

Fisica

Meccanica e Termodinamica



Ugo Gasparini • Martino Margoni • Franco Simonetto

Fisica

Meccanica e Termodinamica

PICCIN

Opera coperta dal diritto d'autore – tutti i diritti sono riservati.

Questo testo contiene materiale, testi ed immagini, coperto da copyright e non può essere copiato, riprodotto, distribuito, trasferito, noleggiato, licenziato o trasmesso in pubblico, venduto, prestato a terzi, in tutto o in parte, o utilizzato in alcun altro modo o altrimenti diffuso, se non previa espressa autorizzazione dell'editore.

Qualsiasi distribuzione o fruizione non autorizzata del presente testo, così come l'alterazione delle informazioni elettroniche, costituisce una violazione dei diritti dell'editore e dell'autore e sarà sanzionata civilmente e penalmente secondo quanto previsto dalla L. 633/1941 e ss.mm.

In copertina: immagini della Torre della Specola, dal 1777 sede dell'antico Osservatorio Astronomico dell'Università di Padova istituito per volere del Senato della Repubblica di Venezia, della galassia Andromeda (immagine nell'ultravioletto dal Galaxy Evolution Explorer; NASA/JPL-Caltech, per gentile concessione) e di Giove (immagine della sonda Juno, ripresa nel Luglio 2016 da una distanza di 4,3 milioni di km dal pianeta; NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS, per gentile concessione) con tre dei "satelliti galileiani". Galileo Galilei operò a Padova dal 1592 al 1610; in quegli anni scoprì quattro satelliti gioviani, conducendo le sue osservazioni astronomiche tuttavia non dalla Specola, bensì dal giardino della sua casa situata nelle vicinanze del Palazzo del Bo, sede centrale dell'Università patavina.

La foto della Specola in copertina è stata realizzata da Francesca Benetello.

ISBN 978-88-299-2972-6

Stampato in Italia

© 2019, Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova
www.piccin.it

— Autori

Ugo Gasparini, Professore Ordinario di Fisica Sperimentale presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Padova, svolge attività di ricerca nell'ambito della Fisica delle particelle elementari. Ha lavorato in esperimenti sulla diffusione anelastica di adroni presso il Centro Europeo per le Ricerche Nucleari (CERN) di Ginevra, e successivamente alla progettazione e messa in opera di esperimenti al "Large Electron-Positron collider" (LEP) e al "Large Hadron Collider" (LHC) del CERN; nell'ambito di quest'ultimo, tuttora svolge attività di analisi dati orientata alle ricerche di processi di nuova fisica.

Martino Margoni, Professore Associato nel settore della Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali, lavora presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Padova. Ha fatto parte di collaborazioni internazionali in vari esperimenti operanti su acceleratori di alta energia occupandosi principalmente di Fisica dei quark pesanti. Attualmente è coordinatore del gruppo di Ricerca sulla Fisica del quark beauty nella collaborazione "Compact Muon Solenoid" (CMS) del CERN di Ginevra.

Franco Simonetto è Professore Ordinario di Fisica Generale presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Padova, dove è titolare dei corsi di "Fisica Generale 2" nel corso di Laurea in Fisica e "Subnuclear Physics" nel corso di Laurea in Physics. È stato membro delle collaborazioni scientifiche "European Hybrid Spectrometer" e DELPHI al CERN e Babar presso lo Stanford Linear Accelerator, occupandosi principalmente dello studio della asimmetria tra materia e antimateria. Attualmente continua i suoi studi come membro della collaborazione CMS al CERN.

— Prefazione

Quest'opera si propone come testo per i corsi di Fisica Generale per gli studenti delle Scuole di Scienze e di Ingegneria. A vari anni dall'entrata in vigore della riforma universitaria e a seguito delle esperienze consolidate nell'insegnamento della Fisica come "materia di base", anche con alterne vicende circa l'opportuno grado di complessità e approfondimento da impartire negli insegnamenti dei primi anni delle lauree triennali, riteniamo utile proporre quest'opera, articolata in due volumi. Gli argomenti proposti sono quelli classici degli insegnamenti dei corsi di Fisica I e Fisica II (aventi denominazioni spesso differenti e diversi valori dei crediti formativi ad essi assegnati) presenti negli ordinamenti dei Corsi di Studio delle Scuole sopra citate: la Meccanica Classica, la Termodinamica e l'Elettromagnetismo, con l'inclusione nel Secondo Volume di parti significative inerenti alla Fisica Atomica e alla struttura della materia, che ormai non possono essere tralasciati anche a livello di un corso di base.

L'intento dell'opera è quello di fornire un "percorso principale" di studio, preservando in esso il necessario grado di rigore ed esaustività che riteniamo irrinunciabile in un corso universitario a carattere prettamente scientifico-ingegneristico, che il docente possa adattare alle esigenze specifiche del suo insegnamento, arricchendolo con i numerosi esempi ed approfondimenti proposti e chiaramente evidenziati nel testo. In particolare gli esempi sono proposti in maniera tale da stimolare e sviluppare l'attitudine al ragionamento dello studente, fornendo inizialmente uno spunto e una traccia di possibile soluzione del problema posto, e solo al termine di ogni capitolo dando una soluzione completa dello stesso. In tali esempi spesso ci si richiama a situazioni fisiche realistiche, operando e discutendo le approssimazioni/semplificazioni necessarie per rendere il problema affrontabile, in questo di nuovo cercando di stimolare le capacità di ragionamento e di spirito critico dello studente. In maniera complementare sono inoltre proposti degli approfondimenti che se da un lato arricchiscono dal punto di vista culturale lo studio da parte dello studente più motivato, dall'altro contribuiscono a meglio comprendere gli argomenti svolti, talora anticipando in modo il più possibile semplice e autoconsistente argomenti tradizionalmente affrontati in corsi più avanzati. Infine, al termine di ogni capitolo sono proposti vari esercizi, di complessità e difficoltà confrontabili con quelle usualmente proposte nelle prove scritte d'esame; la soluzione sinteticamente svolta contribuisce ulteriormente alla comprensione degli aspetti applicativi della materia.

U. Gasparini, M. Margoni, F. Simonetto

— Indice generale

Introduzione	1
1. Piano dell'opera e contenuti del Primo Volume	1
2. La definizione di una grandezza fisica	2
3. Grandezze fisiche e loro misura	4
4. Grandezze fondamentali e Sistemi di Unità di Misura. Il Sistema Internazionale	8
5. Ordini di grandezza di alcune grandezze fisiche nell'Universo che conosciamo: dall'“infinitamente piccolo” all'“infinitamente grande”	10

Capitolo 1 Cinematica	15
1. Punto materiale, traiettoria del punto materiale e legge oraria del moto	15
2. Velocità	16
3. Accelerazione	19
4. Moto uniformemente accelerato	20
5. Moto armonico	23
6. Moto esponenzialmente smorzato	25
7. Velocità ed accelerazione in funzione della posizione	27
8. Moto in più dimensioni	28
9. Vettori velocità ed accelerazione	32
10. Moto di un corpo sottoposto all'accelerazione di gravità	37
11. Velocità ed accelerazione in un moto circolare	39
12. Composizione di moti	40
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	42
<i>Esercizi</i>	45
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	47

Capitolo 2 Le forze e le leggi della dinamica	49
1. Principio di inerzia e sistemi di riferimento inerziali	50
2. Definizione operativa di forza	52
3. La Seconda Legge della Dinamica	54
4. La Terza Legge della Dinamica	58
5. Quantità di moto e teorema dell'impulso	60
6. Cenni sulle interazioni fondamentali	62
7. La forza peso	64
8. Reazioni vincolari	66
9. Forze d'attrito	67
10. Forze di trazione: tensione di una corda	72
11. Forza elastica	74
12. Moto di un pendolo semplice	75
13. Momento angolare e teorema del momento angolare	77
14. Forze centrali	79

15. Verifica sperimentale di una legge fisica:	
conservazione della quantità di moto di un sistema isolato	80
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	83
<i>Esercizi</i>	84
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	86

Capitolo 3 Lavoro ed energia **89**

1. Lavoro di una forza	89
2. Energia cinetica e teorema dell'energia cinetica	93
3. Forze conservative	96
4. Energia potenziale	99
5. Energia meccanica e conservazione dell'energia	100
6. Equazione del bilancio energetico	102
7. Lavoro compiuto dal momento di una forza nelle rotazioni	103
8. Campo di forza ed "azione a distanza"	104
9. Campo di forza conservativo e gradiente dell'energia potenziale	105
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	107
<i>Esercizi</i>	109
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	114

Capitolo 4 Gravitazione **119**

1. Il moto dei pianeti e le leggi di Keplero	120
2. La legge della Gravitazione Universale	124
3. Applicazioni della legge di Gravitazione Universale: determinazione delle masse della Terra e del Sole, curva Kepleriana	130
4. Energia potenziale gravitazionale	132
5. Il campo gravitazionale	133
6. Cenni su effetti relativistici	135
7. Cenni sulle curve di rotazione delle galassie e sulla "materia oscura"	136
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	139
<i>Esercizi</i>	141
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	142

Capitolo 5 Moti relativi **143**

1. Sistemi di riferimento in moto relativo: legge di trasformazione della velocità	144
2. Legge di trasformazione dell'accelerazione	147
3. Trasformazioni galileiane e sistemi di riferimento inerziali	154
4. Dinamica in sistemi di riferimento non inerziali. "Forze fittizie"	155
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	158
<i>Esercizi</i>	160
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	160

Capitolo 6 Dinamica dei sistemi di punti materiali **161**

1. Centro di massa di un sistema di punti materiali e sue proprietà	162
2. Il sistema di riferimento del centro di massa	165
3. Teoremi di König dell'energia cinetica e del momento angolare ed ulteriori proprietà del CM	166
4. Forze interne ed esterne ad un sistema di punti materiali	168

5. Il teorema del moto del CM: la “prima equazione cardinale” della dinamica dei sistemi	170
6. Il teorema del momento angolare: la “seconda equazione cardinale” della dinamica dei sistemi	171
7. Il teorema dell’energia cinetica per un sistema di punti materiali	176
8. Urti tra punti materiali e “dinamica degli urti”	179
9. Urto elastico unidimensionale tra due corpi non soggetti a forze esterne impulsive	184
10. Urti in più dimensioni	185
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	188
<i>Esercizi</i>	191
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	193

Capitolo 7 Dinamica del corpo rigido 197

1. Distribuzioni continue di materia: densità di massa	197
2. Centro di massa di un corpo continuo e sue proprietà	199
3. Moto di un corpo rigido	203
4. Rotazione di un corpo rigido intorno ad un asse fisso. Momento d’inerzia	205
5. Teoremi di König dell’energia cinetica e del momento angolare per un corpo rigido	211
6. Equazioni della dinamica del corpo rigido	212
7. Il teorema dell’energia cinetica per un corpo rigido	214
8. Il teorema degli assi paralleli di Huygens-Steiner e sue applicazioni	215
9. Pendolo composto	217
10. Moto di puro rotolamento	221
11. Assi principali d’inerzia di un corpo rigido. Tensore d’inerzia	226
12. Moti giroscopici	230
13. Le equazioni della statica dei corpi rigidi e loro applicazioni	233
14. Urti tra corpi rigidi	235
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	236
<i>Esercizi</i>	242
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	248

Capitolo 8 Elementi di statica e dinamica dei fluidi 253

1. Pressione	253
2. Legge di Stevino	255
3. Principio di Archimede	260
4. Moto di un fluido: descrizione euleriana	261
5. Viscosità	263
6. Moto di un fluido ideale. Teorema di Bernoulli	264
7. Fluidi reali. Moto laminare e moto vorticoso. Numero di Reynolds	269
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	271

Capitolo 9 Fenomeni oscillatori ed onde meccaniche 273

1. Oscillatore armonico ideale e suo diagramma dell’energia	273
2. Oscillatore armonico smorzato	274
3. Oscillatore armonico forzato	277

4. Introduzione ai fenomeni ondulatori	281
5. Onde meccaniche in una corda tesa	284
6. Onde sonore	286
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	289

Capitolo 10 Termodinamica: concetti introduttivi generali 291

1. Sistema termodinamico, variabili termodinamiche e stato termodinamico	292
2. Trasformazioni termodinamiche e loro rappresentazione	293
3. Temperatura empirica	294
4. Gas ideale e temperatura del termometro a gas ideale	297
5. Scale termometriche: kelvin, celsius e fahrenheit	299
6. Comportamento del gas ideale. Leggi di Boyle e Gay-Lussac ed equazione di stato	300
7. Lavoro compiuto da un sistema termodinamico	302
8. Calore scambiato da un sistema termodinamico	306
9. Calorimetria: capacità termica e calore specifico	307
10. Determinazione del calore specifico di una sostanza. Calorimetro di Regnault	311
11. Calori latenti e trasformazioni di fase	312
12. Le forme degli scambi di calore: conduzione, convezione, irraggiamento	313
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	315
<i>Esercizi</i>	315
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	316

Capitolo 11 Il Primo Principio della Termodinamica 317

1. Gli esperimenti di Joule sull'equivalenza tra calore e lavoro	317
2. Il Primo Principio della Termodinamica	319
3. Energia interna	321
4. Esperimento di Joule sull'"espansione libera" dei gas. Energia interna del gas ideale	323
5. Relazione di Mayer per i calori specifici a pressione e volume costanti di un gas ideale	326
6. Trasformazione adiabatica reversibile di un gas ideale	327
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	330
<i>Esercizi</i>	332
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	334

Capitolo 12 Il Secondo Principio della Termodinamica 337

1. Trasformazioni cicliche. Macchine termiche e macchine frigorifere	338
2. Il ciclo termico di Carnot	339
3. Il ciclo frigorifero di Carnot	341
4. Il Secondo Principio della Termodinamica	342
5. Il teorema di Carnot	344
6. Teorema e disuguaglianza di Clausius	346
7. Entropia e principio dell'aumento dell'entropia dei sistemi isolati	349
8. Entropia del gas ideale	351
9. Entropia ed energia inutilizzabile	352

10. Diagramma temperatura-entropia	353
11. Temperatura termodinamica assoluta. Terzo Principio della Termodinamica	354
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	356
<i>Esercizi</i>	358
<i>Soluzioni degli esercizi</i>	361

Capitolo 13 Teoria cinetica del gas ideale e cenni di Meccanica Statistica **367**

1. Modello microscopico del gas ideale: teoria cinetica	368
2. Il Principio di equipartizione dell'energia e le predizioni sui calori specifici	371
3. Distribuzione delle velocità di Maxwell e distribuzione canonica dell'energia	375
4. Interpretazione probabilistica del Secondo Principio e dell'entropia	378
<i>Soluzioni degli Esempi</i>	381

Appendice **383**

Indice analico **389**

