

Da qui all'eternità

Limiti alla vita della materia

di Sarah Recchia e Francesco Vissani

Il fatto che la natura sia in continuo mutamento trova molti riscontri in tutti i campi della scienza. Ad esempio, al contrario di quel che comunemente si ritiene, un diamante non è per sempre. Infatti, i geologi spiegano che la gran parte dei diamanti che troviamo in gioielleria ha un'età di 1-2 miliardi di anni e che un diamante può bruciare. Anche il pianeta che ci ospita ha avuto un'origine circa 4,5 miliardi di anni fa e si trasforma nel tempo. Lo stesso si può dire del Sole che ci illumina, il quale, come è noto dalla fisica nucleare, è destinato a spegnersi tra circa 5 miliardi di anni. E l'universo sembra abbia avuto un'origine, circa 14 miliardi di anni fa, presumibilmente con il ben noto Big Bang.

E cosa succede agli atomi e alle particelle che li costituiscono: nuclei atomici, elettroni, protoni, neutroni o quark? Hanno avuto origine in qualche remoto istante o esistono da sempre? Possono essere distrutti o dureranno all'infinito? Nasce insomma la domanda se anche queste particelle possano nascere o morire, o se (almeno loro) siano eterne.

Gli esperimenti hanno osservato numerosissime trasformazioni tra particelle. Studiandole attentamente si è imparato che, prima e dopo ogni trasformazione, esistono certe quantità che restano immutate. Una di queste è proprio l'energia: il fatto che essa non cambi mai ha un significato molto profondo. Un'altra di queste quantità è la carica elettrica: anche in questo caso, le verifiche hanno un altissimo grado di precisione. Si usa parlare di leggi di conservazione dell'energia e della carica elettrica (vd. in *Asimmetrie* n.19 p. 7, ndr): esse sono tra le basi più solide della fisica che conosciamo.

Alcuni scienziati hanno proposto di includere tra le leggi immutabili il fatto che la materia sia esattamente stabile, un fatto non contraddetto da nessuna osservazione nota. A favore di questa posizione c'è la migliore teoria che i fisici delle particelle abbiano mai costruito, il modello standard delle particelle e delle interazioni elementari. Ma il fenomeno dell'oscillazione dei neutrini, da pochi mesi riconosciuto dal premio Nobel della fisica del 2015, contraddice la sua predizione che i neutrini siano privi di massa e dimostra che la realtà osservabile non si esaurisce nel modello standard. Esistono vari modelli teorici che estendono il modello standard, che possono dar conto dell'oscillazione dei neutrini e nei quali la materia nota non è esattamente stabile. Questi modelli portano a contemplare la possibilità che la materia "non sia per sempre", ma che essa possa essere creata o distrutta. Alcuni di essi spiegano perché l'universo contiene una ben precisa quantità di materia ordinaria e pochissima antimateria

a.
È possibile bruciare i diamanti immergendoli in una conca di grafite riempita con ossigeno liquido.

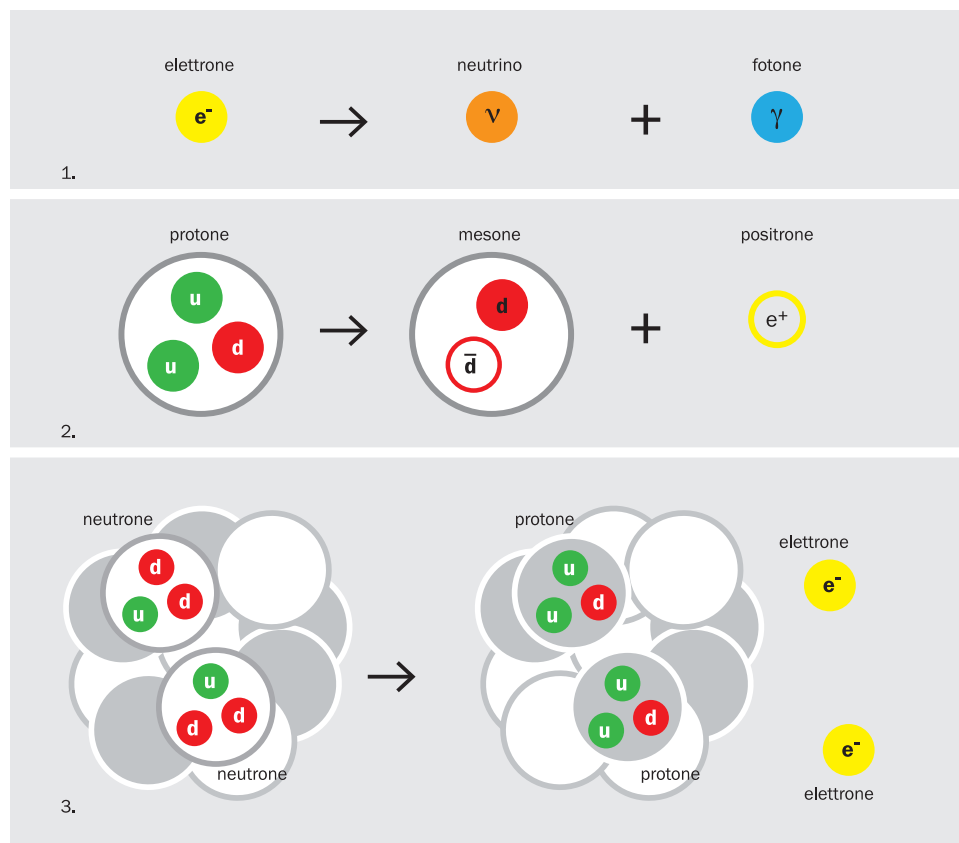


(vd. in Asimmetrie n. 7 p. 22, ndr), un fatto che il modello standard non riesce in alcun modo a giustificare. Detto in altre parole, questi modelli ci permettono di investigare l'origine della materia, e per questo sono considerati con enorme interesse.

In questo modo, nasce l'affascinante idea di verificare queste ipotesi in laboratorio. Esistono dei processi di trasformazione osservabili, in cui le particelle di materia sono create o distrutte? Parliamo proprio di quelle particelle che compongono gli atomi e che tutti conoscono, come gli elettroni o i nuclei. Descriviamo nel seguito tre tipi di esperimenti con i quali queste idee sono state messe alla prova. Ipotizziamo che l'elettrone decada. Per conservare l'energia, esso si dovrebbe trasformare in particelle più leggere e quelle disponibili sono poche. Il caso più semplice è che esso decada in un neutrino e in un fotone (vd. fig. b1): in questo caso, entrambi acquisterebbero un'energia pari alla metà della massa dell'elettrone, cioè pari a circa 250 keV. L'esperimento Borexino nei Laboratori del

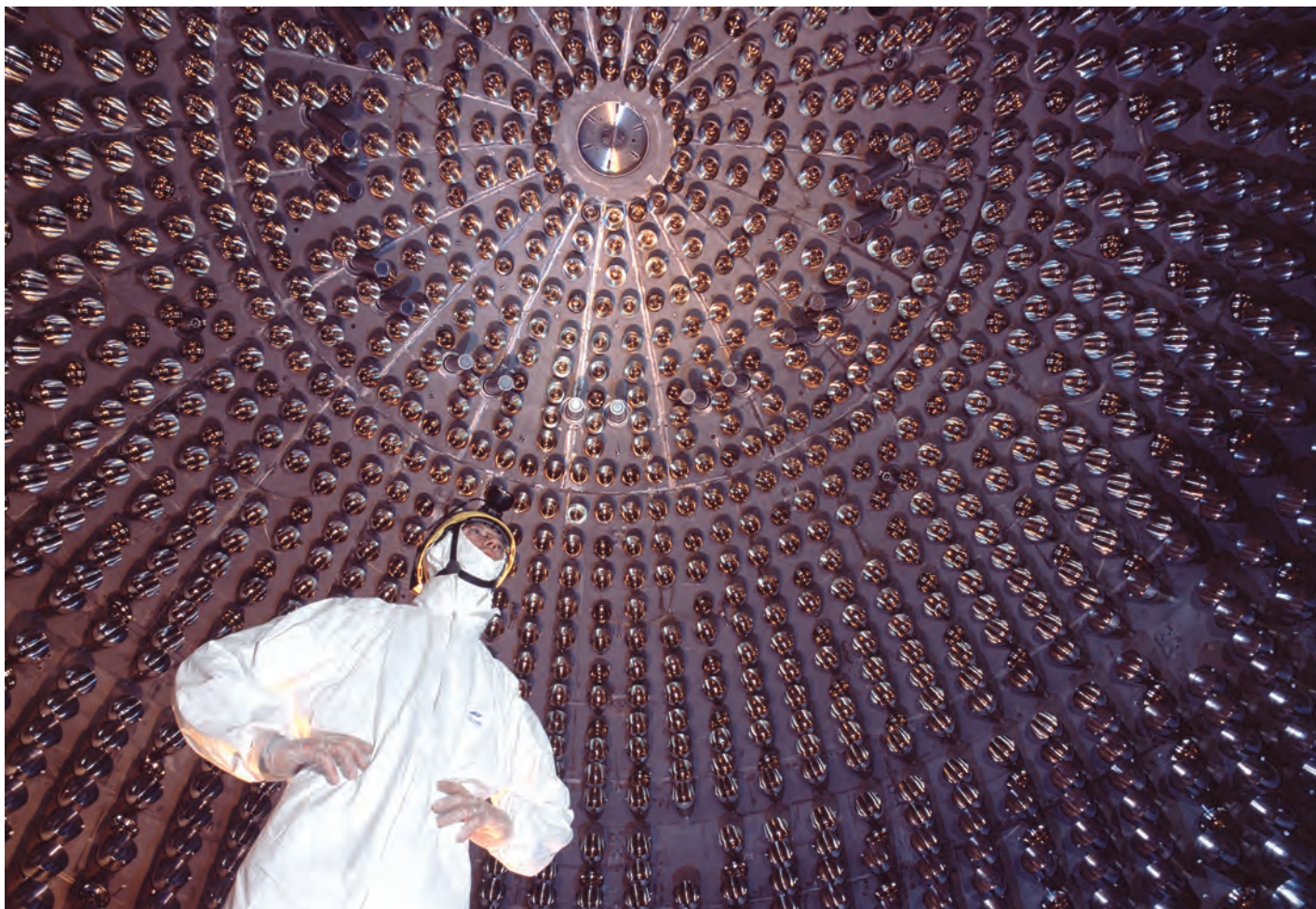
Gran Sasso dell'Infn (Lngs) ha escluso la presenza di fotoni con questa energia, ponendo il miglior limite mai ottenuto sul decadimento dell'elettrone. Questo risultato è rassicurante, anche perché, nel caso contrario, si sarebbe dovuto prendere atto di un processo in cui la carica elettrica scompare: infatti, né il neutrino né il fotone hanno alcuna carica elettrica. Insomma, al meglio delle conoscenze attuali, possiamo dire che l'elettrone vive per un tempo infinito. Un caso più intrigante riguarda la ricerca della stabilità del nucleo dell'idrogeno, e cioè del protone. Esistono molte possibilità che qualcosa del genere avvenga, senza dover mettere a repentaglio la conservazione dell'energia o della carica elettrica. Uno degli ipotetici ma più interessanti processi di decadimento del protone, previsto in certe estensioni del modello standard, è quello mostrato in fig. b2. Le due particelle nello stato finale sono un mesone neutro, che si disintegra rapidamente, e un positrone che in laboratorio si annichila con un elettrone.

Del protone iniziale, resterebbe solo un osservabile fiotto di energia. Le prime ricerche sperimentali furono condotte da un *dream team* composto dal premio Nobel Fred Reines e da Clyde Cowan e Maurice Goldhaber sin dagli anni '50. I tre stabilirono che la durata della vita del protone fosse maggiore di circa 10^{21} anni. Le ricerche più recenti sono quelle dovute all'esperimento Super-Kamiokande in Giappone, noto per aver misurato anche l'oscillazione dei neutrini (vd. in Asimmetrie n. 14 p. 29, ndr). I colleghi giapponesi hanno tenuto sotto controllo svariate decine di migliaia di tonnellate di acqua iper-pura per molti anni, senza che si verificasse alcun evento di questo tipo; in questo modo, hanno fissato il limite inferiore della vita media del protone a $8,2 \times 10^{33}$ anni. Per apprezzare meglio questo risultato, ricordiamo che il valore dell'età dell'universo è dell'ordine di 10^{10} anni! Fino a questo punto abbiamo ipotizzato solamente la distruzione di elettroni o di protoni. Esiste un processo osservabile in laboratorio in cui qualche particella viene



b.
In questa figura, approfondiamo la descrizione di alcune ipotetiche trasformazioni tra particelle elementari, previste in certe estensioni del modello standard.

- 1) Il processo di distruzione di un elettrone in un neutrino e un fotone, che viola la conservazione della carica elettrica.
- 2) Il processo in cui un nucleo di idrogeno scompare, detto anche "decadimento del protone". Il numero netto di quark passa da tre (valore nello stato iniziale) a zero, siccome nello stato finale abbiamo un quark e un antiquark.
- 3) Il processo di creazione di due elettroni in una transizione nucleare, detto anche "doppio decadimento beta senza neutrini". In questo processo il numero di quark resta immutato.



creata con un processo non previsto nel modello standard? C'è almeno un caso, considerato molto promettente, che riguarda una specifica trasformazione tra nuclei atomici prevista dalla teoria di Majorana delle masse dei neutrini e chiamato "doppio decadimento beta senza neutrini" (vd. in *Asimmetrie* n. 15 p. 27, ndr). In questa trasformazione vengono creati due elettroni. Il nucleo finale ha due unità di carica positiva in più, che sommate alle due unità di carica negativa degli elettroni, fanno sì che la carica elettrica resti esattamente immutata (vd. fig. b3). Ci sono molti esperimenti alla ricerca di questa trasformazione: tra i più importanti, ricordiamo Gerda e Cuore dei Laboratori del Gran Sasso (Lngs), che utilizzano nuclei di germanio e tellurio. Essi hanno ottenuto dei limiti stringenti sulla probabilità che

questo ipotetico processo avvenga. Per esempio, sappiamo che i nuclei di germanio vivono almeno 3×10^{25} anni senza che esso abbia luogo. Insomma, abbiamo imparato che il processo di creazione di elettroni, se esiste, avviene con tempi molto lunghi, almeno negli esperimenti di laboratorio.

In conclusione, possiamo dire che i fisici hanno raccolto qualche indizio, ma nessuna prova certa, a suffragio dell'ipotesi che la materia non sia esattamente stabile. In altre parole, possiamo pensare che un elettrone o un protone, lasciati a se stessi, siano senza data di nascita o timbro di scadenza e che vivano per sempre. Nel prossimo futuro, si conta di procedere ulteriormente nella ricerca, nella speranza di riuscire a misurare domani quello che oggi riteniamo essere un infinito.

Biografia

Sarah Recchia è una studentessa di dottorato (PhD) in Astroparticle Physics presso il Gran Sasso Science Institute (Gssi). Laureata presso la Sapienza Università di Roma. La sua attività di ricerca è incentrata principalmente sulla fisica dei raggi cosmici.

Francesco Vissani è ricercatore Infn presso i Laboratori del Gran Sasso e coordinatore del PhD in Astroparticle Physics presso il Gssi.

c.
L'esperimento Borexino nei Laboratori del Gran Sasso, che ha studiato recentemente la stabilità dell'elettrone.

Link sul web

http://ithaca.unisalento.it/nr-6_2015/articolo_llp_06.pdf