

Prologo

Amsterdam, 1971

E ora Vi presento il signor 't Hooft la cui teoria è almeno tanto elegante quanto qualunque cosa abbiamo mai ascoltato prima.

TINI VELTMAN, all'Amsterdam International Conference on Elementary Particles, 1971.

Tini Veltman è un uomo che ama esprimere opinioni opposte a quelle degli altri: un uomo che guarda dritto davanti a sé e non si è mai tirato indietro se doveva affrontare una controversia. La rigorosa inflessibilità del suo pensiero lo ha portato al successo dove altri avrebbero rinunciato o non avrebbero neppure osato avventurarsi. È questa la caratteristica che lo ha messo in lizza per un premio Nobel per la Fisica. La ragione del suo trionfo è in parte dovuta alla fortuna di aver avuto un allievo la cui genialità consisteva nel saper costruire un capolavoro usando gli utensili che lo stesso Veltman aveva forgiato.

Veltman e il suo *protégé*, Gerard 't Hooft, sono come il giorno e la notte. Veltman è un omone con una barba esagerata; ha spesso un sigaro piantato nell'angolo della bocca o tra le dita, per brandirlo come una bacchetta con cui imporsi e tenere corte. Il suo inglese quasi perfetto si fa più sonoro per le vocali pronunciate all'olandese, quando respinge i lavori di qualche rivale, come "fesserie" o "stronzate". Questo approccio può trarre in inganno perché l'uomo nasconde una personalità sensibile e meditativa che ha ben radicate convinzioni su come si debba gestire l'attività scientifica. Il suo soprannome, "Tini" (un'abbreviazione di Martinus), sembra assurdo, a un orecchio inglese, data la sua statura, in tutti i sensi del termine.

Gerard 't Hooft, al contrario, di struttura esile e dai capelli diradati, vestito con sobria eleganza, sempre in giacca e cravatta e

con un paio di baffetti, potrebbe facilmente essere preso per un dottore di campagna inglese o un contabile. Durante le discussioni, mi sento spesso prendere dalla sensazione che di certo 't Hooft conosce già ciò di cui lo si informa e aspetta cortesemente di apprendere qualcosa di nuovo. Quando parla, non si può dubitare che quanto dice è giusto: la sua voce, sempre pacata, ha in sé una notevole forza, sostenuta da un pungente senso dell'umorismo.

Quarant'anni fa, l'incontro dei due ha cambiato il mondo della fisica. Tuttavia, oggi, Veltman, il maestro le cui idee hanno permesso al brillante allievo di produrre la propria opera maggiore, e 't Hooft appaiono distanti; sembrano aver seguito cammini separati¹. Nel libro sulle particelle che Veltman ha scritto da solo, la presenza di 't Hooft è limitata a una fotografia e a poche righe di testo. Veltman descrive la scoperta di 't Hooft come “uno splendido lavoro” a proposito del quale dichiara, in un tono vagamente enigmatico, di essere stato molto felice “in quel periodo”². Così stavano le cose nel 1971, quando Veltman era “orgoglioso di presentare” il suo giovane e promettente *maestro* al mondo.

Il “puzzle” delle infinità.

Circa mezzo secolo fa, e più di duemila anni dopo le prime idee sugli atomi proposte da alcuni filosofi greci, si è scoperto che questi fondamentali pezzi della materia sono costituiti da particelle assai più piccole: di elettroni dalla massa estremamente ridotta rotanti a una distanza, in proporzione molto grande, intorno a un nucleo centrale la cui massa è migliaia di volte più grande di quella di un elettrone³.

Come conseguenza del bombardamento di Hiroshima, in cui era stata rivelata la forza esplosiva dell'atomo, la nuova frontiera della scienza si è identificata con l'indagine sulla natura del nucleo atomico e sulle misteriose forze che lo controllano. Che il nucleo di un atomo avesse una propria labirintica struttura era già apparso chiaramente; le sorprese si ebbero quando i ricercatori scoprirono che, aumentando la profondità delle osservazioni, le cose sembravano essere sempre più complesse. E, per completare tutto il quadro, si scopriva che strane particelle (simili a quelle che si trovano sulla Terra, ma dotate di comportamenti differenti) arrivavano a fiotti

dal cielo, come risultato del “bombardamento” dei raggi cosmici provenienti dallo spazio che colpivano l’atmosfera proprio sopra le nostre teste. Forme esotiche della materia, di cui gli scienziati, nei loro laboratori limitati agli ambienti terrestri, non avevano neppure potuto sognare l’esistenza, stavano cambiando del tutto il nostro modo di vedere la natura. Qualunque teoria sull’Universo doveva per forza fornire una spiegazione in proposito.

Si era in un periodo nel quale la caccia alle nuove scoperte era diventata l’equivalente, a livello mondiale, della corsa all’oro nel Klondike⁴. Alcuni fisici teorici delle alte energie tentavano di puntellare le loro affermazioni con teorie zoppicanti che pubblicavano su riviste poco note. Sembra che il loro ragionamento fosse questo: se la teoria proposta risultava essere sbagliata, pochi se ne sarebbero accorti e l’articolo relativo poteva tranquillamente essere dimenticato. Se però accadeva che una scoperta dimostrasse l’esattezza della teoria, era possibile invitare il mondo a leggere la pubblicazione prima trascurata e rivendicare la priorità dell’idea.

Durante questo periodo di febbrile attività, un problema continuava a distinguersi tra tutti, resistendo a ogni tentativo di risoluzione. Era quello che io indico come “puzzle delle infinite”, un formidabile rompicapo. Tre grandi teorie (la teoria dell’elettromagnetismo di Maxwell, che risale alla seconda metà del XIX secolo, la teoria della relatività speciale di Einstein, resa nota nel 1905, e la teoria della meccanica quantistica, sviluppata intorno agli anni Venti del XX secolo) avevano fornito, ognuna indipendentemente dalle altre, fondamentali previsioni che si rivelarono del tutto esatte: ad esempio, la descrizione dei fenomeni luminosi come onde elettromagnetiche; la possibile conversione della massa in energia (per mezzo della formula $E = mc^2$, in cui c è la velocità della luce nel vuoto); la spiegazione della stabilità degli atomi, con una descrizione quantitativa dei loro bellissimi spettri. Negli anni Trenta l’integrazione di queste tre teorie aveva dato origine a una esaustiva e completa teoria dell’elettromagnetismo e del modo in cui la luce interagisce con gli atomi, detta elettrodinamica quantistica e spesso indicata in seguito con il solo acronimo QED (Quantum ElectroDynamics). All’inizio essa è apparsa splendidamente convincente, per non dire affascinante, ma ben presto ciò che era sembrato una bella Cenerentola rischiò di diventare una

brutta sorellastra. Quando le equazioni della QED venivano applicate al di là delle più semplici approssimazioni, esse apparentemente continuavano a prevedere che le probabilità del verificarsi di alcuni eventi fosse “una percentuale infinita”. Perché questo fatto costituisce un problema? La risposta è semplice: in matematica, infinito è una quantità trascendente (*non è un numero*), che eccede ogni possibilità di misurazione, e che dunque rappresenta un insuccesso e non una vera risposta ai problemi.

Per contestualizzare concretamente questa realtà, pensiamo che la probabilità del verificarsi di un evento può variare da zero (non vincerò *mai* in una lotteria, ad esempio, perché non compro *mai* un biglietto) all’assoluta certezza, espressa dal 100% (la morte, le tasse). Invece l’“infinità” è senza confini e non misurabile; non significa nulla di quantizzabile. Nel contesto delle domande che si ponevano gli studiosi, la risposta non aveva un senso compiuto, era analoga dunque a quella che vi dà il vostro computer presentando un messaggio d’errore come “violazione del computer”, o *overflow* (“traboccamento”). Quando ciò accade, di solito si tratta di un indizio del fatto che avete commesso un errore catastrofico (ad esempio chiedendo alla macchina di dividere un qualunque numero per zero). Ma potrebbe anche indicare che nel vostro computer si è verificato un piccolo guasto, forse perfino un errore d’assemblaggio delle parti della macchina stessa⁵. Senza dubbio il messaggio *overflow* (o, nel nostro caso, “infinito”), vi sta indicando che qualcosa non funziona; il problema è: *che cosa* si può fare con il “qualcosa” che non funziona?

E non si trattava di un’assurdità circoscritta a qualche arcana parte della scienza dell’atomo: questo enigma di fatto intaccava la nostra capacità di comprendere i principî che sono alla base dei più importanti fenomeni, essenziali e onnipresenti nel mondo naturale. Le piante, ad esempio, crescono perché i loro atomi assorbono energia sotto forma di luce; le onde radio si producono quando campi elettrici o magnetici alterano una disposizione di cariche elettriche; la maggior parte dell’attuale tecnologia elettronica dipende dall’interagire di radiazioni elettromagnetiche con elettroni. Tutti questi fenomeni (dunque l’attività della maggioranza delle industrie e la stessa esistenza di moltissime forme di vita) dipendono da un semplice meccanismo fondamentale: l’assorbimento o

l'emissione di un fotone da parte di un elettrone. Il fotone è la particella fondamentale della luce, il suo *quantum*. L'incontro fotone-elettrone è il piú semplice, diciamo pure il piú rudimentale degli eventi, tuttavia la QED sembrava non essere in grado di concordare con il suo svolgimento. Se infatti, come sembrava implicare la QED, la probabilità per un fotone di essere assorbito fosse davvero infinita, la fotosintesi e, in effetti, moltissime altre reazioni chimiche dovrebbero realizzarsi istantaneamente. Il fenomeno vita dovrebbe essersi "spento" da molto tempo, se pure avesse mai avuto davvero un inizio.

Per i fisici, l'*infinità*, la non-misurabilità, è sintomo di disastro; è la prova del fatto che si sta tentando di utilizzare una teoria al di fuori del suo contesto di applicabilità. Nel caso della QED, se non si riesce a rappresentare con il calcolo un evento cosí semplice e fondamentale come l'assorbimento di un fotone da parte di un elettrone, vuol dire che *non* si dispone di una *vera* teoria: il punto è essenzialmente e inesorabilmente questo.

Un esempio particolare di questa catastrofica constatazione riguarda l'entità del magnetismo di un elettrone, che con gli esperimenti si può valutare facendo riferimento a una scala prefissata. Usando la teoria specifica, cioè la QED, i fisici ritenevano di poterne calcolare *esattamente* il valore. Occorre soltanto risolvere l'equazione algebrica che descrive l'elettrone mentre assorbe un singolo fotone.

L'operazione fa parte della normale dieta di un corso di fisica universitario e mi ricordo benissimo della gioia che ho provato nel 1967, quando ho per la prima volta eseguito il calcolo da solo. Pensavo di essermi finalmente qualificato come teorico. Purtroppo, ho capito allora che quello era soltanto il primo di tutta una serie di calcoli necessari per arrivare alla vera soluzione; inoltre il mio tutor mi aveva nascosto il fatto che, anche se fossi stato capace di portare a termine il memorabile compito e di sommare i risultati parziali per ottenere il totale, si sarebbe scoperto che questo era infinito. Senza che io, in quel momento, ne sapessi nulla, a poche centinaia di miglia, in Olanda, anche un mio coetaneo, Gerard 't Hooft, si era imbattuto nei misteri dell'infinità e, nel giro di cinque anni, li avrebbe risolti conquistandosi l'immortalità nel mondo scientifico.

Il motivo per cui era necessario tanto lavoro in piú per risolvere il problema dipendeva dal fatto che, secondo la QED, l'elettrone in gioco non è solo nel vuoto: il "vuoto" non è davvero tale, ma brulica di particelle instabili di materia e di antimateria, le quali, come bolle in un liquido, passano di continuo dall'esserci al non-esserci, dalla comparsa alla scomparsa. Per quanto siano invisibili ai nostri comuni cinque sensi, questi fuochi fatui particellari disturbano il fotone e l'elettrone, nel momento in cui essi si uniscono, e danno un contributo al "numero" che esprime il risultato quantitativo dell'esperimento.

La QED fornisce i mezzi per calcolare, uno per uno, gli effetti di tutti questi disturbi. Sono un'infinità: i contributi di tutti questi eventi, con l'eccezione di pochi, sono però tanto insignificanti da poter essere trascurati, *purché* siate disposti ad accettare un certo margine per la precisione di ciò che state calcolando. Il trucco sta nell'incominciare dal piú consistente (ed è proprio quello che avevo fatto, nei miei calcoli da studente, pensando ingenuamente che esso costituisse la totalità degli effetti disturbanti), poi aggiungere il seguente, continuando a sommare gli effetti di contributi via via piú piccoli, in modo che il totale si avvicini con la migliore approssimazione possibile al risultato "vero".

L'operazione può essere difficile da eseguire, ma nulla nel procedimento è necessariamente sbagliato, perché una somma di infiniti elementi può dare un risultato finito (come, ad esempio, nell'addizione $1 + 1/2 + 1/4 + 1/8 + \dots = 2$). Dopo aver sommato i primi due termini, si ottiene già un risultato che differisce da quello "vero" per il 25%; se si aggiungono i due seguenti, l'approssimazione si avvicina al 10%. In pratica la domanda preliminare, con la relativa scelta, riguarda semplicemente la precisione che volete ottenere nel risultato e la quantità di lavoro che dovete sobbarcarvi.

O, almeno, questo è ciò che i fisici credevano nei loro primi tentativi di valutare le conseguenze della meccanica quantistica e della QED. Comunque, in disaccordo con il risultato dell'esempio precedente che ci dava l'atteso 2, ciò che essi trovarono era una serie piú simile a questa: $1 + 1/2 + 1/3 + 1/4 + \dots$. A prima vista anche una tale serie sembra andar bene (con la somma dei primi tre ter-

mini, la differenza da 2 è poco più grande del 10 %). Ma aggiungete il quarto termine, $\frac{1}{4}$, e vi accorgete che il totale voluto è stato superato: 2,08. Se continuate ad aggiungere termini le cose vanno di male in peggio: *infinitamente* peggio. La somma della serie è $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots = \text{infinito } (\infty)$.

Nella loro ricerca della precisione i fisici avevano del tutto perso l'attendibilità e la concretezza. Se si tenta di calcolare le proprietà elettriche di un elettrone, come l'entità della sua carica e il suo campo magnetico, il risultato risulterà essere infinito; se si vuole sapere che cosa accade quando un fotone colpisce un elettrone e si rilevano le probabilità di questa o quella situazione, ognuna risulterà avere la "percentuale infinita" di probabilità.

Se è vero che la QED ci descrive come la luce interagisce con la materia, questa teoria *da sola* non può dar conto della stabilità della materia stessa. Ci sono due altre forze che agiscono all'interno e in prossimità del nucleo atomico, dette interazione nucleare forte e interazione nucleare debole; gli aggettivi si riferiscono all'intensità relativa di queste forze rispetto a quella dell'interazione elettromagnetica negli eventi che coinvolgono gli atomi qui sulla Terra. L'interazione forte tiene insieme i nuclei atomici; l'interazione debole, per contro, li rende instabili, provocando una forma di radioattività che ha un ruolo fondamentale nel meccanismo con cui il Sole produce la propria energia (si veda la figura 1). Anche le teorie relative a queste interazioni si sono imbatute in vari problemi.

La teoria che descrive l'interazione debole dà origine a una serie di termini via via decrescenti, come accade per la QED, e porta anch'essa a un'infinità. L'interazione nucleare forte presenta un enigma ancora più grande, perché in questo caso la somma infinita sembra esplodere: invece di un progressivo e lento avvicinamento all'infinito (come nella serie $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots$), si ha una somma sconcertante di addendi come nella sequenza $1 + 4 + 9 + 16 + \dots$, nella quale ogni nuovo addendo è maggiore di tutti i precedenti. Una situazione tanto strana da far decidere ai fisici che, per descrivere l'interazione forte, era necessario seguire un altro procedimento.

Nel caso particolare della QED, un modo per estrarre i numeri utili dal pantano è stato individuato nel 1948, come vedremo nel capitolo II. Il trucco fondamentale, che funziona, ma non è mai

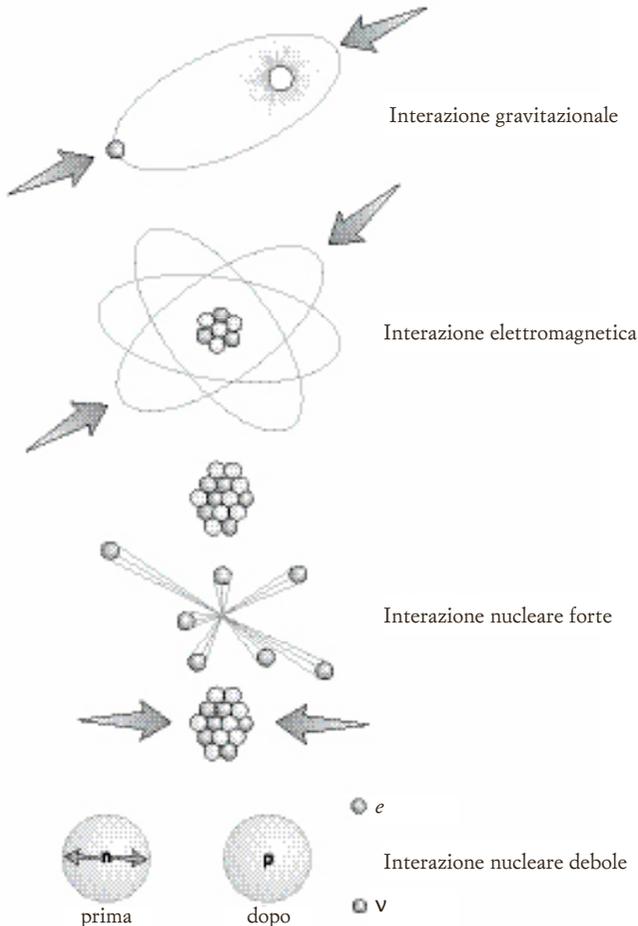
stato impiegato da nessuno, neppure da coloro che l'hanno inventato, è il seguente⁶.

Molte proprietà degli atomi e delle particelle che li costituiscono possono essere calcolate utilizzando i principi della QED, i quali portano sempre allo stesso risultato: un'infinità. Si è però accertato (e questa scoperta è stata la chiave per un primo passo avanti) che il modo in cui l'infinità faceva la sua comparsa era sempre lo stesso per tutti i processi via via esaminati. Ad esempio, quando i fisici calcolavano una certa quantità, essi potevano trovare un'orrenda "cosa" infinita moltiplicata, diciamo, per 1; calcolavano poi un'altra quantità e trovavano la stessa "orrenda cosa infinita", ma questa volta moltiplicata, supponiamo, per 2. Si poteva presumere quindi che questa seconda quantità dovesse diventare grande il doppio della prima. Se, per mezzo di un esperimento si fosse già misurato il valore (finito!) per la prima quantità, la QED avrebbe potuto prevedere che l'entità della seconda diventasse il doppio di tale valore e l'esperimento avrebbe potuto confermarlo. Così sarebbe stato possibile ignorare l'"orrenda cosa infinita", andando oltre e nascondendola alla vista come se non esistesse, restituendo, sia pur soltanto in apparenza, alla teoria una sua integrità. Come ho già detto, nessuno era del tutto contento di questa scelta, eppure funzionava.

Ed ecco come. I valori della carica elettrica di un elettrone e la sua massa sono stati misurati. Può sembrare miracoloso, ma queste due quantità note sono sufficienti per fornire i punti di riferimento sui quali basare il calcolo di qualsiasi altra caratteristica si voglia calcolare nell'ambito della QED. Non possiamo utilizzare la QED per calcolare, seguendo la teoria, la carica o la massa dell'elettrone (perché, se lo facessimo, incapperemmo nelle infinità), ma possiamo servirci della QED per calcolare qualunque altro parametro relativo a tali quantità determinate sperimentalmente. Invece delle infinità si ottengono ora risultati che hanno valori finiti (che meraviglia!) e, meglio ancora, i valori sono esatti. Oggi, alcune quantità sono state calcolate in questo modo e la precisione del risultato è di una parte su un milione di milioni (10^{12}), un ordine di grandezza che si avvicina al rapporto tra il diametro di un capello e l'ampiezza dell'Oceano Atlantico.

Figura 1. *Le quattro interazioni.*

La gravitazione è sempre attrattiva: questa forza controlla su vasta scala i moti delle galassie, delle stelle, dei pianeti e delle mele che, sulla Terra, cadono al suolo. Le forze elettromagnetiche trattengono gli elettroni nelle regioni periferiche degli atomi. Possono essere attrattive o repulsive e tendono a essere in equilibrio nei corpi materiali solidi e massicci, mentre la forza gravitazionale prevale sulle grandi distanze. La repulsione elettromagnetica tra i protoni (che hanno cariche elettriche uguali) nei nuclei atomici tenderebbe a rendere instabile la struttura di questi ultimi, ma l'interazione nucleare forte esercita un'intensa attrazione tra i protoni e i neutroni quando la distanza tra queste particelle è molto ridotta e il nucleo non si disgrega. L'interazione nucleare debole può trasformare la forma di una particella in un'altra: questo fenomeno può dare origine alla trasmutazione degli elementi, come accade nell'interno del Sole dove l'idrogeno, come conseguenza di reazioni di fusione nucleare, diventa elio. (Riprotto con il permesso della Oxford University Press).



Per quanto poco elegante, la ricetta per evitare risultati privi di senso, basandosi sulla QED, funzionava. Tuttavia i numeri a dir poco esplosivi che scaturivano dalle applicazioni all'interazione nucleare forte hanno convinto molte persone che in questo caso era necessario seguire qualche altro procedimento (ce ne occuperemo nei capitoli XII e XIII e vedremo come si è arrivati a scoprirlo). Per tre decenni si è creduto che sia l'interazione forte sia quella debole sfuggissero alla possibilità di descrizione in termini quantitativi. Per l'interazione debole esisteva però un'allettante speranza che si potesse verificare di nuovo un "miracolo" simile a quello che salvava la QED. Sfortunatamente, anche in questo caso, chiunque si era impegnato in un tentativo pratico, era incapato in una barriera apparentemente insormontabile.

Il puzzle dell'infinito in relazione all'interazione nucleare debole ha resistito per un quarto di secolo agli sforzi delle più grandi menti del mondo della fisica. Alcuni hanno tentato di risolvere il problema, ma hanno fallito; molti l'hanno ignorato sperando che prima o poi le infinite sparissero. La natura di questo vicolo cieco, il modo in cui si è riusciti a uscirne e le polemiche sulla priorità dei premi Nobel che la ricerca ha scatenato sono i temi di questo libro.

La saga è un esempio paradigmatico di come si svolge il lavoro scientifico nel mondo reale, con un percorso diametralmente opposto all'eroico e continuo progresso dipinto nei resoconti di alcuni vincitori di premi. Invece di una linea retta che unisce le idee teoriche alle scoperte sperimentali si hanno numerose svolte sbagliate, risposte parziali, argomentazioni svianti. La rappresentazione del cammino della scienza come una sequenza di grandi scoperte e di premi Nobel, che compare in varie storie romanizzate e induce le convinzioni di molte persone su questo tema, è in realtà un tentativo di semplificare, con il senno di poi e in termini narrativi, la logica di tutta la saga. In pratica la ricerca scientifica è una serie di svolte e veri cambiamenti di rotta; i ricercatori provano le stesse emozioni, pressioni e tentazioni di qualunque altro gruppo di persone e reagiscono in modi altrettanto vari.

Potete provare personalmente l'euforia del compiere una grande scoperta soltanto per venire a sapere che qualcun altro vi ha battuto sui tempi. Oppure potete essere stato davvero il primo, ma non essere ancora pronto, o abbastanza bravo, per mettervi nei guai pubblicando i risultati (ad esempio perché vi occorreva piú tempo per essere davvero certi di quanto avete scoperto, o addirittura non avendo capito, sul momento, il vero significato di ciò che avete realizzato). Come vedremo, anche ai livelli piú alti le persone non sanno se la loro idea è tale da cambiare il mondo oppure è una semplice fantasia e solo gli eventi successivi ne dimostreranno il valore. Un po' come accadeva a Paul McCartney, molti anni dopo, il quale ammetteva che, scrivendo le sue canzoni, non sapeva quale si sarebbe venduta in milioni di dischi e quale sarebbe stata un insuccesso.

Per i compositori di musica, o per gli autori di opere letterarie, non esiste un limite al numero delle possibili "creazioni": è infinito. Se non pubblicate ciò che avete composto, è improbabile che qualcun altro possa "creare" la stessa sinfonia. Per la fisica teorica, d'altra parte, la natura ha *già* la soluzione e siamo noi che tentiamo di scoprirla per conto nostro. C'è dunque un senso di unicità, un "giusto o sbagliato", che gli esperimenti e gli ulteriori progressi nella comprensione dei fenomeni potranno infine rivelare. Scoprite di che si tratta, pubblicatene le caratteristiche per primi, e il merito e i riconoscimenti saranno vostri. Tuttavia, se non lo fate e qualcun altro, indipendentemente, e piú tardi, pubblicasse ciò che voi avreste potuto render noto, come reagirete quando il resto del mondo ne avrà notizia? La "Storia" ricorda i nomi dei vincitori nei vari pantheon della scienza; invece i nomi dei "secondi classificati per i premi Nobel" sono altrettanto famosi di quelli dei semifinalisti che perdono in un Grande Slam o nelle Finali di Baseball.

Sono queste le realtà del mondo scientifico, in cui le risposte emotive dei ricercatori a simili tensioni possono essere ben lontane dallo spassionato comportamento ideale che comunemente si immagina. La nostra vicenda, che si dipana per piú di mezzo secolo, offre numerosi esempi di tutti questi casi, e molto altro.

Amsterdam, 1971.

Tra coloro che credevano di conoscere il modo per risolvere il problema delle infiniteità in relazione all'interazione debole c'erano Abdus Salam e Tsung-Dao Lee (T.-D. Lee). Comunque, la persona che l'ha effettivamente risolto è Gerard 't Hooft, il brillante allievo di Veltman. Nel 1971 't Hooft aveva convinto il suo insegnante di esserci davvero riuscito; Veltman allora decise di lanciare il suo apprendista, ormai già un maestro nel suo mestiere, con un'operazione straordinaria e decisamente plateale.

Nel mese di giugno dello stesso anno era previsto un congresso internazionale di fisica che doveva svolgersi ad Amsterdam. Veltman, professore anziano dell'Università di Utrecht, aveva ricevuto l'incarico di organizzare una serie di presentazioni di nuove proposte di fisica teorica. E decise di divertirsi invitando Lee e Salam a illustrare le proprie ipotesi su come risolvere il puzzle delle infiniteità.

T.-D. Lee, fisico teorico cinese stabilitosi negli Stati Uniti, aveva già vinto un premio Nobel nel 1957, condividendolo con il collega Cheng Ning Yang, per aver dimostrato che il mondo che appare dietro lo specchio è fondamentalmente diverso dal nostro mondo reale. Il meccanismo responsabile del decadimento radioattivo degli atomi, qualunque esso sia, sembra obbedire, nel mondo reale, al comando di una sorta di misteriosa vite levogira (che avanza cioè se la si fa ruotare in senso antiorario). Visto in uno specchio, questo effetto sembra dovuto a una rotazione destrorigira. Se Alice avesse conosciuto i fenomeni della radioattività, sarebbe stata in grado di sapere se, nella sua seconda avventura, si trovava nel mondo al di là dello specchio oppure in quello reale. La scoperta, nel 1956, del fatto che la natura è levogira ha prodotto un formidabile shock culturale e ha assicurato l'immortalità a Lee e Yang. Nel 1971, Lee aveva ormai capito che si doveva sciogliere il mistero delle infiniteità e credeva di sapere come procedere per farlo. Veltman però, grazie a 't Hooft, ne sapeva di più.

Nel 1971 Abdus Salam non aveva ancora vinto un premio Nobel, ma nutriva l'ambizione di ottenerlo. Più tardi Veltman non ci mise molto a ricordare a tutti questa circostanza insinuando che Salam avrebbe potuto esercitare pressioni sul comitato. Salam era

un visionario, con la testa tra le nuvole: sviluppava le sue idee in un continuo susseguirsi di ispirazioni, pronto a pubblicare qualunque cosa sperando per il meglio. Il suo stile non piaceva a Veltman che stimava l'opera di Salam meno di altri. Abdus Salam riteneva di poter risolvere il puzzle delle infinitezze relativamente all'interazione debole e, in base a certe ambigue osservazioni saltate fuori in qualche discorso, poteva essersi convinto di conoscere la risposta giusta. Non riuscì però a convincere del tutto gli altri colleghi, e certamente non convinse Veltman.

Quell'estate, Salam credeva dunque di aver individuato la chiave per la soluzione dell'enigma: si doveva integrare l'interazione gravitazionale nella miscela delle altre forze. Anche a proposito di tale ipotesi Veltman, grazie a 't Hooft, ne sapeva di più. E invitò Salam ad aprire i lavori del convegno.

Le riunioni si svolgevano in una piccola sala fuori dal salone principale del Centro Congressi di Amsterdam. Gli studiosi partecipanti al congresso erano più di duemila, ma soltanto poche dozzine di questi erano presenti durante quello che, sulle prime, sembrava essere un evento secondario rispetto al grosso dei lavori.

Salam parlò per primo, affermando di essere convinto che la gravità fornisse la chiave per trovare la soluzione. Veltman lasciò chiacchierare Salam a proposito della sua "sciocchezza" prima di dare la parola a T.-D. Lee, che descrisse allora i propri tentativi di risolvere il rompicapo con l'invenzione di particelle sconosciute dalle misteriose e bizzarre proprietà⁷. Lee concluse il suo intervento, rispose alle domande del pubblico e ritornò al suo posto in platea. Si era infine arrivati al momento strategicamente scelto e Veltman poté annunciare: «E ora vi presento il signor 't Hooft, il quale ha una sua teoria che è almeno altrettanto elegante di tutto ciò che abbiamo ascoltato finora».

L'intervento di 't Hooft durò appena dieci minuti e ai ricercatori presenti in sala, inconsapevoli del significato della rivelazione di cui erano stati testimoni, la circostanza sembrò essere semplicemente un mezzo scelto da Veltman per segnalare un promettente allievo all'attenzione di un ampio gruppo di colleghi. Il "finora" della breve introduzione di Veltman fu recepito dai membri dell'uditorio come «fino a questo momento del convegno»⁸ e poiché non molti avevano considerato le ipotesi di Salam e di Lee con entusiasmo,

questa presentazione non sembrò irragionevole, ma neppure accese grandi aspettative. Ciò che Veltman aveva voluto dire con il suo “finora” era «negli ultimi trent’anni», perché ’t Hooft aveva davvero scoperto la pietra filosofale.

Molti dei presenti non compresero il senso del suo discorso, e ancor meno si resero conto di aver assistito a un momento unico ed eccezionale della storia della scienza. Salam certamente non se n’era accorto. Nella versione scritta del suo intervento, rivista e corretta dopo la conferenza, ha aggiunto una nota «per dare il benvenuto alla teoria di G. ’t Hooft», ma anche rendendo noto che «la stessa teoria» era già stata proposta nel 1964 da lui stesso e da un collega, J. C. Ward, e includendo poi questo ripensamento: «La gravitazione [...] sembra [dover essere necessaria per] ottenere i valori numerici esatti»⁹. Tuttavia, come si è constatato al passare degli anni, l’inclusione della gravitazione nella teoria non era necessaria. Il poscritto di Salam dimostra come anche a un esperto potesse riuscire difficile valutare appieno l’importanza di quanto aveva ascoltato ad Amsterdam.

Gerard ’t Hooft per contro non ha trascritto il suo breve discorso. Stava ancora lavorando per perfezionare la sua tesi: per prudenza desiderava che tutte le argomentazioni fossero presentate con grande precisione in un testo dove potevano essere esposte dettagliatamente come in un documento legale per gli esperti che erano intenzionati a valutare la coerenza logica della prova fino a convincersi della sua incontestabilità. Secondo quanto ha ricordato uno dei colleghi presenti, qualche anno dopo, alcune persone che erano in platea avevano avuto sentore di ciò che era accaduto e i delegati si chiedevano a vicenda: «L’allievo di Veltman, ’t Hooft, sta davvero sostenendo di aver risolto il puzzle delle infinità?»¹⁰. Successive discussioni di corridoio convinsero questi partecipanti che le cose stavano proprio così.

Quando la notizia ha incominciato a diffondersi, le reazioni di due studiosi premiati con il Nobel sono state caratteristiche. Steven Weinberg ha notato: «Non avevo mai sentito parlare di lui, quindi la mia prima reazione fu: non può avere ragione»¹¹. Sheldon Glashow ha risposto seccamente: «O il ragazzo è un perfetto idiota [nel sostenere un’opinione tanto scandalosa], o è il più grande genio, da un bel po’ di anni, che sia in grado di sconvolgere la fisica»¹².

La parola “genio” era appropriata. Per questo risultato Gerard 't Hooft e Tini Veltman avrebbero condiviso il premio Nobel per la Fisica nel 1999. Considerando le reazioni immediate, appare paradossale anche il fatto che Glashow, Weinberg e Salam (ma non Ward) abbiano condiviso il premio, nel 1979, per il loro lavoro che la scoperta di 't Hooft doveva presto portare al centro della scena, in quanto essa ha davvero rappresentato un punto di svolta per lo sviluppo del sapere scientifico nella seconda metà del xx secolo.

Per semplificare il resoconto dell'evento, si potrebbe dire che il ruolo di Veltman è stato assai simile a quello di Giovanni il Battista, che prepara la strada con gli strumenti, gli schemi e le apparecchiature per mettere insieme tutti i pezzi; il vero “Messia” è stato 't Hooft, il genio che la fisica ha atteso per anni e anni, che costruisce la teoria e la struttura che porterà a una nuova età dell'oro. Oggi, quarant'anni dopo, tra i risultati della loro eredità si contano i più grandi e ambiziosi esperimenti che siano mai stati tentati: la simulazione dei primi istanti dell'Universo successivi al Big Bang con l'LHC (Large Hadron Collider, grande collisore [macchina per produrre collisioni] per adroni [le particelle nucleari di grande massa come protoni e neutroni]) del CERN di Ginevra.

Per più di duemila anni, prima di 't Hooft, una delle mete al centro dell'indagine filosofica e scientifica è stata l'identificazione dei “pezzi” fondamentali della materia, gli “atomi” e, più tardi, delle particelle elementari. Dopo la scoperta di 't Hooft, il punto su cui focalizzare le ricerche è cambiato. La nostra presunzione, oggi, è quella di riuscire a rivelare come la materia stessa si è formata e come il nostro Universo di forme e dimensioni ha incominciato a esistere.

La prima metà del nostro racconto descriverà il modo in cui 't Hooft e altri hanno realizzato le importantissime scoperte giunte al culmine nel trionfo del 1971. I notevoli sviluppi avutisi a partire da quel momento determinante costituiranno l'argomento della seconda parte. In essa seguirò il percorso che, partendo da un evento verificatosi *a latere* di un convegno tenutosi ad Amsterdam, arriva alla collaborazione di ricercatori di tutto il mondo, costata molti miliardi di dollari, per mezzo della quale si incominciano a ottenere, usando il grande collisore di Ginevra, risultati che ci permettono di rispondere a tali domande.

- ¹ Si veda ROBERT P. CREASE e CHARLES C. MANN, *The Second Creation. Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics, The Second Creation*, Macmillan, New York 1986, Rutgers University Press, New Brunswick 1996, p. 327. Nel corso di un colloquio con l'autore del 17 dicembre 2009, Veltman dimostra, in termini decisamente vivaci, di non essere d'accordo con la versione di alcuni eventi fornita da 't Hooft.
- ² MARTINUS VELTMAN, *Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics*, World Scientific Publishing Co, Imperial College Press, London 2003, p. 275.
- ³ Gli elettroni sono mantenuti al loro posto dall'interazione elettromagnetica, secondo la legge fondamentale per cui "cariche elettriche di segno opposto si attraggono a vicenda". Il corollario di tale legge (cariche di segno uguale si respingono) portava a un paradosso per la costituzione del nucleo stesso, dove una notevole quantità di cariche positive possono sopravvivere in questo compatto nocciolo, resistendo quasi magicamente alla disgregazione dovuta alle forze elettromagnetiche. Ciò portava a ipotizzare l'esistenza di una qualche forza "forte" (l'interazione nucleare forte), che impedisce al nucleo di sfasciarsi. Infine la possibilità, propria degli elementi chimici, di trasformarsi gli uni negli altri, come accade nel Sole e nelle altre stelle, è dovuta a una terza forza, di intensità minore e detta perciò "interazione nucleare debole". La trasformazione dei neutroni, per interazione debole, in protoni consente al numero dei protoni di aumentare, con la conseguente formazione di nuclei via via più grandi corrispondenti appunto ai vari elementi chimici. La gravitazione (interazione gravitazionale) agisce sugli oggetti materiali, ma non ha effetti misurabili su singoli atomi o particelle, per la loro massa estremamente piccola: non ha dunque un ruolo rilevante in questo libro.
- ⁴ Questo paragone e le sue implicazioni compaiono per la prima volta nei lavori di John Clive Ward, che incontreremo nel capitolo vi. Ward se ne servì nell'unica volta in cui ho avuto l'occasione di vederlo, a Canberra negli anni Ottanta ed è compreso nel suo libro *Memoirs of a Theoretical Physicist* ("Memorie di un fisico teorico"), disponibile in rete e scaricabile in formato pdf all'indirizzo <http://www.opticsjournal.com/JCWard.pdf>. Ward si riferiva particolarmente alla «conflittualità tra la pubblicazione prematura di un risultato e il timore di vederlo scoperto da altri», che, come vedremo, è ovunque presente nella nostra storia. E accenna anche all'amarezza che ha provato nei suoi ultimi anni, per aver perso la possibilità di condividere un premio Nobel.
- ⁵ O addirittura che un raggio cosmico ha attraversato il vostro portatile, cortocircuitando il sistema operativo.
- ⁶ Si tratta soltanto di un riassunto preliminare della spiegazione. Nei capitoli I-III fornirò i dettagli.
- ⁷ Secondo quanto riferito da Veltman all'autore, in un colloquio-intervista, il 17 dicembre 2009.
- ⁸ I ricordi dei vari partecipanti differiscono per i dettagli, ma sono molte le caratteristiche presenti in tutti, che appunto ho qui riunito. Mi sono basato soprattutto sui ricordi del mio collega Chris P. Korthals-Altes. Lo stesso 't Hooft era tanto concentrato su quanto diceva nel suo debutto da ricordare ben poco delle circostanze, oltre al fatto che l'ambiente della conferenza non aveva finestre; si veda anche alla p. 283.
- ⁹ ARMIN TENNER e MARTINUS VELTMAN (a cura di), *Proceedings of the Amsterdam International Conference on Elementary Particles*, 30 giugno - 6 luglio 1971, North Holland, Amsterdam 1972, p. 415. Il riferimento a John Clive Ward in questo momento critico ha qualcosa di ironico e paradossale, considerando il successivo sviluppo degli eventi. L'esclusione di Ward dalla rosa dei candidati al Nobel che si è avuta più tardi, se non dovuta almeno stimolata dalla scoperta di 't Hooft, è stata oggetto di una delle più grandi contestazioni nel campo della fisica. La prenderemo in esame nel capitolo xv.
- ¹⁰ In realtà essi si chiedevano se 't Hooft avesse davvero dimostrato che una teoria delle interazioni elettromagnetica e nucleare debole è davvero "rinormalizzabile", cioè coerente e utilizzabile in tutti i casi, senza che la comparsa delle "infinità" possa invalidarla. È questo il problema fondamentale che ho voluto evidenziare dando rilievo al termine "infinità" nel titolo. Che cosa ciò significhi e perché sia importante saranno tra i temi principali di questo libro.
- ¹¹ Steven Weinberg fornisce un ulteriore commento aneddotico, nel suo libro *Il sogno dell'unità dell'universo*: «Da principio il lavoro di 't Hooft non mi convinse. Non avevo mai sentito parlare

dell'autore, e il suo articolo usava un metodo matematico, elaborato da Feynman, del quale in passato non mi ero fidato molto». Si veda STEVEN WEINBERG, *Il sogno dell'unità dell'universo*, trad. it. di Gianni Rigamonti, Mondadori, Milano 1993, p. 126.

¹² Sheldon Lee Glashow ha formulato questo commento parlando con David Politzer, come si legge nel libro di R. P. CREASE e C. C. MANN, *The Second Creation* cit., p. 463, nota 30.