

Insegnare relatività nel XXI secolo

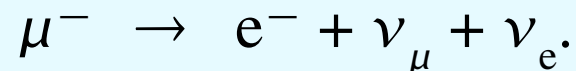
*La vita media
dei muoni*

Vita media dei muoni in un anello di accumulazione

Il muone è un *leptone*, ossia una particella che sente solo l'interazione *elettrodebole*. Sono in questo analoghi agli elettroni.

La massa del muone è circa 206 volte quella dell'elettrone.

Però il μ è instabile e decade, con vita media $\tau \simeq 2 \mu\text{s}$, col processo:



Muoni di grande energia vengono posti in un *anello di accumulazione*, dove si muovono a velocità vicina a c .

Rimangono nell'anello un tempo sufficientemente lungo per poterne vedere il decadimento: misurando come varia il loro numero nel tempo, si può calcolare la *vita media*.

Si trova che la vita media è *più lunga* di quella a riposo: $\tau' = \gamma\tau$, dove

$$\gamma = 1/\sqrt{(1 - v^2/c^2)}$$

che nel primo esperimento era circa 12.

Quindi la vita media si allunga di un ordine di grandezza.

Come si spiega questo fatto?

La spiegazione tradizionale è che si tratta di un esempio di *dilatazione del tempo*: un orologio che cammina *va più lento* di un orologio fermo.

Ma abbiamo già criticato un tale approccio a proposito dell'esperimento H–K: meglio dunque guardare la questione da un altro punto di vista.

In effetti per spiegare ciò che si vede nell'esperimento, *non c'è bisogno di parlare di dilatazione del tempo.*

Misura della vita media

Se diciamo che il μ ha vita media T , intendiamo che al tempo T solo una frazione $1/e$ dei muoni sopravvive: gli altri sono decaduti.

Più in generale:

$$N(t) = N(0) \exp(-t/T).$$

Perciò per misurare la vita media si conta il numero di particelle all'inizio, e si va a vedere quante ne sono rimaste dopo un dato tempo.

La domanda cruciale è: quale tempo?

Il tempo che io misuro è quello del *laboratorio*, ma i muoni in questo rif. sono *in moto*.

D'altra parte stiamo parlando di una proprietà della particella, che dovrà essere misurata *in un rif. in cui la particella è ferma*.

In altre parole, *la vita media va misurata col tempo proprio*.

Dovremo scrivere dunque

$$N(\tau) = N(0) \exp(-\tau/T).$$

Se il muone è in movimento, il suo tempo proprio sarà

$$\Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

che è diverso da Δt : più esattamente, è *minore*.

Viceversa, se misuriamo $N(0)$ e $N(\tau)$ e poi usiamo *erroneamente* t al posto di τ per calcolare la vita media T , otterremo un risultato *maggiore* del giusto, come se la vita media aumentasse per effetto del moto del muone.

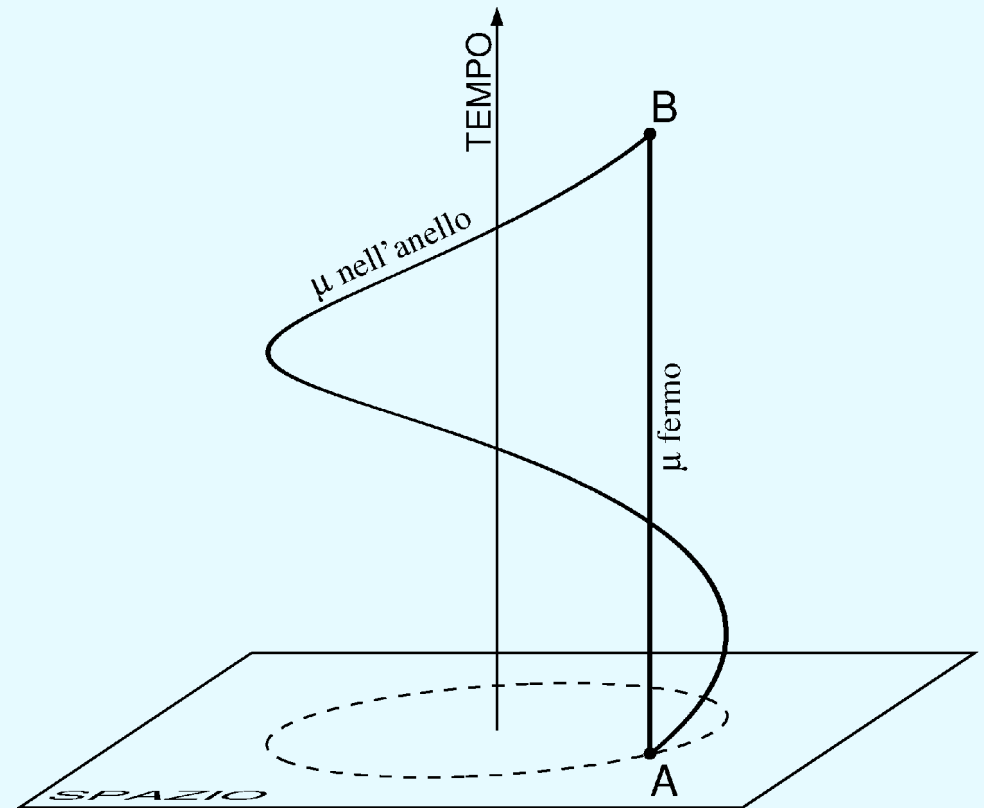
Diagramma spazio-tempo dell'esperimento

Nella figura il segmento AB rappresenterebbe un muone fermo, mentre la curva oraria del muone in movimento dentro l'anello è *un'elica*.

A parità di estremi il segmento è *più lungo* dell'arco di curva; quindi nel punto B per il muone fermo è passato *più tempo* che per il muone in moto.

Tra i due, è più probabile che sia decaduto il primo.

Perciò per gli strumenti del laboratorio i muoni in movimento sembrano avere una vita media *maggiore* dei muoni fermi.



Un esperimento coi raggi cosmici

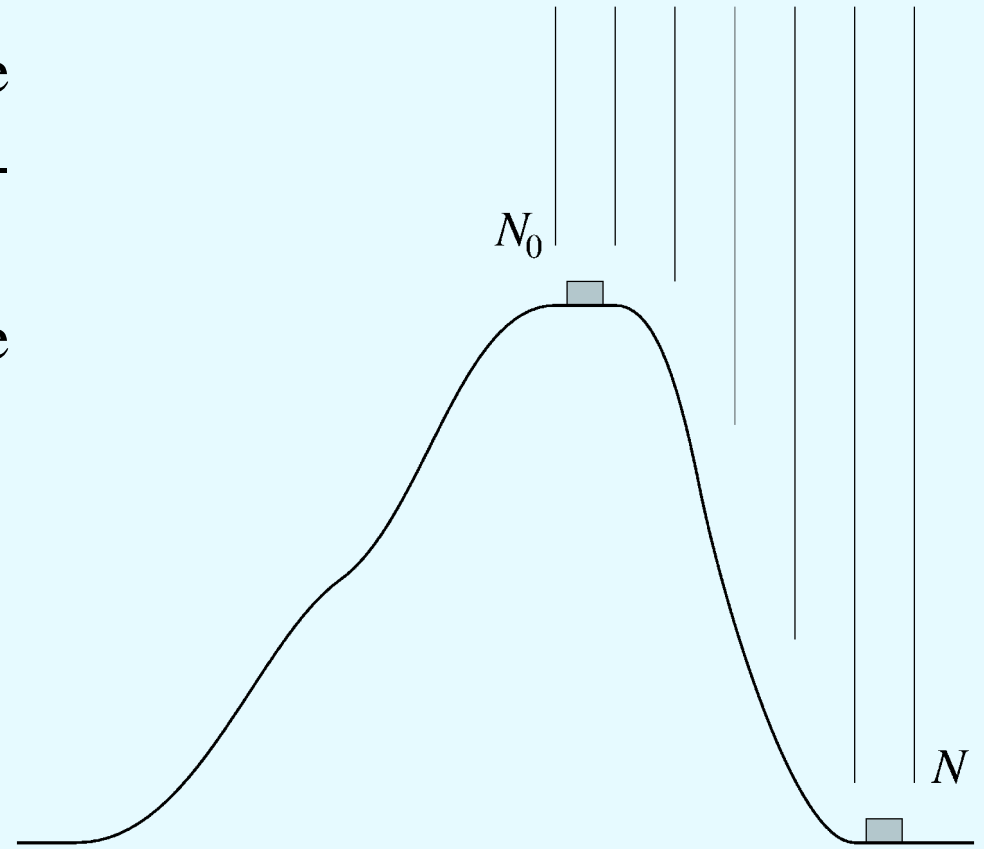
Ancora un esperimento sui muoni, che però utilizza quelli naturali, prodotti dai *raggi cosmici*.

È descritto nel film PSSC *La dilatazione del tempo*.

Si misura il numero N_0 di muoni che arrivano per unità di tempo e di superficie sulla cima di un monte.

Sia invece N il numero di quelli che arrivano al livello del mare.

I muoni hanno velocità vicina a c .



Il tempo che i muoni impiegano a percorrere l'altezza $h = 1800$ m è di circa $6 \mu\text{s}$; ci si aspetterebbe quindi

$$N/N_0 = e^{-6/2} \simeq 0.05$$

e invece si trova $N \simeq N_0$.

La spiegazione

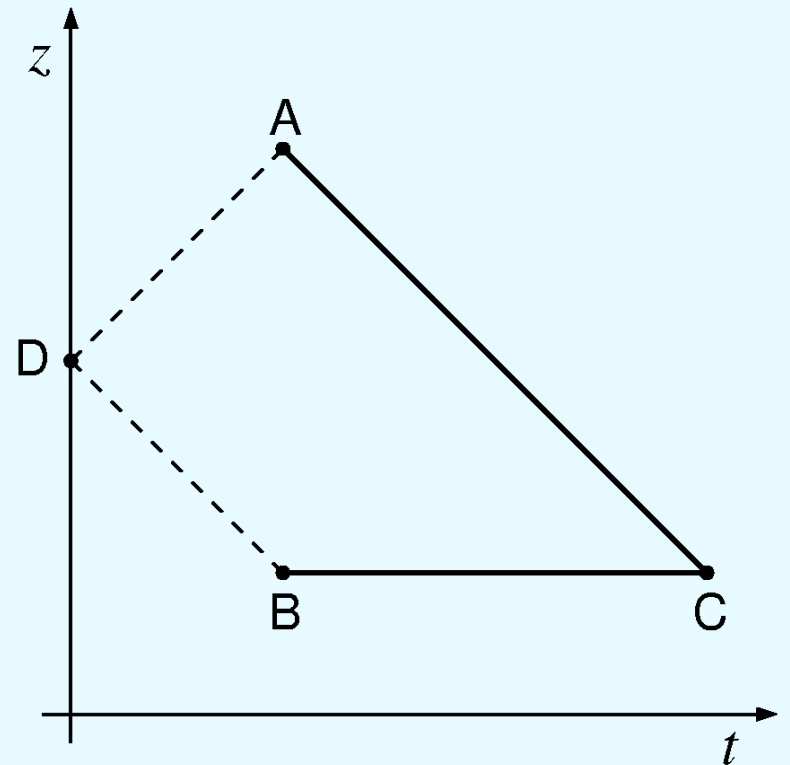
Prendiamo le unità di misura in modo che la propagazione della luce sia descritta da una retta con pendenza di 45° .

La pendenza della linea oraria dei muoni sarà praticamente 45° .

Il muone parte dalla cima della montagna (A) e giunge a terra (C): il suo tempo proprio è la *lunghezza* della linea AC.

Dovremo confrontarlo col tempo di un orologio fermo nel laboratorio, che è rappresentato da una linea oraria *orizzontale* BC.

Le due linee orarie arrivano nello stesso punto, ma non partono dallo stesso punto; quindi il confronto delle lunghezze *non è immediato*.



Una soluzione è di far partire, da un punto D a metà strada, un *segnale di sincronismo* che viaggi alla velocità della luce, e che giunga contemporaneamente alla base e alla cima.

Così facendo abbiamo due linee orarie dal “via” dell'esperimento alla fine, che *partono dallo stesso punto e giungono allo stesso punto* nello spazio-tempo: DAC e DBC.

I tratti DA e DB hanno *lunghezza nulla*.

Per i rimanenti tratti utilizziamo la solita formula

$$\Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Come si vede, se v è vicina a c , la lunghezza di AC può essere anche *molte volte minore* di quella di BC, che sappiamo valere $6 \mu\text{s}$.

