Forschung mit dem 80cm Teleskop

Institut für Astronomie und Astrophysik — Abteilung Astronomie
Kepler Center for Astro and Particle Physics

Eberhard Karls Universität Tübingen

Entdeckung des ersten engen Doppelsternsystems mit einem PG 1159 Stern

PG 1159 Sterne sind heiße Sterne mit Oberflächentemperaturen zwischen 75 000°C und 200 000°C, die sich durch eine äußerst ungewöhnliche chemische Zusammensetzung ihrer Atmosphäre auszeichnen. Im Gegensatz zu den meisten Sternen ist diese nahezu frei von Wasserstoff und wird stattdessen dominiert von Helium, Kohlenstoff und Sauerstoff. Man nimmt an, dass diese Zusammensetzung durch komplizierte Durchmischungsprozesse im Endstadium der Entwicklung dieser Sterne entstanden ist. Anstatt ihr Leben als sogenannter Weißer Zwerg auszuhauchen, gelang es ihnen durch ein letztes Zünden ihrer Kernfusionsenergiequelle, noch ein weiteres Mal ein Dasein als Roter Riese zu führen, um dann, diesmal endgültig, als Weißer Zwerg zu enden.
Das untersuchte Objekt mit Namen SDSS J212531.92-010745.9 fiel auf, weil sein Spektrum nicht nur die für PG 1159 Sterne typischen Absorptionslinien des Kohlenstoffs zeigt, sondern zusätzlich Emissionslinien des Wasserstoffs (Abb. 1).

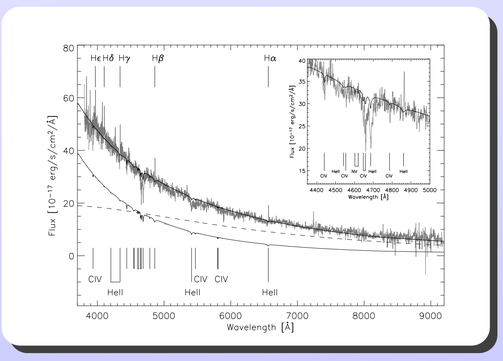

Abb. 1: Spektrum von SDSS J212531.92-010745.9 und ein berechnetes Modellspektrum zum Vergleich. Einige auffällige Spektrallinien sind markiert.

Dies kann nur dahingehend gedeutet werden, dass das Licht des PG 1159 Sterns überlagert wird vom Licht eines weiteren Objektes. Es stellte sich die Frage, ob es sich dabei lediglich um einen Vordergrundstern handelt, der zufällig in der Sichtlinie steht, oder ob es ein gravitativ gebundenes, enges Doppelsternpaar ist.
Um diese Frage zu klären, führten wir im Herbst 2005 zusammen mit Göttinger Kollegen eine Beobachtungskampagne durch und bestimmten die Lichtkurve des Objektes. Wir fanden eine regelmäßige Helligkeitsvariation von etwa 25% mit einer Periode von knapp 7 Stunden (Abb. 2). Weitergehende Analysen zeigten, dass es sich bei der beobachteten Periode nur um die Bahnperiode (Umlaufdauer) eines Doppelsternpaares handeln konnte.

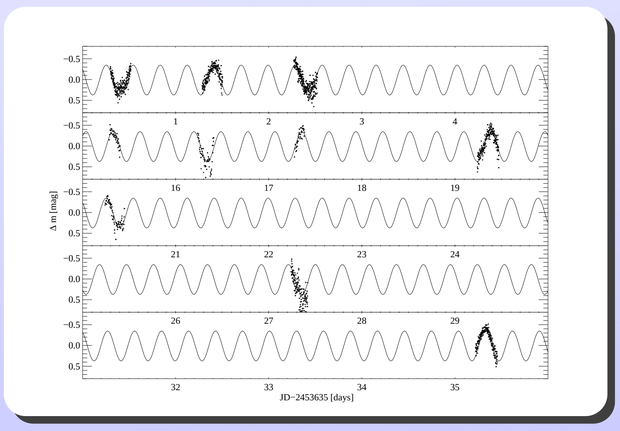

Abb. 2: Lichtkurve von SDSS J212531.92-010745.9 für 10 Beobachtungsnächte im September und Oktober 2005. Darübergezeichnet ist eine Sinuskurve mit einer Periode von 6.95616(33) h.

Unseren Ergebnissen zufolge handelt es sich bei SDSS J212531.92-010745.9 somit um ein Doppelsternsystem, das aus einem etwa 90 000°C heißen, etwa 0,6 Sonnenmassen schweren PG 1159 Stern und einem 3 000°C kühlen, etwa 0,4 Sonnenmassen schweren Begleiter besteht (zum Vergleich: die Oberflächentemperatur unserer Sonne beträgt ca. 5 500°C). Die Oberfläche des Begleitsterns wird infolge der intensiven Bestrahlung durch den PG 1159 Stern auf etwa 8 200°C aufgeheizt, aus seiner Atmosphäre stammt das beobachtete Emissionslinienspektrum des Wasserstoffs. Der Abstand der beiden Sterne voneinander ist so klein (etwa 1,4 Millionen Kilometer), dass das gesamte System beinahe in unserer Sonne Platz hätte (Abb. 3). Aufgrund dieser extrem geringen Distanz spricht man von einem engen Doppelsternsystem. In der Gruppe der PG 1159 Sterne ist es das bisher einzige bekannte (T. Nagel, S. Schuh et al. 2006, A&A, 448, L25).

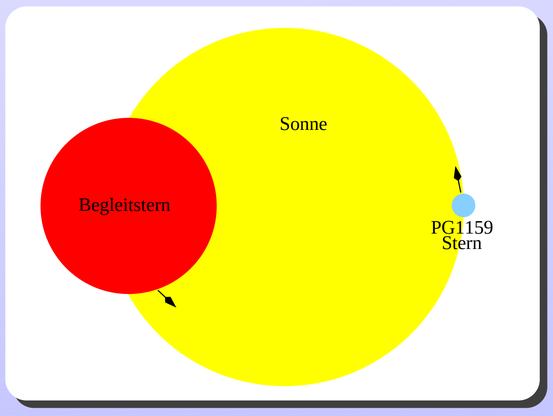

Abb. 3: Größenvergleich des entdeckten Doppelsterns mit unserer Sonne.

Entdeckung nicht-radialer Pulsationen in einem PG 1159 Stern

Einige Sterne verändern periodisch ihre Helligkeit, indem sie pulsieren und damit ihre Oberfläche vergrößern bzw. verkleinern. Oftmals überlagern sich hierbei verschiedene Frequenzen, ähnlich einer schwingenden Saite. Aus den unterschiedlichen Pulsationsperioden können mit Hilfe der Asteroseismologie Rückschlüsse auf den inneren Aufbau des jeweiligen Sternes gezogen werden. Abbildung 4 zeigt die von uns im Sommer 2004 aufgenommene Lichtkurve des Sterns HE 1429-1209. Bereits mit „bloßem Auge“ ist die regelmäßige Helligkeitsvariation zu erkennen. In rot über die Messpunkte gelegt ist eine Sinuskurve entsprechend der von uns bestimmten Periode von 919 s (T. Nagel & K. Werner 2004, A&A, 426, L45). Mit Hilfe der Fourieranalyse lassen sich in Lichtkurven Perioden finden. Die Höhe des Peaks bei einer bestimmten Periode ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass diese Periode real ist (Abb. 5).

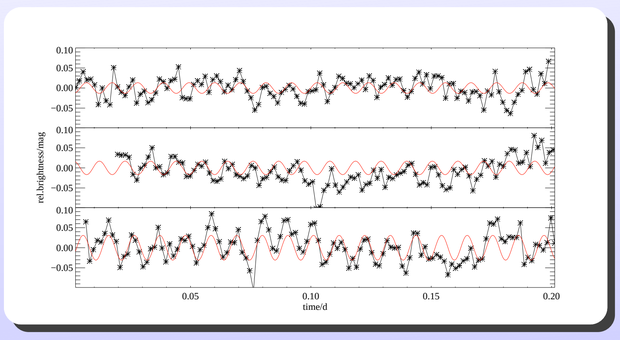

Abb. 4: Lichtkurve von HE 1429-1209. Darübergezeichnet ist eine Sinuskurve mit der von uns bestimmten Periode von 919 s.

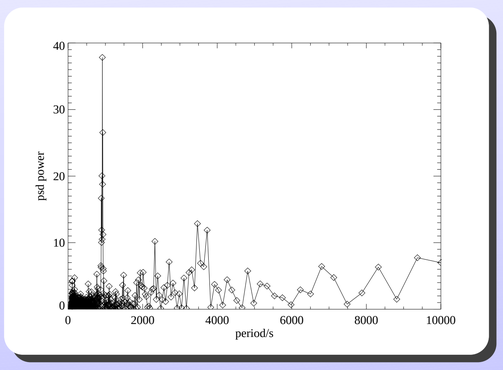

Abb. 5: Periodogramm zur Lichtkurve von HE 1429-1209. Die gefundene Pulsationsperiode von 919 s ergibt sich aus dem höchsten Peak, die Grenze für 99% Wahrscheinlichkeit liegt bei 11,8.

Whole Earth Telescope Kampagnen

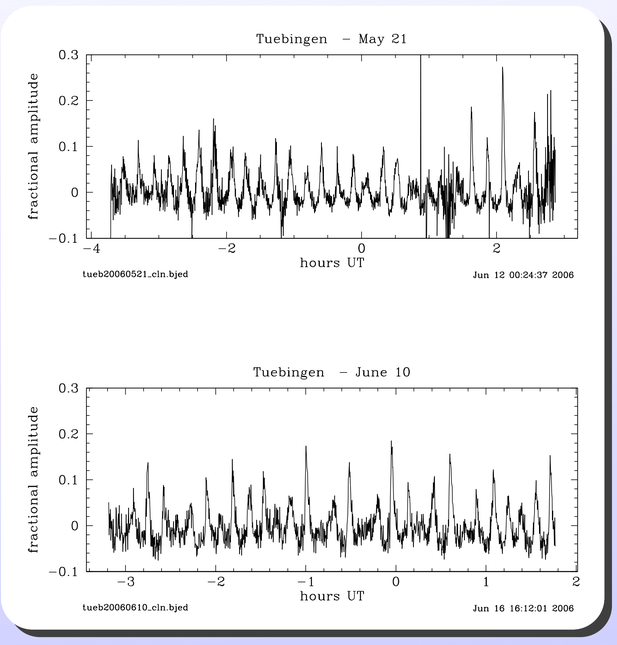

Abb. 6: Lichtkurven von GD 358 am 21.5. und 6.10.2006.

Das Whole Earth Telescope (WET) ist ein Zusammenschluss rund um den Globus verteilter moderner Kleinteleskope mit Öffnungen zwischen 0.5 m und 2 m. Es wird inzwischen vom Delaware Asteroseismic Research Center (DARC) koordiniert. Die Verteilung der Teleskope auf alle Kontinente ermöglicht die unterbrechungsfreie Beobachtung veränderlicher Sterne über mehrere Wochen hinweg. Dies steigert die Genauigkeit der Analyseergebnisse so gewonnener Lichtkurven um ein Vielfaches. Ziel aller Beobachtungen ist es, den inneren Aufbau und die Entwicklung der Sterne besser zu verstehen. Vereinfacht ausgedrückt verhält es sich so: den Helligkeitsschwankungen liegen Sternschwingungen (Oszillationen) zugrunde. Hierbei bewegen sich akustische Wellen durch den Stern. Ihre Resonanzfrequenzen sind von der inneren Struktur des Sterns (z.B. Dichte und Temperatur) abhängig.
In der hier gezeigten Kampagne im Jahr 2006 untersuchten wir den Stern GD 358, ein Mitglied der Klasse der pulsierenden Weißen Zwerge. Er zeichnet sich insbesondere durch die Vielfalt seiner Pulsationsperioden und eine starke Variabilität seines Pulsationsprofils aus. Abbildung 6 zeigt die Lichtkurven von GD 358 aus den Nächten des 21. Mai und 10. Juni. Man sieht deutlich das unterschiedliche Pulsationsverhalten. In Abbildung 7 ist das Periodenspektrum zu sehen wie es jeweils aus der Analyse folgt. Dies gibt die detektierten Pulsationsfrequenzen bzw. -perioden wieder (J. L. Provencal, ..., T. Nagel, ... et al. 2009, ApJ, 693, 564-585).

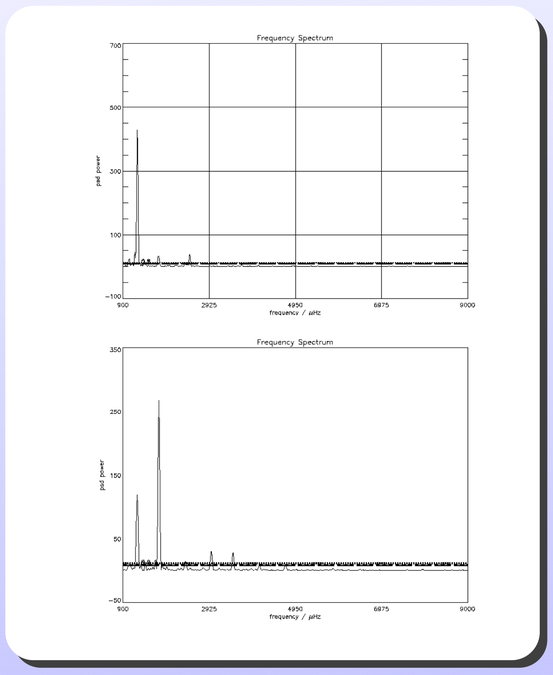

Abb. 7: Periodogramme zu den Lichtkurven von GD 358.