

Einführung in die Astroteilchenphysik

Hermann Kolanoski

Institut für Physik, Humboldt-Universität zu Berlin

Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis	iv
1 Einführung	1
2 Die Entwicklung des Universums	11
2.1 Einführung	11
2.2 Das Urknall-Modell	11
2.2.1 Die Metrik des gekrümmten Raums	12
2.2.2 Entwicklungsphasen des frühen Universums	23
2.2.3 Probleme des Urknall-Modells	27
2.3 Inflation	29
2.4 Nukleosynthese	29
2.5 Mikrowellen-Hintergrundstrahlung	33
2.5.1 Temperatur und Spektrum der Strahlung	33
2.5.2 Anisotropien im Mikrowellenhintergrund	36
2.5.3 Multipol-Spektrum der CMB-Verteilung	37
2.5.4 Interpretation des Multipol-Spektrums	38
2.5.5 Bestimmung der kosmologischen Parameter	41
3 Kosmische Strahlung	45
3.1 Einführung	45
3.2 Spektren	48
3.3 Zusammensetzung	51
3.4 Magnetische Effekte	53
3.4.1 Ablenkung im Erdmagnetfeld	53
3.4.2 Das galaktische Magnetfeld	55
3.5 Intensitätsschwankungen	55
3.6 Luftschaer	56
3.7 Wechselwirkungen der Sekundärteilchen	59
3.7.1 Ionisation	59
3.7.2 Bremsstrahlung	61
3.7.3 Wechselwirkungen von Photonen	63
3.7.4 Elektromagnetische Schauer	66
3.7.5 Cherenkov-Effekt	68
3.8 Experimente zum Nachweis Kosmischer Strahlung	69
3.8.1 Ballonexperimente	69
3.8.2 Satellitenexperimente	71

3.8.3	Ausgedehnte Luftschauer	73
3.8.4	Kosmische Strahlung am GZK-Limit	76
4	Neutrinos	79
4.1	Überblick	79
4.2	Solare Neutrinos	80
4.2.1	Sonnenenergie	80
4.2.2	Nachweis der Sonnenneutrinos	81
4.2.3	Erklärungen des Defizits der Sonnenneutrinos	84
4.3	Weitere Hinweise auf Neutrinooszillationen	85
4.3.1	Atmosphärische Neutrinos	85
4.3.2	Reaktor-Antineutrinos	87
4.3.3	Neutrinos von Beschleunigern	88
4.4	Neutrinooszillationen	89
4.4.1	Formalismus der Neutrinooszillationen	89
4.4.2	Ergebnisse für die 3-Flavour-Mischung	91
4.4.3	MSW-Effekt	93
4.5	Neutrinoastronomie bei hohen Energien	94
4.5.1	Fragestellung	94
4.5.2	Neutrinoobservatorien	95
5	Gamma-Strahlung	103
5.1	Das elektromagnetische Spektrum	103
5.2	Satellitenexperimente zur Beobachtung von Gamma-Strahlung	103
5.3	Teleskope zum Nachweis von TeV-Photonen	104
5.4	Quellen hochenergetischer Photonen	107
5.5	Erzeugungs- und Verlustprozesse für Gammastrahlung	108
5.5.1	Hadronische Beschleuniger	110
5.5.2	Elektronbeschleunigung und Strahlungsprozesse	112
5.5.3	Absorption von hochenergetischer Gammastrahlung	119
6	Sternentwicklung	121
6.1	Strukturbildung	121
6.1.1	Gravitative Instabilität	121
6.2	Entwicklungsstadien von Sternen	124
6.2.1	Protosterne	124
6.2.2	Kernfusion: Wasserstoffbrennen	125
6.2.3	Heliumbrennen und C, O-Produktion	127
6.2.4	Produktion schwerer Elemente	129
6.2.5	Hertzsprung-Russel-Diagramm	131
6.3	Stabilitätsgrenzen von Sternen	132
6.3.1	Elektronenentartungsdruck	132
6.3.2	Weißer Zwerge	135
6.3.3	Supernova (Typ II)	135
6.3.4	Supernova (Typ Ia)	138
6.3.5	Neutronensterne und Pulsare	139
6.3.6	Schwarze Löcher	142

7 Beschleunigungsmechanismen	145
7.1 Gesamtenergie der Kosmischen Strahlung	145
7.2 Magnetfelder und Plasmen	146
7.2.1 Magnetische Spiegel und Flaschen	146
7.2.2 Einschluß von Magnetfeldern in Plasmen	149
7.3 Fermi-Beschleunigung	150
7.4 Schockbeschleunigung in Supernova-Resten	153
7.4.1 Schockwellen	153
7.4.2 Beschleunigung in Schockwellen	155
7.5 Pulsare	156
7.5.1 Das Goldreich-Julian-Modell	156
7.5.2 Nicht-ausgerichtetes Magnetfeld	161
7.5.3 Suche nach gepulster TeV-Gammastrahlung	164
7.6 Aktive Galaktische Kerne	165
8 Dunkle Materie	171
8.1 Hinweise auf Dunkle Materie	171
8.2 Kandidaten und ihre Eigenschaften	174
8.2.1 Neutrinos	176
8.2.2 WIMPs	176
8.2.3 Axionen	178
8.2.4 Topologische Raum-Zeit-Defekte	179
8.2.5 Machos	179
8.2.6 Modifikation der Gravitationstheorie:	179
8.3 Nachweis von Dunkler Materie	180
8.3.1 Machos	180
8.3.2 Detektoren zum WIMP-Nachweis	181
8.3.3 Analyse Kosmischer Strahlung	184
8.3.4 Nachweis von Axionen	186
8.3.5 Beschleunigerexperimente	187
A Astrophysikalische Konstanten	189
B Ergänzungen	192
B.1 Zustandsgleichungen	192

Literaturverzeichnis

- [1] <http://www-zeuthen.desy.de/nuastro/workshops/astro-workshop> (die Vorträge, die unter ‘Agenda’ als pdf-Files abgelegt sind, geben einen hervorragenden Überblick über den Stand der Astroteilchenphysik).
- [2] C. Grupen: ‘Astroteilchenphysik’, Vieweg-Verlag (2000).
- [3] <http://besch2.physik.uni-siegen.de/~phys2000/Siegen-ge/astroteilchen.html>
- [4] T.K. Gaisser: ‘Cosmic Rays and Particle Physics’, Cambridge Univ. Press.
- [5] T. Stanev, ‘High Energy Cosmic Rays’ Springer-Verlag (2004).
- [6] M.S. Longair: ‘High Energy Astrophysics’, Vols. 1, 2, Cambridge Univ. Press.
- [7] A. Unsöld; B. Baschek: ‘Der neue Kosmos’, Springer-Verlag.
- [8] Demtröder: Experimentalphysik Bd. 4, ‘Kern-, Teilchen- und Astrophysik’, Springer Verlag.
- [9] H.V. Klapdor-Kleingrothhaus; K. Zuber: ‘Teilchenastrophysik’ Teubner-Verlag.
- [10] D. Perkins: ‘Particle Astrophysics’, Oxford University Press (2003).
- [11] P. Coles, F. Lucchin: Cosmology, Wiley Verlag 1995.
- [12] S. Weinberg: Die ersten drei Minuten, Pieper Verlag 1977.
- [13] H. Fritzsche: Vom Urknall zum Zerfall, Pieper Verlag.
- [14] W.-M. Yao et al., Particle Data Group (PDG): Review of Particle Physics, Journal of Physics G 33, 1 (2006); <http://pdg.lbl.gov>
Kompakte Zusammenfassung: Particle Data Group: Particle Physics Booklet, Institute of Physics Publishing 2006.
- [15] <http://www-zeuthen.desy.de/~kolanosk/astro0607>
- [16] Diplomarbeit Humboldt-Universität 2005,
http://www-hess.physik.hu-berlin.de/public/diplom_fabian_schmidt.pdf