

RELATIVITÀ

Si pensava che con la meccanica newtoniana e le leggi di maxwell sull'elettromagnetismo, si fossero scoperte le leggi fondamentali della fisica.

Queste teorie mostravano però una contraddizione. Le leggi della meccanica newtoniana si basavano sul principio di **relatività classica** formulato da Galileo, secondo il quale, i fenomeni meccanici si svolgono nello stesso modo in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Questo si basa sulla convinzione che non vi fosse alcuna ragione scientifica per credere nell'esistenza di **sistemi di riferimento privilegiati**, essi sarebbero invece, tra loro indistinguibili.

La legge di maxwell però non era conciliabile con il principio di relatività classica. Esse infatti, prevedono per la velocità della luce un valore **costante** c .

In base alle trasformazioni galileiane, da un sistema inerziale ad un altro, in moto uno con l'altro, essa non poteva però rimanere invariata.

Queste leggi sarebbero quindi applicabili in un sistema inerziale preciso in cui la velocità della luce fosse c .

Questo avrebbe però assunto l'esistenza di un sistema privilegiato, andando in contraddizione con il principio.

Si pensò allora di sperimentare l'esistenza di un sistema inerziale in quiete assoluta, in cui la velocità della luce valesse c .

ETERE

Erano convinti che come le onde meccaniche, anche la luce avesse bisogno di un **mezzo per propagarsi**, esso non poteva però essere l'aria, in quanto i raggi solari, per arrivare alla terra dovevano attraversare lo spazio vuoto.

Si ipotizza allora l'esistenza dell'etere, materiale che doveva riempire lo spazio in ogni punto ed essere l'unica cosa priva di movimento nell'Universo. Supponendo che esista un **mare di etere** entro il quale vi è immerso l'Universo, **fermo** rispetto Sole, la terra si muoverà rispetto ad esso con la stessa velocità con cui si muove rispetto al Sole, cioè 30 km/s.

Un osservatore solidale rispetto alla terra rileva il "vento d'etere" come effetto del moto di trascinamento. Se c fosse il valore rilevato nel sistema riferito all'etere, in riferimento alla Terra, esso diventerebbe $(c-vt)$ se si muovesse in senso concorde al moto terrestre e quindi opposto all'etere, e $(c+vt)$ nel caso opposto. Il moto terrestre causerebbe quindi una variazione della velocità pari ad un ordine di grandezza di 10^4 , sperimentalmente rilevabile dagli strumenti.

RELATIVITÀ RISTRETTA

Spiega come descrivere gli eventi rispetto ai sistemi di riferimento inerziali.

Primo postulato

Le leggi della fisica sono le stesse in tutti i sistemi inerziali

Secondo postulato

La velocità della luce nel vuoto ha lo stesso valore in tutti i sistemi di riferimento inerziali, indipendentemente dal moto della sorgente rispetto all'osservatore.

Infatti, se esso non vigesse, le leggi di maxwell sarebbero attuabili solo in un sistema inerziale privilegiato, cosa che va contro il primo postulato.

La velocità della luce può essere calcolata con precisione calcolando il tempo che un raggio laser impiega a percorrere due volte la distanza tra la terra e la luna, sapendo con certezza la distanza in valore, si calcola c , il che viene uguale da qualsiasi punto della terra lo si calcoli.

Visto che abbiamo preso come invariabili le leggi fisiche e la velocità della luce, deve essere qualcos'altro a variare.

Questo va a cambiare radicalmente il significato di **simultaneità**.

Questi effetti di dilatazione di tempo e spazio avvengono solo se i due sistemi di riferimento inerziali si muovono uno rispetto all'altro con velocità prossima a quella della luce.

TRASFORMAZIONI DI LORENZ

Riprendono la forma delle trasformazioni di Galileo, queste però, a differenza di quelle di Galileo che prendevano la coordinata temporale uguale in tutti i sistemi di riferimento, prendono come **valore costante** solo c ($c=2,998 \cdot 10^8$).

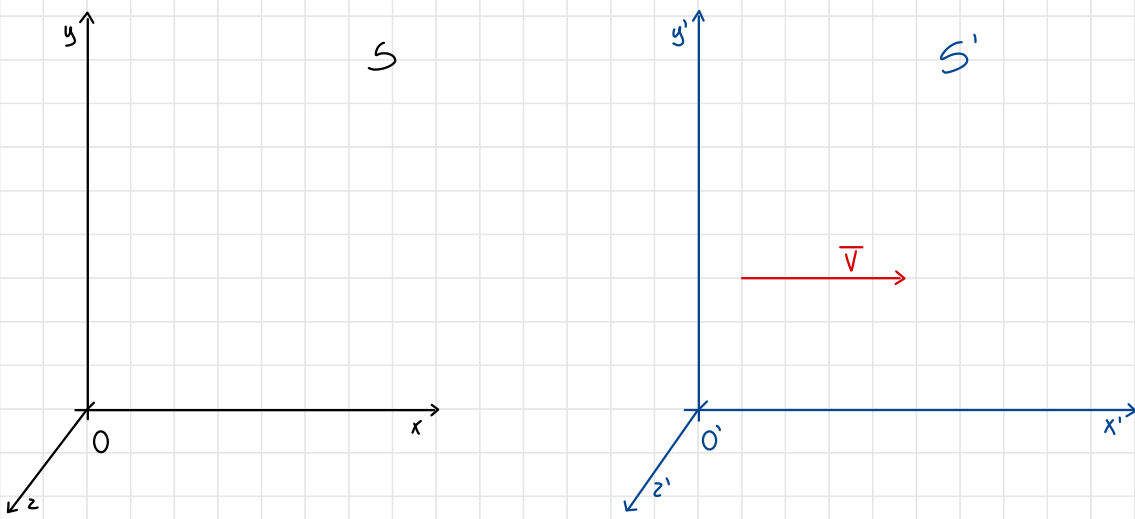
Esse vennero formulate prendendo ancora in riferimento l'etere come sistema inerziale privilegiato, vennero quindi perfezionate grazie all'introduzione della relatività ristretta.

Le trasformazioni di Lorenz contengono quelle di Galileo come caso estremo, quindi nel caso in cui la velocità di un oggetto in movimento e quella dell'osservatore siano molto minori della luce.

Si prendono in considerazione due sistemi di riferimento inerziale, uno in quiete ed uno in moto con velocità v .

Osserviamo quindi un evento caratterizzato dai valori x, y, z, t delle quattro coordinate spazio-temporali. Supponiamo anche che i due assi x' e x siano orientati come la velocità costante con cui si muove S' rispetto ad S , e che in un istante coincidano, ponendo $t=t'=0$.

Il tempo quindi non è più una grandezza assoluta, ma bensì correlata con lo spazio e relativa al sistema di riferimento.



$$\begin{cases} x' = \gamma (x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) \end{cases} \quad \begin{cases} x = \gamma (x' + vt) \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma \left(t' + \frac{vx'}{c^2} \right) \end{cases}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

FATTORE di LORENTS

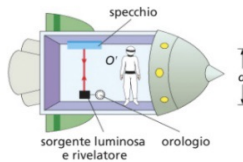
DILATAZIONE DEI TEMPI

Due osservatori in moto relativo misurano, far due stessi eventi, un **tempo fisico** diverso.

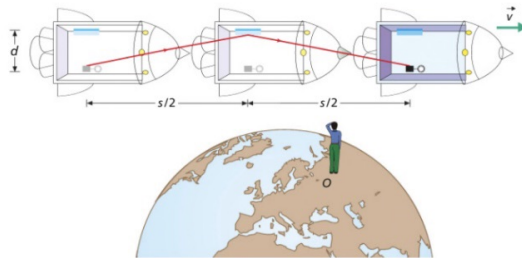
- a. Dal punto di vista dell'astronauta O' , il percorso del lampo di luce è due volte la distanza d fra il punto di emissione e lo specchio. Detto $\Delta t'$ il tempo che passa prima che il lampo, propagandosi a velocità c , venga assorbito, si ha:

$$c \Delta t' = 2d$$

$$c^2 \Delta t'^2 = 4d^2$$



- b. Dal punto di vista dell'osservatore terrestre O , per il quale l'astronave viaggia con velocità costante \vec{v} , il percorso della luce è due volte la diagonale di un rettangolo di altezza d e base $s/2$, dove $s = v \Delta t$ è la distanza percorsa dall'astronave nel tempo Δt fra l'emissione e l'assorbimento del lampo.



Poiché anche rispetto alla Terra la velocità della luce è c , si ha:

$$c \Delta t = 2 \sqrt{d^2 + \left(\frac{v \Delta t}{2} \right)^2}$$

Elevando al quadrato membro a membro e riordinando i termini si ottiene:

$$\Delta t^2 (c^2 - v^2) = 4d^2$$

Confrontando con la relazione che vale per O' :

$$\Delta t^2 (c^2 - v^2) = c^2 \Delta t'^2 \quad \text{da cui} \quad \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad t = \gamma t'$$

Si definisce **tempo proprio** l'intervallo di tempo tra due eventi misurato da un osservatore nello stesso punto in cui essi avvengono. Facendo riferimento all'esempio di prima, vediamo che il tempo misurato da un corpo che vede l'evento in movimento, è maggiore di quello proprio. Possiamo quindi affermare che un orologio in moto rispetto a noi marcia ad un ritmo più lento.

Paradosso dei gemelli

Immaginiamo che due gemelli siano separati nel giorno del ventesimo compleanno, e che uno venga lanciato nello spazio, ad orbitare attorno alla Terra a velocità poco inferiore a quella della luce, mentre l'altro viene lasciato sulla Terra.

Ammettiamo che il tempo proprio di quello nello spazio t' sia di 10 anni. Secondo la dilatazione del tempo, il tempo t percepito dal gemello a Terra sarà maggiore, per la precisione:

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{10a}{\sqrt{1 - \frac{(0,98c)^2}{c^2}}} = 50 \text{ anni}$$

Secondo i calcoli, se si incontrassero sulla terra dopo 10 anni, tempo proprio, uno avrebbe 30 anni, mentre l'altro 70. Questo viene chiamato **paradosso**, si intende qualcosa che contrasta il senso comune.

Il paradosso consiste nel fatto che come uno viaggia rispetto all'altro con velocità di $0,98c$, anche l'altro fa lo stesso. Questo problema è risolto prendendo in considerazione il fatto che il gemello subisce una doppia accelerazione, una per decollare ed una per atterrare, essi non sono quindi in moto relativo costantemente alla stessa velocità.