

Werk

Titel: Träger und Ursprung des Linien- und Bandenspektrums der Elemente nach den Untersu...

Untertitel: Sammelreferat [erster Teil]

Autor: Iklé, Max

Ort: Braunschweig

Jahr: 1907

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110_0022 | LOG_0076

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Naturwissenschaftliche Rundschau.

Wöchentliche Berichte

über die

Fortschritte auf dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften.

XXII. Jahrg.

21. Februar 1907.

Nr. 8.

Träger und Ursprung des Linien- und Bandenspektrums der Elemente nach den Untersuchungen von J. Stark.

Sammelreferat.

Diesem Sammelreferate liegen folgende Veröffentlichungen zugrunde:

J. Stark und W. Hermann: Spektrum des Lichtes der Kanalstrahlen in Stickstoff und Wasserstoff. Phys. Zeitschr. 1906, 7, 92—97.

J. Stark: Die elektrische Ladung der Träger von Duplet- und Tripletserien. Verh. d. deutsch. phys. Ges. 1906, 8, 111—115; Phys. Zeitschr. 1906, 7, 249—251.

J. Stark: Über den Zusammenhang zwischen Translation und Strahlungsintensität positiver Atomionen. Phys. Zeitschr. 1906, 7, 251—256.

J. Stark: Optische Effekte der Translation von Materie durch den Äther. Phys. Zeitschr. 1906, 7, 353—355.

J. Stark: Zur Kenntnis des Bandenspektrums. Phys. Zeitschr. 1906, 7, 355—361.

J. Stark: Bemerkungen zum Vortrag des Herrn M. Wien. — Dopplereffekt in der ersten Kathodenschicht. Phys. Zeitschr. 1906, 7, 747.

J. Stark: Über die Lichtemission der Kanalstrahlen in Wasserstoff. Ann. d. Phys. 1906, (4) 21, 401—456.

J. Stark u. K. Siegl: Die Kanalstrahlen in Kalium- und Natriumdampf. Ann. d. Phys. 1906, (4) 21, 457—461.

J. Stark, W. Hermann und S. Kinoshita: Der Dopplereffekt im Spektrum des Quecksilbers. Ann. d. Phys. 1906, (4) 21, 744—748.

J. Stark u. S. Kinoshita: Über ultraviolette Duplets des Zinks und über thermisch inhomogene Strahlung. Ann. d. Phys. 1906, (4) 21, 470—482.

J. Stark: Über die Lichtemission durch die α -Strahlen. Phys. Zeitschr. 1906, 7, 892—896.

Herr J. Stark hat in den letzten Jahren eine Reihe von Untersuchungen über die Träger und den Ursprung des Linien- und des Bandenspektrums der chemischen Elemente angestellt. Er benutzte dabei als heuristisches Prinzip die von ihm bereits in seinem Buche über die Elektrizität in Gasen ausgesprochene Arbeitshypothese, daß die Träger der Linienspektren die positiven Atomionen seien; hierzu fügte er später die Hypothese, daß das bei der Ionisierung auftretende Bandenspektrum bei der Wiedervereinigung von positiven Atomionen mit negativen Elektronen emittiert werde. Ausgehend von dieser Hypothese fand er die Erscheinung, daß aus ionisiertem, leuchtendem Quecksilberdampf ein elektrisches Feld wohl die Träger des Linien-, nicht aber diejenigen des Bandenspektrums fortführt. Ferner zeigte er gemeinsam mit E. Riecke, daß im Glimmstrom in freier Luft die Träger der Linienspektren der Alkalien immer in der Richtung

Anode—Kathode transportiert werden. Experimentell am fruchtbarsten hat sich indes die Konsequenz erwiesen, welche Herr Stark über das Auftreten des Dopplereffektes bei den Kanalstrahlen aus seiner Arbeitshypothese gezogen hat. Diese Untersuchungen, welche Herr Stark zum Teil gemeinsam mit seinen Mitarbeitern, den Herren Hermann, Kinoshita und Siegl, über die Lichtemission der Kanalstrahlen angestellt hat, sind der Gegenstand des vorliegenden Berichtes. Sie sind basiert auf einer Anwendung des Dopplerschen Prinzips. Darum sei gleich zu Anfang dieses für den Fall der untersuchten Erscheinung charakterisiert.

Ein bewegtes Teilchen möge Spektrallinien emittieren, während es eine beträchtliche Geschwindigkeit besitzt. Dann muß an seinen sämtlichen Linien der Dopplereffekt auftreten. Es sei λ_n die Wellenlänge einer Linie bei Beobachtung normal zur Strahlenrichtung, λ_p die Wellenlänge derselben Linie bei Beobachtung parallel zur Strahlenrichtung derart, daß die Strahlen auf den Beobachter zu laufen, v die Geschwindigkeit der Strahlen, c die Lichtgeschwindigkeit. Gemäß dem Dopplerschen Prinzip gilt dann

$$\lambda_n - \lambda_p = \lambda_n \frac{v}{c} \dots \dots (1)$$

Infolge der Bewegung des emittierenden Teilchens erscheint also die „bewegte“ Linie λ_p gegen die „ruhende“ Linie λ_n nach Ultraviolett zu verschoben.

Die Größe $\frac{\lambda_n - \lambda_p}{\lambda_n}$ hat für alle Linien desselben emittierenden Teilchens denselben Wert.

Es war nun schon seit längerer Zeit durch W. Wiens Untersuchungen bekannt, daß die Kanalstrahlen, welche in der elektrischen Strömung in verdünnten Gasen auf die Kathode zulaufen und aus Kanälen in der Kathode hinter dieser austreten, positiv geladene materielle Teilchen von großer Geschwindigkeit darstellen. Bereits im Jahre 1903 vermutete Herr Stark in seinem Buch über die Elektrizität in Gasen¹⁾, daß an den Kanalstrahlen der Dopplereffekt zu beobachten sein müsse. Ende 1905 gelang es ihm in der Tat, diesen Effekt experimentell an den Kanalstrahlen nachzuweisen.

Die Kanalstrahlteilchen haben im Gas hinter der

¹⁾ J. Stark, Die Elektrizität in Gasen, S. 447 und 457, 1902. — Der Dopplereffekt bei den Kanalstrahlen und die Spektren der positiven Atomionen. Phys. Zeitschr. 6, 892—897, 1906.

Kathode im allgemeinen nicht alle die gleiche Geschwindigkeit. Die maximale Geschwindigkeit, die sie haben können, berechnet sich aus der Spannungsdifferenz ΔV , welche sie vor der Kathode im elektrischen Felde frei durchlaufen haben. Es sei ε die elektrische Ladung, μ die Masse des Kanalstrahlteilchens. Wenn dann die ganze elektrische Arbeit in kinetische Energie des Teilchens transformiert wird, so gilt

$$\text{oder} \quad \left. \begin{aligned} \varepsilon \Delta V &= \frac{1}{2} \mu v_0^2 \\ v &= \sqrt{\frac{2 \varepsilon \Delta V_0}{\mu}} \end{aligned} \right\} \dots \dots (2)$$

Indem die Kanalstrahlen nur Bruchteile des Kathodenfalles frei durchlaufen, oder indem sie hinter der Kathode Zusammenstöße erfahren, kommen hier außer der maximalen Geschwindigkeit v noch beliebig kleinere Geschwindigkeiten vor. Demgemäß muß die bewegte Linie λ_p nach Rot verbreitert erscheinen, oder genauer, sie setzt sich entsprechend der Geschwindigkeitsvariation aus einer Anzahl verschobener Linien zusammen:

$$\lambda_n - \lambda_{p1} = \lambda_n \frac{v_1}{c}, \quad \lambda_n - \lambda_{p2} = \lambda_n \frac{v_2}{c} \text{ usw.}$$

Mit λ_{p0} sei die nach Ultraviolett liegende Kante der bewegten Linie bezeichnet. Berechnet man für sie nach Gleichung (1) die zugehörige Geschwindigkeit v_0 , so muß deren Wert nahezu gleich sein der Geschwindigkeit v_0 , welche sich aus der Gleichung (2) berechnet¹⁾.

Seine Arbeiten über die Lichtemission der Kanalstrahlen eröffnet Herr Stark damit, daß er gemeinsam mit W. Hermann untersucht, welche Arten von Spektren der von Kanalstrahlen durchlaufene Gasraum emittiert. Hierbei ließen die Autoren die Kanalstrahlen senkrecht zur Beobachtungsrichtung verlaufen; ein Dopplereffekt konnte also nicht auftreten. Es wurden aufgenommen: im Stickstoff die Spektren der ungeschichteten positiven Lichtsäule, der negativen Glimmschicht und der Kanalstrahlen bei verschiedenem Kathodenfall, im Wasserstoff die Spektren der beiden letztgenannten Gebiete. Die negative Glimmschicht in Stickstoff sendet neben den „positiven“ auch „negative“ Banden aus. Diese bekannte Tatsache erklärt Herr Stark²⁾ durch die Hypothese, daß das Auftreten der negativen Banden die Folge einer höherwertigen Ionisierung des Stickstoffatoms sei; da die Kathodenstrahlen in der negativen Glimmschicht eine größere Geschwindigkeit als in der positiven Lichtsäule besitzen, so können sie dort von einem neutralen Atom mehr negative Elektronen abtrennen als hier. Die Kanalstrahlen haben die gleiche kinetische Energie wie die Kathodenstrahlen in der negativen Glimmschicht; es ist daher von ihnen ebenfalls eine mehrwertige Ionisierung und darum ebenfalls die Emission der negativen Banden zu erwarten. Das Spektrogramm bestätigt diese Erwartung. Es zeigt ferner, daß das Licht der Kanalstrahlen in Stickstoff

auch dessen Linienspektrum enthält, freilich in geringerer Intensität als die Bandenspektren. Außerdem zeigt das Spektrogramm der Kanalstrahlen in Stickstoff die Linien des Wasserstoffs, die Hauptlinien des Quecksilbers und zwei Aluminiumlinien. Die bei Wasserstofffüllung gemachten Aufnahmen zeigen, daß die Kanalstrahlen ebenso wie die Kathodenstrahlen das Linienspektrum (H_β , H_γ , H_δ) und das Bandenspektrum zur Emission bringen, aber jenes in relativ größerer Intensität als dieses. Auch hier treten die Quecksilberlinien und zwei Aluminiumlinien auf, außerdem — weil in der betreffenden Röhre die Aluminiumkathode ausnahmsweise auf einem Messingring statt auf einem Aluminiumring montiert war — drei Zinklinien. Bei beiden Füllungen ergab sich die Intensität der Linienspektren gegenüber der der Bandenspektren um so größer, je größer die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen war.

Zusammenfassend läßt sich sagen: Das Licht der Kanalstrahlen in einem Gase liefert das Bandenspektrum dieses Gases, welches durch schnelle Kathodenstrahlen zur Emission gebracht wird; außerdem gibt es das Linienspektrum des betreffenden Gases, und zwar relativ desto intensiver, je größer die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen ist. Neben diesem Linienspektrum des Füllgases treten im Spektrum der Kanalstrahlen leicht die Linienspektren von Wasserstoff, Quecksilber und vom Kathodenmetall auf.

Von verschiedenen Autoren ist festgestellt worden, daß Stickstoff in der Nähe radioaktiver Substanzen sein Bandenspektrum emittiert. Von dieser Erscheinung gibt Herr Stark auf Grund der vorstehenden Untersuchung folgende Erklärung:

Radioaktive Substanzen ionisieren das Gas in ihrer Umgebung. Infolge der dadurch veranlaßten Wiedervereinigung muß darum das Gas an einer radioaktiven Substanz sein Bandenspektrum emittieren. Infolge ihrer starken Absorption wirken besonders die α -Strahlen pro Volumeneinheit stark ionisierend, sie stellen Kanalstrahlen von großer Geschwindigkeit dar. Es muß also ein Gas in unmittelbarer Nähe einer radioaktiven Substanz Licht aussenden, das hauptsächlich von den α -Strahlen erregt wird. Nun haben die α -Strahlen gleiche Natur wie die Kanalstrahlen. Es ist also nach der Analogie zu folgern, einmal daß Luft oder Stickstoff an einer radioaktiven Substanz unter dem Einfluß der α -Strahlen das Bandenspektrum des negativen Poles emittiert, zweitens daß das von den α -Strahlen durchlaufene Gas auch noch das Linienspektrum der α -Teilchen emittiert.

Nach der vorstehenden vorbereitenden Untersuchung geht Herr Stark zum Studium des Dopplereffekts an den Kanalstrahlen über. Als er nämlich die Beobachtungsrichtung gegen die Richtung der Kanalstrahlen neigte, als er diese insbesondere auf den Spalt seines Spektrographen zulaufen ließ, fand er die von ihm vorhergesagte Verschiebung der Spektrallinien, den Dopplereffekt. Er benutzte diese Erscheinung zunächst in ausgedehnten Untersuchungen dazu,

¹⁾ J. Stark, Phys. Zeitschr. 6, 892—897, 1906.

²⁾ Derselbe, Ann. d. Phys. (4) 16, 513, 1905.

Aufschluß zu gewinnen über die Träger der Linien-spektren der chemischen Elemente.

In einem elektrisch leuchtenden Gase sind neben neutralen Atomen positive Atomionen vorhanden, d. h. Atome, welche ein negatives Elektron oder mehrere negative Elektronen durch Ionisation verloren haben. Wie schon erwähnt, hat Herr Stark in den positiven Atomionen die Träger¹⁾ der Linienspektren vermutet.

Daß in der Tat die positiven Atomionen und nicht die neutralen Atome die Träger der Linienspektren sind, wird durch die Untersuchung Starks festgestellt. Es ist nämlich von W. Wien gezeigt worden, daß die Kanalstrahlen jedenfalls zum Teil positive Atomionen von großer Geschwindigkeit sind. Emittieren sie nun gleichzeitig Spektrallinien, so müssen diese Linien den Dopplereffekt aufweisen. Daß solches tatsächlich der Fall ist, haben die vorliegenden Untersuchungen Starks ergeben.

Ohne auf die Einzelheiten der experimentellen Anordnung näher einzugehen, sei nur erwähnt, daß bei der Untersuchung des Dopplereffekts an Kanalstrahlen großes Gewicht auf die Reinheit der Gasfüllung gelegt werden muß. Davon hängen nämlich die Intensität der Lichtemission und der geradlinige Verlauf der Kanalstrahlen ab. Es muß nicht nur reines Gas eingefüllt, sondern auch alles Gas beseitigt werden, welches durch die elektrische Strömung aus der Glaswand und den Elektroden entwickelt wird. Ein empfindliches Kriterium für die Reinheit der Gasfüllung ist die Farbe der Gesamtemission der Kanalstrahlen. Bei Wasserstofffüllung ist diese Farbe schön rot, wenn die Füllung ganz rein ist; sie entfernt sich von Rot um so mehr, je stärker verunreinigt das Gas ist. Selbstverständlich wurde auf diesen Punkt bei den Versuchen die weitestgehende Rücksicht genommen.

Die Richtung der Kanalstrahlen ist abhängig von der Krümmung der elektrischen Kraftlinien vor der Kathode. Ist die Vorderfläche der Kathode nach vorn konvex, so konvergieren die Kanalstrahlen hinter der Kathode; ist die Vorderfläche konkav, so divergieren sie. Die Kanalstrahlen konvergieren im allgemeinen schwach auch hinter einer ebenen Kathode. Es wurde daher, um parallelen Verlauf der Kanalstrahlen zu erreichen, meist eine ein wenig konkave Kathodenvorderfläche verwendet.

Die Kanalstrahlen nehmen ihren Ausgang aus verschiedenen Querschnitten vor der Kathode; vor der Kathode legen sie also bereits ein Stück Weg bis zum Eintritt in die Kanäle zurück. Die sog. erste Kathodenschicht emittiert darum das Spektrum der Kanalstrahlen. Die von der ersten Kathodenschicht aufgenommenen Spektrogramme hat Herr Stark jedoch bei der Diskussion seiner Versuchsergebnisse nicht mit herangezogen, weil infolge partieller Reflexion der Kanalstrahlen an der Kathodenvorderfläche hier Komplikationen eintreten können. In

¹⁾ J. Stark, Die Elektrizität in Gasen, S. 447.

einem Vortrage auf der Stuttgarter Naturforscherversammlung haben die Herren Strasser u. M. Wien behauptet, daß an den Kanalstrahlen der ersten Kathodenschicht der Dopplereffekt nicht nachweisbar sei. In der Diskussion teilte Herr Stark mit, daß er keine Schwierigkeit gehabt habe, den Dopplereffekt auch an den Kanalstrahlen der ersten Kathodenschicht nachzuweisen. Herr Paschen hat kürzlich experimentell von neuem festgestellt, daß auch hier der Dopplereffekt auftritt.

Die Spektrogramme wurden teils mit einem Prismenspektrographen, teils mit einem Rowland'schen Konkavgitter aufgenommen. Es sind bei der Aufnahme der Spektrogramme, bzw. bei der Beobachtung des Dopplereffekts überhaupt, drei Richtungen zu unterscheiden. Im ersten Falle steht die Beobachtungsrichtung normal auf der Translationsrichtung (Fall *a*); im zweiten laufen die Kanalstrahlen auf den Beobachter zu (Fall *b*); im dritten laufen sie unter 45° vom Beobachter weg (Fall *c*). Am eingehendsten konnte nach dieser Seite hin bisher Wasserstoff untersucht werden. Es sollen deshalb hier zunächst die diesbezüglichen Resultate und im Anschluß an diese alsdann die entsprechenden Ergebnisse der Versuche an anderen Gasen behandelt werden.

Wie bereits erwähnt, emittiert der von den Kanalstrahlen hinter der Kathode durchlaufene Gasraum das Linien- und das Bandenspektrum — unter letzterem das sog. zweite oder Viellinienspektrum verstanden — des Wasserstoffs. Hier beschränken wir uns zunächst auf die Betrachtung des Linienspektrums, das aus den Linien H_α , H_β , H_γ , H_δ , H_ϵ , H_ζ , H_η besteht. Die Linie H_α wurde ihrer verschiedenen photographischen Wirksamkeit wegen nicht untersucht.

Im Falle *a* erscheint jede Wasserstofflinie intensiv an der Stelle im Spektrum, wo sie in allen früheren Untersuchungen beobachtet worden ist. Im Falle *b* und *c* erscheint sie an derselben Stelle, doch jetzt in viel geringerer Intensität als im Falle *a*. Außerdem erscheint im Falle *b* auf der brechbareren Seite, im Falle *c* auf der weniger brechbaren ein breiter Streifen mit unscharfen Rändern. Das Auftreten dieser Streifen wird als Dopplereffekt angesprochen und wird hervorgerufen durch die Translation der Träger der Wasserstoffserie in bezug auf den ruhenden Beobachter. Die Intensität in dem Streifen wird bewegten Wasserstoffteilchen zugeordnet und als „bewegte Intensität“ bezeichnet, die Intensität der Linie am Orte ihrer gewöhnlichen Wellenlänge wird Wasserstoffteilchen zugeordnet, die in bezug auf den Beobachter nur kleine Geschwindigkeit haben, und wird „ruhende Intensität“ genannt.

Aus den Fällen *b* und *c* erhellt, daß der von den Kanalstrahlen hinter der Kathode durchlaufene Gasraum gleichzeitig ruhende und bewegte Intensität emittiert. Die im Falle *a* beobachtete Intensität ist demnach eine Superposition von ruhender und bewegter Intensität.

Wäre in den Kanalstrahlen hinter der Kathode nur eine einzige Geschwindigkeit vorhanden, so würde