EIVP – CONCOURS INTERNE - PHYSIQUE – 2016

Durée : 4 heures – Sans document ni téléphone portable - Calculatrice autorisée

- Le barème tient compte des qualités de rédaction et de présentation de la copie.
- Si un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et indique les initiatives qu'il est amené à prendre.
- Tout commentaire est le bienvenu, même lorsqu'il n'est pas explicitement demandé.
- Les résultats numériques seront donnés avec une précision de 10^{-2}.
- Dans tout le problème, *Exprimer* signifie conventionnellement *Donner* l'expression littérale et *Calculer* signifie conventionnellement *Donner* la valeur numérique.

Première partie

Problème : Séparation isotopique (7 points)

Introduction

La séparation isotopique est un procédé permettant de séparer deux isotopes d'un même élément chimique présents dans le même corps (solide, liquide ou gaz) afin d'enrichir celui-ci d'un des isotopes. (cf « enrichissement de l'uranium »).

On souhaite ainsi séparer les deux isotopes du brome $_{79}$Br et $_{81}$BR à l'aide du dispositif de la figure 1.

Une chambre d'ionisation permet d'ioniser les atomes du brome en ions Br^-. Ils en ressortent avec une vitesse pratiquement nulle. A la sortie de la fente, les ions sont accélérés dans une chambre d'accélération par un champ électrostatique uniforme entre deux plaques chargées. La tension entre ces deux plaques vaut $U_0 = 4000$ V.

A travers une seconde fente, les ions pénètrent avec une vitesse v_0 dans une chambre de déviation où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, d'intensité B = 0,1 T, perpendiculaire au plan de la figure.

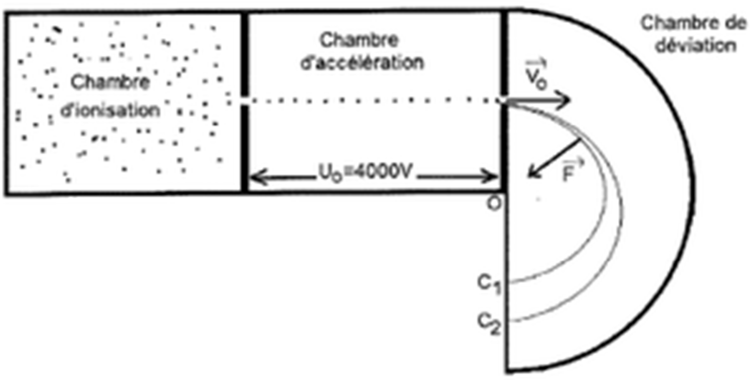

Figure 1

Source : http://www.ilephysique.net/sujet-electrostatique-separation-des-deux-isotopes-du-brome-265693.html

1.1 Rappeler la définition d'un isotope et expliquer en quoi différent les deux isotopes du brome.

1.2 Calculer les masses m_1 et m_2 respectives des $_{79}Br$ et $_{81}BR$.

1.3 Quelle-est la nature du mouvement dans la chambre d'accélération ?

1.4 Quel signe doit avoir le potentiel électrique U_0 à la sortie de cette chambre ?

1.5 Montrer que quel que soit l'isotope, les ions pénètrent dans la chambre d'ionisation avec la même énergie cinétique E_c. Calculer la valeur de E_c. Les ions ont-ils la même vitesse ?

1.6 Donner le sens du vecteur $\vec{B}$ afin de permettre aux ions d'être déviés vers le bas du schéma.

1.7 Rappeler, pour le mouvement plan quelconque, l'expression de la vitesse et de l'accélération d'un point mobile M en coordonnées polaires (r, θ) et vecteurs de base ($\vec{e}_r, \vec{e}_\theta$).
On posera $\overrightarrow{OM}$ = r $\vec{e}_r$

1.8 Quelle-est la nature du mouvement ? Dans ces conditions, que deviennent les vitesse et accélération exprimées précédemment.

1.9 Exprimer le rayon de courbure R de la trajectoire en fonction de la masse m de l'ion, de sa charge e, de la tension accélératrice U_0 et du champ magnétique B. Calculer les rayons respectifs R_1 et R_2. (On considère que le poids des ions est négligeable par rapport aux forces électrostatique et magnétique qui s'exercent sur eux).

1.10 Calculer la distance séparant les positions d'impact des ions, C_1 et C_2 sur le collecteur.

1.11 Où placer la fente permettant de recueillir de recueillir l'isotope $_{81}BR$? Quelle doit être sa largeur maximum ?

Fin du problème

Deuxième partie

Exercices

1. Gaine de plasma, longueur de Debye et notion d'écrantage (2 points)

Introduction

Un plasma est un gaz constitué d'un mélange de particules neutres, d'ions positifs (atomes ou molécules ayant perdu un ou plusieurs électrons) et d'électrons négatifs.
Un plasma est électriquement neutre et ses particules interagissent les unes avec les autres.
La longueur de Debye définit la longueur sur laquelle les ions présents font écran au champ électrique généré par les électrons. De manière équivalente, la longueur de Debye caractérise l'épaisseur de la double couche électrique.

Exercice

Un « demi-plasma », de densité de charges n_e occupe initialement le demi-espace gauche (x ≤ 0). Lorsqu'on laisse les électrons se mouvoir, ils ont tendance à occuper l'espace situé à droite x > 0 de la frontière initiale (interface plasma-vide) du fait de l'agitation thermique. Si on suppose qu'une couche électronique d'épaisseur x se déplace d'une distance x, il se forme un champ $\vec{E}$ au bord du plasma.

1.1 Que vaut le champ électrique ?

1.2 Que vaut l'énergie potentielle à la distance x ?

1.3 Pour quelle valeur de x cette énergie est égale à l'énergie thermique ? (On appelle cette longueur : longueur de Debye, notée λ_D).

2. Palet en rotation sur un plan (4 points)

Un palet de masse M relié par un fil tourne autour d'un axe de centre O sur un plan ; On néglige les frottements. Sa position est repérée par ses coordonnées polaires r et θ dans la base $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$. Le fil passe par un trou à l'origine O (figure 2).
Un expérimentateur lance le palet à la distance r_0 du point O avec la vitesse tangentielle initiale v_0 (on prendra $\theta(0) = 0$), puis tire sur le fil, à une vitesse constante V, de façon à rapprocher régulièrement le palet du point O.

2.1 Donner l'expression du rayon r(t) en fonction du temps.
2.2 Donner l'expression de θ(t) en fonction du temps.
2.3 Exprimer en fonction du temps la force de traction que l'expérimentateur doit exercer.
2.4 Exprimer de deux façons différentes le travail de traction que l'expérimentateur doit fournir pour amener le palet de la distance r_0 à la distance r_1.

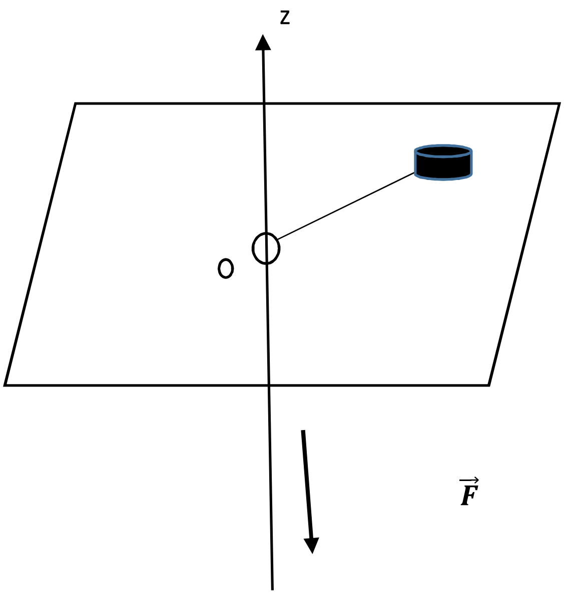

Figure 2

3. Etude du cycle de Lenoir (5 points)

L'état initial d'une mole de gaz parfait diatomique est caractérisé par $P_0 = 2.10^5$ Pa, $V_0 = 14$ L. On fait subir successivement à ce gaz :

- Une détente isobare qui double son volume.
- Une compression isotherme qui le ramène à son volume initial.
- Un refroidissement isochore qui le ramène à son état initial.

3.1 Représenter le cycle de transformation dans le diagramme de Clapeyron (P, V), puis dans le diagramme entropique (T, S).

3.2 Ce cycle est-il moteur ou récepteur ?
3.3 A quelle température T_1 s'effectue la compression isotherme ?
3.4 En déduire la pression maximale atteinte.
3.5 Calculer le travail, la quantité de chaleur échangée, les variations d'énergie interne, d'enthalpie et d'entropie au cours du cycle (Les relations que vous utiliserez ainsi que les résultats numériques seront présentés sous forme de tableau).
3.6 Ces résultats sont-ils en conformité avec la réponse à la question **3.2** ?

4. Résonateur à quartz (2 points)

Un quartz est un dipôle électrique composé de silice (SiO2) possédant deux fréquences de résonance. Son modèle électrique idéal (résistance nulle) est (figure 3) :

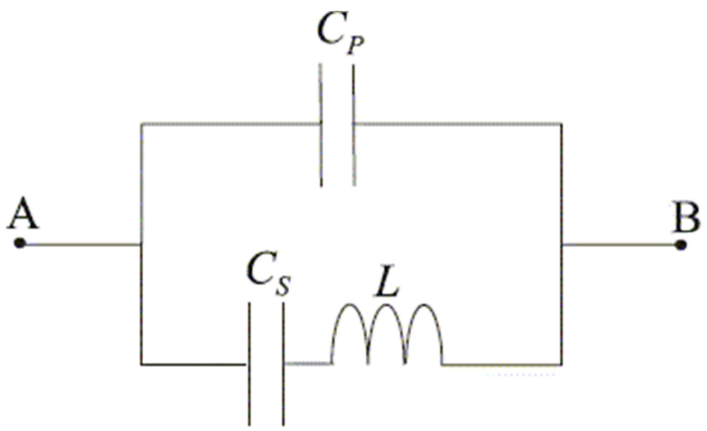

Figure 3

On donne : C_P = 0,85 pF, C_S= 2 fF et L1 = 11800 H (pF = 10^{-12} F, fF = 10^{-15} F)

4.1 Exprimer l'impédance complexe $\underline{Z}$ d'un quartz.

4.2 Calculer la fréquence de résonance série fs définie par Z = 0

4.3 Calculer la fréquence de résonance parallèle fp définie par Z = ∞

4.4 Etudier le comportement inductif ou capacitif du quartz en fonction de la fréquence.

4.5 Exprimer le module de $\underline{Z}$.

4.6 Représenter son allure sur un graphique.

Fin des exercices

Fin de l'épreuve

Formules utiles

1. Pour une particule de charge q animée d'une vitesse $\vec{v}$ en présence d'un champ magnétique $\vec{B}$, la force qui s'exerce sur elle est donnée par :

$$\vec{F} = q\,\vec{v} \wedge \vec{B} \qquad \text{(Force de Lorentz)}$$

2. Le champ électrique $\vec{E}$ créé par une distribution de charges ρ est donné par l'équation de Maxwell-Gauss :

$\vec{\nabla}.\vec{E} = \rho/\varepsilon_0$ où l'opérateur $\vec{\nabla}$ *est donné en coordonnées cartésiennes par*

$\vec{\nabla} = (\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z})$ et ε_0 est la permittivité du vide.

La force d'interaction dérive du potentiel U_p par la formule $\vec{F} = -\vec{\nabla}\,U_p$

L'énergie potentielle thermique d'un électron est donnée par :

$U_p = \frac{1}{2}\,k\,T_e$ où k est la constante de Boltzmann et T_e la température des électrons.

3. Le travail W d'une force $\vec{F}$ peut se calculer de deux façons différentes :

Soit par l'intégrale directe $W = \int F.dr$, soit par le théorème de l'énergie cinétique

$W = \Delta E_c$

4. Loi des gaz parfaits : PV = n R T avec R = constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ J.K^{-1}.mol^{-1}$

Relation de Mayer : Cp – Cv = R et l'on a Υ = Cp/Cv

Pour un gaz diatomique : $Cv = \frac{5}{2}R$ et $Cp = \frac{7}{2}R$

Variation d'énergie interne : ΔU = W + Q

Enthalpie : H = U + PV Variation d'entropie : $dS = \frac{1}{T}dU + \frac{P}{T}dV$