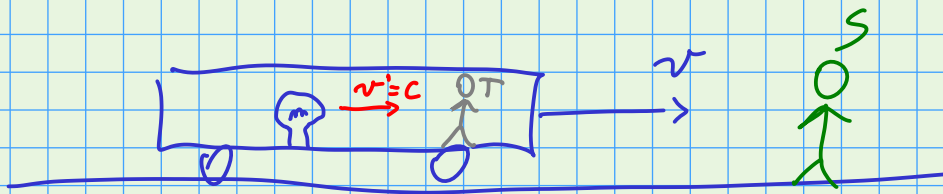


FISICA 2 1/12/20

RELATIVITÀ SPECIALE

le onde p/m si propagano a vel $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \rightarrow$ in quale sist di riferimento



congettura: per l'osservatore alla stazione: la vel della luce è $v+c \rightarrow$ FALSA

la vel della luce è c in \forall sistema di riferim
 \rightarrow dato sperimentale (Michelson - Morley)

\rightarrow postulato (induzione)

Postulati della relatività

① Principio di relatività (galileo): tutti i sistemi di riferim inerziali sono equivalenti

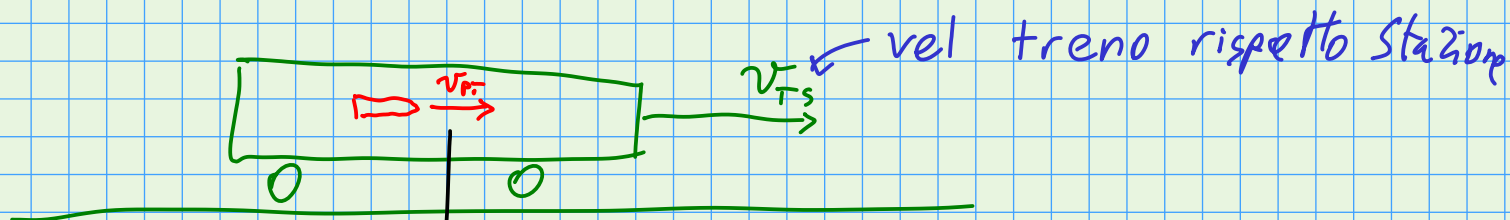
\hookrightarrow def: dove valgono le leggi di Newton

② La vel della luce (nel vuoto) è sempre c in tutti i sistemi di riferimento.

\hookrightarrow non \exists un riferimento privilegiato "ETERE" dove la vel della luce $c' = c$

CONSEGUENZE DRASTICHE \rightarrow cambia l'azione di tempo intuitiva

esempio: REGOLA di ADDIZIONE delle velocità



v_{PT} = vel del proiettile rispetto al treno

v_{PS} = vel proiettile rispetto alla stazione?

$$v_{PS} \stackrel{?}{=} v_{PT} + v_{TS} \quad \text{NO!}$$

la legge di addiz vel corretta:

$$v_{PS} = \frac{v_{PT} + v_{TS}}{1 + \frac{v_{PT} v_{TS}}{c^2}} \approx v_{PT} + v_{TS}$$

↑ dimostreremo

↑ solo se $v_{PT} \ll c$
 $v_{TS} \ll c$

se il treno ha vel $v_{TS} = \frac{c}{2}$, $v_{PT} = \frac{c}{2}$

$$v_{PS} = \frac{c}{1 + \frac{c^2}{5c^2}} = \frac{4}{5} c < c!$$

se il proiettile ha vel c rispetto treno

$$v_{PS} = \frac{c + v_{TS}}{1 + \frac{v_{TS} c}{c^2}} = c \quad \forall v_{TS}$$

Relatività è stata introdotta per spiegare la costanza della vel luce \rightarrow ha conseguenze su molti altri aspetti della fisica

ATTENZIONE: confusione comune \rightarrow : fenomeni relativistici:

derivano dal fatto che vediamo gli effetti:
con la luce \rightarrow **NO!**

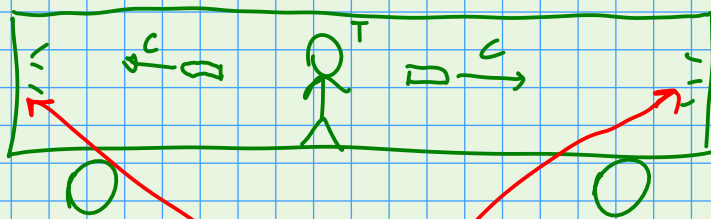
avremmo gli **stessi** effetti anche se non usassimo
la luce!

CONSEGUENZE dei POSTULATI:

① RELATIVITÀ della SIMULTANITÀ: eventi che

avvengono in posizioni diverse e possono essere
simultanei per un osservatore e non per
un altro (in moto).

simultaneità non assoluta



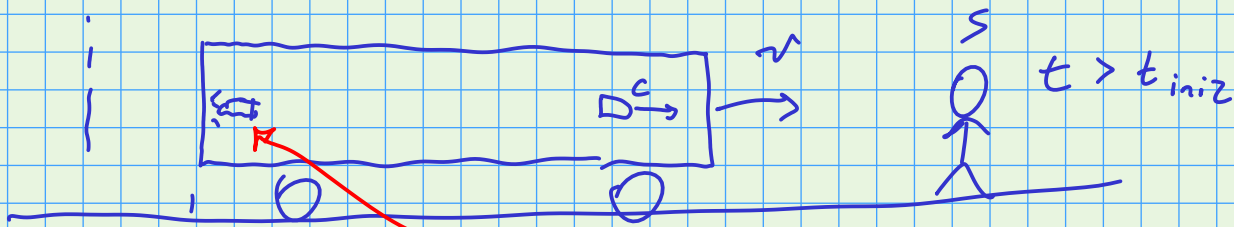
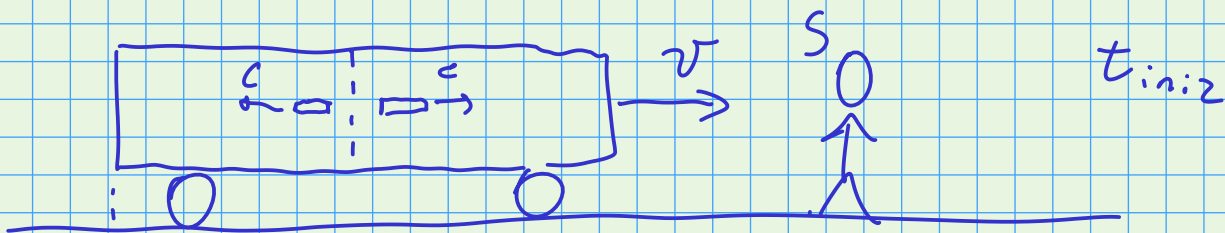
partono 2 proiettili a vel c verso lati opposti
del treno

colpiscono **CONTEMPORANEAMENTE** le due pareti
del treno \rightarrow questioni di simmetria)

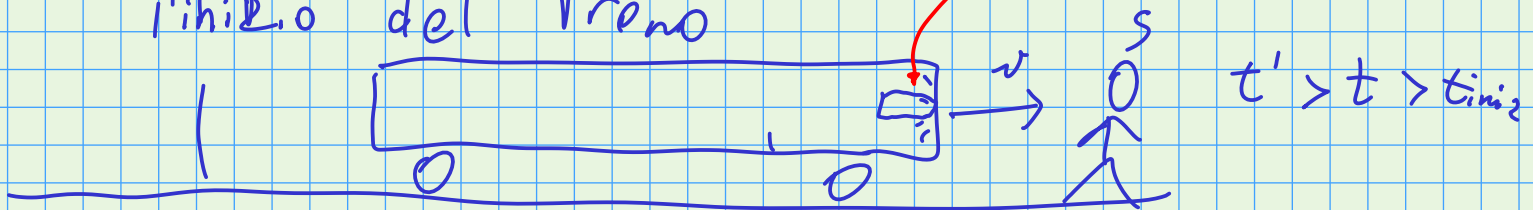
punto di vista della stazione: l'osservatore S vede
ancora i proiettili muoversi a vel **c**

\uparrow stessa velocità
dell'osservatore T
(postulato ②)

mentre i proiettili sono in viaggio, il treno si muove
per S

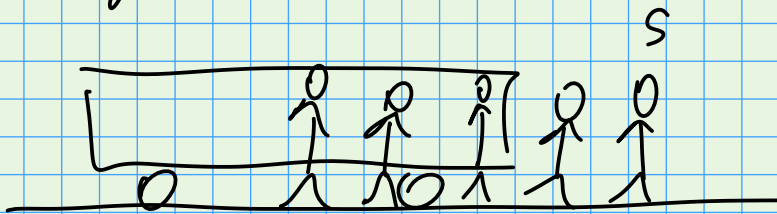


vede PRIMA il proiettile che colpisce il fondo del treno. Poi l'altro proiettile colpisce l'inizio del treno



Due eventi SIMULTANEI per T , non sono simultanei per S .

Questo non è dovuto al fatto che l'oss S usi la luce per vedere quando il proiettile colpisce. Possiamo fare lo stesso esperimento usando molti osservatori S lungo i binari:



Ciascun osservatore guarda davanti a sé (tempi di transito dovuti al fatto che la velocità della luce è finita sono trascurabili).

Due di questi osservatori vedono i proiettili colpire

Se confrontano il tempo a cui avvengono questi due eventi \rightarrow \bar{e} diverso.

Relatività della simultaneità: Due eventi simultanei in un riferimento in generale non sono simultanei in un altro

Non porta a contraddizioni \rightarrow paradossi apparenti
 \hookrightarrow paradosso della scala + garage

\Rightarrow non ha senso dire che due eventi avvengono contemporaneamente (senza specificare in quale riferimento)

Per velocità $v \ll c$ questi fenomeni sono trascurabili \Rightarrow nella vita di tutti i giorni non lo vediamo

(i proiettili non possono viaggiare a $v=c$)
 $\hookrightarrow v \sim c$

CONSEGUENZA DRASTICA: il passato, presente e futuro hanno lo stesso grado di esistenza

presente $\stackrel{\text{def}}{=} \text{tutti gli eventi } \underline{\text{SIMULTANEI}}$ a ora

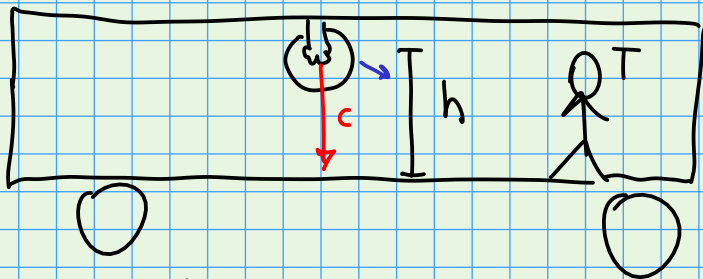
\hookrightarrow \bar{e} un concetto relativo

il presente di T \bar{e} diverso dal presente di S

② DILATAZIONE dei TEMPI: il proprio orologio \bar{e} il più veloce

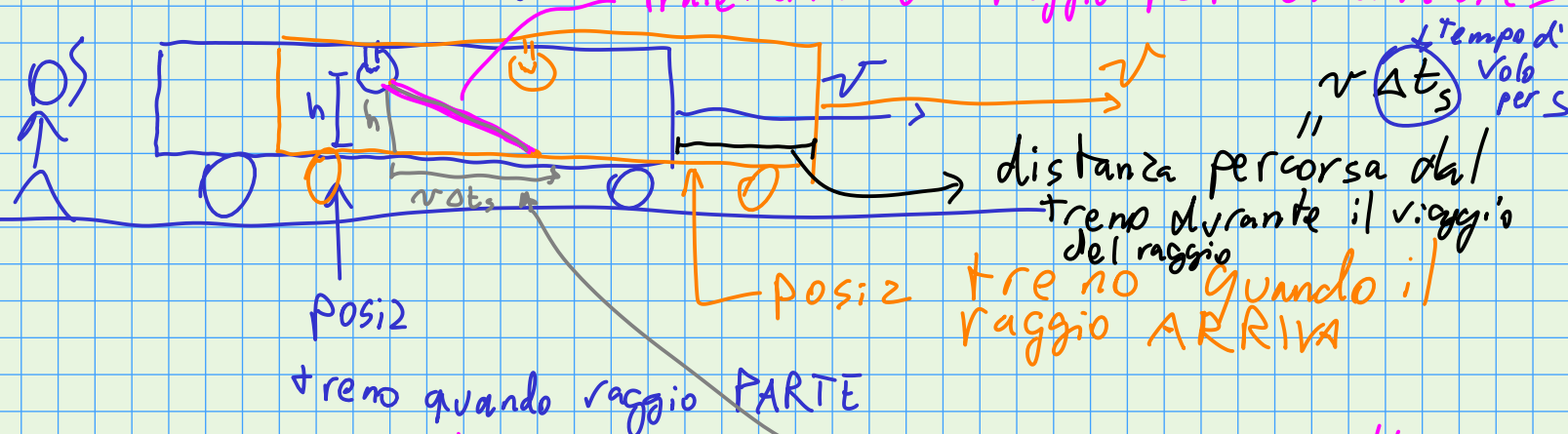
esperimento mentale:

Orologio che usa il tempo che impiega un raggio di luce ad andare dal soffitto al pavimento



$$\Delta t_T = \frac{h}{c} \quad \text{per osservatore } T$$

per osservatore S: il treno si muove mentre il raggio sta viaggiando



la velocità del raggio è ANCORA c per l'osservatore S (POSTULATO 2) t di Ritardata

$$\Delta t_s = \frac{\text{distanza percorsa}}{c} = \frac{\sqrt{h^2 + (v \Delta t_s)^2}}{c}$$

(c) ← STESSO C!

$$\Rightarrow \Delta t_s^2 = \frac{h^2}{c^2} + \frac{v^2}{c^2} \Delta t_s^2 \Leftrightarrow \Delta t_s = \sqrt{\frac{h^2}{c^2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}}$$

$$= \frac{h}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \stackrel{\text{def}}{=} \left\{ \begin{array}{l} \gamma \frac{h}{c} = \Delta t_s \\ \Delta t_T = \frac{h}{c} \end{array} \right\} \gamma \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > 1 \quad v < c$$

vel del sist riferim

$\gamma \rightarrow 1 \quad v \ll c$
 $\gamma \rightarrow \infty \quad v \rightarrow c$

$$\Delta t_T = \frac{\Delta t_s}{\gamma}$$

$\Delta t_s > \Delta t_T \Rightarrow$ gli orologi in moto sono rallentati
 ↳ DILATAZIONE dei tempi

Ricavata per un particolare orologio, ma vale per
 \forall orologio

PRINCIPIO di RELATIVITA \rightarrow l'osservatore sul treno
 vede gli orologi alla stazione rallentati

\Rightarrow l'osservatore sul treno $\rightarrow \Delta t_s = \frac{\Delta t_T}{\gamma} \Rightarrow \Delta t_s < \Delta t_T$

CONTRADDIZIONE APPARENTE

$\Delta t_s > \Delta t_T$ \leftarrow si riferisce all'orologio sul treno

$\Delta t_s < \Delta t_T$ \leftarrow " " " " alla stazione

sono due orologi diversi! Usiamo notazione migliore:

$\Delta t_s(T) > \Delta t_T(T)$

osservatore sul treno
 orologio sul treno

osservatore alla stazione
 orologio sul treno

per il prin di relativita

$\Delta t_s(S) < \Delta t_T(S)$

orologio alla stazione

c'è contraddizione solo se $\Delta t_s(S) = \Delta t_s(T)$ \rightarrow NO!

il principio di relativita (postulato 1): ciascun osservatore
 vede la stessa cosa:

$\Delta t_T(T) = \Delta t_s(S)$

$\Delta t_T(S) = \Delta t_s(T) > \Delta t_T(T)$

$\Delta t_s(S)$

$\Delta t_s > \Delta t_T \rightarrow T$
 $\Delta t_s < \Delta t_T \rightarrow S$

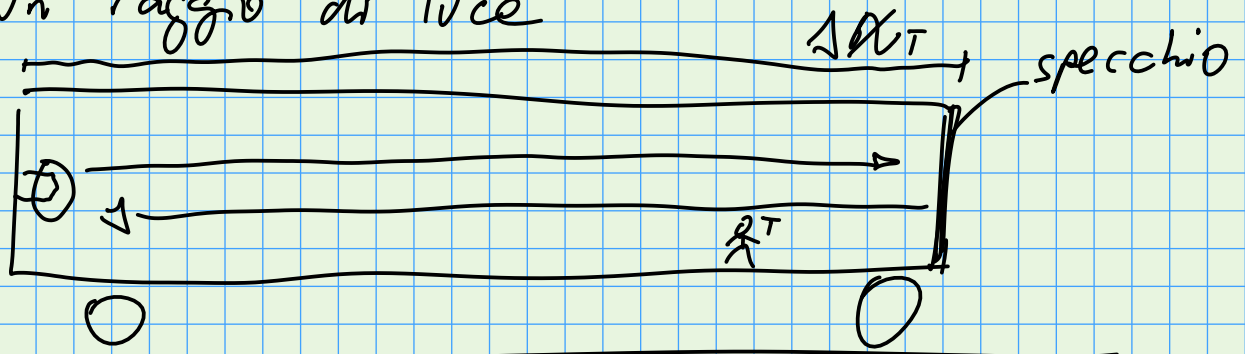
contraddiz apparente

IL PROPRIO OROLOGIO è IL PIÙ VELOCE
 $\Delta t_T(T)$ e $\Delta t_s(S)$ sono i più piccoli

③ CONTRAZIONE LUNGHEZZE LONGITUDINALI

(il proprio righello è il più lungo) \rightarrow // alla direz di moto

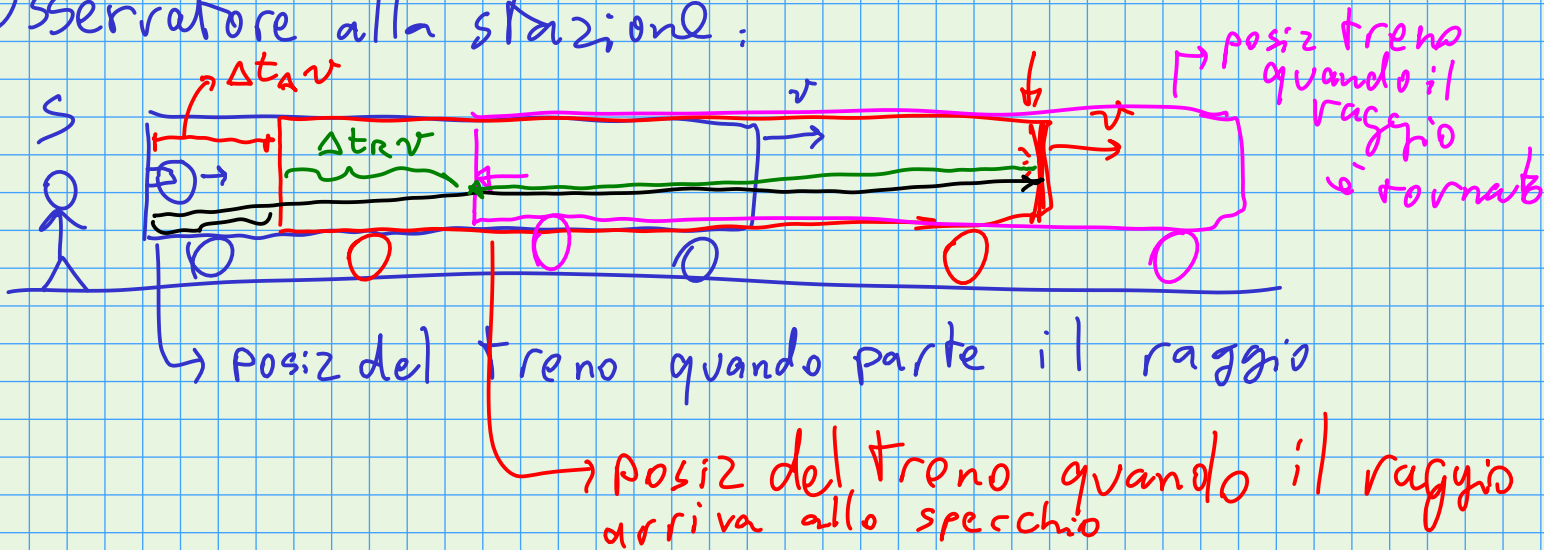
esprim concettuale: misuriamo la lunghezza del treno usando un raggio di luce



viaggio di andata + viaggio di ritorno

$$\Delta t_T = \sum \frac{\Delta x_T}{c} \Rightarrow \Delta x_T = \frac{c \Delta t_T}{2}$$

Osservatore alla stazione:



Δt_A = tempo di volo (per s) del viaggio di andata

$v \Delta t_A$ = distanza percorsa dal treno durante viaggio di andata

il raggio di andata deve percorrere distanza $\Delta x_s + v \Delta t_A$
 il " ritorno " " " $\Delta x_s - v \Delta t_R$

Δt_R = tempo di volo al ritorno

tempo di andata $\Delta t_A = \frac{\Delta x_s + v \Delta t_A}{c}$ di stanza di andata / velocità

c stesso c dell'oss sul treno

$$\Delta t_R = \frac{\Delta x_s - v \Delta t_R}{c}$$

$$\Delta t_A = \frac{\Delta x_s}{c - v}$$

$$\Delta t_R = \frac{\Delta x_s}{c + v}$$

tempo di andata e ritorno per S

$$\Delta t_s = \Delta t_A + \Delta t_R = \frac{2 \Delta x_s}{c}$$

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

γ^2

Dilatazione dei tempi $\Rightarrow \Delta t_s = \gamma \Delta t_T = \frac{2 \Delta x_s \gamma^2}{c}$

$$= \gamma \frac{2 \Delta x_T}{c}$$

$$\Delta t_T = \frac{2 \Delta x_T}{c}$$

$$\gamma \Delta x_s = \Delta x_T \quad \Delta x_T \geq \Delta x_s$$

la lunghezza del treno è minore per l'oss alla stazione

oggetti in moto sono accorciati & contrari