Epiphymaths.

Débat sur le paradoxe de Bell.

La ficelle casse-t-elle ?

Où est le paradoxe ? Daniel le sait.

Pour une accélération d'1 g, effets significatifs sur des distances d'1 al !

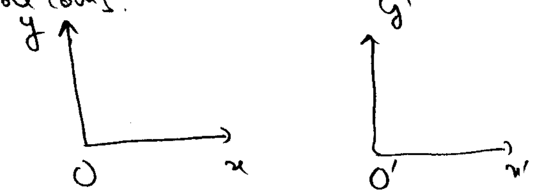
Einstein a étudié dès 1907 des mvts accélérés. Pb de changement du temps propre : le "potentiel d'accélération" apparaît.

(en fait dès 1905, l'e^- est accéléré !).

Pb aussi des faux amis ex : référentiel avec accélération constante : cela n'a pas le même sens en relativiste et non relativiste.

---

rappel de cours.

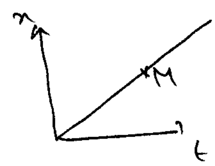


$$\begin{cases} x = \Gamma(x' + vt') \\ t = \Gamma\left(t' + \dfrac{vx'}{c^2}\right) \end{cases} \qquad \begin{cases} x' = \Gamma(x - vt) \\ t' = \Gamma\left(t - \dfrac{vx}{c^2}\right) \end{cases}$$

avec $\Gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

Pb : le point M n'est pas dans les deux espaces à la fois. Le tableau ne peut représenter l'espace à trois dimensions.

ligne d'univers = équation du temps.



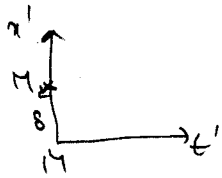
$x = vt$.

Maintenant considérons le référentiel propre de M (x', t')

$x' = 0$.

$$t' = \Gamma\left(t - \frac{v(vt)}{c^2}\right) = \Gamma t\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = \frac{t}{\Gamma}$$

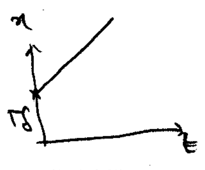
Donc M



Q : M_1 est fixe / M dans le référentiel R'

$x'_1 = 0 \quad x'_2 = \delta$

$t'_1 = \frac{t}{\Gamma} \quad t'_2 = \frac{t}{\Gamma}$



$$x_2 = \Gamma\left(\delta + \frac{vt}{\Gamma}\right) = vt + \Gamma\delta.$$

$$t_2 = \Gamma\left(t'_2 + \frac{v x'_2}{c^2}\right) = \Gamma\left(\frac{t}{\Gamma} + \frac{v\delta}{c^2}\right) = t + \frac{\Gamma v \delta}{c^2}.$$

On a donc $t = t_2 - \frac{\Gamma v \delta}{c^2}$ et $x_2 = v\left(t_2 - \frac{\Gamma v \delta}{c^2}\right) + \Gamma\delta = vt_2 + \delta\Gamma\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$

$= vt_2 + \frac{\delta}{\Gamma}$.

$\left.\begin{array}{l} x' = \Gamma(x - vt) \\ t' = \Gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right) \end{array}\right)$ donne $t' = \Gamma\left(t - \frac{v}{c^2}\left(\frac{x'}{\Gamma} + vt\right)\right) = \Gamma t - \frac{vx'}{c^2} - \frac{\Gamma v^2}{c^2} t$

$= \frac{t}{\Gamma} - \frac{vx'}{c^2}$

si $x = u(t)$, $v = \frac{du(t)}{dt}$ $\quad \left\{\begin{array}{l} x' = \Gamma(x - \ldots(t)) \\ t' = \frac{t}{\Gamma} - \frac{vx'}{c^2} \end{array}\right.$?

Comment faire proprement le mvt accéléré ?

$\vec{v} = (v_0, \vec{v})$
$\vec{w} = (w_0, \vec{w})$ $\quad \vec{v}\cdot\vec{w} = (v_0 w_0 - \vec{v}\cdot\vec{w})$ quadri vecteurs $\left|\begin{array}{ll} \text{temps} : & \vec{v}^2 > 0 \\ \text{espace} & \vec{v}^2 < 0 \\ \text{lumière} & v^2 = 0. \end{array}\right.$

Soit maintenant $\vec{R} = (ct, \vec{r})$

Appelons : <u>constant</u> indépendant du temps
<u>uniforme</u> indépendant de l'espace.
<u>invariant</u> par rapport à un changement de référentiel.
<u>conservé</u>

On a alors : $\vec{v}\cdot\vec{w}$ est invariant.

$d\vec{R} = (c\,dt, d\vec{r})$

$c^2 dt \cdot d\vec{r}^2 = c^2 d\tau^2$ $\quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\, dt = d\tau$ $\quad \tau = \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{\gamma}$ temps propre.

$d\tau = \frac{dt}{\gamma}$

Si $\vec{R}$ est un quadrivecteur,

$\vec{u} = \frac{d\vec{R}}{d\tau}$

$\vec{A} = \frac{d^2\vec{R}}{d\tau^2}$

$\vec{R} = (ct, \vec{r})$ $\quad \frac{d\vec{R}}{d\tau} = \frac{d\vec{R}}{dt}\frac{dt}{d\tau} = \gamma(c, \vec{v})$.

$\vec{u}^2 = c^2 =$ constante et $2\frac{d\vec{u}}{d\tau}\cdot\vec{u} = 0$: on a $\vec{A}\cdot\vec{u} = 0$.

$\vec{u} = (u_0, \vec{u})$
$\vec{A} = (A_0, \vec{A})$ $\quad$ (cf Gourgoulhon)

$u_0 = \sqrt{c^2 + u^2}$ $\quad \vec{u}^2 = c^2$

$A = (A_0, \vec{A})$ $\quad \vec{A}^2 = -g^2$. On définit que l'accélération est constante : qu'elle ne dépend pas du temps.

$A = \sqrt{g^2 + A_0^2}$: $A_0 = \frac{du_0}{d\tau}$, $A = \frac{du}{d\tau}$.

$$\frac{du_0}{d\tau} = \frac{1}{2} \times 2 \times u \frac{du}{d\tau} \times \frac{1}{\sqrt{c^2+u^2}}$$

$$\frac{du}{d\tau} \times \frac{1}{\sqrt{1+\frac{u^2}{c^2}}} = g . \quad \text{(on a éliminé } u_0 \text{)}$$

Alors $u = c \sinh\left[\frac{g}{c}\tau\right]$ $\qquad u_0 = c\cosh\left[\frac{g}{c}\tau\right]$

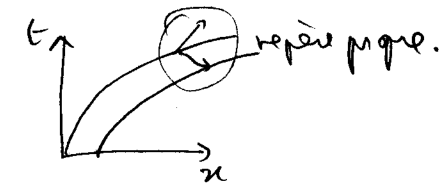
$A = g \cosh\left[\frac{g}{c}\tau\right]$ $\qquad A_0 = g \sinh\left[\frac{g}{c}\tau\right]$.

$$x = \frac{c^2}{g}\left[\cosh\left[\frac{g}{c}\tau\right] - 1\right]$$

$$t = \frac{c}{g} \sinh\left[\frac{g}{c}\tau\right]$$

Le seul temps ayant la dernière équation est τ, le temps propre.

Résultats sans ambiguïté :

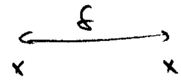


⚠ Mouvement non uniformément accéléré dans le référentiel inertiel.

Ds la physique en 3+1 dimensions : $\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}\gamma)$

Les points à distance fixe n'ont pas même accélération.

Quel impact cela a-t-il sur la mécanique du solide.



3e pb : une charge q démarre, au temps $t=0$.
une autre charge à distance δ.
Les deux entre deux plaques de condensateurs.
$x_1(t)$ et $x_2(t) = x_1(t) + \delta$.

$q_1 = q$ $\quad q_2 = q$
$m_1 = m$ $\quad m_2 = m$
$t = 0$. $\quad t = 0$
$F_1 = F_2$.

Q : quelle est l'éq de x_2 dans l'autre référentiel.