

Idrogeno allo specchio

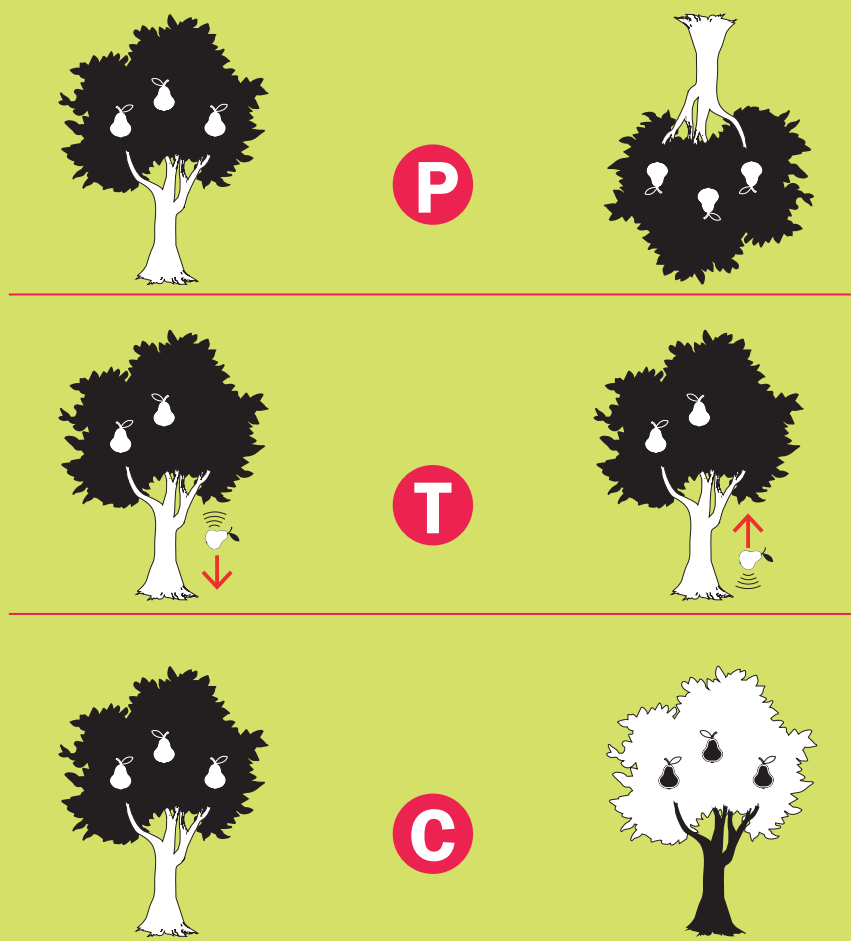
Studi di antimateria in laboratorio

di Luca Venturelli

Gran parte della conoscenza delle leggi della Natura e di come è fatto il nostro universo proviene dallo studio dell'idrogeno (H), l'elemento chimico più semplice, composto da un protone e da un elettrone. Oggigiorno ci sono grandi aspettative che il partner di antimateria dell'idrogeno, formato da un antiprotone e da un positrone e chiamato anti-idrogeno, possa contribuire a sviluppare ulteriormente le nostre conoscenze e a risolvere alcuni dei misteri dell'universo. Uno degli enigmi più intriganti della fisica è il fatto che l'universo visibile è composto quasi completamente di materia, mentre l'antimateria è di fatto assente. È ragionevole assumere che con il Big Bang materia e antimateria siano state create in ugual quantità. Ma se, venendo a contatto, si fossero annichilate completamente, il nostro mondo e noi stessi non esisteremmo. Una possibilità è che una parte di materia e una di antimateria siano sopravvissute isolandosi in regioni separate dell'universo. Se così fosse, dalle zone di confine tra materia e antimateria dovrebbero comunque provenire segnali dell'annichilazione che in realtà non sono mai stati osservati. Quindi allo stato attuale sembra che l'universo sia asimmetrico.

Che la materia e l'antimateria non siano esattamente simmetriche, quando si considerano i processi fisici in cui è coinvolta l'interazione debole, cioè che ci sia la cosiddetta "violazione CP", è cosa nota (vd. in *Asimmetrie* n. 16 p. 33, ndr). Questa asimmetria e le altre finora osservate sono però troppo piccole per spiegare l'asimmetria dell'universo.

La spiegazione potrebbe risiedere nella violazione di una simmetria più fondamentale, chiamata CPT e consistente nell'invarianza delle leggi fisiche rispetto a un cambiamento della carica (trasformazione C), all'inversione degli assi spaziali (trasformazione P) e



all'inversione del tempo (trasformazione T). Ma la validità di questa simmetria è stabilita da un teorema molto generale e ad oggi la sua violazione non è mai stata osservata. La simmetria CPT implica che la massa, la vita media e i valori assoluti della carica elettrica e del momento magnetico di un'antiparticella siano esattamente uguali a quelli della corrispondente particella. Inoltre, le proprietà spettroscopiche di un antiatomo come l'anti-idrogeno devono essere esattamente uguali a quelli del corrispondente atomo, nel nostro caso l'idrogeno.

a. La simmetria CPT è l'invarianza delle leggi fisiche rispetto alla combinazione di tre trasformazioni: la coniugazione di carica C, che scambia ogni particella con la rispettiva antiparticella; la trasformazione di parità P, che inverte gli assi spaziali, scambiando la destra con la sinistra, il sopra con il sotto, il davanti con il dietro; l'inversione temporale T, che inverte la direzione del tempo.

Esperimenti che mostrassero una sia pur piccola differenza tra le proprietà di particelle e di antiparticelle, o di atomi e di antiatomi, sarebbero una dimostrazione diretta della violazione di CPT e richiederebbero una profonda revisione delle leggi della Natura.

Numerose ricerche sono state realizzate e sono tuttora in corso in questo ambito. Dal momento che l'idrogeno è uno dei sistemi fisici meglio misurati, studi accurati sul suo partner di antimateria possono permettere di verificare la simmetria CPT con grande precisione.

I primi atomi di anti-idrogeno furono creati al Cern nel 1996, ma a velocità relativistiche che li rendevano inadatti a un confronto preciso con l'idrogeno.

È nel 2002 che sono stati prodotti e rivelati i primi atomi di anti-idrogeno di bassa velocità, a opera dell'esperimento Athena prima e di Atrap poco dopo, presso l'Antiproton Decelerator del Cern. Da allora diversi milioni di atomi di anti-idrogeno sono stati prodotti, e notevoli progressi sono stati realizzati nello studio delle loro caratteristiche.

La produzione di anti-idrogeno viene realizzata generalmente sovrapponendo nuvole di antiprotoni e di positroni. Il problema principale di questa sperimentazione è che l'antimateria non può venire a contatto con la materia perché si annichilerebbe. Antiprotoni con una velocità di circa un decimo di quella della luce sono forniti dall'Antiproton Decelerator ai diversi esperimenti, dove vengono ulteriormente rallentati in opportune trappole elettromagnetiche tenute a temperature di qualche decina di kelvin e sovrapposti a un plasma di positroni

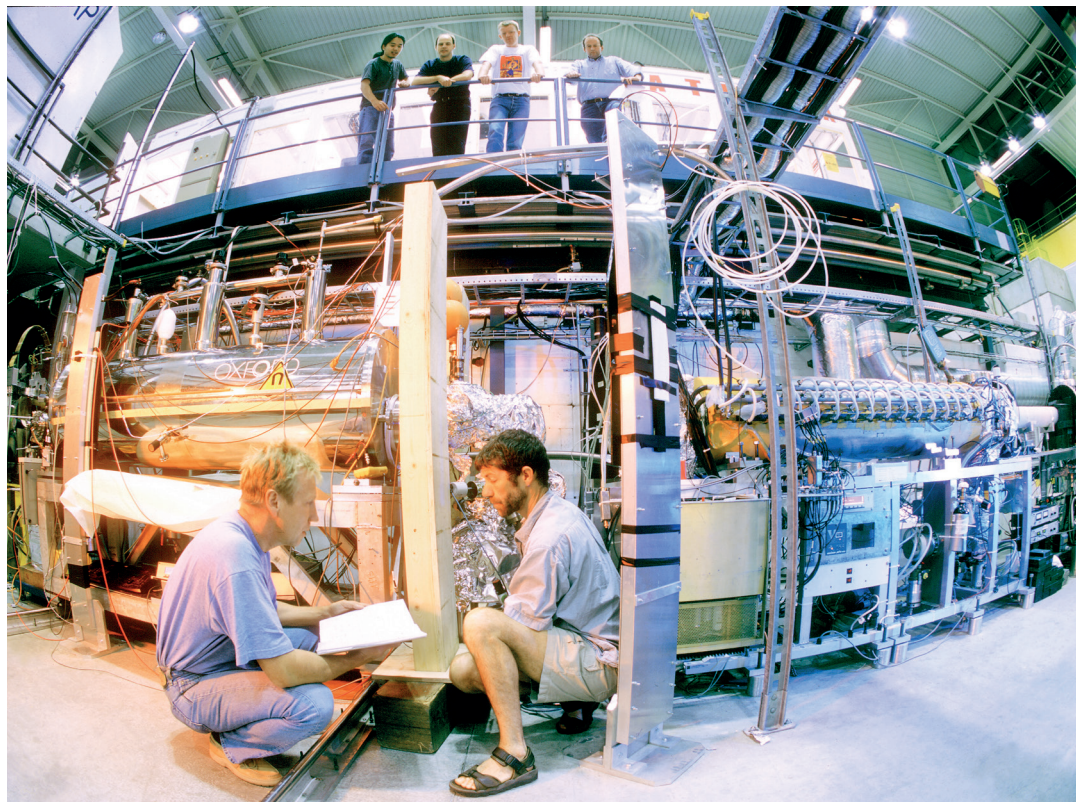
in equilibrio termico con l'ambiente.

I positroni sono prodotti usando delle sorgenti radioattive (solitamente il sodio-22, ^{22}Na), mentre la produzione di antiprotoni relativamente lenti è di notevole complessità. Al momento l'unica sorgente esistente al mondo è l'Antiproton Decelerator del Cern.

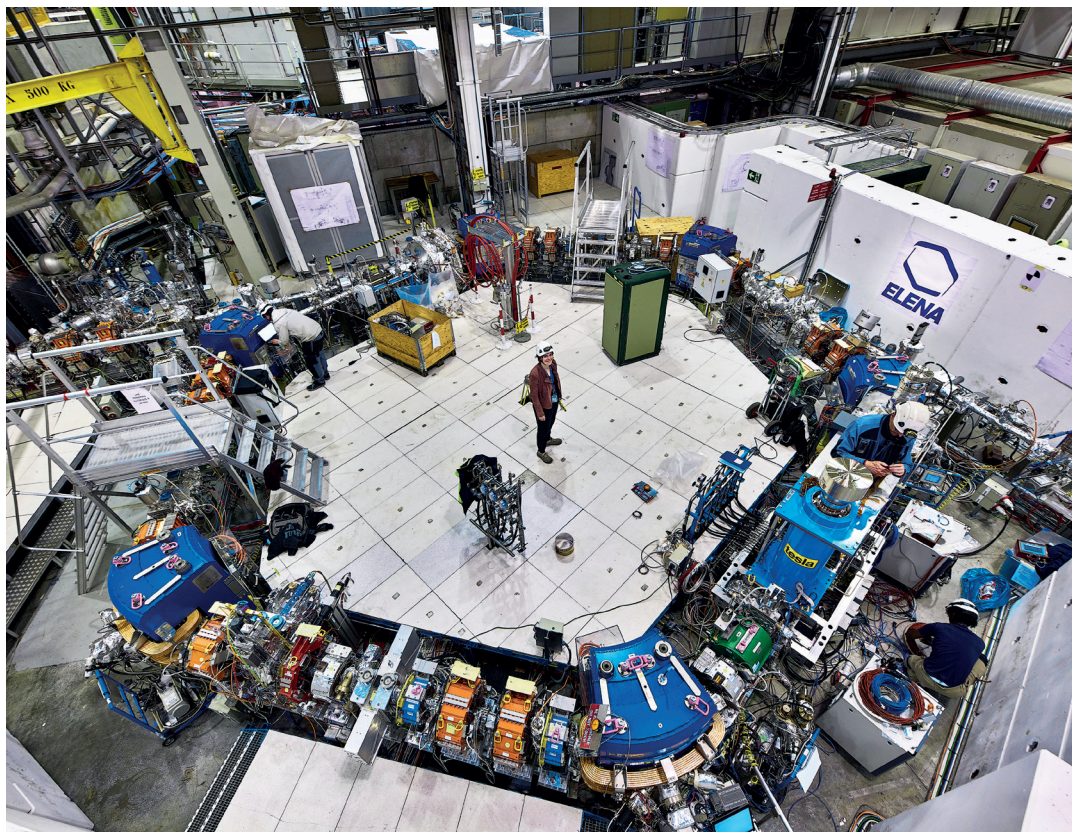
Quando un antiprotone si lega a un positrone si forma un atomo di anti-idrogeno che, essendo neutro, non è intrappolato dai campi elettromagnetici della trappola ed è libero di volare via dalla zona di produzione (vd. in Asimmetrie n. 7, fig. a p. 29, ndr). Per poter realizzare misure di precisione è necessario che l'anti-idrogeno possa essere osservato per periodi relativamente lunghi.

Per questo l'esperimento Alpha, in funzione al Cern dal 2005, ha realizzato un apparato che è in grado di intrappolare, oltre alle particelle cariche, anche gli atomi neutri di anti-idrogeno, sfruttando il fatto che, essendo dotati di momento magnetico, possono risentire di piccole forze in presenza di un campo magnetico che varia nello spazio.

Grazie allo sviluppo di queste tecniche Alpha ha potuto ad oggi intrappolare decine di migliaia di atomi di anti-idrogeno e realizzare le prime misure di spettroscopia di un sistema atomico di antimateria. I risultati più recenti hanno una precisione di 2×10^{-12} nella misura della transizione tra lo stato fondamentale (1S) e il primo stato eccitato (2S) dell'anti-idrogeno e una precisione di 4×10^{-4} per la transizione tra i due sottostati dello stato 1S (la cosiddetta struttura "iperfine"). Alpha è riuscito anche a misurare la "transizione



b.
L'esperimento Athena, del Cern, che nel 2002 ha prodotto per primo atomi di anti-idrogeno a bassa velocità.



c.
Il nuovo anello di decelerazione Elena rallenterà le particelle di antimateria più che mai per migliorare l'efficienza degli esperimenti sullo studio dell'antimateria.

Lyman-alfa" (1S-2P), ottenendo una precisione di 5×10^{-8} . Nei limiti della precisione delle misure, il confronto con l'idrogeno non mostra alcuna differenza tra i due sistemi, e quindi ad oggi la simmetria CPT non risulta essere violata.

L'esperimento Asacusa (in funzione dal 2006) si propone di misurare lo spettro iperfine utilizzando un fascio di atomi di anti-idrogeno lenti. In questo caso si avrebbe il vantaggio di poter fare la spettroscopia iperfine lontano dai forti campi magnetici della trappola, che possono disturbare la misura. Nel 2010 Asacusa è riuscito a creare il primo fascio di atomi di anti-idrogeno lenti e al momento ne sta ottimizzando le caratteristiche per poter effettuare la spettroscopia a microonde, con l'obiettivo iniziale di ottenere una precisione di 10^{-6} .

All'Antiproton Decelerator vi sono anche studi dell'interazione gravitazionale di antimateria (gli atomi di anti-idrogeno) con la materia (la Terra), per verificare se il principio di equivalenza di Einstein, che afferma che tutti i corpi in presenza di un campo gravitazionale subiscono la stessa accelerazione, vale anche per l'antimateria. Per questo l'esperimento Aegis intende realizzare un fascio di atomi di anti-idrogeno ancora più lenti di quelli di Asacusa per misurarne la deflessione con tecniche interferometriche nel campo gravitazionale della Terra. L'esperimento Gbar, invece, creerà ioni di anti-idrogeno rallentati a velocità bassissime (0,5 m/s), in modo da catturarli, renderli neutri per poi lasciarli cadere liberamente e misurarne l'accelerazione.

Dal 2021 entrerà in funzione Elena (vd. fig. c), un ulteriore

deceleratore posto a valle dell'Antiproton Decelerator, che fornirà antiprotoni di velocità pari a circa un centesimo di quella della luce, incrementando il numero di antiprotoni utilizzabile dagli esperimenti.

Sarà così possibile aumentare la precisione nelle misure sull'antimateria per avvicinarsi a quanto noto per la materia. Un risultato di per sé sorprendente, se pensiamo quanta sia la materia a disposizione e con quale difficoltà invece deve essere prodotta l'antimateria.

Biografia

Luca Venturini è professore di fisica sperimentale presso l'Università degli Studi di Brescia. La sua attività di ricerca è rivolta prevalentemente a studi di fisica fondamentale attraverso la realizzazione di esperimenti che utilizzano fasci di particelle di bassa energia. Attualmente è responsabile nazionale per l'Infrastruttura dell'esperimento Asacusa al Cern per lo studio dell'antimateria.

Link sul web

<https://home.cern/science/physics/antimatter>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.5