

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen	7
1 Newtonsche Mechanik	9
1.1 Raum und Zeit	10
1.2 Die Newtonschen Gesetze	11
1.3 Koordinatensysteme	13
1.4 Geschwindigkeit und Beschleunigung	16
1.5 Galilei-Transformationen	19
1.6 Nichtinertialsysteme und Scheinkräfte*	25
1.7 Zusammenfassung	31
1.8 Verweise	33
1.9 Aufgaben	35
2 Spezielle Relativitätstheorie	37
2.1 Abändern der Galilei-Transformationen	39
2.2 Längenkontraktion und Zeitdilatation	44
2.3 Paradoxa	50
2.4 Zusammenfassung	58
2.5 Verweis	59
2.6 Aufgaben	60
3 Mathematik der Speziellen Relativitätstheorie	63
3.1 Der Minkowski-Raum	63
3.2 Lorentztransformationen	76
3.3 Tensoren im Minkowski-Raum	79
3.4 Zusammenfassung	92
3.5 Verweise	95
3.6 Aufgaben	97
4 Das Äquivalenzprinzip	101
4.1 Frei fallende Beobachter	102
4.2 Bewegungsgleichungen im Schwerfeld	106
4.3 Die Metrik der Raumzeit	107
4.4 Zusammenfassung	117

4.5	Verweis	118
4.6	Aufgaben	119
 II Geometrie		 121
5	Tensorkalkül auf Mannigfaltigkeiten	123
5.1	Mannigfaltigkeiten	124
5.2	Tangentialvektoren	130
5.3	Vektorfelder	132
5.4	Tangentialvektoren als Ableitungsoperatoren	134
5.5	Kovektoren und 1-Formen	135
5.6	1-Formen als Kraftfelder	138
5.7	Allgemeine Tensorfelder	140
5.8	Zusammenfassung	146
5.9	Verweise	148
5.10	Aufgaben	149
 6	 Metriken und kovariante Ableitung	 153
6.1	Metriken	153
6.2	Die kovariante Ableitung	157
6.3	Paralleltransport	163
6.4	Christoffel-Symbole und die Metrik	167
6.5	Indexpositionen und Metrik	168
6.6	Geodäten	168
6.7	Minimale Kopplung*	172
6.8	Zusammenfassung	174
6.9	Verweis	176
6.10	Aufgaben	177
 7	 Krümmung	 179
7.1	Der Riemannsche Krümmungstensor	179
7.2	Symmetrien des Riemannschen Krümmungstensors	181
7.3	Ricci-Tensor und Ricci-Skalar	182
7.4	Krümmung und Paralleltransport	186
7.5	Krümmung auf zweidimensionalen Räumen*	188
7.6	Gezeitenkräfte in der ART*	189
7.7	Zusammenfassung	192
7.8	Verweise	193
7.9	Aufgaben	196
 8	 Die Einstein-Gleichungen	 199
8.1	Feldgleichungen für die ART	199

8.2	Herleitung des Einstein-Tensors	202
8.3	Das Wirkungsprinzip der ART*	208
8.4	Verweise	223
8.5	Aufgaben	225
9	Symmetrien und Erhaltungssätze	227
9.1	Diffeomorphismen*	227
9.2	Vektorfelder und Flüsse*	235
9.3	Killing-Vektorfelder*	241
9.4	Metriken mit Symmetrien*	243
9.5	Erhaltungsgrößen entlang von Geodäten*	248
9.6	Zusammenfassung*	251
9.7	Verweis*	253
9.8	Aufgaben*	254
III	Anwendungen	257
10	Die Schwarzschild-Metrik	259
10.1	Das Äußere einer kugelsymmetrischen Masseverteilung	259
10.2	Bedeutung des Schwarzschild-Radius	263
10.3	Rotverschiebung im Gravitationspotenzial	267
10.4	Bewegung im rotationssymmetrischen Schwerefeld	269
10.5	Zusammenfassung	278
10.6	Verweise	280
10.7	Aufgaben	284
11	Kosmologie	287
11.1	Das Universum beobachten	287
11.2	FRW-Gleichungen	291
11.3	Lösungen der FRW-Gleichungen	294
11.4	Das Hubble-Gesetz	299
11.5	Lichtausbreitung in FRW-Raumzeiten	301
11.6	Horizonte	304
11.7	Zusammenfassung	308
11.8	Verweise	310
12	Gravitationswellen	317
12.1	Lineare Näherung	317
12.2	Koordinatentransformationen	318
12.3	Lineare Feldgleichungen	320
12.4	Die Lösung der Wellengleichung	323
12.5	Gravitationswellen anschaulich	327

12.6 Zusammenfassung	331
12.7 Verweise	333
12.8 Aufgaben	335
13 Tipps zu den Aufgaben	337
13.1 Tipps zu Aufgaben Kapitel 1	337
13.2 Tipps zu Aufgaben Kapitel 2	340
13.3 Tipps zu Aufgaben Kapitel 3	341
13.4 Tipps zu Aufgaben Kapitel 4	343
13.5 Tipps zu Aufgaben Kapitel 5	345
13.6 Tipps zu Aufgaben Kapitel 6	347
13.7 Tipps zu Aufgaben Kapitel 7	349
13.8 Tipps zu Aufgaben Kapitel 8	350
13.9 Tipps zu Aufgaben Kapitel 9	352
13.10Tipps zu Aufgaben Kapitel 10	353
13.11Tipps zu Aufgaben Kapitel 11	354
13.12Tipps zu Aufgaben Kapitel 12	356
14 Lösungen zu den Aufgaben	359
14.1 Lösungen der Aufgaben Kapitel 1	359
14.2 Lösungen der Aufgaben Kapitel 2	368
14.3 Lösungen der Aufgaben Kapitel 3	373
14.4 Lösungen der Aufgaben Kapitel 4	384
14.5 Lösungen der Aufgaben Kapitel 5	393
14.6 Lösungen der Aufgaben Kapitel 6	406
14.7 Lösungen der Aufgaben Kapitel 7	416
14.8 Lösungen der Aufgaben Kapitel 8	424
14.9 Lösungen der Aufgaben Kapitel 9	429
14.10Lösungen der Aufgaben Kapitel 10	436
14.11Lösungen der Aufgaben Kapitel 11	447
14.12Lösungen der Aufgaben Kapitel 12	456
Literaturverzeichnis	461