

risolvere un problema potrà essere necessario utilizzare concetti introdotti precedentemente. I problemi di abilità sono tratti dalla sezione a risposte libere degli *Advanced Placement Examination*.

In generale, è buona prassi di tentare dapprima di risolvere un problema in forma simbolica oppure algebrica e di inserire i valori numerici soltanto alla fine. Se non riuscite a risolvere un problema assegnato in un tempo ragionevole lasciatelo da parte e riprovate in un secondo tempo. Per quei pochi problemi che non riuscite a risolvere, dovrete cercare un aiuto. Il libro *How to Solve It* (seconda edizione), di G. Polya (Garden City, N.Y.: Doubleday, 1957) potrà esservi di guida, insegnandovi il *metodo* per risolvere i problemi.

La fisica è una scienza quantitativa che, per esprimere le sue leggi, necessita della matematica. Tutta la matematica utilizzata in questo libro può essere trovata in un normale testo di algebra, che dovrete consultare ogni volta che non comprenderete un procedimento matematico. Per nessun motivo dovrete sentirvi scoraggiati da qualche difficoltà matematica; se avrete qualche difficoltà in questo campo, consultate il vostro docente, oppure qualche studente più preparato. Per il fisico e per l'ingegnere la matematica è uno strumento ed è di importanza secondaria per comprendere i concetti fisici. Per vostra comodità, alcune delle relazioni matematiche più importanti sono riportate in un'appendice al termine del libro.

Tutti i calcoli fisici devono essere eseguiti utilizzando un appropriato sistema di unità di misura. In questo libro si fa uso del SI (sistema internazionale). Potrete, dapprima, trovarlo scomodo; esso tuttavia richiede soltanto un piccolo sforzo per essere maneggiato con facilità. Esso, inoltre, è il sistema utilizzato in tutti i più importanti laboratori di ricerca del mondo, e sta diventando di uso generale in tutte le pubblicazioni scientifiche più importanti. Sarà buona prassi utilizzare sin dall'inizio un calcolatore meccanico oppure elettronico; la precisione di questi strumenti e la possibilità che essi vi offrono di ottenere risultati intermedi, vi risparmierà parecchie ore di calcolo. I regoli calcolatori meccanici, anche i più semplici, hanno una precisione sino alla terza cifra, che, in generale, è sufficiente per i problemi contenuti in questo testo. I calcolatori elettronici tascabili hanno una precisione molto maggiore e costituiscono uno strumento indispensabile per lo scienziato del futuro.

Nel testo non viene dato grande rilievo agli aspetti storici della fisica. Per gli studenti interessati all'evoluzione delle idee nella fisica, in un contesto storico, sono disponibili numerosi testi specializzati. In particolare, raccomandiamo il bel libro di Holton e Roller, *Foundations of Modern Physical Science*, seconda edizione (Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1973).

Sommario

1 Interazioni di tipo elettrico, 5

1.1 Introduzione, 6; 1.2 La carica elettrica, 7; 1.3 Legge di Coulomb, 9; 1.4 Il campo elettrico, 11; 1.5 Quantizzazione della carica elettrica, 18; 1.6 Il potenziale elettrico, 20; 1.7 Potenziale elettrico di una carica puntiforme, 23; 1.8 Bilanci energetici nei campi elettrici, 26; 1.9 La corrente elettrica, 28; 1.10 Il dipolo elettrico, 29; 1.11 Multipli elettrici, 36.

2 Campi elettrici statici, 49

2.1 Introduzione, 50; 2.2 Flusso di un campo vettoriale, 50; 2.3 La legge di Gauss per il campo elettrico, 52; 2.4 La legge di Gauss in forma differenziale, 58; 2.5 Polarizzazione della materia, 63; 2.6 Lo spostamento elettrico, 66; 2.7 Calcolo della suscettibilità elettrica, 69; 2.8 Capacità elettrica; condensatori, 76; 2.9 Energia del campo elettrico, 79.

3 Circuiti elettrici, 91

3.1 Introduzione, 92; 3.2 Conduttività elettrica; la legge di Ohm, 92; 3.3 Origine della resistenza elettrica, 94; 3.4 L'effetto Joule, 97; 3.5 Conduttori, isolanti e semiconduttori, 99; 3.6 Forza elettromotrice, 103; 3.7 Conduttori non-ohmici, 108.

4 Interazione magnetica, 115

4.1 Introduzione, 116; 4.2 Forza magnetica su una carica in moto, 117; 4.3 Moto di una carica in un campo magnetico, 120; 4.4 Esempi di moto di particelle cariche in un campo magnetico, 128; 4.5 Campo magnetico di una carica in moto (non relativistico), 134; 4.6 Elettromagnetismo e principio di relatività, 136; 4.7 Il campo elettromagnetico di una carica in moto (relativistico), 139; 4.8 Interazione elettromagnetica tra due cariche in moto, 142.

5 Campi magnetici e correnti elettriche, 157

5.1 Introduzione, 158; 5.2 Forza magnetica su una corrente elettrica, 158; 5.3 Coppia magnetica su una corrente elettrica chiusa, 160; 5.4 Campo magnetico prodotto da una spira di corrente chiusa, 163; 5.5 Campo magnetico di una corrente rettilinea,

164; 5.6 Forze tra correnti, 168; 5.7 Nota sulle unità di misura SI, 169; 5.8 Campo magnetico di una spira di corrente circolare, 171.

6 Il campo magnetico statico, 183

6.1 Introduzione, 184; 6.2 La legge di Ampère per il campo magnetico, 184; 6.3 La legge di Ampère in forma differenziale, 188; 6.4 Il flusso magnetico, 191; 6.5 Magnetizzazione della materia, 191; 6.6 Il campo magnetizzante, 193; 6.7 Calcolo della suscettibilità magnetica, 196; 6.8 Riassunto delle leggi per campi statici, 201.

7 La struttura elettrica della materia, 205

7.1 Introduzione, 206; 7.2 Interazioni elettriche in atomi e molecole, 206; 7.3 Struttura dell'atomo, 209; 7.4 Livelli di energia elettronica; teoria di Bohr, 217; 7.5 Momento di dipolo magnetico causato dal moto orbitale di una particella carica, 221; 7.6 Coppia e energia di una particella carica in moto in un campo magnetico; quantizzazione nello spazio, 223.

8 Il campo elettromagnetico dipendente dal tempo, 231

8.1 Introduzione, 232; La legge di Faraday-Henry, 232; 8.3 Il betatrone, 236; 8.4 L'introduzione elettromagnetica dovuta al moto relativo di un conduttore e di un campo magnetico, 239; 8.5 L'induzione elettromagnetica ed il principio di relatività, 241; 8.6 Potenziale elettrico e induzione elettromagnetica, 242; 8.7 La legge di Faraday-Henry forma differenziale, 243; 8.8 Il principio di conservazione della carica, 245; 8.9 La legge di Ampère-Maxwell, 246; 8.10 La legge di Ampère-Maxwell in forma differenziale, 249; 8.11 Le equazioni di Maxwell, 251.

9 Circuiti elettrici in condizioni dipendenti dal tempo, 261

9.1 Introduzione, 262; 9.2 L'autoinduzione, 262; 9.3 L'energia del campo magnetico, 267; 9.4 Oscillazioni elettriche libere in un circuito, 270; 9.5 Oscillazioni forzate in un circuito, 272; 9.6 Circuiti accoppiati, 276; 9.7 Osservazioni conclusive, 279.

10 Moto ondulatorio: onde elastiche, 289

10.1 Introduzione, 290; 10.2 Descrizione matematica del moto ondulatorio, 291; 10.3 Analisi di Fourier del moto ondulatorio, 295; 10.4 Equazione differenziale del moto ondulatorio, 299; 10.5 Onde elastiche in una sbarra solida, 300; 10.6 Onde di pressione in una colonna di gas, 305; 10.7 Onde trasversali in una corda, 310; 10.8 Onde superficiali in un liquido, 315; 10.9 Che cosa si propaga in un moto ondulatorio, 319; 10.10 Velocità di gruppo, 323; 10.11 L'effetto Doppler, 325; 10.12 Onde in due e tre dimensioni, 329; 10.13 Onde sferiche in un fluido, 333.

11 Onde elettromagnetiche, 343

11.1 Introduzione, 344; 11.2 Onde elettromagnetiche piane, 344; 11.3 Energia e quantità di moto di un'onda elettromagnetica, 349; 11.4 Irraggiamento da un dipolo elettrico oscillante, 353; 11.5 Irraggiamento da un dipolo magnetico oscillante, 358; 11.6 Irraggiamento da multipli oscillanti di ordine superiore, 361; 11.7 Radiazione da una carica oscillante, 362.

12 Interazione della radiazione elettromagnetica con la materia, 373

12.1 Introduzione, 374; 12.2 Assorbimento della radiazione elettromagnetica, 374; 12.3 Diffusione di radiazione elettromagnetica da elettroni legati, 376; 12.4 Diffusione di radiazione elettromagnetica da un elettrone libero; effetto Compton, 378; 12.5 Fotoni, 382; 12.6 Ancora sui fotoni: l'effetto fotoelettrico, 387; 12.7 Propagazione di onde elettromagnetiche nella materia: dispersione, 389; 12.8 Effetto Doppler per onde elettromagnetiche, 393; 12.9 Lo spettro della radiazione elettromagnetica, 399.

13 Riflessione e rifrazione, 409

13.1 Introduzione, 410; 13.2 Principio di Huygens, 410; 13.3 Teorema di Malus, 413; 13.4 Riflessione e rifrazione di onde piane, 414; 13.5 Riflessione e rifrazione di onde sferiche, 419; 13.6 Ancora sulle leggi della riflessione e rifrazione, 421; 13.7 Riflessione e rifrazione su superfici metalliche, 427; 13.8 Propagazione in un mezzo non omogeneo; principio di Fermat, 428.

14 Riflessione e rifrazione di onde elettromagnetiche. Polarizzazione, 435

14.1 Introduzione, 436; 14.2 Riflessione e rifrazione di onde elettromagnetiche, 436; 14.3 Propagazione di onde elettromagnetiche in un mezzo anisotropo, 441; 14.4 Dicroismo, 447; 14.5 Doppia rifrazione, 448; 14.6 Attività ottica, 454.

15 Geometria della propagazione per onde, 463

15.1 Introduzione, 464; 15.2 Riflessione su una superficie sferica, 466; 15.3 Rifrazione ad una superficie sferica, 475; 15.4 Lenti, 480; 15.5 Il microscopio, 485; 15.6 Il cannocchiale, 488; 15.7 Il prisma, 490; 15.8 Dispersione, 491; 15.9 Aberrazione cromatica, 494.

16 Interferenza, 505

16.1 Introduzione, 506; 16.2 Interferenza di onde prodotte da due sorgenti sincrone, 506; 16.3 Interferenza di molte sorgenti sincrone, 513; 16.4 Onde stazionarie in una dimensione, 519; 16.5 Onde stazionarie ed equazione d'onda, 522; 16.6 Onde elettromagnetiche stazionarie, 528; 16.7 Onde stazionarie in due dimensioni, 531; 16.8 Onde stazionarie in tre dimensioni; cavità risonanti, 537; 16.9 Guide d'onda, 539.

17 Diffrazione, 555

17.1 Introduzione, 556; 17.2 Fenomeni di diffrazione di Fraunhofer prodotti da una fenditura rettangolare, 557; 17.3 Fenomeni di diffrazione di Fraunhofer prodotti da una apertura circolare, 563; 17.4 Fenomeni di diffrazione di Fraunhofer prodotti da due fenditure parallele, uguali, 565; 17.5 Reticoli di diffrazione, 508; 17.6 Fenomeni di diffrazione di Fresnel, 573; 17.7 Diffusione, 579; 17.8 Diffusione da raggi X da cristalli, 580.

18 Meccanica quantistica, 591

18.1 Introduzione, 592; 18.2 Particelle e campi, 592; 18.3 Diffusione di particelle da parte di cristalli, 594; 18.4 Particelle e pacchetti d'onda, 597; 18.5 Il principio di indeterminazione di Heisenberg per posizione e quantità di moto, 599; 18.6 Illustrazioni del principio di Heisenberg, 600; 18.7 La relazione di indeterminazione fra tempo e

energia, 603; 18.8 Stati stazionari e il campo di materia, 604; 18.9 Funzione d'onda e densità di probabilità, 607; 18.10 L'equazione di Schrödinger, 609; 18.11 La funzione d'onda di una particella libera, 611; 18.12 La funzione d'onda di una particella in un potenziale a scatola, 612; 18.13 La funzione d'onda dell'oscillatore armonico semplice, 613; 18.14 L'atomo di idrogeno, 615.

Appendice: relazioni e tavole matematiche, 621

Risposte ai problemi, 637

Indice analitico, 649

Parte 2

CAMPI ELETTROMAGNETICI