

Inhaltsverzeichnis

1	Kräfte, die das Universum bestimmen	1
1.1	Die Gravitation	1
1.1.1	Newton und der Apfel	1
1.1.2	Wo hört die Schwerkraft auf?	3
1.1.3	Wie das Sonnensystem zusammenhält	4
1.1.4	Vom Planetensystem zum Universum	5
1.2	Die elektromagnetische Kraft	6
1.2.1	Ladungen	6
1.2.2	Das Coulombgesetz	7
1.2.3	Atome – Miniaturplanetensysteme	8
1.2.4	Elektrizität + Magnetismus = Elektromagnetismus	10
1.2.5	Plasma – der häufigste Materiezustand im Universum	11
1.3	Die starke und die schwache Kraft	12
1.3.1	Was hält Atomkerne zusammen?	12
1.3.2	Die schwache Kraft	13
1.4	Elementarteilchen	13
1.4.1	Wechselwirkungen	14
1.4.2	Elementarteilchen – Beschreibung	15
1.4.3	Quarks und Hadronen	16
1.4.4	Wir bauen ein Universum	17
2	Der Urknall – Wie alles begann	19
2.1	Die Galaxienflucht	20
2.1.1	Vermessung des Universums	20
2.1.2	Hubble	21
2.1.3	Der Blick in die Vergangenheit	23
2.1.4	Galaxienflucht	24
2.2	Die Expansion des Universums	25
2.2.1	Sind wir der Mittelpunkt?	25
2.2.2	Das Universum dehnt sich aus	27
2.2.3	Das Alter des Universums	28

2.3	Der heiße Urknall	29
2.3.1	Das Universum und der Kühlschrank	29
2.3.2	Die Hintergrundstrahlung	30
2.3.3	Hintergrundstrahlung und Rotverschiebung	31
2.3.4	Temperaturschwankungen im frühen Universum	32
2.3.5	Dunkle Materie	34
2.4	Die Entstehung der Elemente	35
2.4.1	Kernfusion am Anfang	35
2.4.2	Elemente schwerer als Helium	36
2.5	Das frühe Universum	37
2.5.1	Die Superkraft	37
2.5.2	Das inflationäre Universum	38
2.6	Zeitskala	39
2.7	Die Zukunft des Universums	40
2.7.1	Masse und Energie	40
2.7.2	Das nichtleere Vakuum	42
2.7.3	Materie und Raum	44
2.7.4	Energie und Masse	45
2.7.5	Urknall und Planck-Ära	46
2.8	Das Universum und Teilchen	46
2.8.1	Bosonen-Ära	46
2.8.2	Quark-Ära	48
2.8.3	Hadronen-Ära	48
2.8.4	Leptonen-Ära	49
2.8.5	Das Universum wird durchsichtig	49
3	Die Welt der Planeten	51
3.1	Allgemeine Eigenschaften der Planeten	52
3.1.1	Masse und Radius	52
3.1.2	Entfernungen	53
3.1.3	Temperaturen, Atmosphären	54
3.1.4	Wie sehen wir Planeten am Himmel?	55
3.2	Die erdähnlichen Planeten	58
3.2.1	Erde	58
3.2.2	Merkur	64
3.2.3	Venus	66
3.2.4	Mars	68
3.2.5	Zusammenfassung: Warum so unterschiedlich?	74
3.3	Die Riesenplaneten	76
3.3.1	Jupiter	76
3.3.2	Saturn	79
3.3.3	Uranus und Neptun	82

3.3.4	Zusammensetzung: Riesenplaneten	84
3.4	Die Monde der Planeten	85
3.4.1	Unser Mond	85
3.4.2	Die Monde des Mars	88
3.4.3	Die Jupitermonde	88
3.4.4	Weitere Monde des Jupiters	94
3.4.5	Saturnmonde	95
3.4.6	Die Monde des Uranus und Neptun	100
3.4.7	Zusammenfassung	100
4	Zwergplaneten und Kleinkörper	101
4.1	Asteroidengürtel im Sonnensystem	101
4.1.1	Asteroidengürtel, Hauptgürtel	102
4.1.2	Kuipergürtel	103
4.1.3	Die Oort'sche Wolke	103
4.2	Kleinplaneten, Asteroiden	105
4.2.1	Beobachtung	105
4.2.2	Trojaner	107
4.2.3	Erdbahnkreuzer, sind wir in Gefahr?	109
4.3	Kometen	112
4.3.1	Hilfe, der Komet kommt	112
4.3.2	Periodische Kometen	113
4.3.3	Was sind Kometen?	113
4.3.4	Kometenimpakte	117
4.3.5	Woher kommen die Kometen?	118
4.4	Zwergplaneten	118
4.4.1	Pluto	118
4.4.2	Weitere Zwergplaneten	120
4.5	Meteoroiden	121
4.5.1	Sternschnuppen	121
4.5.2	Meteorströme	122
5	Die Mechanik des Himmels	125
5.1	Die Mondbahn	126
5.1.1	Sonnen- und Mondfinsternisse	128
5.2	Erdachse und Kreisel	129
5.2.1	Die Präzession	129
5.2.2	Nutation	131
5.3	Der Jahreslauf der Sonne	131
5.4	Planetenbahnen	134
5.4.1	Die Keplergesetze	134
5.4.2	Stabilität der Planetenbahnen	136

6	Die Sonne – der Stern, von dem wir leben	141
6.1	Die Sonne – Grunddaten	142
6.1.1	Die Sonne von der Erde aus	142
6.1.2	Masse und Größe der Sonne	142
6.1.3	Wie heiß ist es auf der Sonne?	144
6.1.4	Beobachtungen der Sonne	146
6.2	Die Sonne – das Innere	149
6.2.1	Woher nimmt die Sonne ihre Energie?	149
6.2.2	Sonnenbeben	151
6.2.3	Neutrinos – Geisterteilchen von der Sonne	153
6.3	Energietransport	157
6.3.1	Energietransport durch Strahlung	157
6.3.2	Konvektion	157
6.4	Die Oberfläche der Sonne	158
6.4.1	Randverdunklung	158
6.4.2	Sonnenflecken	159
6.4.3	Granulation	162
6.4.4	Fackeln	162
6.5	Die obere Atmosphäre der Sonne	162
6.5.1	Das große Rätsel der Sonnenphysik	162
6.5.2	Chromosphäre	163
6.5.3	Die Korona	165
6.6	Die veränderliche Sonne	168
6.6.1	Der Aktivitätszyklus der Sonne	168
6.6.2	Beeinflusst die Sonne unser Wetter?	170
6.6.3	Sonnenwind und Heliosphäre	171
6.6.4	Sonne und Weltraumwetter	172
7	Sterne – Entstehung, Aufbau und Entwicklung	175
7.1	Was ist ein Stern?	176
7.1.1	Sterne – Braune Zwerge – Planeten	176
7.1.2	Physikalische Eigenschaften von Sternen	177
7.2	Die Helligkeit der Sterne	180
7.2.1	Scheinbare Helligkeit	180
7.2.2	Absolute Helligkeit	180
7.3	Spektralklassen	181
7.3.1	Klassifikation der Sterne	181
7.3.2	Riesen und Zwerge	185
7.4	Sternentwicklung	186
7.4.1	Die Entwicklung unserer Sonne	188
7.4.2	Wie lange leben Sterne?	189
7.4.3	Rote Riesen und Überriesen	190

7.4.4	Wolf-Rayet-Sterne	190
7.4.5	Planetarische Nebel	190
7.4.6	Weißer Zwerge	191
7.5	Die Entstehung von Sternen	193
7.5.1	Das Sonnensystem	193
7.5.2	Molekülwolken	194
7.5.3	Kollaps eines Protosterns	195
7.5.4	T-Tauri-Sterne und Sternwinde	197
7.5.5	Bildung von Planetensystemen in Scheiben	198
7.6	Entwicklung massereicher Sterne	199
7.6.1	Kernfusion in massereichen Sternen	199
7.6.2	Eine Supernova bricht aus	200
7.6.3	Der Crabnebel: ein Supernovaüberrest	201
7.6.4	Pulsare	203
7.6.5	Magnetar	204
7.6.6	Supernovae Typ I	205
7.6.7	Schwarze Löcher	206
8	Die Welt der Galaxien	209
8.1	Unsere kosmische Heimat: die Milchstraße	210
8.1.1	Was ist die Milchstraße?	210
8.1.2	Wie viele Sterne gibt es in der Milchstraße?	211
8.1.3	Die Rotation der Milchstraße und Dunkle Materie	212
8.1.4	Der Aufbau der Milchstraße	214
8.1.5	Das Monster im Zentrum	216
8.1.6	Die Galaxis – eine Spiralgalaxie	218
8.2	Galaxien – Bausteine des Universums	219
8.2.1	Die wahre Natur der Nebel	219
8.2.2	Typen von Galaxien	222
8.2.3	Warum gibt es unterschiedliche Arten von Galaxien?	226
8.2.4	Zusammenstoßende Galaxien	226
8.3	Aktive Galaxien	227
8.3.1	Seyfertgalaxien	227
8.3.2	Quasare	228
8.3.3	Gravitationslinsen	230
8.4	Galaxienhaufen	231
8.4.1	Die Lokale Gruppe	231
8.4.2	Der Virgo-Haufen	234
8.4.3	Coma-Haufen	235

9	Leben im Universum?	237
9.1	Was ist Leben?	238
9.1.1	Definition des Lebens	238
9.1.2	Entstehung des Lebens auf der Erde	238
9.1.3	Die Schutzschirme der Erde	239
9.2	Habitable Zonen	241
9.2.1	Was ist eine habitable Zone?	241
9.2.2	Zirkumstellare habitable Zonen	241
9.2.3	Zirkumplanetare habitable Zonen	241
9.2.4	Galaktische habitable Zone	242
9.3	Wie findet man Exoplaneten?	243
9.3.1	Transitmethode	243
9.3.2	Radialgeschwindigkeitsmethode	243
9.3.3	Sterne ändern ihre Position	244
9.3.4	Satellitenmissionen	244
9.3.5	Wieviele Exoplaneten wurden gefunden	245
9.4	Sind wir alleine im Universum?	246
9.4.1	Drake-Gleichung	248
9.4.2	SETI und andere Projekte	249
9.5	Die Geschichte des Universums in einem Tag	250
	Sachverzeichnis	253