

TS - Physique-Chimie
Devoir en classe n°6 - Durée : 2h
Proposition de correction

EXERCICE I : AURORES POLAIRES ET ÉLECTRONS (10 points)

1. EFFETS RELATIVISTES

1.1. Dilatation du temps

1.1.1 L'expression « dilatation des durées » est appropriée car le facteur γ est supérieur à 1 donc la durée mesurée Δt est supérieure à la durée propre Δt_0 étant donné que $\Delta t = \gamma \times \Delta t_0$. En effet, comme $v < c$, alors $\frac{v}{c} < 1$ donc $\frac{v^2}{c^2} < 1$ et $1 - \frac{v^2}{c^2} < 1$. Il s'ensuit que $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1$ donc que

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > 1.$$

1.1.2 Si $v = 0,10 \times c$, alors $\frac{v}{c} = 0,10$ et $\Delta t_0 = \frac{\Delta t}{\gamma} = \Delta t \times \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$.

On obtient $\Delta t_0 = 1,0 \cdot 10^{-9} \times \sqrt{1 - 0,10^2} = 0,99 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 0,99 \text{ ns}$.

Pour une particule dont la vitesse est égale à 10% de celle de la lumière dans le vide, la dilatation des durées est peu marquée car la différence entre durée propre et mesurée est très faible (de l'ordre de 1%).

1.1.3 L'auteur veut dire que si on imagine que c a une valeur beaucoup plus petite que sa valeur réelle, alors, des situations où v prend une valeur proche de c seraient beaucoup plus fréquentes et nous pourrions percevoir, à notre échelle, des conséquences de la relativité. Par exemple, il y aurait une grande différence entre durée propre et mesurée pour une personne ayant pris l'avion par rapport à une personne restée sur Terre, etc.

1.2. Énergie cinétique et vitesse des électrons

1.2.1 Premier argument : pour la courbe ②, on voit que $\frac{v^2}{c^2}$ peut prendre des valeurs supérieures à 1, ce qui n'est pas en accord avec la théorie de la relativité. En outre, pour la courbe ①, on voit que ce rapport est toujours inférieur à 1, ce qui est en accord avec la théorie relativiste dans laquelle c est une vitesse limite qui ne peut être dépassée.

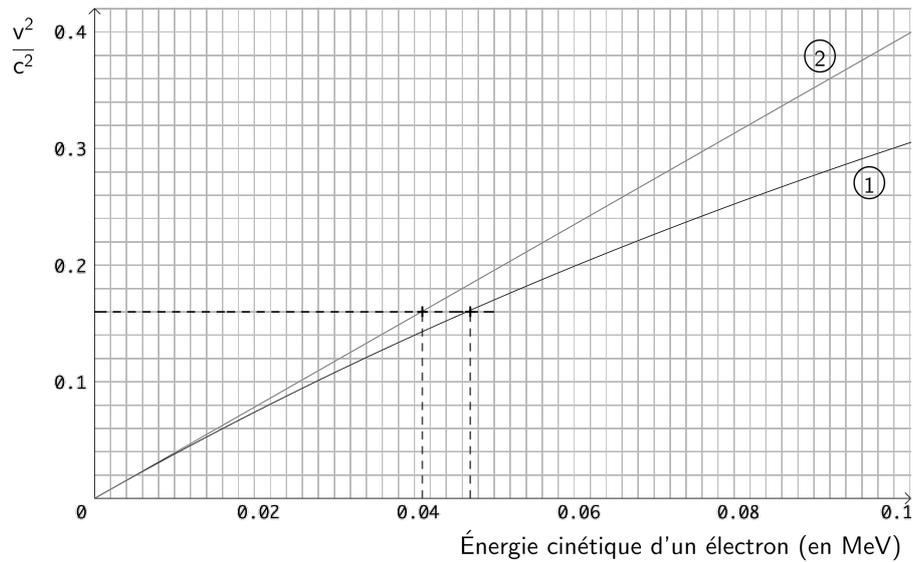
Second argument : dans la théorie classique, $E_C = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ d'où $v^2 = \frac{2 \times E_C}{m}$ et $\frac{v^2}{c^2} = \frac{2 \times E_C}{m \times c^2}$.

Cela montre que le rapport $\frac{v^2}{c^2}$ est proportionnel à E_C dans le cas de la théorie classique (m et c étant constantes). Cette proportionnalité se traduit par une droite passant par l'origine si l'on représente $\frac{v^2}{c^2}$ en fonction de E_C . Cela correspond bien à la courbe ② alors que la courbe ① correspond donc au cas relativiste.

1.2.2 Si $v = 1,2 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, alors $\frac{v^2}{c^2} = \frac{(1,2 \cdot 10^8)^2}{(3,00 \cdot 10^8)^2} = 0,16$.

On détermine graphiquement l'énergie cinétique selon les deux modèles : le second graphe offre la plus grande précision. Pour le modèle classique, on trouve $E_{C_2} = 0,041 \text{ MeV}$ et pour le modèle relativiste, on trouve $E_{C_1} = 0,047 \text{ MeV}$.

L'écart relatif entre les deux modèles est donc de $\frac{|0,041 - 0,047|}{0,041} \simeq 15\%$, ce qui est supérieur à 10%. Par conséquent, ces électrons doivent être considérés comme relativistes.



2. LES AURORES POLAIRES

- 2.1.** Ordre de grandeur de la valeur de la longueur d'onde d'une onde électromagnétique dans le domaine visible : $\lambda \sim 10^{-6}$ m. En effet, le spectre visible s'étend entre 400 nm et 800 nm.
- 2.2.** Les électrons en provenance des vents stellaires communiquent leur énergie à des atomes qui, en se désexcitant, émettent des photons dans le visible. Or un photon d'énergie E correspond à une onde de longueur d'onde λ telles que $E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$.

Les électrons possédaient donc une énergie cinétique au moins égale à celle du photon émis par les atomes excités par ces électrons. On peut ainsi évaluer l'ordre de grandeur de l'énergie cinétique de ces électrons : $E_C = \frac{1}{2}m \cdot v^2 \sim h \cdot \frac{c}{\lambda}$ d'où

$$v = \sqrt{\frac{2 \times h \times c}{\lambda \times m}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8}{10^{-6} \times 9,11 \cdot 10^{-31}}} = 6,6 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \sim 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Cet ordre de grandeur de la vitesse des électrons est environ 100 fois plus petit que la vitesse étudiée dans la question **1.2.2**. Il n'est donc pas nécessaire que ces électrons soient relativistes pour participer aux aurores polaires.

EXERCICE II : LIAISON COVALENTE ET SPECTROSCOPIE INFRAROUGE (10 points)

1. PÉRIODE PROPRE D'UN OSCILLATEUR HARMONIQUE

1.1. Si la période propre T_0 d'un oscillateur harmonique était proportionnelle à la masse m du solide ou à la constante de raideur k du ressort, les courbes représentatives de $T_0 = f(m)$ (**document 2**) ou de $T_0 = f(k)$ (**document 3**) seraient des droites passant par l'origine du repère. Or ces courbes ne répondent pas à ce critère : il n'y a pas proportionnalité entre T_0 et m , ni entre T_0 et k .

1.2. D'après ce qui précède, T_0 n'est pas proportionnelle à m : on peut donc rejeter les relations $T_0 = m \times k$ et $T_0 = 2\pi \times \frac{m}{k}$. En outre, le **document 2** montre que la période propre T_0 augmente lorsque la masse

m augmente. Or la relation $T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{1}{m \times k}}$ supposerait que T_0 soit une fonction décroissante de

m . La seule relation correcte est par conséquent $T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}}$

2. SPECTRE INFRAROUGE

2.1. Il suffit de transposer la relation du **document 4** au cas où A serait un atome d'oxygène et B un atome d'hydrogène. On obtient $m_r = \frac{m(\text{O}) \times m(\text{H})}{m(\text{O}) + m(\text{H})}$.

2.2. Le nombre d'Avogadro étant le nombre de particules par mole de particule, on a : $m(\text{O}) = \frac{M(\text{O})}{N_A}$ et

$$m(\text{H}) = \frac{M(\text{H})}{N_A} \text{ d'où } m_r = \frac{\frac{M(\text{O})}{N_A} \times \frac{M(\text{H})}{N_A}}{\frac{M(\text{O})}{N_A} + \frac{M(\text{H})}{N_A}} = \frac{\frac{1}{N_A^2} \times (M(\text{O}) \times M(\text{H}))}{\frac{1}{N_A} \times (M(\text{O}) + M(\text{H}))} = \frac{(M(\text{O}) \times M(\text{H}))}{(M(\text{O}) + M(\text{H})) \times N_A}$$

$$\text{Valeur de la masse réduite : } m_r = \frac{16,0 \times 1,00}{(16,0 + 1,00) \times 6,02 \cdot 10^{23}} = 1,56 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,56 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Attention : la valeur obtenue est en grammes car les masses molaires sont données en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

2.3. D'après **1.2**, $T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}}$ et d'après **2.2**, la masse est équivalente à la masse réduite d'où

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_r}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{7,2 \cdot 10^2}{1,56 \cdot 10^{-27}}} = 1,1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

2.4. Longueur d'onde associée à la fréquence f_0 : $\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{1,1 \cdot 10^{14}} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 2,7 \text{ } \mu\text{m}$.

D'après le **document 5**, il s'agit de l'un des modes de vibration d'élongation qui présentent des longueurs d'onde proches de $2,7 \text{ } \mu\text{m}$ (la faible précision des valeurs utilisées dans les calculs ne permet pas de trancher entre le mode symétrique et le mode antisymétrique).