

Sumário

Prefácio	i
I Cosmologia relativista	1
1 Fundamentos físico-matemáticos	3
1.1 Introdução	3
1.2 O tensor de energia-momento	6
1.3 Equações de campo de Einstein	7
1.3.1 As equações no vácuo	7
1.3.2 As equações completas	8
1.4 Modelos cosmológicos	9
1.4.1 O universo estático de Einstein	12
1.4.2 Os universos de Friedmann	12
1.5 Considerações finais	13
2 Espaço e espaço-tempo	15
2.1 Introdução	15
2.2 Teoria da Relatividade Restrita	16
2.3 Teoria da Relatividade Geral	16
2.3.1 A solução de Schwarzschild	16
2.3.2 As soluções de Friedmann	18
2.4 Conclusão	19
2.5 Considerações finais	20
3 Expansão <i>no</i> espaço ou <i>do</i> espaço?	21
4 Universos com Λ	31
4.1 Introdução	31
4.2 Equações de Friedmann com Λ	32
4.3 Modelos relativistas com Λ	33
4.3.1 Universo estático de Einstein	33
4.3.2 Universo de de Sitter	35
4.3.3 Modelo Padrão da Cosmologia	36

4.4	Considerações finais	38
5	A idade e a expansão do universo	41
6	Universo da Gominha Esticada	45
6.1	Introdução	45
6.2	A lei de Hubble	46
6.3	A gominha esticada	48
6.4	Considerações finais	51
7	Universo estático de Einstein	53
7.1	Introdução	53
7.2	O raio do universo estático de Einstein	54
7.3	Estudo de estabilidade	57
7.4	Considerações finais	58
8	Soluções clássicas de Friedmann	61
8.1	Introdução	61
8.2	As idades dos universos de Friedmann	64
8.3	Modelos aberto e fechado versus modelo plano	65
8.4	Considerações finais	66
9	O efeito Hubble	69
9.1	Introdução	69
9.2	Desvio para o vermelho e velocidade	71
9.3	Um mecanismo físico para a lei de Hubble	74
10	A RFM e o espectro de corpo negro	77
11	Espectro de potência da RFM	81
11.1	Introdução	81
11.2	COBE	81
11.3	WMAP e Planck	83
11.4	Quadrupolo anômalo	86
II	Tópicos complementares	89
12	Correção do movimento solar	91
12.1	Introdução	91
12.2	Correção do movimento solar	92
12.3	As nebulosas espirais de Knut Lundmark	94
12.4	Considerações finais	99

13 De Schwarzschild a Newton	101
13.1 Introdução	101
13.2 Métrica de Schwarzschild	102
13.3 Gravitação de Schwarzschild e gravitação de Newton	105
13.4 Considerações adicionais	107
14 O prêmio Nobel de Hubble	109
14.1 Introdução	109
14.2 O prêmio Crafoord	109
14.3 O Nobel de Hubble	110
15 Uma pedra no caminho da TRG	115
15.1 Introdução	115
15.2 A métrica de Schwarzschild	115
15.3 A métrica de Friedmann-Robertson-Walker	116
15.4 A pedra no caminho	118
15.5 Conclusão	120
16 O paradigma da luz cansada	121
16.1 Introdução	121
16.2 Uma descrição instrumental da luz cansada	122
16.3 Considerações finais	125
17 A tradução de <i>Big Bang</i>	127
Referências Bibliográficas	129

Prefácio

Este livro é o resultado de minha experiência como professor de cosmologia relativista no curso de graduação em física do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais, durante o período de 2001 a 2010. O público alvo é, primordialmente, constituído por estudantes de física e astronomia que cursam a graduação, mas leitores em nível de pós-graduação e pesquisadores em astrofísica e cosmologia também poderão encontrar algum proveito na leitura destes Tópicos.

Gostaria de agradecer aos meus alunos de todos semestres, durante os 10 anos nos quais me dediquei ao curso, pela participação entusiasmada em todas as atividades e pelo estímulo que me proporcionaram e que resultou na compilação desta coleção de Tópicos.

Dois Tópicos foram escritos em colaboração. O Tópico sobre as equações de Friedmann foi escrito com meu ex-aluno Arthur Viglioni e o Tópico sobre a correção do movimento solar com o meu colega do Laboratório de Astrofísica da UFMG, Prof. Luiz Paulo Ribeiro Vaz. Aos dois, os meus sinceros agradecimentos. Agradeço também, em especial, ao Prof. Reynier Peletier do Instituto Astronômico Kapteyn, da Universidade de Groningen, Holanda, pela facilitação do uso do computador do Instituto Kapteyn, que muito me ajudou, particularmente na confecção de muitas figuras e diagramas que aparecem nos Tópicos.

Muitos dos trabalhos realizados nos cursos — inclusive todos os capítulos desta coleção — aparecem em minha página eletrônica pessoal no Departamento de Física (<http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/>) nas seções “*Tópicos em cosmologia relativista*”, “*Ensino de cosmologia*” e “*COSMOS – Notícias e tópicos de cosmologia*”.

Domingos Soares

Belo Horizonte, janeiro de 2020