

kontinuierliche Spektrum  $2^m 7$  in der Zwischenzeit an Helligkeit einbüßte. Beim Übergang von der ersten zur zweiten Gruppe der zweiten Beobachtungsreihe haben die Emissionsbanden den gleichen Betrag von  $0^m 4$  an Helligkeit verloren wie das kontinuierliche Spektrum.

Tabelle VII.

	$\lambda 501+496$	$H\beta$	$\lambda 469+464$	$\lambda 436+H\gamma$	$H\delta$	$H\epsilon$	$H\zeta + \lambda 387$	$\lambda 343$
1912 März 17–April 28	—	$-1^m 0$	$-0^m 1$	$-1^m 3$	$-0^m 9$	$+0^m 1$	$+1^m 3$	—
Differenz	—	$+2.3$	$+1.0$	$+0.8$	$+1.8$	$+2.2$	$+1.0$	—
1912 Dez. 6–1913 April 5	$-0^m 2$	$+1.3$	$+0.9$	$-0.5$	$+0.9$	$+2.3$	$+2.3$	$+1^m 4$
1912 Dez. 6–1913 Jan. 28	$-0.1$	$+1.0$	$+0.8$	$-1.1$	$+0.5$	$+2.0$	$+2.2$	$+1.5$
Differenz	$-0.1$	$+0.5$	$+0.2$	$+1.0$	$+0.7$	$+0.6$	$+0.2$	$-0.2$
1913 Febr. 7–April 5	$-0.2$	$+1.5$	$+1.0$	$-0.1$	$+1.2$	$+2.6$	$+2.4$	$+1.3$

Frankfurt a. M., Sternwarte der Universität und des Physikalischen Vereins, 1920 Juli 16.

A. Brill.

### Das Problem der $\delta$ Cephei-Veränderlichen. Von H. Vogt.

Bekanntlich wird in neuere Zeit die Doppelsternnatur der  $\delta$  Cephei-Veränderlichen stark angezweifelt. Eine Auffassung geht dahin, daß sie einfache Sterne seien, deren Oberfläche sich in schwingender Bewegung um ihre Gleichgewichtsfigur befindet. Die Hauptvertreter dieser Pulsationstheorie sind wohl *Plummer*, *Shapley* und *Eddington*. Letzterer besonders sucht sie auch mathematisch zu begründen.

Gegen die Doppelsternhypothese macht man besonders folgende Einwände: Einmal zwingt sie uns, den Systemen vom  $\delta$  Cephei-Typus ganz merkwürdige Eigenschaften zuzuschreiben. Die Bahnen müßten alle sehr eng und stark exzentrisch sein, das Periastron für den Hauptstern müsse vom Standpunkt des Beobachters aus gesehen vorwiegend jenseits der Knotenlinie liegen, und der Begleitstern müsse durchweg eine sehr geringe Masse besitzen. Was sei nun die Ursache, daß es nicht  $\delta$  Cephei-Systeme mit großen Begleitern und mit weniger exzentrischen Bahnen gebe, und vor allem, wie komme es, daß die Lage des Periastrons vom Standpunkt des Beobachters abhängt?

Wie wolle weiter die Doppelsternhypothese die Tatsache erklären, daß bei den  $\delta$  Cephei-Veränderlichen eine Beziehung zwischen der Periode und der absoluten Helligkeit besteht?

Ganz unverständlich auf Grund der Doppelsternhypothese sei schließlich auch die von *Eddington*<sup>1)</sup> aufgefundene Konstanz des Produktes  $P \cdot \sqrt{c}$ , wenn  $P$  die Periode und  $c$  die zentrale Dichte eines  $\delta$  Cephei-Systems bedeutet.

Ich möchte auf diese Einwände, die zum Teil schon *Hagen* widerlegt hat, etwas näher eingehen, und zwar zuerst auf den letzten. Bei der Bestimmung der zentralen Dichte  $c$  geht *Eddington* folgendermaßen vor: Aus dem Spektrum schließt er nach einem angenommenen Gesetze auf die Temperatur, aus der Temperatur auf die Strahlung der Oberflächeinheit, aus dieser und der Gesamtstrahlung, welche er mit Hilfe der absoluten Helligkeit bekommt, auf die Oberfläche und den Radius des Sternes, aus dem Radius und der Masse, die er seiner Theorie des »Strahlungsgleichgewichts der Sterne«<sup>2)</sup> entnimmt, auf die mittlere Dichte und aus dieser schließlich auf Grund seiner Theorie über den inneren Aufbau der Sterne auf die zentrale Dichte. Die letztere findet er also aus einer Reihe von Größen, welche noch sehr unsicher sind. Man wird also kaum behaupten können, daß

das Gesetz über die Konstanz des Produktes aus der Periode in die Quadratwurzel der zentralen Dichte endgültig feststeht, zumal auch schon für die 14  $\delta$  Cephei-Systeme, welche *Eddington* bei der Ableitung des Gesetzes benutzt, die Konstante zwischen ziemlich weiten Grenzen (von 0.70 bis 1.61) schwankt. Aber auch wenn es richtig ist, spricht es keineswegs gegen die Doppelsternhypothese. Denn in AN 5047 habe ich gezeigt, daß für die Bedeckungsveränderlichen, an deren Doppelsternnatur ja nicht zu zweifeln ist, eine ähnliche Gesetzmäßigkeit besteht. Für die Sterne z. B., welche der Spektralklasse A angehören und bei denen die dunklere Komponente die größere ist, fand ich  $d = 0.29/P - 0.02$ , wenn  $d$  die mittlere Dichte des Systems und  $P$  wieder die Periode bedeutet.

Was die Beziehung zwischen Periode und absoluter Größenklasse betrifft, so handelt es sich um folgendes: Bereits vor einigen Jahren hat Miss *Leavitt* für die Sternhaufen-Veränderlichen oder kurzperiodischen  $\delta$  Cephei-Veränderlichen und später *Shapley* für die langperiodischen nachgewiesen, daß die Periode insofern eine Funktion der absoluten Helligkeit ist, als beide gleichzeitig wachsen. Und zwar wird für Perioden über drei Tage die Beziehung zwischen Periode und absoluter Größenklasse graphisch nahezu durch eine Gerade, für kürzere Perioden durch eine gekrümmte Linie wiedergegeben. Da sich nun alle  $\delta$  Cephei-Veränderlichen wohl ungefähr in demselben Entwicklungsstadium befinden und sich deshalb auch in ihrer Oberflächenhelligkeit kaum allzusehr unterscheiden werden, ist man wohl gezwungen, anzunehmen, daß das Gesamtvolumen und sehr wahrscheinlich auch die Gesamtmasse der beiden Komponenten eines  $\delta$  Cephei-Systems um so größer ist, je größer seine Periode oder je weiter seine Bahn ist. Aber auch dies besagt nichts gegen die Doppelsternhypothese. Denn bei den Bedeckungsveränderlichen (AN 5047) bin ich zu demselben Ergebnis gekommen.

Um die anderen so ganz merkwürdigen Eigenschaften zu erklären, welche uns die Doppelsternhypothese den bis jetzt bekannten  $\delta$  Cephei-Systemen auf Grund der Beobachtung zuzuschreiben zwingt, muß man annehmen, daß gerade diese Eigenschaften die Amplitude der Lichtschwankungen vergrößern und dadurch die Entdeckung der Veränderlichkeit erleichtern. Es soll nach der *Hagenschen* Doppelsternhypothese der Begleiter imstande sein, durch bloße Annäherung auf dem Hauptstern

<sup>1)</sup> MN 79.2 u. 177.

<sup>2)</sup> MN 77.16 u. 596.

Lichtausbrüche hervorzurufen. Diese werden demnach um so heftiger sein, je enger die Bahn ist. Weiter wird sich die Lichtentwicklung im Periastron von der im Apastron in der Stärke um so mehr unterscheiden und dadurch die Helligkeitsschwankungen um so größer sein, je größer die Bahnexzentrizität ist. Deshalb also besitzen die bis jetzt bekannten  $\delta$  Cephei-Veränderlichen, welche ja alle ziemlich große Helligkeitsschwankungen zeigen, sehr enge und stark exzentrische Bahnen.

Die Ursache dafür, daß bei den  $\delta$  Cephei-Systemen der Begleiter durchweg eine sehr geringe Masse besitzt, ist vielleicht darin zu suchen, daß gerade ein großer Massenunterschied der Komponenten bei enger Bahn das Zustandekommen von größeren Exzentrizitäten begünstigt. Man darf vielleicht an Merkur erinnern, welcher der Sonne sehr nahe ist, im Vergleich zu ihr eine sehr geringe Masse besitzt und eine ziemlich stark exzentrische Bahn aufweist. Aber auch das Beobachtungsmaterial, welches bis jetzt über die  $\delta$  Cephei-Veränderlichen vorliegt, scheint unsere Annahme zu bestätigen. Die folgende kleine Tabelle gibt für die Systeme, welche eine Periode von weniger als zehn Tagen besitzen und hinreichend genau untersucht sind, die Periode  $P$  in Tagen ausgedrückt, die Bahnexzentrizität  $e$ , die Länge des Periastrons (für den Hauptstern)  $\varpi$  und die Massenfunktion  $f(m_1 m_2) = m_2^3 \sin^3 i / (m_1 + m_2)^2$ . Es bedeutet  $m_1$  die Masse des Hauptsterns und  $m_2$  die des Begleiters.  $f(m_1 m_2)$  ist im allgemeinen um so kleiner, je größer der Massenunterschied der Komponenten ist.

Stern	$P$	$e$	$\varpi$	$f(m_1 m_2)$
S Sagittae	8.38	0.35	70°	0.0049
W Sagittarii	7.60	0.32	70	0.0050
$\eta$ Aquilae	7.18	0.47	64	0.0043
X Sagittarii	7.01	0.40	94	0.0016
Y Sagittarii	5.77	0.16	32	0.0040
$\delta$ Cephei	5.37	0.36	83	0.0028
T Vulpeculae	4.44	0.43	111	0.0018
SU Cygni	3.85	0.21	346	0.0058
RT Aurigae	3.73	0.37	95	0.0018
SZ Tauri	3.15	0.24	77	0.0004
SU Cassiopeiae	1.95	—	—	0.0003
RR Lyrae	0.57	0.27	97	0.0006

Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist für die bis jetzt näher untersuchten  $\delta$  Cephei-Systeme tatsächlich, genau wie wir es erwarteten, die Massenfunktion  $f(m_1 m_2)$  im allgemeinen um so kleiner und damit der Massenunterschied der Komponenten um so größer, je kleiner die Periode oder je enger die Bahn ist. Heraus fällt nur X Sagittarii durch einen auffallend großen und SU Cygni durch einen auffallend kleinen Massenunterschied. Dafür besitzt aber auch X Sagittarii eine ziemlich große und SU Cygni eine ziemlich kleine Bahnexzentrizität. Das letztere System macht, wie wir sehen werden, auch in anderer Hinsicht eine Ausnahme.

Interessant ist vielleicht noch zu erwähnen, daß auch Nölkes<sup>1)</sup> Untersuchungen über die Entwicklung der Doppelsystemen darauf hinzudeuten scheinen, daß großer Massenunterschied das Entstehen von stark exzentrischen Bahnen begünstigt.

Besitzt also in einem sehr engen Doppelsystem der Begleitstern eine verhältnismäßig große Masse, so wird er

<sup>1)</sup> Abhandl. d. Naturw. Vereins Bremen, 1911, Bd. 20, H. 2.

natürlich auf dem Hauptstern, falls sich dieser in dem für die  $\delta$  Cephei-Veränderlichen typischen Entwicklungsstadium (F) befindet, auch Lichtausbrüche, und zwar sehr starke, hervorrufen. Da er sich aber nach unseren bisherigen Betrachtungen sehr wahrscheinlich in fast kreisförmiger Bahn bewegt, wird wohl die Lichtentwicklung während der ganzen Periode sehr gleichmäßig und infolgedessen die Amplitude der Lichtschwankungen nur sehr klein sein.

Was schließlich die auffallende Erscheinung betrifft, daß die Periastron vorwiegend jenseits der Knotenlinie liegen, so ist es klar, daß diese Eigenschaft auch die Entdeckung der Veränderlichkeit sehr erleichtert. Denn die Lichtschwankungen werden für uns am größten erscheinen, wenn uns der Hauptstern im Periastron die Seite zukehrt, auf welcher die Lichtausbrüche stattfinden. Dies ist der Fall, wenn sich der Begleiter beim Durchgang durch das Periastron ungefähr zwischen uns und dem Hauptstern befindet. Es ist also leicht verständlich, daß fast bei allen bis jetzt untersuchten  $\delta$  Cephei-Systemen das Periastron jenseits der Knotenlinie liegt. Von den oben zusammengestellten Sternen macht in dieser Hinsicht nur SU Cygni eine Ausnahme. Sonderbarerweise besitzt aber in diesem System, wie bereits erwähnt, der Begleiter eine auffallend große Masse. Er wird deshalb imstande sein, auf dem Hauptstern ganz besonders starke Lichtausbrüche hervorzurufen. Die Bahnexzentrizität ist zwar etwas kleiner als bei den meisten anderen  $\delta$  Cephei-Systemen, scheinbar aber doch noch größer, als sie dem großen Massenverhältnis entsprechend sein müßte. Dies mag die Ursache dafür sein, daß die Helligkeitsschwankungen noch groß genug sind, um gut von uns beobachtet werden zu können, obwohl uns der Hauptstern im Periastron nicht direkt die Seite zukehrt, auf der die Lichtausbrüche stattfinden.

Durch die Einwände, welche man gegen die Doppelsternhypothese gemacht hat, ist also auf keinen Fall deren Unhaltbarkeit erwiesen. Im Gegenteil, es scheint sogar, daß manches, was man gegen sie vorgebracht hat, nicht gegen sie, sondern für sie spricht.

Um wirklich der Frage beizukommen, ob die Doppelstern- oder die Pulsationstheorie für die  $\delta$  Cephei-Veränderlichen richtig ist, wäre es sehr wichtig, einen unzweifelhaften Bedeckungsveränderlichen mit gleichzeitigem  $\delta$  Cephei-Lichtwechsel von gleicher Periode wie die Bedeckungen aufzufinden. Es ist dies schwierig. Denn entweder besitzt der Begleiter eine sehr geringe Masse und bedeckt deshalb bei seinem Vorübergang nur einen kleinen Teil des Hauptsterns, oder aber er besitzt zwar eine beträchtliche Masse und kann deshalb bei seinem Vorübergang einen großen Teil des Hauptsterns bedecken, dafür aber ist dann seine Bahn, wie wir gesehen, sehr wahrscheinlich fast kreisförmig, sodaß sich die Lichtentwicklung im Periastron von der im Apastron in ihrer Stärke nur sehr wenig unterscheidet. Trotzdem scheint es, als ob es unter den bis jetzt bekannten Bedeckungsveränderlichen solche gebe, welche auch  $\delta$  Cephei-Charakter zeigen. Ich möchte nur auf das von mir in den Veröffentl. d. Bad. Sternw. zu Heidelberg, Bd. 7, Nr. 9 behandelte System RT Persei verweisen. Dessen Lichtkurve wird durch die Bahnelemente sehr gut dargestellt. Nur genau im Periastron, welches für den Hauptstern auch jenseits der Knotenlinie liegt, gibt die Beobachtung etwas größere Helligkeiten als die Theorie. Es ist dies wohl auch

so zu erklären, daß der Begleiter auf dem Hauptstern Lichtausbrüche hervorruft. Die dadurch entstehenden Lichtschwankungen sind scheinbar nur deshalb nicht sehr groß, weil die Bahn immer noch verhältnismäßig sehr weit und vor allem nur wenig exzentrisch ist. Merkwürdigerweise gehört RT Persei genau wie die meisten  $\delta$  Cephei-Sterne dem F-Typus an.

Als Resultat unserer kurzen Betrachtung finden wir demnach, daß für die  $\delta$  Cephei-Veränderlichen die Doppelsternhypothese, und zwar die *Hagensche*, doch wohl die wahrscheinlichere ist. Pulsationen kommen für sie vielleicht

höchstens insofern in Betracht, als es sich um kleine Oszillationen in der Radialgeschwindigkeit handelt, wie man sie bei manchen  $\delta$  Cephei-Sternen beobachtet haben will. Es ist sogar sehr wahrscheinlich, daß nach einem Lichtausbruch die Oberfläche des Sterns unter Schwankungen allmählich in ihren Gleichgewichtszustand zurückkehrt. Diese schwingende Bewegung der Oberfläche wird sich natürlich zu der Bahnbewegung addieren, wodurch kleine Oszillationen in der Radialgeschwindigkeit entstehen.

Königstuhl-Sternwarte, 1920 August.

H. Vogt.

## Beobachtung des Lichtwechsels von Nova Aquilae 3 (1918), $\alpha$ Ceti und $\chi$ Cygni im Jahre 1919.

Von J. Heilmann.

Unter anderen veränderlichen Sternen wurden im Jahre 1919 Nova Aquilae 3 (1918),  $\alpha$  Ceti und  $\chi$  Cygni von mir beobachtet, deren Helligkeitsschätzungen hier mitgeteilt seien. Der Beobachtungsort war bis Juni 20 Aeron. Observatorium Lindenberg ( $\lambda = -14^\circ 7'5$ ,  $\varphi = +52^\circ 12'6$ ), später Berlin, Sept. 1-5 Bergfelde ( $\lambda = -13^\circ 19'$ ,  $\varphi = +52^\circ 40'$ ). Als Instrumente dienten ein Goerzsches Prismenglas (Vergr. 8 $\times$ ) und ein azimuthal montiertes 68 mm-Fernrohr von Busch (Vergr. 45 $\times$ ); die mit letzterem angestellten Beobachtungen sind in der unten folgenden Zusammenstellung durch ein Sternchen gekennzeichnet.

Die Helligkeiten der Veränderlichen wurden nach dem Argelanderschen Verfahren geschätzt. Die mittlere Stufengröße war bei Nova Aquilae 3 0<sup>m</sup>081, bei  $\alpha$  Ceti 0<sup>m</sup>125, bei  $\chi$  Cygni 0<sup>m</sup>103. Mit diesen mittleren Stufenwerten wurde die Helligkeit der Veränderlichen zwischen die der Vergleichsterne, deren Größen meistens der Harvard Photometry entnommen wurden, eingeschaltet, wobei die Extinktion nicht berücksichtigt wurde. Auch bei den Vergleichen des Anfangs September in sehr geringen Höhen beobachteten  $\alpha$  Ceti mit dem 5<sup>o</sup> höher stehenden  $\alpha$  Piscium wurde eine Verbesserung wegen Extinktion nicht angebracht, weil die Helligkeitsdifferenzen gegen die aus Beobachtungen günstiger gelegener Vergleichsterne abgeleiteten Größen hierdurch nicht verschwanden, doch wurden die aus Vergleichen mit  $\alpha$  Piscium abgeleiteten Größen bei Zeichnung der Helligkeitskurve fortgelassen.

Aus den die Beobachtungen darstellenden Helligkeitskurven ergibt sich, daß  $\alpha$  Ceti und  $\chi$  Cygni ihre Maxima nahezu bei Beginn der Beobachtungen erreichten. Die Tage des größten Lichtes sind deshalb nur ungenau festzustellen; sie sind bei  $\alpha$  Ceti auf August 10 (3<sup>mo</sup>), bei  $\chi$  Cygni auf Mai 20 (5<sup>mo</sup>) anzusetzen, zeigen also gegenüber der Ephemeride der V. J. S. eine Verfrühung von 14, bzw. 17 Tagen. Die Helligkeitskurve der Nova Aquilae 3 deutet periodische Schwankungen von  $\frac{1}{3}$  Größenklasse Amplitude an.

In der unten folgenden Zusammenstellung der Helligkeitsvergleichen geben die vier ersten Spalten Zeit, Vergleiche und abgeleitete Helligkeit, die letzte Spalte Bemerkungen über den Luftzustand (5-stufige Skala), sowie über Störungen durch Wolken, Dunst ( $\infty$  mit Exponenten 0, 1, 2) und Mondschein.

### I. Nova Aquilae 3 (1918).

64 Serpentis 5<sup>m</sup>44 H<sup>1)</sup> |  $B = BD + 0^\circ 3543$  6<sup>m</sup>84 G  
 $A = BD + 0^\circ 4027$  6.20 G<sup>2)</sup> |  $C = +1$  3865 5.69 H

$D = BD - 1^\circ 3529$  6<sup>m</sup>45 H |  $x = BD \left\{ \begin{array}{l} +1^\circ 3814 \\ +1^\circ 3815 \end{array} \right\}$  6<sup>m</sup>95 B.D.  
 $E = +2$  3730 6.25 H |  $z = +0$  4051 7.40 G  
 $F = +1$  3837 6.91 H |  $u = +1$  3827 7.70 B.D.  
 $G = +0$  4055 7.41 G

<sup>1)</sup> H = Harvard Photometry.

<sup>2)</sup> G = K. Graff AN 5035.

1919	M. E. Z.	J. D. 2422...	Vergleiche	Gr.	Luft
Mai	20	11 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup>	A 2 N 1 B	6 <sup>m</sup> 56	2
		11 35	A 2 N 2 B	6.52	
		11 40	64 Serp. 3 N, C 2 N	5.73	
	21	12 54 100	A = N 3 B	6.40	2
		12 56	A 1 N 1 C	5.95	
		13 5	A 1 N 4 B	6.40	
		13 8	A 1 N 1 C	5.95	
	23	10 50 102	A 2 N 5 B	6.40	1-2
		10 58	A 2 N 3 D	6.28	
		12 10	A 1 N 1 E	6.23	
		12 16	A 1 N 1 E	6.22	
		12 18	C 4 N 4 B	6.34	
	26	12 33 105	64 Serp. 4 N 3 D	5.98	1-2
		12 34	N o. 5 A	6.17	
	29	11 28 108	A 2 N 2 D	6.33	2-3
Juni		11 36	A 3 N 4 E	6.22	$\infty^1$
		11 37	C 4 N 4 B	6.26	
	30	12 10 109	A 3 N 1 D	6.30	2, $\infty^0$
		12 20	C 4 N = E	6.13	(Wolken)
	3	11 55 113	A 3 N 4 B	6.48	1-2
		11 56	E 3 N 3 D	6.35	
	7	13 40 117	A 2 N 4 D	6.20	2-3, $\infty^1$ (Wolk.)
	8	11 8 118	A 2 N 3 D	6.28	1-2, C
		11 10	E 1 N 3 D	6.27	
	17	10 25 127	A 3 N 1 D	6.40	1-2, $\infty^0$
		10 43	A 3 N = D	6.44	
	19	11 20 129	A 3 N 2 D	6.37	1-2, $\infty^0$
		11 21	A 3 N 3 B	6.52	
		11 23	E 2 N 4 B	6.46	
		12 1	A 3 N 3 D	6.32	
Juli	20	10 34 130	A 3 N 2 B	6.56	1-2, $\infty^0$
		11 30	A 2 N 4 B	6.44	ci.
	2	11 49 142	A 3 N = B	6.64	(1-2)
	7	10 48 147	A 4 N = B	6.68	1-2, C
		10 50	E 3 N	6.49	
		10 51	D 2 N 1 B	6.68	
		11 1	D 1 N 2 B	6.60	
		11 50	A 4 N 2 B	6.50	