

Lorenzo Maccone Luca Salasnich

Fisica moderna

# **Meccanica quantistica, caos e sistemi complessi**

A cura di Gianluca Intrizzi



Carocci editore

**Premessa 11**  
di *Giandomenico Introvizi*

**Parte prima. Meccanica quantistica: un approccio contemporaneo 13**  
di *Lorenzo Maccone*

1. **Le regole del gioco: i postulati della meccanica quantistica 15**
  1. Cos'è un sistema formale? 15
  2. Postulato degli stati 16
    - 2.1. Il qubit: il sistema quantistico più semplice
  3. Postulato dei sistemi composti 22
  4. Postulato di evoluzione 23
  5. Evoluzione di stati misti 25
  6. Postulato di misura 26
    - 6.1. Misure d'ensemble / 6.2. Teorema di Gleason / 6.3. Teorema di Neumark / 6.4. Stato di un sottosistema: la traccia parziale
  7. Collaudo della funzione d'onda 36
    - 7.1. Evoluzione di sistemi aperti
  8. **Principio di corrispondenza 42**
    - 8.1. Evoluzione in pittura di Heisenberg / 8.2. Principio di corrispondenza
2. **"Paradossi" quantistici 47**
  1. La decoerenza: una giustificazione del postulato di misura? 47
  2. Il gatto di Schrödinger 49
  3. "Principio" di indeterminazione 53
  4. La svista di Heisenberg 53
  5. Relazioni di indeterminazione 55
    - 5.1. Indeterminazione tempo-energia

6.	"Principio" di complementarietà	59
7.	Visione al buio quantistica	63
8.	Esperimenti a scelta posticipata: viaggio nel tempo?	65
9.	La misura è irreversibile? Il quantum erasure	66
9.1.	Diseguaglianza di Greenberger-Yasin	
10.	Meccanica quantistica e causalità	69
11.	Principio di causalità	70
12.	Non-località einsteiniana e non-località causale	72
13.	Entanglement: super-correlazioni quantistiche	73
14.	"Paradosso" EPR	74
15.	Le diseguaglianze di Bell: il fallimento del sogno di Einstein	75
16.	Il teorema GHZ: misure non compiute non hanno risultato	80

**3. Tecnologie quantistiche e nuove teorie dell'informazione 83**

1.	Informazione quantistica e teletrasporto	83
1.1.	Informazione quantistica: vietato copiare / 1.2. Codifica superdensa / 1.3. Teletrasporto	
2.	Crittografia quantistica: segreti inviolabili	89
3.	Computazione quantistica	92
3.1.	Quantum error correction	
4.	Metrologia quantistica	95

**4. Conclusioni della parte prima 99**

**Appendici della parte prima 101**

A.	Vettori e matrici: il formalismo di Dirac	101
A.1.	Vettori e matrici / A.2. Prodotti di vettori e matrici / A.3. Spazio di Hilbert / A.4. Commutatore / A.5. Prodotto tensore	
B.	Numeri complessi	104
C.	Cos'è un bit?	106
C.1.	perché l'entropia quantifica l'informazione? / C.2. Il qubit	

**Parte seconda. Caos in meccanica classica e quantistica 111**  
di Luca Salasnich

**5. Il determinismo 113**

- 6. Dal determinismo meccanicista al caos deterministico 117
    - 1 Meccanica newtoniana e meccanica analitica 117
    - 2 Poincaré e il caos deterministico 122
    - 3 La riscoperta del caos: da Fermi al CRAY 123
  - 7. Sistemi dinamici e caos 129
    - 1 Sistemi dinamici e gerarchia del caos 129
    - 2 Sistemi hamiltoniani integrabili e quasi integrabili 136
    - 3 Caos e meccanica quantistica 141
  - 8. Conclusioni della parte seconda 145
- Parte terza. Sistemi complessi e fenomeni quantistici macroscopici 147**  
di *Luca Salamich*
- 9. Riduzionismo e complessità 149
  - 10. Lo scontro tra energetismo e meccanicismo 153
    - 1 Termodinamica 153
    - 2 Teoria cinetica dei gas di Maxwell e Boltzmann 159
    - 3 Meccanica statistica di Gibbs 164
  - 11. Fenomeni emergenti: Landau e il parametro d'ordine 167
    - 1 Transizioni di fase del primo e del secondo ordine 167
    - 2 Le transizioni di fase secondo Landau 169
    - 3 Fenomeni critici e leggi di potenza 172
  - 12. Fenomeni quantistici macroscopici 175
    - 1 Degenerazione e statistiche quantistiche 175
    - 2 Condensazione di Bose-Einstein 178
    - 3 Superfluidità 183
    - 4 Superconduttrività 191

13. Conclusioni della parte terza 201

Ringraziamenti 203

Bibliografia 205

Indice analitico 213