**10. Über Reflexion von Kanalstrahlen.
Notiz zu einer Mitteilung des Hrn. E. Wagner;
von J. Stark.**

I.

Gelegentlich einer spektralanalytischen Untersuchung¹⁾ über Wasserstoffkanalstrahlen machten W. Steubing und ich eine kurze Mitteilung über die Reflexion von Wasserstoffkanalstrahlen und zeigten insbesondere, daß die Reflexion mit wachsender Geschwindigkeit der H-Strahlen geringer wird. Hr. E. Wagner nimmt in einer kürzlich erschienenen Mitteilung²⁾ auf unsere Untersuchungen Bezug und glaubt behaupten zu können, daß bei diesen nur zum geringsten Teil eine wirkliche Reflexion von H-Strahlen an Glas, zum größten Teil eine optische Reflexion des Kanalstrahlenlichtes an der Rückseite der Kathode vorgelegen habe. Bei unseren Beobachtungen stand nämlich der Spalt des Spektrographen vor dem Ende der Stromröhre, auf welches die Kanalstrahlen auffielen. Es konnte somit außer dem Licht der am Rohrende reflektierten Kanalstrahlen auch noch Licht der im Kanalstrahlenraum von der Rückseite der Kathode weglauenden Kanalstrahlen nach der Reflexion an dieser Rückseite gelangen. Und Hr. Wagner vermutet nun, daß dieses an der Rückseite reflektierte Licht in unseren Versuchen auf der photographischen Platte sehr viel intensiver gewesen sei als das Licht, welches von den reflektierten, vom Spalt fortlaufenden Kanalstrahlen herrührte. Hr. Wagner glaubt sogar nachgewiesen zu haben, daß dies wirklich der Fall gewesen sei. Er glaubt diesen Beweis in folgender Weise führen zu können. Er nimmt eine Röhre, deren Kathode mit vielen Löchern ver-

1) J. Stark u. W. Steubing, Ann. d. Phys. 28. p. 995. 1909.

2) E. Wagner, Ann. d. Phys. 41. p. 209. 1913.

sehen ist, projiziert mit Hilfe eines Objektivs die Rückseite der Kathode auf den Spektrographenspalt und, als er im Bildfeld der massiven Teile zwischen den Kathodenlöchern in seinem Spektrogramm eine „reflektierte“ bewegte Intensität an den H-Linien beobachtet, da glaubt er mit dieser Beobachtung den Beweis geführt zu haben, daß in unseren Beobachtungen nicht Kanalstrahlenreflexion, sondern optische Reflexion vorlag. Man muß ein wenig erstaunt sein über diese Schlußfolgerung des Hrn. Wagner. Er berücksichtigt dabei nicht den Unterschied in den zwei Versuchsanordnungen; während bei unserer Anordnung das Licht vonseiten der reflektierten Kanalstrahlen mehr als das von ihm vermutete reflektierte Licht das Kollimatorobjektiv füllen konnte, scheint Hr. Wagner nicht geprüft zu haben, ob er nicht bei seiner Anordnung das von der Rückseite seiner Aluminiumkathode kommende Licht weitaus gegenüber dem Lichte der am Röhrenende reflektierten Kanalstrahlen bei der Füllung des Kollimatorobjektivs bevorzugt. Und wie er nun im Spektrogramm jenes intensiver erhält als dieses, genügt ihm dies für die Behauptung, daß in unserer Anordnung ebenfalls weitaus das optisch reflektierte Licht überwogen habe. Ich will nicht weiter auf die hiermit charakterisierte Beweisführung des Hrn. Wagner zu ungunsten unserer Beobachtungen eingehen, sondern mich auf den Hinweis beschränken, daß in unserer Abhandlung zwei Angaben enthalten sind, aus denen er entnehmen hätte können, daß seine Vermutung über eine Fehlerquelle in unseren Beobachtungen nicht den Tatsachen entspricht.

Erstens nämlich, wenn die von uns den reflektierten H-Strahlen zugeschriebene Intensität wirklich nur die an der Kathode reflektierte, von dieser fortlaufende bewegte Intensität der primären Kanalstrahlen gewesen wäre, dann hätte der „reflektierte“ Streifen bei allen Werten des Kathodenfalls in demselben Intensitätsverhältnis zu dem „einfallenden“ Streifen der primären H-Strahlen, sowie in einer diesem ähnlichen Intensitätsverteilung erscheinen müssen. Beides ist nicht der Fall; vielmehr erscheint der „reflektierte“ Streifen im Verhältnis zu dem einfallenden breiter und intensiver für einen kleinen als für einen großen Wert des Kathodenfalls, eine Erscheinung, welche wir dahin deuteten, daß die H-Strahlen mit zunehmen-

der Geschwindigkeit in geringerem Betrage reflektiert werden. Hr. Wagner weist selbst auf dieses Resultat von uns hin und glaubt aus zwei Beobachtungen von ihm den gleichen Schluß ziehen zu können. In der nachstehenden Tabelle sind unsere und Hrn. Wagners Beobachtungen zusammengestellt, v_r bedeutet darin die maximale Geschwindigkeit der reflektierten, v_e diejenige der einfallenden oder primären H-Strahlen.

Kathodenfall in Volt	$v_r^2 : v_e^2$	
	Stark u. Steubing	Wagner
390	1,14	
425	1,07	
555	0,62	
600	0,64	
1200	0,52	0,45
2350		0,37
3000	0,45	
4000	0,38	
4000	0,33	
7000	0,32	

Zweitens haben wir in unserer Abhandlung mitgeteilt, daß wir an den Linien der Quecksilberkanalstrahlen bei der gleichen Versuchsanordnung keine reflektierte Intensität beobachtet haben. Würden unsere Resultate an Wasserstoffkanalstrahlen durch eine optische Reflexion merklich gefälscht worden sein, so hätte sich diese optische Reflexion auch im Falle der Hg-Strahlen in gleichem Maße zeigen müssen, wie im folgenden vielleicht allzu ausführlich dargelegt ist.

II.

Ich habe in der letzten Zeit, zusammen mit meinen Mitarbeitern, den Hrn. Wendt, Kirschbaum und Künzer zahlreiche Beobachtungen an den Kanalstrahlen verschiedener Elemente gemacht. In allen Fällen stand der Spalt des Spektrographen unmittelbar vor dem Röhrenende, auf das die Kanalstrahlen fielen. Wir benutzten also dieselbe Anordnung, für welche Steubing und ich die obigen Resultate über die

Reflexion der H-Strahlen erhielten. Dabei war in keinem Falle die Rückseite der Aluminiumkathode mit einem so dunklen Überzug wie in den oben besprochenen früheren Beobachtungen von mir und Steubing bedeckt; in dieser Hinsicht waren also die Bedingungen für das Auftreten des an der Kathode reflektierten Lichtes in den Spektrogrammen günstiger als früher. Wenn die von Hrn. Wagner in unsere früheren Beobachtungen hineinvermutete Reflexion des Lichtes an der Kathode spektrographisch merklich war, so mußte, dies liegt auf der Hand, für die Kanalstrahlen aller untersuchten Elemente der „reflektierte“ bewegte Streifen an allen Linien auftreten, welche in den Spektrogrammen einen intensiven „einfallenden“ bewegten Streifen aufweisen, und zwar mußte seine Intensität und seine Breite bei allen Elementen und für alle Werte des Kathodenfalls in einem konstanten Verhältnis zu Intensität und Breite des einfallenden Streifens stehen. Der Unterschied zwischen dieser Folgerung und der Wirklichkeit kann nun nicht größer sein, als sich nach unseren Spektrogrammen ergibt. Diese weisen nämlich für mehrere Elemente weitaus in den meisten Fällen selbst bei sehr intensiver Schwärzung der einfallenden bewegten Streifen nicht eine Spur von einem reflektierten Streifen auf, während H_β wieder wie früher einen intensiven reflektierten Streifen besitzt. Hieraus geht unwiderleglich hervor, daß in denjenigen wenigen Fällen, in denen ein reflektierter bewegter Streifen auftrat, dieser von den am Röhrenende reflektierten Kanalstrahlen herrührte.

Bei dieser Gelegenheit sei es mir nun gestattet, nachstehende Beobachtungen über die Reflexion von Kanalstrahlen mitzuteilen. Sie waren nicht Aufgabe einer für sie eingerichteten Untersuchung; die Spektrogramme, von denen sie abgenommen sind, wurden vielmehr für den Zweck gewonnen, Aufschluß über die Träger verschiedener Linienarten eines Elements zu schaffen. Sie besitzen darum nicht die Vollständigkeit, welche ich ihnen gegeben hätte, wenn sie Selbstzweck meiner Untersuchungen gewesen wären; vor allem wären sie nach der Seite kleinerer Werte des Kathodenfalls zu ergänzen. Indes, da ich nicht so bald Zeit für diese ziemlich schwierige Arbeit finden werde und da wohl auch sonst niemand über ein immerhin so umfangreiches Beobachtungsmaterial auf diesem Gebiete

wie ich verfügt, so mag es entschuldigt sein, wenn ich nachstehende Beobachtungen hier anfüge.

Für einen Kathodenfall von 7000 Volt und darüber wurden von mir und meinen Mitarbeitern die Kanalstrahlen folgender Elemente untersucht: H, He, C, O, Al, S, Cl, Ar, J, Hg; H, He, O, S außerdem für einen Kathodenfall von 3500 Volt. Ausgenommen in nachstehenden Fällen (H, He und vielleicht Hg) traten unter unseren Versuchsbedingungen bei den Linien der obigen Elemente keine reflektierten bewegten Streifen in merkbarer Intensität auf; C-, O-, Al-, S-, Cl-, Ar-, J-Strahlen werden demgemäß oberhalb eines Kathodenfalls von 3000 Volt nicht in merkbarem Betrag beim Auftreffen auf Glas reflektiert, Hg-Strahlen, wenn überhaupt, so nur in äußerst geringer Menge im Verhältnis zur Zahl der einfallenden Strahlen.

Die H-Strahlen zeigen in den neuen Beobachtungen übereinstimmend mit den früheren eine beträchtliche Reflexion, doch ist wie früher die maximale Geschwindigkeit der reflektierten Strahlen sehr viel kleiner als diejenige der einfallenden Strahlen.

Für die He-Strahlen tritt in meinen Spektrogrammen [213], [248], [294] mit Sicherheit nur bei der intensiven Linie λ 4472 Å. eine reflektierte bewegte Intensität auf. Wie bei Wasserstoff ist die maximale Geschwindigkeit der He-Strahlen viel kleiner als diejenige der einfallenden Strahlen. Auch scheinen die He-Strahlen in geringerem Betrage reflektiert zu werden als die H-Strahlen.

Die beiden Hg-Spektrogramme [265] und [279] wurden für einen Kathodenfall größer als 10000 Volt erhalten. Dieses ist noch lichtstärker als jenes, in beiden ist der bewegte Streifen der einfallenden Hg-Strahlen bei λ 4359 und 4047 Å. sehr intensiv. Auf [265] zeigt sich nun dicht an der ruhenden Linie λ 4359 Å. auf der langwelligen Seite ein schwacher Streifen, der als bewegte Intensität reflektierter Hg-Strahlen aufgefaßt werden kann. Ich würde diesen Einzelfall gleichwohl nicht erwähnen, wenn nicht auch auf [279] λ 4047 Å. in demselben Abstand $\Delta\lambda/\lambda$ von der ruhenden Linie ein derartiger sehr schwacher „reflektierter“ Streifen auftreten würde. Vorausgesetzt, daß dieser Streifen die bewegte Intensität reflektierter Hg-Strahlen darstellt, ist erstens die Zahl der reflektierten

Hg-Strahlen außerordentlich viel kleiner als die Zahl der einfallenden Strahlen, zweitens ihre maximale Geschwindigkeit sehr viel kleiner als diejenige der einfallenden Strahlen.

Es ist nicht ohne Interesse, die atomdynamischen Folgerungen aus vorstehenden Beobachtungen zu ziehen. Daraus, daß die Atomstrahlen von größerem Atomgewicht als 12 bei Geschwindigkeiten, welche sie aus einem Kathodenfall von 3500 Volt gewinnen, keine merkbare Reflexion an Glas erfahren, folgt zunächst, daß der Stoß dieser Atome auf die feste Glaswand bei so großen Geschwindigkeiten praktisch unelastisch ist und daß in der Entwicklung von Gegenkräften auf den einzelnen einfallenden Atomstrahl nicht mehr benachbarte, durch den festen Zustand miteinander verkettete chemische Moleküle, auch nicht mehr die Atome eines chemischen Moleküls dank ihrer wechselseitigen Bindung zusammenwirken. Fällt vielmehr ein Atomstrahl von großer Geschwindigkeit auf die feste Wand, so sind nach dem Wechsel des Zufalls drei ausgezeichnete Fälle möglich.

Erstens kann der Atomstrahl ein zwischenmolekulares Feld treffen, er wird es dann leicht, wie ich an anderer Stelle¹⁾ dargelegt habe, durchfliegen und somit die oberste Molekülschicht der festen Wand durchdringen. Zweitens kann der Atomstrahl auf ein innermolekulares Kraftfeld zwischen den Atomen eines Moleküls stoßen; wenn sich ihm hier auch größere Kräfte entgegenstellen als im zwischenmolekularen Feld, so wird er es bei großer Geschwindigkeit doch ebenfalls durchfliegen und damit in die oberste Schicht der festen Wand eindringen. Drittens mag er mehr oder minder zentral in das innere Kraftfeld eines Atoms bis zu einer gewissen Tiefe eindringen; er wird es dann gleichzeitig vor sich her oder zur Seite stoßen und beim wechselseitigen Durchlaufen der Oberflächenschichten selber eine seitliche Bewegungsgröße erhalten. Ist seine Masse viel kleiner (H, He) als das gestoßene Atom oder ist seine Geschwindigkeit klein (langsame Hg-Strahlen) so wird er in seltenen Fällen bei angenähert zentralem Stoß auch eine Umkehrung der Richtung seiner eigenen Bewegungsgröße, also eine Reflexion erfahren können. Hiermit ist bereits

1) J. Stark u. G. Wendt, Ann. d. Phys. 38. p. 921. 1912.

gefolgert, daß auch der Stoß der H-Kanalstrahlen auf eine feste Wand und ihre Reflexion nicht Kräfte vonseiten eines Molekülaggregats wachruft, sondern ein rein elementarer Vorgang zwischen zwei Atomen ist. Die wechselseitige unelastische Durchdringung eines Kanalstrahlenteilchens und eines gestoßenen Atoms einer festen Wand ist derselbe Vorgang wie die wechselseitige Durchdringung eines Atomstrahls und eines ruhenden Atoms im Gasraum, über welche ich an anderer Stelle¹⁾ Beobachtungen mitgeteilt habe.

Aachen, Physik. Inst. d. Techn. Hochschule, 7. Juni 1913.

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

(Eingegangen 10. Juni 1913.)