ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

N^o 3603.

Band 151.

3.

Ueber eine physikalische Erklärung des Doppelspectrums der neuen Sterne.

Von J. Wilsing.

Im Spectrum der Nova Aurigae (1892) fielen besonders zahlreiche Doppellinien auf, welche je aus einer hellen Linie und einer an der brechbareren Kante derselben gelegenen Absorptionslinie bestanden. Diese Duplicität war bei den Wasserstofflinien besonders deutlich sichtbar, zeigte sich aber auch bei zahlreichen anderen Linien. Ein ganz ähnliches Doppelspectrum besitzt P Cygni, die Nova von 1600, und auch im Spectrum der Nova Normae (1893) liess sich die gleiche Verdoppelung der Wasserstofflinien erkennen. Ferner darf man mit Berücksichtigung gewisser, durch mechanische Bewegung verursachter Modificationen vielleicht auch das Spectrum von β Lyrae dem Typus der Doppelspectra zu rechnen. Die Erklärung dieser Spectra durch Annahme eines Doppelsternsystems mit Hülfe des Doppler'schen Principis führte bald auf Schwierigkeiten, welche in dem aussergewöhnlich grossen Betrage der relativen Verschiebung beider Liniensysteme und in der scheinbaren Unveränderlichkeit dieser Verschiebung ihren Grund hatten. Die Annahme, dass sich zwei Körper mit der constanten Geschwindigkeit von 150 bis 200 geogr. Meilen im Visionsradius bewegen, würde nur bei einem optischen Doppelsterne denkbar sein, während der ganze Verlauf der Erscheinung auf einen physikalischen Zusammenhang hinweist. Diese Betrachtungen rechtfertigten den Versuch, das charakteristische Doppelspectrum der neuen Sterne wesentlich als eine durch veränderte physikalische Bedingungen der Lichtentwicklung bewirkte Modification des normalen Spectrums aufzufassen.¹⁾ Als Ausgangspunkt für diese physikalische Erklärung boten sich die Untersuchungen der Herren W. J. Humphreys und J. F. Mohler,²⁾ welchen es gelang, im Bogenspectrum der Metalle kleine Linienverschiebungen nachzuweisen, als sie den Druck in dem die Elektroden einschliessenden Behälter auf 12 Atm. steigerten. Es zeigte sich, dass die Metalllinien mit wachsendem Druck stets nach dem weniger brechbaren Ende des Spectrums wanderten, und der Betrag der Verschiebung war bei verschiedenen Metallen für die gleiche Druckänderung merklich verschieden. Eine ähnliche Zunahme der Wellenlängen haben die Herren Eder und Valenta³⁾ bei einzelnen Linien im

Spectrum des Argons und Schwefels gefunden. Dennoch konnten, obgleich bei den angeführten Versuchen die Richtung der Verschiebung die gleiche war, wie diejenige der hellen Linien im Spectrum der Nova, beide Erscheinungen kaum verglichen werden, so lange die Grösse der Verschiebungen von verschiedener Ordnung blieb. Während die Aenderung der Wellenlängen der Metalllinien für eine Druckzunahme von 12 Atm. durchschnittlich kaum $0.005 \mu\mu$ betrug, belief sich die Verschiebung bei den Wasserstofflinien $H\gamma$ und $H\delta$ nach den Messungen von Herrn Vogel⁴⁾ auf $+0.85 \mu\mu$ resp. $+0.44 \mu\mu$, und diese Linien hatten zugleich eine Breite von $2.28 \mu\mu$ und $1.49 \mu\mu$. Es musste daher noch festgestellt werden, ob beide Erscheinungen bei weiterer Steigerung des Drucks in der Umgebung der leuchtenden Moleküle auch quantitativ vergleichbar werden würden. Nun gelang es mir in Metallspectren⁵⁾ sehr beträchtliche Linienverschiebungen und Verbreiterungen hervorzubringen, als ich den Flaschenfunken zwischen Metallelektroden in Flüssigkeiten überschlagen liess. Dass der Druck im Funken bei Uebergang desselben in Gasen bereits beträchtliche Werthe erreicht, haben neuere Versuche der Herren Haschek und Mache⁶⁾ gezeigt, bei welchen die Druckzunahme beim Uebergang des Funkens in einem geschlossenen Gefäss direct manometrisch bestimmt wurde. Unter einem erheblich grösseren Druck dürften sich aber die Metaldämpfe im Augenblick ihrer Entstehung befinden, wenn die Elektroden in Flüssigkeiten tauchen. In der That gelangt man durch Vergleichung mit den Messungsergebnissen von Humphreys und Mohler in diesem Fall zu Werthen, welche mehrere hundert Atmosphären erreichen. Während die Verschiebungen auch bei meinen Versuchen stets im Sinne der wachsenden Wellenlängen erfolgten, war ihre Grösse, gleichfalls übereinstimmend mit jenen Ergebnissen, bei den leichter schmelzbaren Metallen Kadmium, Zink, Zinn, Kupfer beträchtlich grösser als bei Nickel, Eisen und Platin. Zugleich waren bei einzelnen Metallen, wie Kadmium, Zink, Kupfer, die meisten Linien in breite Bänder auseinander gezogen, deren brechbarere Kanten theilweise noch ausserhalb der entsprechenden Metalllinien im normalen Spectrum lagen.

¹⁾ Ueber die Deutung des typischen Spectrums der neuen Sterne. Sitzungsberichte der Königl. Preuss. Akademie der Wissensch. zu Berlin. 1899. XXIV.

²⁾ Effect of pressure on the wave-lengths of lines in the arc-spectra of certain elements. Astrophysical Journal Vol. III, IV, V, VI.

³⁾ Spectralanalytische Untersuchung des Argons. Die Spectren des Schwefels. Denkschriften der Kaiserl. Akademie der Wissensch. in Wien. LXIV, LXVII.

⁴⁾ Ueber den neuen Stern im Fuhrmann. Abhandlungen der Königl. Preuss. Akademie der Wissensch. zu Berlin. 1893.

⁵⁾ S. a. a. O.

⁶⁾ Ueber den Druck im Funken. Wied. Ann. N. F. Bd. 68.

So war die brechbarere Kante der hellen Zinklinie λ 472.226 $\mu\mu$ um $+0.143 \mu\mu$ nach Roth verschoben, und die Breite des entsprechenden hellen Bandes betrug 1.177 $\mu\mu$. Ausserdem lagen aber in zahlreichen Fällen dunkle Absorptionslinien an der brechbareren Kante der hellen Linien, welche im Allgemeinen mit den Linien im normalen Spectrum coincidirten und nur in einzelnen Fällen, besonders deutlich bei der Zinklinie λ 481.071 $\mu\mu$, gleichfalls verschoben waren. Der Anblick der hellen Bänder war auch in Einzelheiten demjenigen der Sternlinien ähnlich, da in beiden Fällen die brechbarere Kante ziemlich scharf begrenzt, die nach Roth gelegene Kante des Bandes verwaschen war. Zu erwähnen ist noch, dass die Gruppe der δ Linien im Grün, welche dem Magnesium angehören, durch ein breites, nach Roth verwaschenes Band ersetzt wurde, welches nach Lage und Aussehen mit einer der hellsten Linien im Spectrum der Nova übereinstimmte.

Trotz der Aehnlichkeit des Anblicks dieser Spectra mit den Sternspectren blieb aber noch eine wesentliche Lücke auszufüllen, da bisher nur aus dem gleichen Verhalten der Spectrallinien der Metalle auf ähnliche Aenderungen der Wellenlängen der Wasserstofflinien bei zunehmendem Druck geschlossen werden konnte. Deshalb war der experimentelle Nachweis einer Linienverschiebung bei der hervorragenden Bedeutung, welche dem Wasserstoffspectrum zukommt, besonders wünschenswerth. Im Allgemeinen verbreitern sich die Wasserstofflinien mit zunehmendem Druck sehr bedeutend und werden zugleich so unscharf, dass eine genauere Wellenlängenbestimmung unmöglich ist. Durch besondere Untersuchungen über das Spectrum des Wasserstoffs in Geissler'schen Röhren habe ich indessen gezeigt, dass diese störende Verbreiterung bei zunehmendem Druck nicht eintritt, wenn die Temperatur der Entladung niedrig genug bleibt, und dass auf diesem Wege eine exacte Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Verschiebung und Drucksteigerung zu erlangen sein wird. Der Nachweis, ¹⁾ dass sich die Brechbarkeit der Wasserstofflinien mit dem Druck ändert, gelang mir aber wenigstens für die Linie $H\beta$ durch Anwendung desselben Verfahrens, welches sich bei der Untersuchung der Metallspectra fruchtbar erwiesen hatte. Als ich den Flaschenfunken zwischen Kohlenelektroden übergehen liess, leuchteten, wenn die Elektroden mit Wasser befeuchtet wurden, besonders die Wasserstofflinien $H\alpha$ und $H\beta$ hell auf. Da die Entwicklung des Wasserstoffs mit explosionsartiger Heftigkeit und in Folge dessen unter starkem Druck stattfand, so waren bei der hohen Temperatur des Funkens die Linien zwar ausserordentlich verbreitert, doch zeigte das Spectrogramm in der Mitte der hellen Linie $H\beta$ eine verhältnissmässig feine und gut begrenzte Absorptionslinie, welche 0.10 $\mu\mu$ weniger brechbar war, als die entsprechende Linie im normalen Spectrum einer Geissler'schen Röhre bei niedrigem Druck. Die brechbareren Wasserstofflinien $H\gamma$ und $H\delta$ waren hier bereits so stark verbreitert und verwaschen, dass sie durch die kräftigen Kohlenlinien und die stark entwickelten Cyanbänder vollständig überdeckt wurden.

Die physikalische Erklärung des Spectrums der neuen

Sterne geht nach diesen Darlegungen von der Voraussetzung aus, dass sich diejenigen leuchtenden Moleküle, welche die hellen Linien im Sternspectrum geben, unter höherem Druck befinden. Will man die Hypothese eines Doppelsternsystems bei der Nova Aurigae beibehalten, so würde man dem einen der beiden Sterne ein Spectrum mit dunklen, breiten Absorptionslinien zuschreiben müssen, welche die Stelle der Linien im normalen Spectrum einnehmen, während die von dem anderen Stern herrührenden hellen Linien nach Roth verschoben sind und die weniger brechbare Seite der Absorptionslinien in dem zur Beobachtung gelangenden Gesamtspectrum theilweise überlagern. Bei den rasch verlaufenden Lichtschwankungen, welche die Mehrzahl der neuen Sterne zeigte, wird die Annahme mechanischer, von Drucksteigerungen begleiteter Massenverschiebungen, nichts auffallendes haben, wenn man die analogen Erscheinungen der Protuberanzen in der Sonnenphotosphäre zur Vergleichung heranzieht. Aber auch auf chemischem Wege können Drucksteigerungen hervorgerufen werden, wenn die Temperatur niedrig genug ist, um die Bildung von Verbindungen zu gestatten. Auf eine verhältnissmässig niedrige Temperatur weist aber grade das Verhalten der Wasserstofflinien hin, wenn ihre Verschiebung im Sternspectrum als Wirkung des Drucks angesehen wird, da bei hoher Temperatur zugleich eine so beträchtliche Verbreiterung der Linien hätte eintreten müssen, dass dieselben vermuthlich nicht zu erkennen gewesen wären. Von diesem Standpunkt aus wäre die Erscheinung der Nova vielleicht als Folge einer Gleichgewichtsstörung eines in seiner Entwicklung bereits weit vorgeschrittenen Sterns aufzufassen, einer Störung, welche etwa durch Gravitationswirkungen bei dem nahen Vorübergang zweier Weltkörper verursacht werden kann.

Aber auch ein einfacher Stern kann unter gewissen Voraussetzungen ein Doppelspectrum geben. Wenn der eigentliche Kern des Sterns von einer so ausgedehnten und intensiv leuchtenden gasförmigen Hülle umgeben ist, dass die Strahlung der Randpartien, welche über die Scheibe hinausragen, einen erheblichen Bruchtheil der Gesamtstrahlung ausmacht, so wird ein Spectrum mit hellen Linien auftreten, welches sich über das Absorptionsspectrum des Kerns legt, und zwar wird durch die Strahlung der unteren, dem Kern benachbarten, hellsten und dichtesten Schichten der Hülle der weniger brechbare Theil der entsprechenden Absorptionslinien im Spectrum des Kerns aufgehellt werden müssen, sodass ein Spectrum mit Linienpaaren entsteht, welche sich je aus einer hellen und einer brechbareren dunklen Linie zusammen setzen. Diese Erklärung des Doppelspectrums durch Annahme einer ausgedehnten Atmosphäre, wie sie Herr Scheiner auch bei γ Cassiopejae voraussetzt, würde sich besonders für P Cygni wegen der Unveränderlichkeit des Spectrums dieses Sterns eignen, da bei dieser Hypothese wesentlich statische gegenüber den früher betrachteten dynamischen Druckwirkungen auftreten.

Wollte man den Boden des Kirchhoff'schen Gesetzes verlassen und das Gebiet der Luminescenzerscheinungen betreten, so würde man ebenfalls leicht zu einer Erklärung der

¹⁾ Ueber den Einfluss des Drucks auf die Wellenlängen der Linien des Wasserstoffspectrums. Sitzungsberichte der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1899. XXXVIII.

Entstehung von Doppelspectren gelangen. Nach den neueren Untersuchungen, besonders von Herrn E. Wiedemann, scheint die Fähigkeit bei niedriger Temperatur zu leuchten oder zu luminesciren, eine allgemein verbreitete zu sein. Diese Lichtprocesse, zu welchen auch die Fluorescenzerscheinungen gehören, nehmen gegenüber dem Kirchhoff'schen Gesetz eine Ausnahmestellung ein, da die Brechbarkeit der hellen Bänder geringer ist, als diejenige der entsprechenden Absorptionsstreifen, sodass durch Uebereinanderlagerung des Emissions- und Absorptionsspectrums unmittelbar ein Doppelspectrum zu Stande kommt. Auf diese Gattung von Doppelspectren sollte hier wenigstens hingewiesen werden, da die Möglichkeit einer luminescirenden Lichtentwicklung im Weltraum zugegeben werden muss, obschon dieselbe bisher der Beobachtung entgangen ist.

Schliesslich möchte ich einige Bemerkungen hinzufügen über den Einfluss, welchen die Veränderlichkeit der Wellenlängen auf die Bestimmung der Bewegungen der Sterne in der Richtung des Visionsradius hat. Nach dem Dopplerschen Princip sind bekanntlich die Verschiebungen, welche die Linien im Spectrum erleiden, proportional der relativen Geschwindigkeit von Lichtquelle und Beobachter und proportional der Wellenlänge selbst, dagegen unabhängig von der Beschaffenheit des leuchtenden Moleküls. Die Verschiebungen, welche durch Zunahme des Drucks hervorgerufen werden, sind nach den eingehenden Untersuchungen der Herren Humphreys und Mohler gleichfalls der Wellenlänge und dem Druck proportional, dagegen bei gleichem Druck verschieden für Linien gleicher Wellenlänge in den Spectren verschiedener Metalle und auch für verschiedene Serien zusammengehöriger Linien desselben Metallspectrums. Dieser Umstand erlaubt denjenigen Theil der Verschiebung, welcher von der Bewegung des Sterns herrührt, von dem durch Druck verursachten Theil zu trennen, sobald nur zwei Linien im Spectrum gemessen sind, deren Druckcoefficienten sich von einander unterscheiden. Bezeichnet man nämlich mit p den Druck in der Photosphäre des Sterns, mit v und Ω die Geschwindigkeit des Sterns im Visionsradius und die Geschwindigkeit des Lichts, mit α_1 und α_2 zwei constante Grössen und mit l_1 , l_2 die gemessenen Verschiebungen der Linien, so hat man:

$$p \alpha_1 + \frac{\lambda_1 v}{\Omega} = l_1 \quad p \alpha_2 + \frac{\lambda_2 v}{\Omega} = l_2$$

also:

$$v = \Omega \frac{l_1}{\lambda_1} - \alpha_1 \frac{\Omega}{\lambda_1} p$$

$$p = \frac{\lambda_2 l_1 - \lambda_1 l_2}{\alpha_1 \lambda_2 - \alpha_2 \lambda_1}.$$

Man erhält also eine um so sicherere Bestimmung von v und p , je grösser der Unterschied der constanten Proportionalitätsfactoren: $\beta_1 - \beta_2 = \frac{\alpha_1}{\lambda_1} - \frac{\alpha_2}{\lambda_2}$ ist. Nun kommen in den meisten Sternspectren ausser den Wasserstofflinien Eisenlinien vor, und die Verschiebung der letzteren erreicht erst bei 10 Atm. Druck 0.002 $\mu\mu$, während die Wirkung des Drucks auf die Wellenlängen des Wasserstoffs vermuthlich eine sehr beträchtliche ist, wenn auch hier die bei den Metallen gültige Regel zutrifft, dass die Grösse der Verschiebung der Flüchtigkeit des Elements umgekehrt proportional ist. Wenn man daher die Beziehungen zwischen Druck und Linienverschiebung für jene beiden Elemente kennt, so bietet die Bestimmung von v und p keine Schwierigkeit, und es vermag dann der Spectrograph, welchem man bereits die wichtigste Erweiterung der Kenntnisse von den mechanischen Bewegungen der Weltkörper verdankt, nicht nur einen Einblick in die chemische Zusammensetzung der Photosphären der Sterne zu eröffnen, sondern auch über die Druckverhältnisse Auskunft zu geben, welche in den leuchtenden Schichten herrschen. Nach den bisherigen Anschauungen und Erfahrungen wird man allerdings annehmen müssen, dass der Druck in den oberflächennächsten im Allgemeinen ein verhältnissmässig niedriger ist. So hat Herr Jewell ¹⁾ durch Vergleichung der Wellenlängen des Rowland'schen Sonnenspectrums mit den Wellenlängen der entsprechenden Metalllinien nur eine relative Verschiebung beider Systeme von 0.001 $\mu\mu$ bis 0.002 $\mu\mu$ gefunden, die einem Druck von wenigen Atmosphären entspricht. Indessen erreicht diese Grösse die Genauigkeitsgrenze, welche die Messungen in Sternspectren mit Anwendung der neuesten Hilfsmittel besitzen, und auch die Möglichkeit höherer Spannungen würde nach den vorstehenden Ausführungen in einzelnen Fällen nicht ausgeschlossen sein.

Astrophysikalisches Observatorium, Potsdam, 1899 im September.

J. Wilsing.

¹⁾ The coincidence of solar and metallic lines. Astrophysical Journal III, 1896.

Ueber das Spectrum von P Cygni.

Von A. Belopolsky.

Ich erhielt einige Spectrogramme des bekannten Sterns P Cygni mittelst des hiesigen Zweiprismenspectrographen am 30 Zöll. mit einer Camera von 25 cm Länge.

Als Vergleichspectra befinden sich auf den Platten die künstlichen Wasserstofflinien F und $H\gamma$, mehrere Eisenlinien, eine Linie Sn und mehrere Luftlinien (N).

Wie bekannt, sind im Spectrum dieses Sterns die Wasserstofflinien, die Heliumlinien und andere hell. Dabei

ist fast neben jeder hellen Linie eine dunkle vorhanden. Besonders hell erscheinen auf meinen Spectrogrammen die Linien F , $H\gamma$ und 447.2 $\mu\mu$. Die Lage der hellen Linien coincidirt etwa mit der normalen Position dieser Linien, während die entsprechenden dunklen Linien stark gegen das violette Ende des Spectrums verschoben sind. Es ist bemerkenswerth, dass im Sternspectrum fast jeder der vorhandenen künstlichen Luftlinien (N) eine Linie entspricht,