

Einführung in die Astroteilchenphysik

Hermann Kolanoski
Institut für Physik, Humboldt-Universität zu Berlin

Wintersemester 2009/10

Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis	v
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	31
2.5 Mikrowellen-Hintergrundstrahlung	33
2.5.1 Temperatur und Spektrum der Strahlung	34
2.5.2 Anisotropien im Mikrowellenhintergrund	36
2.5.3 Multipol-Spektrum der CMB-Verteilung	37
2.5.4 Interpretation des Multipol-Spektrums	39
2.5.5 Bestimmung der kosmologischen Parameter	42
3 Kosmische Strahlung	45
3.1 Einführung	45
3.2 Spektren	48
3.3 Zusammensetzung	51
3.4 Magnetische Effekte	54
3.4.1 Ablenkung im Erdmagnetfeld	55
3.4.2 Das galaktische Magnetfeld	57
3.5 Intensitätsschwankungen	57
3.6 Luftschauder	58
3.7 Wechselwirkungen der Luftschauderpartikel	61
3.7.1 Ionisation	61
3.7.2 Bremsstrahlung	64
3.7.3 Wechselwirkungen von Photonen	67
3.7.4 Elektromagnetische Schauer	69
3.7.5 Cherenkov-Effekt	71
3.7.6 Übergangsstrahlung (TR)	73
3.7.7 Methoden der Teilchenidentifikation	74
3.8 Experimente zum Nachweis Kosmischer Strahlung	75

3.8.1	Ballonexperimente	75
3.8.2	Satellitenexperimente	77
3.8.3	Ausgedehnte Luftschauer	80
4	Gamma-Strahlung	91
4.1	Das elektromagnetische Spektrum	91
4.2	Satellitenexperimente für Gamma-Strahlung	91
4.2.1	Compton Gamma Ray Observatory (CGRO)	91
4.3	Teleskope zum Nachweis von TeV-Photonen	95
4.4	Quellen hochenergetischer Photonen	95
4.5	Erzeugungs- und Verlustprozesse	98
4.5.1	Hadronische Beschleuniger	99
4.5.2	Elektronbeschleunigung und Strahlungsprozesse	100
4.5.3	Absorption von hochenergetischer Gammastrahlung	107
5	Neutrinos	111
5.1	Überblick	111
5.2	Solare Neutrinos	112
5.2.1	Sonnenenergie	112
5.2.2	Nachweis der Sonnenneutrinos	113
5.2.3	Erklärungen des Defizits der Sonnenneutrinos	116
5.3	Weitere Hinweise auf Neutrinooszillationen	117
5.3.1	Atmosphärische Neutrinos	117
5.3.2	Reaktor-Antineutrinos	119
5.3.3	Neutrinos von Beschleunigern	120
5.4	Neutrinooszillationen	121
5.4.1	Formalismus der Neutrinooszillationen	121
5.4.2	Ergebnisse für die 3-Flavour-Mischung	123
5.4.3	MSW-Effekt	125
5.5	Neutrinoastronomie bei hohen Energien	126
5.5.1	Fragestellung	126
5.5.2	Neutrinooteleskope	127
6	Sternentwicklung	135
6.1	Strukturbildung	135
6.1.1	Gravitative Instabilität	135
6.2	Entwicklungsstadien von Sternen	138
6.2.1	Protosterne	138
6.2.2	Kernfusion: Wasserstoffbrennen	139
6.2.3	Heliumbrennen und C, O-Produktion	141
6.2.4	Produktion schwerer Elemente	143
6.2.5	Hertzsprung-Russel-Diagramm	145
6.3	Stabilitätsgrenzen von Sternen	146
6.3.1	Elektronenentartungsdruck	146
6.3.2	Weißer Zwerge	149
6.3.3	Supernova (Typ II)	150
6.3.4	Supernova (Typ Ia)	154

6.3.5	Neutronensterne und Pulsare	154
6.3.6	Schwarze Löcher	158
7	Beschleunigungsmechanismen	159
7.1	Gesamtenergie der Kosmischen Strahlung	159
7.2	Magnetfelder und Plasmen	160
7.2.1	Magnetische Spiegel und Flaschen	160
7.2.2	Einschluß von Magnetfeldern in Plasmen	163
7.3	Fermi-Beschleunigung	164
7.4	Schockbeschleunigung in Supernova-Resten	167
7.4.1	Schockwellen	167
7.4.2	Beschleunigung in Schockwellen	169
7.5	Pulsare	171
7.5.1	Das Goldreich-Julian-Modell	171
7.5.2	Nicht-ausgerichtetes Magnetfeld	175
7.5.3	Suche nach gepulster TeV-Gammastrahlung	178
7.6	Aktive Galaktische Kerne	180
7.7	Gamma-Strahlungsausbrüche (GRB)	185
8	Dunkle Materie	187
8.1	Hinweise auf Dunkle Materie	187
8.2	Kandidaten und ihre Eigenschaften	190
8.2.1	Neutrinos	192
8.2.2	WIMPs	192
8.2.3	Axionen	195
8.2.4	Topologische Raum-Zeit-Defekte	196
8.2.5	Machos	196
8.2.6	Modifikation der Gravitationstheorie:	196
8.3	Nachweis von Dunkler Materie	197
8.3.1	Machos	197
8.3.2	WIMP-Suche	197
8.3.3	DM-Suche in Kosmischer Strahlung	202
8.3.4	Nachweis von Axionen	203
8.3.5	Beschleunigerexperimente	207
A	Astrophysikalische Konstanten	209
B	Ergänzungen	213
B.1	Zustandsgleichungen	213
B.2	‘Relativistic Beaming’	214
B.3	Virialsatz	215

Literaturverzeichnis

- [1] T.K. Gaisser: ‘Cosmic Rays and Particle Physics’, Cambridge Univ. Press.
- [2] <http://www-zeuthen.desy.de/astro-workshop/> (die Vorträge, die unter ‘Agenda’ als pdf-Files abgelegt sind, geben einen hervorragenden Überblick über den Stand der Astroteilchenphysik).
- [3] C. Grupen: ‘Astroteilchenphysik’, Springer-Verlag (2001).
Verbesserte Version in Englisch: C. Grupen: ‘Astroparticle Physics’, Springer-Verlag (2005).
- [4] C. Grupen: ‘Astroparticle Physics’, Springer-Verlag (2005).
- [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. Rosswog and M. Brüggen: ‘Introduction to High-Energy Astrophysics’, Cambridge University Press, 2007.
- [13] P. Schneider: ‘Einführung in die Extragalaktische Astronomie und Kosmologie’, Springer-Verlag 2006.
- [14] R. Schlickeiser: ‘Cosmic Ray Astrophysics’, Springer-Verlag 2002.
- [15] S. Weinberg: Die ersten drei Minuten, Pieper Verlag 1977.
- [16] H. Fritzsche: Vom Urknall zum Zerfall, Pieper Verlag.
- [17] C. Amsler et al. [Particle Data Group], “Review of Particle Physics”, Phys. Lett. B 667 (2008) 1; <http://pdg.lbl.gov>
Kompakte Zusammenfassung: Particle Data Group: Particle Physics Booklet, 2008 (alle 2 Jahre neu).
- [18] <http://www-zeuthen.desy.de/~kolanosk/astro0910>
- [19] Diplomarbeit Humboldt-Universität 2005,
http://www-hess.physik.hu-berlin.de/public/diplom_fabian_schmidt.pdf
- [20] Dissertation, Humboldt-Universität 2006,
<http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/ackermann-markus-2006-11-13/PDF/ackermann.pdf>

