

Simone Baroni

# LA MECCANICA QUANTISTICA

Volume I

La prima rivoluzione quantistica:  
dagli albori con Planck ed Einstein  
all'indeterminazione di Heisenberg







*Alla bellezza mozzafiato della Natura.*



# Sommario

- 1     **I quanti in tre volumi**
- 5     **1. Classico vs. quantistico**
- 13    **2. Una scommessa impulsiva**  
Un excursus sulla luce, 21 – Vedere per credere, 24 – Bohr lancia la sfida, 29 – L’esperimento dà ragione a Bohr, 41 – La quantizzazione spaziale, 43 – L’esperimento di Stern e Gerlach, 51 – Perché nessuno parla di *spin*?, 60 – Le reazioni, 61 – Gli effetti quantistici nelle creme solari, 66 – Le aurore boreali, 69
- 73    **3. Più nero non si può**  
Un esperimento al sole, 73 – Un esperimento all’ombra, 78 – Luce sul corpo nero, 80 – La legge di universalità, 81 – A caccia di spettri, 88 – Planck visita Rubens, 99
- 103   **4. Dentro la tana del Bianconiglio**  
In un bicchier d’acqua, 118 – Contare le carte, 121 – Il tempo non torna (quasi) mai indietro, 125 – Irreversibilità e calore, 129 – Un fisico che conta, 130 – Può un’onda fermarsi?, 137
- 147   **5. Le due facce dei fotoni**  
Lunga vita all’impudenza!, 148 – Luce: onda o particelle?, 158 – Navi spaziali al 90% della luce, 165
- 173   **6. La Luna esiste quando non la osservo?**  
L’ascesa di Heisenberg, 179 – Si insinua l’antirealismo, 198 – Schrödinger e la sua *psi*, 204 – Schrödinger, disperato, si pente, 216

221	<b>7. La caduta del realismo</b> Il Principio di Indeterminazione, 232 – Dio non gioca a dadi, 243 – Ricapitoliamo, 253 – Il senso profondo: Bohr e Heisenberg, 254 – Due domande e una poesia, 260 – La camminata quantistica, 263 – L'esperimento più bello della fisica, 270 – Da Emmy Noether a Heisenberg, 284
291	Epilogo
297	Ringraziamenti
299	Dello stesso autore

# I QUANTI IN TRE VOLUMI

Vista la grande ricchezza di concetti e l'abbondanza di applicazioni tecnologiche della meccanica quantistica, ho ritenuto opportuno dividere l'opera in tre volumi, per non essere costretto a sacrificare punti importanti o a parlarne con troppa superficialità. Ogni volume è a sé stante, così che potrai decidere in totale libertà di leggere solo un volume o di continuare anche con gli altri.

Ora stai leggendo il primo volume: qui è dove comincia il viaggio nel mondo dei quanti. Perché di un vero e proprio viaggio si tratta! Come Alice che entra nella tana del Bianconiglio e sbuca in un mondo retto da regole bizzarre, a inizio Novecento la comunità scientifica si ritrovò ad esplorare un mondo nuovo e sorprendente.

Con questo libro intendo guidarti nell'insolito regno della meccanica quantistica, raccontandone la fisica, la storia e la filosofia con cura dei dettagli e senza paura di entrare nel cuore dei concetti. Vorrei fornire insomma un resoconto rigoroso, pur mantenendo al contempo un linguaggio accessibile a tutti, anche a chi non si occupa di scienza. Ecco una breve descrizione del contenuto dei tre volumi:

## **Volume I: La prima rivoluzione quantistica**

Partiamo da Planck e Einstein, che hanno scoperto ed aperto la porta sul mondo dei quanti, e arriviamo fino allo sviluppo della meccanica quantistica di Heisenberg e di Schrödinger, nel 1925 e 1926 rispettivamente, e al celeberrimo Principio di Indeterminazione di Heisenberg del 1927. Affianchiamo in seguito Bohr, Heisenberg, Born e altri padri della meccanica quantistica nella loro ricerca del senso profondo della realtà.

La *prima rivoluzione quantistica* è, appunto, quella che porta allo sviluppo di uno strumento formale con il quale capire il mondo

microscopico, fare calcoli accurati e predire o spiegare l'esito di esperimenti. Si tratta della meccanica quantistica insegnata ancora oggi all'Università.

Come disse Heisenberg, il Congresso Solvay del 1927 “chiuse questo meraviglioso periodo della storia della teoria atomica”<sup>1</sup>. È sempre durante questa prima rivoluzione quantistica che prende vita, come vedremo, la visione filosofica *antirealista*, suggerita dalla matematica di Heisenberg e respinta con forza da Einstein e Schrödinger.

## **Volume II: L'intricazione quantistica**

Quando la visione di Heisenberg e della scuola di Copenaghen sembrava ormai sedere su solide basi, arrivarono due attacchi alla meccanica quantistica da parte di Einstein e di Schrödinger nel 1935, a poche settimane di distanza tra loro. Schrödinger introduce per la prima volta il concetto di intricazione quantistica (*quantum entanglement*, in inglese) e sia lui sia Einstein ne fanno ampio uso nelle loro critiche, in cui cercano di dimostrare che la meccanica quantistica non è completa, ovvero che vi sarebbero elementi di realtà che essa non coglie. L'intricazione quantistica è, secondo molti, il fenomeno quantistico per eccellenza.

Questi tentativi dei realisti, capeggiati da Einstein e Schrödinger, di dimostrare che la meccanica quantistica non fosse il capitolo finale, ma che sarebbe esistita una teoria più completa, portarono a una comprensione molto più profonda della stessa meccanica quantistica e del mondo microscopico. Si tratta di un percorso che abbraccia quasi cento anni, dal 1935 ai giorni nostri, dagli esperimenti storici sull'intricazione quantistica a interpreta-

---

1. W. Heisenberg, “Quantum theory and its interpretation”, in S. Rozental, “Niels Bohr: his life and work seen by his friends and colleagues”, North-Holland, Amsterdam (1967). Riportato anche in: J. A. Wheeler and W. H. Zurek (eds.), “Quantum Theory and Measurement”, Princeton University Press. pp. 57-61 (1983)



Il simbolo  $\Psi$  (si legge “psi”) è la lettera greca che Schrödinger propose nel 1926 per rappresentare atomi, particelle elementari e sistemi microscopici in generale. È probabilmente il simbolo per antonomasia della meccanica quantistica.

zioni alternative, come quella dei Molti Mondi. Ci occuperemo anche del futuro della meccanica quantistica e di come essa possa essere unita alla relatività di Einstein nella cosiddetta *gravità quantistica*.

### **Volume III: La seconda rivoluzione quantistica**

L'applicazione della meccanica quantistica nei campi più disparati ha portato, all'inizio del XXI secolo, alla cosiddetta *seconda rivoluzione quantistica*, in cui gli effetti quantistici entrano nella vita quotidiana: dai treni proiettile a levitazione magnetica ai materiali superfluidi, dagli orologi atomici alla possibilità di vedere dentro vulcani e piramidi usando particelle elementari.

Entreremo anche nel vivo dell'incursione più famosa della meccanica quantistica nella tecnologia, scoprendo come funzionano i computer quantistici ed entrando dentro un chip quantistico. Inoltre, grazie alla comprensione del teletrasporto e della crittografia quantistica, vedremo anche come scienziati e scienziate di tutto il mondo stiano lavorando alla costruzione di un internet quantistico.