

Inhalt

I	Raum · Zeit · Bewegung	1
1	Maßstäbe und Uhren	1
2	Inertialsysteme	2
3	Koordinaten und Geschwindigkeiten	5
3.1	Ein Inertialsystem	5
3.1.1	Ortskoordinaten	5
3.1.2	Das Problem der Zeitmessung	5
3.1.3	Die Relativgeschwindigkeit	8
3.2	Zwei Inertialsysteme	9
3.2.1	Koordinaten-Transformationen	10
3.2.2	Das Additionstheorem der Geschwindigkeiten	10
4	Die speziellen Koordinaten-Transformationen	12
4.1	Die Definition der Gleichzeitigkeit	13
4.2	Die linearen Transformationsformeln	14
4.3	Das Additionstheorem der Geschwindigkeiten	15
5	Bewegte Maßstäbe und Uhren	16
5.1	Bewegte und ruhende Maßstäbe	16
5.2	Bewegte und ruhende Uhren	18
II	Das Relativitätsprinzip	21
6	EINSTEINS Relativitätsprinzip	21
	Porträt ALBERT EINSTEIN	22
7	Elementare Relativität	25
8	Ein metrisches Relativitätsprinzip	28
III	Elementarer Aufbau der klassischen Raum-Zeit	33
9	Die physikalischen Postulate der klassischen Raum-Zeit	33
10	Elementare Relativität - Die GALILEI-Transformation	34
IV	Elementarer Aufbau der relativistischen Raum-Zeit	39
11	Der bewegte Stab ist verkürzt - Das MICHELSON-Experiment	39
	Porträt ALBERT ABRAHAM MICHELSON	40
	Porträt HENDRIK ANTOON LORENTZ	43
12	Die bewegte Uhr geht nach -	
	EINSTEINS experimentum crucis der Speziellen Relativitätstheorie	46
12.1	Die Lichtuhr	46
	Porträt EMMY NOETHER	51
12.2	Das allgemeine Gesetz der Zeitdilatation	52
13	Die physikalischen Postulate der relativistischen Raum-Zeit	54
14	Elementare Relativität - Die LORENTZ-Transformation	56

15	EINSTEINS Additionstheorem für beliebig gerichtete Geschwindigkeiten	61
16	Testexperimente zur Speziellen Relativitätstheorie	63
17	Die lineare Näherung der Speziellen Relativitätstheorie	69
V	Die ganze Theorie auf einer Seite	73
18	Die axiomatische Struktur der Speziellen Relativitätstheorie im Überblick	74
VI	Die NEWTONSche Mechanik	75
19	Die NEWTONschen Axiome	75
	Porträt ISAAK NEWTON	78
20	Die klassische Mechanik	79
21	Das TOLMANSche Gedankenexperiment - Die relativistische Mechanik	81
	21.1 Die relativistische Massenformel	81
	21.2 Die relativistischen Grundgleichungen der Mechanik	85
VII	EINSTEINS Energie-Masse-Äquivalenz	89
22	Die Trägheit der Energie	89
23	EINSTEINS Idee der Energie-Masse-Äquivalenz	95
VIII	Relativistische Phänomene und Paradoxa	97
24	FRESNELScher Mitführungskoeffizient	97
25	Ein Paradoxon zum Mitführungskoeffizienten	98
26	THOMAS-Präzession	99
27	Das Maßstabsparadoxon	103
28	DOPPLER-Effekt	108
	28.1 Die klassische Theorie des DOPPLER-Effektes	109
	28.1.1 Longitudinale Beobachtung	109
	28.1.2 Transversale Beobachtung	111
	28.2 Die exakte Theorie des DOPPLER-Effektes	113
	28.2.1 Longitudinale Beobachtung	113
	28.2.2 Transversale Beobachtung	115
29	Aberration	116
	29.1 Die Aberration im Teilchenbild	116
	29.2 Die Aberration im Wellenbild	119
30	Ein Paradoxon zur Aberration von Wellen	122
31	Das Zwillingsparadoxon	126
32	Maßstabsparadoxon und Zwillingsparadoxon bei nichtkonventioneller Gleichzeitigkeit	135
	32.1 Das Maßstabsparadoxon	136
	32.2 Das Zwillingsparadoxon	137

IX	Der mathematische Formalismus der Speziellen Relativitätstheorie	139
33	Die LORENTZ-Gruppe	139
33.1	Die spezielle LORENTZ-Transformation	139
33.2	Die allgemeine LORENTZ-Transformation	146
33.3	Die allgemeine eigentliche LORENTZ-Transformation	152
33.4	Allgemeine Theorie der THOMAS-Präzession	156
33.5	Geometrie im MINKOWSKI-Raum	160
33.6	EINSTEINS Relativitätsprinzip im MINKOWSKI-Raum	167
34	Die kovariante Formulierung der relativistischen Mechanik	168
34.1	Die Bewegung eines Teilchens im MINKOWSKI-Raum	168
34.1.1	Die Eigenzeit einer Teilchenbewegung	168
34.1.2	Die Vierervektoren einer Teilchenbewegung	170
34.2	Die Dynamik der Teilchen im MINKOWSKI-Raum	172
35	Elektrodynamik - Kovariante Formulierung	178
35.1	Die MAXWELLSche Theorie	179
35.1.1	Ladungen und Ströme - Die Kontinuitätsgleichung	180
35.1.2	Die LORENTZ-Kraft	183
35.1.3	Induktionsfluss und Induktionsgesetz	184
35.1.4	Elektrische Verschiebung und magnetische Erregung	188
35.1.5	Die MAXWELLSchen Gleichungen - Elektromagnetische Wellen	193
	Porträt JAMES CLERK MAXWELL	195
35.2	Die kovariante Formulierung der Elektrodynamik	201
35.2.1	Die vierdimensionalen Größen der Elektrodynamik	201
35.2.2	Die vierdimensionale Elektrodynamik im Vakuum	207
35.2.3	Die vierdimensionale Elektrodynamik bewegter Medien	213
	Porträt HERMANN MINKOWSKI	217
35.3	Die Elektrodynamik im absoluten Maßsystem	218
35.3.1	Elektrodynamik im Medium	218
35.3.2	Elektrodynamik im Vakuum - Vierdimensionale Formulierung	218
35.3.3	Der Energie-Impuls-Tensor des MAXWELLSchen Feldes	220
X	Die Darstellungen der LORENTZ-Gruppe	225
	WEYL-Gleichung und DIRAC-Gleichung	
36	Erinnerung an die Gruppentheorie	225
37	Die tensoriellen Darstellungen der LORENTZ-Gruppe	
	Relativistische Mechanik und Elektrodynamik	229
38	Die spinoriellen Darstellungen der LORENTZ-Gruppe	
	WEYL-Gleichung und DIRAC-Gleichung	232
38.1	Die Gruppe C_2	232
38.2	Der Zusammenhang von C_2 mit der LORENTZ-Gruppe \mathcal{A}	234
38.3	Spinorrechnung	241
39	Die kovariante Formulierung des Relativitätsprinzips	
	WEYL-Gleichung und DIRAC-Gleichung	244
39.1	Die WEYL-Gleichung	244
39.2	Die DIRAC-Gleichung	247

40	Der physikalische Hintergrund der DIRAC-Gleichung	252
40.1	Erinnerung an die Quantenmechanik	252
	Porträt DAVID HILBERT	253
	Porträt WERNER KARL HEISENBERG	256
40.1.1	Der Drehimpuls	262
	Porträt ERWIN SCHRÖDINGER	263
40.2	Der Übergang zur DIRAC-Gleichung	268
41	Andere Darstellungen der DIRAC-Gleichung	274
42	DIRAC-Gleichung, SCHRÖDINGER-Gleichung und PAULI-Gleichung	276
XI Die Elektrodynamik im äußeren Kalkül		285
43	Das äußere Produkt	285
44	Differentialformen	288
45	Die MAXWELL-Gleichungen	294
XII Ein Gittermodell der relativistischen Raum-Zeit		301
46	Das Gittermodell	301
47	Ein Uhrenparadoxon	317
XIII EINSTEINS Allgemeine Relativitätstheorie		319
48	Die Gravitation bei NEWTON und EINSTEIN	319
	Porträt GEORG FRIEDRICH BERNHARD RIEMANN	320
XIV Anhang		327
49	Aufgaben und Lösungen	327
50	Mathematische Hilfsmittel	438
50.1	Erinnerung an die Tensorrechnung	438
50.2	Integralsätze	449
	Porträt CARL FRIEDRICH GAUSS	452
50.3	Die δ -Funktion	458
Literatur		461
Register		465