**TS3 - Physique-Chimie**
**Devoir en classe n°7 - 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 $\gamma$ est supérieur à 1 donc la durée mesurée $\Delta t$ est supérieure à la durée propre $\Delta t_0$ étant donné que $\Delta t = \gamma \times \Delta t_0$. En effet, comme $v < c$, alors $\dfrac{v}{c} < 1$ donc $\dfrac{v^2}{c^2} < 1$ et $1 - \dfrac{v^2}{c^2} < 1$. Il s'ensuit que $\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}} < 1$ donc que $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} > 1$.

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

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

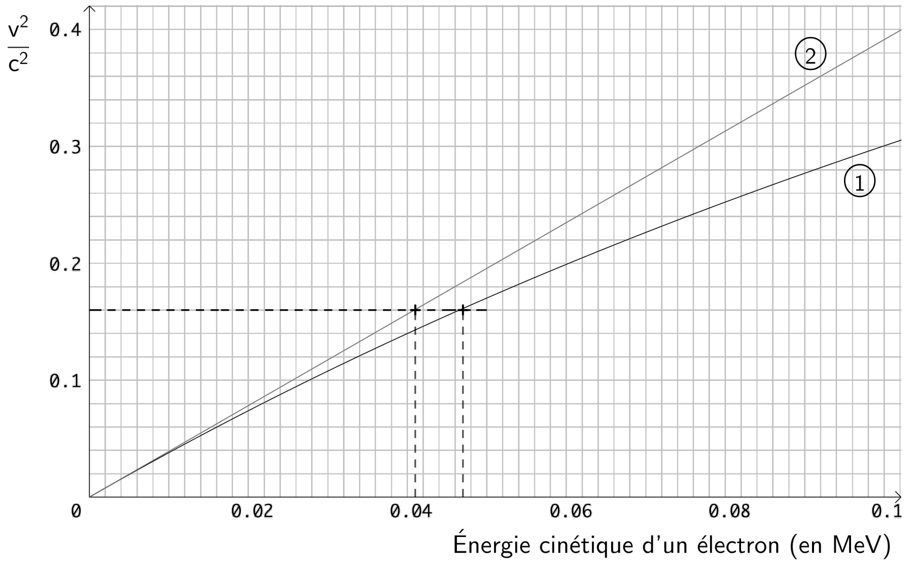
**1.2.1** Premier argument : pour la courbe ②, on voit que $\dfrac{v^2}{c^2}$ peut prendre des valeurs supérieures à 1, ce qui n'est pas en accord avec la théorie de la relativité. En outre, pour la courbe ①, on voit que ce rapport est toujours inférieur à 1, ce qui est en accord avec la théorie relativiste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

Second argument : dans la théorie classique, $E_C = \dfrac{1}{2} m \cdot v^2$ d'où $v^2 = \dfrac{2 \times E_C}{m}$ et $\dfrac{v^2}{c^2} = \dfrac{2 \times E_C}{m \times c^2}$. Cela montre que le rapport $\dfrac{v^2}{c^2}$ 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 $\dfrac{v^2}{c^2}$ 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 $v = 1,2 \cdot 10^8$ m $\cdot$ s$^{-1}$, alors $\dfrac{v^2}{c^2} = \dfrac{(1,2 \cdot 10^8)^2}{(3,00 \cdot 10^8)^2} = 0,16$.

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

L'écart relatif entre les deux modèles est donc de $\dfrac{|0,041 - 0,047|}{0,041} \simeq 15\%$, 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 $\lambda$ telles que $E = h \cdot \nu = h \cdot \dfrac{c}{\lambda}$.

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 : $E_C = \dfrac{1}{2} m \cdot v^2 \sim h \cdot \dfrac{c}{\lambda}$ d'où

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

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 $\boxed{T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}}}$

## 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 $m_r = \dfrac{m(\mathrm{O}) \times m(\mathrm{H})}{m(\mathrm{O}) + m(\mathrm{H})}$.

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

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

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

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

**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

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

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

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 $2,7\ \mu\mathrm{m}$ (la faible précision des valeurs utilisées dans les calculs ne permet pas de trancher entre le mode symétrique et le mode antisymétrique).