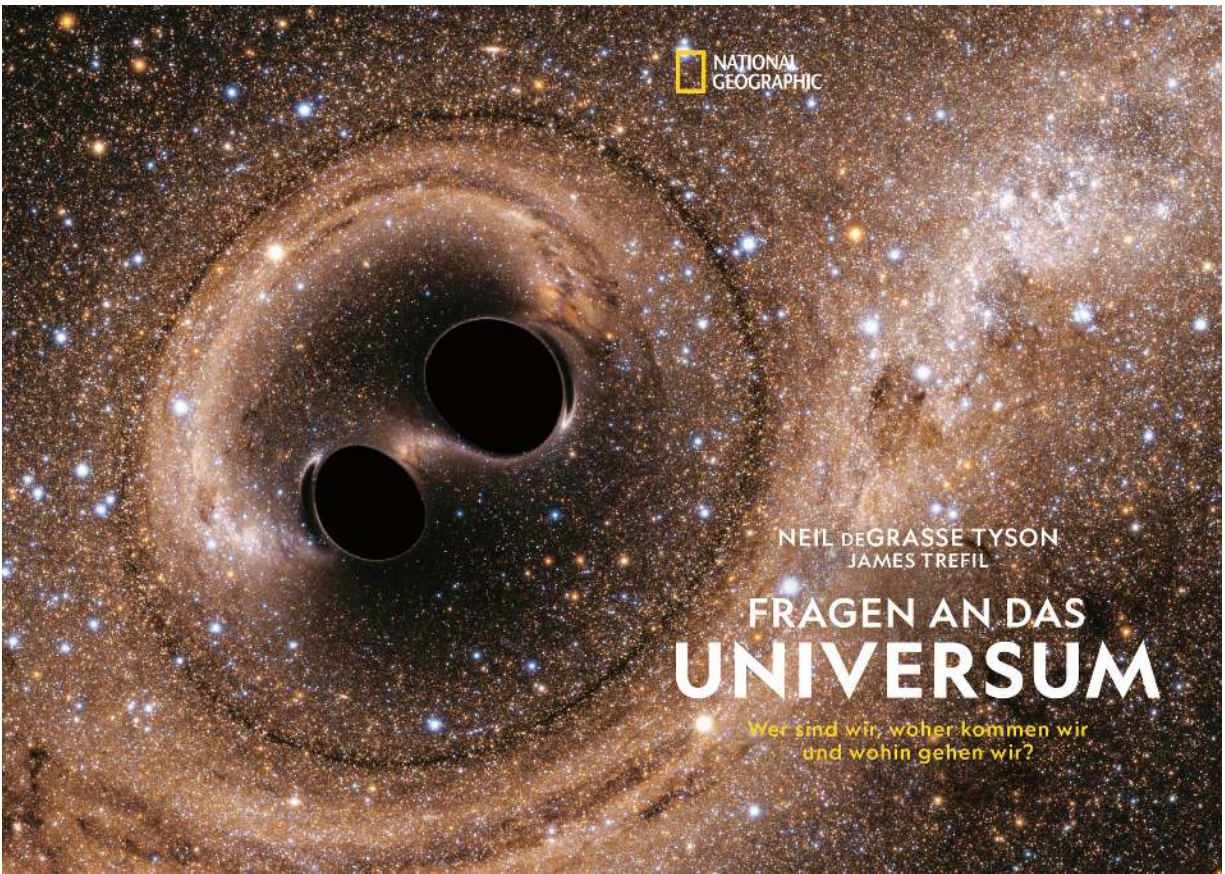




NEIL DEGRASSE TYSON
JAMES TREFIL

FRAGEN AN DAS UNIVERSUM

Wer sind wir, woher kommen wir
und wohin gehen wir?



Computersimulation vom Zusammenstoß zweier Schwarzer Löcher.

IMPRESSUM

Verantwortlich: Susanne Caesar

Übersetzung aus dem Amerikanischen:

Dieter Löffler

Lektorat: Dr. Juliane Braun

Korrektur: Constanze Lüdicke

Satz: A flock of sheep, Marcus Taeschner

Umschlagadaption: Sophie Schillo

Herstellung: Bettina Schippel

Printed in Slovenia by Florjancic

Unser komplettes Programm finden Sie unter



Sind Sie mit diesem Titel zufrieden? Dann würden wir uns über Ihre Weiterempfehlung freuen.

Erzählen Sie es im Freundeskreis, berichten Sie Ihrem Buchhändler oder bewerten Sie bei Onlinekauf. Und wenn Sie Kritik, Korrekturen, Aktualisierungen haben, freuen wir uns über Ihre Nachricht an Bruckmann Verlag, Postfach 40 02 09, D-80702 München oder per E-Mail an lektorat@verlagshaus.de.

In diesem Buch wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und andere Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

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

Reproduktionen, Speicherungen in Datenverarbeitungsanlagen oder Netzwerken, Wiedergabe auf elektronischen, fotomechanischen oder ähnlichen Wegen, Funk oder Vortrag, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Copyrightinhabers.

NATIONAL GEOGRAPHIC and Yellow Border Design are trademarks of the National Geographic Society, used under license.

Titel der englischen Originalausgabe: *Cosmic Queries. Star Talk's Guide to Who We Are, How We Got Here, and Where We're Going.*

Copyright © 2021 Curved Light Productions, LLC. All rights reserved. Reproduction of the whole or any part of the contents without written permission from the publisher is prohibited.

Layout Innenteil: Melissa Farris & Sanaa Akkach
Bildnachweis: [S. 299-301](#)

Deutsche Ausgabe veröffentlicht von NG
Buchverlag GmbH, Infanteriestr. 11a, 80797
München. Lizenznehmer von National Geographic Partners,
LLC

This edition is published by NG Buchverlag
GmbH through licensing agreement with National
Geographic Partners, LLC.

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-86690-780-5

eISBN 978-3-86690-811-6



Seit ihrer Gründung 1888 hat sich die National Geographic Society weltweit an mehr als 14 000 Expeditionen, Forschungs- und Schutzprojekten beteiligt. Die Gesellschaft erhält Fördermittel von National Geographic Partners LLC, unterstützt unter anderem durch Ihren Kauf. Ein Teil der Einnahmen dieses Buches hilft uns bei der lebenswichtigen Arbeit zur Bewahrung unserer Welt. Das legendäre NATIONAL GEOGRAPHIC-Magazin erscheint monatlich. Darin veröffentlichen namhafte Fotografen ihre Bilder und renommierte Autoren berichten aus nahezu allen Wissensgebieten der Welt. National Geographic im TV ist ein Premium Dokumentations-Sender, der ein informatives und unterhaltsames Programm rund um die Themen Wissenschaft, Technik, Geschichte und Weltkulturen bereithält. Falls Sie mehr über National Geographic wissen wollen, besuchen Sie unsere Website unter www.nationalgeographic.de.

***Für alle, die neugierig
und rastlos sind
bei der Suche
nach unserem Platz
im Universum***



Biolumineszenz vor der Küste des Acadia-Nationalparks in Maine, darüber der
Sternenhimmel – vereintes Leuchten in einer Fotomontage.

INHALT

Vorbemerkung des Autors

Einführung

Kapitel 1: Was ist unser Platz im Universum?

Kapitel 2: Woher wissen wir, was wir wissen?

Kapitel 3: Wie wurde das Universum, was es ist?

Kapitel 4: Wie alt ist das Universum?

Kapitel 5: Woraus besteht das Universum?

Kapitel 6: Was ist Leben?

Kapitel 7: Sind wir allein im Universum?

Kapitel 8: Wie fing alles an?

Kapitel 9: Wie wird alles enden?

Kapitel 10: Was hat das Nichts mit allem zu tun?

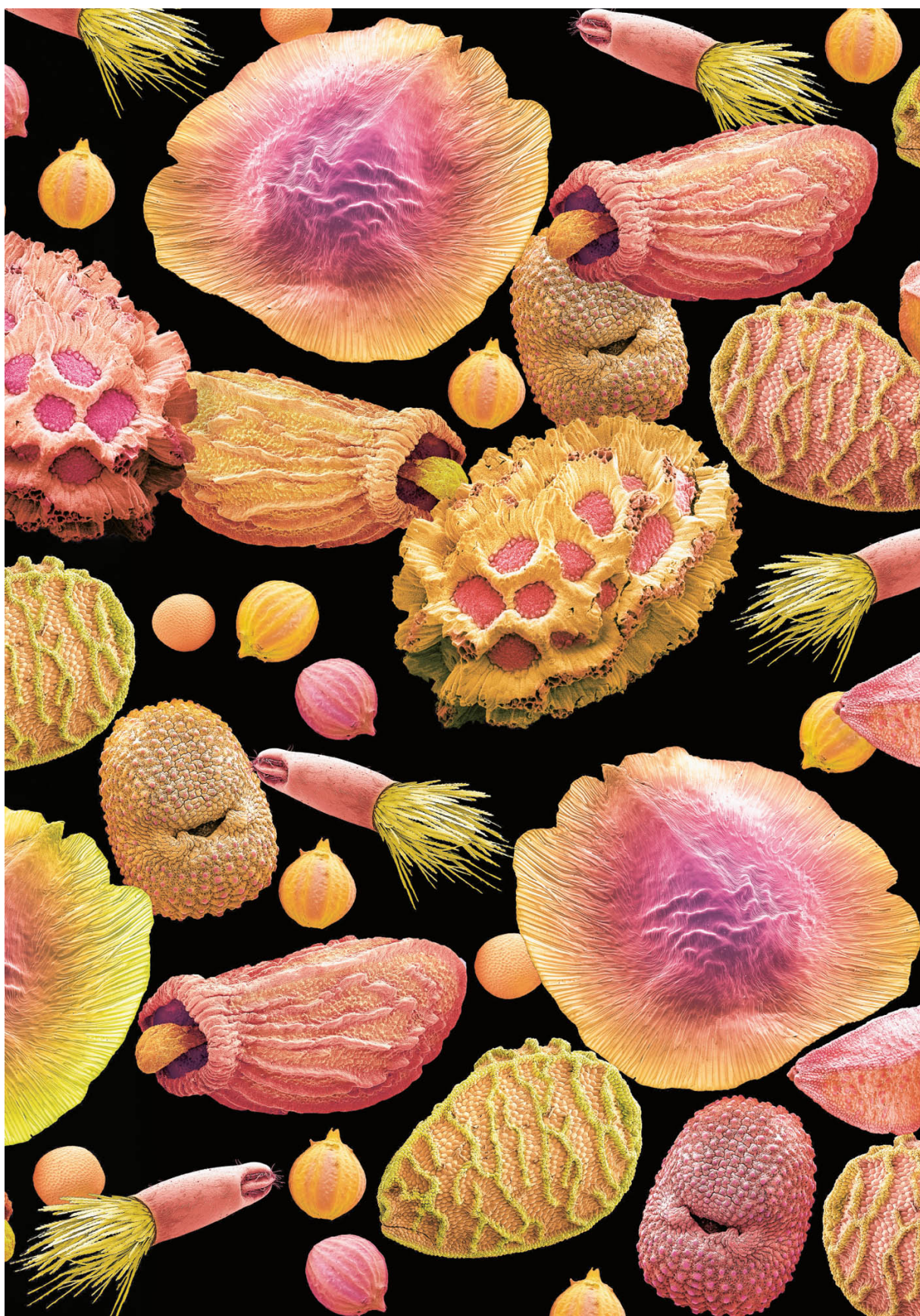
Danksagung

Weiterführende Literatur

Bildnachweis

Register

Über die Autoren



Die Diversität des Lebens auf der Erde: eine kolorierte Montage aus Bildern
häufiger Pflanzensamen unter dem Elektronenmikroskop.

VORBEMERKUNG DES AUTORS

StarTalk ist eine US-amerikanische Talkshow, die auf mehreren Kanälen (Radio, Podcast, Fernsehen) zu Hause ist und Wissenschaft, Comedy und Popkultur vereint. In einer ihrer Sparten, den »Kosmischen Fragen«, beantworten wir während der Show Anfragen der Fans. Zu unserer Überraschung und Freude wurde dies zum beliebtesten Format. Aber die Zeit reicht nicht immer, um alles tiefgehend zu besprechen, denn darunter sind Themen wie: Wo kommt das alles her? Woraus besteht das alles? Sind wir im Universum allein? Wie wird das alles enden? Dafür braucht es ein Buch – aufgebaut und geschrieben im informativen, aber flotten Stil von *StarTalk*. Mein Co-Autor, Wissenschaftskollege und langjähriger Physiklehrer James Trefil schuf wichtige Grundlagen dafür und Lindsey N. Walker, Produzentin und Hauptautorin von *StarTalk*, arbeitete unermüdlich daran, dass das Buch den Stil des Podcasts widerspiegelt.



Ein Schaubild für ein Buch von 1719, das die alte, erdzentrierte Weltsicht zeigt.

EINFÜHRUNG

Das Universum ist ein Quell unbegrenzter Erkundungen und nimmt in unserer kollektiven Neugier einen ganz besonderen Platz ein. Das wird kaum jemand abstreiten. Zugleich ist es aber auch ein Quell unbegrenzter kollektiver Unwissenheit. Kein Wunder, dass der Himmel Heimat der meisten Götter ist, die die Menschen seit Jahrtausenden verehrten. Den Göttern gemeinsam ist die Aufgabe, all das zu kontrollieren, was uns Sterblichen geheimnisvoll erscheint und außerhalb unserer Kontrolle liegt.

In dem weiten Raum zwischen unserer großen Neugierde und den Grenzen unseres Wissens liegen eine Menge Fragen. Einige davon stellen wir uns alle – und einige von uns stellen sich alle davon. Nicht auf alle gibt es Antworten, und auch die können unvollständig oder unzulänglich sein. Für die verbleibenden Fragen können wir uns auf der Erde und im Himmel umsehen, um dann mit Zuversicht und etwas Stolz zu verkünden, dass zumindest einiges im Universum durch den menschlichen Geist erfassbar ist. Doch wir müssen uns auch demütig eingestehen, dass mit dem wachsenden Wissen zugleich auch unsere Unwissenheit zunimmt.

Fragen an das Universum wird Ihre Neugier befeuern: mit den tiefgründigsten Fragen zu unserem Platz im Universum, die je jemand stellte. Sie werden aber auch in den Strudel der Ungewissheit stürzen oder über Abgründen des Unwissens baumeln. Warum? Weil darin die wahre Quelle der Neugier liegt: im Nichtwissen –

zusammen mit dem einzigen Gegenmittel, der Wissbegierde. Angetrieben werden beide durch die Methoden und Instrumente der Wissenschaft – bis hin zu den Grenzen des Weltalls.

KAPITEL 1

WAS IST UNSER PLATZ IM UNIVERSUM?



Sonnenuntergang über dem Pazifik, von der Internationalen Raumstation aus gesehen.

- IST DIE ERDE EIN PLANET?
- ASTRONOMIE MIT EINEM STAB
- DIE PARALLAXEN-LÖSUNG

- **WIE GROSS IST DAS SONNENSYSTEM?**
- **HENRIETTA LEAVITT & DIE STANDARDKERZE**
- **GALAXIEN**
- **MILLIARDEN & ABERMILLIARDEN**
- **EIN LETZTES WORT**





Seit Jahrtausenden versuchen wir, unseren Platz im Kosmos zu verstehen.

1

Isaac Newton und Aristoteles gehen in eine Bar. Sie diskutieren angeregt darüber, was wirklich geschieht, wenn ein Objekt auf die Erde fällt. Beide stellen sich den Vorgang vor, doch sie sehen ihn völlig unterschiedlich.

In Aristoteles' Welt besteht alles aus vier Grundelementen: Erde, Luft, Feuer und Wasser. Das Objekt besteht nur aus Erde und keinem der anderen drei Elemente. Es hat das inhärente Verlangen, ins Zentrum des Universums zu streben – aus Aristoteles' Sicht zugleich das Zentrum der Erde. Für ihn ist es selbstverständlich, dass alle himmlischen Körper um die Erde kreisen, die selbst stillsteht. Das Objekt ist durch seine innere Natur dazu gezwungen zu fallen.

Für Newton ist es nicht wichtig, woraus das Objekt besteht, nur, dass es eine Masse hat. Er weiß, dass die Erde auf jedes Objekt auf seiner Oberfläche eine Anziehungskraft ausübt. Sein Gesetz der universellen Gravitation sagt ihm, dass alles wegen dieser Kraft auf die Erde fällt.

Er weiß zudem, dass diese Kraft bis in das Weltall reicht. Sie hält auch den Mond in seiner Umlaufbahn, der ohne

das konstante Zerren der Gravitation ins All davonfliegen würde.

Aristoteles bestellt einen Retsina, Newton einen Met. Über ihren Drinks diskutieren sie, wer recht hat. Newton schlägt einen einfachen Versuch vor: Nach seiner Theorie fällt alles gleich schnell auf die Erde – vernachlässigt man den Luftwiderstand. Für Aristoteles besitzt ein großes Objekt mehr »Erde« als ein kleines und fällt daher schneller, proportional zur Menge seiner Erdelemente. Sie bitten den Barman um einen Penny und eine Flasche Bourbon und stellen fest, dass beide trotz unterschiedlicher Masse gleich schnell fallen. Newton macht deutlich, dass die Überprüfung unserer Ideen durch Versuche der Kern wissenschaftlicher Methodik ist. Sie führt durch ihre Suche nach objektiver Wahrheit zu grundlegenden Veränderungen des Menschseins und des Verständnisses von unserem Platz im Universum. Aristoteles zahlt die Drinks und die zerbrochene Flasche Bourbon.

IST DIE ERDE EIN PLANET?

Die Kosmologie der antiken Griechen dominierte mehr als tausend Jahre das Denken über unseren Platz im Universum. Danach war die Erde die unbewegliche Mitte des Kosmos, die Heimat allen Lebens. Alle Himmelskörper, wie die Sonne und die Sterne, bewegten sich um die Erde herum. Irdische Unvollkommenheiten erstreckten sich auch nicht bis in den Himmel, Sonne und Mond galten als makellose Kugeln – die kristallinen Strukturen, die die Kugeln der Planeten besaßen, bewegten sich innerhalb anderer unsichtbarer perfekter Kugeln. Die Himmelssphären unterschieden sich von der Erde, bestanden aus einem anderen Stoff und funktionierten

nach anderen Gesetzen. Die Erde war nicht wirklich Teil des Kosmos, bis Isaac Newton diese Trennung überwand und unser Planet als Teil des Universums gesehen wurde.

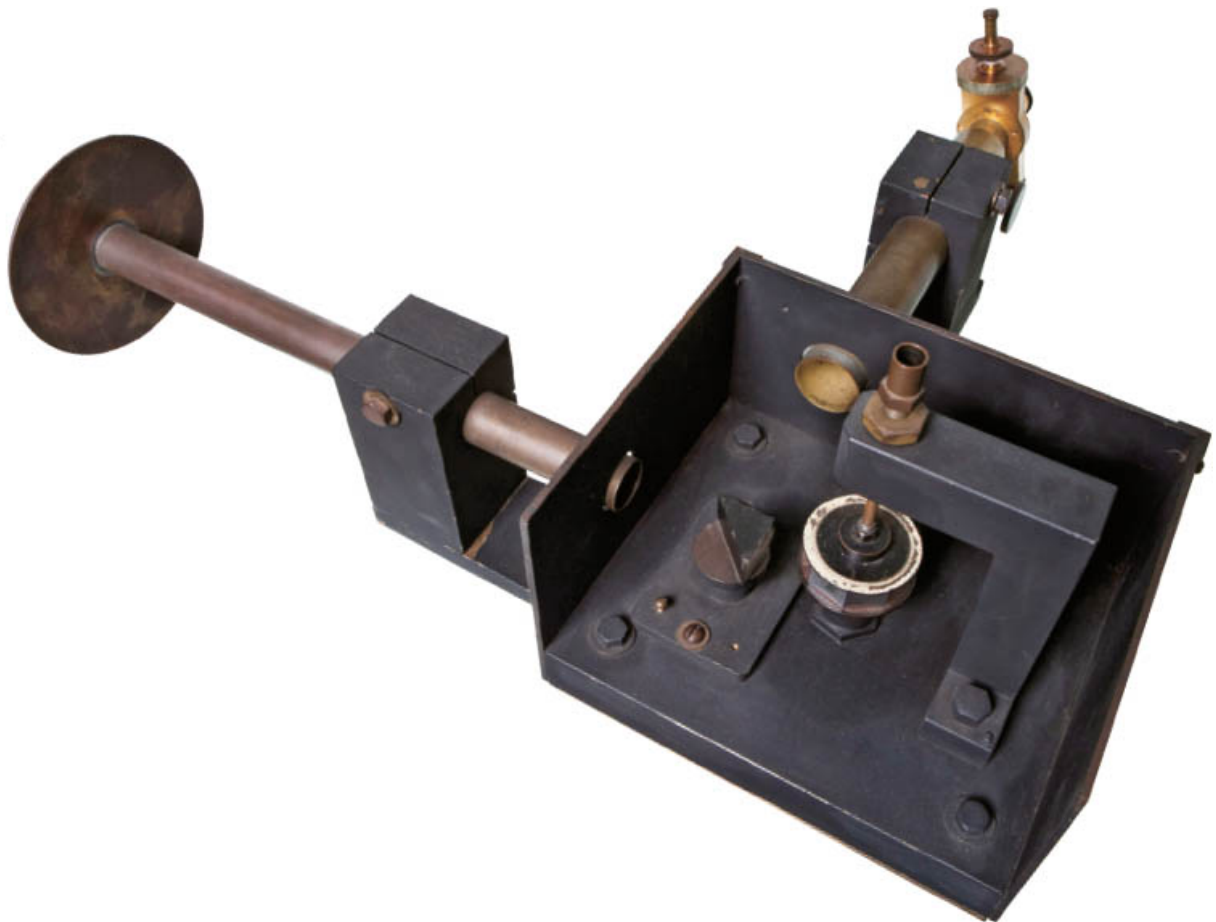
DAS BERÜHMTESTE GESCHEITERTE EXPERIMENT

Eines hatten Aristoteles und Isaac Newton gemeinsam: Beide glaubten, Äther – eine mysteriöse, unsichtbare Substanz – fülle den leeren Raum aus. Da Schallwellen ein Medium wie die Luft benötigen, um sich auszubreiten, nahmen die Physiker bis Ende des 19. Jahrhunderts an, auch Licht benötige ein Medium – den lichtpendenden Äther. Über Jahrhunderte erklärten die Geistesgrößen mit dem Äther das Unerklärliche. Aristoteles verkündete, die Himmelskörper kreisten in transparenten, kristallinen Sphären, in denen Äther den Zwischenraum ausfülle. Isaac Newton schlug vor, die Gravitation sei ein beständiger Strom von Äther zur Erde. Der französische Mathematiker René Descartes postulierte, unsichtbare Kräfte wie Magnetismus und die Tiden zerrten und drückten am Äther.

Doch 1887 lieferten der Chemiker Edward Morley und der Physiker Albert Michelson den ersten zwingenden Beweis gegen diese Vorstellung. Sie schlossen, wenn Äther den Raum um uns ausfüllte, müsste die Erdbewegung, würde man sie jeweils messen, durch jeweils unterschiedliche Lichtgeschwindigkeiten nachweisbar sein: wenn sich das Licht in dieselbe Richtung wie die Erde bewegt und in die entgegengesetzte Richtung. So wie wenn man die Geschwindigkeit eines Balls misst, den man von einem fahrenden Zug aus nach vorne oder nach hinten wirft. Einmal erhält man als Geschwindigkeit die Geschwindigkeit von Ballwurf plus Zugbewegung, im anderen Fall von

Zugbewegung minus Ballwurf. Würde sich Licht genauso verhalten?

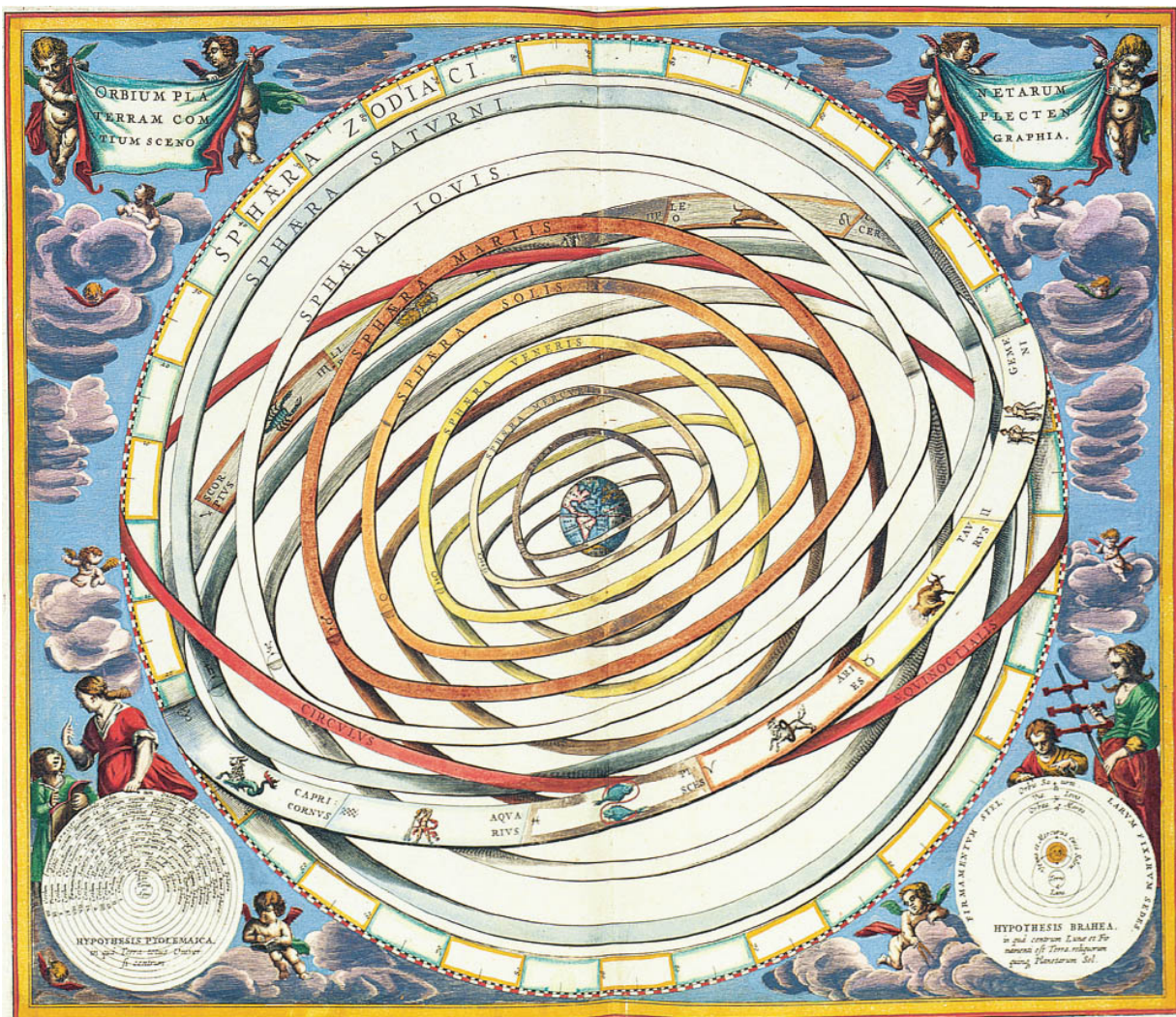
Um diese Frage zu beantworten und die Lichtstrahlen zu messen, erfand Michelson den Interferometer. Kein Äther war zu entdecken. Die Geschwindigkeit des Lichts blieb immer dieselbe. Dieses »gescheiterte« Experiment krepelte die Wissenschaft völlig um und führte letztendlich zur Entdeckung der speziellen Relativitätstheorie.



Ein Interferometer, wie es Michelson entwickelte.

Im Jahr 150 verfasste Claudius Ptolemäus, ein Philosoph und Mathematiker aus Alexandria, die umfassendste griechische Sicht auf das Universum, die wie vieles aus der

griechischen Wissenschaft auf Umwegen später Eingang in die Lehrpläne der mittelalterlichen Universitäten Europas fand. Zuerst wurde sein Buch im Haus der Weisheit in Bagdad ins Arabische übersetzt, später brachten es Kreuzfahrer nach Spanien, wo man es ins Lateinische übertrug, die Sprache der Gelehrten. Der arabische Titel *Almagest* (das Größte) zeigt seine Bedeutung und seinen Einfluss.



Der Mitte des 17. Jahrhunderts in Amsterdam publizierte *Himmelsatlas* oder *Harmonices Mundi* zeigt das ptolemäische Universum mit dem System konzentrischer Umlaufbahnen der Planeten um die Erde.



Neil deGrasse Tyson ✓

@neiltyson



Scientific Method is doing whatever it takes not to fool oneself into thinking what's true is false, or what's false is true.



90



1.6K



593

1:50 PM - Jul 18, 2012

Die wissenschaftliche Methode tut alles, damit man sich nicht einreden kann, dass Wahres falsch oder Falsches wahr ist.

In Ptolemäus' Modell war mächtig was los. Die Planeten bewegten sich in kristallinen Sphären um die Erde, und die wiederum wurden von Sub- und Sub-sub-Zyklen bestimmt, den sogenannten Epizykeln. Mit der Bestimmung der Umlaufgeschwindigkeiten all der Sphären und Epizykel erklärte er die Beobachtungen griechischer und babylonischer Astronomen in den Jahrhunderten vor ihm. Er konnte auch Finsternisse und andere Himmelsereignisse vorhersagen. Das System funktionierte. Kein Wunder, dass sein erdzentriertes Modell erst 1500 Jahre später ernsthaft infrage gestellt wurde.

Im griechischen System gab es sieben Himmelswanderer: Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, Sonne und Mond. Das griechische Wort für »Wanderer« ist *planetes*. Da die Erde nicht am Himmel zu sehen war, wurde sie nicht als Wanderer oder Planet betrachtet. Die Erde wanderte nicht in der Kristall-Sphäre mit – sie bewegte sich überhaupt nicht.

Für die alten Griechen war die Erde das fixe Zentrum des Kosmos, die Heimat allen Lebens. (Denken Sie an Aristoteles: Die fallende Flasche strebt zu diesem fixen Zentrum.) Was wir heute außerirdisches Leben nennen, hatte in ihrer Weltvorstellung keinen Platz. Alles jenseits

der Erde, etwa ein Exoplanet, benötigte eine weitere »Erde« mit einer eigenen Kristall-Sphäre – einen weiteren Kosmos. Wenn so etwas existieren würde, wie könnte dann ein Objekt wie die fallende Flasche sich entscheiden, zu welchem Zentrum es streben sollte, fragten sie sich. Sie folgerten: Es kann unzweifelhaft nur ein Zentrum, eine Erde, einen Kosmos geben.



Erdaufgang am 24. Dezember 1968, aufgenommen während des Fluges von Apollo 8, der ersten bemannten Mission zum Mond. Heutige Beobachtungen aus dem Weltraum bestätigen die Wissenschaft vergangener Jahrhunderte.

ASTRONOMIE MIT EINEM STAB

Wir wissen nicht, was Sie in der Schule lernten. Aber lassen Sie uns eins klarstellen: Im 15. Jahrhundert glaubte niemand, der auch nur ein wenig Bildung besaß, die Erde

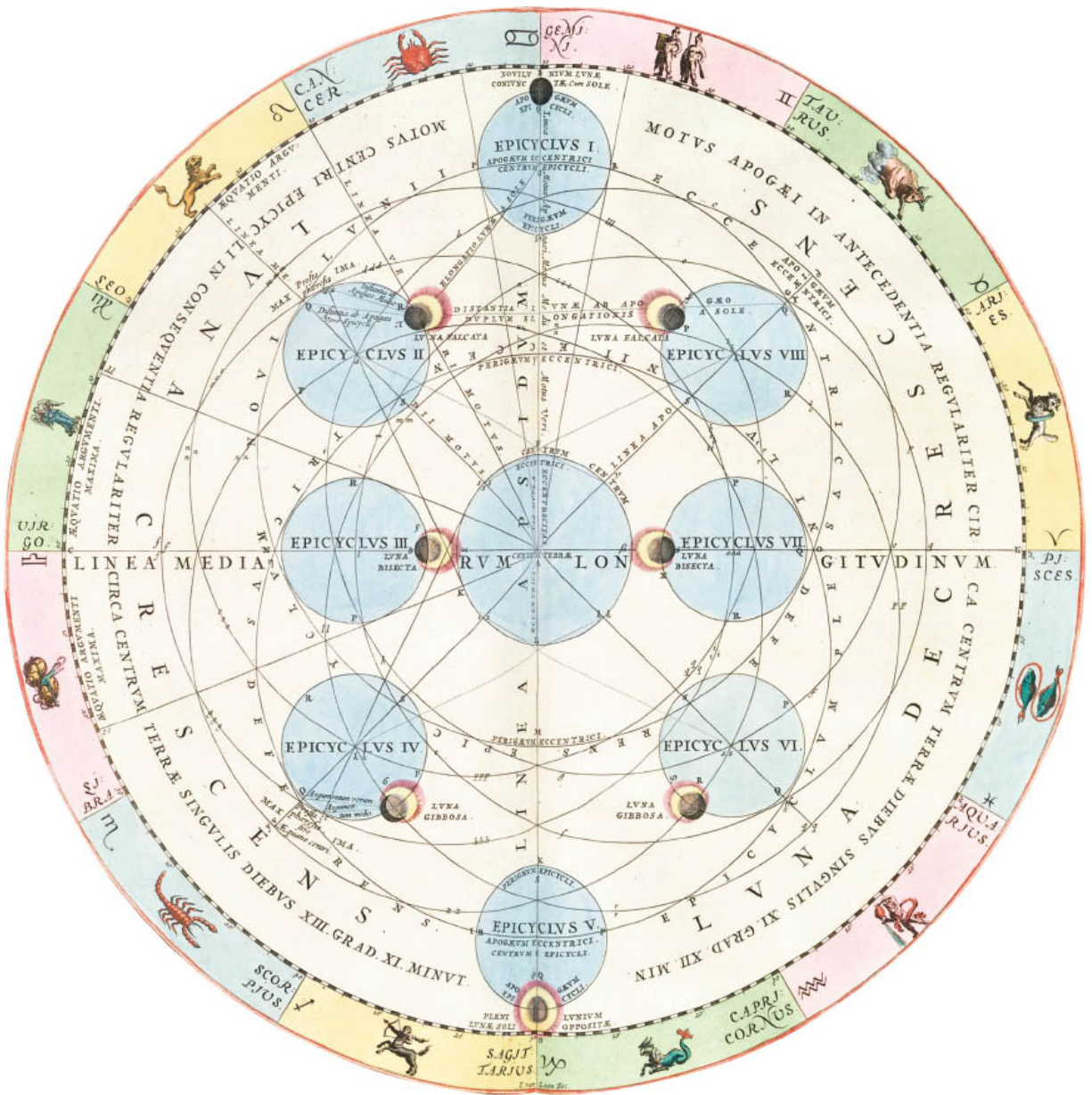
sei flach oder Kolumbus fiele über die Kante, wenn er zu weit segeln würde.

Ptolemäus widmete einen Abschnitt des *Almagest* der Vorstellung, »dass auch die Erde als Ganzes wahrnehmbar kugelförmig ist«. Er vermerkte unter anderem, dass Sonnenfinsternisse an verschiedenen Orten um das Mittelmeer herum zu verschiedenen Tageszeiten zu sehen sind. Wäre die Erde flach, würden sie sich überall gleichzeitig ereignen. Zudem sei bei Mondfinsternissen der Erdschatten auf dem Mond immer rund. Und eine Kugel ist die einzige Form, die unabhängig vom Winkel des Sonnenlichts einen runden Schatten wirft.

ERKLÄRUNGEN DURCH EPIZYKEL

Was geschieht wirklich, wenn der Merkur sich zurück bewegt? Im Gegensatz zu dem, was Ihnen Astrologen erzählen: nichts. Der Merkur bewegt sich nicht tatsächlich rückwärts, das sieht nur aufgrund der verschiedenen Umlaufbahnen von Merkur und Erde um die Sonne so aus. Genauso wie der Zug nebenan plötzlich rückwärts zu fahren scheint, obwohl nur Ihr Zug langsam anfährt.

Zu Ptolemäus' Zeiten erforderte die vermeintliche Rückwärtsbewegung eine Erklärung, die im geozentrierten Modell des Universums Sinn ergab. Um die periodische Rückwärtsbewegung der Planeten zu erklären, fügten die Astronomen kleinere Kreise, die Epizykel, in ihr System ein. Das sonnenzentrierte Modell des Universums vereinfachte das System und erklärte auf natürliche Weise die rückläufige Bewegung und viele andere beobachtbare Himmelsphänomene.



Epizykel innerhalb von Epizykeln: Die Modelle wurden immer komplexer.



Neil deGrasse Tyson ✓

@neiltyson



It continues to be true that Flat-Earthers have supporters all around the globe.



2.5K



12K



92.3K

4:27 PM · Oct 30, 2019

Nach wie vor haben »Flacherdler« auf dem ganzen Erdball ihre Anhänger.

Ptolemäus hielt auch fest, dass bei einem Schiff, das wegsegelt, immer zuerst der Rumpf hinter dem Horizont verschwindet, während die Masten noch sichtbar bleiben: Das Schiff segelt also über eine gekrümmte Erde.

Diesen Belegen können wir heute noch den Rose-Bowl-Beweis hinzufügen: Menschen an der Ostküste der Vereinigten Staaten, die das in Kalifornien ausgetragene Rose-Bowl-Footballspiel verfolgen, sehen ein Stadion im Licht des Spätnachmittags, während sie selbst bereits im Dunklen sitzen. Wäre die Erde flach, würde es überall gleichzeitig finster. So bekommen auch moderne Footballfans einen Beweis dafür, dass die Erde eine Kugel ist.

Einige Jahrhunderte vor Ptolemäus war schon für den Philosophen Eratosthenes von Kyrene klar, dass die Erde eine Kugel ist. Er hatte sogar eine geniale Idee, um ihren Umfang zu messen – und das mehr als tausend Jahre vor der Erfindung des Teleskops und bevor es so etwas wie ein astronomisches Instrument gab. Seine Arbeit ist ein Paradebeispiel für das »astronomische Arbeiten mit einem Stab«. Eratosthenes wusste, dass die Sonne zur Sommersonnwende am 21. Juni in Syene, dem heutigen