Prefazione

La Meccanica Quantistica è una teoria completa? e quale relazione ha con la Teoria della Relatività? certo sono difficilmente compatibili come testimoniano i molti e passati tentativi alternativi di fonderle e il grandioso tentativo in atto di formulare una teoria delle stringhe.

Questi sono problemi vivi anche in Italia nonostante la loro “ovvia” improduttività: altrettanto tale quale quella relativa ai problemi del corpo nero, dell'etere, dell'effetto fotoelettrico, della irreversibilità e equipartizione che tanto occuparono i fisici dell'800 e 900. Sono problemi sui quali, specialmente in Italia, si corre il rischio di crescente isolamento mentre i ricercatori “seri” si dedicano a chiedere, per forse fornire, aiuto ad una industria priva di iniziative e originalità.

È utile quindi aver accesso ai classici, agli articoli in cui queste teorie presero forma e furono in grado di predire con meravigliosa precisione risultati confermati da celebri esperimenti. Questa collezione di opere tradotte integralmente dagli originali in tedesco della prima metà del 900 fornisce agli studiosi (e certo anche agli studenti) uno strumento indispensabile non solo fino a quando il tedesco diverrà una lingua più conosciuta in Italia ma anche dopo, in quanto è una selezione coerente e pensata il cui iter logico è analizzato nell'interessante introduzione.

Naturalmente i classici sono anche pericolosi: infatti il loro fascino può indurre i giovani a trasformarsi in storici della scienza senza prima aver avuto la necessaria esperienza con le tecniche e i metodi realmente utilizzati da quanti svolgono ricerca originale. È questo un gravissimo pericolo che però non può giustificare l'ignorare i classici: sta ai singoli individui riuscire a bilanciare l'interesse per la genesi ed evoluzione delle grandi opere del passato con la necessità di misurarsi con problemi presenti anche se molto tecnici dai quali qualcuno riuscirà a trarre idee innovatrici per i futuri classici.

Lasciando dunque a ciascuno il compito di moderare interessi prematuri verso la storia della Scienza questa collezione è dedicata principalmente ai fondamenti della Relatività e della Meccanica Quantica: non tocca la teoria quantistica dei campi che ha raggiunto il massimo sviluppo dopo gli anni '30 ove si arresta questa collezione a parte qualche eccezione che comunque non riguarda direttamente questo tema. L'ordine seguito nella presentazione degli articoli è alfabetico per autore e cronologico per ciascuno.

La Relatività è rappresentata dagli articoli di Einstein del 1905, di Minkowski del 1907, di Einstein del 1916 e dalla memoria di Schwarzschild del 1916. La Meccanica Quantica dall'articolo di Heisenberg del 1925 e da quelli di Schrödinger del 1926. Alcuni fra questi articoli sono disponibili anche in inglese (e due di essi in italiano) ma credo che pochissimi abbiano avuto accesso all'originale della soluzione a simmetria centrale della Relatività Generale. A questi articoli fanno corona un notevole numero di memorie di critica e di sviluppo che l'originalità della nuova teoria non mancò di sollevare e stimolare. Non ci si sofferma dunque sugli articoli che hanno preparato la formulazione del 1916 della Relatività e del 1925-26 della Meccanica Quantica: una scelta che ritengo naturale ed utile.

All'articolo sulla Relatività generale (1916) fa seguito, qui, una nota di Einstein in cui ne enuncia brevemente i principi: un sunto chiarificatore (1916). Nel successivo articolo (1918) vengono derivate le equazioni che regolano le onde gravitazionali: nel pieno del conflitto mondiale la corrispondenza con Levi-Civita viene mantenuta e citata. Risulta difficile comprendere oggi come ciò sia stato possibile. Segue (sempre 1918) un'altra nota ove Einstein torna ad esporre i principi della teoria generale; e l'esposizione è seguita, in tempi più quieti, da una divertente discussione (1920) in cui Einstein risponde ad obiezioni varie senza che si abbia l'impressione che i suoi interlocutori e critici, pur fisici di rango, lo stiano a sentire: è rassicurante che in questa situazione si sia trovato addirittura Einstein; senza dubbio ciò allevierà le angosce di quanti continuamente si trovano testimoni di dialoghi di questo genere.

Einstein presenta (1921) all'Accademia Prussiana alcune considerazioni sulla Matematica: il giudizio è positivo a dispetto dell'affermazione che "laddove le leggi della matematica corrispondono alla realtà, esse non sono certe, e laddove sono certe esse non corrispondono alla realtà". Sarebbe però fuorviante credere che questo sia un articolo filosofico: il suo fine molto concreto è quello di discutere la questione della finitezza (o meno) dell'Universo proponendo vari modi per studiarla.

Ma l'attenzione di Einstein è ormai attratta anche dalla nuova teoria dei quanti (che lui stesso contribuì a fondare circa un ventennio prima) e dalla minacciosa possibilità di una sua incompatibilità con la Relatività. E in proposito è tradotta un'altra comunicazione all'Accademia Prussiana (1923) in cui propone di derivare dalle equazioni del campo gravitazionale la determinazione dello stato iniziale di un elettrone in un atomo il quale "non può essere scelto liberamente, ma questa scelta deve corrispondere alle condizioni quantiche. In generale: non solo l'evoluzione temporale, ma anche lo stato iniziale obbedisce a leggi".

Sulla Relatività e la sua relazione con la teoria dei quanti Einstein ritorna con una discussione sulla nozione di Etere (1924): concludendo che "Ma perfino qualora queste possibilità maturassero in vere teorie non potremmo fare a meno in Fisica Teorica dell'etere, cioè del continuo dotato di proprietà fisiche; la relatività generale, al punto di vista fondamentale della quale i fisici si atterranno sempre, esclude un'interazione immediata a distanza; ogni teoria di azione per prossimità presuppone campi continui, e quindi l'esistenza di un "etere"".

L'elettrodinamica dei corpi in movimento è rappresentata, naturalmente, dall'articolo fondamentale di Minkowski (1907), poi dai lavori di Gordon (1923) sull'influenza della materia sui processi elettromagnetici in Relatività generale e di Von Laue (1950): quest'ultimo, ormai vicino a noi in spirito e formalismo, ritorna sulla questione di quale sia il corretto tensore elettromagnetico per la descrizione dell'elettrodinamica dei corpi in movimento.

La memoria di Schwarzschild (1916) sulla soluzione a simmetria centrale delle equazioni di Einstein è stata inclusa nella collezione e se ne può quindi leggere la semplicità e apprezzare l'affermazione "... è sempre piacevole disporre di soluzioni esatte di forma semplice. Più importante è che il calcolo assicuri anche la determinazione univoca della soluzione ..." che pare diretta a quanti dubitano della grande importanza delle soluzioni esatte che continuano ad apparire (a partire dalla derivazione newtoniana delle leggi di Keplero) nei più diversi problemi, penso ad esempio alle soluzioni del modello di Ising, dei dimeri, dei sei vertici, degli otto vertici, ai reticoli di Toda e Calogero, all'equazione di Korteveg De Vries, al moto dei vortici sottili ed equazione di Schrödinger non lineare ecc. Questo è un articolo che tutti conosciamo ma che pochi fra noi hanno letto in originale certo a causa di difficoltà linguistiche e la sua traduzione sarà quindi benvenuta.

L'articolo espositivo di Bohr, Kramers e Slater (1924) apre la collezione sulla Meccanica Quantica: è di difficile lettura perché insolitamente privo di formule ed è dedicato ad una discussione concettuale sulla relazione fra fenomeni elettromagnetici macroscopici continui e i fenomeni quantici microscopici che li possono generare grazie alle grandi differenze delle scale di tempo ed energia coinvolte.

L'articolo di Born (1926) descrive in forma divulgativa l'urto di un elettrone con un atomo e pone la questione dell'esistenza di "variabili nascoste" optando per la non esistenza delle stesse.

Il successivo articolo di Bose (1924) dà respiro al lettore turbato dalle inquietanti questioni di principio appena sollevate e in poche chiarissime righe deriva la legge di radiazione del corpo nero (e indirettamente la statistica di Bose): è un articolo che fu tradotto in tedesco (dall'inglese) da Einstein in persona. È nella sostanza assai noto come quello di Einstein del 1917, uno dei classici il cui contenuto tutti noi abbiamo incontrato nei testi universitari.

Si ritorna alle questioni di principio con l'articolo di Ehrenfest (1932) che esordisce "Queste domande ... possono ben essere accantonate come "prive di senso", se si vuole stare comodi. Allora qualcuno dovrà pur attirarsi l'antipatia, e porle tuttavia." Segue un'interessante serie di domande che, pur sensate e forse ancora senza risposta, fanno vedere la difficoltà che fisici non più giovani incontrano nell'assorbire nuove idee: " non si potrebbe degnare qualcuno, che realmente domini questa materia, di esprimere in forma leggibile anche per noi fisici vecchi ciò che è noto per il gruppo delle rotazioni reali ...". Questo ci ricorda la odierna situazione riguardo alla teoria delle stringhe.

L'articolo di Einstein (1953) ove dichiara il carattere statistico e incompleto della descrizione dei singoli fenomeni della Meccanica Quantistica precede, per la scelta dell'ordine di presentazione, l'articolo di Heisenberg (1925) ove si pone con forza la questione della osservabilità di quantità che entrano nella descrizione di fenomeni e viene fondata la Meccanica Quantistica nella versione raggiunta alla fine della sua evoluzione verso una teoria completa: questo articolo di Heisenberg fu preceduto da molti articoli dei fondatori della Meccanica Quantistica che fortunatamente sono disponibili in inglese nella collezione di Van der Waerden e che ne rendono comprensibile la genesi e molti aspetti tecnici.

Gli articoli di London sulla teoria di Weyl e di Madelung su un'interpretazione fluidodinamica (1927 e 1926) mostrano quanto avanzata già fosse la Meccanica Quantica appena dopo la sua formulazione: questi articoli già fanno riferimento a Schrödinger i cui lavori fondamentali sono anche raccolti in questa collezione.

L'articolo di Pauli (1932) riprende i problemi non matematici sollevati da Ehrenfest (i quali evita perché "incompetente", cosa non realmente credibile mentre è più probabile che li abbia considerati di evidente risposta e non lo abbia detto per una forma di deferenza verso Ehrenfest). Si trova poi un articolo di gran lunga successivo, di Renninger (1959), che potrebbe essere considerato antesignano della Meccanica Quantistica stocastica di Nelson (apparsa pochi anni dopo).

Un'interruzione importante alle questioni di critica dei fondamenti è poi costituita da una serie di articoli di Schrödinger fra il 1924 e il 1926 che contiene i quattro chiarissimi articoli sulla "quantizzazione come problema agli autovalori" in cui vengono introdotte l'equazione di Schrödinger e la funzione d'onda sulla base di un nuovo principio variazionale e via via si passa a funzioni d'onda complesse ("una certa difficoltà si trova senza dubbio nell'introdurre una funzione d'onda complessa") e, con stupore di chi li legge per la prima volta in originale (purtroppo sono fra costoro), a trattare problemi sempre più difficili fino alla teoria delle perturbazioni. La possibilità di pensare i valori medi quantici come analoghi ai valori medi classici che appaiono in connessione con l'ipotesi ergodica viene esclusa nell'ultimo lavoro (1927) degli anni venti qui riportato.

La serie di articoli di Schrödinger si conclude con l'articolo di critica del 1935: è il famoso articolo (stimolato dall'altrettanto noto articolo, dello stesso anno, di Einstein, Podolsky e Rosen) in cui appare il "gatto di Schrödinger" sottoposto a perfida (quanto ideale, per fortuna) tortura per mostrare le difficoltà fondamentali della Meccanica Quantica. L'interpretazione "di Copenhagen" non solo è oscura, ma è inconsistente logicamente e questo appare chiaro dalle considerazioni di Schrödinger. Se poi si cerca di combinare Meccanica Quantica e Relatività i problemi diventano insormontabili (e restano tali al momento). Come sottolinea Schrödinger il tempo è trattato in modo intrinsecamente asimmetrico rispetto allo spazio e questa è certo una delle cause delle difficoltà.

Questi articoli hanno generato il movimento ideale che ha portato ad una interpretazione moderna della Meccanica Quantica non relativistica e lo studente può ora rivolgersi alla teoria di Bohm; che emerge come (forse unica) interpretazione coerente (processo di misura incluso) della Meccanica Quantica. Coerente ma per alcuni ancora non soddisfacente.

L'articolo di Schrödinger riportato è un esempio importante di critica dei fondamenti e la sua lettura sarà certo utilissima agli studenti: che però, come predicato sopra, dovranno fare attenzione a non lasciarsi tentare dal dedicarsi allo studio di questioni di principio.

La collezione è conclusa da un articolo di Smekal del 1922 che propone di considerare i processi di emissione e assorbimento elettromagnetici come non indipendenti e dal successivo articolo di Wentzel del 1924 che, a partire dall'idea di Smekal, sviluppa un'"ottica quantica". L'esposizione non è chiarissima: Wentzel calcola la probabilità di transizione di un atomo E e assorbimento della luce emessa da parte di un atomo A come proporzionale al modulo quadrato di una somma su tutti i cammini che la luce, e insieme con essa l'atomo emittente stesso, possono seguire nel processo di emissione e assorbimento. La somma consiste nella somma dei prodotti dell'ampiezza dell'onda per un fattore di fase $e^{2\pi i\varphi_s}$ ove φ_s è la "fase quantica" ($h^{-1}\int(t\,dW+\sum_k q_k dp_k)$ in cui il primo termine è il contributo del cammino ottico e il secondo quello del cammino seguito dalle coordinate interne dell'atomo). Le fasi φ_s vengono interpretate come misura della deviazione della traiettoria del fotone dalla traiettoria dell'ottica geometrica e della deviazione delle coordinate interne dell'atomo da un moto classico: assumendo che l'atomo emittente e quello assorbente siano descritti da coordinate angolo–azione interne con moti periodici tutti di uguale periodo Wentzel trasforma la somma sui cammini possibili in integrale sulle variabili d'angolo dei vari gradi di libertà. Ne deduce che transizioni sono possibili solo se sono obbedite le regole di Bohr Sommerfeld. L'ipotesi sulla meccanica dei moti interni dell'atomo è ovviamente molto restrittiva (corrispondendo a integrabilità e, al tempo stesso, isocronia e con uguale periodo per i sistemi E ed A in generale diversi) e la somma sui cammini quale integrale sulle fasi non è accompagnata da giustificazioni euristiche o comunque tecniche.

C'è quindi un'analogia con l'integrale di Feynman in quanto le probabilità quantiche sono calcolate come somme su traiettorie classiche: tuttavia le somme sono pesate in modo diverso da quelle di Feynman che sono invece letteralmente somme delle fasi quantiche di ciascun cammino pesate allo stesso modo (e non con ampiezze variabili). Tenendo conto che l'articolo è del 1924 e di poco successivo a quello di de Broglie si può dire che è un brillantissimo abbozzo, giustamente posto fra gli articoli importanti qui tradotti, di una teoria futura la cui equivalenza con la Meccanica Quantica di Heisenberg e Schrödinger fu mancata dai fondatori della nuova Meccanica.

Dobbiamo essere grati a S. Antoci per le traduzioni che ha eseguito con cura filologica e con felice scelta dei testi: saranno di grande vantaggio per colleghi e studenti.

La collezione si conclude con la traduzione degli atti dell'espulsione di Einstein dall'Accademia tedesca: è, mi pare, tesi (implicita) dell'autore che con questo atto la Fisica cessò di "parlare tedesco". Dobbiamo essergli grati anche per quest'ultima traduzione: l'atto di espulsione (successivo alle dimissioni spontanee) ci fa riflettere su questioni solo apparentemente lontane dalla Fisica quali il razzismo, l'arroganza e violenza del potere, il servilismo che questo genera o forza e, in definitiva, il sonno della ragione che induce. Che la Scienza non sia separata dalla politica è per molti di noi ovvio: ma non per tutti, e comunque è bene che sia ricordato spesso.

Giovanni Gallavotti,
Roma, agosto 2002