

NEIL
DEGRASSE TYSON

DAS
UNIVERSUM
FÜR
EILIGE



HANSER

konsumiert werden. Also gab ich dem Kellner zwei verschiedene Erklärungen zur Auswahl: Entweder jemand hatte vergessen, die Sahne auf meine heiße Schokolade zu tun, oder in seinem Restaurant herrschten andere als die universellen Gesetze der Physik. Trotzig und alles andere als überzeugt, brachte er einen Klacks Sahne an den Tisch und wollte mir beweisen, dass er recht hatte. Er probierte ein oder zwei Mal, die Sahne zu versenken, aber sie ploppte immer wieder nach oben und schwamm zuverlässig auf dem Kakao.

Braucht es einen besseren Beweis für die Universalität physikalischer Gesetze?

3. Es werde Licht

Nach dem Urknall war der Kosmos vor allem mit seiner Ausdehnung beschäftigt, und mit der Verdünnung der Energiekonzentration, die den Raum erfüllte. In jedem Augenblick wurde das Universum ein wenig größer, ein wenig kälter und ein wenig dunkler. Derweil schwammen Materie und Energie gemeinsam in einer Art undurchsichtiger Suppe, in der freie umherfliegende Elektronen kontinuierlich Photonen in alle Richtungen verteilten.

Das ging 380.000 Jahre lang so weiter.

In dieser frühen Phase mussten Photonen nicht weit reisen, um auf ein Elektron zu treffen. Wenn Sie damals hätten versuchen wollen, durch das Universum hindurchzusehen, wären Sie nicht weit gekommen. Jedes Photon, das Sie entdeckt hätten, wäre nur Nano- oder Picosekunden zuvor von einem Elektron abgeprallt, direkt vor Ihrer Nase.⁴

Da dies der größte Abstand ist, den Informationen zurücklegen können, bevor sie Ihr Auge erreichen, war das gesamte Universum nichts als ein glühender, undurchsichtiger Nebel, ganz gleich in welche Richtung man schaut. So wie es heute noch in der Sonne und in allen anderen Sternen aussieht.

Mit abnehmender Temperatur bewegen sich die Teilchen immer langsamer. Und als die Temperatur des Universums erstmals unter die Grenze von – immer noch rot glühenden – 3000 Kelvin fiel, wurden die Elektronen gerade langsam genug, dass sie von den kommenden Protonen eingefangen werden konnten. So entstanden komplette Atome. Und so wurden die bislang ständig drangsalierten Photonen endlich freigesetzt und konnten sich auf ihre nunmehr ungestörte Reise durchs Universum machen.

Diese »kosmische Hintergrundstrahlung« ist die Inkarnation des verbliebenen Lichts eines grellen, zischenden Universums. Und ihr kann auf der Basis des Anteils der im Spektrum repräsentierten dominanten Photonen eine Temperatur zugeordnet werden. Während sich der Kosmos weiter abkühlte, gaben die Photonen, die im

sichtbaren Teil des Spektrums das Licht der Welt erblickt hatten, ihre Energie an das sich ausdehnende Universum ab und glitten im Spektrum immer weiter ab, sie verwandelten sich am Ende in Infrarotphotonen. Auch wenn die Photonen des sichtbaren Lichts immer schwächer geworden waren: Es blieben doch zu jeder Zeit Photonen.

Was kommt als Nächstes im Spektrum? Heute ist das Universum um den Faktor tausend gewachsen, verglichen mit der Zeit, in der die Photonen freigesetzt wurden. Folglich hat sich die kosmische Hintergrundstrahlung um den Faktor tausend abgekühlt. Alle Photonen des sichtbaren Lichts aus jener Epoche haben nur noch ein Tausendstel ihrer damaligen Energie. Sie sind heute Mikrowellen. Daraus leitet sich unser Begriff »kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung« ab. Wenn wir das schön beibehalten, werden die Astrophysiker in 50 Milliarden Jahren über die »kosmische Radiowellenhintergrundstrahlung« schreiben, denn dann werden die Photonen noch viel weniger Energie und eine dementsprechend größere Wellenlänge haben.

Wenn etwas so stark erhitzt wird, dass es glüht, emittiert es Licht in allen Teilen des Spektrums, erreicht aber an irgendeiner Stelle einen Höhepunkt. Handelsübliche Glühlampen, die noch immer mit Metallglühfäden arbeiten, erreichen ihren Höhepunkt im Infrarotbereich, und genau deshalb sind sie als Quelle sichtbaren Lichts so ineffizient. Unsere Sinne nehmen Infrarotlicht lediglich in Form von Wärme auf der Haut wahr. Die LED-Revolution der modernen Lichttechnologie erzeugt reines sichtbares Licht, ohne Wattleistung auf unsichtbare Teile des Spektrums zu verschwenden. So entstehen seltsame Hinweise wie der folgende: »6,5 Watt (ersetzt 60 Watt)« auf Ihrer LED-Leuchtmittelverpackung.

Da die kosmische Hintergrundstrahlung das Überbleibsel von etwas ehemals hell Glühendem ist, verhält sie sich so, wie wir es von einem strahlenden, aber sich abkühlenden Objekt erwarten: Die Strahlung erreicht an einer Stelle des Spektrums Spitzenwerte, ist aber auch an anderen Stellen des Spektrums präsent. In diesem Fall emittiert die Hintergrundstrahlung neben der Spitze im Mikrowellenbereich auch ein paar Radiowellen sowie eine verschwindend kleine Menge Photonen höherer Energie.

Mitte des 20. Jahrhunderts lagen im Teilgebiet der Kosmologie nicht viele Daten vor. Und wo Daten dünn gesät sind, da gibt es jede Menge konkurrierende Ideen, manche sehr raffiniert, andere sind eher

Wunschdenken. Die Existenz der Hintergrundstrahlung war vom aus Russland stammenden amerikanischen Physiker George Gamow und seinen Kollegen in den 1940er-Jahren vorhergesagt worden. Seine Ideen gehen wiederum auf die Arbeit des belgischen Physikers und Priesters Georges Lemaître aus dem Jahr 1927 zurück, der heute allgemein als Vater der Urknall-Kosmologie gilt. Aber es waren die amerikanischen Physiker Ralph Alpher und Robert Herman, die 1948 zum ersten Mal die zu erwartende Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung schätzten. Sie gründeten ihre Berechnungen auf drei Säulen: 1) Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie von 1916; 2) Edwin Hubbles Entdeckung aus dem Jahr 1929, der zufolge sich das Universum ausdehnt; und 3) Atomphysik im Labor vor und während des Manhattan Project, dem wir die Atombomben des Zweiten Weltkriegs verdanken.

Herman und Alpher berechneten und schätzten eine Temperatur des Universums von 5 Kelvin. Nun ja, das ist schlicht falsch. Die exakt gemessene Temperatur dieser Mikrowellen beträgt 2,725 Kelvin, manchmal der Einfachheit halber als 2,7 Kelvin angegeben. Und wenn Sie auf numerischem Gebiet etwas schludrig veranlagt sind, wird Ihnen auch niemand den Kopf abreißen, wenn Sie die Temperatur des Universums auf 3 Kelvin aufrunden.

Halten wir hier für einen Moment inne. Herman und Alpher nutzten die Atomphysik, frische Früchte ihrer Laborarbeit, und wendeten sie auf hypothetisch postulierte Bedingungen im frühen Universum an. Daraus schlossen sie auf den Zustand vor Milliarden von Jahren und berechneten, welche Temperatur das Universum heute haben müsste. Dass ihr Ergebnis auch nur in der Nähe der richtigen Antwort lag, ist ein fantastischer Triumph menschlicher Erkenntnis. Sie hätten sich um den Faktor zehn oder hundert verhasen können, oder sie hätten etwas voraussagen können, das es überhaupt nicht gibt. Der amerikanische Astrophysiker J. Richard Gott kommentierte diese Leistung so: »Vorherzusagen, dass die Hintergrundstrahlung existiert, und dann die Temperatur mit so geringer Abweichung korrekt zu benennen, war in etwa so, als hätte man behauptet, eine 15 Meter große fliegende Untertasse würde auf dem Rasen vor dem Weißen Haus landen – und was dann kam, war ein 10 Meter großes Ufo.«



Die erste direkte Beobachtung der kosmischen Mikrowellen-hintergrundstrahlung gelang 1964 den amerikanischen Physikern Arno Penzias und Robert Wilson von den Bell Telephone Laboratories, der Forschungsabteilung von AT&T - und zwar durch puren Zufall. In den 60er-Jahren wusste jeder von Mikrowellen, aber kaum einer hatte die Technologie, sie zu entdecken. Bell Labs, ein Pionier der Kommunikationsbranche, entwickelte eine handfeste, hornförmige Antenne zu genau diesem Zweck.

Aber erst einmal wollen Sie beim Senden oder Empfangen eines Signals möglichst vermeiden, dass es von zu vielen anderen Quellen kontaminiert wird. Penzias und Wilson wollten eigentlich messen, welche Interferenz die Mikrowellen aus dem Hintergrund für ihren Empfänger produzierten, um eine saubere und rauschfreie Kommunikation innerhalb des betreffenden Frequenzspektrums zu erreichen. Sie waren schließlich keine Kosmologen, sondern Technikfreaks, die an einem Mikrowellenempfänger bastelten. Von den Voraussagen von Gamow, Herman und Alpher hatten sie keine Ahnung.

Was Penzias und Wilson definitiv nicht suchten, war die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung; sie wollten einfach nur einen neuen Übertragungskanal für AT&T einrichten.

Penzias und Wilson führten also ihr Experiment durch und subtrahierten von ihren Daten alle bekannten terrestrischen und kosmischen Interferenzquellen, die sie identifizieren konnten. Aber ein Teil des Signals ging einfach nicht weg, und sie wussten nicht, wie sie es loswerden konnten. Schließlich sahen sie in ihrer Antennenschüssel nach und fanden dort ein Taubennest. Zuerst dachten sie, eine weiße dielektrische Substanz - Taubenkacke - könnte schuld an dem Störsignal sein, denn dieses blieb gleich stark, egal, wie sie den Detektor ausrichteten. Nachdem sie die Schüssel einer Reinigung unterzogen hatten, nahm die Interferenz geringfügig ab, aber ein Restsignal blieb. Im Bericht, den sie 1965 veröffentlichten, drehte sich alles um diese unerklärliche »überschüssige Antennentemperatur«.⁵

Derweil baute ein Physikerteam in Princeton unter Leitung von Robert Dicke einen Detektor, der speziell nach der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung suchen sollte. Aber sie verfügten nicht über die Ressourcen der Bell Labs, deshalb brauchten sie etwas länger. In dem Moment, als Dicke und seine Kollegen von Penzias' und Wilsons Arbeiten erfuhren, wurde dem Team in Princeton schlagartig klar, worum es sich bei der überschüssigen Antennentemperatur