

Speciale N° 14: atti dal simposio
Le Frontiere e i Confini della Scienza

LA COSTITUZIONE ELEMENTARE DELLA MATERIA

di Gianpaolo Bellini*

Nei giorni 28 - 29 Ottobre 2014, presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso si è svolto il Simposio "Le Frontiere e i Confini della Scienza" su iniziativa dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). Il Simposio ha visto la partecipazione di più di centocinquanta insegnanti di discipline scientifiche e filosofiche per un aggiornamento a carattere interdisciplinare. I relatori hanno trattato alcuni dei temi più caldi della ricerca scientifica di base, discutendo quali siano le frontiere, ma anche i confini nei vari campi.



* Università degli Studi di Milano, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Quando ci appoggiamo alla cattedra, magari sistemando dei libri sopra di essa, siamo convinti che la materia della quale essa è costituita, nella fattispecie legno, sia dura, liscia, compatta. Usando i soli nostri sensi mai ci sogneremo di pensare che la materia della quale è fatta la nostra cattedra nasconda al suo interno un mondo complesso, affascinante e incredibilmente ordinato.

Se cerchiamo di spostare la cattedra ci accorgiamo che essa ha un peso, anche notevole, peso che è dato da una grandezza fisica, la *massa* (che dipende unicamente dalle caratteristiche della cattedra stessa) moltiplicata per l'accelerazione di gravità sulla Terra. Ma se esploriamo il mondo che sta all'interno del materiale legno, del quale è fatta la cattedra, dove sta la massa? È noto più o meno a tutti che i costituenti alla base della materia sono gli *atomi*, i quali generalmente si aggregano a formare le *molecole*, grazie a forze di origine *elettrica* e *magnetica*.

Le proprietà dei materiali dipendono direttamente da quelle degli atomi e delle molecole che li compongono. Il legno, del quale è fatta la nostra cattedra, è costituito da atomi di Carbonio, di Idrogeno, di Ossigeno con un piccolissimo contributo dell'Azoto; due di questi atomi sono i costituenti dell'acqua, che in diverse proporzioni è sempre presente nel legno; gli atomi non sono singoli, ma, come per esempio nel caso dell'acqua, sono legati in molecole. Va sottolineato che la *stabilità* degli atomi e delle molecole assicura la stabilità della materia e, in ultima analisi, la stabilità di tutto l'Universo. Gli atomi sono alla base degli *elementi* chimici.

Gli atomi hanno una struttura che non ci aspetteremmo: sono essenzialmente vuoti nel senso che la loro massa (e la loro carica elettrica) è concentrata in un volume piccolissimo, il *nucleo* atomico, intorno al quale ci sono i leggerissimi *elettroni*, di massa quasi trascurabile. Il nucleo ha la stessa carica elettrica degli elettroni con la differenza che la carica dei nuclei ha segno positivo, mentre quella degli elettroni è negativa; essi stanno insieme nell'atomo grazie alla forza *elettromagnetica*.



Francobolli commemorativi emessi per celebrare gli esperimenti di Fisica Nucleare svolti presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell' INFN

Il nucleo non è esso stesso elementare, ma è costituito da due particelle: il *neutrone* (elettricamente neutro) e il *protone*, legati da una forza molto più intensa di quella elettromagnetica, che viene chiamata *forza nucleare forte*.

Quindi la materia è costituita essenzialmente da tre particelle: protone, neutrone, elettrone. Ma esiste una quarta particella, il *neutrino*, che non si trova stabilmente nella materia; esso può essere osservato solo in *decadimenti* dei nuclei, processo per il quale i nuclei che non si trovano in una condizione di minimo di energia, cioè di massimo legame interno, trasformano un neutrone in protone ed emettono un elettrone e un neutrino. In tal modo questi nuclei acquistano maggiore legame e stabilità.

Il neutrino è una particella neutra, di massa piccolissima (non si è ancora riusciti a misurarla), che interagisce pochissimo con la materia; esso è quasi disaccoppiato dalla materia, essendo legato a essa da una forza nucleare molto più debole della nucleare forte, la *forza nucleare debole*.

Ma il nostro cammino verso il sempre più piccolo alla ricerca dei componenti elementari, cioè non ulteriormente divisibili, non è finito. Sondando il protone e il neutrone con fascio di elettroni accelerati, si è scoperto che il protone e il neutrone non sono elementari, ma sono costituiti da particelle praticamente puntiformi, chiamati *quark*, delle quali l'attuale tecnologia non è in grado di misurare le dimensioni in quanto troppo piccole. Ne segue che anche il protone e il neutrone sono vuoti e tutta la loro massa è concentrata in componenti puntiformi.

Quindi la nostra cattedra, alla quale ci appoggiamo e sulla quale appoggiamo oggetti anche pesanti, appare consistente e dura, ma ciò che la rende tale non è la massa dei materiali che la compongono, ma le *forze* che agiscono fra i costituenti della materia. Se noi annullassimo le forze i componenti della materia di tutta la Terra occuperebbe un volume inferiore a una pallina da tennis. *La materia è vuota di massa e piena di forze*.

A questo punto potremmo pensare di aver capito come sia fatta la materia: tre particelle (protone, neutrone, elettrone), più il neutrino la cui funzione non è evidente, e tre forze (elettromagnetica, nucleare forte e nucleare debole). Ma la natura ci riserva sempre delle grandi sorprese.

Verso la fine degli anni Trenta del secolo scorso si scoprì l'esistenza di una particella che non è presente nella materia stabile e che in brevissimo tempo si trasforma in un elettrone più neutrini. Negli anni successivi se ne osservarono altre studiando i raggi cosmici, particelle che arrivano dal cosmo e collidono con gli atomi dell'atmosfera ad altissime quote.

Erano tutte particelle instabili, che in pochissimo tempo si trasformavano (decadevano) in altre particelle, con vite medie che andavano da qualche milionesimo (10^{-8} s) a qualche milionesimo di miliardesimo di miliardesimo di secondo (10^{-24} s). La caccia alle particelle instabili si intensificò con la costruzione dei grandi acceleratori (dagli anni Cinquanta del secolo scorso in poi) con la nascita dei grandi laboratori e il contributo di molte centinaia di fisici: questa ricerca ha portato alla luce più di un centinaio di particelle instabili.

Ma perché vengono studiate queste particelle che non sono normalmente presenti nella materia, ma esistono solo se prodotte artificialmente? Lo studio dell'insieme delle particelle, instabili e, naturalmente, stabili, ci ha permesso di capire che alla base della materia vi è una rete logica, fatta di una serie di regole consequenziali, che regge il suo funzionamento in modo mirabile. La cosa importante è che le tre particelle costituenti stabilmente la materia, protone, neutrone, elettrone, più il neutrino entrano in questa rete logica: quindi lo studio delle particelle instabili ci ha fatto capire come si comporta anche la materia stabile.

Lo studio delle particelle elementari ha portato alla luce fenomeni fondamentali della fisica, modificando alcuni concetti che ci derivano dalla nostra dimestichezza con il mondo macroscopico, ove le velocità sono trascurabili rispetto a quella della luce (~ 300000 km/s).

Un importante esempio riguarda la massa, la quale è costante nella Meccanica Classica (che riguarda il mondo macroscopico), una volta fissate le caratteristiche del corpo al quale si riferisce: se però la velocità del corpo è una frazione non trascurabile della velocità della luce (cosa comune per le particelle elementari) *la massa aumenta con la velocità*. Questa è una proprietà che fa parte della Relatività Ristretta di Einstein, unitamente ad altre che riguardano lo spazio e il tempo e l'equivalenza fra massa ed energia.

Un altro fenomeno, alla cui comprensione ha contribuito in modo fondamentale lo studio delle particelle, è la natura ambivalente delle particelle stesse, ivi compresi i *fotoni*, che in alcune situazioni mostrano una *natura ondulatoria* e in altre una *natura corpuscolare*. Questa proprietà fa parte di quel capitolo della fisica che va sotto il nome di Meccanica Quantistica.

Gianpaolo Bellini
(Università degli Studi di Milano, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)

Vai al sito del Simposio per le Presentazioni dei vari relatori