

ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

N^o 3476.

Band 145.

20.

Ueber das Spectrum des Wasserstoffs in den Nebelflecken.

Von *J. Scheiner.*

Das Spectrum des Wasserstoffs in den Nebelflecken unterscheidet sich von demjenigen, wie es in Geissler'schen Röhren erzeugt wird, bekanntlich dadurch, dass bei guter Sichtbarkeit von $H\beta$ (F) die $H\alpha$ (C)-Linie gar nicht oder fast gar nicht wahrzunehmen ist, während in den Spectren der Wasserstoffröhren $H\alpha$ für gewöhnlich heller als $H\beta$ erscheint. Nur in einem einzigen Nebel, GC. 4390, wurde $H\alpha$ von Keeler sehr schwach bemerkt. Es ist schon früher die Aufmerksamkeit darauf gerichtet worden, dass man in der Lage ist, durch Abschwächen das Wasserstoffspectrum auf die Linie $H\beta$ im Blau zu reduciren. So geben bereits im Jahre 1868 Lockyer und Frankland (Proc. R. Soc. 17, 454) an, dass unter gewissen Bedingungen der Temperatur und des Druckes das Wasserstoffspectrum sich auf die Linie im Blau reducirt; über diese Bedingungen selbst aber fehlen alle näheren Angaben. Im gleichen Jahre hat Huggins (Phil. Trans. 1868, 544) gezeigt, dass durch Abschwächung der Helligkeit des Stickstoffspectrums letzteres auf eine einzige Linie im Grün zurückgeführt werden kann, und zwar, was das wesentliche ist, durch eine rein subjective Abschwächung, hervorgerufen durch neutral absorbirendes Glas oder durch Vergrößerung der Entfernung der Geissler'schen Röhre. Huggins kommt hierdurch zu folgendem bemerkenswerthen Schlusse: »Es ist klar, dass durch Herabsetzung der Intensität auch beim Wasserstoffspectrum schliesslich die Linie im Blau ($H\beta$) allein übrig bleibt, während die anderen Linien zu schwach werden, das Auge zu afficiren.« Die Richtigkeit der Huggins'schen Vermuthung ist später (1880) von Fievez durch directe Versuche bestätigt worden.

Es ist hiernach sehr wahrscheinlich gemacht, dass die Ursache der schwierigen Sichtbarkeit von $H\alpha$ in den Nebelspectren eine rein physiologische ist, d. h. dass sie allein auf dem den Physiologen wohlbekannten Purkinje'schen Phänomen beruht. Indessen scheint diese Erklärung doch nicht allgemein angenommen worden zu sein, so hat kürzlich noch Keeler (Publ. d. Lick Obs. 1894) in seiner schönen Untersuchung über die Spectra der Nebelflecken die Ansicht ausgesprochen, dass wegen der erwähnten Eigenthümlichkeit des Wasserstoffspectrums die Glühtemperatur der Nebelflecken eine sehr hohe sein müsse. Ganz neuerdings (A. N. 3471) hat auch Herr Runge physikalische Schlüsse aus dieser Erscheinung gezogen.

Es erschien mir daher wünschenswerth, die Frage über das Leuchten des Wasserstoffs in den Nebelflecken etwas

genauer zu untersuchen und festzustellen, ob es gelingt, durch Herbeiführung von Bedingungen, die sich denen nähern, unter welchen Nebelflecken leuchten, objective Veränderungen des Wasserstoffspectrums in dem angedeuteten Sinne zu erhalten, oder ob die subjective Schwächung des Lichts allein hierfür maassgebend ist und in welchem Betrage.

Das Leuchten der Nebelflecken findet im Weltraum unter zwei Umständen statt, die sich im Laboratorium nur angenähert herstellen lassen. Einmal sind die Gase zweifellos äusserst verdünnt, die Leuchterregung ist nur eine sehr schwache, und die Leuchtwirkung kommt nur durch die enorme Dicke der leuchtenden Schichten (von vielen Millionen von Kilometern) zu Stande, und dann findet das Leuchten bei einer äusseren Temperatur statt, die nur wenig von dem absoluten Nullpunkt verschieden sein kann.

In ersterer Beziehung liegen bereits mancherlei Erfahrungen vor. Man kann in weiten Röhren bei schwachen elektrischen Erregungen das völlige Verschwinden der Wasserstofflinien beobachten, während sie bei grösserer Schichtendicke — durch die Längssicht der Röhre — wieder auftreten. Dabei verschwindet, wie schon eingangs erwähnt, zuerst die $H\alpha$ -Linie und dann erst $H\beta$; das Auftauchen findet in der umgekehrten Reihenfolge statt.

Ueber etwaige Veränderungen des Gasspectrums durch Erniedrigung der äusseren Temperatur sind von Koch (Wied. Ann. 38) im Jahre 1889 Versuche angestellt worden. Derselbe beobachtete weite Geissler'sche Röhren, die durch einen starken Inductionsapparat zum Leuchten gebracht waren bei Temperaturen zwischen -80° und -100° (durch eine Mischung von fester Kohlensäure mit Aether erzeugt), konnte hierbei aber keinerlei Aenderung der Spectra beobachten.

Nachdem es jetzt mit Hülfe der verflüssigten Luft mit verhältnissmässiger Leichtigkeit möglich ist, Temperaturen bis zu -200° zu erzeugen, hielt ich es für angezeigt, die Koch'schen Versuche zu erweitern, hierbei aber das Leuchten nicht durch den Inductionsstrom selbst, sondern durch elektrische Wellen hervorzurufen, weil dann eine viel geringere Erhöhung der äusseren Temperatur stattfindet.

Das zu den Versuchen erforderliche grössere Quantum flüssiger Luft erhielt ich durch das dankenswerthe Entgegenkommen des Abtheilungsvorstandes der Urania in Berlin, Herrn Dr. Spies, der mich auch bei den Versuchen selbst freundlichst unterstützt hat. Zur Aufnahme der flüssigen Luft,

in welche die Geissler'sche Röhre direct eingetaucht wurde, diente ein doppelwandiges Glasgefäss, in welchem der Raum zwischen den beiden Wänden möglichst evacuirt war. Es ist dies nothwendig, weil sonst das Gefäss sofort von aussen so stark bereift, dass jede Beobachtung unmöglich wird. Auch so, wo die äussere Glaswandung nur noch durch Strahlung abgekühlt wird, findet starke Reifbildung statt; die Temperatur des äusseren Glasmantels liegt aber oberhalb der Gefrieretemperatur des Alkohols, so dass der Reif durch Bepulsen mit Alkohol entfernt werden kann. Die Erregung der Röhre fand in dem Felde eines Tesla'schen Hochspannungs-Transformators statt, sie leuchtete hierbei nur schwach, so dass die Wasserstofflinien eben deutlich zu erkennen waren. Irgend ein Unterschied in der relativen oder absoluten Helligkeit der Wasserstofflinien konnte bei abgekühlter Röhre gegenüber den gewöhnlichen Verhältnissen nicht bemerkt werden, auch dann nicht, als zur Vermeidung von Temperaturerhöhung durch das glühende Gas selbst die Erregung des Teslafeldes nur durch einen einzelnen Funken erfolgte, wobei das aufblitzende Spectrum beobachtet wurde. Da nun der Raum oberhalb der flüssigen Luft mit Hülfe einer Luftpumpe bei den Versuchen noch evacuirt wurde, so dürfte die äussere Temperatur des Wasserstoffgases beim Aufblitzen durch einen einzelnen Funken thatsächlich nicht oberhalb -200° gelegen haben.

Diese Versuche bestätigen also die früheren Koch'schen und führen zu dem weiteren Resultat, dass das Wasserstoffspectrum bei äusseren Temperaturen bis zu -200° sich nicht ändert, soweit dies ohne besondere Messungen constatirt werden kann. Diese Temperatur nähert sich der des absoluten Nullpunktes, -273° , doch schon einigermaassen, und man wird daher mit grosser Wahrscheinlichkeit aussprechen können, dass durch Erniedrigung der äusseren Temperatur Aenderungen in den Intensitäten der Wasserstofflinien überhaupt nicht eintreten werden.

Es steht das auch vollständig im Einklang mit den neueren Anschauungen über das Leuchten von Gasen, nach welchen die Lichtemission der Gase, die Linienspectra erzeugt, durch Bewegungen innerhalb der einzelnen Molecüle erfolgt, also unabhängig von der äusseren Temperatur ist.

Ich gehe nun zur Untersuchung des physiologischen Verschwindens der $H\alpha$ -Linie über; um aber die Resultate derselben rein zu erhalten, war es nothwendig, vorher festzustellen, ob das frühzeitige Verschwinden der $H\alpha$ -Linie bei objectiver Abschwächung durch Verminderung der elektrischen Erregung wenigstens theilweise auf einer wirklichen Veränderung des Helligkeitsverhältnisses von $H\alpha$ zu $H\beta$ beruhe. Zu diesem Zwecke verglich ich im Spectralphotometer die Helligkeiten von $H\alpha$ und $H\beta$ mit den Helligkeiten der entsprechenden Wellenlängen im Spectrum einer Petroleumflamme. Ich erhielt hierbei bei zwei verschiedenen Geissler'schen Röhren für Erregung durch starken Inductionsstrom und durch schwache elektrische Wellen die folgenden Zahlen, welche angeben, wie viel mal heller das Roth im Spectrum der Petroleumflamme als $H\alpha$ erscheint, wenn die Helligkeit von $H\beta$ gleich der der entsprechenden Wellenlänge im continüirlichen Spectrum gesetzt wird.

Inductionsstrom	Wellen
3.4	4.0
2.1	3.3
2.8	3.4
2.7	2.1
2.8	3.2

Diese Zahlen sind zwar Mittelwerthe aus je vier Einstellungen; bei der Schwierigkeit derartiger Beobachtungen aber sind sie ziemlich unsicher, so dass die Endwerthe 2.8 und 3.2 als in guter Uebereinstimmung befindlich betrachtet werden müssen. Es ist daher festzustellen, dass bei den von mir angewandten objectiven Abschwächungen, die bis zu einem Fünzigstel der ursprünglichen Intensität gehen, reelle Aenderungen des Helligkeitsverhältnisses von $H\alpha$ zu $H\beta$ nicht eingetreten sind, und dass daher die nun folgenden Zahlen rein physiologische Vorgänge ausdrücken.

Um die verschiedenen Intensitätsabschwächungen zu messen, bei denen die Linien des Wasserstoffs zum Verschwinden gebracht werden können, liess sich das Spectralphotometer und überhaupt ein zusammengesetztes Spectroskop nicht verwenden, weil in diesen Instrumenten bei schwachen Erregungen die Linien nicht mehr sichtbar waren. Ich benutzte daher die folgende einfache Vorrichtung. Die Geissler'sche Röhre wurde in der deutlichen Sehweite, eventuell auch etwas weiter, aufgestellt und direct durch ein gerad-sichtiges Prismensystem betrachtet, wobei die Capillare der Röhre selbst als Spalt diente. Zwischen Röhre und Prismensystem waren zwei Nicol'sche Prismen eingeschaltet, von denen eines in messbarer Weise gedreht werden konnte. Durch die Drehung dieses Nicols konnten die Wasserstofflinien zum Verschwinden gebracht werden.

In allen Fällen, auch bei schwachen Erregungen in weiten Capillaren, erschien mir die $H\alpha$ -Linie stets heller als die $H\beta$ -Linie; durch Abschwächen des Lichts trat dann bei einer gewissen Intensität scheinbar Gleichheit der beiden Linien ein, darauf verschwand $H\alpha$ und später $H\beta$.

Die Feststellung der Verschwindungsmomente ist natürlich eine recht unsichere, doch stimmen die erhaltenen Zahlen bei jeder einzelnen Beobachtungsreihe ziemlich gut überein. Die starken Unterschiede in den beiden von mir beobachteten Reihen mögen zum Theil auf wirklichen Unterschieden in der Empfindlichkeit der Augen beruhen; zum grösseren Theil aber sind sie auf Unterschiede in den provisorischen Versuchsanordnungen, besonders aber in den scheinbaren Breiten der Linien zurückzuführen, wodurch sehr starke Veränderungen in der Auffassung der Linien entstehen, deren genauere Untersuchung aber wohl nur physiologisches Interesse hat. Dieselben stehen in engem Zusammenhang mit den ganz kürzlich veröffentlichten physiologischen Untersuchungen von Lummer: Ueber Graugluth und Rothgluth, Wied. Ann. Bd. 62, und es sei hier nur so viel bemerkt, dass für meine Augen die Farbenempfindung des Roth bis zum vollständigen Verschwinden bestehen bleibt, während bei der $H\beta$ -Linie vor dem Verschwinden die Empfindung des Blaugrün aufhört und die Linie einfach grau erscheint.

Das folgende Täfelchen enthält nun die aus zahlreichen Beobachtungen gewonnenen Intensitätsverhältnisse für die

Verschwindungsmomente von *C* und *F*, sie geben also an, um wie viel mal das Licht nach dem Verschwinden von *Ha* noch abzuschwächen war, um *Hβ* auszulöschen.

		Scheiner		Hartmann
		I	II	
Weite Capillare,	starker Inductionsstrom	35.4	14.2	30.0
	elektrische Wellen	8.1	8.1	8.0
Mittlere Capillare,	starker Inductionsstrom	31.1	7.8	28.7
	schwacher Inductionsstrom	15.1	19.3	—
Enge Capillare,	elektrische Wellen	13.0	10.6	24.9
	elektrische Wellen	18.1	—	27.6

Hieraus ist zu ersehen, dass sowohl für Herrn Dr. Hartmann als auch für mich eine mindestens 8fache Abschwächung des Lichtes erforderlich ist, um nach dem Verschwinden von *Ha* *Hβ* auszulöschen. Unter Umständen kann sich dieser Betrag aber auf das 30fache steigern.

Von besonderem Interesse sind nun die Beobachtungen, welche Herr H. C. Vogel die Güte hatte, an einer Röhre mit schwachem Inductionsstrom anzustellen, da sein Auge für Roth wenig empfindlich ist, während es dafür auffallend weit ins Ultraviolett hinein zu empfinden vermag.

Die Relativzahl für die Verschwindungsintensität von *Ha* und *Hβ* wächst bei Herrn Vogel bis zum 5fachen des Maximalbetrages für mich, nämlich bis zu 150, während sie umgekehrt beim Verschwinden der *Hγ*-Linie nur den vierten Theil des von mir beobachteten Werthes annimmt.

Als gänzlich unabhängige Bestätigung der gefundenen Zahlen habe ich schliesslich noch folgenden Versuch angestellt. Im Spectralphotometer blendete ich mit Hülfe des Ocularspaltes aus dem continuirlichen Spectrum der Petroleumflamme an der Stelle der *Ha*- und *Hβ*-Linien feine künstliche Linien heraus, deren Aussehen vollständig dem der Wasserstofflinien in einer engen Capillare entsprach. Beim Abschwächen traten genau dieselben Erscheinungen ein, wie bei den wirklichen Wasserstofflinien; als Verhältnisszahl erhielt ich hier den Werth 29.2.

Ich bemerke noch, dass die scheinbare Gleichheit von *Ha* und *Hβ* für mein Auge bei Intensitäten stattfand, die

Potsdam, Kgl. Observatorium, 1898 Januar.

F. Scheiner.

bei den einzelnen Versuchen zwischen dem 2- bis 10fachen der Verschwindungsintensität von *Ha* lagen.

Da nun in allen hier aufgeführten Versuchen die *Hβ*-Linie beim Verschwinden von *Ha* wesentlich heller erschien, als ich sie jemals in einem Nebelspectrum gesehen habe, so ist also folgendes Resultat festzustellen: Das Fehlen der *Ha*-Linie im Wasserstoffspectrum der Nebelflecken beruht auf rein physiologischen Gründen, und es ist daher nicht thunlich, aus dieser Eigenschaft des Wasserstoffspectrums in den Nebelflecken irgend welche Schlüsse über die physikalischen Bedingungen, unter denen das Leuchten in diesen Himmelskörpern stattfindet, zu ziehen.

Es ist klar, dass derartige starke physiologische Besonderheiten unseres Auges auch für viele andere astronomische Beobachtungen von Bedeutung sind. Sie haben aber, trotzdem sie schon längst bekannt sind, nur selten eine gebührende Berücksichtigung gefunden. Ich erinnere hier bloss an die systematischen Unterschiede zwischen den Helligkeitsbestimmungen röthlich gefärbter heller und schwacher Sterne, worauf schon vor einer Reihe von Jahren Herr Wilsing aufmerksam gemacht hat (Astr. Nachr. 112 p. 280), und an die relativen Intensitätsunterschiede in den Nebellinien, die an den verschieden hellen Theilen des Orionnebels von einzelnen Beobachtern gesehen worden sind. Obgleich in diesem Falle die Wellenlängenunterschiede der in Frage kommenden Linien nicht gross sind, muss schliesslich an der Grenze der Sichtbarkeit die Intensitätsabnahme eine so verschiedene sein, dass scheinbar vollständige Umkehrung der Intensitätsverhältnisse eintreten kann.

Bemerkung zu den spectrokopischen Beobachtungen des Herrn Runge auf der Lick-Sternwarte.

Von *F. Scheiner.*

In Nr. 3471 der Astr. Nachr. hat Herr Runge seine Bestätigung der Campbell'schen Beobachtungen in Betreff der verschiedenen relativen Helligkeit der drei Nebellinien mit folgender Bemerkung verbunden: »Herr Scheiner hat diese Verschiedenheiten in den relativen Intensitäten der drei Linien bestritten und ist sogar so weit gegangen, diese Beobachtungen Campbell's als Beispiel anzuführen, woraus dessen Unzuverlässigkeit geschlossen werden könne.« Ich erlaube mir, dem gegenüber zu citiren, was ich an der von Herrn Runge angeführten Stelle wirklich geschrieben habe: »doch

muss gesagt werden, dass die Keeler'schen spectrokopischen Beobachtungen wegen ihrer Sorgfalt und der Feinheit ihrer Discussion das grösste Vertrauen verdienen, während dies von den Beobachtungen seines Nachfolgers nicht in dem gleichen Maasse gesagt werden kann.« Das Wort »Unzuverlässigkeit« kommt hierin nicht vor; ich habe nur das Maass des Vertrauens zu den Beobachtungen der Herren Keeler und Campbell in Vergleich gezogen und den Beobachtungen des ersteren wegen der Sorgfalt und Feinheit der Discussion den Vorzug gegeben, und das halte ich auch heute noch