



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