

EXERCICE I : AURORES POLAIRES ET ÉLECTRONS (10 points)

« C'est ainsi que, juste avant la Seconde Guerre Mondiale, Georges GAMOW, alors nouvellement installé aux États-Unis, se mit à rédiger d'une plume à la fois rigoureuse et alerte « Monsieur Tompkins au Pays des Merveilles », livre qui connut d'emblée le succès. Employé d'une grande banque, le héros de ces nouvelles assiste à des conférences du soir prononcées par un professeur de physique. La nuit venue, ses rêves le transportent dans des mondes peu ordinaires : les constantes fondamentales de la physique y sont modifiées de sorte que des phénomènes physiques habituellement cachés dans la vie courante deviennent manifestes. »

Il était sept fois la révolution, Étienne KLEIN, Éditions Flammarion 2005

Dans le cas d'une particule relativiste, la question se pose de savoir comment sont modifiées les expressions des quantités déjà définies dans le cadre de la mécanique classique : quantité de mouvement, énergie cinétique, etc

En 1964, le chercheur du Massachusetts Institute of Technology, William BERTOZZI, a mesuré indépendamment l'énergie cinétique et la vitesse d'électrons très rapides. Il a ainsi réussi à illustrer expérimentalement la relation entre vitesse et énergie cinétique pour des particules relativistes.

Données :

- relation liant la durée propre Δt_0 entre deux événements et la durée mesurée Δt dans un référentiel en mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v par rapport au référentiel propre : $\Delta t = \gamma \times \Delta t_0$ avec
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$
- $1,00 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J};$
- constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s};$
- masse d'un électron au repos : $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg};$

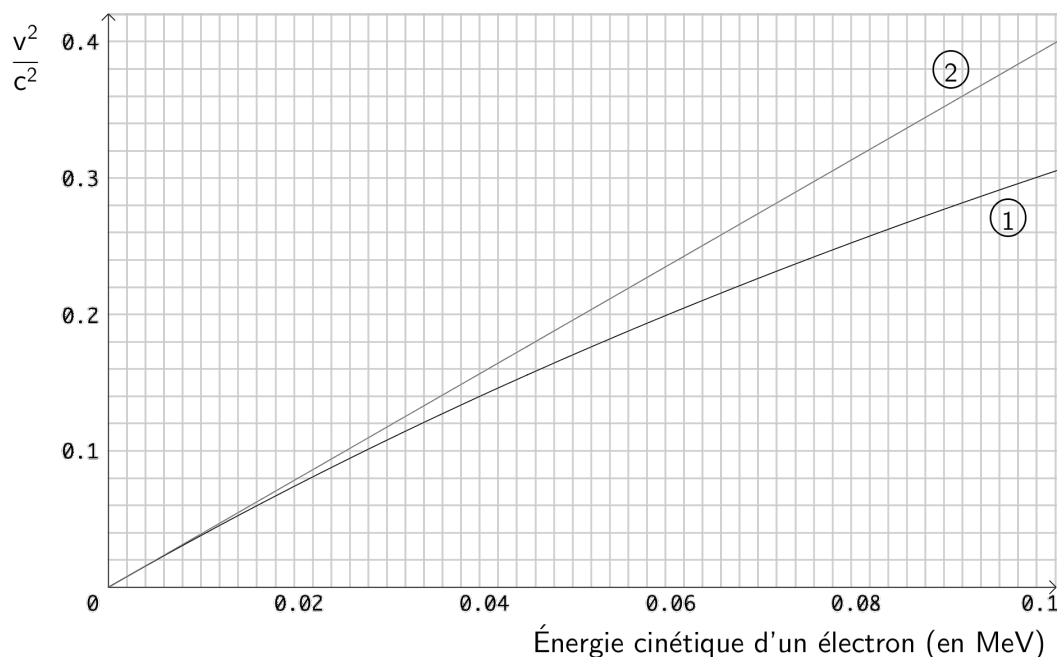
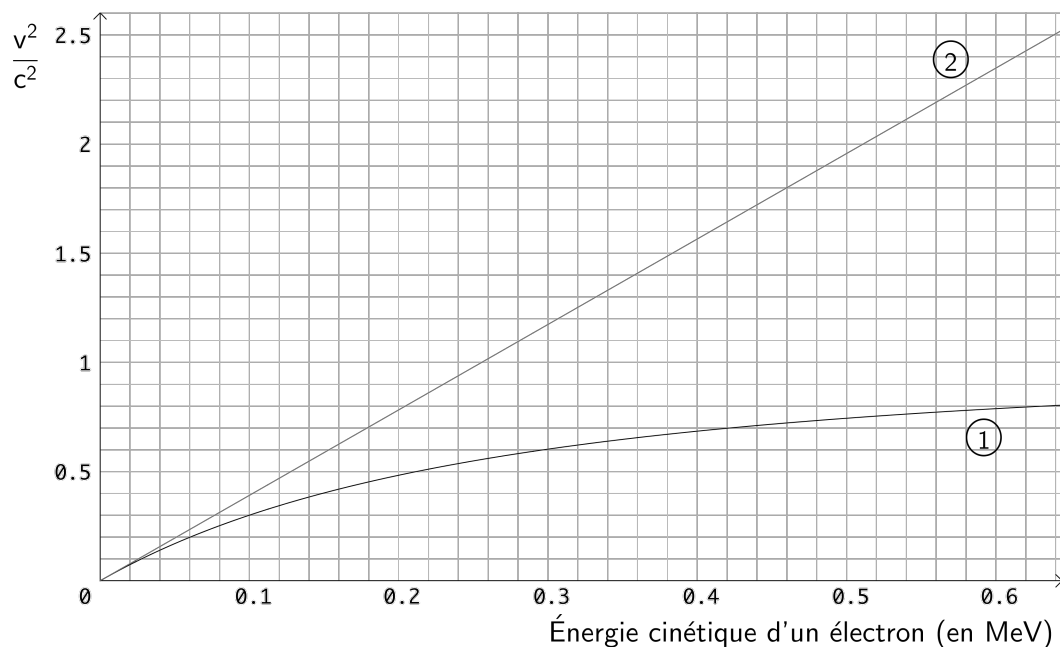
1. EFFETS RELATIVISTES

1.1. Dilatation du temps

- 1.1.1** Lorsque les effets de la relativité restreinte se font sentir, on parle de « dilatation des durées ». Montrer en quoi cette expression est appropriée.
- 1.1.2** On considère une particule dont la vitesse dans le référentiel terrestre est égale à 10% de celle de la lumière. On mesure $\Delta t = 1,0 \text{ ns}$. Estimer la valeur de Δt_0 et commenter le résultat obtenu.
- 1.1.3** L'extrait du livre d'Étienne KLEIN se termine par ce passage : « Les constantes fondamentales de la physique y sont modifiées de sorte que des phénomènes physiques habituellement cachés dans la vie courante deviennent manifestes ». Que veut dire l'auteur ? Illustrer cela en envisageant que la constante c ait une valeur beaucoup plus petite que celle que vous connaissez.

1.2. Énergie cinétique et vitesse des électrons

Les graphes ci-après représentent l'évolution du rapport $\frac{v^2}{c^2}$ en fonction de l'énergie cinétique d'un électron dans le cas de la théorie classique et dans le cas de la théorie relativiste. Les échelles utilisées pour le deuxième graphe permettent un agrandissement du premier graphe au voisinage de l'origine.



1.2.1 Des deux représentations ① et ②, identifier celle qui correspond à la théorie classique. Justifier en donnant deux arguments.

1.2.2 On considère que les effets relativistes sont négligeables si l'écart relatif entre les valeurs de l'énergie cinétique selon les modèles classique et relativiste est inférieur à 10%. Montrer qu'à partir d'une valeur de la vitesse v égale à $1,2 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, les électrons peuvent être considérés comme relativistes.

2. LES AURORES POLAIRES

Des particules chargées en provenance du Soleil, mais aussi d'autres étoiles, balaient le système solaire. Ce sont les « vents stellaires », dans lesquels on trouve notamment des électrons.

Ces électrons peuvent pénétrer dans l'atmosphère terrestre et entrer en collision avec des atomes d'oxygène ou d'azote, leur transférant partiellement leur énergie.

Cette énergie est ensuite rayonnée sous forme lumineuse lorsque ces atomes se désexcitent, provoquant parfois de magnifiques spectacles d'illumination du ciel, visibles de la surface de la Terre, généralement dans les régions polaires : les aurores polaires.

2.1. Donner un ordre de grandeur de la valeur de la longueur d'onde d'une onde électromagnétique dans le domaine visible.

2.2. Montrer par un calcul qu'il n'est pas nécessaire que les électrons pénétrant dans l'atmosphère soient relativistes (au sens de la question **1.2.2**) pour participer à la création des aurores polaires.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

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

Les vibrations des liaisons de valence sont à l'origine des spectres d'absorption dans l'infrarouge proche. Une molécule absorbe de façon intense les ondes électromagnétiques dont la fréquence est proche d'une valeur appelée « fréquence propre de vibration » de la liaison covalente. Les atomes liés se mettent alors à vibrer autour de leur position d'équilibre.

Un modèle simple de la liaison chimique covalente, qualifié « modèle à oscillateur harmonique » (voir **document 1**), assimile la liaison entre deux atomes à une liaison solide-ressort.

Pour répondre aux questions ci-dessous, on s'aidera des données et des documents 1 à 5 présentés dans les pages suivantes.

1. PÉRIODE PROPRE D'UN OSCILLATEUR HARMONIQUE

En laboratoire, on étudie un dispositif solide-ressort, schématisé dans les **documents 2 et 3**. Dans le référentiel du laboratoire, l'une des extrémités d'un ressort de raideur k est maintenue fixe. L'autre extrémité est reliée à un solide de masse m . La masse oscille autour de sa position d'équilibre avec une période notée T_0 , appelée « période propre ». Les données sont présentées dans les **documents 2 et 3**.

1.1. La période propre T_0 d'un oscillateur harmonique est-elle proportionnelle à la masse m du solide ? À la constante de raideur k du ressort ? Justifier.

1.2. Parmi les expressions proposées ci-dessous, une seule est cohérente avec les observations des **documents 2 et 3**. Déterminer laquelle en expliquant le raisonnement.

$$T_0 = m \times k \quad T_0 = 2\pi \times \frac{m}{k} \quad T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}} \quad T_0 = 2\pi \times \sqrt{\frac{1}{m \times k}}$$

2. SPECTRE INFRAROUGE

On assimile la liaison covalente O – H à un oscillateur harmonique de constante de raideur $k = 7,2 \cdot 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ et de masse réduite m_r .

2.1. À l'aide du **document 4**, exprimer la masse m_r en fonction de $m(\text{O})$, masse d'un atome d'oxygène, et $m(\text{H})$, masse d'un atome d'hydrogène.

2.2. En déduire que $m_r = \frac{M(\text{O}) \times M(\text{H})}{(M(\text{O}) + M(\text{H})) \times N_A}$. Calculer la valeur de m_r .

2.3. À l'aide des questions **1.2** et **2.2**, montrer que la fréquence propre associée à cet oscillateur harmonique vaut $f_0 = 1,1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.

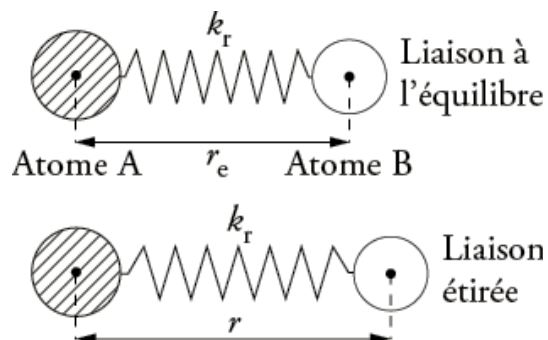
2.4. En calculant la longueur d'onde dans le vide associée à la fréquence f_0 et en supposant que le modèle précédent s'applique à la molécule d'eau, préciser à l'aide du **document 5** s'il s'agit d'une vibration d'élongation ou d'une vibration de déformation.

Données :

- masses molaires atomiques : $M(\text{H}) = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ – $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

Document 1 : Approximation de l'oscillateur harmonique

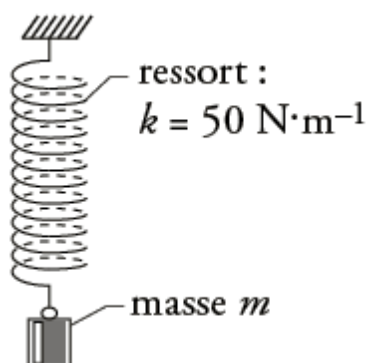
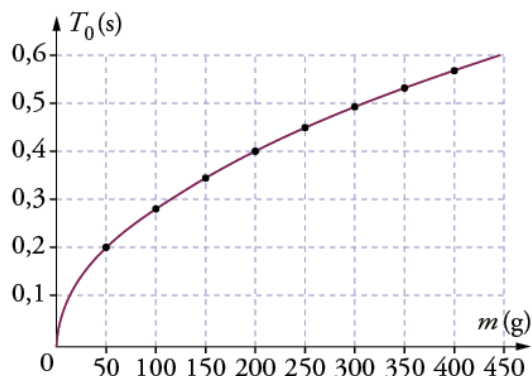
Une liaison covalente peut être assimilée à un ressort de constante de raideur k_r et de longueur à l'équilibre r_e reliant les deux atomes engagés dans la liaison.



Document 2 : Étude expérimentale du dispositif solide-ressort – influence de m

On étudie l'influence de la masse m du solide suspendu au ressort sur la période propre T_0 des oscillations. On utilise un ressort de constante de raideur $k = 50 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ et on relève la période propre T_0 des oscillations pour différentes masses m puis on trace la courbe représentant $T_0 = f(m)$.

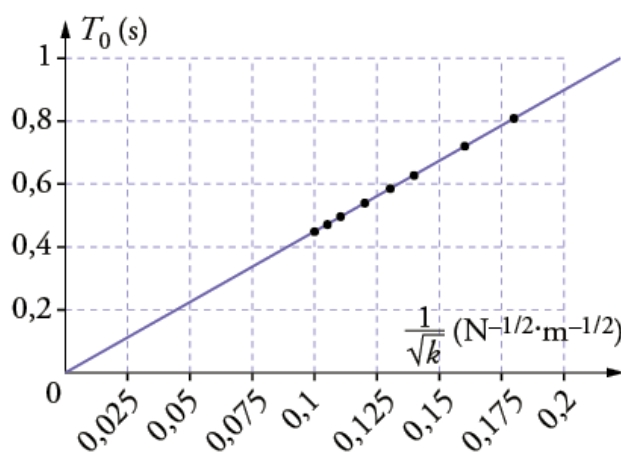
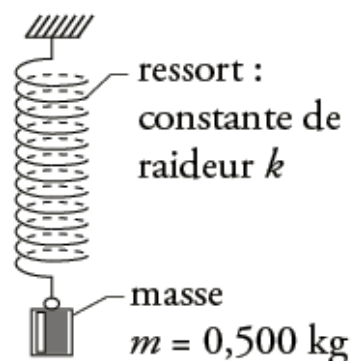
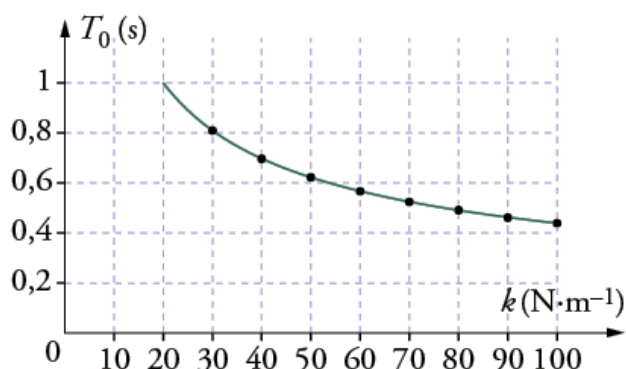
m (en g)	50	100	150	200	250	300	350	400
T_0 (en s)	0,20	0,28	0,34	0,40	0,44	0,49	0,53	0,56



Document 3 : Étude expérimentale du dispositif solide-ressort – influence de k

À l'aide du dispositif expérimental utilisé dans le **document 2**, on étudie ensuite l'influence de la constante de raideur k du ressort sur la période propre T_0 des oscillations. Pour cela, on utilise un solide de masse $m = 0,500 \text{ kg}$ et on relève la période propre T_0 des oscillations du dispositif solide-ressort pour différents ressorts ayant une constante de raideur différente. On trace ensuite la courbe représentant T_0 en fonction de k puis celle représentant T_0 en fonction de $\frac{1}{\sqrt{k}}$.

k en $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$	30	40	50	60	70	80	90	100
T_0 (en s)	0,81	0,70	0,63	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44



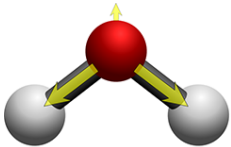
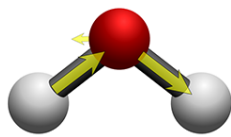
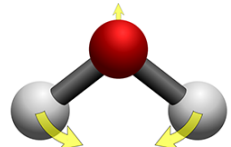
Document 4 : Oscillateur solide-ressort

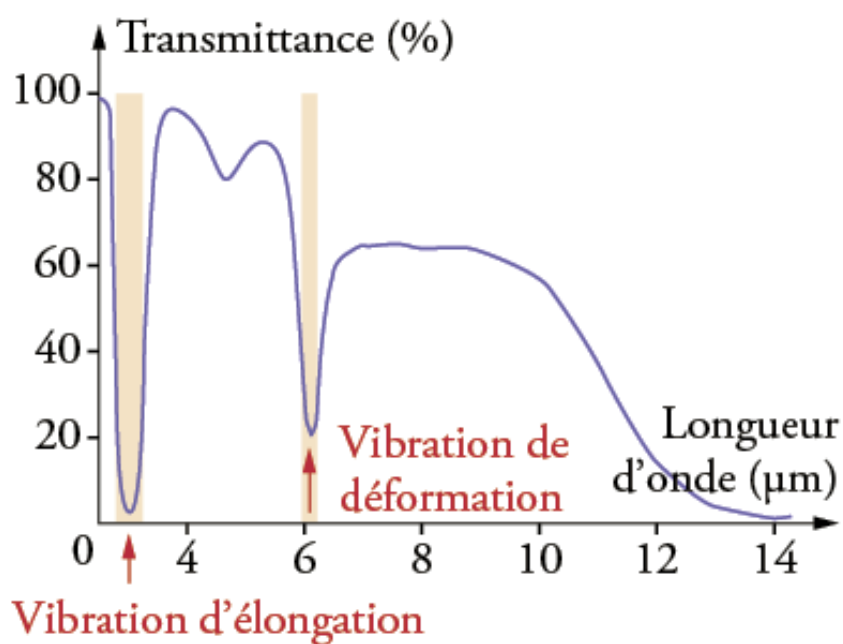
Un oscillateur lié, à chaque extrémité, à des masses m_A et m_B est équivalent à un oscillateur dont une extrémité est fixe et dont la masse m_r , dite « masse réduite », fixée à l'extrémité du mobile est donnée par la relation :

$$m_r = \frac{m_A \times m_B}{m_A + m_B}$$

Document 5 : Spectre infrarouge de la vapeur d'eau

La molécule d'eau à l'état de vapeur absorbe du rayonnement, notamment dans l'infrarouge. Elle présente trois modes normaux de vibration, tous dans le domaine infrarouge proche comme le montre le tableau ci-dessous.

Un mode de vibration d'élongation (stretching) symétrique situé à 3652 cm^{-1} , soit pour une longueur d'onde de $2,74\text{ }\mu\text{m}$. Les deux liaisons s'allongent et se raccourcissent simultanément.	
Un mode de vibration d'élongation (stretching) antisymétrique situé à 3756 cm^{-1} , soit pour une longueur d'onde de $2,66\text{ }\mu\text{m}$. Lorsqu'une liaison s'allonge, l'autre se raccourcit et vice versa.	
Un mode de vibration de déformation (dit « de cisaillement ») situé à 1595 cm^{-1} , soit pour une longueur d'onde de $6,27\text{ }\mu\text{m}$. L'angle entre les liaisons H – O – H oscille.	



http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/eau/comprendre/eau_univers