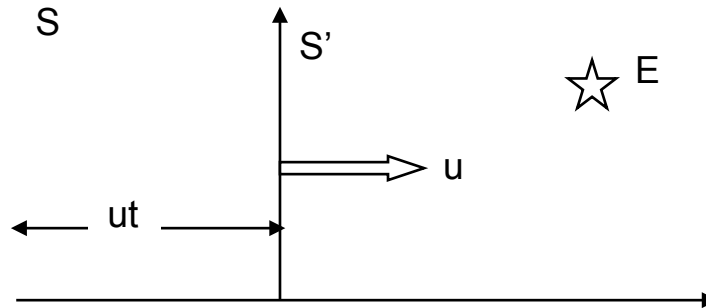


DALLO SPAZIO E DAL TEMPO ALLO SPAZIOTEMPO .1

Ledo Stefanini

TRASFORMATE DI GALILEO



- Siano S ed S' due sistemi di riferimento in moto, l'uno rispetto all'altro, con velocità costante u . Sia E un evento che ha coordinate (in S) x, y, t . Vogliamo le sue coordinate in S'.

- Sarà $t' = t$ perché il tempo è invariante nel passaggio da un sistema all'altro; inoltre sarà $y' = y$, perché l'ordinata non può cambiare dall'uno all'altro sistema di riferimento. E infine $x' = x - ut$, essendo ut il tratto percorso da S' nel tempo t .

Le equazioni

$$t' =$$

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$y' =$$

$$z' =$$

sono le
TRASFORMATE DI
GALILEO

- Da queste si ricavano
l'equazione di
trasformazione della
velocità:

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{v'u}{c^2}}$$

- e dell'accelerazione:

$$a = \frac{a' \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}{1 + \frac{v'u}{c^2}}$$

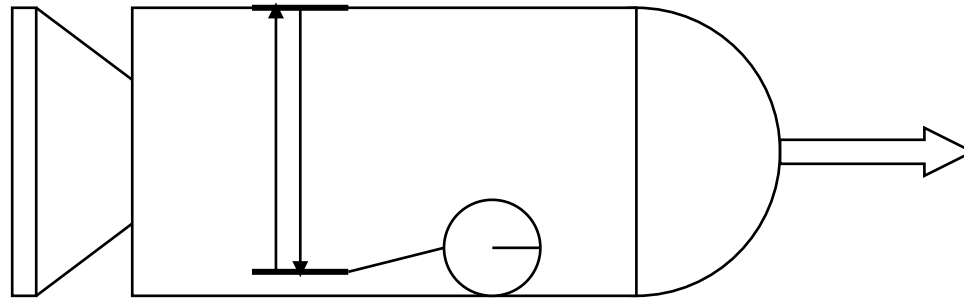
- 
- Per la relatività galileiana, l'accelerazione è un'*invariante*. Se un corpo accelera rispetto ad un sistema inerziale, la sua accelerazione è la stessa per tutti i sistemi in moto uniforme rispetto al primo.

- 
- Per le trasformate di Galileo, sono *invarianti* le distanze e i tempi. Anche le masse e le forze sono *invarianti*.
 - Poiché le velocità sono *relative*, non possono comparire nelle equazioni della meccanica classica.



RELATIVITA' DEI TEMPI E DELLE DISTANZE

- Accettare l'ipotesi dell'*invarianza* della velocità della luce, equivale a negare la relatività galileiana, e ciò comporta profondi cambiamenti delle nozioni di distanze spaziali e temporali. Per esempio, si propongono due diverse nozioni di tempo.



- A bordo è montato un “orologio a luce” costituito da due specchi perfettamente riflettenti tra i quali oscilla un *flash* di luce. Se la distanza tra gli specchi è L, il tempo battuto dall’orologio è

$$\tau = 2L/c$$

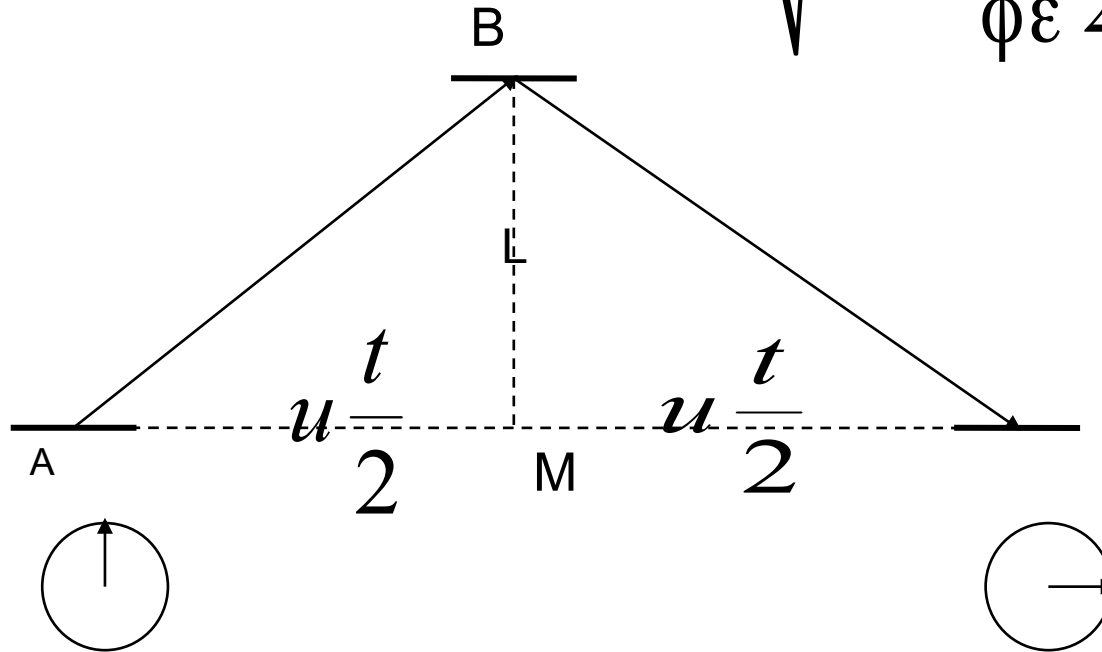
- 
- Uno degli assiomi della teoria della relatività è che la velocità della luce è un assoluto, cioè è la stessa in tutti i sistemi di riferimento. Poiché c è il fattore di proporzionalità tra il tempo e lo spazio percorso dalla luce in quel tempo, $x = c t$; questo ci consente di misurare le distanze in unità di tempo: $x = t$.

- Vediamo ora come il funzionamento dell'orologio viene descritto dall'osservatore a terra. Nel tempo di un'andata e ritorno del flash, la nave si sposta di un tratto $x = u t$ se t indica il tempo misurato in S.

c

- Ma il tratto percorso dalla luce ha una lunghezza maggiore:

$$2\sqrt{L^2 + \frac{v^2 t^2}{c^2}}$$



- Da questa si ricava $tL = \frac{1}{\sqrt{12} u^2} \Gamma B$

- Dove si è posto

$$\frac{1}{\sqrt{12} u^2} = B$$

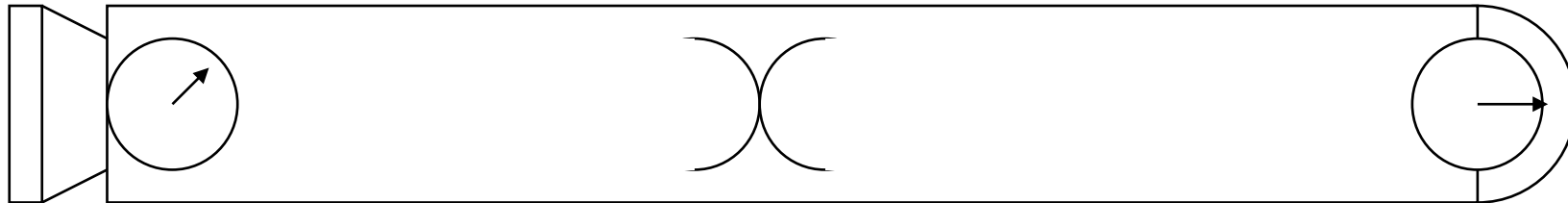

$$t = \Gamma B$$

- Il tempo t registrato dall'orologio di S è maggiore del tempo τ registrato dall'osservatore che viaggia con l'orologio stesso.
È la *dilatazione dei tempi*.

- Il fenomeno non ha nulla di misterioso: le grandezze misurate nei due sistemi di riferimento sono diverse.
- Nel sistema S' , per misurare il tempo tra la partenza e l'arrivo del flash occorre un orologio solo; nel sistema S ancorato a terra, per misurare la separazione temporale tra i due eventi (partenza e arrivo) occorrono *due* orologi, collocati in luoghi diversi. L'utilizzo di orologi posti in punti diversi richiede un'operazione preliminare importante: la loro *sincronizzazione*.

SINCRONIZZAZIONE DI DUE OROLOGI

La sincronizzazione NON è un'operazione assoluta.





Possiamo quindi definire due grandezze diverse:

- 1. Il *tempo proprio*, cioè l'intervallo di tempo che separa due eventi che hanno luogo in uno stesso punto. La sua misura richiede un solo orologio ed è un *assoluto*.
- 2. Il *tempo* (senza ulteriori specificazioni) che separa due eventi che hanno luogo in punti diversi. La sua misura richiede due orologi diversi (che devono essere sincronizzati) ed è un valore *relativo* al sistema di riferimento.

Contrazione delle lunghezze

$$x = \gamma B$$

- La distanza spaziale tra i due eventi, misurata in S' è minore della loro separazione spaziale misurata in S. In questo consiste il fenomeno della *contrazione delle lunghezze*.

TRASFORMATE DI LORENTZ

$$t' = \gamma(t - vx/c^2)$$

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Trasformate di Lorentz

- 1) Poiché la velocità della luce è un assoluto, la si è assunta come unità di misura delle velocità.
- 2) Le T.L. si riducono alle trasformate di Galileo per $u \ll 1$.
- 3) Le distanze e i tempi non sono invarianti.
- 4) Le coordinate spaziali e temporali sono simmetriche.

Trasformazione delle velocità

$$v' = \frac{v + u}{1 + \frac{vu}{c^2}}$$

- Se $v = c$ (vel. della luce), $v' = c$.
- La velocità della luce si trasforma in se stessa.

L'invariante relativistico

- Dalle trasformate di Lorentz si ricava che

$$(ct')^2 - x'^2 = (ct)^2 - x^2 \quad \Rightarrow \quad \Delta s^2 = \Delta s'^2$$

Invariante relativistico

- Le distanze spaziali e le separazioni temporali variano nel passare da un sistema di riferimento all'altro. Conserva il suo valore l'espressione

$$\left(\Delta x^2 - c^2 \Delta t^2 \right)$$