

tierte, ehrte ihn das begeisterte Publikum mit Standing Ovations.

Der Nachweis von Anisotropien in der Hintergrundstrahlung erwies sich als schwieriger. Als COBE geplant wurde, erwartete man für die Temperaturabweichungen Werte um ein tausendstel Kelvin. Doch Theoretiker, die den Einfluss von dunkler Materie auf die kosmologische Entwicklung berücksichtigten, reduzierten den Erwartungswert auf ein hunderttausendstel Kelvin. Dies stellte enorme Anforderungen an das DMR-Instrument und den Auswerteprozess, der Störeffekte herausfiltern musste.

Im April 1992 konnte Smoot schließlich die Sensation verkünden: In der Mikrowellenkarte des Himmels waren Strukturen sichtbar geworden, die tatsächlich nur um etwa ein hunderttausendstel Kelvin von der mittleren Temperatur der Hintergrundstrahlung abwichen (Abb. 1). Die Positionen dieser Strukturen am Himmel, so stellte sich im Nachhinein heraus, stimmten mit den Messungen anderer Experimente überein, die vom Erdboden oder von Höhenforschungsbalons aus durchgeführt worden waren. Allerdings waren diese früheren Messungen mit größeren Ungenauigkeiten behaftet und deshalb weniger aussagekräftig gewesen.

Ballonexperimente wie etwa BOOMERANG und MAXIMA, die in der Folgezeit mit noch höherer Genauigkeit durchgeführt wurden, sowie die Messungen der 2001 gestarteten Wilkinson Microwave

Anisotropy Probe WMAP, bestätigten die COBE-Messungen. Der europäische Satellit PLANCK, der 2008 starten soll, wird die Messungen mit nochmals gesteigerter Präzision fortführen. Während die räumliche Auflösung von COBE nur sieben Grad betrug, wird PLANCK fünf Bogenminuten erreichen.

Gewiss gehören die Erkenntnisse, an denen das COBE-Team so wichtigen Anteil hatte, zu den bedeutendsten Errungenschaften der Astronomie im 20. Jahrhundert. Sie bestätigten nicht nur die Grundzüge des Urknallmodells, sondern sie lieferten erstmals wichtige Zahlen, an denen sich weitere Theorien und Hypothesen orientieren müssen. So lassen sich zum Beispiel wichtige Aussagen über das Verhältnis von gewöhnlicher Materie zu der noch rätselhaften dunklen Materie machen. Die Kosmologie hat sich dadurch den Rang eines ernstzunehmenden Zweiges der Astronomie und der Physik erworben.

UWE REICHERT

Beide Laureaten legten die Entdeckungsgeschichte der kosmischen Hintergrundstrahlung in Buchform vor: George Smoot und Key Davidson: *Wrinkles in Time*, New York, 1993 (deutsch: *Das Echo der Zeit*, München 1995); John C. Mather und John Boslough: *The Very First Light: The True Inside Story of the Scientific Journey Back to the Dawn of the Universe*, Basic Books 1996. Weitere Informationen zu Weblinks und Literaturangaben finden Sie auf unserer Homepage unter www.suw-online.de/artikel/ID=855762

Der Galaxienentwicklung auf der Spur

»Transparente« Galaxien mit intensiver Sternentstehung im jungen Universum nachgewiesen

Beobachtungen im Millimeter-Bereich können zuverlässige Informationen über die Sternentstehungsrate in Galaxien im jungen Universum liefern. Zudem geben sie Hinweise auf ein mögliches Entwicklungsszenarium von Elliptischen Galaxien.

Zahlreiche Forscherteams unternahmen in den letzten Jahren enorme Anstrengungen, um die verschiedenen Entwicklungsphasen von Elliptischen Galaxien besser zu verstehen. Dabei ist klar geworden, dass der Rotverschiebungsbereich zwischen $z \approx 3$ und $z \approx 1.5$ eine entscheidende Epoche in der Galaxienentwicklung darstellt. Dies entspricht einem Zeitraum zwischen 2.2 Milliarden und 4.3

Milliarden Jahren nach dem Urknall. In dieser Ära liegt sowohl das Maximum der Quasar-Aktivität als auch das der Sternentstehungsrate.

In der Regel verwenden Astronomen spezielle Selektionstechniken, um mögliche Vorgänger der im heutigen lokalen Universum beobachteten Elliptischen Galaxien zu finden. Welche Phasen der Galaxienentwicklung mit diesen Methoden



SONNENAUFNAHMEN IM LICHT DER ROTEN WASSERSTOFFLINIE (656,28NM) MIT SKYNYX2-0M

- Mosaik aus 4 Bildern: Östliche Sonnenregion mit AR 0901 (aktive Region) vom 25.7.2006
- Refraktor mit $f = 660\text{mm} / 80\text{mm}$, Coronado SM60 + BF15 mit Barlowlinse auf $f = 2200\text{mm}$ erweitert
- Die Bildrate betrug 60 fps mit einem Notebook mit Intel Duo Prozessor 1,66 GHz



SKYNYX ASTRONOMIE KAMERAS

SKYNYX2-0

- CCD mit 640x480 Pixel
- Bis zu 60 Frames pro Sekunde (Bei voller Auflösung)
- 8 oder 12 Bit pro Pixel
- Farbe und S/W
- T-Mount Anschluß

789,00 €*

SKYNYX2-1

- CCD mit 1392x1040 Pixel
- Bis zu 15 Frames pro Sekunde (Bei voller Auflösung)
- 8 oder 12 Bit pro Pixel
- Farbe und S/W
- T-Mount Anschluß

1.275,00 €*

SKYNYX2-2

- CCD mit 1616x1232 Pixel
- Bis zu 12 Frames pro Sekunde (Bei voller Auflösung)
- 8 oder 12 Bit pro Pixel
- Farbe und S/W
- T-Mount Anschluß

1.835,00 €*

* Preis incl. MwSt. und Versand in Deutschland so lange Vorrat reicht.

FRAMOS ELECTRONIC VERTRIEBS GMBH
Zugspitzstr. 5 - Haus C
82049 Pullach bei München
T +49.89.710 667-0 · F +49.89.710 667-66
info@framos.de · www.framos.de
info@framos.co.uk · www.framos.co.uk
info@framos.it · www.framos.it

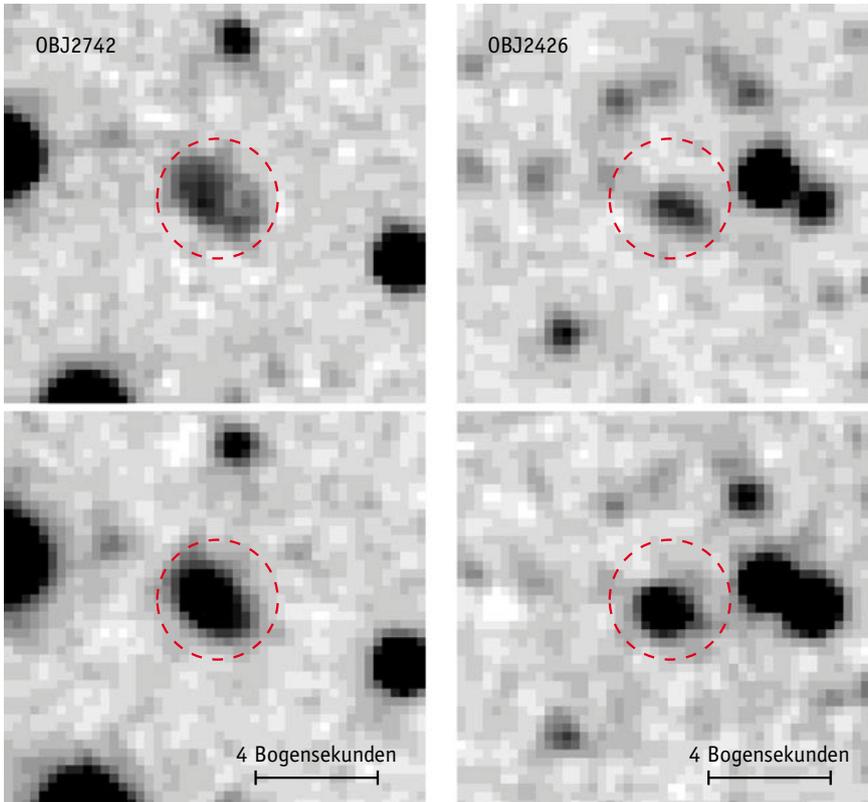


Abb. 1: Die mit MAMBO nachgewiesenen Quellen OBJ2742 und OBJ2426 (innerhalb der gestrichelten Kreise) zeigen sowohl im blauen (oben, B-Filter) als auch im roten Wellenlängenbereich (unten, z-Filter) ein irreguläres Aussehen. Die Aufnahmen entstanden mit der Weitfeld-Kamera SUPRIME-CAM am Fokus des SUBARU-Teleskops.

ausgewählt werden und wie diese miteinander in Einklang gebracht werden können, ist eine der zentralen Fragen.

Im Jahre 2004 stellten Emanuele Daddi und sein internationales Team eine Technik vor, die es erlaubt, Galaxien mit intensiver Sternentstehung (einige hundert Sonnenmassen pro Jahr) im Rotverschiebungsbereich $z \approx 1.6 - 2.5$ zu selektieren (ApJ, **617**, 746 [2004]). Im Vergleich dazu entsteht in unserer Galaxis, dem Milchstraßensystem, im Mittel ein Stern mit einer Sonnenmasse pro Jahr. Die Selektion erfolgt durch die Kombination von drei Wellenlängenbereichen, dem optisch-blauen (429 Nanometer, B-Filter), dem optisch-roten (850 Nanometer, z-Filter) und dem nahen Infraroten (2162 Nanometer, K-Filter). Die durch diese Methode ausgewählten Quellen sind in der astro-

nomischen Fachwelt als »BzK-Galaxien« (nach den drei verwendeten Filtern) bekannt. Mit dieser Methode weist man vor allem massereiche Galaxien nach, die mit einigen hundert Milliarden Sonnenmassen ähnlich groß sind wie Elliptische Galaxien im lokalen Universum.

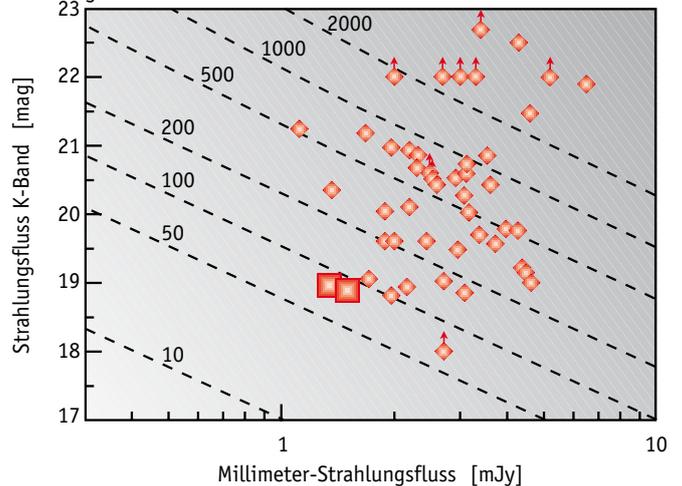
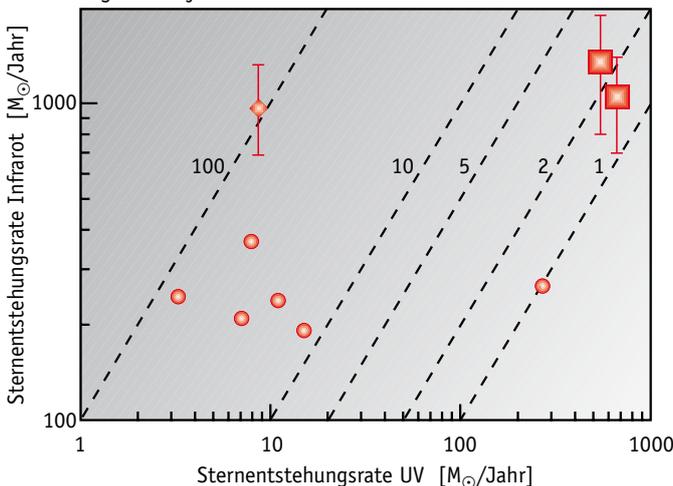
Wegen der Ausdehnung des Universums und der damit verbundenen Rotverschiebung wurde das in den drei genannten Filtern nachgewiesene Licht der BzK-Galaxien einst im ultravioletten und optischen Bereich emittiert. Vor allem das UV-Licht stammt von jungen, heißen Sternen, die sich noch in ihren Entstehungsgebieten befinden. Deshalb lässt sich anhand der UV-Messung auf die Rate der Sternentstehung schließen.

Es gibt dabei jedoch ein Problem: Da das UV-Licht möglicherweise durch in-

Abb. 2 links: Für Galaxien, deren Sternentstehungsgebiete nicht durch Staub verdunkelt sind, sollten die Sternentstehungsraten, die man zum einen aus dem emittierten UV-Licht, zum anderen aus dem emittierten infraroten Licht ermittelt hat, übereinstimmen. Für unsere mit MAMBO detektierten BzK-Galaxien ist dies der Fall. Für lokale und hochrotverschobene ultraleuchtkräftige Infrarotgalaxien (ULIRGs) hingegen würde man die tatsächliche Sternentstehungsrate deutlich – um etwa zwei Größenordnungen – unterschätzen, wenn man sich nur auf das UV-Licht stützte. Gleiche Verhältnisse aus beiden Sternentstehungsraten sind durch gestrichelte Linien markiert.

Rechts: Das gleiche Verhalten zeigt ein Diagramm, in dem die gemessenen Größen (Fluss im nahen Infraroten gegen den Fluss im Millimeter-Bereich) aufgetragen sind. Das Verhältnis beider Größen (durch gestrichelte Linien markiert) zeigt den Grad der Staubverdunkelung an. Submillimetergalaxien sind deutlich stärker verdunkelt als BzK-Galaxien.

Erläuterungen der Symbole: ■ BzK-Galaxien ● lokale ULIRGs ◆ Submillimetergalaxie



terstellare Materie in den Sternentstehungsgebieten geschwächt wird, kann die tatsächliche Sternentstehungsrate viel größer sein als der Wert, den man aus den UV-Beobachtungen abgeleitet hat. Bessere Aussagen sind durch Beobachtungen im Millimeter-Wellenlängenbereich zu gewinnen. Staubkörner, die ein Produkt der Sternentstehung sind, absorbieren nämlich das von den jungen, heißen Sternen stammende UV-Licht sehr effektiv. Dabei erwärmen sie sich und strahlen ihre Wärmeenergie im (fernen) Infrarot mit Wellenlängen zwischen 40 und 350 Mikrometer wieder ab. Für eine kosmische Rotverschiebung von $z \approx 2$ wird dieses infrarote Licht für den irdischen Beobachter in den Millimeter-Bereich verschoben. Deshalb sind Messungen dieser Strahlung das verlässlichste Instrument, um die Sternentstehungsrate zuverlässig abzuschätzen.

Bestimmung der Sternentstehungsraten

Im Winter 2004/2005 beobachteten wir gemeinsam mit Kollegen aus deutschen, japanischen, italienischen und holländischen Instituten fünf BzK-Galaxien im Millimeter-Bereich (ApJL, **637**, 5 [2006]). Diese Galaxien liegen alle im so genannten »Daddi-Feld«, das an der Grenze zwischen den Sternbildern Bärenhüter und Jungfrau liegt. Für unsere Beobachtungen nutzten wir das IRAM 30-Meter-Teleskop, das sich in der spanischen Sierra Nevada in der Nähe von Granada am Gipfel des Pico Veleta in 2920 Meter Höhe befindet. Als Empfänger diente das am Fokus dieses Teleskops angebrachte Bolometer-Array MAMBO (Max-Planck-Millimeter-Bolometer).

Mit diesem Instrument beobachteten wir jede der fünf Galaxien ein bis 2,5 Stunden lang. Bei zweien von ihnen detektierten wir ein signifikantes Signal von 1,5 Millijansky. Der Fluss im Millimeter-Bereich ist direkt mit der Sternentstehungsrate korreliert. Wir schätzten die Sternentstehungsrate für diese beiden Objekte auf 500 bis 1500 Sonnenmassen pro Jahr. Basierend auf dem UV-Licht, das wir wegen der Rotverschiebung im Optischen – mit Hilfe des SUBARU-Teleskops auf Hawaii – registrierten (Abb. 1), hatten diese beiden Galaxien ähnlich hohe Sternentstehungsraten, und zwar die höchsten der fünf untersuchten BzK-Galaxien.

Die beiden voneinander unabhängigen Methoden ergaben also gut übereinstimmende Sternentstehungsraten. Jedoch sind die gemessenen Flüsse (und somit auch die daraus abgeleiteten Sternentstehungsraten) geringer als bei den so genannten Submillimetergalaxien (hochrotverschobene Infrarotgalaxien, verglei-

che SuW 10/2005, S. 20), die sich im gleichen Rotverschiebungsbereich befinden und von allen bekannten Galaxien die meisten Sterne pro Jahr hervorbringen. Daten aus dem Archiv des Infrarot-Satelliten SPITZER, aufgenommen im mittleren Infraroten bei 24 Mikrometer Wellenlänge, bestätigen unsere MAMBO-Detektionen. (Messungen im mittleren Infrarot geben ebenfalls Auskunft über die tatsächliche Sternentstehungsrate, weisen jedoch größere Unsicherheiten auf als die Millimeter-Beobachtungen.)

Des Weiteren verglichen wir unsere gut übereinstimmenden Abschätzungen der beiden Sternentstehungsraten mit publizierten Daten von ultraleuchtkräftigen Infrarotgalaxien (ULIRGS) im lokalen Universum und ihren hochrotverschobenen Verwandten, den Submillimetergalaxien. Bei diesen Galaxienpopulationen liefern die beiden Methoden nicht die gleichen Ergebnisse (Abb. 2 links). Anhand des UV-Lichts würde man die tatsächliche Sternentstehungsrate stark unterschätzen. In diesen Galaxien werden somit die Sternentstehungsregionen stark durch Staub verdunkelt. Mit dem Flussverhältnis von nahem Infrarot zur Millimeter-Strahlung kann der Grad der Staubverdunkelung direkt gemessen werden. Dies bekräftigt unsere Interpretation, dass unsere beiden BzK-Galaxien »transparent« sind (Abb. 2 rechts).

Unsere Beobachtungen und anschließenden Analysen lassen sich wie folgt interpretieren: Bevor wir unsere untersuchten Objekte als »BzK-Galaxien« wahrnehmen, durchlaufen sie zunächst eine Phase noch stärkerer Sternentstehung, in der die Galaxien sehr stark von Staub eingehüllt und dadurch verdunkelt sind. In dieser Phase würden unsere Quellen als Submillimeter-Galaxien klassifiziert werden. Im Laufe der Zeit wird der Staub aus den Sternentstehungsgebieten durch Sternwinde oder andere Prozesse fortgetrieben oder zerstört. Dadurch werden die Sternentstehungsgebiete nach rund 100 Millionen Jahren »transparenter« für das ultraviolette und optische Licht. Es entstehen immer noch zahlreiche neue Sterne, aber mit einer geringeren Rate als zuvor. Folglich beobachten wir diese Galaxien nun in einer Phase, in der sie schon sehr viel Materie in Sterne umgewandelt haben. Nach einer weiteren Abnahme der Sternentstehung entwickeln sich diese Objekte in Elliptische Galaxien.

HELMUT DANNERBAUER
EMANUELE DADDI

Weitere Informationen zu Weblinks und Literaturangaben finden Sie auf unserer Homepage unter www.suw-online.de/artikel/ID=855763

AME2007

22. September 2007

2. Internationale Astronomie-Messe

- **Große Teleskopausstellung**
- **Rahmenprogramm**
- **Große Freifläche für Tests und Beobachtungen**
- **Einkaufsmöglichkeiten durch Teilnahme zahlreicher Händler**
- **Forum mit Bewirtung als Marktplatz für Gespräche und Erfahrungsaustausch**
- **Einen Rückblick zur AME2006 finden Sie auf unserer Website**
- **Wann/Wo?**
22. September 2007
78054 VS-Schwenningen
6000 kostenlose Parkplätze
15 Gehminuten vom Bahnhof
- **Fragen?**
Tel.: 0741 2706210
E-Mail: info@astro-messe.de

www.astro-messe.de