

Die ersten Galaxien

Mit dem Subaru-Teleskop auf Hawaii haben japanische Astronomen jetzt die bisher entfernteste – nur 780 Millionen Jahre nach dem Urknall entstandene – Galaxie entdeckt und spektroskopisch untersucht. Sie ermöglicht einen seltenen Blick ins frühe Universum.

Von Georg Wolschin

Der Urknall fand, wie wir mit bisher unerreichter Genauigkeit aus den Daten des WMAP-Satelliten zur kosmischen Hintergrundstrahlung wissen, vor 13,7 Milliarden Jahren statt. Seitdem expandiert das Universum und kühlt sich ab: Heute hat die Hintergrundstrahlung eine Temperatur von nur 2,7 Kelvin. Auch über die ersten Sterne in neu entstehenden Galaxien geben diese über einen Zeitraum von drei Jahren gesammelten Daten auf indirektem Wege Aufschluss, denn die Ultraviolett-Strahlung der Sterne polarisierte den Strahlungshintergrund – was sich sehr genau messen lässt. Demnach flammten etwa 300 Millionen Jahre nach dem Urknall ((bei Rotverschiebungen von bis zu 12 lt. revidierten 3y-WMAP-Ergebnissen, also deutlich später als nach den 1y-Ergebnissen geschätzt)) die ersten Sterne auf.

Weitgehende Unkenntnis herrscht jedoch hinsichtlich der Entstehungsgeschichte der ersten Galaxien (siehe »Die Frühzeit des Universums (?)« von Abraham Loeb in Spektrum der Wissenschaft, Januar 2007). Es gibt enorme Schwierigkeiten, sie direkt nachzuweisen. Ihr äusserst schwaches Licht kann nur mit hoch empfindlichen Instrumenten auf Weltraumsatelliten oder großen erdgebundenen Teleskopen registriert werden. Ausserdem wird es auf seinem Weg durchs All als Folge der Raumexpansion gedehnt, seine Wellenlänge verschiebt sich wie bei der Hintergrundstrahlung in den roten Bereich des Spektrums oder jenseits davon. Aus dieser Rotverschiebung erschliessen Astronomen, wie alt ein kosmisches Objekt ist, und in welcher Entfernung es sich folglich befindet.

Vor zwanzig Jahren hatten die entferntesten uns bekannten Galaxien eine Rotverschiebung von unter zwei (Bild 1), zehn Jahre danach war man bei 4,55 angelangt, und 2002 lag der Rekord bei 6,56. Im Jahre 2004 schien dann ein großer Sprung geglückt, denn durch Ausnützen der Gravitationswirkung von Galaxienhaufen, die das Licht von leuchtenden Objekten dahinter bis zu hundertfach verstärken, gelang möglicherweise der Nachweis von einer Galaxie mit Rotverschiebung sieben; es fehlt jedoch bisher der spektroskopische Nachweis, so dass die spektroskopisch verifizierte Grenze heute bei 6,6 liegt.

Eine am VLT (Very Large Telescope) der europäischen Südsternwarte ESO arbeitende Gruppe publizierte sogar die Entdeckung einer Galaxie mit zweistelliger Rotverschiebung (siehe Spektrum der Wissenschaft, Juni 2004). Dies wäre mit einem Alter von nur 460 Millionen Jahren die bisher entfernteste Galaxie – jedoch liess sich das zunächst gut dokumentierte Resultat nicht unabhängig bestätigen. Erst kürzlich ist ein Versuch fehlgeschlagen, die Galaxie mit dem Spitzer-Weltraumteleskop sichtbar zu machen. Die Autoren um Roser Pelló haben bisher keine detaillierte Erläuterung für etwaige Fehler in der damaligen Analyse, räumen aber ein, dass es sich hier trotz der sorgfältig referierten Publikation in der renommierten Zeitschrift »Astronomy and Astrophysics« nicht um einen stichhaltigen Nachweis gehandelt hat.

Umso wichtiger ist es, zu solide fundierten, einwandfrei durch spektroskopische Messungen belegten Ergebnissen über die ersten Galaxien zu kommen. Die Betonung in diesem Forschungsgebiet liegt heute nicht mehr so sehr darauf, den jeweiligen Rotverschiebungs-

Rekord zu brechen und damit ins Guinness-Buch der Rekorde zu kommen, sondern man möchte vielmehr sehen, ob sich die beobachteten Eigenschaften der Galaxien im frühen Universum qualitativ ändern, und was man daraus über die Entstehungsgeschichte und Entwicklung lernen kann. Insbesondere kann man aus der Änderung der Anzahldichte der Galaxien jenseits des heute bekannten Maximal-Wertes wichtige Schlüsse über die Entstehungsgeschichte ziehen.

Ende letzten Jahres hat nun eine Gruppe von zehn japanischen Astronomen um Masanori Iye einen zweifelsfreien spektroskopischen Nachweis der Galaxie IOK-1 bei einer (Rekord-) Rotverschiebung von 6,96 vorgelegt (Nature 443 (2006) 186), deren Licht nur 750 Millionen Jahre nach dem Urknall ausgesandt wurde.

Sie benutzten das 8,2-Meter-Subaru Teleskop auf dem Gipfel des Mauna Kea in Hawaii und entwickelten einen speziellen schmalbandigen Filter für die Kamera am Teleskop, um die Rotverschiebung der Wasserstoff-Spektrallinien bestimmen zu können. Durch den Filter werden so genannte Lyman-Alpha-Emissionen bei hohen Rotverschiebungen ausgewählt.

Die Kamera mit 84 Millionen Bildpunkten arbeitet im nahen Infrarot. Im Laufe der Durchmusterung eines 876 Bogenminuten zum Quadrat großen Feldes von 58 Megaparsek Tiefe wurden 41533 Quellen photometrisch nachgewiesen. Darunter waren jedoch nur zwei, die bei kürzeren Wellenlängen photometrisch nicht nachweisbar waren: sie wurden als Kandidaten für hohe Rotverschiebungen im Bereich von $z=7$ zur detaillierten spektroskopischen Untersuchung ausgewählt, die dann am FOCAS (Faint Object Camera and Spectrograph)-Instrument mit einer Belichtungszeit von 8,5 Stunden durchgeführt wurde.

Bei der Spektralanalyse des Lichtes konzentrierten sich die Astronomen ebenfalls auf die Lyman-Alpha-Emissionslinie des neutralen Wasserstoffs. Im Labor liegt sie im ultravioletten Spektralbereich bei 121,6 Nanometern und markiert den Übergang eines Elektrons aus dem ersten angeregten in den Grundzustand. Durch die Raumexpansion wird die Linie zu langen Wellenlängen ins Infrarote verschoben; je größer die Wellenlänge, desto weiter entfernt das emittierende Objekt.

Die Gruppe um Iye kombinierte von 17 gemessenen Spektren die elf mit dem besten Verhältnis von Signal zu Rauschen aus der jeweils 30 Minuten dauernden Belichtung. Im Spektrum der ersten Quelle IOK-1 erschien die Lyman-Alpha-Linie klar sichtbar bei 968,2 Nanometern (Bild 2), die statistische Signifikanz beträgt 5,5 Standardabweichungen und schliesst damit jeden Zweifel aus. Die Wellenlänge der Emissionslinie ist also um das $z+1 = 7,96$ fache gedehnt: das entspricht einer Rotverschiebung von $z= 6,96$, oder einem Alter der Galaxie von 750 Millionen Jahren. Die Astronomen sind sich offenbar einig, dass es sich um das bisher entfernteste Objekt handelt, das einwandfrei nachgewiesen wurde. Im Gegensatz dazu erwies sich die zweite Quelle bisher als zu schwach für eine Spektralanalyse.

Damit gibt es in der untersuchten Himmelsregion mindestens eine Galaxie, die bereits 750 Millionen Jahre nach dem Urknall existierte. Sollte sich IOP-2 als $z\sim 7$ Objekt bestätigen lassen, wären es in dieser Himmelsregion zwei Objekte – jedenfalls aber deutlich weniger, nämlich nur 18 bis 36 Prozent, im Vergleich zur Anzahldichte von Galaxien mit $z= 6,6$ im selben Bereich.

Eine solche Abnahme der Anzahldichte von LAE (Lyman-Alpha emittierenden) Galaxien hin zu sehr hohen Rotverschiebungen deutet darauf hin, dass das Universum noch zu jung war, um eine größere Anzahl von leuchtenden Galaxien durch hierarchische Verschmelzung

kleinerer, mit unseren Methoden bisher nicht sichtbarer Galaxien zu bilden. Allerdings sollte dieses wichtige Resultat durch unabhängige Beobachtungen in anderen Himmelsbereichen bestätigt werden, bevor man weitgehende Schlussfolgerungen zieht. Auch andere Astronomengruppen arbeiten derzeit an der Veröffentlichung von Arbeiten über entfernte Galaxien - so hat Richard Ellis vom California Institute of Technology in Pasadena mit Hilfe der Gravitationswirkung von Galaxienclustern im Vordergrund sechs Kandidaten im Rotverschiebungsbereich um 10 gefunden, entsprechend einem Alter von 400 bis 500 Millionen Jahren - aber es ist derzeit unklar, wie überzeugend die spektroskopischen Nachweise sind.

Die bereits publizierte Arbeit von Rychar J. Bouwens und Garth D. Illingworth, die an der Universität von Kalifornien in Santa Cruz arbeiten, ist eine wichtige unabhängige Bestätigung für die geringe Anzahldichte leuchtender Galaxien im Rotverschiebungsbereich von 7-8 (Nature 443 (2006) 189). Sie finden in den Hubble Ultra Deep Field –Daten (Bild 3) in diesem Bereich, also etwa 700 Millionen Jahre nach dem Urknall, nur eine Galaxie – wo zehn erwartet würden, wenn sich die Anzahldichte jenseits einer Rotverschiebung von 6 nicht änderte.

Demnach scheint sich heraus zu kristallisieren, dass es nach der Entstehung der ersten Sterne etwa 400 Millionen Jahre gedauert hat, bis sich aus kleineren Protogalaxien die ersten hell leuchtenden Sternsysteme gebildet haben, die wir jetzt bei einer Rotverschiebung von sieben nachweisen. Auf weitere Details zur Entstehung der ersten Galaxien dürfen wir gespannt sein. Mit der nächsten Generation von Weltraumteleskopen – insbesondere dem James Webb Space Teleskop, das voraussichtlich 2013 starten soll – könnte es vielleicht sogar gelingen, noch lichtschwächere frühe Galaxien zu entdecken, und spektroskopisch einwandfrei zu identifizieren.

Bild 1: Zeitlicher Verlauf der Entdeckungen von Galaxien mit großen Rotverschiebungen seit 1956. (Quelle: Richard McMahon, Universität Cambridge, in: Nature 443 (2006) 128).

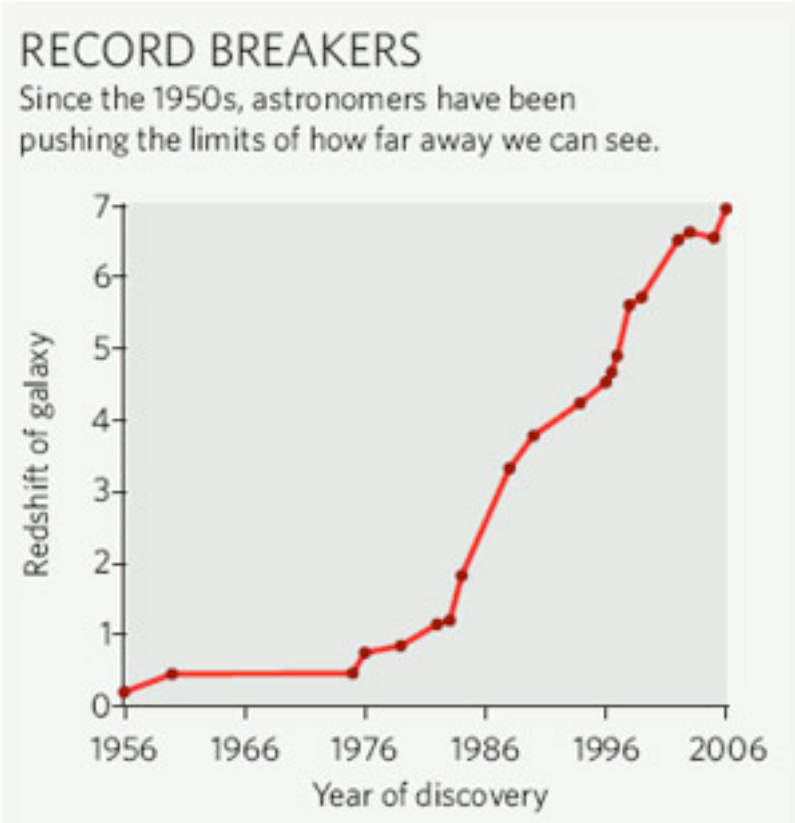


Bild 2: Spektrum der Galaxie IOK-1 mit einer Rotverschiebung von $z=6,96$. Die Lyman-Alpha-Emissionslinie liegt bei 968,2 Nanometern. Im unteren Bildteil sind subtrahierte OH-Linien gezeigt. Elf Belichtungen über jeweils 30 Minuten liegen dem einwandfreien spektroskopischen Nachweis zugrunde. (Quelle: M. Iye et al., Nature 443 (2006) 186).

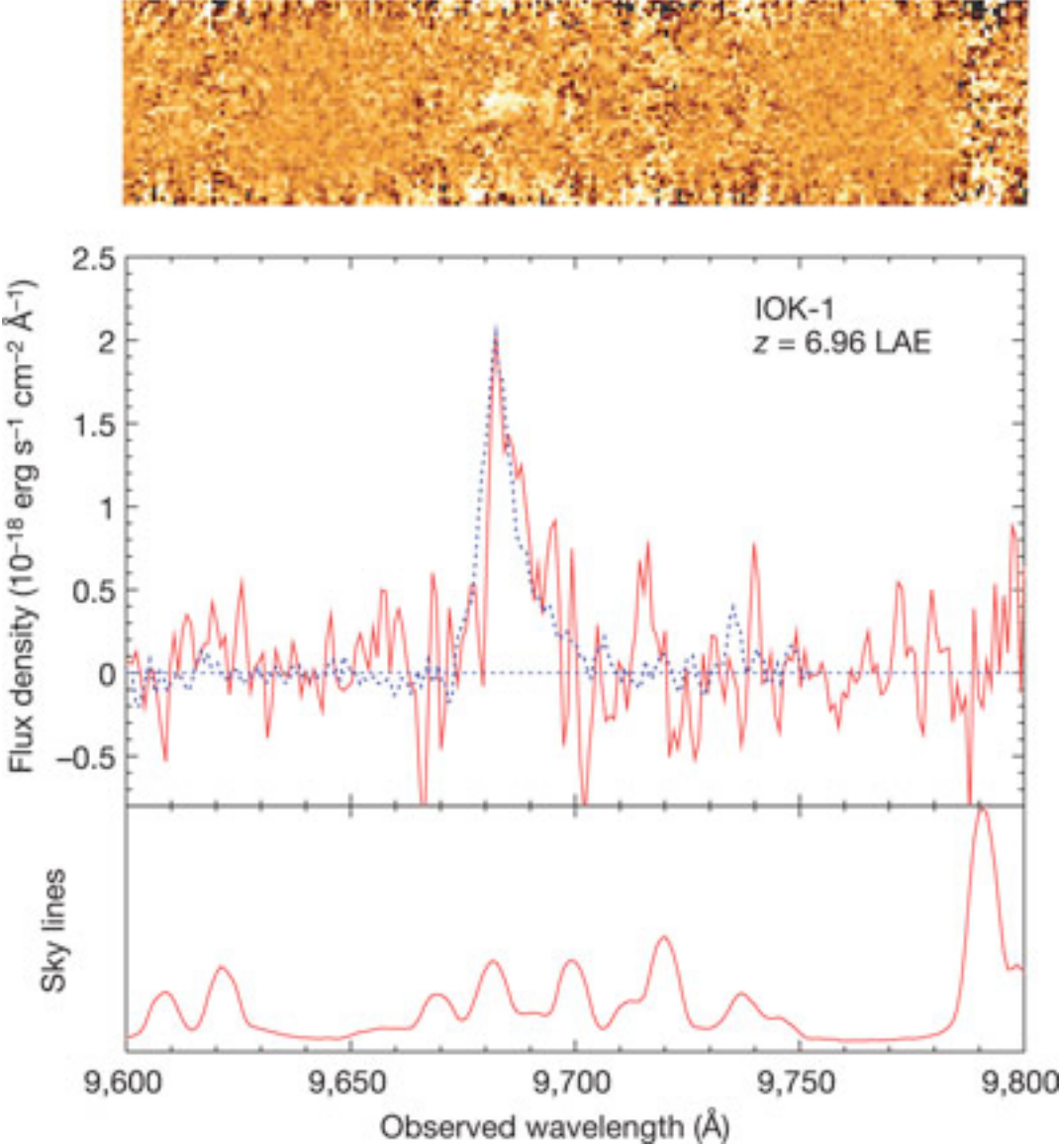


Bild 3: Weit entfernte Galaxien in einer Aufnahme des Hubble-Weltraumteleskops: Hubble Ultra Deep Field (© NASA; Quelle Nature 443 (2006) 129).



Redaktionell bearbeitete Fassung des Artikels in Spektrum d. Wissenschaft, Feb. 2007, p.19.