Auf einen Blick

Einführung 23

Teil I: Am Anfang war ...: Frühe Ideen über das Universum 29

Kapitel 1 Das frühe Universum erforschen 31
Kapitel 2 Zu den Sternen aufblicken: Was die Menschen früher glaubten 41
Kapitel 3 Newton, die Schwerkraft und die Bewegung der Planeten 53

Teil II: Moderne Kosmologie: Am Anfang war der Urknall 79

Kapitel 4 Krümmung des Universums: Magnetismus und Schwerkraft. . 81
Kapitel 5 Das Universum vermessen. 107
Kapitel 6 Die Vorbereitung des Urknalls 133
Kapitel 7 Der Teig geht auf: Expansion und Inflation des Universums . . 147
Kapitel 8 Unterschiedliche Gedanken über das Universum 159

Teil III: Das Do-it-yourself-Universum 171

Kapitel 9 Ganz von Grund auf beginnen. 173
Kapitel 10 Volle Kraft voraus: Die Rolle der Grundkräfte im Universum . 197
Kapitel 11 Licht ins Dunkel bringen 215
Kapitel 12 Mit dem Chemiekasten des Universums spielen 227
Kapitel 13 Die Entstehung von Sternen, Sonnensystemen, Galaxien. . . . 245
Kapitel 14 Die Entstehung des Lebens 263
Kapitel 15 Eine Reise durch die Zeit. 279

Teil IV: Schwierige Fragen 295

Kapitel 16 Das Unerklärliche erklären. 297
Kapitel 17 Die Suche nach außerirdischem Leben 311
Kapitel 18 Dem Ende entgegen 325

Teil V: Der Top-Ten-Teil 337

Kapitel 19 Zehn Ansichten über den Ursprung des Universums 339
Kapitel 20 Die zehn größten Fortschritte in der Kosmologie. 347

Anhang Wissenschaftliche Einheiten und Gleichungen verstehen . . . 357

Stichwortverzeichnis 367

Inhaltsverzeichnis

Über die Autoren 9

Einleitung **23**

Über dieses Buch 23
Konventionen in diesem Buch 24
Was Sie nicht lesen müssen 24
Törichte Annahmen über den Leser 24
Wie dieses Buch aufgebaut ist 25
Teil I: Am Anfang war ...: Frühe Ideen über das Universum . . . 25
Teil II: Moderne Kosmologie: Am Anfang war der Urknall 25
Teil III: Das Do-it-yourself-Universum 26
Teil IV: Schwierige Fragen 27
Teil V: Der Top-Ten-Teil 27
In diesem Buch verwendete Symbole 27
Wie es weitergeht 28

TEIL I
Am Anfang war ...:
Frühe Ideen über das Universum **29**

Kapitel 1
Das frühe Universum erforschen **31**

Ansichten ändern sich – wissenschaftlich gesprochen 32
Wissenschaft und Religion im Gegensatz 33
Das Wort Kosmologie 34
Der Blick zum Anfang des Universums 35
Der Luxuslimousinen-Effekt 37
Der Anfang 38
Warum die Jetztzeit so aufregend ist 39

Kapitel 2
Zu den Sternen aufblicken:
Was die Menschen früher glaubten **41**

Ein Heim für die Götter: Frühe Weltbilder 42
Zerteilung des Gerippes eines Gottes:
Die babylonische Schöpfungsgeschichte 42
Liebe zwischen den Sternen: Ägyptische Götter am Himmel . 43

Eine wissenschaftliche Herangehensweise: Frühe Ansichten 44
Der sich die Sphärenharmonie vorstellte: Pythagoras 45
Der die Grenzen verschob: Anaxagoras von Klazomenai 46
Der seinem Wandelstern folgte: Aristarch von Samos 46
Der den Sieg davontrug: Aristoteles 47
Der das aristotelische System verfeinerte: Ptolemäus 48
Die Sonne in die Mitte rücken: Die kopernikanische Revolution . . . 49

Kapitel 3
Newton, die Schwerkraft und die Bewegung der Planeten 53
Tycho Brahe, ein aufgehender Stern 54
Die Arbeit in der größten Sternwarte der Welt 55
Der Gehilfe – und Überwinder – von Brahe: Johannes Kepler 57
Die Formulierung der keplerschen Gesetze 58
Keplers Erbe würdigen 63
Das Universum gibt sich zu erkennen: Galileo 64
Der Schiefe Turm und die Schwerkraft 64
Ein Blick durch Galileos Augen 65
Venus durchläuft Phasen 66
Die Entdeckung von Flecken auf der Sonne 67
Galileos Konfrontation mit der Kirche 68
Zuschauen, wie der Apfel fällt: Isaac Newton 69
Alles miteinander verknüpfen 71
Die Wertschätzung von Newtons Principia 73
Keine Spekulation über die Ursache der Schwerkraft 77
Betrachtung der Wirkung von Newtons Theorien 77

TEIL II
Moderne Kosmologie: Am Anfang war der Urknall 79

Kapitel 4
Krümmung des Universums: Magnetismus und Schwerkraft 81
Die Bestätigung der newtonschen Gesetze 82
Das Problem mit dem Merkurperihel 82
Das Licht als elektromagnetische Welle: James Clerk Maxwell 84
Auf dem elektromagnetischen Feld spielen 84
Maxwells wunderbare Gleichungen 86
Die Entdeckung eines verblüffenden Zusammentreffens 86
Die Abschaffung des Äthers: Michelson und Morley 87

Bläst der (Äther-)Wind? 87
Untersuchung des Ätherwindes. 88
Der relative Albert Einstein. 90
Nachdenken über einen physikalischen Widerspruch: Die spezielle Relativitätstheorie 91
Die Dehnung der Zeit 94
Der Zusammenhang von Masse und Energie 98
Weiter geht's zur allgemeinen Relativitätstheorie. 99

Kapitel 5
Das Universum vermessen 107
All die funkelnden Sterne untersuchen 108
Die Sachen etwas genauer anschauen 108
Die Farben der Sterne vergleichen 109
Die Sterne klassifizieren 112
Nach der Oberflächentemperatur sortieren 112
Unterschiedliche Helligkeiten. 114
Veränderliche Sterne aller Art 117
Sternentfernungen messen 118
Die Parallaxe 119
Die Parallaxe auf die Sterne anwenden 120
Die Entfernungsbestimmung mittels Standardkerzen 122
Mit dem Dopplereffekt Sterne ins rote Licht rücken 123
Ein für alle Zeiten expandierendes Universum betrachten. 126
Die Erforschung der Nebelflecken. 126
Das vergrößerte Weltbild Hubbles 129

Kapitel 6
Die Vorbereitung des Urknalls 133
Die Zutaten für ein expandierendes Universum zusammenstellen 134
Die Vorhersage eines expandierenden Universums 134
Die Beobachtung des expandierenden Universums 135
Die Expansion durch Aufblasen eines »universellen« Luftballons verstehen 136
Für die Expansion vorheizen 138
Klein anfangen 138
Die Namensgebung des Urknalls. 138
In den Ofen schauen und nach fossiler Strahlung Ausschau halten 139
Die Strahlung fühlen 139
Wann der CMB entstand. 141
Den CMB entschlüsseln. 141
Variationen im CMB finden. 142

Die Quelle der Variationen im CMB identifizieren. 143
Schwarzkörperstrahlung beobachten. 144
Die damit verknüpfte Energiemenge abschätzen 145

Kapitel 7
Der Teig geht auf:
Expansion und Inflation des Universums 147

Zum Anfang zurückgehen 148
Das Universum definieren 149
Wieder zurück zum Ursprung 149
Über den Horizont nachdenken 150
Dem Universum eine Form geben 151
Ein kollabierendes Universum 152
Ewige Expansion. 152
Ein Universum – gerade richtig zum Leben 153
Sich die Inflation vorstellen 154
Exponentielle Expansion. 154
Einige knifflige Probleme lösen 155
Die Schwerkraft umkehren. 156
Die Inflation hinbiegen 157

Kapitel 8
Unterschiedliche Gedanken über das Universum. . . 159

Ewige Existenz:
Eine Alternative zum Urknall 160
Die Rosinen aus dem Kuchen picken – die Vorstellung eines konstanten Universums 160
Die Steady-State-Theorie 161
Das Schöpfungsfeld betrachten. 162
Die weitere Entwicklung der Steady-State-Theorie 164
Das Universum auf andere Weise erklären 165
Kosmische Zutaten zusammenmischen:
Das Mixmaster-Universum 166
Die Theorie der Lichtermüdung. 166
Mit Materie und Antimaterie spielen: Plasmakosmologie 167
Weitere merkwürdige kosmologische Theorien 169

TEIL III
Das Do-it-yourself-Universum **171**

Kapitel 9
Ganz von Grund auf beginnen **173**
Was ist Materie? Auf der Suche nach den Grundbausteinen 174
Vorstoß zu immer kleineren Bereichen – doch nur bis zu einem bestimmten Punkt 174
Thomson und die Entdeckung des Elektrons. 176
Ernest Rutherford und die Zerlegung des Atoms 177
Über Elektronen, Protonen und Neutronen hinaus: Die Quantenmechanik 180
Die Geburt der Quantenmechanik: Max Planck 181
Eine neue Vorstellung vom Atom 182
Reist Licht als Welle oder als Teilchen – oder als beides? 183
Einen Kompromiss schließen: Werner Heisenberg. 184
Die Erforschung der Wahrscheinlichkeiten 186
Antimaterie. 187
Was negative Zahlen bedeuten 188
Die Entdeckung des positiven Elektrons. 188
Was ist Antimaterie? 189
Das Standardmodell 191
Die Klassifikation von Quarks. 193
Zusammengesetzte Teilchen 193
Immer mehr Quarks: charm, top und bottom. 194
Elektronen und mehr im Standardmodell 194
Die Anordnung in Familien 195

Kapitel 10
Volle Kraft voraus: Die Rolle der Grundkräfte im Universum **197**
Kräfte am Werk 198
Newtons Kraftbegriff 198
Die Vereinigung von Elektrizität und Magnetismus: Die elektromagnetische Kraft. 199
Tief im Innern des Atoms: Die schwache Wechselwirkung . . . 206
Den Kern zusammenhalten: Die starke Wechselwirkung 206
Die Vereinheitlichung der Naturkräfte 208
Die Übertragung der schwachen Wechselwirkung 208
Die Übertragung der starken Wechselwirkung 209
Die Quantengravitation. 210

Die Teilchen erhalten Masse: Das Higgs-Feld und das Higgs-Boson 210
Die Suche nach GUTs und TOEs: Grand Unified Theories und Theories of Everything 212

Kapitel 11
Licht ins Dunkel bringen 215

Ein schwarzer Elefant in der finsteren Kammer: Die Dunkle Materie 216
Die dunkle Seite des Universums entdecken 216
Die Entdeckung seltsamer Rotationskurven von Galaxien . . . 217
Die Definition der Dunklen Materie 218
Die Kartierung der Dunklen Materie im Universum 220
Noch dunkler: Dunkle Energie 220
Die kosmologische Konstante 222
Quintessenz 223
Die Saiten des Universums 223
Das Stück einer Saite vermessen 224
Vergleich im Wettbewerb stehender Stringtheorien 225

Kapitel 12
Mit dem Chemiekasten des Universums spielen 227

Ein Rundgang durch das Periodensystem der Elemente 228
Der Wasserstoff 229
Dem Gemisch Neutronen hinzufügen 229
Die Elektronenwolken betrachten 230
Die Häufigkeit der chemischen Elemente berechnen 230
Die Erzeugung von Wasserstoff und Helium im Urknall 231
Die Geburt eines Sterns 233
Vom Wasserstoff zum Helium 234
Ein chemisches Hindernis tut sich auf 235
Schwerere Elemente erzeugen 237
Ein Zyklus aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff 238
Sterne aufgrund ihrer Chemie klassifizieren 239
Sterne der Population I 239
Sterne der Population II und III 240
Schwere Elemente mittels Supernovae erzeugen 240
Supernovae vom Typ Ia 241
Supernovae vom Typ II 242

Kapitel 13
Die Entstehung von Sternen, Sonnensystemen, Galaxien **245**
Die Entstehung von Sternen 246
Ein Besuch in den Kinderstuben der Sterne 246
Allgemeine Wahrheiten bei den ältesten Sternen entdecken . 247
Die Bildung von Sonnensystemen 248
Die Entstehung von Galaxien 249
Die Spiralgalaxien 249
Die Spiralarme bilden sich 251
Alles im Universum inventarisieren 252
Galaxien 252
Sterne 253
Schwarze Löcher 255
Das große Ganze: Jenseits der Milchstraße 256
Die Lokale Gruppe besuchen 256
Die Anhäufung von Galaxien 256
Die Superhaufen 258
Das kosmische Netzwerk weben 260

Kapitel 14
Die Entstehung des Lebens **263**
Die Definition des Lebens 264
Komplexität 264
Stoffwechsel 265
Entwicklung 265
Autonomie 265
Fortpflanzung 265
Eine Arbeitsdefinition skizzieren 266
Die Anfänge des Lebens aufspüren 268
Das Alter des Lebens auf der Erde berechnen 268
Die Anfänge des Lebens erkunden 269
Ein Teller voll warmer Ursuppe 271
Den Zeh in Darwins Tümpel tauchen 272
Im Innern der Zelle: DNA und Proteine 273
Das Problem vom Huhn und dem Ei 276
Leben in einem Universum, das »gerade richtig« ist 277

Kapitel 15
Eine Reise durch die Zeit 279
Die Vergangenheit, die Gegenwart und die Zukunft 280
Eine andere Sicht auf die Raumzeit: Weltlinien und Lichtkegel 280
Nach Tachyonen fischen 286
Die Kausalität betrachten 287
Die Geschwindigkeit der Schwerkraft 288
Die Zeit zurückdrehen 289
Schneller als das Licht 289
Die Zeit vor dem Urknall 290
Alles in einem singulären Zeitpunkt aufsummieren 290
Ein unendliches Universum betrachten 292

TEIL IV
Schwierige Fragen 295

Kapitel 16
Das Unerklärliche erklären 297
Den Tod von Sternen beobachten 297
Augen auf bei Schwarzen Löchern 298
Die Entstehung von Schwarzen Löchern 298
Das Unsichtbare sehen 300
Die Klassifikation Schwarzer Löcher 300
Ins Innere der Schwarzen Löcher schauen 301
Der Fall in ein Schwarzes Loch 302
Der Durchbruch zur anderen Seite 304
Neutronensterne 305
Das paulische Ausschließungsprinzip 306
Den Puls von Neutronensternen prüfen 307
Quasare, die faszinierenden Herzen der Galaxien 307
Die Erschaffung von Paralleluniversen 308
Eine Reise durch den unendlichen Raum 309
Seifenblasen aus der Inflation 310

Kapitel 17
Die Suche nach außerirdischem Leben 311
Die Suche nach Leben im Sonnensystem 312
Mars 312
Titan 314

Die Suche nach Leben tragenden Planeten außerhalb des Sonnensystems . . . 316
Das Sternlicht oszilliert: Die Radialgeschwindigkeit . . . 316
Planeten im Walzertakt: Astrometrie . . . 317
Schatten jagen: Die Durchgangsmethode . . . 318
Wie man intelligentes Leben anderswo finden kann . . . 320
Sich auf Radiowellen verlassen . . . 320
Man fragt sich, wo all die Außerirdischen sind . . . 323

Kapitel 18
Dem Ende entgegen . . . 325
Wenn die Sonne erlischt . . . 326
Das Schicksal des Universums . . . 328
Warum die Dichte des Universums wichtig ist . . . 329
Das Ende eines offenen Universums: Das große Erstarren . . . 331
Das Ende eines geschlossenen Universums: Der große Kollaps . . . 333
Ein anderes Ende in Sicht: Der große Verriss . . . 334

TEIL V
Der Top-Ten-Teil . . . 337

Kapitel 19
Zehn Ansichten über den Ursprung des Universums . . . 339
Jüdisch-christliche Schöpfung: Am Anfang war 340
Islamische Schöpfung: Es öffnen sich Himmel und Erde . . . 340
Die Schöpfung der Hindus: Eine Folge von Zyklen . . . 341
Die buddhistische Schöpfung: Ursache und Wirkung ohne einen Schöpfer . . . 342
Die shintoistische Schöpfung: Die Erde, jung und glatt . . . 343
Afrikanisches Volkstum: Der Ursprung aus dem Ei . . . 344
Die irokesische Schöpfung: Die Geschichte mit der Schildkröte . . . 344
Adams: Das Leben, das Universum und der ganze Rest . . . 345
Pratchett: Absurdität und eine weitere Riesenschildkröte . . . 346

Kapitel 20
Die zehn größten Fortschritte in der Kosmologie . . . 347
Der Cosmic Background Explorer (COBE) . . . 347
Das europäische Elementarteilchenphysik-Laboratorium (CERN) . . . 348
Das Hubble Space Telescope . . . 349
Super-Kamiokande . . . 350
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) . . . 351

Das Chandra-Röntgen-Observatorium 352
Fermilab 353
Das Atacama Cosmology Telescope (ACT) 354
Die Mount-Wilson-Sternwarte 355
Die Keck-Teleskope 356

Wissenschaftliche Einheiten und Gleichungen verstehen 357

Exponenten 357
Andere mathematische Schreibweisen 358
Wissenschaftliche Einheiten 359
Das Meter 359
Das Kilogramm 360
Die Sekunde 360
Das Kelvin 360
Nicht-SI-Einheiten 361
Winkel 361
Länge 362
Wichtige Gleichungen 364
Das dritte keplersche Gesetz 364
Newtons Gravitationsgesetz 364
Die allerberühmteste Gleichung 365
Das hubblesche Gesetz 365

Stichwortverzeichnis 367