

Roman U. Sexl† / Helmuth K. Urbantke

Verlag
Helmuth K. Urbantke
1997

Gravitation und Kosmologie

Eine Einführung in die
Allgemeine Relativitätstheorie

4., überarbeitete Auflage

Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg · Berlin · Oxford

Inhaltsverzeichnis

0	Einheiten und Größenordnungen	11
1	Physikalische Grundlagen	15
1.1	Beschleunigungen in der speziellen Relativitätstheorie	15
1.2	Das Äquivalenzprinzip	20
1.3	Bewegung im Gravitationsfeld	23
1.4	Die Newtonsche Näherung	26
2	Riemannsche Geometrie	29
2.1	Differenzierbare Mannigfaltigkeiten	29
2.2	Vektoren und Tensoren	31
2.3	Tensoralgebra	33
2.4	Der metrische Tensor	34
2.5	Riemannsche Normalkoordinaten	36
2.6	Tensoranalysis	39
2.7	Der Riemannsche Krümmungstensor	45
2.8	Räume konstanter Krümmung	49
2.9	Symmetriegruppen und Killingvektoren	53
2.10	Invariante Tensorfelder und Lie-Ableitungen	56
3	Gravitationstheorie	62
3.1	Die Einsteinschen Feldgleichungen	62
3.2	Die lineare Näherung	65
3.3	Die Schwarzschild-Metrik	71
3.4	Variationsprinzip	79
4	Experimentelle Tests	87
4.1	Äquivalenzprinzip und Eötvös-Experiment	87
4.2	Die Rotverschiebung von Spektrallinien	95
4.3	Lichtablenkung und Perihelverschiebung	97
4.4	Entfernungs- und Zeitmessungen im Sonnensystem	105
4.5	Das Machsche Prinzip und der Thirring-Lense-Effekt	109

5.	Kosmologie	117
5.1	Das kosmologische Prinzip	118
5.2	Newtonsche Kosmologie	119
5.3	Relativistische Hydrodynamik	123
5.4	Kinematik von Geschwindigkeitsfeldern	127
5.5	Friedmann-Universum I: Kosmische Hintergrundstrahlung und thermische Entwicklung	130
5.6	Friedmann-Universum II: Raumkrümmung und Nebelzählung	137
5.7	Friedmann-Universum III: Zeitliche Entwicklung	141
5.8	Friedmann-Universum IV: Die Rotverschiebungs- Entfernungsrelation	149
5.9	Das frühe Universum	153
6.	Gravitationswellen	160
6.1	Linearisierte Theorie	161
6.2	Strahlung von Teilchen in der Schwarzschild-Metrik	170
6.3	Nachweis von Gravitationswellen	175
7	Neue differentialgeometrische Methoden	179
7.1	Tangentialvektoren und Tangentialraum	179
7.2	Differentiale und der Kotangentialraum	183
7.3	Die Tensoralgebra	186
7.4	Die äußere Algebra	188
7.5	Äußere Differentialformen	191
7.6	Übertragungen und Riemann-Geometrie	194
7.7	Anwendung auf die Berechnung des Krümmungstensors spezieller Metriken	200
7.8	Integration auf Mannigfaltigkeiten	207
8	Sternbau und Gravitationskollaps	213
8.1	Elementare Theorie entarteter Sterne	213
8.2	Die Innenraumlösung und die Tolman-Oppenheimer-Volkoff-Gleichung	222
8.3	Energiedichte und Bindungsenergie	225
8.4	Die Geometrie der Schwarzschild-Metrik	228
8.5	Gravitationskollaps	243
8.6	Die Kerr-Metrik	249
8.7	Allgemeines über Kollaps und Schwarze Löcher	255
8.8	Penrose-Prozesse und Oberflächensatz	257

8.9	„Thermodynamik“ Schwarzer Löcher	262
8.10	Der Hawking-Effekt	267
8.11	Die Suche nach Schwarzen Löchern	270
9	Felder im Riemannschen Raum	274
9.1	Kausalität und Ausbreitungsvorgänge	275
9.2	Das skalare Feld	277
9.3	Das elektromagnetische Feld	282
9.4	Spinorfelder und die Dirac-Gleichung	287
9.5	Gravitationswellen als Störungen der Hintergrundmetrik	292
10	Gravitation und Feldtheorie	295
10.1	Das Gravitationsfeld als Spin-2-Feld im Minkowskiraum	295
10.2	Die Renormierung der Metrik und die Nichtlinearität der Feldgleichungen	298
10.3	Verallgemeinerte Feldtheorien	305
11	Gravitation und Eichtheorie	309
11.1	Übertragungen in Vektorbündeln	310
11.2	Parallelverschiebung und Krümmungsform	316
11.3	Fasermetrik, G -Strukturen	320
11.4	Topologische Quantenzahlen	327
11.5	Beispiele, Eichtheorien	335
11.6	Ist die Gravitationstheorie eine Eichtheorie?	346
	Literaturverzeichnis	357
	Register	364