

Corrado Mencuccini Vittorio Silvestrini

Fisica I

Meccanica Termodinamica

**Corso di fisica per le facoltà scientifiche
corredato di esempi ed esercizi**

Liguori Editore

<i>Prefazione</i>	1
-------------------------	---

I Il metodo scientifico

I.1. Introduzione.....	3
I.2. Definizione operativa delle grandezze fisiche.....	5
I.3. Sistemi di unità di misura ed equazioni dimensionali.....	7
I.4. La grandezza fisica «tempo».....	11
I.5. Relazioni funzionali.....	13
I.5.1. Rappresentazione tabulare.....	13
I.5.2. Rappresentazione grafica.....	14
I.5.3. Rappresentazione analitica.....	17
I.6. Alcune proprietà delle funzioni.....	18
Riepilogo del I capitolo.....	19

II Cinematica del punto materiale

II.1. La posizione.....	22
II.2. I vettori. Definizioni.....	24
II.3. Alcune definizioni relative alle matrici.....	26
II.4. Operazioni sui vettori.....	28
II.4.1. Prodotto di un vettore $\vec{v}$ per un numero k	28
II.4.2. Somma di vettori (o risultante).....	28
II.4.3. Differenza di due vettori.....	29
II.4.4. Prodotto scalare fra due vettori.....	29
II.4.5. Prodotto vettoriale fra due vettori.....	30
II.5. La legge oraria di un punto materiale.....	31
II.6. La velocità media.....	34
II.7. Il limite di una funzione.....	38
II.8. La derivata.....	41
II.9. Derivata dei vettori. Velocità ed accelerazione istantanee.....	46
II.10. Moti piani su traiettoria qualsiasi.....	51
II.11. Dalla accelerazione alla legge oraria.....	52
Riepilogo del II capitolo.....	60
Esercizi del II capitolo.....	62
Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del II capitolo.....	63

III I principi della dinamica del punto materiale

III.1.	Principio di relatività	66
III.2.	Definizione (statica) di forza	67
III.3.	Sistemi di riferimento inerziali	68
III.4.	Principio di inerzia	70
III.5.	Forza e accelerazione	71
III.6.	Massa inerziale e massa gravitazionale	72
III.7.	Misura dinamica di forze e secondo principio della dinamica	74
III.8.	Le leggi delle forze	76
III.9.	Trasformazioni galileiane e covarianza relativistica del secondo principio della dinamica	79
III.10.	Sistemi non inerziali e forze dette apparenti o fittizie	84
	Riepilogo del III capitolo	89
	Esercizi del III capitolo	91
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del III capitolo	93

IV Conseguenze del secondo principio della dinamica

IV.1.	Infinitesimi	95
IV.2.	Differenziale	97
IV.3.	Integrale	100
IV.4.	Impulso e quantità di moto	104
IV.5.	Momento angolare e momento della forza	107
IV.6.	Lavoro di una forza. Teorema dell'energia cinetica	113
IV.7.	Calcolo del lavoro e integrale di linea	117
IV.8.	Campi di forze conservativi. La funzione potenziale	120
IV.8.1.	Funzioni di più variabili. Derivate parziali e differenziale	122
IV.8.2.	Forme differenziali lineari e differenziali esatti	124
IV.8.3.	Calcolo della funzione potenziale	126
IV.8.4.	L'operatore gradiente in coordinate cartesiane e polari	128
IV.9.	Il teorema di conservazione dell'energia meccanica	129
IV.10.	Sistemi a un sol grado di libertà	132
IV.11.	Condizioni di equilibrio per un punto materiale ed energia potenziale	136
IV.12.	La potenza	139
	Riepilogo del IV capitolo	140
	Esercizi del IV capitolo	142
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del IV capitolo	145

V Le leggi delle forze

V.1.	Le leggi della gravitazione universale	148
V.2.	Il teorema di Gauss e il campo gravitazionale generato da una massa avente simmetria sferica	152
V.3.	Le leggi di Keplero e la loro giustificazione dinamica	157
V.4.	La forza peso	161

V.5.	Il potenziale efficace e la forza di richiamo verso l'orbita di equilibrio.....	164
V.6.	Forze elastiche.....	165
V.7.	Forze viscosse di resistenza del mezzo.....	175
V.7.1.	Moto di un grave sottoposto a forza di resistenza viscosa.....	176
V.7.2.	Moto oscillatorio smorzato.....	178
V.8.	Reazioni vincolari.....	180
V.9.	Forze di attrito.....	186
V.9.1.	Attrito statico.....	186
V.9.2.	Attrito cinematico radente.....	188
V.9.3.	Attrito volvente.....	189
V.10.	Oscillazioni forzate e oscillatori accoppiati.....	192
V.10.1.	Oscillatore in due dimensioni.....	192
V.10.2.	Oscillatore forzato.....	194
V.10.3.	Oscillatori accoppiati.....	196
	Riepilogo del V capitolo.....	201
	Esercizi del V capitolo.....	203
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del V capitolo.....	207

VI Le leggi della dinamica dei sistemi

VI.1.	Leggi fondamentali.....	211
VI.2.	Il terzo principio della dinamica.....	215
VI.3.	Centro di massa.....	217
VI.4.	Le equazioni cardinali della dinamica dei sistemi ed il moto del centro di massa.....	225
VI.5.	Semplici considerazioni relative al significato del momento angolare.....	228
VI.6.	Il problema dei due corpi.....	232
VI.7.	Sistemi a massa variabile.....	235
VI.8.	Energia cinetica e teorema di Koenig.....	238
VI.9.	Sistemi di forze applicate.....	240
	Riepilogo del VI capitolo.....	244
	Esercizi del VI capitolo.....	246
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del VI capitolo.....	249

VII Sistemi rigidi

VII.1.	Equilibrio dei corpi rigidi.....	252
VII.2.	Momento angolare assiale e momento di inerzia.....	254
VII.3.	Calcolo del momento di inerzia.....	257
VII.4.	Energia cinetica di un sistema rigido.....	262
VII.5.	Momento angolare polare.....	264
VII.6.	Moto di un sistema rigido non vincolato. Il caso notevole di un proiettile non puntiforme.....	268
VII.7.	Giroscopio appoggiato a un piano (moto di una trottola).....	272
VII.8.	Corpo rigido greve intorno a un asse fisso.....	275
VII.9.	Moto di rotolamento.....	284

VII.10.	Moto di sistemi rigidi a contatto con vincoli.....	288
VII.11.	Sistemi composti da più sistemi rigidi fra di loro collegati.....	290
VII.12.	Moto di un corpo rigido. Cenni al caso generale	294
	Riepilogo del VII capitolo.....	299
	Esercizi del VII capitolo.....	300
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del VII capitolo.....	305

VIII Problemi d'urto

VIII.1.	Considerazioni metodologiche generali relative all'urto fra particelle.....	312
VIII.2.	Urto elastico fra particelle sferiche.....	316
VIII.3.	Urto elastico di una sfera contro una parete rigida di massa infinita.....	319
VIII.4.	Urti anelastici.....	321
VIII.5.	Sezione d'urto.....	325
VIII.6.	Urti di sistemi materiali.....	328
	Riepilogo dell'VIII capitolo	332
	Esercizi dell'VIII capitolo.....	333
	Suggerimenti per la soluzione dei problemi dell'VIII capitolo	334

IX Meccanica dei fluidi

IX.1.	Fluidi.....	335
IX.2.	Azioni meccaniche sui fluidi.....	336
IX.3.	Statica dei fluidi.....	339
IX.4.	Idrostatica nel campo della gravità.....	341
IX.5.	Statica dei fluidi in campi di forze di volume conservative.....	349
IX.6.	Statica dei fluidi in sistemi di riferimento non inerziali.....	353
IX.7.	Fluidi in movimento. Aspetti cinematici.....	356
IX.8.	Idrodinamica dei liquidi perfetti.....	362
IX.9.	Liquidi reali in movimento.....	369
IX.10.	Tensione superficiale.....	374
	Riepilogo del IX capitolo.....	377
	Esercizi del IX capitolo.....	379
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del IX capitolo.....	381

X Onde in mezzi elastici

X.1.	Forma matematica delle onde elastiche.....	384
X.2.	Onde sinusoidali.....	387
X.3.	Onde elastiche longitudinali.....	394
X.4.	Onde trasversali elastiche.....	399
X.5.	Aspetti energetici della propagazione ondosa.....	402
X.6.	Fenomeni di interferenza.....	406
X.7.	Onde stazionarie.....	410
X.8.	Il principio di Huygens-Fresnel.....	413
X.9.	Effetto Doppler.....	415

Riepilogo del X capitolo	417
Esercizi del X capitolo	418
Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del X capitolo	420

XI Teoria della relatività ristretta

XI.1. Il tempo nella relatività ristretta. La sincronizzazione degli orologi	423
XI.2. Dilatazione del tempo e contrazione delle lunghezze	426
XI.3. Trasformazioni di Lorentz, spazio-tempo e trasformazioni relativistiche della velocità	429
XI.4. Covarianza a vista delle leggi fisiche	434
XI.5. Il terzo principio della dinamica e il quadrivettore momento lineare	437
XI.6. Massa ed energia	439
XI.7. Cinematica relativistica degli urti	443
XI.8. Riprove sperimentali della teoria della relatività ristretta	447
XI.8.1. Il principio della velocità limite	447
XI.8.2. Equivalenza fra massa ed energia	447
XI.8.3. Dilatazione del tempo	448
XI.9. La forza di Minkowski	450
XI.10. L'esperimento di Michelson	451
XI.11. La relatività generale	455
XI.11.1. Principio di equivalenza e ascensore di Einstein	455
XI.11.2. Luce, gravitazione e curvatura dello spazio-tempo	455
XI.11.3. Gravitazione e tempo	456
XI.11.4. Buchi neri	457
Riepilogo dell'XI capitolo	460

XII Calore e temperatura

XII.1. Termodinamica	461
XII.2. Temperatura	462
XII.3. Sistemi termodinamici	463
XII.4. Sistemi termodinamici chiusi e sistemi isolati	463
XII.5. Stati di equilibrio termodinamico	464
XII.6. Calore	465
XII.7. Trasformazioni termodinamiche	466
XII.8. Variabili di stato intensive ed estensive	470
XII.9. Lavoro in una trasformazione termodinamica	471
XII.10. Rappresentazione grafica delle trasformazioni e del lavoro	473
XII.11. Dilatazione termica	473
Riepilogo del XII capitolo	481
Esercizi del XII capitolo	482
Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del XII capitolo	483

XIII Il primo principio della termodinamica

XIII.1	L'equivalente meccanico della caloria.....	485
XIII.2	Il primo principio della termodinamica.....	487
XIII.3	Applicazioni del primo principio a un corpo rigido.....	491
XIII.4	Applicazioni del primo principio ad un gas perfetto.....	496
XIII.4.1	Definizione del gas perfetto.....	496
XIII.4.2	Il piano di Clapeyron. Trasformazioni quasi statiche, lavoro e reversibilità.....	497
XIII.4.3	L'energia interna di un gas perfetto.....	499
XIII.4.4	Calori specifici di un gas perfetto.....	500
XIII.4.5	Adiabatica reversibile di un gas perfetto.....	502
XIII.5	I gas reali.....	507
XIII.6	Sistema generico descritto dai parametri P, V, T	512
XIII.7	Agitazione termica e transizioni di fase.....	513
	Riepilogo del XIII capitolo.....	520
	Esercizi del XIII capitolo.....	521
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del XIII capitolo.....	524

XIV Trasmissione del calore

XIV.1	La conduzione in regime stazionario.....	528
XIV.2	Conduzione in regime non stazionario.....	532
XIV.3	Convezione in regime stazionario.....	534
XIV.4	Scambi termici per irraggiamento.....	538
XIV.4.1	Corpo nero.....	538
XIV.4.2	Potere emissivo di un corpo nero.....	539
XIV.4.3	Emissanza spettrale e scambi termici radiativi.....	540
XIV.5	Materiali selettivi.....	543
XIV.6	Il bilancio termico della Terra.....	544
XIV.7	Il bilancio termico del corpo umano.....	545
	Riepilogo del XIV capitolo.....	551
	Esercizi del XIV capitolo.....	553
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del XIV capitolo.....	555

XV Il secondo principio della termodinamica

XV.1	Enunciati del secondo principio.....	558
XV.2	Equivalenza fra i due enunciati del secondo principio.....	559
XV.3	Il più semplice fra i motori termici: il ciclo di Carnot.....	560
XV.4	Teorema di Carnot e temperatura termodinamica assoluta.....	563
XV.5	Il rendimento dei motori reali.....	565
XV.6	Integrale di Clausius ed entropia.....	566
XV.7	L'entropia e il secondo principio della termodinamica.....	571
XV.8	Entropia di alcuni sistemi termodinamici notevoli.....	572
XV.8.1	Entropia di un corpo solido.....	573
XV.8.2	Entropia di un gas perfetto.....	573
XV.8.3	Entropia di un gas di Van der Waals.....	574

XV.8.4.	Entropia di una sbarretta omogenea solida in uno stato stazionario lontano dall'equilibrio termico.....	574
XV.9.	L'entropia come parametro di stato.....	578
	Riepilogo del XV capitolo.....	579
	Esercizi del XV capitolo.....	580
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del XV capitolo.....	584

XVI Funzioni termodinamiche

XVI.1.	Energia interna.....	588
XVI.2.	La funzione di stato entalpia H	592
XVI.3.	Energia libera di Helmholtz F	598
XVI.4.	Energia libera di Gibbs G	601
XVI.5.	Transizioni di fase.....	603
XVI.6.	Reazioni chimiche.....	606
	Riepilogo del XVI capitolo.....	610
	Esercizi del XVI capitolo.....	611
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del XVI capitolo.....	612

XVII Interpretazione microscopica delle grandezze termodinamiche

XVII.1.	Interpretazione microscopica della pressione.....	618
XVII.2.	Interpretazione microscopica della temperatura.....	621
XVII.3.	Funzione di distribuzione della velocità.....	623
XVII.4.	Probabilità e disordine.....	627
XVII.5.	Disordine e entropia.....	630
XVII.6.	Entropia allo zero assoluto.....	632
XVII.7.	Termodinamica dei sistemi lontani dall'equilibrio.....	634
	Riepilogo del XVII capitolo.....	636

Appendice A	— Soluzioni degli esercizi.....	637
-------------	---------------------------------	-----

Appendice B	— Alcune nozioni e formule utili di matematica.....	743
-------------	---	-----

Indice analitico.....	771
-----------------------	-----