

condo l'autore, l'incubatore dell'uomo moderno, anche e forse soprattutto nei suoi lati deteriori. «Burckhardt ha sempre tenuta ferma l'idea che il progresso morale dell'individuo non sia il destino annunciato dalla civiltà moderna. Né si è mai illuso di potersi scaldare a un sol dell'avvenire, o ha mai confidato nelle illusioni illuministe di scacciare i demoni della notte» (p. LIX). Sulla mostruosità galoppante del progresso tecnico-scientifico, rispetto alla condizione di arretratezza culturale della società, ha modo di riflettere grazie ad un viaggio a Parigi nel 1867, durante il quale visita il padiglione dedicato alle macchine restando colpito in particolare modo dai nuovi, possenti cannoni delle officine Krupp; e chissà che non gli riverberassero nella mente i versi del Leopardi, pubblicati una ventina d'anni prima «dipinte in queste rive / son dell'umana gente / le magnifiche sorti e progressive».

Marcel Brion nel 1958 affermava: «Cento anni dopo la sua pubblicazione, *La civiltà del Rinascimento* continua essere ciò che è stata per un secolo: uno stimolo alla ricerca, un itinerario esplorativo, una sorta di carta dei luoghi *dove occorre scavare*» (cit. in Berchtold, *Jacob Burckhardt esploratore della storia*) e siamo con lui nel pensare che tutt'oggi le opere del basileese non possono che suscitare ammirazione e servire da bussola per chi si avventuri verso quei mari così vasti e formidabili.

Magnifiche le tavole fuori testo che spaziano da Michelangelo a Raffaello, da Leon Battista Alberti al Verrocchio, dal Palazzo Ducale di Urbino, al Tempio Malatestiano, dal Mantegna a Filippo Lippi. (*Antonello Lombardi*)

La natura

***Elusive. Come Peter Higgs ha risolto il mistero della massa*, di Frank Close, Roma, Castelvecchi, 2024, pp. 317.**

È la dimensione umana dello scienziato Higgs quella che per prima conquista il lettore mentre si addentra nel complesso mondo della fisica delle particelle. Infatti, Frank Close, professore emerito di Fisica teorica nell'Università di Oxford, dipana due narrazioni che, come nell'elica del DNA, pur avendo una loro ben precisa fisionomia, solo viste nell'insieme permettono di comprendere sia la nascita e lo straordinario sviluppo di questo ramo della fisica, sia come Peter Higgs sia giunto, in una giornata di luglio del 1964, ad avere «l'unica idea buona come scienziato», come lui stesso più volte dirà: un'idea che gli è valsa nel 2013 il premio Nobel per la Fisica. È importante sottolineare anche che Close e Higgs sono legati da una profonda amicizia che ha spinto Close ad aiutare Higgs ad uscire, almeno per un po', da quel guscio di riservatezza in cui, per tutta la vita, si è di fatto rintanato. Il titolo stesso di questa biografia è emblematico, a sottolineare sia la difficoltà di individuare il bosone eponimo, sia il carattere schivo di uno scienziato che ha cercato sempre di evitare i riflettori, anche quando fu invitato a Stoccolma. Un ulteriore merito di questo libro, inoltre, sta nel fatto che, complice il *lockdown* determinato dal Covid-19, l'autore, attraverso lunghe conversazioni telefoniche e, quando possibile, interviste in presenza, ha raccolto le memorie del premio Nobel proprio nei suoi ultimissimi anni di vita. Higgs,

infatti, è morto a Edimburgo l'8 aprile di quest'anno (2024, l'edizione inglese è del 2022): era nato a Newcastle upon Tyne il 29 maggio del 1928.

Close ha notevoli capacità didattiche e fornisce quasi sempre il modo migliore per spiegare anche i passaggi più difficili che hanno portato Higgs ad intuire l'esistenza di una certa particella e agli scienziati e ai tecnici del Cern di Ginevra di verificarne sperimentalmente l'esistenza, quarantotto anni dopo (2012): si sta parlando di quella particella elementare che la stampa – con un titolo ad effetto – chiamò la «particella di Dio» e che i fisici chiamano «bosone di Higgs».

In quel prolifico periodo intorno al 1964, ben sei scienziati – tra cui Higgs, ovviamente –, nel giro di pochi mesi avevano scoperto, in modo indipendente l'uno dall'altro, «la chiave di come la bellezza e l'ordine fossero emersi dai detriti caotici del Big Bang. La loro scoperta è alla base della moderna concezione del motivo per cui l'universo è costituito da figure e forme, piuttosto che da particelle prive di massa che sfrecciano nello spazio alla velocità della luce, senza alcuna possibilità di essere catturati in atomi e molecole» (p. 13). Da questo breve commento risulta abbastanza evidente che il bosone di Higgs ha a che fare con la massa e la sua formazione.

I fisici hanno suddiviso le particelle elementari in due grandi categorie: i fermioni e i bosoni, in omaggio a Fermi e Bose. Nella classe dei fermioni ritroviamo, ad esempio, i quark (che costituiscono protoni e neutroni) e i leptoni (come gli elettroni); in quella dei bosoni si ritrovano il fotone, il gluone, il bosone Z, il bosone W (questi ultimi due scoperti da

Carlo Rubbia) e, ovviamente, il bosone di Higgs. Poiché i bosoni possono accumularsi nello stato di energia più basso possibile, si ipotizza che i bosoni di Higgs si condensino per produrre «una strana sostanza – oggi nota come campo di Higgs – che riempie tutto l'universo» (p. 13). Pur entrando nel dettaglio nei capitoli successivi, l'autore risponde in premessa alla domanda che certamente molti avranno iniziato a porsi: come mai il bosone porta solo il nome di Higgs e perché, quando si parla del relativo premio Nobel, si parla solo di Peter Higgs, anche se l'ha condiviso con François Englert? Per certo, oltre ad aver corretto e completato l'equazione che descrive l'esistenza e il comportamento di questo bosone, Higgs è stato l'unico fra i sei ad indicare un modo sperimentale per verificarne l'esistenza: il Cern ha realizzato le condizioni sperimentali suggerite da Higgs, anche se diversi decenni dopo. Ci sono voluti più di tre decenni perché maturasse la volontà di cercare il bosone di Higgs e un ulteriore decennio per progettare e realizzare un esperimento che richiedeva anche risorse finanziarie ingentissime. Per realizzare questo esperimento, infatti, è stata costruita una grande macchina in grado di simulare le condizioni di calore estremo che si sono verificate appena dopo il Big Bang: il Large Hadron Collider (LHC), che nel luglio del 2012 ha permesso di evidenziare l'esistenza di questo bosone, responsabile della massa. Diversi capitoli sono dedicati alla descrizione dei problemi ingegneristici affrontati e della metodologia sperimentale adottata per controllare e confrontare i risultati sperimentali. In pratica sono stati implementati due esperimenti, noti come

ATLAS e CMS, che dovevano operare in modo indipendente l'uno dall'altro e le rispettive squadre non dovevano scambiarsi alcuna informazione per non influenzarsi a vicenda.

I primi capitoli parlano della formazione di Higgs. Studente brillante, rimane colpito da un nome inciso su una targa della scuola superiore che frequenta a Bristol, la Cotham Secondary School: il nome era quello di P.A.M. Dirac, uno dei padri della meccanica quantistica, che pose le basi della teoria quantistica dell'elettromagnetismo e creò quello strumento della fisica teorica detto QED (elettrodinamica quantistica). L'interesse per la fisica nucleare (all'epoca non esisteva ancora quella branca della fisica che sarà chiamata fisica delle particelle) cominciò a sorgere ascoltando, nell'ottobre del '45, ancora giovane studente liceale, delle conferenze sulle bombe sganciate su Hiroshima e Nagasaki: l'orrore che quei fatti suscitarono in lui fu tale che mise sempre il suo sapere a disposizione del movimento pacifista. Di quelle conferenze lo interessarono soprattutto le potenzialità che la fisica nucleare avrebbe potuto avere come strumento per conoscere l'infinitamente piccolo.

Seguendo gli spostamenti del padre, ingegnere senior della BBC, Higgs frequentò l'ultimo anno delle superiori alla City of London School, poi si iscrisse al corso di fisica al King's College. Terminati gli studi, restò a lavorare in quella Università finché non seppe che Kemmer, assistente di Dirac, che allora era all'Università di Cambridge, era stato chiamato all'Università di Edimburgo. Si adoperò affinché la sua borsa di studio potesse essere trasferita a Edimburgo.

Riuscito nel suo intento (era il 1955), Kemmer mise Higgs a studiare per un anno la QED: acquisì così le conoscenze necessarie per affrontare problemi di fisica delle particelle. In particolare, si impadronì di quella tecnica che va sotto il nome di *invarianza (o simmetria) di gauge* (pronuncia [ˈɡeɪdʒ]), una tecnica algebrica che garantisce che, nella risoluzione delle equazioni che descrivono il moto delle particelle elementari, queste rispettino il principio di simmetria e, inoltre, che il fotone, vale a dire il bosone della forza elettromagnetica, abbia massa rigorosamente nulla (come richiesto dalla relatività speciale di Einstein) e, al tempo stesso, renda la teoria rinormalizzabile, cioè in grado di fare predizioni finite e calcolabili, non fornendo quindi valori infiniti che rappresentano un assurdo dal punto di vista fisico.

I capitoli 3 (*L'esplosione di particelle*) e 4 (*Il superconduttore*) portano il lettore dentro i temi della simmetria, dell'invarianza di gauge, delle particelle elementari che, a partire soprattutto dall'immediato dopoguerra, cominciarono ad essere ipotizzate e man mano scoperte.

Il capitolo 4, fondamentale per la comprensione non solo delle basi su cui poggia la scoperta di Higgs ma anche per tutta la fisica delle particelle, è dedicato al fenomeno della superconduttività, fenomeno che si manifesta quando alcuni metalli vengono raffreddati a temperature molto prossime allo zero assoluto. Ricorrono qui i nomi degli scienziati con cui Higgs ha interagito direttamente o tramite i loro articoli: il fisico giapponese Yoichiro Nambu e il fisico teorico Jeffrey Goldstone dall'Università di Cambridge, il quale propose

un modello per rappresentare la simmetria instabile: la rappresentazione grafica di questo modello è l'equivalente di un cappello messicano dove il minimo di energia si trova fra la tesa (rivolta verso l'alto) e la calotta a punta. Le idee alla base dell'intuizione di Goldstone si possono meglio comprendere se immaginiamo una piccola sfera posta in cima alla calotta del cappello messicano: la minima perturbazione farà cadere la piccola sfera che rotolerà verso il basso, riducendo al minimo la sua energia potenziale gravitazionale: se ripetiamo l'esperimento un numero sufficientemente grande di volte e registriamo dove cade la pallina si avrà che ogni punto della circonferenza alla base della calotta del cappello messicano ha la stessa probabilità, riproponendo così la simmetria che si riteneva perduta. Responsabile di questo comportamento Goldstone ipotizzò essere un bosone senza massa (bosone di Goldstone).

Il fisico teorico americano Philip W. Anderson nel 1962 scrisse un articolo che colpì particolarmente Higgs: ipotizzava sia l'inesistenza del bosone di Goldstone, sia il fatto che «quando un mezzo superconduttore nasconde la simmetria di gauge, si verifica un'altra cosa: il superconduttore espelle i campi magnetici, cosicché in effetti il fotone del campo elettromagnetico acquista una massa. [...] Le due entità prive di massa – il fotone della QED e il bosone di Goldstone della simmetria nascosta – sembrano in grado di annullarsi a vicenda e di lasciare solo bosoni di massa finita» (p. 90). Anderson però non fornì alcuna prova a sostegno della sua congettura. L'articolo, inoltre, non scioglieva il nodo degli effetti relativistici quando si prende

in considerazione un superconduttore. Su quest'ultimo aspetto, nel marzo del 1964, Abraham Klein dell'Università della Pennsylvania e il suo assistente Ben Lee pubblicarono un articolo per capire se la simmetria nascosta implicasse necessariamente bosoni di Goldstone privi di massa: essi dimostrarono che le equazioni di Goldstone contenevano delle assunzioni tecniche che non si verificavano in situazioni non relativistiche, com'è ad esempio la teoria BCS della superconduttività. Nel giugno del 1964, Walter Gilbert, fisico teorico a Harvard, pubblicò un articolo in cui riconfigurava il problema del bosone di Goldstone e del superconduttore in chiave non relativistica e più intuitiva, mettendo in evidenza che le soluzioni relativistiche e non relativistiche sono incompatibili. Quando questo articolo arrivò sulla sua scrivania, Higgs, ricordandosi che conosceva un esempio relativistico che avrebbe potuto risolvere il problema individuato da Gilbert, risolse le equazioni e si rese conto di avere risolto il problema su cui tutti i fisici delle particelle stavano lavorando da anni: il teorema di Goldstone non è applicabile se è presente un campo elettromagnetico e quindi non è più necessario ipotizzare un bosone di massa zero.

Spedì l'articolo il 24 luglio 1964 (le date sono importanti perché nelle stesse settimane altri sarebbero arrivati alle sue stesse conclusioni) alla rivista «Physics Letters», con redazione a Ginevra, che lo ricevette il 27 luglio: uscì a stampa il 15 settembre (Close riporta questo articolo nell'Appendice 5.1, dove lo spiega ampiamente).

In quelle stesse settimane altri cinque fisici avevano scoperto in modo

indipendente come eliminare il bosone di Goldstone nella teoria quantistica relativistica dei campi e come dare massa al fotone. Tra questi Robert Brout, trasferitosi dagli USA all'Università di Bruxelles, e François Englert – sempre dell'Università di Bruxelles – che erano giunti alle stesse conclusioni di Higgs. Subito dopo il primo articolo, Higgs ne scrisse un secondo (riportato in appendice 5.2), che inviò alla statunitense «Physical Review Letters». Il direttore della rivista lo inviò a Nambu che ne raccomandò la pubblicazione. Nel congresso biennale dei fisici delle particelle, tenutosi a Chicago nel 1972, Ben Lee sottolineò che grazie al bosone di Higgs (fu questa la prima volta che in una sede ufficiale il bosone massivo fu detto di Higgs) si poteva ipotizzare l'esistenza di un campo di Higgs.

Con l'ottavo capitolo la parte più complessa di questo affascinante viaggio si conclude: il lettore ha avuto tutti gli elementi per comprendere l'importanza decisiva del contributo di Higgs. Ciò

che tutti i fisici gli riconoscono è che con la sua congettura, poi dimostrata sperimentalmente, Higgs ha completato quello che viene chiamato il Modello Standard della fisica delle particelle: vale a dire la struttura teorica – verificata anche sperimentalmente – che descrive l'infinitamente piccolo, almeno fino ad un certo livello, che tuttavia non raggiunge ancora il livello di Planck, considerato il livello fondamentale.

Nell'*Epilogo* Close descrive i nuovi orizzonti cui stanno guardando i fisici delle particelle: «Più di duemila anni fa, gli antichi greci iniziarono a riflettere sulla natura della materia. Oggi, mezzo secolo dopo che Higgs ha avuto la sua straordinaria idea, la scoperta del suo bosone ci ha portato alla fine dell'inizio, non all'inizio della fine. Di che cosa sia fatta la materia oscura, se ci siano altri “bosoni di Higgs oscuri” da trovare e come si sia formato il campo di Higgs sono domande per il futuro». (Ivan Grossi)

