

Nobelpreis für Physik 2006:

Erforschung des kosmischen Mikrowellenhintergrundes



Am 3. Oktober verkündete das Nobelpreis-Komitee, dass der Physik-Nobelpreis 2006 an die US-Amerikaner John Mather (links) und George Smoot (rechts) verliehen wird, und zwar für deren bahnbrechende Experimente an Bord des NASA-Satelliten Cosmic Background Explorer (COBE). Ihre Messungen bestätigten, dass sich im frühen Universum Materie und Strahlung in einem nahezu perfekten thermodynamischen Gleichgewicht befanden. Winzige Schwankungen in Temperatur und Dichte haben sich seitdem zu Sternen, Galaxien und den großräumigen Strukturen entwickelt, die heute im Universum sichtbar sind.

Der kosmische Mikrowellenhintergrund

Der russisch-amerikanische Physiker George Gamov sagte 1948 als eine direkte Konsequenz der Urknalltheorie eine thermische Hintergrundstrahlung voraus, die uns im Mikrowellenbereich aus allen Richtungen gleichförmig (isotrop) erreichen sollte. Allerdings wurde seine Vorhersage zunächst wenig beachtet, und als im Jahr 1964 zwei Wissenschaftler der Bell Laboratories, Arno Penzias und Robert Wilson, bei der Suche nach kosmischen Radioquellen in einem für die Satellitenkommunikation vorgesehenen Frequenzbereich ein isotropes Signal in ihren Daten fanden, wussten Sie zunächst nicht, um was es sich dabei eigentlich handelt. Eine Gruppe von Kosmologen in der Nachbarschaft konnte Auskunft geben. Ironie der Geschichte: sie waren wenige Monate davon entfernt, selbst danach zu suchen. Für die "Entdeckung der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung" bekamen Penzias und Wilson 1978 den Nobelpreis für Physik.

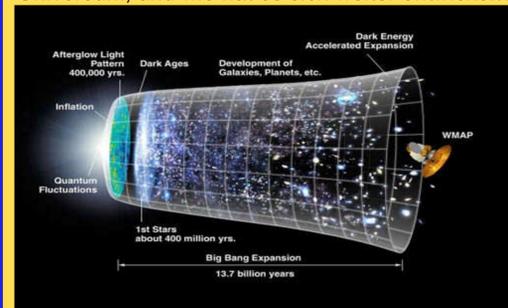


Mit dieser Hornantenne entdeckten Arno Penzias und Robert Wilson 1964 den kosmischen Mikrowellenhintergrund. Das Herzstück der Anlage, welches sich in der kleinen Hütte am Ende der Antenne befindet, steht heute im Deutschen Museum in München, was dem persönlichen Engagement von Arno Penzias zu verdanken ist: Er wurde 1933 in München geboren.

Der "Urschrei" des Universums ...

... und was wir daraus lernen können

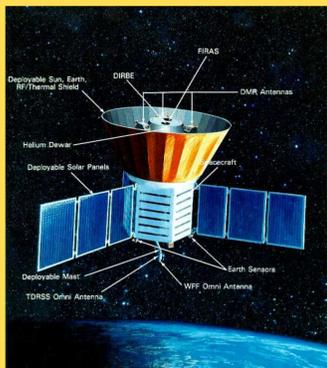
Der Mikrowellenhintergrund und die von COBE entdeckten Fluktuationen in ihm sind das erste Signal, das wir vom frühen Universum empfangen und vermessen können. Es handelt sich sozusagen um den "ersten Schrei" des Universums, den es nach seiner Geburt ausgestoßen hat. Zu diesem Zeitpunkt war das Universum allerdings schon ca. 400.000 Jahre alt, und viele für die Theorie interessante Phasen spielten sich in der Zeit davor ab, die wir niemals direkt beobachten können. Durch eine genaue Vermessung der statistischen Eigenschaften der Fluktuationen im Mikrowellenhintergrund und ihrer Polarisation ist es aber möglich, sich über den Vergleich mit theoretischen Vorhersagen ein Bild von dieser Zeit zu machen, und Antworten zu finden auf Fragen wie: Nach welchem Mechanismus lief der Urknall ab? Woraus besteht das Universum? Wie alt ist das Universum, und wie hat es sich weiter entwickelt?



Der im Jahr 2001 gestartete NASA-Satellit WMAP hat bis 2010 den Mikrowellenhintergrund vermessen mit einer gegenüber COBE 30-fach verbesserten Winkelauflösung. Die Publikation der ersten WMAP-Ergebnisse gehörte schon nach wenigen Jahren zu den meistzitierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen aller Zeiten, was eindrucksvoll den Stellenwert der Kosmologie in der heutigen Forschung unterstreicht.

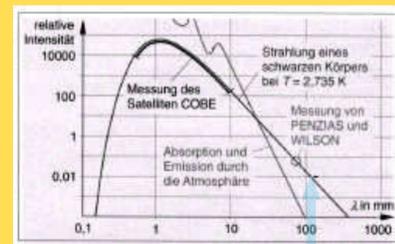
Einige dieser Fragen konnte mittlerweile der NASA-Satellit WMAP beantworten: Das Universum ist demnach genau 13,7 Milliarden Jahre alt. Außerdem hat die Struktur des frühen Universums genau die statistischen Eigenschaften, die man erwartet, wenn alle Strukturen von Quantenfluktuationen des Vakuums während einer inflationär beschleunigten, sehr frühen Ausdehnungsphase stammen. Darüber hinaus bestätigen die WMAP Daten, dass der heutige Zustand des Universums von der bislang noch nicht näher bestimmten dunklen Materie und von einer dunklen Energie dominiert wird. Allerdings konnte WMAP noch nicht klären, welche Natur die dunkle Energie hat, und auch hinsichtlich der Inflation, also des genauen "Mechanismus" des Urknalls, konnte noch keine letzte Gewissheit geschaffen werden.

Die COBE Mission



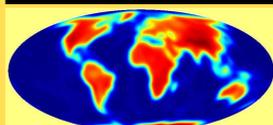
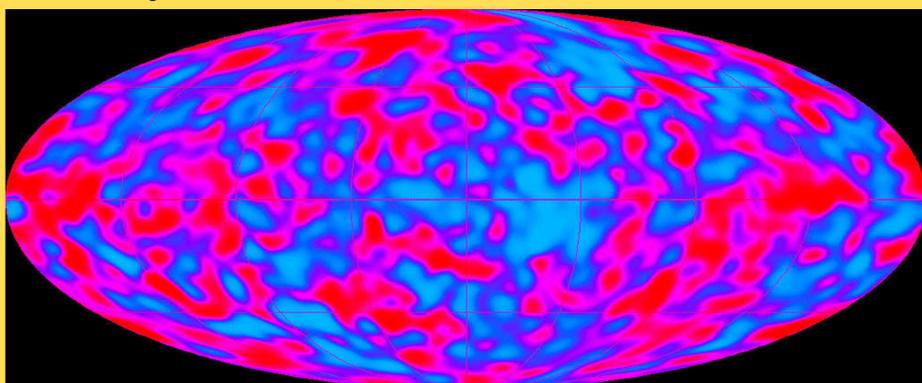
Der Mikrowellenhintergrund ist auf der Erdoberfläche nur bei großen Wellenlängen beobachtbar, der größte Teil der Strahlung wird von der Atmosphäre abgeschirmt. Im Jahr 1989 startete die NASA mit dem Cosmic Background Explorer (COBE) erstmals einen Satelliten, der speziell für die genaue Erforschung des Mikrowellenhintergrundes konstruiert wurde. Geleitet von John Mather und George Smoot waren über 1000

Bereits in den ersten neun Betriebsminuten hatte John Mathers FIRAS Instrument gezeigt, dass die Intensität der kosmischen Hintergrundstrahlung als Funktion der Wellenlänge exakt dem Strahlungsgesetz von Max Planck aus dem Jahre 1900 folgt: Es ist die Strahlung eines idealen schwarzen Körpers, eines Objekts in perfektem thermodynamischen Gleichgewicht mit seinem Strahlungsfeld - wie 1948 von Gamov vorhergesagt.



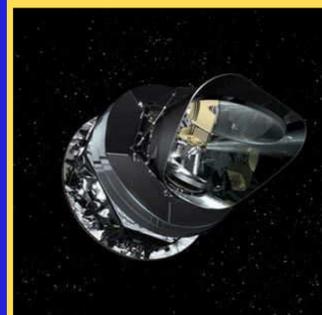
Das Spektrum des Mikrowellenhintergrundes: Mit ähnlichen Wellenlängen wie der von Penzias und Wilson verwendeten erwärmen wir heute unsere Speisen - im Mikrowellenherd!

George Smoots DMR Instrument war dafür ausgelegt, kleinste Schwankungen der Temperatur der Hintergrundstrahlung um ihren Mittelwert von 2,73 Grad über dem absoluten Nullpunkt zu kartieren. Nach einem Betriebsjahr konnten Smoot und seine Kollegen solche Schwankungen nachweisen, und zwar auf dem Niveau von einem tausendstel Prozent. Die Existenz dieser winzigen Fluktuationen war mehr als zwanzig Jahre zuvor von russischen und amerikanischen Theoretikern vorhergesagt worden. Seit dem Zeitpunkt der Entstehung der Hintergrundstrahlung sind diese Schwankungen durch die Gravitationskraft angewachsen und haben zu den Strukturen im Universum geführt, die uns heute umgeben.



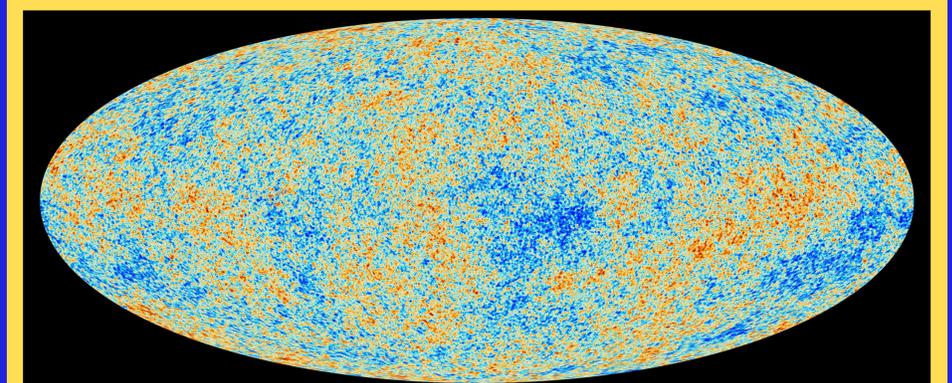
Die Entdeckung der Fluktuationen im Mikrowellenhintergrund, zu sehen in der Karte oben, war ein fundamentaler Schritt in der Kosmologie. Für ihre genaue Vermessung aber war der COBE Blick zu unscharf: Das kleine Bild links zeigt zum Vergleich die Erde, gesehen mit der Winkelauflösung von COBE.

Die Planck Mission



Der ESA-Satellit Planck startete 2009. Ein Modell im Maßstab 1:4 hängt in der Eingangshalle des MPA.

Die bislang letzte Mission zur Erforschung des Mikrowellenhintergrundes wird von der ESA geleitet und ist nach dem Entdecker des Strahlungsgesetzes, Max Planck, benannt. Erste Ergebnisse wurden 2011 veröffentlicht und zeigen eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu WMAP. Planck kartographiert die kosmische Hintergrundstrahlung in neun Frequenzen zwischen 30 und 857 GHz mit einer bis dahin unerreichten Auflösung. Neben einer genaueren Bestimmung der kosmologischen Parameter lassen sich durch die Auswertung der Daten auch wichtige Erkenntnisse über nahe Objekte wie etwa unsere Galaxie gewinnen. Als führender deutscher Partner innerhalb des Projekts ist das MPA intensiv an der Interpretation der Planck-Daten beteiligt.



Diese Karte zeigt den kosmischen Mikrowellenhintergrund wie er vom Planck-Satelliten aufgenommen wurde. Das Max-Planck Institut für Astrophysik (MPA) lieferte einen großen Teil der Software, welche zum Auswerten der Daten nötig war.