

Übersetzung von A. K. T. Assis und M. C. D. Neves, „History of the 2.7 K temperature prior to Penzias and Wilson,“ Apeiron, Vol. 2, pp. 79-84 (1995).

Übersetzung aus dem Englischen (2013):

Dr. Manfred Pohl

Mail: [unipohl@aol.com](mailto:unipohl@aol.com)

Netz: [www.unipohl.de](http://www.unipohl.de)

## Geschichte der 2,7-K-Temperatur vor Penzias und Wilson

A. K.T. Assis

Instituto de Física "Gleb Wataghin"

Universidade de Estadual Campinas

13083-859 Campinas São Paulo, Brasilien

Email: [assis@ifi.unicamp.br](mailto:assis@ifi.unicamp.br)

M. C. D. Neves

Departamento de Física

Universidade Estadual de Maringá

87020-900 Maringá, PR, Brasilien

Email: [macedane@yahoo.com](mailto:macedane@yahoo.com)

**Kurzfassung:** Wir präsentieren die Geschichte der Schätzungen der Temperatur des intergalaktischen Raumes. Wir beginnen mit den Arbeiten von Guillaume und Eddington von der Temperatur des interstellaren Raumes durch das Sternenlicht unserer Milchstraße. Dann besprechen wir die Arbeiten in Bezug auf die kosmische Strahlung, konzentrieren uns auf Regener und Nernst. Wir diskutieren auch Finlay-Freundlichs und Max Borns wichtige Forschungen zu diesem Thema. Schließlich präsentieren wir die Arbeit von Gamow und Mitarbeitern. Wir zeigen, daß die Modelle, die auf einem Universum in dynamischem Gleichgewicht ohne Expansion basieren, die 2,7 K-Temperatur vorrangig und besser vorhersagen als die Modelle auf der Basis des Urknalls.

PACS: 98.70.Vc Hintergrundstrahlungen.

98.80.-k Kosmologie.

98.80.Bp Ursprung und Bildung des Universums.

Schlüsselwörter: Kosmische Hintergrundstrahlung, Temperatur des intergalaktischen Raumes, Schwarzkörperstrahlung.

## 1. Einleitung

Im Jahre 1965 entdeckten Penzias und Wilson die kosmische Hintergrundstrahlung (CBR) unter Verwendung einer Hornreflektorantenne, die für das Studium der Radioastronomie gebaut wurde (Penzias and Wilson 1965). Sie fanden eine Temperatur von  $3,5 \pm 1,0$  K bei der Beobachtung der Hintergrundstrahlung mit 7,3 cm Wellenlänge. Das wurde dann als ein Relikt aus einem heißen Urknall mit einem Schwarzkörperspektrum interpretiert (Dicke und andere 1965). Das Gefundene wurde als eine Bestätigung für das kosmologische Standardmodell des Universums basierend auf der Expansion des Universums (dem Urknall) angesehen, das diese Temperatur mit den Werken von Gamow und Mitarbeitern vorhergesagt hatte.

In dieser Arbeit zeigen wir, daß andere Modelle eines Universums in dynamischem Gleichgewicht ohne Expansion diese Temperatur vor Gamow vorhergesagt haben. Darüber hinaus zeigen wir, daß Gamows eigene Prognosen schlechter waren als diese Vorhersagen.

Vor Beginn lassen Sie uns kurz eine Liste wichtiger historischer Informationen angeben, die das Gefundene zu verstehen helfen soll. Stefan hat im Jahre 1879 experimentell gefunden, daß der gesamte bolometrische Strahlungsfluss  $F$ , emittiert durch einen schwarzen Körper bei einer Temperatur  $T$  mit  $F = \sigma T^4$  gegeben ist, wobei  $\sigma$  jetzt Stefan-Boltzmann-Konstante genannt wird ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ). Die theoretische Herleitung dieses Ausdrucks war von Boltzmann im Jahre 1884 vorgenommen worden. Im Jahre 1924 hat Hubble begründet, daß die Nebel Sternsysteme außerhalb der Milchstraße sind. Im Jahre 1929 ermittelte er das bedeutende Rotverschiebungs-Distanz-Gesetz.

## 2. Guillaume und Eddington

Die früheste Schätzung einer Temperatur des „Raumes“, die uns bekannt ist, ist die von Guillaume (1896). Sie wurde im Jahre 1896 veröffentlicht, vor Gamows Geburt (1904). Hier zitieren wir aus dieser Arbeit (englische Übersetzung von C. Roy Keys):

„Captain Abney hat vor kurzem das Verhältnis des Lichtes aus dem Sternenhimmel zu dem des Vollmondes bestimmt. Nach Reduzierung der Schrägstellung der Strahlen relativ zur Oberfläche und der atmosphärischen Absorption erweist es sich als 1/44. Verdoppelt man dies für beide Hemisphären und nimmt 1/600.000 als das Verhältnis der Lichtintensität des Mondes zu der der Sonne an (ein grober Mittelwert der Messungen von Wollaston, Douguer und Zöllner), so finden wir, daß die Sonne uns mit 15.200.000 mal mehr Schwingungsenergie überschüttet als alle Sterne zusammen. Der Anstieg der Temperatur eines isolierten Körpers im Raum, der nur der Wirkung der Sterne unterliegt, ist gleich dem Quotienten aus der Erhöhung der Temperatur durch die Sonne auf der Erdbahn und der vierten Wurzel aus 15.200.000, oder ungefähr 60. Darüber hinaus sollte diese Zahl als Minimum angesehen werden, da die Messungen von Captain Abney in South Kensington durch einige fremde Lichtquellen verzerrt worden sein können. Wir schließen daraus, daß die Strahlung der Sterne allein den Testteilchen, die wir an verschiedenen Punkten in den Himmel gebracht annehmen könnten, eine Temperatur von  $338/60 = 5,6$  abs =  $207,4^\circ$  Zentigrad vermitteln würde. Wir dürfen nicht schlußfolgern, daß die Strahlung der Sterne die Temperatur der Himmelskörper auf 5 oder 6 Grad steigert. Wenn der betrachtete Stern bereits eine Temperatur hat, die sehr verschieden vom absoluten Nullpunkt ist, ist der Wärmeverlust viel größer. Wir finden die Erhöhung der Temperatur aufgrund der Strahlung der Sterne durch die Berechnung des Verlustes mit dem Stefan-Gesetz. Auf diese Weise finden wir für die Erde eine Erhöhung der Temperatur aufgrund der Strahlung der Sterne von weniger als ein Hunderttausendstel Grad. Weiterhin sollte dieser Wert als obere Grenze für die Wirkung angesehen werden, die wir zu berechnen suchen.“

Natürlich ist möglicherweise Guillaumes Schätzung einer 5-6 K Schwarzkörpertemperatur nicht die früheste gewesen, weil das Stefan-Gesetz erst seit 1879 bekannt ist. Darüber hinaus wird es auf die Wirkung durch die Sterne, die zu unserer eigenen Galaxie gehören, beschränkt.

Wir zitieren jetzt aus Eddingtons Buch „Die interne Beschaffenheit der Sterne“ (1988) [*The Internal Constitution of the Stars*], veröffentlicht im Jahre 1926. Das letzte Kapitel dieses Buches heißt „Diffuse Materie im Raum“ und beginnt mit der Diskussion „Die Temperatur des Raumes“:

### „Kapitel XIII

## Diffuse Materie im Raum Die Temperatur des Raumes

**256.** Das gesamte von uns von den Sternen erhaltene Licht wird als äquivalent zu etwa 1000 Sternen erster Größe geschätzt. Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Korrektur, die visuelle auf die bolometrische Größenordnung von Sternen anderer Typen als F und G zu verringern, kann die von den Sternen empfangene Wärme bis 2000 Sterne der scheinbaren bolometrischen Helligkeit 1.0 entsprechen. Wir werden zunächst die Energiedichte dieser Strahlung berechnen.

Ein Stern der absoluten bolometrischen Größenordnung 1,0 strahlt 36,3 mal so viel Energie ab wie die Sonne oder  $1,37 \times 10^{35} \text{ ergs/s}$ . Dies ergibt  $1,15 \times 10^{-5} \text{ ergs}/(\text{cm}^2 \text{ s})$  über eine Kugel von 10 Parsec ( $3,08 \times 10^{19} \text{ cm}$ ) Radius. Die entsprechende Energiedichte erhält man durch Dividieren durch die Ausbreitungsgeschwindigkeit, sie beträgt  $3,83 \times 10^{-16} \text{ ergs}/\text{cm}^3$ . Bei 10 Parsec Entfernung ist die scheinbare Größe gleich der absoluten Größe; damit ist die Energiedichte  $3,83 \times 10^{-16}$  das entspricht offensichtlich der bolometrischen Größenordnung 1,0.

Dementsprechend hat die gesamte Strahlung der Sterne eine Energiedichte von

$$2000 \times 3,83 \times 10^{-16} = 7,67 \times 10^{-13} \text{ ergs}/\text{cm}^3.$$

Durch die Formel  $E = \sigma T^4$  ist die effektive Temperatur entsprechend dieser Dichte  $3,18^\circ$  absolut.

In einer Region des Weltraums nicht in der Nachbarschaft eines Sterns bildet dies das gesamte Strahlungsfeld, und ein schwarzer Körper, das heißt, ein schwarzes Glaskolbenthermometer, wird eine Temperatur von  $3,18^\circ$  aufnehmen, so daß seine Emissionen die Strahlung, die auf es fällt, ausgleichen kann und sie absorbiert. Dies wird manchmal als die "Temperatur des interstellaren Raums" bezeichnet.

Ein wichtiger Aspekt, der hier zu betonen ist, daß Eddington die Schätzung einer Temperatur von  $3,18$  K nicht die erste war, denn Guillaume hatte eine ähnliche Zahl etwa 30 Jahre früher ermittelt. Obwohl Eddington weder Guillaume oder andere Autoren zitierte, ist es klar, daß er hier eines anderen Ableitung folgte. Dies zeigt sich mit den Sätzen „Das gesamte Licht, das wir von den Sternen erhalten, wird [von wem?] geschätzt, als ...“ und „Dies wird manchmal als [von wem?] 'Temperatur des interstellaren Raums' bezeichnet.“ Diese Sätze zeigen, daß andere auch dieses Ergebnis erhalten haben. Es ist sehr wahrscheinlich, daß in den fünfzig Jahren zwischen dem Stefan-Gesetz (1879) und dem Eddington-Buch (1926) andere zur gleichen Schlußfolgerung unabhängig von Guillaume's Arbeit (1896) gekommen waren.

Ein weiterer Punkt, der zu beachten ist, Eddington und Guillaume diskutierten die Temperatur des interstellaren Raums auf Grund der Fixsterne, die zu unserer eigenen Galaxie gehören, und nicht aus dem intergalaktischen Raum. Beachten Sie, daß Hubble erst im Jahre 1924 zweifelsfrei die Existenz von externen Galaxien bewiesen hat.

### 3. Regener

Kosmische Strahlungen wurden im Jahre 1912 von V. F. Hess entdeckt (Rossi 1964). Er machte eine Ballonfahrt und beobachtete, daß ein geladenes Elektroskop entgegen den Erwartungen in großen Höhen schneller entladen wird als auf dem Meeresspiegel. Diese Entladung erfolgt aufgrund der Ionisierung der Luft, die nachweislich mit der Höhe zunimmt. Es war bekannt, daß die Strahlung durch radioaktive Stoffe die Luft ionisiert, und Hess' Messungen zeigten, daß die emittierte Strahlung verantwortlich ist für die natürliche Ionisierung von Luft in die Atmosphäre ist und von oben einsetzt, und nicht vom Boden.

1928 haben R. A. Millikan und Cameron (1928) festgestellt, daß die gesamte Energie der kosmischen Strahlung an der Obergrenze der Atmosphäre ein Zehntel der aufgrund des Sternenlichts und der Wärme war. 1933 hat E. Regener (1933) festgestellt, daß beide Energieflüsse im Wesentlichen den gleichen Wert haben. Dies ist ein sehr wichtiges Ergebnis mit weitreichenden kosmologischen Auswirkungen: Es zeigt, daß die Energiedichte des Sternenlichts aufgrund unserer eigenen Galaxie im

Gleichgewicht mit der kosmischen Strahlung ist, die zum größten Teil extragalaktischen Ursprungs ist. Es war schon immer schwierig, genau den Ursprung der kosmischen Strahlung zu wissen, aber es ist Tatsache, daß ein Großteil seiner Komponenten außerhalb unserer Galaxie entstanden ist, was aus einer anderen Messung von Millikan und Cameron geschlossen wurde (1928). In dieser Arbeit wurde gezeigt, daß die Intensität der Strahlung aus der Ebene der Milchstraße die gleiche ist wie die, die von einer Ebene senkrecht zu ihr. Diese Isotropie zeigt deutlich einen extragalaktischen Ursprung.

Regeners Arbeit im Allgemeinen wurde kurz von Rossi (1964) wie folgt beschrieben:

In den späten 1920er und frühen 1930er Jahren wurde von dem deutschen Physiker Erich Regener und seiner Gruppe die Technik der selbstaufnehmenden Elektroskope in beispiellosem Grad der Vollkommenheit eingebracht, von Ballons in die höchsten Schichten der Atmosphäre gebracht oder in große Tiefen unter Wasser versenkt. Diesen Wissenschaftlern verdanken wir einige der genauesten Messungen der kosmischen Ionisation als Funktion von Höhe und Tiefe.

In seiner Arbeit von 1933 sagt Regener folgendes (wir setzen hier für den Begriff Ultrastrahlung die Regener und andere zu diesem Zeitpunkt verwendeten, den Ausdruck „kosmische Strahlung“, wie diese Strahlung heute genannt wird):

Dagegen erscheint die im Vergleich zur Licht- und Wärmestrahlung der Fixsterne etwa ebensogroße Energiedichte der kosmische Strahlung [Ultrastrahlung] wohl vom astrophysikalischen Standpunkt aus beachtenswert. Ein Himmelskörper, der die zur Absorption der kosmische Strahlung notwendige Dimension hat – bei der Dichte 1 also ein Körper von einigen Metern Durchmesser (5 m Wasser absorbieren schon 9/10 der kosmische Strahlung), – wird sich durch die kosmische Strahlung erwärmen. Die Erwärmung wird proportional der zugestrahlten kosmische Strahlungsenergie  $S_U$  und der Oberfläche  $O$  sein. Er wird sich so lange erwärmen, bis die emittierte Wärmestrahlung, bei schwarzer Strahlung also  $= \sigma \cdot T^4 \cdot O$ , ebensogroß geworden ist. Es ergibt sich die Endtemperatur  $T = \sqrt[4]{S_U / \sigma}$ . Das gibt nach Einsetzung der Zahlenwerte 2,8 K.

Bezogen auf Regener (1933) würde das die Temperatur-Charakteristik des intergalaktischen Raumes sein, da in diesem Bereich das Licht und die Wärme von einer Galaxie vernachlässigbar wäre.

#### 4. Nernst

Die Arbeit von Regener wurde von dem bedeutenden Physiker Walther Nernst (1864-1941) diskutiert, der für seinen dritten Hauptsatz der Thermodynamik (1906) im Jahre 1920 den Nobelpreis für Chemie erhielt. Bis 1912 hatte Nernst die Idee des Universums in einem stationären Zustand entwickelt. Er äußerte diesen Gedanken in einfachen Worten im Jahr 1928:

"Das Universum ist in einem stationären Zustand, das heißt, die vorliegenden Fixsterne kühlen kontinuierlich ab und neue werden gebildet" (Nernst 1928).

Im Jahr 1937 entwickelte er dieses Modell und schlug vor, eine Lichtermüdung als Erklärung der kosmologischen Rotverschiebung, also die Absorption von Strahlung durch einen lichterzeugenden Äther, der Energie und Frequenz des galaktischen Lichts verringert (Nernst 1937). Dies würde nach Nernst nicht aufgrund eines Dopplereffekts geschehen. In dieser Arbeit erwähnt Nernst auch Regeners wichtige Arbeit, die oben diskutiert wurde.

Im Folgejahr veröffentlicht Nernst (1938) noch eine Arbeit, in der die Strahlungstemperatur im Universum diskutiert wird. Hier kam er auf eine Temperatur im intergalaktischen Raum von 0,75 K. Einmal mehr diskutiert er Regeners Werk und behauptet, daß die kosmologische Rotverschiebung nicht aufgrund eines Dopplereffekt entsteht.

Wie aus den Werken von Eddington, Regener, Nernst und anderen folgt, ist es wichtig hervorzuheben, daß die Anwendung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes als charakteristische Strahlung eines schwarzen Körpers zu erkennen ist. Als weiterer Punkt ist zu beachten, daß die gemessenen Energiedichten dieser Strahlungen (beispielsweise auf Grund des Sternenlichts und der kosmischen Strahlung), den

gleichen Wert aufweisen, was auf eine Situation des dynamischen Gleichgewichts hinweist. Sciama beschreibt diese Situation wie folgt (Sciama 1971):

Der kosmische Strahlungsfluß erfüllt fast sicher die Milchstraße, und er entspricht einer Energiedichte im interstellaren Raum von etwa  $1 \text{ eV/cm}^3$  ( $10^{-12} \text{ erg/cm}^3$ ). Dies ist vergleichbar mit der Energiedichte von Sternenlicht, der turbulenten kinetischen Energiedichte des interstellaren Gases und, wie wir später sehen werden, der Energiedichte des interstellaren Magnetfeldes. Dies ist die Grundlage unserer Aussage, daß die kosmische Strahlung dynamisch bedeutsam ist. Sie bilden ein relativistisches Gas, dessen Energie und Druck nicht ignoriert werden kann. Die annähernde Gleichheit der verschiedenen Energiedichten ist wahrscheinlich kein Zufall, aber dessen umfassendes Verständnis ist trotz vieler Versuche noch nicht erreicht worden.

Und nochmals zu Seite 185, nach der Erwähnung Penzias' und Wilsons Entdeckung einer schwarzen Strahlung von 3 K:

Von einem Laborgesichtspunkt sind 3 K eine sehr niedrige Temperatur. In der Tat, es zu messen, müssen die Mikrowellenmeßgeräte ein Referenzterminal verwenden, das in flüssiges Helium eingetaucht wird. Vom astrophysikalischen Standpunkt jedoch sind 3° K eine sehr hohe Temperatur. Ein universelles Schwarzkörperstrahlungsfeld würde bei dieser Temperatur überall eine Energiedichte von  $1 \text{ eV/cm}^3$  hervorrufen. Wie wir in Kapitel 2 [Seite 25] gesehen haben, ist das gerade die Energiedichte in unserer Galaxis in den verschiedenen Modi der interstellaren Quellen – Sternenlicht, kosmische Strahlung, Magnetfelder und turbulente Gaswolken. So würde auch in unserer Galaxie die kosmologische Hintergrundstrahlung für viele Zwecke ebenso wichtig sein wie die bekannten Energiemodi lokalen Ursprungs.

Wir möchten hierzu zwei Bemerkungen machen. Die erste ist, daß der Hauptteil der kosmischen Strahlung einen extragalaktischen Ursprung haben kann (siehe den Kommentar über die Arbeit der Millikan und Cameron weiter oben), das können die Magnetfelder sein, die den ganzen Raum füllen. Wenn dies der Fall ist, dann wären die drei extragalaktischen Erregungswirkungen (die kosmische Strahlung, Magnetfelder und die CBR) im thermischen Gleichgewicht miteinander und mit den Energiefeldern innerhalb unserer eigenen Galaxie erzeugt, wie Sternenlicht und turbulente Gaswolken. Der einfachste Weg, um diese Tatsache zu verstehen, ist zu schlußfolgern, daß das Universum als Ganzes in einem Zustand des dynamischen Gleichgewichts ist.

## 5. McKellar und Herzberg

Hier möchten wir kurz die Arbeit von Herzberg 1941 (basierend auf Beobachtungen gemacht A. McKellar) erwähnen, die Cyan Messungen im interstellaren Raum diskutiert. Herzberg fand eine Temperatur von 2,3 K, die den beobachteten Grad der Erregung der CN-Moleküle charakterisiert, wenn sie im Gleichgewicht in einem Wärmebad waren (Herzberg):

Die Beobachtung, daß den interstellaren Raum nur die niedrigsten Rotationsniveaus von CH, CH<sup>+</sup> und CN bevölkern, wird leicht durch die Entvölkerung der höheren Ebenen durch Emission des fernen Infrarot Rotationsspektrums erklärt (siehe S. 43), und durch den Mangel an Anregung zu diesen Ebenen durch Kollisionen oder Strahlung. Die Intensität des Rotationsspektrums von CN ist viel kleiner als die von CH oder CH<sup>+</sup> aufgrund des kleineren Dipolmoments sowie der kleineren Frequenz [auf Grund des Faktor  $\nu^4$  in (I, 48)]. Das ist so, weil Linien vom zweiten Niedrigpegel ( $K = 1$ ) für CN beobachtet wurden. Aus dem Verhältnis der Intensitäten der Linien  $K = 0$  und  $K = 1$  folgt die Rotationstemperatur von 2,3 K, was sich natürlich nur von sehr geringer Bedeutung ist.

Offenbar ist eine große Bedeutung in diesem Ergebnis, wurde aber von Herzberg nicht anerkannt. Dies wird durch Sciama (1971) diskutiert. Es sollte nur noch einmal betont werden, daß dieses Ergebnis nicht unter Verwendung der Urknall-Kosmologie erhalten wurde.

## 6. Finlay-Freundlich und Max Born

In den Jahren 1953-1954 schlug Finlay-Freundlich (1953, 1954a, b) ein Lichtermüdungsmodell vor, um die Rotverschiebung von solaren Linien und einigen anomalen Rotverschiebungen von mehreren Sternen, sowie der kosmologischen Rotverschiebung, zu erklären. Er schlug eine Rotverschiebung proportional zur vierten Potenz der Temperatur vor, und seine Arbeit wurde durch Max Born (1953, 1954) analysiert. Seine Formel lautet wie folgt:  $\Delta\nu/\nu = -AT^4\ell$  wobei  $\Delta\nu$  die Veränderung in der Frequenz der Linie ist,  $\nu$  ihre ursprüngliche Frequenz,  $A$  eine Konstante,  $T$  die Temperatur des Strahlungsfeldes und  $\ell$  die Länge des Weges durch das Strahlungsfeld. Was bedeutet hier für uns seine Diskussion (1954b) der kosmologischen Rotverschiebung:

#### § 6. Die kosmologische Rotverschiebung

Der Grundcharakter des Effektes unter ihrer Berücksichtigung wirft zwangsläufig die Frage auf, ob dies nicht auch die Ursache der kosmologischen Rotverschiebung sein kann, die hier als Dopplereffekt interpretiert ist. In diesem Fall ist der Einfluß des Faktors  $\ell$  in der Formel (1) explizit aus Beobachtungen gegeben. Die beobachtete Rotverschiebung  $\Delta\lambda/\lambda$  erhöht sich für jede Million Parsec ( $=3 \times 10^{24} \text{ cm}$ ) um  $0,8 \times 10^{-3}$ , was einer Geschwindigkeit von 500 km/s entspricht, wenn sie als Doppler-Effekt interpretiert wird. Eine Erhöhung um 10 km/s – entsprechend der Rotverschiebung in einem B2-Stern mit  $T_B = 20.000 \text{ K}$  – würde einem Weg von  $\ell_S = 1,2 \times 10^{23} \text{ cm}$  entsprechen.

Soweit es die mittlere Temperatur  $T_S$  des intergalaktischen Raumes betrifft, abgesehen von der Erkenntnis, daß sie in der Nähe des absoluten Nullpunktes sein muß, ist keine zuverlässige Information verfügbar. Wenn wir die kosmologische Rotverschiebung in der gleichen Weise wie die stellaren Rotverschiebungen interpretieren können, sollte die folgende Gleichung gelten:

$$T_S^4 \ell_S = T_B^4 \ell_B, \text{ or } T_S = T_B (\ell_B / \ell_S)^{1/4}. \quad (3)$$

Gleichung (3) zeigt, daß der Wert von  $T_S$ , der auf diese Weise ermittelt wurde nicht stark von der Änderung der Größe  $\ell_B$  abhängt. Nimmt man für  $\ell_B$  die beiden Extremwerte  $10^7 \text{ cm}$  und  $10^9 \text{ cm}$ , erhalten wir die folgenden zwei annehmbaren Werte

$$T_S = 1,9 \text{ K} \text{ und } T_S = 6,0 \text{ K}.$$

In einer aktuellen Arbeit leitet Gamow (1953) [Gamow, G., 1953, Dan. Acad. Math.-Phys. Section, 27, No.10] einen Wert für  $T_S$  von 7 K aus thermodynamischen Überlegungen unter der Annahme einer mittleren Materiedichte im Raum von  $10^{-30} \text{ g/cm}^3$  ab.

Man kann sich deshalb vorstellen, daß die kosmologische Rotverschiebung nicht aufgrund eines expandierenden Universums, sondern aus dem Energieverlust, die das Licht auf den immensen Längen, die es im Raum von den enorm weit entfernten Sternsysteme zu durchqueren hat, erleidet. Daß der intergalaktische Raum nicht völlig leer ist, zeigen die von Stebbins und Whitford gemachten Entdeckungen (1948) [Stebbins, J., und Whitford, A. E., 1948, Ap. J., 108, 413], so daß die kosmologische Rotverschiebung durch eine parallele unerklärliche Rötung begleitet wird. Das Licht muß also in einer Art Wechselwirkung mit Materie und Strahlung im intergalaktischen Raum ausgesetzt sein.

Als wichtigste Punkte sind hier betonen, dass Finlay-Freundlich eine Alternative zu der Doppler Interpretation der kosmologischen Rotverschiebung vorgeschlagen hat und auf  $1,9 \text{ K} < T < 6,0 \text{ K}$  für die Temperatur des intergalaktischen Raumes kam. Das ist recht bemerkenswert ist.

Es ist wichtig, hier Max Born zu zitieren (1954) bei der Erörterung des Vorschlag von Finlay-Freundlich, daß dieser neue Effekt aufgrund einer Photon-Photon-Wechselwirkung entstehen könnte, nämlich:

Ein Effekt wie dieser ist natürlich nicht in Übereinstimmung mit der gegenwärtigen Theorie. Es hat jedoch eine attraktive Folge. Die einfache Anwendung der Erhaltungssätze von Energie und Impuls zeigt, daß eine Kollision dieser Art nur möglich ist, wenn ein Teilchenpaar mit

entgegengesetzten Impulsen erzeugt wurde. Die Energie eines davon ist  $h\nu' = -h\delta\nu/2$ , wo  $\delta\nu$  durch (6) gegeben ist  $[\delta\nu = -C\nu\bar{v}/v_o]$ . Wenn die sekundären Teilchen Photonen sind mit einer Frequenz in der Größenordnung von Radarwellen (für die Sonne  $\nu' \sim 2 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ ,  $\lambda' \sim 15 \text{ cm}$ ), so ist die Rotverschiebung an die Radioastronomie geknüpft.

Wir müssen nur die Arbeit von Penzias und Wilson mit einer Hornstrahler 11 Jahre später erinnern, der zum Zwecke des Studiums von Radiowellen gebaut wurde, mit der die Hintergrundstrahlung mit einer charakteristischen Wellenlänge von 7 cm gefunden wurde. Dies muß als eine sehr erfolgreiche Vorhersage von Max Born angesehen werden!

## 7. Gamow und Mitarbeiter

Wie wir gesehen haben, erwähnt Finlay-Freundlich (1954b), daß Gamow im Jahr 1953 den Wert von 7 K für den intergalaktischen Raum abgeleitet hatte. Vor dieser Arbeit konnten wir nur zwei weitere Arbeiten finden, wo es eine Vorhersage dieser Temperatur durch Gamows Mitarbeiter Alpher und Herman gab (1948, 1949). In der ersten Arbeit sagten sie: „Die Temperatur des Gases bei der Kondensation betrug 600 K, und die Temperatur im Universum in der heutigen Zeit wurde um ca. 5 K gefunden. Wir hoffen, in naher Zukunft die Details dieser Berechnungen zu veröffentlichen“.

In der zweiten Arbeit, in denen sie die Details dieser Berechnungen angeben, sagten sie folgendes (unsere Hervorhebung in Fettdruck):

In Übereinstimmung mit Gleichung (4)  $[\rho_r \rho_m^{-4/3} = \text{konstant}]$  bestimmt die Spezifikation von  $\rho_m''$ ,  $\rho_m'$  und  $\rho_r'$  die gegenwärtige Strahlungsdichte  $\rho_r''$ . In der Tat finden wir, daß der Wert von  $\rho_r''$  im Einklang mit Gleichung (4)

$$\rho_r'' \cong 10^{-22} \text{ g/cm}^3 \quad (12d)$$

beträgt, **was einer Temperatur nun in der Größenordnung 5 K entspricht**. Die mittlere Temperatur für das Universum ist, als Hintergrundtemperatur interpretiert worden, was allein von der allgemeinen Expansion herrühren würde. **Allerdings würde die thermische Energie aus der Erzeugung von Kernenergie in den Sternen diesen Wert erhöhen.** "

Daraus ist ersichtlich, daß ihre Vorhersage 1948  $T \approx 5 \text{ K}$  war und im Jahr 1949 erhielten sie eine Temperatur von mehr als 5 K, obwohl sie an diesen Wert anschließen.

Die einzige andere Vorhersage von dieser Temperatur durch Gamow, die uns vor Penzias' und Wilsons Entdeckung (jenseits von 7 K 1953) bekannt ist, wurde von Gamow (1961) in seinem Buch „The Entstehung des Universums“ [*The Creation of the Universe*] veröffentlicht. Die erste Auflage dieses Buches ist von 1952, und hier zitieren wir aus der überarbeiteten Ausgabe des Jahres 1961, nur vier Jahre vor Penzias und Wilson. In diesem Buch gibt es nur eine Stelle, an der er die Temperatur des Universums beschreibt, nämlich [21, S. 42, unser Schwerpunkt in fett]:

Die zuvor angegebene Beziehung zwischen dem Wert der Hubble-Konstanten und der mittleren Dichte des Universums ermöglicht es uns, daraus einen einfachen Ausdruck zu gewinnen und die Temperatur während der frühen Stadien der Expansion als Funktion der Zeit ab dem Zeitpunkt der maximalen Kompression zu ermitteln. Setzen wir die Zeit in Sekunden und die Temperatur in Grad (siehe Anhang, S. 142-143), haben wir:

$$\text{Temperatur} = \frac{1,5 \times 10^{10}}{[\text{Zeit}]^{1/2}}$$

Wenn also das Universum 1 Sekunde, 1 Jahr, 1 Million Jahre alt war, waren seine Temperaturen entsprechend 15 Milliarden, 3 Millionen, und 3000 Grad absolute. **Beim Einsetzen der heutigen Zeit für das Alter des Universums ( $t = 10^{17} \text{ s}$ ) in diese Formel finden wir**

$$T_{\text{present}} = 50 \text{ Grad absolute,}$$

was in guter Übereinstimmung mit der aktuellen Temperatur des interstellaren Raumes ist. Ja, unser Universum brauchte etwas Zeit, um von der glühenden Hitze in seinen frühen Tagen auf die eisige Kälte von heute abzukühlen!

Wir diskutieren diese Vorhersagen durch Gamow und Mitarbeiter weiter unten.

## 8. Diskussion und Schlußfolgerungen

In den meisten Lehrbüchern heutzutage sehen wir die Aussage, daß Gamow und Mitarbeiter die 2,7 K Temperatur vor Penzias und Wilson vorhergesagt hat, während die Steady-State-Theorie von Hoyle, Narlikar und Gold diese Temperatur nicht vorhergesagen. Daher wird die korrekte Vorhersage der 2,7 K als eines der stärksten Argumente für den Urknall gefeiert. Allerdings haben diese beiden Modelle einen sehr wichtigen Aspekt gemeinsam: Beide nehmen für die Interpretation der kosmologischen Rotverschiebung einen Doppler-Effekt, was bedeutet, daß beide Modelle die Expansion des Universums akzeptieren.

Aber es gibt ein drittes Modell des Universums, das in diesem Jahrhundert von mehreren Wissenschaftlern einschließlich Nernst, Finlay-Freundlich, Max Born und Louis de Broglie (1966) entwickelt wurde. Es basiert auf einem dynamischen Gleichgewicht im Universum ohne Expansion und ohne fortwährende Erschaffung der Materie. Wir überprüfen dieses Thema in früheren Arbeiten (Assis 1992, 1993). Obwohl es in fast keinem Lehrbuch, das sich heute mit Kosmologie befaßt erwähnt wird, scheint dieses dritte Modell das wichtigste von allen von ihnen zu sein.

Um zu verstehen, wie die Lehrbücher das Gleichgewicht der Kosmologie so völlig zu vernachlässigen könnten, lohnt es sich, einen Brief, den Gamow im Jahre 1965 nach Penzias' und Wilsons Entdeckung an Arno Penzias schrieb (seltsamerweise ist der Brief auf 1963 datiert...) zu zitieren. Dieser Brief wurde in Penzias Artikel (1972), aus dem wir zitieren, wiedergegeben:

Vielen Dank für die Zusendung Ihrer Arbeit zur 3-K-Strahlung. Sie ist sehr schön geschrieben, außer daß „Frühgeschichte“ nicht eben „sehr vollständig“ ist. Die Theorie des, wie jetzt bekannt ist, „Ur-Feuerballs“, wurde zuerst von mir im Jahre 1946 entwickelt (Phys. Rev. 70, 572, 1946; 74, 505, 1948; Nature 162, 680, 1948). Die Vorhersage des numerischen Wertes der vorliegenden (Rest-) Temperatur könnte in Alpher & Hermann's Arbeit gefunden werden (Phys. Rev. 75, 1093, 1949), die 5 K schätze, und in meiner Arbeit (KongDansk. Ved. Sels 27 N<sup>o</sup> 10, 1953) mit der Schätzung von 7 K. Auch in meinem populärwissenschaftlichen Buch „Die Entstehung des Universums“ (Viking 1952) können Sie (auf Seite 42) die Formel  $T = 1,5 \times 10^{10} / t^{1/2} \text{ K}$  und die Obergrenze von 50 K finden. Somit können Sie sehen, daß die Welt nicht mit dem Allmächtigen [almighty] Dicke begonnen hat.

Mit freundlichen Grüßen  
G. Gamow

Dieser Brief, wie wir gesehen haben, entspricht nicht den wahren Tatsachen. Gamow, berechnet in der überarbeiteten Auflage seines Buches von 1952, das 1961 veröffentlicht wurde, eine Temperatur. Deshalb schätzt Gamow in dieser Arbeit keine *Obergrenze von 50 K*. Für Gamow ist es notwendig, jedermann zu überzeugen, daß er richtig und vor allen anderen vorhergesagt hat, weil die Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung schon in einem anderen Teil der Penzias-Arbeit nachgewiesen ist (1972):

Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, die verschiedenen theoretischen Erklärungen der 3 K zu bewerten. Doch die einzige Anspruch der Theorie des heißen expandierenden Universum ist, daß die Hintergrundstrahlung vorhergesagt wurde, bevor sie gefunden wurde. Am 4. „Texas“-Symposium für relativistische Astrophysik war George Gamow der Vorsitzende der Sitzung für Mikrowellen-Hintergrundstrahlung. Er beendete seine Ausführungen mit einem Kommentar, der zu meinen besten Erinnerungen zählt: „Wenn ich einen Fünfer [nickel] verliere und irgend jemand findet einen Fünfer, kann nicht beweisen, daß es mein Fünfer ist. Doch ich habe einen Fünfer gerade dort verloren, wo sie einen gefunden haben.“ Der Applaus war laut und lang.

Wie wir in diesem Papier gesehen haben, erhalten Gamow und seine Mitarbeiter  $T \approx 5 \text{ K}$  bis  $T = 50 \text{ K}$  in stetiger Folge (5 K,  $\geq 5 \text{ K}$ , 7 K und 50 K)... Das sind ziemlich schlechte Vorhersagen verglichen mit Guillaume, Eddington, Regener und Nernst, McKellar und Herzberg, Finlay-Freundlich und Max Born, die entsprechend auf  $5 \text{ K} < T < 6 \text{ K}$ ,  $T = 3,1 \text{ K}$ ,  $T = 2,8 \text{ K}$ ,  $T = 2,3 \text{ K}$ ,  $1,9 \text{ K} < T < 6,0 \text{ K}$  gekommen sind!

Alle diese Autoren erhalten diese Werte von Messungen und/oder theoretischen Berechnungen, aber keiner von ihnen benutzt die Urknalltheorie. Dies bedeutet, daß die Entdeckung von Penzias und Wilson nicht als entscheidende Beweise für die Urknalltheorie anzusehen sind. Ganz im Gegenteil, die Modelle eines Universums mit dynamischem Gleichgewicht haben die Werte vor Gamow und mit besserer Genauigkeit vorhergesagt. Und nicht nur das, Max Born sagte den Zusammenhang zwischen der kosmologischen Rotverschiebung und der kosmischen Hintergrundstrahlung schon 11 Jahre vor der Entdeckung der CBR durch Penzias und Wilson in der Radioastronomie unter Verwendung eines Hornstrahlers zum Studium der Radiostrahlung voraus!

Unsere Schlußfolgerung ist, daß die Entdeckung der CBR durch Penzias und Wilson ein entscheidender Faktor für ein dynamisches Gleichgewicht im Universum ist und gegen Modelle eines expandierenden Universums spricht, wie es der Urknall und der Steady-State darstellen.

### **Danksagung**

Die Autoren danken Dr. Anthony L. Peratt, daß er unsere Aufmerksamkeit auf Guillaumes Arbeit gelenkt hat. A.K.T.A. wünscht Dank zu sagen an CNPq, FAPESP und FAEP für die finanzielle Unterstützung in den letzten Jahren.

## Literatur

- Alpher, R. A. and Herman, R., 1948, *Nature* 162, 774-775.
- Alpher, R. A. and Herman, R., 1949, *Physical Review* 75, 1089-1095.
- Assis, A. K. T., 1992, *Apeiron* 12, 10-16.
- Assis, A. K. T., 1993, in: *Progress in New Cosmologies: Beyond the Big Bang*, ed. H. C. Arp et al., Plenum, 153-167.
- Born, M., 1953, *Göttinger Nachrichten*, 7, 102-108.
- Born, M., 1954, *Proceedings of the Physical Society A* 67, 193-194.
- de Broglie, L., 1966, *Comptes Rendues de l'Academie des Sciences de Paris* 263, 589-592.
- Dicke, R. H., Peebles, P. J. E., Roll P. G. and Wilkinson, D. T., 1965, *Astrophysical Journal* 142, 414-419.
- Eddington, A. S., 1988, *The Internal Constitution of the Stars*, Cambridge University Press, Chapter 13, S. 371. Reprint of 1926 edition.
- Finlay-Freundlich, E., 1953, *Göttinger Nachrichten*, 7, 95-102.
- Finlay-Freundlich, E. 1954b, *Philosophical Magazine* 45, 303-319.
- Finlay-Freundlich, E., 1954a, *Proceedings of the Physical Society A* 67, 192-193.
- Gamow, G., 1961, *The Creation of the Universe*, Viking, revised edition.
- Guillaume, C.-E., 1896, *La Nature* 24, series 2, S. 234.
- Herzberg, G., *Molecular Spectra and Molecular Structure*. Vol. I: *Spectra of Diatomic Molecules*.
- Millikan, R. A. and Cameron, G. H., 1928, *Physical Review* 31, 163-173.
- Millikan, R. A. and Cameron, G. H., 1928, *Physical Review* 31, 921-930.
- Nernst, W., 1928, *Journal of the Franklin Institute* 207, 135-142.
- Nernst, W., 1937, *Zeitschrift für Physik* 106, 633-661.
- Nernst, W., 1938, *Annalen der Physik* 32, 44-48.
- Penzias, A. A., 1972, in: *Cosmology, Fusion & Other Matters*, F.Reines (ed.), Colorado Associated University Press, 29-47.
- Penzias, A. A. and Wilson, R. W., 1965, *Astrophysical Journal* 142, 419-421.
- Regener, E., 1933, *Zeitschrift für Physik* 80, 666-669.
- Rossi, B., 1964, *Cosmic Rays*, McGraw-Hill, Chap. 1, S. 1.
- Sciama, D. W., 1971, *Modern Cosmology*, Cambridge U. P.