
Faszination Astronomie

Arnold Hanslmeier

Faszination Astronomie

Ein topaktueller Einstieg für alle
naturwissenschaftlich Interessierten

3. Auflage

 **Springer** Spektrum

Arnold Hanslmeier
Universität Graz
Graz, Österreich

ISBN 978-3-662-63589-6 ISBN 978-3-662-63590-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63590-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2013, 2016, 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Verlage. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Margit Maly

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Astronomie ist eine Wissenschaft, die an die Grenzen geht. Man hat es mit unvorstellbar riesigen Raum- und Zeitdimensionen zu tun, unvorstellbaren heißen und auch kalten Objekten, und selbst in unserem mittlerweile auch durch Satellitenmissionen gut erforschten Sonnensystem gibt es laufend neue Entdeckungen. Dazu kommt noch, dass Astronomen nicht direkt mit ihren Forschungsobjekten arbeiten können. Die einzige Information, die wir über Sterne und Galaxien erhalten, ist deren Strahlung und Position am Himmel. Trotzdem erlauben es die physikalischen Gesetze, über diese Objekte Informationen zu bekommen: Von vielen Sternen und Galaxien wissen wir, woraus sie bestehen, wie alt sie sind, wie weit sie von uns entfernt sind usw. Erkenntnisse der Astronomie haben unser Denken wesentlich beeinflusst. Die Erde ist keineswegs der Mittelpunkt, sondern nur ein winziger Planet im Universum, das unendlich, aber doch endlich ist und das selbst keinen Mittelpunkt besitzt. Wir werden in diesem Buch, das aus einer an der Universität Graz gehaltenen Vorlesung für Studierende aller Fakultäten entstanden ist, astronomische Kenntnisse vermitteln, ohne zu viel auf Physik und Mathematik einzugehen. Etwas tiefergehende Formeln und Textstellen sind vom Rest des Textes getrennt und können, ohne den Zusammenhang zu verlieren, übersprungen werden. Trotzdem soll der Eindruck entstehen, dass astronomische Zahlen belegbar sind und Ergebnis sorgfältiger Messungen.

Im ersten Kapitel beschreiben wir die Faszination des Ursprungs des Universums. Moderne Erkenntnisse der theoretischen Physik helfen hierbei und Astrophysik und Physik bringen zusammen neue Erkenntnisse und werfen gleichzeitig auch neue Fragen auf. Wir behandeln Dunkle Materie, das Sonnensystem, die Sonne sowie die Entwicklung der Sterne. Riesige supermassive Schwarze Löcher befinden sich in den Zentren der Galaxien, erstmals ist es möglich, diese durch Beobachtungen nachzuweisen. Seit mehr als 25 Jahren kennen wir auch Planeten außerhalb unseres Sonnensystems. Damit versuchen wir dann am Ende des Buches eine Antwort auf die wohl spannendste Frage der Naturwissenschaften zu geben: Sind wir alleine im Universum?

Das Buch wendet sich nicht nur an Studierende, sondern auch an interessierte Laien sowie an alle, die sich mit modernen Erkenntnissen der Naturwissenschaft beschäftigen.

Physik, insbesondere Astrophysik, kann extrem spannend sein, ich hoffe, meine Leserinnen und Leser gewinnen durch die Lektüre dieses Buches diesen Eindruck!

Die vorliegende dritte Auflage dieses Buches berücksichtigt neueste Erkenntnisse von Satellitenmissionen wie z. B. die erste erfolgreiche weiche Landung auf einem Kometen oder spektakuläre Bilder des Zwergplaneten Pluto, neueste Missionen zu Mond und Mars. Besonders aufregend war die erste direkte Beobachtung von Gravitationswellen, die zwar Einstein vorhersagte aber selbst nicht glaubte, dass man sie jemals nachweisen können wird. Neueste Erkenntnisse der Exoplanetenforschung sowie Beispiele von Exoplanetensystem werden besprochen. Fehler wurden korrigiert und zahlreiche neue Abbildungen eingeführt um das Verständnis zu erleichtern.

Danksagung: Ich bedanke mich bei Frau Bettina Saglio und Frau Meike Barth vom Spektrum Verlag für die ausgezeichnete Zusammenarbeit. Meiner Lebensgefährtin Anita danke ich für zahlreiche Diskussionen und ihr Verständnis und Geduld.

Juli 2021

Arnold Hanslmeier

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	8
1.2.3 Atome – Miniaturplanetensysteme	9
1.2.4 Elektrizität + Magnetismus = Elektromagnetismus	9
1.2.5 Plasma – der häufigste Materiezustand im Universum	12
1.3 Die starke und die schwache Kraft	13
1.3.1 Was hält Atomkerne zusammen?	13
1.3.2 Die schwache Kraft	14
1.4 Elementarteilchen	15
1.4.1 Wechselwirkungen	15
1.4.2 Elementarteilchen – Beschreibung.	16
1.4.3 Quarks und Hadronen	18
1.4.4 Wir bauen ein Universum.	18
2 Der Urknall – Wie alles begann	21
2.1 Die Galaxienflucht	21
2.1.1 Vermessung des Universums	21
2.1.2 Hubble	23
2.1.3 Der Blick in die Vergangenheit	25
2.1.4 Galaxienflucht	26
2.2 Die Expansion des Universums	27
2.2.1 Sind wir der Mittelpunkt?	27
2.2.2 Das Universum dehnt sich aus	30

2.2.3	Das Alter des Universums	31
2.3	Der heiße Urknall	31
2.3.1	Das Universum und der Kühlschranks	31
2.3.2	Die Hintergrundstrahlung	32
2.3.3	Hintergrundstrahlung und Rotverschiebung	33
2.3.4	Temperaturschwankungen im frühen Universum	35
2.3.5	Dunkle Materie	37
2.4	Die Entstehung der Elemente	38
2.4.1	Kernfusion am Anfang	38
2.4.2	Elemente schwerer als Helium	39
2.5	Das frühe Universum	40
2.5.1	Die Superkraft	40
2.5.2	Das inflationäre Universum	41
2.6	Zeitskala	43
2.7	Die Zukunft des Universums	43
2.7.1	Masse und Energie	43
2.7.2	Das nichtleere Vakuum	46
2.7.3	Materie und Raum	47
2.7.4	Energie und Masse	49
2.7.5	Urknall und Planck-Ära	50
2.8	Das Universum und Teilchen	52
2.8.1	Bosonen-Ära	52
2.8.2	Quark-Ära	52
2.8.3	Hadronen-Ära	53
2.8.4	Leptonen-Ära	53
2.8.5	Das Universum wird durchsichtig	54
3	Die Welt der Planeten	55
3.1	Allgemeine Eigenschaften der Planeten	55
3.1.1	Masse und Radius	55
3.1.2	Entfernungen	57
3.1.3	Temperaturen, Atmosphären	58
3.1.4	Wie sehen wir Planeten am Himmel?	58
3.2	Die erdähnlichen Planeten	62
3.2.1	Erde	62
3.2.2	Merkur	69
3.2.3	Venus	71
3.2.4	Mars	74
3.2.5	Zukünftige Marsmissionen	82
3.2.6	Zusammenfassung: Warum so unterschiedlich?	82

3.3	Die Riesenplaneten	85
3.3.1	Jupiter.....	85
3.3.2	Saturn.....	87
3.3.3	Uranus und Neptun	90
3.3.4	Zusammensetzung: Riesenplaneten.....	93
3.4	Die Monde der Planeten.....	94
3.4.1	Unser Mond	94
3.4.2	Die Monde des Mars	97
3.4.3	Die Jupitermonde	98
3.4.4	Weitere Monde des Jupiters.....	104
3.4.5	Saturnmonde	104
3.4.6	Die Monde des Uranus und Neptun.....	108
3.4.7	Zusammenfassung	110
4	Zwergplaneten und Kleinkörper.....	111
4.1	Asteroidengürtel im Sonnensystem.....	111
4.1.1	Asteroidengürtel, Hauptgürtel	111
4.1.2	Kuipergürtel	113
4.1.3	Die Oort'sche Wolke	114
4.2	Kleinplaneten, Asteroiden	115
4.2.1	Beobachtung.....	115
4.2.2	Trojaner	118
4.2.3	Erdbahnkreuzer, sind wir in Gefahr?.....	119
4.3	Kometen.....	123
4.3.1	Hilfe, der Komet kommt	123
4.3.2	Periodische Kometen	123
4.3.3	Was sind Kometen?	124
4.3.4	Kometenimpakte	127
4.3.5	Woher kommen die Kometen?.....	128
4.4	Zwergplaneten	129
4.4.1	Pluto.....	130
4.4.2	Weitere Zwergplaneten	132
4.5	Meteoroiden.....	133
4.5.1	Sternschnuppen	133
4.5.2	Meteorströme.....	134
5	Die Mechanik des Himmels	137
5.1	Die Mondbahn	137
5.1.1	Sonnen- und Mondfinsternisse.....	140
5.2	Erdachse und Kreisel	141
5.2.1	Die Präzession	141
5.2.2	Nutation	143

5.3	Der Jahreslauf der Sonne	143
5.4	Planetenbahnen	146
5.4.1	Die Keplergesetze	146
5.4.2	Stabilität der Planetenbahnen.	149
6	Die Sonne – der Stern, von dem wir leben	153
6.1	Die Sonne – Grunddaten	154
6.1.1	Die Sonne von der Erde aus.	154
6.1.2	Masse und Größe der Sonne	155
6.1.3	Wie heiß ist es auf der Sonne?	156
6.1.4	Beobachtungen der Sonne	158
6.2	Die Sonne – das Innere	163
6.2.1	Woher nimmt die Sonne ihre Energie?	163
6.2.2	Sonnenbeben	166
6.2.3	Neutrinos – Geisterteilchen von der Sonne	169
6.3	Energietransport.	172
6.3.1	Energietransport durch Strahlung	172
6.3.2	Konvektion.	173
6.4	Die Oberfläche der Sonne	174
6.4.1	Randverdunklung.	174
6.4.2	Sonnenflecken	174
6.4.3	Granulation.	177
6.4.4	Fackeln.	178
6.5	Die obere Atmosphäre der Sonne	178
6.5.1	Das große Rätsel der Sonnenphysik.	178
6.5.2	Chromosphäre	179
6.5.3	Die Korona.	180
6.6	Die veränderliche Sonne	184
6.6.1	Der Aktivitätszyklus der Sonne	184
6.6.2	Beeinflusst die Sonne unser Wetter?	185
6.6.3	Sonnenwind und Heliosphäre	187
6.6.4	Sonne und Weltraumwetter	187
7	Sterne – Entstehung, Aufbau und Entwicklung	191
7.1	Was ist ein Stern?	191
7.1.1	Sterne – Braune Zwerge – Planeten.	191
7.1.2	Physikalische Eigenschaften von Sternen	193
7.2	Die Helligkeit der Sterne	196
7.2.1	Scheinbare Helligkeit.	196
7.2.2	Absolute Helligkeit	196
7.3	Spektralklassen	197
7.3.1	Klassifikation der Sterne	197
7.3.2	Riesen und Zwerge.	200

7.4	Sternentwicklung	201
7.4.1	Die Entwicklung unserer Sonne	203
7.4.2	Wie lange leben Sterne?	205
7.4.3	Rote Riesen und Überriesen	206
7.4.4	Wolf-Rayet-Sterne	206
7.4.5	Planetarische Nebel	207
7.4.6	Weißer Zwerge	207
7.5	Die Entstehung von Sternen	210
7.5.1	Das Sonnensystem	210
7.5.2	Molekülwolken	210
7.5.3	Kollaps eines Protosterns	212
7.5.4	T-Tauri-Sterne und Sternenwinde	214
7.5.5	Bildung von Planetensystemen in Scheiben	215
7.6	Entwicklung massereicher Sterne	216
7.6.1	Kernfusion in massereichen Sternen	216
7.6.2	Eine Supernova bricht aus	217
7.6.3	Der Crabnebel: ein Supernovaüberrest	218
7.6.4	Pulsare	219
7.6.5	Magnetar	222
7.6.6	Supernovae Typ I	222
7.6.7	Schwarze Löcher	223
8	Die Welt der Galaxien	227
8.1	Unsere kosmische Heimat: die Milchstraße	227
8.1.1	Was ist die Milchstraße?	227
8.1.2	Wie viele Sterne gibt es in der Milchstraße?	229
8.1.3	Die Rotation der Milchstraße und Dunkle Materie	230
8.1.4	Der Aufbau der Milchstraße	231
8.1.5	Das Monster im Zentrum	234
8.1.6	Die Galaxis – eine Spiralgalaxie	236
8.2	Galaxien – Bausteine des Universums	237
8.2.1	Die wahre Natur der Nebel	237
8.2.2	Typen von Galaxien	240
8.2.3	Warum gibt es unterschiedliche Arten von Galaxien?	243
8.2.4	Zusammenstoßende Galaxien	244
8.3	Aktive Galaxien	245
8.3.1	Seyfertgalaxien	245
8.3.2	Quasare	246
8.3.3	Gravitationslinsen	249

8.4	Galaxienhaufen	250
8.4.1	Die Lokale Gruppe	250
8.4.2	Der Virgo-Haufen	252
8.4.3	Coma-Haufen	254
9	Leben im Universum?	255
9.1	Was ist Leben?	255
9.1.1	Definition des Lebens	255
9.1.2	Entstehung des Lebens auf der Erde	256
9.1.3	Die Schutzschirme der Erde	258
9.2	Habitable Zonen	260
9.2.1	Was ist eine habitable Zone?	260
9.2.2	Zirkumstellare habitable Zonen	260
9.2.3	Zirkumplanetare habitable Zonen	260
9.2.4	Galaktische habitable Zone	261
9.3	Wie findet man Exoplaneten?	262
9.3.1	Transitmethode	263
9.3.2	Radialgeschwindigkeitsmethode	263
9.3.3	Sterne ändern ihre Position	263
9.3.4	Satellitenmissionen	265
9.3.5	Wieviele Exoplaneten wurden gefunden	266
9.3.6	Beispiele für Exoplanetensysteme	267
9.3.7	Proxima Centauri	269
9.4	Sind wir alleine im Universum?	271
9.4.1	Drake-Gleichung	271
9.4.2	SETI und andere Projekte	272
9.5	Die Geschichte des Universums in einem Tag	273
	Stichwortverzeichnis	275

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Auf ein Jahr skalierte Entwicklungsgeschichte des Universums	43
Tab. 3.1	Oppositionen der Planeten Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun	61
Tab. 3.2	Die großen Planeten. D Äquatordurchmesser, v_e Entweichgeschwindigkeit	62
Tab. 3.3	Die vier Galileischen Jupitermonde und Daten für unseren Mond zum Vergleich	104
Tab. 4.1	Bekannte Meteorströme	134
Tab. 7.1	Vergleich Sonne – Erde – Jupiter	192
Tab. 7.2	Hauptreihensterne	205
Tab. 9.1	Einige ausgewählte Objekte im Sonnensystem, wo Wasser und organische Verbindungen existieren.	257