

samt 25 Quasaren mit hoher Rotverschiebung – mehr als je zuvor in einer Studie. Mit Erfolg. Zu ihrer Überraschung fanden sie aber nicht nur die Strahlung der Wirtsgalaxien, sondern in vier Fällen auch diejenige von zusätzlichen Objekten neben den Quasaren (siehe Bild S. 21 oben). Deren Abstände zu den Quasaren liegen zwischen 30 000 und 200 000 Lichtjahren, vorausgesetzt, sie befinden sich tatsächlich in der gleichen Entfernung wie die Quasare selbst. Es handelt sich um eigenständige Galaxien, aber ohne Quasaraktivität. Eine

davon scheint mit der Quasargalaxie zu verschmelzen – es wäre die früheste bekannte Verschmelzung zweier Galaxien. Die [CII]-Strahlung der Galaxien deutet auf eine sehr hohe Sternentstehungsrate hin, mehr als 100 Sonnenmassen pro Jahr. Zum Vergleich: In unserem Milchstraßensystem bilden sich im gleichen Zeitraum Sterne mit einer Gesamtmasse von nur etwa einer Sonnenmasse.

Ihre Rotverschiebung datiert die Galaxien auf eine Epoche rund 900 Millionen Jahre nach dem Urknall. Sie könnten also

tatsächlich die Vorläufer für die masse- und sternreichen Galaxien bei $z \approx 4$ sein, die Straatman und ihr Team im Jahr 2014 fanden. Sowohl Alter als auch Sternentstehungsrate passen. Auch die Anzahl der entdeckten Exemplare (4 von 25 untersuchten Quasaren) stimmt mit der Erwartung überein, wenngleich die Statistik bei der geringen Stückzahl nicht sehr aussagekräftig ist.

Gibt es schnell wachsende Galaxien nur nahe bei Quasaren?

Noch bleiben offene Fragen. Die vielleicht wichtigste: Wie kamen die Galaxien so schnell zu einer so großen Masse? Hat ihre Nähe zu den Quasaren mit ihren Wirtsgalaxien zu tun? Finden sich solche Galaxien auch in Umgebungen ohne Quasare in der Nähe? Eine Antwort darauf wird sich wahrscheinlich nicht so schnell finden lassen, denn solche Galaxien sind selten. Um sie aufzuspüren, müsste man große Himmelsareale absuchen – zu aufwändig und zu teuer mit ALMA. Damit bleiben die wenigen entdeckten Exemplare vorerst die einzigen ihrer Art. Immerhin stehen diese für detaillierte Nachuntersuchungen zur Verfügung. Da sie selbst keine aktiven Schwarzen Löcher zu besitzen scheinen, können die Astronomen Fragen leichter angehen, die in den Quasargalaxien auf Grund der heftigen Strahlung des Galaxiekerns nur schwierig zu beantworten sind: Wie viele Sterne sind dort bereits entstanden, und welche Art von Sternen werden dort gebildet? Welche Eigenschaften hat das interstellare Medium dieser Galaxien? Fragen, deren Antworten erhellende Einblicke in die Entstehung unseres Kosmos geben dürften.

JAN HATTENBACH ist Physiker und Amateurastronom. In seinem Blog »Himmelslichter«, zu finden unter www.himmelslichter.net, schreibt er über alles, was am Himmel passiert.

ZUM NACHDENKEN

Gravitationswellen von einem Neutronensternpaar



In der Galaxie NGC 4993 verschmolzen vor rund 130 Millionen Jahren zwei Neutronensterne. Dieses Ereignis verursachte einen kurzen Gammastrahlenblitz, der mit den beiden Satelliten Fermi und INTEGRAL am 17. August 2017 um 12:41:06 Uhr UTC beobachtet wurde. Aber schon 100 Sekunden zuvor begannen die Detektoren der drei Gravitationswellenobservatorien LIGO-H1, LIGO-L1 und VIRGO eine Schwingung mit $f_{\text{GW}} = 24$ Hz zu registrieren, deren Frequenz immer weiter zunahm, bis dann um 12:41:04 Uhr UTC das Ausbleiben weiterer Gravitationswellen das Verschmelzen signalisierte.

Aufgabe 1: Gravitationswellen breiten sich der allgemeinen Relativitätstheorie zufolge mit Lichtgeschwindigkeit $c = 299\,792\,458$ km/s aus. Eine einfache Betrachtung der gemessenen Ankunftszeiten gestattet es, diese Vorhersage zu testen und Grenzwerte für die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_{GW} der Gravitationswellen zu ermitteln. Zwischen dem Verschmelzen der Neutronensterne und dem Gammablitz lagen $\Delta t = 1,74$ s. Mit der Leuchtkraft-Distanz der Quelle des Gravitationswellensignals $d = 40$ Mpc bestimme man diese Grenzwerte in der Form $(c - c_{\text{GW}})/c$ unter der Annahme, dass der Gammablitz in NGC 4993 zwischen $\tau_0 = 0$ s, also sofort, und spätestens $\tau_{10} = 10$ s nach dem Verschmelzen ausgesandt wurde ($1 \text{ pc} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ km}$).

Aufgabe 2: Unter Nutzung des dritten keplerschen Gesetzes $P^2 = 4 \pi^2 a^3 G^{-1} / (m_1 + m_2)$ bestimme man den Abstand a der beiden Neutronensterne mit den Massen $m_1 = 1,18 M_\odot$ und $m_2 = 1,6 M_\odot$. Dabei ist $P = 1/f_{\text{NS}}$ die Umlaufperiode der Neutronensterne ($G = 6,643 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$). Man beachte, dass pro Umlauf zwei vollständige Gravitationswellen-Schwingungen abgestrahlt werden: $f_{\text{NS}} = f_{\text{GW}}/2$.

Aufgabe 3: Welche Frequenz f_K hatten die Gravitationswellen zu dem Zeitpunkt, als sich die beiden Neutronensterne mit den jeweiligen Radien $R_{\text{NS}} = 10$ km gerade berührten – nichtrelativistische Physik vorausgesetzt.

Zusatzaufgabe: Durch das Abstrahlen von Gravitationswellen verlor das Neutronensternpaar bis zum Verschmelzen die Energie $E_{\text{GW}} = 0,025 M_\odot c^2$. Man bestimme **a)** den zugehörigen Abstand a_E und **b)** die finale Frequenz f_E der Gravitationswellen wiederum unter der Annahme nichtrelativistischer Physik.

AXEL M. QUETZ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **8. Dezember 2017** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. PDF: zumnachdenken@sterne-und-weltraum.de. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern Preise verlost: siehe S. 101

Literaturhinweis

Decarli, R. et al.: Rapidly Star-Forming Galaxies Adjacent to Quasars at Redshifts Exceeding 6. *Nature* 545, S. 457–461, 2017

W I S Didaktische Materialien:
www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1156170