

Inhaltsverzeichnis

1	Licht, Materie und Energie	1
1.1	Lichtstrahlen	1
1.2	Erstes Relativitätsprinzip: Geradlinige, gleichförmige Bewegungen sind relativ	2
1.3	Messung der Lichtgeschwindigkeit	3
1.4	Zweites Relativitätsprinzip: Die Lichtgeschwindigkeit ist absolut	4
1.5	Schneller als das Licht?	5
1.6	Theorie gegen Praxis	6
1.7	Masse und Trägheit	7
1.8	Masse und Gewicht: Eine erste Betrachtung	8
1.9	Energie	8
1.10	Masse und Bewegungsenergie	10
1.11	Ruhemasse und Bewegungsenergie	10
1.11.1	Innere Bewegungsenergie	10
1.11.2	Reine Energie	11
1.12	Trägheit von reiner Energie	12
1.13	Masse ist Energie ist Masse	14
1.14	Information braucht Energie zur Übertragung	15
2	Licht, Zeit, Masse und Länge	17
2.1	Licht und Zeit	17
2.2	Der Gammafaktor	19
2.3	Wessen Uhr geht langsamer?	22
2.4	Licht, Zeit und Längen	23
2.4.1	Längen in Bewegungsrichtung	23
2.4.2	Längen senkrecht zur Bewegungsrichtung	24
2.5	Was ist „gleichzeitig“?	25
2.6	Gibt es Zeitmaschinen?	27
2.7	Zeit und Masse	28
2.8	Addition von Geschwindigkeiten	30
3	Licht, Elektrizität und Magnetismus	33
3.1	Elektrische Ladung und Geschwindigkeit	33
3.2	Elektrische Ladung und Magnete	34
3.3	Elektrische und magnetische Felder	36

3.4	Magnetische Kräfte durch elektrischen Strom	37
3.4.1	Das Faraday-Paradoxon	38
3.4.2	Ohne Relativität keine Anziehung	40
3.4.3	Mit Relativität Anziehung	40
4	Beschleunigung und Trägheit	43
4.1	Drehbewegung: Zwillingsparadoxon 1	43
4.2	Drehbewegung: Die Schulgeometrie gilt nicht	45
4.3	Geradlinige Bewegung und Beschleunigung	47
4.4	Eigenzeit und Trägheit: Zwillingsparadoxon 2	49
4.5	Intertialzustand, Beschleunigung und Eigenzeit	51
5	Trägheit und Gravitation	53
5.1	Die Gravitation ist keine Kraft	55
5.2	Die Gravitation krümmt die Raumzeit	57
5.2.1	Gekrümmte Oberflächen	57
5.2.2	Gekrümmte Raumzeit	60
5.3	Messung der Raumzeitkrümmung	62
6	Das Äquivalenzprinzip in Aktion	67
6.1	Zeit und Gravitation	67
6.2	Die Eigenzeit in einer gekrümmten Raumzeit: Zwillingsparadoxon 3	70
6.3	Geradlinige Bewegung in einer gekrümmten Raumzeit	72
6.4	Längen und die Gravitation einer perfekten Kugel	73
6.5	Gravitation einer perfekten Kugel	77
6.6	Masse unter Einfluss der Gravitation	78
6.7	Licht unter Einfluss der Gravitation	78
6.8	Schwarze Löcher: Einführung	81
6.9	Äquivalenzprinzip: Zusammenfassung	82
7	Wie Masse Gravitation erzeugt	85
7.1	Gravitation in einer einsamen Wolke	85
7.2	Einstein-Gleichung der Gravitation	87
7.3	Der Einfluss des Drucks	88
7.4	Der Einfluss der Geschwindigkeit	90
7.5	Der Einfluss äußerer Massen	91
7.6	Lokale und globale Raumzeit	92
7.7	Gekrümmte Raumzeit und Tensoren	92
7.8	Wie man die Einstein-Gleichung der Gravitation löst	94

8	Lösung der Einstein-Gleichung der Gravitation	97
8.1	Das Gravitationsgesetz bestimmt die Bewegung	97
8.2	Gravitation in einer perfekten Kugel	99
8.3	Flache Raumzeit in einer Hohlkugel	102
8.4	Gravitation außerhalb einer perfekten Kugel	103
8.5	Schwarzschild-Lösung	105
8.6	Das newtonsche Gravitationsgesetz	109
9	Anwendung der Allgemeinen Relativitätstheorie	113
9.1	Schwarze Löcher	113
9.2	Gekrümmte Lichtstrahlen: Schwache Gravitation 1	115
9.3	Keplersche Gesetze	122
9.4	Planetenbahnen drehen sich: Schwache Gravitation 2	127
9.5	Starke Gravitation in der Nähe Schwarzer Löcher	131
9.6	Gravitationswellen	134
9.7	Wo steckt die Energie der Gravitation?	137
9.8	Der Urknall des Universums	139
9.8.1	Kleine Massenkugel im Weltall	141
9.8.2	Große Massenkugel im Weltall	143
9.9	Energie des Vakuums und Gravitation	147
10	Anhang	153
10.1	Wichtige Zahlen	153
10.2	Die Trägheit der reinen Energie im Detail	153
10.3	Relativität für kleine Geschwindigkeiten	156
10.4	Geschwindigkeitszunahme und Massenzunahme	157
10.5	Einstein-Gleichung der Gravitation ausgedrückt durch Tensoren	160
	Nachwort	163
	Sachverzeichnis	165