3), analogue à celles que décrivent les planètes autour du Soleil.

D'après <http://wwwv.obspm.fr/actual/nouveile/ocr02/galcent.fr.shtml>

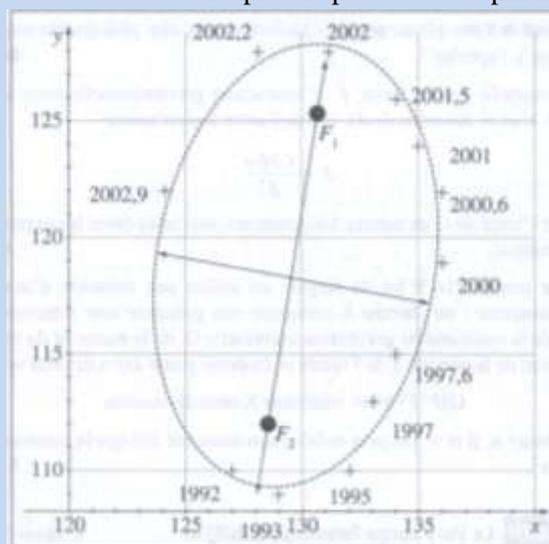


Figure 3 - Relevé des positions de l'étoile S2, combinaison de diverses observations (VLT et autres observatoires de l'ESO)

F_1 et F_2 sont les foyers de l'ellipse. Les échelles (x ; y) sont des coordonnées d'écran en pixels. Par contre, on a reporté, à côté de chaque position de l'étoile, la date du pointé, en années. Ainsi, 2002,9 correspond à l'année 2002, accomplie au 9/10 de sa durée.

D'après <http://science.faye.free.fr>

Partie 1 : Hypathie d'Alexandrie et l'orbite terrestre

1. Quand la Terre est au périhélie, est-ce l'hiver ou l'été à Paris ? Expliquer.
2. Comment expliquer que, lorsque c'est l'hiver dans l'hémisphère Nord, c'est l'été dans l'hémisphère Sud ?

Partie 2 : Kepler (1571-1630) et les orbites des planètes

1. Quand la Terre est au périhélie, sa vitesse est-elle plus grande ou plus petite qu'à l'aphélie ?
2. On rappelle que la force \vec{F} d'interaction gravitationnelle entre deux masses M et m distantes de d l'une de l'autre a pour norme :

$$F = \frac{GMm}{d^2}$$

Donner l'unité de G en mètres, kilogrammes, secondes (avec les exposants convenables).

3. Pour préciser la 3^e loi de Kepler, on utilise une méthode d'analyse dimensionnelle ; on cherche à construire une grandeur sans dimension à l'aide de la constante de gravitation universelle G , de la masse M du centre attracteur, de la période T de l'orbite et du demi-grand axe a de cette orbite.

$GM^\alpha T^\beta a^\gamma = \text{constante } K \text{ sans dimension}$

Déterminer α , β et γ . On peut établir (non demandé ici) que la constante K vaut $4\pi^2$.

Partie 3 :Le Very Large Telescope [Chili] et l'orbite d'une étoile autour du trou noir central de notre galaxie

Le trou noir central de notre galaxie occupe un des foyers de l'ellipse de la **figure 3**.

1. Établir, à l'aide des informations portées sur cette figure, si le trou noir se trouve en F_1 ou en F_2 .
2. D'après la **figure 3**, estimer la période de la rotation de l'étoile S_2 autour du trou noir central de notre galaxie.

Les enregistrements qui ont permis de construire la trajectoire de l'étoile S_2 donnent $2a = 19,5$ pixels pour une échelle définie par 22 pixels = 1 jour-lumière.

3. Calculer, en mètres, la valeur du jour-lumière. On notera c la vitesse de la lumière dans le vide et on prendra $c = 300\,000 \text{ km.s}^{-1}$

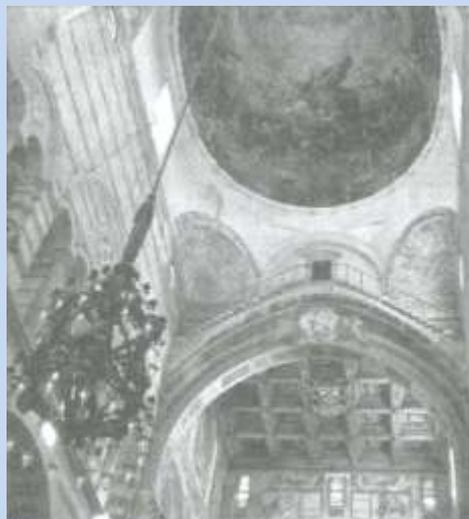
4. Données :

- $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ S.I. (unité déterminée à la question 2 de la partie II)}$
- masse du Soleil : $M_s = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$.

Déduire des données la masse du trou noir central de notre galaxie. Comparer le résultat à la masse du Soleil et juger de l'acceptabilité de ce résultat.

Exercice 3 : Une seconde pour tuer le temps

Document 1 :La seconde au XVII^e siècle - Galilée et les pendules

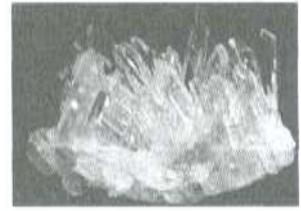


À l'âge de dix-neuf ans, Galilée découvre, en chronométrant à l'aide de son pouls, la régularité des oscillations des lustres se balançant sous la voûte de la cathédrale de Pise. De retour chez lui, il compare les petites oscillations de deux pendules et travaille à la loi de l'isochronisme des pendules : la durée d'un aller-retour ne dépend que de la longueur du pendule.

Document 2 : La seconde au début du XX^e siècle - Les horloges à quartz

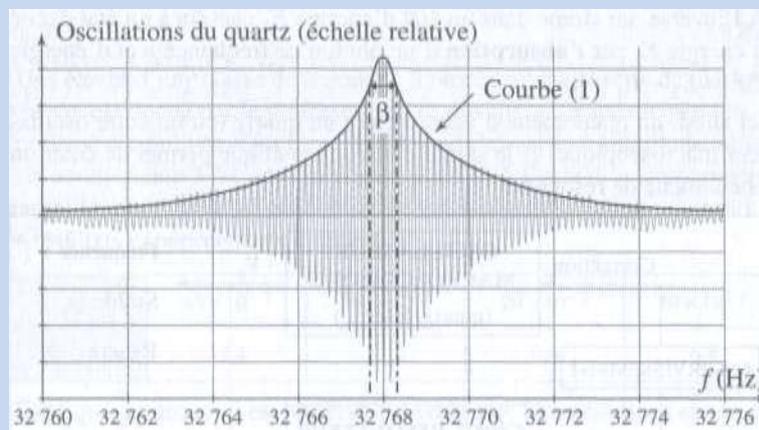
Aussi impressionnantes fussent-elles, les horloges de Shortt à balancier furent détrônées par un type complètement nouveau de « garde-temps », les horloges à quartz. Sur la Terre, le quartz, principalement du dioxyde de silicium, est le second minéral par son abondance: c'est un constituant essentiel de nombreux sables et roches.

Quand il est pur, il se présente sous la forme de cristaux transparents d'aspect vitreux. Le principe des oscillateurs à quartz n'est pas plus compliqué que celui d'une cloche.



Quand on la heurte, une cloche sonne avec une note musique bien précise. Cette note dépend de la forme et de la taille de la cloche, ainsi que du matériau qui la compose. Les oscillateurs à quartz comportent un cristal de quartz vibrant qui fournit une note de musique de très haute fréquence, en général inaudible, car elle se situe dans le domaine des ultrasons. La fréquence de cette note dépend de la forme et de la taille de la fine tranche de cristal de quartz utilisée, et elle est extrêmement stable.

Ce sont les propriétés « piézoélectriques » du quartz qui le rendent si adapté à être utilisé comme pendule. Quand on comprime un cristal de quartz, une tension électrique apparaît entre ses faces. À l'inverse, si on soumet ses faces à une tension électrique, le cristal se contracte ou se dilate. Ainsi, un cristal de quartz qui vibre à une certaine fréquence produit un signal électrique qui a exactement la même fréquence. Ce signal peut être redirigé sur le cristal pour le contraindre à osciller. Un tel oscillateur à cristal est donc constitué d'un cristal qui vibre comme une cloche, et d'un circuit électrique qui vibre en cadence avec lui : on dit que le quartz entre en **résonance** avec le circuit électrique. L'amplitude de l'oscillation est alors maximale (voir figure). La largeur (en fréquence) β est appelée bande passante. Dans les horloges ou les montres à quartz modernes, la fréquence la plus souvent retenue est de 32 768 Hz (32 768 oscillations par seconde). Ce choix n'est pas dû au hasard. En divisant quinze fois par deux cette fréquence, à l'aide de circuits électroniques, on obtient une fréquence d'un coup par seconde. Les premières horloges à cristal apparurent en 1927 et, à la fin des années 1930, elles avaient remplacé les horloges de Shortt comme étalon de fréquence dans les laboratoires.



Aujourd'hui, les horloges à quartz sont omniprésentes. Toutes les montres à pile, les réveils fixes ou de voyage ont des oscillateurs à quartz. Certaines sont si précises qu'elles n'ont pas besoin d'être réglées entre deux échanges de pile. Bien que les horloges à quartz aient été dépassées par les horloges atomiques pour les applications nécessitant la plus grande précision, elles constituent un maillon essentiel pour la conservation d'une heure précise.

Tony Jones, *Combien dure une seconde*, EDP Science

Document 3 : La seconde « atomique » - Les horloges atomiques

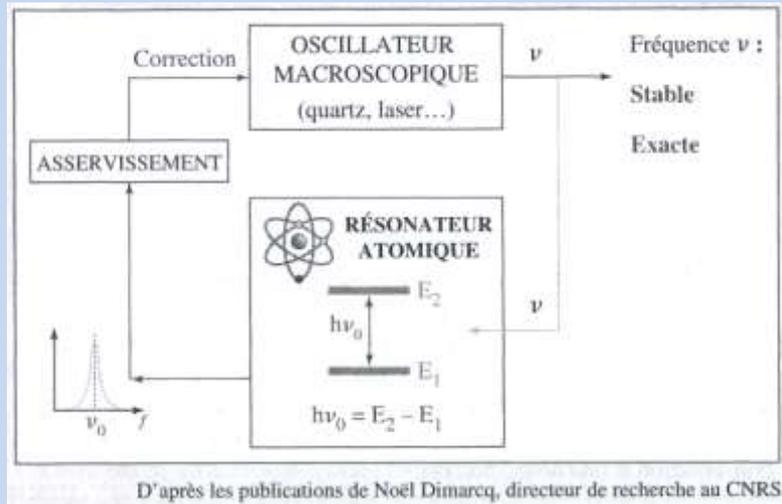
Une **horloge atomique** est une horloge qui utilise la pérennité et l'immutabilité de la fréquence du rayonnement électromagnétique émis par un électron lors du passage d'un niveau d'énergie à un autre pour assurer l'exactitude et la stabilité du signal oscillant qu'elle produit. Un de leurs principaux usages est le maintien du Temps atomique international (TAI) et la distribution du Temps universel coordonné (UTC), qui sont les échelles de temps de référence.

Processus énergétiques atomiques

Un atome passant d'un état d'énergie excité E_2 à un autre état d'énergie E_1 plus faible (tel que $E_2 > E_1$ et $\Delta E = E_2 - E_1$) émet un photon de fréquence ν telle que : $\nu = \frac{\Delta E}{h}$ avec $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J.s la constante de Planck. C'est le processus **d'émission spontanée**.

À l'inverse, un atome dans un état d'énergie E_1 passera à un état excité d'énergie E_2 par l'absorption d'un photon de fréquence ν et d'énergie $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$.

Ici aussi, un phénomène d'accord entre un quartz (ou un autre oscillateur macroscopique) et le signal électromagnétique permet de créer un phénomène de résonance.



Partie 1 : La seconde au XVII^e siècle

- Schématiser un pendule à l'équilibre et représenter les forces appliquées.
- Que peut-on dire concernant ces forces à l'équilibre ? Justifier.
- À quelles conditions les oscillations du pendule simple sont-elles isochrones ?
- Pour un amortissement faible, la pseudo-période d'un pendule simple est voisine de la période propre dont l'expression est :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

avec g l'accélération de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

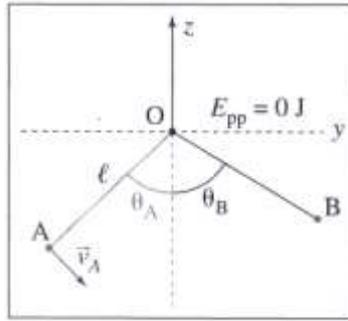
Que représente la grandeur l dans l'expression de la période propre du pendule ?

- Des élèves d'une classe de terminale S procèdent à une série de mesures. Le protocole donné par le professeur est le suivant : « Écarter le pendule de sa position d'équilibre et faire osciller le pendule avec une amplitude initiale égale ou inférieure à 20° et sans vitesse initiale. À l'aide d'un chronomètre, mesurer la durée Δt de 10 oscillations, c'est-à-dire de 10 allers et retours ». Les résultats expérimentaux donnent :

L(m)	45×10^{-2}	30×10^{-2}	20×10^{-2}	10×10^{-2}
Δt (s)	13,4	11,0	9,0	6,4

- Expliquer pourquoi il est préférable de mesurer 10 oscillations et non pas une seule.
 - On préconise aussi fréquemment de réaliser pour chaque longueur au moins trois mesures et de prendre la moyenne. Pourquoi ?
 - Tracer, sur une feuille de papier millimétré, la courbe $T_0 = f(\sqrt{l})$ en utilisant les échelles suivantes : 2 cm pour $0,050 \text{ m}^{1/2}$ et 1 cm pour 0,10 s.
 - À partir de la courbe obtenue, montrer que l'expression théorique de la période propre d'un pendule simple est vérifiée.
- Pour mesurer le temps, on utilise un pendule qui « bat la seconde », c'est-à-dire qu'un aller dure une seconde. Quelle doit être la longueur du pendule utilisé ?

7. L'un des élèves réitère l'expérience précédente en écartant un pendule de longueur $l = 20 \text{ cm}$ de $\theta_A = 20^\circ$ mais en lui communiquant une vitesse initiale $v_A = 1,0 \text{ m.s}^{-1}$ (voir ci-après).



Il atteint alors le point B avec une vitesse nulle. Les frottements seront supposés négligeables.

- Établir les expressions des altitudes z_A et z_B en A et B dans le repère (Oz) en fonction de l , θ_A et θ_B .
- En déduire les expressions des énergies potentielles de pesanteur du pendule en A et en B , le niveau de référence étant placé en O .
- Donner les expressions des énergies mécaniques du pendule en A et B .
- En déduire l'expression de l'angle maximum θ_B atteint par le pendule. Calculer sa valeur.

Partie 2 : La seconde au début du XX^e siècle

L'avènement des semi-conducteurs et des circuits intégrés, dans les années 1950, a permis la miniaturisation des horloges à quartz.

1. Il est possible, en utilisant un dispositif approprié, d'étudier les oscillations du quartz en fonction de la fréquence imposée par l'oscillateur électrique. On obtient le graphique du **document 2**, sur lequel est indiquée la grandeur β , appelée largeur de la bande passante.

a. Quel est le phénomène physique illustré par cette courbe du **document 2** ?

b. À l'aide de la figure du **document 2**, déterminer la fréquence propre f_0 d'oscillations du quartz.

c. Le facteur de qualité d'un oscillateur, noté Q , est défini par : $Q = \frac{f_0}{\beta}$ il permet de caractériser l'amortissement des oscillations :

- si Q est grand devant 1 ($Q > 10$), alors la courbe de résonance est pointue et l'amortissement est considéré comme faible ;
- si Q est de l'ordre de l'unité ou inférieur à 1, alors la courbe de résonance est aplatie et l'amortissement est considéré comme fort.

Calculer Q , puis indiquer si l'amortissement est faible ou fort pour la figure du **document 2**.

2. Un dispositif appelé « diviseur de fréquence », placé après le quartz, permet d'obtenir un signal de fréquence égale à 1 Hz cadencant un petit moteur animant la trotteuse d'une montre (aiguille indiquant les secondes). La fréquence f_0 est alors divisée par 2^n , où n est un entier positif. Déterminer n pour obtenir un signal de fréquence égale à 1 Hz.

Partie 3 : La seconde « atomique »

Depuis 1968, la seconde est : « la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133, au repos et à 0 K ».

1. Un atome passant d'un état d'énergie excité E_p à un autre état d'énergie plus faible E_n émet un photon de fréquence ν . Donner la relation entre les énergies E_p , E_n et la fréquence ν .

2. Donner la valeur de la fréquence ν correspondant à la transition électronique définissant la seconde.

3. Calculer la variation d'énergie $E_p - E_n$ correspondant à la valeur de ν obtenue à la question précédente. Exprimer le résultat en joules et en électronvolts.

Données : constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$; $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

4. L'incertitude d'une horloge atomique à « fontaine » de césium est de $5 \times 10^{-16} \text{ s}$. Dans quel domaine d'application a-t-on besoin d'une telle précision

Subject de Spécialité Physique- Chimie
DS du

Cet exercice doit être rédigé sur une copie à part précisant le nom du professeur auquel elle est destinée et répond aux mêmes consignes que les autres exercices.