8. *Über Sekundärstrahlen;* *von Christian Füchtbauer.*

Als ich die Geschwindigkeit der von mir beobachteten Sekundärstrahlen der Kanalstrahlen¹⁾ aus der magnetischen Ablenkung bestimmte, ergab sich das merkwürdige Resultat, daß die Geschwindigkeit der größten Menge der Sekundärstrahlen unabhängig war von der Geschwindigkeit der einfallenden Kanalstrahlen; ferner war sie unabhängig vom Gasinhalt und vom Einfallswinkel; schließlich war sie auch bei Platin die gleiche wie bei Aluminium. Als ich mit dem gleichen Apparat feststellte, daß die Sekundärstrahlen der Kathodenstrahlen von den reflektierten Kathodenstrahlen scharf durch ihre Geschwindigkeit unterschieden sind, erwies sich die Geschwindigkeit dieser langsamen Sekundärstrahlen der Kathodenstrahlen als unabhängig von der Geschwindigkeit der einfallenden Kathodenstrahlen, sowie vom Einfallswinkel und, was besonders auffiel, als identisch mit der Geschwindigkeit der erwähnten Sekundärstrahlen der Kanalstrahlen. Der Wert dieser charakteristischen Elektronengeschwindigkeit war $3,2 \cdot 10^8$ bis $3,6 \cdot 10^8$ cm/sec, entsprechend 27—34 Volt.

Das Auftreten der nämlichen Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen unter so verschiedenen Bedingungen legt den Gedanken an eine gemeinsame Ursache nahe. Die von mir schon l. c. als weniger wahrscheinlich bezeichnete Möglichkeit, daß diese Ursache das im Kanal- und Kathodenstrahlenbündel erzeugte ultraviolette Licht sein könnte, wird durch die folgende Beobachtung ziemlich unplausibel: Die negative Sekundärstrahlung der Kanalstrahlen zeigte sich bei ganz niedrigen Gasdrucken, bei denen das Leuchten bereits sehr schwach war, am kräftigsten. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß die Elektronen durch Kanal- und Kathodenstrahlen ausgelöst

¹⁾ Vgl. Chr. Füchtbauer, *Physik. Zeitschr.* 7. p. 153, 748. 1906; *Verh. d. Deutsch. Physik. Ges.* 8. p. 394. 1906; *Würzburger Habilitationsschrift* März 1907.

werden, ihre Geschwindigkeit also durch die Energie der Metallatome bedingt ist.

Ich nehme dabei an, daß Kanal- und Kathodenstrahlen, wie sie das Gas ionisieren, so auch die Metallatome in positives Ion und negatives Elektron zerlegen, und daß bei diesem Vorgang das Elektron mit einer durch die Eigenschaften des Atoms, nicht aber durch die ionisierende Strahlung bedingten Geschwindigkeit entweicht.

Man muß sich nun davon Rechenschaft geben, warum diese Übereinstimmung der Geschwindigkeit der größten Menge der Elektronen nicht stärker gestört wird dadurch, daß die Elektronen eine gewisse Dicke des Metalles zu durchdringen haben. Ist nämlich obige Erklärung richtig, so muß nur die bei einem und demselben Metall auftretende Maximalgeschwindigkeit unabhängig sein von der Geschwindigkeit der primären Strahlen, von dem Umstand, ob es Kanal- oder Kathodenstrahlen sind, und im Fall ersterer von dem Gas, aus dem die Kanalstrahlen bestehen. Dagegen können kleinere Geschwindigkeiten auch beim nämlichen Metall in der Sekundärstrahlung je nach der Art der Erzeugung in wechselnder Menge vertreten sein. Die ursprünglich dem Zerfall des Atoms in positives Ion und negatives Elektron entsprechende Geschwindigkeit des letzteren wird nämlich beim Durchgang durch das Metall vermindert werden, und zwar hängt die Verteilung der Geschwindigkeiten ab sowohl vom Einfluß des betreffenden Metalles auf die Sekundärstrahlung, wie auch vom Absorptionskoeffizienten des Metalles für die einfallenden Strahlen. Je schwächer das Metall die primären absorbiert, je tiefer sie also eindringen, desto stärker unterliegen die sekundären Strahlen der Verzögerung durch das Metall.

Da aber die Strahlung so absorbierbar ist, so werden die Strahlen der größten Geschwindigkeit am zahlreichsten herauskommen, und da diese Geschwindigkeit für ein bestimmtes Metall eine Konstante ist, so müssen die meisten Strahlen für verschiedene Erregungsarten bei dem nämlichen Metall nahezu gleiche Geschwindigkeit haben.

In der Tat bestätigen die oben angeführten Versuche ¹⁾

1) Chr. Füchtbauer, l. c.

diese beiden Folgerungen: Bei diesen Versuchen wurde die Zahl der den verschiedenen Geschwindigkeiten entsprechenden Ionen in ihrer Abhängigkeit von der zugehörigen Geschwindigkeit bestimmt. Das Maximum, das nach der Seite größerer

Kurve I. Kanalstrahlen auf Aluminium in Luft. Entladungsspannung 5150 Volt.

Kurve II. Kanalstrahlen auf Platin in Luft. 8900 Volt.

Kurve III. Kanalstrahlen auf Platin in Wasserstoff. 18300 Volt.

Geschwindigkeit recht scharf war, hatte die gleiche Lage in den verschiedensten Fällen. Dabei waren aber langsamere Strahlen in verschiedenen Fällen in sehr verschiedener Menge vertreten.

Die Art des Abfalles in verschiedenen Fällen zeigen die vorstehenden Kurven I—III. Um einen besseren Vergleich verschiedener Kurven zu ermöglichen, sind die größten Ordinaten überall gleich 100 gesetzt, d. h. als Ordinaten sind die zum Elektrometer abfließenden, von den negativen Sekundärstrahlen gebildeten Ströme in Prozents des größten Stromes gewählt. Die Abszissen sind den zugehörigen Geschwindigkeiten proportional.¹⁾ In der Art des Abfalles zeigt, wie man sieht, ein und dasselbe Metall bei verschiedener Gasfüllung Verschiedenheiten, trotz übereinstimmender Geschwindigkeit der größten Menge der Strahlen (vgl. Kurven II und III, die sich beide auf Platin beziehen).

Daraus, daß nicht nur bei verschiedenen Primärstrahlen, sondern auch bei *Platin und Aluminium* die Geschwindigkeit der Hauptmenge nahezu die gleiche war, ist zu schließen, daß auch die *wirkliche Geschwindigkeit der von den Atomen abgeschleuderten Elektronen* in diesen Fällen die gleiche ist; wir haben ja angenommen, daß die letztere von der beobachteten Geschwindigkeit der Hauptmenge der das Metall tatsächlich verlassenden Elektronen nicht sehr abweicht.²⁾

Die auf Grund der erwähnten Versuche ausgesprochene Ansicht, daß die Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen aus der Energie des Atomes stammt, erhält eine weitere Stütze durch folgendes:

J. J. Thomson³⁾ fand gelegentlich des Versuches, die positive Ladung der α -Strahlen des Radiotellurs nachzuweisen, daß das Präparat eine sehr große Menge langsamer negativer Strahlen aussandte. Es sind offenbar die Sekundärstrahlen, welche die α -Strahlen in dem Präparat selbst erzeugen.

1) Es sind die Stromstärken des Magnetisierungsstromes (vgl. l. c.) in Ampère.

2) Das Vorkommen der wenn auch nur wenig größeren Geschwindigkeiten jenseits des Maximums bedarf noch der Aufklärung. Vielleicht hat es seinen Grund in der Versuchsanordnung (Breite des Spaltes).

3) J. J. Thomson, Proc. Camb. Phil. Soc. Nov. 14. 1904.

Rutherford ¹⁾ fand, daß auch Radium eine langsame negative Strahlung aussendet, deren Menge bis zu 20mal so groß sein kann wie die der α -Strahlen. Ist dies richtig, so würde die große Menge wohl von der sehr großen Geschwindigkeit der α -Strahlen im Vergleich mit den Kanalstrahlen herrühren. Rutherford stellte gleichzeitig fest, daß Metalle unter der Wirkung der α -Strahlen ebenfalls eine solche langsame negative Strahlung aussenden. Damit ist die Annahme, daß die langsame negative Strahlung der radioaktiven Stoffe in der Tat eine solche Sekundärstrahlung ist, so wahrscheinlich gemacht, daß ich sie im folgenden zugrunde lege.

Die Geschwindigkeit solcher langsamer negativer Strahlen, die ein mit Polonium überzogenes Kupferblech aussendet, bestimmte P. Ewers ²⁾ durch magnetische Ablenkung. Er fand $3,25 \cdot 10^8$ cm/sec, entsprechend ca. 30 Volt, also ganz *den gleichen Wert, den ich bei den Sekundärstrahlen der Kanalstrahlen fand*. Ich möchte auf diese Übereinstimmung besonders hinweisen; denn damit erscheint die von mir festgestellte Tatsache, daß die Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen von der Geschwindigkeit der Kanalstrahlen unabhängig ist, über ein sehr großes Gebiet von Primärgeschwindigkeiten (bis zu $1,5 \cdot 10^9$, der Geschwindigkeit der α -Strahlen des Poloniums) ausgedehnt.

Ich erwähne, daß jüngst Logeman ³⁾ aus Versuchen über die Sekundärstrahlung der α -Strahlen (Sättigungsstrom) schloß, daß die Geschwindigkeit nicht größer als 10 Volt sei. Vorläufig halte ich es aber für möglich, daß hierbei Gasionen störten, und sehe deshalb zunächst die magnetischen Versuche von Ewers für sicherer an.

Die Hypothese, daß die Geschwindigkeit von Sekundärstrahlen aus der Energie der Atome herkommen soll, stellte zuerst W. Wien für die Röntgenstrahlen-Sekundärstrahlen auf. Dazu nötigte ihn die große Geschwindigkeit der Sekundärstrahlen, die ihre Energie nicht aus *einem* Impuls beziehen konnten. Also bei den Röntgenstrahlen muß die Geschwindigkeit der Strahlung der Atome zum Teil groß, bei Kanal- und

1) E. Rutherford, Phil. Mag. **10**. p. 193. 1905.

2) P. Ewers, Physik. Zeitschr. **7**. p. 148. 1906.

3) Logeman, Proc. Roy. Soc. (A) **78**. p. 212. 1906.

Kathodenstrahlen nach meinen Versuchen gleich und klein ¹⁾ angenommen werden. (Den Kanalstrahlen reihen sich, wie erwähnt, noch die α -Strahlen der radioaktiven Elemente als Erreger von Sekundärstrahlen an.) Die beiden Fälle müssen also, obwohl beide Auslösungen sind, als ganz verschiedene Vorgänge betrachtet werden, *durch Röntgenstrahlen einerseits und Kanal- sowie Kathodenstrahlen andererseits müssen verschiedene Elektronen abgespalten werden. Den letzteren Fall* allein halte ich also vorläufig für *identisch mit der Ionisation von Gasen durch Kanal- und Kathodenstrahlen*. Lenard fand ja, daß die Ionisation eines Gases durch Kathodenstrahlen sich auf dem Weg der Bildung sehr langsamer Sekundärstrahlen vollzieht, und das gleiche geschieht nach der hier zugrunde gelegten Auffassung mit dem Atom des festen Körpers. ²⁾

Einfluß der Absorption auf die Menge der Sekundärstrahlen.

Ähnlich wie die *Geschwindigkeit* der Sekundärstrahlen durch die Absorption der primären und durch die *Verzögerung* der sekundären Strahlen im Metall beeinflußt wird, wird auch die *Menge* der sekundären durch die Absorption der primären und die *Absorption* der sekundären Strahlen bestimmt. Je tiefer die primären eindringen, desto mehr unterliegen die sekundären der Absorption. *So erklärt sich auch die starke Vergrößerung der Emission durch schiefe Inzidenz der Kanalstrahlen*, die ich schon bei meinen ersten Versuchen (1904) feststellen konnte. Je schiefer die Kanalstrahlen auffallen, in um so oberflächlicheren Schichten werden sie absorbiert, und

1) Soweit die Methode reicht, *ausschließlich* klein bei den Kanalstrahlen.

2) Es ist denkbar, daß die Bildung der bei den Röntgenstrahlen *auch* vorhandenen langsamen Sekundärstrahlen eine erste Dissoziation vorstellt und der Erscheinung bei Kanal- und Kathodenstrahlen analog ist. Die Bildung der schnellen Sekundärstrahlen wäre dann eine zweite Dissoziation, die zum zweiwertigen positiven Rest führt. Doch kann diese letztere Hypothese nur mit allem Vorbehalt geäußert werden, solange nicht weitere Versuche über die Geschwindigkeiten der Röntgensekundärstrahlen die Sachlage geklärt haben. Jedenfalls rührt die Inhomogenität der Röntgensekundärstrahlung vom tiefen Eindringen der Röntgenstrahlen her, indem die Sekundärstrahlen bei Durchdringen des Metalles große Geschwindigkeitsverluste erleiden.

um so leichter kommen die Sekundärstrahlen, die ja bei ihrer geringen Geschwindigkeit sehr absorbierbar sind, heraus. Die Konsequenzen dieser Auffassung stimmen mit den Tatsachen überein: Nur Aluminium zeigt eine starke Zunahme bei schiefer Stellung, weil hier die Kanalstrahlen merklich tiefer eindringen als beim Kupfer.

Dieses Verhalten wurde mit folgender Anordnung nachgewiesen: Wurde eine drehbare Platte p , welche die Kanalstrahlen auffing, durch ein Galvanometer abgeleitet, so floß im Falle des Aluminiums durch p bei schiefer Stellung ein positiver Strom zur Erde, der viel größer (oft über doppelt so groß) war, als derjenige bei senkrechtem Einfall der Kanalstrahlen; dabei war aber der einfallende Kanalstrahlenstrom in beiden Stellungen der gleiche, indem in beiden Fällen das ganze Bündel die Platte traf. *Die negative Sekundärstrahlung war also bei schiefer Einfall viel größer.* Bei Kupfer dagegen war die Zunahme der Strahlung durch schiefen Einfall nur schwach, sie betrug nur einige Prozent des gesamten abfließenden positiven Stromes. Ich teile hier einige Belege für dieses Verhalten mit:

	Winkel zwischen Einfallslot und Kanalstrahlenrichtung	Stromstärke in willkürlichen Einheiten
Aluminium	$\left\{ \begin{array}{l} 0^\circ \\ 65^\circ \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} 58 \\ 134 \end{array}$
Kupfer	$\left\{ \begin{array}{l} 0^\circ \\ 65^\circ \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} 73 \\ 78 \end{array}$

Die Sekundärstrahlung der Kathodenstrahlen aber wird überhaupt nur bei niedriger Spannung und schiefer Inzidenz so groß, daß vom Reflektor statt des negativen ein positiver Strom zur Erde fließt, und zwar ist um so geringere Schiefe nötig, je stärker das Metall Kathodenstrahlen absorbiert. Dies rührt nach der vorgetragenen Auffassung daher, daß die Kathodenstrahlen viel tiefer eindringen als Kanalstrahlen, und daher die Platte schief gestellt werden muß, damit sie so oberflächlich absorbiert werden, daß genug Sekundärstrahlen entweichen können.

Würzburg, Physikalisches Institut.

(Eingegangen 3. April 1907.)