

COMPOSITION DE PHYSIQUE II

Samedi 25 mai 1996 de 8 h à 10 h

La plus grande importance sera attachée à la présentation et à la rédaction.

Seuls seront corrigés les résultats encadrés répondant explicitement à la (les) question(s) posée(s), exprimés avec les notations strictes de l'énoncé, sous leur forme la plus simple, en tenant compte de l'esprit de la question. Ceci se traduira par des points de minoration ne dépassant pas 10 % de la note.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

LES TROIS BARRIERES PROTECTRICES

Une condition nécessaire pour l'existence de la vie sur une planète est de bénéficier de conditions parfaitement déterminées. La Terre bénéficie de trois barrières protectrices favorisant ces conditions.

- Une couche d'ozone vers 35 km d'altitude filtrant le rayonnement ultra violet issu du soleil.
- Une atmosphère permettant de réguler la température au sol, en maintenant l'eau à l'état liquide sur la majeure partie du globe terrestre.
- Un champ magnétique piégeant les particules de grande énergie, nocives pour les êtres vivants.

Ce problème étudie (de manière élémentaire) deux de ces trois barrières protectrices.

Dans tout le problème, on négligera l'influence de la pesanteur.

On donne :

charge de l'électron : $q = -e = -1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

masse de l'électron : $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

permittivité électrique : $\epsilon_0 = 1 / (36 \pi 10^9) \text{ U.S.I.}$

perméabilité magnétique : $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ U.S.I.}$

densité particulaire d'ozone : $n_2 = 3,84 \cdot 10^{18} \text{ particules m}^{-3}$

Les deux parties sont indépendantes.

$$\vec{\text{rot}} (\vec{\text{rot}} (\vec{A})) = \vec{\text{grad}} (\text{div } \vec{A}) - \Delta \vec{A}$$

A - LA COUCHE D'OZONE

On étudie dans cette partie l'interaction d'une onde électromagnétique plane progressive (l'onde envoyée par le soleil pour une fréquence donnée) avec une atmosphère gazeuse très diluée (en fait son interaction avec la couche d'ozone présente dans la stratosphère). L'ozone sera considéré comme un diélectrique homogène linéaire et isotrope. On admettra que la polarisabilité d'orientation est négligeable et que seule la polarisabilité moléculaire intervient.

Sous l'action de l'onde les molécules se polarisent et on décrira ce processus en utilisant le modèle dit de Thomson ou élastiquement lié.

Pour étudier la propagation d'une telle onde dans la couche d'ozone, on suppose que celle-ci occupe le demi-espace $z > 0$.

Le champ électrique $\vec{E}$ de l'onde résultante dans le milieu est représenté en notation complexe par :

$$\vec{E} = E_0 \vec{u}_x \exp i(\omega t - kz)$$

Les molécules d'ozone seront décrites par le modèle simple suivant : on considère un seul électron par molécule (charge $-e$ et masse m) élastiquement lié au centre fixe de la molécule. On appelle $\vec{r}$ le vecteur position de l'électron par rapport à ce centre.

En plus des forces d'interaction avec l'onde électromagnétique, cet électron est soumis aux seules forces $\vec{f}_1 = -m\omega_0^2 \vec{r}$ (ω_0 étant une pulsation propre caractéristique de la liaison moléculaire) et $\vec{f}_2 = -m\gamma \frac{d\vec{r}}{dt}$.

A.1. Préciser brièvement l'origine physique de ces deux forces.

A.2. On néglige la force magnétique exercée par l'onde sur l'électron. Justifier.

A.3. Ecrire l'équation dynamique du mouvement de l'électron.

A.4. En déduire le moment dipolaire $\vec{P}$ induit par le champ électromagnétique, ainsi que la polarisation $\vec{P}$ de l'ozone sachant qu'il y a n_2 molécules d'ozone par m^3 .

A.5.a. On admet que le milieu n'est pas magnétique et est globalement neutre, écrire les équations de Maxwell reliant les champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$ aux charges de polarisation ρ_p et au courant de polarisation $\vec{j}_p$.

A.5.b. Rappeler les relations simples entre ρ_p et $\vec{j}_p$ et le vecteur polarisation $\vec{P}$.

A.5.c. En déduire alors l'équation (pour des champs dépendant uniquement de z et de t) :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2}$$

- A. 6. On définit l'indice par $\underline{n} = \frac{ck}{\omega} = n' - in''$, n' indice de réfraction et n'' indice d'absorption.

Déterminer les deux indices. On fera l'approximation suivante :

$$\underline{n} = \underline{a} + i\underline{b} \quad \underline{P}^{a2T} = 1 + \alpha / 2 + i\beta / 2$$

si toutefois $|\alpha|, |\beta| \ll 1$. On posera $\omega_2^2 = \frac{n_2 e^2}{m \epsilon_0}$.

- A. 7. Donner la représentation réelle du champ électrique. Justifier alors les noms donnés à n' et à n'' .

- A. 8. En utilisant l'équation de Maxwell-Faraday donner l'expression du champ magnétique $\vec{B}$.

- A. 9. En déduire sur quelle distance δ l'énergie électromagnétique est divisée par un facteur e.

- A.10. La bande d'absorption de l'ozone est centrée sur la pulsation $\omega_0 = 7,4 \cdot 10^{15} \text{ rad.s}^{-1}$ (située dans l'ultra violet), cette bande est assez large d'où la valeur élevée de $\gamma = 10^{14} \text{ rad.s}^{-1}$. (C'est la bande d'absorption de Hartley, il y a en réalité d'autres bandes d'absorption mais elles seront négligées dans ce problème).

Calculer δ pour la fréquence $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ et pour celle correspondant à la longueur d'onde dans le vide $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$; conclusion.

- A.11. La vie n'est apparue et ne s'est développée sur la planète Terre que dans l'eau des océans, proposez une interprétation.

B - BILAN THERMIQUE DE LA TERRE DANS LA TROPOSPHERE

Le rayon du Soleil vaut $R_s = 7,0 \cdot 10^8 \text{ m}$

Le rayon de la Terre vaut $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$

La distance moyenne de la terre au soleil vaut $d = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

On admet que le soleil se comporte sensiblement comme un corps noir de température T_s . Un corps noir rayonne une puissance par unité de surface s selon la loi de Stefan $s = \sigma T^4$, T étant la température absolue.

B.1. La constante σ vaut $5,7 \cdot 10^{-8}$ U.S.I., en quelle unité s'exprime σ ?

B.2. Exprimer la puissance totale rayonnée par le soleil en fonction de σ , T_s et R_s .

B.3. Exprimer la puissance reçue par la Terre en fonction de σ , T_s , R_s , R_T et d .

B.4. En fait la Terre réfléchit une partie de l'énergie reçue par le soleil (la fraction réfléchie s'appelle l'albedo A de la planète) et absorbe le reste. En supposant que la Terre se comporte comme un corps noir de température T_p (température planétaire), déterminer T_p en fonction de T_s , A , R_s et d en régime permanent.

B.5. Faire l'application numérique avec les données de l'énoncé. On donne l'albedo de la Terre $A = 0,34$. On donne la température du Soleil $T_s = 5785$ K. Conclusion ?

Sur un modèle, on essaye d'interpréter comment l'atmosphère peut maintenir le sol à une température supérieure à T_p (effet de serre).

L'atmosphère peut être assimilée à une couche sphérique de même centre que la Terre et d'épaisseur e .

Le sol est à la température T_0 et l'atmosphère à la température moyenne T_1 .

B.6. Quelle erreur commet-on en assimilant la surface d'une sphère de rayon $R_T + e$ à celle d'une sphère de rayon R_T . (On a évidemment $e \ll R_T$).

Application numérique : quelle valeur maximale peut prendre e pour ne pas avoir une erreur relative supérieure à 1 % ?

Dans la suite du problème on supposera que cette condition est toujours réalisée.

B.7. On fait les hypothèses suivantes :

- Le sol et l'atmosphère de température T_0, T_1 rayonnent approximativement comme des corps noirs de température T_0, T_1 .
- L'atmosphère absorbe la fraction α du rayonnement solaire et absorbe complètement le rayonnement de la Terre. La Terre absorbe la fraction $1 - \alpha$ du rayonnement solaire et absorbe le rayonnement de l'atmosphère.
- L'albedo A pour le rayonnement solaire de l'ensemble Terre-atmosphère est le même que celui défini dans la partie B.4.

En faisant le bilan énergétique pour le sol et la troposphère trouver deux relations reliant les différentes températures entre elles (T_p, T_0 et T_1).

B.8. Calculer numériquement T_1 et T_0 , sachant que $\alpha = 0,33$. Conclusion.
