

Den unsichtbaren Begleiter aufspüren

Ein sonnenähnlicher Stern in unserer Nachbarschaft umkreist ein Schwarzes Loch in einem weiten Orbit.

Norbert Langer

Die Allgemeine Relativitätstheorie sagt Schwarze Löcher als kompakte Objekte voraus, deren Gravitation so stark wirkt, dass weder Photonen noch andere Elementarteilchen ihren Einflussbereich verlassen können. Schwarze Löcher zu beobachten ist daher schwierig beziehungsweise unmöglich, falls sie völlig isoliert sind. Trotzdem hat die Astronomie viele Wege gefunden, um Schwarze Löcher nachzuweisen. Zwei Arten lassen sich unterscheiden: Stellare Schwarze Löcher wiegen einige Sonnenmassen und stehen am Ende der Entwicklung der massereichsten Sterne [1]; supermassive Schwarze Löcher, Millionen bis Milliarden Sonnenmassen schwer, finden sich in den Zentren vieler Galaxien, auch in unserer Milchstraße [2]. Die Beobachtung stellarer und supermassiver Schwarzer Löcher wurde 2017 und 2020 mit dem Physik-Nobelpreis geehrt.

Schwarze Löcher leuchten selbst nicht, aber in der Regel Materie, die in ein solches hineinfällt (Abb. 1). Denn die extreme Gravitation komprimiert diese stark und heizt sie auf. Bei die-



Abb. 1 Ist der Abstand zwischen den Komponenten eines Doppelsternsystems klein, strömt Materie vom normalen zum kompakten Stern. Dabei kann sich eine Akkretionsscheibe um das kompakte Objekt ausbilden, deren starke Erhitzung zur Emission von Röntgenstrahlung führt. Fast alle bekannten stellaren Schwarzen Löcher sind bisher aufgrund dieser Röntgenstrahlung entdeckt worden.

ESA, NASA, Felix Mirabel (French Atomic Energy Commission and Institute for Astronomy and Space Physics / Conicet of Argentina)

sen Temperaturen entsteht thermische Röntgenstrahlung, die weltraumgebundene Röntgenteleskope messen können. In der Milchstraße kennen wir etwa 20 gesicherte und 50 wahrscheinliche stellare Schwarze Löcher, alle in Doppelsternsystemen [3].

Schwarze Löcher lassen sich nicht nur durch elektromagnetische Strahlung nachweisen, sondern auch durch die Wirkung ihres Gravitationsfeldes. Wenn ein Schwarzes Loch ein zweites umkreist, sendet das Doppelsternsystem energiereiche Gravitationswellen aus, was den Bahnabstand verkleinert. Das erhöht den Energiestrom der Gravitationswellen weiter, sodass die beiden Schwarzen Löcher am Ende verschmelzen und dabei das Energieäquivalent mehrerer Sonnenmassen in Sekundenbruchteilen abstrahlen. Ein solches Ereignis in 1,3 Milliarden Lichtjahren Entfernung haben 2015 erstmals die LIGO-Gravitationswellendetektoren beobachtet. Kurz vor dem Verschmelzen rotierten die beiden Schwarzen Löcher mit jeweils etwa 30 Sonnenmassen fast

lichtschnell hundert Mal pro Sekunde umeinander und ließen die Raumzeit beben.

Einfacher funktioniert der Nachweis der Gravitationswirkung mittels eines normalen Sterns, der eine Kreis- oder Ellipsenbahn durchläuft, die ein zweites stellares Objekt verursachen könnte. Ist die Masse eines solchen Sterns bekannt, erlauben es die Keplerschen Gesetze, die Masse eines nicht-leuchtenden Begleiters abzuschätzen. Übersteigt diese die Tolman-Oppenheimer-Volkhoff-Masse – die Grenzmasse für Neutronensterne von etwa 2 bis 3 Sonnenmassen – lässt sich indirekt auf das Vorhandensein eines Schwarzen Lochs schließen.

Jahrelange Messungen des Gaia-Satelliten haben es nun erlaubt, einen nahen, sonnenähnlichen Stern zu finden, der ein Schwarzes Loch umkreist [3]. Der Hauptzweck von Gaia ist die Parallaxen-Messung der Sterne in unserer Milchstraße und damit deren Entfernungsbestimmung. Die dazu nötige genaue Positionsbestimmung der Sterne am Himmel entlarvt auch

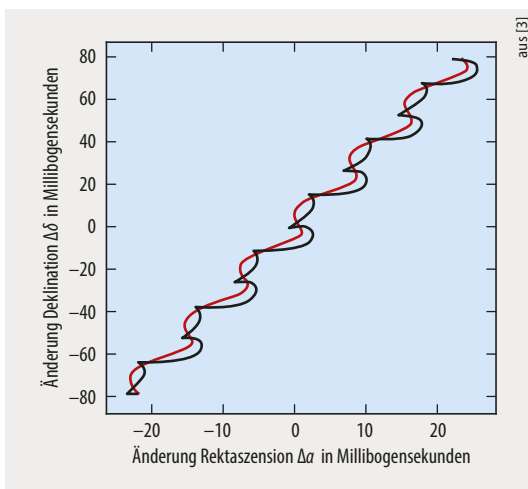


Abb. 2 Die scheinbare Bewegung des neu entdeckten Sterns am Himmel (schwarz) unterscheidet sich deutlich von der scheinbaren Bewegung eines Sterns ohne Begleiter (rot).

Doppelsternsysteme (**Abb. 2**). Besagter Stern befindet sich in unserer direkten Nachbarschaft innerhalb der Milchstraße in (1556 ± 13) Lichtjahren Entfernung und ähnelt der Sonne bis ins Detail – bis auf den unsichtbaren Begleiter. Seine von Gaia gemessenen, zyklischen Bewegungen am Himmel erlauben den Rückschluss auf einen Begleiter mit mindestens 9,6 Sonnenmassen, um den der sonnenähnliche Stern mit einer Periode von 186 Tagen kreist. Als nicht-entarteter Stern würde der Begleiter mindestens 500-mal so hell leuchten wie die Sonne.

Bisher kannten wir Schwarze Löcher als Begleiter von sonnenähnlichen Sternen nur, wenn sie sich so nah sind, dass Materie vom Stern zum Schwarzen Loch abströmt und nah des Schwarzen Lochs Röntgenstrahlung aussendet. Ihre Umlaufperioden liegen in der Größenordnung eines Tages. Das neue System legt nahe, dass es weitere langperiodische Doppelsternsysteme mit Schwarzen Löchern gibt, sodass der jetzige Fund fast zufäl-

lig passierte. Solche Systeme existieren auch mit massereichen Hauptreihensternen, wie die Entdeckung eines Schwarzen Lochs als Begleiter eines Sterns von 25 Sonnenmassen in unserer Nachbar-Galaxie, der Großen Magellanschen Wolke, zeigt [4]. Die große Entfernung verhinderte es, den Orbit astrometrisch zu bestimmen. Aber die spektroskopische, mit dem Doppler-Effekt gemessene periodische Radialgeschwindigkeits-Variation reichte aus, um einen nicht-leuchtenden Begleiter von mindestens 9 Sonnenmassen nachzuweisen.

Schwarze Löcher, die sich durch ihre Röntgenstrahlung zu erkennen geben, scheinen nur die Spitze eines riesigen Eisbergs zu sein: die engsten aller Doppelsternsysteme mit einem Schwarzen Loch. Wenn extrem enge Systeme nicht bevorzugt sind, sollte es eine um Größenordnungen höhere Zahl Schwarzer Löcher in Doppelsternsystemen ohne Röntgenstrahlung geben – und noch mehr ohne Doppelstern-Partner. Denn aus

den etwa eine Milliarde Sonnenmassen Sauerstoff in der Milchstraße lässt sich auf etwa ebensoviele Supernova-Explosionen schließen, die von Sternen mit 8 bis 20 Sonnenmassen verursacht werden. Da diese fünfmal häufiger sind als die stellaren Vorläufer von Schwarzen Löchern, ergeben sich etwa 200 Millionen Schwarze Löcher in unserer Milchstraße: Wir stehen mit deren Entdeckung also noch ganz am Anfang.

- [1] A. Heger et al., *ApJ* **591**, 288 (2003)
- [2] A. Eichhorn, *Physik Journal*, Juli 2022, S. 18
- [3] K. El-Badry et al., *MNRAS* **518**, 1057 (2023)
- [4] T. Shenar et al., *Nat. Astron.* **6**, 1085 (2022)

Der Autor

Prof. Dr. Norbert Langer, Argelander-Institut für Astronomie, Bonn und Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn




Spannend, erhellend, aufrüttelnd!

Maëlle Gavet
Niedergetrampelt von Einhörnern
 Die verheerenden Nebenwirkungen von Big Tech – ein Aufruf zum Handeln
 2021. 352 Seiten. Gebunden.
 €24,99 • 978-3-527-51072-6

Sie machen unser Leben bequem, sie unterhalten uns, bedienen das Bedürfnis nach Sozialisation und letztlich unsere Eitelkeit durch Selbstdarstellung, aber sie leisten Extremisten Vorschub, Demokratien zu erschüttern, indem sie Lügen verbreiten. Sie schädigen die Gesellschaft durch Steuervermeidung, beuten ihre Mitarbeiter aus und spionieren ihre Kunden aus. Ein aufrüttelndes Buch, das tiefe Einblicke hinter die Kulissen von Amazon, Facebook und anderer Tech-Riesen gibt und zum Nachdenken anregt.

www.wiley-business.de **WILEY**



Als Physiker*in ins Consulting **Jetzt bewerben!**

Als Physiker*in sind Sie es gewohnt, strukturiert an komplexe Probleme heranzugehen und fundierte Lösungen zu erarbeiten. Bringen Sie Ihre Fähigkeiten in unsere Projekte z.B. in den Bereichen Big Data, IT, Risikocontrolling und Großprojektmanagement ein.

- Hervorragende Entwicklungsmöglichkeiten**
- Große Gestaltungsfreiräume**
- Arbeiten in freundschaftlicher Atmosphäre**

Basycon – die führende Management-Beratung mit mathematisch-naturwissenschaftlicher Ausrichtung.

Basycon
 Basycon Unternehmensberatung GmbH
 Welserstr. 1 • 81373 München • karriere.basycon.com