

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Die Newton'sche Gravitationstheorie</b>	<b>7</b>
<b>3 Die Spezielle Relativitätstheorie</b>	<b>11</b>
3.1 Die Galilei-Transformation . . . . .	12
3.2 Die Lorentz-Transformation . . . . .	19
3.3 Tensoren im Minkowski-Raum . . . . .	27
<b>4 Der Weg zur Allgemeinen Relativitätstheorie</b>	<b>31</b>
4.1 Erste Versuche einer relativistischen Gravitationstheorie	31
4.2 Das Äquivalenzprinzip . . . . .	36
4.3 Allgemeine Koordinatentransformationen und beschleu- nigte Bezugssysteme . . . . .	45
4.4 Die Krümmung der Raum-Zeit . . . . .	47
<b>5 Mathematische Grundlagen der gekrümmten Raum-Zeit</b>	<b>51</b>
5.1 Die differenzierbare Mannigfaltigkeit . . . . .	52
5.2 Der Riemann'sche Raum . . . . .	58
5.3 Der metrische Tensor . . . . .	62
5.4 Die Christoffel-Symbole . . . . .	67
5.5 Die kovariante Ableitung . . . . .	74
5.6 Der Nachweis der Raumkrümmung . . . . .	78

5.7	Der Krümmungstensor . . . . .	80
<b>6</b>	<b>Physik in der gekrümmten Raum-Zeit</b>	<b>87</b>
6.1	Die Geodätengleichung . . . . .	87
6.2	Die Eigenzeit . . . . .	96
6.3	Andere Gesetze unter Einfluss der Gravitation . . . . .	97
<b>7</b>	<b>Die Einstein'schen Feldgleichungen</b>	<b>99</b>
7.1	Voraussetzungen und Forderungen an die Feldgleichungen . . . . .	100
7.2	Der Energie-Impuls-Tensor . . . . .	103
7.3	Die Feldgleichungen . . . . .	107
7.4	Eigenschaften der Feldgleichungen . . . . .	113
7.5	Der Newton'sche Grenzfall . . . . .	115
7.6	Alternative Theorien . . . . .	118
7.7	Die kosmologische Konstante . . . . .	121
<b>8</b>	<b>Die Schwarzschild-Lösung</b>	<b>123</b>
8.1	Die Berechnung des metrischen Tensors . . . . .	124
8.2	Der Ereignishorizont und Schwarze Löcher . . . . .	136
<b>9</b>	<b>Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie im Sonnensystem</b>	<b>139</b>
9.1	Die Gravitationsrotverschiebung . . . . .	140
9.2	Die Bewegung im Gravitationsfeld der Sonne . . . . .	145
9.3	Die Periheldrehung des Merkurs . . . . .	151
9.4	Die Lichtablenkung . . . . .	157
9.5	Weitere Bestätigungen von Vorhersagen . . . . .	163

---

<b>10 Gravitationswellen</b>	<b>165</b>
10.1 Lineare Näherung der Feldgleichungen . . . . .	166
10.2 Ebene Wellen . . . . .	172
10.3 Die Quantisierung der Gravitationstheorie . . . . .	181
10.4 Der Effekt einer ebenen Gravitationswelle auf freie Teilchen . . . . .	184
10.5 Abgestrahlte Leistung einer oszillierenden Massenverteilung . . . . .	190
10.6 Mögliche Quellen von Gravitationswellen . . . . .	201
10.7 Nachweismethoden von Gravitationswellen . . . . .	208
<b>11 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>217</b>
<b>A Literaturverzeichnis</b>	<b>221</b>
<b>B Anhang</b>	<b>231</b>
B.1 Verwendete Daten und Konstanten . . . . .	231
B.2 Ausführliche Berechnungen . . . . .	232
B.2.1 Wichtige Taylor-Reihen für Näherungen . . . . .	232
B.2.2 Bestimmung von $\Delta r^{-1}$ . . . . .	233
B.2.3 Minkowski-Tensor . . . . .	234
B.2.4 Energie-Impuls-Tensor für Photonen . . . . .	236
B.2.5 Explizite Bestimmung von $R^\kappa_{\lambda\mu\nu}$ . . . . .	237
B.2.6 Krümmungstensor in Abhängigkeit der zweiten Ableitungen des metrischen Tensors . . . . .	238
B.2.7 Beweis der Bianchi-Identität . . . . .	240
B.2.8 Gleichungssystem zur Bestimmung ebener Gravitationswellen . . . . .	242