

# Violazione della Parità

Raffaele Pontrandolfi

Corso di Astrofisica e Particelle Elementari

Per spiegare l'asimmetria nell'universo tra particelle e antiparticelle bisogna trovare dei processi per cui la materia è preferita rispetto all'antimateria. Una condizione che sembra necessaria, ma forse non sufficiente è la violazione  $CP$ . Prima di ipotizzare che possano esserci dei sistemi che non rispettino la simmetria  $CP$  si è dovuto dimostrare che è possibile la violazione della parità.

# Sommario

- 1 Simmetrie
  - Introduzione alle Simmetrie
  - Simmetrie in Meccanica Quantistica
- 2 Violazione della parità
  - Introduzione
  - Difficoltà di una prova sperimentale
- 3 L'esperimento di Madame Wu
  - Introduzione
  - L'esperimento
  - Conclusioni dell'Esperimento
- 4 Conclusioni

- 1 Simmetrie
  - Introduzione alle Simmetrie
  - Simmetrie in Meccanica Quantistica

- 2 Violazione della parità
  - Introduzione
  - Difficoltà di una prova sperimentale

- 3 L'esperimento di Madame Wu
  - Introduzione
  - L'esperimento
  - Conclusioni dell'Esperimento

- 4 Conclusioni

# Importanza delle Simmetrie

L'importanza delle simmetrie nello studio dei sistemi fisici.

Simmetria  $\implies$  Invarianza dei sistemi rispetto alla trasformazione corrispondente  $\implies$  Esistenza di una quantità conservata.

# Esempi

- 1 Omogeneità dello spazio  $\implies$  Simmetria per traslazione  $\implies$   
Conservazione dell'impulso
- 2 Isotropia dello Spazio  $\implies$  Simmetria per rotazione  $\implies$   
Conservazione del momento angolare
- 3 Omogeneità del tempo  $\implies$  Simmetria per traslazione temporale  $\implies$   
Conservazione dell'energia

## Simmetrie in Quantistica

In Meccanica Quantistica le trasformazioni sono descritte da operatori lineari. C'è simmetria, ovvero c'è una quantità conservata, se l'operatore corrispondente alla trasformazione commuta con l'Hamiltoniana:

$$[O, H] = 0$$

In Quantistica esistono simmetrie continue e discrete, queste ultime non possono portare a leggi di conservazione in Meccanica Classica. Per le simmetrie continue i numeri quantici sono additivi mentre per quelle discrete sono moltiplicativi.

Inversione delle coordinate spaziali

$$\hat{P}\psi(r) = \psi(-r)$$

Le interazioni forti e quelle elettromagnetiche sono invarianti sotto  $\hat{P}$



## Coniugazione di Carica $\hat{C}$

Un'altra simmetria discreta si ottiene sostituendo ad ogni particella la relativa antiparticella, scambiando quindi il segno della carica e degli altri numeri quantici interni (numero barionico, leptonico ecc.) e lasciando invariate le grandezze dinamiche (impulso, spin ecc.).

Le interazioni forti e quelle elettromagnetiche sono invarianti sotto  $\hat{C}$

- 1 Simmetrie
  - Introduzione alle Simmetrie
  - Simmetrie in Meccanica Quantistica
  
- 2 Violazione della parità
  - Introduzione
  - Difficoltà di una prova sperimentale
  
- 3 L'esperimento di Madame Wu
  - Introduzione
  - L'esperimento
  - Conclusioni dell'Esperimento
  
- 4 Conclusioni

# Introduzione

T.D.Lee e C.N.Yang avanzarono l'ipotesi che la parità potesse essere violata nelle interazioni deboli.



## $\theta - \tau$ puzzle

I primi indizi da cui partirono Lee e Yang riguardano il  $\theta - \tau$  puzzle: queste due particelle identiche decadevano rispettivamente in  $2\pi$  e in  $3\pi$ , dovevano dunque avere parità intrinseche opposte.

Assunsero che si trattasse semplicemente di due possibili decadimenti di un'unica particella (il mesone K).

Era necessario evidenziare una dipendenza di qualche probabilità di transizione debole da una quantità dispari sotto la parità.

Lee e Yang suggerirono di studiare l'isotropia degli elettroni emessi nei decadimenti deboli di nuclei polarizzati: se la parità è conservata ci si aspetta che la distribuzione degli elettroni di decadimento rispetto alla direzione della polarizzazione originale abbia valor medio nullo: infatti uno stato con un elettrone diretto verso l'alto rispetto alla polarizzazione del nucleo si trasforma sotto parità in uno stato con l'elettrone diretto verso il basso (l'impulso dell'elettrone è un vettore e deve cambiare verso) con la polarizzazione che rimane invariata, essendo lo spin del nucleo uno pseudovettore.

Se la parità non è conservata deve esserci una direzione degli elettroni privilegiata.

## Difficoltà di una prova sperimentale

La polarizzazione degli spin dei nuclei si può realizzare allineando il corrispondente momento magnetico con un campo magnetico esterno, idea difficile da realizzare sperimentalmente, per il fatto che il momento magnetico corrispondente ad un determinato momento angolare è inversamente proporzionale alla massa della particella, ed è quindi molto più piccolo per un nucleo che per un elettrone.

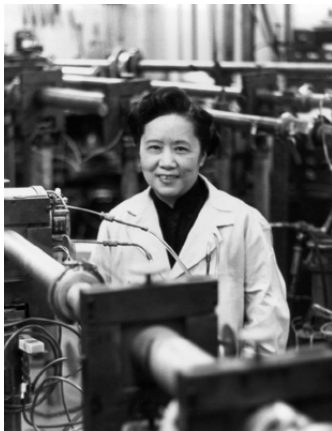
D'altra parte la polarizzazione  $P$ , ossia la frazione media di particelle orientate, è data da

$$P = \arctan\left(\frac{\vec{\mu} \cdot \vec{B}}{kT}\right)$$

L'ordine di grandezza del campo magnetico necessario per i nuclei è migliaia di volte maggiore di quello necessario per la polarizzazione degli atomi, dovuta al momento angolare e allo spin degli elettroni: a temperature dell'ordine del centesimo di  $K$ , ci vorrebbe un campo magnetico esterno dell'ordine di  $10 T$ .

- 1 Simmetrie
  - Introduzione alle Simmetrie
  - Simmetrie in Meccanica Quantistica
  
- 2 Violazione della parità
  - Introduzione
  - Difficoltà di una prova sperimentale
  
- 3 L'esperimento di Madame Wu
  - Introduzione
  - L'esperimento
  - Conclusioni dell'Esperimento
  
- 4 Conclusioni

# Introduzione



Decadimento del Cobalto-60:



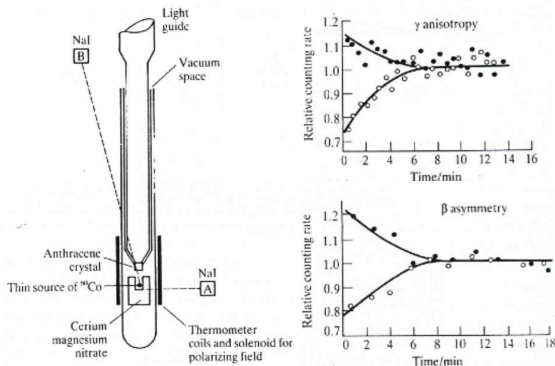
Il nucleo di nichel eccitato decade successivamente nello stato fondamentale attraverso una sequenza di due decadimenti radiativi. I due fotoni sono emessi preferenzialmente in un piano ortogonale allo spin del nucleo di nichel e questa circostanza permette di determinare lo stato di polarizzazione nucleare attraverso una misura dell'anisotropia dei fotoni.



## Dettagli dell'esperimento

- Il cobalto è un atomo paramagnetico che è in grado di generare, in prossimità del suo nucleo, campi magnetici elevatissimi con un piccolo campo magnetico esterno che consenta di allineare i momenti atomici, in questo modo si può ottenere la polarizzazione dei nuclei.
- Le basse temperature necessarie potevano essere realizzate utilizzando la tecnica della depolarizzazione adiabatica dei sali paramagnetici, usando come sale un cristallo di nitrato di cerio-magnesio.
- La polarizzazione dei nuclei è misurata dall'anisotropia dei fotoni emessi nella catena di decadimento del niobio.
- Il segnale luminoso doveva essere portato all'esterno del criostato attraverso una lunga guida di luce, fino ad un fotomoltiplicatore che operava a temperatura ambiente.

# Schema e Risultati



**Figura:** A sinistra il campo magnetico è orientato secondo la verticale; i due scintillatori di NaI rivelano i fotoni emessi rispettivamente nella direzione del campo magnetico (B) e sul piano ortogonale ad esso (A); A destra: in alto frequenza relativa dei fotoni nei due contatori (cerchi pieni: A, cerchi vuoti: B), in basso frequenza relativa degli elettroni (cerchi pieni: campo diretto verso il basso, cerchi vuoti: campo diretto verso l'alto).

## Conclusioni dell'Esperimento

Gli elettroni sono emessi quindi preferenzialmente in direzione opposta alla polarizzazione. La probabilità del decadimento del cobalto dipende quindi dal prodotto scalare tra uno pseudovettore, lo spin del nucleo, ed un vettore, la direzione degli elettroni. Se ne conclude che anche l'Hamiltoniana del decadimento deve mostrare la stessa dipendenza e non è quindi invariante sotto trasformazioni di parità. In conseguenza, la parità risulta non conservata nei decadimenti  $\beta$  dei nuclei.


- 1 Simmetrie
  - Introduzione alle Simmetrie
  - Simmetrie in Meccanica Quantistica
  
- 2 Violazione della parità
  - Introduzione
  - Difficoltà di una prova sperimentale
  
- 3 L'esperimento di Madame Wu
  - Introduzione
  - L'esperimento
  - Conclusioni dell'Esperimento
  
- 4 Conclusioni

## Conclusioni

Questo esperimento dimostrò che la parità può essere violata nelle interazioni deboli. Come prima conseguenza fu trovata la violazione della parità anche nei decadimenti del pione e del muone.

## Conclusioni

La violazione della parità fu importante perchè fu il primo passo nella dimostrazione della rottura della simmetria  $CP$ , più debole di  $P$ .



Grazie per l'attenzione