

UN'ALTRA "RIVOLUZIONE TRADITA": LA FISICA DEI QUANTI

"Ci sono più cose in cielo e in terra di quante ne sogni la tua filosofia" così Amleto al fedele Orazio : ma c'è più qualcuno nel trionfante, positivista mondo della cosiddetta "scienza ufficiale", disposto a far suo il profondo insegnamento scespiriano? A giudicare dagli sviluppi degli ultimi anni, la risposta sembra essere sconsolante : la "filosofia" è talmente ben stabilita, corroborata e immutabile che se le cose del cielo o della terra non sembrano conformarsi è perché : (i) non è stato ancora sviluppato il programma di calcolo per un computer adeguatamente potente, (ii) o la cosa è un'illusione di osservatori in "trance mistica", o fuori di testa; (iii) o infine la cosa è una truffa, una volgare frode di pseudo - scienziati in cerca di notorietà e, cosa più importante e grave, di fondi pubblici. E così fra uno "scandalo" ed un altro, fino alla sceneggiata del caso Di Bella, il potere dei Soloni del complesso scientifico - accademico - industriale - militare si sta, in linea coi tempi, "globalizzando".

Contemplando con raccapriccio la brutta piega che sta prendendo l'attività a cui ho dedicato la mia vita, mi chiedo sempre più spesso come sarebbe diverso il mondo in cui viviamo se la "filosofia" avesse accolto nel suo significato più profondo e nelle sue conseguenze più ardite quella nuova visione del mondo che emanava dal lavoro rivoluzionario di Planck, Einstein e Nernst, all'inizio del nostro secolo. Giacché non credo sia noto a tutti che, a differenza della "rivoluzione" della Relatività, compiutamente inglobata nella moderna "Weltanschauung", l'altra rivoluzione, quella dei Quanti, iniziata dai grandi scienziati appena menzionati, a tutt'oggi è stata confinata in un "limbo" di fenomeni da Alice nel Paese delle Meraviglie, nell'inaccessibile mondo nucleare e subnucleare, i cui custodi sono una casta chiusa e rigorosamente selezionata di "sacerdoti", il cui "latinorum" non può, né deve essere insegnato agli sprovveduti contribuenti, dai frutti del cui lavoro questi bramini traggono i privilegi di una vita agiata e circondata di rispetto e ammirazione.

Ritengo quindi utile ed importante cercare di proporre al concittadino inesperto ma curioso e, soprattutto, desideroso di contribuire alla non più procrastinabile riforma di questa alta attività umana, la storia, il significato e i possibili sviluppi futuri della "rivoluzione tradita" dei Quanti.

Come si racconta in tutti i libri di testo, verso la fine dell'800 si accumulò una massa tale di dati sperimentali, e di correlazioni tra di essi, che le luminose certezze della fisica classica galileo - newtoniana cominciarono a vacillare giungendo in qualche lustro ad una profonda, acutissima crisi. Particolarmente critico appariva un ben definito sistema fisico, molto studiato alla fine del secolo XIX, il cosiddetto "corpo nero" : un forno ad una ben determinata temperatura, dalla cui feritoia emerge una radiazione termica (onde elettromagnetiche) caratteristica, dipendente dalla temperatura.

Ora, lo "spettro" del "corpo nero", cioè la distribuzione di frequenze elettromagnetiche che emergevano dal forno, si rivelava irriducibile ad ogni analisi teorica basata sulla fisica classica, che per di più prediceva risultati assurdi, anche concettualmente, come la "catastrofe ultravioletta", secondo cui il forno dovrebbe contenere un'energia infinita! E, come si racconta in tutti i libri di testo, fu Max Planck a trovare infine la soluzione di questi paradossi in un nuovo insieme di leggi, le leggi quantistiche, che superano e correggono quelle classiche.

Cerchiamo di capire il significato di quella "rivoluzione" di Planck. Innanzi tutto il sistema : le pareti del forno sono fatte di materia calda, che la teoria cinetica di Maxwell e Boltzmann descrive

mediante i moti disordinati di atomi e molecole, che urtandosi generano campi elettromagnetici altrettanto disordinati che riempiono il forno, instaurando in tal modo uno stato di equilibrio termodinamico, che dipende soltanto dalla temperatura.

La teoria classica fornisce descrizioni abbastanza precise sia del campo elettromagnetico che della materia calda, il cui accoppiamento o interazione porta alle assurdit  citate. Attraverso un fortunoso cammino teorico, Planck scopr  che i paradossi scomparivano e si otteneva uno spettro del corpo nero in perfetto accordo con le osservazioni se si ammetteva che lo scambio di energia fra campo e materia non avviene in quantit  casuali e arbitrariamente piccole, ma in "pacchetti", in "quanti" il cui valore   legato alla frequenza di vibrazione ν della particolare onda elettromagnetica dalla celebre relazione $E = h\nu$, dove h   la costante di Planck, il cui valore   piccolo ma finito. Dal "corpo nero" si sprigionava cos , per la prima volta, la luce di un nuovo mondo, in cui materia e luce, atomi e campi elettromagnetici interagiscono e si evolvono nello spazio e nel tempo con leggi mai prima immaginate, dove la costante di Planck   sempre li a suonare il campanello di allarme contro le invasioni di campo da parte della fisica classica, illusoriamente intuitiva.

Fu lo stesso Albert Einstein, qualche anno dopo (1905), che intu  correttamente la natura di questi "pacchetti" di energia e impulso, che si comportavano in tutto e per tutto come particelle, i punti materiali della meccanica galileo - newtoniana rivista alla luce della teoria della relativit  speciale. E li chiam  "fotoni", particelle o "quanti" di luce. Il campo elettromagnetico che occupa la cavit  del forno agli occhi di Einstein si sbriciolava cos  in una miriade di fotoni, cos  come il volume di gas si decompone in una folla di atomi e di molecole; e la relazione fra i connotati fondamentali del campo, frequenza e lunghezza d'onda, e quelli delle particelle, energia e impulso,   governata dalla costante di Planck. Nella nuova visione del mondo, i due sistemi irriducibili della fisica classica, particelle e campi, quello del discreto, questi del continuo, vengono in qualche modo, arcano ed incomprensibile, a fondersi in un "unicum" in cui la discontinuit  del quanto e la continuit  del campo si tramutano incessantemente l'una nell'altra, a seconda dell'interazione con l'osservatore.

Questa ambiguit  essenziale del "campo quantistico" (tale   infatti la denominazione pi  appropriata del sistema indagato da Planck) viene messa a frutto subito dopo da Einstein (1908) per spiegare finalmente le strane propriet  del calore specifico di un cristallo a temperature vicine allo zero assoluto che, anch'esse, avevano mandato in crisi la fisica classica. Nell'analisi di Einstein gli atomi del reticolo cristallino si dissolvono nel campo di materia del cristallo i cui quanti, i "fononi" (o quanti di suono), si comportano, "mutatis mutandis", come i "fotoni" del campo elettromagnetico. E cos  facendo permettono al cristallo di obbedire alla terza legge della termodinamica, scoperta alcuni anni prima dal chimico - fisico tedesco Walther Nernst, che aveva messo impietosamente in evidenza le difficolt  della fisica classica quando la temperatura di un qualsiasi sistema fisico si avvicina allo zero assoluto. Fu lo stesso Nernst il primo a rendersi conto che il mondo dei quanti era un mondo "fluttuante", in cui per i sistemi quantistici, a differenza di quelli classici, non pu  esistere lo stato di quiete. Ma le fluttuazioni quantistiche sono ben diverse da quelle termiche, intrinseche le prime, indotte dall'apertura sull'esterno le seconde. Da questa fondamentale osservazione di Nernst, formalizzata molti anni dopo (1926) dal principio di indeterminazione di Heisenberg, emerse gi , nel primo decennio del nostro secolo, una nozione fondamentale della fisica quantistica : il VUOTO.

Lo spazio vuoto, il VUOTO, non   pi  come in fisica classica la negazione dell'essere, ci  che sta al di l  della creazione. Nella nuova visione di Planck, Einstein e Nernst il VUOTO   la prima creatura, poich  in esso esistono, nel loro stato di minima energia, tutti gli enti fisici che appariranno e scompariranno nell'incessante negoziazione energetica mediante cui si dipana la storia dell'Universo. Guardando con gli occhi di oggi agli incredibili balzi concettuali di quei grandi innovatori,   lecito meravigliarsi che dopo circa un secolo queste idee non siano ancora maturate in una visione del mondo compiutamente antipodale a quella meccanicistica della fisica classica, e che le sottigliezze del comportamento quantistico non facciano parte della cultura comune, ma siano ancora al centro di accaniti, spesso dogmatici dibattiti tra gli "addetti ai lavori". Non solo, ma che l'idea che

ci siano sottili effetti quantistici, non meccanicistici, nella meravigliosa realtà della vita provochi nel mondo scientifico reazioni così scompostamente negative, e che nella moderna biologia la fisica dei quanti non abbia praticamente cittadinanza.

Senza voler entrare in analisi storiche improbabili e difficilmente documentabili, mi limiterò a cercare le ragioni di questa "rivoluzione tradita" negli atteggiamenti intellettuali dei leader scientifici, e all'influenza che essi ebbero nella fondazione di una forte e interconnessa comunità scientifica internazionale, radicata su un paradigma in cui la teoria quantistica dei campi ha una struttura ancora rudimentale e quindi un ruolo secondario.

L'ideologia oggi dominante, dovuta essenzialmente ai fisici N. Bohr, M. Born, W. Heisenberg e W. Pauli, si affermò dopo la prima guerra mondiale, a metà degli anni '20. Nella ricerca di costoro le grandi intuizioni di inizio secolo sembrano quasi avvizzirsi. Sorprendentemente, dal campo quantistico l'interesse passa alla particella quantistica, un oggetto fisico molto strano che nelle intenzioni dei leader dovrebbe realizzare la sintesi impossibile dei concetti classici di campo e di particelle, di onda e di corpuscolo. Questa ovvia assurdità concettuale fu resa possibile da una scoperta matematica dovuta ad E. Schroedinger (1925), la cui famosa equazione sembrò prestarsi all'impossibile mediazione, mediante l'introduzione della "funzione d'onda". Al di là delle sofisticherie matematiche, ecco in cosa consiste la "sintesi" (o meglio la "complementarità", come la chiamò N. Bohr) tra onda e corpuscolo operata dalla neonata Meccanica Quantistica (MQ): prendiamo un corpuscolo, definito classicamente dalla sua traiettoria $x(t)$ [le sue coordinate spaziali \vec{x} , che variano al variare del tempo t], ad esso associamo una funzione continua $\psi(\vec{x}, t)$ dello spazio \vec{x} e del tempo t , che descrive un'onda (ψ si chiama "funzione d'onda") e soddisfa una ben determinata equazione d'onda (l'equazione di Schroedinger); orbene il quadrato $|\psi(\vec{x}, t)|^2$ della funzione d'onda fornisce la "probabilità" di trovare la particella quantistica nel punto \vec{x} al tempo t . Questa è più o meno la definizione che compare su tutti i libri di testo, generando negli studenti più critici infiniti mal di testa, cui solo l'assuefazione riesce a dar termine. E la ragione è semplice: nel moto più brutale si permette di associare ad un individuo, la particella, una grandezza fisica, la funzione d'onda $\psi(\vec{x}, t)$, che non rappresenta più il comportamento dell'individuo ma quello di un campione di individui identici su cui fare la statistica da confrontare con la probabilità $|\psi(\vec{x}, t)|^2$. La realtà, l'individuo non è più accessibile: ciò di cui si può occupare il fisico è soltanto il comportamento medio di un insieme fittizio di individui identici, descritto dalla funzione d'onda.

Nelle dotte disquisizioni dei meccanici quantistici il mondo delle certezze della fisica classica (dell' "eppur si muove".....) finalmente crolla e si dissolve in quello dell'incertezza, della probabilità e del convenzionalismo: nella tremenda contesa fra Galilei e Bellarmino per il fisico quantistico a vincere è il Cardinale. E' famosa la disputa fra Einstein e Bohr in occasione del Convegno Solvay del 1927, in cui Einstein rifiutò con ostinazione la MQ di Bohr e soci, rimanendo fino alla morte impermeabile all'ascesa e al dominio della MQ, da cui si allontanò disgustato ripercorrendo all'indietro il cammino verso la fisica classica, quasi rinnegando i contributi fondamentali dati in gioventù.

Ci possiamo chiedere come mai una teoria così difficile da comprendere, così articolatamente contestata da Einstein, come la MQ abbia mantenuto fino ad oggi in modo talmente rigido il monopolio della descrizione dei fenomeni atomici e subatomici. La risposta, come vedremo, sta nel fatto che nella MQ c'è una parte di vero, quello che invece non sta assolutamente in piedi è "l'interpretazione di Copenhagen", basata sull'idea balzana di "complementarità". Ma, forse, c'è di più: la rinuncia della MQ a comprendere la realtà, limitandosi a formulare ricette per agire sulla materia in senso tecnico ed economico, per il potere politico ed economico è di fatto una benedizione, che permette l'assoggettamento della scienza, senza gli impopolari roghi e scomuniche, che furono necessari alla Chiesa al nascere della scienza moderna.

Ritengo sia ora giunto il momento di mostrare come il recupero della fisica dei quanti degli inizi, della "rivoluzione tradita", permetta finalmente lo sviluppo di una nuova fisica, in grado di studiare e, in prospettiva, comprendere gli aspetti "sottili", non meccanicistici della realtà che vengono oggi irrisolti e avversati dalla "scienza ufficiale". Come si è visto, al centro dell'interesse di Planck, Einstein e Nernst c'è il campo quantistico: un ente fisico che pervade lo spazio, evolvendosi nel tempo.

Il "quanto" è un particolare aspetto di questo campo, che emerge, con caratteristiche rigorosamente definite, tutte le volte che il campo viene in qualche modo sondato da altri campi, tutte le volte che c'è un trasferimento d'energia da un campo all'altro. Così, ad esempio, è per i fotoni di Planck che rappresentano i "pacchetti" d'energia e di impulso del campo elettromagnetico che vengono scambiati con le pareti - i campi di materia - del forno. Così è per i "fononi" che vengono scambiati fra il cristallo e il "bagno termico" in cui esso è immerso.

Ma il concetto di "fotone" isolato, come pure di elettrone o di atomo isolato, è un'astrazione che non ha fondamento nella realtà. Tutti questi oggetti, che ad un osservatore opportuno appaiono avere i caratteri di particelle isolate, non hanno alcuna realtà al di fuori del campo, definito in tutto lo spazio, di cui sono particolari manifestazioni. E' quindi finalmente comprensibile perché la MQ non è, né può essere una teoria completa, giacché considera i "quanti" indipendentemente dal campo quantistico a cui appartengono, ed è pure finalmente comprensibile come onda e particella non siano nozioni "complementari", ma semplicemente diversi caratteri delle manifestazioni fenomeniche di un'unica entità: il campo quantistico.

Da questo più ampio punto di vista è ben possibile che una porzione del campo che percepiamo come particella abbia tutta una serie di relazioni spazio - temporali (la cosiddetta fase del campo) con altre parti dello stesso campo, che non percepiamo ma influenzano in modo sostanziale il suo comportamento, che ci apparirà pertanto bizzarro, addirittura incomprensibile, ma questo solo se pensiamo, scorrettamente, che la realtà del quanto inizi e finisca in esso, come postula la MQ.

Senza addentrarci in una discussione tecnica, peraltro impossibile al livello di questa presentazione, basterà tener presente che è attraverso la riscoperta del ruolo centrale del campo quantistico, che la "rivoluzione tradita" della fisica dei quanti può ritrovare il potere propulsivo di scoperta e di sviluppo, che si è essenzialmente esaurito nei pantani interpretativi della MQ. Non solo, nel riconoscere nei "quanti" solo ben particolari e definite (nello spazio e nel tempo) configurazioni di campi quantistici, la nuova Teoria Quantistica dei Campi (TQC) è ora in grado di esplorare e comprendere comportamenti quantistici ben al di là del microscopico mondo atomico e subatomico, addentrandosi nel mondo macroscopico della materia condensata, liquida e solida, animata e inanimata.

Queste e forse altre, ancora più remote e affascinanti, sono le frontiere finalmente accessibili grazie al recupero in questa fine di millennio della "rivoluzione tradita" di Planck, Einstein e Nernst.

Giuliano Preparata

Roma, 2 maggio 1998