

Inhalt

Vorwort — v

Vorwort zur zweiten Auflage — vi

Einleitung — 1

1 Grundbegriffe und Probleme der Wissenschaftstheorie im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften — 4

- 1.1 Einleitung — 4
- 1.2 Gegenüberstellung Geistes- und Sozialwissenschaften/Naturwissenschaften — 5
- 1.3 Wissenschaftstheoretische Konzepte — 6
 - 1.3.1 Das Erkenntniskonzept in der Naturwissenschaft — 6
 - 1.3.2 Eigenständige Methoden des Verstehens in den Geistes- und Sozialwissenschaften — 10
- 1.4 Einordnung wissenschaftstheoretischer Positionen — 14
 - 1.4.1 Erklären und Verstehen — 14
 - 1.4.2 Dialektik — 14
 - 1.4.3 Verallgemeinerte Evolutionstheorie — 15
- 1.5 Metapositionen (Zusammenhang zwischen den Positionen) — 15
 - 1.5.1 Postmoderne Fehlentwicklungen — 15
 - 1.5.2 Historische Entwicklung und wissenschaftlicher Fortschritt — 16
 - 1.5.3 Historische Entwicklung der Kulturen — 17

2 Ausgewählte Begriffe der Mathematik — 20

- 2.1 Funktionen — 21
 - 2.1.1 Beispiele — 21
 - 2.1.2 Umkehrfunktion — 25
- 2.2 Komplexe Zahlen — 26
 - 2.2.1 Darstellung komplexer Zahlen — 26
 - 2.2.2 Funktionen komplexer Zahlen — 27
- 2.3 Ellipse — 28
- 2.4 Infinitesimalrechnung — 29
 - 2.4.1 Differentialrechnung — 29
 - 2.4.2 Beispiel — 30
 - 2.4.3 Funktionen mit ihren 1. und 2. Ableitungen — 30
 - 2.4.4 Ableitungsregeln — 30
- 2.5 Differentialgleichungen — 30

2.5.1	Beispiele — 31
2.5.2	Beispiele aus der Physik — 31
2.6	Vektorrechnung — 33
2.6.1	Skalar — 33
2.6.2	Vektor — 33
2.6.3	Vektoranalysis — 36
2.7	Raumkurve, Geschwindigkeit, Beschleunigung — 37
2.8	Grundlegende Gleichungen der Physik — 38
2.8.1	Klassische Mechanik — 39
2.8.2	Klassische Elektrodynamik — 39
2.8.3	Allgemeine Relativitätstheorie — 39
2.8.4	Quantentheorie — 40
3	Grundbegriffe der klassischen Mechanik — 41
3.1	Die Entwicklung des Weltbildes — 41
3.1.1	Das geozentrische Weltbild des Ptolemäus — 42
3.1.2	Heliozentrisches Weltbild des Nikolaus Kopernikus — 44
3.1.3	Die Keplerschen Bewegungsgesetze der Planeten — 45
3.1.4	Galilei am Beginn der Naturwissenschaften — 46
3.2	Die Newtonsche Mechanik — 47
3.2.1	Die Newtonschen Grundgesetze — 47
3.2.2	Das Gravitationsgesetz — 54
3.2.3	Die Überprüfung der Newtonschen Hypothese auf der Erde — 55
3.2.4	Kosmische Überprüfung des Gravitationsgesetzes — 60
3.2.5	Newtonsche Grundbegriffe für Systeme von Massenpunkten — 67
3.3	Die Entwicklung der klassischen Mechanik — 73
3.3.1	Die Entdeckung des Neptun — 74
3.3.2	Aufstellung der Hamiltonschen Gleichungen — 74
3.3.3	Determinismus und Kausalität — 76
3.3.4	Deterministisches Chaos — 77
3.4	Rückblick und Ausblick — 78
3.4.1	Zeitliche Entwicklung der Weltbilder — 78
3.4.2	Am Dreiländereck von Theologie, Philosophie und Naturwissenschaft — 79
4	Grundbegriffe der Thermodynamik — 83
4.1	Der Objektbereich der Thermodynamik — 83
4.1.1	Thermodynamische Systeme — 83
4.1.2	Die Zustandsgrößen des idealen Gases im Thermodynamischen Gleichgewicht — 84
4.1.3	Erläuterung der Zustandsgrößen — 84
4.2	Thermodynamische Systeme — 87
4.2.1	Arten Thermodynamischer Systeme — 87

4.2.2	Thermodynamische Zustandsänderungen —	88
4.2.3	Innere Energie —	89
4.3	Thermodynamische Kreisprozesse —	90
4.4	Die Hauptsätze der Thermodynamik —	91
4.5	Ein idealer Kreisprozess: Der reversible Carnot-Prozess —	92
4.5.1	Der Aufbau des Carnot Prozesses —	93
4.5.2	Der ideale Wirkungsgrad —	95
4.5.3	Universalität der idealen Wirkungsgrade —	95
4.5.4	Die Leistung des Carnot-Prozesses —	96
4.6	Ein realer Kreisprozess: Der Stirling-Motor —	97
4.6.1	Aufbau des Stirling-Motors —	97
4.6.2	Die Phasen des Stirling-Motors —	98
4.7	Der Verbrennungsmotor: Ein Gas-Austauschmotor —	100
4.8	Definitionen —	101
5	Grundbegriffe der klassischen Elektrodynamik —	103
5.1	Die Erforscher des Elektromagnetismus —	103
5.2	Die Begriffswelt und die Naturgesetze des Elektromagnetismus —	104
5.2.1	Überblick über die Grundphänomene —	107
5.3	Vektoranalysis: Das mathematische Hilfsmittel zur Formulierung der Elektrodynamik —	113
5.3.1	Vektoren und Vektorfelder —	113
5.3.2	Vektoranalysis —	114
5.3.3	Kontinuitätsgleichung —	116
5.3.4	Beispiele —	117
5.4	Die Grundgleichungen der klassischen Elektrodynamik —	120
5.4.1	Ableitung der bekannten Gesetze aus den Maxwellschen Gleichungen —	121
5.4.2	Zu den Lösungen der Maxwellschen Gleichungen —	123
5.5	Die Integration der Optik in die Elektrodynamik —	124
Vorbemerkungen zu den Kapiteln 6 bis 11 —		131
6	Die Spezielle Relativitätstheorie —	135
6.1	Das Geheimnis des Lichts —	135
6.1.1	Die klassische Vorstellungswelt —	135
6.1.2	Widerlegung der klassischen Vorstellungswelt —	138
6.1.3	Auswirkungen von Einsteins Relativitätstheorie jenseits der Physik —	141
6.2	Die Lorentz-Transformation —	143
6.2.1	Lorentztransformation im einfachsten Fall —	144
6.2.2	Lorentztransformation im allgemeinen Fall —	147
6.2.3	Gruppeneigenschaft der Lorentztransformation —	149

6.3	Folgerungen aus der Lorentztransformation —	150
6.3.1	Längenmessung – Lorentzkontraktion —	150
6.3.2	Zeitmessung – Zeitdilatation —	151
6.3.3	Das Additionstheorem der Geschwindigkeiten —	152
6.4	Die Kovarianz der Naturgesetze —	154
6.4.1	Allgemeine Vorgehensweise —	155
6.4.2	Die kovarianten Bewegungsgleichungen der Mechanik —	156
6.4.3	Die kovariante Formulierung der Elektrodynamik —	159
7	Die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) —	165
7.1	Probleme und Ziele der ART —	165
7.2	Die Gleichungen der ART —	168
7.3	Anwendungen der ART —	177
7.3.1	GPS nicht ohne SRT und ART —	178
7.3.2	Astronomische Bestätigungen der ART —	182
7.4	Die Herleitung der Gleichungen der ART —	191
7.4.1	Tensoranalysis —	192
7.4.2	Intuitionsleitende Einsichten zur Nichteuklidischen Geometrie —	199
7.4.3	Die Riemannsche Nichteuklidische Geometrie —	205
7.4.4	Die Einsteinschen Gleichungen der ART für die reale Raumzeit —	211
8	Einblick in die Kosmologie —	221
8.1	Vorbemerkung —	221
8.2	Das moderne Weltbild des Universums —	222
8.2.1	GUT Ära (Grand Unified Theory) —	223
8.2.2	Ära der Inflation —	223
8.2.3	Quarkära —	223
8.2.4	Hadronära —	224
8.2.5	Leptonen- und Strahlungsära —	224
8.2.6	Primordiale Nukleosynthese —	224
8.2.7	Entstehung neutraler Atome: Entkopplung von Strahlung und Materie —	225
8.2.8	Klumpung der Materie und Galaxienbildung —	226
8.3	Grundzüge der Physik des Universums —	227
8.3.1	Rotverschiebung und Entfernungen —	227
8.3.2	Grundlagen der Kosmologie —	233
8.3.3	Zustandsgleichungen —	237
8.3.4	Lösungen der Friedmann-Lemaître-Gleichungen —	239
8.4	Die Thermodynamik des frühen Universums —	246
8.4.1	Die thermodynamischen Grundlagen —	248
8.4.2	Strahlungsdominiertes Universum —	249
8.4.3	Materiedominiertes Universum —	251
8.5	Kosmologie und Wissenschaftstheorie —	252

9	Teilchen und Diskrete Energien — 254
9.1	Einleitung — 254
9.2	Der Atomismus in der antiken Naturphilosophie und in der modernen Physik — 255
9.3	Beiträge der Statistischen Physik — 257
9.3.1	Universelle Konstanten der Thermodynamik — 257
9.3.2	Die Barometrische Höhenformel — 259
9.3.3	Die Maxwell-Boltzmann-Verteilung und der Gleichverteilungssatz — 263
9.3.4	Die Boltzmann-Gleichung — 266
9.4	Grundlagenproblematik: Ist die Zeit reversibel oder irreversibel? — 271
9.4.1	Übergang zum Γ -Raum — 272
9.4.2	Das Umkehrtheorem — 273
9.4.3	Das Wiederkehrtheorem — 274
9.4.4	Die Boltzmann-Gleichung im Widerspruch zum Umkehr- und Wiederkehrtheorem — 277
9.4.5	Der intuitive Zugang zur Irreversibilität der Zeit — 278
9.5	Eine vorläufige Bilanz — 279
9.6	Das elektromagnetische Feld als Sonde beim Eindringen in die Mikrowelt — 281
9.6.1	Millikan Versuch (Nachweis der Elementarladung) — 281
9.6.2	Bestimmung der Elementarladung durch Elektrolyse — 283
9.6.3	Die Entdeckung des Elektrons — 284
9.6.4	Massenspektrometer — 286
9.6.5	Franck-Hertz-Versuch — 288
9.7	Atommodelle — 290
9.7.1	Das Atommodell von J. J. Thomson — 291
9.7.2	Rutherfordstreuung und Atommodell — 291
9.7.3	Das Bohrsche Atommodell — 296
9.8	Rückblick und Ausblick — 300
9.8.1	Erfolge der klassischen Physik — 300
9.8.2	Das Poppersche Theorem — 301
9.8.3	Die Frage nach dem Stabilitätsgrad von Hypothesen bzw. Naturgesetzen — 301
10	Der Welle-Teilchen-Dualismus — 305
10.1	Übergang von klassischer zu moderner Physik — 305
10.2	Plancksches Strahlungsgesetz — 306
10.2.1	Strahlungsgesetz nach Rayleigh-Jeans — 307
10.2.2	Plancksches Strahlungsgesetz — 308

10.2.3	Die Einsteinsche Ableitung der Planckschen Formel —	311
10.2.4	Die weitreichende Bedeutung des Planckschen Strahlungsgesetzes —	313
10.3	Der Photoelektrische Effekt —	315
10.4	Elektronen: Nur Teilchen oder auch Wellen? —	317
10.4.1	Das Davisson-Germer Experiment —	318
10.4.2	Streuung von Elektronen an Graphit —	319
10.5	Die Materiewellenhypothese von de Broglie —	321
10.5.1	Eigenschaften der Materie —	322
10.5.2	Zusammenhang mit dem Bohrschen Atommodell —	324
10.5.3	Einordnung von de Broglies Materieeigenschaften —	324
10.6	Der Doppelspaltversuch —	325
10.6.1	Nachweis der Wellennatur —	325
10.6.2	Verhalten von Photonen —	326
10.6.3	Die beschränkte Anwendbarkeit der Modellvorstellungen —	327
10.6.4	Schlussfolgerungen —	329
11	Grundbegriffe der Quantentheorie —	330
11.1	Die Situation —	330
11.2	Der Durchbruch: Die Grundgleichungen der Quantentheorie —	331
11.2.1	Die Schrödingergleichung —	332
11.2.2	Die außerordentliche Übersetzungsvorschrift —	332
11.3	Die zentralen Paradigmen —	335
11.3.1	Der eindimensionale Harmonische Oszillator —	335
11.3.2	Das Wasserstoffatom —	342
11.4	Von der Vektorrechnung zum Hilbertraum —	357
11.4.1	Von den Basisvektoren zum Vektorraum —	359
11.4.2	Produkte im Vektorraum R^3 —	361
11.4.3	Die Operatoren des Vektorraums R^3 —	363
11.4.4	Vom dreidimensionalen Vektorraum R^3 nach R^n —	372
11.4.5	Vom Vektorraum R^n zum Hilbertraum H —	376
11.5	Der Quantensprung zur Quantentheorie —	381
11.5.1	Die Eignung des Hilbertraums —	381
11.5.2	Die intuitionsleitende Funktion der zentralen Paradigmen —	382
11.5.3	Zustände, Observable und Operatoren —	383
11.5.4	Erwartungswerte, Messwerte, Varianzen, Unschärfe —	384
11.5.5	Die Bewegungsgleichungen —	391
11.6	Die Dichtematrix oder der statistische Operator —	397
11.6.1	Eigenschaften des statistischen Operators —	398
11.6.2	Erwartungswerte und Bewegungsgleichungen mit der Dichtematrix —	401

11.6.3	Messprozess und Dekohärenz —	403
11.6.4	Ein idealisiertes Modell des Messprozesses —	406
11.7	Vergleich der klassischen und quantentheoretischen Strukturen —	411
11.7.1	Dekohärenz, Indeterminismus, Irreversibilität —	411
11.7.2	Die Logik physikalischer Zustände und Eigenschaften —	414
11.7.3	Ein einfaches Beispiel mit großer Wirkung —	423
11.8	Rückblick und Ausblick —	428
12	400 Jahre Physik. Rückblick, Gegenwart und Ausblick —	431
12.1	Ein Rückblick —	431
12.1.1	Der zurückgelegte Weg —	431
12.1.2	Wissenschaftstheoretische Konsequenzen —	439
12.2	Die gegenwärtige Situation —	445
12.2.1	Die Standardmodelle der Kosmologie und der Elementarteilchentheorie —	445
12.2.2	Der Weg zur Interdisziplinarität —	447
12.3	Ausblick —	448
12.3.1	Der Fortgang des physikalischen Erkenntnisprozesses —	448
12.3.2	Offenheit oder Vollständigkeit der wissenschaftlich erforschbaren Wirklichkeit? —	450
12.3.3	Wissenschaft und Transzendenz —	451
12.3.4	Spuren der Transzendenz in der Wirklichkeit —	454
12.3.5	Die Einheit der Wirklichkeit und die Dimensionen der Wahrheit —	455
Literatur zur Erinnerung und Vertiefung —		457
Stichwortverzeichnis —		459