Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXXVIII. Jahrgang 1908.

München
Verlag der K. B. Akademie der Wissenschaften
1909.

In Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Über die Natur der positiven Strahlen.

Von **W. Wien.**

(*Eingelaufen 7. März.*)

Bekanntlich unterscheiden sich die als Kanalstrahlen bekannten positiven Strahlen wesentlich dadurch von den negativen Kathodenstrahlen, daß sie in einem magnetischen Felde nicht gleichmäßig abgelenkt werden. Es treten vielmehr alle Ablenkungen von der geraden Richtung stetig bis zu einem größten Betrage auf. Die größte Ablenkung ist dieselbe, die ein positives Atom des Gases bei der Geschwindigkeit erfahren würde, die es unter Beschleunigung der vollen Entladungsspannung erlangt.

Es sind verschiedene Annahmen gemacht, um diese ungleichmäßige Ablenkung zu erklären. Ich hatte zunächst an Vergrößerung der Massen der einzelnen positiven Teilchen gedacht,[1]) die durch Auseinanderlagerung vieler Atome zustande kommen könnte. Da auch sonst, namentlich in Flammen, auf die Existenz zusammengeballter Moleküle geschlossen ist, so war diese Hypothese die nächstliegende.

Die Herren Stark und Mie hatten die Hypothese vorgezogen,[2]) daß ein Teil der positiven Ionen an verschiedenen Stellen der Bahn elektrisch neutral geworden und so nur auf einem Teil der Bahn den ablenkenden magnetischen Kräften ausgesetzt gewesen sei. Dieser Annahme widersprachen einige

[1]) W. Wien, Ann. d. Phys 9, S. 664, 1902.

[2]) J. Stark, Phys. Zeitschr. 4, S. 581, 1903.

Versuche, die ich früher angestellt habe, so daß ich an eine Umkehrung der Hypothese dachte,[1]) wonach ein großer Teil der positiven Ionen als elektrisch neutral die Durchbohrung der Kathode verläßt; die einzelnen Ionen laden sich dann an verschiedenen Stellen wieder durch Abspaltung eines negativen Ions und müssen dann auch verschieden abgelenkt werden, je nachdem sie eine verschieden lange Strecke im magnetischen Felde in geladenem Zustande zurückgelegt haben.

Versuche, die zwischen allen diesen Möglichkeiten, oder Kombinationen von ihnen, entscheiden könnten, fehlen.

Andererseits ist die Frage von größter Wichtigkeit nicht nur für die theoretischen Vorstellungen sondern auch für alle quantitativen Messungen an positiven Strahlen.

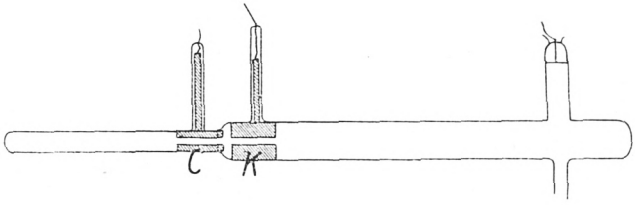

Fig. 1.

Da mir diese Lücke bei meinen Messungen der von den positiven Ionen ausgestrahlten Energie besonders fühlbar geworden war, weil die Bestimmung der Zahl der Ionen durch die transportierte Elektrizitätsmenge unsicher blieb, so suchte ich vor allem diese zweifelhafte Frage aufzuklären. Zunächst versuchte ich die Zahl der auf einer verhältnismäßig kurzen Strecke (5 mm) der Bahn positiv bleibenden einfachen Gasionen zu bestimmen. Die positiven Strahlen durchliefen, nachdem sie aus einem 4 mm weiten Loch einer Aluminiumkathode K ausgetreten waren, eine Strecke von 5 mm und gingen dann in eine 5 mm weite Öffnung eines zweiten Aluminiumcylinders C. (Fig. 1.) Zwischen K und C konnte eine

[1]) W. Wien, Ann. d. Phys. 13, S. 677, 1904.

Spannung angelegt werden, welche die positiven Ionen wieder verzögerte. Das aus C austretende Bündel wurde nun schräg mit dem Kollimator eines großen Spektrometers anvisiert und die nach dem Dopplerschen Prinzip verschobene Linie des Wasserstoffs $H\beta$ beobachtet. Die Helligkeit der Linie konnte nach einem früher beschriebenen Verfahren[1]) gemessen werden. Es zeigte sich nun jedoch, daß die Helligkeit der Linie nicht in beobachtbarer Weise beeinflußt wurde, selbst als die gegengeschaltete Spannung die dreifache der maximalen Entladungsspannung betrug (28000 Volt gegen 9000 Volt, beide mit Funkenstrecken gemessen). Zur Erzeugung der Entladungsspannung diente ein Induktorium, zur Erzeugung der verzögernden Spannung eine 20plattige Influenzmaschine. Hieraus geht hervor, daß kein erheblicher Teil der leuchtenden Strahlen auch nur auf den dritten Teil der Strecke von 5 mm aus positiv geladenen einfachen Atomen besteht. Ein quantitativer Aufschluß ergibt sich aus diesem Versuch nicht, ebensowenig eine Entscheidung, ob wir es mit Molekülen großer Maße oder mit neutralen Atomen zu tun haben, die während verschieden langer Zeit positiv geladen sind.

Es wurden nun Versuche mit einer ganz anderen Versuchsanordnung gemacht. Die Entladungsröhre R befindet sich in einem Eisenzylinder, der mit der Eisenplatte P_1 von 3 cm Dichte, welche die Eisenkathode K_1 fortsetzt, abgeschlossen ist. Die Durchbohrung der Eisenkathode hat einen Durchmesser von 5 mm. In einer Entfernung von 6 cm befindet sich in der Röhre eine zweite Eisenkathode K_2, die ebenfalls nach außen durch die Eisenplatte P_2 fortgesetzt wird. P_1 und P_2 sind miteinander und mit der Erde metallisch verbunden. Zwischen den Platten P_1 und P_2 befinden sich die Pole eines starken Elektromagneten, die aus Lamellen von Transformatoreisen zusammengesetzt sind und sehr gleichmäßige Felder geben. Wir nennen dieses magnetische Feld I. Auf der anderen Seite von P_2 befindet sich das Feld II eines zweiten

[1]) W. Wien, Ann. d. Phys. 23, S. 419, 1907.

Elektromagneten, dessen oberes Polstück N in der Zeichnung sichtbar ist. Die Kraftlinien der beiden Magnetfelder stehen also senkrecht aufeinander, was übrigens für die Versuche unwesentlich ist.

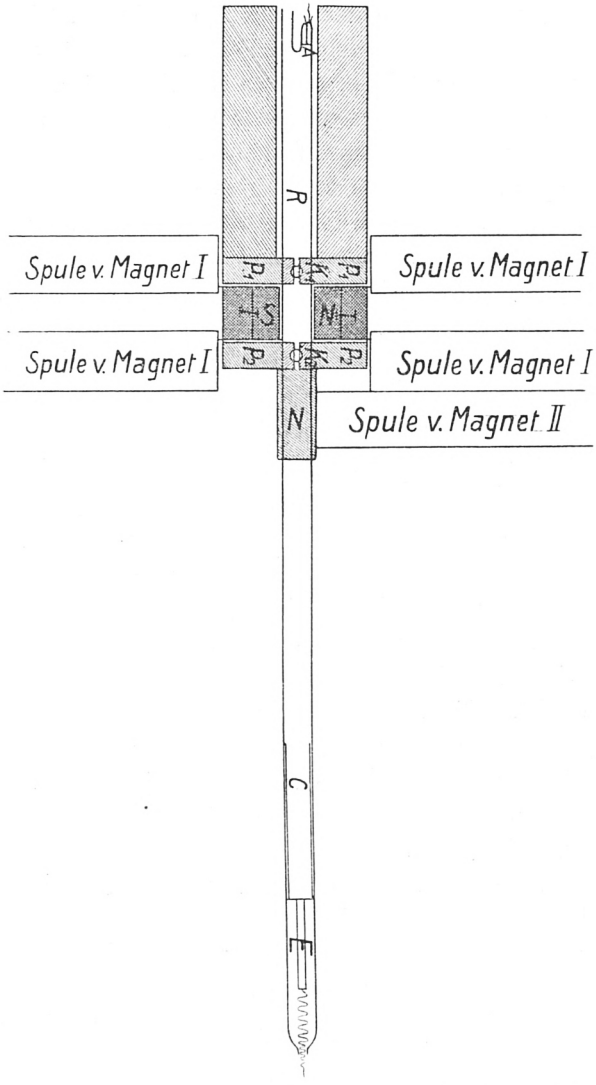

Fig. 2.

Man kann durch diese Vorrichtungen die aus K_1 austretenden positiven Strahlen zunächst in ein magnetisches Feld I treten lassen und dann, nachdem sie durch das Eisenstück K_2 gegangen sind, in das Feld II. Man kann sie natürlich auch nur durch das Feld I oder nur durch II beeinflussen lassen.

Ganz unabhängig sind die beiden Felder I und II voneinander nicht, da jedes etwas in das Gebiet des anderen hinübergreift. Aber bei schwachen Feldstärken ist die gegenseitige Beeinflussung sehr unbedeutend. Mit solchen wurde daher auch ausschließlich bei den quantitativen Versuchen gearbeitet, bei denen es auf diese Unabhängigkeit ankam.

Die Röhre war hinter der Kathode K_2 noch 1 m lang. In ihr war ein Messingzylinder C von 20 cm Länge verschiebbar. Der Zylinder trug ein zylindrisches Stück Eisen E von 10 cm Länge und 1 cm Durchmesser. Eine außen über die Röhre geschobene stromdurchflossene Spule nahm den Eisenzylinder bei ihrer Bewegung mit, so daß der Zylinder in beliebiger Weise verschoben werden konnte. Eine lange Drahtspirale vermittelte die metallische Zuleitung zum Zylinder C.

Zunächst zeigte ein qualitativer Versuch, daß, wenn die Entladung einer Influenzmaschine zwischen A und K_1 durch die Röhre ging und die aus K_1 austretenden positiven Strahlen durch starke Erregung von I abgelenkt wurden, das unabgelenkte Bündel in seiner weiteren Fortsetzung, nachdem es aus K_2 ausgetreten war, nun wieder ebenso starke ablenkbare Strahlen enthielt als ohne das Magnetfeld I.[1]) Da von den positiven Strahlen, die bei K_1 austraten, alle ablenkbaren durch das Feld I abgelenkt waren, so müssen sich also auf dem weiteren Wege neue positive Teilchen gebildet haben. Daß hier

[1]) Eine offenbar hiermit zusammenhängende Beobachtung, daß nämlich hinter einem, in einem magnetischen Felde befindlichen Diaphragma noch stärker ablenkbare Strahlen existieren, machte vor mehreren Jahren schon zufällig Herr Rau im hiesigen Institut, ohne daß seine Versuchsanordnung definitive Schlußfolgerungen gestattet hätte.

auch die ablenkbarsten wieder vorhanden sind, zeigte die folgende Beobachtung.

Bei starkem magnetischen Feld II erschien seitlich an der Röhrenwand der Fluoreszenzfleck der Kanalstrahlen. Die Lage dieses Flecks wurde durch Erregung des Feldes I nicht im mindesten beeinflußt, sondern nur die Intensität ein wenig geschwächt.

Hier entsteht nun zunächst die Frage, ob diese neuen ablenkbaren Strahlen nicht dadurch entstanden sind, daß auch K_2 als Kathode wirkt, so daß durch einen Entladungsvorgang, der in den Raum zwischen K_1 und K_2 hinübergreift, neue Kanalstrahlen entstehen. Es wurde daher zunächst bei den verschiedensten Spannungen untersucht, ob zwischen K_1 und K_2 Kathodenstrahlen entstehen. Denn wenn hier wirklich ein Entladungsvorgang auftritt, wie man ihn tatsächlich manchmal bei ähnlichen Anordnungen beobachtet, so müssen hier auch Kathodenstrahlen entstehen. Durch schwache Erregung des Feldes I müßte man diese Kathodenstrahlen aus dem Bündel ablenken und beobachten können. Indessen zeigte sich niemals auch nur eine Spur von Kathodenstrahlen zwischen K_1 und K_2.

Es erschien nun vor allem erwünscht, die Verhältnisse durch quantitative Messung weiter zu klären.

Wenn nach Ablenkung der vorhandenen positiven Strahlen aufs neue positive Strahlen entstehen, so muß man durch Messung der aufgefangenen Elektrizitätsmenge Aufschluß darüber erhalten, wie viel positive Teilchen sich neu geladen haben.

Man mißt bei feststehendem Auffänger C die Strahlenmenge

1. Ohne magnetische Felder,
2. Bei Erregung des Feldes I,
3. Bei Erregung des Feldes II,
4. Bei gleichzeitiger Erregung des Feldes I und II.

Die Kombination von 1 und 3 ergibt uns die prozentische Schwächung der positiven Strahlen durch Einwirkung von Magnetfeld II auf das ungeschwächt aus K_2 tretende Bündel.

Die Kombination 2 und 4 ergibt uns die entsprechende Schwächung des durch Einwirkung des Feldes I bereits an Ionen ärmer gewordenen Bündels.

Sind in beiden Fällen die Schwächungen prozentisch gleich, so ist zu schließen, daß die Neubildung der positiven Ionen immer im Verhältnis der Gesamtzahl der in Bewegung befindlichen Atome geschieht, so daß immer ein bestimmter Prozentsatz positiv geladen bleibt.

Der Empfänger C befand sich in einer Entfernung von 35 cm von K_2. Da sein Vorderende offen war, so konnte auch das stark verbreitete Bündel der Kanalstrahlen ungehindert eindringen. Der Strom wurde an einem Siemensschen Galvanometer nach d'Arsonval gemessen, dessen Empfindlichkeit durch passende Nebenschlüsse reguliert werden konnte.

Im folgenden sind die Beobachtungen zusammengestellt:

Kanalstrahlen in Wasserstoff.

Spannung Volt	Ablenkung in Skalenteilen				Stromstärke nach Schwächung durch Magnetfeld II in Prozenten der ursprünglichen	
	ohne Magnetfeld	Magnetfeld I	Magnetfeld II	Magnetfeld I + II	ohne Magnetfeld	mit Magnetfeld I
12 900	150	60	90	37	60 %	61 %
8 100	40	25	29	18	72	72
10 500	140	100	100	70	71	70
4 800	210	140	160	105	76	75
6 000	280	180	230	150	82	83
3 500	85	58	62	45	73	77

Obwohl die Übereinstimmung der beiden letzten Vertikalreihen so gut ist, als die Beobachtungsfehler es irgend zulassen, so schien es mir doch notwendig, die Strahlen unter möglichst veränderten Bedingungen aufzufangen.

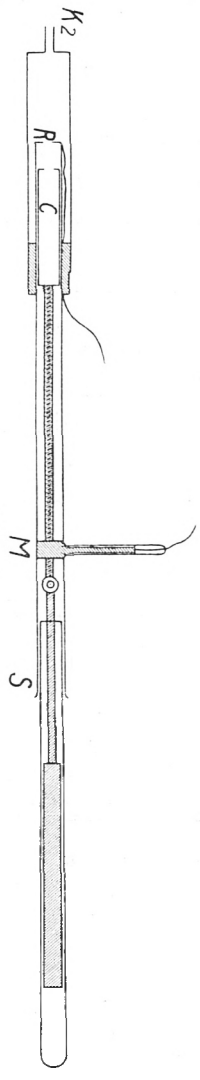

Fig. 3.

Fig. 3 zeigt einen Auffänger C, der aus einem 10 cm langen Messingzylinder von 2 cm Durchmesser besteht, der vorne bis auf eine zentrale Öffnung von 5 mm Durchmesser geschlossen ist. Vermöge einer durch die feste Mutter M laufenden Schraube, die durch den Schliff S gedreht wird, ist die Lage von C veränderlich. C verschiebt sich in einem Glasrohr, das vorn durch einen Messingdeckel geschlossen ist, durch den eine Öffnung von 6 mm gebohrt ist. Dieser Messingdeckel ist zur Erde abgeleitet. Die Entfernung des Auffängers von K_2 betrug 10 cm.

Bei den Beobachtungen wurde auch noch das Gas geändert und sowohl mit Luft wie mit Wasserstoff Messungen angestellt. (Tab. 1.)

Man sieht auch aus dieser Tabelle, daß in der Tat die beiden letzten Vertikalreihen ziemlich gut miteinander übereinstimmen.

Weitere Beobachtungen wurden nun in der Weise gemacht, daß der Empfänger um 35 cm weiter von K_2 entfernt wurde, so daß die Strahlen einen weit längeren Weg zu durchlaufen haben. Wenn sich nach der Verminderung der positiv geladenen Teilchen durch das Magnetfeld I wieder der gleiche Zustand im Strahlenbündel herstellt, wie sie ohne Einwirkung des Magnetfeldes herrscht, so muß die prozentische Abnahme durch das Magnetfeld in beiden Stellungen des Auffängers dieselbe sein.

Es wurde daher der Magnet II beseitigt und dafür die ganze Röhre hinter K_2 mit einem Eisenschutz versehen, der

Tabelle I.

	Ablenkung in Skalenteilen				Stromstärke nach Schwächung durch Magnetfeld II		
	ohne Magnetfeld	Magnetfeld I	Magnetfeld II	Magnetfeld I + II	ohne Magnetfeld I	mit Magnetfeld I	
Luft	37	29	16	12	43 %	41 %	
„	46	32	18	13	39	41	
„	16	10	5	3	31	30	
Wasserstoff	120	80	42	28	35	35	Magnetfeld I verstärkt
„	150	100	54	32	36	32	
„	155	110	48	32	31	29	

zum Teil aus 1 cm dicken Stücken zusammengesetzt war, so daß die obere Lage leicht abgenommen werden konnte. Dies war erforderlich, wenn der Empfänger verschoben werden sollte, weil dann die Spule auf der Röhre verschoben werden mußte. Wir wollen die beiden Stellungen des Empfängers mit A und B bezeichnen. A soll die vordere Stellung sein, B die hintere. Da bei A die Intensität erheblich größer war, so wurde hier die Empfindlichkeit des Galvanometers verringert.

Die folgende Tabelle 2 enthält die Beobachtungen:

Tabelle 2.

Spannung Volt	Stellung A ohne Magnetfeld I	Stellung A mit Magnetfeld I	Übrigbleibender Strom	Stellung B ohne Magnetfeld I	Stellung B mit Magnetfeld I	Übrigbleibender Strom
11 400	135	110	82 %	75	60	80 %
6 300	40	32	80	10	8	80
6 300	47	38	81	10	8	80
9 600	90	70	78	10	8	80
7 000	290	240	83	32	26	81
7 000	240	200	83	30	25	83

Die auch hier sich zeigende Übereinstimmung ist geeignet, die aus den zuerst erwähnten Beobachtungen zu ziehenden Schlüsse zu stützen, obwohl jenen eine größere Beweiskraft zukommt.

Zusammenfassend können wir sagen, daß die Hypothese, daß die verschiedene Ablenkbarkeit der positiven Strahlen dadurch hervorgerufen wird, daß den Ionen verschieden große Massen beizulegen sind, aufgegeben werden muß. Die verschiedene Ablenkbarkeit rührt vielmehr daher, daß die Ionen verschieden lange Strecken ihres Weges im geladenen Zustande zurücklegen. Besonders eigentümlich ist aber das aus Tabelle I und II zu folgernde Ergebnis, daß die Ionen des Kanalstrahlenstroms von selbst einen gewissen Gleichgewichtszustand annehmen, in welchem das Verhältnis der Anzahl der geladenen zu den ungeladenen Teilchen immer dasselbe ist. Dieser Gleichgewichtszustand stellt sich von selbst wieder her, wenn durch magnetische Ablenkung ein Teil der positiv geladenen Teilchen fortgenommen wurde.

Wir müssen daher annehmen, daß alle Teilchen des Kanalstrahlenstroms gleichmäßig beteiligt sind an den sich im weiteren Verlaufe abspielenden Prozessen, die wir wohl in der Hauptsache als einen Dissoziationsprozeß zwischen Atomen und Elektronen aufzufassen haben. In den fortbewegten Atomen ist immer nur ein bestimmter Teil dissoziiert und nur so lange den äußeren magnetischen Kräften unterworfen.

Da die Dissoziation zwischen den einzelnen Atomen fortwährend abwechselt, so sind einzelne nur während kurzer Zeit, andere längere Zeit dissoziiert. Daß wir immer den Überschuß der positiven Ladungen beobachten, während der Auffänger bei bloßer Dissoziation keinen Strom liefern könnte, zeigt an, daß unter den Versuchsbedingungen die negativen Elektronen größtenteils das Kanalstrahlenbündel verlassen.

Mit Sicherheit geht aus den Beobachtungen hervor, daß der beobachtete positive Strom der Kanalstrahlen nichts Unmittelbares mit dem eigentlichen Entladungsvorgang zu tun

hat. In der Entladung muß sich allerdings die erste Trennung des Atoms von den Elektronen vollziehen, es tritt hier die Beschleunigung der Atome durch die elektrischen Kräfte des Feldes ein. Aber nachdem die Atome eine größere Strecke im Gasraum zurückgelegt haben, neutralisiert sich immer eine bestimmte Anzahl während die übrigen geladen sind.

Es ist möglich, daß die Vorgänge im extremen Vakuum andere sind. Wenn nämlich die beobachtete Neubildung positiver Ionen mit den Zusammenstößen der Atome mit den ruhenden Gasatomen zusammenhängt, so müßte sie im äußersten Vakuum aufhören. Versuche hierüber werden vorbereitet.

Ferner zeigen die Ergebnisse, daß man durch den Kanalstrahlenstrom nicht die Anzahl der wirklich in Bewegung befindlichen Atome mißt, sondern nur die Anzahl der geladenen Ionen.

Würzburg, Physikalisches Institut, März 1908.