

Inhalt

Prolog	9
1	Thermodynamik – Motor der Veränderung 13
1.1	Wärmelehre 14
1.2	Erster Hauptsatz der Thermodynamik 16
1.3	Statistische Thermodynamik – Mikrozustände 22
1.4	Boltzmann-Faktor 35
1.5	Negative absolute Temperatur 41
1.6	Unruh-Effekt, Hawking-Strahlung, Rindler-Raumzeit 57
1.7	Entropie, Informationsdefizit, Informationsparadoxon Schwarzer Löcher 72
1.8	Der Maxwellsche Dämon – Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik 86
2	Urknall und Expansion – Das große Ganze 102
2.1	Das Universum expandiert 102
2.2	Die erste Friedmann-Gleichung 124
2.3	Verschiedene Epochen des Universums 139
2.4	Zweite Friedmann-Gleichung – Welche Kraft übt die Expansion aus? 154
2.5	Friedmann-Gleichung ohne Singularität – Steady State 169
2.6	Schleifenquantentheorie und Lichtermüdung 185
2.7	Das Horizontproblem 194
2.8	Das Flachheitsproblem 202
2.9	Magnetische Monopole 207
2.10	Kosmische Inflation – der Knall des Urknalls 210
2.11	Ewige Inflation 227

3	Das Holographische Prinzip – Leben wir in einer Matrix?	240
3.1	Bekenstein-Limit	240
3.2	Entropische Gravitation	254
4	Dunkle Materie – Die große Unbekannte	262
5	Entfernungen und Horizonte – Der Rand der sichtbaren Welt	272
6	Antimaterie und Baryogenese – Das schlampige Universum	294
7	Primordiale Nukleosynthese – Jetzt geht's los: Die ersten Atomkerne	311
7.1	Entstehung der leichten Elemente	311
7.2	Beobachtungsdaten zu den einzelnen Häufigkeiten .	324
7.2.1	Deuterium	324
7.2.2	Tritium	325
7.2.3	Helium-3	326
7.2.4	Helium-4	327
7.2.5	Lithium	328
7.3	Fazit	329
8	Zeitlicher Überblick – Zur Chronologie des Universums	330
9	Analyse der Kosmischen Hintergrundstrahlung – Antworten im Flickenteppich	333
9.1	Baryonische akustische Oszillation	333
9.2	Das Leistungsspektrum der Kosmischen Hintergrundstrahlung	338
9.3	Der Sachs-Wolfe-Effekt	339
9.4	Baryonische akustische Oszillationen im Leistungsspektrum	341
9.5	Die Silk-Dämpfung	342

Inhalt	7
9.6	Analyse des Leistungsspektrums 343
9.7	Himmelsdurchmusterungen – SDSS (Sloan Digital Sky Survey) 344
10	Sterne – Es werde Licht! 352
10.1	Spektralanalyse und Klassifikation 363
10.2	Das Hertzsprung-Russell-Diagramm 376
10.3	Unser lokales Medium 380
10.4	Interstellares Medium und Sternentstehung 382
10.5	Stellare Nukleosynthese 400
10.5.1	Die Proton-Proton-Reaktionskette 401
10.5.2	Der CNO-Prozess 408
10.5.3	Hydrostatisches Gleichgewicht – Hauptreihe 411
10.5.4	Rote Riesen, Weiße Zwerge, Planetare Nebel 413
10.5.5	Sterne von drei bis acht Sonnenmassen 429
10.5.6	Massereiche Sterne mit mehr als acht Sonnenmassen . . . 431
10.6	Neutronensterne 440
10.7	Pulsare 443
10.8	Supernova Ia 445
10.9	Stellare Schwarze Löcher 451
10.10	Entstehung der Elemente schwerer als Eisen 452
10.11	Bedeckungsveränderliche 456
10.12	Überblick 457
11	Galaxien – Inseln des Lichts im Ozean der Finsternis . . 458
11.1	Elliptische Galaxien 459
11.2	Lentikuläre Galaxien 462
11.3	Spiral- oder Scheibengalaxien 463
11.4	Balkenspiralgalaxien 466
11.5	Irreguläre Galaxien 467
11.6	Galaxien-Merger 468
11.7	Aktive Galaktische Kerne (AGN) 470
11.8	Fazit 477
12	Anthropisches Prinzip – Was hat das alles mit uns zu tun? 479

Einschübe

Noether-Theorem	79
Parsec	106
Krümmung	128
Ein-Komponenten-Lösungen für den Skalenfaktor	148
Differentiationsregeln	154
Nachweis der Kosmischen Hintergrundstrahlung	179
Standardmodell der Teilchenphysik	248
Spektralanalyse im Detail	370
Degenerierte (oder entartete) Materie	414

Anhang

Dank	495
Bildnachweis	496
Register	498