

Examen d'Electromagnétisme – L2 Physique et Applications
(Session de janvier 2009, durée 2 heures)

Pas de calculatrices et pas de documents

Les atomes n'ont pas tous la même tendance à attirer les électrons d'autres atomes. Nous caractérisons cette propriété en définissant l'électronégativité d'un atome : plus un atome est électronégatif, plus il a tendance à attirer à lui les électrons. Par exemple, si l'atome **A** est plus électronégatif que l'atome **B**, il attire à lui les électrons externes de **B** et assure ainsi la liaison chimique des deux atomes pour former une molécule. L'atome **A** présente alors un excès de charges négatives, que l'on note symboliquement, par $\delta > 0$. La molécule étant neutre, il apparaît alors un excès de charges positives $+\delta$ sur l'atome **B**. On note symboliquement : $A^{-\delta} - B^{+\delta}$.

Une telle molécule possède un moment dipolaire électrique $\vec{p} = \delta \vec{d}$, où $\|\vec{d}\|$ est la distance entre les charges $-\delta$ et $+\delta$.

La molécule est dite *polaire*. Une molécule dont le moment dipolaire est nul est dite *apolaire*. Une polarisation peut être également induite par un champ électrique externe en déplaçant les barycentres des charges positives par rapport à ceux des charges négatives. Nous allons maintenant utiliser le modèle de Thomson pour déterminer la polarisabilité induite des atomes.

Partie A (10 pts)

Dans le modèle d'atome d'hydrogène de Thomson, **le noyau est une sphère** de centre **O**, de rayon **a**, portant une charge **+e** uniformément répartie en volume. A l'intérieur de cette sphère se déplace l'électron, **particule ponctuelle** de charge **-e**.

1. Donner l'expression de la densité volumique de charge électrique ρ du noyau.
2. L'origine du référentiel inertiel (Oxyz) est au centre du noyau, et ce dernier est statique. Utiliser le théorème de Gauss pour déterminer le champ électrostatique \vec{E} à une distance **r** du centre de ce noyau pour les cas $r < a$ et $r > a$ (*ce champ est dû seulement à la charge électrique du noyau*). Pour ce faire, il faut énoncer le théorème de Gauss et préciser tous les détails de son utilisation ; en particulier on étudiera la symétrie du problème afin de préciser le sens, la direction et le module du champ électrostatique sur la sphère de Gauss.
3. Dans ce modèle de Thomson, l'électron étant à l'intérieur du noyau, déterminer l'expression de la force \vec{F} qu'il subit en fonction de **e**, **a**, sa position **r**, et de la permittivité ϵ_0 du vide. Représenter cette force sur un schéma.
4. En négligeant le poids de l'électron, montrer que la position d'équilibre r_e de l'électron est nulle (l'électron se trouve au centre du noyau).
5. L'atome d'hydrogène décrit dans le modèle de Thomson est-il polaire ou apolaire ? Justifier votre réponse.

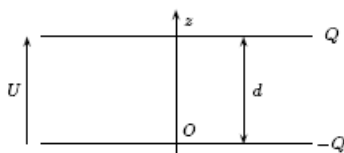
Partie B (4 pts)

On applique maintenant un champ électrostatique extérieur \vec{E}_0 constant.

1. Quelle est la force supplémentaire s'exerçant sur l'électron ? Représenter sur un schéma les deux forces à l'équilibre.
2. Déterminer la nouvelle position r_e de l'électron à l'équilibre, en fonction de E_0 , **e**, **a**, et ϵ_0 .
3. En déduire que l'atome d'hydrogène possède un moment dipolaire électrique \vec{p} (voir définition plus haut, ici **d** est la distance entre le centre de la sphère et la position d'équilibre de l'électron) dont on donnera l'expression en fonction de E_0 , **a**, et ϵ_0 .
4. Nous définissons la polarisabilité α de l'atome par $\vec{p} = \alpha \epsilon_0 \vec{E}_0$. Donner l'expression de la polarisabilité en fonction du volume Ω de l'atome (ce volume étant le même que celui du noyau dans le modèle de Thomson).

Partie C (6 pts)

Soit un condensateur idéal, dont les armatures ont une surface **S** et sont distantes de $d \ll S$. On prend l'axe **Oz** perpendiculaire aux armatures.

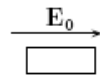


1. En négligeant les effets de bords, préciser la direction et le sens de \vec{E} entre les armatures et les variables dont il dépend et le représenter sur un schéma.
2. Montrer que ce champ électrique est uniforme entre les armatures et donner son expression en utilisant le théorème de Gauss et le principe de superposition. Montrer qu'à l'extérieur du condensateur ce champ est nul. Pour ce faire, déterminer d'abord le champ électrique de chaque armature en utilisant le théorème de Gauss, et utiliser ensuite le principe de superposition pour calculer le champ électrique total pour $z < 0$, $0 < z < d$, et $z > d$.
3. En notant U la tension aux bornes du condensateur (voir figure), relier U au champ E et à la distance d .
4. En déduire l'expression de la capacité C_0 de ce condensateur plan dans le vide en fonction de S , d , et ϵ_0 .

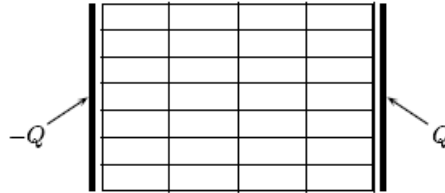
Partie D (4 pts bonus)

Un matériau diélectrique est isolant : il ne comporte pas de charges électriques libres. Ses molécules ou atomes sont cependant susceptibles de se polariser sous l'effet d'un champ électrique extérieur E_0 : chaque molécule acquiert un moment dipolaire électrique parallèle à E_0 et de même sens. Il en résulte une séparation des charges sur la molécule. Les barycentres des charges positives et négatives n'étant plus confondus, un excès de charges positives apparaît d'un côté de la molécule, tandis qu'un excès de charges négatives apparaît de l'autre côté. Nous notons symboliquement une molécule polarisée $\boxed{+ -}$ ou $\boxed{- +}$.

1. Le dipôle électrique induit étant créé par le champ électrique appliqué \vec{E}_0 , indiquer comme ci-dessous la position des charges + et - apparaissant sur la molécule :



2. Le matériau diélectrique est modélisé comme la juxtaposition dans l'espace de cellules moléculaires (voir figure). On le place entre les armatures du condensateur plan étudié lors de la question précédente. On note E_0 le champ électrique créé par le condensateur entre les armatures, dans le vide ; ce champ polarise chaque molécule du diélectrique.



Indiquer sur le schéma ci-dessus : (a) la direction et le sens de \vec{E}_0 , (b) les charges électriques de polarisation induites sur chaque molécule par le champ électrostatique E_0 (une case représente une molécule).

3. En considérant des regroupements de charges à l'intérieur du diélectrique, montrer que les charges électriques de polarisation induites par le champ E_0 se résument à deux répartitions surfaciques $+\sigma'$ et $-\sigma'$ sur deux plans que l'on précisera sur un schéma. On ne demandera pas de calculer les charges surfaciques σ' .

Les charges surfaciques $+\sigma'$ et $-\sigma'$, apparaissant dans le diélectrique sous l'effet de \vec{E}_0 créée par les armatures, créent elles-mêmes un champ électrostatique \vec{E}_p au sein du diélectrique. Indiquer la direction et le sens de ce champ \vec{E}_p créée par les charges surfaciques de polarisation. Ce champ \vec{E}_p s'oppose-t-il ou est-t-il dans le même sens que \vec{E}_0 ?

4. Le champ total régnant dans le diélectrique est, par principe de superposition, $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_p$. Sachant que les charges de polarisation sont inférieures aux charges des armatures, quel est qualitativement l'effet de l'introduction du diélectrique sur le champ électrostatique entre les armatures ? Justifier votre réponse.
5. Soit U_0 la tension aux bornes du condensateur dans le vide. Quand le diélectrique est introduit entre les armatures, la charge Q du condensateur reste constante, alors que la tension devient U . Comparer qualitativement U et U_0 et en déduire que l'utilisation d'un diélectrique entre les armatures d'un condensateur a pour effet d'augmenter sa capacité.