

Das schwerste stellare Schwarze Loch in unserer Milchstraße

Eines der rätselhaftesten Doppelsternsysteme unseres Milchstraßensystems enthält ein sehr massereiches Schwarzes Loch. Mit 14 Sonnenmassen ist es das "schwerste" sternähnliche Schwarze Loch in unserer Galaxis.

Wissenschaftler vom AIP Potsdam haben zusammen mit einem Kollegen von der ESO (Chile) mit Hilfe eines der vier 8.2m Teleskope der Europäischen Südsternwarte (ESO) auf Paranal (Nord-Chile) die Infrarotstrahlung des fast 40,000 Lichtjahre entfernten Doppelsternsystems **GRS 1915+105** untersucht. Dabei konnten sie zunächst den Begleitstern ausfindig machen, der das Schwarze Loch mit Material aus seiner äußeren Hülle füttert. Eine genauere Untersuchung zeigte dann, wie dieser Begleitstern um das hungrige Schwarze Loch rotiert. Die Analyse dieser Bahnbewegung ermöglichte schließlich die Bestimmung der Masse des Schwarzen Loches.

Die Beobachtung eines derart massereichen Schwarzen Loches eröffnet fundamentale neue Fragestellungen, z.B. wie solche massereichen Schwarzen Löcher entstehen können, und ob sich solche Objekte um ihre eigene Achse drehen.

Ein Miniatur-Quasar in unserer Galaxis

Etwa ein Dutzend Objekte in unserer Galaxis erscheinen wie Miniaturausgaben der sehr energetischen Quasare, wie man sie in den Zentren von weit entfernten, aktiven Galaxien beobachtet. Man nimmt allgemein an, dass Quasare Schwarze Löcher enthalten, mit einer Masse im Bereich von 1 Million bis 1 Milliarde Sonnenmassen. Diese Schwarzen Löcher saugen Gas und Sterne aus ihrer unmittelbaren Umgebung auf. Gelegentlich stoßen diese Quasare auch Materie wieder in Jets aus, wobei diese Jets fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden.

Mikroquasare sind faktisch sehr ähnliche Gebilde, nur etwa 1 Million mal kleiner. Es sind Doppelsternsysteme in unserer Galaxis, in dem sich ein normaler Stern und ein kompaktes Objekt (ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch) umkreisen. Das kompakte Objekt saugt Materie aus der Hülle des Begleitsterns ab, und wegen des Drehimpulses spiralt diese Materie langsam (innerhalb von Tagen bis Wochen) in einer sog. Akkretionsscheibe auf das kompakte Objekt zu. Diese Akkretionsscheiben strahlen sehr hell im Röntgen-, Optischen und Infraroten Wellenlängenbereich. Und schliesslich spucken auch die Mikroquasare Jets aus - bis zu einer Mondmasse kann in wenigen Sekunden bis auf 95% der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden.

Die Entdeckung der Mikroquasare als sehr nahe "Verwandte" der Quasare hat interessante Perspektiven eröffnet, und hilft uns, die seltsamen Phänomene in Quasare besser zu verstehen. Weil die Massen in Mikroquasare viel kleiner sind, laufen auch die Prozesse schneller ab: was in Quasaren ein Jahrzehnt dauert, können wir in Mikroquasaren im Verlauf von 4 Wochen verfolgen.

GRS 1915+105 - ein einmaliges Laboratorium in unserer Galaxis

Das Doppelsternsystem **GRS 1915+105** ist eines der etwa ein Dutzend Mikroquasare in unserer Galaxis. Es wurde aufgrund seiner plötzlich stark anschwellenden Röntgenleuchtkraft im Jahre 1994 durch Teleskope auf dem russischen Wissenschaftssatelliten *Granat* entdeckt, und kurz darauf mit dem deutschen Röntgensatelliten ROSAT genau in Position und Abstand vermessen. Seitdem haben alle weiteren Röntgensatelliten die extremen Ausbrüche von **GRS 1915+105** beobachtet.

Da diese Aktivität von **GRS 1915+105** im Röntgenbereich nun schon das siebente Jahr andauert, ist es zum Prototyp der Mikroquasare avanciert. Simultane Beobachtungen der Röntgen- und Radioemission haben gezeigt, dass die Aktivität in beiden Wellenlängenbereichen eng korreliert ist. Dies hat zu der Interpretation geführt, dass Instabilitäten in der Akkretionsscheibe die Ursache für das Ausspucken von Materie in die Jets ist.

GRS 1915+105 liegt im Sternbild Adler, und damit ziemlich genau in der Milchstraßenebene. Wegen der Entfernung von ca. 40,000 Lichtjahren absorbieren dicke Wolken von Gas und Staub jegliche optische Emission von **GRS 1915+105**. Diese starke Absorption hat bis vor kurzem jegliche detaillierte Untersuchung dieses Doppelsternsystems verhindert, und es blieb zu beweisen, dass es tatsächlich ein Schwarzes Loch enthält.

Identifikation des Begleitsterns

Das Astronomenteam entschied sich deshalb für Beobachtungen im infraroten Strahlenbereich, wo die Absorption deutlich geringer ist als im Optischen. Aber selbst im Infrarot erreichen nur wenige Prozent der ausgesandten Strahlung die Erde, und es erforderte ein sehr großes Teleskop, um ein Spektrum zu gewinnen.

Die ersten Beobachtungen wurden bereits im Sommer 1999 gemacht. Nach sorgfältiger Analyse zeigten die Spektren tatsächlich Absorptionslinien von Kohlenmonoxid, charakteristisch für Emission in den relativ kalten Atmosphärenschichten des Begleitsterns. Diese Absorptionslinien waren in bisherigen Infrarot-Spektren dieses Systems, gewonnen an kleineren Teleskopen, nicht aufgefallen, weil der größte Teil der Emission von der Akkretionsscheibe und dem Jet stammt, und damit diese Absorptionslinien im beobachtbaren Spektrum des Gesamtsystems “zugeschüttet” werden. Aus der relativen Stärke der verschiedenen Linien konnten die Astronomen schließen, dass der Begleitstern ein Riesenstern ist, mit einer Masse vergleichbar mit der der Sonne, aber einem um etwa 25 mal größeren Durchmesser. Aber dies war nur der Anfang der Geschichte.

Der Begleitstern bewegt sich

Die Identifikation der Kohlenmonoxid Linien von dem Begleitstern gestattete es, die Bahnbewegung des Begleitsterns um das Schwarze Loch zu messen. Der Doppler Effekt – die Verschiebung der Wellenlänge oder Frequenz, wenn sich die Quelle bewegt – induziert kleine Verschiebungen in der Position dieser Kohlenmonoxid Linien. Die Messung dieser Verschiebungen über einen Bahnumlauf des Begleiters um das Schwarze Loch gestattet es, die Geschwindigkeit des Begleitsterns und die Größe der Bahn zu bestimmen. Daraus läßt sich dann mit Hilfe des 3. Keplerschen Gesetzes die Masse des unsichtbaren Schwarzen Loches berechnen.

Die entsprechende Beobachtungskampagne begann im April 2000, und erstreckte sich bis zum September 2000. Die Auswertung der Linienverschiebungen ergab eine Bahnperiode von 33.5 Tagen, und eine Bahngeschwindigkeit des Begleitsterns von 145 km/s. Aus diesen beiden Messwerten läßt sich eine untere Grenze für die Masse des Schwarzen Loches bestimmen – in diesem Fall 9.5 Sonnenmassen.

Die Natur des kompakten Objektes

Aber die Forscher konnten es noch besser - sie konnten nicht nur eine Untergrenze bestimmen, sondern auch die tatsächliche Masse. Erstens läßt sich aus den Absorptionslinien des Begleiters relativ gut dessen Masse bestimmen. Und zweitens läßt sich mit Radiomessungen der Winkel des Jets zur Sichtachse bestimmen, und damit die Neigung der Bahnebene zur Sichtachse (man nimmt gewöhnlich an, dass der Jet senkrecht auf

der Akkretionsscheibe steht welche wiederum relativ genau in der Bahnebene liegt). Mit dieser zusätzlichen Information ergibt sich für das kompakte Objekt eine Masse von 14 Sonnenmassen.

Bislang konnte nur für eine Handvoll Schwarzer Löcher in unserer Galaxis die Masse auf diese Weise (allerdings im optischen Wellenlängenbereich) bestimmt werden. **GRS 1915+105** ist das bei weitem massereichste Schwarze Loch in unserer Milchstraße.

Folgerungen und Puzzles

Die Kenntnis der Masse des Schwarzen Loches stellt nun interessante Herausforderungen für verschiedene Gebiete der Astrophysik. Zum einen ist es nicht ganz einfach zu verstehen, wie sich ein solches massereiche Schwarze Loch überhaupt in einem Doppelsystem bilden kann. Es ist gut bekannt, dass massereiche Sterne im Endstadium ihres Lebens einen Großteil ihrer Masse in starken Sternwinden verlieren, und dieser Sternwind ist umso stärker, je größer die Masse des Sterns ist. Die Wechselwirkung mit dem Begleitstern kann diesen Massenverlust noch verstärken. Es bleibt daher nachzuweisen, wie ein Stern soviel Masse behalten kann, dass er schliesslich zu einem Schwarzen Loch mit 14 Sonnenmassen kollabieren kann.

Ein weiteres Puzzle ist die mögliche Rotation des Schwarzen Loches. Dass einige Schwarze Löcher rotieren, wurde aus zwei anderen, früheren Beobachtungsbefunden geschlossen. Es wird z.B. allgemein angenommen, dass sich die Akkretionsscheibe viel weiter zum Schwarzen Loch erstrecken kann (und damit heißer wird), wenn das Schwarze Loch in derselben Richtung wie die Akkretionsscheibe rotiert. Es sind nur zwei Doppelsysteme bekannt, die derart untypisch heiße Akkretionsscheiben haben: eben **GRS 1915+105** und sein "Bruder" GRO J1655-40, ein Schwarzes Loch mit 7 Sonnenmassen. Daraus schloss man, dass diese beiden Systeme schnell rotierende Schwarze Löcher enthalten müßten.

Eine völlig unabhängige Beweislinie für die Rotation von Schwarzen Löchern basiert auf sog. fast-periodischen Oszillationen der Röntgenemission. Es gibt derzeit mehrere Modelle zur Erklärung dieser Oszillationen, und alle benutzen die Auswirkung der Rotation des Schwarzen Loches auf die Akkretionsscheibe.

Jedoch zeigt die Bestimmung der Masse des Schwarzen Loches in **GRS 1915+105**, dass das Bild offenbar nicht so einfach ist. In der Tat, wenn der (relativ simple) Mechanismus der heißeren Akkretionsscheibe um rotierende Schwarze Löcher korrekt ist, scheinen alle Modelle zur Erklärung der fast-periodischen Oszillationen nicht korrekt zu sein. Und wie so oft in der Wissenschaft bringt die Lösung eines Problems neue Rätsel hervor.

Die dieser Pressemitteilung zugrunde liegende wissenschaftliche Forschungsarbeit erscheint unter dem Titel "GRS 1915+105 - An unusually massive stellar black hole in the Galaxy" von Jochen Greiner, Mark McCaughrean und Jean-Gabriel Cuby in der Ausgabe vom 29. November 2001 in dem Wissenschaftsjournal "Nature". Der erste Teil der Arbeit über die "Identification of the donor in the X-ray binary GRS 1915+105" von Jochen Greiner und Ko-Autoren ist in der Juli-Ausgabe der Europäischen Fachzeitschrift "Astronomy and Astrophysics" erschienen.

Eine für Amateurastronomen und interessierte Laien verständliche Beschreibung der Mikroquasare findet man in: Greiner J., 2000, Sterne u. Weltraum 39, Heft 8, S. 640

Kontakt für weitere Informationen: Jochen Greiner, Astrophysikalisches Institut Potsdam, 14482 Potsdam, FAX: 0331-7499-429, email: jgreiner@aip.de