

SuW-Grafik, nach: Sergey Koposov; Hintergrundbild: ESO/S. Brunier (www.eso.org/public/germany/images/eso0932a/) / CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)

Stern aus Galaxis geschleudert ... und Tschüss

W I S wissenschaft in die schulen!

Der zufälligen Entdeckung eines Hyperschnellläufers folgte die Erkenntnis, dass er aus dem galaktischen Zentrum stammt. Ein Doppelsternsystem wurde bei seiner Begegnung mit dem extrem massereichen Schwarzen Loch vor rund fünf Millionen Jahren zerrissen, und einer der beiden Sterne entflieht nun dem Milchstraßensystem.

Wenn in einem astronomischen Fachartikel der Begriff »serendipitous discovery«, zu Deutsch eine »glückliche Entdeckung«, fällt, dann weiß man gleich, was Sache ist: So richtig gesucht hatten die Astronomen nicht, aber gefunden haben sie trotzdem etwas. Im vorliegenden Fall ist das ein Stern mit der Kennung S 5-HVS1. Derzeit befindet er sich im südli-

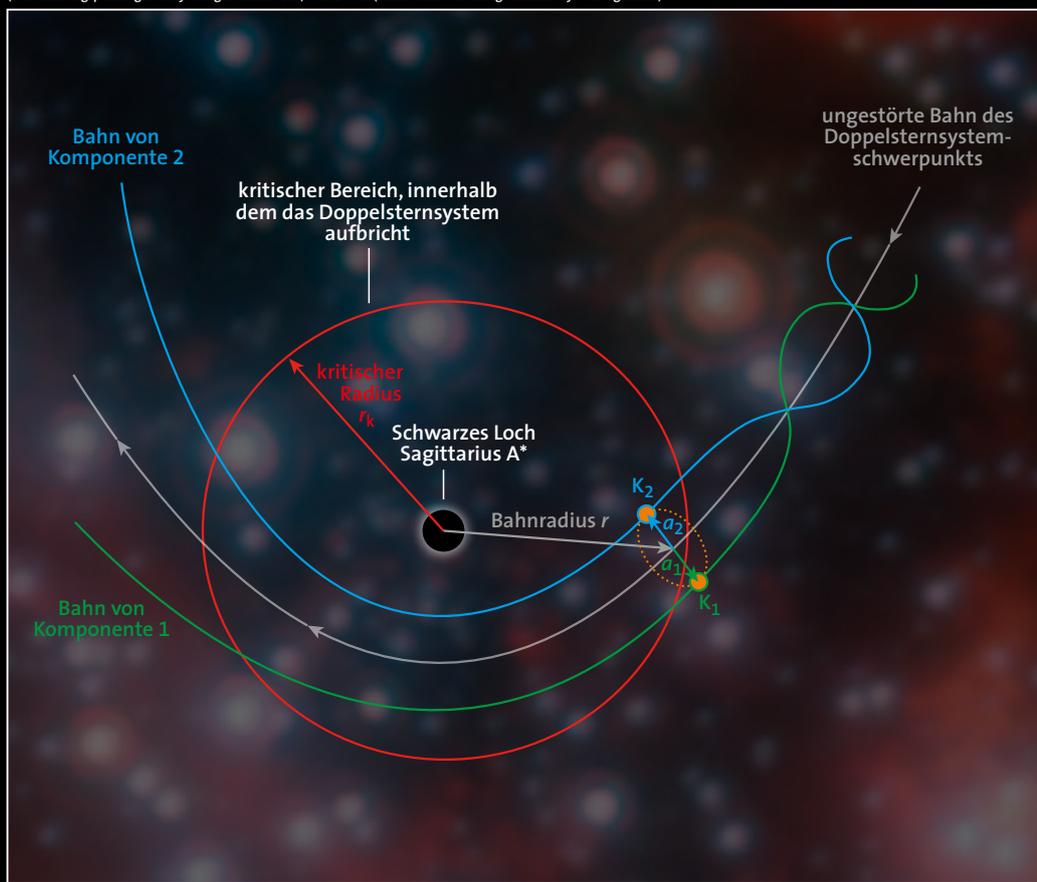
chen Sternbild Kranich, rund 29 000 Lichtjahre von der Erde entfernt. Es ist ein Stern des Spektraltyps A mit rund 2,35 Sonnenmassen.

Nun ist die Milchstraße voll von einigen hundert Milliarden Sternen, darunter auch A-Sterne im selben Sternbild. Was die Entdeckung von S 5-HVS1 überhaupt zu einer Entdeckung – und einer glücklichen

noch dazu – macht, sind nicht seine physikalischen Eigenschaften, sondern die schiere Geschwindigkeit, mit der er durch unsere Galaxis saust: Mit rund 1800 Kilometern pro Sekunde ist der Stern fast doppelt so schnell wie alle bis dato entdeckten so genannten Hyperschnellläufer. Das sind Sterne, die sich mit außergewöhnlich hohen Geschwindigkeiten durch un-

Mit einer Geschwindigkeit von rund 1800 Kilometern pro Sekunde enteilt der Stern S5-HVS1 unserem Milchstraßensystem. Die Grafik zeigt seine derzeitige Position (roter Punkt), seine Bewegungsrichtung (roter Pfeil) und seine zurückgerechnete Flugbahn weg vom galaktischen Zentrum, aus dem er vor knapp fünf Millionen Jahren ausgestoßen wurde.

SuW-Grafik, nach: Sergey Koposov; Hintergrundbild: ESO/S. Brunier (www.eso.org/public/germany/images/eso0932a/) / CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)



Die nicht maßstabsgetreue Prinzipskizze veranschaulicht, wie das vermutete Doppelsternsystem (orange) im Schwerefeld des extrem massereichen Schwarzen Lochs Sagittarius A* (Sgr A*) auseinandergerissen wird. Zunächst bewegt sich der Schwerpunkt des Systems auf einer parabelnahen Bahn um das Schwarze Loch herum (grau). Dabei sind a_1 und a_2 die großen Halbachsen des Doppelsternsystems. Während Komponente 2 (K_2 , blau) vom Schwarzen Loch eingefangen wird, wird Komponente 1 (K_1 , grün) als Hyperschnellläufer aus der Galaxis katapultiert.

ser Sternsystem bewegen. Tatsächlich ist S5-HVS1 etwa zehnmal so schnell wie ein durchschnittlicher Milchstraßenstern. Sergey Koposov von der Carnegie Mellon University in Pittsburgh und seine Kollegen stellten diesen Hyperschnellläufer als jene glückliche Entdeckung vor einiger Zeit im Fachmagazin »Monthly Notices of the Royal Astronomical Society« vor.

Fund in der Durchmusterung

Ins Netz gegangen war den Forschern der Stern im Rahmen des »Southern Stellar Stream Spectroscopic Survey«. Das ist eine Himmeldurchmusterung, die von der südlichen Hemisphäre aus auf spektroskopischem Weg mit Hilfe des Anglo-Australian Telescope am australischen Siding Spring Observatory nach Sternströmen um unser Milchstraßensystem sucht. Hyperschnelle Sterne waren also nicht das

Ziel der Beobachtungen. Allerdings hatten die Forscher einen Suchfilter für ihre Daten eingerichtet, der sie über besonders schnelle Exemplare informierte – schließlich könnte es sich auch um fehlerhafte Beobachtungsdaten handeln. Sterne mit Radialgeschwindigkeiten – also die eindimensionale Geschwindigkeit zu oder von unserem Sonnensystem hin oder weg – mit mehr als 800 Kilometern pro Sekunde wurden so gemeldet.

S5-HVS1 erfüllte dieses Kriterium problemlos: Seine Radialgeschwindigkeit beträgt nämlich rund 1020 Kilometer pro Sekunde. Sie alleine würde schon ausreichen, um seine Zukunft zu besiegeln (siehe Grafik oben links). Denn der Stern fliegt schnurstracks aus unserer Galaxis heraus, da seine Geschwindigkeit die galaktische Fluchtgeschwindigkeit bei Weitem übertrifft (siehe SuW 9/2016, S. 24).

Am Ort der Sonne liegt diese Fluchtgeschwindigkeit bei rund 560 Kilometern pro Sekunde. Ihr jeweiliger Wert hängt von der Distanz zum galaktischen Zentrum ab. Damit ist der S5-HVS1 einer der schnellsten je beobachteten Sterne – und es macht ihn damit zu etwas ganz Besonderem.

Eine Frage lag für die Forscher nun auf der Hand: Welcher Mechanismus könnte einen Stern mit derartiger Rasanz aus unserer Galaxis katapultieren? Zwar sind mehrere Szenarien bekannt, die Sterne auf relativ hohe Geschwindigkeiten beschleunigen können – Supernovae beispielsweise, oder Dreifachsternsysteme, die instabil werden; allerdings reichen sie nicht aus, um die hohe Geschwindigkeit von S5-HVS1 von immerhin etwa 6,5 Millionen Kilometern pro Stunde zu erklären. Auf den richtigen Pfad brachte Ko-



Doppelstern zerreißt beim Passieren von Sgr A*

Das extrem massereiche Schwarze Loch im Zentrum unseres Milchstraßensystems ist umgeben von einem kleinen Sternhaufen mit Hochgeschwindigkeitssternen, die S-Sterne genannt werden. Sie umkreisen das als Sagittarius A* (Sgr A*) bezeichnete Schwarze Loch (SL) in geringer Entfernung wie ein Bienenschwarm seinen Stock. Der Vergleich hinkt etwas, denn Bienen können ihre Flugrichtung ändern, die Sterne folgen hingegen den keplerschen Gesetzen. Die Bahnradien der S-Sterne reichen bis etwa 40000 AE Abstand vom SL, womit die Ausdehnung des S-Sternhaufens mit derjenigen der Oortschen Wolke vergleichbar ist. Es besteht die Vermutung, dass zumindest einige der S-Sterne eingefangene Komponenten eines Doppelsternsystems sind, wofür auch die hohen und sehr hohen Exzentrizitäten ihrer Bahnen sprechen. Bei einer Passage des SL wurde die jeweils andere Doppelsternkomponente aus dem galaktischen Zentrum katapultiert.

Aufgabe 1: Betrachten wir ein Doppelsternsystem mit der Gesamtmasse $m = m_1 + m_2$, dessen Schwerpunkt sich dem SL entlang einer hyperboloiden oder parabelförmigen Flugbahn nähert. Auf einer elliptischen Bahn kann es nicht sein, denn dann hätte es in der Vergangenheit bereits dichteste Annäherungen überstanden. Man stelle eine Gleichung auf für die durch das SL auf die Doppelsternkomponenten ausgeübte Gezeitenbeschleunigung $\Delta A = A_- - A_+$. Dabei ist $A_{\pm} = G M_{\text{SL}} / (r \pm a/2)^2$ die vom SL auf die jeweilige Doppelsternkomponente ausgeübte Schwerebeschleunigung, r der Abstand zwischen SL und dem Massenzentrum des Doppelsterns und a der Abstand zwischen den beiden Doppelsternkomponenten. G ist die Gravitationskonstante und $M_{\text{SL}} = 4,1 \cdot 10^6 M_{\odot}$ ist die Masse des SL. Die Schwerebeschleunigung der beiden Sterne untereinander ist $A_D = G m/a^2$. Komponente 2 wird vom

SL eingefangen, während Komponente 1 entkommt, sofern $\Delta A > A_D$. Der kritische Abstand r_z zum SL ergibt sich bei $\Delta A = A_D$. **Anleitung:** ΔA lässt sich schreiben als $\Delta A = G M_{\text{SL}} f_1(r,a)/f_2(r,a)$, wobei f_1 und f_2 Funktionen von r und a sind. Entwickeln des Bruchs um $r \rightarrow \infty$ führt zu $\Delta A = G M_{\text{SL}} (2 a/r^3 + a^3/r^5 + \text{höhere Ordnungen})$. Mit der realistischen Annahme $r \gg a$ lassen sich alle Terme ab a^3/r^5 ignorieren, und es gilt: $\Delta A \approx 2 G M_{\text{SL}} a/r^3$. Welche Gleichung folgt sodann für den kritischen Abstand r_z ? Als **Zusatzaufgabe** mag die Reihenentwicklung von $f_1(r,a)/f_2(r,a)$ ausgeführt werden.

Aufgabe 2: Für die Entweichgeschwindigkeit v_e der enteilenden Doppelsternkomponente gibt Jack G. Hills in einer Arbeit aus dem Jahr 1988 folgende Gleichung an:

$$v_e = v_x \left(\frac{2 M_{\text{SL}}}{10^6 m} \right)^{-1/6} \left(\frac{a}{0,01 \text{ AE}} \right)^{1/2} \left(\frac{m}{2 M_{\odot}} \right)^{-1/2}$$

Wie groß ist v_e , wenn das Doppelsternsystem eine Gesamtmasse von $m = 2 M_{\odot}$, ihr gegenseitiger Abstand vor der Passage am Schwarzen Loch $a = 0,1$ AE betrug und die Exzessgeschwindigkeit weitab vom SL vor der Annäherung $v_x = 700$ km/s aufwies? Axel M. Quetz

Literaturhinweise

Brown, H.: The disruption of binary star systems by massive black holes and the restricted 3-body problem. Thesis, John Moores University, 2019

Hills, J. G.: Hyper-velocity and tidal stars from binaries disrupted by a massive galactic black hole. Nature 331, 1988

Ihre Lösungen senden Sie bitte an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. E-Mail: zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de. Ein-sendeschluss ist der 6. November 2020. Alle Leser, die bis einschließlich des Maihefts 2021 mindestens neun richtige Lösungen senden, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt. Bitte beachten Sie unsere Teilnahmebedingungen auf Seite 14! Sie können Ihre Datenschutzrechte nach Art. 15 ff. DSGVO ausüben, indem Sie uns unter service@spektrum.de kontaktieren.

posov und Kollegen die Spur des Sterns selbst. Denn diese ließ sich rekonstruieren, indem die Astronomen die Bahn des Sterns in der Zeit zurückrechneten. Sie endet ziemlich genau im galaktischen Zentrum vor 4,8 Millionen Jahren.

Mit anderen Worten: Das Schwarze Loch ist schuld

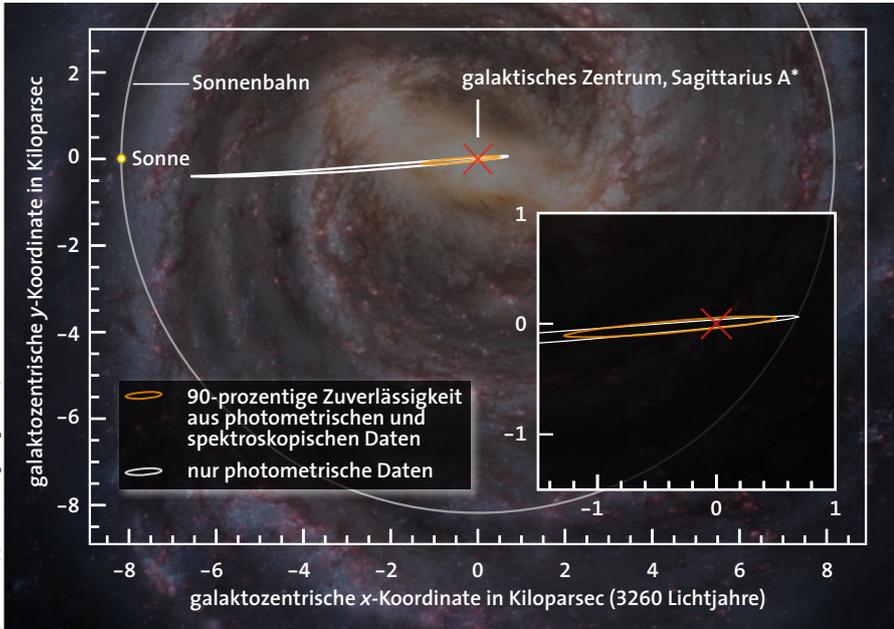
Bereits Ende der 1980er Jahre hatte der Astronom Jack Hills einen in der Folge nach ihm benannten Mechanismus vorgeschlagen: Demnach könnte die Begegnung eines Doppelsternsystems mit einem extrem massereichen Schwarzen Loch in einer Trennung der beiden Komponenten enden: Auf Grund der Gezeitenkräfte würde das Schwarze Loch einen der Sterne einfangen und verschlucken oder auf eine Umlaufbahn zwingen. Der andere Stern würde währenddessen hinaus ins All katapultiert, womit ihn diese Begegnung in einen Hyperschnellläufer verwandelt (siehe Grafik S. 17). Das klingt zwar durchaus plausibel und wurde von der wissenschaftlichen Gemeinde schon weitgehend als denkbare Szenario akzeptiert; mangels Kandidaten fehlten jedoch Hinweise, dass dieser Hills-Mechanismus auch tatsächlich funktioniert.

S5-HVS1 ist nun der bislang beste Hinweis darauf, dass sich vor rund 4,8 Millionen Jahren genau dieses Schleudertrauma in unserem galaktischen Zentrum abgespielt hat. Es gibt andere, weniger schnelle Hyperschnellläufer (siehe SuW 4/2020, S. 16), und vielleicht oder sogar wahrscheinlich hat auch hier das extrem massereiche Schwarze Loch Sagittarius A* eine Rolle gespielt. Darauf deutet hin, dass sich die meisten schnellen Sterne vom galaktischen Zentrum weg bewegen. Allerdings ließ sich der Ursprung eines Hyperschnellläufers bis zum Fall von S5-HVS1 noch nie so klar zurückverfolgen.

Der Lokalen Gruppe enteilen

Trotzdem bleiben einige offene Fragen. Einen interessanten Punkt haben Kaposov und seine Kollegen selbst angemerkt: Als Stern vom Spektraltyp A handelt es sich bei S5-HVS1 um ein recht langlebiges Objekt. Er wird noch etwa eine Milliarde Jahre lang unterwegs sein und die Lokale Gruppe durchquert haben, bevor seine Brennstoffvorräte aufgebraucht sind. Falls es noch weitere solcher Objekte gibt, könnte es sich daher lohnen, so die Forscher, nach

SuW/C-grafik, nach: Kozlov et al.: Discovery of a nearby 1700 km SFF1 star ejected from the Milky Way by Sgr A*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020
 unter Verwendung von NASA/JPL-Caltech/STScI (SSC/Caltech) (www.nasa.gov/content/goddard/images/content/visuals/20200810a1-The-Milky-Way-Galaxy) und NASA/ESA, S. Beckwith (STScI), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA) (hubblestie.org/image/39137)



Die Rückrechnung der Bahn des Hyper-schnellläufers S5-HVS1 weist mit großer Präzision auf einen Ursprung in unmittelbarer Nähe des galaktischen Zentrums bei $x = y = 0$ (rotes Kreuz). Die Bahn der Sonne ist grau eingezeichnet.

ihnen in einiger Entfernung von dem Milchstraßensystem oder der Andromedagalaxie Ausschau zu halten.

Aber schließlich ist auch das Schicksal der anderen Hälfte jenes ehemaligen Doppelsternsystems interessant. Manche Forscher denken, dass zumindest ein Teil der S-Sterne, die dem extrem massereichen Schwarzen Loch im Zentrum unseres Milchstraßensystems am nächsten sind, aus just solchen Begegnungen

stammen. Der ehemalige Begleiter von S5-HVS1 ist Berechnungen zufolge aber wahrscheinlich – je nach Umlaufbahn – von Sagittarius A* auf Grund der Gezeitenkräfte schon vor langer Zeit auseinandergerissen worden.

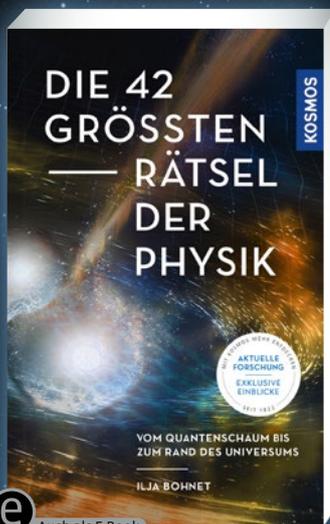
FRANZISKA KONITZER studierte Physik und Astrophysik an der University of York in Großbritannien und ist in München als Journalistin tätig.

Literaturhinweise

- Kozlov, S. et al.: Discovery of a nearby 1700 km SFF1 star ejected from the Milky Way by Sgr A*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020
- Lu, W. et al.: The former companion of the hyper-velocity star S5-HVS1. arXiv: 2005.12300

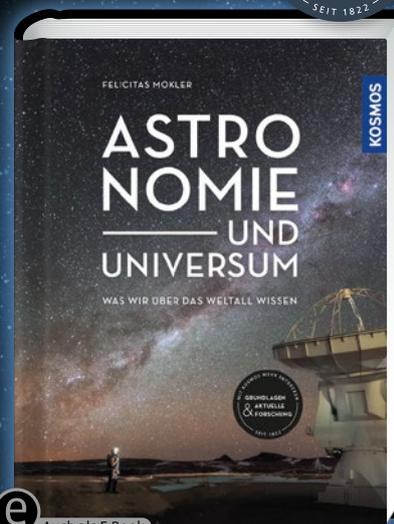
WIS Didaktische Materialien:
www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051497

NEUE NACHRICHTEN — AUS DEM ALL



- Ein kurzweiliger, verständlicher Überblick für alle, die in Sachen Astronomie und Physik mitreden möchten
- Die aktuellen Topthemen der Physik: von Dunkler Materie bis zu Zeitreisen
- Forschung verstehen – ganz einfach und unterhaltsam

256 Seiten, €/D 15,-



- Dieses Buch vermittelt das nötige Grundwissen, stellt alles Wichtige im Weltall vor und erklärt, wie „das da draußen“ eigentlich funktioniert
- Informativ, verständlich und spannend
- Mit aktuellen Forschungsthemen und faszinierenden Fotos

224 Seiten, €/D 30,-

BESTELLEN SIE JETZT AUF **KOSMOS.DE**
 BESUCHEN SIE UNS UNTER: facebook.com/kosmos.astronomie | [TWITTER: @KOSMOS_Astro](https://twitter.com/KOSMOS_Astro) | instagram.com/kosmos.astronomie

KOSMOS

© TjefHerson / fotolia