

Abell 43 – Ein „Galaktischer Fußball“ !

Sterne mit Anfangsmassen von 0.8 bis zu 8 Sonnenmassen ($M_{\odot}$) beenden ihr Leben, d.h. die Phase der nuklearen Energieerzeugung in ihrem Inneren, mit einem spektakulären Schauspiel: Während etwa zehntausend Jahren ist ihre Oberflächentemperatur T_{eff} so hoch (teilweise bis weit über 100 000 K), daß die von ihnen emittierten UV-Photonen das sie umgebende Gas ionisieren können – sogenannte Planetarische Nebel (PN) leuchten auf, die charakteristische Emissionsspektren zeigen. Zwei der stärksten Emissionslinien darin sind $H\alpha$ ($\lambda 6562 \text{ \AA}$) und $[O \text{ III}] \lambda 5007 \text{ \AA}$.

Die Entstehung der Nebel selbst kann im Idealfall so beschrieben werden: Die Sterne verlieren während ihrer Entwicklung auf dem Asymptotischen Riesenast einen erheblichen Teil ihrer Masse durch einen „langsamen“ ($v \approx 10 \text{ km/sec}$) stellaren Wind mit einer Massenverlustrate von $\dot{M} = 10^{-4} - 10^{-7} M_{\odot}/\text{Jahr}$. Während Energie durch Wasserstoff- und Heliumschalenbrennen erzeugt wird, stellt ihr stellarer Kern bereits einen Weißen Zwerg dar. Kurz bevor diese Schalen die Sternoberfläche erreichen und erlöschen, verlassen die Sterne den Asymptotischen Riesenast. Die Effektivtemperatur der Sterne steigt danach bei konstanter Leuchtkraft an. Bei $T_{\text{eff}} > 20\,000 \text{ K}$ werden genug Photonen mit Energien über 13.6 eV (Ionisierungsenergie für den Grundzustand des Wasserstoffs) emittiert, daß der Nebel zum Leuchten angeregt wird. Der schnellere Zentralsternwind ($v \approx 2000 \text{ km/sec}$, $\dot{M} = 10^{-7} - 10^{-10} M_{\odot}/\text{Jahr}$) schiebt das langsame Material des AGB-Winds dann zu einer Schale zusammen. Der Beobachter sieht in der Projektion des Nebels nur einen leuchtenden Ring um den meist leuchtschwächeren Zentralstern. Dieser „Idealfall“ ist aber nur bei etwa 10% der bekannten PN beobachtet (z.B. der Ringnebel in der Leier), während der Großteil der PN andere Morphologien aufweist (z.B. Balick 1987, Astron. Journ. 94, 671, SuW 36, 330 [1997]).

Ideale PN sind leicht zu erklären, in ihrer Modellierung können viele Vereinfachungen, z.B. ihre Symmetrie, ausgenutzt werden. Andere Formen (SuW 22, 524 [1983]) bedürfen aufwendiger magnetohydrodynamischer Simulationen.

Im Juli 1998 habe ich mit dem dänischen 1.54m-Teleskop (ESO, La Silla, Chile) Schmalbandaufnahmen verschiedener PN gemacht. Eine der beeindruckendsten Aufnahmen ist dabei die des PN Abell 43 (Fig. 1), dessen Zentralstern sehr heiß ist : $T_{\text{eff}} = 110\,000 \text{ K}$ (Dreizler et al. 1995, Lecture Notes in Physics 443, Springer, Berlin, S. 160).

In der Aufnahme des PN Abell 43 erkennt man deutliche Strukturen, deren Betrachtung sofort den Eindruck erweckt, daß es sich um einen „galaktischen Fußball“ handeln könnte. Ein Fußball ist ja bekanntlich aus 12 Fünf- und 20 Sechsecken zusammengenäht (Kroto et al. 1985, Nature 318, 162). Die hellen Strukturen des PN Abell 43 verlaufen entlang seiner Nähte.

Eine mögliche Erklärung für die ungewöhnliche Morphologie des PN Abell 43 ist: Der schnelle Zentralsternwind hat das langsame AGB-Material zu einer Schale geformt. Der Zentralsternwind erzeugt dabei eine unsichtbare innere Blase, die durch seine Energie unter hohem thermischen Druck steht und sich weiter ausdehnt. Die dichte Nebelschale expandiert nach außen ($v \approx 25 \text{ km/sec}$) und sammelt weiter AGB-Material auf. Es entstehen dabei in ihr Instabilitäten (Vishniac 1983, Astrophys. Journ. 274, 152), die so effektiv sind, daß sich die sichtbaren Strukturen ausbilden. Die heiße Blase bricht jetzt zwischen diesen Filamenten nach außen durch und erzeugt so die „verbeulte“ Hülle, die bei Abell 43 erkennbar ist.

Sicherlich gibt es auch andere Deutungen und Erklärungen für die Form von Abell 43. Eine genaue Untersuchung erfordert deshalb die Messung seiner Expansiongeschwindigkeit, die zusammen mit den Direktaufnahmen die Bestimmung der Materieverteilung entlang der Sichtlinie ermöglicht. Dies schränkt die dreidimensionale Struktur des Nebels erheblich ein. Ein nachfolgender Vergleich mit dreidimensionalen hydrodynamischen Modellen könnte eine verlässliche Erklärung für die Entstehung dieser Strukturen geben.

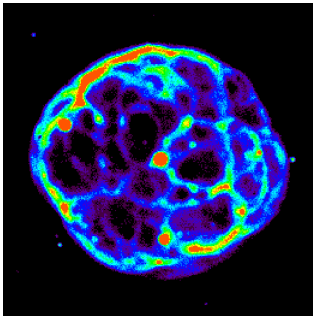


Abbildung 1: CCD-Schmalbandfilteraufnahme ($[\text{O III}] \lambda 5007 \text{ \AA}$) des Planetarischen Nebels Abell 43 in einer Falschfarbendarstellung, bei der die Intensität farbig kodiert ist: Rot entspricht der höchsten, schwarz der niedrigsten Intensität. In der Abbildung ist Norden oben, Osten ist links. Abell 43 erscheint fast kreisrund, mit deutlichen Strukturen in seiner Hülle. Sein Winkeldurchmesser beträgt $1'28''$.

Thomas Rauch
IAA Tübingen