

[as] radici

# Scambi forti.

di Francesco Guerra

*fisico teorico e storico della fisica*

Il 10 dicembre 1949, Hideki Yukawa riceve dal principe ereditario Gustav Adolf di Svezia, nella meravigliosa Sala dei Concerti di Stoccolma, il premio Nobel per la fisica. La motivazione ufficiale recita: “Per la sua predizione dell’esistenza di mesoni sulla base di un lavoro teorico sulle forze nucleari”.

Il lavoro di Yukawa era stato presentato alla fine del 1934, e pubblicato sui Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan nel 1935. Passeranno circa quindici anni prima di avere la conferma sperimentale dell’effettiva esistenza della nuova particella ipotizzata su basi puramente teoriche.

Conviene ricordare brevemente alcuni antefatti. Nel 1932-1933, Werner Heisenberg ed Ettore Majorana sviluppano una teoria quantistica del nucleo, costituito da protoni e neutroni, in cui intervengono esclusivamente la forza di repulsione coulombiana tra protoni e una forza di scambio attrattiva tra i protoni e i neutroni. Le forze di scambio (forze tra due particelle legate allo scambio di alcune proprietà delle particelle - posizione, spin, carica) erano ben note nell’ambito della fisica atomica e molecolare. Ora esse vengono introdotte anche in fisica nucleare.

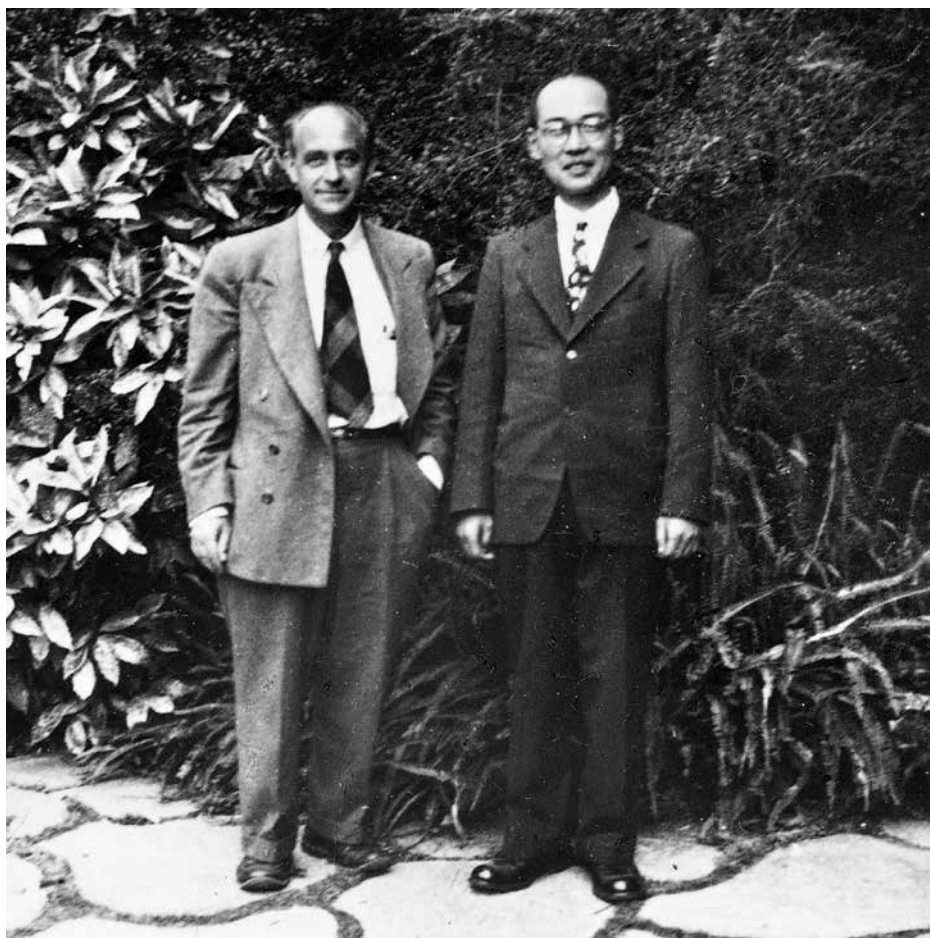
Alla fine del 1933, Enrico Fermi formula la sua celebre teoria del decadimento beta, in cui introduce una nuova interazione fondamentale, detta poi interazione nucleare debole, in un ambito di teoria quantistica dei campi. Questa interazione, la cui intensità è determinata da un parametro, la “costante di Fermi”, permette a un neutrone nel nucleo di trasformarsi in un protone, con la simultanea creazione di un elettrone e un (anti)neutrino. L’elettrone, sfuggito dal nucleo, viene rivelato come raggio beta.

Heisenberg avanza immediatamente una proposta molto ambiziosa, secondo cui la forza di scambio quantistica nucleare sarebbe dovuta allo scambio virtuale di una coppia elettrone-neutrino, che verrebbe emessa nella trasformazione di un neutrone in un protone, e poi immediatamente riassorbita con la trasformazione inversa del protone in neutrone.

a.  
Hideki Yukawa riceve il Nobel della fisica dal principe ereditario Gustav Adolf di Svezia nel 1949.



Il tentativo di Heisenberg naturalmente fallisce, perché la sua forza è un effetto del secondo ordine, proporzionale al quadrato della costante di interazione di Fermi, che ha un valore troppo piccolo. Effetti di tale ordine non possono assicurare coesione e stabilità dei nuclei. Però questo tentativo è storicamente importante perché mostra la



b.  
Hideki Yukawa con Enrico Fermi,  
in una foto scattata a Berkeley  
nel 1948.

possibilità di derivare la forza di scambio quantistica nucleare da una teoria di campo opportuna, nel limite di bassa energia.

A questo punto, alla fine del 1934, ci sono tutti gli elementi per poter costruire una teoria soddisfacente delle forze di scambio nucleari. Tocca a Hideki Yukawa, allora giovane professore all'Università Imperiale di Osaka, prendere coraggiosamente l'iniziativa. Il suo punto di partenza è dato da una aggiunta alla teoria di Fermi. Nella trasformazione del neutrone in protone, non solo può essere emessa la coppia elettrone-neutrino, ma anche una ipotetica nuova particella. È lo scambio di questa particella virtuale, in un contesto di teoria dei campi, che produce l'interazione di scambio nucleare.

Le proprietà di questa nuova particella sono facilmente stabilite. Deve avere spin zero, come conseguenza della forma dell'interazione di scambio teorizzata da Majorana. All'inizio

solo due possibili cariche, positiva e negativa, uguali in valore assoluto a quella dell'elettrone, sono ipotizzate. Nel seguito sarà mostrato come sia necessaria anche una componente neutra. La massa, determinata dalla sua connessione con il raggio d'azione noto delle forze nucleari, risulta avere un valore intermedio tra quelle del protone e dell'elettrone, tanto da giustificare la successiva denominazione di "mesone" (ossia particella di massa intermedia). La costante di interazione può essere determinata in modo opportuno, sulla base dei dati fenomenologici, non essendo più legata alla costante di interazione di Fermi. Nella sua *Nobel Lecture*, Yukawa pone anche in rilievo che la forma della forza di scambio di Majorana implica una parità intrinseca pseudo-scalare per la nuova particella (cioè la funzione d'onda della particella deve cambiare segno per inversione delle coordinate spaziali). Complessivamente quindi la teoria di Yukawa si presenta come una

teoria quantistica dei campi che riproduce, a basse energie, le forze di scambio nucleari, introducendo una nuova particella, di cui sarà necessario appurare l'esistenza per via sperimentale.

Segue un lungo periodo di incertezza, in cui la particella di Yukawa pareva potersi identificare con il "mesotrone", una particella, con carica dei due segni, scoperta nei raggi cosmici nel 1936 da Carl D. Anderson e Seth H. Neddermeyer, ed estensivamente studiata negli anni successivi. Però in un famoso esperimento, svolto immediatamente dopo la fine della guerra, Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni dimostrano che il mesotrone interagisce molto debolmente con i nuclei, e quindi non può essere l'intermediario della interazione nucleare forte (vd. anche in *Asimmetrie* n. 23 p. 13, ndr).

Solo nel 1946 César Lattes, Hugh Muirhead, Giuseppe Occhialini e Cecil F. Powell scoprono il vero "Yukone", ora detto "pione", esponendo emulsioni fotografiche all'azione dei raggi cosmici. Ora la strada di Hideki Yukawa verso il Nobel è finalmente aperta: "*Mit dem Genius steht die Natur im ewigen Bunde; was der eine verspricht, leistet die andere gewiss*" ("La natura è costantemente legata al genio; ciò che promette l'uno, di certo lo realizza l'altra", citazione di Friedrich Schiller, poeta tedesco).