

Zum Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) gehören insgesamt 66 Antennen, wovon hier die zentrale Gruppe mit einer Sammelfläche von jeweils zwölf oder sieben Metern Durchmesser zu sehen sind. Sie sind auf dem Chajnantor-Plateau in der nordchilenischen Atacamawüste in rund 5000 Meter Höhe aufgestellt, wo kaum noch der für die Beobachtungen hinderliche atmosphärische Wasserdampf vorkommt. Sie bilden ein für Wellenlängen zwischen 0,3 und 9,6 Millimeter empfindliches Interferometer, das Auflösungen zwischen 4,7 und 151 Millibogensekunden ermöglicht.



ALMA / ESO / NAOJ / NRAO

Den Roten Riesen R Sculptoris im Sternbild Bildhauer (lateinisch: Skulptor) umgibt eine spiralförmig um den Stern gewundene Materiespur. Die Beobachtungen mit ALMA, dem Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, enthüllen diese Struktur zum ersten Mal. Sie wird vermutlich durch einen noch verborgenen Begleitstern verursacht, der mit R Sculptoris ein Doppelsternsystem bildet.

zwischen den Schalen ein komplexes Netzwerk kernphysikalischer Prozesse, in dem ein Großteil aller bekannten Elemente entsteht. Diese Elemente werden durch die äußeren Schichten des Sterns an die Oberfläche gemischt. In der oberen Atmosphäre des Sterns kühlt sich das Gas ab, und aus den Elementen formen sich Moleküle. Wenn dieses molekulare Gas noch weiter abkühlt, bilden die Moleküle gar kleinste Staubteilchen. Diese absorbieren das vom Stern emittierte Licht und werden vom ihm in einem Sternwind weggeblasen. Dabei ziehen sie das restliche molekulare Gas mit sich und erzeugen eine riesige zirkumstellare Hülle, die sich ausbreitet (siehe Bild oben). Auf diese Weise werden die neu erzeugten Elemente aus dem Stern ins Weltall geblasen.

R Sculptoris im Blick von ALMA

Eines der ersten Objekte, das ALMA in regulären wissenschaftlichen Beobachtung untersucht hat, war der sterbende AGB-Stern R Sculptoris. Schon vorher war bekannt, dass dieser Stern einen riesigen Durchmesser vom Fünf- bis Siebenhundertfachen unserer Sonne (Radius: 4,8 bis 6,7 Astronomische Einheiten) aufweist und von einer dünnen Schale aus Staub und Gas umgeben ist.

Diese Schale wurde während eines thermischen Pulses erzeugt. Für die Dauer des Pulses erhöht sich der Massenverlust durch den Sternwind und formt eine dichte Schale aus Staub und Gas, die sich ausbreitet. Da der Puls aber nur einige hundert Jahre andauert, verringert sich der Massenverlust wieder, und die dichte Schale bleibt verhältnismäßig dünn.

Das Ziel der Beobachtungen mit ALMA war es, diese Schale um R Sculptoris mit hoher Genauigkeit zu vermessen. Zu ih-

ZUM NACHDENKEN

R Sculptoris – Massenverlust und Doppelsternperiode



Der Veränderliche R Sculptoris entpuppte sich auf einer Aufnahme mit dem Millimeter/submillimeter-Observatorium ALMA als komplexes Gebilde: Er ist von einer Hülle mit einem scheinbaren Radius von $\varrho = 18,5''$ umgeben, die eine spiralförmig gewundene Materiespur umgibt. Ziemlich genau $n = 5$ Windungen lassen sich auf der Aufnahme erkennen (siehe Bilder S. 24). Vor $\Delta t = 1800$ Jahren unterlag R Sculptoris einem so genannten thermischen Puls, der nicht länger dauerte als $t_{\text{TP}} = 200$ Jahre. In dieser Phase extrem starken Sternwinds blies R Sculptoris eine Masse von insgesamt $\Delta m = 2,5 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$ in seine Umgebung ab.

Aufgabe 1: Man leite aus der Zahl der Windungen und der Zeitspanne, in der sie entstanden, die Umlaufperiode P des Doppelsternsystems ab. Man vergleiche mit der aus dem heutigen Sternwind abgeleiteten Umlaufdauer von $P_h = 350$ Jahre.

Aufgabe 2: Die Distanz von R Sculptoris liegt bei $d = 290$ pc. Welchen Radius r hat die Hülle des Systems? Man vergleiche das Ergebnis mit dem Kuiper-Gürtel unseres Sonnensystems, dessen äußerer Rand bei $r_K = 50$ bis 100 AE liegt, und mit der Oortschen Wolke, die sich jenseits des Kuiper-Gürtels bis zu $r_{\text{Oo}} =$

$100\,000$ AE erstreckt. Die Astronomische Einheit ist: $1 \text{ AE} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$.

Aufgabe 3: Welche mittlere Geschwindigkeit v ergibt sich aus der Annahme gleichförmiger Expansion bis zum Radius der Hülle über die Zeitspanne, die seit dem thermischen Puls verstrichen ist?

Aufgabe 4: Die Messungen mit ALMA legen nahe, dass die Gesamtmasse der den Stern umgebenden Hülle gleich Δm ist. Wie groß war die Massenverlustrate \dot{M} des Sterns während des thermischen Pulses? Man gebe das Ergebnis in Sonnenmassen pro Jahr an.

Aufgabe 5: Die Massenverlustrate vor dem thermischen Puls lag bei weniger als $\dot{M}_v = 10^{-6} M_{\odot}/\text{a}$, die heutige wird zu $\dot{M}_h = 3 \cdot 10^{-7} M_{\odot}/\text{a}$ abgeschätzt. **a)** Um welchen Faktor f_v nahm die Verlustrate während des thermischen Pulses zu, und **b)** um welchen Faktor f_h nahm sie danach ab? AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **13. März 2015** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern Preise verlost: siehe S. 101