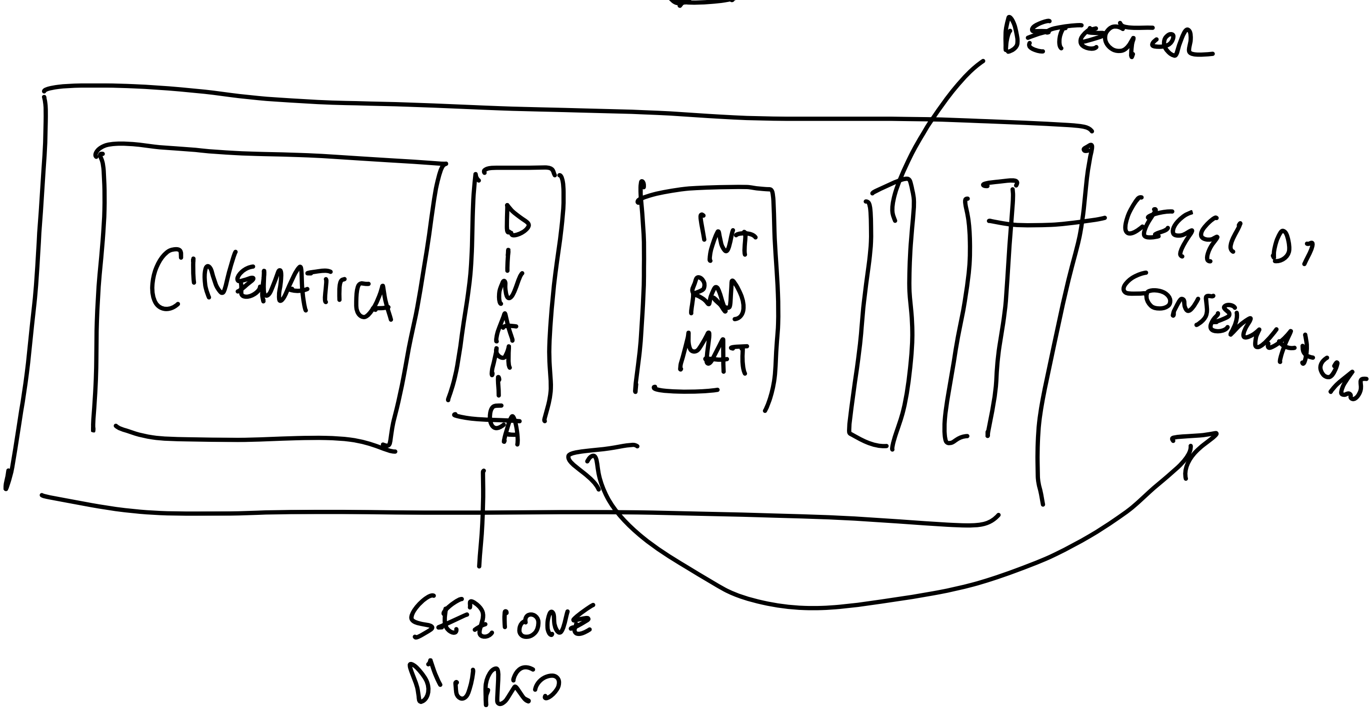
FNS1

http://roma1.infn.it/~ippolitv (o anche https://l.infn.it/fns1)

FNS1 =

- N.
- e
- p
- 



$v \ll c$	$v \sim c$
• decadimento α	• decadimento β
• Rutherford	• LHC
• MATERIA OSCURA	• neutrino

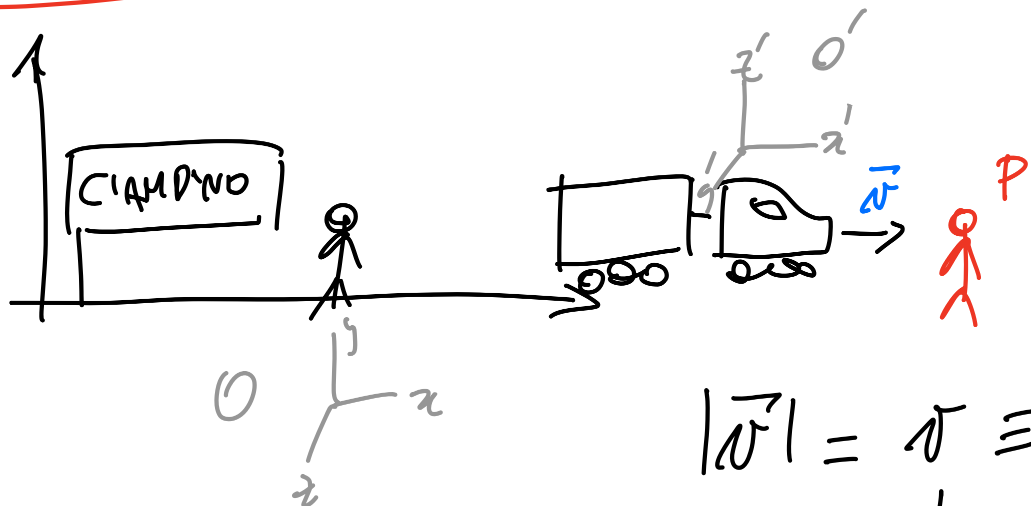
MQ ⊕ R

4° anno : MQ⊕R ⇒ MQR

⇓

QFT

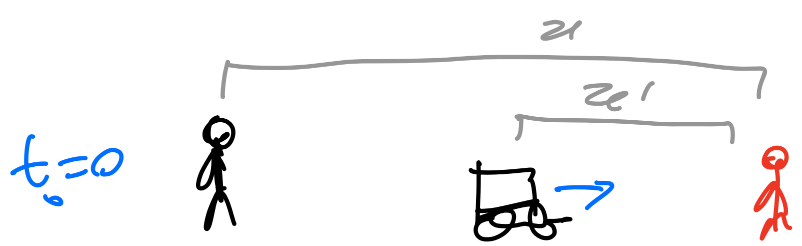
CINEMATICA



$$|\vec{v}| = v \equiv \beta c$$

$$\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$\begin{cases} x' = \gamma x - \beta\gamma c t \\ y' = y \\ z' = z \\ ct' = \gamma c t - \beta \gamma x \end{cases}$$



Esercizio 1 Inseguimento a velocità smodata

Un evaso dal carcere interstellare di Andromeda sfugge alla prigionia a bordo di un'automobile avveneristica che viaggia a una velocità $\frac{3}{4}c$. L'auto della polizia che lo insegue viaggia a $\frac{1}{2}c$, e spara un proiettile che viaggia - rispetto all'auto della polizia - a $\frac{1}{3}c$. Il proiettile raggiunge l'evaso, secondo la fisica classica? E secondo la relatività speciale?

$v_{BENE} = 1/2\, c$ $\qquad$ $v_{MALE} = 3/4\, c$

MC

$$v_p^{LAB} \overset{?}{>} v_{MALE}^{LAB}$$

$$v_p^{LAB} = v_{BENE}^{LAB} + v_p^{BENE} = 1/2\, c + 1/3\, c$$

$$= 5/6\, c > 3/4\, c \rightarrow \text{VINCE IL BENE}$$

MR

nel lab

$$v \equiv \frac{dx}{dt}$$

$$
\begin{cases}
ct = \gamma c t' + \beta\gamma x' \\
x = \gamma x' + \beta\gamma c t' \\
y = y' \\
z = z'
\end{cases}
$$

$$
v = \frac{dx}{dt} = c\,\frac{\gamma\, dx' + \beta\gamma\, c\, dt'}{\gamma\, c\, dt' + \beta\gamma\, dx'}
$$

$$
= c\,\frac{dx' + \beta c\, dt'}{c\, dt' + \beta\, dx'} = c\,\frac{\frac{dx'}{dt'} + \beta c}{c + \beta\frac{dx'}{dt'}}
$$

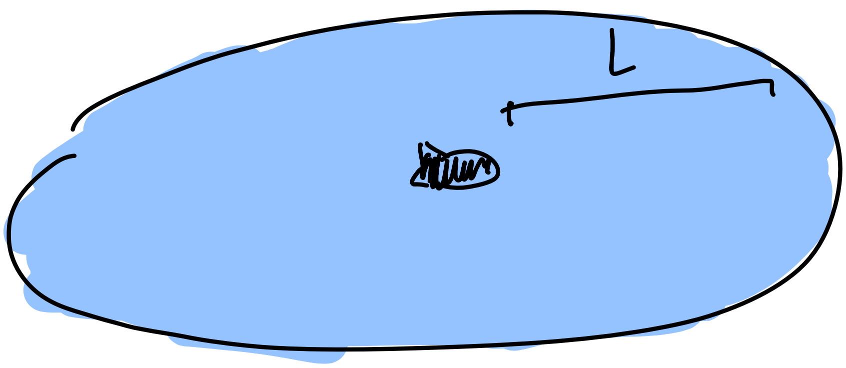
$$
= c\,\frac{v' + \beta c}{c + \beta v'} \equiv c\,\frac{v' + v}{c + v/c\; v'}
$$

$$
= c \cdot \frac{1/3\, c + 1/2\, c}{c + 1/2 \cdot 1/3\, c} < 3/4\, c
$$

$$
\Big|\; v_{MALE}^{CLAS}
$$

Esercizio 2 Dilatazione dei tempi

A che velocità costante deve andare una navicella spaziale che, dal centro della Via Lattea (il cui raggio è 100000 anni luce), volesse raggiungerne l'estremità in 100 anni (tempo proprio)?



$L = 100'000$ A.L.

$t' = ?$ 100 ANNI

$$L = 100'000\ AL = 100'000\ \text{ANNI} \cdot c$$

$$t = \gamma t'$$

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

$$L = v t = \beta c \cdot \gamma t'$$

$$= \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot c \cdot t'$$

$$\beta c t' = \sqrt{1-\beta^2} \cdot L$$

$$(\beta c t')^2 = (1-\beta^2) L^2$$

$$\beta^2 \left((ct')^2 + L^2 \right) = L^2$$

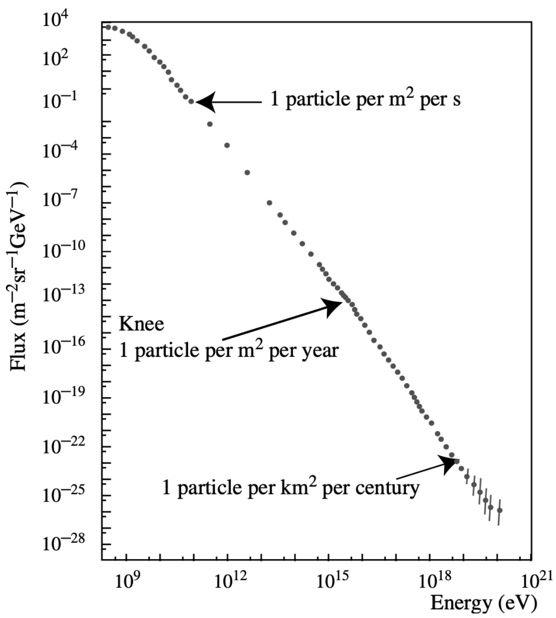
$$\beta = \sqrt{\frac{L^2}{L^2 + (ct')^2}} = \sqrt{\frac{1}{1 + (ct')^2 / L^2}}$$

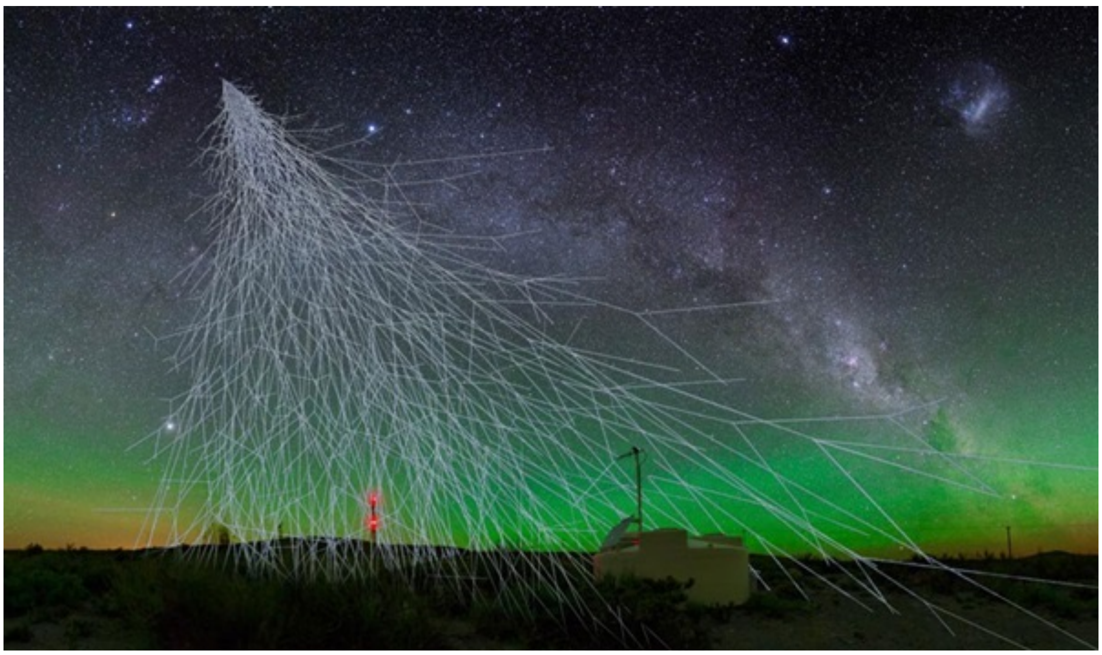
$$= \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{c \cdot 100\ \text{ANNI}}{100'000\ \text{ANNI}\ c} \right)^2}}$$

$$\beta = 0.9999995$$

$$\gamma \simeq 1000$$

DECADIMENTI





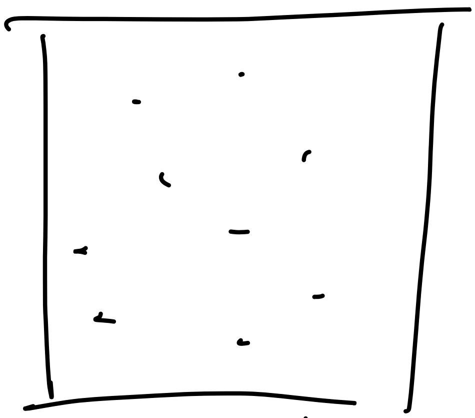
$$\underbrace{P}_{\text{COSMICO}} + \underbrace{P}_{\text{ATMOSFERA}} \rightarrow \ldots$$

$$P + P \rightarrow P + P + \pi^+ + \pi^-$$

PIONI

$$\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$$

MUONE — NEUTRINO MUONICO



N

N PIONI

$$dN \propto - N \cdot dt$$

$$dN \equiv -\alpha N dt$$

$$\equiv -N \frac{dt}{\tau}$$

$$N = N(0)\, e^{-t/\tau}$$

particella	τ
$\pi^\pm$	26 ns
$\mu^\pm$	2.2 μs
e^-	$\sim \infty$
p	$\geq 10^{24}$ anni
n	15 minuti

Esercizio 3 Decadimento e relatività speciale

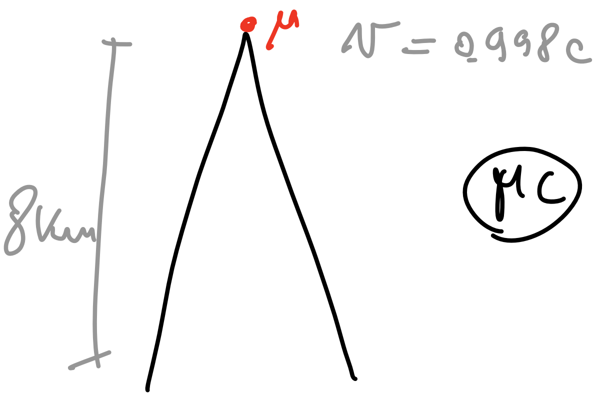
Un muone (particella di vita media $2.2 \times 10^{-6}\,\mathrm{s}$) è prodotto a 8000 m di altezza con $v = 0.998c$. Arriva a terra secondo la meccanica classica? E secondo la relatività speciale?

I muoni sono anche prodotti dal decadimento di pioni in muoni e neutrini, $\pi^- \to \mu^- \bar{\nu}_\mu$ e $\pi^+ \to \mu^+ \nu_\mu$. I pioni (particelle di vita media $2.6 \times 10^{-8}\,\mathrm{s}$) a loro volta provengono da reazioni come

$$p + p \to p + p + \pi^+ + \pi^-,$$

dove un protone dello stato iniziale viene dallo spazio, e uno viene dall'atmosfera. Se i pioni sono stati prodotti nello stesso punto dei muoni, arrivano a terra?

$\tau = 2.2\,\mu s$



(MC) $L = v \cdot \tau$

$= 0.998 \cdot \frac{30\,cm}{ns} \cdot 2.2 \cdot 10^{-6}\,s$

$= 30\,cm \cdot 0.998 \cdot 10^{3} \cdot 2.2$

$\simeq 0.66 \cdot 10^{3} = 660\,m$

(MR) $L = v \cdot (\gamma \tau)$

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{(1-0.998^2)}} \simeq 15.8$

$L = 15.8 \cdot 660\,m \simeq 10\,km > 8\,km$

$p + p \to p + p + \pi^+ + \pi^-$ $\quad \tau \simeq 26\,ns$

$\hookrightarrow \pi^- \to \mu^- + \bar{\nu}_\mu$

$$L_{MAX} = 8\ \text{km}$$

$$P(t^{LAB}) = e^{-t^{LAB}/\tau_{LAB}} = e^{-\frac{t^{LAB}}{\gamma\tau}} =$$

$$L = v\, t^{LAB}$$

$$P(L) = e^{-\frac{v t^{LAB}}{\gamma v \tau}}$$

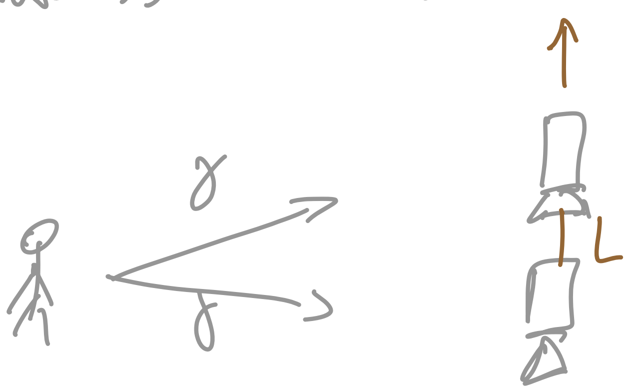
$$= e^{-\frac{v t^{LAB}}{\gamma\beta c \tau}}$$

$$P(L_{MAX}) = ? = e^{-\frac{L_{MAX}}{\beta\gamma c \tau}}$$

(L_{MAX}: 8 km; β: 0.998; γ: 15.8; τ: 26 ns)

$$\simeq 46\%$$

PARADOSSO DI BELL



SI ROMPE?