



J. Hartmann

Spectrographische Geschwindigkeitsmessungen an Gasnebeln

In:

Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. –
Berlin: Verlag der Königlich Akademie der Wissenschaften (in Commission bei Georg
Reimer)

Jahrgang 1902 : Erster Halbband (Januar bis Juni)

S. 237-244

Persistent Identifier: [urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-41529](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-41529)



Spectrographische Geschwindigkeitsmessungen an Gasnebeln.

VON DR. J. HARTMANN
in Potsdam.

(Vorgelegt von Hrn. VOGEL.)

Die Linienspectra von Gasnebeln sind schon häufig photographisch aufgenommen worden, jedoch hat man meines Wissens bisher noch nicht den Versuch gemacht, diese Aufnahmen zur exacten Messung der Bewegung in der Gesichtslinie zu verwenden. Es mag diess seinen Grund darin haben, dass die betreffenden Spectrogramme entweder ohne nebengelagertes Vergleichsspectrum aufgenommen wurden, oder dass der Massstab der Aufnahmen für die Gewinnung genauer Resultate zu klein war. Die epochemachende Arbeit KEELER'S¹ hat zwar für 14 hellere Nebel, die ein Gasspectrum zeigen, schon verhältnissmässig genaue Werthe der Geschwindigkeiten festgelegt; allein wer die Schwierigkeit dieser auf optischem Wege ausgeführten Messungen kennt, wird zugeben müssen, dass durch Anwendung der modernen spectrographischen Methoden auch hier eine ganz wesentliche Steigerung der Genauigkeit zu erreichen sein muss. Diess halte ich für ausserordentlich wichtig: denn gelingt es, an Nebeln Geschwindigkeitsmessungen mit einer Fehlergrenze von wenigen Zehntelkilometern auszuführen, so ist mit Bestimmtheit zu erwarten, dass man innerhalb jedes einzelnen dieser Objecte relative Bewegungen auffinden wird, deren eingehendes Studium von grundlegender Bedeutung für die Kenntniss dieser Systeme sowie für unsere kosmogonischen Vorstellungen ist.

Eine gelegentliche Aufnahme des planetarischen Nebels G. C. 4390, die ich mit dem photographischen So^{cm} -Refractor machte, ergab bereits bei einer Belichtung von 15 Minuten ein sehr kräftiges Bild dieses Objects, und diess brachte mich auf den Gedanken, dass es schon mit den vorhandenen Sternspectrographen möglich sein müsse, wenigstens von den hellsten Nebeln Spectralaufnahmen zu erhalten.

¹ J. E. KEELER, Spectroscopic Observations of Nebulae. Publications of the Lick Observatory. Vol. III, 1894.

Zu meinen Versuchen habe ich die beiden für den 80^{cm} -Refractor construirten Spectrographen Nr. I und Nr. III benutzt. Der Apparat I besitzt ein Flintglasprisma von 60° , einen Collimator von 530^{mm} und eine Camera von 720^{mm} Brennweite. Wegen der geringen Dispersion und der langen Camera muss dieser Apparat gerade für die Nebelaufnahmen als ungeeignet bezeichnet werden. Derselbe hat jedoch den Vorzug, dass er die ganze Strecke des Spectrums von $\lambda 3600$ bis $\lambda 5900$ scharf abbildet, und er hat mir daher die gleichzeitige Aufnahme der Linie $H\gamma$ mit den grünen Nebellinien ermöglicht. Der Apparat III ist in der Form, wie ich ihn hier benutzt habe, zur Aufnahme der Nebelspectra schon besser geeignet. Er hat einen Collimator von 480^{mm} Brennweite und drei Flintglasprismen von je 63° . An Stelle der bei Sternaufnahmen gewöhnlich benutzten Camera von 560^{mm} Brennweite lässt sich eine kürzere von 410^{mm} anbringen, die eine entsprechend gesteigerte Lichtstärke des Brennpunktbildes besitzt. Diese Camera, deren Objectiv immer nur eine kurze Strecke des Spectrums scharf zeichnet, habe ich so eingestellt, dass die schöne Gruppe der Eisenlinien von $\lambda 4860$ bis $\lambda 5006$, die als Vergleichspectrum für die drei hellsten Nebellinien sehr geeignet ist, in der Mitte der Platte völlig scharf abgebildet wurde. Die Prismen blieben, um die gute Justirung des Apparates nicht zu verändern, auf das Minimum der Ablenkung für $H\gamma$ eingestellt. Mit diesen beiden Apparaten habe ich unter Mitwirkung von Hrn. Dr. LUDENDORFF folgende Aufnahmen ausgeführt.

Tabelle I.

Apparat und Plattennummer	1901	M. E. Z.	Nebel	Belichtungsdauer
I 120	September 23	8 ^h 35 ^m	G. C. 4390	100 ^m
I 123	" 24	8 25	G. C. 4390	90
I 127	" 25	9 4	G. C. 4373	120
I 144	October 31	8 45	N. G. C. 7027	120
III 389	September 30	10 30	G. C. 4373	270
III 390	October 1	8 20	G. C. 4390	180
III 392	" 3	8 25	G. C. 4390	210

Zu den einzelnen Aufnahmen ist Folgendes zu bemerken.

I 120. Es wurde der westliche Rand des Nebels auf der Mitte des im Positionswinkel 90° stehenden Spaltes gehalten. Die Linien füllen daher nicht die ganze Länge des Spaltes aus, sondern hören in dessen Mitte auf; dieselben sind sehr schwach, und nur die Hauptnebellinie ($\lambda 5007$), die ich mit N_1 bezeichnen will, lässt sich noch einigermaßen genau messen. Spuren von der zweiten Nebellinie N_2 ($\lambda 4959$) und von $H\beta$ vorhanden.

I 123. Sehr gute Aufnahme, Mitte des Nebels eingestellt. N_1 und N_2 kräftig, $H\beta$ noch gut zu messen. $H\gamma$ sehr matt und nur sehr schwer zu messen.

I 127. Etwas matte Aufnahme. Nur N_1 gut messbar, N_2 , $H\beta$ und $H\gamma$ sehr schwierig und ganz unsicher.

I 144. Nur N_1 und N_2 messbar. Von $H\beta$ und $H\gamma$ ganz schwache Spuren.

III 389. Ganz matte Aufnahme. Nur N_1 mit Mühe eben noch zu messen.

III 390. N_1 kräftig, N_2 noch gut messbar, $H\beta$ sehr schwache Spur, die unter dem Mikroskop so matt erscheint, dass sie nur mit grosser Mühe gemessen werden kann.

III 392. N_1 äusserst kräftig, N_2 kräftig, $H\beta$ zwar matt, aber recht gut zu messen.

Als Vergleichsspectrum diente das Bogenspectrum des Eisens unter Zwischenschaltung einer Mattscheibe. Ich habe folgende Wellenlängen (nach ROWLAND'S Sonnenspectrum) angenommen:

4294.30	4859.93
4315.26	4878.41
4337.22	4903.50
4352.91	4920.68
4376.11	4957.67 ¹
4736.96	5006.12

Jede Platte habe ich viermal ausgemessen, nämlich in jeder der beiden Lagen (Violett rechts, bez. links) in je zwei um $0^{\circ}5$ verschiedenen Stellungen der Messschraube. Die fortschreitenden Schraubenfehler sind genau ermittelt und in Rechnung gebracht. Die Einstellung der Linien erfolgte mit einem Doppelfaden und liess sich, falls die Linien genügend geschwärzt waren, mit ganz ausserordentlicher Sicherheit ausführen. Da die Emissionslinien der Nebel völlig das gleiche Aussehen haben wie die Linien des Vergleichsspectrums, so ist man bei diesen Messungen gegen systematische Einstellungsfehler in weit höherem Grade geschützt, als bei der Ausmessung von Sternspectren mit Absorptionlinien.

Um die beste Platte III 392 gehörig auszuwerthen, habe ich für dieselbe zwei Sätze von Messungen, also im ganzen eine achtmalige Ausmessung des Spectrums, durchgeführt. Ich werde die beiden Messungsreihen im Folgenden als III 392*a* und III 392*b* bezeichnen. Es ergaben sich folgende Wellenlängen der auf jeder Platte gemessenen Linien.

¹ Doppellinie (vergl. die Bemerkung weiter unten).

Tabelle II.

Platte	N_1	N_2	$H\beta$	$H\gamma$
I 120	5007.36			
I 123	5007.25	4959.34	4861.71	4340.86
I 127	5006.10	4958.26	4860.58	4339.65
I 144	5007.44	4959.58		
III 389	5005.89			
III 390	5007.30	4959.46	4861.79	
III 392a	5007.31	4959.42	4861.79	
III 392b	5007.27	4959.43	4861.76	

Diese Wellenlängen habe ich in folgender Weise benutzt. Zuerst wurde aus den Messungen der Wasserstofflinien $H\beta$ und $H\gamma$ auf den Platten I 123, III 390, III 392a und III 392b die Geschwindigkeit des Nebels G.C. 4390 abgeleitet (Tab. III). Mit der so gefundenen Geschwindigkeit wurden dann die Wellenlängen der Linien N_1 und N_2 bestimmt (Tab. IV), und mit diesen Wellenlängen ergaben sich dann endlich die Geschwindigkeiten aus sämtlichen Zahlen der Tabelle II (Tab. V).

Aus den Wasserstofflinien erhält man folgende Bestimmungen der Geschwindigkeit in der Gesichtslinie für G.C. 4390.

Tabelle III.

Platte	Linie	Wellenlänge im Nebel	$d\lambda$	V' (rel. z. \odot)	Reduct. auf \odot	V (rel. z. \odot)
I 123	$H\beta$	4861.71	+0.18 AE	+11.1	-25.8	-14.7 ($\frac{1}{2}$)
	$H\gamma$	4340.86	+0.23	+15.9	-25.8	- 9.9 ($\frac{1}{2}$)
III 390	$H\beta$	4861.79	+0.26	+16.0	-25.7	- 9.7
III 392a	$H\beta$	4861.79	+0.26	+16.0	-25.6	- 9.6
III 392b	$H\beta$	4861.76	+0.23	+14.2	-25.6	-11.4
Mittel						-10.75

Den aus der Platte I 123 resultirenden Werthen wurde wegen der durch die schwächere Dispersion des Apparates I bedingten geringeren Zuverlässigkeit dieser Zahlen das Gewicht $\frac{1}{2}$ gegeben. Wie man sieht, stimmen die gefundenen Geschwindigkeiten sehr gut überein. Für den Endwerth $V = -10^{\text{km}}75$ ergibt sich der w.F. $\pm 0^{\text{km}}56$, während der auf 13 Beobachtungstagen beruhende Endwerth, welchen KEELER für die Geschwindigkeit des Orionnebels aus den optischen Messungen der Linie $H\beta$ ableitete, noch einen w.F. von $\pm 1^{\text{km}}29$ besitzt. Man darf daher wohl behaupten, dass selbst mit den bei diesen vorläufigen Versuchen von mir benutzten, durchaus nicht gerade zweckmässigen Apparaten schon die Genauigkeit der KEELER'schen Messungen übertroffen worden ist. Zur richtigen Würdigung dieses durch das photographische Verfahren erreichten Resultates sei erwähnt, dass die von KEELER an-

gewandte Dispersion in der dritten und vierten Ordnung seines Gitters der Benutzung von 14 bez. 24 Prismen von 60° entsprechen würde. In Verbindung mit einem für diesen besonderen Zweck construirten Apparate würde daher das photographische Verfahren zu noch ganz wesentlich genaueren Resultaten führen.

Für die relative Bewegung des Nebels gegen den Beobachter hat man nunmehr:

	I 123	III 390	III 392
	km	km	km
Bewegung des Nebels gegen \odot	-10.75	-10.75	-10.75
Bahnbewegung der Erde	+25.66	+25.53	+25.43
Erdrotation	+ 0.16	+ 0.18	+ 0.20
	V' +15.07	+14.96	+14.88

Für diese drei Geschwindigkeiten ergibt sich die Correction der Wellenlänge der beiden Nebellinien N_1 und N_2 zu -0.25 \AA E . Aus den in Tabelle II aufgeführten scheinbaren Wellenlängen erhält man daher die folgenden wahren, vom Einflusse der Bewegung befreiten Werthe:

Tabelle IV.

Platte	N_1	N_2
I 123	5007.00 ($\frac{1}{2}$)	4959.09 ($\frac{1}{2}$)
III 390	5007.05	4959.21
III 392 a	5007.06	4959.17
III 392 b	5007.02	4959.18
Mittel	5007.04	4959.17

Auch hier ist die Übereinstimmung der unabhängig von einander gefundenen Zahlen so gut, dass die Mittelwerthe trotz des geringen Beobachtungsmaterials Vertrauen verdienen.

Die von mir gefundene Wellenlänge der Haupt-Nebellinie N_1 stimmt fast vollkommen mit dem von KEELER aus seinen Beobachtungen des Orionnebels abgeleiteten Werthe $\lambda = 5007.05 \pm 0.03$ überein. Dagegen finde ich die Wellenlänge der zweiten Linie merklich grösser als KEELER, der dafür den Werth 4959.02 ± 0.04 gibt. Dieser Werth beruht auf fünf Vergleichen der Nebellinie mit der Doppellinie $\lambda 4957.480$ und $\lambda 4957.785$ des Eisenspectrums. KEELER sah bei seinen Beobachtungen dieses Linienpaar nicht getrennt, und er benutzte daher als Wellenlänge für seine Vergleichslinie das arithmetische Mittel 4957.63 . In ROWLAND'S Sonnenspectrum haben die beiden Linien die Intensitäten 5 und 8; bildet man mit Benutzung dieser Intensitäten als Gewichten das Mittel, so erhält man für die Wellenlänge der durch Verschmelzung beider entstandenen Linie den Werth 4957.67 , welchen ich bei meiner Rechnung angenommen habe. Durch Benutzung dieses

Werthes würde KEELER'S Wellenlänge der zweiten Nebellinie übergehen in 4959.06, ein Werth, der immer noch 0.11 ÅE von meinem Resultate abweicht.

Um diese bei der Sicherheit der beiden Resultate noch etwas grosse Differenz aufzuklären, habe ich die folgenden Versuche mit Hülfe des grossen BAMBERG'schen Spectrometers des Astrophysikalischen Observatoriums und eines ROWLAND'schen Plangitters gemacht.

1. Im Spectrum vierter Ordnung wurde die relative Intensität der beiden Componenten der Doppellinie im Bogenspectrum des Eisens 1:2 geschätzt. Nimmt man diese Zahlen bei der Mittelbildung zu Gewichten, so ergibt sich die Wellenlänge 4957.683 für den optischen Schwerpunkt des Paares.

2. Da KEELER seine Messungen mit ziemlich weitem Spalt ausführen musste, so versuchte ich durch weites Öffnen des Spaltes eine Verschmelzung beider Componenten herbeizuführen. Die Linien vereinigten sich jedoch niemals zu einer gleichmässig leuchtenden Linie, sondern an der nach Violett zu liegenden Kante der Hauptlinie machte sich die schwächere Linie stets noch als schmaler Saum bemerklich. Ich habe trotzdem versucht, durch Anschluss an benachbarte Linien die Wellenlänge des vereinigten Linienpaares zu messen; ich fand $\lambda = 4957.685$. Bei der viel geringeren Dispersion der von mir angewandten Spectrographen verschmilzt das Linienpaar auf der photographischen Platte völlig zu einer scharfen Linie. Durch die unter 1 und 2 angegebenen Versuche wird die von mir für diese Linie angenommene Wellenlänge völlig bestätigt.

3. Da KEELER nicht das Spectrum des Bogens, sondern das des Funkens angewandt hat, so war zu vermuthen, dass der Intensitätsunterschied der Linien im Funkenspectrum ein anderer sein könne. Diess hat sich nun völlig bestätigt. Im Funken, der durch einen grossen Inductionsapparat und zwei Leidener Flaschen erzeugt wurde, war die Linie 4957.480 so schwach, dass sie neben der Hauptlinie kaum zu sehen war. Ich habe das Intensitätsverhältniss auf etwa 1:5 geschätzt. Bei dem weniger hellen Funken, den KEELER für sein Vergleichsspectrum benutzt hat, halte ich es danach für sehr wahrscheinlich, dass er überhaupt nur die Linie 4957.785 gesehen und an diese die Nebellinie angeschlossen hat. Nimmt man aber für KEELER'S Vergleichslinie die Wellenlänge 4957.78 statt 4957.63 an, so erhält man für die zweite Nebellinie nach KEELER'S Messungen die Wellenlänge 4959.17; dieser Werth stimmt genau mit meinem Resultat überein.

Unter Benutzung der von mir abgeleiteten Wellenlängen von N_1 und N_2 ergeben nun die in Tabelle II aufgeführten Messungen folgende Berechnung der Geschwindigkeiten.

Tabelle V.

Nebel	Platte	Linie	$d\lambda$	V'	Red. auf \odot	V
G. C. 4390 (h 2000)	Westrand	N_1	+0.32 AE	+19.2	-25.9	-6.7
		N_2	+0.21	+12.6	-25.8	-13.2
	Mitte	N_2	+0.17	+10.3	-25.8	-15.5
		$H\beta$	+0.18	+11.1	-25.8	-14.7
		$H\gamma$	+0.23	+15.9	-25.8	-9.9
	III 390	N_1	+0.26	+15.6	-25.7	-10.1
		N_2	+0.29	+17.5	-25.7	-8.2
		$H\beta$	+0.26	+16.0	-25.7	-9.7
	III 392 a	N_1	+0.27	+16.2	-25.6	-9.4
		N_2	+0.25	+15.1	-25.6	-10.5
		$H\beta$	+0.26	+16.0	-25.6	-9.6
	III 392 b	N_1	+0.23	+13.8	-25.6	-11.8
		N_2	+0.26	+15.7	-25.6	-9.9
		$H\beta$	+0.23	+14.2	-25.6	-11.4
	G. C. 4373 (IV 37)	Mitte	N_1	-0.94	-56.3	-0.1
N_2			-0.91	-55.1	-0.1	-55.2
$H\beta$			-0.95	-58.6	-0.1	-58.7
$H\gamma$			-0.98	-67.7	-0.1	-67.8
Nordrand		III 389	N_1	-1.15	-68.9	-0.1
N. G. C. 7027 (Webb)	Mitte	N_1	+0.40	+24.2	-19.6	+4.6
		N_2	+0.41	+24.8	-19.6	+5.2

Die Einzelwerthe von V , die mit Apparat III bestimmt wurden, zeigen eine sehr gute Übereinstimmung, wobei allerdings beachtet werden muss, dass für G. C. 4390 das Mittel der aus N_1 und N_2 abgeleiteten Geschwindigkeiten mit der aus $H\beta$ und $H\gamma$ abgeleiteten Geschwindigkeit nahe übereinstimmen muss, weil die Wellenlängen von N_1 und N_2 zuvor aus der durch $H\beta$ und $H\gamma$ bestimmten Geschwindigkeit berechnet worden sind. Die Resultate von Apparat I weichen etwas stärker ab. Auf den mit diesem Apparat aufgenommenen Spectrogrammen entspricht an der Stelle der Nebellinien eine Strecke von $0^{\text{mm}}01$ einer Wellenlängendifferenz von 0.46AE , d. h. einer Geschwindigkeit von 28^{km} . Da es nun nicht möglich ist, bei Benutzung hochempfindlicher Platten die Messung einer einzelnen Linie genauer als auf etwa $0^{\text{mm}}002$ auszuführen, so wird die einzelne Geschwindigkeitsbestimmung mit diesem Apparate eine Unsicherheit von mindestens $\pm 5^{\text{km}}$ behalten.

Für die einzelnen Platten ergeben sich aus den Zahlen der Tabelle V folgende Mittelwerthe.

Tabelle VI.

Nebel	Platte	V		
		nach HARTMANN	nach KEELER	
G. C. 4390 (h 2000)	Rand	I 120	- 6.7 ^{km}	
	Mitte	I 123	-13.3 ($\frac{1}{2}$)	
		III 390	- 9.3	
		III 392 a	- 9.8	
		III 392 b	-11.0	
		Mittel	-10.5	- 9.7 ^{km}
G. C. 4373 (IV 37)	Mitte	I 127	-59.5 ($\frac{1}{2}$)	
	Rand	III 389	-69.0	
	Mittel		-65.8	-64.7
N. G. C. 7027 (Webb)	Mitte	I 144	+ 4.9	+10.1

Ob der geringe Unterschied, den ich für den Rand und die Mitte der Nebel G.C. 4390 und G.C. 4373 gefunden habe, auf relative Bewegungen in diesen Nebeln zurückzuführen ist, möchte ich nach dem, was oben über die Genauigkeitsgrenze der mit Apparat I gemachten Aufnahmen gesagt wurde, noch nicht mit Sicherheit behaupten. Wichtiger erscheint mir der Umstand, dass auf fast allen Aufnahmen des Nebels G.C. 4390 die Linien eine schwache Krümmung sowie eine geringe Neigung gegen die Richtung der Linien des Vergleichsspectrums besitzen, wodurch mir das Vorhandensein relativer Bewegungen in diesem Nebel sehr wahrscheinlich geworden ist. Wegen des Verschwindens des Objectes in der Abenddämmerung war es mir bis jetzt nicht möglich, Gewissheit über diese Frage zu erlangen. Ich hoffe jedoch, dass es mir mit speciell für diesen Zweck construirten Spectrographen gelingen wird, die hier angedeuteten Untersuchungen mit Erfolg weiterzuführen. Auf Veranlassung des Hrn. Geh. Rath VOGEL, der den kleineren photographischen Refractor des Observatoriums wegen des grösseren Verhältnisses von Öffnung zu Brennweite für geeigneter zur Untersuchung der Spectra ausgedehnter Nebel hielt, hat im November vorigen Jahres Hr. Dr. EBERHARD mit diesem Instrumente Aufnahmen des Spectrums des Orionnebels begonnen, die in Bezug auf die Nachweisung relativer Bewegungen im Nebel zu Resultaten von grösserer Sicherheit geführt haben.