

HT Cas - eine "Zwei-Stufen-Bedeckung"

Hans-Günter Diederich

Einige Daten

HT Cas ist eine der wenigen Zwergnovae, bei denen Bedeckungsminima beobachtet werden können. Im nur 10 Minuten dauernden Minimum fällt die Helligkeit um 1.0 bis 2.5 mag. Die Orbitalperiode beträgt 1h47min. Diese Angaben der AAVSO notierte ich mir 1999. Gerade die Kombination aus kurzem und tiefem Minimum erschien mir verlockend.

VizieR lieferte weitere Daten: eine Helligkeit von 12.6 mag im Maximum und 19.3 mag im Minimum. Und eine Periode von 70 Tagen. Als Typ wurde "UGSS+EA" angegeben, also eine Zwergnova des Untertyps SS Cyg und gleichzeitig ein Bedeckungsveränderlicher.

Aber etwas stimmte nicht! VizieR schien offenbar Daten zum Unterschied zwischen dem Ruhezustand (Minimum) und dem Ausbruch (Maximum), nicht aber zum Bedeckungsminimum zu enthalten.

Üblicherweise werden Bedeckungsminima von Zwergnovae (zumindest von Amateuren) im Ausbruch beobachtet. Auch HT Cas ist dann ausreichend hell, um das Bedeckungsminimum verfolgen zu können. Befindet sich HT Cas allerdings im Ruhelicht (außerhalb eines Ausbruchs, also im "Normalzustand"), dann wird es schwierig. Aber warum sollte man denn HT Cas im Ruhelicht aufnehmen und das dort erhebliche schwächere Minimum auch noch in einer Lichtkurve dokumentieren?

Die Motivation könnte darin bestehen, das Minimum im Ruhezustand habe vielleicht ein anderes Aussehen als im Ausbruch. Eine Bestätigung hierfür findet sich in "The orbital period of the eclipsing dwarf nova CG Draconis, Shears et al. (2008)". Danach ist ein tiefes Bedeckungsminimum einer Zwergnova im Ruhelicht deutlich kürzer als zu Zeiten des Ausbruchs. Die Akkretionsscheibe ist im Ausbruch am größten und schrumpft mit Abnahme der Helligkeit wieder auf ihr Normalmaß. Und je kleiner eine zu bedeckende Struktur ist, um so kürzer ist die hierfür erforderliche Zeit.

Ich hatte allerdings einen ganz banalen Grund für die Beobachtung von HT Cas im Ruhelicht: ich wollte einfach nicht auf einen Ausbruch warten. Natürlich war mir klar, dass es mit einem 12,5-Zoll-Instrument schwierig werden würde. Aber das hielt mich nicht von einem Versuch ab.

Über die Beobachtung für eine Lichtkurve und deren Auswertung wird weiter unten berichtet. Zunächst möchte ich einige Arbeiten anführen, die mir bei der täglichen Durchsicht von Vorabdrucken auf astro-ph über den Weg liefen beziehungsweise nach der Beobachtung gefunden wurden. Diese Literaturschau ist allerdings unvollständig. Sie reichte aber zur Auswertung der eigenen Lichtkurve aus.

Literatur

Im BAV Rundbrief 2/2002 findet sich unter "Aktivitäten im ersten Quartal 2002" zu HT Cas der folgende Text:

"Beim Ausbruch dieser Zwergnova konnte Jochen Pietz eine deutliche Bedeckung mit einer Tiefe von 1.2mag verfolgen. Weitere Beobachter fanden keine periodischen Modulationen der Lichtkurve außerhalb der Bedeckungsphase. Der Ausbruch selbst dauerte ungewöhnlich lang für einen SU UMa - Stern. Während des Helligkeitsabstiegs konnten Buckel im Zusammenhang mit der Umlaufzeit des Doppelsternsystems gesehen werden, die HT Cas nur äußerst selten zeigt, und die vor allem nur selten direkt nach der Bedeckung auftreten, wie in diesem Fall. Wegen der geringen Maximalhelligkeit von 13 mag nahm in den letzten Jahren kein Beobachter der BAV an der Überwachung dieses Sterns teil."

In "HST spectral mapping of V2051 Oph in a low state, Saito & Baptista (2004)" wird HT Cas zusammen mit einer kleinen Gruppe Zwergnovae mit ultrakurzen Umlaufperioden erwähnt.

In "arXiv:0711.3660, Cyclical period changes in HT Cas: a clear difference between systems above and below the period gap, Borges et al. (2007)" wird das Verhalten von HT Cas auf viel längeren Zeitskalen untersucht und zyklische Veränderungen in der Umlaufperiode gefunden. Das über 29 Jahre reichende B-R - Diagramm enthüllt einen linearen Trend, dem eine sinusartige Kurve mit einer Periode von 36 Jahren überlagert ist. Deren Amplitude beträgt ca. 80 Sekunden. Die Autoren interpretieren dies als eine Art "solaren" Zyklus magnetischer Aktivität der Sekundärkomponente des HT Cas - Systems.

In "The X-Ray Eclipse of the Dwarf Nova HT Cassiopeiae: Results from ASCA and ROSAT HRI Observations, Mukai et al. (1997)" liegt das Schwergewicht auf der Beobachtung im Röntgenbereich. Im "heiße Fleck", am Innenrand der Akkretions-scheibe, im Ausbruch vielleicht auch auf der Ober- und Unterseite der Scheibe und auf dem Weißen Zwerg selber ist es sehr heiß. Diese Orte emittieren Röntgenstrahlung.

Die Sekundärkomponente lässt natürlich auch im Röntgenbereich keine Strahlung durch, wenn sie sich zwischen die heißen Teile des Systems und unsere Kamera schiebt. Minima lassen sich also ganz natürlich auch im Röntgenlicht beobachten. Die Autoren waren dabei besonders an der Tiefe des Bedeckungsminimums, an seiner Dauer und seinem sonstigen Aussehen interessiert.

Sie stellten fest, dass im Röntgenlicht eine vollständige Bedeckung stattfindet. Es gibt nämlich auch bei Zwergnovae streifende Bedeckungen. Hier ist dies aber nicht der Fall.

Das Minimum ähnelt dem Teil der optischen Lichtkurve, der durch die Bedeckung des Weißen Zwergs zustande kommt. Aus der Dauer des Übergang ins Minimum (und wieder heraus) konnte die Größe des die Röntgenstrahlung emittierenden Gebiets bestimmt werden. Seine Abmessungen betragen das 1,15fache des Radius des Weißen Zwerges.

Bei Zwergnovae fällt auf, dass die Kurvenzüge der Helligkeit nicht glatt sind. Irgendwas flimmert, und zwar mit einer Amplitude, welche deutlich die standardmäßig erreichbare Ungenauigkeit von Amateurbereobachtungen übersteigt. Diese Flimmern ("flickering") ist also durch Amateure beobachtbar. Wieder ein Details mehr, das wir in unseren Lichtkurve erkennen und messen können. Es ist diese Fülle von unterscheidbaren Details im Helligkeitsverlauf, welche Zwergnovae zu interessanten Beobachtungsobjekten werden lässt.

Informationen zum "flickering" lassen sich der Arbeit "Eclipse mapping the flickering in HT Cas, Welsh & Wood (1995)" entnehmen: Das "flickering" ist blau. Die Zone mit "flickering" wird während des Minimums im U-Band vollständig bedeckt. Und im B- und V-Band wahrscheinlich ebenfalls. Das "flickering" des "heißen Flecks" ("bright spot") auf dem äußeren Rand der Akkretionsscheibe fällt nicht ins Gewicht. Es konzentriert sich auf der Scheibe zu ihrem inneren Rand hin, ist aber nicht auf diesen Teil der Scheibe beschränkt. Der Anteil des "flickering" am gesamten Licht nimmt zum Zentrum der Scheibe hin zu. Die Beobachtungen lassen sich mit einem Scheibenmodell mit optisch dicker Scheibe nicht nachbilden, folglich dürfte die Akkretionsscheibe optisch dünn sein.

Eine umfangreiche für uns Amateure nützliche Arbeit fand ich ebenfalls als Vorabdruck im Internet (aber nicht auf astro-ph). Mit den Beschreibungen und Lichtkurven in "Studies of the flickering in cataclysmic variables VI. The location of the flickering light source in HT Cassiopeiae, V2051 Ophiuchi, IP Pegasi and UX Ursae Majoris, Bruch (2000)" [http://www.lna.br/~albert/preprints/preprint01_00/node10.html] gelang es, in der eigenen Lichtkurve Details anzusprechen und durch Vergleich mit der Lichtkurve der Arbeit astrophysikalisch zu erklären.

HT Cas wird als ziemlich instabil beschrieben: ein sogenannter Umlaufbahn-Buckel ("orbital hump") sei manchmal zu beobachten, und dann wiederum fehle von ihm jede Spur.

Ähnlich unzuverlässig sei HT Cas auch im Profil des Bedeckungsminimums. Mal zeige es den typischen Verlauf der Bedeckung des Weißen Zwerg, gefolgt von der Bedeckung des "heißen Flecks" (der in dieser Arbeit im Gegensatz zu anderen mit "hot spot" bezeichnet ist), mal könnten wir nach diesem Detail vergeblich suchen.

In Übereinstimmung mit einer anderen Arbeit wird die sich sehr schnell vollziehende Bedeckung des Weißen Zwergs beschrieben ("very sudden start and end of the white dwarf eclipse"). Auch hier wird das Schwergewicht der "flickering" produzierenden Quellen im Zentrum von HT Cas gesehen ("well centered on the central body").

Obwohl dieses "flickering" die Auswertung des tiefen Teils vom Minimum erschwert, meinen die Autoren von einer V-Form des Minimums (also ohne flachen Boden) ausgehen zu können. Träfe dies zu, dann hätten die das "flickering" aufweisenden Oberflächen eine Ausdehnung, die nur wenig die Größe des Weißen Zwergs überträfe.

Die Stelle des Aufschlags des vom Geberstern (Sekundärkomponente) abgezogenen Materiestroms auf die Akkretionsscheibe erzeugt kein "flickering". Und dies in Übereinstimmung mit einer der weiter oben behandelten Arbeiten.

In "Time Resolved UV Spectrophotometry of the Dwarf Nova HT Cas, Wood (1995)" geht es wieder um eine Untersuchung von HT Cas im Röntgenlicht. Besonders interessiert den Autor die Grenzschicht zwischen der Akkretionsscheibe und der Oberfläche des Weißen Zwergs. Er berechnet eine "Flimmerkarte" ("flicker map") der Scheibe und bestimmt den Ursprungsort des "flickering".

In "ULTRACAM photometry of the eclipsing cataclysmic variables GY Cnc, IR Com and HT Cas, Feline et al. (2005)" geht es schließlich ans Eingemachte: Mit Hochgeschwindigkeits-3-Farben-Fotometrie werden Daten erfasst, die schließlich zum Nachweis von sich verändernden Strukturen in der Akkretionsscheibe im Ruhelicht führen.

Die Autoren schlagen als Ursache Variationen der Rate des Massetransfers vom Geberstern und der Rate des Massetransfers innerhalb der Scheibe vor. Die Akkretionsscheibe erweist sich als optisch dünn, sowohl in ihrem inneren als auch in ihrem äußeren Teil.

Die Temperatur des Weißen Zwergs wird im Jahre 2002 zu $15.000 \text{ K} \pm 1.000 \text{ K}$ und im Jahr 2003 zu $14.000 \text{ K} \pm 1.000 \text{ K}$ bestimmt.

Damit ist die Durchsicht der mir vorliegenden Literatur (mit Schwergewicht auf den Ruhezustand) beendet. Im nächsten Teil geht es um die Beobachtung des Bedeckungsminimums im Ruhelicht mit Amateurmitteln und um den Vergleich mit den Ergebnisse der Fachastronomie.

Auswertung einer Lichtkurve

Aus ca. 130 ausgeschnittenen ("crop") Rohbildern á 50 s im bin1-Modus ohne Nachführung mit 12,5-Zoll-RC, infrarotdurchlässigem Klarglasfilter und STL1001E entstand eine Blink-Sequenz, welche auch zu einer Lichtkurve verarbeitet wurde. Die Rohbilder mussten genügen, weil sich vermutlich wegen der zu geringen Bildgröße das CCD-Bildbearbeitungsprogramm weigerte, trotz passend aufgenommener Reduzierbilder die Reduzierung vorzunehmen.

Im Blinkmodus ist das Verlöschen von HT Cas in seinem Minimum deutlich zu sehen, wenn auch alles etwas klein, pixelig und zappelig daher kommt. Die Einzelbilder repräsentieren den Zeitraum zwischen 21:17 MST und 23.32 MST (Mountain Standard Time). Eine vollständige Periode wurde damit abgedeckt.

Das im Ruhezustand mit gleichhellen Sternen sehr dicht besetzte Feld ist ungünstig. Es wurde mit verschiedenen Geometrien der Fotometrierlupe experimentiert. Entsprechend unterschiedlich sehen auch die erzeugten Lichtkurven aus. In diesem Aufsatz werden zwei Versionen vorgestellt, die zusammen die meisten beobachteten Details zeigen. Diese Aufnahmen stellen einen Versuch dar, der zeigen sollte, ob mit einem mittelgroßen Teleskop im Ruhelicht überhaupt das tiefe Minimum in einer Lichtkurve abgebildet werden kann. Die geschilderten Probleme mit der Fotometrier-

lupe treten im Ausbruch nicht auf, wenn auch im Minimum das Licht von HT Cas das der eng benachbarten Sterne dominiert.

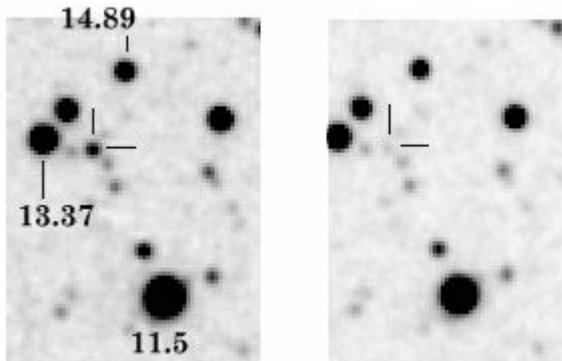


Abb. 1: Montage mit Vergleichssterne im Maximum und im Minimum von HT Cas

Abb. 1 zeigt eine "Max-Min-Montage" mit Vergleichssterne, von denen der schwächste als Vergleichssterne i. e. S. und der zweitschwächste als "Prüfsterne" verwendet wurde.

Bei den deutlich über der Genauigkeit der Fotometrie liegenden schnellen Änderungen der Helligkeit im Ruhelicht dürfte es sich um das Flimmern ("flickering") handeln. Vor dem Abstieg ins Minimum ist ein schwacher Buckel zu erkennen. Das könnte der "orbital hump" sein.

Interessant erscheint mir die Asymmetrie im Minimum: Der zunächst schnell Abfall ins Minimum verlangsamt sich deutlich vor dem Erreichen der Aufnahme mit der geringsten Helligkeit. Danach geht es in fast einem einzigen Bildwechsel zurück auf die Höhe. Es schließt sich ein weniger steiler Anstieg an, welcher im Ruhelicht mündet.

Das Minimum hat eine Tiefe von ca. 3 mag ($19,557 \text{ mag} - 16,6 \text{ mag} = 2,957 \text{ mag}$). In den "schwächsten" Einzelbildern ist HT Cas nur noch sehr schwach zu sehen [Abb. 1]. Die Dauer des Minimums wurde zu ca. 8,6 Minuten bestimmt. Der Wert der geringsten Helligkeit von ca. 19,6 mag entspricht in etwa dem in VizieR genannten Wert für das Minimum von HT Cas (19,3 mag). Damit ist auch diese Unsicherheit beseitigt.

Mit der Lichtkurve aus Bruch (2000) versuchte ich nun, mir das asymmetrische Minimum zu erklären. Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Abb. 2 wiedergegeben. Einige Details der Lichtkurve von Bruch (2000) wurde dabei von mir in nummerierten Kästen eingefasst, wie es auch mit Abschnitten der eigenen Lichtkurve geschah. Die senkrechten unterbrochenen Linien in der Lichtkurve von Bruch (2000) markieren die Kontaktzeiten der Bedeckung des Weißen Zwergs (primäre Komponente), wenig später gefolgt durch die Kontakte der Bedeckung des "hot spot" ("followed slightly later by a hot spot eclipse").

Bruch (2000)

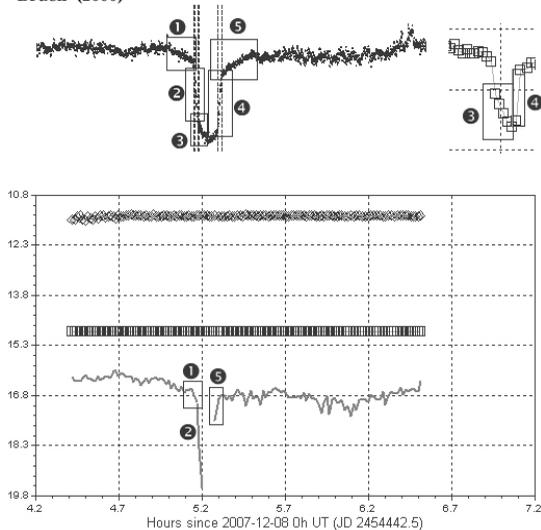


Abb. 2: Montage mit eigenen und fremder Lichtkurve

Mit (1) wurde ein Kurvendetail nummeriert, dessen Deutung ich der Literatur bisher nicht entlocken konnte. (2) ist der schnelle Helligkeitsabfall verursacht durch die Bedeckung des Weißen Zwergs. (3) markiert den Beginn der Bedeckung des "hot spot" und (5) sein Bedeckungsende. (4) gibt den Anstieg des Weißen Zwergs aus seiner Bedeckung wieder.

Diese Aufeinanderfolge sei noch einmal in etwas anderer Formulierung wiederholt: Dem tiefen steilen Helligkeitsabfall durch die Bedeckung des Weißen Zwergs schließt sich die weniger tiefe, somit weniger "steile" Bedeckung des "hot spot" an. Nachdem der Weiße Zwerg wieder zum Vorschein gekommen ist (schneller, steiler Anstieg), folgt auch schon der langsame, weniger steile Anstieg bewirkt durch das Wiederauftauchen des "hot spots".

Die beobachtete "Asymmetrie im Minimum" (das zweistufige Minimum - "two-step eclips") konnte somit als getrennte, zeitlich gegen einander verschobene Bedeckung vom Weißen Zwerg und vom "hot spot" erklärt werden.

Ausblick

Über dieses Ergebnis habe ich mich gefreut. Eine Verbesserung in einem Folgeprojekt ist möglich und soll versucht werden. Falls es geeignetere Zwergnovae zum Erkennen der beschriebenen Effekte gibt, könnten diese im BAV Rundbrief oder im Forum vorgestellt werden.

Und kein CCDler sollte sich scheuen, eine interessante Zwergnova auch einmal im Ruhelicht, also außerhalb eines Ausbruchs, mit kurzer Belichtungszeit aufzunehmen und zu fotometrieren.