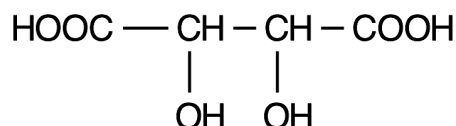


EXERCICE I : LA STÉRÉOISOMÉRIE DE PASTEUR À NOS JOURS (6 points)

Historiquement, c'est à Jean-Baptiste BIOT que l'on doit la découverte, dès 1815, de l'aptitude que possède une substance à dévier la lumière polarisée et à Louis PASTEUR, dès 1848, celle de l'existence de structures images en miroir l'une de l'autre et non superposables, dénommées énantiomères ou antipodes optiques. Cette découverte fut possible grâce à la séparation des cristaux énantiomères du tartrate double de sodium et d'ammonium (issu de l'acide tartrique) dont les uns sont dextrogyres et les autres lévogyres.

La découverte des relations entre les énantiomères et leur comportement biologique est également l'œuvre de Pasteur. Il a montré que seul le stéréoisomère dextrogyre du tartrate de sodium et d'ammonium était dégradé par une souche de *Penicillium*. Les travaux de Pasteur ont permis de caractériser une autre structure de l'acide tartrique, inactive sur la lumière polarisée en raison de sa symétrie interne, et différente des deux stéréoisomères cités précédemment.

1. L'acide tartrique est le nom systématique (ou officiel) de l'acide 2,3-dihydroxybutanedioïque, qui a pour formule brute $C_4H_6O_6$ et pour représentation :



Entourer et nommer les groupements caractéristiques présents dans l'acide tartrique.

- Expliquer l'existence de plusieurs stéréoisomères pour l'acide tartrique.
- Représenter les trois stéréoisomères de configuration de l'acide tartrique en représentation de Cram.
- Après avoir donnée la définition d'un énantiomère, indiquer quelles molécules correspondent aux deux énantiomères séparés par PASTEUR. Ces deux molécules sont-elles chirales ?
- Qu'est-ce qui distingue ces deux énantiomères ?
- Il existe donc un troisième stéréoisomère de l'acide tartrique. Justifier le fait qu'il n'ait pas d'action sur la lumière polarisée.

EXERCICE II : « Ô TEMPS ! SUSPENDS TON VOL » ... (14 points)

Document 1 : Le muon

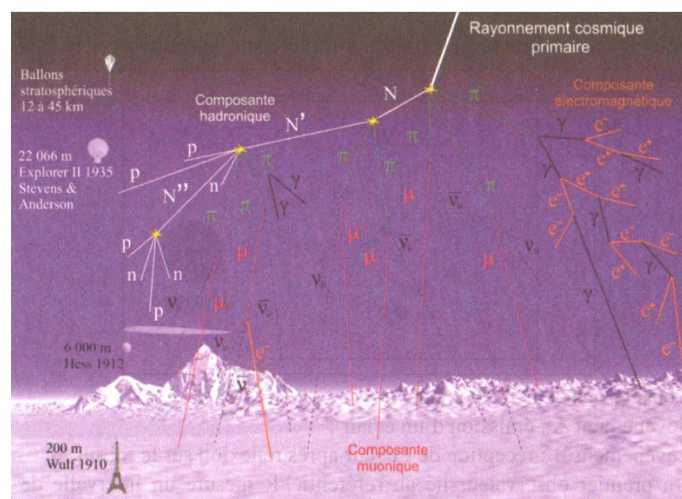
Le muon (ou μ) est une particule élémentaire qui appartient, comme l'électron, à la famille des leptons : il porte une charge élémentaire (il y a des μ^+ et des μ^-) et sa masse est 207 fois la masse de l'électron. C'est une particule instable : il se désintègre au bout d'un temps $\tau = 2,20 \cdot 10^{-6}$ s, appelé « durée de vie », selon le mode de désintégration suivant :

$$\mu^- = e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \quad \text{et} \quad \mu^+ = e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

Les muons, au repos, se désintègrent selon la loi : $N(t) = N_0 \cdot e^{-t/\tau}$ avec N le nombre de muons à l'instant t , N_0 le nombre de muons à l'instant $t = 0$, τ la durée de vie d'un muon (lorsqu'il est au repos) et t le temps lu sur une horloge liée au référentiel dans lequel le muon est au repos.

D'après : SIMON, Yvan. *Relativité restreinte – Cours et applications*. Vuibert.

Document 2 : Une gerbe cosmique

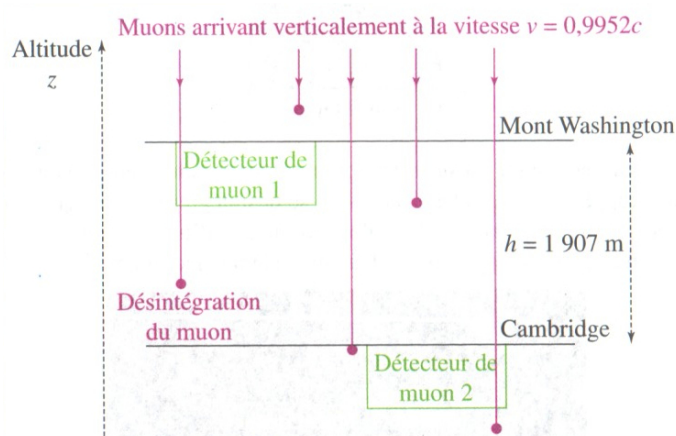


Les muons nous arrivent verticalement depuis la haute atmosphère avec des vitesses voisines de la vitesse de la lumière ($v = 0,9952 \cdot c$). Ils ont été formés dans des réactions nucléaires elles-mêmes provoquées par un rayonnement cosmique primaire.

D'après : LAGOUTE, Christophe. *Réalisation d'un détecteur de muons : une approche de physique du XX^e siècle au lycée.* B.U.P. n°911.

Document 3 : Expérience de D. Frisch et J. Smith (1963)

En 1963, David H. Frisch et James H. Smith ont étudié la durée de vie des muons du rayonnement cosmique. Pour cela, ils ont placé deux détecteurs de muons (scintillateurs) à deux altitudes différentes.



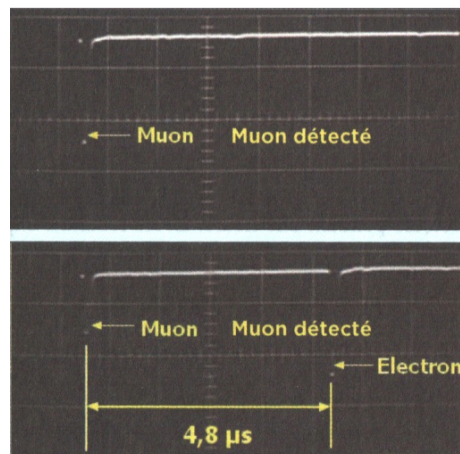
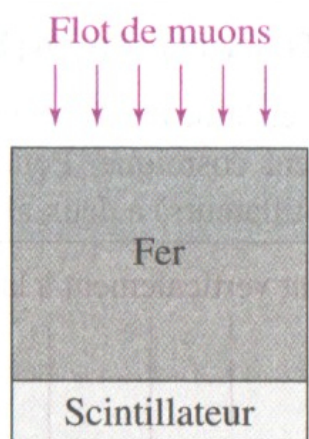
D. Frisch et J. Smith ont comptabilisé le nombre de muons entrant dans les deux détecteurs pendant une heure. Leurs résultats expérimentaux sont reportés dans le tableau suivant.

Essai numéro	Mont Washington	Cambridge
1	568	412
2	554	403
3	582	436
4	527	395
5	588	393

D'après : FRISCH, David H. – SMITH, James H. *Mesurement of the relativistic time dilatation using μ Mesons.* Article original du 14 janvier 1963.

Document 4 : Principe des détecteurs de particules utilisés par Frisch et Smith

Considérons un flot de muons arrivant verticalement. Ces muons traversent un scintillateur recouvert d'une épaisseur de 75 cm de fer. L'arrivée d'un muon sur le scintillateur se traduit par un très court éclair lumineux qui génère un signal électrique (signal 1). Si l'épaisseur de fer est suffisante pour arrêter certains muons, ceux qui sont stoppés ont toutes les chances de se désintégrer dans les quelques microsecondes suivantes : il y a alors production d'un électron (ou positon) énergétique qui génère un deuxième signal électrique (signal 2).



D'après : FRISCH, David H. – SMITH, James H. *Mesurement of the relativistic time dilatation using μ Mesons*. Article original du 14 janvier 1963.

Document 5 : Valeur moyenne et écart-type

Soit une distribution équiprobable de valeurs $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. La valeur moyenne de cette distribution est donnée par la relation suivante :

$$\langle x \rangle = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n}$$

L'écart-type de cette distribution est donnée par la relation suivante :

$$E = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot [(x_1 - \langle x \rangle)^2 + (x_2 - \langle x \rangle)^2 + \dots + (x_n - \langle x \rangle)^2]}$$

Document 6 : Incertitudes, intervalle de confiance et niveau de confiance

On réalise une mesure de X avec un appareil de mesure. On réalise la mesure n fois de suite ($n > 3$) avec le même appareil.

Soit $\langle X \rangle$ la valeur moyenne des n mesures et E l'écart-type associé.

Alors, en choisissant l'intervalle de confiance $[\langle X \rangle - 2E, \langle X \rangle + 2E]$, le niveau de confiance vaut 95%. Autrement dit, la « vraie » valeur de X a 95% de chances d'être comprise entre $\langle X \rangle - 2E$ et $\langle X \rangle + 2E$.

En choisissant l'intervalle de confiance $[\langle X \rangle - 3E, \langle X \rangle + 3E]$, le niveau de confiance vaut 98%. Autrement dit, la « vraie » valeur de X a 98% de chances d'être comprise entre $\langle X \rangle - 3E$ et $\langle X \rangle + 3E$.

Une preuve expérimentale de la relativité : l'expérience de Frisch et Smith (1963)

1. Résultats expérimentaux

On appelle N_1 le nombre moyen de muons détectés au niveau du Mont Washington en une heure et N_2 le nombre moyen de muons détectés au niveau de Cambridge en une heure.

- 1.1. En exploitant les 5 essais du **document 3**, donner la valeur de N_1 . Estimer et justifier l'incertitude sur cette valeur pour avoir un intervalle de confiance de 95%. On pourra utiliser les **documents 5** et **6**.
- 1.2. Déterminer de même la valeur de N_2 . Estimer de même l'incertitude sur cette valeur pour avoir un intervalle de confiance de 95%.
- 1.3. Dans leur expérience, Frisch et Smith n'ont pas pris en compte les erreurs systématiques. Qu'entendent-ils par « erreurs systématiques » ? Donner un exemple d'erreur systématique dans une expérience de votre choix.

2. Interprétation des résultats expérimentaux

- 2.1. À l'aide du **document 1**, exprimer N_2 en fonction de N_1 , τ , h et v sans prendre en compte le phénomène de dilatation du temps.
- 2.2. Faire l'application numérique pour N_2 connaissant N_1 , τ , h et v (on prendra comme valeur pour la vitesse de la lumière dans le vide $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Comparer à la valeur expérimentale réelle.
Au regard des incertitudes évaluées en 1.2., l'écart entre la valeur théorique et la valeur expérimentale peut-il raisonnablement provenir de l'expérience ?
- 2.3. En prenant en compte cette fois le phénomène de dilatation du temps, exprimer de nouveau N_2 en fonction de N_1 , τ , h , v et c . On pourra introduire le facteur $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.
- 2.4. Faire de nouveau l'application numérique. Conclure.

3. Mesure du temps propre de désintégration d'un muon

On souhaite exploiter le **document 4** pour retrouver le temps de vie propre τ d'un muon.

- 3.1. Laquelle des deux figures sur fond noir du **document 4** peut permettre de déterminer τ ? Justifier et donner sa valeur.
- 3.2. Comparer à la valeur précise de τ donnée dans le **document 1**. La valeur déterminée dans la question précédente vous semble-t-elle convenable ? Proposer un protocole expérimental pour améliorer la précision de la mesure.