

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Historische Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Entdeckung und Beginn der Untersuchung kosmischer Strahlung	2
1.2	Symbiose: kosmische Strahlung und Teilchenphysik	10
1.3	Beiträge der Elementarteilchenphysik	20
1.4	Renaissance der kosmischen Strahlung	22
1.5	Offene Fragen	23
	Zusammenfassung	25
<b>2</b>	<b>Standardmodell der Elementarteilchen</b>	<b>27</b>
2.1	Wechselwirkungen von Elementarteilchen	34
2.2	Quantenzahlen und Symmetrien	38
2.3	Vereinigte Theorie der Wechselwirkungen	41
	Zusammenfassung	43
<b>3</b>	<b>Kinematik und Wirkungsquerschnitte</b>	<b>45</b>
3.1	Beispiele für die Berechnung von Schwerpunktsenergien	48
3.2	Beispiele für die Behandlung von Zerfällen	55
3.3	Lorentz-Transformationen	59
3.4	Berechnung von Wirkungsquerschnitten	61
	Zusammenfassung	62
<b>4</b>	<b>Physikalische Grundlagen der Messtechniken</b>	<b>63</b>
4.1	Wechselwirkungsprozesse für den Teilchennachweis	65
4.2	Teilchenidentifikation	70
4.3	Grundlagen der atmosphärischen Cherenkov-Technik	71
4.4	Spezielle Aspekte des Photonnachweises	74
4.5	Kryogenische Nachweistechiken	76
4.6	Propagation und Wechselwirkungen von Astroteilchen im Kosmos	80
4.7	Charakteristische Grundzüge von Detektoren	83
	Zusammenfassung	83

<b>5</b>	<b>Beschleunigungsmechanismen</b>	85
5.1	Zyklotronmechanismen	85
5.2	Beschleunigung durch Sonnenfleckenzaugpaare	87
5.3	Schockwellenbeschleunigung	88
5.4	Fermi-Mechanismus	92
5.5	Pulsare	93
5.6	Doppelsternsysteme	97
5.7	Verlauf der Energiespektren primärer Teilchen	101
	Zusammenfassung	102
<b>6</b>	<b>Primäre kosmische Strahlung</b>	105
6.1	Geladene Komponente der primären kosmischen Strahlung	106
6.2	Natur und Ursprung der höchstenergetischen kosmischen Strahlung	116
6.3	Neutrinoastronomie	124
6.3.1	Atmosphärische Neutrinos	125
6.3.2	Solare Neutrinos	132
6.3.3	Supernovaneutrinos	140
6.3.4	Hochenergetische galaktische und extragalaktische Neutrinos	146
6.4	Gammaastronomie	155
6.4.1	Einleitung	155
6.4.2	Erzeugungsmechanismen für $\gamma$ -Strahlung	157
6.4.3	Nachweis von $\gamma$ -Strahlung	161
6.4.4	Beobachtung von $\gamma$ -Punktquellen	170
6.4.5	$\gamma$ -Bursts	173
6.5	Röntgenastronomie	177
6.5.1	Einleitung	177
6.5.2	Erzeugungsmechanismen für Röntgenstrahlung	178
6.5.3	Nachweis von Röntgenstrahlung	179
6.5.4	Beobachtung von Röntgenquellen	182
6.6	Gravitationswellenastronomie	189
	Zusammenfassung	198
<b>7</b>	<b>Sekundäre kosmische Strahlung</b>	199
7.1	Propagation in der Atmosphäre	200
7.2	Strahlung auf Meereshöhe	208
7.3	Strahlung unter der Erde	213
7.4	Ausgedehnte Luftschauer	222
7.5	Radiomessung von Luftschauern	233
	Zusammenfassung	238

<b>8</b>	<b>Kosmologie</b>	239
8.1	Das Hubble-Gesetz	242
8.2	Das isotrope und homogene Universum	245
8.3	Die Friedmann-Gleichung	246
8.4	Die Strömungsgleichung	250
8.5	Die Beschleunigungsgleichung	251
8.6	Lösungen der Friedmann-Gleichung	252
8.7	Experimentelle Evidenz für die Vakuumenergie	254
	Zusammenfassung	259
<b>9</b>	<b>Das frühe Universum</b>	261
9.1	Die Planck-Skala	261
9.2	Thermodynamik des frühen Universums	263
9.3	Zustandsgleichung	265
9.4	Lösungen der Friedmann-Gleichung	267
9.5	Thermische Geschichte der ersten zehn Mikrosekunden	270
9.6	Die Baryonasymmetrie des Universums	272
9.6.1	Experimentelle Evidenz für die Baryonasymmetrie	272
9.6.2	Größe der Baryonasymmetrie	276
9.6.3	Die Sacharow-Kriterien	278
	Zusammenfassung	280
<b>10</b>	<b>Die Urknallnukleosynthese</b>	281
10.1	Einige Zutaten für die primordiale Nukleosynthese	282
10.2	Das Neutron-zu-Proton-Verhältnis	283
10.3	Synthese der leichten Elemente	285
10.4	Detaillierte Nukleosynthese	287
10.5	Bestimmung der Anzahl der Neutrinofamilien	291
	Zusammenfassung	293
<b>11</b>	<b>Die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung</b>	295
11.1	Vorspiel: Übergang in ein materiedominiertes Universum	295
11.2	Entdeckung der Eigenschaften der Schwarzkörperstrahlung	297
11.3	Entstehung der Mikrowellenhintergrundstrahlung	300
11.4	Anisotropien der Hintergrundstrahlung	302
11.5	Das Monopol- und das Dipolmoment	303
11.6	Kleinwinkelanisotropie	304
11.7	Bestimmung der kosmologischen Parameter	306
	Zusammenfassung	310
<b>12</b>	<b>Inflation</b>	311
12.1	Das Horizontproblem	312
12.2	Das Flachheitsproblem	313
12.3	Das Monopolproblem	316

12.4	Wie die Inflation funktioniert .....	319
12.5	Mechanismen für die Inflation .....	321
12.6	Lösung des Flachheitsproblems .....	326
12.7	Lösung des Horizontproblems .....	327
12.8	Lösung des Monopolproblems .....	328
12.9	Inflation und Strukturbildung .....	329
12.10	Ausblick zur Inflation .....	331
	Zusammenfassung .....	333
<b>13</b>	<b>Dunkle Energie und Dunkle Materie .....</b>	<b>335</b>
13.1	Großräumige Struktur des Universums .....	335
13.2	Dunkle Energie .....	336
13.3	Dunkle Materie .....	340
13.3.1	Dunkle Sterne .....	343
13.3.2	Neutrinos als Dunkle Materie .....	349
13.3.3	Schwach wechselwirkende massive Teilchen (WIMPs) .....	351
13.3.4	Axionen .....	355
13.3.5	Die Rolle der Vakuumenergiedichte als Kandidat für Dunkle Materie .....	356
13.3.6	Galaxienbildung .....	357
	Zusammenfassung .....	359
<b>14</b>	<b>Astrobiologie .....</b>	<b>361</b>
14.1	Extrasolare Planeten .....	361
14.2	Extremophile .....	364
14.3	Fein abgestimmte Parameter des Lebens .....	366
14.4	Multiversen und anthropisches Prinzip .....	370
	Zusammenfassung .....	371
<b>15</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>373</b>
	Zusammenfassung .....	376
	<b>Glossar .....</b>	<b>379</b>
	<b>Bildnachweis und Referenzen .....</b>	<b>405</b>
	<b>Weiterführende Literatur .....</b>	<b>415</b>
	<b>Register .....</b>	<b>419</b>

Einstieg in die Astroteilchenphysik  
Grundlagen, Messungen und Ergebnisse aktueller  
Forschung  
Gruppen, C.  
2018, X, 441 S. 290 Abb., 103 Abb. in Farbe., Softcover  
ISBN: 978-3-662-55270-4