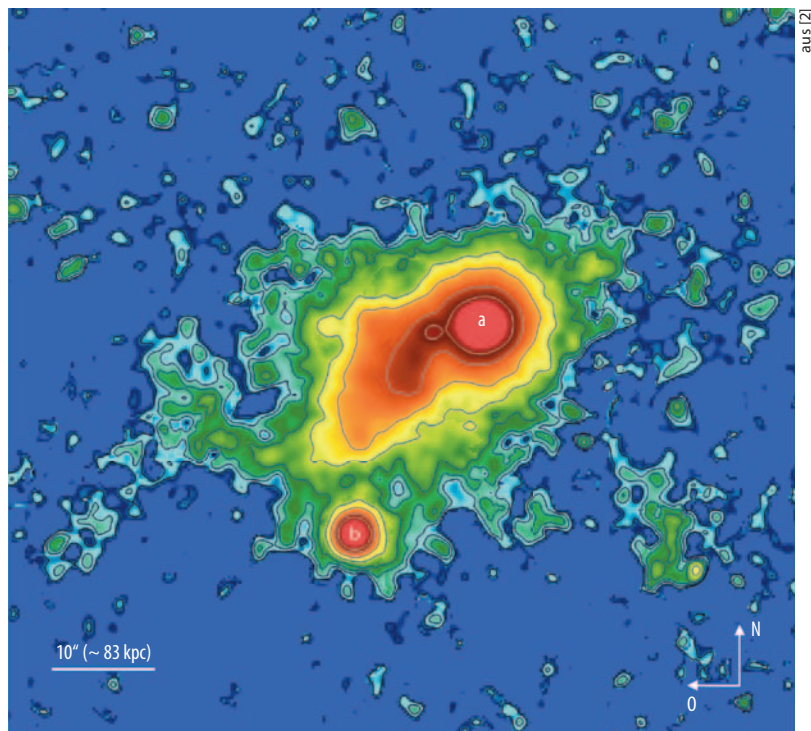


Leuchtturm im kosmischen Nebel

Ein Quasar lässt den intergalaktischen Wasserstoff im Licht der Lyman- α -Emissionslinie erstrahlen.

Alle Galaxien und Galaxienhaufen sind eingebettet in ein „intergalaktisches Medium“ mit sehr geringer Dichte. Aufgrund seines riesigen Volumens enthält es aber einen erheblichen Bruchteil aller Baryonen im Universum, also der „normalen“ Materie, im Gegensatz zur „nicht-baryonischen“ Dunklen Materie. Numerische Simulationen sagen voraus, dass dieses Gas ein komplexes filamentäres Muster ausbildet. In den Knotenpunkten dieses „kosmischen Netzwerks“ befinden sich massereiche Galaxien und Galaxienhaufen. Der Nachweis des intergalaktischen Mediums (kurz IGM) gelang schon vor etlichen Jahrzehnten durch die Entdeckung von Absorptionslinien des Wasserstoffs in den Spektren heller, weit entfernter Quasare, insbesondere des Lyman- α -Übergangs vom Grundzustand in das erste angeregte Niveau [1]. Solche Absorptionslinienmessungen sind die wichtigste Quelle für Informationen über den Zustand der Materie außerhalb des direkten Anziehungs- und Einflussbereiches von Galaxien. Allerdings ist so offensichtlich nur Information über die (praktisch punktförmigen) einzelnen Sichtlinien zu gewinnen, nicht über die transversale Struktur des absorbierenden Mediums. Um diese fundamentale Wissenslücke zu schließen, müsste man das IGM „direkt“ beobachten, also im eigenen Licht anstatt nur in Absorption.

Ein Team um Sebastiano Cantalupo von der University of California in Santa Cruz präsentiert nun Beobachtungen eines gigantischen Gasnebels, der möglicherweise den ersten direkten Blick auf die intergalaktische Materie erlaubt [2] – allerdings in einer sehr speziellen Umgebung, welche die Beobachtbarkeit des Gases erheblich erhöht. Das untersuchte Objekt ist der Quasar UM287, der mit einem eigens angefertigten Schmalbandfilter am 10-Meter-Keck-Teleskop auf Hawaii im Licht der Wellenlänge der Lyman- α -Linie (bei der Rotverschie-



Im Licht der Ly α -Emissionslinie sind der Gasnebel und das mutmaßliche intergalaktische Filament um den leuchtkräftigen Quasar UM287 zu erkennen. Die Farbe gibt die Intensität der Emission

wieder (steigend von blau bis rot). Der Quasar selbst befindet sich im Punkt a, während Punkt b einen weiteren (bedeutend schwächeren) Quasar markiert.

bung des Quasars von $z = 2,28$) beobachtet wurde. Schon in den Rohdaten war der Nebel deutlich sichtbar. Nach Subtraktion der Kontinuumsmission des Quasars bleibt eine länglich ausgedehnte Struktur zurück, deren Ly α -Emission auf erhebliche Mengen Wasserstoffs weit außerhalb der Muttergalaxie des Quasars hinweist (Abb.). Ly α -Nebel um Quasare und auch um andere Galaxien sind nicht unbekannt und seit etlichen Jahren Gegenstand intensiver Forschung. Der Nebel um UM287 schlägt aber alle Rekorde hinsichtlich seiner Ausdehnung von nahezu 500 Kiloparsec (1,6 Millionen Lichtjahre), das ist etwa zwei- bis dreimal größer als die größten bisher bekannten Ly α -Nebel und sogar fünf- bis zehnmals größer als typische Vertreter dieser Gattung.

Cantalupo et al. kommen zu dem Schluss, dass der Nebel um UM287 überwiegend dem intergalaktischen Medium zuzurechnen ist und nicht der Galaxie, die den

Quasar beherbergt, bzw. dem „Halo“ aus Dunkler Materie, in den diese Galaxie eingebettet ist. Dieses Argument ist insofern etwas spekulativ, als die Massen und Ausdehnungen einzelner Halos im Allgemeinen keine Messgrößen darstellen, da sie selbst nicht beobachtbar sind. Empirisch ermittelt ist nur eine statistische Relation zwischen den Leuchtkräften von Quasaren und den Massen der zugehörigen Dunkle-Materie-Halos [3]. Demnach befinden sich Quasare wie UM287 typischerweise in Halos mit etwa $3 \cdot 10^{12}$ Sonnenmassen, woraus sich Radien von ungefähr 200 kpc ergeben. Die bisher bekannten Ly α -Nebel um Quasare sind alle erheblich kleiner (z. B. [4]), und das emittierende Gas liegt somit immer deutlich innerhalb der Halos. In vielen Fällen könnte es sogar aus der Muttergalaxie ausgestoßen worden sein. Das ist für den UM287-Nebel wohl auszuschließen: Der Dunkle-Materie-Halo müsste dazu mindestens

zehnmal so massereich sein wie erwartet, was sehr unwahrscheinlich ist. Außerdem treten in so massereichen Halos meist andere beobachtbare Phänomene auf.

Wieso erleichtert die Anwesenheit eines leuchtkräftigen Quasars die Beobachtung des intergalaktischen Mediums? Hier gibt es zwei Effekte: Zum einen nimmt die Gasdichte in der Nähe von Knotenpunkten des „kosmischen Netzwerks“ bedeutend zu, was die Emissivität des Gases entsprechend steigert. Zum anderen regt die von Quasaren ausgehende UV-Strahlung die Emission von Ly α -Photonen an und macht das Gas damit „sichtbar“. Im Detail hängt dies noch davon ab, ob der Wasserstoff im Bereich des Nebels überwiegend ionisiert oder überwiegend neutral ist, aber in beiden Fällen kann ein Quasar als Scheinwerfer wirken, der das intergalaktische Medium regelrecht anleuchtet (nur dass das eingestrahlte Licht nicht reflektiert, sondern reprozessiert wird). Modellrechnungen zeigen, dass das zu erwartende Signal – also die Flächenhelligkeit der Emission des IGM – um mehr als eine Größenordnung wachsen kann, wenn sich ein heller Quasar in der Nähe befindet [5].

Für weitergehende Interpretationen, insbesondere die Abschätzung der gesamten Gasmasse des beobachteten „Filaments“, sind erhebliche Zusatzannahmen notwendig. Cantalupo et al. verwenden die Ergebnisse einer gasdynamischen Computersimulation, um eine Relation zwischen beobachteter Flächenhelligkeit und der über die Sichtlinie integrierten Säulendichte des Gases aufzustellen. Damit lässt sich das beobachtete Bild der Ly α -Emission in eine Karte der Wasserstoff-Säulendichten umrechnen. Durch Integration über den ganzen Nebel ergibt sich die beträchtliche Gesamtmasse von einigen 10^{11} bis 10^{12} Sonnenmassen. Das ist erstaunlich, weil in den numerischen Simulationen um eine Größenordnung geringere Gasmengen vorhergesagt werden – jedenfalls an Gas, das mit einer Temperatur bis maximal $5 \cdot 10^4$ K „kühl“ genug ist

für Ly α -Emission. Unklar ist, wie sich diese Diskrepanz zwischen Beobachtungen und Theorie auflösen lässt. Möglicherweise stammt ein signifikanter Teil der beobachteten Emission aus kleinen „Klumpen“ erhöhter Dichte, die von den Simulationen nicht erfasst werden. Vielleicht fehlen in den Modellen auch andere wichtige Zutaten, insbesondere um die physikalischen Prozesse unterhalb der numerischen Auflösung zu beschreiben.

Möglicherweise stellt UM287 mit seiner gasreichen Umgebung aber auch nur eine Kapriole der Natur dar. Immerhin sind bisher bei weiteren Quasaren keine wirklich vergleichbaren Nebel gefunden worden. Cantalupo et al. erklären die Seltenheit solcher Objekte mit hochgradig anisotroper UV-Abstrahlung der Quasare, sodass die Strahlung nur selten ein IGM-Filament trifft. Letztendlich wird es zur Klärung dieser Fragen notwendig sein, eine möglichst große Anzahl von Quasaren mit hoher Empfindlichkeit in der Ly α -Linie zu beobachten, um von einem spektakulären Einzelfall zu einem statistisch fundierten Phänomen zu kommen. Eine herausragende Möglichkeit dazu bietet der neue Integralfeld-Spektrograph MUSE (Multi-Unit Spectroscopic Explorer) am Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte, der im Februar in Betrieb genommen wurde.

Lutz Wisotzki

- [1] *M. Rauch*, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **36**, 267 (1998)
- [2] *S. Cantalupo et al.*, *Nature* **506**, 63 (2014)
- [3] *J. da Ángela et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **383**, 565 (2008)
- [4] *L. Christensen, K. Jahnke, L. Wisotzki und S. F. Sánchez*, *Astron. Astrophys.* **459**, 717 (2006)
- [5] *S. Cantalupo, C. Porciani, S. J. Lilly und F. Miniati*, *Astrophys. J.* **628**, 61 (2005)