

# SUMÁRIO

Agradecimentos .....	15
Apresentação.....	17
1. A Natureza do Mundo Físico: Partículas Elementares e Interações .....	21
1.1 Partículas Elementares e Interações Fundamentais: Uma Introdução.....	21
1.2 Interações Elementares de Alta Energia.....	24
1.3 O Modelo Padrão das Partículas Elementares .....	30
1.4 As Interações Fortes e a QCD (Cromodinâmica Quântica) .....	32
1.5 A Gravitação como Interação Fundamental.....	36
1.6 O Papel das Interações Fracas .....	38
Referências Bibliográficas .....	42
2. Processos Fundamentais em Altas Energias .....	45
2.1 Gênese do Conceito do Fóton .....	45
2.2 Processos Relevantes para os Fótons de Alta Energia (Absorção e Espalhamento) .....	47

2.2.1	Efeito Fotoelétrico .....	48
2.2.2	Espalhamento Compton .....	50
2.2.3	Produção de Pares .....	54
2.2.4	Seção de Choque Total e Coeficiente de Absorção por Unidade de Massa .....	56
2.3	Processos Relevantes para os Fótons de Alta Energia (Emissão) .....	58
2.3.1	Radiação de Corpo Negro .....	58
2.3.2	Radiação de <i>Bremsstrahlung</i> .....	60
2.3.3	Radiação de Síncrotron .....	65
2.3.4	Radiação de Čerenkov .....	69
2.3.5	Fontes de Pósitrons e Aniquilação de Pares (Linhas de Emissão) .....	71
	Referências Bibliográficas .....	74
3.	Detecção e Instrumentação em Altas Energias .....	77
3.1	Domínios Espacial, Espectral e Temporal .....	77
3.2	CCDs na Astronomia Óptica e Altas Energias .....	81
3.3	O Problema do Foco (Imagem) para os Fótons de Altas Energias e suas Soluções .....	84
3.4	Instrumentos e Missões Espaciais (Raios X e Gama) .....	87
	Referências Bibliográficas .....	91
4.	A Evolução Estelar até os Estágios Finais .....	93
4.1	Astrofísica Estelar .....	93
4.2	Fatos Básicos e Observações .....	95
4.3	A Descrição da Estrutura Estelar .....	99
4.4	Algumas Considerações Gerais a Respeito da Evolução Estelar .....	112
4.5	Evolução Estelar (Baixa Massa) .....	115
4.6	Evolução Estelar (Alta Massa) .....	125
	Referências Bibliográficas .....	129
5.	Supernovas .....	131
5.1	Tipos de Supernova e Classificação .....	131
5.2	Supernovas e Colapsos Gravitacionais (Tipo II, Ib e Ic) .....	134
5.3	Supernovas Termonucleares (Tipo Ia) .....	142

5.3.1	Supernovas Ia e Cosmologia.....	150
5.4	Supernovas Superluminosas .....	153
5.5	Expansão de Remanescentes de Supernova no Meio Interestelar .....	156
	Referências Bibliográficas .....	160
6.	Astrofísica dos Objetos Compactos .....	163
6.1	Os Eventos de Formação de Objetos Compactos. Estatísticas.....	163
6.2	Teoria e Observações de Anãs Brancas .....	165
6.2.1	Os Primórdios.....	165
6.2.2	A Matéria no Regime de Alta Densidade ( $\rho \gtrsim 10^3 \text{ g/cm}^3$ ) .....	167
6.2.3	Estrutura das Anãs Brancas .....	168
6.2.4	Limite de Chandrasekhar.....	173
6.2.5	As Observações das Anãs Brancas .....	175
6.2.6	Esfriamento e Cristalização de Anãs Brancas .....	181
6.3	Estrelas de Nêutrons e Pulsares: Estrutura e Evolução... ..	185
6.3.1	As Ideias Iniciais .....	185
6.3.2	A Matéria no Regime da Neutronização ( $\rho \gtrsim 10^{11} \text{ g/cm}^3$ ) .....	186
6.3.3	Equações de Estrutura Relativísticas (TOV) e Estrelas de Nêutrons .....	190
6.3.4	Modelos Estelares e Comparação com as Observações .....	193
6.3.5	Pulsares e Outras Estrelas de Nêutrons .....	197
6.4	A Física Básica dos Buracos Negros e suas Manifestações Observacionais .....	204
6.4.1	A Construção do Conceito do Buraco Negro.....	204
6.4.2	Afinal, o que Observamos dos Buracos Negros? ..	211
	Referências Bibliográficas .....	221
7.	Acreção em Astrofísica.....	225
7.1	O Problema de Roche e a Transferência de Massa .....	225
7.2	O Acréscimo de Massa: Acreção Esférica e Discos de Acreção .....	230

7.3	Binárias que Contêm Objetos Compactos:	
	Classificação e Observações .....	236
7.3.1	Variáveis Cataclísmicas (CV) .....	236
7.3.2	LMXB e HMXB .....	237
7.3.3	Sistemas Binários com Buracos Negros .....	240
	Referências Bibliográficas .....	242
8.	Núcleos Galácticos Ativos .....	245
8.1	A Descoberta e Caracterização dos Quasares.....	245
8.2	Tipos de Núcleos Galácticos Ativos (AGNs):	
	O Modelo Unificado .....	250
8.3	Núcleos Ativos de Galáxias e a Formação de	
	Estrutura no Universo .....	252
	Referências Bibliográficas .....	255
9.	Astrofísica de Neutrinos .....	257
9.1	Os Neutrinos e sua Detecção.....	257
9.2	Fontes de Neutrinos: Os Neutrinos Solares .....	261
9.3	Fontes de Neutrinos: A Supernova SN1987A .....	269
	Referências Bibliográficas .....	276
10.	Ondas Gravitacionais.....	279
10.1	Radiação Gravitacional: A Física Básica.....	279
10.2	Fontes de Radiação Gravitacional .....	283
10.2.1	O Pulsar Binário PSR 1913+16 e as	
	Ondas Gravitacionais .....	285
10.3	Detectores de Ondas Gravitacionais .....	288
10.3.1	Interferômetros e Massas Ressonantes:	
	Do Sonho à Realidade .....	288
10.4	As Detecções de Fusão de BH e NS: O Começo	
	de uma Nova Era .....	294
10.4.1	<i>Ouverture</i> : A Fusão de Buracos Negros	
	GW150914.....	294
10.4.2	A Saga: A Fusão de Duas Estrelas de	
	Nêutrons GW170817 .....	297
	Referências Bibliográficas .....	300

11. Surtos Gama .....	303
11.1 O Problema dos Surtos de Raios Gama: Os Objetos mais Longínquos Visíveis no Universo .....	303
11.2 Modelos para os Surtos .....	309
11.3 As Observações mais Recentes e os Modelos .....	312
Referências Bibliográficas .....	315
12. Raios Cósmicos .....	317
12.1 Os Mensageiros dos Maiores Aceleradores do Universo: Os Raios Cósmicos .....	317
12.2 Origem, Propagação e Aceleração .....	319
12.3 O Regime de Ultra-Alta Energia .....	329
Referências Bibliográficas .....	340
Sobre o Autor .....	343