

Inhaltsverzeichnis

0	Einheiten und Größenordnungen	1
0.1	Einige Naturkonstante	1
0.2	Massen	2
0.3	Längen	2
0.4	Zeiten	3
0.5	Leuchtkraft und Helligkeit	3
0.6	Temperaturen	4
0.7	Durchlässigkeit der Erdatmosphäre	4
0.8	Mathematische Notationskonventionen	4
1	Physikalische Grundlagen	7
1.1	Beschleunigungen in der speziellen Relativitätstheorie	7
1.2	Das Äquivalenzprinzip	12
1.3	Bewegung im Gravitationsfeld	15
1.4	Die Newtonsche Näherung	18
2	Riemannsche Geometrie	21
2.1	Differenzierbare Mannigfaltigkeiten	21
2.2	Vektoren und Tensoren	23
2.3	Tensoralgebra	25
2.4	Der metrische Tensor	26
2.5	Riemannsche Normalkoordinaten	28
2.6	Tensoranalysis	31
2.7	Der Riemannsche Krümmungstensor	36
2.8	Räume konstanter Krümmung	41
2.9	Symmetriegruppen und Killing-Vektoren	44
2.10	Invariante Tensorfelder und Lie-Ableitungen	48
3	Die Einsteinschen Feldgleichungen	53
3.1	Die Einsteinschen Feldgleichungen	53
3.2	Die lineare Näherung	56
3.3	Die Schwarzschild-Metrik	62

3.4	Variationsprinzip	70
4	Experimentelle Tests	77
4.1	Äquivalenzprinzip und Eötvös-Experiment	77
4.1.1	Die Situation in der Newtonschen Theorie	78
4.1.2	Die Situation in der allgemeinen Relativitätstheorie	79
4.1.3	Das Eötvös-Dicke Experiment	81
4.1.4	Die Gravitationsbeschleunigung von Positronen	82
4.1.5	Konstanz der Feinstrukturkonstante	84
4.2	Die Rotverschiebung von Spektrallinien	85
4.3	Lichtablenkung und Perihelverschiebung	87
4.4	Entfernungs- und Zeitmessungen im Sonnensystem	95
4.4.1	Radarreflexion an der Venus	95
4.4.2	Die Messung der Erde-Mond-Entfernung	96
4.4.3	Zeitdilatation: Das Hafele-Keating-Experiment	97
4.5	Machsches Prinzip und Thirring-Lense-Effekt	99
5	Kosmologie	109
5.1	Das kosmologische Prinzip	110
5.2	Newtonsche Kosmologie	111
5.3	Relativistische Hydrodynamik	115
5.4	Kinematik von Geschwindigkeitsfeldern	119
5.5	Friedmann-Universum I: Thermische Hintergrundstrahlung	122
5.6	Friedmann-Universum II: Raumkrümmung und Nebelzählung	128
5.7	Friedmann-Universum III: Zeitentwicklung	132
5.8	Die Rotverschiebungs-Entfernungsrelation	142
5.9	Das frühe Universum	145
6	Gravitationswellen	153
6.1	Linearisierte Theorie	154
6.1.1	Vakuumpfelder und ebene Wellen	154
6.1.2	Teilchen im Feld der Welle	156
6.1.3	Energiedichte und Energiestrom	159
6.1.4	Ausstrahlung	161
6.2	Strahlung von Teilchen im Schwarzschild-Feld	163
6.3	Nachweis von Gravitationswellen	167
7	Neue differentialgeometrische Methoden	171
7.1	Tangentialvektoren und Tangentialraum	172
7.2	Differentiale und der Kotangentialraum	175
7.3	Die Tensoralgebra	178
7.4	Die äußere Algebra	180
7.5	Äußere Differentialformen	183
7.6	Übertragungen und Riemann-Geometrie	186

7.7	Berechnung des Krümmungstensors spezieller Metriken	192
7.7.1	Das Robertson-Walker-Linienelement	192
7.7.2	Drehinvariante Linienelemente	195
7.8	Integration auf Mannigfaltigkeiten	198
8	Sternbau und Gravitationskollaps	205
8.1	Elementare Theorie entarteter Sterne	205
8.1.1	Die Zustandsgleichung normaler Sterne	206
8.1.2	Die Zustandsgleichung entarteter Materie	207
8.1.3	Weiße Zwerge	209
8.1.4	Neutronensterne	211
8.2	Innenraum: Tolman-Oppenheimer-Volkoff-Gleichung	214
8.3	Energiedichte und Bindungsenergie	217
8.4	Geometrie der Schwarzschild-Metrik	220
8.4.1	Die Außenraumgeometrie	220
8.4.2	Die Innenraumgeometrie	227
8.5	Gravitationskollaps	234
8.6	Die Kerr-Metrik	240
8.7	Allgemeines über Kollaps und Schwarze Löcher	246
8.8	Penrose-Prozesse und Oberflächensatz	248
8.9	„Thermodynamik“ schwarzer Löcher	253
8.10	Der Hawking-Effekt	258
8.11	Die Suche nach Schwarzen Löchern	262
9	Felder im Riemannschen Raum	265
9.1	Kausalität und Ausbreitungsvorgänge	266
9.2	Das skalare Feld	268
9.3	Das elektromagnetische Feld	273
9.4	Spinorfelder und die Dirac-Gleichung	278
9.5	Gravitationswellen als Störungen einer Hintergrundmetrik	283
10	Gravitation und Feldtheorie	287
10.1	Das Gravitationsfeld als Spin-2-Feld im Minkowski-Raum	287
10.2	Renormierung der Metrik. Nichtlinearität	290
10.3	Verallgemeinerte Gravitationstheorien	297
10.3.1	Die Veränderlichkeit der Gravitationskonstante	299
10.3.2	Die Veränderlichkeit der Ruhmassen	300
11	Gravitation und Eichtheorie	301
11.1	Übertragungen in Vektorbündeln	302
11.2	Parallelverschiebung und Krümmungsform	308
11.3	Fasermetrik, G -Strukturen	312
11.4	Topologische Quantenzahlen	318
11.5	Beispiele, Eichtheorien	326

11.6 Ist die Gravitationstheorie eine Eichtheorie?	337
11.7 Ausblick	346
A Bibliographie	349
Bibliographie	349
A.1 Zitierte Bücher	349
A.2 Einige mathematische Lehrbücher	354
Register	355