Dipôle électrostatique

Exercice 1 : Questions de cours
Les deux questions suivantes sont indépendantes.

1. (a) Donner la définition d'un dipôle électrostatique, du moment dipolaire d'un tel dipôle, et préciser ce qu'est l'approximation dipolaire.
   (b) Établir dans le cadre de cette approximation l'expression du potentiel $V(M)$ créé par un dipôle dans tout l'espace.
   (c) En déduire le champ électrostatique $\overrightarrow{E}(M)$ créé dans tout l'espace.
2. Un dipôle de moment dipolaire $\overrightarrow{p}$ est placé dans un champ électrostatique extérieur uniforme $\overrightarrow{E_0}$. On peut montrer que la résultante des forces exercées sur le dipôle est nulle : $\overrightarrow{F} = \overrightarrow{0}$; et que le moment des forces s'écrit : $\overrightarrow{\mathcal{M}} = \overrightarrow{p} \wedge \overrightarrow{E_0}$. Expliquer (si besoin à l'aide de schémas) comment se comportera le dipôle dans ce champ extérieur.

Exercice 2 : Moment dipolaire moléculaire
On considère la molécule de fluorure d'hydrogène H-F dont la liaison est modélisée en première approximation par un transfert total de l'électron de l'hydrogène sur l'atome de fluor (liaison dite ionique). Cet électron forme, avec ceux du fluor, une sphère chargée négativement, centrée sur le noyau du fluor. On désigne respectivement par H et F les positions des noyaux d'hydrogène et de fluor.

1. Donner la valeur du moment dipolaire p_{mod} en debye (D) de la molécule ainsi modélisée. On donne le numéro atomique du fluor : $Z = 9$; la distance entre le noyau d'hydrogène et le noyau de fluor $d = 0,92.10^{-10}$ m et 1 D $= \frac{1}{3} \cdot 10^{-29}$ C.m.
2. On mesure expérimentalement un moment dipolaire de $p_{exp} = 1,83$ D. Interpréter physiquement ce résultat. Pourquoi le moment dipolaire n'est-il pas nul ? Pour quel type de molécule diatomique le serait-il et quelle serait alors la nature de la liaison ?
3. On désigne par G^- le barycentre des charges électroniques de la molécule H-F. En déduire la distance $a = FG^-$. On rappelle que le fluor est plus électronégatif que l'hydrogène.

Exercice 3 : Mise en évidence du caractère polaire d'un solvant
Quand on approche une tige chargée d'un filet d'eau qui coule, celui-ci est dévié vers la tige, alors qu'avec un filet de cyclohexane, il n'y a pas de déviation. Proposer une explication à ce phénomène.

Exercice 4 : Force de Van der Waals
Cet exercice propose deux niveaux de difficulté. Si vous vous sentez à l'aise, faites le niveau 2 ; si vous avez besoin d'être guidé, faites le niveau 1.

Un atome (ou une molécule) ne possédant pas de moment dipolaire permanent, lorsqu'il est placé dans un champ $\overrightarrow{E}$, se polarise et il apparaît un dipôle induit de moment $\overrightarrow{p_i} = \epsilon_0 \alpha \overrightarrow{E}$ où α est la polarisabilité. On place cet atome au point M et on considère que le champ extérieur envisagé est celui créé par un dipôle permanent de moment $\overrightarrow{p}$ placé en O. On admet alors que leur interaction dérive d'une énergie potentielle $U_p = -\frac{1}{2}\epsilon_0 \alpha E^2$.

(∗) Niveau 2

Caractériser la force entre O et M, et donner sa valeur moyenne lorsque l'orientation de $\overrightarrow{p}$ varie. Commenter.

Niveau 1

1. À l'aide du cours, rappeler les expressions de composantes E_r, E_θ et E_ϕ du champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ créé par un dipôle de moment $\overrightarrow{p}$ placé en O.
2. Exprimer E^2 et montrer que :
$$U_p(r,\theta) = -\frac{\alpha p^2}{32\pi^2\epsilon_0 r^6}(3\cos^2\theta + 1).$$
3. La force sur l'atome au point M s'écrit $\overrightarrow{F} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}(U_p)$. Chercher l'expression de l'opérateur gradient en coordonnées sphériques, et exprimer les coordonnées F_r, F_θ et F_ϕ.
4. Exprimer la moyenne de ces coordonnées sur l'angle θ et montrer que :
$$<\overrightarrow{F}> = -\frac{15\alpha p^2}{32\pi^2\epsilon_0 r^7}\overrightarrow{u_r}.$$
5. Commenter le résultat précédent.

Exercice 5 : (∗) Polarisabilité complexe d'un atome
On assimile le noyau d'un atome à un point matériel de masse m_P, de charge Ze ; et le nuage électronique à une sphère de centre N, de rayon R, de masse m_N, de charge $-Ze$ et de densité volumique de charge ρ uniforme. Sous l'action d'un champ électrique extérieur, le noyau se déplace du centre du nuage jusqu'à un point P de ce nuage, avec $NP = r < R$.

1. Donner l'expression de ρ et déterminer le champ électrique $\overrightarrow{E_n}(P)$ créé par le nuage au point P, en l'absence du noyau.
2. Montrer que la force d'interaction entre le noyau et le nuage s'assimile à celle d'un ressort reliant N et le noyau, de longueur à vide nulle, et de constante de raideur K qu'on exprimera en fonction de Z, e et ϵ_0.
3. Lorsque le noyau est en mouvement dans le nuage électronique, on suppose qu'il subit une force de frottement linéaire
$$\overrightarrow{f} = -h\overrightarrow{v}.$$
La masse du noyau étant très grande devant celle du nuage, on suppose que le noyau est immobile et que c'est le nuage électronique qui se déplace, en subissant la même force de frottement [1], la force électrique du champ extérieur, et la force d'interaction électrique avec le noyau modélisée par l'action du ressort. Le champ électrique extérieur varie sinusoïdalement :
$$\overrightarrow{E} = E_0\cos(\omega t)\overrightarrow{u_x}.$$
Déterminer la polarisabilité complexe $\underline{\alpha}$ de l'atome en régime sinusoïdal forcé.

1. Cette force de frottement permet de caractériser assez bien l'interaction lumière (ou champ électrique) – matière à l'échelle microscopique. Mais elle peut paraître arbitraire et on peut s'interroger sur son origine physique. Elle peut traduire le fait que toute particule chargée rayonne, et donc perd de l'énergie. D'autre part, la déformation des nuages électroniques provoque des mouvements des noyaux atomiques, ce qui peut conduire à de la dissipation sous forme de chaleur.