12. *Über*
das magnetische Feld der Kathodenstrahlen;
von A. Joffé.

Die Frage nach den magnetischen Wirkungen der Kathodenstrahlen wurde von H. Hertz¹⁾ aufgeworfen. Seine Versuche schienen sie im negativen Sinne zu beantworten; zugleich zeigte sich, daß die Kathodenstrahlen weder elektrische Ladung mit sich tragen, noch elektrostatisch ablenkbar sind.

Seitdem aber die negative Ladung der Kathodenstrahlen von J. Perrin²⁾ nachgewiesen wurde und andererseits die magnetische Wirkung der elektrischen Konvektion durch Versuche von H. A. Rowland, W. C. Röntgen und A. Eichenwald festgestellt worden ist, wird man wohl auch an der Existenz eines magnetischen Feldes der Kathodenstrahlen nicht mehr zweifeln dürfen. Um so mehr, als das negative Ergebnis von H. Hertz durch die Bemerkung von J. v. Geitler³⁾ vollständig aufgeklärt ist: H. Hertz benutzte nämlich eine Röhre, bei der beide Elektroden sich an dem einen Ende befanden. Die axial laufenden Kathodenstrahlen trafen die Glaswand, luden sie auf und erzeugten einen Rückstrom, der im stationären Zustand dieselbe Elektrizitätsmenge im entgegengesetzten Sinne beförderte. Ein solches System aus einem axialen Kathodenbündel und einem gleich großen zylindrischen Rückstrom darf auch nach der Elektronenvorstellung kein äußeres magnetisches Feld erzeugen.

J. v. Geitler³⁾ verlegte deshalb die Magnetsnadel in das Innere des Rohres und bekam zunächst ein positives Ergebnis, das sich aber später⁴⁾ als vorgetäuscht durch einen Thermostrom erwies.

1) H. Hertz, Wied. Ann. 19. p. 782—816. 1883.

2) J. Perrin, Compt. rend. 121. p. 1130. 1895.

3) J. v. Geitler, Ann. d. Phys. 5. p. 924. 1901.

4) J. v. Geitler, Ann. d. Phys. 7. p. 935. 1902.

Endlich befaßte sich im Jahre 1908 E. Klupathy¹⁾ mit dieser Frage und erhielt auch ein positives Ergebnis, das aber nicht als eine experimentelle Entscheidung der Frage gelten kann: Es wurde nicht die statische Ablenkung der Magnetnadel durch einen konstanten Kathodenstrom beobachtet, sondern der ballistische Ausschlag beim Einsetzen und Ausschalten des Stromes. Das Ergebnis war günstig nur bei harten Röhren und versagte ganz bei einer Wehneltöhre, die wegen des kräftigen Kathodenstromes nach der Elektronenvorstellung einen besonders großen Effekt ergeben sollte. Diese Resultate sind auch begreiflich, da E. Klupathy dieselbe Entladungsröhre benutzte wie H. Hertz. Es konnte danach nur eine Wirkung beobachtet werden, solange noch nicht der stationäre Zustand erreicht ist. Diese Einstellungsperiode ist aber um so länger, je härter die Röhre und je höher das Entladungspotential ist.

Die Existenz und Größe des magnetischen Feldes von Kathodenstrahlen ist somit experimentell noch nicht festgestellt. Die angeführte Schlußfolgerung ist aber insofern nicht einwandfrei, als der Kathodenstrom im Gegensatz zu der elektrischen Konvektion von Eichenwald eine Bewegung der Elektrizität ohne Materie repräsentiert. Auch in dieser letzteren Beziehung ist eine quantitative Entscheidung der Frage nicht ohne Interesse.

Apparat.

Für die Konstruktion des Apparates kommen folgende Bedingungen in Betracht:

1. Die Ladung der Kathodenstrahlen muß durch eine besondere Elektrode abgeleitet und gemessen werden. Dabei bilden die Kathodenstrahlen einen Teil der geschlossenen Strombahn.

2. Der Ionenstrom der Entladung darf auf den Magneten keine Wirkung haben.

3. Der Elektronenstrom muß möglichst kräftig sein und das Magnetsystem entsprechend empfindlich.

4. Es muß jeder andere Einfluß durch Kontrollversuche ausgeschlossen werden können.

1) E. Klupathy, *Ann. d. Phys.* **25.** p. 31. 1908.

Der Apparat bestand aus einer Entladungsröhre E mit einer Wehneltkathode K , die durch einen Schliff S um eine vertikale und mittels einer Gabel am Hahn H um eine horizontale Achse drehbar befestigt wurde. Das entsprechend gerichtete Kathodenbündel trat durch eine Öffnung L in der Anode A in ein zweites innen versilbertes Rohr W , welches außen mit Stanniol umwickelt war. Ein Teil der Ladung konnte auf die Silberbelegung geraten, floß dann zur Anode zurück und übte somit keine äußere Wirkung aus. Der andere Teil aber, der von der Elektrode F durch ein Galvanometer G

zur Anode geleitet wurde, erzeugte ein äußeres Magnetfeld, das durch ein astatisches Magnetsystem NS gemessen wurde.

Der Entladungsstrom wurde durch eine Hochspannungsbatterie geliefert und möglichst induktionsfrei geführt. Ebenso konnte die magnetische Wirkung des Heizstromes genügend herabgesetzt werden.

Das Magnetsystem hing auf einem Quarzfaden und hatte einen Dämpfer D , der in Vaselineöl tauchte. Durch zwei Eisenpanzer PP wurde das System von magnetischen, elektrischen Störungen und Luftströmungen geschützt. Die Schwingungsdauer betrug 10—12 Sek., die Einstellung war nahezu aperiodisch.

Zur Eichung der erhaltenen Ausschläge wurde das Entladungsrohr durch einen Draht ersetzt. Der von einem Akkumulator gelieferte Strom wurde durch dasselbe Galvanometer G gemessen.

Statt der Röhre W wurde auch eine andere ohne Verengung und mit einer halbdurchsichtigen Silberschicht benutzt. Die Elektrode F war da durch einen doppelwändigen Zylinder ersetzt mit einer Öffnung zur Aufnahme der Kathodenstrahlen; die äußere Hülle war mit der Anode verbunden.

Fehlerquellen.

Es konnte leicht festgestellt werden, daß das Galvanometer G tatsächlich die Kathodenstrahlen mißt. Bei der dünnen Silberschicht war das Kathodenbündel gut sichtbar. Durch Annäherung eines Magneten wurde das Bündel seitlich abgelenkt. In dem Moment, wo das Bündel die Elektrode F verließ, verschwand auch der Strom im Galvanometer. Eine andere Entladungsart (etwa ein Ionenstrom) ist auch in einem Raum W , wo kein elektrisches Feld existiert, nicht zu erwarten. (Die Aufladung der Elektrode F gegen die Silberwand blieb immer innerhalb 0,02 Volt und ist somit zu vernachlässigen.)

Als Fehlerquelle käme zunächst der Entladungsstrom in E in Betracht. In der Hauptsache ist aber sein magnetisches Feld durch die symmetrischen Rückleitungen aufgehoben und durch das Panzersystem noch weiter abgeschwächt. Eine Wirkung könnte zustande kommen durch eine Asymmetrie des Entladungsstromes gegen die Rückleitungen. Der Einfluß dieses Stromes auf das Magnetsystem wurde auf verschiedene Weise festgestellt:

1. War das Vakuum nicht hoch genug, so gelangten die Kathodenstrahlen nicht bis zur Elektrode F , während der Entladungsstrom in E dieselbe Größe und Verteilung behielt. Der Einfluß war bei diesen Verhältnissen nicht nachweisbar.

2. Durch eine kleine Überhitzung der Wehneltkathode konnte der Glimmstrom von $< 0,001$ Amp. in eine Bogenentladung von $> 0,1$ Amp. übergeführt werden. Zeigte dabei das Galvanometer wegen vergrößerter Gasdichte keinen Strom, so blieb der Ausschlag des Magnetsystems innerhalb 0,5 bis

höchstens 20 Skt. Das ergibt also für den Glimmstrom $< 0,2$ Skt.

3. Durch eine Drehung der Kathode wurde das Kathodenbündel von der Öffnung L abgewendet. Die Stromverhältnisse in der Röhre E haben sich dabei nicht wesentlich verändert, das Galvanometer zeigte aber keinen Ausschlag. Die Ablenkung des Magnetsystems blieb innerhalb $0,5$ Skt.

Als zweite Fehlerquelle wäre die Änderung des Heizstromes zu berücksichtigen, die beim Einsetzen der Entladung erfolgt. Diese Änderung beträgt bis zu $0,05$ Amp. Der Heizstrom selbst ($3-4$ Amp.) bewirkte aber eine Ablenkung, die $2-10$ Skt. betrug. Es bleibt also ein Einfluß von höchstens $0,2$ Skt. möglich.

Schädlicher könnte eine Asymmetrie des Kathodenbündels in der Röhre W wirken. Es könnte die magnetische Wirkung der von der Silberschicht aufgefangenen Ladung nicht ganz kompensiert werden. Wurde aber die Kathode so gedreht, daß das Galvanometer einen maximalen Ausschlag zeigte, so war durch den Calciumoxydfleck, das Diaphragma L und die Elektrode F die Richtung des Kathodenbündels genügend genau bestimmt. Durch azentrische Stellung der Kathode und entsprechende Drehung konnte der Einfluß dieser Fehlerquelle im ungünstigsten Falle abgeschätzt werden. Der Unterschied der Ausschläge bei gleichem Galvanometerstrom betrug weniger als 5 Proz.

Endlich könnte die Eichung noch einen Fehler hineinbringen und zwar aus folgenden Gründen:

1. Der Draht, der den Kathodenstrahl ersetzte, hatte eine andere Dicke und eine andere Stromdichtenverteilung im Querschnitt.

2. Der Draht konnte nicht genau auf dieselbe Stelle zwischen den Magneten gebracht werden.

Durch Verschiebung des Drahtes innerhalb der fraglichen Zone wurde dieser Fehler abgeschätzt. Er beträgt nicht über 2 Proz.

Fassen wir alles zusammen und berücksichtigen die Inkonstanz des Nullpunktes, so kann man wohl behaupten, daß die Einstellung innerhalb 1 Skt. sicher durch die Kathodenstrahlen bestimmt wird und mit einem Fehler von höchstens

4 Proz. gemessen wird. Bei 50 Skt. Ausschlag ist der wahrscheinliche Fehler auf 2,5 Skt. — 5 Proz. zu schätzen; bei 20 Skt. kann er bis 10 Proz. betragen.

Auf die Erreichung einer größeren Genauigkeit, die wohl keine Schwierigkeiten bieten würde, ist kein Gewicht gelegt worden, da die Grundfrage nach der Äquivalenz der Kathodenstrahlen und eines Leitungsstromes in bezug auf das magnetische Feld auch bei der erreichten Genauigkeit eindeutig entschieden ist.

Messungen.

In der folgenden Tabelle sind einige Messungsergebnisse zusammengestellt:

G	M	M/G für Kathodenstrahlen	M/G für Leitungsstrom
4,0	14	3,5	3,45
3,2	10	3,1	3,45
13,5	48	3,5 ₆	3,6
6	22	3,6 ₇	3,5
0,1	< 1	—	—
4	15	3,7	3,45

In der ersten Kolumne ist der Galvanometerausschlag in Skalenteilen (1 Skt. — $6 \cdot 10^{-6}$ Amp.) angegeben, in der zweiten der Ausschlag des Magnetsystems, in der dritten der Quotient beider und in der vierten endlich die Empfindlichkeit des Systems für einen entsprechenden Leitungsstrom im Metalldraht.

Mit einem größeren Fehler, aber nicht systematischer Natur waren Versuche mit der zweiten Röhre und einem weniger empfindlichen Magnetsystem behaftet, wobei die Bogenentladung benutzt wurde. Bei den kleinen Ausschlägen < 12 mm kamen Abweichungen bis 20 Proz. vor.

Einen sehr großen Effekt hatte die Entladung eines Induktoriums. Die Stromstärke des Galvanometers erreichte da ca. 170 Skt. Der Ausschlag des Magnetsystems war 500–600 mm. Der Strom war aber nicht konstant genug, um genaue Einstellung zu erlauben. Der Ausschlag entspricht ganz dem nach der Eichung zu erwartenden. Qualitativ ist der Versuch mit

einem Induktorium sehr überzeugend und zu einer Demonstration recht gut geeignet.

Zusammenfassung.

1. Die Versuche von H. Hertz, J. v. Geitler und E. Klu-pathy haben die Frage nach der magnetischen Wirkung der Kathodenstrahlen offen gelassen.

2. Die angegebene Versuchsanordnung schaltet alle Nebenwirkungen der Entladung aus und stellt das Magnetsystem unter die Wirkung von Kathodenstrahlen, die gleichzeitig gemessen werden.

3. Das magnetische Feld der Kathodenstrahlen wird durch die pro Zeiteinheit transportierte Elektrizitätsmenge bestimmt. In bezug auf magnetische Wirkungen sind die Kathodenstrahlen einem Leitungsstrom von gleicher Stromstärke innerhalb der Meßgenauigkeit ca. 5 Proz. äquivalent.

St. Petersburg, Physik. Laboratorium d. Polytechnikums.

(Eingegangen 21. März 1911.)