

Joseph Chahoud

MECCANICA QUANTISTICA
NASCITA E SVILUPPO



Pitagora Editrice Bologna

Indice

Prefazione	XIII
Capitolo 1 - ELEMENTI DI TERMODINAMICA STATISTICA	
1. 1 Considerazioni introduttive	1
1. 2 Ensemble statistico	5
1.2.1 Valori medi sull'ensemble	7
1.2.2 Postulato A	8
1.2.3 Postulato B	9
1. 3. Approccio statistico	16
1.3.1 Il modello del gas ideale	17
1.3.2 La distribuzione di Maxwell	26
1.3.3 L'entropia e l'equazione di Boltzmann-Planck	27
1.3.4 Calcolo della funzione di partizione	32
1.3.5 Identità e indistinguibilità	34
1.3.6 La statistica Bose-Einstein	39
1.3.7 La statistica di Fermi-Dirac	50
1.3.8 Il modello del solido ideale	60
1.3.9 La termodinamica statistica del reticolo cristallino	66
1. 4 I calori specifici dei gas ideali	76
1.4.1 I gas biatomici	77
Capitolo 2 - IL PROBLEMA DELLA RADIAZIONE TERMICA	
2. 1 Modelli classici dell'interazione tra radiazione e materia	85
2.1.1 L'elettrone libero	85
2.1.2 L'oscillatore classico	86
2.1.3 Oscillatori accoppiati	88
2. 2 Il problema del corpo nero	92
2.2.1 Generalità	92
2.2.2 Legge di Lambert	93
2.2.3 Legge di Kirchhoff e corpo nero	94
2.2.4 La soluzione termodinamica	99
2.2.5 La cavità elettromagnetica	106
2.2.6 Modelli solubili	115
a) Teoria di Rayleigh-Jeans	
b) Teoria di Planck	

Capitolo 3 - ASPETTI MICROSCOPICI DELL'INTERAZIONE TRA RADIAZIONE E MATERIA

3. 1	Teoria di Bohr dell'atomo di idrogeno	123
3. 2	Effetto fotoelettrico	130
3. 3	Effetto Compton	134
3. 4	Aspetto ondulatorio della materia	136
3. 5	Sintesi della meccanica classica del corpuscolo	138
3. 5.1	Sistemi conservativi	139
3. 5.2	Coordinate separabili	141
3. 5.3	Corpuscolo in un campo coulombiano	144
3. 6	Il postulato della quantizzazione di Bohr-Sommerfeld-Wilson	150
3. 7	La teoria di Bohr e la diffrazione degli elettroni	156
3. 8	Statistica dei quanti e formula di Planck	157

Capitolo 4 - EQUAZIONE DEL MOTO NELLA MECCANICA QUANTISTICA

4. 1	Premessa	163
4. 2	Il principio di indeterminazione	165
4. 3	Le condizioni iniziali	169
4. 4	La meccanica ondulatoria dei corpuscoli	172
4. 5	La meccanica classica delle onde e l'approssimazione dell'ottica geometrica	175
4. 6	Equazione ondulatoria del moto di un corpuscolo	184
4. 7	La meccanica quantistica, Equazione del moto	193
4. 8	La funzione d'onda e lo schema interpretativo	197
4. 9	Gli osservabili	202

Capitolo 5 - FORMULAZIONE GENERALE DELLA MECCANICA QUANTISTICA

5. 1	Cinematica classica della polarizzazione della luce	212
5. 2	Cinematica quantistica della polarizzazione della luce	215
5. 3	Osservabili	222
5. 4	Interferenza	232
5. 5	Cinematica quantistica di una particella	235
5. 5.1	Cambiamento di base, funzione di trasformazione	238
5. 6	Osservabili elementari	241
5. 7	Equazione del moto	246
5. 8	Cenni sugli operatori lineari	253
5. 9	Autovalori e Autofunzioni	260
5.10	Algebra degli operatori	269
5.11	Le equazioni del moto in forma operatoriale	277

Capitolo 6 - PROBLEMI SEMPLICI

6. 1	La particella libera	281
6. 1.1	Approccio spazio-temporale e parallelismo classico	293
6. 2	L'oscillatore armonico lineare	297
6. 2.1	Ortogonalità delle autofunzioni ψ_n	304
6. 2.2	Gli zeri delle autofunzioni dell'energia	305
6. 2.3	Aspetto corpuscolare	306

6.2.4	Un aspetto puramente quantistico	311
6.3	L'oscillatore armonico bidimensionale	315
6.4	L'oscillatore armonico tridimensionale	317
6.5	L'oscillatore lineare, un approccio diverso	319
6.6	Alcune considerazioni sul moto unidimensionale	323
6.7	Potenziali costanti a tratti	327
6.7.1	Condizioni al contorno	328
6.7.2	Riflessione di elettroni su una superficie di discontinuità del potenziale	330
6.7.3	Buca di potenziale rettangolare unidimensionale finita	337
6.7.4	Buca simmetrica di altezza infinita	344
6.7.5	Barriera di potenziale rettangolare unidimensionale	347
6.7.6	Stati di una particella in un potenziale periodico	351

Capitolo 7 - L'APPROSSIMAZIONE SEMI-CLASSICA

7.1	L'approssimazione classica	361
7.2	Il metodo WKB	364
7.2.1	Prima approssimazione	364
7.2.2	Seconda approssimazione	366
7.2.3	Condizioni al contorno	367
7.3	L'integrale di Airy	373

Capitolo 8 - PROBLEMI TRIDIMENSIONALI

8.1	Il rotatore rigido	377
8.2	Le armoniche sferiche	389
8.3	Gli stati di un corpuscolo in un potenziale centrale	393
8.3.1	L'atomo d'idrogeno	398
8.3.2	La particella libera	411
8.3.3	Particella in una buca di potenziale sferica	413
8.3.4	L'oscillatore armonico isotropo	416
8.4	Stati non legati	419
8.4.1	Buca (o Barriera) di potenziale sferica	420
8.4.2	Potenziale centrale non coulombiano	422
8.4.3	Calcolo degli sfasamenti $\delta_l(k)$	425
8.4.4	La diffusione coulombiana	433

Capitolo 9 - MOMENTI ANGOLARI

9.1	Generalità e operatori di rotazione	439
9.2	Momento angolare orbitale	444
9.3	Rappresentazione esplicita degli operatori $\hat{l}_1, \hat{l}_2, \hat{l}_3$	448
9.4	Il problema agli autovalori	449
9.5	Spettri degli autovalori di $\hat{J}^2$ e $\hat{J}_z$	452
9.6	Il momento angolare orbitale	456
9.7	Osservazioni	456
9.8	Legge di composizione di due momenti angolari	466
9.9	I coefficienti di Clebsch-Gordan: proprietà e formule di ricorrenza	472
9.10	Alcuni teoremi utili	478

Capitolo 10 - METODI DI APPROSSIMAZIONE

10. 1	Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo	484
10.1.1	Esempio introduttivo	484
10.1.2	Il metodo Brillouin-Wigner	489
10.1.3	Il metodo di Rayleigh-Schrödinger	491
10.1.4	La costante della normalizzazione	495
10.1.5	Commento sulla serie di Rayleigh-Schrödinger	496
10.1.6	Calcolo degli effetti della perturbazione su livelli imperturbati quasi-degeneri	499
10.1.7	Perturbazione periodica	503
10.1.8	Caso di degenerazione esatta	508
10. 2	Il metodo variazionale	510
10. 3	Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo	516
10.3.1	La rappresentazione dell'interazione	517
10.3.2	La soluzione perturbativa	518
10.3.3	Le transizioni del primo ordine	519
10.3.4	Le transizioni del secondo ordine	527
10.3.5	Il teorema ottico	530

Capitolo 11 - LO SPIN DELL'ELETTRONE E L'ATOMO DI IDROGENO

11. 1	Atomo in un campo magnetico	535
11. 2	L'effetto Zeeman normale	541
11. 3	Lo spin dell'elettrone	542
11.3.1	Cenni sul formalismo dello spin	544
11.3.2	Stati di un elettrone con spin	546
11. 4	I livelli di Zeeman	550
11. 5	Interazione spin-orbita	551
11. 6	Esperienza di Stern-Gerlach	554

Capitolo 12

Problemi	557
----------	-----

Appendici

Appendice A: Polinomi di Hermite	577
Appendice B: Cenni sulle equazioni differenziali lineari del secondo ordine	582
Appendice C: Funzioni di Legendre	593
Appendice D: Funzioni di Bessel	600
Appendice E: Coordinate curvilinee	608
Appendice F: La delta di Dirac	613

Notazioni	623
-----------	-----

Indice analitico	627
------------------	-----