EXERCICE III : DES AURORES POLAIRES ET DES ÉLECTRONS (5 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, Ed Flammarion 2005

Dans le cas d'une particule dite 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 évènements et la durée mesurée Δt dans un référentiel en mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v par rapport au référentiel propre : $\Delta t = \gamma.\Delta t_0$ avec $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$;
- $1{,}00\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ;
- constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- masse d'un électron : $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ 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.

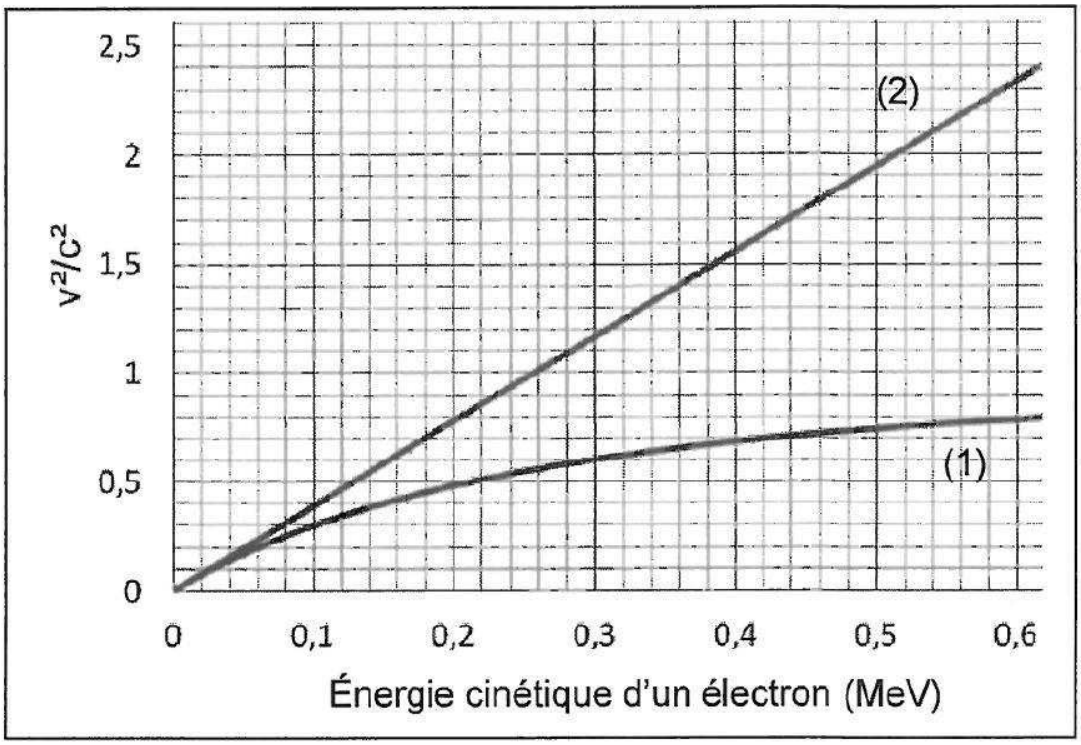
1.1.2. On considère une particule dont la vitesse dans un référentiel terrestre est égale à 10 % de celle de la lumière. On mesure $\Delta t = 1{,}0$ ns.
Estimer Δt_0. Commenter.

1.1.3. L'extrait du livre d'Etienne Klein se termine par ce passage :
« Les constantes fondamentales de la physique y sont modifiées de sorte que les 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 plus petite.

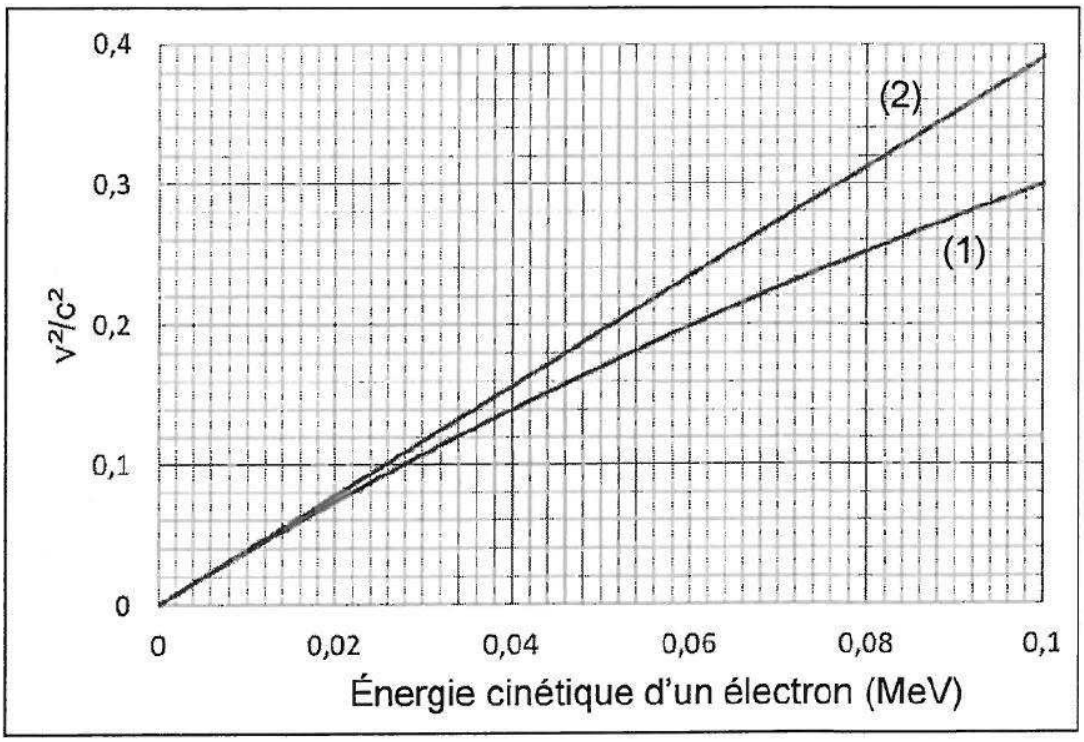
1.2. Énergie cinétique et vitesse des électrons

Les graphes (a) et (b) 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 graphe (b) permettent un agrandissement du graphe (a) au voisinage de l'origine.

(a)



(b)



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. Montrer qu'à partir d'une valeur de la vitesse v égale à $1{,}2 \times 10^8$ $m.s^{-1}$, les électrons peuvent être considérés comme relativistes.
On considèrera 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 %.

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 du 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.