

NOM :
PRÉNOM :
N° ÉTUDIANT :



LICENCE DE PHYSIQUE — RELATIVITÉ RESTREINTE

INTERROGATION ÉCRITE

Parcours SPRINT & Double Majeure PM — Année Universitaire 2023–2024

Interrogation n°2 : durée 15 minutes

Documents, ordinateurs, tablettes et téléphones sont interdits.

Les calculatrices (basiques) sont autorisées.

[Total : 10 pts]

1. Transformation de Lorentz – Muons atmosphériques

Transformation de Lorentz

On raisonnera dans le référentiel local terrestre \mathcal{R} , qu'on supposera galiléen/inertiel. On munit \mathcal{R} d'une origine arbitraire O et d'un trièdre direct $\{\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z\}$.

On considère un second référentiel \mathcal{R}' , en translation uniforme par rapport au référentiel \mathcal{R} , à la vitesse $\mathbf{v}_{\mathcal{R}'/\mathcal{R}} = \mathbf{v} = v \mathbf{e}_x$, constante. On munit \mathcal{R}' d'une origine O' et du même trièdre $\{\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z\}$.

Enfin, on choisira l'origine des temps dans les deux référentiels de telle sorte que $t = t' = 0$ lorsque les origines O et O' se confondent.

2 pts 1.1 — Écrivez les équations de la transformation de Lorentz qui permettent de passer des coordonnées $(ct, \mathbf{r}) = (ct, x, y, z)$ d'un événement M dans le référentiel \mathcal{R} aux coordonnées $(ct', \mathbf{r}') = (ct', x', y', z')$ du même événement M dans le référentiel \mathcal{R}' .

- 2 pts** 1.2 — Écrivez de même la relation réciproque, qui donne les coordonnées de l'événement M dans le référentiel \mathcal{R} en fonction de ses coordonnées dans le référentiel \mathcal{R}' .

Application aux muons atmosphériques

On considère un muon μ^- produit à une altitude H de 15 km par une gerbe atmosphérique.

On suppose que le muon se déplace à la vitesse $v = 0.9995c$; on ne tiendra pas compte de ses interactions avec les molécules de l'atmosphère et on supposera que sa vitesse demeure parfaitement constante jusqu'au sol.

On considère deux référentiels : le référentiel terrestre $\mathcal{R} = \mathcal{R}_{\oplus}$, qu'on considère comme galiléen; et le référentiel propre du muon, $\mathcal{R}' = \mathcal{R}_{\mu^-}$.

On choisit les axes (Ox) et $(O'x')$ verticaux, orientés vers le bas; par commodité, on place l'origine O au lieu de création du muon (à 15 km d'altitude), et on choisit l'origine des temps dans les deux référentiels à l'instant de création du muon (fig. 1).

On considère trois événements :

- E_0 : naissance du muon à l'altitude $H = 15$ km, à $t_0 = t'_0 = 0$;
- E_1 : passage du muon à l'altitude $h = 5$ km, niveau du sommet d'une montagne;
- E_2 : le muon atteint le sol, au niveau de la mer.

- 1 pt** 1.3 — Que vaut le facteur $\gamma(v)$ pour le muon dans le référentiel terrestre? Application numérique.

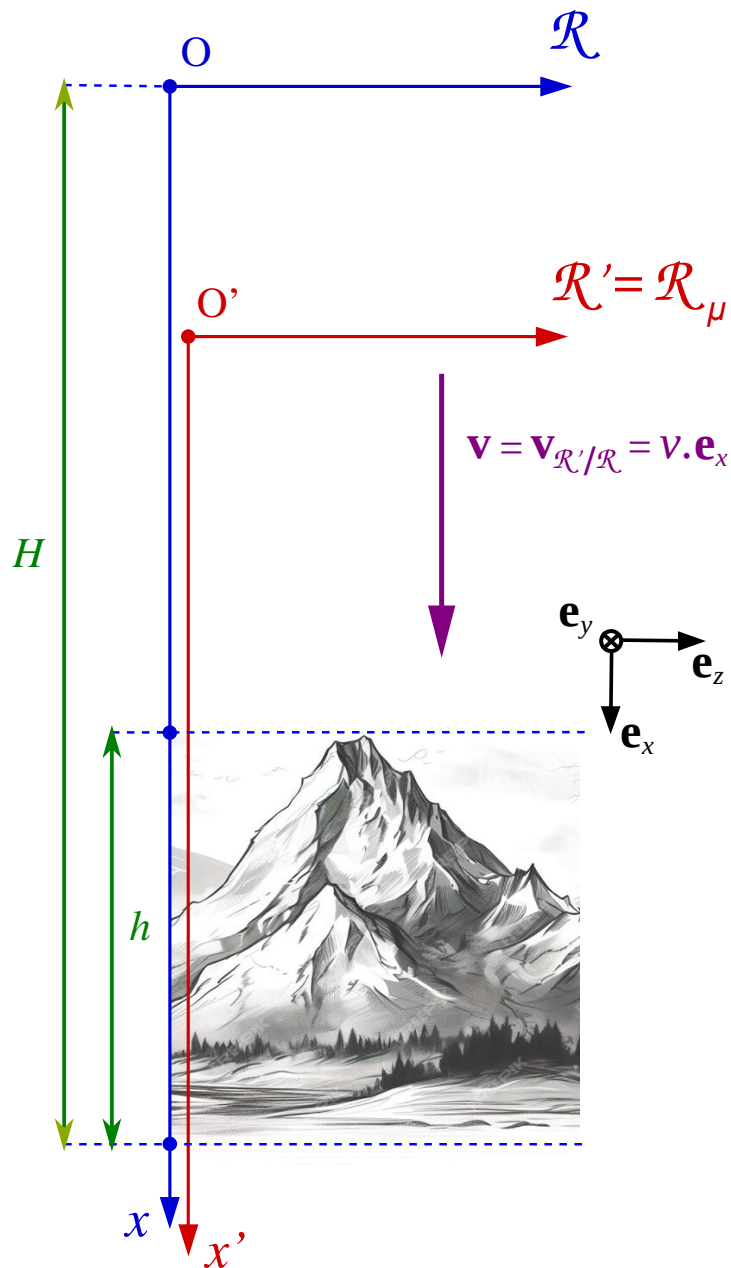


FIGURE 1 – Référentiels de la Terre ($\mathcal{R} = \mathcal{R}_\oplus$) et du muon ($\mathcal{R}' = \mathcal{R}_\mu$). On choisit l'origine des temps ($t = t' = 0$ quand $O = O'$) à l'instant où le muon est créé, à une altitude $H = 15$ km au dessus du niveau de la mer. On note E_1 l'événement de passage du muon au niveau du sommet de la montagne, et E_2 l'arrivée du muon au sol (niveau de la mer).

5 pts 1.4 — En utilisant la transformation de Lorentz (directe ou réciproque), complétez le tableau suivant, en donnant les expressions analytiques, puis les valeurs numériques, des coordonnées spatio-temporelles des événements E_1 et E_2 dans les deux référentiels, celui de la Terre et celui du muon. Comparez avec le temps de vie moyen d'un muon ($\tau_\mu = 2.2 \mu s$). Commentez.

Événement	$\mathcal{R} = \mathcal{R}_\oplus$	$\mathcal{R}' = \mathcal{R}_{\mu^-}$
E_0 : création du μ^- .	$x_0 = 0$ $t_0 = 0$	$x'_0 = 0$ $t'_0 = 0$
E_1 : μ^- à l'altitude $h = 5 \text{ km}$.	$x_1 =$ $t_1 =$	$x'_1 =$ $t'_1 =$
E_2 : le μ^- atteint le sol.	$x_2 =$ $t_2 =$	$x'_2 =$ $t'_2 =$