

**4. Über den Dopplereffekt
im Spektrum der Kanalstrahlen des Sauerstoffs;
von F. Paschen.**

Mit der in der vorigen Mitteilung beschriebenen Anordnung habe ich auch den elektrolytisch hergestellten und sorgfältig gereinigten Sauerstoff untersucht. Die Sauerstoffröhre ist trotz der Hähne und Schiffe leicht völlig rein zu erhalten, wenn man sie unter Stromdurchgang öfter mit reinem Sauerstoff spült. Der für Wasserstoff wertvolle Kohlebehälter ist für Sauerstoff sogar schädlich, weil die Verunreinigungen des Sauerstoffs im allgemeinen weniger als Sauerstoff absorbiert werden. Die Reinheit und Trocknung des Gases war so weit getrieben, daß sogar bei den geringsten Drucken nur Sauerstofflinien und die von der Zerstäubung der Aluminiumkathode herrührenden Aluminiumlinien auftreten, aber keine Wasserstofflinien. Je reiner der Sauerstoff und die Röhre ist, um so mehr tritt das Phänomen der Selbstevakuation auf und erfordert beständige Bedienung des Versuches zum Konstanthalten des Druckes und der Spannung. Daher waren so ausgedehnte Versuche wie mit Wasserstoff für mich ausgeschlossen.

Bei reinem Gase von nicht zu kleinem Drucke enthalten die Kanalstrahlen, wie bereits von Hrn. Goldstein gefunden, sehr hell das Serienspektrum des Sauerstoffs, welches genauer von Runge und mir¹⁾ untersucht ist. Da von 4 der 6 Serien des Sauerstoffs Linien zu sehen oder zu photographieren waren, schien es mir interessant, dieses Spektrum auf den Dopplereffekt hin zu untersuchen. Die genau von mir untersuchten Linien des Serienspektrums sind folgende: Die Triplets der stärkeren Tripletserie bei 6157, 5330, 4968, 4773 Å.-E., die Triplets der schwächeren Tripletserie bei 5436, 5020, 4802,

1) C. Runge u. F. Paschen, Wied. Ann. **61.** p. 641. 1897.

4673 Å.-E., das Triplet der Triplethauptserie bei 3947 Å.-E. die Linie 4368 Å.-E. der Hauptserie der drei anderen Serien.

Die starke Linie 3954,8 des Runge-Paschenschen Verzeichnisses der Linien des Sauerstoffspektrums, welche aber keiner der gefundenen oder vermuteten Serien angehört, ist im Kanalstrahlenlichte sehr schwach und gehört daher wohl nicht zum Serienspektrum.

Es zeigte sich, daß keine Linie dieses Serienspektrums auch nur eine Spur von Dopplereffekt aufwies, selbst dann nicht, als an eine 30 cm lange Röhre ein Potential von 25000 Volt angelegt war, welches in Sauerstoff schon ein Röntgenstrahlenvakuum erfordert. Die Linien bleiben vielmehr vollkommen scharf. Die Serienlinien des Sauerstoffs haben daher mit Sicherheit unter denjenigen Umständen keinerlei Dopplereffekt, unter denen bei Quecksilber nach den Herren J. Stark, W. Hermann und S. Kinoshita¹⁾ der Effekt deutlich vorhanden ist.

Dagegen war bereits bei sehr niedriger Spannung (unter 2000 Volt) deutlich ein Dopplereffekt zu bemerken bei einer Reihe von Linien, welche ebenfalls in den Kanalstrahlen des Sauerstoffs auftreten, bei niedrigeren Potentialen lichtschwächer, bei hohen aber lichtstark, und welche allgemein dem „elementary line spectrum“ zugezählt werden. Dieses Spektrum wird gewöhnlich in einer Geisslerröhre mit Flasche und Funkenstrecke erhalten: unter Bedingungen also, unter denen das Serienspektrum verschwindet. Die folgende Tab. I enthält in ihrer ersten und zweiten Kolumne die auf Rowlands standard wave-length's bezogenen bis auf 0,5 Å.-E. zuverlässigen²⁾ Wellenlängen der Linien, welche in den Kanalstrahlen den Dopplereffekt zeigten, mit den auf Eastmanfilms gefundenen Intensitäten. Die anderen Kolumnen führen frühere Messungen, welche Watts Index of spektra A. p. 116 u. 117 entnommen sind, zum Beweise, daß es sich um das „elementary line spectrum“ handelt.

1) J. Stark, W. Hermann u. S. Kinoshita, *Ann. d. Phys.* **21.** p. 462. 1906.

2) Eine genauere Ermittlung der Wellenlängen habe ich als überflüssig für den vorliegenden Zweck unterlassen. Relativ zueinander sind die Wellenlängen genauer.

Tabelle I.

Linien mit Dopplereffekt		Oxygen, Elementary line spectrum				
Int.	λ in Å.-E.	Schuster	Huggins	Hartley und Adeney	Thalén	Int.
2	3973,7					
2	4070,7		4069	4069,2	4069,5	6
2	4072,5			4071,4	4071,5	6
2	4076,2			4075,1	4075,5	6
1	4119,8		4117	4119,0		5
1	4186,5		4183	4185,1	4184,5	1
2	4190,9		4190	4189,3	4189,5	5
1	4318,0	4316,5	4318	4316,2	4316,5	3
1	4320,5	4319,2		4318,7	4319,0	3
1	4345,8	4345,0		4343,9		1
2	4347,8	4346,9			4346,0	5
4	4349,7	4349,0	4347	4348,2	4347,5	6
3	4351,6	4353,5		4350,5	4350,5	4
5	4415,3	4414,5	4414	4413,6	4414,1	8
4	4417,4	4416,8	4416	4415,5	4418,1	7
5	4591,6	4589,9	4588	4589,3	4590,6	5
4	4596,8	4595,1	4596	4595,0	4596,1	5
2	4639,5	4637,4			4640,1	6
7	4642,4	4640,4	4640	4641,2	4642,1	7
9	4649,6	4648,0	4648	4647,2	4649,1	9
3	4651,3	4649,3				3
3	4662,1	4660,7	4662	4660,2	4661,6	3

Die Dopplereffekte der meisten dieser Linien waren wie die Linien selbst nur lichtschwach, zeigten aber, soweit es sich beurteilen ließ, alle genau denselben Anblick und dieselbe Verschiebung. Die lichtstärksten Linien 4415,3, 4591,6, 4642,4, 4649,6, welche genauere Messungen zuließen, ergaben für Anfang, Maximum und Ende des Dopplerstreifes gleiche Werte $\Delta\lambda/\lambda$, wobei allerdings wegen des unschärferen und weniger verschobenen Streifens die Unsicherheit größer als beim Wasserstoff war. Messungen an diesen vier Linien bei verschiedenen Entladungspotentialen führten zu folgenden aus Potential und Geschwindigkeit berechneten Werten e/m .

Tabelle II.

Werte e/m .

V	Des Dopplerstreifes		
	Beginn	Maximum	Ende
2600	100	240	490
6000	—	200	470
17000	60	130	260
25000	50	100	180

Die Zahlenwerte sind weniger sicher, hängen aber ähnlich vom Potential ab, wie bei Wasserstoff, so daß hier also ähnliche Verhältnisse vorliegen müssen. Die Existenz zweier verschiedener Streifen wie bei Wasserstoff habe ich nicht mit Sicherheit nachweisen können. Bei 2600 Volt scheinen sie angedeutet, so daß $e/m = 490$ der größten Verschiebung des meist abgelenkten Streifes entsprechen würde. Ein Sauerstoffatom geladen mit einem positiven Elementarquantum (oder beraubt eines Elektrons) würde ohne Störung $e/m = 600$ ergeben. Beobachtet sind als höchste Werte einmal 546 und einmal 536, so daß die Existenz dieses einwertigen positiven Sauerstoffions in den Kanalstrahlen erwiesen scheint.

Hr. J. Stark und seine Schüler haben gefunden, daß beim Wasserstoff und einigen Metallen die Serienlinien in den Kanalstrahlen den Dopplereffekt zeigen. Ihr Schluß, daß dies allgemein gültig sei, ist im Falle des Sauerstoffs nicht richtig. Die Emission des Serienspektrums und der Dopplereffekt sind also zwei Erscheinungen, welche nicht miteinander verknüpft zu sein brauchen. Die Träger des Sauerstoff-Serienspektrums haben demnach jedenfalls keine positive Ladung. Wenn nun bei Wasserstoff und den Metallen das elektrochemische Ion erstens wegen seiner positiven Ladung als Kanalstrahlträger auftritt und zweitens das Serienspektrum emittiert, so könnte bei Sauerstoff das Zweite noch zutreffen. Man würde dann das zweiwertige, also mit zwei negativen Elementarquanten behaftete elektrochemische Sauerstoffion als Quelle des Serienspektrums ansehen können. Dieses Ion kann wegen seiner negativen Ladung nicht Kanalstrahlträger sein. Eine zweite mit den Tatsachen verträgliche Möglichkeit ist die, daß das

neutrale Sauerstoff- oder Ozonmolekül die Serien emittiert. Die Tatsache, daß das Serienspektrum sowohl in der ersten Kathodenschicht wie in den Kanalstrahlen bei höheren Gasdrucken intensiv auftritt, bei niederen Gasdrucken aber an Intensität gegen das elementary-line spectrum zurücktritt, scheint dafür zu sprechen, daß die Kanalstrahlträger auf irgend eine Weise in dem Gasinhalte das Leuchten der Serien veranlassen. Da uns die betreffenden Vorgänge unbekannt sind, kann diese Tatsache vorläufig für keine der beiden Möglichkeiten entscheiden. Die Analogie mit den Metallen würde dazu führen, das negative Sauerstoffion als Quelle der Serien anzusehen. Wir würden dann allgemeine Serien von den elektrochemischen Ionen erhalten. Dies würde gestützt durch die Gesetzmäßigkeiten, welche zwischen den Serien und Atom-eigenschaften allgemein und so auch für Sauerstoff, Schwefel und Selen gefunden sind. Dieses Ion kann nur dann Kanalstrahlen bilden und den Dopplereffekt zeigen, wenn es eine positive Ladung hat, wie bei den Metallen. Durch den Dopplereffekt der Flaschenfunken-Linien des Sauerstoffs ergibt sich beim Sauerstoff außerdem die Existenz eines wahrscheinlich einwertigen positiven Ions, welches aber nicht das Serienspektrum emittiert.

Nach den Beobachtungen des Hrn. W. Hermann¹⁾ zeigen gewisse Linien des Stickstoffs den Dopplereffekt. Hr. Hermann betont daher bereits mit Recht, daß ein positives (auch einwertiges) Stickstoffion existiere. Die von ihm angegebenen Linien gehören alle dem Flaschenfunken-Spektrum oder „elementary-line spectrum“ des Stickstoffs an, genau wie bei Sauerstoff. Es wäre nach dem vorigen nicht richtig, diese Linien einem unbekannten Serienspektrum des Stickstoffs zuschreiben zu wollen. Es ist vielmehr wahrscheinlicher, daß sich Stickstoff verhält wie Sauerstoff, so daß von seinem elektrochemischen negativen Ion oder seinem Molekül das nicht bekannte Serienspektrum zu erwarten wäre.

Wahrscheinlich erklärt sich so der vergebliche Versuch des Hrn. H. Rau²⁾ und des Hrn. G. F. Hull³⁾, beim Helium

1) W. Hermann, Physik. Zeitschr. 7. p. 566. 1906.

2) H. Rau, Physik. Zeitschr. 7. p. 423. 1906.

3) G. F. Hull, Nat. 74. p. 603. 1906; Astrophys. Journ. 25. p. 1. 1907.

den Dopplereffekt nachzuweisen. Sämtliche bekannte Linien dieses Gases gehören einem Serienspektrum ¹⁾ an. Haben die Serienlinien des Heliums den Dopplereffekt nicht, so verhält sich dies Gas wie Sauerstoff. Das Serien emittierende Teilchen dieses Gases müßte dann ein Ion mit negativer Ladung oder ein Molekül sein, während das Spektrum eines positiven Ions dieses Gases nicht bekannt ist.

Man könnte meinen, daß negativ geladene Sauerstoffionen in Richtung der Kathodenstrahlen bewegt werden müßten. Ein Versuch, dies nachzuweisen, bestand darin, daß die Kathodenstrahlseite des Entladungsrohres dem Spalte zugekehrt wurde. Allein auch dann zeigten die Linien des Serienspektrums keinen Dopplereffekt. Dies ist von vornherein unwahrscheinlich, wenn man annimmt, daß die Moleküle erst im Beginne der Glimmschicht durch die kinetische Energie der Kathodenstrahlen in Ionen zerspalten werden. Denn die negativen Ionen können vom Beginne der Glimmschicht an durch kein erhebliches elektrisches Feld mehr beschleunigt werden. Geschähe auch im Dunkelraum ein erheblicher Zerfall in Ionen, so hätte mein Versuch den Dopplereffekt der Serienlinien ergeben müssen, falls diese dem negativen Ion angehören.

1) C. Runge u. F. Paschen, *Astrophys. Journ.* 1896.

(Eingegangen 27. März 1907.)
