



Verzerrte Welt um Schwarzes Loch Die künstlerische Darstellung zeigt eine derartige Raumzeitfalle vor einem sternreichen Hintergrund. Sein Gravitationsfeld erzeugt einen verkrümmten Bereich der Raumzeit, die das Licht der Hintergrundsterne verzerrt. Das Schwarze Loch wirkt als Gravitationslinse und verstärkt aus Sicht des Betrachters das Licht weit dahinter liegender Objekte.

NASA, ESA und D. Coe, J. Anderson und R. van der Marel (STScI)

Vagabundierendes Schwarzes Loch in der Galaxis

W I S wissenschaft
in die schulen!

Mit der siebenfachen Masse unserer Sonne ist das dunkle Objekt der bisher mit Abstand beste Kandidat für ein frei fliegendes stellares Schwarzes Loch.

Für Astronominen und Astronomen auf der Suche nach Schwarzen Löchern herrschen gute Zeiten. Die größten von ihnen – extrem massereiche Schwarze Löcher mit bis zu Milliarden von Sonnenmassen – wurden in den Zentren fast aller Galaxien gefunden. Mittlerweile ist es sogar gelungen, ein Bild von einem zu machen (siehe SuW 6/2019, S. 26).

Inzwischen entdecken Forscher routinemäßig Gravitationswellen, die von kleineren, miteinander verschmelzenden Schwarzen Löchern ausgehen und sich im ganzen Universum ausbreiten (siehe SuW 3/2022, S. 16). Näher an unserem Zuhause haben wir das dramatische himmlische Feuerwerk beobachtet, das entsteht, wenn das extrem massereiche Schwarze Loch des Milchstraßensystems und seine kleineren Verwandten Gaswolken oder sogar ganze Sterne verschlingen (siehe SuW 4/2022, S. 23).

Doch noch nie zuvor ist es gelungen, ein seit Langem vorhergesagtes Phänomen sicher zu bestätigen: ein isoliertes Schwarzes Loch, das durch den Weltraum driftet, geboren und herausgeschleudert aus dem kollabierenden Kern eines massereichen Sterns (siehe »Verzerrte Welt um Schwarzes Loch«). Bis jetzt.

Einsames Schwarzes Loch

Wissenschaftler haben die allererste eindeutige Entdeckung eines frei fliegenden Schwarzen Lochs bekannt gegeben, das etwa 5000 Lichtjahre von der Erde entfernt in der Leere seine Bahn zieht. Das Ergebnis, das am 31. Januar auf dem Preprint-Server arXiv erschien, aber noch nicht von Fachleuten geprüft wurde, ist der Höhepunkt von mehr als einem Jahrzehnt eifriger Suche. »Es ist super aufregend«, sagt Marina Rejuba von der Europäischen Südsternwarte in Deutschland, eine Mitautorin der Forschungsarbeit. Wir können tatsächlich beweisen, dass es isolierte Schwarze Löcher gibt.« Diese Entdeckung mag nur der Anfang sein; es wird erwartet, dass laufende Untersuchungen und kommende Missionen Dutzende oder sogar Hunderte weitere dieser dunklen, einsamen Reisenden finden werden. »Das ist die Spitze des Eisbergs«, sagt Kareem El-Badry vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, der nicht an der Studie beteiligt war.

Im Jahr 1919 führte der britische Astronom Arthur Stanley Eddington ein berühmtes Experiment durch (siehe

SuW 5/2019, S. 26). Nach Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie sollten massereiche Objekte eine Delle in der Raumzeit verursachen, die Lichtstrahlen in der Nähe krümmt – sie wirken als Gravitationslinsen (siehe SuW 4/2022, S. 34 und S. 46). Eddington bewies dies während einer totalen Sonnenfinsternis, bei der das blendende Licht der Sonne auf ein Minimum reduziert wurde. Dadurch gerieten die benachbarten Hintergrundsterne am Himmel sichtbar. Mit einer Technik, die als Astrometrie bekannt ist, zeichnete er die Positionen dieser Sterne vor und während der Sonnenfinsternis sorgfältig auf und entdeckte eine subtile Veränderung ihrer scheinbaren Position am Himmel. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ihr Licht durch die beträchtliche Gravitationswirkung unseres Sterns verzerrt wird. »Die scheinbare Position der Sterne wies eine winzige Verschiebung auf«, meint Feryal Özel von der University of Arizona, die an der Studie ebenfalls nicht beteiligt war.

In den darauffolgenden Jahrzehnten erkannten die Wissenschaftler einen neuen Nutzen für diese Methode. Sterne mit mindestens der 20-fachen Masse unserer Sonne, sollten am Ende ihres Lebens Schwarze Löcher bilden, wenn die schweren Kerne nach Erschöpfung des thermonuklearen Brennstoffs unter ihrem eigenen Gewicht zusammenbrechen. Die Geburt solch eines stellaren Schwarzen Lochs – eine stadtgroße Kugel, die bis zum Dutzendfachen der Masse unserer Sonne enthält – wird oft von einer hellen Supernova begleitet. Sie ist Zeugnis der enormen Energie, die beim Kollaps des Kerns frei wird. Die entsprechenden Kräfte können so groß sein, dass sie das neugeborene Schwarze Loch manchmal direkt aus seinem Mutterleib auf eine endlose interstellare Reise schicken. Die kosmische Wanderlust zusammen mit der geringen Größe und der Dunkelheit Schwarzer Löcher sollten es fast unmöglich machen, sie zu entdecken.

Zeitweise heller

Eddingtons Arbeit deutete jedoch darauf hin, dass sich manche dieser Ausgestoßenen durch die Beobachtung ihrer Linseneffekte auffinden lassen. Das geschieht typischerweise durch eine verräterische, vorübergehende Aufhellung von Hintergrundsternen, über die die Schwarzen Löcher hinwegfliegen.

Die Wahrscheinlichkeit, ein solches Ereignis für ein isoliertes Schwarzes

Loch zu beobachten, ist gering. Angesichts der Tatsache aber, dass Millionen Schwarzer Löcher von stellarer Masse durch unsere Galaxien driften, könnten einige davon in ausreichend breit angelegten und tiefen Durchmusterungen des Himmels auftauchen (siehe SuW 2/2020, S. 23).

Mehrere Projekte suchen nach diesen und anderen Mikrolinsen-Ereignissen. Darunter sind das Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE) der Universität Warschau in Polen und die Durchmusterung Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) von Forschenden in Neuseeland und Japan zu nennen. Im Juni 2011 entdeckten diese beiden Suchprogramme etwas Bemerkenswertes: Einen plötzlich heller werdenden Stern, der sich in rund 20000 Lichtjahren Entfernung in Richtung der dicht gepackten galaktischen Ausbuchtung im Zentrum der Milchstraße befindet. Könnte es sich dabei um ein Mikrolensing-Ereignis handeln, das von einem Schwarzen Loch ausgeht? Astronominen und Astronomen hasteten los, um das herauszufinden.

Da bewegt sich etwas!

Einer von ihnen war Kailash Sahu vom Space Telescope Science Institute in Baltimore, der Erstautor des arXiv-Preprints, in dem die Entdeckung des Objekts beschrieben wird. Mit dem Weltraumteleskop Hubble nahmen er und seine Kollegen den Stern innerhalb weniger Wochen nach seinem Aufleuchten mehrfach ins Visier und suchten ihn in den folgenden sechs Jahren immer wieder auf. Sie konnten bestätigen, dass das Licht des Sterns verstärkt worden war, was auf das Vorhandensein eines unsichtbaren Linsenobjekts hindeutet.

Sie fanden dabei aber noch etwas viel Wichtigeres: Die scheinbare Position des Sterns im Raum hatte sich um einen winzigen Betrag verschoben. Der Effekt war »um den Faktor 1000 kleiner als das, was Eddington gemessen hat«, stellt Sahu fest, und lag nahe an den Grenzen der Möglichkeiten von Hubble. Etwas Verborgenes hatte das Licht des Sterns verstärkt und verzerrt. Und was war der beste Kandidat? Ein unsichtbares Schwarzes Loch mit der 7,1-fachen Masse unserer Sonne.

»Es gab keine andere Möglichkeit als ein Schwarzes Loch«, erklärt Sahu. Zwei Dinge waren nötig, um dies zu bestätigen. »Als erstes Kriterium sollte kein Licht

von der Linse selbst kommen«, sagt Sahu. Das würde Objekte wie einen gescheiterten Stern, einen Braunen Zwerg also, ausschließen. Das zweite Kriterium war, dass der Vergrößerungseffekt von hinreichend langer Dauer sein sollte, da der gravitationelle Einflussbereich eines Schwarzen Lochs sehr groß ist. Das Ereignis vom Juni 2011 dauerte etwa 300 Tage und erfüllte damit die Anforderungen. »Es ist eine ziemlich gründliche und sorgfältige Analyse«, so El-Badry. »Die Autoren des Forschungsberichts haben ihre Sorgfaltspflicht erfüllt.«

Das Ausmaß der Linsenbildung und der Ablenkung des Sternlichts ermöglichte es Sahu und seinen Mitarbeitern, die Masse des mutmaßlichen Schwarzen Lochs auf etwas mehr als sieben Sonnenmassen festzulegen. Damit liegt es »genau in der Mitte dessen, was wir für stellare Schwarze Löcher erwarten würden«, so Özel. Das Team war zudem in der Lage, seine Geschwindigkeit zu berechnen. »Es bewegt sich mit etwa 45 Kilometern pro Sekunde«, sagt Sahu. Das ist relativ schnell im Vergleich zu nahe gelegenen Sternen – genau das, was man erwarten würde, wenn das Schwarze Loch von einem sterbenden massereichen Stern einen Kick erhalten hätte. Es ist nicht klar, wann dieses Ereignis stattgefunden haben könnte, aber es »mag irgendwo in der Nähe von 100 Millionen Jahren sein«, schätzt Sahu. »Wir können es nicht genau sagen, weil wir nicht wissen, woher es genau kam.«

Dies ist jedoch nicht der erste beobachtete Hinweis auf das Mikrolinsensing von wandernden Schwarzen Löchern von stellarer Masse; es gibt noch andere Kandidaten. Was nun anders ist: Es wurde die Ablenkung des Sternlichts durch das Linsenobjekt selbst gemessen und nicht nur die Lichtverstärkung. So kann die Linsenmasse sicher bestimmt werden, was die wahre Natur des Objekts eindeutig verrät. »Es gab schon früher Entdeckungen von Kandidaten für Schwarze Löcher, aber sie verfügten nicht über diese astrometrischen Messungen«, sagt David Bennett vom Goddard Space Flight Center der NASA, der zusammen mit Sahu und anderen an der Entdeckung mitgewirkt hat. »Diese Technik ist die beste, die man für isolierte Schwarze Löcher mit stellarer Masse verwenden kann. Es war der erste Versuch, dies zu tun. Alle bislang entdeckten Schwarzen Löcher wurden nur deshalb gefunden, weil sie nicht isoliert waren.

Heimat der Nomaden

Die Masse des frei fliegenden Schwarzen Lochs ist ein weiterer Beweis dafür, dass die Entstehungsmodelle der Astrophysikerinnen und Astrophysiker richtig sind: Isolierte Schwarze Löcher können aus der Asche besonders massereicher stellarer Vorläufer entstehen. Es ist jedoch möglich, dass sie sich auch in Doppelsystemen bilden können, bevor sie zu Nomaden im Weltraum werden. Für das nun gefundene spezielle Objekt lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, welche Entstehungsgeschichte vorliegt. Sicher ist jedoch, dass die Entdeckung weiterer isolierter Schwarzer Löcher den Forschern die Möglichkeit geben wird, ihre Modelle genauer zu untersuchen und zu verfeinern. »Wir waren noch nie in der Lage, Schwarze Löcher zu untersuchen, die für sich alleine stehen«, gesteht Özel. »Diese neue Möglichkeit, sie zu finden und ihre Masse zu bestimmen, ist also sehr aufregend. Bilden sie sich auf andere Weise? Ist ihre Massenverteilung unterschiedlich?«

Antworten auf solche Fragen könnten schon bald kommen. Der Astrometrie-satellit Gaia der Europäischen Weltraumbehörde kartiert derzeit die Positionen von Milliarden von Sternen in unserer Milchstraße (siehe SuW 2/2021, S. 38). Im Jahr 2025 werden die an dem Projekt beteiligten Wissenschaftler auf der Grundlage ihrer Beobachtungen Daten von Gravitationslinsen veröffentlichen. Von diesen wird erwartet, dass sie Hinweise auf viele weitere stellare Schwarze Löcher enthalten, die in unserer Galaxis herum-schwirren. »Die Daten von Gaia werden von ähnlicher oder sogar noch besserer Qualität sein als diejenigen von Hubble«, prophezeit Łukasz Wyrzykowski von der Universität Warschau, einer der Mitautoren der jüngsten Studie. Er schätzt, dass die kommenden Linsendaten vermutlich Dutzende von zusätzlichen Kandidaten enthalten werden.

Bald noch mehr Daten

Das Vera-C.-Rubin-Observatorium in Chile soll im nächsten Jahr mit einer zehnjährigen andauernden Durchmusterung des Nachthimmels beginnen. Es wird voraussichtlich ebenfalls seine eigene Ernte an vagabundierenden Schwarzen Löchern einfahren. Ebensoles wird vom Nancy Grace Roman Space Telescope der NASA erwartet, das im Jahr 2027 in Betrieb gehen soll. Sowohl Rubin als auch

Roman haben ein sehr weites Gesichtsfeld. Beide Teleskope können daher Panoramablicke auf den Sternenhimmel aufnehmen, in dem eine große Anzahl von frei fliegenden Schwarzen Löchern lauern muss. El-Badry: »Die Hoffnung ist, dass Rubin und Roman in der Lage sein werden, diese linsenbedingte astrometrische Verschiebung für viele Objekte zu messen.«

Für den Moment sagt die Entdeckung des Schwarzen Lochs mit der siebenfachen Sonnenmasse eine glänzende Zukunft für die Suche voraus. Frei fliegende stellare Schwarze Löcher sind seit Langem vorhergesagt. Erst jetzt aber können sie durch Beobachtungen bestätigt werden und in unserem Milchstraßensystem häufig genug vorkommen, um demografische Studien über ihre Population zu ermöglichen. Die Bestimmung ihrer wahren Häufigkeit, Masse und anderer Eigenschaften könnte unsere noch immer unvollständigen Theorien der Sternentwicklung untermauern – oder wichtige neue Lücken in unserem Verständnis schließen. »Auf diese Entdeckung haben wir seit vielen, vielen Jahren gewartet«, freut sich Wyrzykowski. »Sie zeigt, dass diese Methode funktioniert. Mit dem Mikrolinseneffekt werden diese isolierten Schwarzen Löcher aufgespürt werden.«

Jonathan O'Callaghan ist freiberuflicher Journalist und berichtet über kommerzielle Raumfahrt, Weltraumforschung und Astrophysik.

Literaturhinweise

Lam, C. Y. et al.: An isolated mass gap black hole or neutron star detected with astrometric microlensing. arXiv:2202.01903

Sahu, K. C. et al.: An isolated stellar-mass black hole detected through astrometric microlensing. arXiv:2201.13296

W I S Didaktische Materialien: www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051522

Dieser Artikel erschien ursprünglich online unter dem Titel »Astronomers Find First Ever Rogue Black Hole Adrift in the Milky Way« in Scientific American (www.scientificamerican.com/article/astronomers-find-first-ever-rogue-black-hole-adrift-in-the-milky-way/)