

EX Hydrae - ein etwas sonderbarer Intermediärer Polar (IP)

Teil 3

Hans G. Diederich

Einleitung

In Teil 2 wurde versucht, mit Hilfe der vorliegenden Informationen aus der Fachliteratur, eine Interpretation der eigenen Lichtkurve zu versuchen. Am Ende blieben leider Fragen offen, die ich immer noch nicht beantworten kann. Angekündigt hatte ich aber bereits eine alternative "Kurvendiskussion". Damit beginnt dieser dritte Teil.

In der zweiten Hälfte konzentriert sich der Aufsatz auf "seltsame" Schwingungen in der Lichtkurve, die hier vorläufig als "5-Minuten-Oszillation" bezeichnet werden. Diese zu beschreiben, ist ohne Kenntnis des astrophysikalischen Hintergrunds möglich. Sie zu erklären dagegen nicht. Sind es QPO, oder ist es "Flickerung"? Hier fehlen eindeutig Bestätigung und Erklärung aus der Literatur.

Ein weiterer Versuch zur Interpretation der Lichtkurve

Eine aktuellere Arbeit aus 2010 vermittelt weitere Informationen [6], relativiert aber auch einige der Aussagen aus [4] und [5] (aus dem Jahr 2007).

[2] erwähnt Bedeckungen in der optischen Lichtkurve von EX Hya, bei denen es sich um eine streifende Bedeckungen ("grazing eclipse") handelt. Dies bedeutet, dass der untere Akkretionsvorhang und der untere Magnetpol bedeckt werden, der obere Akkretionsvorhang aber immer unbedeckt bleibt.

[6] nennt dagegen zwei andere Szenarien für diese partielle Bedeckung: Entweder wird im Fall der Akkretion auf beide Magnetpole ("two-pole accretion") einer der Pole bedeckt, oder es erfolgt bei der "Ein-Pol-Akkretion" ("one-pole accretion") eine partielle Bedeckung der Akkretionssäule durch die Sekundärkomponente.

Des Weiteren wird erwähnt, dass eine ausgeprägte Schulter ("shoulder") vor der Bedeckung sichtbar ist. Auf sie folgt ein Abschnitt mehr oder weniger konstanter Helligkeitsabnahme von einigen Hundertstel Magnituden, bis diese Schulter erneut in Erscheinung tritt. Aber ich weiß nicht, welche Details meiner Lichtkurve hier angesprochen sein könnten. Und eine Erklärung ist diese Information auch nicht.

Aussagen dieser Art scheinen in einem mehrfach verästelten Informationsbaum angeordnet zu sein, der sich über mehrere Arbeiten erstreckt, und immer wieder durch Zitate, Bestätigungen oder auch Widerlegungen mit anderen Arbeiten verknüpft wird, ohne dass sich für den Leser (es sei denn für einen Experten) ein konsistentes Bild aufbaut, das eine vollständige in sich widerspruchsfreie Interpretation der Lichtkurve erlaubt.

Die Informationen von [4], [5] und [6] nutzend, möchte ich den ersten Teil der Lichtkurve nun wie folgt beschreiben. Wer dies in der Lichtkurve selber verfolgen möchte, möge sich bitte die Abb. 1 ansehen.

Lichtkurve von EX Hydrae im Ruhezustand

26.06.2011, Hakos, 50-cm-Cassegrain, STL-1001E, 508 Einzelbilder a 10 Sekunden

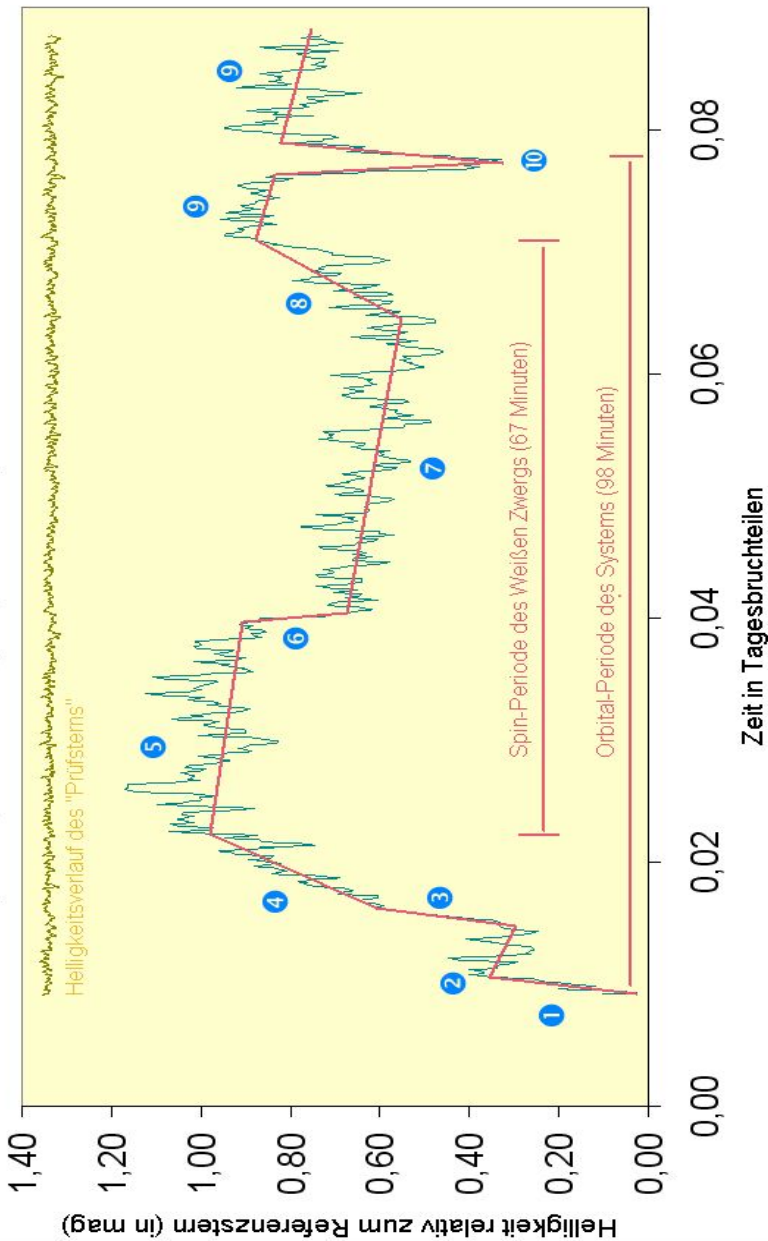


Abb. 1: Lichtkurve von EX Hydrae im Ruhezustand (siehe Text)

Der erste schnelle Anstieg aus dem Minimum (1) ist das Sichtbarwerden des "hot spot" auf dem Akkretionsring. In der Schulter (2) sehe ich das Freiwerden des Akkretionsvorhangs, der aber zunehmend von der frontalen in eine seitliche Position gerät und dabei langsam an Helligkeit verliert. Der zweite schnelle Anstieg (3) wird durch die aus der Bedeckung hervortretende Akkretionssäule (oberhalb der Oberfläche des Weißen Zwergs in der Nähe seines Magentpols) verursacht und trägt zur Fortsetzung des zunächst unterbrochenen Helligkeitsanstiegs bei.

In [6] werden noch ein ausgedehnter Bulge ("extended bulge") auf der äußeren Akkretionsscheibe und ausgedehntes überströmendes Material ("extended / overflowing material") erwähnt, welches dem "hot spot" entstammt. Dieser Bulge wird sowohl im Ruhezustand als auch im Ausbruch beobachtet. Dazu passend erwähnt [4] das Vorhandensein von zwei Klumpen ("chunks") im Akkretionsring, wenn sich EX Hya im Ruhezustand befindet.

Akkretionsring oder Akkretionsscheibe?

Es dürfte aufgefallen sein, dass je nach Arbeit einmal von Akkretionsscheibe, ein anderes Mal von Akkretionsring gesprochen wird. Eine sichere Beschreibung setzt das Wissen voraus, ob hier Unterschiede in der Physik oder nur in der Definition vorliegen. Und tatsächlich entsteht im Ausbruch eine Akkretionsscheibe. Welche Information darf der Leser also aus der Verwendung dieser Begriffe entnehmen?

Die Tiefe der Minima

In einer der neueren Arbeiten werden die Minima als gleich tief charakterisiert. In einer älteren Arbeit hatte ich von unterschiedlichen Tiefen der Minima gelesen. Ein Widerspruch? Wird zur Tiefe des ersten Minimums noch der Anstieg/Abschnitt (4) gerechnet, dann ist das erste Minimum deutlich tiefer als das zweite. Sieht man aber das erste Minimum am Übergang von (3) nach (4) als beendet an, dann sind beide Minima gleich tief.

Eine "5-Minuten-Oszillation" in der Lichtkurve

In der Lichtkurve entdeckte ich eine deutliche Schwingung mit einer scheinbaren "Periode" von ca. 5 Minuten Länge. Ich bezeichne sie hier als "5-Minuten-Oszillation". In Abb. 1 wurde diese Schwingung mit einer fetten blauen Linie nachgezogen. Sie sieht aus, als weise sie ein gerundetes breites Maximum auf und als stürze die Helligkeit dazwischen in ein tiefes schmales Minimum hinab. Sie ist also keineswegs sinusförmig. Streng periodisch ist diese Schwingung nicht, aber rein zufällig verteilt eben auch nicht (sonst wäre sie mir ja auch nicht aufgefallen). Könnten das QPO (quasi-periodische Oszillationen) sein? Oder doch "nur" Flickering?

Flickering

In Kapitel 10 von [2] steht zu Flickering ...

"Flickering tritt auf vielen Zeitskalen auf. Von schnellen Fluktuationen (einige wenige Sekunden dauernd) zu größeren ("larger") "flares" und "dips", die einige Stunden andauern. Wir werden dadurch daran erinnert, dass der Massentransfer von einem roten Stern auf einen Weißen Zwerg ein turbulenter Prozess ist. Das einzige im Flickering erkennbar Muster ist, dass die länger dauernde Fluktuationen größere

Amplituden besitzen. Flickering scheint vorzugsweise in der turbulenten inneren Akkretionsscheibe zu entstehen, aber zumindest in einigen Systemen auch im "bright spot".

Ein "heller Fleck" (bright spot) befindet sich auf dem Akkretionsring von EX Hya, da aber in EX Hya auch immer "overflow" stattfindet und VEM ("vertically extended material") vom Magnetfeld erzeugt und erfasst wird, halte ich entsprechende turbulente Prozesse auch an diesen Orten für vorhanden/möglich und damit als potenzielle Quellen von Flickering. Diese Vermutung bedarf aber der Bestätigung bzw. Widerlegung.

Quasi-periodische (QPO) und "schnelle strikt periodische" Oszillationen

"Per Definition ist Flickering nicht periodisch. Manchmal jedoch findet Variabilität auf einer bevorzugten Zeitskala statt und erzeugt so quasi-periodic oscillations (QPO). Bei diesen handelt es sich nicht um "strictly periodic oscillations", welche in Lichtkurven intermediäre Polare gesehen werden, sondern die Oszillationen halten nur für einige Zyklen an und verschwinden dann langsam, um von weiteren Oszillationen mit unterschiedlicher Phase oder mit leicht unterschiedlicher Periodenlänge ersetzt zu werden. Solche typischen QPO weisen eine Amplitude von wenigen Prozent und Perioden auf, die zwischen 30 und 300 Sekunden liegen. QPO scheinen der Akkretionsscheibe zu entstammen."

Einige Entstehungsmechanismen werden genannt, aber keine können hier für EX Hya bestätigt oder widerlegt werden.

Und wieder ist ein zusätzliches Problem hinzu gekommen, denn es könnte sich ja vielleicht bei der "5-Minuten-Oszillation" auch um "strictly periodic oscillations" handeln, da diese ja speziell in den Lichtkurven der intermediären Polare auftreten, also bei der Veränderlichenklasse, zu der auch EX Hya gehört. Ich suche also in den erfassten Texten nach "strictly periodic" und finde eine einzige im aktuellen Zusammenhang stehende Arbeit [16].

Hier wird von einer "rapid, strictly periodic oscillation" mit 33,076737 s gesprochen, die im Weißen Zwerg entsteht. Die Autoren entdeckten bei AE Aqr aber auch kohärente Perioden von 16,5 und 33 Sekunden und ziehen daraus den Schluss, dass die beiden letzteren durch "gaseous blobs" hervor gerufen werden, die nahe dem inneren Rand der Akkretionsscheibe entstehen.

Nun besitzt aber EX Hya im Ruhezustand keine Akkretionsscheibe (wohl aber einen Akkretionsring, der ja auch einen inneren Rand aufweist). Zudem ist AE Aqr kein IP, sondern ein Novaähnlicher Veränderlicher. Damit könnte ich das wieder vergessen, denn in [2] wird ja über IP gesprochen. Dann finde ich in [16] den Satz ...

"QPO, die zusätzlich zu oder anstelle von "strikt periodischen Schwingungen" ...

Wenn es sich bei der "schnellen, strikt periodischen Schwingung" um den Spin (die Rotation) von AE Aqr handelt, wäre diese Erscheinung losgelöst von EX Hya zu sehen, der ja eine mit 67 Minuten viel größer Rotationsperiode aufweist. Beziehen sich

die "strikt periodischen Schwingungen" der IP bei [2] vielleicht auf andere Phänomene in der Lichtkurve, vielleicht auf solche im Röntgenlicht? Ich beginne langsam, mich meinem mentalen "period gap" zu nähern, und reiße mich los von der Vorstellung, das jetzt wissen zu müssen. Es gelingt, aber diese Situation ist typisch für viele andere Erlebnisse bei der Literaturrecherche zu EX Hya und absolut unbefriedigend.

Die Periode(n) der "5-Minuten-Oszillation"

Da mir die Literatur bisher keine Klarheit verschaffen konnte, versuche ich nun, die Periodendauer der "5-Minuten-Oszillation" aus der Lichtkurve zu bestimmen. Hierfür zeige ich mit dem Mauszeiger auf die Minima dieser Schwingung und lese in der Informationszeile der Bildbearbeitung den zugehörigen Pixelwert der Zeitachse ab. Ich finde Abstände im Bereich von 3,2 bis 6,5 Minuten. Die Tabellenkalkulation liefert als Auswertung einen Mittelwert von 4,90 Minuten (Median 4,82 Minuten) mit einer Standardabweichung von 1,07 Minuten. Trotz aller Ungenauigkeit beim Ablesen kann das wirklich nicht als "strikt periodisch" angesehen werden. Vielleicht handelt es sich doch um QPO, die bei [2] (Wiederholung in Englisch) wie folgt definiert werden:

"... last for only a few cycles, then die away to be replaced by further oscillations with different phase or with a slightly different period."

Ich hatte vor wenigen Monaten das Periodensuchprogramm Peranso installiert. Ich untersuche hiermit nun die Lichtkurve von EX Hya, betrachte aber jetzt nicht mehr die gesamte Lichtkurve, sondern nur den gleichmäßigen mittleren Teil, der in Abb. 1 mit (7) nummeriert ist. Einige der mit Peranso erstellten Diagramme sind in Abb. 2 zusammengefasst.

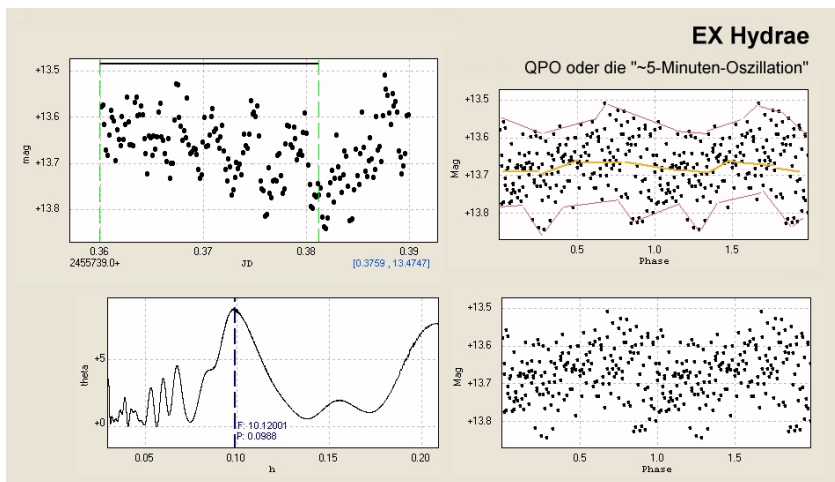


Abb. 2: Lichtkurve (Ausschnitt), Periodogramm u. Phasendiagramm von EX Hydrae, erstellt mit Peranso

Mit der Methode Lomb-Scargle gehe ich auf Periodensuche und finde im Periodogramm im Bereich der kurzen Perioden einige steile Spitzen. In der "Liste der wahrscheinlichen Perioden" befinden sich einige, die bei 5-Minuten liegen ...

Liste der wahrscheinlichen Perioden

Frequenz	Zeit	Theta	c/h Stunden
2.51682	0.3973	28.81	23,8 min
10.39825	0.0962	4.82	5.8 min
11.69029	0.0855	1.23	5.13 min
11.17348	0.0895	1.20	5.37 min

Ich wähle nun den interessanten Bereich zwischen 1,8 und 12,6 Minuten Periodenlänge aus und wiederhole die Periodensuche. Das Periodogramm verändert sich kaum. Die Tabelle der Perioden zeigt jetzt aber statt einer einzigen Periode wie zuvor sehr viele Perioden an: alle mit sehr ähnlicher Periodendauer. Dies ist offenbar die Folge der höheren Zeitauflösung. Der Mittelwert beträgt 0,0983 Stunden, also 5,898 Minuten, ein ähnlicher Wert wie zuvor. Das „Zeit Cursor“ Symbol (zum automatischen Finden der Periode) rastet in die Mitte des Buckels der "5-Minuten-Oszillation" ein und zeigt 0,0987 Stunden = 5,922 Minuten an. Egal was ich mache, als Periode wird immer ein Wert knapp unter 6 Minuten ausgegeben. Aus diesem Verhalten kann keineswegs auf eine feste Periode geschlossen werden.

Nach Klick auf die Schaltfläche für "Phasendiagramm" kann ich den Zeit-Cursor im Periodogramm auch verschieben. Wie bei QPO zu erwarten, stellt sich beim Verschieben an keiner Stelle ein geordneter Anblick im Phasendiagramm ein, es erfolgt kein plötzliches "Einrasten" der Datenpunkte, sie finden nie zu einem "schönen" Kurvenzug zusammen. Mit der automatisch von Peranso gefundenen Periode stellt sich allenfalls ein Hauch von Periodizität ein.

Dieses Verhalten im Phasendiagramm überrascht nicht. Das wäre vielleicht auch die Erklärung für die vielen, sehr ähnlichen Periodenlängen in der Tabelle oben. Die Periode der "5-Minuten-Oszillation" ändert sich ständig, der Vorgang ist eben nicht-periodisch, er sieht nur ungefähr periodisch aus. Und in der Überlagerung im Phasendiagramm verschwindet dann die in der Lichtkurve so deutlichen aufeinander folgenden Schwingungen.

Das alles finde ich inzwischen sehr interessant, weil bisher nie die Gelegenheit bestanden hatte, QPO so tiefgreifend zu analysieren.

Die Form der "5-Minuten-Oszillation"

Warum aber sehen die einzelnen Schwingungen der "5-Minuten-Oszillation" so seltsam aus: mit gerundeten breiten Maxima getrennt durch tiefe schmale Minima? Es könnte sich um ein Artefakt handeln, weil in der Lichtkurve ja keine linearen Flüsse dargestellt werden, sondern als "Magnituden" logarithmierte Flüsse. Was passiert mit einer Sinusschwingung beim Logarithmieren? Diese probiere ich in einer

Tabellenkalkulation aus und finde meine Vermutung bestätigt. Das Ergebnis ist als Montage in der Abb. 3 zusammen gestellt.

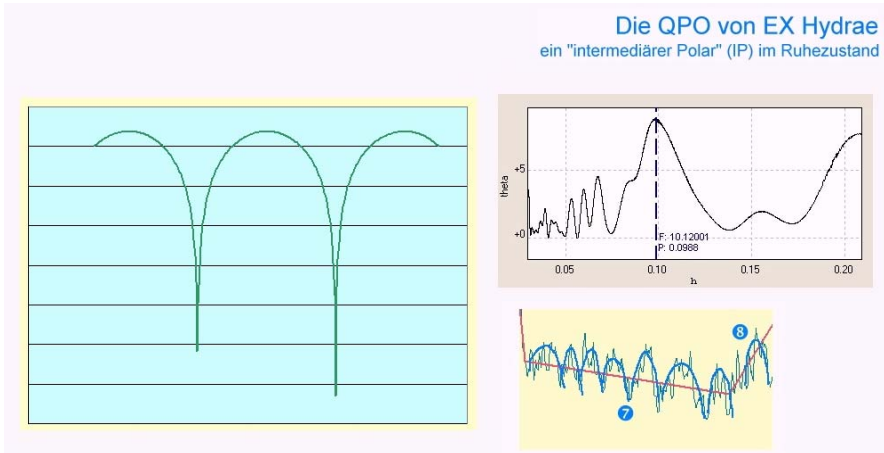


Abb. 3: Periodogramm (erstellt mit Peranso), Lichtkurve und "Simulation" der "5-Minuten-Oszillation" von EX Hydrae (siehe Text)

Zur Ursache der "5-Minuten-Oszillation"

Der sichtbaren vermutlich QPO mit "Perioden" zwischen 5 und 6 Minuten sehen also wie sinusförmige Schwingungszüge aus. Im Kapitel der Polare in [2] wird die Akkretion wie folgt erklärt:

Materie strömt durch einen "Schlauch" (einen engen Kanal) entlang einer Feldlinie des starken Magnetfeldes zum (oder zu den beiden) Magnetpol(en) des Weißen Zwergs. Es kommt zu kreisförmigen Bewegungen aufgrund der Lorentz-Kraft, das führt zu zirkular polarisierter Emission, schaut man direkt in Richtung dieses Schlauchs. Die vom Magnetfeld gefangene Materie ist ionisiert, kreist um die Feldlinien und strömt bzw. stürzt dabei weiter auf den Magnetpol zu.

Schaut man senkrecht auf diese Kreisspirale, sieht man nichts von Kreisen, die Materie bewegt sich nur auf und ab, wir sehen sie von der Kante her ("edge-on"). Folglich wird jetzt linear polarisierte Emission beobachtet.

Könnte die "5-Minuten-Oszillation" auf solche edge-on-Beobachtungen kreisförmiger Bewegung von Materie, von "Klumpen" von Materie, zurückzuführen sein? Sehen wir vielleicht beim schrägen Blick durch den sich mit dem Magnetfeld des Weißen Zwergs um diesen drehenden Akkretionsvorhangs immer gerade die "edge-on"-Bereiche als "5-Minuten-Oszillation"? Warum ist aber die Amplitude gerade der "5-Minuten-Oszillation" so stark, dass sie in der Lichtkurven auffallen?

Aus dem Physikunterricht ist ein Versuch bekannt, wo Elektronen (Kathodenstrahlen) in einem gasgefüllten gläsernen Gefäß auf eine Kreisbahn gezwungen werden, wenn

man die Magnetfeldstärke richtig einstellt. Geschwindigkeit der Elektronen, magnetische Feldstärke und Radius stehen in einer Beziehung. Liegt darin die Erklärung für die beobachtete "5-Minuten-Oszillation" von EX Hya? Welche Physik steht dahinter? Wo passiert das alles?

Diese Fragen müssen in diesem Aufsatz unbeantwortet bleiben. Ihre Beobachtung erfordert die Unterstützung durch Fachastronomen. Aber die Sternfreunde können am Ball bleiben, weiterhin Lichtkurven von EX Hya aufnehmen und auf QPO mit einer solchen "5-Minuten-Oszillation" auswerten.

Und zum Schluss

In diesem Aufsatz wurde die Lichtkurve von EX Hya vorgestellt und der Versuch unternommen, ihren gesamten Verlauf und auch einige Details mit Hilfe der Literatur zu interpretieren. Das verlangt uns Amateuren einige Mühe ab.

EX Hya bildet bei der BAV zusammen mit sieben anderen CV das Programm "Kataklysmische BV" (KB). Es wird in Zusammenarbeit mit der Sektion "Kataklysmische und Eruptive" betrieben [10]. Während dort aber zu Lichtkurvenserien im Ausbruch aufgerufen wird, möchte ich für eine intensive Beobachtung von EX Hya auch im Ruhezustand werben. Erstens ist dieser Veränderliche recht hell und eine Lichtkurve auch im Ruhezustand aufnehmbar. Zweitens sollten wir keine Zeit damit vertun und auf einen der sehr seltenen Ausbrüche warten.

Wir werden durch einen reichen Formenschatz belohnt und können beitragen, bisher erfolgte Beobachtungen zu bestätigen. Kein Sternfreund sollte daher vor EX Hya zurückschrecken.

Oben in diesem dritten Teil hatte ich die Frage gestellt, ob EX Hya einen Akkretionsring oder Akkretionsscheibe aufweist. Die Antwort lautet ...

im Ruhezustand:

"ring-fed" ("accretion curtains") und "stream-fed" ("disc overflow")

im Ausbruch:

"disc-fed" ("accretion curtains") und "stream-fed" ("disc overflow")

bzw. vollständig auf Deutsch ...

im Ruhezustand:

"ring-gespeist" ("Akkretionsvorhänge") und "strom-gespeist" ("Scheiben-Überströmung")

im Ausbruch:

"scheiben-gespeist" ("Akkretionsvorhänge") und "strom-gespeist" ("Scheiben-Überströmung")

Die Fachastronomie wird EX Hya nicht aus den Augen verlieren, zumindest solange nicht, bis sie weiß, wie dieser IP wirklich funktioniert. Auch wir sollten EX Hya nicht

vergessen und ihn weiterhin beobachten, denn kataklysmische Veränderliche sind und bleiben auch in Zukunft interessant, nicht nur die magnetischen.

Ein Tipp noch: Wegen der unterschiedlich langen Perioden von Sternrotation und Umlaufbewegung finden aufeinander folgende Bedeckungsminima immer in anderer "Umgebung" statt. Da aber beide Perioden zu einander im Verhältnis von ungefähr 2/3 stehen, wiederholen sich ähnlich aussehende Bedeckungsminima alle drei Zyklen der Sternrotation. [9] schreibt dazu ...

"orbital cycle variations do not smear out when folded on the spin phase but repeat every 3 spin cycles"

Dieses Wissen lässt sich einsetzen, um bei kleineren Öffnungen etwas besser zurecht zu kommen.

Mit diesem dritten Teil endet die Schilderung meiner Amateurbeobachtung. Möglicherweise wird es Fortsetzungen unter der Rubrik "Aus der Literatur" geben.

Die Aufnahmen für die Lichtkurve entstanden 2011 auf der IAS-Sternwarte Hakos (Namibia).

Literaturverzeichnis

[2] Hellier, C., 2001. Cataclysmic Variable Stars, How and why they vary, Springer PRAXIS

[4] Mhlahlo, N., et al., 2007. Spectroscopic Observations of the Intermediate Polar EX_Hydrae in Quiescence, arXiv:0704.0017v1

[5] Mhlahlo, N., et al., 2007. Outbursts of EX Hya Revisited, arXiv:0706.0887v1

[6] Pekön, Y., Balman, S., 2010. Orbital and Spin Phase-Resolved Spectroscopy of the Intermediate Polar EX Hya Using XMM-Newton Data, arXiv:1009.4392v1

[9] Hellier, C., et al., 1987. Time resolved optical spectroscopy of the eclipsing intermediate polar EX Hydra, Mon. Not. R. astr. Soc. 228, 463-481

[10] Walter, F., 2009. Vorschlag für eine Neugestaltung der BAV-Programme, RB 2009-3,191

[16] Patterson, J., 1979. Rapid oscillations in cataclysmic variables. III. An oblique rotator in AE Aquari, Astrophys.J. 234, 978-992