

von mehreren tausend Kilometern pro Sekunde bei seiner dichtesten Annäherung (der Periapsis) an das Schwarze Loch erreicht (siehe SuW 11/2018, S. 38). Die Helligkeit von S2 im nahinfraroten K-Band bei der Wellenlänge von 2,2 Mikrometern beträgt 14 mag; er ist damit der hellste Stern im S-Haufen. Er bewegt sich mit einer Umlaufdauer von rund 16 Jahren um Sgr A* herum und kommt dem Schwarzen Loch dabei auf 120 Astronomische Einheiten (AE) nahe. Durch die Nähe zu dem extrem massereichen Schwarzen Loch mit seinen 4,15 Millionen Sonnenmassen ist dieser Stern ein optimaler Kandidat, um Einflüsse gemäß der einsteinschen Relativitätstheorie zu untersuchen (siehe Kasten S. 21).

Der schnellste Stern der Galaxis

Im Jahr 2017 wurde die Drehung der Apsidenlinie, die Hauptachse der Bahnellipse, des Sterns S2 nachgewiesen. Dieser Effekt wird auf Grund der Nähe zum Loch besonders stark und lässt sich – ähnlich wie bei der Periheldrehung von Merkur – nur exakt mit Einsteins Theorie vorhersagen. Daher beschreibt der Stern eine offene rosettenförmige Bahn. Beobachtungen mit dem Interferometer GRAVITY am VLT im Jahr darauf belegten zudem, dass die Emission von S2 während der dichtesten Annäherung an das Schwarze Loch gravitationsrotverschoben wird (siehe SuW 2/2018, S. 16).

Auf Grund der geringen Größe des S-Haufens und der dort hohen Sterndichte ist es nicht verwunderlich, dass die Beobachtung von einigen seiner Sterne eine hohe Präzision verlangt. Es bedurfte einer neuen Generation von Instrumenten und Teleskopen, um leuchtschwächere Sterne des Haufens zu finden. Diese Anforderungen sind durch das VLT und die dort verfügbaren Instrumente realisiert. Unabdingbar ist dabei die Nutzung adaptiver Optik, denn sie hilft dabei, atmosphärische Einflüsse zu minimieren (siehe SuW 2/2019, S. 28). Eine bekannte Lichtquelle, der Leitstern, hilft, diese Einflüsse zu messen, wodurch sich die Qualität der eigentlichen Beobachtung deutlich steigern lässt.

Während der Datenanalyse wurde im Jahr 2019 ein Stern gefunden, dessen Eigenschaften verblüfften: S62 ist ein Hauptreihenstern mit einer Masse von 2,2 Sonnenmassen. Er bewegt sich mit einer Umlaufzeit von weniger als zehn Jahren um das zentrale Schwarze Loch (siehe Grafik S. 20 links). Somit kreist der Stern S62 schneller um das Loch, als Jupiter um die Sonne. Die

ZUM NACHDENKEN

S62 und die Masse von Sagittarius A*



Umkreisen sich zwei Körper gegenseitig, verraten schon ihre Umlaufdauer und der mittlere gegenseitige Abstand die Gesamtmasse der beiden Partner. Ist die Masse des einen Körpers erheblich größer als diejenige des anderen, so lässt sich dessen Masse vernachlässigen und – voilà – die Masse des beherrschenden Partners ergibt sich mit Hilfe des dritten keplerschen Gesetzes. So verhält es sich auch mit dem extrem massereichen Schwarzen Loch im Zentrum unseres Milchstraßensystems und die Sterne des S-Haufens. Wie ein Mückenschwarm umkreisen sie das auch Sagittarius A* (Sgr A*) genannte Schwarze Loch.

Aufgabe 1: Der kürzlich erfolgreich vermessene Stern S62 des S-Haufens hat die kürzeste, bisher bekannte Umlaufdauer um das Schwarze Loch: $P_{S62} = 9,9$ Jahre. Die Bahn von S62 ließ sich mit insgesamt 17 Positionsbestimmungen eingrenzen. Ergebnis: Die große Bahnhälfte ist $a_{S62} = 3,588$ mpc (Milliparsec) und die Entfernung zu Sgr A* ist $d = 8175$ pc ($1 \text{ pc} = 1 \text{ AE}/\tan 1''$, $1 \text{ AE} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$). Wie groß ist die Masse M_{SL} des Schwarzen Lochs? **Hilfe:** Das dritte kepler-

sche Gesetz lässt sich hier schreiben als $4 \pi^2 a_{S62}^3 = P_{S62}^2 G M_{SL}$ ($G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$, $1 M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$).

Aufgabe 2: Die Verdrillung der Raumzeit durch das Schwarze Loch führt zu einer relativistischen Drehung der Apsidenlinie der Bahnellipse von Körpern, die das Gravitationszentrum umrunden. Der Effekt ist umso größer, je näher die Periapsis am Schwarzen Loch liegt; bei gegebener großer Halbachse umso stärker, je größer die Bahnexzentrizität ausfällt. Im Fall der Sonne heißt dieser Punkt Perihel, bei Sternen Periastron und allgemein Perapsis. Im Fall eines Schwarzen Lochs könnte man vom Peritrypa sprechen (von griech.: $\tau\rho\upsilon\pi\alpha$ für Loch). Der Stern S62 kommt dem Schwarzen Loch sehr nahe. Man berechne die Peritrypadistanz $q_{S62} = a_{S62} (1 - e_{S62})$ **a)** aus der Bahnexzentrizität $e_{S62} = 0,976$ und der großen Halbachse und **b)** aus dem minimalen Winkelabstand zum Schwarzen Loch $q_{S62,\alpha} = 2 \text{ m}''$.

Aufgabe 3: Pro Umlauf dreht sich die Apsidenlinie der Bahnellipse von S62 um den Winkel

$$\Delta\varphi_{S62} = 6 \pi \frac{G}{c^2} \frac{M_{SL}}{a_{S62} (1 - e_{S62}^2)}$$

Wie groß ist $\Delta\varphi_{S62}$?

Zusatzaufgabe: Welche Geschwindigkeit v_{S62} hat S62 im Peritrypa? **Hilfe:** Es gilt $q v_q = Q v_Q$, $Q = a (1 + e)$ sowie $E_{ges,q} = E_{ges,Q}$, wobei $E_{ges,r} = \frac{m}{2} v_r^2 - G m M / r$ und $r \in \{q, Q\}$. AXEL M. QUETZ

ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem



368 Seiten. Preis: 25 €. Bestell-Link: <https://amzn.to/2siYh6L>

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. Einsendeschluss ist der 10. April 2020.

Alle Leser, die bis einschließlich des Mai-Heftes 2020 mindestens neun richtige Lösungen senden, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt. Die Preise der aktuellen Runde werden auf Seite 101 vorgestellt.

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.