

# Der neue Kosmos

Einführung in die Astronomie und Astrophysik

Bearbeitet von  
A Unsöld, Bodo Baschek

korr. Nachdruck 2004. Buch. xiv, 577 S. Hardcover

ISBN 978 3 540 42177 1

Format (B x L): 19,5 x 26 cm

Gewicht: 1433 g

[Weitere Fachgebiete > Physik, Astronomie > Astronomie: Allgemeines](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

The logo for beck-shop.de features the text 'beck-shop.de' in a bold, red, sans-serif font. Above the 'i' in 'shop' are three red dots of increasing size. Below the main text, 'DIE FACHBUCHHANDLUNG' is written in a smaller, red, all-caps, sans-serif font.

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>		1
<b>I. Klassische Astronomie und das Planetensystem</b>		5
<b>Sterne und Menschen: Beobachten und Denken</b>		
Historische Einleitung in die klassische Astronomie		6
<b>2. Klassische Astronomie</b>	<b>2.1 Koordinaten und Zeit:</b>	
	<b>Bewegungen von Sonne, Erde und Mond</b>	10
	2.1.1 Die Himmelskugel. Astronomische Koordinatensysteme	10
	2.1.2 Die Bewegungen der Erde. Jahreszeiten und Tierkreis	12
	2.1.3 Die Zeit: Tag, Jahr und Kalender	15
	2.1.4 Der Mond	17
	2.1.5 Mond- und Sonnenfinsternisse	19
	<b>2.2 Bahnbewegungen und Entfernungen im Planetensystem</b>	20
	2.2.1 Planetenbewegungen und Bahnelemente	21
	2.2.2 Kometen und Meteore	23
	2.2.3 Entfernungsbestimmungen, Dopplereffekt und Aberration	26
	<b>2.3 Mechanik und Gravitationstheorie</b>	28
	2.3.1 Newtonsche Gesetze	28
	2.3.2 Impuls- oder Schwerpunktsatz	29
	2.3.3 Drehimpuls- oder Flächensatz	30
	2.3.4 Energiesatz	31
	2.3.5 Virialsatz	31
	2.3.6 Gravitationsgesetz. Gravitationsenergie	32
	<b>2.4 Himmelsmechanik</b>	34
	2.4.1 Erstes und zweites Keplergesetz: Planetenbahnen	34
	2.4.2 Drittes Keplergesetz: Massenbestimmung	35
	2.4.3 Energiesatz und Entweichgeschwindigkeit	35
	2.4.4 Rotation und Trägheitsmoment	36
	2.4.5 Präzession	36
	2.4.6 Gezeiten	37
	2.4.7 Ptolemäisches und kopernikanisches Weltsystem	38
	<b>2.5 Weltraumforschung</b>	39
	2.5.1 Bahnen künstlicher Satelliten und Raumfahrzeuge	40
	2.5.2 Astronomische Beobachtungen vom Weltraum aus	40
	2.5.3 Erkundung des Mondes	42
	2.5.4 Raumfahrtmissionen im Planetensystem	43

<b>3. Physikalische Beschaffenheit der Körper im Planetensystem</b>	<b>3.1 Globale Eigenschaften der Planeten und Satelliten</b>	46
	3.1.1 Möglichkeiten zur Erforschung der Planeten und Satelliten	46
	3.1.2 Globaler Energiehaushalt der Planeten	48
	3.1.3 Innerer Aufbau und Stabilität	48
	3.1.4 Aufbau der Planetenatmosphären	50
	<b>3.2 Erde, Mond und erdähnliche Planeten</b>	52
	3.2.1 Innerer Aufbau der erdähnlichen Planeten	52
	3.2.2 Radioaktive Altersbestimmungen. Erdgeschichte	53
	3.2.3 Magnetfelder. Plattentektonik	54
	3.2.4 Mondoberfläche	58
	3.2.5 Oberflächen der erdähnlichen Planeten	60
	3.2.6 Atmosphären der erdähnlichen Planeten	67
	<b>3.3 Planetoiden oder kleine Planeten (Asteroiden)</b>	70
	3.3.1 Bahnen der Planetoiden	70
	3.3.2 Eigenschaften der Planetoiden	71
	<b>3.4 Die großen Planeten</b>	73
	3.4.1 Jupiter	73
	3.4.2 Saturn	78
	3.4.3 Uranus	82
	3.4.4 Neptun	83
	<b>3.5 Pluto und transneptunische Kleinplaneten</b>	86
	3.5.1 Pluto und Charon	86
	3.5.2 Transneptunische Kleinplaneten	87
	<b>3.6 Kometen</b>	87
	3.6.1 Struktur, Spektren und chemische Zusammensetzung	88
	3.6.2 Entwicklung der Kometen	90
	<b>3.7 Meteore und Meteorite</b>	90
	3.7.1 Meteorite und Einschlagkrater	90
	3.7.2 Meteore in der Erdatmosphäre	91
	3.7.3 Eigenschaften und Herkunft der Meteorite	91
	<b>3.8 Interplanetare Materie</b>	95
<b>II. Strahlung, Instrumente und Beobachtungsverfahren</b>		97
	<b>Entwicklung astronomischer Beobachtungsverfahren</b>	
	Historische Einführung in die Erschließung des elektromagnetischen Spektrums	98
<b>4. Strahlung und Materie</b>	<b>4.1 Elektromagnetische Strahlung</b>	101
	<b>4.2 Spezielle Relativitätstheorie</b>	102
	4.2.1 Lorentztransformation. Dopplereffekt	103
	4.2.2 Relativistische Mechanik	103
	<b>4.3 Strahlungstheorie</b>	104
	4.3.1 Phänomenologische Strahlungsgrößen	104
	4.3.2 Emission und Absorption. Strahlungstransportgleichung	107
	4.3.3 Thermodynamisches Gleichgewicht und Hohlraumstrahlung	109

	<b>4.4</b>	<b>Materie im thermodynamischen Gleichgewicht</b>	111
	4.4.1	Boltzmann-Statistik	111
	4.4.2	Geschwindigkeitsverteilung	112
	4.4.3	Thermische Anregung	112
	4.4.4	Thermische Ionisation	112
	4.4.5	Massenwirkungsgesetz	113
	<b>4.5</b>	<b>Wechselwirkung von Strahlung mit Materie</b>	114
	4.5.1	Freie Weglänge	114
	4.5.2	Wirkungsquerschnitt und Reaktionsrate	114
	4.5.3	Stoß- und Strahlungsprozesse: Kinetische Gleichungen	115
	4.5.4	Atomare Elementarprozesse	117
	4.5.5	Extinktions- und Emissionskoeffizienten	119
	4.5.6	Energiereiche Photonen und Teilchen	120
<b>5. Astronomische und astrophysikalische Instrumente</b>	<b>5.1</b>	<b>Teleskope und Detektoren im Optischen und Ultraviolett</b>	123
	5.1.1	Teleskope herkömmlicher Art	123
	5.1.2	Auflösungsvermögen und Lichtstärke. Optische Interferometer	128
	5.1.3	Adaptive und aktive Optik. Großteleskope	131
	5.1.4	Optische Detektoren	136
	5.1.5	Spektrographen	138
	5.1.6	Weltraumteleskope	142
	<b>5.2</b>	<b>Teleskope und Detektoren für den Radio- und Infrarotbereich</b>	143
	5.2.1	Radioteleskope	144
	5.2.2	Empfänger und Spektrometer für den Radiofrequenzbereich	149
	5.2.3	Beobachtungsverfahren im Infrarot	151
	<b>5.3</b>	<b>Instrumente der Hochenergieastronomie</b>	153
	5.3.1	Teilchendetektoren	153
	5.3.2	Teleskope für die Kosmische Strahlung	155
	5.3.3	Gammastrahlenteleskope	156
	<b>5.4</b>	<b>Instrumente im Röntgenbereich und extremen Ultraviolett</b>	158
	5.4.1	Detektoren und Spektrometer im Röntgenbereich	159
	5.4.2	Teleskope und Satelliten im Röntgenbereich	159
	5.4.3	Teleskope für das extreme Ultraviolett	161
<b>III. Sonne und Sterne: Astrophysik des einzelnen Sterns</b>			163
		<b>Astronomie + Physik = Astrophysik</b>	
		Historische Einleitung	164
<b>6. Entfernungen und Zustandsgrößen der Sterne</b>	<b>6.1</b>	<b>Die Sonne</b>	169
	6.1.1	Photosphärisches Spektrum. Mitte-Rand-Variation	170
	6.1.2	Energieverteilung	171
	6.1.3	Leuchtkraft und Effektivtemperatur	172

	<b>6.2</b>	<b>Entfernungen und Geschwindigkeiten der Sterne</b> .....	173
	6.2.1	Trigonometrische Parallaxe .....	173
	6.2.2	Radialgeschwindigkeit und Eigenbewegung .....	174
	6.2.3	Stromparallaxe .....	174
	6.2.4	Sternpositionen und Kataloge .....	175
	<b>6.3</b>	<b>Helligkeiten, Farben und Radien der Sterne</b> .....	176
	6.3.1	Scheinbare Helligkeit .....	176
	6.3.2	Farbindex und Energieverteilung .....	177
	6.3.3	Absolute Helligkeit .....	180
	6.3.4	Bolometrische Helligkeit und Leuchtkraft .....	181
	6.3.5	Sternradien .....	181
	<b>6.4</b>	<b>Klassifikation der Sternspektren.</b>	
		<b>Hertzsprung-Russell-Diagramm</b> .....	182
	6.4.1	Spektraltyp .....	183
	6.4.2	Hertzsprung-Russell-Diagramm. Leuchtkraftklasse .....	183
	6.4.3	MK-Klassifikation .....	185
	6.4.4	Zweifarbendiagramm .....	187
	6.4.5	Rotation der Sterne .....	188
	<b>6.5</b>	<b>Doppelsterne und die Massen der Sterne</b> .....	188
	6.5.1	Visuelle Doppelsterne .....	189
	6.5.2	Spektroskopische Doppelsterne. Bedeckungsveränderliche ...	190
	6.5.3	Perioden und Rotation .....	190
	6.5.4	Massen der Sterne .....	191
	6.5.5	Enge Doppelsternsysteme .....	192
	6.5.6	Pulsare in Doppelsternsystemen .....	193
	6.5.7	Begleiter mit substellaren Massen: Braune Zwerge und Exoplaneten .....	195
<b>7. Spektren und Atmosphären der Sterne</b>	<b>7.1</b>	<b>Spektren und Atome</b> .....	198
	7.1.1	Grundbegriffe der Atomspektroskopie .....	198
	7.1.2	Anregung und Ionisation .....	201
	7.1.3	Linienabsorptionskoeffizient .....	204
	7.1.4	Verbreiterung der Spektrallinien .....	205
	7.1.5	Bemerkungen zur Molekülspektroskopie .....	207
	<b>7.2</b>	<b>Physik der Sternatmosphären</b> .....	208
	7.2.1	Aufbau der Sternatmosphären .....	208
	7.2.2	Absorptionskoeffizienten in Sternatmosphären .....	211
	7.2.3	Modellatmosphären. Spektrale Energieverteilung .....	213
	7.2.4	Strahlungstransport in den Fraunhoferlinien .....	215
	7.2.5	Wachstumskurve .....	217
	7.2.6	Quantitative Analyse der Sternspektren .....	218
	7.2.7	Elementhäufigkeiten in der Sonne und den Sternen .....	220
	<b>7.3</b>	<b>Die Sonne: Chromosphäre und Korona. Strömungen, Magnetfelder und Aktivität</b> .....	223
	7.3.1	Granulation und Konvektion .....	223
	7.3.2	Magnetfelder und Magnetohydrodynamik .....	224

7.3.3	Sonnenflecke und Aktivitätszyklus. Magnetische Flußröhren .	226
7.3.4	Chromosphäre und Korona .....	230
7.3.5	Protuberanzen .....	236
7.3.6	Sonneneruptionen oder Flares .....	238
7.3.7	Sonnenwind .....	241
7.3.8	Oszillationen: Helioseismologie .....	245
<b>7.4</b>	<b>Veränderliche Sterne.</b>	
	<b>Strömungen, Magnetfelder und Aktivität bei Sternen .....</b>	<b>248</b>
7.4.1	Pulsierende Sterne. R Coronae Borealis-Sterne .....	249
7.4.2	Magnetische oder Spektrum-Veränderliche. Ap-Sterne und Metallliniensterne .....	252
7.4.3	Aktivität, Chromosphären und Koronen bei kühlen Sternen ...	253
7.4.4	Koronen, Sternwinde und Variabilität bei heißen Sternen .....	257
7.4.5	Kataklysmische Veränderliche: Novae und Zwergnovae .....	259
7.4.6	Röntgendoppelsterne: Akkretion auf Neutronensterne .....	261
7.4.7	Supernovae und Pulsare .....	265
7.4.8	Stellare Gammaquellen .....	273
7.4.9	Gammaburster .....	274
<b>8. Aufbau und Entwicklung der Sterne</b>	<b>8.1 Grundgleichungen des Sternaufbaus .....</b>	<b>278</b>
8.1.1	Hydrostatisches Gleichgewicht und Zustandsgleichung der Materie .....	279
8.1.2	Temperaturverteilung und Energietransport .....	279
8.1.3	Energieerzeugung durch Kernreaktionen .....	280
8.1.4	Gravitationsenergie und thermische Energie .....	284
8.1.5	Stabilität der Sterne .....	286
8.1.6	Grundgleichungssystem und allgemeine Folgerungen .....	287
<b>8.2</b>	<b>Entwicklung der Sterne .....</b>	<b>288</b>
8.2.1	Hauptreihensterne: Zentrales Wasserstoffbrennen .....	289
8.2.2	Aufbau der Sonne. Solare Neutrinos .....	290
8.2.3	Vom Wasserstoff- zum Heliumbrennen .....	293
8.2.4	Spätphasen der Sternentwicklung .....	295
8.2.5	Nukleosynthese in Sternen .....	300
8.2.6	Enge Doppelsternsysteme .....	303
8.2.7	Physik der Akkretionsscheiben .....	305
<b>8.3</b>	<b>Endstadien der Sternentwicklung .....</b>	<b>307</b>
8.3.1	Braune Zwerge .....	307
8.3.2	Zustandsgleichung elektronenentarteter Materie .....	308
8.3.3	Aufbau der Weißen Zwerge .....	309
8.3.4	Neutronensterne .....	310
<b>8.4</b>	<b>Starke Gravitationsfelder .....</b>	<b>311</b>
8.4.1	Allgemeine Relativitätstheorie .....	312
8.4.2	Kugelsymmetrische Felder im Vakuum .....	313
8.4.3	Lichtablenkung und Gravitationslinsen .....	314
8.4.4	Schwarze Löcher .....	317
8.4.5	Gravitationswellen .....	317

<b>IV. Sternsysteme. Kosmologie und Kosmogonie</b>	319
<b>Der Vorstoß ins Weltall</b>	
Historische Einleitung in die Astronomie des 20. Jahrhunderts	320
<b>9. Sternhaufen</b>	
<b>9.1 Offene Sternhaufen und Sternassoziationen</b>	326
9.1.1 Offene (galaktische) Sternhaufen	326
9.1.2 Sternassoziationen	327
9.1.3 Farben-Helligkeits-Diagramme und Alter offener Haufen	327
<b>9.2 Kugelsternhaufen</b>	330
9.2.1 Kugelhaufen in der Milchstraße	330
9.2.2 Metallhäufigkeit und Zweifarbendiagramm	332
9.2.3 Farben-Helligkeits-Diagramme und Alter der Kugelhaufen	332
9.2.4 Kugelhaufen in anderen Galaxien	335
<b>10. Interstellare Materie und Sternentstehung</b>	
<b>10.1 Interstellarer Staub</b>	338
10.1.1 Dunkelwolken	338
10.1.2 Interstellare Extinktion und Verfärbung	338
10.1.3 Polarisierung von Sternlicht durch interstellaren Staub	340
10.1.4 Eigenschaften der Staubkörner	341
10.1.5 Diffuse interstellare Absorptionsbänder	342
<b>10.2 Neutrales interstellares Gas</b>	343
10.2.1 Atomare interstellare Absorptionslinien	343
10.2.2 Die 21 cm-Linie des neutralen Wasserstoffs. H I-Wolken	345
10.2.3 Interstellare Moleküllinien. Molekülwolken	347
<b>10.3 Ionisiertes Gas: Leuchtende Gasnebel</b>	350
10.3.1 H II-Regionen	350
10.3.2 Planetarische Nebel	355
10.3.3 Supernovaüberreste	356
10.3.4 Heißes interstellares Gas	362
<b>10.4 Hochenergetische Komponenten</b>	363
10.4.1 Interstellare Magnetfelder	363
10.4.2 Kosmische Strahlung	364
10.4.3 Galaktische Gammastrahlung	370
<b>10.5 Frühe Entwicklung und Entstehung der Sterne</b>	372
10.5.1 Vor-Hauptreihensterne	373
10.5.2 Sternentstehungsgebiete	375
10.5.3 Gravitationsinstabilität und Fragmentation	377
10.5.4 Entwicklung der Protosterne	378
10.5.5 Strömungen in der Umgebung der Protosterne	380
10.5.6 Stellarstatistik und Geburtsraten der Sterne	383
<b>11. Aufbau und Dynamik des Milchstraßensystems</b>	
<b>11.1 Sterne und der Bau der Milchstraße</b>	387
11.1.1 Galaktische Koordinaten	387
11.1.2 Sternzählungen	387

11.1.3	Raumgeschwindigkeiten der Sterne .....	388
11.1.4	Sternhaufen: Entfernungsbestimmung und Bau der Milchstraße .....	390
<b>11.2</b>	<b>Dynamik und Verteilung der Materie</b> .....	391
11.2.1	Rotation der galaktischen Scheibe .....	392
11.2.2	Verteilung der interstellaren Materie .....	394
11.2.3	Galaktische Bahnen der Sterne. Lokale Massendichte .....	398
11.2.4	Massenverteilung in der Milchstraße .....	400
11.2.5	Dynamik der Spiralarme .....	401
11.2.6	Populationen und Elementhäufigkeiten .....	402
<b>11.3</b>	<b>Zentralbereich der Milchstraße</b> .....	406
11.3.1	Galaktischer Bulge ( $R \leq 3$ kpc) .....	406
11.3.2	Kernbereich des galaktischen Bulge ( $R \leq 300$ pc) .....	407
11.3.3	Zirkumnukleare Scheibe und Minispirale ( $R \leq 10$ pc) .....	409
11.3.4	Innerster Bereich ( $R \leq 1$ pc) mit Sgr A* .....	410
<b>12. Galaxien und Galaxienhaufen</b>		
<b>12.1</b>	<b>Normale Galaxien</b> .....	413
12.1.1	Entfernungsbestimmung .....	413
12.1.2	Klassifikation und absolute Helligkeiten .....	416
12.1.3	Leuchtkraftfunktion .....	420
12.1.4	Helligkeitsprofil und Durchmesser .....	421
12.1.5	Dynamik und Massen .....	423
12.1.6	Sternpopulationen und Elementhäufigkeiten .....	427
12.1.7	Gas- und Staubverteilung .....	430
<b>12.2</b>	<b>Infrarot- und Starburst-Galaxien</b> .....	434
12.2.1	Infrarotgalaxien .....	434
12.2.2	Starburst-Aktivität .....	436
<b>12.3</b>	<b>Radiogalaxien, Quasare und Aktivität in Galaxienkernen</b> .....	437
12.3.1	Synchrotronstrahlung .....	437
12.3.2	Nichtthermische Radiostrahlung normaler Galaxien .....	440
12.3.3	Radiogalaxien .....	441
12.3.4	Quasare (Quasistellare Objekte) .....	446
12.3.5	Seyfert-Galaxien .....	453
12.3.6	Aktivität in Galaxienkernen .....	455
<b>12.4</b>	<b>Haufen und Superhaufen von Galaxien</b> .....	459
12.4.1	Lokale Gruppe .....	459
12.4.2	Klassifikation und Massen der Galaxienhaufen .....	460
12.4.3	Gas in Galaxienhaufen .....	462
12.4.4	Wechselwirkung der Galaxien. Entwicklung der Galaxienhaufen .....	464
12.4.5	Superhaufen von Galaxien .....	465
<b>12.5</b>	<b>Entstehung und Entwicklung der Galaxien</b> .....	467
12.5.1	Entstehung der Galaxien und Galaxienhaufen .....	468
12.5.2	Intergalaktisches Medium und Lyman $\alpha$ -Systeme .....	471



	12.5.3 Wechselwirkende Galaxien .....	472
	12.5.4 Entwicklung der Galaxien .....	474
	12.5.5 Galaxien im frühen Universum .....	479
<b>13. Kosmologie: Der Kosmos als Ganzes</b>	<b>13.1 Weltmodelle .....</b>	<b>482</b>
	13.1.1 Fluchtbewegung der Galaxien .....	482
	13.1.2 Newtonsche Kosmologie .....	483
	13.1.3 Relativistische Kosmologie .....	485
	13.1.4 Materiekosmos .....	488
	<b>13.2 Strahlung und Beobachtung. Elemententstehung im Kosmos .....</b>	<b>489</b>
	13.2.1 Ausbreitung von Strahlung .....	489
	13.2.2 Mikrowellen-Hintergrundstrahlung .....	491
	13.2.3 Strahlungskosmos .....	494
	13.2.4 Elemententstehung im Kosmos .....	495
	13.2.5 Beobachtete Parameter des heutigen Kosmos .....	496
	13.2.6 Olbers-Paradox .....	500
	<b>13.3 Evolution des Kosmos .....</b>	<b>500</b>
	13.3.1 Planckzeit .....	501
	13.3.2 Fundamentale Teilchen und Wechselwirkungen .....	501
	13.3.3 Entwicklung des Kosmos nach dem Standardmodell .....	503
	13.3.4 Inflationärer Kosmos .....	506
	13.3.5 Andere Kosmologien .....	507
<b>14. Kosmogonie des Sonnensystems</b>	<b>14.1 Entstehung der Sonne und des Planetensystems .....</b>	<b>509</b>
	14.1.1 Überblick über das Planetensystem .....	509
	14.1.2 Protoplanetare Scheibe und Entstehung der Planeten .....	511
	14.1.3 Entstehung der Meteorite .....	513
	14.1.4 Entstehung des Erde-Mond-Systems .....	515
	14.1.5 Planetensysteme bei anderen Sternen .....	518
	<b>14.2 Entwicklung der Erde und des Lebens .....</b>	<b>520</b>
	14.2.1 Entwicklung der Atmosphäre und der Ozeane .....	520
	14.2.2 Molekularbiologische Grundlagen .....	521
	14.2.3 Präbiotische Moleküle .....	524
	14.2.4 Entwicklung der Lebewesen .....	526
<b>Anhang</b>	<b>A.1 Verschiedene Einheiten, Internationales Einheitensystem und Gaußsches System .....</b>	<b>533</b>
	<b>A.2 Namen der Sternbilder .....</b>	<b>537</b>
<b>Ausgewählte Probleme .....</b>		<b>539</b>
<b>Literatur und Daten .....</b>		<b>547</b>
<b>Quellennachweis .....</b>		<b>555</b>
<b>Sachverzeichnis .....</b>		<b>561</b>
<b>Physikalische Fundamentalkonstanten (Hintere Einbandinnenseite)</b>		
<b>Astronomische Konstanten und Einheiten (Hintere Einbandinnenseite)</b>		