

SUMÁRIO

Prefácio	15
1 Introdução aos Métodos Estatísticos	21
1.1 O problema do caminho aleatório	22
1.2 Valores médios e desvio padrão	24
1.3 Limite gaussiano da distribuição binomial	27
1.4 Distribuições de várias variáveis aleatórias. Distribuições contínuas	30
*1.5 Distribuição para o problema do caminho aleatório generalizado. Limite gaussiano	34
Exercícios	38
2 Descrição Estatística de um Sistema Físico	41
2.1 Especificação do estado microscópico de um sistema: exemplos quânticos	42
2.2 Especificação do estado microscópico de um sistema clássico de partículas	48
*2.3 Ensemble estatístico, hipótese ergódica, postulado fundamental da mecânica estatística	52
*2.4 Considerações sobre a formulação da mecânica estatística dos sistemas quânticos	56
Exercícios	58
3 Roteiro para uma Revisão da Termodinâmica	61
3.1 Postulados da termodinâmica de equilíbrio	61

3.2	Parâmetros intensivos da termodinâmica	64
3.3	Equilíbrio entre dois sistemas termodinâmicos.	66
3.4	Relações de Euler e de Gibbs-Duhem	70
3.5	Derivadas termodinâmicas de interesse físico	71
3.6	Potenciais termodinâmicos.	72
3.7	Relações de Maxwell	77
3.8	Princípios variacionais da termodinâmica.	82
	Exercícios	85
4	Ensemble Microcanônico	89
4.1	Interação térmica entre dois sistemas macroscópicos.	90
4.2	Interação térmica e mecânica entre dois sistemas.	94
4.3	Conexão entre o ensemble microcanônico e a termodinâmica.	97
4.4	Gás ideal monoatômico clássico.	110
	Exercícios	114
5	Ensemble Canônico.	117
(A)	Conexão com a termodinâmica	119
(B)	Ensemble canônico no espaço de fase clássico	120
(C)	Flutuações da energia	121
(D)	Dedução alternativa da distribuição canônica.	122
5.1	Paramagneto ideal de spin 1/2.	124
5.2	Sólido de Einstein	127
5.3	Partículas com dois níveis de energia.	129
5.4	Gás de Boltzmann	131
	Exercícios	133
6	Gás Clássico no Formalismo Canônico	137
6.1	Gás ideal monoatômico clássico	139
6.2	Distribuição de Maxwell-Boltzmann.	141
6.3	Teorema da equipartição da energia	143
6.4	Gás monoatômico clássico de partículas interagentes	145
*6.5	Limite termodinâmico de um sistema contínuo	149
	Exercícios	153
7	Ensemble Grande Canônico e Ensemble das Pressões.	157
7.1	Ensemble das pressões	158
(A)	Conexão com a termodinâmica	159
(B)	Flutuações da energia e do volume	161
(C)	Exemplo: gás ideal monoatômico clássico.	162
7.2	Ensemble grande canônico.	165
(A)	Conexão com a termodinâmica	166
(B)	Flutuações da energia e do número de partículas	167
(C)	Exemplo: gás ideal monoatômico clássico.	170

* (D)	Representação complexa da grande função de partição	172
* (E)	Teoria de Yang e Lee das transições de fases	174
	Exercícios	176
8	Gás Ideal Quântico	181
8.1	Orbitais de uma partícula livre	184
8.2	Formulação do problema estatístico	187
8.3	Limite clássico	191
(A)	Distribuição de Maxwell-Boltzmann	194
(B)	Limite clássico no formalismo de Helmholtz	195
(C)	Limite clássico da função canônica de partição	196
8.4	Gás diluído de moléculas diatômicas	198
	Exercícios	201
9	Gás Ideal de Fermi	205
9.1	Gás ideal de Fermi completamente degenerado	208
9.2	Gás ideal de Fermi degenerado ($T \ll T_F$)	211
9.3	Paramagnetismo de Pauli	216
(A)	Magnetização no estado fundamental	218
(B)	Magnetização no limite degenerado ($T \ll T_F$)	219
(C)	Limite clássico	221
* 9.4	Diamagnetismo de Landau	222
(A)	Limite de altas temperaturas	226
(B)	O efeito de Haas-van Alphen	228
	Exercícios	230
10	Bósons Livres: Condensação de Bose-Einstein; Gás de Fótons	235
10.1	Condensação de Bose-Einstein	236
(A)	Diagrama de fases do hélio	241
(B)	Bósons livres na região normal ($\mu < 0$)	244
(C)	Bósons livres na região de coexistência ($\mu = 0$, $T < T_0$)	247
10.2	Gás de fótons. Estatística de Planck	248
(A)	Decomposição espectral do campo eletromagnético	250
(B)	Solução clássica	254
(C)	Lei de Planck	256
(D)	Quantização do campo eletromagnético	257
	Exercícios	259
11	Fônons e Mágnons	263
11.1	Fônons cristalinos	263
(A)	Vibrações elásticas em uma dimensão	264
(B)	Quantização do modelo unidimensional	268
(C)	Calor específico em três dimensões	272
11.2	Mágnons ferromagnéticos	274

(A) A interação de troca. Modelo de Heisenberg	275
(B) Ondas de spin no ferromagneto de Heisenberg	278
(C) Transformação de Holstein-Primakoff	280
(D) Magnetização do modelo de Heisenberg	283
11.3 Esboço de uma teoria da superfluidez	285
Exercícios	289
12 Transições de Fases e Fenômenos Críticos: Teorias Clássicas	291
12.1 Fluidos simples. Equação de van der Waals	292
(A) O modelo fenomenológico de van der Waals	295
12.2 Ferromagneto uniaxial simples. Equação de Curie-Weiss	301
(A) A teoria fenomenológica de Curie-Weiss	304
12.3 A fenomenologia de Landau	309
Exercícios	312
13 O Modelo de Ising	315
13.1 Solução exata em uma dimensão	318
13.2 Aproximação de campo médio para o modelo de Ising	322
13.3 Modelo de Curie-Weiss	326
13.4 Aproximação de Bethe-Peierls	328
13.5 Resultados exatos na rede quadrada	332
Exercícios	334
14 Teorias de Escala e Grupo de Renormalização	337
14.1 Teoria de escala dos potenciais termodinâmicos	337
(A) Escala das correlações críticas	341
14.2 A construção de Kadanoff	344
14.3 Renormalização para o modelo de Ising unidimensional	346
14.4 Renormalização do ferromagneto de Ising na rede quadrada	349
14.5 Esquema geral do grupo de renormalização	353
14.6 Grupo de renormalização para o ferromagneto de Ising na rede triangular	358
Exercícios	364
15 Fenômenos Fora do Equilíbrio. I. Métodos Cinéticos	367
15.1 O método cinético de Boltzmann	368
(A) O teorema H de Boltzmann	372
(B) Objeções históricas ao teorema H	376
(C) O modelo da urna de Ehrenfest	378
15.2 A hierarquia BBGKY	382
(A) Teorema de Liouville	382
(B) Funções de distribuição reduzidas. Dedução da hierarquia BBGKY	386
(C) A equação de Boltzmann a partir da hierarquia BBGKY	389

(D) A equação de Vlasov	391
Exercícios	392
16 Fenômenos Fora do Equilíbrio. II. Métodos Estocásticos.	397
16.1 Movimento browniano. A equação de Langevin	398
16.2 A equação de Fokker-Planck	405
16.3 A equação mestra.	409
(A) Exemplo: cinética química	411
(B) Justificativa probabilística da equação mestra	412
16.4 Modelo de Ising cinético: dinâmica de Glauber	414
(A) Dinâmica de Glauber na aproximação de campo médio	421
16.5 Método de Monte Carlo	423
(A) Cálculo de Monte Carlo para o modelo de Ising	425
Exercícios	426
Apêndices.	429
A.1 Série assintótica de Stirling	431
A.2 Integrais gaussianas	435
A.3 A função δ de Dirac	437
A.4 Volume de uma hiperesfera	441
A.5 Transformações jacobianas	445
A.6 Método do ponto de sela	449
A.7 Constantes numéricas	455
Bibliografia.	457
Índice Remissivo	461