SESSION 2004

BREVET TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CHIMISTE

Physique

Durée : 2 heures
Coefficient : 3

Matériel autorisé :
Calculatrice de poche à fonctionnement autonome, sans imprimante et sans dispositif de communication externe (circulaire n° 99-186 du 16/11/99).

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 4 pages, numérotées de 1 à 4.

Code sujet : CHPHY-P04

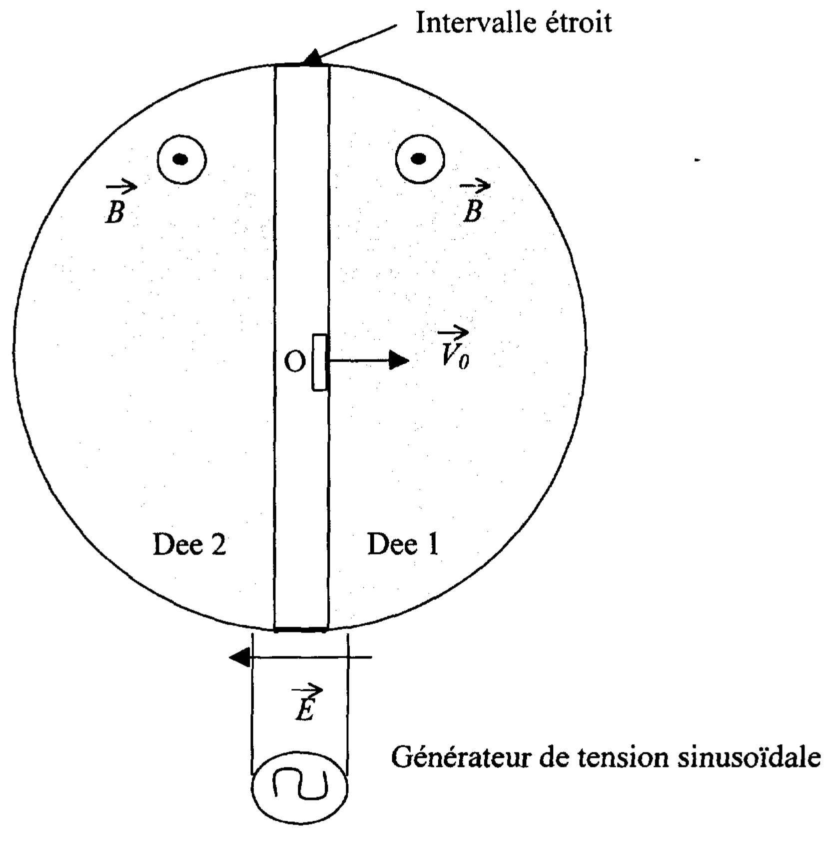
Les deux exercices sont indépendants

PREMIER EXERCICE : ÉTUDE D'UN CYCLOTRON

Un cyclotron est un instrument qui sert à accélérer des particules chargées, permettant ensuite de réaliser des expériences de physique nucléaire. Dans ce problème les particules chargées sont des protons de masse $m_P = 1{,}67\times10^{-27}$ kg et de charge électrique $q_P = +1{,}6\times10^{-19}$ C.
Le cyclotron est formé de deux demi-cylindres conducteurs creux appelés « dees » et séparés par un intervalle étroit. Un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ règne à l'intérieur de chaque « dee », sa direction est parallèle à l'axe de ces demi-cylindres, sa valeur est 1,0 T.

Un champ électrique $\vec{E}$, variable dans le temps, peut être établi dans l'intervalle étroit qui sépare les « dees ». Il permet **d'augmenter** la vitesse des protons chaque fois qu'ils pénètrent dans cet intervalle. Ce champ électrique variable est obtenu en appliquant une tension sinusoïdale de valeur maximale U_M et de fréquence f entre les deux « dees » : $U_M = 2\times10^3$ V.

Schéma simplifié d'un cyclotron :



1. Le proton entre dans le « dee » 1 avec une vitesse initiale d'injection $\vec{V_0}$ perpendiculaire à l'axe des demi-cylindres. On négligera le poids du proton devant la force magnétique.

1.1. Donner l'expression de la force agissant sur le proton en O ; la représenter sur un schéma.

1.2. Le mouvement du proton étant plan, montrer que la valeur de la vitesse est constante.

1.3. Montrer que la trajectoire est circulaire de rayon $R_0 = \dfrac{m_P.V_0}{q_P.B}$

2.1. Exprimer la longueur l parcourue par un proton sur le demi-tour de rayon R_0.

2.2. En déduire l'expression du temps t mis par ce proton pour effectuer ce demi-tour.

2.3. Ce temps dépend-il de la vitesse d'entrée du proton dans le «dee» ? Calculer la valeur de t.

3. Le proton, après avoir fait un demi-cercle dans un « dee », entre dans l'intervalle étroit où il est accéléré par le champ électrique considéré comme constant, maximum et colinéaire au vecteur vitesse du proton durant son passage.

Calculer la fréquence f de la tension alternative appliquée entre les « dees » pour que les protons subissent une accélération maximale à chaque traversée de l'intervalle. On suppose que le temps de traversée de l'intervalle est négligeable devant le temps passé dans les « dees ».

4.1. Exprimer littéralement, puis calculer la variation d'énergie cinétique ΔE_c du proton lorsqu'il traverse l'intervalle étroit. Le résultat sera exprimé en joule puis en électron-volt.

4.2. Préciser si le rayon de la trajectoire du proton augmente ou diminue à chaque fois qu'il traverse l'intervalle étroit (justifier la réponse).

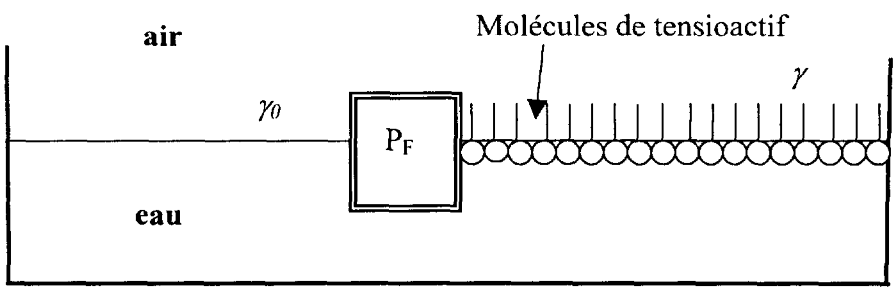
5. La vitesse d'injection du proton étant supposée pratiquement nulle, on désire que sa vitesse atteigne 2×10^4 km.s^{-1}. Calculer le nombre de tours que le proton devra décrire dans le cyclotron.

6. Calculer la valeur du rayon à partir duquel les protons ayant acquis une vitesse de 2×10^4 km.s^{-1} seront extraits, en admettant qu'ils sont injectés à proximité immédiate du centre O du cyclotron.

DEUXIÈME EXERCICE : ÉTUDE D'UN PRODUIT TENSIOACTIF

Toute l'étude est menée à la température constante de 298 K.

Un film tensioactif disposé à la surface libre de l'eau est composé de molécules constituées de deux parties aux propriétés antagonistes : une partie hydrophile, polaire, et une partie hydrophobe, comprenant généralement une ou plusieurs chaînes hydrocarbonées. À l'interface eau/air, ces molécules forment spontanément une monocouche. La figure ci-dessous illustre schématiquement ce comportement. Une barrière flottante P_F sépare la cuve en deux compartiments, l'un contenant l'eau pure, l'autre l'eau recouverte du film.



1. Préciser quelle est la partie de la molécule en contact avec l'eau.

2. À l'interface séparant deux milieux quelconques est associée une énergie libre F proportionnelle à la surface A du film : $F = \gamma \times A$

γ est la tension superficielle de l'interface, elle dépend de la nature de l'interface et de la température absolue T. On rappelle que $F = U - TS$.

2.1. Montrer que, dans une transformation réversible à température constante, la variation de F (notée dF) est égale au travail δW reçu ou fourni par l'interface.

2.2. Exprimer δW en fonction de la variation dA de la surface du film dans le cas d'une transformation isotherme.

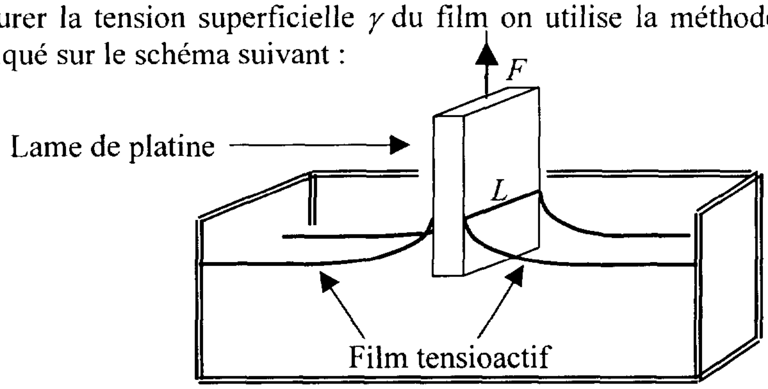
2.3. Par une analyse dimensionnelle, montrer que l'on peut considérer γ comme une énergie de surface et comme une force par unité de longueur.

3. La tension superficielle de l'interface (eau)/(air) vaut $\gamma_0 = 72\times10^{-3}$ N.m^{-1}.
Celle de l'interface (eau + tensioactif)/(air) vaut $\gamma = 24\times10^{-3}$ N.m^{-1}.

3.1. Indiquer quel est le rôle des molécules de tensioactif dans ce cas.

3.2. Exprimer la force F_R par unité de longueur qui s'exerce sur la barrière flottante P_F séparant les deux compartiments en fonction des tensions superficielles γ_0 et γ. Indiquer la direction et le sens de cette force sur un schéma.

4. Afin de mesurer la tension superficielle γ du film on utilise la méthode de l'arrachement dont le principe est indiqué sur le schéma suivant :



La lame de platine (masse m, largeur L) est tirée par un fil auquel on applique une force F verticale et dirigée vers le haut sur la lame. Cette force est proportionnelle à l'intensité I du courant d'un circuit extérieur (non représenté), selon : $F = \mathrm{K}\times I$; K est une constante égale à 0,33 N.A^{-1}.

4.1. Faire l'inventaire des quatre forces auxquelles est soumise la lame de platine lorsque sa partie inférieure se trouve immergée dans le liquide. Représenter ces quatre forces sur un schéma.

4.2. L'extrémité de la lame est mise en contact avec le film (comme sur le schéma précédent), l'angle de raccordement θc entre la lame et le film est nul.

4.2.1. Écrire alors la relation entre K, I, γ, m, g (accélération de la pesanteur) et L traduisant l'équilibre de la lame, sans tenir compte de la poussée d'Archimède.

4.2.2. Dans le cas où la lame est mise en contact avec l'eau pure (tension superficielle γ_0), la valeur du courant mesurée est alors I_0.

Montrer alors que $\gamma = \gamma_0 - \dfrac{\mathrm{K}}{2L}(I_0 - I)$

4.2.3. En déduire la valeur de la tension superficielle γ du film sachant que :

$I = 2{,}9$ mA $\qquad I_0 = 8{,}6$ mA $\qquad \gamma_0 = 72\times10^{-3}$ N.m^{-1} $\qquad L = 2{,}0$ cm