

ÍNDICE

INTRODUÇÃO À FÍSICA ESTATÍSTICA **xiii**

1 PASSEIO ALEATÓRIO 1

- 1.1 Probabilidades: definições elementares 3
- 1.2 Variáveis aleatórias e funções de distribuição 5
- 1.3 Passeio aleatório simples 9
 - 1.3.1 Distribuição binomial 9
 - 1.3.2 Distribuição de Gauss 12
 - 1.3.3 Distribuição de Poisson 16
- 1.4 Passeio aleatório: caso geral 17
 - 1.4.1 Distribuições conjuntas para várias variáveis aleatórias 17
 - 1.4.2 Resultados gerais para o passeio aleatório a uma dimensão 19
 - 1.4.3 Passeio aleatório a três dimensões 21
- 1.5 Método de Monte Carlo de amostragem de passeios aleatórios * 25
- Apêndice A 33
 - A.1 — Cálculo de integrais da forma 33
 - A.2 — Cálculo de integrais da forma 34
 - A.3 — Cálculo de integrais da forma 36
- Apêndice B: Fórmula de Stirling 36
- Problemas 38
- Referências 41

2 TERMODINÂMICA ESTATÍSTICA — FUNDAMENTOS 43

- 2.1 Introdução 45
- 2.2 Revisão dos conceitos básicos da Termodinâmica do equilíbrio 47
 - 2.2.1 As Leis da Termodinâmica 47
 - 2.2.2 Potenciais termodinâmicos. Relações de Maxwell 53
 - 2.2.3 Funções de resposta termodinâmicas 56
 - 2.2.4 Sistemas magnéticos 59
 - 2.2.5 Sistemas eléctricos * 61
- 2.3 Postulados da Física Estatística 64
- 2.4 Sistema isolado 69
 - 2.4.1 Colectividade microcanónica 69
 - 2.4.2 Conexão com a Termodinâmica. Entropia 70
 - 2.4.3 Condições de equilíbrio num sistema isolado 72
 - 2.4.4 Processos infinitesimais quase-estáticos 79
 - 2.4.5 Sólido paramagnético isolado 81
- 2.5 Condições gerais de equilíbrio. Potenciais termodinâmicos 87
 - 2.5.1 Sistema isolado 87
 - 2.5.2 Critério geral de equilíbrio 88
 - 2.5.3 Sistema em equilíbrio com um reservatório de temperatura 90
 - 2.5.4 Sistema em equilíbrio com um reservatório de temperatura e de pressão 90
 - 2.5.5 Sistema isolado em equilíbrio com um reservatório de pressão 91

2.5.6 Transformação de Legendre. Formulação geral das condições de equilíbrio * 92

2.5.7 Equilíbrio de fases 94

Problemas 100

Referências 103

3 TERMODINÂMICA ESTATÍSTICA — DESENVOLVIMENTOS E APLICAÇÕES 105

3.1 Introdução 107

3.2 Sistema em equilíbrio com um reservatório de temperatura 107

3.2.1 Colectividade canónica 107

3.2.2 Valor médio e variância da energia 111

3.2.3 Processos infinitesimais quase-estáticos. Conexão com a Termodinâmica 112

3.2.4 Terceira Lei 117

3.3 Sólido ideal 117

3.3.1 Paramagnetismo 118

3.3.2 Arrefecimento magnético 128

3.3.3 Vibrações térmicas da rede cristalina. Modelo de Einstein 130

3.4 Sistema em equilíbrio com um reservatório de temperatura e de partículas 133

3.4.1 Colectividade macrocanónica 133

3.4.2 Termodinâmica da distribuição macrocanónica 135

3.4.3 Flutuações do número de partículas 137

3.5 Sistema em equilíbrio com um reservatório de temperatura e de pressão * 140

3.5.1 Colectividade isotérmica-isobárica 140

3.5.2 Conexão com a Termodinâmica 141

3.5.3 Flutuações do volume 141

3.6 Equivalência termodinâmica das colectividades 142

Problemas 144

Referências 146

4 GÁS IDEAL CLÁSSICO 147

4.1 Contagem dos estados 149

4.2 Estatística de Maxwell-Boltzmann 152

4.3 Função de partição do gás no regime clássico 157

4.4 Função de partição de uma partícula 158

4.5 Termodinâmica do gás ideal clássico 162

4.6 Critério de validade do regime clássico 165

4.7 Distribuição de Maxwell-Boltzmann 167

4.8 Gás num campo uniforme 169

4.9 Gás real 171

Apêndice A: Espaço das fases. Densidade de estados 177

Apêndice B: Teorema de Liouville em mecânica clássica 182

Apêndice C: Teorema da equipartição 186

Problemas 187

Referências 189

5 GÁS IDEAL QUÂNTICO 191

- 5.1 Sistemas de partículas idênticas * 193
- 5.2 Estatísticas quânticas 195
- 5.3 Limite clássico 200
- 5.4 Aproximação dos estados contínuos 201
- 5.5 Gás ideal no limite clássico 202
- 5.6 Gás perfeito de férmions 205
 - 5.6.1 Gás de elétrons livres 208
- 5.7 Gás perfeito de bósons 212
 - 5.7.1 Condensação de Bose-Einstein 214
 - 5.7.2 Gás de fônons 219
 - 5.7.3 Gás de fótons 228
- Problemas 235
- Referências 238

6 MAGNETISMO 239

- 6.1 Modelo de Heisenberg * 242
- 6.2 Modelo de Weiss 250
- 6.3 Teoria de Landau 258
- 6.4 Ferrimagnetismo e antiferromagnetismo 266
- 6.5 Excitações elementares: ondas de *spin*, gás de magnões 270
- 6.6 Modelo de Ising 275
- 6.7 Simulações de Monte Carlo usando o modelo de Ising * 279
- 6.8 Outros modelos de Ising 292
- Problemas 295
- Referências 296

7 CRISTAIS LÍQUIDOS 299

- 7.1 Generalidades 301
- 7.2 Teoria e modelo de Maier-Saupe 305
- 7.3 Teoria e modelo de Onsager 316
- 7.4 Teoria de Landau-de Gennes 324
- 7.5 Simulações de Monte Carlo usando o modelo de Lebwohl-Lasher * 327
- Problemas 336
- Referências 336

8 TRANSIÇÕES DE FASE E FENÔMENOS CRÍTICOS 339

- 8.1 Fases e transições de fase 341
- 8.2 Ordem de uma transição de fase 342
- 8.3 Pontos críticos e expoentes críticos 345
 - 8.3.1 Definição de expoentes críticos 347
 - 8.3.2 Principais expoentes críticos 348
 - 8.3.3 Desigualdades envolvendo expoentes críticos 352

8.4 Teorias clássicas das transições de fase: universalidade	353
8.4.1 Teoria de Van der Waals da transição líquido-vapor	353
8.4.2 Teoria de Curie-Weiss do ferromagnetismo	361
8.4.3 Teoria de Landau das transições de fase: universalidade	362
8.5 A revolução de Onsager	362
8.5.1 Solução exacta do modelo de Ising a duas dimensões	362
8.5.2 Outros resultados exactos e aproximados	366
8.6 Reconciliação da teoria clássica com os resultados experimentais e com os resultados exactos: a hipótese de escala	368
8.7 Critério de Ginzburg	372
8.8 Breve referência às ideias do grupo de renormalização	373
Problemas	374
Referências	375

9 PROCESSOS IRREVERSÍVEIS 377

9.1 Difusão	379
9.2 Movimento Browniano	384
9.3 Equação de Fokker-Planck *	392
Apêndice A: Função	

de Dirac 402

Problemas 403

Referências 405