

INTRODUZIONE

Lo studio dell'infinitamente piccolo è probabilmente il tema più importante della fisica, soprattutto della fisica dell'ultimo secolo. Il progresso scientifico umano non è mai proceduto in maniera lineare, bensì esponenziale. Partendo dalle prime scoperte dei primi del Novecento che dimostrarono inconfutabilmente che l'atomo è divisibile, a sua volta, in componenti fondamentali, gli enormi progressi raggiunti dalla fisica del mondo microscopico ci hanno mostrato l'esistenza di un regno impensabile, costellato di particelle di ogni tipo e caratterizzate dalle energie più svariate. Ma non si tratta di un "atlante zoologico" da collezionare. La fisica dell'infinitamente piccolo non è un risultato dell'erudizione ma è il frutto dell'avvicinarsi di modelli sempre più sofisticati che in un processo di approssimazioni successive hanno portato all'elaborazione di teorie matematicamente sempre più rigorose e che hanno raggiunto il loro culmine nel cosiddetto "Modello Standard", la teoria che descrive la materia che ci circonda e le forze che legano tra di loro le particelle. I modelli matematici hanno seguito di pari passo le sperimentazioni, quelle che ai giorni nostri si effettuano facendo collidere tra loro fasci di particelle e di antiparticelle. Il Modello Standard delle particelle elementari, seppur ancora incompleto, rappresenta il miglior accordo tra teoria e osservazioni e la conferma che il processo conoscitivo umano ha inseguito qualcosa di reale e non di illusorio. Le previsioni della teoria attuale sulle particelle e le interazioni che le legano sono straordinariamente accurate. Purtroppo il Modello Standard rimane incompleto e proprio in questi ultimi due decenni sono entrati in campo nuovi modelli, in particolare la teoria delle superstringhe, che potrebbero essere in grado di colmare le lacune una volta che essi possano essere confermati sperimentalmente. L'obiettivo fondamentale della fisica delle particelle non rappresenta più, come un tempo, il solo bisogno di frammentare la materia per vedere com'è fatta ma soprattutto la necessità di comprendere le forze che governano le

particelle e le loro interazioni all'interno di un quadro unificato. Non si è ancora riusciti a trovare il modello definitivo in grado di unificare le forze fondamentali ma perlomeno si è riusciti a capire che il concetto di "particella" è intimamente legato al concetto di "interazione". Al giorno d'oggi conosciamo quattro interazioni fondamentali per ognuna delle quali esiste una famiglia di particelle ben precisa. Due di queste interazioni sono state unificate in una sola, ma restano ancora da assemblare tra loro i rimanenti pezzi del puzzle. È come se un secolo fa i fisici nucleari si fossero messi a giocare con un puzzle con l'obiettivo di ricostruire il quadro originale al gran completo. Nell'arco di tutto questo tempo sono stati composti quattro pezzi di questo puzzle, due dei quali sono stati agganciati l'uno all'altro vent'anni fa grazie alle rivoluzionarie scoperte di fisici come Abdus Salam e Carlo Rubbia. Oggi resta da agganciare tra loro i pezzi rimanenti in maniera tale da essere pronti a incollare il tutto nel disegno finale per poterlo appendere a un muro. La fase in cui ci troviamo è molto avanzata, ma restano ancora molti problemi da risolvere, in modo particolare resta da capire la ragione per la quale le particelle hanno massa e il modo in cui la forza di gravità possa essere agganciata alle forze nucleari ed elettromagnetiche. Non dimentichiamo che nella fisica odierna il concetto di forza è strettamente connesso al concetto di particella, e che alcune particelle con funzioni ben precise – come le cose vengono viste oggi – sono esse stesse portatrici di forza verso tutte le altre particelle che costituiscono un immenso oceano di materia. La visione di oggi della fisica dell'infinitamente piccolo, potentemente sostenuta dalle leggi della teoria quantistica relativistica, non contempla più misteriose "azioni a distanza" bensì un mondo interamente dominato dalle particelle, alcune delle quali fungono da "messaggeri" per altre particelle. Tutto questo sembra il risultato di un riduzionismo spinto, ma come si vedrà nelle pagine che seguono, le cose non stanno come sembrano, dal momento che l'obiettivo che sta dietro tutta questa frammentazione è quello di unire e non di dividere. L'unico modo per cercare di far comprendere al lettore come si è arrivati al livello attuale della nostra conoscenza è quello di

mostrare l'avvicinarsi delle scoperte nella loro progressione temporale e il graduale dischiudersi nella mente umana di un universo che nessuno prima avrebbe mai immaginato. Proprio per questa ragione, questo volume viene strutturato in quattro parti fondamentali e una quinta (finale) di natura prettamente critico-filosofica.

La prima parte illustra la nascita e l'evoluzione del concetto di atomo presso gli antichi, mostrando l'avvicinarsi di teorie – tutte di natura filosofica – che dopo oltre tremila anni di disquisizioni, lotte e interferenze religiose di varia natura hanno portato l'uomo a comprendere e a vivere il suo ruolo di protagonista della rivoluzione scientifica. Si mostra in che modo una visione meccanicistica del mondo abbia prevalso su una visione finalistica (e quindi religiosa) nel portare l'uomo a fondare le basi reali della scienza. Tutto nacque quando l'uomo si domandò – più o meno contemporaneamente – quanto piccoli sono i componenti della materia e quanto grande è l'universo che traspare dai cieli stellati. Come si vedrà in seguito, questa pulsione a porsi domande allo stesso tempo sulle cose che stanno “sotto” e su quelle che stanno “sopra” il livello umano (almeno in senso Leonardesco), non solo è rimasta ma si è amplificata. Infatti, come vedremo nelle parti successive, al giorno d'oggi le scoperte dell'infinitamente piccolo trovano riscontro in fenomeni estremi che avvengono nell'infinitamente grande. La prima parte di questo libro costituisce dunque una cerniera tra la filosofia degli antichi e l'instaurarsi del metodologico sperimentale nell'indagine dei fenomeni di natura, fino al pieno sviluppo della chimica e conseguente dimostrazione empirica dell'esistenza degli atomi.

La seconda parte descrive la nascita e lo sviluppo della “fisica atomica”, ovvero quell'avvicinarsi di scoperte che, in parallelo alla costruzione dell'ossatura della teoria quantistica e della teoria relativistica, ha portato a comprendere che gli atomi sono divisibili in particelle elementari costituite dagli elettroni, dai protoni e dai neutroni,

e che altre particelle, come i fotoni, agiscono come intermediari nei processi che portano l'elettrone a effettuare "salti" all'interno dell'atomo stesso. Vengono descritti i diversi modelli di atomo, fino alla definitiva formalizzazione quantistica che portò a comprendere i primi processi di interazione tra particelle di materia come l'elettrone e particelle di energia come il fotone. Poi si passa a una rivisitazione della chimica e dei legami che produce, visti dal punto di vista quantistico. Si mostrerà come i modelli teorici nascono da un confronto diretto con le osservazioni, in modo particolare come gli esperimenti di spettroscopia possano essere spiegati dal modello atomico, in un atomo non più inteso come entità isolata bensì come *continuum* che si lega direttamente all'energia, cosa che ha portato alla nascita della moderna elettrodinamica quantistica. Energia e materia come un tutt'uno perpetuamente interagente: un concetto fondamentale che ha posto anche le basi della moderna astrofisica, oltre che della fisica atomica teorico-sperimentale.

La terza parte descrive invece la nascita e i risultati della "fisica nucleare", ovvero quei processi che si sviluppano all'interno del nucleo atomico che furono scoperti quasi parallelamente alla costruzione del modello quantistico di atomo. Si partirà con il misterioso fenomeno della radioattività per giungere poi alla scoperta della fissione e della fusione nucleare. Un momento meraviglioso e al contempo inquietante del progresso scientifico umano, che ha comunque permesso di penetrare nel regno della forza più potente esistente in natura: quella nucleare, talmente potente da riuscire a unire tra loro particelle con la stessa carica elettrica come i protoni e da permettere alla materia di esistere come noi la conosciamo. Si descriverà allora cosa succede quando si tenta di spezzare i legami nucleari e anche quando si tenta di crearli, e come tutto si manifesti nella liberazione di un'enorme quantità di energia. Come esempio più eclatante esistente in natura si passerà alla descrizione dei processi di fusione nucleare nel Sole e nelle stelle. In quest'ambito si mostrerà in maniera dettagliata come la più grande energia che ci

dà la vita funzioni direttamente per mezzo di processi che hanno puramente origine nel nucleo atomico. Questo si configurerà come un primo esempio lampante di come il mondo dell'infinitamente piccolo funzioni in sintonia con il mondo dell'infinitamente grande. Una simbiosi talmente sorprendente da spiegare l'esistenza di tutti gli elementi chimici che ci circondano. Tutto è nato dalle stelle e al contempo le stelle funzionano solo perché in esse hanno luogo potentissimi processi a livello dei nuclei atomici. In questa parte si inizierà a mostrare il ruolo fondamentale di quella particella sfuggente che è il neutrino, la quale, proprio in questa seconda metà dell'anno 2006, è soggetta a studi congiunti tra il CERN e il Laboratorio di ricerche nucleari del Gran Sasso in Italia.

La quarta parte riguarderà finalmente lo studio delle particelle elementari come emerge dagli esperimenti con i collisori in laboratori come quello del CERN in Europa. In questo contesto si tratterà una classificazione, la più accurata possibile, delle particelle elementari e dei loro decadimenti. È questa la parte in cui, mostrando in che modo le particelle sono associate a quattro interazioni fondamentali, verrà presentata l'ossatura del Modello Standard. Ciascuna delle quattro interazioni e le particelle che le caratterizzano verranno descritte in dettaglio: l'interazione elettrodinamica tra elettroni e fotoni, l'interazione cromodinamica tra quark e gluoni e quella tra mesoni e nucleoni, i processi trasformativi che caratterizzano strani fenomeni come la radioattività e il ruolo della gravità in questo contesto. Come si vedrà, in questa parte svariati fenomeni già trattati nelle parti precedenti verranno descritti in una nuova luce, spiegando come le particelle costituenti l'ossatura della materia interagiscono tra loro e in che modo ricevono forza ed energia da altre particelle con il ruolo di mediatrici. Si penetrerà nel mondo dei quark e degli incredibili processi che hanno luogo all'interno di protoni e neutroni, quelli che solo trentacinque anni fa venivano considerati ancora indivisibili. Questa parte rappresenta un po' una "versione vista al microscopio" delle due parti

precedenti. Poi si passerà a illustrare tutte le procedure sperimentali che hanno portato a costruire le basi del Modello Standard: dalle procedure naturali come lo studio dei raggi cosmici e dei loro decadimenti, alle procedure artificiali che hanno correntemente luogo negli acceleratori di particelle sub-nucleari. Verranno poi mostrate le ragioni per le quali il Modello Standard, nonostante gli esaltanti risultati raggiunti fino a oggi, non può essere considerata una teoria completa. Sarà a questo punto che si discuteranno le teorie di grande unificazione, in particolare il concetto di supersimmetria e la teoria delle superstringhe, e la loro capacità di prevedere l'esistenza di particelle decisamente esotiche come le super-particelle, i mini-buchi neri e i monopoli magnetici. Si passerà infine a descrivere l'evoluzione dell'universo nelle sue varie fasi di pari passo alla nascita delle particelle, avvicendatesi in tre generazioni ben precise, e alla loro trasformazione che ha portato la materia ad assumere la forma che ha ora. Con quest'ultimo aspetto si mostrerà una volta di più che quanto più si scende nell'infinitamente piccolo, tanto più è possibile descrivere l'infinitamente grande.

L'ultima parte di questo libro tratterà di questioni prettamente critiche e filosofiche, dove si tenterà di analizzare la validità del metodo scientifico, valorizzandone le sue doti e i suoi risultati, ma anche tenendo in considerazione le sue limitazioni nella descrizione delle leggi ultime della natura. Questa parte sarà anche un invito al lettore a non limitarsi a guardare la materia al microscopio ma anche a tentare di intravedere un significato globale in tutta la realtà che ci circonda, una realtà probabilmente non finalistica, ma comunque governata da un'indubbia intelligenza e indiscutibile armonia.

La trattazione del libro è interamente divulgativa, cioè destinata a un pubblico generalista purché attento e curioso. Ridurre le complesse teorie matematiche che governano la fisica dell'infinitamente piccolo a un prodotto ad uso e consumo del pubblico generale è davvero un'impresa ardua, anche considerando l'enor-

me quantità di contenuti tra loro concatenati che caratterizzano questi studi. È possibile semplificare solo fino al punto in cui si è sicuri di non aver dato nulla per scontato. Per tentare di adottare quest'approccio sono state utilizzate svariate analogie per spiegare concetti particolarmente complessi. Ma al contempo si è voluto coinvolgere il lettore in un quadro dinamico e dialettico che gli permetta non di assorbire nozioni statiche ma di incuriosirlo sul funzionamento dinamico della materia in oggetto. Questo può introdurre il lettore stimolandolo e invitandolo a comprendere che queste conoscenze possono essere raggiunte solo con il ragionamento armoniosamente accoppiato all'immaginazione, obiettivo che – anche se i più non lo sanno (o lo temono) – è raggiungibile da chiunque sia dotato di curiosità, che non è altro che una forma di piacere. La trattazione è interamente discorsiva e non-matematica, fatta eccezione per alcune semplicissime formule del tutto irrinunciabili, che sono state introdotte nelle note (e in parte anche nelle figure) in maniera tale da non distrarre il lettore dalla continuità della lettura. Allo scopo di agevolare maggiormente la comprensione, alla fine di ognuna delle prime quattro parti di questo libro viene riportato un brevissimo riassunto coadiuvato da una batteria di semplici domande che aiutino il lettore a fare il punto della sua comprensione per poter proseguire agevolmente nei passi successivi. La parte bibliografico-informativa è stata volutamente preparata in maniera molto ricca, in modo da permettere al lettore di espandere il quadro prettamente introduttivo proprio di questo libro con ulteriori letture e consultazioni sia libresche che su Internet (ulteriore divulgazione, ma anche modelli interattivi-intuitivi). Una parte dei riferimenti tecnici è riservata al lettore che desideri approfondire. Questo libro è dunque indirizzato al pubblico curioso, dotato di cultura generale e con basi minime di fisica (a livello del liceo), ma anche a scienziati di svariata specializzazione che non conoscono la fisica delle particelle. L'Autore di questo libro spera di riuscire a comunicare al lettore non solo le dinamiche che stanno alla base di questa scienza, ma

anche e soprattutto lo stupore che certe ricerche suscitano e che i più – a torto – hanno sempre considerato ostiche o irraggiungibili. In realtà tutti possono penetrare nel regno della fisica, purché guidati da quel potentissimo motore che è la curiosità e l'emozione che l'universo stesso non può non suscitare.