

Il grande passo dell'antimateria nucleare

La scoperta dell'antideuterio al Cern.

di Antonino Zichichi

“Coloro i quali dicono che l'antidrogeno è antimateria debbono riflettere su un dettaglio: beviamo acqua, non idrogeno liquido”. Sono le parole di Paul Dirac a un gruppo di fisici riuniti attorno a colui che, con un'equazione, aprì orizzonti nuovi alle umane conoscenze. Per avere l'acqua non basta l'idrogeno. Ci vuole anche l'ossigeno, il cui nucleo è fatto con 8 protoni e 8 neutroni. L'idrogeno è l'unico elemento della Tavola di Mendeleev fatto con due particelle cariche, l'elettrone e il protone, senza alcun bisogno che entrino in gioco le forze nucleari. Il primo esempio di elemento per la cui esistenza sono necessarie le forze nucleari è l'idrogeno pesante, il cui nucleo è fatto con un protone e un neutrone. Queste due particelle, per stare insieme, hanno bisogno della “colla nucleare”. Dall'idrogeno pesante in su, tutti gli elementi della tavola chimica, hanno bisogno, per esistere, del neutrone. Senza neutroni non potrebbe esistere altro che l'idrogeno leggero. Addio acqua. E addio materia a noi familiare. Nella famosa battuta di Dirac ci stanno 70 anni di scoperte teoriche e sperimentali, la cui conclusione è che l'esistenza dell'antimateria nucleare si regge su basi esclusivamente sperimentali. Infatti – come messo in evidenza da T.D. Lee – il teorema CPT perde le sue basi alla scala di Planck (circa 10^{19} GeV) dove convergono tutte le forze fondamentali della Natura. Essendo la Teoria della Grande Unificazione l'origine di tutto, se CPT crolla sul livello energetico della Grande Unificazione, addio a tutto ciò che deriva da CPT. Due parole sui tre operatori di invarianza CPT.

Il primo a essere stato scoperto è C: esso dice che tutta la realtà fisica deve restare invariata se si scambiano le cariche additivamente conservate con le corrispondenti anticariche. Il primo esempio fu quello dell'elettrone e dell'antielettrone. L'operatore C venne introdotto da H. Weyl nel 1931.

L'operatore P (introdotto da E. P. Wigner, G. C. Wick e A. S. Wightman) dice che, scambiando i sistemi destrorsi con quelli sinistrorsi, i risultati di qualsiasi esperimento fondamentale non cambiano.

L'operatore T (scoperto da Wigner, J.S. Schwinger e J.S. Bell) stabilisce che, invertendo l'asse del tempo, la realtà fisica resta inalterata.

Il formalismo matematico, noto come *Relativistic Quantum Field Theory*, costruito per descrivere una forza fondamentale della Natura possiede la proprietà di invarianza CPT: invertendo tutto non cambiano i risultati fisici. Riassumendo: se invertiamo tutte le cariche usando C, i tre assi dello spazio (x y z) usando P e l'asse del tempo usando T, tutto rimane come prima.

Adesso è necessario precisare che la materia è fatta di masse accoppiate con numeri quantici additivamente conservati (esempio: cariche elettriche, numeri leptonici, numeri barionici, cariche di “sapore” ecc.). Se a uno stato di materia applichiamo i tre operatori CPT otteniamo antimateria. Questo vuol dire che l'esistenza della materia, se vale il teorema CPT, implica l'esistenza dell'antimateria, e le masse di pezzi di materia debbono essere le stesse di quelle della corrispondente antimateria. Supponiamo che la Natura debba obbedire



a.



b.

alla legge di invarianza C. In questo caso l'esistenza della materia esige che deve esistere l'antimateria. Se però non vale l'invarianza C, l'esistenza dell'antimateria è garantita da CPT. Supponiamo che CP sia valida. Anche in questo caso l'esistenza della materia esige che deve esistere l'antimateria. Se però CP non vale, l'esistenza dell'antimateria è garantita da CPT. Se però crolla CPT, allora l'esistenza dell'antimateria è solo la fisica sperimentale a poterla garantire. Questa telegrafica rassegna non è un racconto, ma la sintesi di ciò che è effettivamente avvenuto nel corso di quasi 70 anni, a partire dal 1929 quando Dirac scoprì la sua equazione. H. Weyl scoprì C e si pensava che la scoperta dell'antielettrone da parte di C.D. Anderson e della produzione in coppia di elettroni e antielettroni da parte di P.M.S. Blackett e G. Occhialini ne fossero la prova. C'era poi l'eguaglianza delle vite medie dei muoni positivi e di quelli negativi. Si andò così avanti con la scoperta dell'antiprotono (E. Segrè e altri), dell'antineutrone (O. Piccioni e altri) e infine del secondo mesone strano neutro, con lunga vita media (L.M. Lederman e altri). Questo apparente trionfo degli operatori di invarianza andava in parallelo col successo nella identificazione di un formalismo matematico in grado di descrivere le forze fondamentali della Natura. Partendo dalle quattro equazioni di Maxwell e portando avanti il discorso era venuta fuori una costruzione meravigliosa, da noi già citata: la Relativistic Quantum Field Theory. Questo formalismo avrebbe dovuto

essere in grado di descrivere non solo le forze elettromagnetiche (da cui aveva tratto le sue origini), ma anche le forze deboli e quelle nucleari. A reggere queste convinzioni erano due grandi conquiste: la prima formulazione matematica delle forze deboli, fatta da E. Fermi, e il trionfo di H. Yukawa con la scoperta della colla nucleare, grazie a C. Lattes, Occhialini e C. Powell. A questi straordinari successi fecero però seguito enormi difficoltà. Nella *Quantum Electrodynamics* i poli di Landau e la conclusione che la carica elettrica fondamentale ("nuda") doveva essere zero; nelle forze deboli il fatto che ai livelli energetici di 300 GeV crollava l'unitarietà; nelle forze nucleari l'enorme proliferazione di mesoni e barioni. Questa proliferazione era totalmente fuori da qualsiasi comprensione in termini di Relativistic Quantum Field Theory. Ed è così che viene fuori un formalismo matematico che è la totale negazione del concetto di "campo": la cosiddetta "matrice di scattering", detta *matrice-S*. Per la sua esistenza bastavano tre cose: analiticità, unitarietà e *crossing*. Perché complicarsi la vita con la Relativistic Quantum Field Theory se basta la matrice-S? Se però non c'è la Relativistic Quantum Field Theory, come la mettiamo con l'esistenza dell'invarianza rispetto a tutti gli operatori insieme, CPT? Ed ecco aprirsi un altro fronte. Nel 1953 R.H. Dalitz tirò fuori il famoso ($\theta-\tau$) puzzle: due mesoni con proprietà identiche dovevano essere con parità opposte. Spinti da questo "puzzle" T.D. Lee e C.N. Yang analizzarono i risultati sperimentali nello studio

a.
Il professor Dirac circondato da giovani fisici a Erice, dopo una lezione in cui spiegava la differenza tra antiparticelle e antimateria. È in questa occasione che ha detto quanto riportato in apertura di questo articolo.

b.
Eugene P. Wigner, Antonino Zichichi, Paul Dirac (Erice, 1982).



c.

delle forze deboli e scoprirono che non esisteva alcuna prova a conferma della validità di C e P nelle interazioni deboli. Nel giro di un anno C.S. Wu scoprì che le leggi di invarianza C e P vengono violate nelle interazioni deboli. Come la mettiamo con l'esistenza dell'antimateria? Venne così fuori l'idea di L.D. Landau: se ciascun operatore C e P è violato, il loro prodotto CP può essere conservato.

L'esistenza dell'antimateria è garantita dalla validità di CP. Si arriva così al 1964, anno in cui viene scoperta la violazione di CP nel decadimento dei mesoni neutri strani. C'è un piccolo dettaglio su cui si è sempre sorvolato. Nel 1957, prima che venisse sperimentalmente scoperta la violazione di P e C, in un lavoro da pochi letto (o capito) Lee, R. Oehme e Yang avevano messo in evidenza che – contrariamente a quanto da molti detto e ripetuto – l'esistenza dei due mesoni neutri strani θ_1 e θ_2 non era prova né della validità di C né di P né del loro prodotto CP.

La rottura di CP coinvolge quella di T se vogliamo che rimanga integro il prodotto CPT. Per alcuni dei padri fondatori della fisica moderna l'invarianza rispetto all'inversione del tempo, a livello delle leggi fondamentali, doveva restare intoccabile. Quindi doveva crollare CPT. Dopotutto perché no. In fondo il baluardo di CPT era la Relativistic Quantum Field Theory, ma adesso questo formalismo matematico sembrava dovesse cedere il passo alla matematica della matrice-S.

Il crollo degli operatori di invarianza (C, P, CP) e l'apparente trionfo della matrice-S erano

accoppiati a risultati sperimentali i quali dicevano che di antideutoni non c'era traccia nonostante fossero prodotti dieci milioni di pioni. Ero a Dubna quando, nel 1964, Jim Cronin presentò i risultati del suo lavoro. Avevo alla mia destra Bruno Touschek e alla mia sinistra Bruno Pontecorvo. Entrambi mi dissero: "E questi hanno perso la loro reputazione". A quella novità che metteva in crisi l'invarianza CP furono pochi a crederci. Tra questi però c'era Dirac: la prese sul serio ed entrò in una fase di grande depressione scientifica. Lui, famoso per la sua prudenza, aveva giurato sull'invarianza C. Adesso crollava addirittura CP. E per avere il primo esempio di antimateria era necessario salvare CPT, quindi invocare la violazione di T. Le uniche cose da fare erano di natura tecnologico-sperimentale. E infatti la scoperta dell'antimateria ha richiesto la costruzione del più potente fascio di particelle negative nel protosincrotrone del Cern e l'invenzione di una tecnica nuova per riuscire a misurare con precisione, mai prima realizzata, i tempi di volo delle particelle cariche. È così che siamo riusciti a scoprire che un antideutone viene prodotto non dopo dieci milioni, bensì dopo cento milioni di pioni.

Per capire l'importanza di questa scoperta è necessario avere le idee chiare su cosa si deve intendere per materia. Le particelle non bastano per costruire la materia. Ci vuole anche la colla. Usando quella elettromagnetica si fanno atomi e molecole. Per fare i nuclei ci vogliono protoni, neutroni e colla nucleare. È come se avessimo mattoni. Per costruire una casa ci vuole la colla, non bastano i mattoni. La materia

c.

John S. Bell a Erice nel 1963.

d.

Lee durante la sua lezione in cui spiega perché il teorema CPT perde la sua validità alla Scala di Planck (a sinistra nella foto Melvin Schwartz, all'estrema destra Isidor I. Rabi).



d.

corrisponde alla casa, non ai mattoni e basta. Se, grazie a determinate leggi, sappiamo che devono esistere mattoni e antimattoni, tutto ciò che si può fare è avere mucchi di mattoni e mucchi di antimattoni. Non case e anticase. Se la realtà in cui viviamo ci dice che esistono le case; per essere sicuri che debbano esistere le anticase ci vuole una legge che stabilisca l'esistenza delle anticolle esattamente identiche alle colle che permettono ai mattoni di incollarsi per fare le case. Affinché questo avvenga è necessaria la validità della legge di invarianza CPT. Oggi sappiamo che tutte le forze fondamentali convergono all'energia di Planck, dove non vale più l'invarianza CPT. D'altronde se al "punto" sostituiamo la "cordicella" le cose non cambiano: la *Relativistic Quantum String Theory* non riesce a tirar fuori la validità di CPT. Questo vuol dire che non c'è teoria che possa garantire, partendo

dall'esistenza delle "case", che devono esistere le "anticase". Ecco perché la certezza che oltre all'antidrogeno devono esistere tutti gli antiatomi con i loro antinuclei nasce da quell'esperimento fatto al Cern nel marzo del 1965. Ed ecco perché vorrei chiudere con la citazione di Heisenberg che Lee ha fatto a Bologna, nella sua lezione d'apertura al simposio celebrativo del 30° anniversario della scoperta dell'antimateria: "Nel suo libro *The Physicist's Conception of Nature* Werner Heisenberg scrive: 'Penso che la scoperta dell'antimateria sia forse il maggiore dei grandi salti nella fisica del nostro secolo'. Ora, Heisenberg ha scoperto la meccanica quantistica nel 1925. Dal 1972, egli è stato testimone di quasi tutti i grandi salti della fisica moderna. Ebbene egli classificherebbe la scoperta dell'antimateria come il più grande di tutti i salti".

Biografia

Antonino Zichichi. Fondatore del Centro di Cultura Scientifica Ettore Majorana e autore del progetto dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'Infn è tra i protagonisti della ricerca di fisica sperimentale italiana. Mentre nel 1978 era alla guida del gruppo

di studio per nuovi acceleratori dell'Ecfa (*European Committee for Future Accelerators*), fu elaborato, su sua proposta, il progetto per una macchina da 27 km di circonferenza, da cui nacque prima il Lep e in seguito Lhc.

Link sul web

www.ccsem.infn.it