

Beobachtung des spektroskopischen Doppelsterns Capella

Einführung

Capella ist der dritthellste Stern des nördlichen Himmels. Nicht zuletzt wegen dieser enormen visuellen Helligkeit wurde er schon sehr früh – 1888 und 1889 von Vogel und Scheiner (Reese 1901) – spektroskopisch beobachtet und seine Natur als spektroskopisches Doppelsystem aufgedeckt. Seitdem weist die Forschungsgeschichte von Capella eine permanente intensive Beobachtungsaktivität auf, die zu immer präziseren Werten der Bahnelemente und ganz allgemein zu einem immer detaillierteren Verständnis der physikalischen Eigenschaften beider Komponenten führte. Doppelsterne stellen für die Erforschung der Sternphysik eines der wichtigsten natürlichen Laboratorien dar, da sich aus den gravitativen Wechselwirkungen der Komponenten physikalische Aussagen treffen lassen, die aus der Beobachtung einzelner Sterne nicht gewonnen werden können. Zudem steht uns Capella mit einer Entfernung von 42,2 Lichtjahren so nah, dass bereits 1920 Anderson auf dem Mount Wilson mit dem 2,5-m-Teleskop eine interferometrische Auflösung des Systems gelang. Die Kombination von spektroskopischen und astrometrischen Beobachtungsdaten ermöglicht eine dreidimensionale Beschreibung der Umlaufbahnen der zwei Komponenten um den gemeinsamen Schwerpunkt, deren Parameter uns heute sehr genau bekannt sind.

Das Capella-System besteht aus zwei gelben Riesen (massereiche Sterne der Spektralklasse G), die sich auf nahezu perfekten Kreisbahnen in einem Abstand von 0,71AE innerhalb von 104 Tagen um den gemeinsamen Schwerpunkt drehen. Aktuell (Torres et al. 2009) werden für die primäre und sekundäre Komponente die Massen von $2,466 \pm 0,018 M_{\odot}$ und $2,443 \pm 0,012 M_{\odot}$, die Radien mit $11,87 \pm 0,56 R_{\odot}$ und $8,75 \pm 0,32 R_{\odot}$, sowie die Spektralklassen mit G8 III und G0 III angegeben. Im Spektrum können also überlagert beide Komponenten nachgewiesen werden. Allerdings ist eine Radialgeschwindigkeitskurve aus den Linien der sekundären Komponente sehr schwierig zu ermitteln, da diese um den Faktor 0.88 lichtschwächer ist und die Linien zudem stark rotationsverbreitert erscheinen.

Beobachtung

Aufgrund der oben dargestellten grundlegenden Eigenschaften des Doppelsternsystems Capella legte ich für meine eigenen Beobachtungen das Ziel fest, die Radialgeschwindigkeitskurve und damit die Bahnelemente der primären Komponente möglichst genau nachweisen zu können. Für eine Bewertung der Ergebnisse findet man in der Literatur reichlich Referenzmaterial.

Die Beobachtungen führte ich mit meinem 20cm-Newtonteleskop und einem via Lichtleiter angekoppelten Gitterspektrographen durch. Spektroskopiert wurde der Wellenlängenbereich von 5750 bis 6750 \AA mit einer spektralen Auflösung von $1,9 \text{ \AA}$ (Abb. 1).

Die Spektren wurden in 9 Nächten im Zeitraum vom 08. November 2008 bis zum 19. März 2009 aufgenommen. Die Zeitspanne von 131 Tagen deckt damit eine Periode vollständig ab. Aufgrund der Helligkeit Capellas genühten Belichtungszeiten von 12 bis 15 Sekunden. Zur Verbesserung des S/N-Verhältnisses wurden jeweils durchschnittlich 30 Aufnahmen aufaddiert und nach den üblichen Reduktionsschritten, die den Dunkelstromabzug und die Flatfieldkorrektur einschließen, die Wellenlängenkalibration an 18 Neonlinien durch Anpassung eines Polynoms der 4. Ordnung vorgenommen.

Zur Bestimmung der Radialgeschwindigkeiten aus der Dopplerverschiebung der Spektren benutzte ich das Programm SpecRaVE, Version 2.0. Mit diesem Programm können von ausgewählten Spektrallinien durch Anfitzen einer Gaußfunktion deren Wellenlängen bestimmt werden. Aus der jeweiligen Linienverschiebung gegenüber der Ruhewellenlänge errechnet das Programm die heliozentrische Radialgeschwindigkeit; die Korrektur der Erdbewegung wird also automatisch berücksichtigt. Anschließend können mit demselben Programm aus den Messwerten die Radialgeschwindigkeitskurve und die zugehörigen Bahnelemente bestimmt werden, indem mit einem Optimierungsalgorithmus die beste Anpassung an die Messwerte ermittelt wird.

Ausgewertet wurden folgende markante Absorptionslinien: NaI (5889,953; 5895,923), CaI (6102,722; 6122,219; 6439,073; 6462,564), FeI (6191,562; 6400,010; 6411,658) und H_{α} (6562,817). In Abb. 2 sind die Messwerte mit der Radialgeschwindigkeitskurve dargestellt. Aus dieser ergeben sich die nachfolgend aufgeführten Bahnelemente für die hellere Komponente des Capella-Systems:

- Periode P [Tage] = 106,51
- Radialgeschwindigkeitsamplitude K_1 [km/s] = 6,10
- T_0 [JD] = 2454832,25
- numerische Exzentrizität $e = 0,01$
- Argument der Periapsis ω [°] = 75,2
- Systemgeschwindigkeit γ [km/s] = 30,41
- mittlerer quadrat. Fehler RMS [km/s] = 0,45

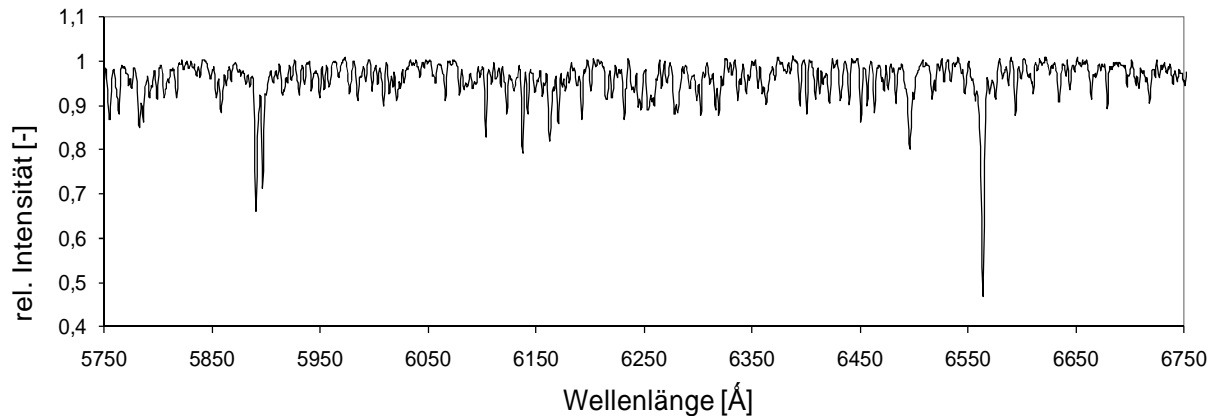


Abb. 1: Spektrum von Capella

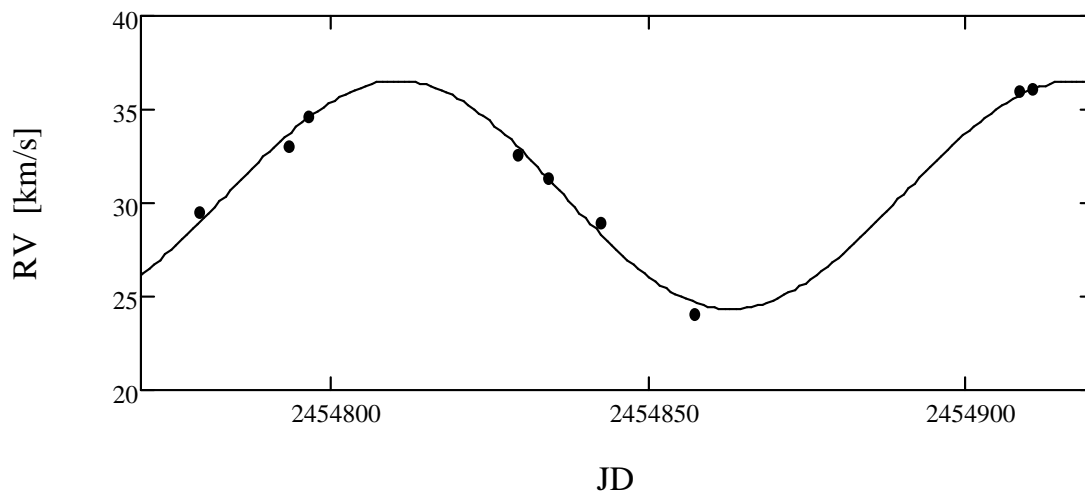


Abb. 2: Messwerte mit Radialgeschwindigkeitskurve

Auswertung der Beobachtungsergebnisse

Ein Vergleich der gefundenen Bahnelemente mit den neuesten Literaturwerten ergibt mit Ausnahme der Radialgeschwindigkeitsamplitude eine gute Übereinstimmung, vor allem wenn man die geringe Anzahl der Beobachtungen berücksichtigt (siehe Tabelle 1). Die Abweichung der gemessenen Periode von 2,49 Tagen ist vor allem auf Messunsicherheiten zurück zu führen. Bei einer weiteren Beobachtung ließe sich dieser Fehler mit zunehmender Anzahl der abgedeckten Perioden immer stärker reduzieren. Die große Abweichung der Amplitude weist hingegen auf eine prinzipielle Ursache hin, die in der geringen Auflösung meines Spektro-graphen begründet ist, worauf ich nachfolgend noch ausführlicher eingehen werde. Die in Tabelle 1 aufgelisteten Literaturwerte verdeutlichen die enorme Genauigkeit, die die Vermessung des Capella-Systems durch die professionelle Astronomie erreicht hat. Für meine eigenen Messwerte kann ich keine Messunsicherheiten angeben, da diese in der aktuellen Version von SpecRaVE noch nicht errechnet werden.

Tabelle 1
Vergleich der Messergebnisse mit Literaturwerten (Torres et al. 2009)

	Torres et al. 2009	eigene Messungen	Differenz
	A	B	B - A
Periode P [Tage]	104,02173 ± 0,00022	106,51	2,49
Amplitude K1 [km/s]	26,005 ± 0,036	6,10	-19,91
num. Exzentrizität e [-]	0,00087 ± 0,00021	0,01	0,01
Systemgeschw. γ [km/s]	29,653 ± 0,035	30,41	0,76

Wie lässt sich die große Abweichung der beobachteten Amplitude erklären? Abb. 3 zeigt das Spektrum von Capella im Wellenbereich von 6390Å bis 6470Å mit einer Auflösung von 0,2Å aus Barlow et al. 1993. Das Vorhandensein einer zweiten Komponente wird erst durch die Überlagerung mit einem Spektrum von Pollux (KO III) sichtbar, welches nahezu identisch mit dem Spektrum der helleren Komponente von Capella ist. Der zur vollen Linie (Spektrum von Pollux) abweichende Verlauf auf der roten Seite der Linien gehört also zur schwächeren, heißeren Komponente. Deren Linien sind gegenüber der helleren Komponente stärker rotationsverbreitert und daher schwieriger beobachtbar. Erst durch Abzug des Spektrums von Pollux wird das Spektrum der schwächeren Komponente von Capella separat erkennbar (Abb. 4). In den von mir aufgenommenen Spektren mit einer Auflösung von nur 1,9Å – gegenüber dem hier abgebildeten hochaufgelösten Spektrum – bleiben derartige Details unsichtbar. Die Gegenüberstellung in Abb. 5 verdeutlicht diesen Tatbestand eindrucksvoll. In meinen Spektren sind aus diesem Grund die Spektrallinien unaufgelöste Überlagerungen (Blends) beider Komponenten. Die periodische Dopplerverschiebung der Linien beider Komponenten gegeneinander hinterlässt deshalb nur sehr kleine Profiländerungen (Abb. 6), welche die beobachteten Radialgeschwindigkeitsänderungen verursachen. Die rotationsverbreiterten Spektrallinien der zweiten Komponente kompensieren durch ihre um 180° phasenverschobene Periodizität die gemessene Amplitude entsprechend ihres Intensitätsverhältnisses zur helleren Komponente und lassen diese deshalb um den Faktor 4,3 zu klein ausfallen.

Schlussbemerkung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse der Beobachtung von Capella zeigen eine Problematik auf, die speziell bei Radialgeschwindigkeitsmessungen von spektroskopischen Doppelsternen auftritt, wenn die Komponenten annähernd eine gleiche Helligkeit besitzen, ihre Spektren aber nicht getrennt werden können, da die Dopplerverschiebungen im Verhältnis zur Spektrographenauflösung zu klein sind. Selbst bei nahezu unsichtbaren Profiländerungen der Spektrallinien lässt sich noch, wie in diesem Fall bei Capella, eine Radialgeschwindigkeitskurve mit der korrekten Periodendauer nachweisen. Dabei suggeriert die geringe Streuung der Messwerte eine Genauigkeit der ermittelten Bahnparameter, die bei der Amplitude prinzipiell nicht gewährleistet ist.

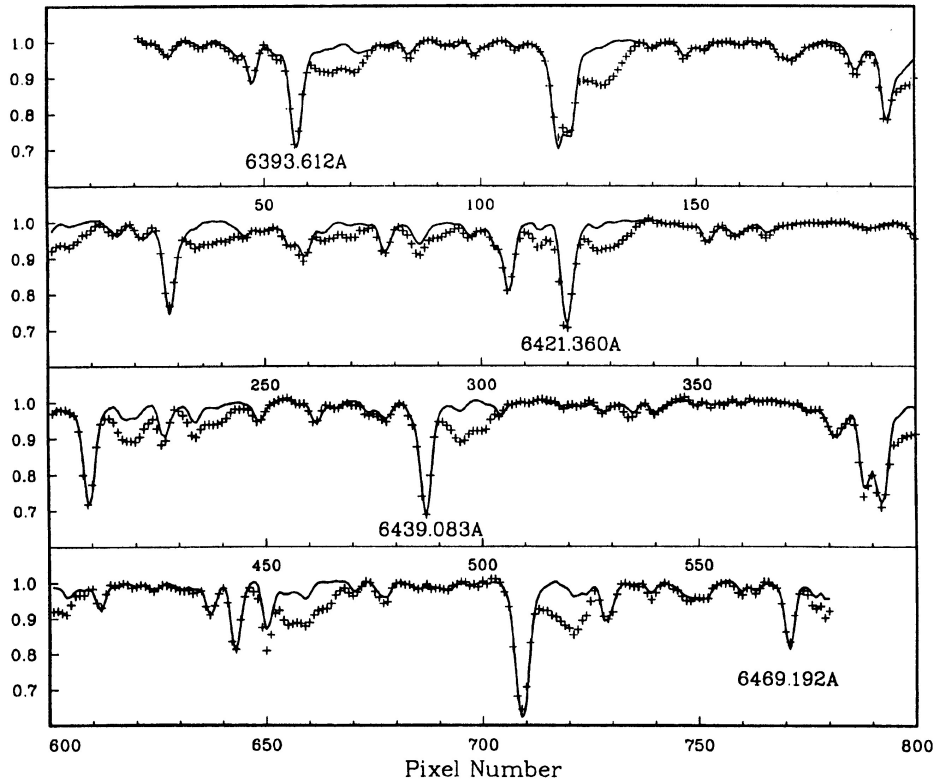


Abb. 3: Spektrum von Capella mit einer Auflösung von $0,2\text{\AA}$, überlagert mit Spektrum von Pollux (volle Linie), Quelle: Barlow et al. 1993.

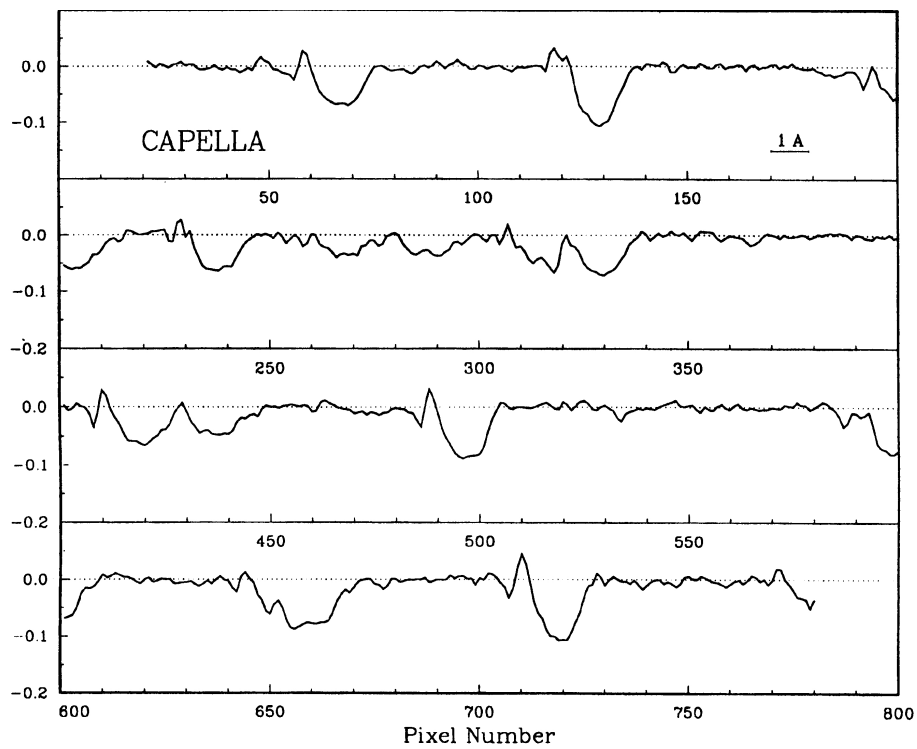


Abb. 4: Spektrum der heißeren Komponente von Capella, extrahiert aus Abb. 3 durch Abzug des Spektrums von Pollux, Quelle: Barlow et al. 1993.

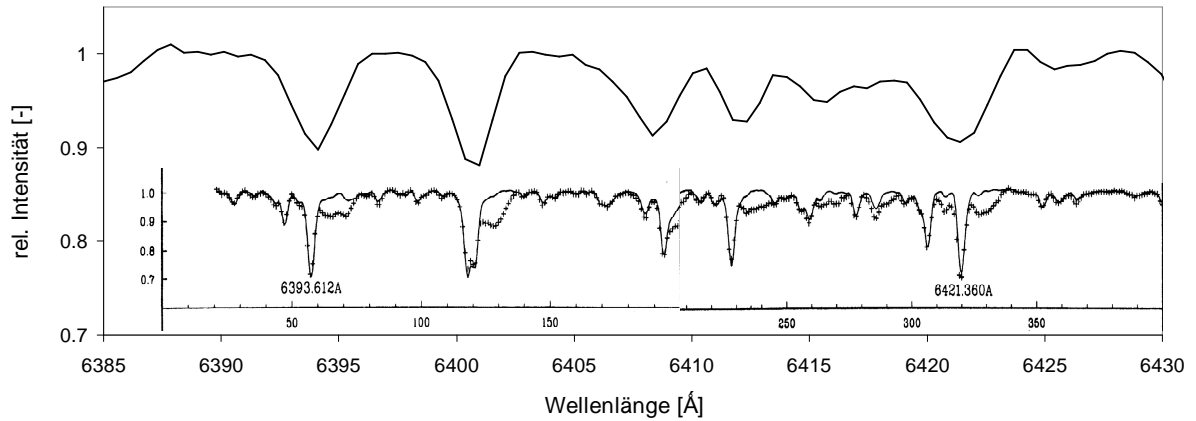


Abb. 5: Vergleich eines selbst aufgenommenen Spektrums (oben) mit einem hochaufgelösten Spektrum, Quelle: Barlow et al. 1993 (unten).

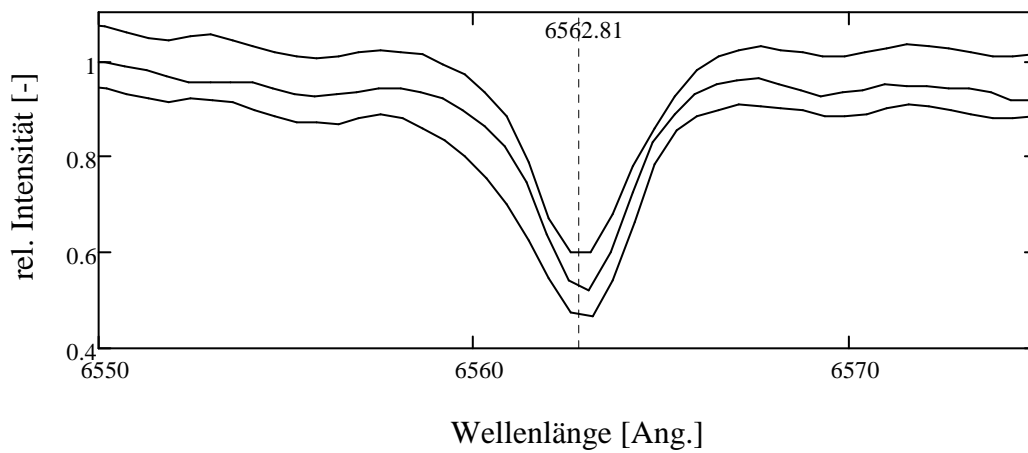


Abb. 6: Profiländerungen der H_{α} -Linie durch Überlagerung der zwei Komponenten bei verschiedenen Phasen der Radialgeschwindigkeitskurve.

Literatur

- Anderson, J. A. 1920, ApJ. 51, 263
 Barlow, D. J.; Fekel, F. C.; Scarfe, C. D. 1993, Astr. Society of the Pacific.
 Reese, H. M. 1901, Lick Obs. Bull., 1, 32
 Torres, G.; Claret, A.; Young, P. A. 2009, Accepted for Publication in the ApJ.