

Inhaltsverzeichnis

1	Prolog	1
1.1	Erkenntnis und Bruttosozialprodukt	2
1.2	Ein Blick ins Universum	2
1.3	Der Mikrokosmos und der Riss in unserem Weltbild	7
1.4	Die Schönheit in der Physik	9
1.5	Ein Paradoxon und der Heilige Gral	10
1.6	Die Schönheit: Leuchtturm oder Irrlicht?	12
1.7	Die Erschaffung des Raums	13
1.8	Verborgene Variablen, ein Nobelpreis und ein Schlupfloch	14
1.9	Kurzer Überblick	15
	Literatur	17

Teil I das Große – die Struktur und Geschichte des Universums

2	Die Verschmelzung von Himmel und Erde	21
2.1	Die Spindel der Notwendigkeit	22
2.2	Die Planetenbahnen: von Esmeralda zu Quasimodo	27
2.3	Die Sonne im Zentrum	30
2.4	Kreise über Kreise	31
2.5	Das Geheimnis der Liebesgöttin	33
2.6	Ein Schiff, ein Drache und ein Pendel	36
2.7	Ellipsen und Kräfte	40
2.8	Eine offene Frage	44
	Literatur	46

XIII

XIV Inhaltsverzeichnis

3	Die Verschmelzung von Raum und Zeit	49
3.1	Die Entdeckung des Feldes	50
3.2	Ladungen, Ströme, Wirbel und Felder	53
3.3	Atomares Intermezzo	55
3.4	Die Natur des Lichts	57
3.5	Eine freie Ladung, ein Leiter und ein Paradoxon	59
3.6	Galilei gegen Maxwell	60
3.7	Alles ist relativ	62
3.8	Die Raumzeit	64
3.9	Verschmelzung von Masse und Energie	67
3.10	Das Blockuniversum	68
3.11	Ein Paradoxon wird aufgelöst – und zwei neue geboren	69
	Literatur	72
4	Eine kurze Geschichte des Universums	75
4.1	Mit Einstein im freien Fall	75
4.2	Die Krümmung des Raums	78
4.3	Die Krümmung der Zeit	83
4.4	Die Periheldrehung des Merkur	85
4.5	Das Schwarze Loch	87
4.6	Schwerkraftwellen	89
4.7	Licht und Finsternis	89
4.8	Der Raum wird dynamisch	90
4.9	Die Geburt des Universums	92
4.10	Das unsichtbare Dritte · Die Dunkle Materie	96
4.11	Die Dunkle Energie	97
4.12	Was war vor dem Urknall?	99
	Literatur	101

Teil II das Kleine – die Struktur der Materie und Kräfte

5	Die Unteilbaren: von der Spekulation bis zur Büchse der Pandora	107
5.1	Die Geburt der Chemie	108
5.2	Vom Wärmestoff zur Wärme als Bewegung	109
5.3	Atome in der Chemie und der Wärmelehre	110
5.4	Das Zweite Gesetz	113
5.5	Atome und die Natur der Gase	116
5.6	Die Zeit als Ein- und Zweibahnstraße	120
5.7	Die Entstehung des Zeitpfeils	122
5.8	Tanzende Mikroteilchen	123

5.9	Atome mit Innenleben	124
	Literatur	126
6	Es werde Licht – <i>Particles Formerly Known as Waves</i>	129
6.1	Die Entstehung des Regenbogens	130
6.2	Strahlung und Wärme	140
6.3	Die Ultraviolettkatastrophe	142
6.4	Die Geburt der Quantenphysik	145
6.5	Der Photoeffekt	147
6.6	Warum der Himmel blau ist	149
6.7	Röntgenblick und Doppelhelix	150
6.8	Photonen und Billardkugeln	151
	Literatur	153
7	<i>Fair Is Foul, and Foul Is Fair: die Wellennatur der Materie</i>	155
7.1	Auf dem Weg ins Quantenreich	156
7.2	Ankunft im Quantenreich	165
7.3	Materiewellen in Gefangenschaft	172
7.4	Viele Wege führen nach Rom	174
7.5	Das Quanten-Orakel	178
7.6	Shut up and calculate!	184
7.7	Die Goldene Regel	185
	Literatur	190
8	Quantenfelder: die fundamentalsten Objekte des Universums	193
8.1	Das Ein-Elektron-Universum	194
8.2	Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie	196
8.3	Unendlichkeiten und ein vergessenes Heilmittel	200
8.4	Physik mit Pippi Langstrumpf	205
8.5	Bilder sagen mehr: Feynman-Diagramme	208
8.6	Leichen im Keller	211
	Literatur	214
9	Kleine Teilchen, große Wirkung: vom Radioaktiven Zerfall bis zum Gottesteilchen	217
9.1	Die entfesselte Kernkraft	218
9.2	Kerne, Hüllen und Kosmologie	226
9.3	Der Betazerfall und die Unschärferelation	227
9.4	Ein Besuch im Teilchenzoo	229
9.5	Quarks und Gluonen: Die starke Kraft	236

XVI Inhaltsverzeichnis

9.6	Propheten und Gottesteilchen: Die elektroschwache Kraft	242
9.7	Infinity Wars	246
	Literatur	251

Teil III Schönheitsoperationen – jenseits des Standardmodells

10	Quanten im Schwerefeld und Planck-Skala	257
10.1	Die Verschmelzung der Kräfte	258
10.2	Eine harte Nuss	260
10.3	Das Informationsparadoxon	262
10.4	Kleiner geht's nicht	263
10.5	Die kosmische Superkraft	265
10.6	Die Zähmung der Unendlichkeit und ein blinder Fleck	266
10.7	Asymmetrien der Raumzeit und kosmische Teilchen	267
10.8	Eine Lösung des Informationsparadoxons	269
10.9	Die Vakuumkatastrophe: das peinlichste Problem der Physik	270
	Literatur	273
11	Theorien von (fast) Allem und Nichts	275
11.1	Die Supersymmetrie und die Suche nach den Schattenpartnern	275
11.2	QED mit Direktnormierung: die Zähmung der Unendlichkeit?	287
11.3	Das Ende der Punktteilchen	290
11.4	Teilchen als schwingende Saiten	292
11.5	Die Schönheit und die Bestie: das String-Multiversum	297
11.6	Die Mutter aller Theorien: nicht einmal falsch?	300
11.7	Die Dunkle Energie: der Sargnagel der Stringtheorie?	303
11.8	Die Strings schwingen weiter	306
	Literatur	308
12	Mit Schleifen zur Quantengravitation: Königs- oder Holzweg?	313
12.1	Die Raumzeit als Gewebe	313
12.2	Die Schleifenquantengravitation auf dem Prüfstand	320
	Literatur	323
13	Superdeterminismus: die Rettung der Physik oder das Ende der Wissenschaft?	325
13.1	Spukhafte Fernwirkung oder verborgene Variablen?	326
13.2	Die Rückkehr der Pilotwellen	328

13.3	Die Bellsche Ungleichung und der freie Wille	332
13.4	Kosmische Bell-Tests und Zombies am Versuchsapparat	336
13.5	Der Superdeterminismus in neuem Licht	342
13.6	Der superdeterministischen Verschwörung auf der Spur	344
13.7	Boten eines neuen Weltbilds?	350
	Literatur	353
14	Epilog	357
14.1	Eine kurze Geschichte der Vereinheitlichungen	357
14.2	Wege zur Quantengravitation	359
14.3	Bewirkt die Schwerkraft einen Kollaps der Wellenfunktion?	361
14.4	Die Rückkehr des Messproblems	364
14.5	Superdeterminismus: Auf der Schwelle zu einer neuen Physik?	366
	Literatur	367
	Anhang	369