

2. *Die magnetische Wirkung der Kathodenstrahlen; von Eugen Klupathy.*

Unter den charakteristischen Eigenschaften der Kathodenstrahlen steht ihre Ablenkbarkeit durch den Magneten obenan. Dies war schon im Anfang die kräftigste Stütze der Emissionstheorie, weil der Sinn der Ablenkung im magnetischen Felde ein solcher ist, wie der eines zur Kathode geknüpften geraden, biegsamen Leiters, in welchem negative elektrische Strömung vor sich geht.

Betrachten wir nun die Versuchsergebnisse von Rowland, Himstedt, wonach die mit elektrischer Ladung begabten, in rascher Bewegung begriffenen Körper ein magnetisches Feld erzeugen, dessen Stärke der Bewegungsgeschwindigkeit und der Ladungsgröße proportional ist, ferner die Tatsache, daß die Kathodenstrahlen negative Ladung mit sich führen, so scheint es gerechtfertigt, die Kathodenstrahlen als einen Strom bewegter negativer Ladungen anzusehen. In diesem Falle natürlich müßte in erster Reihe die magnetisierende Wirkung der Kathodenstrahlen selbst auszuweisen sein, was aber bis jetzt nicht gelang. Ich habe Kenntniss zweier diesbezüglicher Versuche. Den ersten unternahm Hertz¹⁾, den zweiten v. Geitler²⁾; beide mit negativem Ergebnis.

Hertz setzte bei seinen Versuchen eine kompensierte Magnetnadel über eine 30 cm lange Kathodenröhre; das eine Ende des Rohres enthielt die kreisrunde Kathodenplatte, durch deren durchbrochene Mitte der isolierte Anodenstift hervorragte. Durch diese Anordnung wollte er die Wirkung des die Kathodenstrahlen erregenden Stromkreises auf die Magnetnadel ausschließen. Über die Empfindlichkeit der Anordnung bemerkt Hertz, daß der Gesamtstrom der Röhre ca. 0,01 $\frac{\text{Daniell}}{\text{Siemens}}$,

1) H. Hertz, Wied. Ann. 19. p. 789—816. 1883.

2) E. v. Geitler, Ann. d. Phys. 5. p. 924. 1901.

d. h. 0,01 Amp. 30—40 Skt. Ausschlag ergab, wobei noch $\frac{1}{10}$ Skt. ablesbar war. Hieraus folgerte er, daß die magnetisierende Wirkung der Kathodenstrahlen kleiner ist als $\frac{1}{300}$ der Wirkung des Gesamtstromes, d. h. kleiner als $\frac{1}{30000}$ Amp.

Hertz unterstützte durch dieses negative Ergebnis seine Auffassung über die Kathodenstrahlung, laut welcher diese dem Licht ähnliche Wellenstrahlen seien. Er betont, daß von der Ablenkung der Kathodenstrahlen im magnetischen Felde auf das einer Rückwirkung entsprechende Verhalten der Kathodenstrahlen auf den Magneten noch durchaus nicht geschlossen werden kann. Er hält es für wahrscheinlicher, daß die Ablenkung im Magnetfeld die Folge der Magnetisierungsänderung des Mediums ist, und man müsse sagen, daß sich die Kathodenstrahlen anders im magnetisierten als im unmagnetisierten Medium fortpflanzen. Die Analogie mit der Ablenkung des geraden Leiters sei wahrscheinlich nur eine oberflächliche und die Erscheinung wäre eher der Drehung der Polarisationssebene des Lichtstrahles in magnetisierten Medien ähnlich.

Josef v. Geitler hielt die Betrachtungen von Hertz für unwahrscheinlich und suchte die Ursache des negativen Ergebnisses in der Versuchsanordnung. Nach seiner Auffassung wird die Röhrenwand durch die Kathodenbestrahlung negativ elektrisch, und diese negativen Ladungen entladen sich nach rückwärts, entlang der Röhrenwand zur Anode. Die magnetische Wirkung dieser nach rückwärts verlaufenden negativen Ströme kompensiert dann jene der Kathodenstrahlen; daher keine Wirkung nach außen, wie bei einem bifilar geführten Leitungsdraht. Dementsprechend brachte er die Magnetnadel ungefähr in die Mitte des Rohrquerschnittes, damit die Wirkung der symmetrisch rückströmenden Ladungen aufgehoben werde. Das Ergebnis seiner ersten Versuche war eine starke Ablenkung der Magnetnadel im Sinne der elektrodynamischen Wirkung der in den Kathodenstrahlen strömenden negativen Elektrizität. Die Schwingungsdauer von v. Geitlers kompensierter Magnetnadel war 1,7 Sek., die Empfindlichkeit aber nur von der Größe, daß ein 1 cm unter der Nadel fließender Strom von 0,011 Amp. 6 cm Ausschlag bei 130 cm Skalenabstand ergab; also entsprach 1 mm Ausschlag 0,00015 Amp.

Die als Wirkung der Kathodenstrahlen erhaltenen Ausschläge betrugen 3—17 cm, was im Mittel einem Strom von 0,01 Amp. entsprechen würde.

Daß dieses Ergebnis falsch sein muß, zeigt schon die Größenordnung des Beobachtungsmaterials, und Hr. v. Geitler kam bald zur Wahrnehmung der Fehlerquelle, worauf er im folgenden Jahre die Folgerungen aus seinen Ergebnissen, daß die Kathodenstrahlen eine magnetisierende Wirkung hätten, zurückzog.

Es hat sich nämlich gezeigt, daß das Gefäß des Magnetometers unten mit einem anderen Metall verlötet war und die auffallenden Kathodenstrahlen dort starke Erwärmung bewirkten, dessen thermoelektrische Wirkung ganz den beobachteten Ausschlägen entsprochen haben. So bewies also schließlich auch Hr. v. Geitler nicht, ob die Kathodenstrahlen magnetisierende Wirkung besitzen. Es war aber auch bei seiner Versuchsanordnung wegen der Unempfindlichkeit des Magnetometers kein Ergebnis zu erwarten; kann man doch auf die Größenordnung der zu erwartenden magnetischen Wirkung der Kathodenstrahlen aus den auf deren elektrische Ladung bezüglichen Messungen im voraus Schlüsse ziehen.

Die von einer gegenüber der Kathode befindlichen Elektrode — von der Antikathode — ableitbare elektrische Ladung wurde von vielen mittels Galvanometers gemessen und der Strom ergab sich aus diesen Messungen in 10—12 cm Abstand von der Kathode, im Mittel von der Größenordnung 10^{-5} Amp. Natürlich ist diese Größe von vielen Faktoren abhängig, in der Hauptsache aber sind die Ladungen um so geringer, je weiter die Antikathode entfernt und je enger die Röhre ist. Ewers¹⁾ erhielt z. B. bei einer weiten Röhre bei 13 cm Abstand von der Kathode 10^{-4} und 10^{-5} Coul./sec, aber dies ist heiläufig der größte beobachtete Wert.

Daraus ist es wahrscheinlich, daß die mit normal starken, dünneren Kathodenröhren erreichbaren Grenzen über 1 Mikroampère nicht hinausgehen werden, hauptsächlich weil man wegen den störenden Nebenumständen den wirkungsvollen Teil

1) P. Ewers, Wied. Ann. 69. p. 167. 1899.

der Röhre weiter von der Kathode verlegen muß als der Abstand der Antikathode bei Ewers' Versuchen war.

Nun ist das negative Ergebnis der Hertz'schen Versuche auch erklärlich, es entsprach ja dort 0,1 Skt. nur $4 \cdot 10^{-5}$ Amp. Bei dieser Empfindlichkeit ist 0,1 Skt. selbst bei den günstigsten Verhältnissen wegen Schwankungen der erdmagnetischen Intensität kaum ausweisbar.

Soll nun die Frage der magnetisierenden Wirkung der Kathodenstrahlen durch normal starke Kathodenröhren entschieden werden, so muß ein Magnetometer benutzt werden, welches in einem 1—2 cm abstehenden geraden Leiter fließenden Strom von 10^{-6} Amp., d. h. 10^{-7} C.G.S. Feldintensitätsänderung anzeigt. Da nun weder die Anordnung von Hertz, noch jene von v. Geitler dieser Bedingung entsprach, so können ihre negativen Ergebnisse in erster Reihe auch diesem Umstande zugeschrieben werden.

Ausgehend von diesem Gesichtspunkte versuchte ich ein Magnetometer herzustellen, welches die besagte Empfindlichkeit besitzt und auch den übrigen bei der Versuchsanordnung auftretenden Erfordernissen gerecht wird. So wird Unempfindlichkeit gegen schnelle magnetische Störungen gefordert. Letztere besonders aus dem Grunde, weil in jenem Raum des Physikalischen Instituts, wo die Beobachtungen angestellt waren, viele Eisentraversen eingebaut sind und die Stromänderungen der nahen elektrischen Straßenbahn und der elektrischen Beleuchtung sehr zu verspüren waren.

Für diese Zwecke hielt ich jene Einrichtung für die geeignetste, welche P. Weiss¹⁾ zu galvanometrischen Zwecken und Baron Roland v. Eötvös²⁾ in seinen äußerst empfindlichen magnetischen Variationsinstrumenten mit Erfolg benutzte, nämlich eine mit vertikaler Achse aufgehängte Magnetnadel.

Nach vielen Versuchen gelang es, auf diese Weise ein Magnetometer herzustellen, welches die gewünschte Empfindlichkeit besaß, wobei ein Teil der störenden Einflüsse auszuschließen möglich war.

1) P. Weiss, Journ. de Phys. 4. p. 214. 1895.

2) R. v. Eötvös, Wied. Ann. 59. p. 357. 1896.

Leider gelang es nicht, die magnetischen Störungen in gehörigem Maße einzudämmen und so beschränken sich die Versuche lediglich darauf, die Wirkung der Kathodenstrahlen auf die Nadel nachzuweisen.

Zur Gewinnung von Meßresultaten mußten die Versuche an einem Orte angestellt werden, wo diese Störungen geringer sind, oder es müßte deren Beseitigung angestrebt werden. Diesbezügliche Versuche sind im Gange und es steht zu hoffen, daß auf Grund dieser die störenden Einflüsse auf ein Geringes herabgemindert werden können.

Die Versuchsanordnung.

Fig. 1 zeigt das Schema der Versuchsanordnung. Auf einem etwa 40 cm langen Quarzfaden, dessen Torsionsmoment

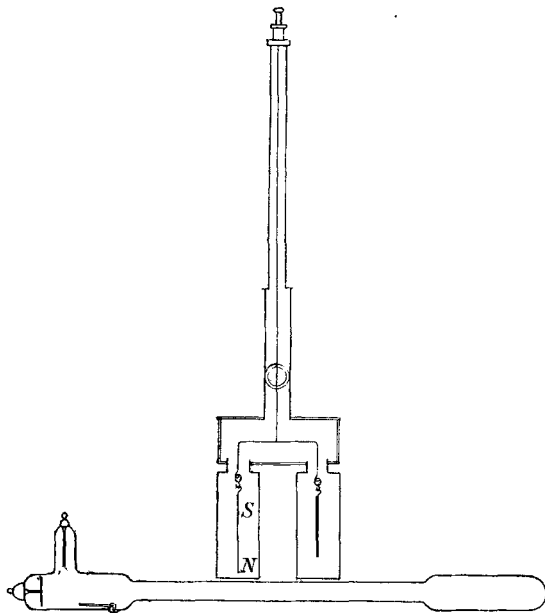


Fig. 1.

0,0005 C.G.S. beträgt, hängt der 6,5 cm lange, aus dünnem Kupferdraht gebogene Arm, dessen eines Ende die vertikal hängende aus Wolframstahl gefertigte Magnetnadel, das andere

Ende ein Gegengewicht aus Kupferdraht trägt. Das magnetische Moment der Nadel beträgt 42, die Polstärke 6,6, das Trägheitsmoment des ganzen Systems 14 C.G.S. Aus zweierlei Gründen wählte ich ein so leichtes und verhältnismäßig schwaches Magnetsystem. Erstens ist die Empfindlichkeit der Torsionswaage — maximale Belastung des Drahtes vorausgesetzt — um so größer, je kleiner die angehängte Masse und daher der Drahtquerschnitt ist; andererseits muß die Rückwirkung der in dem Kathodenbündel vorausgesetzten sehr kleinen und intermittierend wirkenden Teilchen auf einen Magneten von kleiner Masse größer sein, weil die Polstärke mit der Masse nicht proportional wächst.

Die Magnetnadel ist mittels Spitze, Häkchen und Öse am Ende des Armes aufgehängt, wobei sie um ihre vertikale Achse verstellbar ist. Dies war notwendig, um die Horizontalkomponente des magnetischen Momentes der Nadel in den Meridian stellen zu können, damit der Faden ohne Torsion in die Gleichgewichtslage gebracht werden könne. Mit einiger Übung ist dies leicht zu erreichen, so daß die Gleichgewichtslage des Magnetometers dieselbe ist, als wenn statt der Nadel ein entsprechender Kupferdraht eingehängt wird.

Die Länge der Magnetnadel wurde so gewählt, daß die Wirkung eines geraden im Meridian verlaufenden als unendlich angesehenen Leiters maximal sein soll; da bei dieser Anordnung die Differenz der Drehmomente beider Pole in Wirkung tritt, welche bei gegebenem Leiterabstand ein Maximum besitzt.

Setzt man voraus, daß der sehr lange gerade Leiter in der durch die Nadel gehenden vertikalen Meridianebene horizontal angebracht ist, wobei seine Entfernung von der Nadel gleich r ist, ferner nehmen wir die Pole der Nadel im zwölften Teil ihrer Länge von den Enden an, so ist die Kraft

$$P = \frac{2 i \mu}{r + \frac{l}{12}} - \frac{2 i \mu}{r + \frac{11}{12} l} = \frac{5/3 i \mu \cdot l}{\left(r + \frac{l}{12}\right) \left(r + \frac{11}{12} l\right)},$$

wo i die Stromstärke, μ die Polstärke bezeichnet. P wird Maximum, wenn

$$r^2 = \frac{11}{144} l^2 \quad \text{oder} \quad l = \frac{12}{\sqrt{11}} \cdot r.$$

Ist $r = 2$ cm, hat man $l = 7,2$ cm.

Daß die Nadel vor Luftströmung und Wärmestrahlung möglichst geschützt sei, benutzte ich die Aufhängevorrichtung und das Verschlukästchen eines Kohlschen Gravitationsinstrumentes mit der Modifikation, daß sowohl der den schwingenden Arm umgebende Teil überall doppelwandig und ganz eisenfrei war, als auch das zylindrische Gefäß, das die Nadel enthält, aus reinem elektrolytischen Kupfer hergestellt war, welches unten gehämmert und an der Seite längs einer Erzeugenden mit Silber verlötet war. Da der Boden des parallelepipedischen Kästchens aus Aluminium besteht, wobei Eisenspuren zu befürchten waren, ist das Ende des Kupferarmes senkrecht nach unten gebogen, so daß das obere Ende der Nadel 2 cm vom Boden des Kästchens absteht. Die Glaswand des Kästchens ist mit Stanniolschicht überklebt, und an die Säulchenträger um den Arm sind ebenfalls Stanniolblättchen befestigt, so daß dadurch ein dreiwandiger Kasten entsteht.

Die innere Wand dient zur Erhöhung der Dämpfung. Solcherweise gelang es, die Schwingungen der Nadel fast aperiodisch zu machen.

Die Schwingungsdauer der Nadel betrug ohne Kompensation 85 Sek. und ein linearer Strom von 0,00002 Amp. Stärke bei 1 cm Abstand ergab einen kommutierten Ausschlag von 8,5 Skt. (1 Skt. = 2 mm). Da diese Empfindlichkeit nicht ausreicht, kompensierte ich die Horizontalintensität durch zwei im Meridian symmetrisch angelegte Magnete. Die Empfindlichkeit hängt natürlich vom Grad der Kompensierung ab; bei vollständiger Kompensierung würde ein Strom von 10^{-7} Amp. bei 1 cm Abstand und 8 Min. Schwingungsdauer 1 Skt. Ausschlag ergeben. Dieser Zustand kann natürlich nicht erreicht werden, schon aus dem Grunde nicht, weil kleine Erschütterungen, Temperaturänderungen der Magnete und hauptsächlich die Variationen des Erdmagnetismus die fortwährende Wanderung der Nadel bewirken.

Indes ließ sich die Schwingungsdauer durch Kompensation auf 7 Min. bringen, wobei die Empfindlichkeit eine solche war, daß $2 \cdot 10^{-6}$ Amp. 140 Skt. bei 190 cm Skalenabstand ergab. Diese Empfindlichkeit nähert sich also der Maximalen und ist ungefähr 1000 mal größer als bei der Hertzschen Anordnung. Der Übelstand ist hierbei nur, daß störende

Änderungen bei der langen Schwingungsdauer stark zur Wirkung kommen können, daher diese Elongationen nicht immer mit der gehörigen Sicherheit festzustellen waren. Die starke Dämpfung hatte den Zweck, wenigstens die Wirkung schnell verlaufender, durch die Nähe der elektrischen Straßenbahn und die im Versuchsraum befindlichen großen Eisenmassen verursachten Störungen auszugleichen. Trotzdem ließ es sich selbst bei nächtlichen Beobachtungen selten erreichen, daß die Nadel in Ruhe verharre, obwohl Magnetometer, die in der Nähe aufgestellt waren, z. B. das Kohlrauschsche Variometer, zur selben Zeit vollständig stillstanden.

Das Instrument war als Leiter ganz geschlossen und geerdet, so daß in seinem Innern elektrostatische Wirkungen nicht zur Geltung kommen konnten. Die Füße des Kohlischen Gravitationsinstrumentes mußten wegen Eisengehalt kassiert und durch ein mit Holzschrauben verstellbares Holzgestell ersetzt werden, wodurch jede von der Anordnung selbst ausgehende magnetische Wirkung ausgeschlossen war.

Die Kathodenröhren bestanden aus einer 50 cm langen, 14 mm im Durchmesser betragenden geraden Röhre, an deren Enden zwei erweiterte Elektrodengefäße angeschmolzen waren, in welchen die Achsen der Kathoden mit der Röhrenachse zusammenfielen und senkrecht zu diesen im Abstand von 4 cm die Anoden angebracht waren. Ich umging die Hertzsche Anordnung der Anode, weil dieser Teil der Röhre eine verschwindend kleine magnetische Wirkung besitzt, wenn er genügend weit von der Nadel absteht. Die Kathode stand bei den Versuchen im allgemeinen 20—30 cm von der Nadel entfernt, außerdem war die Röhre so gestellt, daß die Ebene der Elektrodenachsen und der Zuführungsdrähte horizontal war, wobei die in die Drehrichtung fallende Komponente der elektromagnetischen Wirkung des ganzen Systems fast verschwindet, wovon ich mich durch Beobachtungen überzeugt habe.

Das Mittelstück der Röhre wurde verjüngt, um es näher an die Nadel bringen zu können, hierbei wurde aber das Kathodenbündel schwächer und brachte an der Verengung starke Erwärmung hervor. Des weiteren versuchte ich mit gleichmäßig dicken Röhren zu arbeiten, wobei der größere Querschnitt des Kathodenbündels für den größeren Abstand genug-

sam entschädigen, ja die Wirkung der dünneren Röhre übertreffen kann.

Zur Kontrolle dessen, ob infolge der symmetrisch angebrachten Kathoden etwa Stromverzweigung zur untätigen Kathode stattfindet, wandte ich auch eine Röhre an, deren eines Ende elektodenlos war. In die Verengung dieser Röhre stellte ich auch ein Glimmerfenster in den Weg der Strahlen, um sie durch Öffnen und Schließen desselben in das Rohrmittelstück eintreten lassen bzw. von dort ausschließen zu können (Fig. 1).

Um den Einfluß der Erwärmung an der Rohrverengung auszuschließen, setzte ich außen an die Röhre bei der Verengung einen senkrecht zur Röhrenachse stehenden, mit Stanniol bezogenen Schirm von 20 cm Durchmesser.

Besondere Aufmerksamkeit widmete ich der Vermeidung der Wärmewirkungen, besonders da ihr schädlicher Einfluß bei den ersten Beobachtungen sehr auffallend hervortritt. Die hier beschriebene Anordnung erwies sich aber gegen thermische Einflüsse als so unempfindlich, daß die Strahlung einer Kerzenflamme im Abstand von 10 cm kaum zur Geltung kam und nur dann einen starken Ausschlag ergab, wenn man die Flamme ganz nahe unter das Zylindergefäß hielt.

Ich traf dabei die Einrichtung so, daß dieser Ausschlag entgegengesetzten Sinnes mit dem von den Kathodenstrahlen zu erwartenden sei. Die Kathodenstrahlen mußten bei der getroffenen Anordnung einen Ausschlag im Sinn der zunehmenden Zahlen auf der Skala ergeben, während die Erwärmung die Nadel nach den abnehmenden Zahlen hin trieb. Man konnte dies durch entsprechende Lage der Polvorzeichen erreichen, bei meiner Anordnung durch Verlegung des Nordpols nach unten.

Die ganze Kathodenröhre war mit ihrer Achse unter der Nadel ins magnetische Meridian gerichtet, damit das erwartete Drehmoment das größte sei.

Die Röhre wurde durch eine 20-Scheiben-Influenzmaschine betrieben, ohne Kondensatoren und vermied auch in den Zuleitungen sorgsam Funkenstrecken, um keine Oszillationen zu bekommen. Den in der Röhre auftretenden Potentialunter-

schied maß ich einigemal mit einer parallel geschalteten Funkenstrecke.

Versuchsergebnisse.

Das Instrument wurde anfänglich für die Beobachtung konstanter Ausschläge hergestellt, hierzu dienten die symmetrischen Röhren wegen Kommutation eventuell Multiplikation; da es sich nun herausstellte, daß bei den gegebenen Ortsverhältnissen konstante Ausschläge zu beobachten kaum möglich war, mußte ich mich auch mit der Beobachtung der während der Schwingung der Nadel wahrnehmbaren Wirkungen zufrieden geben, so daß ich das Instrument bis zu einem gewissen Grade ballistisch benutzt habe.

Der Vorgang war folgender: Nachdem die Wirkung gegen die zunehmenden Zahlen zu erwarten stand, gab ich der Nadel eine Elongation nach den abnehmenden Zahlen, und war die Bewegungsgeschwindigkeit nicht zu groß, setzte ich das Magnetometer dem Einfluß der Kathodenstrahlen aus, indem die Influenzmaschine in 1—2 minutlichen Zeitabständen in Gang gesetzt wurde. War die Geschwindigkeit der Nadel hierbei entsprechend klein, so wechselte sie ihre Richtung bei Einwirkung der Strahlen, war sie größer, so verminderte sie sich dabei; bei Aufhebung der Wirkung kehrte die Nadel zurück, bzw. nahm sie an Geschwindigkeit wieder zu.

Natürlich war dies nicht immer zu beobachten, da es vorkam, daß die Nadel inzwischen durch äußere Störungen in gleichem Sinne Impulse bekam, welche dann den Effekt der Strahlen ganz verdeckte. Jedoch kam die Wirkung der Strahlen in der Überzahl der Beobachtungen regelmäßig zur Geltung.

Diesbezüglich möchte ich nur einige Zahlenangaben mitteilen, während die meisten übrigen Beobachtungen in Fig. 2 graphisch dargestellt sind; diese zeigen die Wirkung am deutlichsten.

Schön zeigt sich die Wirkung der Strahlen bei der nachstehenden nächtlichen Beobachtungsreihe (15. Dezember 1906), wo die symmetrische Röhre zur Anwendung kam und die Wirkung der Kommutation auffallend hervortritt. Die Röhre war sehr hart, so daß das Kathodenbündel flimmerte. Die Pfeile bezeichnen den Zeitpunkt des Ingangsetzens der Kathoden-

röhre und den Sinn, nach welchem die Strahlen, vom Fernrohr aus gesehen, gingen. Dem von links nach rechts weisenden

Mit Kathodenstrahlen.

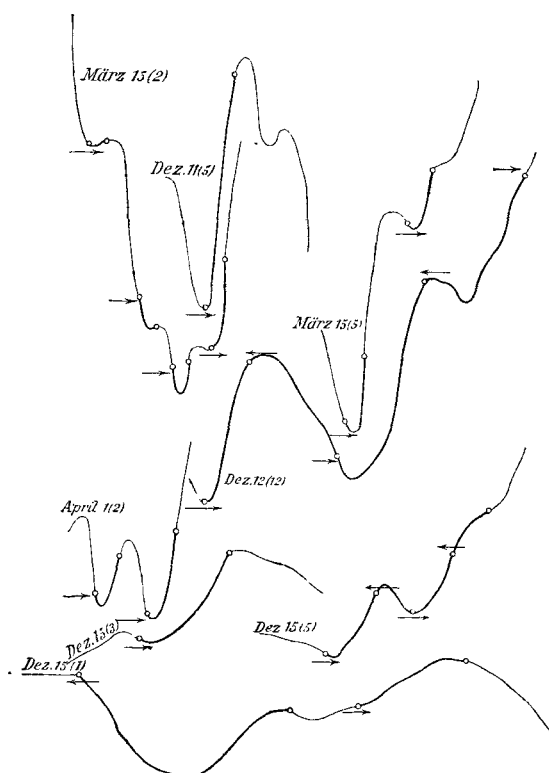


Fig. 2. Die fetter gezeichneten Teile der Kurven beziehen sich auf die Wirkung der Kathodenstrahlen, und zwar so, daß der Einschaltung in der Richtung \longrightarrow ein Ausschlag in der Zeichnung nach oben entspricht und umgekehrt.

Pfeil entspricht ein Ausschlag nach den zunehmenden Zahlen. Die Kathode war geerdet, bei anderen Beobachtungen die Anode, aber das beeinflusste das Resultat nicht.

0*	219,6	2,5*	219,1
0,5	219,6	3	219,0
1	219,5	3,5	218,7
1,5	219,3	4	218,3 \longrightarrow Röhre eingeschaltet
2	219,2	4,5	218,2

5 °	218,8	11 °	222,0
5,5	219,4	11,5	223,1
6	220,0	12	224,5 ←
6,5	221,0	12,5	225,7
7	222,0 ← kommutiert	13	226,3
7,5	222,7	13,5	226,7
8	222,4	14	226,9
8,5	222,0	14,5	227,1 unterbrochen
9	221,4	15	227,7
9,5	221,0	15,5	228,8
10	221,0 →	16	229,7
10,5	221,1		

Die nächste Reihe stammt auch von derselben Nachtbeobachtung mit derselben sehr harten Röhre, ohne Kommutierung, Kathode geerdet.

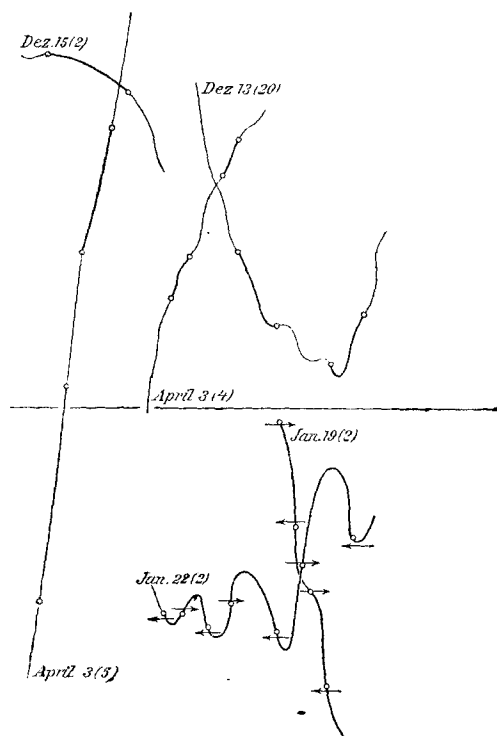
0 °	220,0	7 °	221,1
0,5	220,1	7,5	222,5
1	220,4	8	223,0
1,5	220,6	8,5	223,9
2	221,0	9	224,8
2,5	221,5	9,5	225,6
3	221,7	10	226,5 unterbrochen
3,5	221,5	10,5	226,8
4	221,3 →	11	226,7
4,5	221,0	11,5	226,4
5	221,0	12	226,2
5,5	221,2	12,5	226,0
6	221,5	13	225,8 usw.
6,5	221,7		

Aus der Beobachtungsreihe mit der unsymmetrischen, mit Glimmerfenster versehenen Röhre, bei welcher die Kathode geerdet war, sei folgende Reihe mitgeteilt.

0 °	317,4	4,5 °	315,9
0,5	318,0	5	312,7 →
1	318,2	5,5	312,5
1,5	318,2	6	314,1
2	315,2 →	6,5	317,7 unterbrochen
2,5	313,0	7	320,0
3	314,5	7,5	323,2
3,5	316,3 unterbrochen	8	326,0
4	317,4	8,5	329,1

Zur Kontrolle dessen, ob das magnetische Feld der Stromzuleitungen nicht störend wirkt, diente bei der symmetrischen Röhre die Vertauschung der Kathode mit der Anode, bei der neueren Röhre das Schließen des Glimmerfensters. Aus diesen Beobachtungen teile ich auch Angaben

Ohne Kathodenstrahlen.



Mit 4×10^{-6} Amp. Strom.

Fig. 3. Die Pfeile bedeuten die Richtung des eingeschalteten Stromes, und zwar so, daß \longrightarrow einem Ausschlage in der Zeichnung nach unten entspricht.

zweier mit, zur Verifizierung dessen, daß die Zuleitungen keine beobachtbare Wirkung auf die Nadel hatten (Fig. 3). Die erste Reihe stammt aus der nächtlichen Beobachtung vom 15. Dezember.

0 ^a	232,4	4,5 ^a	231,4
0,5	232,3	5	231,0
1	232,4	5,5	230,5
1,5	232,5 eingeschaltet	6	230,0 unterbrochen
2	232,5	6,5	229,4
2,5	232,4	7	—
3	232,3	7,5	228,0
3,5	231,9	8	226,6
4	231,6	8,5	225,7

Die zweite mit dem verschließbaren Glimmerfenster (3. April).

0 ^a	202,5	4,5 ^a	227,5
0,5	209,8	5	229,7
1	215,0	5,5	230,2 → eingeschaltet
1,5	279,6	6	—
2	221,8	6,5	232,2 unterbrochen
2,5	222,4 → eingeschaltet	7	232,6
3	—	7,5	232,6
3,5	225,2 unterbrochen	8	232,7
4	225,6		

Nun kann gefragt werden, ob doch die Wirkung nicht dem thermischen Effekt der Kathodenstrahlen zuzuschreiben ist, oder ob die Strahlen etwa longitudinale Wirkung geäußert hätten. Zur Kontrolle stellte ich die Röhre auch senkrecht zum Meridian unter die Nadel; da blieb aber der Einfluß der Strahlen auf den Gang der Nadel aus.

Diese Zahlenreihen, aber besonders die Kurven der Beobachtungen, meine ich, weisen trotz störender Einflüsse die Wirkung der Kathodenstrahlen überzeugend nach.

Bei den langwierigen und ermüdenden Beobachtungen und deren Aufarbeitung, so auch bei der Ausfertigung beigefügter Zeichnungen stand mir Hr. Paul Selényi tätig zur Seite, wofür ich ihm aufrichtigen Dank schulde.

Die Beobachtungen lassen es also klar ersehen, daß das Kathodenstrahlenbündel ein magnetisches Feld erzeugt, welches einem von der Kathode ausgehenden negativen Strom entspricht.

Was die Größe der Wirkung anbelangt, so ließ sie sich bei den obwaltenden Ortsverhältnissen vorderhand nicht messen. Zu diesem Zwecke müßten die Messungen an einem Ort ge-

schehen, der frei von der Einwirkung diverser Stromleitungen ist. Da hierzu hier in Budapest wenig Aussicht vorhanden ist, befasse ich mich mit der Schaffung einer Methode, die eine bedeutende Herabminderung dieser Einflüsse ermöglichen soll.

Nun läßt sich aber aus den angestellten Beobachtungen die Größenordnung der untersuchten Wirkung ableiten und somit feststellen, ob sie unseren bisherigen Kenntnissen entsprechenden Schätzungen entspricht.

Hierzu bieten sich zwei Wege. Der eine ist, daß man die Röhre unter der Nadel durch einen geraden Stromleiter ersetzt, und bestimmt, welche Stromstärke der Wirkung der Kathodenstrahlen entspricht. Als Resultat erhielt ich $4 \cdot 10^{-6}$ Amp. Folgende Beobachtungsdaten und die entsprechenden Kurven zeigen auch dies (Fig. 3).

$4 \cdot 10^{-6}$ Amp. kommutiert, ergab folgende Reihe:

0 "	222,2		4,5 "	224,6	kommutiert
0,5	222,8		5	225,2	
1	222,7	{ eingeschaltet nach abnehmenden Zahlen	5,5	223,0	
1,5	221,6		6	220,0	
2	221,2	kommutiert	6,5	219,8	
2,5	220,6		7	220,9	
3	221,0		7,5	220,8	
3,5	221,7		8	221,3	
4	223,0		8,5	221,2	unterbrochen
			9	221,6	

Der zweite Weg ist der, daß man die Winkelbeschleunigung schätzt, die das Kathodenbündel der Nadel während der Schwingung mitteilte. Hieraus und dem bekannten Trägheitsmoment des Systems läßt sich das Drehmoment, aus diesem schließlich die äquivalente Stromstärke berechnen.

Aus den Beobachtungsdaten und Kurven ergibt sich, daß die Geschwindigkeitsänderung pro Minute 3,6 Skt. entsprach; bei 1900 mm Skalendistanz ist die entsprechende Winkeländerung $3,6/1900$ (1 Skt. = 2 mm). Konstante Kraft vorausgesetzt, ist die Winkelbeschleunigung

$$\gamma = \frac{2\beta}{t^2} = \frac{2 \cdot 3,6}{3600 \cdot 1900} = 105 \cdot 10^{-8} \text{ C.G.S.}$$

Nun ist $\gamma = F/K$, wo $F = Pd$, $K = 2m \cdot d^2$, wenn m die Masse des Magnetes, d die Länge des Armes, P die Differenz der an den Polen angreifenden Kraft ist. Sonach

$$\gamma = \frac{P}{2md} \quad \text{und} \quad P = 2md \cdot \gamma = 2 \cdot 0,65 \cdot 3,25 \cdot 105 \cdot 10^{-8},$$

also

$$P = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ C.G.S.}$$

Annähernd aber ist auch:

$$P = \frac{\frac{5}{8} \cdot i \mu l}{\left(r + \frac{l}{12}\right) \left(r + \frac{11}{12} l\right)},$$

woraus

$$i = \frac{3P \left(r + \frac{l}{12}\right) \left(r + \frac{11}{12} l\right)}{5 \cdot \mu l}.$$

Da $\mu = 6,6$, $r = 1$ cm, $l = 7$ cm, so ist

$$i = 6 \cdot 10^{-7} \text{ C.G.S.} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Amp.}$$

Dieser Wert stimmt nach Möglichkeit mit jenem durch die Kalibrierung gewonnenen, $4 \cdot 10^{-6} \text{ Amp.}$, überein.

Beide Wege führen also zur selben Größenordnung und zwar zur selben, wie sie auf Grund anderweitiger Versuche zu berechnen war, und so kann ausgesprochen werden, daß die Kathodenstrahlen ein magnetisches Feld erzeugen, deren Größenordnung — dem elektromagnetischen Grundgesetz entsprechend — einem längs des Kathodenbündels verlaufenden negativen Strom entspricht.

Von der exakten Messung der magnetischen Wirkung kann ich vorderhand nicht berichten; zu diesem Behufe müßte einerseits das Magnetometer störungsfreier gemacht, anderseits die Stärke des Kathodenbündels vergrößert werden. Ich dachte auch daran, die an der Wehneltschen Oxykathode entstehenden Kathodenstrahlen von geringer Geschwindigkeit zu Hilfe zu ziehen. Dieselben führen nach den vorläufigen Messungen von Wehnelt 10^{-3} bis 10^{-4} Coul./sec Ladung mit sich, also fast die gesamte Strommenge, während die gewöhnlichen Kathodenstrahlen nach Ewers etwa 16 Proz. des Gesamtstromes übertragen. Ich verfertigte eine solche Kathodenröhre nach Wehnelt und erhielt ein schönes Kathodenbündel bei 700

bis 900 Volt, wobei die Kathode zur Vermeidung der magnetischen Beeinflussung mit Wechselstrom erhitzt wurde.

Zu meiner Überraschung aber zeigten diese Röhren gar keine magnetische Wirkung, was vielleicht mit der geringen Geschwindigkeit dieser Strahlen im Zusammenhang steht. Dies scheint um so wahrscheinlicher, da ich bei Durchsicht der Beobachtungsdaten zur Wahrnehmung kam, daß in jenen Fällen, wo das Kathodenbündel eine sichere und starke Wirkung ergab, die Röhren hart waren, die Strahlen von etwa 20000 Volt herrührend; waren die Beobachtungen zweifelhaft, so waren die Röhren weich.

Dieser Zusammenhang könnte auch durch die v. Geitlersche Bemerkung erklärt werden; es ist nämlich möglich, daß das Medium in der Wehnelttröhre besser leitet, mehr Ionen besitzt, wo es dann tatsächlich möglich wird, daß die negativen Ladungen der Röhrenwände sich nach der Anode und nach allen Richtungen ausgleichend die Wirkung der Kathodenstrahlen aufheben würden. Dies kann um so eher der Fall sein, weil diese Strahlen von geringerer Geschwindigkeit vermöge ihrer stärkeren Absorption das Medium besser leitend machen und so stärkere Ionisatoren sind.

Wie weit diese Erklärung den Tatsachen entspricht, werden fernere Untersuchungen zeigen, so auch im Zusammenhang mit diesen die Erforschung dessen, wohin eigentlich die durch die Kathodenstrahlen mitgeführten elektrischen Ladungen gelangen und welche Effekte sie hervorbringen.

Vorderhand muß ich mich auf die Feststellung beschränken, daß die Kathodenstrahlen magnetische Wirkung äußern, welche jener des geraden negativen Stromleiters entspricht.

Budapest, Physik. Inst. d. k. ung. Univ., September 1907.

(Eingegangen 25. November 1907.)
