

SERGIO FOCARDI
IGNAZIO MASSA
ARNALDO UGUZZONI

Dipartimento di Fisica
dell'Università di Bologna

FISICA GENERALE

MECCANICA E TERMODINAMICA

*S.U.N. - Biblioteca del Dipartimento di Matematica e Fisica
Viale Lincoln, 5 - 81100 Caserta*

E' fatto assoluto divieto di sottolineare e/o danneggiare i libri di proprietà della Biblioteca.
L'inosservanza di tale norma può comportare provvedimenti nei confronti dell'utente che dovrà provvedere al reintegro del testo danneggiato, acquistando una nuova copia o una copia di eguale valore indicata dal Responsabile della Biblioteca.



CASA EDITRICE AMBROSIANA

INDICE

CAPITOLO 1

GRANDEZZE FISICHE

Compendio	1
1-1 Introduzione	2
1-2 Il metodo scientifico	3
1-3 Leggi della fisica e principi	4
1-4 I modelli in fisica	7
1-5 Grandezze fisiche e loro misurazione	8
1-6 Metodi di misurazione	9
1-7 Dimensioni delle grandezze fisiche	10
1-8 Sistemi di unità di misura	13
1-9 Errori	14
1-10 Tempo	15
1-11 Lunghezza	17
1-12 Massa	19
1-13 Misure e indeterminazione	20
1-14 Misure di tempo	22
1-14-1 Il secondo	22
1-14-2 Misure indirette di tempo	23
1-14-3 Misure di tempi di reazione nucleare	24
1-15 Misure di lunghezza	25
1-15-1 Il metro	25
1-15-2 Metodo della triangolazione	26
1-15-3 Metodi basati su misure di tempo	27
1-15-4 Metodi per distanze astronomiche	28
1-15-5 Metodi per dimensioni nucleari	29
1-16 Legge del decadimento	30
1-17 Errori	31
1-17-1 Errori sistematici ed errori casuali	31
1-17-2 Risultato di una misurazione	33
1-17-3 Distribuzione di Gauss	34
1-17-4 Distribuzione di Poisson	36
1-17-5 Propagazione degli errori	37
1-18 Cifre significative	37
Riepilogo di alcune relazioni significative	38

APPROFONDIMENTI

COMPLEMENTI

CAPITOLO 2 CALCOLO VETTORIALE

	Compendio	39
	2-1 Grandezze scalari e grandezze vettoriali	40
	2-2 Notazioni e definizioni vettoriali	42
	2-3 Somma e differenza di vettori	42
	2-4 Prodotto di uno scalare per un vettore	43
	2-5 Versori	44
	2-6 Scomposizione di vettori	45
	2-7 Prodotto scalare	47
	2-8 Prodotto vettoriale	49
	2-9 Rappresentazione cartesiana ortogonale	50
	2-10 Equivalenza fra le rappresentazioni vettoriali	51
	2-11 Espressioni cartesiane delle operazioni fra vettori	52
	2-12 Derivate di vettori in forma cartesiana	54
	2-13 Derivata di versori e di vettori	55
	2-14 Momento di un vettore applicato	57
	2-15 Vettore posizione e sistemi di coordinate	59
	2-16 Coordinate polari piane	60
APPROFONDIMENTI	2-17 Vettori e proprietà di trasformazione	61
	2-17-1 Traslazioni	62
	2-17-2 Rotazioni attorno a uno degli assi	63
	2-17-3 Riflessione speculare	65
	2-18 Prodotti tripli	66
	2-19 Sistemi di vettori applicati	67
COMPLEMENTI	2-20 Operatore Nabla	70
	2-21 Coordinate polari e cilindriche	72
	2-21-1 Coordinate polari sferiche	72
	2-21-2 Coordinate polari cilindriche	73
	Riepilogo di alcune relazioni significative	75

CAPITOLO 3 CINEMATICA

	Compendio	76
	3-1 Introduzione	77
	3-2 Moto e sistemi di riferimento	77
	3-3 Lo schema del punto materiale	78
	3-4 Equazione vettoriale del moto: traiettoria e legge oraria	79
	3-5 Introduzione al concetto di velocità	83
	3-6 Il vettore velocità	84
	3-7 Rappresentazione intrinseca della velocità	85
	3-8 Rappresentazione cartesiana della velocità	87
	3-9 Accelerazione	89
	3-10 Espressione intrinseca dell'accelerazione	92
	3-11 Classificazione di moti elementari	95
	3-11-1 Moti uniformi	95
	3-11-2 Moti con $\ddot{s} = \text{costante}$	96
	3-12 Moti rettilinei	98
	3-13 Moti circolari	99
	3-13-1 Geometria e versori intrinseci della traiettoria	99
	3-13-2 Moto circolare uniforme	100
	3-13-3 Moto circolare uniformemente vario	101
	3-13-4 Grandezze angolari	101
	3-13-5 Periodicità del moto circolare uniforme	103
	3-14 Moto oscillatorio armonico	105

3-15	Moto piano in coordinate polari	107
3-16	Il problema inverso della cinematica	110
3-17	Moto con accelerazione costante: i gravi	112
3-18	Cinematica dei moti relativi: introduzione	119
3-19	Leggi di trasformazione di velocità e accelerazione	120
3-20	Moto relativo di traslazione rettilinea	123
3-21	Trasformazioni di Galileo	123
3-22	Moto relativo di rotazione	127
3-23	Moto relativo di rototraslazione	129
APPROFONDIMENTI	3-24 Velocità e accelerazione nei moti relativi	130
	3-24-1 Derivate di vettori e sistemi di riferimento	130
	3-24-2 Trasformazioni delle velocità	132
	3-24-3 Trasformazioni delle accelerazioni	133
COMPLEMENTI	3-25 Problema inverso nel moto unidimensionale	133
	3-26 Cinematica e proprietà geometriche delle curve	135
	3-27 Moto in coordinate polari	138
	3-28 Le relazioni di Poisson	139
	Riepilogo di alcune relazioni significative	140

CAPITOLO 4**I PRINCIPI DELLA DINAMICA**

	Compendio	142
4-1	Introduzione	143
4-2	Interazioni e ambiente	143
4-3	Forze	144
4-4	Definizione operativa delle forze	146
4-5	Reazioni vincolari	148
4-6	Introduzione ai Principi della Dinamica	149
4-7	Primo Principio della Dinamica	150
	4-7-1 Le indicazioni sperimentali	150
	4-7-2 I sistemi di riferimento inerziali	151
4-8	Secondo Principio della Dinamica	154
4-9	Massa inerziale	156
4-10	Principio di azione e reazione	158
4-11	Quantità di moto e impulso	160
4-12	Momento angolare	163
APPROFONDIMENTI	4-13 Massa e peso	165
	4-14 Misure indirette di massa	167
	4-15 Quantizzazione della massa	168
	4-16 Misura dinamica delle forze	169
	4-17 Principio di relatività e covarianza delle leggi fisiche	170
4-18	Interazioni fondamentali	173
	4-18-1 Interazione gravitazionale	175
	4-18-2 Interazione elettrodebole	176
	4-18-3 Interazione nucleare forte	177
4-19	Campi di forze	178
	Riepilogo di alcune relazioni significative	179

CAPITOLO 5**APPLICAZIONI DEI PRINCIPI DELLA DINAMICA**

	Compendio	180
5-1	Introduzione	181
5-2	Forze costanti	181
5-3	Forze elastiche e legge di Hooke	187
5-4	Il pendolo semplice	192

5-5	Forze che dipendono dalla velocità	194
5-6	Attrito radente	195
5-6-1	Attrito statico	196
5-6-2	Attrito dinamico	197
5-6-3	Attrito e locomozione	199
5-7	Dinamica di moti circolari	201
5-8	Dinamica nei sistemi di riferimento non inerziali	205
5-8-1	La dinamica in un treno accelerato	206
5-8-2	Non equivalenza dei sistemi di riferimento non inerziali	208
5-8-3	La dinamica in un ascensore accelerato	210
5-8-4	La dinamica su una piattaforma rotante	212
5-9	Sistema di riferimento terrestre	216
5-10	Oscillazioni smorzate	218
5-11	Oscillazioni forzate e risonanza	220
	Riepilogo di alcune relazioni significative	222

COMPLEMENTI

CAPITOLO 6

LAVORO E ENERGIA

	Compendio	224
6-1	Introduzione	225
6-2	Lavoro di una forza	226
6-3	Energia cinetica - Teorema delle forze vive	228
6-4	Campi di forze conservativi	232
6-5	Alcuni campi conservativi	235
6-5-1	Forza peso	235
6-5-2	Forza elastica	235
6-5-3	Forze centrali a simmetria sferica	236
6-5-4	Forza centrifuga	239
6-6	Forze non conservative	241
6-7	Conservazione dell'energia meccanica	243
6-8	Trasformismo dell'energia	249
6-9	Energia meccanica e sistemi a un grado di libertà	252
6-10	Trasformazioni di energia	253
6-11	Macchine semplici	256
6-12	Potenza	257
6-13	Conservazione dell'energia	259
6-14	Energia potenziale e stabilità dell'equilibrio	262
	Riepilogo di alcune relazioni significative	267

APPROFONDIMENTI

CAPITOLO 7

DINAMICA DEI SISTEMI

	Compendio	268
7-1	Introduzione	269
7-2	Centro di massa	269
7-2-1	Sistemi discreti	269
7-2-2	Sistemi continui	271
7-3	Quantità di moto e moto del centro di massa	275
7-3-1	Moto del centro di massa	275
7-3-2	Conservazione della quantità di moto	279
7-4	Momento angolare di un sistema	282
7-5	Equazioni cardinali	284
7-6	Terzo principio della Dinamica	286
7-7	Sistemi di forze parallele e baricentro	288
7-8	Moto rispetto al centro di massa	290
7-8-1	Momento angolare	291

	7-8-2 Energia cinetica	292
	7-9 Lavoro ed energia	293
	7-9-1 Pseudolavoro	298
	7-10 Sistemi di due corpi	300
	7-11 Moto relativo di due corpi	303
	7-12 Fenomeni d'urto	307
	7-12-1 Introduzione	307
	7-12-2 La conservazione di grandezze dinamiche negli urti	309
	7-12-3 Limitazioni derivanti dai principi di conservazione	310
APPROFONDIMENTI	7-13 Urti unidimensionali	311
	7-14 Collisioni fra due corpi e moto relativo	315
	7-14-1 Collisioni elastiche	317
	7-14-2 Collisioni anelastiche	317
	7-14-3 Moto relativo e urti centrali	318
	7-14-4 Coefficiente di anelasticità	319
	7-15 Urti e interazioni	319
COMPLEMENTI	7-16 Diffusione elastica in un campo coulombiano	321
	7-17 Moto dei razzi	325
	Riepilogo di alcune relazioni significative	328

CAPITOLO 8**CORPI RIGIDI**

	Compendio	329
	8-1 Introduzione	330
	8-2 Cinematica dei sistemi rigidi	331
	8-2-1 Moti traslatori	332
	8-2-2 Moti rotatori con asse fisso	332
	8-2-3 Moti rotatori con asse variabile	334
	8-3 Momento di inerzia	335
	8-4 Dinamica dei sistemi rigidi con asse fisso	340
	8-4-1 L'equazione del moto	340
	8-4-2 Assi di rotazione e assi di simmetria	343
	8-4-3 Pendolo fisico	345
	8-4-4 Pendolo di torsione	347
	8-5 Conservazione del momento angolare assiale	348
	8-6 Energia cinetica di un sistema rigido	351
	8-7 Lavoro delle forze agenti sui sistemi rigidi	353
	8-8 Energia e moto di sistemi rigidi	355
	8-9 Attrito volvente	359
	8-10 Statica dei sistemi rigidi	360
	8-11 Fenomeni elastici	365
APPROFONDIMENTI	8-12 Trasferimenti di impulso e momento angolare	367
	8-13 Stabilità dell'equilibrio	373
COMPLEMENTI	8-14 Moti giroscopici	376
	8-15 Dinamica del rotolamento puro	378
	Riepilogo di alcune relazioni significative	385

CAPITOLO 9**GRAVITAZIONE**

	Compendio	386
	9-1 Introduzione	386
	9-2 Legge di gravitazione	387
	9-3 Massa inerziale e massa gravitazionale	390
	9-4 Legge di Newton e leggi di Keplero	393
	9-5 Campi centrali a simmetria sferica. Costanti del moto	395

COMPLEMENTI

9-6	Orbite circolari nel campo gravitazionale	398
9-7	Costante gravitazionale G	400
9-8	Accelerazione di gravità	404
	9-8-1 Effetti non inerziali	404
	9-8-2 Effetti di marea	405
9-9	Prima legge di Keplero	408
9-10	Gravitazione ed esplorazioni spaziali	413
9-11	Gravitazione e cosmologia	415
	9-11-1 Densità e destino dell'Universo	416
	9-11-2 I buchi neri	417
	Riepilogo di alcune relazioni significative	418

CAPITOLO 10

ELEMENTI DI MECCANICA DEI FLUIDI

	Compendio	419
10-1	Introduzione	419
10-2	Densità	420
10-3	Pressione	421
10-4	Equazione della statica	422
	10-4-1 Legge di Stevino e Legge di Pascal	424
	10-4-2 La pressione atmosferica	425
	10-4-3 Dipendenza della pressione atmosferica dalla quota	426
10-5	Legge di Archimede	427
10-6	Misure di pressione	429
10-7	Dinamica dei fluidi	430
10-8	Equazione di continuità	432
10-9	Teorema di Bernoulli	432
	10-9-1 Tubo di Venturi	434
	10-9-2 Tubo di Pitot	434
10-10	Fluidi reali	435
10-11	Resistenza del mezzo	437
	Riepilogo di alcune relazioni significative	439

APPROFONDIMENTI

CAPITOLO 11

FENOMENI ONDULATORI

	Compendio	440
11-1	Introduzione	440
11-2	Equazione differenziale delle onde	442
11-3	Sovrapposizione di onde	444
11-4	Interferenza	445
11-5	Onde stazionarie	449
11-6	Battimenti e velocità di gruppo	450
	11-6-1 Velocità di fase e velocità di gruppo	451
11-7	Onde su una corda elastica	452
11-8	Intensità di un'onda su una corda	453
11-9	Onde stazionarie su corda vibrante	454
11-10	Onde sonore	455
11-11	Onde sonore nei gas	456
11-12	Intensità delle onde sonore	458
11-13	Onde stazionarie nei gas	460
11-14	Riflessione e trasmissione delle onde	460
11-15	Propagazione delle onde	463
11-16	Legge della riflessione	464
11-17	Rifrazione	465
11-18	Diffrazione	466

COMPLEMENTI	11-19 Effetto Doppler	467
	Riepilogo di alcune relazioni significative	469
CAPITOLO 12	SISTEMI TERMODINAMICI	
	Compendio	470
	12-1 Introduzione	470
	12-2 Coordinate termodinamiche	472
	12-3 Pareti adiabatiche e diatermiche: equilibrio termico	474
	12-4 Principio zero e temperatura	475
	12-5 Temperatura del termometro a gas perfetto	479
	12-6 Dilatazione termica	480
	12-7 Trasformazioni termodinamiche	482
	12-8 Termostati (serbatoi)	484
	12-9 Equazioni di stato dei gas	486
	12-9-1 Gas ideali	486
	12-9-2 Gas reali	490
	12-10 Lavoro termodinamico	492
	12-10-1 Lavoro dei gas ideali	496
	12-10-2 Lavoro dell'attrito e reversibilità	497
	12-11 Metodo statistico	498
COMPLEMENTI	12-12 Stati di aggregazione e punto triplo	502
	Riepilogo di alcune relazioni significative	503
CAPITOLO 13	PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA	
	Compendio	505
	13-1 Introduzione	505
	13-2 Lavoro adiabatico ed energia interna	506
	13-3 Primo Principio e calore	508
	13-4 Trasmissione del calore	512
	13-5 Capacità termica	517
	13-6 Proprietà dei gas ideali	522
	13-6-1 Energia interna	522
	13-6-2 Capacità termica e relazione di Mayer	523
	13-6-3 Trasformazioni adiabatiche quasi-statiche	525
	13-6-4 Trasformazioni politropiche	526
	13-7 Aspetti microscopici	528
APPROFONDIMENTI	13-8 Equazioni di Clapeyron	531
	13-9 Relazioni fra i calori molari	534
COMPLEMENTI	13-10 Esperimento di Joule	535
	Riepilogo di alcune relazioni significative	537
CAPITOLO 14	SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA	
	Compendio	539
	14-1 Introduzione	540
	14-2 Come ottenere lavoro da un serbatoio di calore	540
	14-3 Enunciato di Kelvin-Planck: macchine termiche	541
	14-4 Enunciato di Clausius: macchine frigorifere	544
	14-5 Equivalenza dei due enunciati	545
	14-6 Macchine reversibili e ciclo di Carnot	545
	14-7 Teorema di Carnot	546
	14-8 Macchina reversibile a gas perfetto	547
	14-9 Temperatura termodinamica assoluta	547

	14-10 Rendimento delle macchine di Carnot	548
	14-11 Teorema di Clausius	553
	14-12 Entropia	554
	14-13 Entropia e rendimento	560
	14-14 Traccia di una trasformazione ed energia degradata	562
	14-15 Entropia dei sistemi idrostatici e piano $[S,T]$	566
	14-16 Energie libere	568
	14-17 Entropia e probabilità	568
	14-17-1 Entropia e disordine	572
COMPLEMENTI	14-18 Entropia e informazione	573
	14-19 Trasformazioni termiche	575
APPROFONDIMENTI	14-20 Temperatura assoluta	576
	14-21 Ciclo di Carnot ed equazioni di Clapeyron	578
	14-22 Sulla definizione di gas perfetto	579
	Riepilogo di alcune relazioni significative	581
CAPITOLO 15	ELEMENTI DI MECCANICA RELATIVISTICA	
	Compendio	582
	15-1 Introduzione	583
	15-1-1 I Principi della Relatività	584
	15-2 La velocità limite	585
	15-3 Spazio, tempo e sistemi di riferimento	586
	15-3-1 Osservatori e procedure di misurazione	586
	15-3-2 Necessità di una revisione dei concetti di spazio e di tempo	587
	15-3-3 Moto relativo e lunghezze trasversali	588
	15-4 Simultaneità	589
	15-5 Dilatazione del tempo	591
	15-5-1 Verifiche sperimentali	593
	15-6 Contrazione delle lunghezze	594
	15-7 Relatività e trasformazioni di Lorentz	596
	15-7-1 Trasformazioni di velocità e accelerazioni	598
	15-8 Introduzione alla dinamica relativistica	600
	15-9 Energia	601
	15-9-1 Energia cinetica	601
	15-9-2 Energia a riposo e massa	602
	15-9-3 Energia, massa e quantità di moto	604
	15-9-4 Fotoni e particelle di massa nulla	604
	15-10 Forza, accelerazione e massa	605
	15-11 Equivalenza massa-energia	607
	15-11-1 La formula di Einstein	607
	15-11-2 Alcune trasformazioni massa-energia	608
	15-11-3 Difetto di massa ed energia di legame	608
	Riepilogo di alcune relazioni significative	609
APPENDICE	A-1 Funzioni	611
	A-2 Derivate e differenziali	612
	A-3 Proprietà delle derivate	615
	A-4 Derivate parziali	616
	A-5 Approssimazione delle funzioni con polinomi	618
	A-6 Integrali	619
	A-7 Equazioni differenziali	622
	A-8 Integrali curvilinei	624
	A-9 Numeri complessi	626
	Premi Nobel per la Fisica	629
	Indice analitico	632