

Inhaltsverzeichnis

Teil I Spezielle Relativitätstheorie (SRT)	1
1 Einführung	3
1.1 Das Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik	3
1.2 Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	7
1.3 Die Relativität der Gleichzeitigkeit	8
2 Der Minkowski-Raum – die Raumzeit der SRT	11
2.1 Ereignisse, Weltlinien und der invariante Abstand	11
2.2 Raumartige, zeitartige sowie lichtartige Abstände und der Lichtkegel	15
2.3 Die Eigenzeit	19
Aufgaben	22
3 Lorentz-Transformationen	27
3.1 Verschiebungen und Drehungen in der Raumzeit	27
3.2 Allgemeine Lorentz-Transformationen	29
3.3 Inertialsysteme mit Relativbewegung	31
Aufgaben	35
4 Vierervektoren und Vierertensoren	41
4.1 Der Ortsvektor im Minkowski-Raum	41
4.2 Vierervektoren	42
4.3 Vierertensoren	46
Aufgaben	48
5 Relativistische Punktmechanik	53
5.1 Kinematik	53
5.2 Dynamik	55
5.3 Die Energie-Impuls-Beziehung	57
Aufgaben	61
6 Andere Teilgebiete der Physik im Rahmen der SRT	67
6.1 Elektrodynamik	67
6.2 Hydrodynamik	71

6.3	Das Problem der Gravitation	76
	Aufgaben	77
Teil II	Allgemeine Relativitätstheorie (ART)	81
7	Grundideen	83
7.1	Geometrisierung der Gravitation	83
7.2	Mach'sches Prinzip und Gravitomagnetismus	86
7.3	Der Energie-Impuls-Tensor als Quellterm	88
8	Geometrie der Raumzeit	91
8.1	Metrik, Vektoren und Tensoren	91
8.2	Lokale Inertialsysteme	95
8.3	Die kovariante Ableitung	97
	Aufgaben	102
9	Physik in der gekrümmten Raumzeit	107
9.1	Die Übertragungsregel	107
9.2	Punktmechanik	108
9.3	Elektrodynamik und Hydrodynamik	114
	Aufgaben	116
10	Die Einstein'schen Feldgleichungen	123
10.1	Ein Weg zu den Feldgleichungen der Gravitation	123
10.2	Der Riemann'sche Krümmungstensor	126
10.3	Nichtlinearität, Kopplung und Konsistenz	127
	Aufgaben	128
11	Der Newton'sche Grenzfall	135
11.1	Voraussetzungen	135
11.2	Die Newton'sche Gravitationsfeldgleichung	136
11.3	Die Newton'sche Bewegungsgleichung	137
	Aufgaben	139
12	Die Schwarzschild-Lösung	143
12.1	Ricci-Tensor einer kugelsymmetrischen Metrik	143
12.2	Auswertung der Vakuum-Feldgleichungen	145
12.3	Eigenschaften der Schwarzschild-Lösung	148
	Aufgaben	149
13	Die klassischen Effekte der ART	153
13.1	Periheldrehung	153
13.2	Lichtablenkung	159
13.3	Rotverschiebung	161
	Aufgaben	165
14	Kugelsymmetrische Sternmodelle	171
14.1	Feldgleichungen innerhalb des Sterns	171
14.2	Hydrostatisches Gleichgewicht	174

14.3	Gravitativer Massendefekt	176
	Aufgaben	177
15	Die Schwarzschild-Lösung als Schwarzes Loch	185
15.1	Der Ereignishorizont	185
15.2	Radiale Nullgeodäten	190
15.3	Kugelsymmetrischer Gravitationskollaps	192
	Aufgaben	193
16	Das Wirkungsprinzip der ART	197
16.1	Die Hilbert-Wirkung	197
16.2	Ankopplung der Materie	200
16.3	Beispiel: Elektrisch geladener Staub	201
	Aufgaben	206
17	Ausblick	209
17.1	Gravitationswellen	209
17.2	Kosmologie	211
17.3	Das Problem der Quantengravitation	214
Teil III	Ergänzungen für Fortgeschrittene	217
18	Mathematische Methoden	219
18.1	Killing-Vektoren und Lie-Ableitung	219
18.2	Erhaltungsgrößen und Fernfeld	222
18.3	Die Einstein-Maxwell-Gleichungen bei Axialsymmetrie und Stationarität	227
18.4	Lösungsmethoden aus der Solitonentheorie	232
	Aufgaben	235
19	Rotierende und elektrisch geladene Schwarze Löcher	259
19.1	Das Randwertproblem für ein isoliertes Schwarzes Loch	259
19.2	Beweis der Eindeutigkeit der Lösung	263
19.3	Vollständige Herleitung der Kerr-Newman-Lösung	271
19.4	Eigenschaften der Kerr-Newman-Lösung	277
	Aufgaben	284
20	Die rotierende Staubscheibe	295
20.1	Rotierende Sterne in der ART	295
20.2	Der Scheibengrenzfall	297
20.3	Die Lösung	300
	Literaturverzeichnis	307
	Sachverzeichnis	311