

Die Nachbeobachtung des Zentralsterns J005311 mit BTA-6, dem russischen Sechs-Meter-Teleskop, ergab dann eine Überraschung: Das Spektrum des Sterns zeigte extrem breite Sauerstoff-Emissionslinien (siehe Grafik S. 22 oben). Solche Spektrallinien entstehen in starken Sternwinden. Das ist Materie, die schnell von der Oberfläche des Sterns abströmt. Ihr Licht wird durch den Dopplereffekt zu längeren oder kürzeren Wellenlängen verschoben, je nachdem ob sich die Windmaterie von uns weg oder auf uns zu bewegt. Die in Bonn durchgeführte Analyse des Spektrums von J005311 offenbarte die höchste Windgeschwindigkeit, die jemals gemessen wurde: 16000 Kilometer pro Sekunde – das sind rund fünf Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Zusätzlicher Befund: Die Oberfläche von J005311 schien ausschließlich aus Kohlenstoff und Sauerstoff zu bestehen. Dabei hatte der Stern eine sehr hohe Oberflächentemperatur von 200 000 Kelvin.

Durch die Messung der Entfernung mit dem Astrometriesatelliten Gaia ließ sich auch die absolute Helligkeit des Sterns bestimmen: Mit 40000 Sonnenleuchtkräften liegt sie deutlich höher als die Leuchtkräfte von Weißen Zwergen. Wäre J005311 der direkte Vorläufer eines Weißen Zwergs, dann läge seine Masse oberhalb der Chandrasekhar-Masse, er hätte also möglicherweise schon längst als Supernova vom Typ Ia explodieren sollen.

### Eine effiziente Windschleuder

Wie also ist J005311 entstanden? Einen Hinweis darauf liefert sein Sternwind. Die Winde solch heißer Sterne werden normalerweise durch den Strahlungsdruck des vom Stern ausgesandten Lichts angetrieben. Dabei wächst die kinetische Energie des Sternwinds mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit an. Da die Geschwindigkeit des Windes von J005311 aber etwa dreimal so hoch ist wie diejenige vergleichbarer Sterne, ist seine mechanische Energie demgemäß rund zehnmal so groß. Im Fall von J005311 ist die resultierende Windenergie doppelt so hoch wie die Energie, die pro Zeiteinheit in Form von Licht abgestrahlt wird. Es ist deshalb sehr schwierig, den Wind von J005311 allein durch Strahlungsdruck zu erklären.

Hier hilft die Theorie rotierender magnetischer Sternwinde. Hat ein Stern ein starkes Magnetfeld, so ist der Wind ge-

## ZUM NACHDENKEN

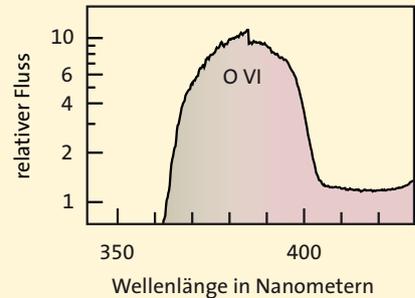
# Verschmelzungsprodukt zweier Weißer Zwerge



Offenbar kann das Produkt aus der Verschmelzung zweier Weißer Zwerge über eine kurze Zeitspanne im Bereich von 10 000 Jahren existieren, bevor es wegen seiner Masse vermutlich als Neutronenstern endet. In dieser Phase hat es einen Teil seiner Materie in Form eines langsamen Winds an die Umgebung abgegeben.

**Aufgabe 1:** Für eine Windgeschwindigkeit von  $v_W = 100$  km/s ermittle man die kinematischen Alter  $\tau_N$  und  $\tau_H$  des Nebels und des schwächeren Halos von J005311, wenn diese einen Winkeldurchmesser von  $\varrho_N = 150''$  und  $\varrho_H = 220''$  haben. Die Entfernung des Objekts ist aus dem Data Release 2 von Gaia zu 3,07 kpc bekannt.

**Aufgabe 2:** Das Verschmelzungsprodukt – der Merger – hat den Radius  $R_* = 0,15 R_\odot$  bei einer Masse von  $M_* = 1,5 M_\odot$ .



**Die Emissionslinie verrät die Abströmgeschwindigkeit der Sternmaterie.**

Materie, die von ihm abströmt, muss mindestens seine Fluchtgeschwindigkeit  $v_{esc}$  überwinden. Wie groß ist sie?

**Hilfe:** Die Gesamtenergie  $E_{ges} = E_{kin} + E_{pot}$  eines Teilchens der winzigen Masse  $m$  muss im Unendlichen und beim Sternradius genau gleich sein. Dabei gilt:  $E_{kin}(R_*) = \frac{1}{2} m v_{esc}^2$ ,  $E_{pot}(R_*) = -G m M_*/R_*$  und  $E_{kin}(\infty) = E_{pot}(\infty) = 0$ .

**Aufgabe 3:** Für die stark ausgeprägte Emissionslinie des fünffach ionisierten Sauerstoffs O VI in der Grafik oben (siehe auch S. 22 oben) messe man **a)** die volle Breite  $2 \Delta\lambda$  und **b)** die Wellenlänge  $\lambda_0$  ab. Stammt die Emission aus abströmender Materie, so hat diese die Geschwindigkeit  $v = c \Delta\lambda/\lambda$ . Dabei ist die Lichtgeschwindigkeit  $c = 299\,792,5$  km/s. Welche Geschwindigkeit hat die für die Emissionslinie O VI verantwortliche abfließende Materie? **c)** Kann es sich um einen normalen Sternwind handeln, der mit Fluchtgeschwindigkeit den Stern verlässt? AMQ

## ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem



Das Buch enthält 119 Aufgaben und Lösungen der Rubrik »Zum Nachdenken« zum Sonnensystem, alle überarbeitet und mit zusätzlichen Informationen versehen.

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](mailto:zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de). Einsendeschluss ist der 10. Januar 2020.

Alle Leser, die bis einschließlich des Mai-Heftes 2020 mindestens neun richtige Lösungen senden, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt. Die Preise der neuen Runde werden auf S. 95 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](mailto:service@spektrum.de) kontaktieren.

Vasilii V. Cvaramadze et al.: A massive white-dwarf merger product before final collapse. Nature 569, 2019, fig. 2b / SuW-Grätk