

Carlo Cosmelli
Fisica per filosofi
Percorsi storico-filosofici di Paolo Pecere

Indice esteso

Prefazione 11

Elenco delle grandezze e dei simboli 15

Introduzione 19

I principi della fisica di *Carlo Cosmelli* 19

Sui *Percorsi storico-filosofici* di *Paolo Pecere* 23

1. Fisica: linguaggio, termini e definizioni 27

1.1. Il gioco delle parti: di cosa parleremo, come e perché 27

1.1.1. Palcoscenico: dove si svolge l'azione scenica 27

1.1.2. Attori (chi è di scena) e con che cosa comunicano (i linguaggi) 27

1.1.3. Le regole del gioco 30

1.1.4. Gli strumenti 30

1.1.5. Le teorie che verranno messe in scena nell'ordine temporale in cui furono scritte 31

1.2. Linguaggio e ipotesi di base 33

1.2.1. Teoremi, principi, leggi fisiche, leggi fenomenologiche 34

1.2.2. Ipotesi di base 36

1.2.3. Sistemi di riferimento 39

1.2.4. Lo stato di un sistema 42

1.3. Nota. Grandezze fisiche 42

1.4. Nota formale. Variazioni, derivate, somme 44

1.4.1. Il significato di variazione di una grandezza 44

1.4.2. Il significato di variazione di una grandezza in funzione di un'altra 45

1.4.3. La velocità media 45

1.4.4. Il significato di derivata di una grandezza. La velocità istantanea 46

1.4.5. L'accelerazione 46

1.4.6. Somme 46

❖ Percorso storico-filosofico 1. Fisica, meccanica, filosofia sperimentale 47

2. Meccanica classica 53

2.1. La meccanica classica: introduzione 54

2.2. Il primo principio della dinamica: il principio di inerzia 55

2.2.1. Definizione di velocità 55

2.2.2. Definizione di forza 56

2.2.3. Rispetto a quale sistema di riferimento sono misurate le grandezze presenti nel primo principio della dinamica? 60

2.2.4. Un altro modo di scrivere il primo principio della dinamica 62

❖ Percorso storico-filosofico 2. Spazio, movimento naturale e inerzia 63

2.3. Il secondo principio della dinamica 67

2.3.1. Definizione classica di massa 67

2.3.2. Come leggere $F=ma$ 68

- 2.3.3. Definizione di quantità di moto 69
- 2.3.4. Nota 1. Perché è importante usare la forma del secondo principio della dinamica in cui c'è la quantità di moto \bar{p} 70
- 2.3.5. Nota 2. Cosa succede se un corpo non è a simmetria sferica, oppure non è piccolo? 71
- 2.3.6. Nota 3. Non tutte le grandezze sono sommabili aritmeticamente 71
- 2.4. Il terzo principio della dinamica 72
 - 2.4.1. Un principio di conservazione ricavato dal terzo principio della dinamica 73
- 2.5. Relatività e invarianza galileiane 74
 - 2.5.1. Trasformazioni galileiane 74
- 2.6. Principi, leggi, leggi fenomenologiche 77
 - 2.6.1. Come funzionano i principi e le leggi 81
- 2.7. Massa inerziale e massa gravitazionale: il principio di equivalenza 81
- 2.8. L'energia. 1 83
 - 2.8.1. L'energia meccanica 85
 - 2.8.2. Nota. I termini che formano l'energia meccanica 87
 - 2.8.3. Conservazione dell'energia meccanica 89
- 2.9. Compendio di meccanica classica 90

❖ Percorso storico-filosofico 3. Meccanicismo e forza di gravità 92

- 3. Termodinamica 97
 - 3.1. Introduzione: qual è il problema e quale la sua soluzione 97
 - 3.1.1. Un altro punto di partenza: reversibilità e irreversibilità 99
 - 3.1.2. L'approccio della termodinamica 100
 - 3.2. I principi della termodinamica in breve 102
 - 3.2.1. Le approssimazioni che faremo 103
 - 3.3. Definizioni di alcune delle grandezze utilizzate in termodinamica 103
 - 3.3.1. La temperatura T 104
 - 3.3.2. Il volume V 107
 - 3.3.3. La pressione (di un gas) p 107
 - 3.3.4. Lo stato termodinamico di un sistema 108
 - 3.3.5. Variabili e funzioni di stato di un sistema fisico 108
 - 3.3.6. L'energia E in termodinamica 109
 - 3.3.7. L'energia interna U di un sistema 110
 - 3.3.8. Il calore scambiato Q 111
 - 3.3.9. Il lavoro L 112
 - 3.3.10. Ciclo termodinamico 112
 - 3.4. Il primo principio della termodinamica 113
 - 3.4.1. La conservazione dell'energia in meccanica e in termodinamica e l'impossibilità del moto perpetuo di prima specie 114
 - 3.5. L'energia. 2 116
 - 3.6. Il secondo principio della termodinamica 116
 - 3.6.1. Processi termodinamicamente reversibili o irreversibili 117
 - 3.6.2. Il secondo principio della termodinamica: enunciati di Kelvin-Planck e di Clausius 118
 - 3.6.3. Il ciclo di Carnot
 - 3.6.4. Il teorema di Carnot
 - 3.6.5. Conseguenze del secondo principio della termodinamica e del teorema di Carnot 121
 - 3.7. L'entropia 122
 - 3.7.1. L'entropia: definizione termodinamica classica 124
 - 3.8. Entropia e probabilità 127
 - 3.8.1. Cenni di teoria della probabilità 128

- 3.8.2. Calcolo dell'entropia con la formula di Boltzmann
- 3.9. Il diavoleto di Maxwell 138
- 3.10. Entropia e informazione: un accenno 139
- 3.11. Il terzo principio della termodinamica: teorema di Nernst 145
- 3.12. Il principio zero della termodinamica 146

❖ Percorso storico-filosofico 4. Unità della natura e conservazione dell'energia 147

- 4. Elettromagnetismo 153
 - 4.1. Introduzione 154
 - 4.2. Una nuova proprietà: la carica elettrica 154
 - 4.2.1. Proprietà della carica elettrica 155
 - 4.2.2. Interazione fra cariche elettriche ferme: la legge di Coulomb 155
 - 4.2.3. Calcolo dell'interazione elettrica/gravitazionale fra due persone 158
 - 4.2.4. Nota matematica. Come si moltiplicano i vettori 160
 - 4.3. Il concetto di campo 161
 - 4.3.1. Cariche elettriche in moto con velocità costante 164
 - 4.3.2. Un'incongruenza della teoria 165
 - 4.3.3. Cariche elettriche in moto con velocità non costante 166
 - 4.4. Le equazioni di Maxwell 167
 - 4.4.1. La velocità della luce
 - 4.5. Il concetto di unificazione delle interazioni 173
 - 4.6. Onde 174
 - 4.6.1. Alcuni fenomeni che avvengono con le onde 180

❖ Percorso storico-filosofico 5. Moto assoluto, spazio assoluto ed etere 183

- 5. Teoria della relatività speciale 189
 - 5.1. Il punto della situazione in fisica agli inizi del Novecento 189
 - 5.1.1. Il problema della velocità della luce: l'esperimento di Michelson e Morley
 - 5.1.2. Spire, magneti e correnti indotte 194
 - 5.2. La teoria della relatività speciale 196
 - 5.2.1. I due principi della relatività speciale 198
 - 5.3. Il risultato matematico: le trasformazioni di Lorentz 200
 - 5.4. Conseguenze delle trasformazioni di Lorentz 204
 - 5.4.1. Somma di velocità 205
 - 5.4.2. Contrazione delle lunghezze 208
 - 5.4.3. Dilatazione dei tempi 209
 - 5.4.4. Il mistero dei muoni atmosferici 211
 - 5.5. Lo spazio-tempo 213
 - 5.5.1. Grafici spazio-temporali
 - 5.5.2. Spazio-tempo di Minkowski 216
 - 5.5.3. Il cono di luce 219
 - 5.5.4. Problemi di causalità 220
 - 5.5.5. Il paradosso dei gemelli 223
 - 5.6. La velocità della luce nel vuoto: è veramente la massima possibile, ma non raggiungibile, per un corpo di massa diversa da zero? 224
 - 5.7. $E = mc^2$ 226
 - 5.8. Nota conclusiva sulla relatività speciale 229
 - 5.8.1. Che fine hanno fatto le asimmetrie magneti/spire? 229
 - 5.8.2. Grandezze invarianti 231
 - 5.8.3. Fotoni in un campo gravitazionale 232

- ❖ Percorso storico-filosofico 6. Tempo assoluto, tempo relativo, tempo soggettivo 233
- 6. Teoria della relatività generale 237
 - 6.1. Introduzione 237
 - 6.2. Struttura dell'articolo originale di Einstein del 1916 238
 - 6.3. La gravità e altri problemi della meccanica classica 241
 - 6.3.1. Equivalenza fra massa inerziale e massa gravitazionale 242
 - 6.3.2. La seconda legge della dinamica in sistemi non inerziali e l'esperimento mentale dell'ascensore 243
 - 6.4. I due principi della relatività generale e il principio di Mach 245
 - 6.5. Un nuovo concetto: lo spazio-tempo curvo è reale 246
 - 6.5.1. Lo spazio-tempo è curvato dalle masse 248
 - 6.6. Conseguenze delle equazioni del campo di Einstein 250
 - 6.6.1. Un effetto quotidiano. Il GPS
 - 6.7. L'ultima previsione verificata: le onde gravitazionali 253
 - 6.7.1. Cosa sono le onde gravitazionali e come sono state rivelate 253
- ❖ Percorso storico-filosofico 7. Spazio e geometria 254
- 7. Meccanica quantistica 259
 - 7.1. Introduzione 260
 - 7.1.1. La meccanica quantistica: una teoria completamente nuova 261
 - 7.1.2. Dichiarazioni e affermazioni varie sulla meccanica quantistica 261
 - 7.1.3. Nascita e primi passi della meccanica quantistica: Planck, Einstein, Bohr, de Broglie 263
 - 7.2. I principi della meccanica quantistica 272
 - 7.2.1. La funzione d'onda 274
 - 7.2.2. Il significato della probabilità in meccanica quantistica 280
 - 7.2.3. Il principio di indeterminazione 281
 - 7.2.4. Il principio di esclusione di Pauli 287
 - 7.3. Un esperimento famoso: le due fenditure 288
 - 7.3.1. La dualità onda-particella
 - 7.4. Come si utilizza la funzione d'onda; il gatto di Schrödinger e il *tunneling* quantistico 302
 - 7.4.1. Come si lavora con la funzione d'onda: le misure su di un sistema fisico 302
 - 7.4.2. Principio di sovrapposizione delle onde 303
 - 7.4.3. Decomposizione spettrale. Luce polarizzata 305
 - 7.4.4. Un fotone più un polarizzatore: l'interpretazione della meccanica quantistica 308
 - 7.4.5. Il gatto di Schrödinger 310
 - 7.4.6. Il *tunneling* quantistico 312
 - 7.5. L'articolo di Einstein, Podolsky e Rosen: la meccanica quantistica è incompleta 313
 - 7.5.1. La notazione di Dirac 315
 - 7.5.2. L'esperimento EPR 317
 - 7.5.3. Stati fattorizzati 317
 - 7.5.4. Stati *entangled* 319
 - 7.5.5. La dimostrazione di Einstein, Podolsky e Rosen dell'incompletezza della meccanica quantistica 321
 - 7.5.6. L'EPR, alcuni commenti dei protagonisti 323
 - 7.6. Le disuguaglianze di Bell 325
 - 7.7. La vita di un sistema quantistico interlacciato 333
 - 7.8. La non località oggi. Crittografia quantistica 336
 - 7.9. Il teorema di Noether 337

- ❖ Percorso storico-filosofico 8. Determinismo, caso, libero arbitrio: la discussione sulla fisica quantistica 339
- ❖ Percorso storico-filosofico 9. Atomi, particelle e onde: com'è fatta la materia 343

- 8. Oggi 349
 - 8.1. Compendio 349
 - 8.2. I mattoni: il modello standard e la relatività generale 349
 - 8.2.1. Campi o particelle? La teoria quantistica dei campi 353
 - 8.3. Che cosa è la massa? 354
 - 8.4. Cosmologia. Il principio cosmologico 356
 - 8.4.1. Cronologia dell'universo. Il modello Λ -CDM 358
 - 8.5. Alcune delle domande a cui vorremmo rispondere 359

- Note 361
- Bibliografia 371
- Indice analitico 377