

Relativité et Électromagnétisme : TD de soutien n°1

— L7 —

Cinématique relativiste

Igor Ferrier-Barbut, Marc Lilley, Sylvain Nascimbène & Bruno Peaudecerf

13 février 2013

Exercice 1 : Traversée d'une lame

On considère une lame d'indice propre n' et d'épaisseur propre e' , animée d'un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v par rapport au laboratoire, et un faisceau lumineux se propageant dans le même sens que la lame. On note \mathcal{R} le référentiel du laboratoire et \mathcal{R}' le référentiel lié à la lame. À l'instant $t = t' = 0$ le faisceau lumineux atteint la face arrière de la lame, située en $x = x' = 0$.

1. Quelle est l'épaisseur e de la lame dans le référentiel \mathcal{R} ?
2. À quel instant et à quelle position dans le référentiel \mathcal{R} le faisceau sort-il de la lame ?
3. Evaluer par 2 méthodes différentes la vitesse du faisceau à l'intérieur de la lame dans le référentiel \mathcal{R} . En déduire l'indice de la lame mesuré par un observateur fixe dans \mathcal{R} .

Exercice 2 : Phénomène d'aberration des étoiles

On s'intéresse à l'aspect du ciel tel qu'il est perçu par un observateur, Ulysse, pilotant une fusée à travers l'espace et le temps. On appelle \mathcal{R} un référentiel où les étoiles sont supposées fixes, et θ l'angle entre une étoile lointaine et l'axe Ox . Ulysse est situé sur l'axe Ox et est animé d'une vitesse v par rapport à cet axe.

1. Pour les besoins de sa narration, Homère, qui est fixe dans \mathcal{R} souhaite savoir sous quel angle θ' Ulysse voit cette étoile.
Calculer l'angle que détermine Homère par une analyse classique où il considère que la vitesse de la lumière vaut c dans le référentiel \mathcal{R} .
2. De même, calculer l'angle θ' sous lequel Ulysse voit cette étoile dans une analyse relativiste. Étudier qualitativement la fonction $\theta'(\theta)$. Si le ciel dans \mathcal{R} contient de nombreuses étoiles uniformément réparties, que voit Ulysse ?
3. Calculer enfin la fréquence ω' qui serait reçue par Ulysse si l'étoile envoyait une fréquence unique ω . En supposant que toutes les étoiles de \mathcal{R} émettent un spectre large centré dans le jaune (étoiles de type solaire), décrire qualitativement l'aspect du ciel.

Exercice 3 : Vitesses supra-luminiques

En 1977, les astrophysiciens détectent le rayonnement synchrotron émis par un jet d'électrons relativistes issu de la radiosource 3C 273. Le suivi du jet sur la sphère céleste montre un déplacement de 0.0022 secondes d'arc par an, ce qui implique une vitesse *apparente* $v_{\text{app.}} = 10c$ à la distance $L \sim 600$ Mpc de la radiosource¹.

1. Mpc = mega-parsec, où parsec signifie parallaxe-seconde : c'est la distance à laquelle on voit l'unité astronomique (1 U.A.=150 millions de km) sous un angle de 1 seconde d'arc, soit 1 pc=3 10¹⁶ m.

Ce résultat paradoxal remettrait-il en cause le postulat de la relativité restreinte selon lequel la vitesse de la lumière est une limite absolue ?

Pour répondre à cette question, considérons le modèle simple de la FIG. 1. Un physicien \mathcal{O} observe le mouvement d'une particule \mathcal{P} située à une distance L de O , origine du repère utilisé par \mathcal{O} . La particule parcourt une droite faisant un angle θ avec Oy à vitesse constante v . Lorsque \mathcal{P} coupe l'axe Oy , elle émet un premier photon (événement E_1). Après un temps Δt , elle en émet un second (événement E_2).

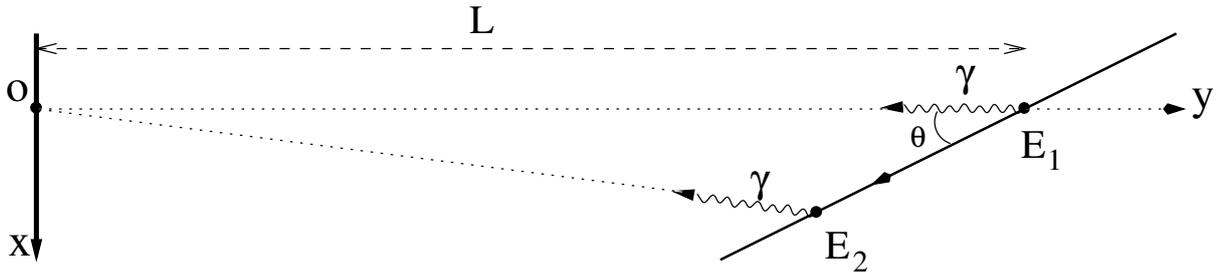


FIGURE 1: jet supra-luminique

1. En déterminant les instants de réception de ces photons par l'observateur \mathcal{O} , déterminer la vitesse apparente de \mathcal{P} vue par \mathcal{O} (considérer la limite continue $\Delta t \rightarrow 0$).
2. Calculer l'angle θ maximisant la vitesse apparente puis conclure quant à l'effet observé.