

FERRARI ♦ LUCI ♦ MARIANI ♦ PELISSETTO

# FISICA

*Volume Primo*

**MECCANICA E TERMODINAMICA**

  
IDELSON-GNOCCHI

# Autori

**VALERIA FERRARI**

Professore Ordinario di Fisica Teorica  
Dipartimento di Fisica  
Sapienza Università di Roma

**CLAUDIO LUCI**

Professore Associato di Fisica Sperimentale  
Dipartimento di Fisica  
Sapienza Università di Roma

**CARLO MARIANI**

Professore Ordinario di Struttura della Materia  
Dipartimento di Fisica  
Sapienza Università di Roma

**ANDREA PELISSETTO**

Professore Associato di Fisica Teorica  
Dipartimento di Fisica  
Sapienza Università di Roma

# Indice

<b>Autori</b>	<b>v</b>
<b>Indice delle tabelle</b>	<b>xiii</b>
<b>Prefazione</b>	<b>xv</b>
<b>1 Le basi della Fisica</b>	<b>1</b>
1.1 Introduzione	2
1.2 Il metodo scientifico	3
1.3 Il sistema di unità di misura	6
1.4 Definizione di metro, chilogrammo e secondo	8
1.5 Cambiamento di unità di misura	12
1.6 Analisi dimensionale	12
1.7 Cifre significative	13
1.8 Ordini di grandezza	14
1.9 Esercizi	15
<b>2 Il moto dei corpi in una dimensione</b>	<b>17</b>
2.1 Posizione e spostamento	19
2.2 Legge oraria	20
2.3 Velocità media e velocità istantanea	21
2.4 Accelerazione media e accelerazione istantanea	25
2.5 Casi particolari di moto in una dimensione	27
2.6 Ricavare lo spostamento conoscendo la velocità	31
2.7 Ricavare la velocità a partire dall'accelerazione	36
2.8 Accelerazione nel moto di caduta libera	38
2.9 Esercizi	41
<b>3 Il moto dei corpi nel piano e nello spazio</b>	<b>45</b>
3.1 I vettori	46
3.1.1 Vettori e scalari: definizioni	46
3.1.2 Componenti di un vettore	47
3.2 Operazioni tra vettori	49
3.2.1 Moltiplicazione di un vettore per uno scalare	50
3.2.2 Somma di vettori: la regola del parallelogramma	51

	<b>3.2.3</b>	Differenza di vettori: ancora la regola del parallelogramma	52
	<b>3.2.4</b>	Vettori espressi come combinazione lineare dei vettori di base	53
	<b>3.2.5</b>	Prodotto scalare	54
<b>3.3</b>		Moto in due dimensioni	56
	<b>3.3.1</b>	Velocità media e velocità istantanea	57
	<b>3.3.2</b>	Accelerazione media e accelerazione istantanea	59
<b>3.4</b>		Caduta dei gravi	61
<b>3.5</b>		Esempi di moto in due dimensioni	62
	<b>3.5.1</b>	Moto con velocità o accelerazione costanti	62
	<b>3.5.2</b>	Un calcio ad un pallone	63
	<b>3.5.3</b>	Moto circolare uniforme	70
<b>3.6</b>		Moto nello spazio	73
<b>3.7</b>		Moti relativi	74
	<b>3.7.1</b>	Come passare da un riferimento all'altro	74
<b>3.8</b>		Esercizi	83
<b>4</b>		<b>Le leggi che governano il moto dei corpi</b>	<b>87</b>
	<b>4.1</b>	La prima legge della dinamica	89
	<b>4.1.1</b>	La Terra è un riferimento inerziale?	92
	<b>4.2</b>	La seconda legge della dinamica	93
	<b>4.2.1</b>	La massa	94
	<b>4.2.2</b>	Forza risultante	95
	<b>4.2.3</b>	Come si misurano le forze	101
	<b>4.3</b>	La natura delle forze	102
	<b>4.4</b>	La legge di gravitazione universale	104
	<b>4.4.1</b>	Il principio di equivalenza tra massa gravitazionale e massa inerziale	105
	<b>4.4.2</b>	La forza di gravità vicino alla Terra	107
	<b>4.5</b>	La terza legge della dinamica	110
	<b>4.6</b>	Esercizi	113
<b>5</b>		<b>Le forze: esempi e applicazioni</b>	<b>117</b>
	<b>5.1</b>	Le reazioni vincolari	118
	<b>5.1.1</b>	Reazione vincolare normale	118
	<b>5.1.2</b>	Tensione di una corda	120
	<b>5.1.3</b>	Un esempio: la macchina di Atwood	124
	<b>5.2</b>	La forza d'attrito	127
	<b>5.3</b>	Forza di resistenza del mezzo	131
	<b>5.3.1</b>	Velocità limite	132
	<b>5.4</b>	Il piano inclinato	136
	<b>5.4.1</b>	Moto in assenza d'attrito	136
	<b>5.4.2</b>	Moto in presenza d'attrito	139
	<b>5.5</b>	La forza elastica	141
	<b>5.5.1</b>	La legge oraria del moto armonico	142
	<b>5.5.2</b>	Analisi del moto armonico	145
	<b>5.5.3</b>	Un altro esempio di moto armonico: il pendolo semplice	152

---

5.6	Forza centripeta	155
5.7	Le forze apparenti	159
5.8	Esercizi	167
<b>6</b>	<b>Lavoro ed energia cinetica</b>	<b>173</b>
6.1	Lavoro di una forza	174
6.1.1	Definizione	174
6.1.2	Il lavoro nel caso di forza costante e cammino rettilineo	176
6.1.3	Lavoro della forza peso	181
6.1.4	Lavoro della forza d'attrito	182
6.1.5	Lavoro della forza elastica	183
6.2	Il teorema dell'energia cinetica	185
6.3	Potenza	190
6.4	Esercizi	192
<b>7</b>	<b>Conservazione dell'energia meccanica</b>	<b>197</b>
7.1	Forze conservative	198
7.1.1	La forza peso è una forza conservativa	199
7.1.2	La forza elastica è una forza conservativa	202
7.2	Energia potenziale	203
7.2.1	Energia potenziale della forza peso	205
7.2.2	Energia potenziale elastica	207
7.2.3	Energia potenziale gravitazionale	208
7.3	La legge di conservazione dell'energia meccanica	211
7.4	Conservazione dell'energia meccanica e forze non conservative	222
7.5	Quali informazioni ricaviamo dal grafico dell'energia potenziale?	227
7.6	Esercizi	231
<b>8</b>	<b>Dinamica dei sistemi di punti materiali</b>	<b>235</b>
8.1	Un modo alternativo di scrivere la seconda legge della dinamica del punto materiale	236
8.2	Impulso di una forza	237
8.3	Moto di un sistema di punti materiali: prima equazione cardinale	239
8.4	Centro di massa di un sistema di punti materiali	246
8.4.1	Centro di massa di un corpo rigido	247
8.5	Teorema del centro di massa	249
8.6	Energia cinetica di un sistema di punti materiali	254
8.7	Urti	258
8.8	Esempi di urti	260
8.8.1	Urto centrale elastico	261
8.8.2	Urto centrale completamente anelastico	268
8.9	Teorema dell'energia cinetica per un sistema di punti materiali	273
8.10	Teorema dell'energia cinetica per un corpo rigido	277
8.11	Esercizi	282

<b>9</b>	<b>Statica dei corpi rigidi</b>	<b>287</b>
9.1	Prodotto vettoriale	289
9.2	Momento di una forza	291
9.3	Coppia di forze	294
9.4	Condizioni di equilibrio per un corpo rigido	295
9.5	Leve	302
9.6	Esercizi	307
<b>10</b>	<b>Moti di rotazione</b>	<b>309</b>
10.1	Momento angolare e momento della forza	310
10.2	Leggi di Keplero	315
10.3	La seconda equazione cardinale per un sistema di punti materiali	320
10.4	Rotazione di un corpo rigido intorno ad un asse fisso	324
10.4.1	Cinematica della rotazione	324
10.4.2	Energia cinetica di rotazione	326
10.4.3	Momento di inerzia	327
10.4.4	Momento angolare	333
10.4.5	La seconda equazione cardinale	336
10.4.6	Teorema dell'energia cinetica	342
10.5	Rotolamento di un corpo rigido	343
10.5.1	La cinematica del moto di rotolamento	343
10.5.2	Rotolamento senza strisciamento	344
10.5.3	Le equazioni della dinamica per il rotolamento di un corpo rigido	345
10.5.4	Energia cinetica di un corpo rigido che rotola	346
10.5.5	Lavoro della forza d'attrito nel moto di rotolamento	349
10.5.6	Attrito volvente	352
10.6	Esercizi	358
<b>11</b>	<b>Meccanica dei fluidi</b>	<b>361</b>
11.1	Densità	363
11.2	Pressione	366
11.3	Statica dei fluidi	369
11.3.1	Legge di Stevino	370
11.3.2	Legge di Pascal	373
11.3.3	Applicazioni della legge di Stevino	373
11.3.4	Legge (o principio) di Archimede	378
11.4	Fluidi in moto	385
11.4.1	Legge della portata	387
11.4.2	Legge di Bernoulli	389
11.4.3	Applicazioni del teorema di Bernoulli	396
11.5	Fluidi viscosi	399
11.6	Tensione superficiale	404
11.7	Fenomeni di capillarità	408
11.8	Esercizi	412

<b>12</b>	<b>Grandezze termodinamiche e leggi dei gas perfetti</b>	<b>415</b>
12.1	Sistema termodinamico e variabili di stato	417
12.1.1	Temperatura, calore ed energia interna	419
12.1.2	Principio zero della termodinamica	421
12.1.3	Come misurare la temperatura	423
12.1.4	Dilatazione termica	426
12.2	Trasformazioni termodinamiche	432
12.2.1	Trasformazione isobara	435
12.2.2	Trasformazione isocora	436
12.2.3	Trasformazione isoterma	437
12.3	Le leggi di Gay-Lussac per i gas perfetti	438
12.4	La temperatura assoluta	439
12.5	L'equazione di stato dei gas perfetti	443
12.5.1	La costante dei gas perfetti	445
12.5.2	Legge di Dalton	450
12.6	Teoria cinetica dei gas	454
12.6.1	Velocità media e velocità quadratica media	455
12.6.2	Interpretazione microscopica della pressione	456
12.6.3	Interpretazione microscopica della temperatura	459
12.6.4	Equipartizione dell'energia	460
12.6.5	Verifica delle ipotesi del modello	462
12.6.6	Funzione di distribuzione delle velocità	464
12.7	Esercizi	467
<b>13</b>	<b>Calorimetria e trasmissione del calore</b>	<b>471</b>
13.1	Capacità termica e calore specifico	473
13.1.1	Calore specifico	474
13.1.2	Calori specifici dei gas	478
13.2	Cambiamenti di stato e calore latente	480
13.3	Comportamento dei gas reali	486
13.4	Diagrammi di fase	488
13.4.1	Diagramma delle fasi dell'acqua	490
13.4.2	Evaporazione e ebollizione	493
13.5	Trasmissione del calore	497
13.5.1	Conduzione	498
13.5.2	Convezione	502
13.5.3	Irraggiamento	503
13.6	Esercizi	506
<b>14</b>	<b>Il primo principio della termodinamica</b>	<b>511</b>
14.1	Il lavoro in termodinamica	512
14.1.1	Rappresentazione grafica del lavoro	514
14.1.2	Lavoro in alcune trasformazioni termodinamiche	515
14.2	Calore e Lavoro	519
14.2.1	Il mulinello di Joule	519
14.3	Il primo principio della termodinamica	521
14.4	Definizione di funzione di stato	526
14.5	La funzione di stato energia interna	526

14.6	Espansione libera di un gas perfetto	529
14.7	Calori specifici ed energia interna dei gas perfetti	532
14.7.1	Calore specifico a volume costante	532
14.7.2	Calore specifico a pressione costante	532
14.7.3	Energia interna	534
14.8	Trasformazioni adiabatiche dei gas perfetti	543
14.8.1	Lavoro in una trasformazione adiabatica	545
14.9	Esercizi	549
<b>15</b>	<b>Il secondo principio della termodinamica</b>	<b>553</b>
15.1	Macchine termiche	554
15.1.1	Rendimento di una macchina termica	555
15.2	Il ciclo di Carnot	563
15.2.1	Rendimento della macchina di Carnot	565
15.3	Secondo principio della termodinamica	568
15.4	La funzione di stato entropia	572
15.4.1	Variazione di entropia per i gas perfetti	576
15.5	Il rendimento del ciclo di Carnot calcolato tramite l'entropia	581
15.6	Lavoro e calore in isoterme reversibili e irreversibili	582
15.7	Variazione di entropia in trasformazioni adiabatiche irreversibili	586
15.8	La disuguaglianza di Clausius	587
15.9	L'irreversibilità diminuisce il rendimento.	592
15.10	Teorema di Carnot	595
15.11	Rendimento di una generica macchina di Carnot reversibile	597
15.12	La definizione di entropia vale per qualsiasi sistema termodinamico	600
15.13	Entropia e disordine	601
15.14	Potenziali termodinamici	603
15.14.1	Entalpia	603
15.14.2	Energia libera di Helmholtz	604
15.14.3	Energia libera di Gibbs	606
15.15	Esercizi	609
	<b>Risultati degli esercizi non svolti</b>	<b>613</b>
	<b>Indice analitico</b>	<b>617</b>



# Indice delle tabelle

tab. 1.1	Grandezze fondamentali del Sistema Internazionale	7
tab. 1.2	Prefissi del Sistema Internazionale	7
tab. 1.3	Alcune grandezze derivate	7
tab. 5.1	Coefficienti di attrito statico e dinamico	128
tab. 5.2	Velocità limite di alcuni oggetti in aria	132
fig. 10.21	Momento d'inerzia di alcuni solidi geometrici	331
tab. 10.1	Coefficienti di attrito volvente	353
tab. 11.1	Densità tipiche di alcune sostanze	365
tab. 12.1	Punti di calibrazione dei termometri	426
tab. 12.2	Coefficienti di dilatazione termica	427
tab. 12.3	Coefficienti di dilatazione termica dell'acqua	428
tab. 13.1	Calori specifici di alcune sostanze	475
tab. 13.2	Calori latenti di alcune sostanze	481
tab. 13.3	Parametri critici di alcune sostanze	488
tab. 13.4	Tensione di vapore dell'acqua	491
tab. 13.5	Conducibilità termica di alcuni materiali	498

# Prefazione

Questo testo è rivolto agli studenti dei corsi di laurea di indirizzo scientifico in cui è previsto un solo modulo di fisica generale, come ad esempio nei corsi di laurea in scienze biologiche, scienze naturali, farmacia, informatica, etc. Tuttavia esso può essere adottato in molti dei nuovi corsi di laurea triennale, in cui l'insegnamento della fisica di base è distribuito in due o più moduli, come quelli della facoltà di ingegneria, chimica, etc. Per questo motivo il testo è diviso in due volumi e, per renderne possibile l'utilizzo in corsi di laurea differenti, il materiale esposto è superiore al programma che normalmente viene svolto nei singoli corsi.

Il libro ha una struttura modulare che consente al docente di individuare facilmente gli argomenti da trattare. Ogni capitolo contiene le informazioni fondamentali nel testo; nei box a fondo giallo sono riportate le dimensioni e le unità di misura delle grandezze fisiche via via introdotte; nei box a fondo verde si riportano esempi significativi ed approfondimenti; gli approfondimenti che richiedono sviluppi matematici più complessi sono nei box a fondo grigio.

In questo primo volume, che riguarda la meccanica e la termodinamica, abbiamo cercato di introdurre le basi della fisica in maniera semplice ma rigorosa; abbiamo corredato il testo con esercizi svolti, che aiutano lo studente a comprendere i concetti illustrati e mostrano come applicare le leggi della fisica a problemi concreti. Ogni capitolo è inoltre corredato da una serie di esercizi non svolti che fanno parte integrante del corso, i cui risultati numerici sono riportati alla fine del volume. Gli strumenti matematici sono stati introdotti gradualmente, laddove sono necessari per descrivere ed applicare le leggi fisiche. Completa il volume un dettagliato indice analitico, che facilita l'individuazione rapida delle informazioni.

Questo testo è il frutto dell'esperienza pluriennale degli autori nell'insegnamento della fisica nei corsi di laurea in scienze biologiche, farmacia, matematica e fisica.

*Gli Autori*