EXERCICE III - DÉTECTION DE RAYONS COSMIQUES (5 POINTS)

En 1911, le physicien Viktor Hess découvrait ce qui est appelé le rayonnement cosmique. On comprendra par la suite que ce rayonnement est constitué de particules, parmi elles se trouvent des muons.

1. Étude des muons

Lors de son émission de radio « *La Conversation scientifique* » du 31 décembre 2016 sur France-Culture, Étienne Klein a invité Sébastien Procureur physicien nucléaire, responsable scientifique à l'IRFU (Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers) du CEA.
Au cours de cette conversation, Étienne Klein soulève un point qui pose problème :
« En admettant même que ces particules aillent à la vitesse de la lumière, si leur durée de vie est de 2,0 µs, elles parcourent 600 m dans l'atmosphère, or on a dit qu'elles étaient produites à plusieurs dizaines de kilomètres au-dessus de la surface du sol. Comment on explique ce décalage ? »
La réponse de Sébastien Procureur est limpide :
« C'est un simple effet de relativité restreinte. »

Sur le site *www.laradioactivite.com*, on peut lire :
Un muon de 1 GeV (1000 MeV) parcourt en moyenne 6,87 km dans l'atmosphère, un muon de 10 GeV près de 63 km. Cet allongement des parcours avec l'énergie est dû à la dilatation des durées prédite par la théorie de la relativité restreinte d'Einstein.

Données :

- 1 eV = $1{,}60\times10^{-19}$ J ;
- facteur de Lorentz : $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$
  où v est la vitesse de la particule dans le référentiel du laboratoire ;
- la durée de vie ΔT d'une particule animée d'une vitesse v, mesurée dans le référentiel du laboratoire, est liée à sa durée de vie propre ΔT_0 par l'égalité : $\Delta T = \gamma \Delta T_0$;
- énergie d'une particule de masse m en mouvement : $E = \gamma mc^2$;
- masse du muon : $m_\mu = 1{,}88\times10^{-28}$ kg.

1.1. Retrouver l'ordre de grandeur de la valeur de la célérité c de la lumière à partir des valeurs évoquées par Étienne Klein.

1.2. La durée de vie des muons dans leur référentiel propre est $\Delta T_0 = 2{,}2$ µs. Pour des muons qui se déplacent à la vitesse $v = 0{,}9997\ c$, déterminer la valeur de leur durée de vie mesurée dans le référentiel du laboratoire.

1.3. Quelle est la distance parcourue par ces muons dans le référentiel du laboratoire. Est-elle compatible avec les observations ?

1.4. Quelle est l'énergie d'un muon qui se déplace à la vitesse $v = 0{,}9997\ c$? La valeur trouvée est-elle cohérente avec les résultats précédents et les informations fournies ? Justifier.

2. Détection des muons au lycée

Le dispositif ministériel Sciences à l'École, dans le cadre du plan d'équipement COSMOS à l'École, met à disposition des établissements scolaires un cosmodétecteur. Cet appareillage permet de détecter des muons et de mesurer des durées de vie.

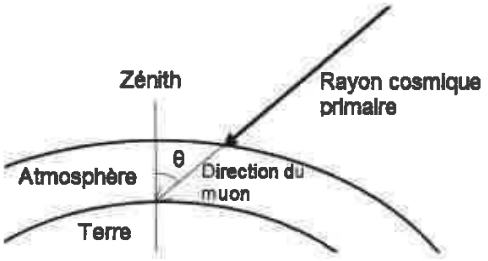
Source : Sciences à l'École



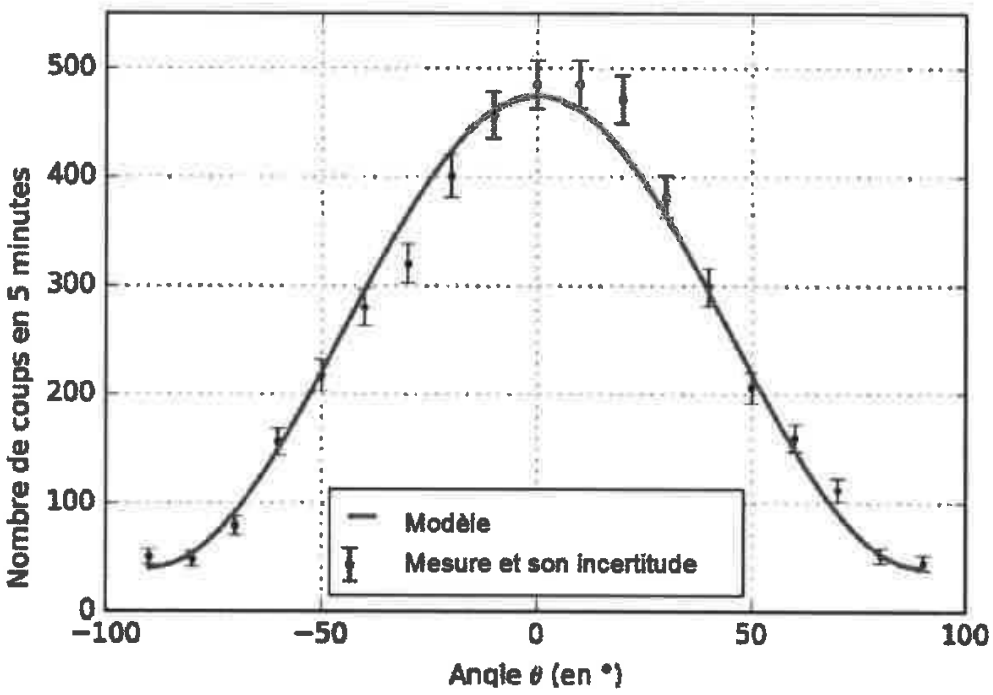
Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 1 / 3
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

Distribution angulaire de la direction d'arrivée des muons

Afin de pouvoir comparer les données de mesures, certains paramètres doivent être réglés sur le cosmodétecteur. Parmi ces paramètres figure l'orientation de l'appareil. Le nombre de muons détectés à la surface de la Terre diffère suivant la direction d'observation.



En mesurant le nombre d'impacts en cinq minutes sur le détecteur en fonction de l'angle d'orientation de ce détecteur par rapport au zénith, on trace le graphe suivant :



D'après cahier pédagogique – Plan *d'équipement «COSMOS à l'École»*

Mesures collaboratives

À l'occasion de la « Fête de la Science » le vendredi 13 octobre 2017, des mesures ont été effectuées par différents lycées de France.

On s'intéresse aux mesures effectuées au lycée de Lunel.

Lunel est une ville qui se situe à une altitude de 8 m au-dessus du niveau de la mer (dans le département de l'Hérault).

Les mesures ont été effectuées en extérieur de 8 h à 12 h.

Température (en °C arrondi au dixième)	Pression (en hPa arrondi au dixième)	Humidité (%)	Numéro de la mesure	Heure métropole (début de la mesure)	Nombre de muons comptés au zénith pendant une durée de 10 min
11,4	1026,2	84	0	8:00:00	
			1	8:10:00	1009
			2	8:20:00	1030
12	1026		3	8:30:00	992
			4	8:40:00	994
			5	8:50:00	1019
15	1026	83	6	9:00:00	984
			7	9:10:00	922
			8	9:20:00	1008
15	1026		9	9:30:00	1001
			10	9:40:00	1016
			11	9:50:00	971
16,1	1027	70	12	10:00:00	940
			13	10:10:00	963
			14	10:20:00	990
18	1027		15	10:30:00	906
			16	10:40:00	936
			17	10:50:00	944
18,1	1027,6	68	18	11:00:00	927
			19	11:10:00	919
			20	11:20:00	965
18	1027		21	11:30:00	918
			22	11:40:00	912
			23	11:50:00	976
17	1027	76	24	12:00:00	950

Données :

- Le flux de muons au niveau de la mer est de 1 muon par cm^2 par minute ;
- Exploitation d'une série de mesures d'une grandeur X :

Pour une série de mesures pour lesquelles on suppose les conditions de répétabilité vérifiée, on considère que la meilleure estimation de l'incertitude de mesure de la grandeur X, avec un niveau de confiance de 95% s'écrit :

$$U_X = 2 \times \frac{s_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

n : nombre de valeurs disponibles

s_{n-1} : écart-type expérimental tel que : $s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \times \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$

2.1. Dans quelle direction faut-il orienter le détecteur pour avoir un nombre d'impacts maximal ? Ce positionnement doit-il être effectué avec précision ?

2.2. On souhaite évaluer le nombre d'impacts à Lunel en 10 minutes en faisant apparaître la valeur de l'incertitude avec un niveau de confiance de 95 %.

2.2.1. Quelle est la meilleure estimation de ce nombre d'impacts ? Calculer ce nombre.

2.2.2. Écrire le résultat en faisant apparaître la valeur de l'incertitude sur la mesure.

2.3. Évaluer la surface effective de détection du cosmodétecteur. Commenter le résultat.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 3
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer