

# Indice

p. 13 Presentazione

## Oltre i confini della meccanica classica

17 Capitolo 1

*I successi e i limiti della fisica classica*

1.1. Cosa è la fisica?, 17

1.2. La fisica classica, 18

1.3. Le regole generali della fisica classica, 21

1.4. Le forze, 22

1.5. I modelli semiclassici, 25

1.6. Il principio di corrispondenza 26

29 Capitolo 2

*La struttura della materia e della radiazione*

2.1. Oltre la fisica classica, 29

2.2. Vedere gli atomi, 29

2.3. Laboratorio di teoria: a caccia di un modello per calcolare le dimensioni degli atomi, 31

2.4. L'interazione radiazione-materia nel laboratorio didattico, 36

2.5. La meccanica quantistica, 39

2.6. Le stranezze, 41

2.7. I prossimi capitoli, 43

## Livello 1

*La costante di Planck e la quantizzazione dell'energia*

47 Capitolo 3

*La misura della costante di Planck nel laboratorio didattico*

3.1. Il LED, 47

- 3.2. Laboratorio di elettronica: la caratteristica IV dei LED, 48
  - 3.3. Il significato fisico di  $V_s$ , 50
  - 3.4. Laboratorio didattico: la misura della costante di Planck, 52
  - 3.5. Quanto vale  $h$ ?, 57
- p. 57 Capitolo 4  
*Il fotone*
- 4.1. La relazione  $E = hv$ , 57
  - 4.2. Emissione e assorbimento di fotoni, 59
  - 4.3. Lo spettro della radiazione elettromagnetica, 60
  - 4.4. La luce impulsata, 61
  - 4.5. Il danno da radiazione, 63
- 67 Capitolo 5  
*Il laser*
- 5.1. Cos'è il laser, 67
  - 5.2. Dal LED al laser, 69
  - 5.3. Le caratteristiche tecniche dei laser, 71
  - 5.4. Impulsi laser, 73
- 77 Capitolo 6  
*I livelli di energia dell'atomo di idrogeno*
- 6.1. La spettroscopia atomica, 77
  - 6.2. La misura di spettroscopia ottica nel laboratorio didattico, 78
  - 6.3. Lo spettro dell'idrogeno, 80
  - 6.4. La formula di Rydberg e l'interpretazione di Bohr, 81
  - 6.5. Come si eccita l'atomo di idrogeno, 84
  - 6.6. Gli stati liberi, 84
- Livello 2**  
***Le leggi del caso***
- 89 Capitolo 7  
*La meccanica statistica*
- 7.1. Un capitolo speciale, 89
  - 7.2. La termodinamica classica, 90
  - 7.3. Le definizioni operative della meccanica statistica, 91
  - 7.4. L'entropia, 94
  - 7.5. I sistemi isolati, 95

- 7.6. I sistemi a contatto con l'ambiente, 97  
7.7. La meccanica statistica e la meccanica quantistica, 100
- p. 103 Capitolo 8  
*Il mitico corpo nero e l'energia solare*  
8.1. Cos'è il corpo nero, 103  
8.2. Una misura nel laboratorio didattico, 105  
8.3. La formula di Planck, 109  
8.4. La legge di Wien e il colore delle stelle, 111  
8.5. Il bilancio energetico, 114  
8.6. L'energia solare, 116  
8.7. L'intensità della radiazione solare al suolo, 117
- 119 Capitolo 9  
*Il mondo microscopico*  
9.1. L'azione meccanica, 119  
9.2. Cosa distingue il mondo macroscopico dal mondo microscopico, 120  
9.3. Altri due modi di calcolare l'azione meccanica caratteristica, 123  
9.4. Lilliput e Brobdingnag, 124
- 127 Capitolo 10  
*Il principio di indeterminazione e le leggi del caso*  
10.1. Lo spazio delle fasi in meccanica classica, 127  
10.2. Un'esperienza nel laboratorio didattico, 128  
10.3. Il principio di indeterminazione, 133  
10.4. La dinamica dei sistemi quantistici, 136  
10.5. La morale della favola, 137
- 141 Capitolo 11  
*Le distribuzioni di probabilità in meccanica quantistica*  
11.1. Perché parlare di probabilità, 141  
11.2. La definizione sperimentale di probabilità in meccanica classica, 141  
11.3. Statistica temporale e statistica di ensemble, 143  
11.4. Un esperimento di meccanica classica, 145  
11.5. Da un esperimento simulato alla teoria: le distribuzioni di probabilità, 147  
11.6. Un esperimento simulato: la particella nella scatola, 150  
11.7. La funzione d'onda, 153  
11.8. Dubbi e speranze, 154

## Livello 3

### *La struttura della materia*

- p. 159 Capitolo 12  
*Gli orbitali atomici e la funzione d'onda*
- 12.1. L'approccio quantistico alla struttura dell'atomo, 159
  - 12.2. Gli orbitali, 160
  - 12.3. La funzione d'onda, 163
  - 12.4. Una brevissima rassegna sperimentale, 164
  - 12.5. Analisi dei grafici: dall'orbitale al raggio di Bohr, 166
  - 12.6. Laboratorio di teoria: una stima del raggio di Bohr, 167
  - 12.7. Le scale di energia, quantità di moto, velocità, 169
  - 12.8. Orbite e orbitali, 169
- 173 Capitolo 13  
*Il momento angolare orbitale e lo spin*
- 13.1. Il momento angolare nel mondo micro, 173
  - 13.2. Il momento angolare dei corpi estesi in meccanica classica, 173
  - 13.3. Il momento angolare delle particelle quantistiche, 174
  - 13.4. Il principio di indeterminazione e il momento angolare, 176
  - 13.5. Il momento angolare orbitale in meccanica quantistica, 176
  - 13.6. Lo spin delle particelle elementari, 178
  - 13.7. Un esempio di conservazione del momento angolare, 179
  - 13.8. Il momento magnetico dell'elettrone, 180
- 183 Capitolo 14  
*La struttura elettronica dell'atomo di idrogeno*
- 14.1. Cosa abbiamo imparato dell'atomo di idrogeno? Cosa manca ancora?, 183
  - 14.2. Gli stati stazionari dell'atomo di idrogeno, 183
  - 14.3. Le rappresentazioni della struttura elettronica, 186
  - 14.4. Le transizioni ottiche e le leggi di conservazione: le regole di selezione, 186
- 189 Capitolo 15  
*Gli atomi con più elettroni*
- 15.1. Il modello a elettroni indipendenti, 189
  - 15.2. La struttura elettronica, 191
  - 15.3. Lo stato 1s, 193

- 15.4. L'effetto di schermaggio, 194
  - 15.5. L'energia dei livelli: il numero quantico  $n$ , 197
  - 15.6. L'energia dei livelli: il numero quantico  $\ell$ , 198
  - 15.7. L'energia di legame, 200
  - 15.8. Gli stati eccitati dell'atomo, 201
- p. 205 Capitolo 16  
*Le molecole*
- 16.1. Quanto sono grandi le molecole, 205
  - 16.2. Il legame chimico, 207
  - 16.3. Gli orbitali molecolari, 208
  - 16.4. Laboratorio di teoria: il meccanismo fisico che lega gli atomi, 210
  - 16.5. L'oscillatore quantistico, 211
  - 16.6. L'interazione delle molecole con la radiazione, 214
- 217 Capitolo 17  
*I solidi*
- 17.1. Cristalli e amorfi, 217
  - 17.2. Le proprietà strutturali dei cristalli, 218
  - 17.3. Le proprietà termiche dei cristalli, 219
  - 17.4. Le proprietà elettroniche dei cristalli, 220
  - 17.5. Gli stati localizzati e gli stati delocalizzati, 221
  - 17.6. La struttura elettronica dei cristalli, 223
  - 17.7. Metalli e isolanti, 225
- 227 Capitolo 18  
*L'effetto fotoelettrico e le proprietà ottiche dei metalli*
- 18.1. Le scale di energia, 227
  - 18.2. La banda di conduzione dei metalli: elettroni quasi liberi, 228
  - 18.3. L'effetto fotoelettrico, 230
  - 18.4. Le proprietà ottiche dei metalli, 233
- 237 Capitolo 19  
*La conduzione elettrica nei metalli*
- 19.1. La legge di Ohm, 237
  - 19.2. Elettroni in movimento, 237
  - 19.3. Lo scattering, 239
  - 19.4. Laboratorio di teoria: l'effetto del vento, 242
  - 19.5. Laboratorio di teoria: l'effetto del campo elettrico, 244

- 19.6. La corrente elettrica, 245
- 19.7. Torniamo alla legge di Ohm, 247
- 19.8. Contro cosa urtano gli elettroni?, 248
  
- p. 251 Capitolo 20  
*Gli isolanti e i semiconduttori*
  - 20.1. Un classico esperimento di elettrostatica, 251
  - 20.2. Pillole di elettrostatica dei metalli, 252
  - 20.3. Pillole di elettrostatica dei dielettrici, 253
  - 20.4. Le proprietà dei materiali, 255
  - 20.5. La fotoconducibilità, 256
  - 20.6. Le proprietà ottiche degli isolanti, 258
  - 20.7. I semiconduttori, 259
  - 20.8. Il doping, 260
  - 20.9. Le lacune, 262
  
- Livello 4**  
*La meccanica ondulatoria*
  
- 267 Capitolo 21  
*Onde*
  - 21.1. Dalla meccanica classica alla meccanica quantistica, 267
  - 21.2. La fenomenologia delle onde nel laboratorio didattico, 269
  - 21.3. Cosa spostano le onde?, 270
  - 21.4. Il problema del supporto, 272
  - 21.5. Laboratorio di teoria: onde come funzioni matematiche, 273
  - 21.6. I fronti d'onda e la velocità di fase, 275
  - 21.7. Onde su campi scalari e onde su campi vettoriali, 277
  
- 281 Capitolo 22  
*Dalle onde monocromatiche al pacchetto d'onda*
  - 22.1. Laboratorio di teoria: la matematica delle onde, 281
  - 22.2. Le onde impulsive, 283
  - 22.3. Le onde monocromatiche, 284
  - 22.4. Il pacchetto d'onda, 286
  - 22.5. L'analisi di Fourier, 287
  - 22.6. La meccanica ondulatoria, 290
  - 22.7. Un esperimento didattico di analisi dati, 291
  - 22.8. Il principio di indeterminazione per il pacchetto d'onda, 292

- p. 295 Capitolo 23  
*Onda e particella*
- 23.1. Oggetti quantistici come pacchetti d'onda, 295
  - 23.2. L'esperimento della doppia fenditura nel laboratorio didattico, 295
  - 23.3. Una breve rassegna sperimentale, 298
  - 23.4. Le relazioni di de Broglie, 300
  - 23.5. La lunghezza d'onda degli oggetti, 301
  - 23.6. L'interazione coerente, 303
- 307 Capitolo 24  
*La funzione d'onda*
- 24.1. Onda e particella, 307
  - 24.2. L'interpretazione stocastica della funzione d'onda, 308
  - 24.3. La regola di Born, 309
  - 24.4. Laboratorio di teoria: l'interpretazione dei grafici, 311
  - 24.5. Laboratorio di teoria: la barriera di potenziale in meccanica classica, 313
  - 24.6. L'effetto tunnel, 314
  - 24.7. Le equazioni della meccanica quantistica, 316
- 319 Capitolo 25  
*Onde stazionarie e particelle in scatola*
- 25.1. La domanda di ricerca, 319
  - 25.2. Un esperimento nel laboratorio didattico, 319
  - 25.3. Laboratorio di teoria: un modello interpretativo, 322
  - 25.4. Anche in fisica classica c'è la quantizzazione!, 323
  - 25.5. Elettroni come onde in scatola, 324
  - 25.6. Il modello quantistico di particella nella scatola, 326
  - 25.7. La funzione d'onda della particella nella scatola, 328
  - 25.8. Il principio di indeterminazione per la particella nella scatola, 329
- 331 Capitolo 26  
*La misura quantistica e il collasso della funzione d'onda*
- 26.1. La polarizzazione della luce, 331
  - 26.2. Un esperimento didattico, 332
  - 26.3. L'interpretazione classica, 336
  - 26.4. Un esperimento di pensiero, 337
  - 26.5. Le misure quantistiche, 338
  - 26.6. La seconda legge di Born, 340

- 26.7. Il collasso della funzione d'onda, 341
- 26.8. Il teorema di Bell, 342
- 26.9. Gli assiomi della meccanica quantistica, 344
- 26.10. Le interpretazioni della meccanica quantistica, 345