**7. Über die Frage, ob die Kanalstrahlen bei der
Lichterregung Bewegungsenergie übertragen;
von W. Wien.**

Die bisherigen Versuche, Geschwindigkeitsänderungen auf dem Wege der Kanalstrahlen nachzuweisen, haben ein negatives Ergebnis gehabt. Es ließ sich keine Verringerung der Geschwindigkeit auf der Bahn der Kanalstrahlen nachweisen. Daraus folgt, daß auch nur eine geringe Übertragung von lebendiger Kraft auf ruhende Gasmoleküle stattfindet von solchen Kanalstrahl-Atomen, die nicht absorbiert werden.

Es schien mir daher notwendig, eine möglichst empfindliche Methode anzuwenden, um zu untersuchen, ob eine Übertragung von Geschwindigkeit stattfindet, wenn ruhende Gasmoleküle von fliegenden zum Leuchten erregt werden, weil hierbei jedenfalls ein stoßartiger Vorgang stattfindet. Ich habe zu diesem Zwecke die große Dispersion des Stufengitters benutzt, um zu sehen, ob die von ruhenden Atomen ausgesandten Spektrallinien bei Erregung durch Kanalstrahlen eine Verbreiterung zeigen, wie sie nach dem Dopplerschen Prinzip auch bei kleinen Geschwindigkeitsänderungen zu erwarten ist.

Um die Störungen durch den gewöhnlichen Dopplereffekt zu vermeiden, kamen drei verschiedene Wege in Betracht:

1. Erregung eines nur im Beobachtungsraum befindlichen Gases durch ein anderes, wobei der Dopplereffekt fortfällt.
2. Benutzung eines Gases, das den Dopplereffekt sehr schwach zeigt.
3. Spektrale Abtrennung des Dopplerstreifens.

Von den drei Wegen erwies sich der dritte als nicht gangbar, weil eine so genaue Abtrennung des Dopplerstreifens nicht gelang, wie sie für das Stufengitter erforderlich war.

Für die erste Methode wurde Quecksilber gewählt, das durch Wasserstoff, Stickstoff und Jodkanalstrahlen zum Leuchten gebracht wurde.

Beobachtet wurde die grüne Hg-Linie.

Für die zweite Methode benutzte ich die gelbe Heliumlinie, bei der der Dopplereffekt sehr schwach ist und nicht stört.

Ich will schon im voraus aussprechen, daß die Versuche ein durchaus negatives Ergebnis hatten. Bei keinem Versuch zeigte sich eine Verbreiterung der Linie im Stufengitter gegenüber der Anregung im Lichtbogen oder in der positiven Säule.

Während der Versuche erschien eine Arbeit von J. Stark¹⁾, der eine solche Übertragung von Geschwindigkeit an der Aluminiumlinie aus seinen Photogrammen entnimmt.

Ich will gleich bemerken, daß die von mir angewandte Methode nur zu zeigen vermag, daß eine Geschwindigkeitsübertragung bei dem überwiegenden Teil der durch Kanalstrahlen zum Leuchten gebrachten Atome nicht anders als zu einem sehr geringen Bruchteile erfolgen kann. Ob ein kleiner Teil größere Dopplerverschiebungen zeigt, die dann sehr lichtschwach sein würden, kann natürlich nicht entschieden werden. Die Möglichkeit, daß zwei Erregungsvorgänge sich übereinander lagern, von denen einer mit der Übertragung von Bewegungsenergie verbunden ist, der andere nicht, kann durch diese Versuche nicht ausgeschlossen werden. Auch beziehen sich meine Versuche nur auf eine geringe Zahl von Spektrallinien, so daß die Möglichkeit, daß andere Linien sich anders verhalten, bestehen bleibt.

1. Versuchsanordnung.

Die für die Quecksilbererregung benutzte Röhre zeigt Fig. 1. Das Gefäß G_2 ist mit Quecksilber gefüllt, das leicht erwärmt wird. G_1 taucht in flüssige Luft, wo sich der Quecksilberdampf kondensiert. In die Entladungsröhre gelangten dabei keine merklichen Spuren von Quecksilber.

Das Stufengitter von 28 Platten wurde auf einen Kirchhoffschen Spektralapparat gesetzt, und zwar so, daß die Ablenkung in vertikaler Richtung erfolgte. Unmittelbar vor dem Stufengitter stand ein Prisma, das das Licht horizontal dispersierte. Der Spalt des Kollimators verlief horizontal. Die

---

1) J. Stark, Ann. d. Phys. 42. p. 163. 1913.

Abtrennung der einzelnen Linien erfolgte durch eine vor dem Spalt verschiebbare keilförmige Blende.

Bei der Quecksilberlinie erschienen die Trabanten der Linie sehr deutlich, während bei der photographischen Aufnahme hauptsächlich nur der eine etwas entferntere Trabant der Hauptlinie sich scharf abhob. Bei der gelben Heliumlinie zeigte sich die bekannte Nebenlinie. Die Orientierung des Gitters war so, daß zwei benachbarte Ordnungen gleiche Helligkeit hatten.

Fig. 1.

Fig. 2.

Da das Stufengitter sehr empfindlich für Temperaturschwankungen ist, wurde es in einen Kasten aus Zinkblech gesetzt, der von Wasser durchströmt wurde, das durch einen Thermostaten auf konstante Temperatur gebracht war. So konnten auch längere Expositionen für die photographischen Aufnahmen gemacht werden.

Für die Aufnahmen mit Jodkanalstrahlen wurde Jod in eine Seitenröhre der Entladungsröhre gebracht und durch Kohlensäure und Aceton so gekühlt, daß die richtige Dampfspannung erhalten wurde.

Für die Heliumaufnahmen diente ein gewöhnliches Kanalstrahlenrohr. Das Helium war der von Hrn. Rau hergestellten Anordnung zur Darstellung von reinem Helium entnommen. Für die Versuche in flüssiger Luft wurde die Anordnung Fig. 2 gewählt. Die Kanalstrahlröhre war umgebogen und konnte in ein Dewarsches Gefäß *D* gesenkt werden. Die vertikal austretenden Kanalstrahlen wurden durch einen Spiegel *S* horizontal reflektiert.

Die Dispersion des Stufengitters konnte leicht aus der von Hilger angegebenen Konstanten berechnet werden. Sie unterscheidet sich sehr wenig von den von Janicki¹⁾ angegebenen Werten.

Obwohl eine merkliche Geschwindigkeitsübertragung sich nicht gut anders als in einer Verbreiterung der Linien zeigen kann, da in den Kanalstrahlen verschiedene Geschwindigkeiten enthalten sind, also selbst in dem Falle, daß nur zentrale Stöße in Betracht kommen, verschiedene Geschwindigkeiten den ruhenden Atomen mitgeteilt werden müssen, so schien es mir doch wünschenswert zu untersuchen, ob beim Fehlen einer Verbreiterung nicht eine Verschiebung der ganzen Linien eintritt. Für diesen Zweck wurden zwei Methoden gebraucht. Bei der ersten wurde der Spalt bei der einen photographischen Aufnahme der Linie zur Hälfte verdeckt, bei der anderen ganz frei gelassen, so daß die zweite Linie als Verlängerung der ersten erschien. Diese Methode hat den Vorteil, daß die beiden zu vergleichenden Linien sich unmittelbar berühren, doch hat sie den Nachteil, daß in dem einen Felde sich beide Linien übereinander lagern. Außerdem wurde in gewöhnlicher Weise das Licht der einen Lichtquelle durch ein total reflektierendes Prisma auf die eine Hälfte des Spalts geworfen, so daß die Linien beider Lichtquellen ganz getrennt sind.

Ergebnisse.

Ich teile von den zahlreichen Beobachtungen nur einige mit, da sie sämtlich im Ergebnis übereinstimmen.

Von den photographischen Aufnahmen der Linien sind die Schwärzungen mit dem Hartmannschen Mikrophotometer ausgemessen. Die Linienbreite gestattete noch gerade die Messung mit der erforderlichen Genauigkeit.

Für die grüne Hg-Linie $\lambda = 5461 \text{ \AA.-E.}$ ist der Abstand zweier Ordnungen $= 0,476 \text{ \AA.-E.}$

Auf den Figuren entspricht daher 1 Skalenteil $0,106 \text{ \AA.-E.}$, was auch ungefähr dem fünffachen des Auflösungsvermögens des Gitters entspricht.

---

1) L. Janicki, Ann. d. Phys. 19. p. 36. 1906.

Man kann hieran leicht erkennen, welche Verbreiterungen der Linien sich noch hätten bemerkbar machen müssen.

Die zu erwartenden Verbreiterungen, wenn eine Geschwindigkeitsübertragung stattfände, hängen natürlich von der Art des Stoßes ab. Sie würden bei elastischen Stößen am größten sein müssen. Da aber bei größeren Geschwindigkeiten keine Reflexion der Kanalstrahlen an festen Körpern zu bemerken ist, so werden solche Zusammenstöße zwischen Kanalstrahlen und ruhenden Atomen, die zur Absorption führen, eher als unelastische Stöße anzusehen sein. Ist dann v_1 die Geschwindigkeit des Kanalstrahles, v die Geschwindigkeit nach dem Zusammenstoß, so ist $v = v_1 m_1 / (m_1 + m_2)$, wenn m_1 und m_2 die beiden Massen bezeichnen.

Grüne Hg-Linie von Wasserstoffkanalstrahlen erregt.

Spannung 26 000 Volt.

Hauptlinie $\lambda = 5461$. 1 Skalenteil = 0,106 Å.-E.

Fig. 3.

Bei Wasserstoffkanalstrahlen ist die mögliche Linienverbreiterung klein. Bei einer Spannung von 26 000 Volt ist die beschleunigende Spannung für das Intensitätsmaximum der Kanalstrahlen ungefähr 13 000 Volt, so daß

$$v_1 = 1,58 \cdot 10^8$$

ist.

Hieraus ergibt sich für Quecksilber

$$v = \frac{1,58 \cdot 10^8}{201} = 7,86,$$

und die Verbreiterung

$$\delta\lambda = \frac{v}{c} \lambda = 0,143 \text{ Å.-E.} \quad \lambda = 5461.$$

In Fig. 3 sind einige Beobachtungen dargestellt.

Die von den Wasserstoffkanalstrahlen erregte Linie ist mit *KS* bezeichnet. Als Vergleichslichtquelle diente eine Hg-Bogenlampe für niedrigen Druck, die mit schwachem Strom betrieben wurde. Die Linienbreite unterschied sich nicht von der in einer Geisslerschen Röhre.

Nimmt man als Grenze für einen beobachtbaren Unterschied in der Linienbreite $0,042 \text{ \AA.-E.}$, so würde der vierte Teil der zu erwartenden Verbreiterung noch gerade merklich gewesen sein. Doch liegen die Verhältnisse bei der Erregung von Hg durch H besonders ungünstig.

Grüne Hg-Linie von N-Kanalstrahlen erregt. Spannung 26000 Volt.

Hg-Lampe.

1 Skalenteil = $0,106 \text{ \AA.-E.}$

Fig. 4.

Wie man sieht, sind die Linien der Kanalstrahlen und der Hg-Lampe auch nicht gegeneinander verschoben.

Günstiger liegen die Verhältnisse für die Anregung der Quecksilberlinie durch Stickstoff. Da hier der von der Hauptlinie entfernteste Trabant sehr scharf hervortrat, wurde dieser für die Beobachtung gewählt.

Bei der Vergleichslinie der Bogenlampe erscheinen die

Hauptlinien der benachbarten Ordnungen durch stärkere Exposition der übrigen Trabanten breiter.

Man sieht in Fig. 4 keinen Unterschied in der Breite des Trabanten der Kanalstrahlen und der Hg-Lampe. Da wir hier die Beobachtungsgrenze bei $0,0212 \text{ \AA.-E.}$ ansetzen können und aus der beschleunigenden Spannung von 13000 Volt $v_1 = 4,31 \cdot 10^7$, $v = (14/214)v_1 = 2,84 \cdot 10^6$ sich ergibt und die mögliche Verbreiterung $\delta\lambda = 0,516 \text{ \AA.-E.}$, so kann man sagen, daß die tatsächliche Geschwindigkeitsübertragung nicht mehr als 2 Proz. der bei unelastischem Stoß zu erwartenden beträgt.

Bei Jod (Fig. 5) ist

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 13000 \cdot 10^{12}}{127}} = 1,57 \cdot 10^7,$$

$$v = 1,57 \cdot 10^7 \frac{127}{327} = 6,09 \cdot 10^6$$

$$\delta\lambda = 1,1 \text{ \AA.-E.}$$

Nehmen wir hier wieder an, daß die Linie der Kanalstrahlen bis auf mindestens $\frac{1}{2}$ Skalenteil mit der der Hg-Lampe übereinstimmt, so würde auch hier folgen, daß die Geschwindigkeitsübertragung kleiner ist als 2 Proz. der zu erwartenden.

Hg-Linie 5461 von Jodkanalstrahlen erregt. 1 Skalenteil = $0,106 \text{ \AA.-E.}$
Spannung
 26000 Volt.

Fig. 5.

Bei der gelben Heliumlinie fällt zunächst auf, daß die Nebenlinie, die von der Hauptlinie $0,355 \text{ \AA.-E.}$ entfernt ist, erheblich schmaler ist als die Hauptlinie. Dies konnte auch besonders noch durch okulare Beobachtung bestätigt werden.

Dies Verhalten zeigt sich in ganz gleicher Weise bei der Erregung durch Kanalstrahlen oder in der positiven Lichtsäule. Es steht in einem gewissen Gegensatz zu den Beobachtungen von Buisson und Fabry¹⁾ die ergeben haben, daß die Heliumlinie 5876 eine Interferenzfähigkeit hat, die sich aus der Molekularbewegung nach dem Dopplerschen Prinzip ergibt. Es ist allerdings nicht von ihnen angegeben, ob sie

1) H. Buisson u. C. Fabry, Journ. de phys. 2. p. 442. 1912.

Spannung 11000 Volt.

Heliumlinie $\lambda = 5876 \text{ \AA.-E.}$ bei Zimmertemperatur.

Fig. 6.

Skalenteil = $0,0935 \text{ \AA.-E.}$

Heliumlinie $\lambda = 5876 \text{ \AA.-E.}$ Röhre in flüssiger Luft.

Spannung 11000 Volt.

Fig. 7.

die Hauptlinie oder die Nebenlinie beobachtet haben. Jedenfalls müßten beide Linien gleiche Breite haben, wenn sie von denselben Zentren emittiert werden, falls wirklich die Breite nur durch die Molekularbewegung bestimmt wird. Diese Frage soll in einer besonderen Untersuchung mit Hilfe des Interferenzspektroskops von Perot und Fabry weiter verfolgt werden.

Ein weiteres bemerkenswertes Verhalten der Nebenlinie zeigt sich in flüssiger Luft, in der die Nebenlinie fast gleiche Maximalintensität besitzt wie die Hauptlinie, während bei gewöhnlicher Temperatur die Hauptlinie erheblich stärker ist.

Im übrigen zeigt die Nebenlinie gleiche Breite in den Kanalstrahlen und in der positiven Säule.

Aus der Spannung von 11 000 Volt (5500 Volt beschleunigende Spannung) berechnet sich

$$v = 2,62 \cdot 10^7,$$

$$\delta\lambda = 5,14 \text{ \AA.-E.}$$

Nehmen wir 0,2 Skalenteile als Grenze für die Beobachtung der Schärfe der Nebenlinie, so ist die übertragene Geschwindigkeit beim ganz unelastischen Stoß nicht größer als

$$0,36 \text{ Proz.}$$

Nach unseren bisherigen Kenntnissen der Kanalstrahlen müssen wir zwei Arten von Zusammenstößen unterscheiden, einmal die, welche mit einer Loslösung und Wiederaufnahme von Elektronen verbunden sind und deren freie Weglänge ich früher bestimmt habe; dann die Stöße, die die Absorption und wohl auch die Diffusion der Strahlen bedingen. Letztere sind, wie ich nachgewiesen habe, von ersteren quantitativ sehr verschieden. Die Stöße, welche die Absorption bedingen und daher die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen vernichten, müssen notwendig die Geschwindigkeit auf die ruhenden Atome übertragen.

Man wird aus dem negativen Ergebnis der mitgeteilten Beobachtungen schließen, daß bei der Erregung der be-

obachteten Spektrallinien, wenigstens bei dem größten Teil der emittierten Strahlung, die Stöße wirksam sind, welche keine erhebliche Geschwindigkeitsübertragung bedingen. Es würde dies mit der Annahme übereinstimmen, daß die Zusammenstöße, welche die Umladung der Atome bedingen, auch die Lichtemission erregen.

(Eingegangen 23. Januar 1914.)