

## Untersuchungen über die Spektren der Sterne R Coronae borealis, 12 Canum venaticorum und 72 Ophiuchi.

Von *H. Ludendorff*.

Die Spektrogramme, auf deren Ausmessung die im folgenden mitgeteilten Ergebnisse beruhen, sind sämtlich von Dr. *Eberhard* und mir aufgenommen worden, und zwar, soweit es nicht anders bemerkt ist, mit dem am photographischen 32.5 cm Refraktor des Astrophysikalischen Observatoriums angebrachten Spektrographen IV (3 Prismen). Über die Ausmessung der Platten und die Reduktion der Messungen gilt das in meiner Arbeit über die Radialbewegung von  $\epsilon$  Aurigae (A. N. 4084) Gesagte. Auf den Platten ist die Strecke des Spektrums von  $\lambda$  4530 bis  $\lambda$  4300 scharf abgebildet, abgesehen von den vor Mai 1902 angefertigten Aufnahmen, bei welchen sich die Abbildungsschärfe von  $\lambda$  4415 bis  $\lambda$  4225 erstreckt.

### 1) R Coronae borealis.

R Coronae ist ein veränderlicher Stern mit außerordentlich großen Lichtschwankungen, die zuweilen über 8 Größenklassen betragen. Eine ausführliche Bearbeitung aller mir zugänglichen Beobachtungen seiner Helligkeit ist von mir unternommen worden und wird an anderer Stelle veröffentlicht werden. Hier möchte ich nur erwähnen, daß sich irgend eine Regelmäßigkeit in den Lichtschwankungen nicht erkennen läßt, und daß die normale Helligkeit, welche der Stern mitunter jahrelang beibehält, etwa der Größe 6.0 entspricht. Das Spektrum von R Coronae ist schon mehrfach beobachtet worden. Visuelle Beobachtungen desselben hat meines Wissens nur *Espin* veröffentlicht<sup>1)</sup>, und zwar fünf Beobachtungen aus dem Jahre 1890, drei aus dem Jahre 1893 und eine aus dem Jahre 1899. Zur Zeit aller dieser Beobachtungen befand sich der Stern nach der von mir gezeichneten Lichtkurve in normaler Helligkeit. *Espin* glaubte zeitweise helle Linien im Spektrum zu sehen, doch äußert er sich in dieser Hinsicht sehr vorsichtig. Mit größerer Sicherheit glaubt er im Jahre 1890 das Auftreten und Wiederverschwinden zweier breiter Absorptionsbanden beobachtet zu haben; ähnliches bemerkte er 1893. 1890 scheint *Espin*, abgesehen von den beiden Banden, Absorptionslinien nicht wahrgenommen zu haben, dagegen gelang ihm dies 1893 und 1899.

Der *Draper-Katalog* rechnet das Spektrum zur Klasse M (dritter Typus). Diese Einordnung beruht auf zwei Platten (1886 Juni 5 und 1888 Juni 29); bei der ersten von ihnen

scheint einige Unsicherheit über die Klassifizierung des Spektrums geherrscht zu haben, da man es, wie aus den Anmerkungen hervorgeht, zuerst zur Klasse F gerechnet hatte. An den beiden Daten war der Stern in normaler Helligkeit.

Die ersten Bestimmungen der Radialgeschwindigkeit von R Coronae rühren von *Frost*<sup>2)</sup> her. Er findet für dieselbe:

1903 Juli 24	$v = +14$ km	aus 11 Linien
1905 Aug. 25	$v = +13$ »	» 11 »

Das Spektrum war an beiden Tagen dem von  $\alpha$  Persei ähnlich. Nach der Lichtkurve war der Veränderliche 1903 Juli 24 7.4 Größe und in langsamer Helligkeitszunahme begriffen, 1905 Aug. 25 etwa 6.5 Größe und ebenfalls in Helligkeitszunahme befindlich. Die Beobachtungen von *Frost* sind dadurch besonders wertvoll, daß sie zu Zeiten angestellt sind, zu welchen der Stern sich nicht in seiner normalen Helligkeit befand, sondern etwas schwächer war.

Andere Beobachtungen des Spektrums von R Coronae sind mir nicht bekannt geworden.

Die mir zur Verfügung stehenden Spektrogramme von R Coronae sind alle zur Zeit normaler Helligkeit gewonnen worden. Es sind zunächst fünf mit Spektrograph IV aufgenommene Platten; in anbeacht der Lichtschwäche des Objektes mußten wir den Spalt ziemlich weit (0.025 bis 0.03 mm) öffnen und sehr lange belichten (3<sup>h</sup> 10<sup>m</sup> bei der ersten, 4<sup>h</sup> bei den übrigen Platten). Sämtliche Platten sind trotzdem schwach belichtet, ließen sich aber ziemlich gut ausmessen. Für die Radialgeschwindigkeit ergaben sich folgende Werte:

Platte Nr. 1072	1902 April 28	$v = +28$ km
1664	1904 Mai 30	+25
1965	1906 Mai 24	+22
1968	Juni 6	+26
1993	Juli 26	+22

Es konnten auf jeder Platte etwa 30 bis 40 Linien zur Ableitung der Radialgeschwindigkeit benutzt werden. Die fünf Werte von  $v$  stimmen recht gut überein und lassen keine Veränderung der Radialgeschwindigkeit erkennen. Bei der Beurteilung der Genauigkeit ist zu beachten, daß bei den langen Belichtungen sich schon recht wohl Biegungen im

<sup>1)</sup> Monthly Notices Vol. 51, Seite 12, A. N. 3200 und 3633.

<sup>2)</sup> Astrophysical Journal Vol. XXII (1905), Seite 215.

Spektrographen bemerkbar machen können, und daß, wie erwähnt, alle Spektren schwach belichtet sind.

Im Mittel aus den fünf Platten ergibt sich

$$v = +24.6 \text{ km.}$$

Diese Zahl weicht recht stark von dem Frottschen Werte ab. Frost schätzt, wie er mir freundlichst brieflich mitteilte, die Unsicherheit der Einzelwerte der Radialgeschwindigkeit auf 5 km. Größer dürfte jedenfalls durchschnittlich die Unsicherheit der von mir hergeleiteten Einzelwerte auch nicht sein. Man könnte also vermuten, daß die Radialgeschwindigkeit von R Coronae während seiner normalen Helligkeit zwar konstant ist, aber Änderungen während des Lichtwechsels erleidet. Allerdings möchte ich diese Vermutung nur mit allem Vorbehalt aussprechen, da bei so langen Belichtungen, wie sie sowohl Frost wie wir haben anwenden müssen, das Auftreten starker systematischer Fehler nicht ausgeschlossen scheint.

Auf den fünf gemessenen Spektrogrammen habe ich keine Änderungen im Aussehen des Spektrums wahrnehmen können; auf allen hat das Spektrum große Ähnlichkeit mit dem von  $\alpha$  Persei. Indessen konnte ich doch einen sehr wesentlichen Unterschied in den Spektren beider Sterne feststellen: In dem von R Coronae fehlt nämlich merkwürdigerweise die Wasserstofflinie  $H\gamma$ . Auf keiner der Platten ist eine Spur von dieser Linie vorhanden, weder als Emissions-, noch als Absorptionslinie. Ebenso fehlt  $H\gamma$  auch auf zwei anderen Spektrogrammen von R Coronae (1904 Juli 11 und 12), welche zu stark unterbelichtet sind, als daß sie hätten ausgemessen werden können. Die Spektralbezirke um  $H\beta$  und  $H\delta$  sind auf den mit Spektrograph IV aufgenommenen Platten nicht mehr enthalten.

Auf eine Anfrage hatte Herr Prof. Frost die Freundlichkeit, mir mitzuteilen, daß auch auf den beiden von ihm vermessenen Platten  $H\gamma$  fehlt; ebenso scheint auch  $H\beta$  zu fehlen, was sich aber nicht mit völliger Sicherheit entscheiden ließ, da dieser Teil des Spektrums sich bereits etwas außerhalb des Fokus befindet. Die zweite Platte reicht über  $H\delta$  hinaus und Herr Prof. Frost konnte feststellen, daß diese Linie ebenfalls fehlt.

Um das Verhalten der Wasserstofflinien außer  $H\gamma$  auch unsererseits zu untersuchen, haben Dr. Eberhard und ich mit dem Spektrographen D (ein Prisma, kleine Dispersion) noch weitere Aufnahmen von R Coronae gemacht, und zwar 1906 Juli 29 (90<sup>m</sup> Belichtung) und Juli 30 (3<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> Belichtung). Die Spektralgegend um  $H\beta$  ist auf diesen Platten nicht enthalten. Auf beiden Aufnahmen fehlen  $H\gamma$  und  $H\delta$ ; auf der zweiten, ziemlich weit ins Ultraviolett reichenden Aufnahme ist die Umgebung von  $H\zeta$  noch schwach sichtbar, und diese Linie scheint ebenfalls zu fehlen. Über das Verhalten von  $H\epsilon$  kann nichts gesagt werden, da diese Linie durch  $H$  überdeckt wird;  $H$  und  $K$  sind ziemlich breit, ähnlich wie bei  $\alpha$  Persei, und überhaupt hat das Spektrum von R Coronae, abgesehen von dem Fehlen der Wasserstofflinien, auch im Ultraviolett die größte Ähnlichkeit mit dem dieses Sterns.

In bezug auf den Charakter des Spektrums stimmen also die von Frost und die von mir untersuchten Platten völlig überein, obwohl die von Frost nicht in der Zeit der normalen Helligkeit aufgenommen sind. Ob die oben aus-

einandergesetzten, von unseren Resultaten abweichenden Ergebnisse, die auf dem Harvard-Observatorium und von Espin erhalten wurden, richtig sind, muß die Zukunft lehren. Man müßte in diesem Falle große Änderungen in dem Spektrum annehmen, wie sie ja bei dem merkwürdigen, noch ganz rätselhaften Lichtwechsel vielleicht nicht unwahrscheinlich sind. Andererseits ist zu bedenken, daß die Beobachtungen von Espin und vom Harvard-Observatorium alle zur Zeit der normalen Helligkeit angestellt sind, wo ich das Spektrum stets unverändert gefunden habe, und daß diese Beobachtungen mit für so schwache Objekte ziemlich unzureichenden Mitteln ausgeführt sind. Daß das höchst eigentümliche Fehlen der Wasserstofflinien irgendwie mit der Ursache der Helligkeitsänderungen zusammenhängt, darf wohl angenommen werden. Es wäre sehr wünschenswert, wenn das Spektrum von R Coronae möglichst häufig untersucht würde, namentlich auch zu Zeiten, wo der Stern sich nicht in seiner normalen Helligkeit befindet.

## 2) 12 Canum venaticorum.

Das Spektrum der helleren Komponente des keine merkliche relative Bewegung zeigenden Doppelsterns 12 Canum venaticorum zeichnet sich dadurch aus, daß die Mehrzahl der Linien außerordentlich schwach und schmal ist. Auf der ganzen hier in betracht kommenden Strecke des Spektrums befinden sich nur zwei auffällige Linien, nämlich die  $Mg$ -Linie  $\lambda$  4481 und  $H\gamma$ . Erstere ist schmal und nicht sehr kräftig, letztere auf den stärker belichteten Platten ebenfalls schmal, aber doch sehr viel breiter und auch viel kräftiger als die  $Mg$ -Linie. Außer diesen beiden Linien treten nun noch zahlreiche sehr schwache, vielfach an der Grenze der Sichtbarkeit befindliche Linien auf; da sie aber fast ausnahmslos sehr schmal sind, so lassen sie sich verhältnismäßig gut messen. Sie können meist sicher mit Linien des Rowlandschen Sonnenspektrums identifiziert werden, und zwar hauptsächlich mit solchen des Eisens, Titans, Mangans, Calciums und Chroms. Um bei der Ableitung der Radialgeschwindigkeiten möglichst von Willkür frei zu sein, wurden nur solche Linien ausgeschlossen, denen schon beim Messen das Prädikat »sehr unsicher« beigelegt war. Im folgenden gebe ich die aus den einzelnen Platten sich ergebenden Radialgeschwindigkeiten  $v$  und die Anzahl  $n$  der Linien, auf denen die Werte von  $v$  beruhen:

Platte	Datum	$v$	$n$
Nr. 543	1901 März 26	-2.6 km	10
1070	1902 April 27	+0.6	14
1071	» 28	-0.8	19
1401	1903 März 12	+0.6	10
1404	» 15	-1.9	10
1407	» 17	+0.8	14
1425	April 17	-1.6	13
1635	1904 April 18	-0.3	14
1641	» 24	+2.9	12
1648	Mai 7	+2.5	12
1834	1905 Mai 27	-3.0	11
1836	» 28	-0.7	17

Die Verschiedenheiten der Einzelwerte von  $v$  überschreiten nicht die Unsicherheiten der Messung, ja sie sind

sogar etwas kleiner, als man bei der zuweilen ziemlich schlechten Übereinstimmung der aus einzelnen Linien auf derselben Platte abgeleiteten Werte von  $v$  erwarten sollte. Im Mittel ist:

$$v = -0.3 \text{ km, mittl. Fehler } \pm 0.54 \text{ km.}$$

Von anderer Seite sind bisher keine Bestimmungen der Radialgeschwindigkeit von 12 Canum venaticorum veröffentlicht worden.

Bei der Ausmessung der Platten, bei der stets alle sicher erkennbaren Linien eingestellt wurden, zeigte sich nun die auffällige Tatsache, daß auf verschiedenen Platten häufig ganz verschiedene Linien gemessen wurden. Bei der großen Schwäche der Mehrzahl der Linien glaubte ich zuerst, daß diese Erscheinung durch die Verschiedenheiten der Schwärzung, und überhaupt des Aussehens der Spektren zu erklären sei, und in vielen Fällen ist diese Erklärung auch ohne Zweifel richtig; aber eine Vergleichung gerade der besten Platten bewies ziemlich sicher, daß die relativen Intensitäten einer Anzahl von Linien wirklich veränderlich sind. Ich möchte einige Beispiele anführen, die bei einer Vergleichung der besten Platten unter dem Mikroskop besonders ins Auge fielen:

Die Chromlinie  $\lambda 4351.93$  ist auf den Platten Nr. 1071 und Nr. 1641 sehr deutlich vorhanden, auf den ebenso guten Platten Nr. 1425, 1635, 1836 ist sie nicht sichtbar oder doch ihre Existenz höchst zweifelhaft, auf Platte Nr. 1070 scheint an ihrer Stelle eine feine, äußerst schwache Doppelinie zu stehen, die ich aber nicht für reell halte.

Die Eisenlinie  $\lambda 4472.88$  ist auf Platte Nr. 1836 deutlich, auf Nr. 1834 undeutlich, auf Nr. 1425, 1635, 1641 überhaupt nicht vorhanden.

Die Eisenlinie  $\lambda 4238.97$  ist auf Platte Nr. 543 deutlich, auf Platte Nr. 1070 und 1071 dagegen nicht vorhanden.

Auch die  $Mg$ -Linie  $\lambda 4481$  ist auf verschiedenen Platten von etwas verschiedenem Aussehen, bald ist sie schärfer, bald etwas weniger scharf. Irgendwelche Gesetzmäßigkeiten habe ich in den Veränderungen der Linien nicht finden können. Im ganzen konnte ich auf den 12 Platten gegen 60 verschiedene Linien messen und identifizieren. Zu bemerken ist, daß Lockyer in dem Spektrum von  $\alpha$  Andromedae, welches mit dem von 12 Canum venaticorum Ähnlichkeit besitzt, ebenfalls Änderungen in den Intensitäten der Linien gefunden hat.<sup>1)</sup>

### 3) 72 Ophiuchi.

Das Spektrum von 72 Ophiuchi gehört der Klasse Ia 2 an, die Linien in demselben sind aber breit und verwaschen. Es konnten auf der hier in Frage kommenden Strecke des Spektrums nur die Magnesiumlinie  $\lambda 4481$  und  $H\gamma$  gemessen

werden, während die anderen (hauptsächlich  $F\epsilon$ -) Linien so matt und so schlecht definiert sind, daß ich auf die Messung derselben verzichten mußte. Der Grund dafür, daß wir eine größere Anzahl von Spektrogrammen dieses Sterns angefertigt haben, obwohl er für den Spektrographen IV wenig geeignet ist, war der, daß auf der ersten, 1905 Juli 3 erhaltenen Aufnahme die Linie  $\lambda 4481$  doppelt zu sein schien, und ebenso auch auf der ersten Aufnahme aus diesem Jahre (1906 Juni 18). Auf anderen Platten hat sich aber diese Erscheinung nicht gezeigt, so daß sie wohl nicht als reell anzusehen ist. Für die Radialgeschwindigkeit fand ich folgende Werte:

Platte	Datum	$v$
Nr. 1860	1905 Juli 3	(-23) km
1863	» 8	-15
1865	» 9	-15
1868	» 14	-28
1870	» 17	-24
1874	» 30	-16
1973	1906 Juni 18	-23
1978	» 27	-22
1980	Juli 1	-29
1982	» 9	-24
1984	» 12	-23
1986	» 14	(-27)
1987	» 15	-30
1988	» 17	-24

Die eingeklammerten Werte beruhen allein auf Messung der  $Mg$ -Linie, da auf den betreffenden Platten der Spektralbezirk um  $H\gamma$  stark unterexponiert war. Die übrigen Werte beruhen auf Messung der  $Mg$ -Linie und von  $H\gamma$ , und zwar erhielten die Messungen der ersteren doppeltes Gewicht. Die Platte Nr. 1874 ist zweimal gemessen, die Einzelergebnisse waren  $-14$  km und  $-18$  km. Die Unsicherheit der Messungen ist ziemlich groß, da, wie erwähnt, die Linien breit und verwaschen sind. Weder bei den Platten aus dem Jahre 1905, noch bei denen aus diesem Jahre, übersteigt die Verschiedenheit der Einzelwerte von  $v$  die Messungsunsicherheit. Der Mittelwert von  $v$  für die erste Gruppe von Platten ist  $-20$  km, der aus den diesjährigen Platten  $-25$  km. Das Material ist nicht hinreichend, um aus der Verschiedenheit dieser beiden Mittelwerte auf eine Veränderlichkeit von  $v$  schließen zu dürfen. Der Mittelwert aus allen 14 Platten ist:

$$v = -23 \text{ km.}$$

Der mittlere Fehler dieses Mittelwertes ist  $\pm 1.3$  km.

Von anderer Seite sind bisher noch keine Werte für die Radialgeschwindigkeit von 72 Ophiuchi veröffentlicht worden.

Potsdam, Astrophysikalisches Observatorium, 1906 Aug. 16.

H. Ludendorff.

<sup>1)</sup> N. Lockyer and F. E. Baxandall, Some Stars with Peculiar Spectra. Proc. R. Soc., Series A, Vol. 77, p. 550 (1906). Es finden sich dort auch einige Bemerkungen über das Spektrum von 12 Canum venaticorum. Lockyer rechnet sowohl diesen Stern wie  $\alpha$  Andromedae zu den »Markabian Stars«.