

ÍNDICE

A TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL

LISTA DE FIGURAS xi

PREFÁCIO xiii

1 PRINCÍPIOS FÍSICOS DA RELATIVIDADE GERAL 1

- 1.1 O princípio de equivalência 3
- 1.2 Aceleração, gravitação e espaços curvos 7
- 1.3 O princípio da relatividade geral 10
- 1.4 As ideias de Mach 11

2 CÁLCULO TENSORIAL: ÁLGEBRA 15

- 2.1 Variedades 17
- 2.2 Transformações de coordenadas. Tensores 18
- 2.3 Operações algébricas 20
- 2.4 Exercícios 22

3 CÁLCULO TENSORIAL: ANÁLISE 23

- 3.1 Derivada de Lie 26
 - 3.1.1 Transporte de Lie de uma função 26
 - 3.1.2 Transporte de Lie de um vector 27
 - 3.1.3 Derivada de Lie de uma função 29
 - 3.1.4 Derivada de Lie de um vector 30
- 3.2 Conexão afim. Derivada covariante 33
 - 3.2.1 Conexão e transporte paralelo 33
 - 3.2.2 Derivada covariante 34
 - 3.2.3 Geodésica afim 35
- 3.3 Tensor de Riemann 36
- 3.4 A métrica 39
 - 3.4.1 Definição 39
 - 3.4.2 Conexão métrica 40
 - 3.4.3 Tensor de curvatura 40
- 3.5 Densidades tensoriais 43
 - 3.5.1 Definição 43
 - 3.5.2 O determinante da métrica 44
 - 3.5.3 Integrais 46
- 3.6 A geodésica métrica 47
- 3.7 Isometrias e equações de Killing 49
- 3.8 A equação de desvio geodésico 50
- 3.9 Exercícios 52

4 AS EQUAÇÕES DE CAMPO DA RELATIVIDADE GERAL 55

- 4.1 O limite newtoniano 57
- 4.2 As equações de Einstein 59
- 4.3 O tensor de energia-momento 61
 - 4.3.1 Matéria incoerente ou poeira 61
 - 4.3.2 Fluido perfeito com pressão 63
 - 4.3.3 Tensor de energia-momento do campo electromagnético 64
- 4.4 O princípio variacional 65
- 4.5 Exercícios 67

5 OS TESTES CLÁSSICOS DA RELATIVIDADE GERAL 69

- 5.1 A solução de Schwarzschild 71
 - 5.1.1 A métrica estática e isotrópica 71
 - 5.1.2 A solução de Schwarzschild 73
- 5.2 Os testes clássicos 75
 - 5.2.1 A precessão do periélio de Mercúrio 75
 - 5.2.2 Deflexão dos raios luminosos 80
 - 5.2.3 Desvio para o vermelho de origem gravitacional 83
- 5.3 Exercícios 85

6 COSMOLOGIA: PRINCÍPIOS FÍSICOS E OBSERVAÇÕES 87

6.1 Princípios físicos da cosmologia relativista 89

6.1.1 Introdução 89

6.1.2 Cosmologia newtoniana 90

6.1.3 O princípio cosmológico 91

6.2 Espaços de curvatura constante 93

6.2.1 O elemento de linha 93

6.2.2 Propriedades geométricas 96

6.3 Cosmologia e observações 100

6.3.1 Desvio para o vermelho 100

6.3.2 z versus distância luminosa 102

6.3.3 Contagem de fontes emissoras 107

6.4 Exercícios 109

7 COSMOLOGIA: O MODELO STANDARD DA COSMOLOGIA 111

7.1 Os modelos de Friedmann-Robertson-Walker 113

7.1.1 As equações de Einstein 113

7.1.2 Modelos de Einstein-De Sitter 118

7.1.3 Modelos com $k \neq 0$ 120

7.2 A solução de De Sitter 123

7.3 Horizontes 125

7.3.1 Horizonte de partículas 125

7.3.2 Horizonte de acontecimentos 126

7.4 Problemas dos modelos de Friedmann-Robertson-Walker. O modelo inflacionário 127

7.4.1 O problema da planaridade e o problema do horizonte 127

7.4.2 O modelo inflacionário 131

7.5 O modelo do Big Bang 134

7.5.1 A radiação de fundo de microondas 134

7.5.2 Quadro-resumo das diferentes épocas 135

7.6 Exercícios 142

8 BURACOS NEGROS 145

8.1 Propriedades da solução de Schwarzschild 147

8.1.1 Corpos em queda livre radial 147

8.1.2 Horizonte de acontecimentos 149

8.1.3 Colapso gravitacional 150

8.2 Coordenadas de Kruskal-Szekeres 151

8.3 Buracos negros e termodinâmica 154

8.4 Exercícios 157

9 ONDAS GRAVITACIONAIS 159

9.1 O limite de campos gravitacionais fracos 162

9.2 Ondas gravitacionais 164

9.3 Polarização das ondas gravitacionais 167

9.4 Emissão de ondas gravitacionais. Aproximação quadripolar 170

9.5 Energia transportada pelas ondas gravitacionais 174

9.6 Ondas gravitacionais de origem cosmológica 175

9.7 A detecção das ondas gravitacionais 177

9.8 Exercícios 179

A A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA 181

A.1 Os postulados da relatividade restrita e suas consequências 183

A.1.1 Dilatação do tempo 184

A.1.2 Contração de Lorentz 185

A.1.3 Simultaneidade 185

A.1.4 Transformação das velocidades 186

A.1.5 Dinâmica relativista 186

A.1.6 Efeito Doppler relativista 188

A.1.7 O pseudoparadoxo dos gêmeos 189

A.2 A geometria do espaço-tempo de Minkowski 191

A.2.1 Intervalos de espaço-tempo 191

A.2.2 Cone de luz 192

A.2.3	Quadri-vectores	192
A.2.4	O grupo de Lorentz	195
A.3	Electrodinâmica relativista	196
A.3.1	Equações para os potenciais	196
A.3.2	Equações de movimento de uma carga eléctrica	197
A.3.3	Transformações de Lorentz dos campos E e B	198
A.4	Método variacional	200

B	COSMOLOGIA. TABELA CRONOLÓGICA	203
---	--------------------------------	-----

	BIBLIOGRAFIA	217
--	--------------	-----