KOSMOLOGIE

Beben im Raumzeitgefüge

Mit einem Teleskop am Südpol haben Forscher Signale von der Geburt des Universums aufgefangen. Die einzigartigen Messungen bestätigen kühnste Vermutungen, was in der Sekunde null geschah.

Teleskopgebäude auf der Amundsen-Scott-Südpolstation

KEITH VANDERLINDE

Es gibt keine schönere Art, einem den Urlaub zu vermasseln“, sagt Andrei Linde und strahlt. Der Physiker von der kalifornischen Stanford University und seine Frau waren bereits auf Ferien eingestellt, als unvermittelt Lindes Kollege Chao-Lin Kuo in der Tür stand. Ohne große Vorrede platzte Kuo mit der Nachricht heraus: „r = 0,2!“

Am Karibikstrand konnte Linde dann an nichts anderes mehr denken.

Es gibt nicht viele Menschen, die mit der kryptischen Botschaft etwas hätten anfangen können. Für Linde aber war sofort klar: Kuo und seine Mitstreiter hatten mit ihrem Radioteleskop in der Antarktis ein Signal vom Schöpfungsmoment des Universums empfangen. r ist ein Parameter, der gleichsam die Wucht des Urknalls beschreibt – Kuos Team war dem Wesen des Big Bang auf der Spur.

Mehr als 30 Jahre hatte Linde, 66, auf diesen Augenblick gewartet, nun stand er plötzlich vor der Krönung seines Lebenswerks. Linde ist einer der Väter der sogenannten Inflationstheorie, die beschreibt, wie in den ersten Sekundenbruchteilen nach dem Urknall die entscheidenden Weichen für die weitere Entwicklung gestellt wurden. Und mit der von Kuo verkündeten Entdeckung ist diese Theorie nun so gut wie bewiesen.

Nach ein paar unruhigen Urlaubstagen flog Linde nach Boston weiter. Er wollte dabei sein, wenn Kuo und seine Kollegen ihre spektakulären Daten vorstellen.

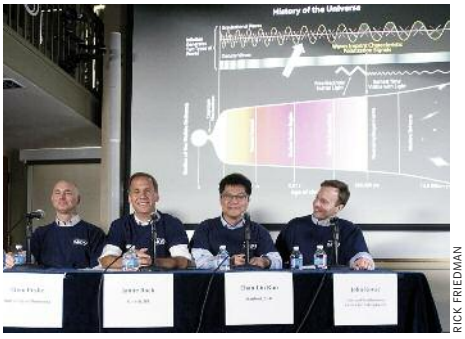
Auch sonst hatte die Nachricht viele Forscher ins Phillips Auditorium des Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics gelockt. Robert Wilson, 78, etwa wollte sich diesen Augenblick ebenfalls nicht entgehen lassen. Vor 50 Jahren hatte er als Erster ein elektromagnetisches Hintergrundrauschen aus dem Weltall aufgefangen. Nun lauschte er, welche neuen Geheimnisse seine Kollegen diesem Echo des Urknalls entlockt hatten.

„Wir haben eines der wichtigsten Ziele der Kosmologie erreicht“, verkündete Harvard-Physiker John Kovac, Leiter des Bicep2-Experiments am Südpol. Er und sein Team hätten die sogenannte Polarisation der kosmischen Hintergrundstrahlung vermessen und dabei die Signatur eines Bebens der Raumzeit aufgespürt, das im Moment seines Entstehens das Universum erschüttert haben muss. Das Radioteleskop Bicep2 erlaubt damit erstmals einen Blick direkt in die Werkstatt des Schöpfers. „Mit einer Mischung aus Ehrfurcht, Begeisterung und intensivem Stress“, so Kovac, hätten die Forscher die Daten analysiert.

Die weltweite Gemeinde der Physiker, sonst nicht gerade berühmt für Überschwang, hyperventilierte: „Eine der größten Entdeckungen in der Geschichte der Wissenschaft“, schwärmte der MIT-Kosmologe Max Tegmark. „So großartig, wie es nur sein kann“, jubelte Marc Kamionkowski von der Johns Hopkins University. „Größer als das Higgs“, urteilte der deutsche Gravitationsphysiker Karsten Danzmann.

Viele der großen Physik-Mysterien erscheinen plötzlich in neuem Licht. Welches war die Urkraft, die am Anfang allen Daseins stand? Wie entwickelten sich aus ihr in der Gluthitze des Weltenbeginns jene Kräfte, die wir heute beobachten? Und vor allem: Welche Rolle spielte dabei die kosmisch wirkmächtigste und zugleich rätselhafteste dieser Kräfte: die Gravitation? Für die Beantwortung all dieser Fragen liefern die Daten des Bicep2-Teleskops jetzt kostbare Hinweise.

Diese Entdeckung sei allemal einen Nobelpreis wert, begeisterte sich MIT-Physiker Alan Guth – und ein klein wenig mag er dabei auch an sich selbst gedacht haben. Schließlich ist er, neben Andrei Linde, einer der beiden Urheber des Inflationsgedankens.



RICK FRIEDMAN

Physiker des Bicep2-Teams*
„So großartig, wie es nur sein kann“

Am Ende der Pressekonferenz jedenfalls posierten Guth und Linde zusammen mit dem längst nobelpreisgekürten Wilson für die Fotografen, als gehörten sie alle drei bereits dem erlauchten Club an.

Am Anfang war ein Buch. Schon in der Highschool stieß John Kovac auf „Die ersten drei Minuten“, jenen Klassiker, in dem der theoretische Physiker Steven Weinberg ein Laienpublikum mit Einzelheiten der Weltenschöpfung bekanntmachte. Weinberg schildert darin, wie Astrophysiker ein elektromagnetisches Hintergrundrauschen am Himmel auffingen und daraus eine verblüffend detailreiche Chronik des Urknalls ableiteten.

Fasziniert las Kovac jene inzwischen legendäre Geschichte, wie Robert Wilson und sein Kollege Arno Penzias dieses Rauschen erstmals registriert und es für einen Fehler ihres Messinstruments gehalten hatten. Die beiden Forscher justierten und kalibrierten, sie umwickelten jede Kante mit Alufolie, und sie reinigten

* Clem Pryke, Jamie Bock, Chao-Lin Kuo, John Kovac bei der Veröffentlichung ihrer Forschungsergebnisse in Cambridge, Massachusetts.

die Teleskopschüssel von Taubenexkrementen. Das Rauschen aber war hartnäckiger als jeder Tinnitus.

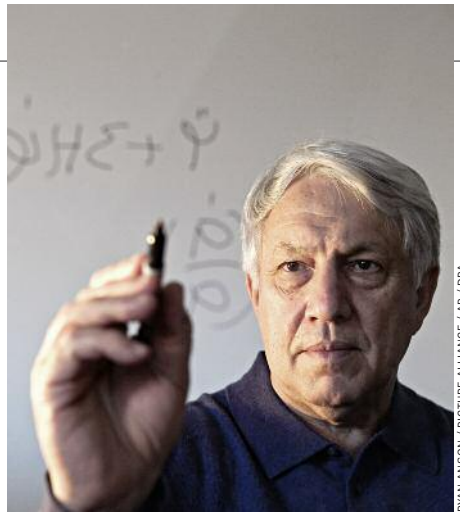
Erst Kollegen kamen auf die Idee, dass es sich hier um ein real existierendes Phänomen handeln könnte: Das eigenartige Signal am Himmel, so erkannten sie, stammte aus der Anfangszeit des Universums. Wilson und Penzias hatten eine Art Widerhall des Urknalls aufgefangen, der etwa 380 000 Jahre nach dem Beginn der Zeit entstanden war. „Das hat mich absolut in den Bann gezogen“, sagt Kovac. „Da baut man so ein verrücktes Teleskop und kann damit die grundlegendsten aller Probleme angehen.“

Jahre später, als Kovac in Princeton studierte, stand irgendwann der Bau von Mikrowellendetektoren auf dem Studienplan. „Und plötzlich begriff ich: ‚Das ist ja genau das, was ich als Schüler gelesen habe‘“, sagt er. Als Kovac dann auch noch erfuhr, dass es Pläne für ein Mikrowellenteleskop auf dem Südpol gab, wusste er endgültig, wo seine Bestimmung lag.

23-mal ist Kovac seither in die Antarktis geflogen. Immer wieder hat er sich im großen Lager der National Science Foundation in Neuseeland eine der Monturen für Polarforscher ausgeliehen und ist aufgebrochen zu einem der unwirtlichsten Orte des Planeten: Amundsen-Scott-Südpolstation heißt das Labor, in dem Glaziologen, Geophysiker, Atmosphärenforscher, Hochenergiephysiker und Astronomen großen Menschheitsrätseln nachgehen. Benannt ist die Station nach den beiden Pionieren, die sich vor gut hundert Jahren ein Wettrennen zu diesem südlichsten Punkt der Erde leisteten.

Mit einem Wettlauf begann 1990 auch Kovacs Forscherkarriere. „Und wir waren damals nah daran, ihn zu gewinnen“, meint er heute.

Seinerzeit versuchten die miteinander wetteifernden Forschergruppen, erste Strukturen in der kosmischen Hintergrundstrahlung zu finden. War das Rauschen tatsächlich so eintönig, wie es Wilson und Penzias zunächst erschienen war? Oder konnte man Schwankungen darin ausmachen – und seien sie auch noch so winzig? Die Physiker interessierten sich dafür, weil solche winzigen Verdichtungen im Urplasma als Kristallisationskeime gelten, aus denen später die Galaxien und Galaxienhaufen hervorgegangen sind.


RYAN ANSON / PICTURE ALLIANCE / AP / DPA

Inflationstheoretiker Linde
„Hässliche Physik macht keinen Spaß“

Damals unterlag das Team vom Südpol. Der erdumkreisende Satellit Cobe machte das Rennen. Als das Cobe-Team die ersten Fotos des Urknalls präsentierte, staunte die Welt, und Kovac begriff erst so richtig, von welch historischer Bedeutung die Frage war, an deren Antwort er arbeitete. Dass er allerdings gut 20 Jahre später selbst mit ähnlich spektakulären Neuigkeiten ins Rampenlicht treten würde, das ahnte er nicht.

Fast scheint es jetzt, als habe sich der Wettlauf von einst wiederholt: Abermals war es das Ziel, der Hintergrundstrahlung neue Geheimnisse zu entreißen – wenngleich mit deutlich raffinierterer Technik. Und wieder kam es zum Showdown zwischen erdgebundenen Teleskopen und einem Späher im Weltraum: Das Team des europäischen Satelliten Planck fahndet nach denselben Signalen wie Kovacs Forschergruppe am Südpol.

Kovacs Rolle allerdings hat sich seit den Zeiten der Cobe-Entdeckung gewandelt. Nun steht er nicht mehr als Forschungsnovize, sondern als Missionsleiter auf dem Abschlussbericht. Vor allem aber: Diesmal hatte Planck, der Satellit, das Nachsehen. Bicep2, Kovacs erdgebundenes Teleskop, war schneller.

Für Alan Guth, 67, ist die Veröffentlichung der Polarisationsdaten durch das Bicep2-Team besonders bedeutsam. Denn seit einem denkwürdigen Dezembertag vor knapp 35 Jahren ist sein Leben eng mit einer Idee verbunden, die durch die neuen Ergebnisse nun enormen Auftrieb bekommt: mit der Idee der Inflation.

Guth war damals theoretischer Physiker an der Cornell University im Bundesstaat New York, und er hatte nun schon eine ganze Weile damit verbracht, mit mäßigem Erfolg Universen zu basteln.

Sein Ziel war es, die Mängel zu beheben, unter denen das gängige Urknall-Modell krankte. Warum zum Beispiel sah das Weltall immer gleich aus, egal in welche Richtung man in den Himmel blickte? Eine Antwort vermochten die Urknall-Theoretiker damals nicht zu geben.

Vielleicht, so dachte Guth, ließen sich solche Probleme ja kurieren, wenn man an ein paar Schrauben in der frühesten Frühzeit des Universums drehte. Das mochte zwar etwas gewagt erscheinen, aber ermutigt fühlte sich Guth durch einen Vortrag, den Steven Weinberg, der gefeierte Autor der „Ersten drei Minuten“, in Cornell gehalten hatte. Weinberg hatte darin nicht nur über die erste Sekunde der Welt spekuliert, sondern sogar über das erste Milliardstel eines Milliardstels dieser Sekunde. „So verrückt das auch klang“, sagt Guth, „wenn Steven Weinberg so etwas machte, dann konnte es nicht gar so verrückt sein.“

Signal aus dem Schöpfungsmoment

Wie der Urknall Spuren hinterließ

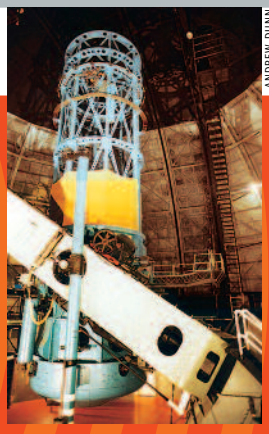
0 — **10^{-35} SEKUNDEN**

Urknall

Eine unvorstellbare Menge Energie ist auf einem unendlich kleinen Punkt konzentriert. Raum, Zeit und Materie existieren noch nicht.

Raum und Zeit entstehen

Der amerikanische Astronom Edwin Hubble belegt 1929, dass sich die Galaxien voneinander entfernen. Ein wichtiger Hinweis für die Richtigkeit der Urknall-Theorie.


ANDREW DUNN

Hubbles Teleskop, Mount-Wilson-Observatorium

Die Inflation schlägt Wellen

In einem Bruchteil der Sekunde null dehnte sich das Universum explosionsartig von mikroskopischen auf kosmische Dimensionen aus („Inflation“). Zu dieser Zeit ließen Schwerkraftwellen das Universum erbeben.

An jenem Dezembertag nun studierte Guth noch einmal die Gleichungen eines seiner Modell-Universen – und machte eine frappierende Entdeckung: „Ich begriff plötzlich, dass es exponentiell expandierte.“ Binnen eines unermesslich kurzen Bruchteils einer Sekunde schwoll es auf gigantische Größe an. Guth hatte die Idee der Inflation geboren.

Eine Nacht lang rechnete der Forscher, dann war er überzeugt, dass die kosmische Superblähung fast alle Krankheiten des alten Weltenmodells zu heilen vermochte. So ebnete sie etwa alle eigentlich zu erwartenden Unregelmäßigkeiten des Weltalls ein. Die beobachtete Gleichförmigkeit des Universums schien deshalb plötzlich gar nicht mehr so erstaunlich zu sein.

„Ich habe schon in dieser Nacht gewusst, dass ich recht hatte“, sagt Guth heute. So groß war sein Vertrauen in die Schönheit seiner Formeln, dass er glaubte, einer tiefen Wahrheit über diese Welt auf die Spur gekommen zu sein. „Spektakuläre Erkenntnis“ schrieb der euphorisierte Forscher in großen Lettern oben auf sein Schmierpapier.

Eine ganz andere Sache aber war es, auch seine Kollegen von der Richtigkeit seines Gedankens zu überzeugen. Die Inflation, die Guth da postulierte, sprengte alles, was bis dahin gedacht worden war: Binnen eines Hunderttausendstels eines Milliardstels eines Milliardstels eines Milliardstels einer Sekunde habe sich die Welt von subatomarer auf kosmische Größe ausgedehnt. War eine solch grotesk anmutende Aussage überhaupt sinnvoll? Und vor allem: Würde sie sich jemals überprüfen lassen?

Viele Forscher bezweifelten es. Mit Guths abenteuerlicher Theorie, so ihr Vorwurf, habe sich die handfeste, nüchterne und überprüfbare Physik endgültig in schwammige, spekulative und unbeweisbare Metaphysik verwandelt. Mit der Wirklichkeit, die zu beschreiben doch eigentlich Aufgabe der physikalischen Wissenschaft sei, habe solch mathematisch verbrämter Schöpfungs-Mystizismus nichts mehr zu tun.

CYNTHIA CHIANG

Bicep2-Wissenschaftler Richter
Wärter fürs Licht aus der Unendlichkeit

Die Skeptiker irrten. Es gibt experimentelle Tests der Inflationstheorie. Drei Jahre lang sammelte das Bicep2-Teleskop am Südpol handfeste Beweise. Die Messergebnisse aus der Antarktis erlauben einen Blick auf jenes sich explosiv aufblähende Universum, das nur eine zillionstel Sekunde alt war. In der endlosen Eiswüste kamen die Forscher damit dem allerersten aller Momente so nahe, wie es nur vorstellbar ist.

Um zu tiefer Erkenntnis zu gelangen, haben die Menschen seit je die Einsamkeit gesucht. Und so mag es nur folgerichtig erscheinen, dass sich die Physiker an diesen weltentrückten Ort zurückzogen, um den Geheimnissen des Daseins auf den Grund zu kommen.

Tatsächlich aber hatte dies ganz praktische Gründe: Die Astrophysiker haben sich für den Südpol entschieden, weil es keinen trockeneren Flecken auf Erden gibt und weil hier oben auf dem antarktischen Eisschild in fast 3000 Metern über dem Meeresspiegel nur wenige atmosphärische Schlieren die Sicht trüben.

Außerdem liegt hier der Himmelspol genau im Zenit. Die Fixsterne drehen sich mithin um den Scheitelpunkt des Himmelsgewölbes. Die Forscher konnten deshalb jenen Fleck am Firmament auswählen, an dem der Mikrowellenhimmel am wenigsten vom Staub der Milchstraße überstrahlt wird, und dieses „Loch des Südens“ dann rund um die Uhr 365 Tage im Jahr verfolgen.

Stunde um Stunde tastete das Rohr des Bicep2-Teleskops mit einem Durchmesser von 26 Zentimetern dieses „Loch des Südens“ am Himmel ab. Im Südpolarsommer kam das Team aus den USA eingeflogen, um das Gerät zu testen und zu justieren. Die ergiebigste Zeit für die Datenernte aber waren die langen Winter, in denen Steffen Richter ganz allein Bicep2 hütete.

Alle drei Südpolarwinter über, während deren die Messungen liefen, war der Ingenieur aus Sachsen-Anhalt als Gerätewart in der nur noch von einer Kernmannschaft betriebenen Amundsen-Scott-Station zurückgeblieben – eine Art Leuchtturmwärter für die Signale aus der Unendlichkeit. Er mache das gern, sagt Richter, 42, er erlebe die ganze Südpolmission als einzigartiges Abenteuer.

Alle drei Tage einmal musste der deutsche Forscher während dieser Zeit vom Wohntrakt hinüber zum Teleskopgebäude, um flüssiges Helium zur Kühlung nachzufüllen und zu sehen, ob sich Schneeverwehungen im Teleskopschirm angesammelt hatten. „Das ist jedes Mal ein ziemlicher Akt“, sagt er.

Allein das Anziehen dauere 20 Minuten, und dann muss er hinaus in die Kälte. Im Sommer, wenn es sonnig ist und die Temperatur manchmal auf bis zu minus 20 Grad Celsius steigt, sei es sehr angenehm hier. Bei minus 40 Grad im Dunkeln sei das schon etwas anderes. „Und ab minus 60 Grad wird es richtig kalt“, sagt Richter.

Jeder Handgriff will dann genau geplant sein. Denn mit den Fäustlingen lässt

10^{-32} SEKUNDEN

Teilchen- und Antiteilchen-Bildung

Die Inflation endet. In ständiger Wechselwirkung entstehen Elementarteilchen wie Quarks und Elektronen und ihre jeweiligen Antiteilchen.

0,000001 SEKUNDEN

Vernichtung von Teilchen und Antiteilchen

Jeweils drei Quarks kleben zusammen und bilden Protonen und Antiprotronen, die anschließend fast vollständig zerstrahlen. Durch einen winzigen Überschuss von Quarks bleibt die normale Materie erhalten, aus der unser Universum erwächst.

100 SEKUNDEN

Erste Atomkerne

Der Kosmos ist auf rund eine Milliarde Grad Celsius abgekühlt. Ein Teil der Protonen und Neutronen verschmilzt zu einfachen Atomkernen.

Während das sich abkühlende Universum für Licht etwa 380 000 Jahre lang undurchlässig blieb, konnten sich die Schwerkraftwellen darin ungehindert ausbreiten.

sich nichts ausrichten. Mit bloßen Fingerhandschuhen aber dauert es nur ein, zwei Minuten, bis die Erfrierungen beginnen. Daran, mit nackter Hand zu arbeiten, sei gar nicht zu denken, sagt Richter. „Die Haut würde an blankem Metall sofort festfrieren."

Auch die Nutzung des Schneemobils bereitete Probleme. Richters Chauffeur musste mit dem Gefährt pausenlos Kreise fahren, während der Forscher das Teleskop wartete. Denn einmal abgestellt, ist ungewiss, ob das Fahrzeug wieder in Gang zu kriegen ist – ohne ständige Bewegung droht der Zahnriemen zu erstarren.

Trotz solcher Widrigkeiten genießt Richter die Zeiten der Einsamkeit. Er liebt die ruppige Geselligkeit der verbliebenen Crew, den überwältigenden Sternenhimmel, die bunt flackernde Aurora Australis und die geradezu sterile Umgebung. „Das einzige Leben dort sind wir", sagt er.

Dass das Teleskop da draußen all die langen Winter über das Rauschen aus der Frühzeit des Universums auffing, war Richter natürlich klar. Dass aber, versteckt in dieser Datenflut, ein Signal aus noch viel, viel früherer Zeit eintraf, das konnte er nicht wissen.

Auch daheim, an der Harvard University, brauchte Richters Chef John Kovac sehr lange, bis er der Sache traute. Als sich erstmals die eigenartigen Muster in den Daten abzeichneten, hielt er sie zunächst für einen Messfehler, den es zu tilgen galt. „Ein bisschen war es wie damals bei Bob", sagt er.

Robert Wilson, der legendäre Entdecker der Hintergrundstrahlung, ist heute Kovacs Büronachbar am Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Immer wieder haben die beiden die Ereignisse damals und heute verglichen.

Wie seinerzeit bei Wilsons großer Entdeckung wollte auch diesmal das mysteriöse Signal nicht verschwinden. Vor rund einem Jahr verdichteten sich dann die Indizien, dass die Bicep2-Forscher es mit einem realen Phänomen zu tun hatten.

Doch noch immer wollten Kovac und die anderen es nicht recht glauben. Immer neue Checks und Gegenchecks wurden beschlossen. Einer nach dem anderen bestätigte: Das Signal war kein Messfehler, kein Artefakt des Geräts, keine Laune des Zufalls. Die Forscher hatten wirklich eine Botschaft aus jener von Guth vorhergesagten Ära aufgefangen, in der sich winzige Quantenfluktuationen zum Kosmos blähten.

Und vor allem: Das Signal war verblüffend deutlich. Kaum ein Physiker hatte gewagt zu hoffen, dass die Empfindlichkeit von Bicep2 ausreichen würde, um es überhaupt zu erkennen. Nun zeigte sich: Es war sogar stärker, als es die kühnsten Prognosen vorhergesagt hatten.

Den Rechnungen der Theoretiker zufolge sollte die Inflation eine Art Fußabdruck in der Hintergrundstrahlung hinterlassen haben, dessen Stärke davon abhängt, wie hoch die Energie während der inflationären Expansion des Kosmos verdichtet war – das ist jene Größe, welche die Physiker mit dem Parameter r beschreiben.

Bei der Auswertung ihrer Daten stellten die Bicep2-Forscher nun fest, dass r bei 0,2 liegt – und das ist ein Wert, der alle Erwartungen übertrifft. Markant und unübersehbar hatte die Inflation der Hintergrundstrahlung ihre Signatur aufgeprägt – oder, wie es Kovacs Kollege Clem Pryke von der University of Minnesota formulierte: „Wir haben nach der Nadel im Heuhaufen gesucht. Stattdessen fanden wir ein Brecheisen."

Natürlich kannte John Kovac die Vorhersagen der Theoretiker. Aber sie mit dem Verstand zu begreifen ist eben etwas ganz anderes, als sie tatsächlich in den eigenen Daten bestätigt zu finden.

Er habe ein Gefühl tiefer Erhabenheit empfunden, erzählt Kovac, als die Polarisationsmuster in den Aufnahmen des Bicep2-Teleskops Kontur annahmen. Langsam wurde ihm klar, dass er hier eine deutlich erkennbare Nachricht vom Anfang der Zeit vor sich hatte.

Den Szenarien der Theoretiker zufolge erschütterte nämlich ein allumfassendes Beben das Universum in jenem allerersten Bruchteil der Sekunde null, in dem es sich inflationär aufblähte. Die Raumzeit selbst zitterte und vibrierte. Schwerkraftwellen waren allgegenwärtig und breiteten sich in alle Richtungen aus.

Es handelt sich dabei um einen sehr speziellen Typ Welle, der auf die Physiker größte Faszination ausübt, seit er vor knapp hundert Jahren von Albert Einstein vorhergesagt wurde. Jede Masse, so hatte Einstein in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie postuliert, verformt die Raumzeit in ihrer Umgebung. Wird diese Masse nun beschleunigt, so erzeugt sie dabei eine Delle, die mit Lichtgeschwindigkeit durchs Raumzeitgefüge wandert.

Die so entstehenden Gravitationswellen sind allerdings extrem schwach. Die Erde etwa strahlt sie beim Umkreisen der Sonne mit der Leistung dreier 60-Watt-Glühbirnen ins Weltall ab – viel zu wenig, um messbar zu sein.

Aus diesem Grund halten sich die Astronomen lieber an spektakulärere Vorgänge: Supernova-Explosionen etwa oder rasend schnell einander umkreisende Neutronensterne sind ungleich stärkere Quellen von Schwerkraftwellen. Doch selbst die von solchen Ereignissen ausgesandten Raumzeiterschütterungen sind noch so winzig, dass der Nachweis zu den größten aller messtechnischen Herausforderungen zählt. Die Physiker müssen darauf hoffen, dass sich ein kilometerlanger Messarm unter dem Einfluss der Gravitationswellen um das Zigtausendstel eines Atomkerndurchmessers verformt.

Moderne Hightech-Interferometer lassen eine solch atemberaubende Genauigkeit möglich erscheinen. Physiker an den Detektoren Ligo (USA), Virgo (Italien) und Geo600 (Hannover) glauben, schon bald den Nachweis führen zu können.

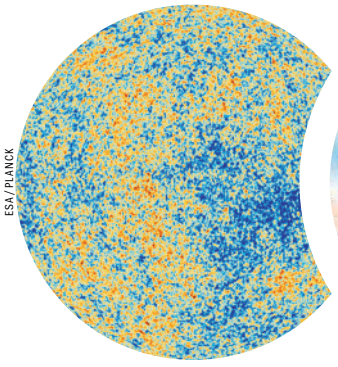
380 000 JAHRE

Weil das Universum in dieser Frühzeit undurchsichtig war, ist den Forschern die Sicht darauf wie durch einen Vorhang versperrt.

Erst 380 000 Jahre nach dem Urknall war das Weltall so weit abgekühlt, dass das Universum durchsichtig wurde.

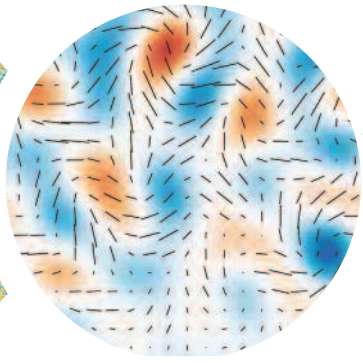
Babybild des Weltalls

Aus dieser Übergangszeit stammt die Hintergrundstrahlung, die bis zum heutigen Tag den Himmel mit einem gleichmäßigen Rauschen erfüllt.



ESA / PLANCK

Von der „Planck"-Sonde eingefangene Hintergrundstrahlung des Universums



HARVARD UNIVERSITY / DPA

Ein Muster im Muster

Die Schwerkraftwellen prägten diesem Rauschen ein Muster auf, welches jetzt vom Bicep2-Teleskop sichtbar gemacht wurde. Dieses Muster ist mithin um 380 000 Jahre älter als die Hintergrundstrahlung, in die es eingraviert ist.

RICK FRIEDMAN

Inflationstheoretiker Guth: *„Ich wusste, dass ich recht hatte“*

Ihre Arbeit wäre freilich sehr viel einfacher, wenn sie ihre Messungen in einem nur Sekundenbruchteile alten Universum hätten durchführen können. Denn die inflationäre Erschütterung des Raums war weitaus machtvoller als diejenige jeder heutigen Supernova. Doch in den 13,8 Milliarden Jahren seit dem Urknall sind die uranfänglichen Schwerkraftwellen so weit abgeklungen, dass sie sich allen menschlichen Messbemühungen entziehen. Das kosmische Hintergrundbeben dürfte für irdische Instrumente bis in alle Zukunft unhörbar bleiben.

Trotzdem haben die Bicep2-Forscher nun einen Weg gefunden, das große Urbeben indirekt nachzuweisen: 380 000 Jahre nach dem Urknall, zu jenem Zeitpunkt also, als die kosmische Mikrowellenstrahlung entstand, waren die allgegenwärtigen Gravitationswellen noch weitaus kräftiger – stark genug, um ihre Spuren in der Hintergrundstrahlung zu hinterlassen.

Das Ergebnis ist jenes hochcharakteristische Polarisationsmuster, das die Bicep2-Forscher am vorvergangenen Montag der Weltöffentlichkeit präsentiert haben.

Guth und Linde, die beiden geistigen Väter der Inflationstheorie, beugen sich nun, beflügelt von den neuen Daten, über ihre alten Formeln.

Vor allem fasziniert die beiden Forscher der verblüffend hohe Wert des Parameters r. Denn ein solcher Wert spricht dafür, dass sich die Inflation sogar noch rasanter und turbulenter vollzogen hat, als es selbst flammende Verfechter der Theorie für möglich gehalten hatten.

Für die weitere Entwicklung der Grundlagenphysik hat das beträchtliche Folgen: Für Astrophysiker wie Kovac ist es schon deshalb eine glückliche Fügung, weil das Signal bei einem deutlich niedrigeren r-Wert gar nicht messbar gewesen wäre. Für die Teilchenphysiker am Cern dagegen bedeutet es eine Enttäuschung, denn die inflationäre Phase des Universums rückt damit endgültig in einen Energiebereich, der selbst für die gigantischsten Teilchenbeschleuniger wohl niemals erreichbar sein wird. Theoretiker wie Guth und Linde wiederum freuen sich, weil ein großes r für sie heißt, dass die einfachsten und schönsten Varianten des Inflationsszenarios jetzt wieder Auftrieb bekommen.

„Ich bin so begeistert, dass ich davon Magengeschwüre bekommen habe“, verkündete Linde am Tag nach der Pressekonferenz in Guths Kosmologie-Seminar. Anlässlich der Bicep2-Sensation war der quirlige Russe mit dem trockenen Humor dort als Gastredner geladen.

An anderen Tagen finden sich in dem Seminarraum am MIT zwei, drei Dutzend Interessenten ein. Zu diesem „nicht nur für die Kosmologie, sondern vielleicht auch für die ganze Physik so bedeutsamen Anlass“ (Guth) waren mehr als zehnmal so viele gekommen. Dicht an dicht drängelten sich Erstsemester wie Nobelpreisträger in den Bänken.

Weil allgemein ein niedriger r-Wert für wahrscheinlich gehalten wurde, sei auch er in jüngster Zeit damit beschäftigt gewesen, diesen Wert in seinen Weltenmodellen mit allerlei unschönen Tricks nach unten zu drücken, erklärte Linde seinem Publikum. „Hässlich, ganz hässlich“, meinte er abschätzig. „Und hässliche Physik zu betreiben macht keinen Spaß.“

Die neuen Polarisationsdaten vom Südpol erlauben ihm nun „die Rückkehr zur Schönheit“. Nach deren Veröffentlichung wagte er deshalb ein erstes vorsichtiges Fazit: „Wow! Es ist eine großartige Zeit, um Kosmologie zu betreiben.“

Darauf musste angestoßen werden. Und weil der Champagner nicht für alle

SD14-107

Der digitale SPIEGEL

5 Ausgaben für € 9,90 + aktuelle Ausgabe GRATIS LESEN! spiegel.de/digitaltesten

In dieser Ausgabe:

Weniger statt mehr
Video-Reportage über Verzicht

Heldin in Weiß
Video über die Ärztin vom Maidan

Sekunde null
Video über den Urknall

Die neue Art zu lesen.

- Mit zusätzlichen Hintergrundseiten.
- Mit exklusiv produzierten Videos.
- Mit 360°-Panoramafotos, interaktiven Grafiken und 3-D-Modellen.
- Alles immer schon **sonntags ab 8 Uhr!**

Einfach scannen (z.B. mit der kostenlosen **App DER SPIEGEL**) und mehr erfahren – über den digitalen SPIEGEL und über unser Testangebot.

DER SPIEGEL

gut 300 Seminarteilnehmer reichte, ließ man Cidre-Flaschen herumgehen.

Auch für Experimentalphysiker brechen nun unruhige Zeiten an. Die wichtigste Frage ist zunächst, ob sich die Bicep2-Daten reproduzieren lassen. Ein klein wenig nervös ist Kovac deshalb schon. Denn er weiß, so gründlich sein Team die Daten auch auf alle nur denkbaren Fehlerquellen hin abgeklopft hat, so fehlt doch noch das i-Tüpfelchen: die unabhängige Bestätigung. „Erst wenn es die gibt, wird man uns endgültig glauben."

Sehr lange wird es bis dahin nicht dauern. Denn weltweit macht mehr als ein halbes Dutzend weiterer Forschergruppen Jagd auf Polarisationssignale in der kosmischen Hintergrundstrahlung. Eine von ihnen teilt sich sogar das Quartier am Südpol mit den Leuten von Bicep2, drei Teams blicken von der chilenischen Atacama-Wüste und eines vom kanarischen Vulkan El Teide aus in den Himmel. Zwei Detektoren schließlich sind auf Stratosphären-Ballons montiert.

Und dann ist da natürlich noch Planck, der europäische Nachfolger des Cobe-Satelliten. Noch sind die Polarisationsdaten des Himmelsspähers nicht ganz ausgewertet, „aber bis zum Spätsommer sollten wir so weit sein", erklärt Torsten Enßlin vom Garchinger Max-Planck-Institut für Astrophysik.

Gespannt wartet die Zunft nun, ob die Empfindlichkeit des Satelliten womöglich sogar ausreichen könnte, die Polarisation des Mikrowellenhintergrunds auf einer ganzen Himmelskarte abzubilden.

Theoretisch würde eine solche Karte das gesamte Spektrum der Schwerkraftwellen offenbaren: von den langwelligen Anteilen, die den allerersten Momenten der Inflation entstammen, bis hin zu den kurzwelligen, die an ihrem Ende entstanden.

„Ein solches Spektrum würde also eine Art Film der Inflation darstellen", erklärt Kovac. In größtdenkbarer Zeitlupe den Beginn allen Daseins abzubilden – das wäre zweifellos ein außergewöhnliches Stück Filmgeschichte.

Es scheint, als wären theoretische Physiker unersättlich. Kaum hat sich eine ihrer Vorhersagen bestätigt, halten sie Ausschau nach weiteren, noch kühneren Ideen. So auch jetzt wieder; diesmal heißt das Schlagwort „Multiversum". Viele Inflationsmodelle haben es nämlich an sich, dass sie nicht nur die Entstehung eines Universums beschreiben, sondern – als unausweichlichen Begleiteffekt – gleich noch unendlich viele weitere gebären.

So wie unser Universum in dieser mathematischen Formulierung aus einem anderen hervorging, als sich eine spontane Fluktuation inflationär aufblähte, so kann etwas Ähnliches jederzeit auch in unserem Universum geschehen. Die Formeln beschreiben mithin ein munteres Kommen und Gehen ganzer Weltengebäude. Die Theoretiker stellen dieses Multiversum dar wie einen blubbernden Topf kochenden Wassers – nur dass hier anstelle der Luftblasen eben Baby-Universen entstehen.

Der besondere Charme dieses Konzepts besteht darin, dass sich in jeder der so entstehenden Weltenräume infolge spontaner Prozesse eigene Naturgesetze bilden. Das könnte nach Auffassung der Befürworter dieser Idee eines der großen noch immer ungeklärten Rätsel lösen: Warum sind die Naturgesetze exakt so konstruiert, dass sie die Entstehung von Leben erlauben? Würde man nur einen der vielen Parameter in diesen Gesetzen ein klein wenig anders wählen, dann wäre jede Art von Leben in unserem Universum unmöglich – und nie wären Menschen entstanden, die sich über solche Fragen den Kopf zerbrechen könnten.

Die Antwort, welche die Multiversums-Verfechter auf diese Frage geben, ist ebenso verblüffend wie einfach: Wir verdanken unsere Existenz schlicht einem Zufall. Und dass wir uns ausgerechnet in demjenigen Universum wiederfinden, in dem sich dieser Zufall ereignet hat, ist nicht weiter erstaunlich – in jedem anderen hätten wir ja gar nicht entstehen können.

Nicht jeder allerdings mag diesem Gedanken folgen. Als Alan Guth ihn bei der Präsentation der Polarisationsdaten äußerte, regte sich Widerstand auf dem Podium. „Als Experimentalphysiker", erklärte Bicep2-Forscher Pryke, „möchte ich meine Skepsis gegenüber allem zum Ausdruck bringen, was sich experimentell nicht überprüfen lässt."

Theoretiker wie Guth und Linde lassen sich von solchen Einwänden nicht erschüttern. Damals, als sie die Inflation ersannen, haben sie diese Argumente schließlich alle schon einmal gehört.

Bald dürfte die Entdeckung von John Kovac in allen Lehrbüchern stehen – so wie schon seit Jahrzehnten die Erkenntnisse Robert Wilsons, seines Zimmernachbarn in Harvard. Bei sternenklarem Himmel gehen die beiden Forscher manchmal zusammen auf das Dach des astrophysikalischen Instituts. Dort bauen sie dann für ihre Studenten Mikrowellenempfänger auf, die heute bereits für unter hundert Dollar zu kriegen sind. Und wenn sie dann genau horchen, ist unverkennbar ein Brummen zu vernehmen. Es ist ebenjenes Echo des Urknalls, das Wilson vor 50 Jahren erstmals nachgewiesen hat.

Johann Grolle

Video: Die Spuren des Urknalls
spiegel.de/app142014urknall
oder in der App DER SPIEGEL