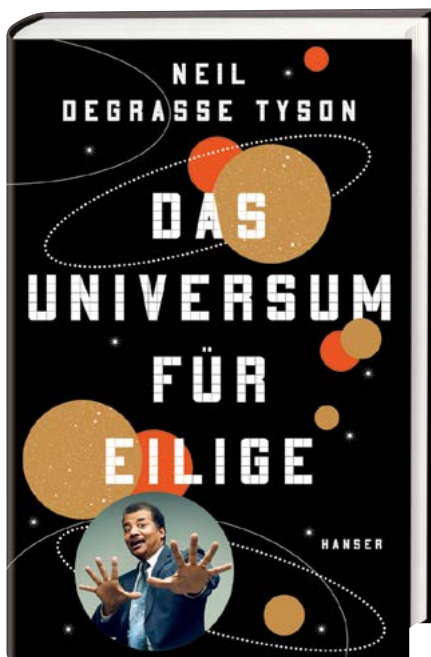


Leseprobe aus:
Neil deGrasse Tyson
Das Universum für Eilige



Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf
www.hanser-literaturverlage.de

© Carl Hanser Verlag München 2018

HANSER

INHALT

Vorwort	9
1. Die größte Geschichte aller Zeiten	13
2. Wie im Himmel, so auf Erden	28
3. Es werde Licht	40
4. Zwischen den Galaxien	52
5. Dunkle Materie	63
6. Dunkle Energie	80
7. Der Kosmos im Periodensystem	99
8. Alles, was rund ist	116
9. Unsichtbares Licht	128
10. Zwischen den Planeten	144
11. Exoplanet Erde	156
12. Gedanken zur kosmischen Perspektive	170
Dank	185

VORWORT

Seit einigen Jahren vergeht kaum eine Woche ohne eine Entdeckung kosmischen Ausmaßes, die es in die Schlagzeilen schafft – zuletzt, im Oktober 2017, das Echo einer gigantischen Explosion zweier 130 Millionen Lichtjahre entfernter Sterne. Die wachsende mediale Präsenz liegt daran, dass die Öffentlichkeit einfach immer mehr über Naturwissenschaften erfahren will. Dafür spricht eine ganze Menge: Fernsehshows mit naturwissenschaftlichem Bezug, Science-Fiction-Filme mit berühmten Schauspielern und namhaften Produzenten und Regisseuren sind Kassenschlager im Kino, Filmbiografien bedeutender Wissenschaftler haben sich fast schon zu einem eigenständigen Genre entwickelt. Auch Wissenschaftsfestivals, Science-Fiction-Kongresse und wissenschaftliche Dokumentationen im Fernsehen erfreuen sich weltweit großen Interesses. Und: Der erfolgreichste Film aller Zeiten spielt auf einem Planeten, der einen fernen Stern umkreist. In der Hauptrolle: eine Astrobiologin.

Die meisten Zweige der Wissenschaft haben sich in unserer Ära weiterentwickelt, keine jedoch so stark wie die Astrophysik. Und ich glaube, ich weiß, warum. Irgendwann im Leben hat jeder von uns einmal den Blick zum Nachthimmel

gerichtet und sich gefragt: Was hat das alles zu bedeuten?
Wie funktioniert das alles? Und wo ist eigentlich mein Platz
im Universum?

ALLES, WAS RUND IST

Abgesehen von Kristallen und zerklüfteten Gesteinsbrocken gibt es nicht viel im Kosmos, das in seiner natürlichen Form scharfe Kanten hätte. Zwar gibt es reichlich Objekte mit eigenartigen Formen, aber die Liste der runden Dinge ist nahezu endlos und reicht von einfachen Seifenblasen bis hin zum gesamten beobachtbaren Universum. Von allen Formen wird die Kugel von den einfachen physikalischen Gesetzen deutlich bevorzugt. Diese Tendenz ist so verbreitet, dass wir in Gedankenexperimenten oftmals von einer Kugel ausgehen, um eine grundlegende Einsicht zu gewinnen, selbst wenn wir wissen, dass das Ding, um das es geht, definitiv keine Kugel ist. Kurz gesagt: Wer die Sache mit der Kugel nicht versteht, kann auch nicht behaupten, die grundlegende Physik des betreffenden Objekts zu durchschauen.

Kugeln werden in der Natur durch bestimmte Kräfte gebildet, etwa durch die Oberflächenspannung, die bestrebt ist, Objekte in allen Richtungen möglichst klein zu halten. Die Oberflächenspannung der Flüssigkeit, die eine Seifenblase bildet, quetscht die Luft in alle Richtungen. Sie wird bei ihrer Bildung innerhalb weniger Augenblicke das Luftvolumen unter Einsatz der geringstmöglichen Oberfläche

einschließen. So wird daraus die stärkste mögliche Blase, weil sich der Flüssigkeitsfilm nicht noch weiter und damit dünner verteilen muss als absolut nötig. Mit ein wenig Erstsemester-Mathematik kann man zeigen, dass es nur eine Form gibt, die zur Umhüllung eines Volumens die geringste Fläche verbraucht: die perfekte Kugel. Man könnte jährlich Milliardenkosten für Verpackungsmaterial einsparen, wenn Versandkisten oder Nahrungsmittelverpackungen im Supermarkt allesamt Kugeln wären. Der Inhalt einer Großpackung Cornflakes mit 750 Gramm würde z. B. locker in einen kugelförmigen Karton mit bloß ca. 20 cm Durchmesser passen. Dummerweise wären gewisse praktische Folgen vermutlich nicht ganz im Sinne des Erfinders – schließlich will niemand seinem Einkauf im Supermarkt hinterherrennen, wenn die Packung aus dem Regal fällt und den Gang hinunterkullert.

Auf der Erde können Kugellager entweder maschinell hergestellt werden, oder man füllt einfach eine vorgegebene Menge geschmolzenes Metall oben in einen langen Schaft ein. Der Metalltropfen wird sich in unterschiedlich gewellter Form nach unten bewegen, bis er die Form einer Kugel annimmt. Natürlich braucht er genug Zeit zum Aushärten, bevor er am unteren Ende des Schafts ankommt. In der Schwerelosigkeit einer die Erde umkreisenden Raumstation würde man einfach eine exakte Menge geschmolzenen Metalls aus einer Düse herauspritzen und hätte alle Zeit der Welt. Die Tropfen schweben durch den Raum, während sie abkühlen,

und härten als perfekte Kugeln aus – die Oberflächenspannung erledigt die ganze Arbeit.



Bei großen kosmischen Objekten tun sich Schwerkraft und Energie zusammen, um aus Objekten Kugeln zu machen. Die Schwerkraft ist die Kraft, die dafür sorgt, dass Materie in alle Richtungen kollabiert, aber die Schwerkraft gewinnt nicht immer – chemische Bindungen fester Körper sind sehr stark. Der Himalaja wuchs dank der Widerstandsfähigkeit des Gesteins in der Erdkruste gegen die irdische Schwerkraft nach oben. Aber bevor Sie sich jetzt von den mächtigen Bergen der Erde allzu sehr beeindruckt lassen, denken Sie daran, dass die Höhenausdehnung von den tiefsten Gräben in den Ozeanen bis zu den höchsten Bergen nur knapp 20 Kilometer beträgt, der Durchmesser der Erde aber etwa 12700 Kilometer. Anders als von den winzigen, auf der Erdoberfläche wuselnden Menschen wahrgenommen, ist die Erde, als kosmisches Objekt betrachtet, bemerkenswert glatt. Könnte man mit einem überdimensionalen Finger über die Erdoberfläche samt Ozeanen streichen, die Erde würde sich anfühlen wie eine Billardkugel. Teure Globen, die die erhabenen Teile der Landmasse reliefartig hervorheben, überzeichnen die realen Verhältnisse ganz enorm. Deshalb ist die Erde, trotz all der Berge und Täler und trotz der leichten Abflachung an beiden Polen, für einen Betrachter aus dem Weltraum von einer perfekten Kugel nicht zu unterscheiden.

Auch sind die Berge auf der Erde verglichen mit manchen Bergen in unserem Sonnensystem geradezu mickrig. Olympus Mons, der höchste Berg auf dem Mars, ist knapp 22 000 Meter hoch und hat an seinem Fuß einen Durchmesser von fast 600 Kilometern. Daneben sieht Mount McKinley in Alaska aus wie ein Maulwurfshügel. Das kosmische Bergbau-Rezept ist simpel: Je schwächer die Schwerkraft auf der Oberfläche des Objekts, desto höher können die Berge aufragen. Der Mount Everest hat in etwa die maximale Höhe, die ein Berg auf der Erde überhaupt erreichen kann, bevor die unteren Felsschichten aufgrund ihrer eigenen Plastizität unter dem gewaltigen Gewicht des Berges nachgeben.

Wenn ein massives Objekt ausreichend Oberflächengravitation besitzt, widerstehen die chemischen Bindungen in seinem Gestein der Kraft seines Eigengewichts. Unter diesen Umständen ist praktisch jede Form möglich. Zwei bekannte und nicht kugelförmige Himmelskörper sind die beiden Marsmonde Phobos und Deimos, die eher an Kartoffeln erinnern. Auf dem ca. 26 Kilometer langen Phobos, dem größeren der beiden Monde, würde ein 70 Kilogramm schwerer Mensch weniger als 120 Gramm wiegen.

Im Weltraum zwingt die Oberflächenspannung einen Flüssigkeitstropfen in jedem Fall, eine Kugel zu bilden. Wann immer Sie ein kleines, massives Objekt sehen, das Ihnen verdächtig kugelförmig vorkommt, können Sie davon ausgehen, dass es diese Form im geschmolzenen Zustand angenommen hat. Besitzt der Tropfen eine sehr große Masse,

kann er aus allem Möglichen zusammengesetzt sein, und die Schwerkraft wird immer dafür sorgen, dass er die Form einer Kugel annimmt.

Große und massive Gasklumpen in der Galaxie können sich auch zu nahezu perfekten, gasförmigen Kugeln zusammenschließen, die wir als Sterne bezeichnen. Liegt jedoch die Kreisbahn eines Sterns zu nah an einem anderen Objekt mit signifikanter Gravitation, kann die Kugelform auch verzerrt werden, da Material aus dem Stern herausgerissen wird. »Zu nah« heißt in diesem Fall zu nah an der Roche-Grenze des Objekts – diese ist benannt nach Édouard Roche, einem Mathematiker aus der Mitte des 19. Jahrhunderts, der die Gravitationsfelder in der Umgebung von Doppelsternen eingehend untersucht hat. Die Roche-Grenze ist eine theoretische, hantelförmig gewölbte Doppelhülle, die jeweils zwei beliebige Objekte in wechselwirkenden Orbits umgibt. Verlässt gasförmiges Material eines Objekts seine theoretische Hülle, bewegt sich dieses Material zum zweiten Objekt hin. Das ist bei Doppelsternen sehr oft der Fall, wo dann einer von beiden irgendwann zu einem roten Riesen anschwillt und seine Roche-Grenze überschritten hat. Der rote Riese wird zu einer eindeutig nicht kugelförmigen Gestalt verzerrt, die an ein in die Länge gezogener *Hershey's Kiss* erinnert, eine tropfenförmige Praline. Darüber hinaus ist einer der beiden Sterne manchmal auch ein schwarzes Loch, dessen Position durch die Häutung seines Zwillingkörper sichtbar wird. Die spiralförmige Gaswolke heizt sich, nach-

dem sie den Riesen über dessen Roche-Grenze hinweg passiert hat, extrem auf und glüht noch einmal sichtbar auf, bevor sie sich für immer in das schwarze Loch verabschiedet.



Die Sterne der Milchstraßen-Galaxie bilden einen großen, flachen Kreis. Mit einem Verhältnis von 1000:1 zwischen Durchmesser und Dicke ist unsere Galaxie flacher als der flachste Schokoladenkeks. Ein Crêpe oder der Boden eines Flammkuchens kommt ihren Proportionen schon deutlich näher. Nein, die Scheibe der Milchstraße ist gewiss keine Kugel, aber wahrscheinlich war sie am Anfang mal eine. Die flache Form erklärt sich aus der Annahme, dass die Galaxie einst ein großer, kugelförmiger, langsam rotierender Ball aus kollabierendem Gas war. Während dieses Zusammenfallens drehte sich der Ball immer schneller und schneller, genau wie Eiskunstläufer schneller werden, wenn sie bei ihren Pirouetten die Arme anlegen oder nach oben strecken. Die Galaxie flachte sich auf natürliche Weise von Pol zu Pol ab, während die zunehmenden Zentrifugalkräfte in der Mitte den Kollaps auf der Mittelebene verhinderten. Wenn Ihr Pizzabäcker den Teig auf der Hand rotieren lässt, flacht er sich ebenfalls schön gleichmäßig ab – dreht er zu schnell, fliegt ihm der Teig um die Ohren.

Alle Sterne, die sich innerhalb der Milchstraße gebildet hatten, bevor dieser Kollaps stattfand, behielten ihre ursprünglichen Umlaufbahnen, die in steilem Winkel über die

Ebene hinaus führten. Das verbleibende Gas, das zusammenhält wie zwei heiße Marshmallows, die in der Luft zusammenstoßen, wurde in der Mitte der Ebene festgehalten und zeichnet für alle folgenden Generationen von Sternen verantwortlich, einschließlich der Sonne. Die heutige Milchstraße, die weder kollabiert noch expandiert, ist ein hinsichtlich der Gravitation ausgereiftes System, in dem man sich die umlaufenden Sterne oberhalb und unterhalb der Scheibe als Skelettüberreste der ursprünglichen kugelförmigen Gaswolke vorstellen kann.

Diese generelle Abflachung rotierender Objekte ist der Grund dafür, dass der Erddurchmesser von Pol zu Pol kleiner ist als der Durchmesser am Äquator. Viel macht das nicht aus: 0,3 Prozent oder ca. 40 Kilometer. Aber die Erde ist klein, weitgehend massiv, und sie rotiert nicht allzu schnell. Bei 24 Stunden pro Tag befördert die Erde alles auf ihrem Äquator mit gerade einmal 1670 Kilometer pro Stunde. Denken Sie da mal zum Vergleich an den gigantischen, schnell rotierenden Gasplaneten Saturn. Der braucht für einen Tag ganze zehneinhalb Stunden, sein Äquator dreht sich mit 35 000 Stundenkilometern, und der Durchmesser von Pol zu Pol ist ein Zehntel flacher als der Äquatordurchmesser – diesen Unterschied erkennt man schon durch ein kleines, handelsübliches Teleskop. Man spricht hier auch von einem abgeplatteten Sphäroid. Körper, deren Durchmesser von Pol zu Pol größer ist als am Äquator, heißen gestreckte Sphäroide. Im Alltag geben Hamburger und Hotdogs exzellente (zuge-

geben auch etwas extreme) Beispiele für die beiden Formen ab. Ich weiß nicht, wie es Ihnen geht, ich jedenfalls muss immer an den Saturn denken, wenn ich in einen Burger beiße.



Wir nutzen die Wirkung der Zentrifugalkräfte auf Materie, um Einsicht in die Rotationsgeschwindigkeit extremer kosmischer Objekte zu gewinnen. Denken Sie an Pulsare. Bei einer Rotationsrate ab etwa tausend Umdrehungen pro Sekunde ist uns klar, dass sie nicht aus handelsüblichen Materialien bestehen können, sonst würden alle Fetzen fliegen. Würde ein Pulsar noch schneller rotieren, sagen wir mit 4500 Umdrehungen pro Sekunde, würde sich sein Äquator mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, und das verrät uns bereits, dass es hier um einen ganz besonderen Stoff gehen muss. Um sich einen Pulsar auszumalen, stellen Sie sich die Masse der Sonne vor, verpackt in eine Kugel von der Größe Manhattans. Schwer vorstellbar? Okay, dann stellen Sie sich vor, hundert Millionen Elefanten würden in eine Lippenstiftöhle passen, dann haben Sie die Größenordnung. Um auf eine solche Dichte zu kommen, müssen Sie den ganzen leeren Raum zusammenpressen, den Atome normalerweise um ihren Nukleus herum und zwischen ihren den Kern umkreisenden Elektronen haben. Damit zerquetschen Sie fast alle (negativ geladenen) Elektronen in die (positiv geladenen) Protonen und erzeugen so einen Ball aus (neutral geladenen) Neutronen mit absurd hoher Oberflächengravita-

tion. Unter derartigen Bedingungen braucht die Bergspitze eines Neutronensterns nicht höher als die Dicke eines Blatts Papier zu sein, und Sie müssten mehr Energie für den Aufstieg aufwenden, als Reinhold Messner braucht, um eine 5000 Kilometer hohe Steilwand hinaufzukraxeln. Kurz gesagt: Wo die Schwerkraft stark ist, neigen die Höhen dazu, abzusinken und Lücken aufzufüllen – ein fast schon biblisch anmutendes Phänomen, dem Herrn den Weg zu bereiten: »Alle Täler sollen erhöht werden, und alle Berge und Hügel sollen erniedrigt werden, und was uneben ist, soll gerade, und was hügelig ist, soll eben werden« (Jesaja 40,4). Eine bessere Gebrauchsanweisung zum Herstellen einer Kugel muss man lange suchen. Aus all diesen Gründen gehen wir davon aus, dass Pulsare die am perfektesten geformten Kugeln im Universum sind.



Bei besonders großen Galaxienhaufen kann uns die Gestalt als solche tiefe astrophysikalische Einsichten vermitteln. Manche sind zerklüftet, andere fadenförmig lang gezogen. Und wieder andere bilden riesige Scheiben. Keine dieser Formen hat sich in eine stabile – sphärische – gravitationsgestützte Form begeben. Manche sind so ausgedehnt, dass selbst die 14 Milliarden Jahre, die das Universum alt ist, nicht ausreichen, damit die dazugehörigen Galaxien einmal quer durch den Galaxienhaufen hätten hindurchgehen können. Wir halten fest: Der Galaxienhaufen entstand auf diese

Weise, weil die wechselseitigen gravitationsbedingten Begegnungen zwischen den verschiedenen Galaxien nicht genug Zeit zur Verfügung hatten, um die Form des Galaxienhaufen hinlänglich zu beeinflussen.

Andere Systeme hingegen, wie der wunderschöne Coma-Cluster, den wir bereits aus dem Kapitel über die dunkle Materie kennen, sagen uns sofort, dass die Gravitation den Galaxienhaufen zu einer Kugel geformt hat. Als Folge davon werden Sie mit der gleichen Wahrscheinlichkeit eine Galaxie finden, die sich in die eine Richtung bewegt, wie eine, die sich in die entgegengesetzte Richtung bewegt – oder in irgendeine andere. Wann immer dies der Fall ist, kann der Galaxienhaufen nicht besonders schnell rotieren – sonst würden wir eine Abflachung feststellen, wie bei unserer Milchstraße.

Der Coma-Cluster ist auch hinsichtlich der Gravitation ausgereift. Auch dies stellt übrigens eine Analogie zu unserer Milchstraße dar. Im Jargon der Astrophysiker heißt dieser Zustand »relaxed«, also entspannt. Das bedeutet allerlei, einschließlich der Tatsache, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit von Galaxien im Galaxienhaufen als exzellenter Indikator für die Gesamtmasse herangezogen werden kann, ganz gleich ob die Gesamtmasse des Systems aus den Objekten hervorgeht, auf deren Basis sich die Durchschnittsgeschwindigkeit errechnet, oder nicht. Aus genau diesen Gründen liefern »schwerkraftentspannte« Systeme ausgezeichnete Messsonden für nicht leuchtende, eben »dunkle« Materie.

Oder um es noch deutlicher auszudrücken: Ohne diese ent-
spannten Systeme wäre die Allgegenwart der dunklen Ma-
terie vielleicht bis zum heutigen Tag unentdeckt geblieben.



Die Mutter aller Kugeln – die größte und perfekteste von al-
len – ist das gesamte beobachtbare Universum. In jeder Rich-
tung, in die wir blicken, fliehen Galaxien vor uns mit Ge-
schwindigkeiten, die proportional zu ihrer Entfernung sind.
Wie wir in den ersten Kapiteln bereits gesehen haben, ist
dies die berühmte Signatur eines expandierenden Univer-
sums, wie es Edwin Hubble 1929 entdeckt hat. Nimmt man
Einsteins Relativität, die Lichtgeschwindigkeit, das expan-
dierende Universum und die räumliche Verdünnung von
Masse und Energie als Folge dieser Expansion zusammen,
ergibt sich eine Entfernung von uns in jeder Richtung, bei
der die Fluchtgeschwindigkeit einer Galaxie der Lichtge-
schwindigkeit entspricht. In dieser Entfernung und darüber
hinaus verliert jedes mit Leuchtkraft ausgestattete Objekt
sämtliche Lichtenergie, bevor dieses Licht uns erreicht. Das
Universum über diesen sphärischen »Rand« hinaus bleibt
damit unsichtbar und, soweit wir wissen, unserer Erkennt-
nis verschlossen.

Es gibt eine Variation der stets beliebten Idee eines Mul-
tiversums, bei der mehrere Universen, die das Multiversum
bilden, keine völlig separaten Universen sind, sondern iso-
lierte, nicht miteinander interagierende Bereiche des Raums

innerhalb eines einzigen, kontinuierlichen Raum-Zeit-Gefüges – ähnlich wie Schiffe im offenen Meer, die so weit voneinander entfernt sind, dass ihre kreisförmigen Horizonte sich nicht schneiden. Aus der Sicht jedes einzelnen dieser Schiffe (ohne zusätzliche Daten) ist es das einzige Schiff im gesamten Ozean, und doch befahren sie alle das gleiche Gewässer.



Sphäroide sind in der Tat fruchtbare theoretische Hilfsmittel, die uns Einsicht in diverse astrophysikalische Probleme gewähren. Man sollte es mit der Begeisterung für die Kugeln aber nicht übertreiben. Ich erinnere mich an den halb ernst gemeinten Witz über die Steigerung der Milcherzeugung auf einer Farm: Der Experte für Viehzucht sagt: »Denken Sie an die Bedeutung des Futters!« Der Techniker sagt: »Optimieren wir die Melkmaschinen!« Der Astrophysiker würde zweifellos sagen: »Probieren wir es doch mit kugelförmigen Kühen!«