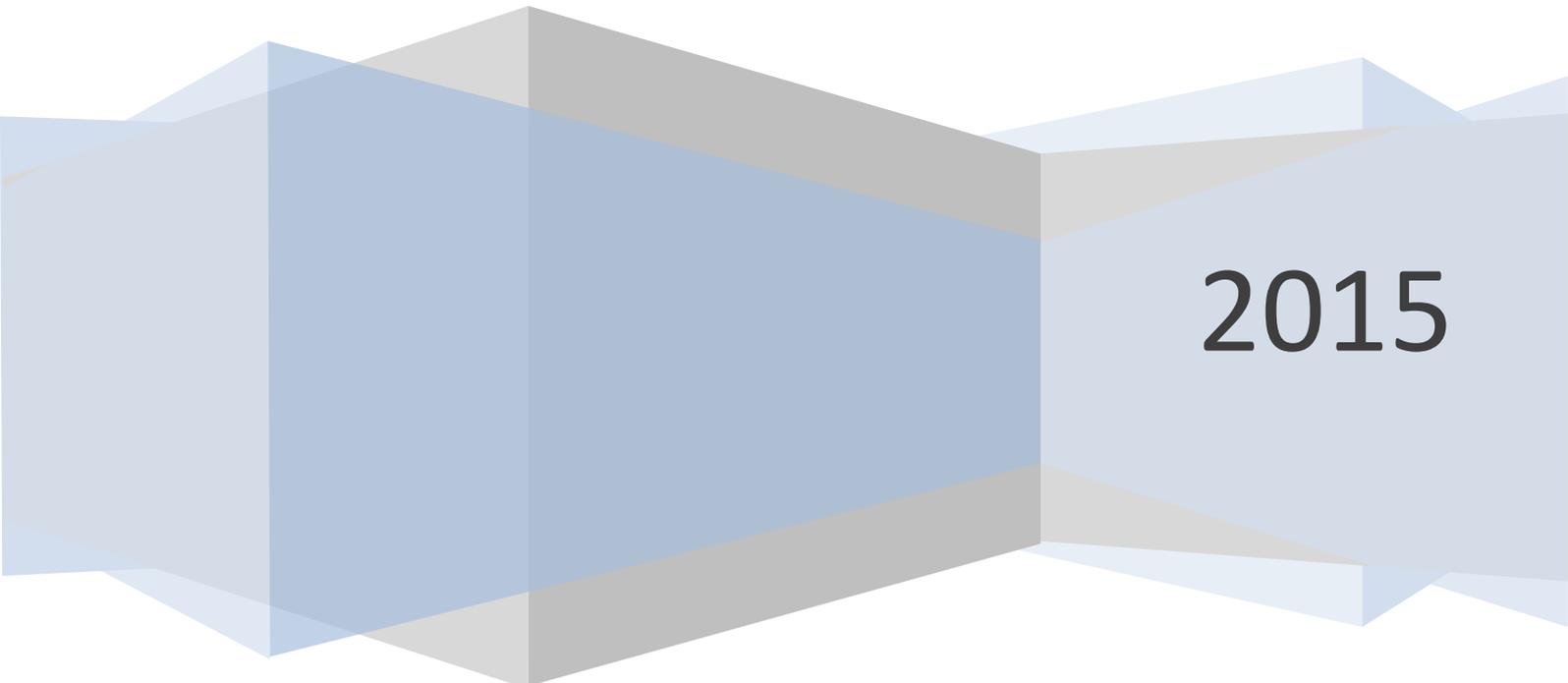


Liceo Scientifico L. da Vinci

# **Violazione della parità nelle interazioni deboli**

**Cenni teorici e sperimentali**

Pietro Ghiglio, Tommaso Lorenzon, Matteo Paola



2015

# Violazione della parità nelle interazioni deboli

---

## Cenni biografici

*Hien-Shiung, Wu (Liuhe, Shanghai 1912 – New York 1997)*



Fisica statunitense di origine cinese. Confermò sperimentalmente la teoria che affermava la non conservazione della parità nelle interazioni deboli.

Laureatasi in fisica all'Università di Nanchino nel 1934, si trasferì negli Stati Uniti nel 1936 e conseguì il dottorato a Berkeley nel 1940 sotto la guida di Ernest Lawrence, inventore del ciclotrone e premio Nobel per la fisica nel 1939. Lavorò presso le Università di Princeton e Columbia fino al 1944, anno in cui prese parte al Progetto Manhattan, il programma di ricerca finanziato dal governo statunitense per mettere a punto la bomba atomica.

Al termine del conflitto Wu si dedicò a ricerche sperimentali nel campo della fisica nucleare; in particolare, studiò la radioattività beta, guidando l'esperimento di decadimento del cobalto 60 con cui venne provata la violazione della parità del decadimento beta (fino ad allora, la legge della parità era stata ritenuta una proprietà universale, condivisa da tutti i fenomeni della natura). Con questo esperimento Wu mostrò che le particelle beta vengono emesse in maggior numero quando i nuclei di cobalto sono allineati nella direzione opposta a quella dello spin nucleare, e che quindi, in un sistema che fosse l'immagine speculare di quello preso in esame, il processo di emissione non potrebbe risultare uguale.

Nonostante la straordinaria importanza del suo contributo, "Madame Wu" (come era universalmente nota nell'ambito della comunità scientifica) non fu inclusa tra i vincitori del Nobel per la scoperta: il comitato svedese attribuì il prestigioso riconoscimento soltanto a Tsung Dao Lee e a Chen Ning Yang, che avevano predetto il fenomeno in via teorica. Nel corso della sua vita Madame Wu ricevette comunque numerosi riconoscimenti; tra questi, il Comstock Award dall'Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti, per la prima volta conferito a una donna.

*Yang, Chen Ning (Hofei 1922 - )*



Fisico teorico statunitense di origine cinese, premio Nobel per la fisica nel 1957. Iniziati gli studi in Cina, nel 1946 si trasferì a Chicago, dove nel 1948 conseguì il dottorato sotto la guida di Edward Teller e dove l'anno seguente ebbe modo di lavorare come assistente di Enrico Fermi. Nel 1949 si trasferì all'Institute for Advanced Study di Princeton, dove nel 1955 divenne professore.

I principali filoni di ricerca a cui Yang si dedicò furono la meccanica statistica e i principi di simmetria. Fu in questo secondo campo che, con la collaborazione del collega Tsung Dao Lee, avanzò la teoria secondo cui in una delle quattro interazioni fondamentali della natura, l'interazione debole, verrebbe violata la

legge di conservazione della parità. La scoperta, confermata sperimentalmente dalla fisica cinese Chien-Shiung Wu nel 1957, valse il premio Nobel per la fisica a Lee e Yang nello stesso anno.

### *Lee, Tsung Dao (Shanghai 1926 - )*



Fisico nucleare statunitense di origine cinese, premio Nobel per la fisica nel 1957. Compì ricerche fondamentali nel campo della meccanica quantistica, e in modo particolare nell'ambito della teoria quantistica dei campi.

Lee frequentò l'Università di Chekiang e, sempre in Cina, le National Southwest Associated Universities; quindi si trasferì all'Università di Chicago, dove concluse gli studi. Svolse l'attività didattica e di ricerca presso l'University of California, l'Institute for Advanced Study di Princeton e la Columbia University. Con la collaborazione di Chen Ning Yang, avanzò la teoria secondo cui l'interazione nucleare debole, a differenza delle altre tre forze fondamentali della natura, non rispetta il principio di conservazione della parità. Questa importante scoperta, confermata sperimentalmente da Chien-Shiung Wu nel 1957, valse ai due scienziati il premio Nobel per la fisica nello stesso anno.

## **Premessa teorica**

### *Decadimento $\beta^-$*

Decadimento nucleare mediato dall'interazione debole per cui un neutrone decade in una coppia protone-elettrone più un antineutrino elettronico. Il protone resta nel nucleo atomico mentre elettrone e antineutrino vengono espulsi. Il decadimento  $\beta^-$  è mediato dal bosone  $W^-$ , che è carico elettricamente (si parla quindi di  $W^+$  o  $W^-$ ). Il neutrone è formato da due quark down e un quark up (ddu), il protone da due quark up e un quark down (uud). Nel decadimento  $\beta^-$  si ha quindi l'interazione tra un quark d del neutrone e un bosone  $W^-$ , in seguito alla quale si ha  $d \rightarrow u + e + \bar{\nu}_e$ .

### *Simmetria, parità e simmetria C.*

La simmetria è la corrispondenza tra più configurazioni di uno stesso sistema fisico. Esistono vari tipi di simmetria:

- Simmetria geometrica: simmetria dovuta alla forma di un sistema (ad esempio una sfera è simmetrica rispetto al suo centro e ai piani che lo attraversano).
- Simmetria euclidea: simmetria per traslazione su un piano o rotazione attorno ad un asse ortogonale al piano (ad esempio le forze tra il Sole e un corpo che gli ruota attorno dipendono solo dalla distanza tra i due, e rimangono quindi invariate anche in caso di traslazione). L'invarianza per traslazione implica la mancanza di coordinate assolute, mentre quella rotazione implica la mancanza di direzioni assolute, all'interno di un sistema esistono solo posizioni e direzioni relative tra le componenti del sistema.

Proprio quest'ultimo aspetto della simmetria euclidea ha portato i fisici, da Galileo in poi, ad affermare l'indipendenza di ogni sistema, e quindi delle leggi fisiche, dal carattere destrorso o sinistrorso del sistema di riferimento, portando al concetto di parità (P), secondo cui le leggi fisiche sono invarianti per riflessione speculare. La simmetria C è la simmetria rispetto alle trasformazioni per coniugazioni di carica. In un

sistema fisico non si considerano cariche assolute (per forza positive o per forza negative) ma si considera il loro essere coniugate o opposte tra di loro. Le leggi fisiche sono simmetriche per le trasformazioni di coniugazione di carica.

### *Violazione della simmetria P e C*

Si è a lungo pensato che le leggi della natura rimanessero le stesse sotto l'azione di quella che oggi è chiamata simmetria P, la quale consiste nell'invertire tutti gli assi spaziali (detto più banalmente, consiste nell'invertire la destra con la sinistra e viceversa). Si credeva che questa fosse una legge universale e dagli esperimenti risultava che le leggi della gravità e dell'elettromagnetismo la rispettavano: infatti, se di un apparato sperimentale che produce un determinato risultato si costruisce una copia identica, ma speculare, quest'ultima dovrebbe fornire lo stesso risultato del primo apparato.

Nel 1956 Yang e Lee proposero che l'interazione debole potesse violare questa simmetria. Lee e Yang avanzarono questa ipotesi per spiegare il cosiddetto puzzle  $\theta$ - $\tau$ : negli anni Cinquanta erano state identificate due particelle ( $\theta$  e  $\tau$ , appunto) con identica massa, ma con due modi di decadimento semi-leptonici in stati finali di opposta parità. Il dubbio era se le due particelle fossero veramente distinte oppure la medesima. Lee e Yang sostennero (correttamente) la seconda ipotesi, per la quale si aveva una sola particella che decadeva violando la parità, poi identificata con il kaone carico (mesone K). La conferma a questa ipotesi giunse nel 1957, da esperimenti condotti da Madame Wu e collaboratori, facendo vincere, quello stesso anno, a Yang e Lee il premio Nobel per la fisica. Dagli esperimenti della Wu emerge come solo neutrini sinistrorsi e antineutrini destrorsi siano coinvolti nell'interazione debole. L'assenza di antineutrini sinistrorsi e neutrini destrorsi è una chiara violazione della parità. Ma anche la coniugazione di carica risulta violata, poiché essa dovrebbe trasformare un neutrino sinistrorso in un antineutrino sinistrorso, il quale però non è soggetto all'interazione debole.

## Esperimento

A livello concettuale, l'esperimento di Madame Wu si basa su tre semplici operazioni. Per osservare una violazione della parità per la forza debole, si deve:

1. Scegliere un decadimento radioattivo caratterizzato da un'interazione debole.
2. Costruire un sistema con stato iniziale di parità.
3. Osservare l'evoluzione del sistema e verificare se la parità si è conservata (o meno) al suo stato finale.

Per capire meglio questo concetto (semplificando il più possibile), si può affermare che il sistema, alla fine dell'esperimento, non deve presentare alcuna differenza se osservato allo specchio. Madame Wu, nel suo esperimento del 1956, fece alcune scelte per soddisfare queste tre tappe dell'esperimento.

## Materiale e preparazione dell'esperimento

### *Scelta del decadimento radioattivo*

Il decadimento del Cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ,  $Z = 27$ ) è di tipo  $\beta^-$ . In questo tipo di decadimento, un neutrone decade in un protone, un elettrone e un antineutrino elettronico:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ . Gli atomi del Cobalto, quindi, decadono attraverso la reazione:

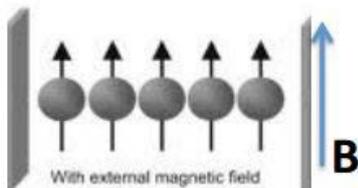
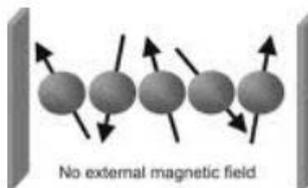


in atomi di Nichel ( $Z = 28$ ).

Gli atomi di Cobalto sono paramagnetici, in grado di generare in prossimità dei loro nuclei un campo magnetico considerevole, a patto che un campo magnetico esterno ne allinei i momenti atomici.

### *Costruzione di un sistema con stato iniziale di parità*

Per costruire uno stato iniziale con parità, si allineano lo spin degli atomi di Cobalto all'asse  $z$  (immaginando lo spazio cartesiano), in modo che il sistema risulti simmetrico (per riflessione) per il piano  $x,y$ . Ovviamente, il numero di atomi impiegato è molto grande. Per orientarli tutti con efficacia, è necessario ricorrere alla tecnica della demagnetizzazione adiabatica. Sotto vuoto e in un sistema isolato termicamente (che non scambia energia con l'esterno, o adiabatico, per l'appunto), alcuni materiali hanno la capacità di cambiare temperatura al variare del campo magnetico in cui sono immersi. Al diminuire di questo, i domini ferromagnetici del materiale si disordinano a causa della temperatura. L'energia termica, unica energia disponibile nel sistema isolato, è però a sua volta assorbita dal materiale stesso, che la usa per disporre nuovamente i propri domini in base al campo magnetico agente.



Grazie alla demagnetizzazione adiabatica, alcuni sali sono in grado di raffreddarsi notevolmente (fino a sfiorare lo zero assoluto: 0.01 K) e di generare un campo magnetico locale sufficientemente forte da allineare tutti gli atomi di Cobalto, tenendoli però ad una temperatura assai bassa (una temperatura più alta, per l'energia che comporta, disallineerebbe gli spin).

Il sale usato nell'esperimento è il nitrato di cerio e magnesio (CMN). Il Cobalto, una volta allineati gli spin, si presenta come un sottilissimo strato di atomi.

### *Evoluzione del sistema e osservazioni finali*

Se la parità si conserva, significa che in due direzioni opposte ( $z$  e  $-z$ ) sono state emesse due quantità identiche di elettroni (in base al decadimento sopra riportato). Un'asimmetria Up – Down, invece, è indice di una violazione della parità (il processo e il suo riflesso avvengono in modo differente in natura).

### *Difficoltà dell'esperimento*

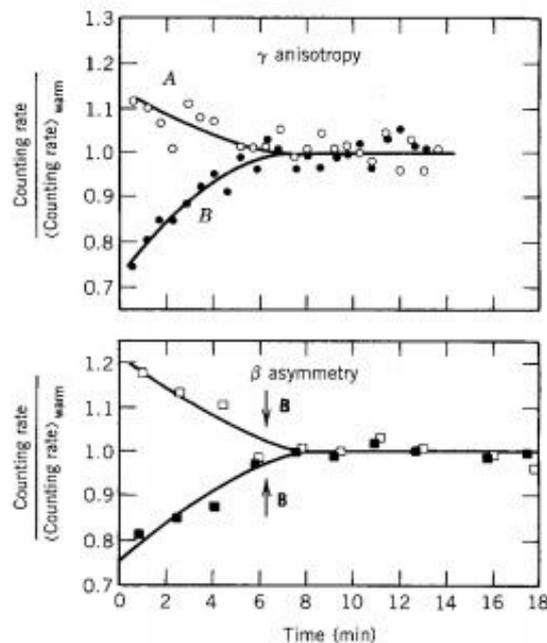
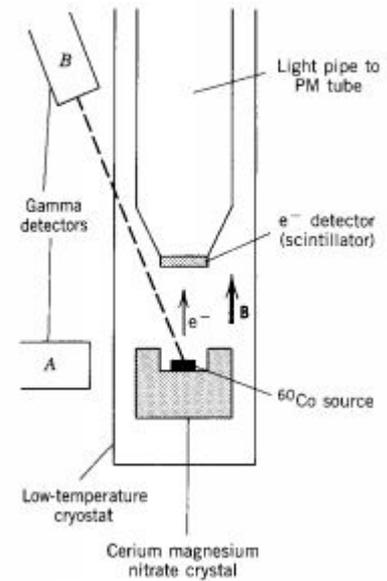
- Gli elettroni devono essere "contati" da un rivelatore, che va posto all'interno del criostato (dove è posto il Cobalto), altrimenti le pareti stesse dell'apparecchio assorbirebbero parte della radiazione.
- I fotomoltiplicatori (che raccolgono un segnale prodotto dal decadimento, chiamato luce di scintillazione), invece, non possono operare a temperature basse; devono essere posti al di fuori del criostato e sono collegati all'interno attraverso una guida di luce (lucite).
- Lo strato di Cobalto deve essere quanto mai sottile perché, altrimenti, parte degli elettroni emessi potrebbero essere riassorbiti da altri nuclidi; deve, inoltre, restare polarizzato più tempo possibile per garantire un numero di conteggi alto.

## Esecuzione dell'esperimento

L'equipe di Madame Wu ha preparato uno strato di Cobalto spesso 0.05 mm, alloggiato sul sale CMN. Grazie a dei rivelatori posti sul criostato si capisce se gli atomi siano tutti allineati; un cristallo di antracene (1 cm di diametro, 1.5 cm di spessore, posto a 2 cm dal Cobalto), in qualità di rivelatore, è sensibile al passaggio di elettroni. Anziché usare due rivelatori (ricordiamo che gli elettroni possono essere emessi in due direzioni opposte), se ne impiega solo uno e, dopo un certo periodo di tempo, si inverte il campo magnetico (si ottiene l'effetto equivalente alla riflessione spaziale).

## Dati e osservazioni

Nel dicembre '56, a esperimento ultimato, il gruppo di scienziati trovò una chiara asimmetria nel conteggio di elettroni (più elettroni erano emessi in direzione opposta allo spin del nucleo). Dopo aver verificato la correttezza e il buon funzionamento di tutti i meccanismi di controllo agenti sull'esperimento, si trassero delle conclusioni rivoluzionarie per la storia della scienza.



*Questi due grafici raccolgono i dati dell'esperimento e mostrano un'asimmetria Top - Down*

## Conclusioni

Nel decadimento osservato, intervengono "preferibilmente" elettroni negativi e antineutrini positivi (gli antineutrini hanno solo elicità positiva, questo fatto venne scoperto solo dopo il 1956): gli elettroni sono emessi più frequentemente nella direzione opposta alla polarizzazione del Cobalto. M.me Wu ha dimostrato che esiste una classe di processi, governata dall'interazione debole, per cui la parità è violata. Negli anni successivi altri esperimenti hanno confermato questa importante scoperta scientifica.

## Fonti

- [http://it.wikipedia.org/wiki/Parit%C3%A0\\_\(fisica\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Parit%C3%A0_(fisica))
- <http://www.lnf.infn.it/edu/incontri/2012/relazioni/venanzoni.pdf>
- <http://www.lnf.infn.it/media/wu/>
- <http://www.roma1.infn.it/exp/ams/LezioniAP/2011/Violazione%20della%20parita%CC%80.pdf>
- <http://www.dmf.unisalento.it/~gpco/ifns/parity.pdf>
- <http://www.crm.sns.it/media/publication/167/simm02.pdf>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Weak\\_interaction](http://en.wikipedia.org/wiki/Weak_interaction)
- Microsoft® Encarta® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.