

Il "bosone di Higgs" e la Teoria Finale

Circolo Culturale Galileo Galilei
Bologna, 21 dicembre 2012

Testo a corredo delle immagini della presentazione, con aggiunta di alcune "note al margine" su cui non ci si poteva soffermare nella conferenza. Questa è divisa in due parti: la prima dedicata al bosone di Higgs, e la seconda al significato della sua scoperta nel cammino verso una possibile Teoria Finale.

Due notizie scientifiche hanno occupato i titoli dei giornali nel 2012: la scoperta del "bosone di Higgs" nei laboratori del CERN di Ginevra e, ancora prima, i neutrini che volavano sottoterra da Ginevra al Gran Sasso a velocità presuntamente superiore a quella della luce, risultato poi smentito.

Del primo dobbiamo dire subito che l'appellativo "particella di Dio" era stato coniato dal Nobel di fisica Leon Lederman (Univ. di Chicago) in cerca di scoop giornalistico per ottenere il finanziamento dal senato americano per il nuovo acceleratore di particelle "Superconducting Super Collider" (SSC), da costruirsi nel Texas e tre volte più grande dello "Large Hadron Collider" (LHC) del CERN, ma infine cancellato nel 1993. Espressione esagerata o poco fortunata per molti, ma comunque allusiva al ruolo speciale dell'"Higgs" rispetto alle altre particelle elementari. Anche il curioso termine "bosone" ha una spiegazione più prosaica di cui daremo ragione più avanti.

Per chiarire prima di tutto che cosa si vuole dire con "è stato visto il bosone di Higgs", bisogna spiegare che nei rivelatori dell'LHC, tramite l'elaborazione al computer dei dati ricavati, si osservano le "scintille" (tracce di particelle subatomiche che a loro volta in maggioranza decadono rapidamente) dei piccoli "fuochi d'artificio" che si producono nelle collisioni di protoni a energia molto elevata. L'LHC non è altro che un acceleratore che fa girare i protoni a velocità prossima a quella della luce in versi opposti nel vuoto entro due tubi di 27 km di percorso circolare. Nei punti di intersezione preposti di questi "anelli" i protoni si scontrano frontalmente. La formazione e quasi istantaneo decadimento (10^{-22} secondi) del bosone di Higgs si manifesta nella osservazione, difficilissima, nel denso sciame prodotto dalla collisione, di certi gruppi di particelle secondarie (coppie di fotoni per esempio) con una energia e frequenza determinate.

Siamo dunque nel regno delle particelle subatomiche. Per i non abituati a pensare le grandezze del mondo fisico è bene fare il piccolo ma utilissimo sforzo di adeguarsi alla notazione delle potenze di 10. Nel microcosmo, il mondo subatomico su cui si sperimenta oggi va dai 10^{-10} m (grandezza dell'atomo) giù fino ai 10^{-15} m (particelle del nucleo atomico) e ancora fino ai 10^{-20} m (quark, elettroni e simili, oggi ritenuti le vere particelle elementari). "Vedere" queste particelle ha un significato assai lontano dalla comune esperienza sensibile.

Infatti con gli occhi non si riesce a scorgere puntini molto più piccoli di 1 mm (10^{-3} m), la grandezza di una pulce, per vedere i batteri è necessario il microscopio ottico, per i virus ci vuole il microscopio elettronico (le cui immagini vengono però rese da uno schermo). Il limite è rappresentato dal "microscopio ad effetto tunnel", che riesce a "tastare" gli atomi con la punta di un ago sottilissimo per poi formare le immagini con

un computer. Un'idea forse più intuitiva di quanto siano piccoli gli atomi, viene resa dal considerare quante molecole di acqua (H_2O) ci siano in un bicchiere: versato nel mare e rimescolato in tutti gli oceani del mondo, nel raccogliere un nuovo bicchiere di quest'acqua prendiamo ancora un migliaio delle molecole originali.

Le particelle subatomiche con carica elettrica, stabili (protone ed elettrone) o che vivono abbastanza a lungo prima di decadere, lasciano tracce del loro percorso nei rivelatori, ma per studiare la loro struttura i metodi sono molto più rudi: l'unica cosa che sappiamo fare è farle scontrare violentemente tra di loro e osservare i pezzi che saltano fuori. Questi pezzi, altre particelle, si vedono poi in maniera molto indiretta, tramite rivelatori elettronici i cui segnali vanno ai computer. In realtà questa è una conseguenza inevitabile delle leggi quantistiche che qui dominano e secondo le quali per risolvere distanze molto piccole si richiede una energia molto alta, che a sua volta sconvolge ciò che volevamo analizzare. L'unico "bisturi" a disposizione è usare come proiettili altre particelle, qualcosa come cercare di vedere gli ingranaggi di una vecchia sveglia lanciandole contro un'altra sveglia. Poi, se un bisturi più acuminato significa un proiettile più veloce, si capisce allora la necessità di costruire potenti e giganteschi acceleratori.

Nel caso dell'LHC del CERN, gli scontri tra i protoni avvengono in quattro punti di intersezione, attorno ai quali si sono costruiti giganteschi rivelatori, tra cui Atlas e CMS, di decine di metri di diametro e lunghezza, e migliaia di tonnellate di supporti, nuclei magnetici, cavi, bobine e contatori di cui molti sono evoluzione dei conosciuti Geiger. L'accelerazione dei protoni durante molteplici giri lungo i 27 km degli anelli si ottiene con campi magnetici ed elettrici intensi, prodotti da bobine e cavità superconduttrici che lavorano alla temperatura dell'Elio liquido (circa $-270^{\circ}C$), un ciclopico monumento dell'ingegneria per le dimensioni, numero e sofisticazione tecnologica di questi dispositivi. Il tutto avviene in una galleria sotterranea ad una profondità media di 100 m sotto il confine tra Svizzera e Francia a nord di Ginevra, la stessa che ospitò il precedente acceleratore LEP.

Un'altro aspetto bizzarro del mondo subatomico è che le forze (elettromagnetica e nucleari debole e forte) che agiscono tra le particelle di "materia" sono a loro volta veicolate dallo scambio di altre particelle mediatrici (rispettivamente il "fotone" di luce, i "bosoni elettrodeboli" ed i "gluoni"). Del centinaio di particelle subatomiche note, quasi tutte dalla vita molto breve, si è riusciti a capire che 16 sono quelle elementari (le 4 mediatrici delle forze, più 6 "quark" e 6 "leptoni"; questo conto è in realtà riassuntivo poichè ogni quark esiste in tre "colori" che possono considerarsi come particelle diverse, poi per ogni particella materiale esiste la sua antiparticella altrettanto elementare, e tra le mediatrici alcune sono antiparticelle di se stesse) mentre le altre sono composte dalle prime. Le particelle sono anche piccole "trottole" che, ancora per le leggi quantistiche, possono girare solo con velocità di rotazione (detta "spin") multiplo semi-intero (cioè $1/2$, $3/2$, ecc.) o intero (0, 1, 2, ecc.) di un dato valore fondamentale. Nel primo caso si chiamano "fermioni" (in onore di Enrico Fermi) e nel secondo "bosoni" (dal fisico indiano Satyendra Nath Bose). La Natura vuole che le particelle mediatrici delle forze siano "bosoni" e quelle materiali elementari "fermioni".

In questo scenario si colloca il bosone di Higgs (spin $s = 0$) come 17-esima e ultima particella elementare del Modello Standard, dove svolge un ruolo centrale. Infatti, da una parte l'Higgs interagisce con quasi tutte le altre particelle e dall'altra, tramite il

fenomeno detto “rottura spontanea di simmetria”, acquisisce un “valore di aspettazione nel vuoto” diverso da zero generando così la massa di quelle particelle. È il famoso “meccanismo di Higgs”, proposto a metà degli anni 60 dal fisico scozzese Peter Ware Higgs (ed in realtà anche da altri fisici teorici) ormai sicuro candidato al premio Nobel. La virtù di questa idea è di produrre le masse delle particelle, particolarmente dei bosoni elettrodeboli W^+ , W^- e Z^0 , senza però incorrere in certe difficoltà matematiche (la “non-rinormalizzabilità” della teoria) fino ad allora insormontabili.

Dato che il bosone di Higgs è il protagonista della conferenza, è doveroso tentare di dare una immagine più intuitiva di quanto appena detto. Il Modello Standard è una “teoria quantistica di campo” e come tale descrive le particelle elementari (elettroni, ecc.) mediante “campi quantistici”, entità che riempiono tutto lo spazio dove normalmente sono a riposo (“vuoto quantistico”), ma che possono avere eccitazioni locali che sono le particelle di quel tipo di campo. Il campo di Higgs ha come eccitazioni osservabili (ecco cosa si è visto a Ginevra) gli ormai famosi bosoni, ma è unico nel senso che il suo stato di minima eccitazione non è il vuoto ma il già citato “valore di aspettazione nel vuoto” diverso da zero. È come un miele che tutto riempie, al quale si appiccicano le altre particelle rendendole “pesanti”, mentre alcune non vi si attaccano affatto e rimangono a massa nulla (fotoni e gluoni) o lo fanno in maniera minima (i neutrini). Naturalmente una simile “sostanza” che si suppone riempia l’immensità dello spazio non potrebbe non avere conseguenze su scala cosmologica, solo che i calcoli non combaciano assolutamente con l’espansione osservata dell’universo. È un mistero, che la scoperta di Ginevra ripropone con ancora maggiore forza. Va detto finalmente che le misure del rivelatore Atlas, guidato dall’italiana Fabiola Gianotti, e quelle di CMS hanno una leggera discrepanza nella massa dell’Higgs, e può darsi che ci troviamo di fronte a due bosoni diversi, non uno, quindi i fisici procedono ancora con una certa cautela e aperti a reinterpretazioni del modello teorico.

****000000000000****

Comunque sia, tutto fa pensare che con alta probabilità ci troviamo davanti all'agognato bosone di Higgs e questo significa il successo supremo, la pienezza dei tempi per il Modello Standard delle particelle elementari. Un trionfo paragonabile alla scoperta di Nettuno (1846) nella posizione calcolata da Le Verrier e Adams sulla base della perturbazione osservata nell'orbita di Urano, trionfo che portò alle stelle la fede nella Meccanica Classica galileo-newtoniana col seguito di eccessi filosofico-religiosi come il determinismo meccanicistico assoluto di Laplace. Giunti a questo punto si pone la domanda sul significato di questo traguardo, se ci sia una fisica più profonda da scoprire oltre il Modello Standard, e in quale misura esso ci avvicini ad una Teoria Finale o TOE (Theory of Everything, teoria del tutto).

In primo luogo dobbiamo stabilire cosa ci si aspetti da una TOE:

- Deve dipendere da una sola costante universale (ricordiamo i fenomeni gravitazionali che, dalla mela che cade al moto dei corpi celesti dipendono tutti dalla sola costante universale della gravitazione di Newton), abbia essa un valore empirico o, meglio ancora, venga dettata da necessità matematica pura.
- Deve predire il risultato di ogni esperimento o osservazione, possibile o immaginabile, adesso e nel futuro.
- Deve essere formulata (rimane sempre valida la sentenza galileiana "Il libro della natura è scritto coi caratteri della matematica") su un formalismo matematico consistente, cioè senza incoerenze o contraddizioni, e completo, cioè che sia capace di dimostrare la correttezza o falsità di ogni risultato matematico.

Nei confronti di questo test il Modello Standard è poco soddisfacente. Ha più di una ventina di parametri o costanti empiriche: i valori delle masse delle particelle elementari, l'intensità delle forze, ecc. È capace di calcolare (in alcuni casi con estrema precisione) tutti i comportamenti noti delle particelle subatomiche ad oggi conosciute, sia nei laboratori terrestri (il ritrovamento del bosone di Higgs con la massa prevista ne è una prova) che nella radiazione cosmica, ma non include la gravitazione. Tanto meno rende ragione di quell'ignoto 96% costitutivo dell'universo che è necessario per spiegare il moto delle galassie (materia oscura, che conta per il 22%) e l'accelerazione dell'espansione (energia oscura o fantasma, il 74% restante). Ignorando una parte così importante della realtà, evidentemente non può pretendere di essere una teoria completa. Nel supporto matematico troviamo un altro ostacolo insormontabile, che in realtà affliggerebbe ogni teoria pensabile: Un Teorema di Kurt Gödel del 1931 stabilisce che in ogni sistema logico-formale con al meno la complessità dell'aritmetica, ci sono sempre proposizioni dotate di senso (diciamo equazioni) di cui non saremo capaci di dimostrare la veridicità o la falsità. Quindi, non potremo mai essere sicuri che la Natura non ci sorprenderà con comportamenti impreveduti proprio perché corrispondenti ad una di queste proposizioni indecidibili.

Lasciando da parte questa profonda questione, che riguarda la misteriosa corrispondenza tra la matematica e la realtà fisica, dobbiamo dire che i fisici teorici hanno cercato negli ultimi decenni di superare gli altri problemi proponendo teorie che trascendono il Modello Standard, tra cui dobbiamo annoverare in ordine di comparsa:

- Le Teorie di Grande Unificazione (GUT), che riducono il numero di costanti universali ma non rendono conto della grande disparità di intensità tra la forza elettromagnetica e quella nucleare, e prevedono l'instabilità della materia ordinaria (disintegrazione del protone: "i diamanti non sarebbero per sempre").

- Le varianti “supersimmetriche” (SUSY GUT), che risolvono il problema della disparità delle forze ma devono invocare l’esistenza di nuove particelle dette “supersimmetriche”, mai osservate fino ad oggi ma già cercate con l’LHC a Ginevra.
- Le teorie di “Supergravità” (SUGRA), che includono la gravitazione, ma, per evitare certi inconvenienti matematici, lo fanno al prezzo di invocare nuove dimensioni spazio-temporali oltre le 3+1 conosciute nella vita ordinaria.
- Le teorie delle “Stringhe”, che avvolgono le precedenti in un elegante schema matematico di nuovo tipo, ma che, oltre alle particelle supersimmetriche ed alle dimensioni extra mai osservate, hanno troppe varianti matematicamente consistenti e sono impossibili da testare con gli esperimenti o le osservazioni del mondo reale, al meno fino ad oggi ed in un futuro indeterminato, anche perchè la dinamica delle “stringhe” sarebbe manifesta solo alla la così detta “scala di Planck” (con energie impensabilmente elevate, 10^{28} eV, che corrisponde a dimensioni altrettanto estreme, qual’è la “lunghezza di Planck”, 10^{-35} m). Comunque queste teorie rimangono le più vicine ad una TOE che oggi abbiamo.

Solo il Modello Standard ha conferma sperimentale ed il resto è speculazione teorica. Daltronde la storia della fisica, e in realtà dell’intera scienza, è costellata da tentativi che sono stati superati o semplicemente spazzati via. Così la Meccanica Classica incappava in difficoltà che sono state superate dalla Quantistica e la Relativistica. La Teoria Quantistica, nonostante funzioni con estremo successo, crea problemi filosofici e di comprensione, ed in certi ambiti porta a ipotesi bizzarre come gli universi paralleli. La Relatività Generale (teoria einsteniana della gravitazione) applicata alla globalità del cosmo pone problemi sul significato del tempo e richiede ignote energie “oscura” e “fantasma” per spiegarne l’espansione osservata.

Anche se riteniamo che il risultato di Gödel non lascia spazio alle speranze, il mondo scientifico, e non solo, si trova diviso davanti ad una appassionante scommessa:

- Fede nella esistenza di una TOE (con apostoli del calibro di Stephen Hawking, il premio Nobel Steven Weinberg, ed altri), possibilità entusiasmante per alcuni, ma prospettiva asfissiante per altri.
- Non è possibile una TOE, sicchè l’avventura della conoscenza continuerà eternamente, al meno finchè durerà la razza umana, con le porte sempre aperte al mistero e alle sorprese.

A voi la scelta.

Jaime Julve
Consiglio Superiore delle Ricerche (CSIC), Madrid.