

Conformément à l'usage typographique international, les vecteurs sont représentés en gras

Questions de cours: Römer et la vitesse de la lumière

1. En 1671, l'astronome danois Olaus Christensen Römer étudie les satellites de Jupiter (découvert par Galilée en 1609) à l'Observatoire de Paris. Plus précisément, il étudie les éclipses de ces satellites (et en particulier des séries d'éclipses du satellite Io). Expliquer la raison de l'intérêt que les astronomes de l'époque portent à l'étude des éclipses des satellites de Jupiter.
2. Römer se rend alors compte que ces éclipses (approximativement une toutes les 42,5 heures pour le satellite Io) se produisent souvent en avance (ou en retard) de plusieurs minutes par rapport aux éphémérides (c'est-à-dire aux précisions théoriques) calculées par Jean-Dominique Cassini. Plus précisément, les 'sorties d'éclipses' observées (c'est-à-dire le moment où le satellite sort de l'ombre de Jupiter) sont en retard par rapport aux éphémérides quand la Terre s'éloigne de Jupiter, et les entrées d'éclipses sont en avance quand la Terre s'en rapproche. Comment Römer interprète-il ces avances et retards ? Faites un dessin (sur lequel figure la Terre, le Soleil, Jupiter et le satellite Io) pour appuyer votre réponse.
3. Expliquer comment, selon l'hypothèse de Römer, on peut estimer le temps que met la lumière pour traverser l'orbite terrestre (c'est-à-dire pour parcourir le diamètre du quasi-cercle que fait la trajectoire de la Terre autour du Soleil), en fonction des 'retards' et des 'avances' mesurés au cours d'une année. Pouvait-on en déduire à l'époque la vitesse de la lumière ? Pourquoi ?

Vitesse de la lumière dans un milieu matériel en mouvement

Une lame de verre à faces parallèles, d'indice $n = 1,5$ et d'épaisseur $e = 1$ cm, se déplace dans le référentiel du laboratoire $\mathcal{R} = Oxyz$, dans la direction Ox perpendiculaire aux faces, à la vitesse $\mathbf{u} = u \mathbf{e}_x$ avec $u = c/2$, c étant la vitesse de la lumière dans le vide. On assimile l'air au vide et on rappelle que l'indice n d'un milieu est le rapport de c sur la vitesse de la lumière dans ce milieu.

Un éclair lumineux traverse la lame dans la direction \mathbf{e}_x . On désigne par E_1 l'événement 'entrée de l'éclair dans la lame', en O et à l'instant pris comme origine, et E_2 l'événement 'sortie de l'éclair de la lame'. On associe à la lame le référentiel \mathcal{R}' en translation, rectiligne, uniforme par rapport à \mathcal{R} .

1. Calculer le facteur relativiste γ_e associé au mouvement de \mathcal{R}' par rapport à \mathcal{R} .
2. Trouver, en fonction de e , n , $\beta_e = u/c$ et γ_e , les coordonnées spatio-temporelles de E_2 dans \mathcal{R}' et dans \mathcal{R} .
3. En déduire, en picoseconde, les durées de traversée de la lame dans \mathcal{R}' et dans \mathcal{R} . Quelle est, en cm, la distance qui sépare, dans \mathcal{R} , les événements E_1 et E_2 .

4. Trouver, en fonction de e et n , l'expression du carré de l'intervalle entre E_1 et E_2 . Calculer la valeur de l'intervalle en cm^2 .
5. Établir, en fonction de n et β_e , la relation entre la vitesse v de l'éclair dans \mathcal{R} et celle v' dans \mathcal{R}' à l'aide des questions précédentes. Retrouver ce résultat à partir des formules de transformation des vitesses. En déduire la valeur numérique de v/c , comparer à v'/c .
6. Quelle est l'expression de v dans l'approximation newtonienne ?
7. Réécrire la vitesse v de l'éclair, par rapport au laboratoire, sous la forme :

$$v = u + \frac{c}{n(u)}$$

où $n(u)$ est une fonction de u que l'on déterminera. Tracer v en fonction de u . Commenter. Justifier l'interprétation de $n(u)$ comme un entraînement partiel de l'éther par un milieu matériel mobile. Cette effet d'entraînement fut mesuré avant que la relativité ne soit connue. On l'appela loi d'entraînement de Fresnel.

Synchrotron à protons Saturne de Saclay

Dans le synchrotron Saturne de Saclay en France, la trajectoire des protons qu'on veut accélérer à des vitesses relativistes est rendue circulaire au moyen d'un champ magnétique \mathbf{B} uniforme. Cette trajectoire a un rayon $R = 8.42$ m. L'accélération tangentielle est produite à chaque tour au moyen d'un champ électrique sinusoïdal, de fréquence f . Ce champ accélère les protons lorsqu'ils passent dans une cavité accélératrice.

1. Quelle équation relie R , B et l'énergie cinétique E_k des particules ?
2. Trouver la fréquence f du champ électrique. En déduire que B et f doivent varier en satisfaisant à une relation que l'on établira. Quelle est la fréquence limite f_0 lorsque l'énergie des protons augmente ?
3. Les protons sont injectés avec l'énergie cinétique initiale $E_{k,1} = 3.6$ MeV et sortent avec l'énergie cinétique $E_{k,2} = 2.9$ GeV. Calculer les valeurs initiale et finale de B .
4. Exprimer R en fonction de B et le facteur de Lorentz des protons. En déduire la relation entre f , f_0 et B . Calculer les valeurs finale et initiale de f .

On donne l'énergie de masse des protons $mc^2 = 938.3$ MeV et $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C