

Roberto G.M. Caciuffo - Savino Melone

*Professore Associato
di Fisica Generale
Università di Ancona*

*Professore Ordinario
di Fisica Generale
Università di Ancona*

con la collaborazione di
Oriano Francescangeli

*Ricercatore
Università di Ancona*

Fisica Generale

Meccanica e Termodinamica

MASSON

1998

1. Uno sguardo sull'Universo	1
2. Il metodo scientifico	11
2.1 Introduzione	12
2.2 Definizione operativa di una grandezza fisica	12
2.3 Misurazione di una grandezza fisica	13
2.4 Gli errori di misura	17
2.4.1 Definizione di errore	17
2.4.2 Tipi di errore	18
2.4.3 Distribuzione normale delle misure	18
2.4.4 Il valore più probabile della misura	19
2.4.5 Propagazione degli errori	20
2.5 Rappresentazione dei risultati sperimentali	23
2.6 Sistemi di unità di misura	25
2.6.1 Il tempo	25
2.6.2 Lo spazio	26
2.6.3 La massa	26
2.6.4 Il sistema internazionale ed altri sistemi di unità di misura	29
2.6.5 Dimensione di una grandezza fisica	34
3. Cinematica del punto materiale	43
3.1 Coordinate spaziali	44
3.2 Spostamento e concetto di moto	47
3.3 Velocità	49
3.4 Accelerazione	51
3.5 Dall'accelerazione alla traiettoria	55
3.6 Alcuni moti particolari	57
3.6.1 Moto rettilineo uniforme	58
3.6.2 Moto rettilineo uniformemente accelerato	59
3.6.3 Moto piano uniformemente accelerato	59
3.6.4 Moto circolare	65
3.6.5 Velocità angolare ed accelerazione angolare	67
3.6.6 Derivata di un vettore di modulo costante: formula di Poisson	70
3.6.7 Moto periodico e moto armonico semplice	72
4. Dinamica del punto materiale	79
4.1 Introduzione	80
4.2 Il concetto di interazione	80

4.3	Le interazioni fondamentali	81
4.4	Sistema di riferimento inerziale	83
4.5	La forza	84
4.5.1	Concetto di forza	84
4.5.2	Definizione di forza	85
4.5.3	La molla tarata	85
4.5.4	Carattere vettoriale delle forze	87
4.6	I principi della dinamica classica	88
4.6.1	Principio di Relatività	88
4.6.2	Prima legge di Newton: principio d'inerzia	90
4.6.3	Seconda legge di Newton	91
4.6.4	Terza legge di Newton: principio di azione e reazione	93
4.6.5	Momento di una forza e momento della quantità di moto	95
5.	Esempi di forza	107
5.1	Forza peso	108
5.1.1	Definizione	108
5.1.2	Misura statica della forza peso	109
5.2	La forza elastica	111
5.3	Le forze di attrito	113
5.3.1	Introduzione	113
5.3.2	Attrito radente	114
5.3.3	Attrito volvente	117
5.3.4	Attrito viscoso	118
5.4	Moto in presenza della forza peso	119
5.5	Il pendolo semplice	125
5.6	Esempio di moto in presenza di attrito	130
5.7	Moto sotto l'azione di una forza elastica	131
5.7.1	Moto armonico semplice	133
5.7.2	Moto armonico smorzato	137
5.7.3	Moto armonico forzato e risonanza	140
6.	Relatività galileiana.	155
6.1	Covarianza delle leggi della Meccanica Classica	156
7.	Sistemi di riferimento non inerziali e forze fittizie	163
7.1	Introduzione	164
7.2	Riferimento in moto rettilineo uniformemente accelerato	164
7.3	Riferimento in moto rotatorio uniforme: forza centrifuga	166

7.4	Particella mobile rispetto ad un riferimento rotante, forza di Coriolis	167
8.	La relatività ristretta e le trasformazioni di Lorentz	179
8.1	Introduzione	180
8.2	Sincronizzazione degli orologi e relatività della simultaneità	183
8.3	Le trasformazioni di Lorentz	185
8.4	Conseguenze delle trasformazioni di Lorentz	191
8.4.1	<i>Contrazione delle lunghezze</i>	191
8.4.2	<i>Dilatazione dei tempi</i>	192
8.4.3	<i>Sfasamento degli orologi in moto</i>	194
8.5	Diagrammi spazio-temporali	195
8.6	Dinamica relativistica	198
8.6.1	<i>Moto sotto l'azione di una forza costante</i>	200
8.6.2	<i>Moto circolare uniforme</i>	202
9.	Energia e lavoro	207
9.1	Introduzione	208
9.2	Il lavoro	210
9.2.1	<i>Lavoro della forza peso</i>	212
9.2.2	<i>Lavoro di una forza elastica</i>	213
9.2.3	<i>Potenza dell'oscillatore forzato</i>	214
9.3	Energia Cinetica	215
9.4	Forze conservative e potenziale	219
9.5	Energia potenziale ed energia meccanica	224
9.6	Sistemi ad un grado di libertà	227
9.7	Forza, energia potenziale e condizioni di equilibrio	229
9.8	L'energia in relatività ristretta	232
9.8.1	<i>Massa ed energia</i>	232
9.8.2	<i>Relazione fra energia e quantità di moto</i>	235
9.8.3	<i>Leggi di trasformazione per le grandezze dinamiche</i>	235
10.	Sistemi di particelle	245
10.1	Introduzione	246
10.2	Configurazione e centro di massa	246
10.3	Quantità di moto. Prima equazione cardinale.	251
10.4	Momento angolare. Seconda equazione cardinale.	254
10.5	Energia di un sistema di particelle	259
10.5.1	<i>Energia cinetica</i>	259

10.5.2	<i>Energia potenziale interna</i>	261
10.5.3	<i>Energia interna</i>	263
10.5.4	<i>Energia potenziale esterna</i>	263
10.6	Il problema dei due corpi	264
11.	Leggi di conservazione	271
11.1	Considerazioni generali	272
11.2	Conservazione della quantità di moto	272
11.3	Conservazione del momento angolare	275
11.4	Conservazione dell'energia	277
11.5	Sistema legato - Energia di legame	278
11.6	Osservazioni sulle leggi di conservazione	282
12.	Urti	291
12.1	Introduzione	292
12.2	Considerazioni energetiche e classificazione degli urti	297
12.3	Urto frontale elastico	300
12.4	Urto obliquo elastico	303
12.5	Urti completamente anelastici	308
12.6	Sezioni d'urto	310
13.	Corpi rigidi	323
13.1	Introduzione	324
13.2	Cinematica del corpo rigido	324
13.3	Dinamica del corpo rigido	328
13.3.1	<i>Il momento angolare di un corpo rigido; matrice d'inerzia</i>	329
13.3.2	<i>L'energia cinetica di un corpo rigido; il momento d'inerzia.</i>	331
13.3.3	<i>Equazioni del moto rotatorio di un corpo rigido.</i>	335
13.3.4	<i>Lavoro ed energia cinetica di rotazione di un solido</i>	340
13.3.5	<i>Il pendolo fisico ed il pendolo di torsione.</i>	341
13.3.6	<i>Moto di rotolamento di una ruota.</i>	344
13.3.7	<i>La trottola</i>	348
13.4	Statica dei corpi rigidi	364
14.	Campi scalari e campi vettoriali	379
14.1	Introduzione	380

14.2	Grandezze scalari e grandezze vettoriali	381
14.3	Campo scalare	381
	14.3.1 Definizione	381
	14.3.2 Gradiente	382
	14.3.3 Proprietà del gradiente	385
14.4	Campo vettoriale	386
	14.4.1 Definizione	386
	14.4.2 Linee di campo	387
14.5	Circuitazione	388
14.6	Campi conservativi. Potenziale scalare.	389
	14.6.1 Definizione di campo conservativo e di potenziale scalare	389
	14.6.2 Relazione fra il campo conservativo ed il potenziale scalare	389
	14.6.3 Superfici equipotenziali	390
	14.6.4 Condizioni perché un campo vettoriale sia conservativo. Rotore.	391
14.7	Flusso	393
14.8	Campi solenoidali. Potenziale vettore.	395
	14.8.1 Teorema di Stokes. Definizione di potenziale vettore.	395
	14.8.2 Condizioni perché un campo vettoriale sia solenoidale. Divergenza.	397
14.9	Confronto fra campo conservativo e campo solenoidale.	398
14.10	Campi armonici	399
14.11	Proprietà integrali di gradiente, divergenza e rotore.	400
	14.11.1 Lemma di Gauss-Ostrogradskij	400
	14.11.2 Teorema del gradiente	402
	14.11.3 Teorema della divergenza	402
	14.11.4 Teorema del rotore	404
15.	Sistemi fluidi	409
15.1	Introduzione	410
15.2	Proprietà dei fluidi	412
	15.2.1 Densità	412
	15.2.2 Viscosità e attrito interno	413
15.3	Azioni meccaniche sui fluidi	415
15.4	Statica dei fluidi	418
	15.4.1 Equilibrio statico di un fluido	418
	15.4.2 Statica dei fluidi in presenza della forza peso	423
	15.4.3 Pressione atmosferica	424
	15.4.4 Misura della pressione. Manometri.	426
	15.4.5 Equazione barometrica.	427
	15.4.6 Vasi comunicanti	428
	15.4.7 La spinta idrostatica e la legge di Archimede	429
15.5	Idraulica dei fluidi	431
	15.5.1 Considerazioni generali	431

15.5.2	<i>Linee e tubi di flusso</i>	433
15.5.3	<i>L'equazione di continuità</i>	436
15.5.4	<i>L'equazione di Bernoulli</i>	440
15.5.5	<i>Applicazioni dell'equazione di Bernoulli</i>	443
16.	Propagazione per onde	453
16.1	Introduzione	454
16.2	Rappresentazione matematica di un'onda	455
16.2.1	<i>Dipendenza dalle variabili spaziali e dal tempo</i>	455
16.2.2	<i>L'equazione di D'Alembert</i>	457
16.3	Classificazione delle onde	459
16.4	Onde armoniche	462
16.5	Esempi di propagazione per onde	466
16.5.1	<i>Onde trasversali in una corda tesa</i>	466
16.5.2	<i>Onde di pressione nei gas. Propagazione del suono</i>	468
16.5.3	<i>Onde elastiche longitudinali in una sbarra solida</i>	473
16.6	Propagazione dell'energia nel moto di un'onda	475
16.7	Onde in due e tre dimensioni	477
16.7.1	<i>Onde piane tridimensionali</i>	477
16.7.2	<i>Onde cilindriche e sferiche</i>	478
16.8	Relazioni di dispersione	481
16.8.1	<i>Dispersione</i>	481
16.8.2	<i>Vibrazioni di un reticolo unidimensionale</i>	482
16.9	Impulsi e pacchetti d'onde	490
16.9.1	<i>Considerazioni generali</i>	490
16.9.2	<i>Sovrapposizione di due oscillazioni armoniche. Battimenti.</i>	491
16.9.3	<i>Onde progressive modulate in ampiezza.</i>	493
16.9.4	<i>Sovrapposizione di molte oscillazioni armoniche. Impulsi.</i>	495
16.9.5	<i>Analisi di Fourier degli impulsi</i>	499
16.9.6	<i>Analisi di Fourier di un pacchetto d'onde progressive</i>	504
16.10	Fenomeni caratteristici della propagazione ondulatoria	507
16.10.1	<i>Riflessione e rifrazione</i>	507
16.10.2	<i>Interferenza</i>	510
16.10.3	<i>Diffrazione</i>	514
16.10.4	<i>Effetto Doppler</i>	515
16.11	Onde stazionarie e modi normali	519
16.11.1	<i>Introduzione</i>	519
16.11.2	<i>Onde stazionarie in una corda</i>	519
16.11.3	<i>Soluzione completa dell'equazione d'onda per una corda vincolata</i>	522
16.11.4	<i>Onde stazionarie longitudinali in una colonna di gas</i>	527
16.12	Sistemi vibranti e sorgenti sonore	528

17. Gravitazione	537
17.1 Introduzione	538
17.2 Dalle leggi di Keplero alla legge di gravitazione universale	540
17.3 La misurazione della costante di gravitazione universale	544
17.4 Il campo gravitazionale	545
17.5 Energia potenziale in un campo gravitazionale	549
17.6 Energia propria gravitazionale	553
17.7 Energia ed orbite dei corpi celesti	554
17.8 Energia potenziale efficace e moto dei pianeti	559
17.9 Il flusso del campo gravitazionale ed il teorema di Gauss	561
17.9.1 Il campo gravitazionale prodotto da una massa sferica	564
17.9.2 Forza peso ed accelerazione di gravità	566
17.10 Gravitazione e Relatività	569
18. Sistemi termodinamici	587
18.1 Introduzione	588
18.2 Caratterizzazione di un sistema termodinamico	588
18.3 Variabili termodinamiche	589
18.4 Temperatura e termometro	590
18.5 Equilibrio Termodinamico	595
18.6 Equazione di stato	596
18.7 Trasformazioni termodinamiche	597
19. Il gas perfetto e la sua equazione di stato	603
19.1 Stato perfetto	604
19.2 Equazione di stato del gas perfetto	607
19.3 Equazione di stato per un miscuglio di gas perfetti	612
20. Modello cinetico del gas perfetto	617
20.1 Premessa ed ipotesi	618
20.2 Interpretazione cinetica della pressione della temperatura	620
20.3 Velocità molecolari	628
20.3.1 Distribuzione maxwelliana	628
20.3.2 Verifica sperimentale	634
20.3.3 Il cammino libero medio	635

21. Trasferimento di energia	641
21.1 Premessa	642
21.2 Trasferimento di energia meccanica: lavoro termodinamico	643
21.2.1 <i>Considerazioni generali</i>	643
21.2.2 <i>Lavoro compiuto in una trasformazione reale</i>	643
21.2.3 <i>Lavoro compiuto in una trasformazione quasi statica</i>	644
21.2.4 <i>Il lavoro dipende dal tipo di trasformazione</i>	646
21.3 Trasferimento di energia termica: calore	649
21.3.1 <i>Conduttore termico ed isolante</i>	649
21.3.2 <i>Definizione di calore</i>	649
21.3.3 <i>Misura del calore: calore specifico</i>	653
21.4 Trasmissione del calore	658
21.4.1 <i>Conduzione.</i>	659
21.4.2 <i>Convezione.</i>	662
21.4.3 <i>Irraggiamento</i>	663
22. Il primo principio della termodinamica	673
22.1 Introduzione	674
22.2 L'energia interna	674
22.3 L'energia interna come funzione di stato	677
22.4 Il primo principio	679
22.5 Espansione libera di un gas. Esperimento di Joule	681
22.6 Capacità termica di un gas perfetto	683
22.7 Le trasformazioni di un gas perfetto	684
22.7.1 <i>Trasformazione isocora</i>	684
22.7.2 <i>Trasformazione isobara</i>	685
22.7.3 <i>Trasformazione isoterma</i>	685
22.7.4 <i>Trasformazione adiabatica</i>	686
22.8 Entalpia	688
23. Macchine e cicli termodinamici	697
23.1 Introduzione	698
23.2 La macchina di Carnot	700
23.3 La macchina di Stirling	704
23.4 Macchine a combustione interna	706

24. Il secondo principio 715

24.1	Introduzione	716
24.2	L'entropia ed il secondo principio	718
24.3	L'identità termodinamica e l'entropia classica	722
24.4	Entropia e macchine termiche	728
24.5	La scala termodinamica della temperatura e lo zero assoluto	731
24.6	Potenziali termodinamici	733
	24.6.1 <i>L'energia libera</i>	733
	24.6.2 <i>Il potenziale chimico</i>	736
24.7	La funzione di partizione	739

Appendici 751

A.	Richiami di algebra	752
B.	Elementi di trigonometria	753
C.	Richiami di calcolo differenziale e integrale	759
D.	Richiami di calcolo vettoriale	778
E.	La serie di Taylor	792
F.	Numeri complessi	795
G.	Funzioni iperboliche	801
H.	Relazioni utili di analisi vettoriale	803
I.	Serie di Fourier	806
L.	Prefissi usati per le unità di misura nel SI	807
M.	Fattori di conversione	807
N.	Tavola periodica degli elementi	811
O.	Migliori valori delle costanti fisiche fondamentali	814

Indice Analitico 815
