

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Historische Einleitung</b> . . . . .	1
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> . . . . .	27
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> . . . . .	45
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> . . . . .	63
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 Sonnenfleckepaare . . . . .	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 kosmischen 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	$\gamma$ -Burster . . . . .	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>



<http://www.springer.com/978-3-662-55270-4>

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