

■ Vordergründige Strahlung

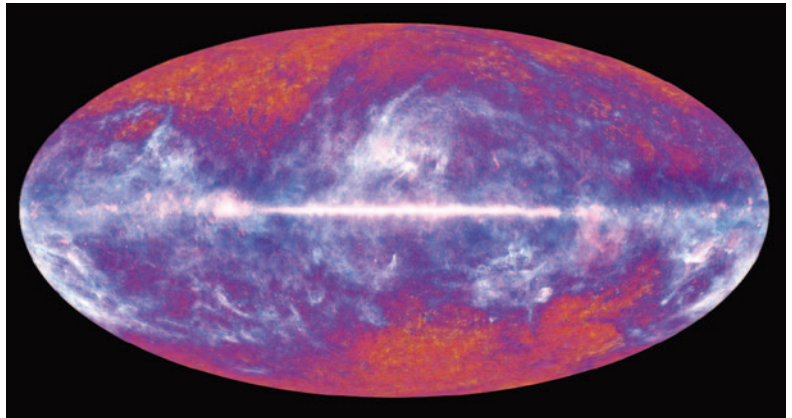
Gut zwei Jahre nach dem Start des Planck-Satelliten liegen nun erste Ergebnisse vor, welche die Vordergrundstrahlung genau analysieren.

#) vgl. den Artikel von Jens Niemeyer auf S. 27 in diesem Heft

Der kosmische Mikrowellenhintergrund ist ein Relikt des frühen Universums und für die Kosmologie von überragender Bedeutung.^{#)} Denn diese hochgradig isotrope, thermische Strahlung mit einer Temperatur von rund 2,7 K zeigt uns den Zustand des Universums kurz nach der Entstehung der ersten Atome und lange vor dem Aufleuchten der ersten Sterne und Galaxien. Am 14. Mai 2009 startete der Planck-Satellit der europäischen Weltraumagentur (ESA), um die kosmische Mikrowellenstrahlung viel genauer als bislang zu vermessen. Nun gibt es erste wissenschaftliche Ergebnisse, die auf einer neunmonatigen Datenaufnahme basieren und die Vordergrundstrahlung analysieren.

Planck tritt in die Fußstapfen der Weltraummissionen COBE (Cosmic Background Explorer) und WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) [1]. Erstmals übernimmt Europa die führende Rolle bei der Erforschung des kosmischen Mikrowellenhintergrunds. Der Planck-Satellit beobachtet den Himmel vom Lagrange-Punkt L2 aus, der etwa 1,5 Millionen Kilometer außerhalb der Erdumlaufbahn auf der Linie Sonne-Erde liegt. Zweimal pro Jahr scannt Planck den gesamten Himmel ab. Die nun vorliegenden Ergebnisse basieren auf einer 1,6-fachen Abdeckung des Himmels.

Der Planck-Satellit trägt zwei Instrumente an Bord, das „Low Frequency Instrument“ und das „High Frequency Instrument“, die gemeinsam neun Frequenzbänder zwischen 25 und 1000 GHz abdecken. Die Winkelauflösung dieser Frequenzbänder liegt zwischen 33 Bogenminuten für die niedrigsten und 4 Bogenminuten für die höchsten Frequenzen. Zum Vergleich: WMAP hat eine Auflösung von 53 bis 13 Bogenminuten und nur fünf Frequenzbänder, alle unter 100 GHz. Nach zwei Jahren Beobachtungszeit wird der statistische Fehler der Planck-Messungen doppelt so klein sein wie



ESA/LFI & HFI Consortia

Diese Himmelskarte basiert auf Planck-Daten, die der Satellit zwischen August 2009 und Juni 2010 aufgenommen hat. Sie deckt das gesamte elektromagnetische Spektrum von 30 bis 857 GHz ab. In den Außenbereichen zeigen sich die

der bei WMAP nach neun Jahren Datenaufnahme.

Das wissenschaftliche Ziel von Planck ist es, die Anisotropien der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung mit höchster Genauigkeit zu vermessen. Die Empfindlichkeit und Auflösung der Detektoren ist durch die fundamentalen Schranken, die verschiedene astrophysikalische Prozesse diesem Ziel setzen, begrenzt. Neben der Intensität der Anisotropien misst Planck deren Polarisation mit hoher Genauigkeit. Damit könnte Planck erstmals die Energieskala der kosmologischen Epoche der Inflation bestimmen [2]. Die neun Frequenzbänder erlauben es, die primordiale Mikrowellenstrahlung abzutrennen sowie zahlreiche astrophysikalische Prozesse im Vordergrund zu untersuchen.

Doch das kosmologische Ziel der Planck-Mission ist nicht direkt zu erreichen: Zunächst ist es unumgänglich, möglichst alle Quellen von Mikrowellenstrahlung nach der Entstehung der ersten Sterne und Galaxien zu identifizieren, zu charakterisieren und zu katalogisieren, da diese den kosmischen Mikrowellenhintergrund „kontaminieren“. Ergebnisse dieses ersten Arbeitsschritts, nämlich das Studium der verschiedenen Vordergrundstrah-

winigen Temperaturschwankungen des Mikrowellenhintergrunds, welche die primordialen Dichteschwankungen widerspiegeln. Der größte Teil des Bildes ist dominiert von diffusen Gas- und Staubemissionen.

lungen, liegen nun in Form von 26 Publikationen vor [3]. Im Folgenden seien einige dieser Ergebnisse exemplarisch herausgegriffen.

Ein zentrales Ergebnis ist ein Katalog – der sog. Early Release Compact Source Catalogue – mit rund 15 000 Punktlichtquellen, die mit hoher Signifikanz gemessen und analysiert wurden. Diese Quellen umfassen ein breites Spektrum astrophysikalischer Objekte, von fernen Radiogalaxien über kalte Molekülwolken in der Milchstraße zu bislang nicht identifizierten Objekten. Diese Durchmusterung des gesamten Himmels ist die erste ihrer Art im Radio- und Submillimeterbereich. Speziell war es möglich, 915 Orte zu katalogisieren, an denen aktuell vermutlich Sterne in der Milchstraße entstehen, sowie 189 Galaxienhaufen, die über inverse Compton-Streuung die kosmische Mikrowellenstrahlung modifizieren (Sunyaev-Zeldovich-Galaxienhaufen). Der Sunyaev-Zeldovich-Effekt beschreibt, wie heiße Elektronen aus dem sonst nur durch Röntgenteleskope beobachtbaren Plasma in Galaxienhaufen auf Photonen des kosmischen Mikrowellenhintergrunds übertragen werden. Mithilfe dieses Effekts lassen sich viele kosmologische und astrophysikalische Fragen untersu-

Prof. Dr. Dominik Schwarz, Fakultät für Physik, Universität Bielefeld, Postfach 100131, 33501 Bielefeld

chen. Planck hat die Zahl der nachgewiesenen Sunyaev-Zeldovich-Galaxienhaufen fast verdoppelt.

Neben dem kosmischen Mikrowellenhintergrund gibt es einen Infrarothintergrund, der durch eine Vielzahl von nicht aufgelösten Punktquellen zustande kommt. Diese Punktquellen sind vor allem ferne Galaxien. Planck hat erstmals das Leistungsspektrum der Anisotropien des fernen Infrarothintergrunds gemessen (im Frequenzbereich knapp unter 1 THz) und erlaubt damit, die Entstehung der ersten Galaxien zu analysieren. Zudem belegen die Ergebnisse, dass die Energiespektren extragalaktischer Radioquellen, hauptsächlich Radiogalaxien, ab 70 GHz steil abfallen – eine gute Nachricht für die Analyse der kosmischen Mikrowellenstrahlung, da Radioquellen das gesuchte Signal weniger verschmutzen als bislang angenommen.

Die Untersuchung naher Galaxien zeigt zum ersten Mal, dass diese ähnlich der Umgebung des Sonnen-

systems eine Komponente kalten Staubs ($T < 20$ K) enthalten. Für die Milchstraße selbst war es möglich, verschiedene kalte Gaskomponenten zu vermessen und zu modellieren – ein weiterer wichtiger Schritt, um den galaktischen Vordergrund von der kosmischen Hintergrundstrahlung abzutrennen.

Schließlich hat Planck eine Vermutung erstmals mit hoher Signifikanz bestätigt: Die Radioemission von schnell rotierenden Staubpartikeln in der Milchstraße liefert einen vierten wichtigen Beitrag zur Vordergrundstrahlung. Die drei schon länger bekannten Beiträge der Milchstraße sind die Synchrotronstrahlung geladener Teilchen, die sich im galaktischen Magnetfeld bewegen, thermische Bremsstrahlung von freien Elektronen, die an freien Ionen streuen („free-free emission“), und die thermische Strahlung von interstellarem Staub.

Die Analyse ist nicht zuletzt derart komplex, da alle oben genannten Strahlungskomponenten der Milch-

straße sowie unzählige Punktquellen (vornehmlich Radiogalaxien) von den gemessenen Himmelskarten abzuziehen sind, um die angestrebte Genauigkeit zu erreichen.

Der Planck-Satellit wird voraussichtlich bis zum Jahreswechsel Daten sammeln – dann geht das flüssige Helium, welches die Detektoren kühlt, zur Neige. Für Januar 2013 erwarten wir mit Spannung die ersten kosmologischen Daten und Analysen, die auf den Beobachtungen bis November 2010 basieren werden. Eine dritte Welle von Veröffentlichungen ist für Januar 2014 geplant, die sich auf alle Beobachtungen bis zum Ende der Planck-Mission stützen wird.

Dominik Schwarz

- [1] G. Börner, *Physik Journal*, Februar 2005, S. 21 und T. Enßlin, *Physik Journal*, Dezember 2006, S. 24
- [2] J. Niemeyer und D. J. Schwarz, *Sterne und Weltraum*, Januar 2011, S. 46
- [3] *Astronomy & Astrophysics*, (2011), www.sciops.esa.int/index.php?project=PLANCK&page=Planck_Published_Papers