

5. *Die Bestimmung von e/m_0 ;* *von Kurt Wolz.*

(Hierzu Taf. I, Figg. 1—6, Taf. II, Fig. 7 und sieben Aufnahmen.)

In dem Maße wie die Elektronentheorie an Bedeutung für die Erklärung physikalischer Erscheinungen gewinnt, wächst das Bedürfnis nach einer genauen Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons. Theorie und Experiment führen immer wieder, besonders auf dem Gebiete der Optik, zu Auswertungen von e/m_0 . Zahlreich sind daher auch die Versuche, die in den letzten 20 Jahren zur Bestimmung von e/m_0 unternommen worden sind. Auf p. 274 und 275 sind die bis jetzt darüber angestellten Versuche und Resultate in einer Tabelle zusammengestellt, die zum Teil dem Werke von C. G. Schmidt über Kathodenstrahlen (1904) entnommen sind. Ein Blick auf die Tabelle zeigt, daß die gefundenen Resultate zunächst noch recht beträchtlich schwanken. Erst mit verbesserten Hilfsmitteln und einwandfreieren Methoden haben die Resultate Werte angenommen, die sich immer mehr einander nähern. Zunächst wurden alle diese Versuche mit Kathodenstrahlen ausgeführt. Die Becquerelstrahlen des neu entdeckten Radiums gestatteten auch andere Methoden zur Anwendung zu bringen. Bis jetzt liegen zwei Arbeiten über Messungen an Becquerelstrahlen vor, die von W. Kaufmann und die von A. H. Bucherer. Bei der Kaufmannschen Anordnung liegen das elektrische und das magnetische Feld parallel zueinander. A. H. Bucherer verwendet bei seinen Experimenten die beiden Felder in gekreuzter Stellung, eine Anordnung, wie sie in einfacher Form schon J. J. Thomson und Bestelmeyer für Kathodenstrahlen gebraucht haben. Da nun Hr. Prof. A. H. Bucherer in seiner Arbeit¹⁾ den Wert von e/m_0 nur angenähert infolge der Kondensatorrandbedingungen finden konnte, so habe ich mich auf seine Ver-

1) A. H. Bucherer, Ann. d. Phys. 28. p. 513. 1909.

Beobachter	Datum	Strahlenart	Methode	$\frac{e}{m_0}$
Schuster . . .	1890	Kathodenstrahlen	Magnetische und elektrische Ablenkung	$0,1 \times 10^7$
J. J. Thomson	1897	„	Magnetische und elektrische Ablenkung	$0,77 \times 10^7$
J. J. Thomson	1897	„	Magnetische Ablenkung und Wärme	$1,17 \times 10^7$
W. Kaufmann	1897	„	{ Magnetische Ablenkung und Elektrodenspannung }	$1,77 \times 10^7$
W. Kaufmann	1898	„		$1,86 \times 10^7$
Schuster . . .	1898	„	Magnetische u. elektrostatische Ablenkung	$0,36 \times 10^7$
W. Wien . . .	1898	„	Magnetische u. elektrostatische Ablenkung	2×10^7
Lenard . . .	1898	Lenardstrahlen	Magnetische u. elektrostatische Ablenkung	$0,639 \times 10^7$
Lenard . . .	1898	„	Magnetische Ablenkung und Verzögerung im elektrischen Felde	$0,68 \times 10^7$
Simon . . .	1899	Kathodenstrahlen	Magnetische Ablenkung u. Elektrodenspannung	$1,865 \times 10^7$
Wiechert . . .	1899	„	Magnetische Ablenkung und Geschwindigkeit	1,01 bis $1,55 \times 10^7$
J. J. Thomson	1899	Ultraviolettes Licht	Verzögerung der Entladung durch magnetisches Feld	$0,76 \times 10^7$
J. J. Thomson	1899	Glühende Metalle	Verzögerung der Entladung durch magnetisches Feld	$0,87 \times 10^7$
Lenard . . .	1900	Ultraviolettes Licht	Magnetische Ablenkung u. Elektrodenspannung	$1,15 \times 10^7$
Seitz	1902	Kathodenstrahlen	Magnetische u. elektrostatische Ablenkung	$1,87 \times 10^7$
W. Kaufmann	1902	Becquerelstrahlen	Magnetische u. elektrostatische Ablenkung	$1,845 \times 10^7$
A. Wehnelt .	1903	Glühende Elektrolyte	Magnetische Ablenkung u. Elektrodenspannung	$1,4 \times 10^7$

Beobachter	Datum	Strahlenart	Methode	$\frac{e}{m_0}$
A. Becker . .	1905	Kathodenstrahlen	Magnetische Ablenkung u. Elektroden- spannung	$1,847 \times 10^7$
W. Kaufmann	1906	Becquerelstrahlen	Magnetische u. elektro- statische Ablenkung	$1,884 \times 10^7$
P. Weiss und A. Cotton } A. Bestelmeyer	1907		Zeemaneffekt	$1,767 \times 10^7$ (nach Gmelin)
A. Stettenheimer	1907	Kathodenstrahlen	Magnetische u. elektro- statische Ablenkung	$1,72 \times 10^7$
A. H. Bucherer	1908	Becquerelstrahlen	Magnetische u. elektro- statische Ablenkung	$1,791 \times 10^7$ (nach Gmelin)
J. Classen . .	1908	Glühende Elektrolyte	Magnetische Ablenkung u. Elektroden- spannung	$1,763 \times 10^7$
P. Gmelin . .	1909		Zeemaneffekt	$1,776 \times 10^7$
				$1,771 \times 10^7$

anlassung der Aufgabe unterzogen, die Streuung der Kraftlinien über den Kondensatorrand hinaus experimentell genau zu bestimmen, und somit auch einen möglichst einwandfreien Wert für e/m_0 zu finden.

Theorie der Versuche.

Das Prinzip der Methode meiner Messungen ist das von A. H. Bucherer bei seinen Untersuchungen benutzte. Von einem Körnchen Radiumfluorid gehen β -Strahlen von großem Geschwindigkeitsbereiche aus und treten zunächst in einen Kondensator ein, der aus optisch ebenen versilberten Glasplatten besteht (Fig. 1, Taf. I). Der Kondensator befindet sich in einem evakuierbaren, zylindrischen Glasgefäße (Fig. 3, Taf. I), das in das Magnetfeld eines Solenoids so eingeschoben werden kann, daß die Richtung des Magnetfeldes parallel den Kondensatorplatten ist. Dann wirken auf die β -Strahlen zwei entgegengesetzte Kräfte, die elektrostatische des Kondensatorfeldes F und die vom Magnetfelde H herrührende elektrodynamische Kraft. Da letztere der Geschwindigkeit der β -Strahlen proportional ist, so kompensieren sich die beiden

Kräfte nur für Strahlen einer bestimmten Geschwindigkeit. Für diese Strahlen, die allein aus dem Kondensator austreten, ist:

$$(1) \quad \varepsilon F = \varepsilon H u,$$

$$(2) \quad \frac{u}{v} = \beta = \frac{F}{Hv}.$$

Nach dem Verlassen des Kondensators treten die Strahlen in das reine Magnetfeld ein, werden abgelenkt und treffen auf die senkrecht zur Magnetkraft aufgestellte empfindliche Platte. Wendet man jetzt die Lorentzsche Formel an, bei der noch z die Ablenkung und a den Abstand zwischen dem Kondensator und der photographischen Platte bedeutet, so ergibt sich für e/m_0 nach A. H. Bucherer, l. c. p. 520:

$$(3) \quad \frac{e}{m_0} = \frac{2 v x}{(a^2 + x^2) H} \tan \arcsin \beta.$$

Hiermit wäre e/m_0 vollkommen bestimmt, wenn der mit dem Komparator gemessene Abstand a zwischen Kondensator und photographischer Platte der richtige wäre. Infolge der Streuung der Kraftlinien des Kondensators über dessen Rand hinaus ist aber tatsächlich die Wirkung eine derartige, als ob der Abstand a um ein Stück verkürzt worden wäre (vgl. Bucherer, l. c. p. 522). Mithin ist also nicht a , sondern das Stück $a - p$ in Rechnung zu ziehen. Bei einem gewissen Abstände a muß daher die Formel folgendermaßen lauten:

$$(4) \quad \frac{e}{m_0} = \frac{2 v x}{[(a - p)^2 + x^2] H} \tan \arcsin \beta.$$

Um aus dieser Gleichung nun p bestimmen zu können, ist noch eine zweite Gleichung notwendig, die durch eine Änderung des Abstandes a gefunden wird. Wird daher bei einem zweiten Versuche der Abstand geändert, dessen Größe a' sein möge, so erhält man:

$$(5) \quad \frac{e}{m_0} = \frac{2 v x}{[(a' - p)^2 + x^2] H} \tan \arcsin \beta.$$

Durch Gleichsetzung von (4) und (5) ergibt sich p und e/m_0 . Dieser Wert von e/m_0 muß unverändert bleiben, wenn durch eine Änderung der Streuung der Kraftlinien, was durch eine verschiedene Höhe des versilberten Randes an der Vorder-

seite der Kondensatorplatten erreicht wird, p einen anderen Wert erhalten sollte. *Ergibt sich aber der gleiche Wert von e/m_0 bei verschiedenen Werten von p , so ist dies der beste Prüfstein für die Richtigkeit der Theorie meiner Messungen.*

Anordnung der Apparate.

Die Ablenkung der Becquerelstrahlen wurde, wie schon erwähnt, durch ein magnetisches und ein elektrostatisches Feld hervorgerufen, deren Wirkungen senkrecht zueinander standen. Das elektrische Feld wurde durch einen Kondensator erzeugt, dessen Potential von einer Hochspannungsbatterie herrührte. Ein Solenoid lieferte das gewünschte Magnetfeld. Solenoid sowie Kondensator werden weiter unten noch näher beschrieben. Durch geeignete Wahl der beiden Felder konnte man die Becquerelstrahlen von gewünschter Geschwindigkeit austreten und auf einer photographischen Platte auftreffen lassen. In einem Glaszylinder war der Kondensator mit einer Vorrichtung zum Festklemmen der photographischen Platte eingebaut. Fig. 1 auf Taf. I möge die gewählte Anordnung im Längsschnitte veranschaulichen. Der Apparat wurde in der Werkstätte von Max Wolz in Bonn angefertigt. Der mit aller Sorgfalt zusammengesetzte Kondensator mit den Platten k_1 und k_2 wurde an dem einen Ende einer durchbrochenen Messinghülse h befestigt. [In der Zeichnung sind die durchbrochenen Stücke der Übersichtlichkeit halber fortgelassen.] Die Versilberung des Kondensators war durch teilweise Entfernung an den Außenflächen vom Ansatzstücke b isoliert. An dem anderen Ende der Messinghülse war ein zweites verstellbares Rohr a übergeschoben, an dem vorn eine eingedrehte Messingfassung m aufgeschraubt war, um die kreisförmige photographische Platte aufnehmen zu können. Diese wurde dann mit dem leicht federnden Messingbügel f festgehalten. Kondensator und photographische Platte standen senkrecht zueinander. An dem inneren Rohre h waren noch vier Schrauben angebracht, die ein Befestigen des zweiten Rohres a in der gerade gewünschten Entfernung zwischen Kondensator und photographischer Platte gestatteten (Fig. 4, Taf. I). Zwei bis drei Millimeter vom Kondensator entfernt war noch ein

Diaphragma *d* aufgestellt, das den Zweck hatte, Fluoreszenzlicht abzublenden. Meine ersten Aufnahmen waren dadurch verdorben, daß noch Fluoreszenzstrahlen auf die Platte gelangten, die über oder unter den Kondensatorplatten hindurchgelangten. Die Öffnung der Blende ist in Fig. 2, Taf. I in natürlicher Größe ersichtlich.

Um nun diesen Apparat in dem Glaszylinder festzuhalten, waren an den beiden Enden je drei Messingknöpfe angebracht, von denen zwei fest aufgeschraubt, der dritte bewegliche durch eine kräftige Messingfeder gegen die Innenwand des Glaskörpers gedrückt wurde. Der Apparat wurde somit in dem Zylinder an sechs Punkten völlig festgehalten. Die federnden Messingknöpfe befanden sich oben am Apparate, so daß eine Bewegung infolge der eigenen Schwere vollständig ausgeschlossen war. Zwei im Glasgefäße eingeschmolzene Platinfäden führten zu den Kondensatorplatten. Das offene Ende des Glaszylinders war umgebogen und geschliffen, um eine genügend breite Auflagefläche für den schwarzen Verschußdeckel zu geben. Zu dieser von mir gut plan geschliffenen Ansatzfläche war der innere Messingapparat so justiert, daß die Ebene der photographischen Platte mit der Ebene der geschliffenen Auflage parallel verlief. Der Glaskörper war derartig auf einem Holzfuße befestigt (vgl. Fig. 3, Taf. I), daß die Schlißfläche des Glases sowohl senkrecht zur Auflagefläche des Fußes lag als auch parallel zur Seitenkante *A*. Diese Seite wurde durch eine Federung gegen eine Innenfläche des Solenoids gedrückt. Hierdurch wurde erreicht, daß die Achse des Solenoids senkrecht zur Achse der eingebauten Messinghülse zur Aufstellung gelangte. Elektrostatisches und magnetisches Feld standen durch diese Anordnung ebenfalls senkrecht zueinander. Ferner war der Apparat noch so ausjustiert, daß die Achse des Solenoids, sowie die der Messinghülse möglichst in eine Ebene fielen. Vom Glaskörper führte noch ein Stutzen zur Luftpumpe. Zur Erzielung eines möglichst hohen und konstanten Vakuums wurde eine Gädepumpe verwendet, mit der außerdem noch eine Wasserstrahlpumpe sowie eine Fleussche Pumpe in Verbindung standen. Letztere bezweckte ein schnelles Auspumpen des Systems beim Beginn eines jeden Versuches, da ein schnelles Entfernen aller Gasteile die Bedingung einer

möglichst klaren, unverschleierten Platte war. Zu bemerken ist noch, daß bei allen Versuchen während der ganzen Belichtungsdauer stets das höchste Vakuum geherrscht hat.

Das elektrische Feld.

Zwei optisch ebene Glasplatten von 49,5 mm Länge, 30,15 mm Breite und 5,07 mm Höhe wurden mit einem dünnen, möglichst gleichmäßigen Silberbelage versehen, um als Kondensatorplatten zur Erzeugung des elektrischen Feldes zu dienen. Zwischen den beiden Kondensatorplatten waren an den vier Ecken Quarzplättchen von 0,25048 mm Dicke angebracht, über denen die Angriffspunkte der vier Klemmen lagen, die den Kondensator zusammenhielten. Durch diese Anordnung der Klemmen war ein Durchbiegen des Kondensators und somit ein unhomogenes Feld ausgeschlossen. Natürlich wurde auch darauf geachtet, daß alle vier Klemmschrauben stets möglichst gleich stark angezogen wurden. Zur Dickenbestimmung der vier Quarzplättchen wurde die bereits von A. H. Bucherer angegebene Methode angewendet. Mein Wert $d = 0,25048$ weicht um etwa 1 Promille von dem Buchererschen Werte ab.

Geladen wurde der Kondensator mit einer Akkumulatoren-batterie von 320 Elementen. Zum Schutze der Batterie sowie des Kondensators war noch ein Graphitwiderstand von etwa 660000 Ohm eingeschaltet. Der Widerstand des Kondensators wurde mit einem Galvanometer bestimmt, dessen Empfindlichkeit 10^{-8} war. Bei einer Spannung von 246 Volt ergab sich hierbei ein Ausschlag von zwei Skalenteilen. Mithin beträgt der Widerstand des Kondensators $1,23 \times 10^{10}$ Ohm, d. h. der Widerstand ist so groß, daß eine Korrektur infolge Änderung des Potentials durch Leitfähigkeit nicht in Rechnung gezogen zu werden braucht.

Sofort nach jeder Aufnahme wurde der benutzte Teil der Batterie gemessen. Das Vergleichselement war ein von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geprüftes Normalweston-element von 1,0191 Volt Spannung.

Die Spannung der Akkumulatorenbatterie blieb überraschend konstant.

Das magnetische Feld.

Zur Erzeugung des magnetischen Feldes benutzte ich ein wassergekühltes Solenoid, dessen Größenverhältnisse folgende waren: Länge = 103 cm, Breite = 22,5 cm und Höhe = 14,5 cm. Es war das gleiche, das A. H. Bucherer zu seinen Untersuchungen gedient hatte. Da nach Beendigung der Buchererschen Experimente von fremder Hand das Solenoid durch übermäßigen hydrostatischen Druck eine Deformation erlitten hatte, so wurde eine Neubestimmung des Magnetfeldes notwendig. Durch Vergleich mit einer Standardspule wurde diese Bestimmung ausgeführt. Die Dimensionen der Spule, deren Drahtwindungen auf einem genau zylindrischen Marmorkranz gewickelt waren, waren folgende:

$$\begin{aligned} n &= 136 \text{ die Anzahl der Windungen,} \\ b &= 4,12 \text{ cm die Breite,} \\ R &= 20,635 \text{ cm der Radius der Spule.} \end{aligned}$$

Aus diesen Konstanten ergab sich:

$$H_{(\text{Sp})} = \frac{1}{10} \frac{J 2 n \pi}{R \left(1 + \frac{1}{8} \frac{b^2}{R^2} \right)} = 4,1205 J.$$

Der Widerstand der Standardspule betrug 50,4 Ohm, was nach bekannter Gleichsetzungsmethode gefunden wurde. Die Widerstände für die beiden Wickelungen des Solenoids hatten folgende Größen:

Wicklung 1 hatte	15,8827 Ohm	Widerstand
Wicklung 2 hatte	16,1747	„ „
Mithin jede im Mittel	16,0287	„ „

Nach Festsetzung dieser Normalwerte wurden Standardspule und Solenoid miteinander verglichen. Zu diesem Zwecke wurde die Standardspule über das Solenoid geschoben und genau in der Mitte senkrecht zur Achse des letzteren justiert. Ein kleiner empfindlicher Magnet mit einem Spiegel wurde innerhalb des Solenoids an einem Quarzfaden ebenfalls in der Mitte genau in der Achse des Solenoids aufgehängt. Die Achse des letzteren ergab sich durch zwei kreuzweise an den beiden Enden des Solenoids gespannte Fäden. Die Visierlinie der beiden Kreuzungspunkte bildete die Achse. Die ganze An-

ordnung für die Messung ist aus Fig. 7, Taf. II zu ersehen. Die Drehungen des Magneten wurden mit einem kleinen Ablesefernrohr auf einer Skala beobachtet, die im Spiegel des Magneten abzulesen war.

Durch Gleichsetzung der Wirkung beider Stromkreise ergab sich H für jede Wickelung. Es war:

$$H_1 = 11,566 J,$$

$$H_2 = 11,595 J,$$

daher

$$H = H_1 + H_2 = 23,161 J.$$

Dieser Wert weicht um 1 Promille vom Buchererschen ab. Ich habe die Bestimmung von H nur in der Mitte des Solenoids ausgeführt, da alle meine Aufnahmen stets an der gleichen Stelle gemacht wurden. Diesen Wert von H konnte ich ohne weiteres in meine Berechnungen einsetzen, da ich die Größe des erdmagnetischen Feldes nicht zu berücksichtigen brauchte. Ich hatte nämlich für alle meine Untersuchungen Doppelkurven hergestellt, so daß sich der Erdmagnetismus durch Addition und Subtraktion kompensieren mußte. Die Richtung des Solenoidfeldes war in die horizontale Komponente des Erdmagnetismus gestellt.

Als Stromquelle benutzte ich bei meinen Versuchen den städtischen Strom, der infolge seiner Schwankungen ständig reguliert werden mußte. Ein Siemenssches Präzisions-, Milli-, Volt- und Amperemeter diente zum Ablesen der gewünschten Stromstärke.

Die Versuche und Resultate.

Als ich im vorigen Herbste mit meinen Aufnahmen begann, hatte mein Apparat zunächst noch nicht die Form, die bei den endgültigen Versuchen gebraucht wurde. Zu einem vorläufigen Versuche reichte er jedoch hin, um dann auf Grund der daran gemachten Erfahrungen umgebaut zu werden. Meinen eigentlichen Untersuchungen hat der in den vorhergehenden Zeilen beschriebene Apparat gedient. Die größte Sorgfalt wurde beim Zusammensetzen des Kondensators darauf verwendet, daß zwischen den Kondensatorplatten und den Quarzplättchen sich keine Staubteilchen befanden. Denn geringe

Verunreinigungen hätten einen größeren Abstand zwischen den Kondensatorplatten bedingt und somit die Annahme eines zu großen Wertes für das elektrostatische Feld. Fernerhin wurde ein genaues Übereinanderlagern der beiden Kondensatorplatten dadurch erreicht, daß der Kondensator zwischen sechs zylindrischen und parallel stehenden Messingzapfen zusammengesetzt wurde. Die Zapfen waren auf einer Platte derart aufgeschraubt, daß die beiden vollkommen gleich großen Kondensatorplatten ohne Spielraum sich hineinschieben ließen (vgl. Figg. 5a und 5b, Taf. I). Waren die Platten zwischen den Zapfen aufeinandergelegt, so wurden genau über den vier Quarzplatten die Klemmen festgeschraubt, die den Kondensator zusammenhielten. Durch diese Anordnung der Klemmen über den Quarzplatten wurde jede Durchbiegung des Kondensators vermieden. Die beiden vorderen Klemmen waren durch hinreichend dicke Glimmerplatten vollkommen isoliert befestigt. Die beiden anderen waren derartig angebracht, daß eine mit der unteren Kondensatorplatte, die andere mit der oberen leitend verbunden war. Von der gegenüber liegenden Platte waren sie durch farblosen Glimmer isoliert. War der Kondensator soweit zusammengesetzt, so wurde außerhalb des Hilfsapparates das Radiumkorn mittels Wachs auf der einen Seite der Längsachse des Kondensators genau in der Höhe des Spaltes möglichst nahe an diesem befestigt (vgl. Fig. 1, Taf. I). Die Strahlungsquelle bestand aus Radiumfluorid in der angenäherten Form einer Kugel. Ursprünglich war das Radiumpräparat ein Bromid, das aber zur Erzielung einer größeren Intensität bei kleinerem Volumen durch Fluorwasserstoffsäure in das Fluorid übergeführt worden war. Um nun ein möglichst kleines Volumen zu erhalten, wurde das Radiumkorn mit einem glühenden Platinfaden geschmolzen, wobei es in Form eines Ellipsoids am Drahte haften blieb. Ein Überhitzen des Drahtes war zu vermeiden, da sonst das Salz leicht verdampft wäre. Bei diesem Prozesse verlor das Präparat den größten Teil seiner Intensität. Nach zwei Wochen war ungefähr die halbe, nach fünf Wochen die volle Leuchtkraft wieder vorhanden.

Der fertig zusammengesetzte Kondensator wurde nun in der Messinghülse festgeschraubt und diese (Fig. 4, Taf. I) in den Glaszylinder eingesetzt. Die beiden hinteren Klemmen

des Kondensators besaßen noch je eine Befestigungsschraube, an die die beiden Platindrähte angelegt wurden, um die Verbindung zur Akkumulatorenbatterie herzustellen. Das Glasgefäß war gegen Eindringen des Tageslichtes durch einen dichten Lacküberzug und durch Isolierband vollkommen gesichert.

Nach diesen Vorbereitungen konnte zur Ausführung der eigentlichen Versuche geschritten werden. Die photographische Platte wurde in der Dunkelkammer eingelegt, der Apparat ins Solenoid eingeschoben und die Pumpen in Gang gesetzt. Durch die Vorpumpe war ein schnelles Einschalten der Gädepumpe gesichert, so daß nach 5—8 Min. schon das höchste Vakuum erreicht war. Schwierigkeiten mit dem Abdichten der Hähne sowie des Deckels auf meinem Glaszylinder habe ich nicht gehabt, vorausgesetzt, daß bei jedem Versuche auf ein gutes Einfetten aller in Frage kommenden Teile Rücksicht genommen wurde. Ich bediente mich hierbei einer zähen Lösung von Gummi in Vaseline.

Nach $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ stündigem Auspumpen konnte ich dann die Felder zum Versuche anlegen. Jedenfalls wurde nie ein Versuch begonnen, ohne nicht zuvor das höchste Vakuum erreicht zu haben. Dieses wurde festgestellt durch eine am Zuleitungsrohre angeschmolzene Geissleröhre, bei der das Verschwinden der Röntgenstrahlen ein gutes Vakuum anzeigte. Dieses blieb während des ganzen Versuches gleich hoch. Ein Untersuchen der Gasdichte während einer Aufnahme konnte jedoch nur dann stattfinden, wenn durch einen Glashahn der eigentliche Apparat vom Zuleitungsrohre getrennt war. Geschah dies nicht, so fand am Kondensator ein, wenn auch nur für die Zeit des Funkenüberganges dauernder Ausgleich der Potentialdifferenz statt. Dieses stellte ich in einer besonderen Untersuchung mit einem Galvanometer fest. Auch wurde durch das Leuchten der Gasionen die Platte bei diesem Vorgange belichtet. Die Dauer der einzelnen Aufnahmen richtete sich nach der Geschwindigkeit der gerade gewünschten Becquerelstrahlen und ferner nach dem jeweiligen Abstände zwischen Kondensator und photographischer Platte. Eine große Rolle für die Belichtungsdauer spielte außerdem noch die Empfindlichkeit der photographischen Platte selbst. Dem Entgegen-

kommen der Firma Westendorp & Wehner in Köln habe ich es zu danken, daß ich für meine Experimente ein sehr vorzügliches Material erhielt, wodurch mir meine Versuche sehr erleichtert wurden. Im allgemeinen dauerte die Aufnahme einer Doppelkurve für meine endgültigen Versuche 9—10 Stunden. Nach den ersten orientierenden Versuchen hatte ich zunächst die Absicht, Aufnahmen in einer Entfernung von 5—7 cm vom Kondensator zu machen. Je ein Versuch im Abstände von 6 und 7 cm bei einer Belichtungsdauer von je $5\frac{1}{2}$ Stunden für $\beta = 0,7$ zeigte mir jedoch, daß die Kurven für diese Entfernung infolge allzu großer Streuung zu breit und verwaschen wurden, so daß an ein genaues Messen nicht zu denken war. (Aufnahme Nr. 8, Taf. II, möge den Versuch für $\beta = 0,7$ und $a = 6$ cm darstellen.) Aus vielfachen Versuchen habe ich die Überzeugung gewonnen, daß bei einer weniger engen Kondensatoröffnung selbst bei 50 mm Abstand keine brauchbare radiographische Fixierung mehr möglich ist. Bei einem Abstände von 6—7 cm habe ich noch die Beobachtung gemacht, daß die bei näheren Aufnahmen nur als eine Linie erscheinende Mittellinie in drei Komponenten zerlegt war. Die mittlere rührte von den unablenkbaren γ -Strahlen her, während die beiden äußeren von den positiven α -Strahlen gebildet wurden. Bei noch größerer Entfernung vom Kondensator sowie bei geeigneter Wahl der Felder ließen sich mit den α -Strahlen, den positiv geladenen Heliumatomen, wohl ähnliche Versuche anstellen, wie es bisher mit den β -Strahlen, den negativen Elektronen, geschah. Jedenfalls wären auch dies recht interessante und vielleicht fruchtbare Untersuchungen. Die Dimensionen meines Apparates ließen Experimente nach dieser Richtung leider nicht zu.

Die Erkenntnis, daß mit großem Abstände eine allzu große Streuung der abgelenkten Strahlen verbunden war, brachte mich dazu, meine Aufnahmen bei einem Abstände von 4 und 5 cm vom Kondensator auszuführen. Jedenfalls erhielt ich bei diesen Entfernungen Kurven, die an Schärfe sowie Feinheit der Zeichnung die bisher bekannten Aufnahmen dieser Art übertreffen (vgl. Taf. II). Plattenfehler irgendwelcher Art habe ich bei meinen Untersuchungen nie bemerkt. Ich brauchte daher aus diesem Grunde keine Aufnahmen auszuschneiden.

Ein Loslösen der Emulsion vom Glase infolge des hohen Vakuums habe ich auch nicht beobachtet. Ein genaues und sicheres Messen der Kurven war hierdurch gewährleistet und somit auch eine möglichst genaue Bestimmung der spezifischen Ladung der Elektronen. Durch öfteres Wechseln und Neueinstellen der Abstände zwischen Platte und Kondensator, sowie durch mehrmalige Neuversilberung der Kondensatorplatten, glaube ich alle Fehler, die jedoch bei der Sorgfalt der Messungen nur verschwindend klein sein können, möglichst ausgeglichen zu haben. Temperatur sowie Barometerstand hatten auf den Gang der Versuche keinen Einfluß und wurden daher weiter nicht in Betracht gezogen. Es wäre nur zu bemerken, daß für die Dauer eines Versuches eine Temperaturschwankung nur sehr gering sein konnte, da die Dicke der Mauern des Bonner physikalischen Instituts nur langsam einen Ausgleich zwischen der äußeren und der Zimmertemperatur vollziehen ließen. Höchstens um 2—3° C. könnte es sich hierbei handeln und diese spielen keine Rolle.

War die äußere Hülse des Messingapparates für eine Entfernung festgeschraubt, so wurden für diesen Abstand hintereinander mit verschiedenen Geschwindigkeiten der β -Strahlen Aufnahmen gemacht. Vor und nach den Versuchen stellte ich mit einem geprüften Normalmeter auf einem Komparator den Abstand zwischen Kondensator und photographischer Platte fest. Die Reihe der Beobachtungen stimmten innerhalb der Beobachtungsfehler stets überein; auf jeden Fall blieben sie innerhalb einer Fehlergrenze von $1/5$ — $2/5$ Promille der zu untersuchenden Strecke.

Aus den Apparatkonstanten sowie aus den Messungen ergaben sich die Resultate.

Es war für eine Versuchsreihe:

Nr.	a	β	V	H	x in mm	$\left(\frac{e}{m_0}\right)$ für $p=0$
9	40,350	0,51475	492,73	127,39	10,68	$1,7346 \times 10^7$
11	40,350	0,61453	577,57	125,07	7,84	$1,7341 \times 10^7$
10	40,350	0,69651	654,60	125,07	6,21	$1,7350 \times 10^7$

Eine Änderung des Abstandes a lieferte eine zweite Reihe.

Nr.	a	β	V	H	α in mm	$\left(\frac{e}{m_0}\right)$ für $p=0$
12	50,387	0,50272	411,22	108,86	15,00	$1,7396 \times 10^7$
13	50,387	0,50721	490,90	123,91	16,23	$1,7399 \times 10^7$

Aus diesen beiden Versuchsreihen wurden nun nach der eingangs entwickelten Methode die Werte für p und e/m_0 für gleiche β -Werte berechnet. Versuch Nr. 9 ließ sich mit Nr. 12 gleichsetzen. Es wurde hierfür $p = 0,350$ und

$$\frac{e}{m_0} = 1,7620 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,5.$$

Ferner ergab ein Vergleich von Nr. 9 und Nr. 13 $p = 0,350$ und

$$\frac{e}{m_0} = 1,7621 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,5.$$

Setzte ich diesen Wert von p auch in die Berechnungen von Nr. 10 und Nr. 11 ein, was ich nach den Erfahrungen der folgenden Versuche tun konnte, ohne einen großen Fehler zu begehen, so erhielt ich für alle Werte der beiden Versuchsreihen:

$$\text{Nr. 9 und 12 } \beta = 0,5 \quad \frac{e}{m_0} = 1,7620 \times 10^7$$

$$\text{Nr. 9 „ 13 } \beta = 0,5 \quad \frac{e}{m_0} = 1,7621 \times 10^7$$

$$\text{Nr. 11 } \beta = 0,6 \quad \frac{e}{m_0} = 1,7635 \times 10^7$$

$$\text{Nr. 10 } \beta = 0,7 \quad \frac{e}{m_0} = 1,7648 \times 10^7.$$

Nach diesen Versuchen wurde eine Neuversilberung des Kondensators vorgenommen und damit ein anderes p erzielt. Es ergab sich:

Nr.	a	β	V	H	α in mm	$\left(\frac{e}{m_0}\right)$ für $p=0$
16	50,450	0,50230	410,88	108,86	14,93	$1,7269 \times 10^7$
15	50,450	0,60091	575,22	127,39	13,27	$1,7267 \times 10^7$
14	50,450	0,70382	655,35	123,91	9,50	$1,7294 \times 10^7$

Jetzt wurde der Abstand a geändert, wodurch eine neue Versuchsreihe gefunden wurde.

Nr.	a	β	V	H	α in mm	$\left(\frac{e}{m_0}\right)$ für $p=0$
17	40,660	0,51458	492,58	127,39	10,75	$1,7180 \times 10^7$
21	40,660	0,50461	329,34	86,854	7,251	$1,7164 \times 10^7$
19	40,660	0,69647	654,57	125,07	6,25	$1,7196 \times 10^7$

Vergleicht man Versuch Nr. 16 und Nr. 17, so ist $p = 0,541$ und

$$\frac{e}{m_0} = 1,7615 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,5.$$

Nr. 16 und Nr. 21 ergaben $p = 0,540$ und

$$\frac{e}{m_0} = 1,7614 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,5.$$

Aus den Versuchen Nr. 14 und Nr. 19, bei denen die durchschnittliche Ablenkung z kleiner war, ergab sich $p = 0,562$ und

$$\frac{e}{m_0} = 1,7672 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,7.$$

Ich konnte daher auch den Mittelwert von $p = 0,551$ in die Lorentzsche Formel für Versuch Nr. 15 einsetzen und fand:

$$\frac{e}{m_0} = 1,7625 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,6.$$

Ein Blick auf die beiden gefundenen Reihen für e/m_0 zeigte nun, daß mit steigender Geschwindigkeit von β auch die e/m_0 -Werte um einen geringen Betrag zunahmen. Da nun alle Versuche darauf hinzielten, mit den gegebenen Feldern eine möglichst große Ablenkung zu erhalten, um hierdurch die prozentischen Beobachtungsfehler bei den Messungen von z geringer zu machen, so war zunächst bei den bisherigen Aufnahmen nicht Rücksicht darauf genommen worden, daß die Theorie für die Kondensatorrandkorrektur nur für kleine Ablenkungen Gültigkeit hat, was A. H. Bucherer schon in seiner Arbeit l. c. p. 522 besonders hervorgehoben hatte. Es war daher noch notwendig, auch für die geringere Geschwindigkeit von $\beta = 0,5$ Versuche mit kleinen Ablenkungen bei ent-

sprechenden Feldern anzustellen. Zu diesem Zwecke wurde zunächst der Kondensator wiederum neu versilbert, wodurch gleichzeitig auch wieder ein anderes p bedingt wurde. Es war:

Nr.	a	β	V	H	x in mm	$\left(\frac{e}{m_0}\right)$ für $p=0$
22	49,925	0,50441	329,21	86,854	11,30	$1,7404 \times 10^7$
23	40,282	0,50441	329,21	86,854	7,192	$1,7334 \times 10^7$

Aus beiden Versuchen wurde $p = 0,404$ und

$$\frac{e}{m_0} = 1,7676 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,5$$

ermittelt.

Vergleicht man diesen Wert mit den früher erhaltenen, so erkennt man, daß für Strahlen von geringer Geschwindigkeit ein etwas zu niedriger Wert erzielt wird, wenn die Ablenkung, entgegen den Forderungen der Theorie, zu groß gehalten wird. Die Werte

$$\frac{e}{m_0} = 1,7676 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,5$$

und

$$\frac{e}{m_0} = 1,7672 \times 10^7 \text{ für } \beta = 0,7$$

zeigen untereinander, entsprechend der Lorentzschen Theorie, eine gute Übereinstimmung. Der Mittelwert aus diesen beiden Resultaten ist

$$\frac{e}{m_0} = 1,7674 \times 10^7.$$

Gegenüber den Werten der beiden ersten Versuchsreihen gebührt diesem letzteren Werte ein besonderer Vorrang, so daß er das Endresultat meiner Messungen darstellt. Die Genauigkeit dieses Wertes ist $\pm 1,5$ Promille.

Vorliegende Arbeit habe ich unter der Leitung von Hrn. Prof. A. H. Bucherer ausgeführt, dem ich für seine mannigfaltigen Ratschläge zu großem Danke verpflichtet bin.

Bonn, Physik. Inst., den 7. August 1909.

(Eingegangen 10. August 1909.)