

## INHALTSVERZEICHNIS

EINHEITEN UND GRÖSSENORDNUNGEN . . . . .	11
1. <b>PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN</b> . . . . .	15
1.1   Beschleunigungen in der speziellen Relativitätstheorie . . . . .	15
1.2   Das Äquivalenzprinzip . . . . .	21
1.3   Bewegung im Gravitationsfeld . . . . .	25
1.4   Die Newtonsche Näherung . . . . .	27
2. <b>RIEMANNSCHE GEOMETRIE</b> . . . . .	31
2.1   Vektoren und Tensoren . . . . .	33
2.3   Tensoralgebra . . . . .	35
2.4   Der metrische Tensor . . . . .	36
2.5   Riemannsche Normalkoordinaten . . . . .	39
2.6   Tensoranalysis . . . . .	43
2.7   Der Riemannsche Krümmungstensor . . . . .	49
2.8   Räume konstanter Krümmung . . . . .	54
2.9   Symmetriegruppen und Killing-Vektoren . . . . .	59
2.10  Invariante Tensorfelder und Lie-Ableitungen . . . . .	63
3. <b>GRAVITATIONSTHEORIE</b> . . . . .	69
3.1   Die Einsteinschen Feldgleichungen . . . . .	69
3.2   Die lineare Näherung . . . . .	73
3.3   Die Schwarzschild-Metrik . . . . .	79
3.4   Herleitung der Feldgleichungen aus einem Variationsprinzip . . . . .	88
4. <b>EXPERIMENTELLE TESTS DER ALLGEMEINEN RELATIVITÄTSTHEORIE.</b> . . . . .	96
4.1   Äquivalenzprinzip und Eötvös-Experiment . . . . .	96
4.2   Die Rotverschiebung von Spektrallinien . . . . .	105
4.3   Lichtablenkung und Perihelverschiebung . . . . .	107
4.4   Entfernungs- und Zeitmessungen im Sonnensystem . . . . .	116
4.5   Das Machsche Prinzip und der Thirring-Lense-Effekt . . . . .	119

5.	KOSMOLOGIE . . . . .	128
5.1	Das kosmologische Prinzip . . . . .	129
5.2	Newtonsche Kosmologie . . . . .	130
5.3	Relativistische Hydrodynamik . . . . .	134
5.4	Kinematik von Geschwindigkeitsfeldern. . . . .	139
5.5	Friedmann-Universum I: Kosmische Hintergrundstrahlung und thermische Entwicklung . . . . .	142
5.6	Friedmann-Universum II: Raumkrümmung und Nebel- zählung . . . . .	149
5.7	Friedmann-Universum III: Zeitliche Entwicklung . . . . .	154
5.8	Friedmann-Universum IV: Die Rotverschiebungs- Entfernungsrelation . . . . .	164
5.9	Das frühe Universum . . . . .	167
6.	GRAVITATIONSWELLEN . . . . .	174
6.1	Linearisierte Theorie . . . . .	175
6.2	Strahlung von Teilchen in der Schwarzschild-Metrik. . . . .	185
6.3	Nachweis von Gravitationswellen . . . . .	190
7.	NEUE DIFFERENTIALGEOMETRISCHE METHODEN . . . . .	194
7.1	Tangentialvektoren und Tangentialraum . . . . .	194
7.2	Differentiale und der Kotangentialraum. . . . .	198
7.3	Die Tensoralgebra . . . . .	201
7.4	Die äußere Algebra . . . . .	203
7.5	Äußere Differentialformen . . . . .	207
7.6	Übertragungen und Riemann-Geometrie . . . . .	210
7.7	Anwendung auf die Berechnung des Krümmungstensors spezieller Metriken. . . . .	216
7.8	Integration auf Mannigfaltigkeiten . . . . .	223
8.	STERNBAU UND GRAVITATIONSKOLLAPS . . . . .	230
8.1	Elementare Theorie entarteter Sterne . . . . .	230
8.2	Die Innenraumlösung und die Tolman-Oppenheimer- Volkoff-Gleichung. . . . .	240
8.3	Energiedichte und Bindungsenergie. . . . .	243
8.4	Die Geometrie der Schwarzschild-Metrik . . . . .	246
8.5	Gravitationskollaps . . . . .	262
8.6	Die Kerr-Metrik. . . . .	269

8.7	Allgemeines über Kollaps und Schwarze Löcher . . . . .	275
8.8	Penrose-Prozesse und Oberflächensatz . . . . .	278
8.9	„Thermodynamik“ Schwarzer Löcher . . . . .	284
8.10	Der Hawking-Effekt. . . . .	289
8.11	Die Suche nach Schwarzen Löchern . . . . .	293
9.	FELDER IM RIEMANNSCHEN RAUM . . . . .	297
9.1	Kausalität und Ausbreitungsvorgänge . . . . .	298
9.2	Das skalare Feld . . . . .	301
9.3	Das elektromagnetische Feld . . . . .	306
9.4	Spinorfelder und die Dirac-Gleichung . . . . .	311
9.5	Gravitationswellen als Störungen einer Hintergrundmetrik. . .	317
10.	GRAVITATION UND FELDTHEORIE. . . . .	320
10.1	Das Gravitationsfeld als Spin-2-Feld im Minkowski-Raum . . .	320
10.2	Die Renormierung der Metrik und die Nichtlinearität der Feldgleichungen . . . . .	324
10.3	Verallgemeinerte Feldtheorien . . . . .	332
11.	GRAVITATION UND EICHTHEORIE . . . . .	336
11.1	Übertragungen in Vektorbündeln . . . . .	337
11.2	Parallelverschiebung und Krümmungsform . . . . .	344
11.3	Fasermetrik, $G$ -Strukturen . . . . .	348
11.4	Topologische Quantenzahlen . . . . .	355
11.5	Beispiele, Eichtheorien . . . . .	364
11.6	Ist die Gravitationstheorie eine Eichtheorie? . . . . .	377
	LITERATURVERZEICHNIS . . . . .	389
	REGISTER . . . . .	395