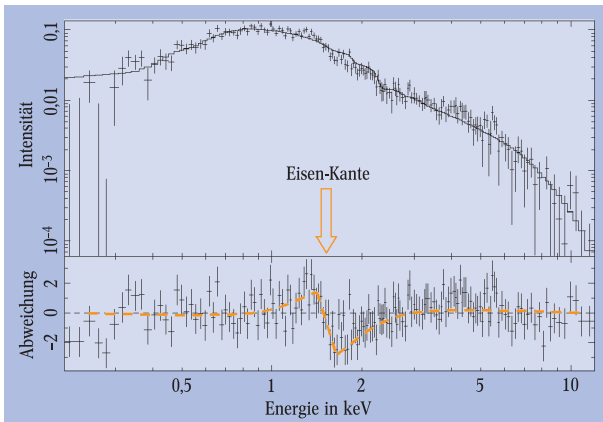


Frühe Eisenzeit im All

Röntgenbeobachtungen des Quasars APM 08279+5255 zeigen eine unerwartet hohe Eisenhäufigkeit im jungen Universum und deuten auf eine sehr heftige Sternentstehungsphase relativ kurz nach dem Urknall hin.

Im April 2002 beobachtete der Röntgensatellit XMM-Newton (X-Ray Multi-Mirror Mission) den sehr leuchtkräftigen Quasar APM 08279+5255. Günther Hasinger und Stefanie Komossa vom MPI für Astrophysik in Garching sowie Norbert Schartel von der ESA gelang es nun anhand der Röntgenspektren, eine dreifach höhere Eisenhäufigkeit als im Sonnensystem nachzuweisen [1]. Diese Entdeckung ist deshalb so erstaunlich, da wir diesen Quasar zu einer Zeit sehen, als das Universum knapp 1,5 Milliarden Jahre alt war, während die Sonne erst etwa 9 Milliarden Jahre nach dem Urknall entstanden ist.



Das UV-Absorptionsspektrum des Quasars APM 08279+5255. Bei einer Energie von 1,55 keV tritt eine Struktur auf, die auf die Absorption von Eisen zurückgeführt wird.

Quasare gehören zu den leuchtkräftigsten Objekten im Universum, die sich wegen der enormen Energien, die sie abstrahlen, bis zu sehr großen Entfernungen beobachten und im Detail untersuchen lassen. Man geht davon aus, dass Quasare in ihrem Zentrum ein sehr massereiches Schwarzes Loch (mit ca. 10^9 Sonnenmassen) beherbergen, das die Materie in unmittelbarer Umgebung aufsaugt. Dabei werden große Mengen Energie freigesetzt und abgestrahlt. Der auftretende große Strahlungsdruck schleudert einen Teil der einströmenden Materie als Wind mit sehr hohen Geschwindigkeiten ($\sim 0,1c$) wieder hinaus. Bei günstiger „Windrichtung“, d. h., wenn der Quasar durch diesen

Schleier ausströmender Materie hindurchscheint, lassen sich sehr breite, blauverschobene Absorptionsstrukturen im ultravioletten Spektralbereich beobachten.

Aufgrund seiner hohen Rotverschiebung von $z = 3,91$ bietet APM 08279+5255 die Möglichkeit, den Zustand und die Zusammensetzung des ihn umgebenden Gases im frühen Kosmos zu untersuchen. Die so genannte Rotverschiebung $z = (\lambda_{\text{obs}} - \lambda_{\text{ruhe}}) / \lambda_{\text{ruhe}}$ ist ein Maß dafür, wie stark das Licht eines Objektes aufgrund der Expansion des Universums zu größeren Wellenlängen λ verschoben ist. Je größer die Rotverschiebung ist, um so weiter ist ein Objekt entfernt und um so weiter blickt man in die Vergangenheit zurück. So entspricht eine Rotverschiebung von $z \approx 4$ einem Alter des Universums von etwa 1,5 Milliarden Jahren.

In erster Näherung lässt sich das Röntgenspektrum von APM 08279+5255 mit einer einfachen Kombination eines Potenzgesetzes der Kontinuumemission und zusätzlicher Absorption durch Gas in der unmittelbaren Umgebung des Quasars beschreiben. Allerdings fanden Hasinger und sein Team im Röntgenspektrum des Quasars signifikante Abweichungen von dieser Näherung. Besonders auffällig ist die ausgeprägte Absorptionsschwäche bei einer Energie von ca. 1,55 keV (Abb.). Die Forscher schreiben diese Absorption hochionisiertem Eisen (Fe XVII) zu. Unter der Annahme eines Absorptionswirkungsquerschnitts von $2,7 \times 10^{-20} \text{ cm}^{-2}$ schätzen sie eine Säulendichte des Eisens im ausströmenden Wind von $N_{\text{Fe}} \approx 1,7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ ab. Die beobachtete Absorptionsschwäche der Fe K-Linie lässt sich in Relation zu Absorptionsschwächen von Sauerstoff, Neon, Magnesium und Eisen bei geringeren Energien konsistent beschreiben, wenn man annimmt, dass das Verhältnis Eisen zu Sauerstoff im Quasar etwa dreimal so hoch ist wie im Sonnensystem [1].

Dieses Ergebnis aus Röntgenmessungen stimmt gut überein mit Ergebnissen, die bereits durch Untersuchungen von Emissionslinien im ultravioletten Spektralbereich für Quasare hoher Rotverschiebung gefunden worden sind [2–4].

Das bemerkenswert hohe Vorkommen eines schweren Elements wie Eisen erfordert eine vorangegangene Epoche sehr intensiver Sternentstehung. Die ersten Stern-

entstehungsphasen im frühen Universum verliefen sehr viel heftiger als die eher gemächliche Bildung von Sternen, wie wir sie gegenwärtig in der Milchstraße beobachten. Während in der Milchstraße und allgemein in Spiralgalaxien jährlich nur etwa einige Sonnenmassen in Sterne umgewandelt werden, müsste die Sternentstehungsrate in diesen frühen, sich bildenden Galaxien bis zu 1000 Sonnenmassen pro Jahr betragen haben. Damit verbunden ist eine im Laufe der Zeit deutlich höhere Rate an Supernova-Explosionen. Der größte Teil des Eisens entsteht in Supernova-Explosionen vom Typ Ia. Hierbei handelt es sich um Sterne in Doppelsternsystemen, die von ihrem Begleiter Materie akkretieren, bis sie eine kritische Masse überschreiten und explodieren. Da die Entwicklungszeitskala der Vorläufersterne von Supernovae Ia etwa 1 Milliarde Jahre beträgt, eignet sich die Messung relativer Eisenhäufigkeiten gewissermaßen als kosmologische Uhr. So deuten die für Quasare bei hohen Rotverschiebungen abgeschätzten Elementhäufigkeiten darauf hin, dass die erste Epoche sehr heftiger Sternentstehung viel früher als gedacht, d. h. bereits wenige Hundertmillionen Jahre nach der Entstehung des Universums begann und die Umgebung von Quasaren mit schweren Elementen anreicherte.

MATTHIAS DIETRICH

- [1] G. Hasinger, N. Schartel und S. Komossa, *Astrophys. Journal* **573**, L77 (2002)
- [2] F. Hamann und G. Ferland, *Ann. Review Astron. & Astrophysics* **37**, 487 (1999)
- [3] M. Dietrich und U. Wilhelm-Erkens, *Astronomy & Astrophysics* **354**, 17 (2000)
- [4] M. Dietrich, I. Appenzeller, M. Vestergaard und S. J. Wagner, *Astrophys. Journal* **564**, 581 (2002)

Transistoren aus einzelnen Molekülen

Die „molekulare Elektronik“ verfolgt die technologische Vision, elektronische Schaltkreise aus organischen Molekülen aufzubauen. Moleküle sollen dabei die Funktion von Dioden, Speicherbausteinen oder Transistoren übernehmen, was zu einer immensen Verkleinerung und Verbilligung gegenüber der Siliziumtechnologie führen könnte.

Dr. Matthias Dietrich, Department of Astronomy, University of Florida, 211 Bryant Space Science Center, Gainesville, USA