

ASTROPHYSIK

Tanz supermassereicher Schwarzer Löcher

Vermutlich befindet sich im Zentrum fast jeder Galaxie ein supermassereiches Schwarzes Loch. Wenn Galaxien miteinander verschmelzen, sollten dies deshalb auch die Schwarzen Löcher tun. Mit Beobachtungen des Röntgen-Weltraumteleskops *Chandra* ist es einem deutsch-amerikanischen Astronomenteam nun gelungen, zwei supermassereiche Schwarze Löcher als gebundenes Paar zu identifizieren [1]. Sie stehen am Beginn eines langsamen Verschmelzungsprozesses.

Die Eigenschaften der supermassereichen Schwarzen Löcher (mit Massen zwischen 10^6 und 10^9 Sonnenmassen) und der Galaxien, in deren Zentren sie sich befinden, sind eng miteinander verflochten (W.J. Duschl, Physik in unserer Zeit **2006**, 37 (1), 16). Insbesondere besteht eine positive Korrelation zwischen ihren Massen. Es liegt also nahe zu vermuten, dass die Entwicklungen der Galaxien und ihrer zentralen Schwarzen Löcher zusammenhängen.

Wenn zwei Galaxien miteinander verschmelzen, so sinken die beiden zentralen Schwarzen Löcher aufgrund dynamischer Reibung in das Zentrum der neu entstandenen Galaxie. Gleichzeitig verlieren die beiden ehemaligen Zentralkörper weiterhin an kinetischer Energie, indem sie Sterne aus ihrer Umgebung herauskatapultieren. Dadurch verringert sich ihr Abstand weiter. Falls genug Sterne (oder sonstiges Material) vorhanden sind, kommen sich die beiden Schwarzen Löcher mit der Zeit so nahe, dass nun das Aussenden von Gravitationswellen den Energieverlust dominiert. Damit ist ihr Schicksal besiegelt: Sie werden verschmelzen [2].

Dieser Vorgang lässt sich nicht direkt beobachten, weil er sich über mehrere Millionen oder gar Milliarden Jahre hinzieht. Bisher kannte man sogar nur ein einziges Paar, das gravitativ gebunden ist [3]. Das Auffinden weiterer Paare zur Überprüfung dieses Szenarios und unserer Vorstellung der Galaxienentwicklung ist deshalb von großer Bedeutung.

Die Galaxie 3C 75 im Galaxienhaufen Abell 400 wurde bereits vor über 20 Jahren im Radiowellenlängenbereich entdeckt und intensiv studiert. Dabei entdeckte man zwei Gasstrahlen (Jets), die von zwei zentralen Schwarzen Löchern ausgehen und ungewöhnlich stark verdreht sind (Abbildung 1). Unsere neuen Beobachtungen im Röntgenbereich mit *Chandra*, kombiniert mit älteren Radiodaten, liefern nun sehr starke Hinweise, dass es sich bei 3C 75 um ein echtes Paar von zwei supermassereichen Schwarzen Löchern handelt.

Zusammen mit amerikanischen Kollegen fanden wir heraus, dass beide Schwarze Löcher Röntgenstrahlung aussenden, und dass die beiden Körper im Kern des Galaxienhaufens Abell 400 sitzen, wobei der Kern durch niedrige Entropie des

Intrahaufengases in der direkten Umgebung der Schwarzen Löcher gekennzeichnet ist (das Intrahaufengas zwischen den Galaxien ist viele Millionen Grad heiß und sendet Röntgen-Bremsstrahlung aus).

Über die Ursache der verbogenen Form der Jets wurde lange diskutiert. Eine Relativbewegung der beiden sie erzeugenden Schwarzen Löcher erschien unwahrscheinlich, weil hierfür eine Mindestgeschwindigkeit von 1000 km/s nötig ist. In Galaxienhaufen, die sich im Gleichgewicht befinden, kommen so hohe Werte nicht vor. Die Chandra-Aufnahme zeigt nun sehr klar, dass es sich bei Abell 400 gar nicht um einen relaxierten Haufen handelt, sondern dass hier zwei Haufen mit einer Relativgeschwindigkeit von etwa 1200 km/s verschmelzen, was etwas über der Schallgeschwindigkeit des Intrahaufengases liegt. Dieser Vorgang heizt das Gas in der Kollisionszone auf, die mit *Chandra* als Hotspot erkennbar wird (Abbildung 1).

Wir konnten zeigen, dass die Form der Jets sich nicht dadurch erklären lässt, dass das Jet-Plasma dem Druckgradienten im Intrahaufengas folgt. Vielmehr ist die Relativbewegung der beiden Galaxienhaufen und damit auch der Schwarzen Löcher hierfür verantwortlich. Diese ist genau so groß, um die verbogene Form der Jets zu erklären: Die beiden Schwarzen Löcher bewegen sich mit Überschallgeschwindigkeit relativ zu dem Intrahaufengas, wodurch die von den beiden Körpern ausgestoßenen Jets „zurückgebogen“ werden. Die beiden Schwarzen Löcher führen diese Bewegung also gemeinsam durch – sie bilden ein Paar.

Die beiden Schwarzen Löcher sind etwa 25 Millionen Lichtjahre voneinander entfernt und befinden sich in der ersten Verschmelzungsphase. Frühestens in einigen Millionen Jahren werden sie starke Gravitationswellen aussenden. Auch wenn dies in weiter Zukunft liegt, bestärkt doch diese Entdeckung, dass solche Objekte nicht allzu selten sind. Sie zählen zu den Quellen, nach denen man mit zukünftigen Gravitationswellendetektoren suchen will.

[1] D. Hudson et al., A&A **2006**, im Druck, astro-ph/0603272.

[2] D. Merritt, M. Milosavljevic, Liv. Rev. in Relativity **2005**, 8, 8.

[3] S. Komossa et al., Astrophys. J. **2003**, 582, L15.

Thomas Reiprich, Daniel Hudson,
Universität Bonn

ABB. 1 RADIO- UND RÖNTGENEMISION VON 3C 75

Oben: Radioaufnahme der beiden Jets von 3C 75. Darunter die zentrale Region des Galaxienhaufens Abell 400. Die Farbskala gibt die Temperatur des Intrahaufengases an, wobei der Bereich von 18 Millionen (dunkel) bis 38 Millionen °C (weiß) reicht. Die weißen Konturen kennzeichnen die Radioemission der verbogenen Plasmajets. Das Gas vor den Schwarzen Löchern ist in einem Hotspot komprimiert und aufgeheizt. Der Ausschnitt (rechts) zeigt

die Röntgenemission der beiden Schwarzen Löcher, die Konturen geben die Radioemission der Jets an (Fotos: NRAO, NASA).