

Bryan Gaensler

Kosmos xxxxtrem!

Eine Reise zu den größten, schnellsten, hellsten,
heißesten, schwersten, dichtesten
und ältesten Objekten im ganzen Universum

SACHBUCH



Springer Spektrum

Kosmos xxxtrem!

Bryan Gaensler ist Professor für Physik an der University of Sydney und Direktor des ARC Centre of Excellence for All-Sky Astrophysics (CAASTRO). Er war zuvor am MIT und an der Harvard University tätig. 1999 wurde er zum Young Australian of the Year gekürt, 2013 erhielt er den Scopus Young Researcher Award for the Physical Sciences.

Website: www.physics.usyd.edu.au/~bmg/

Facebook: www.facebook.com/extremecosmos

Twitter: <https://twitter.com/SciBry>

Bryan Gaensler

Kosmos xxxtrem!

Eine Reise zu den größten, schnellsten,
hellsten, heißesten, schwersten,
dichtesten und ältesten Objekten im
ganzen Universum

Aus dem Englischen übersetzt von Achim Traut



Springer Spektrum

Bryan Gaensler
University of Sydney
Redfern, NSW
Australien

Aus dem Englischen übersetzt von Achim Traut

ISBN 978-3-662-43391-1 ISBN 978-3-662-43392-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-43392-8

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

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Übersetzung der englischen Ausgabe „Extreme Cosmos“ von Bryan Gaensler, erschienen 2011 bei NewSouth Publishing, University of New South Wales Press Ltd. University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia. www.newsouthpublishing.com.au © Bryan Gaensler 2011. All rights reserved

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Planung und Lektorat: Frank Wigger, Bettina Saglio

Redaktion: Dr. Carl Freytag

Einbandgestaltung: deblik, Berlin

Einbandabbildung: „Red Spider“-Nebel (NGC 6537),

© ESA & Garrelt Mellema, Leiden University, the Netherlands

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsguppe Springer Science+Business Media
www.springer-spektrum.de

Stimmen zum Buch

„Bryan Gaenslers Buch über die extremsten physikalischen Bedingungen im Universum ist eine intellektuelle Abenteuerreise, wie sie spannender kaum sein könnte. Der Autor entführt die Leser anhand von zehn Kategorien wie Temperatur, Dichte oder Magnetfeldstärke in die extremsten Ecken unseres Kosmos. Er schlägt dabei gekonnt eine Brücke von unseren Alltagserfahrungen zu den viel ungewöhnlicheren physikalischen Bedingungen, wie man sie etwa im Innern heißer Sterne, in der pechschwarzen Dunkelheit interstellarer Staubwolken oder in den rasend schnellen Bewegungen von Gasströmen nahe einem Schwarzen Loch findet. Gleichzeitig erklärt Gaensler auf sehr anschauliche und unterhaltsame Weise viele der wichtigsten astrophysikalischen Grundlagen und aktuellen Forschungsfragen. Dieser Parforceritt in die wildesten und spannendsten Winkel unserer physikalischen Welt begeistert von der ersten bis zur letzten Seite und erzeugt immer wieder ein überwältigendes Gefühl des Staunens.“

Volker Springel, Universität Heidelberg und Heidelberger Institut für Theoretische Studien

„Unser Dasein auf diesem Planeten vermittelt uns ein Gefühl für die Extreme der Natur. Intuitiv lernen wir Großes und Kleines, Schnelles und Langsames, Heißes

und Kaltes, Starkes und Schwaches zu messen. Wir stauen über die Größe der Ozeane, wir sind fasziniert von den Temperaturen in Vulkanen und werden in Angst und Schrecken versetzt durch die Windgeschwindigkeiten von Hurrikans und die Energie von Erdbeben. Wie begrenzt erscheinen diese Erfahrungen jedoch vor dem Hintergrund von Bryan Gaenslers Buch! In einer fantastischen Reise öffnet es unsere Augen für die tatsächlichen Extreme von Größe, Geschwindigkeit, Temperatur und Gravitation ... Dieses Buch, das Jung und Alt bestens empfohlen werden kann, ist fesselnder als ein Spionagekrimi, wohltuender als eine Gutenachtgeschichte und eine angemessene Erinnerung daran, wie unfassbar glücklich wir uns schätzen dürfen, auf diesem so ausgeglichenen kleinen Felsklumpen inmitten eines extremen Kosmos zu leben.“

Professor *Luciano Rezzolla*, Institut für Theoretische Physik, Universität Frankfurt, und Albert-Einstein-Institut Potsdam

„Im Kollegenkreis ist Bryan Gaensler dafür bekannt, dass er den Funken seiner Begeisterung für die Wissenschaft auch auf eine große Zuhörerschaft überspringen lassen kann. So vermag kaum jemand besser als er Öffentlichkeit und Kollegen von der bevorstehenden Erkenntnisrevolution durch die nächste Generation von Teleskopen zu überzeugen. Diese Begeisterung für die Physik des Kosmos, die ihn zu einem der weltweit führenden Forscher gemacht hat, springt unweigerlich auch auf die Leser seines Buches über. Der Autor schafft es durch die Beschreibung der extremsten Eigenschaften ein wirklich faszinierendes Bild des Universums zu skizzieren. Der sicher unkonventionelle Ansatz des Buches vermittelt dem Leser auf unterhaltsame Art aber nicht nur eine recht gute Übersicht über

den Stand unseres Wissens; durch viele persönliche Bezüge und historischen Zusammenhänge wird auch klar, wie sehr die Geheimnisse des Kosmos den menschlichen Geist fordern.“

Professor *Ralf-Jürgen Dettmar*, Lehrstuhl für Astronomie, Ruhr-Universität Bochum

„Wenn wir zum Himmel aufschauen und uns dabei der Faszination und Schönheit des Universums hingeben, denken wir nur selten an die extremen Bedingungen, die sich dort finden und die so vollkommen anders sind, als wir es auf der Erde gewöhnt sind. Bryan Gaensler schafft es in einer erfrischenden, direkten und unkomplizierten Art, uns auf eine Reise durch diesen extremen Kosmos zu nehmen. Hierbei spart er nicht an faszinierenden Vergleichen und mischt seinem Bericht immer wieder persönliche Einblicke in das Leben eines erfolgreichen Astronomen erster Güte bei. Das Resultat ist ein ebenso unterhaltsames wie lehrreiches Buch, das Amateure und Profis gleichermaßen faszinieren wird.“

Professor *Michael Kramer*, Direktor des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie, Bonn

Vorwort

Als mir zum ersten Mal die Idee für dieses Buch kam, dachte ich noch, es zu schreiben sei eine einfache Sache. Schließlich hatte ich die meisten Geschichten bereits in meinem Kopf und musste sie eigentlich nur noch zu Papier bringen. Aber in Wirklichkeit war alles viel komplizierter: Die Kapitel stellten sich als nicht annähernd so simpel heraus wie ich zunächst dachte, und manchmal merkte ich, dass ich das Thema noch gar nicht richtig verstanden hatte. Das Buch wurde schließlich erst nach zwei Jahren beständiger Anstrengung fertig und gelang nur durch die Mitwirkung einer ganzen Reihe von Personen und weil mir zahlreiche Quellen zur Verfügung standen.

Zuerst und vor allem danke ich der weltweiten Gemeinschaft der Astronomen, deren Leidenschaft und Enthusiasmus für ihr Forschungsgebiet zu all den hier beschriebenen Entdeckungen geführt hat. Ich möchte auch die wunderbare Ressource erwähnen, die das NASA Astrophysics Data System darstellt. Diese sensationelle Datenbank enthält einen Index praktisch aller wissenschaftlichen Artikel, die je auf dem Gebiet der Astronomie veröffentlicht wurden. Das Data System war von unschätzbarem Wert, um die vielen Forschungsergebnisse und Berechnungen aufzuspüren und

zu verifizieren, die ich für das Buch brauchte. Darüber hinaus danke ich den vielen Astronomen, die mir großzügig zusätzliche Daten und Informationen zur Verfügung stellten: Matthew Bales, Tim Bedding, Chris Blake, Warren Brown, Iver Cairns, Paul Crowther, Glennys Farrar, Lilia Ferrario, Craig Heinke, David Helfand, Rob Hollow, Michael Ireland, Melanie Johnston-Hollitt, Geraint Lewis, Charley Lineweaver, Erik Mamajek, Don Melrose, Michael Scholz, Peter Tuthill, Gentaro Watanabe, Mike Wheatland und Matias Zaldarriaga.

Ich bin Phillippa McGuinness, Jane McCredie und ihrem Team bei NewSouth Publishing dankbar für ihren Einsatz bei der Fertigstellung dieses Buchs und für ihre Geduld mit einem Manuskript, dessen Erstellung sich so lange hinzog. Mein besonderer Dank geht an Stephen Pincock, der mich auf die Idee brachte, ein Buch zu schreiben, der mit mir daran arbeitete, das Konzept von *Kosmos xxxtrem!* zu entwickeln und mir ein sorgfältiges und in die Tiefe gehendes Feedback zu jedem Kapitel gab. Ich danke auch Chris Hales, der voll Enthusiasmus viele der Details recherchierte, die entsprechenden Quellen aufspürte und viele gedankenreiche Kommentare zum Text beitrug.

Schließlich geht mein tiefster und aufrichtigster Dank an die wunderbare Laura Beth Bugg, die, wie immer, meine Muse und Inspiration war. Sie übernahm die Rolle als alleinerziehende Mutter, als ich so viel Zeit in dieses Buch steckte, ermutigte mich, weiterzumachen, wenn ich drauf und dran war, aufzugeben, und grübelte über jedes Wort nach, das ich schrieb. Sie half mir, das Buch zu einem Werk zu machen, auf das ich stolz sein kann – ich hätte das nicht ohne sie geschafft.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Höllenfeuer und Eiskälte: Extreme der Temperatur	11
3	Hell und dunkel: Extreme der Helligkeit	31
4	In alle Ewigkeit: Extreme der Zeit	53
5	Zwerge und Riesen: Extreme der Größe	75
6	Eile und Weile: Extreme der Geschwindigkeit	95
7	Dick und dünn: Extreme der Masse	119
8	Sphärenklänge: Extreme des Schalls	145
9	Dynamos im All: Extreme des Elektromagnetismus	169
10	Leichtgewichte und Schwergewichte: Extreme der Schwerkraft	193
11	Vakuum und Schwarze Löcher: Extreme der Dichte	213

12	Epilog	237
13	Extreme Erfahrungen	241
	Literaturhinweise	251
	Sachverzeichnis	261

1

Einleitung

Schon als Kind haben mich naturwissenschaftliche Themen fasziniert. Ob es Beschreibungen bizarrer, längst ausgestorbener Dinosaurier, Erklärungen der zerstörerischen Kraft von Vulkanen oder Darstellungen der verschiedenen Organe des menschlichen Körpers waren: Ich sog alles in mich auf.

Eine Wissenschaft hatte jedoch schon damals bei mir einen besonderen Platz: die Astronomie. In den Büchern über andere Wissenschaftsgebiete erfuhr ich alles darüber, wie die Dinge funktionierten und was die Wissenschaftler herausgefunden hatten. Es schien so, als seien all die großen Fragen im Wesentlichen bereits beantwortet, und wir müssten nur noch die kleinen Details ausarbeiten. In den Büchern über Astronomie war das ganz anders: Es ging in ihnen weniger darum, was wir wussten, sondern eher darum, was wir *nicht* wussten.

Und wir wussten eine ganze Menge nicht. Die Astronomie zog mich in ihren Bann, weil es in ihr weit mehr Rätsel als Antworten gab. Was ist „Dunkle Materie“? Was befindet sich im Inneren eines Schwarzen Lochs? Gibt es Leben auf dem Mars? Der Sinn der Wissenschaft ist es doch, Dinge zu entdecken, und meinem jungen Geist kam es so vor, dass

die meisten Entdeckungen, die noch zu machen waren, im Bereich der Astronomie lagen.

So habe ich schon früh, so mit etwa fünf Jahren, den Plan gefasst, einmal Astronom zu werden. Es fing mit einem fantastischen Buch an, das den Titel *Album of Astronomy* trug. Dieses Geschenk meiner Eltern, das ich immer noch besitze, nimmt den Leser auf eine beeindruckende Reise mit, die durch das Sonnensystem, die Milchstraße und darüber hinaus führt: Von der gewaltigen Wärme von Merkur und Venus über die feurigen Fusionsreaktionen, die die Sonne antreiben, bis zu der prachtvollen und unermesslichen Erhabenheit ferner Spiralgalaxien und dem unvorstellbaren Anfang von allem beim Urknall gab es da draußen im Weltall so vieles, was meinen damaligen Lebenserfahrungen unglaublich fremd und unbekannt war. Ich war von der Astronomie infiziert.

Mit zunehmendem Alter nahm meine Faszination für Himmel und Weltall nur noch zu. In der dritten Klasse schrieb ich ein Astronomiebuch für unsere Schulbücherei. Als ich zwölf war, kaufte ich von meinem Taschengeld ein Teleskop und blieb die ganze Nacht auf, um den Halley'schen Kometen zu betrachten. Und ich bettelte meine Lehrer an, weniger Zeit mit Chemie oder Erdkunde zu verbringen und stattdessen mehr mit Astronomie.

Die Astronomie wurde dann wirklich zu meinem Beruf. Ich fand das immer noch ungeheuer spannend, weil sich das, was mich ursprünglich an diesem Thema so angezogen hatte, als wahr herausstellte. Astronomie reicht immer noch an diese unerforschten Grenzen, und es werden in dieser Wissenschaft immer noch ständig die erstaunlichsten Entdeckungen gemacht.

Aber es gibt zwei Aspekte, die ich zuvor nicht erwartet hatte – zwei Aspekte, die ich als Kind nicht so richtig einschätzen konnte und die mir erst klar wurden, als ich meine berufliche Laufbahn begann. Wegen dieser beiden Erkenntnisse habe ich das vorliegende Buch geschrieben.

Sterne entdecken oder sie verstehen?

Als ich klein war, hatte ich gehofft und erwartet, dass meine Haupttätigkeit als Astronom darin bestehen würde, neue Sterne zu entdecken.

In der Tat habe ich in meiner Laufbahn ein paar neue Sterne aufgespürt. Ich erinnere mich noch lebhaft an den Moment, als ich 1994 zum ersten Mal einen Stern entdeckte. Ich saß am Bildschirm meines Computers und durchsuchte meine Daten, und da war es: ein Objekt, das in der gesamten Geschichte der Menschheit noch niemand betrachtet hatte. Ein paar Minuten saß ich still, allein mit meiner Entdeckung, und freute mich darüber, dass es da draußen im All etwas gab, von dem nur ich wusste.

Aber in der Wissenschaft und natürlich auch in der Astronomie geht es darum, seine Ideen und Entdeckungen zu teilen. So schrieb ich in einer E-Mail an meine Kollegen, was ich entdeckt hatte, und anschließend veröffentlichten wir unsere Ergebnisse in einer wissenschaftlichen Zeitschrift, sodass andere sie überprüfen und weiter untersuchen konnten.

Der Stern, den ich entdeckt hatte, ist heute unter dem Namen „PSR J1024-0719“ bekannt und befindet sich etwa 1700 Lichtjahre von der Erde entfernt im unscheinbaren

Sternbild Sextant, das zwischen Löwe und Wasserschlange liegt. „Mein“ Stern ist viel zu schwach, als dass man ihn mit bloßem Auge sehen könnte, aber er steht jedes Jahr im März und April hoch am Abendhimmel. Auch wenn ich PSR J1024-0719 seit dem Moment der Entdeckung nicht mehr weiter untersucht oder betrachtet habe, wird er mir, als Zeichen des Beginns meiner kosmischen Abenteuer, immer in Erinnerung bleiben.

Aber bei aller Begeisterung über solche Entdeckungen: In der Astronomie geht es um mehr als darum, nur neue Sterne zu finden. Letztlich ist es recht einfach, einen neuen Stern zu entdecken. Man nimmt ein großes Teleskop, richtet es irgendwo hin und macht eine Aufnahme des entsprechenden kleinen Ausschnitts des Nachthimmels, auf den das Teleskop fokussiert ist. Das Bild wird voller Sterne sein, von denen die meisten noch niemand zuvor gesehen hat. Diese Sterne haben keine Namen, sind noch nie in einem Katalog aufgeführt worden, und man weiß fast nichts über sie.

Als Astronom ist es deshalb verlockend, seine berufliche Laufbahn der Entdeckung und Katalogisierung möglichst vieler dieser Sterne zu widmen. In der Realität jedoch sind viele dieser neuen Sterne eher gewöhnlich und uninteressant und unterscheiden sich nicht von den Millionen von Sternen, die bereits benannt, katalogisiert und klassifiziert sind. Manchmal stellt sich ein Stern aber als besonders interessant oder ungewöhnlich heraus (und einige davon werde ich Ihnen in diesem Buch vorstellen), aber solche besonderen Sterne sind extrem selten, und dass es sich um besondere oder bemerkenswerte Objekte handelt, wird oft erst

klar, wenn sie von Astronomen einer intensiven weiteren Untersuchung unterzogen werden.

Dass ich aufgeregt war, als ich PSR J1024-0719 entdeckte, ist natürlich und verständlich. Es ist jedoch wichtig festzustellen, dass das Ziel der Astronomie nicht darin besteht, zu katalogisieren und zu sammeln, sondern zu *verstehen*. Die Motivation von Astronomen erwächst nicht aus dem Bedürfnis, einfach nur Sterne zu zählen oder deren Koordinaten zu bestimmen, sondern aus dem Bestreben herauszufinden, was Sterne eigentlich sind und weshalb sie strahlen. Letztlich versuchen Astronomen, einige der ganz großen Fragen zu beantworten: Woher kommen wir? Wie wird alles enden?

Das soll nicht heißen, dass das Finden von Sternen, das Messen ihrer Eigenschaften und ihre Katalogisierung nicht ausgesprochen wichtige Bestandteile der Astronomie sind. Einige der größten und wichtigsten Projekte in der Astronomie waren umfangreiche Unternehmungen, die Objekte des Nachthimmels sorgfältig zu kartieren und zu klassifizieren. Diese Projekte reichen vom historischen Henry-Draper-Katalog, der 1924 fertiggestellt wurde und 225.300 Sterne umfasst, bis zum sensationellen Erfolg der „Sloan Digital Sky Survey“ (SDSS), die 2000 begann und bis jetzt mehr als 900 Mio. Sterne und Galaxien katalogisiert hat.

Man muss sich jedoch klar machen, dass wir Astronomen diese gewaltigen „Durchmusterungen“ nur unternehmen, um die möglichst vollständigen Kataloge am Ende dazu nutzen zu können, neue Erkenntnisse über Sterne, Galaxien und das Weltall zu gewinnen.

Während ich als Kind also den Ehrgeiz hatte, neue Sterne zu entdecken, ist es heute mein Ziel, Entdeckungen zu

machen, die etwas darüber aussagen, wie das Universum funktioniert. Dieses Ziel beschreibt weit besser, was wir Astronomen tun und weshalb wir uns dieser Sache so sehr hingeben. Wie ein kleines Kind, das ständig „Warum?“ fragt, versuchen auch wir einfach nur, die Welt um uns herum zu verstehen.

Milliarden und Abermilliarden

Als Kind war ich begeistert von der Idee, dass es unendlich viele Zahlen gibt. Jedes Buch hat eine letzte Seite. Bei jedem Film kommt irgendwann der Abspann. Und selbst wenn man das dickste Wörterbuch durchforstet, das man finden kann, gibt es irgendwann keine Wörter mehr zu entdecken. Aber Zahlen haben keine derartige Grenze. Eine Million, eine Milliarde, ein Billion, eine Billiarde ... selbst wenn uns die Namen ausgehen, gibt es noch immer mehr und immer größere Zahlen.

Aber während ich die Idee unzähliger Zahlen liebte, fand ich es beklemmend, mir nicht wirklich vorstellen zu können, was diese Zahlen eigentlich bedeuten. Was könnte „eine Milliarde Sterne“ oder „eine Million Galaxien“ heißen? Ich wollte auch Astronom werden, um Zahlen wie diese wirklich begreifen zu können.

Inzwischen weiß ich, dass die Astronomen keine besondere Gabe haben, den Himmel zu betrachten. Wir können uns so wenig wie andere Menschen wirklich vorstellen, wie groß und kompliziert das Universum ist. Als ich dieses Buch schrieb, verkündeten zum Beispiel amerikanische Astronomen, dass sie die Gesamtzahl der Sterne im beobachtbaren

Universum neu berechnet hätten. Nach früheren Schätzungen gab es 100.000.000.000.000.000.000.000 Sterne, also 100 Trilliarden. Neue Berechnungen zeigten, dass es eher 300.000.000.000.000.000.000.000, also 300 Trilliarden sind. Es war zwar klar, dass sich die Zahl der Sterne dank der neuen Entdeckung verdreifacht hatte, aber ob es nun 100 Trilliarden oder 300 Trilliarden sind, ist gleichermaßen unbegreiflich – für einen Astronomen ebenso wie für jedermann sonst. Unser Verstand hat sich entwickelt, als es um das Jagen von Nahrung, das Vermeiden gefährlicher Tiere und den Umgang mit anderen Menschen ging. Deshalb denken wir in Stunden, Monaten und Jahren und können uns Entfernungen von Metern oder Kilometern bildlich vorstellen, aber Zahlen, die weit darüber hinausgehen, verlieren ihre anschauliche Bedeutung. Die Ausmaße des Universums übertreffen bei Weitem, was unser Verstand zu verarbeiten in der Lage ist.

Dennoch ist der Fall nicht hoffnungslos. Mathematik und Physik sind wunderbare Instrumente, denn sie ermöglichen es uns, das Universum zu studieren und zu verstehen, selbst wenn die Zahlen, die in der Astronomie auftreten, so weit jenseits unserer Erfahrungen liegen, dass sie keine praktische Bedeutung für uns haben. Heute schätze ich es, dass wir einerseits von den schieren Ausmaßen, denen wir gegenüber stehen, überwältigt sein können und andererseits doch die außergewöhnliche Kraft haben, das Wunder und die Schönheit des Kosmos bestaunen zu können.

Extremer Kosmos

In diesem Buch möchte ich Ihnen davon berichten, wie weit sich das Universum in jeder erdenklichen Weise jenseits unserer alltäglichen Erfahrung erstreckt. Gleichzeitig hoffe ich aber, dass *Kosmos xxxtrem!* Ihnen zu verstehen hilft, wie erstaunlich es ist, dass wir dennoch in diesem Reich der Extreme Messungen anstellen und sie interpretieren können. Und nicht nur das: In den meisten Fällen glauben wir zu verstehen, was diese von uns untersuchten Objekte sind, wie sie entstanden und weshalb sie ihre unglaublichen Eigenschaften haben.

In den kommenden Kapiteln habe ich zehn Phänomene ausgewählt, mit denen wir in unserem Alltag konfrontiert sind: Temperatur, Helligkeit, Zeit, Größe, Geschwindigkeit, Masse, Schall, Elektrizität/Magnetismus, Schwerkraft und Dichte. Für sie alle gibt es Extreme im Bereich unserer alltäglichen Erfahrungen: Wir alle haben schon sengende Hitze und klirrende Kälte gespürt, wir haben einen Düsenjet über uns hinwegrasen und eine Schnecke durch den Garten kriechen sehen. In den Kapiteln meines Buches werde ich, ausgehend von diesen alltäglichen Wahrnehmungen, eine Brücke zu den Objekten im Universum schlagen, die Eigenschaften haben, die weit über das hinausgehen, was wir wirklich verstehen können.

In manchen Fällen kann ich Sie nur zu *einem* Ende des Spektrums führen: Für Geschwindigkeitsextreme werden wir zum Beispiel in Kap. 6 einige der schnellsten Objekte im Universum betrachten. Die Frage, welche Sterne sich am langsamsten bewegen, ist dagegen nur schwer zu beantworten, denn die große Mehrzahl der Sterne bewegt sich so

langsam, dass unsere Teleskope es nicht messen können. In anderen Kapiteln wird es dagegen durchaus Sinn machen, beide Extreme zu erforschen. In Kap. 2 werde ich zum Beispiel an beide Grenzen gehen: zur größten Hitze und zur größten Kälte im Universum.

Mit diesem Buch möchte ich die zwei Dinge vermitteln, die ich auf meiner eigenen Reise vom Kind, das begeistert die Sterne betrachtet hat, zum Berufsastronomen gelernt habe. Das eine ist, dass es in der Astronomie um mehr geht, als neue Sterne zu finden. Und ich will Ihnen nahebringen, dass die Zahlen, die den Kosmos beschreiben, zwar für unseren menschlichen Verstand völlig unbegreiflich sind, dass aber die bemerkenswerte Schönheit, Vielfalt und Eleganz, die diesen Ausmaßen zugrunde liegen, dennoch unsere Bewunderung und unser Staunen verdienen.

Bevor wir aber mit der Reise beginnen, will ich Ihnen doch noch einen Warnhinweis geben. In jedem der folgenden Kapitel habe ich mich auf ein bestimmtes Phänomen konzentriert und versucht, so definitiv wie möglich zu beschreiben, wie im Universum die Extreme dieses Phänomens aussehen. Aber „definitiv“ ist kein Begriff, der sich ohne Weiteres auf das Studium des Kosmos anwenden lässt. Zum Beispiel kann ich den tiefsten Ton im Universum beschreiben (Kap. 8). Aber ich kann Ihnen nicht mit Sicherheit sagen, dass dies garantiert der tiefste Ton ist, der irgendwo im Universum zu finden ist. Der Grund ist, dass es viel Unentdecktes im Universum gibt. Ich muss mich daher auf das beschränken, was die Astronomen bis jetzt schon untersuchen konnten.

Noch etwas kommt dazu: In manchen Fällen kann man die Werte nur recht grob und ungenau abschätzen.

Wenn ich Ihnen später einen Kandidaten für das schwerste Schwarze Loch des Universums vorschlage (Kap. 7), hat die Wahrheit dieser Aussage wegen der Ungenauigkeit unserer Daten ihre Grenze.

Schließlich ist die Astronomie ein dynamisches und wachsendes Forschungsgebiet. Täglich werden neue Entdeckungen gemacht, und unweigerlich werden alte Rekorde gebrochen. Selbst in Fällen, in denen ich meine Beispiele mit voller Überzeugung und Bestimmtheit wählen kann, wie im Fall des lichtstärksten Objekts, das je im Universum gesehen wurde (Kap. 3), wird bestimmt bald ein noch außergewöhnlicheres Objekt auftauchen und den Rekord brechen.

Die Astronomie zog mich zunächst deshalb in ihren Bann, weil man noch so vieles nicht verstanden hatte. Jahrzehnte später bin ich immer noch begeistert von der Feststellung, dass ein endloser Weg voller Entdeckungen und Freude vor uns liegt.

2

Höllengefeuer und Eiseskälte: Extreme der Temperatur

Verglichen mit den anderen Planeten des Sonnensystems ist die Erde ein recht gastfreundlicher Ort. Schließlich wimmelt es auf ihr von Lebensformen, für die es weder zu kalt noch zu heiß sein darf. Aber jeder, der einmal im Sommer in der australischen Wüste war oder eine Winternacht in Kanada verbracht hat, weiß, dass selbst auf unserem „perfekt justierten“ Heimatplaneten die Spanne der Oberflächentemperaturen enorm ist und weit über jene enge Komfortzone hinausreicht, die wir empfindliche Menschen bequem ertragen können. Die Extreme auf der Erde reichen von 57°C, die 1913 im Death-Valley-Nationalpark in Kalifornien verzeichnet wurden, bis zu markdurchdringenden -93,2°C bei einer Messung in der Antarktis, die am 10. Dezember 2013 gemeldet wurde. Und natürlich ist es im Erdinneren weit heißer als irgendwo an der Oberfläche, während die Erdatmosphäre in großen Höhen deutlich kälter ist.

Aber die rauesten Klimabedingungen, die die Erde zu bieten hat, sind nichts verglichen mit dem, was sich draußen im Weltall findet. In den tiefen Weiten des Kosmos gibt es Orte, die Billionen Mal heißer sind als die heißeste Sauna, und andere Orte, die so kalt sind, dass im Vergleich

dazu Toronto an Heiligabend geeignet für ein Strandpicknick erscheint.

Heiß und versteckt

Überlegen wir zunächst, was „heiß“ und „kalt“ eigentlich bedeutet.

Materie in ihren gewöhnlichen Formen (fest, flüssig oder gasförmig) besteht aus Atomen und Molekülen. In einem Festkörper werden die Atome oder Moleküle starr an ihrem Platz gehalten, ähnlich wie die verzahnten Teile eines Puzzles. In einer Flüssigkeit können sich die Teilchen bewegen, hängen aber immer noch in großen Gruppen aneinander. Und in einem Gas ist jedes Atom und Molekül unabhängig von den anderen und kann sich nach Belieben bewegen, wohin es möchte.

Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen gemein ist jedoch, dass die Atome und Moleküle, aus denen sie bestehen, un-
aufhörlich zittern und zappeln. In einem Festkörper bleibt jedes Teilchen in der Nähe seines angestammten Platzes, zittert dabei aber hin und her. (Man stelle sich ein Puzzle vor, bei dem die Teile nicht perfekt ineinander passen; jedes Teilchen kann sich ein wenig hin und her bewegen, verlässt aber seinen Platz nicht.) In einer Flüssigkeit oder einem Gas tanzen die Teilchen wie verrückt in alle Richtungen, wie ein außer Kontrolle geratenes Auto beim Autoskooter.

Was wir unter Temperatur verstehen, ist die Geschwindigkeit dieses Zitterns und Vibrierens auf mikroskopischer Skala. Ganz gleich, ob etwas fest, flüssig oder gasförmig ist, können diese zufälligen Zitterbewegungen langsam und

sanft sein – oder wahnsinnsschnell. Wenn die Bewegungen der Atome oder Moleküle langsam sind, ist das Objekt kalt; sind die Bewegungen schnell, ist es heiß. Wenn etwas abkühlt, verlangsamen die Teilchen ihre Bewegungen zu einem sanften Walzer; wird das Objekt erhitzt, starten sie einen rasenden Kosakentanz.

Das bedeutet nun, dass es für die Temperatur keine Obergrenze gibt: Erhitzt man etwas immer mehr, rasen die Teilchen im Inneren immer schneller umher. Mit diesem Bild vor Augen können wir jetzt die Frage stellen, wie heiß das Universum werden kann.

Beginnen wir mit der Sonne, einer riesigen brennenden Kugel aus Gas, die so heiß und gewaltig ist, dass man sie noch nicht einmal mit bloßem Auge anschauen kann. Die Sonne hat an der Oberfläche eine Temperatur von 5500°C , was zwar heiß ist, aber nicht unvorstellbar heiß. Die Sonnenoberfläche ist etwa fünfmal heißer als die Flamme einer Kerze oder doppelt so heiß wie die Flamme eines Schweißbrenners. 5500°C reichen aus, um Wolfram zu schmelzen, aber nicht, um es zum Kochen zu bringen.

Es gibt aber andere Sterne, die viel heißer als die Sonne sind.

Wir wissen alle, dass ein Metallstück zu glühen anfängt, wenn man es erhitzt. Ein Schüreisen im Feuer leuchtet orange oder rot, während der Wolframdraht einer konventionellen Glühbirne gelb oder weiß glüht, wenn er auf einige Tausend Grad erhitzt wird. Unsere Beispiele verweisen auf einen universellen Prozess, der zuerst vom deutschen Physiker Max Planck genau beschrieben wurde: Praktisch jedes Objekt (ob auf der Erde oder im All) strahlt Licht aus, dessen Farbe von seiner Temperatur abhängt.

Diesen Effekt, der durch das Plancksche „Gesetz der Schwarzkörperstrahlung“ beschrieben wird, beobachten wir, wenn wir die verschiedenen Farben der Sterne untersuchen. Unsere Sonne ist ein recht durchschnittlicher Stern. Ihre Oberflächentemperatur von 5500°C ergibt ein gelbliches Licht, genau wie es Plancks Gleichungen vorhersagen.

Beteigeuze, ein heller Stern im Sternbild Orion, ist viel kälter: Auf der Oberfläche herrschen etwa 3800°C , weswegen der Stern eine selbst mit dem bloßen Auge gut erkennbare rötliche Färbung hat. Der hellste Stern am Nachthimmel, Sirius (auch als „Hundsstern“ bekannt), hat dagegen eine Oberflächentemperatur von etwa 10.000°C , was ihm seinen bläulichen Schimmer gibt.

Es gibt aber auch Sterne, die man mit dem bloßen Auge nicht sehen kann, die noch viel heißer als Sirius sind. Wie wir etwas später in diesem Kapitel sehen werden, findet das wirkliche Geschehen tief im Kern eines Sterns statt, wo Fusionsprozesse wüten und über Milliarden von Jahren hinweg die gesamte Wärme und das Licht eines Sterns erzeugen. Aber wenn ein gewöhnlicher Stern schließlich seinen gesamten Brennstoff verbraucht hat, bläst er große Teile seiner äußeren Schichten in einer sich langsam ausdehnenden Gashülle davon, und der zentrale Kern liegt frei. In diesem Kern, einer kleinen und dichten Kugel aus Helium, Kohlenstoff und schwereren Elementen, findet zwar keine Fusion mehr statt, es ist aber dort noch immer unglaublich heiß. Diese verbliebene Glut macht den Stern zu einem „Weißen Zwerg“, zu einem der heißesten Sterne des Universums, der so heiß ist, dass er den umgebenden Schleier aus weggeblasenem Gas erleuchtet und dadurch ein exquisites Leuchten erzeugt, das als „planetarischer Nebel“ bezeichnet wird.

Wie heiß ist ein solch neu entstandener Weißer Zwerg? Der aktuelle Rekordhalter befindet sich im Herzen eines schönen planetarischen Nebels. Diese glühende Gaswolke, von Astronomen als „NGC 6537“ bezeichnet, aber besser bekannt als „Red-Spider-Nebel“ (Rote Spinne), befindet sich in etwa 2000 Lichtjahren Entfernung im Sternbild Schütze. (Ein Lichtjahr ist die Entfernung, die das Licht in einem Jahr zurücklegt: knapp 10 Billionen km. 2000 Lichtjahre sind also rund 20.000 Billionen km!)

Während des gesamten 20. Jahrhunderts entging der Weiße Zwerg im Zentrum des Red-Spider-Nebels seiner Entdeckung. Es gibt zwei Gründe, weshalb solche Sterne so schwer zu sehen sind. Erstens sind es winzige Objekte, die im Zentrum von leuchtenden und sehr hellen Wolken in ihrer Umgebung vergraben sind. Die Helligkeit und Komplexität der planetarischen Nebel verbirgt häufig den zentralen Stern vor unserem Blick.

Paradoxerweise ist der zweite Grund, dass gerade die extreme Hitze den Stern fast unsichtbar macht. Wie wir oben gesehen haben, sagt uns das Plancksche Gesetz der Schwarzkörperstrahlung, dass die Farbe eines Objekts von seiner Temperatur bestimmt wird. Was geschieht aber, wenn ein Stern noch heißer ist als der blaue Sirius mit seinen 10.000°C ? Das Plancksche Gesetz gilt natürlich auch dann, aber das resultierende Leuchten hat eine Farbe, die jenseits des Bereichs liegt, den unser Auge oder ein gewöhnliches Teleskop wahrnehmen kann. Das Licht von Objekten, die viel heißer als Sirius sind, strahlt im ultravioletten Bereich oder gar im Bereich der Röntgenstrahlung. Die Beziehung der Temperatur zur Farbe der Strahlung nach dem Gesetz der Schwarzkörperstrahlung besagt, dass scheinbar

so unterschiedliche Phänomene wie UV-Licht und Röntgenstrahlen einfach nur Teile des breiten „elektromagnetischen Spektrums“ sind, das somit einen riesigen Bereich verschiedener Farben umfasst, der weit über das schmale Band hinausgeht, das wir mit unseren Augen sehen können.

Weißer Zwerge sind also tief im Inneren ihrer planetarischen Nebel vergraben und sind so heiß, dass sie nur wenig sichtbares Licht, stattdessen vorwiegend Licht im UV- und Röntgenbereich des Spektrums aussenden. Daher ist es nicht überraschend, dass der superheiße Stern im Zentrum des Red-Spider-Nebels viele Jahrzehnte unentdeckt blieb. Dies änderte sich erst 2005, als Mikako Matsuura und ihre Kolleginnen und Kollegen das leistungsstarke Hubble-Weltraumteleskop, das sich in einer Umlaufbahn außerhalb der Erdatmosphäre befindet, dazu nutzten, einen winzigen Lichtfleck zu identifizieren, der dem Weißen Zwerg im Herzen des Red-Spider entsprach. In dieser und folgenden Studien gelang es Astronomen, Präzisionsmessungen der Farbe des Sterns durchzuführen und dann unter Anwendung des Planckschen Gesetzes der Schwarzkörperstrahlung dessen Temperatur zu berechnen.

Das Ergebnis war frappierend: Die Oberflächentemperatur des Sterns im Zentrum des Red-Spider-Nebels beträgt unglaubliche 300.000 °C. Damit ist er mehr als 50 Mal heißer als die Sonne und 30 Mal heißer als der mächtige Sirius.

Dieser faszinierende Stern mit seiner extremen Temperatur und dem spektakulär leuchtenden Nebel, der ihn umgibt, ist nicht nur von akademischem Interesse: Wenn wir auf den Red-Spider-Nebel blicken, sehen wir unser eigenes zukünftiges Schicksal! In etwa 5 Mrd. Jahren wird auch der