

LA DILATAZIONE DEL TEMPO

Julie Bettini
Beatrica Pozzi

08/03/2022
liceo scientifico L. Da Vinci

Esperimento con i mesoni Mu. Gli orologi in moto ritardano per un fattore radice $2\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$,

dove V è la velocità dell'orologio rispetto all'osservatore e C è la velocità della luce.

Per esempio se abbiamo tre orologi identici, fermi rispetto a un osservatore, e che a un dato istante, segnano la stessa ora, ci aspettiamo che a un qualunque istante successivo essi segnino ancora la stessa ora. ma se abbiamo gli stessi tre identici orologi e uno di essi è in moto, relativamente all'osservatore, allora nel tempo successivo quando questo raggiunge l'altro, esso segnerà meno cioè un intervallo minore di quello degli orologi rimasti fermi.

Visto dall'osservatore l'orologio in moto ritarda, e questo effetto si chiama **dilatazione del tempo**, un effetto molto piccolo poiché v su c è quasi sempre molto piccolo quindi tutta

questa espressione è molto vicina a 1. Un orologio che viaggia in un razzo a 78 km al secondo rispetto a noi, ritarderà soltanto un secondo su 100 anni però noi abbiamo orologi che viaggiano velocissimi al 99% della velocità della luce, essi segnano un nono del tempo che segnerebbero restando fermi rispetto a noi. Questi orologi sono i mesoni Mu, cioè particelle radioattive cariche dei raggi cosmici.

1) prima dobbiamo rivelare i mesoni Mu.

2) poi fermeremo alcuni di questi per misurare la distribuzione dei loro tempi di decadimento, questo ci permetterà di usare i mesoni per misurare intervalli di tempo dunque distribuzione dei tempi di decadimento in funzione dell'orologio.

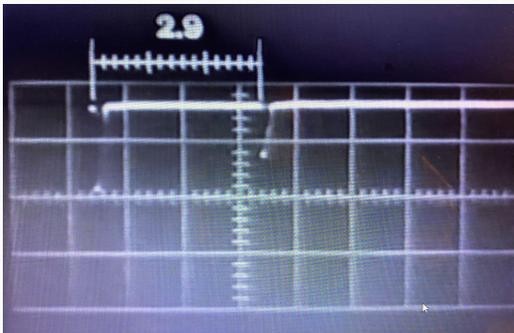
3) infine useremo questi orologi e radioattività per misurare la dilatazione del tempo. confronteremo due misure dello stesso intervallo di tempo: quella fatta coi mesoni che vanno velocissimi rispetto a noi, e quella fatta coi mesoni fermi rispetto a noi. I mesoni mu che adopereremo sono prodotti nell'alta atmosfera e vengono più veloci verso la terra, mentre alcuni di essi si disintegrano in volo. Il numero di mesoni che arrivano ad alta quota è maggiore del numero di quelli che riescono a raggiungere il livello del mare.

Ogni volta che uno di questi mesoni attraversa questo scintillatore plastico viene emesso un lampo di luce, con il fotomoltiplicatore, che è una fotocellula estremamente sensibile che trasforma i lampi in impulsi elettrici rivelabili. Per farli funzionare dobbiamo mettere lo scintillatore proprio sopra la fotocellula quindi per evitare infiltrazioni di luce dobbiamo coprirlo con un rivestimento opaco prima quello di alluminio, esso riflette la luce mantenendo la tuta nell'interno e infine con la stoffa opaca. Diamo attenzione al fotomoltiplicatore, l'impulso è elettrico dal fotomoltiplicatore che passa per un cavo si inserisce nell'amplificatore, ora l'uscita dell'amplificatore la mandiamo a comandare l'oscillografo ad alta velocità, il punto luminoso dell'oscillografo si muove e molto rapidamente attraverso lo schermo.

Poi prendiamo lo stesso impulso del fotomoltiplicatore e lo mandiamo all'asse verticale dell'oscillografo, in modo da poterlo rendere visibile all'inizio della traccia.

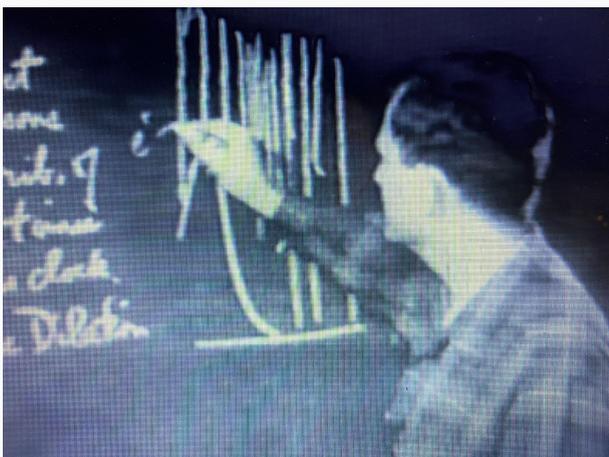
La maggior parte delle tracce indica che un mesone Mu ha attraversato lo scintillatore, quando un mesone mu entra nello scintillatore e fa partire il punto luminoso, gli impulsi che fanno partire la traccia sono visibili. La loro altezza varia questo perché alcuni mesoni attraversano solo un angolo dello scintillatore producendo un lampo debole e quindi un impulso piccolo mentre altri lo attraversano tutto. La traccia impiega un microsecondo a percorrere ciascuna di queste divisioni grandi, poi per sette microsecondi e mezzo dopo per tutti i nove microsecondi che si possono vedere. Questa può sembrare una grande velocità ma ogni mesone mu che entra nello scintillatore lo attraversa tutto e ne esce in appena 2 miliardesimi di secondo, che corrisponde a circa un centesimo della larghezza di ciascun impulso di partenza. La larghezza dell'impulso non c'entra col tempo impiegato dai mesoni ad attraversare lo scintillatore ma è determinata soltanto dall'elettronica.

Quasi tutti i mesoni vanno oltre lo scintillatore possiamo fermarne alcuni nello scintillatore tuttavia col rallentarli in questi 80 centimetri di ferro, noi vogliamo fermare alcuni mesoni nello scintillatore al fine di osservare il loro decadimento radioattivo.



Sappiamo già come rivelare i mesoni mu, ora vogliamo misurare quanto tempo impiegano per decadere allo scopo di usarli come orologi.

Quando un mesone mu positivo decade, esso emette un neutrino un anti neutrino e una particella carica positiva detta positrone, quando il mesone entra nello scintillatore manda un lampo di luce, se poi si ferma e decade nello scintillatore il positrone manda un secondo lampo di luce, questo produce un secondo impulso sulla traccia dell'oscillografo nell'istante in cui il mesone mu decade.



Ora possiamo fermare un gran numero di mesoni mu e misurare la distribuzione nel tempo dei loro decadimenti. Ci sono meno impulsi di prima infatti il ferro non solo rallenta i mesoni ma ne ferma alcuni prima che arrivino allo scintillatore, perciò se vogliamo usare i mesoni

come misuratori di tempo ossia come orologi sarà necessario raccogliere una gran quantità di dati.

Per facilitarci il lavoro portiamo l'impulso di partenza in una posizione prefissata dietro la maschera sovrapposta allo schermo e poi solleviamo la traccia principale fino a nasconderla dietro un'altra maschera, così si possono vedere solo gli impulsi di decadimento. Il modo più comodo per registrare il decadimento è di usare una macchina polaroid. Se lasciamo l'otturatore aperto possiamo registrare fino a 20 impulsi distinti. Uno dopo l'altro sulla stessa fotografia qui abbiamo un'altra foto moltiplicatore il quale attraverso questa apertura nel sostegno della macchina guarda gli impulsi di decadimento, ma prima di poterlo usare devo ripararlo dalla luce della stanza. La luce degli impulsi di decadimento che spuntano da dietro la maschera viene rivelata da questo fotomoltiplicatore, qui arriva l'alta tensione per il fotomoltiplicatore e questo caso porta il segnale d'uscita dalle foto moltiplicatore e lo porta a questo amplificatore l'entrata e qui dietro l'uscita sempre da qui dietro arriva a questo circuito che in realtà è una scala ma serve solo per comandare questo numeratore.

Il numeratore conta uno per uno i mesoni μ che entrano nello scintillatore decadono e il cui impulso di decadimento è rivelato dal fotomoltiplicatore. Il contatore ci dice in ogni momento quanti mesoni μ complessivamente si sono fermati e sono decaduti nello scintillatore.

Ora misurare l'intervallo di tempo vissuto da ciascuno di questi mesoni μ usando una scala che otteniamo semplicemente fotografando la scala dello scenografo misurando dall'orlo della maschera troviamo che questo meso un è vissuto per 4,85 microsecondi, traccio qui su questa scala più grande un segmento che rappresenta la misura del tempo di decadimento del mesone in microsecondi, così abbiamo trovato altri dati. I segmenti rappresentano i tempi di decadimento dei cinque mesoni registrati, solo il tempo riportato in questa direzione ha un significato per vedere l'andamento della distribuzione dei tempi di decadimento, dobbiamo fermare molte migliaia di mesoni.



Il tabellone che riporta i 568 eventi registrati durante un'ora i 568 eventi che abbiamo riportato sul tabellone sono il risultato di 1 ora di conteggio, prima avevamo fatto altri cinque diversi conteggi ciascuno di un'ora e la loro media risulta 564 dunque i 568 eventi registrati sono un buon campione del numero di mesoni che decadono nel nostro scintillatore ogni ora.

Si può dunque pensare che i Mesoni mu arrivino come una pioggia costante d'ora in ora. Molti mesoni vivono per un microsecondo o più, un po' di meno sopravvivono 2 microsecondi e se arriviamo a 5 microsecondi rimane solo una piccola parte del numero iniziale, se poi arriviamo a 8 microsecondi e mezzo che è l'intervallo più lungo che si possa leggere sullo oscillografo ci restano solo pochissimi mesoni.

La tabella rappresenta in modo visivo i tempi di decadimento di quei mesoni che si sono fermati nello scintillatore prima che noi misurassimo il tempo di decadimento e si erano fermi rispetto a noi durante il tempo rappresentato nella tabella.

cosa succede nel tempo di decadimento dei mesoni mu quando invece di stare fermi rispetto a noi ci passano fulmineamente davanti con velocità vicini a quelli della luce?

Supponiamo di avere un mesone che ha vissuto 3,5 microsecondi nel nostro scintillatore, supponiamo di non averlo fermato;

ci troviamo sulla cima del monte Washington, 6300 piedi sopra il livello del mare, abbiamo fermato il mesone in quel punto. se non lo avessimo fermato avrebbe viaggiato perpendicolarmente per 3,5 microsecondi prima di decadere, sarebbe arrivato a distanza di $3,5 \times 10^{-6} \text{ s} \times v$ (velocità)

conosciamo la velocità dei mesoni che si fermano nello scintillatore in quanto sappiamo quanta materia può attraversare una particella carica di massa e velocità data un mesone mu che entra dall'alto del ferro con velocità 0,9950 di quella della luce arriva proprio in cima all'oscillatore prima di fermarsi con una velocità minore di quella di prima si ferma nel ferro. con velocità appena maggiore di quella di prima si ferma sul fondo dello scintillatore con velocità ancora maggiore lo attraversa ed entra nella montagna dunque i mesoni che contiamo hanno velocità comprese tra 0,9950 e 0,9954 volte la velocità luce ma per il momento non ci occorre tanta precisione possiamo dire che hanno pressappoco la velocità luce cioè circa 1000 piedi per microsecondo e questo particolare mesone avrebbe percorso :

$3,5 \times 10^{-6} \times \frac{1000}{10^{-6}} = 3500$ piedi prima di decadere mentre uno vissuto solo 2,4 microsecondi

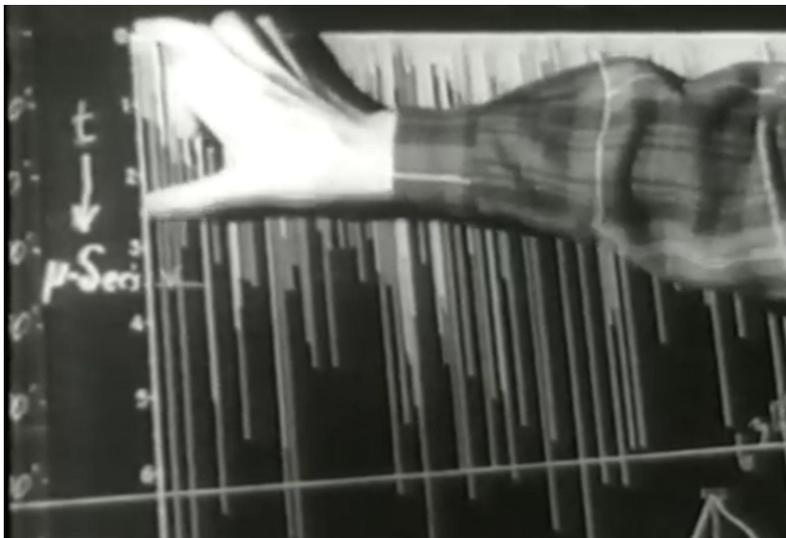
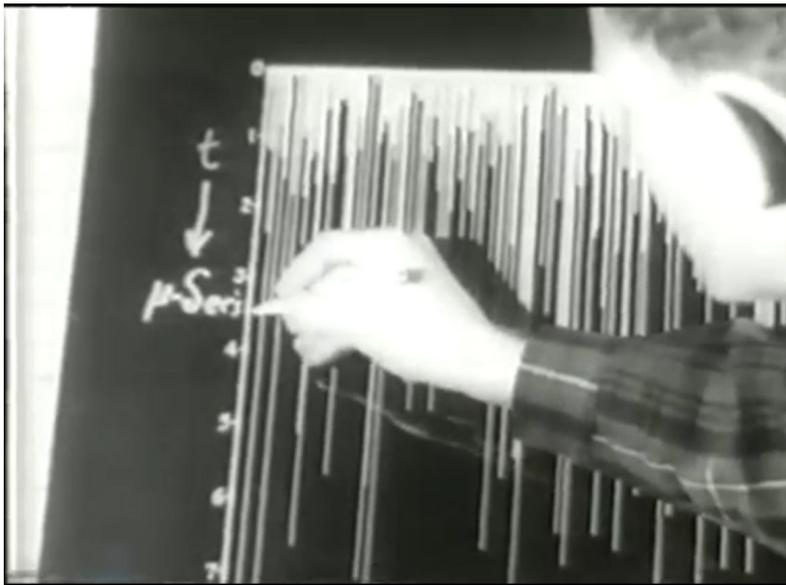
avrebbe percorso solo 2400 piedi prima di decadere, uno vissuto quasi 5 microsecondi avrebbe vissuto quasi 5000 piedi

quanti dei nostri mesoni raggiungerebbero il livello del mare (6300 piedi più in basso)?

Per comprendere ciò tendiamo filo trasversale a 6300 piedi e contiamo quanti dei nostri mesoni avrebbero proseguito fino ad arrivare a quel livello

in totale sono 27 mesoni che si fermano e muoiono nello scintillatore ogni ora.

questo calcolo si basa su ipotesi che mesoni mu decadono nello stesso tempo quando sono in volo così come quando sono fermi rispetto a noi. questa ipotesi ci dà 27 mesoni all'ora quando andiamo al livello del mare ma se ne trovassimo di più ciò significa che i mesoni sarebbero decaduti come se fosse passato solo una parte di tempo cioè noi misuriamo intervallo di tempo \times il loro volo 6,3 microsecondi ma per loro sarebbe passato solo questo tempo.



scendiamo al livello del mare e contiamo quanti mesoni μ sopravvivono
Ci troviamo al livello del mare e l'apparecchiatura sembra essere apposto, appena collegati
gli attacchi vediamo quanti mesoni sopravvivono a questo dislivello, ne risulta subito 1
sulla cima monte washington ne abbiamo contati 568 mesoni ora siamo scesi sul livello del
mare vediamo quanti ne rimangono.
non possiamo contare i sopravvissuti di quegli stessi mesoni contati sul monte washington
perché li abbiamo fermati tutti lassù nello scintillatore, ciò non ha importanza in quanto quei
mesoni non avevano nulla di particolare
in nessun caso avremmo potuto prevedere con esattezza quando uno di essi sarebbe
decaduto, usiamo un orologio a mesoni costituito dalla distribuzione media dei tempi di
decadimento di un gran numero di mesoni. dunque possiamo contare i sopravvissuti tra i
mesoni che arrivavano in un'altra ora poiché come abbiamo visto lassù il numero medio
rimane lo stesso di ora in ora e non possiamo metterci al livello del mare sotto il monte
washington dovremmo scavare lunghissimo pozzo per permettere ai mesoni di attraversare
quella roccia ma non è affatto necessario perciò siamo venuti a cambridge, massachusset a
150 miglia di distanza qui contiamo i sopravvissuti tra quelli che arrivano a 6000 piedi di

altitudine sopra di noi, l'intensità media dei raggi cosmici è la stessa su regioni della terra distanti tra di loro molte centinaia di miglia perciò ci saranno circa 568 mesoni che vengono giù da 6000 piedi di altezza sopra di noi durante quest'ora.

C'è stato un cambiamento nella nostra apparecchiatura :in cima al monte washington usavamo strato di ferro dello spessore di 80 cm per selezionare i nostri mesoni,ma tra qui e 6000 piedi c'è uno spessore di aria equivalente nel rallentare i mesoni a 30cm di ferro perciò abbiamo tolto 30 cm di ferro dal nostro mucchio così che i mesoni che si fermano nello scintillatore avessero una velocità compresa tra 0,9950 e 0,9954 volte la velocità della luce come a 6000 piedi sul mare cioè la stessa velocità che avevano i mesoni quando passavano nel ferro sul monte washington e si fermavano nello scintillatore,questo è uno solo tra i molti fattori di cui dobbiamo tenere conto nel nostro esperimento:

- non tutti i mesoni arrivano verticalmente
- alcuni mesoni mu vengono prodotti da altri raggi cosmici tra 6000 piedi e il livello del mare
- alcuni mesoni mu che si fermano nello scintillatore interagiscono con i nuclei

crediamo di aver calcolato correttamente tutti questi effetti, il loro contributo al nostro risultato è piccolo.

Controlliamo il conteggio degli impulsi dopo un'ora esatta conteggio di un'ora:412 invece di 27(risultato ipotizzato precedentemente dalla tabella):
abbiamo avuto 412 mesoni sopravvissuti al livello del mare.



Abbiamo riportato il numero di mesoni sopravvissuti in funzione del tempo sulla tabella secondo il nostro orologio a decadimento di mesoni. 412 corrisponde a 0,7 microsecondi di tempo circa trascorso in volo.

0,7 microSecondi trascorsi in volo come risulta dalla misura con i mesoni in moto diviso per 6,3 microsecondi di tempo di volo come risulta dalla misura con i mesoni fermi rispetto a noi.

$$\frac{0,7}{6,3} = \frac{1}{9}$$

per questi mesoni che ci passano davanti al 99% della velocità della luce il tempo passa 9 volte più lentamente di quando sono fermi rispetto a noi.

abbiamo usato particelle radioattive i mesoni mu per dimostrare che gli orologi in moto ritardano ciò non riguarda il particolare tipo di orologio da noi usato,fatto con altri orologi (es atomi)stesso risultato,

se riuscissimo a farle viaggiare velocemente si potrebbe fare lo stesso esperimento con delle sveglie

Se una sveglia in moto passasse vicino alla prima di 2 sveglie fisse quando tutte e tre segnano mezzogiorno e poi 15 minuti dopo passasse accanto alla seconda di queste due sveglie possiamo credere che se sveglia in moto si muovesse con stessa velocità dei mesoni segnerebbe solo 1/9 di 15 minuti cioè 1 minuto e 20 secondi dopo le 12 (quello che vedremmo noi stando fermi rispetto a queste sveglie).

Coloro che viaggiano a cavallo della sveglia in moto o di uno dei nostri mesoni il mesone sembrerebbe fermo prima gli passerebbe davanti la cima del monte washington al 99% della velocità della luce e poi dopo un certo tempo si vedrebbe arrivare addosso il livello del mare a stessa velocità.

Il mesone su cui sta seduto quando gli passa davanti il monte washington ha qualche probabilità di sopravvivere fino a quando passa il livello del mare.

Il nostro esperimento ci ha mostrato che al livello del mare se egli cavalcasse 56 mesoni uno dopo l'altro circa 412 di essi vivrebbero almeno fino al livello del mare, perciò leggerebbe sulla sua distribuzione dei tempi di decadimento 0,7 microsecondi di tempo più probabile trascorso dal passaggio della cima del Monte al passaggio del livello del mare.

All'osservatore a cavallo del Mason è la distanza tra la cima del monte e livello del mare risulterà quella percorsa in 0,7 microsecondi da un oggetto che viaggia a 0,99 volte la velocità della luce cioè, secondo la nostra scala appena 700 piedi dunque il monte washington apparirebbe alto appena 700 piedi.

Questo è un esempio di di contrazione di Lorentz-FitzGerald secondo cui oggetto in moto si contrae in un fattore

$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ nella direzione del moto quando si muove con velocità rispetto a un osservatore che corrisponde allo stesso fattore della dilatazione del tempo di Einstein.

CONCLUSIONE:

Gli esperimenti che abbiamo fatto allo scopo di dimostrare che gli orologi in moto ritardano e che la lunghezza degli oggetti in moto si riduce vale per ogni oggetto non solo per i mesoni μ .

