

3. *Über positive Elektronen und die Existenz hoher Atomgewichte; von W. Wien.*

Durch meine Beobachtungen¹⁾ positiver Elektronen hatte sich ergeben, daß die Ablenkungen bei diesen nicht wie bei den negativen konstant, sondern kontinuierlich veränderlich sind. Hieraus hatte ich geschlossen, daß die spezifische Ladung veränderlich ist, daß wir also entweder die Bildung großer Molekülkomplexe oder die Möglichkeit einer weiteren Teilung des elektrischen Elementarquantums annehmen müssen.

Nun hat Hr. Stark²⁾ auf eine dritte Möglichkeit hingewiesen, um meine Versuche zu erklären. Er macht die Annahme, daß es nur mit dem einen Elementarquantum geladene positive Elektronen und außerdem noch Moleküle gibt, die elektrisch neutral durch Aufnahme eines negativen Elektrons aus einem positiven Elektron entstehen können. Die kontinuierlich verschiedene Ablenkung würde sich dann dadurch erklären, daß die Neutralisation eines positiven Elektrons an verschiedenen Stellen der Bahn erfolgt. Da das Molekül im Augenblick der Neutralisation der Einwirkung der ablenkenden magnetischen oder elektrischen Kräfte entzogen wird, so werden diese Kräfte mit verschiedener Zeitdauer auf die fortbewegten Elektronen einwirken und demnach Ablenkungen verschiedener Größe hervorrufen.

Diese Hypothese würde, wenn sie sich mit allen beobachteten Tatsachen vereinigen ließe, unbedingt die einfachste sein und die Annahme einer veränderlichen spezifischen Ladung wäre ohne Bedenken zu ihren Gunsten aufzugeben.

1) W. Wien, Wied. Ann. 65. p. 445. 1898; Ann. d. Phys. 5. p. 421. 1901; 8. p. 244. 1902; 9. p. 660. 1902.

2) J. Stark, Physik. Zeitschr. 4. p. 581. 1903. Ich möchte bemerken, daß dieselbe Hypothese bereits vor einem Jahr von Hrn. G. Mie in einem an mich gerichteten Brief ausgesprochen ist.

Nun läßt sich über die Zulässigkeit der Hypothese des Hrn. Stark direkt durch den Versuch entscheiden. Wenn es nur neutrale Moleküle und Elektronen mit konstanter spezifischer Ladung gibt, so entsprechen den letzteren bei meinen Versuchen die ablenkbarsten Strahlen, die bereits durch mäßige Werte der magnetischen Kraft abgelenkt werden.

Wenn ich demnach die Strahlen auf einer Elektrode auffange, so müssen durch magnetische Kräfte die geladenen vollständig abgelenkt werden und nur neutrale zurückbleiben. Die Elektrode darf dann keine positive Elektrizität mehr empfangen.

Ich hatte bereits in einer meiner früheren Arbeiten¹⁾ die von positiven Elektronen an einem Bolometerstreifen erzeugte Wärme und die gleichzeitig abgegebene positive Elektrizität beobachtet. Dabei hatte sich gezeigt, daß in magnetischen Feldern die auf den Streifen fallende Elektrizität keineswegs auf Null sank, sondern einen erheblichen Betrag beibehielt.

Nun gebe ich zu, daß diese Versuche zur definitiven Entscheidung der vorliegenden Frage, wofür auch die ganze Versuchsanordnung nicht eingerichtet war, unzureichend sind. Es ist die Möglichkeit nicht auszuschließen, daß die im magnetischen Feld übrig bleibende Elektrizität nicht direkt durch die Strahlen, sondern durch Diffusion oder unter den eigenen abstoßenden Kräften der positiven Elektronen auf den Bolometerstreifen gelangen.

Bei der prinzipiellen Wichtigkeit der Frage habe ich mich nun bemüht, Anordnungen zu treffen, bei denen eine sichere Entscheidung getroffen werden kann, ob die Hypothese des Hrn. Stark zulässig ist oder nicht. Zuerst habe ich Kanalstrahlen, die durch die Eisenelektrode meiner früher beschriebenen, im Magnetfeld befindlichen²⁾ Röhre drangen, auf ein Kupferteilchen von 3 mm Durchmesser fallen lassen, das von einem in die Röhre eingesetzten, zur Erde abgeleiteten Kupferblechkästchen von allen Seiten umgeben war. Die Kanalstrahlen fielen durch eine Öffnung in das Kästchen ein. Die

1) W. Wien, Ann. d. Phys. 5. p. 433. 1901.

2) W. Wien, Ann. d. Phys. 8. p. 262. 1902.

Zuleitung zur Auffangelektrode war durch eine zweite seitliche Öffnung des Kästchens isoliert eingeführt. Bei Erregung des Elektromagneten mit dem stärksten Strom ging die auf die Elektrode fallende Elektrizitätsmenge nur etwa auf ein Viertel herunter.

Es ergab sich also im wesentlichen eine Übereinstimmung mit meinen früheren Ergebnissen.

Diese Anordnung hat den Nachteil, daß in dem schützenden Metallkasten zwei Öffnungen angebracht werden mußten, durch die doch noch Diffusion positiver Elektronen ins Innere möglich wäre.

Besser war eine Anordnung, bei der ein Messingzylinder *m* in die Röhre eingekittet wurde (Fig. 1), in den wieder die Auffangelektrode eingekittet war. Das Ergebnis mit dieser Anordnung war das gleiche wie mit der zuerst beschriebenen.

Indessen genügten mir auch diese Versuche nicht.

Ich hielt es für notwendig nachzuweisen, daß eine geschützte Elektrode, die sich außerhalb des Strahlenbündels befindet, überhaupt keine Elektrizität erhält, während im Strahlenbündel Elektrizität auffällt, die auch durch starke magnetische Kräfte nicht vollständig abgelenkt wird. Ich benutzte daher die in Fig. 2 gezeichnete Röhre.

Das Ansatzröhrchen I liegt zentral und wird von den unabgelenkten Kanalstrahlen in der Mitte getroffen. Hier befindet sich die von einem zur Erde abgeleiteten Messingzylinder umgebene Auffangelektrode. Die Öffnung in dem

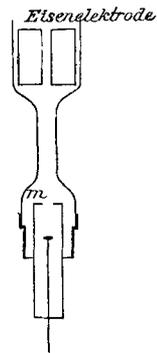


Fig. 1.

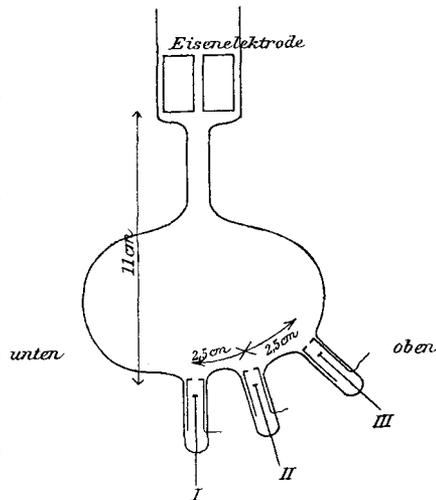


Fig. 2.

Zylinder ist mit einem Messingscheibchen vorn verschlossen, in das eine Öffnung von 1 mm Durchmesser gebohrt ist.

Das direkte Bündel Kanalstrahlen trifft daher nur I, während II und III nicht getroffen werden.

Es zeigte sich nun in der Tat, daß bei Anwendung eines empfindlichen d'Arsonvalgalvanometers sich nur bei I eine erhebliche Elektrizitätsmenge zeigte, während auf II und III bei Wasserstofffüllung niemals, bei Luft, Sauerstoff und Kohlenensäure nur bei höheren Drucken ganz geringe Elektrizitätsmengen anlangten. Erst bei magnetischer Erregung des Feldes, das die Kanalstrahlen nach II und III hin ablenkte, erschienen auch hier stärkere Ströme. Aber auch hier war es nicht möglich, trotz der großen, von den Kanalstrahlen im Magnetfelde durchlaufenen Strecke selbst im stärksten Felde die Elektrizitätsmenge in I auf weniger als $\frac{1}{6}$ herunterzudrücken, während durch diffuse Ausbreitung bei II und III die Elektrizitätsmenge bei größerer Verdünnung oder Wasserstofffüllung erheblich unter einem Prozent der Stromstärke bei I blieb.

Im folgenden teile ich einen kleinen Teil der gemachten Beobachtungen mit: Den ohne Magnetfeld bei I aufgefangenen Strom, die Spannung, die prozentische Änderung der Stromstärke bei erregtem Magnetfelde H .

Luftfüllung. Spannung 15000 Volt.

Auffangelektrode I. Aufgefanger Strom ohne Magnetfeld $8 \cdot 10^{-9}$ Amp.

Zurückgebliebener Strom in Prozenten	bei	Magneterregung H C.G.S.
44,3 %		1150
33		2500

Luftfüllung. Spannung 30000 Volt.

Elektrode I. Strom $2,8 \cdot 10^{-8}$ Amp. | Elektrode I. Strom $2 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Strom	bei	H	Strom	bei	H
25 %		2500	29 %		1150
29		1150	25		2500

Luftfüllung. Spannung 40000 Volt.

Elektrode I. Strom $9,2 \cdot 10^{-9}$ Amp.

Strom	bei	H
35 %		1150
26		2500

Wasserstoff. Spannung 30000 Volt.
Elektrode I. Strom $4,64 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Strom	bei	H
61%		300
42		1150
35		1700
30		2000
18		2500

Spannung 20000 Volt.

Elektrode I. Strom $6,4 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Strom	bei	H
62%		300
43		1150
28		1700
18		2500

Wasserstoff. Spannung 20000 Volt.
Elektrode I. Strom $5,6 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Strom	bei	H
88%		50
80		80
60		150

Strom $6,8 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Strom	bei	H
85%		50
80		80
60		150

Sauerstoff. Strom $2 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Spannung 20000 Volt.

Strom	bei	H
54%		300
33		1150
30		1700
27		2300
25		2600

Sauerstoff. Strom $1,6 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Spannung 25000 Volt.

Strom	bei	H
55%		300
40		1150
37		1700
35		2000
25		2500

Sauerstoff. Strom $2,8 \cdot 10^{-8}$ Amp. Spannung 30000 Volt.

Strom	bei	H
33%		300
23		1150
18		1700
17		2000
15		2500

Kohlensäure. Strom $2,8 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Spannung 30000 Volt.

Strom	bei	H
30%		300
22		1150
22		2500

Kohlensäure. Strom $2 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Spannung 25000 Volt.

Strom	bei	H
47%		300
34		1150
28		1700
23		2000

Man ersieht aus diesen Zahlen, daß die positiven Elektronen sowohl bei Wasserstoff als bei den anderen Gasen im Magnetfelde je nach der Stärke der ablenkenden Kraft in pro-

zentisch verschiedener Menge von der zentralen Auffangelektrode abgelenkt werden.

Doch zeigt sich keinesfalls ein Einfluß des Gases in der Weise, daß beim Wasserstoff eine geringere unabgelenkte Menge zurückbliebe. Die Zahlen ergeben eher das Gegenteil. Würden bei Wasserstoff nur neutrale Moleküle und mit dem Elementarquantum geladene Ionen vorhanden sein, so müßten diese bei einer Stärke des Magnetfeldes $H = 500$ bereits über 2 cm abgelenkt werden und bei diesem Felde bereits kein Strom mehr bei der Elektrode I erscheinen.

Daß etwa die Verunreinigungen mit schwereren Gasen weniger ablenkbare Teilchen hervorbringen sollten, dagegen spricht zunächst der ganz analoge Verlauf der Beobachtungen bei Wasserstoff und den anderen Gasen. Aber selbst bei Teilchen von 16fachem Atomgewicht würde das vierfache Feld dieselbe Ablenkung hervorbringen. Aber bei noch stärkeren Feldern sind erhebliche Bruchteile des ursprünglichen Stromes vorhanden.

Die Wasserstofffüllung unterscheidet sich von der mit anderen Gasen nur dadurch, daß mehr geladene Teilchen von einem schwachen magnetischen Felde nach den Elektroden II und III hingelenkt werden.

So fiel bei Wasserstofffüllung auf Elektrode II ohne magnetisches Feld kein Strom. Dagegen bei einem von 300 bis 2500 Einheiten wachsenden Felde ein ebenso gleichmäßig steigender Strom von 3—15 Proz. des Hauptstromes, der bei I ohne Magnetfeld aufgefangen wurde.

Bei Elektrode III war erst bei 2000 Einheiten ein Strom bemerkbar. Bei umgekehrter Richtung des magnetisierenden Stromes zeigte sich natürlich weder bei II noch bei III auch nur die geringste Spur eines Stromes.

Bei den anderen Gasen habe ich nur bei starken Feldern (über 2000) Ströme von höchstens 3 Proz. des Hauptstromes auf Elektrode II beobachten können.

Im Wasserstoff sind daher ablenkbarere Elektronen in größerer Menge als bei den anderen Gasen vorhanden, wie es dem geringeren Atomgewicht des Wasserstoffs entspricht.

Aus den angestellten Beobachtungen geht nun mit Sicherheit hervor, daß die von den Herren Mie und Stark ge-

machte Hypothese, daß in den Kanalstrahlen nur neutrale oder mit einem elektrischen Elementarquantum geladene Ionen vorhanden sind, mit den Tatsachen unvereinbar ist.

Es bleibt uns daher nur die von mir ausgesprochene Alternative, entweder die Teilbarkeit des Elementarquantums anzunehmen, oder die Bildung großer Molekülkomplexe, die mit einem Elementarquantum geladen sind, zuzulassen. Gegen die erstere sprechen, wie zuzugeben ist, eine Anzahl von Gründen.

Ich bin daher gegenwärtig mehr geneigt, die Bildung großer Moleküle ¹⁾ als die vorläufig beste Erklärung anzunehmen, namentlich da wir die Hypothese der Herren Mie und Stark benutzen können, um den abenteuerlichen Zahlen zu entgehen, die wir für das Atomgewicht der mit dem Auge beobachtbaren, sicherlich in den stärksten magnetischen Feldern weniger als 0,1 mm abgelenkten Kanalstrahlen erhalten würden, wenn wir diesen die ganze Ladung eines Elementarquantums beilegen wollten. Wir würden dann zu Atomgewichten kommen, deren untere Grenze durch die Zahl 10000, bezogen auf Wasserstoff, gegeben wäre. Es würden das Moleküle sein, die bereits der Grenze der Sichtbarkeit sich nähern müßten.

Ob diese wenig ablenkbaren Strahlen aber eine Ladung besitzen, ist nicht nachweisbar und es steht nichts im Wege, sie als neutrale Moleküle anzusprechen. Mit dieser Hypothese sehr gut vereinbar sind auch die Beobachtungen der von den Kanalstrahlen erzeugten Fluoreszenz. Nach meinen Beobachtungen waren zwei verschiedene Arten der Fluoreszenz zu unterscheiden. Einmal die am Glase hervorgerufene, der von Kathodenstrahlen erzeugten, ähnliche, die sich magnetisch und elektrisch ablenkbar erwies. Dann die Fluoreszenz von gelbbrauner Farbe, die von einer am Glase haftenden Gasschicht herzurühren scheint, und nur sehr schwach ablenkbar ist.

Die letztere würden wir der Wirkung neutraler Moleküle zuzuschreiben haben.

Es bleibt nun noch übrig, zu untersuchen, welche untere Grenze wir für die spezifische Ladung der noch geladenen positiven Elektronen annehmen müssen, um mit den Beobachtungen in Übereinstimmung zu bleiben.

1) Vgl. P. Lenard, *Ann. d. Phys.* 12. p. 485. 1903.

Um hierfür aus den Messungen der magnetischen Ablenkung der transportierten Elektrizität Schlüsse zu ziehen, muß man den Querschnitt des Kanalstrahlbündels kennen, in welchem positive Elektrizität fortgeführt wird. Denn es ist klar, daß bei der magnetischen Ablenkung andere Teile des Bündels auf die Auffangelektrode fallen und dort einen Strom hervorrufen. Erst wenn die Ablenkung so groß ist, daß man sicher den Rand des Strahlenbündels über die Elektrode hinweggeführt hat, darf dort keine Elektrizität mehr erscheinen.

Aus der beobachteten Tatsache, daß auf die Elektrode II bei Wasserstofffüllung keine Elektrizität ohne Magnetfeld fiel, kann man schließen, daß im Magnetfelde der Rest von Elektronen, der noch auf I fiel, weniger abgelenkt ist, als der Abstand beider Elektroden ausmacht, also weniger als 25 mm.

Ich habe indessen, um diese Grenze genauer festzustellen, noch folgende Versuche gemacht.

Unter die Erweiterung der Röhre, in welche die drei Elektroden eingeschmolzen waren, wurde ein Holzklötzchen gelegt, so daß er das Glas der Röhre gerade berührte. Von diesem Holzklötzchen wurde so viel fortgeschnitten, daß die Röhre, wenn sie nun mit ihm in Berührung kam, an ihrem Ende sich um 5 mm gesenkt hatte.

Ohne an der Stellung der Röhre etwas zu ändern, wurde die Röhre dicht hinter der Eisenelektrode mit der Gebläseflamme erwärmt, bis sie sich durch ihr eigenes Gewicht auf den Holzklötzchen senkte. Die drei Elektroden waren auf diese Weise um 5 mm gegen das zentrale Bündel Kanalstrahlen verschoben. Dieses fiel nun zwischen die Elektroden I und II.

Jetzt zeigte sich bei Wasserstofffüllung auch bei Elektrode II ein Strom, der den sechsten Teil des bei I auftretenden betrug. Durch die Biegung der Röhre war also die Elektrode II in den Bereich des Strahlenbündels gekommen. Wurde nun der Magnet so erregt, daß die Kanalstrahlen von II nach I hin abgelenkt wurden, so blieb bei schwächeren Feldern immer noch Strom bei II zurück. Erst bei einem Felde von 3000 Einheiten verschwand er vollständig.

Da nun in der früheren Lage die Elektrode II auch ohne Magnetfeld keinen Strom erhalten hatte, so konnte bei einem Felde von 3000 Einh. der letzte Rest positiver Elektronen nicht

mehr abgelenkt sein, als die Verschiebung der Elektrode betragen hatte.

Aus der Spannung von 10000 Volt und dieser Verschiebung um 5 mm berechnet sich

$$\frac{e}{m} = 15,5,$$

was einem Molekulargewicht von 650, bezogen auf Wasserstoff ($e/m = 10^4$), entsprechen würde.

Obwohl nun sehr wahrscheinlich ist, daß noch kleinere Werte der spezifischen Ladung vorkommen, so kann gegen die Möglichkeit der Existenz von solchen Molekülkomplexen wohl kaum etwas eingewendet werden, da sie sich doch nicht allzuweit von den wirklich chemisch beobachteten entfernen. Merkwürdig ist, daß sie sich im Wasserstoff bilden, obwohl natürlich nicht ausgeschlossen ist, daß auch noch ganz andere chemische Elemente, die aus der Röhrenwand oder den Elektroden stammen, sich an der Bildung dieser Moleküle beteiligen.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß diese Gebilde, falls unsere Deutung richtig ist, sich in einem labilen Zustande befinden und nach dem Auftreffen auf die Wand wieder zerfallen.

Ich will schließlich noch auf eine Annahme hinweisen, die auch die vorliegenden Beobachtungen ohne die Hypothese hoher Atomgewichte darstellen würde. Wenn wir die Hypothese der Herren Stark und Mie umkehren und annehmen, daß die positiven Teilchen sich zunächst noch in der Nähe der Kathode sämtlich neutralisieren und nun sich einzeln an verschiedenen Stellen der Bahn wieder spalten, so müßte auch eine ungleichartige Ablenkung, gleichzeitig aber auch eine Ladung auftreten. Doch spricht hiergegen der Umstand, daß dann die Zahl der stark abgelenkten bei Vergrößerung des Weges zunehmen müßte, was ich nicht beobachtet habe.

Würzburg, Physik. Institut, Dezember 1903.

(Eingegangen 19. Dezember 1903.)
