

# DUNKLE ENERGIE

Auf **Spurensuche** im All

## **Kosmologie**

Was das Weltall  
auseinandertreibt

## **DESI-Kollaboration**

Wird die Dunkle Energie  
schwächer?

## **Voids**

Hinweise aus  
dem Nichts





**Katharina Menne** ist Redakteurin für Physical Sciences und Biologie.

## Liebe Leserinnen und Leser,

im Oktober 2024 hat die Europäische Weltraumagentur ESA ein Video auf YouTube veröffentlicht, das die ersten Aufnahmen der Euclid-Mission zusammenfügt. Ausgehend von einem kosmischen Panorama, das neben der Milchstraße etwa 14 Millionen weitere Galaxien in den Blick nimmt, wird der Zuschauer per Zoom ins Universum hineingesogen, bis die Kamerafahrt schließlich bei einer einzelnen, etliche hundert Millionen Lichtjahre entfernten Spiralgalaxie endet. Das Video wurde in knapp vier Monaten mehr als zwei Millionen Mal aufgerufen. Rekord für die ESA!

Eigentlich aber wurden die Bilder nicht wegen ihrer atemberaubenden Schönheit aufgenommen, sondern um unser Verständnis des Kosmos zu erweitern. Denn noch immer gibt es viele offene Fragen. Was treibt das Weltall auseinander? Wird die Dunkle Energie schwächer oder bleibt sie konstant? Stimmt unser Standardmodell der Kosmologie? In dieser Ausgabe gehen wir auf Spurensuche im All, schauen auf laufende Missionen, neue Messdaten und stellen erstaunliche Erklärungsversuche vor.

Eine spannende Lektüre wünscht



# Welt



MIKHAIL ULYANNIKOV / STOCK.ADOBE.COM

## KOMPAKT

**Kosmologie**

**Weltraumteleskop Euclid**

**Schwarze Löcher**

**Dark Energy Survey**

**DESI-Kollaboration**

**Schwindende Dunkle Energie**

**Astrophysik**

## DUNKLE ENERGIE

- 04** Was das Weltall auseinandertreibt
- 24** Erste Karte mit Millionen von Galaxien
- 29** Kann hier mal jemand Licht machen?
- 43** 1500 Supernovae verraten, wie das Universum expandiert
- 46** Wird die Dunkle Energie schwächer?
- 56** Neue Messdaten bestätigen Verdacht
- 60** Hinweise aus dem Nichts



The background of the entire page is a deep blue, almost black, space filled with a complex network of glowing, filamentary structures. These filaments, which resemble the cosmic web, radiate from a central point and extend towards the edges of the frame. They are composed of many fine, parallel lines, giving them a textured, almost crystalline appearance. The colors of the filaments range from a deep, dark blue to a vibrant, fiery orange and yellow, with some areas showing a mix of these colors. The overall effect is one of vastness and dynamic energy, suggesting the large-scale structure of the universe.

KOSMOLOGIE

# Was das Weltall auseinandertreibt

VON RICHARD PANEK



**Seit ihrer Entdeckung vor einem Vierteljahrhundert ist der Ursprung der Dunklen Energie unvermindert rätselhaft. Neue Teleskope und Theorien sollen Erkenntnisse dazu bringen, warum sich der Kosmos immer schneller ausdehnt.**

**A**n einem Nachmittag zu Beginn des Jahres 1994 kamen im Computerraum eines Observatoriums in der chilenischen Küstenstadt La Serena zwei Astronomen ins Gespräch. Nicholas Suntzeff vom Cerro Tololo Inter-American Observatory und Brian Schmidt, der gerade seine Doktorarbeit am Center for Astrophysics des Smithsonian Astrophysical Observatory und des Harvard College Observatory abgeschlossen hatte, waren Spezialisten für Supernovae – explodierende Sterne. Suntzeff und Schmidt beschlossen, mit Hilfe ihrer Expertise endlich eine der grundlegenden Fragen der Kosmologie zu beantworten: Was ist das Schicksal des Universums?

In einem Weltall voller Materie, die sich gravitativ anzieht, müsste die Expansion des Raums – die mit dem Urknall be-

---

**Richard Panek** ist Wissenschaftsautor in New York und schreibt insbesondere über Themen aus der Kosmologie.

AUF EINEN BLICK

## **Hartnäckiges Mysterium**

**01** Der Urknall hat die Ausdehnung des Weltraums angestoßen. Da sich in einem Kosmos voller Materie alles gegenseitig anzieht, sollte der Vorgang eigentlich irgendwann aufhören.

**02** Jedoch zeigte sich 1998: Die Expansion wird mit der Zeit nicht etwa langsamer, sondern beschleunigt sich sogar! Die Ursache wurde Dunkle Energie genannt und seither intensiv untersucht.

**03** Trotz experimenteller Fortschritte blieb eine Erklärung bis heute aus. Eine umfangreichere und präzisere Datengrundlage soll den Theorien bald neue Impulse liefern.

gonnen hat – irgendwann gebremst werden. Aber um wie viel? Würde die Verlangsamung gerade ausreichen, um den Kosmos schließlich zum Stillstand zu bringen? Oder würde sich die Ausdehnung irgendwann sogar umkehren und die Entwicklung seit dem Urknall gewissermaßen wieder rückwärts ablaufen?

Suntzeff und Schmidt schnappten sich das nächstbeste Blatt Papier und schmierten einen Plan. Sie notierten die nötigen Teleskope, die zu rekrutierenden Kollegen und die zu delegierenden Aufgaben.

Zur selben Zeit, etwa 9600 Kilometer entfernt, hatte eine Arbeitsgruppe am Lawrence Berkeley National Laboratory in Kalifornien unter der Leitung von Saul Perlmutter das gleiche Ziel. Auch sie verfolgte einen Ansatz, der sich auf Supernovae stützte. Suntzeff und Schmidt wussten von Perlmutters Supernova Cosmology Project (SCP). Aber ihnen war auch bekannt, dass dessen Team hauptsächlich aus Physikern bestand, die sich viele astronomische Techniken erst noch im Schnellverfahren selbst beibringen

mussten. Schmidt und Suntzeff hofften, mit ihrer Routine den Rückstand aufzuholen.

Das gelang ihnen gerade noch rechtzeitig. 1998 kamen die beiden rivalisierenden Teams unabhängig voneinander zu demselben völlig überraschenden Ergebnis: Die Ausdehnung des Universums verlangsamt sich nicht etwa. Sie läuft beschleunigt ab!

Die Ursache für diesen Effekt heißt seither Dunkle Energie. Die Bezeichnung ist gleichermaßen nichts sagend wie allumfassend, und sie klingt fast wie ein Witz – einer, der auf unsere Kosten geht. Denn es scheint, als würde die Dunkle Energie sogar zwei Drittel der gesamten Masse und Energie im Universum ausmachen. Unterdessen blieb all die Jahre völlig rätselhaft, worum es sich dabei überhaupt handeln könnte.

Das heißt nicht, die Wissenschaft hätte seit einem Vierteljahrhundert keine Fortschritte bei den Untersuchungen des Phänomens gemacht. Von 1998 an sammelten sich immer überzeugendere Be-

lege für die Existenz der Dunklen Energie an. Die Bemühungen, ihre Natur zu ergründen oder sie zumindest genauer zu vermessen, bestimmten weiterhin viele kosmologische Beobachtungen und inspirieren zu immer ausgeklügelteren Methoden.

Bereits 1998 war schnell klar, dass die Dunkle Energie ein existenzielles Problem darstellt. Dabei geht es nicht nur um das Schicksal des Universums, sondern auch um die Zukunft der Physik schlechthin.

### **Das Rätsel der kosmischen Balance**

Denn grundsätzlich stellt sich schon seit der Einführung von Isaac Newtons universellem Gravitationsgesetz die Frage, warum ein Universum voller sich gegenseitig anziehender Materie noch nicht in sich zusammengestürzt ist. Im Jahr 1693, sechs Jahre nach der Veröffentlichung seiner »Philosophiae Principia Naturalis Mathematica«, räumte Newton gegenüber einem Geistlichen ein, die Annahme eines Universums im immer währen-

# Einsteinsche Feldgleichungen

Der Term Lambda ( $\Lambda$ ) entspricht einer kosmologischen Konstanten, mit der sich die Expansion des Weltraums beschreiben lässt

$$G_{\mu\nu} + g_{\mu\nu} \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

- Der Einstein-Tensor  $G_{\mu\nu}$  enthält Informationen über die Krümmung der Raumzeit
- Der metrische Tensor  $g_{\mu\nu}$  definiert die Struktur der Raumzeit
- $G$  ist die Gravitationskonstante
- $c$  steht für die Lichtgeschwindigkeit
- Der Energie-Impuls-Tensor  $T_{\mu\nu}$  behandelt Energie und Impuls von Masse und Strahlung

den Gleichgewicht sei gleichbedeutend damit, »nicht nur eine Nadel auf ihrer Spitze zu balancieren, sondern eine unendliche Anzahl von ihnen (so viele, wie es Teilchen in einem unendlichen Raum gibt)«. Er fügte hinzu: »Doch ich halte das durch Betreiben einer göttlichen Macht für möglich.«

»Das war für die theoretische Physik eine große verpasste Gelegenheit«, schrieb Stephen Hawking 1999 in einem Beitrag zu den »Principia«. »Newton hätte die Ausdehnung des Universums vorher-sagen können.« Gleiches gilt für Einstein. Als dieser 1917 seine allgemeine Relativitätstheorie auf die Kosmologie anwandte, stand er vor demselben Problem. Im Gegensatz zu Newton zog Einstein jedoch nicht Gott heran, sondern fügte sei-

**EINSTEINSCHES FELDGLEICHUNGEN** | Die Gleichungen aus der allgemeinen Relativitätstheorie verknüpfen die Struktur von Raum und Zeit mit der darin enthaltenen Materie und Energie.