

5. *Magnetische Ablenkungsversuche mit Röntgenstrahlen; von B. Walter.*

Magnetische Ablenkungsversuche mit Röntgenstrahlen sind bereits von vielen Seiten — und zwar stets mit negativem Erfolge — vorgenommen worden; der einzige Beobachter jedoch, welcher einen bestimmten *Grenzwert* für das Produkt $H \cdot r$ (magnetische Feldstärke mal Krümmungsradius der senkrecht zu den Kraftlinien verlaufenden Bahnkurve) angibt, ist meines Wissens R. J. Strutt.¹⁾ Gerade die Versuche dieses Beobachters stellen nun aber bei weitem nicht die Grenze der auf diesem Gebiete zu erreichenden Genauigkeit dar; und so beschloß ich denn — einerseits in Anbetracht der Unsicherheit, welche auch heute noch über den Charakter der Röntgenstrahlen besteht und andererseits auch veranlaßt durch die sonst fast vollkommene Übereinstimmung, welche in dem Verhalten dieser und der magnetisch ablenkbaren Becquerelstrahlen besteht — die Frage noch einmal in Angriff zu nehmen.

Ich will gleich hier vorausschicken, daß auch meine Versuche, die, wie später gezeigt werden wird, etwa die 1000 fache Genauigkeit von denjenigen Strutts erreichten, ebenso wie diese *vollkommen negativ* ausgefallen sind — oder genauer: während sich aus Strutts Versuchen ergab, daß der Wert des genannten Produktes sicher mehr als $6 \cdot 10^7$ absolute Einheiten betragen muß, kann man nach den meinigen diesen Grenzwert mit Sicherheit bis auf $1 \cdot 10^{11}$ solcher Einheiten erhöhen.

Anschaulicher läßt sich dieses Resultat auch so ausdrücken, daß bei den senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien verlaufenden Röntgenstrahlen zur Erzeugung einer Krümmung von 1 cm Radius zum mindesten eine magnetische Feldstärke von $1 \cdot 10^{11}$ absoluten Einheiten (Gauss) notwendig sein würde oder noch besser — da solche Feldstärken, wenn

1) R. J. Strutt, Proc. Roy. Soc. of London **66**. p. 75. 1900.

überhaupt, so jedenfalls nur in nahezu unendlich kleinen Dimensionen herstellbar sind¹⁾ —, daß *Röntgenstrahlen mittlerer Härte, die in einem magnetischen Felde von 1 Gauss* — d. i. etwa der 5 fache Wert der gegenwärtigen Horizontalintensität des Erdmagnetismus in unseren Breiten — *senkrecht zu den Kraftlinien verlaufen, darin eine Bahn beschreiben, deren Krümmungsradius sicher größer als $1 \cdot 10^{11}$ cm, d. h. sicher größer als der Durchmesser der Mondbahn (ca. $7,5 \cdot 10^{10}$ cm) ist.*

Was nun aber meine Versuche selbst angeht, so beruht die größere Genauigkeit derselben hauptsächlich auf der Anwendung einer besseren „Optik“, zum Teil aber auch auf der Benutzung einer wesentlich stärkeren magnetischen Wirkung, zwei Punkte, auf die hier noch kurz eingegangen werden mag.

In optischer Hinsicht zunächst habe ich 1. die Entfernung zwischen Röntgenröhre und photographischer Platte, die bei Strutt 1 m betrug, auf über 3 m erhöht, 2. als abzubildendes Objekt nicht wie dieser Beobachter einen Draht, sondern einen Spalt benutzt — da dann die photographische Platte weit besser vor den Sekundärstrahlen der Luft geschützt werden kann, und man also auch entsprechend klarere Bilder erhält — und endlich 3. auch nicht wie Strutt als Strahlenquelle direkt die Röntgenröhre in sogenannter „Spaltstellung“, sondern vielmehr einen zweiten, in nächster Nähe der Röhre aufgestellten Spalt benutzt. Denn wenn ich auch seinerzeit selbst die erstere Aufstellungsart der Röntgenröhre, wobei bekanntlich das abzubildende spaltförmige Objekt möglichst in der Verlängerung der Ebene der Antikathode und parallel mit derselben aufgestellt wird, fast gleichzeitig mit Gouy²⁾ und unabhängig von diesem empfohlen habe³⁾, so bin ich doch später zu der Ansicht gekommen, daß für Beobachtungen, bei denen es auf die äußerste Genauigkeit ankommt, als Strahlenquelle ein zweiter, demselben parallel gerichteter und nahe bei der Röhre aufgestellter Spalt bei weitem vorzuziehen ist.⁴⁾

1) Vgl. darüber die folgende Abhandl. Ann. d. Phys. 14. p. 106. 1904.

2) M. Gouy, Compt. rend. 122. p. 1197. 1896.

3) B. Walter, Naturwissensch. Rundschau 11. p. 322. 1896.

4) Übrigens wird man auch in diesem Falle, um die Strahlung der Röhre möglichst auszunutzen, der letzteren eine ähnliche Stellung geben, wie sie sie in der „Spaltstellung“ einzunehmen hat.

Tatsächlich zeigen denn auch meine hier in Frage kommenden Bilder, trotzdem die dabei benutzten Spalte nur etwa 0,2 mm breit waren, und trotzdem die Entfernung der photographischen Platte von dem zweiten Spalte 152 cm betrug, unter einem schwach vergrößernden Mikroskop doch vollkommen deutlich jene beiden Paare von hellen und dunklen Linien, welche die Ränder der Kern- und Halbschatten derartiger Objekte oft mit geradezu frappanter Deutlichkeit einsäumen, und welche auch bekanntlich früher von vielen Beobachtern fälschlicherweise für Beugungserscheinungen der Röntgenstrahlen gehalten, von C. H. Wind¹⁾ jedoch zuerst als optische Täuschungen erkannt wurden. Gerade diese Linienpaare, die man aber nur bei Anwendung zweier Spalte erhält, bieten nun bei der mikroskopischen Ausmessung der Bilder einen ausgezeichneten Anhalt für die Einstellung der Okularmarke dar, so daß also dadurch die Genauigkeitsgrenze der Beobachtungen um ein erhebliches Stück vergrößert wird.

Als Beweis lasse ich die Resultate der Ausmessung zweier derartiger Bilder folgen, von denen sich das eine (I) aus zwei Teilaufnahmen zusammensetzte, die beide nacheinander bei unveränderter Stellung der Spalte und photographischen Platte mit entgegengesetzt gerichtetem Magnetfelde aufgenommen wurden, während das andere (II) bei unveränderter Stellung der Spalte nach völliger Entmagnetisierung des Elektromagneten auf einer neuen photographischen Platte angefertigt wurde. Es ergab sich zunächst für die ganze Breite des Bildes, die in diesem Falle gleichbedeutend ist mit dem Abstand der inneren Ränder der *hellen* Windschen Linien, in je sechs voneinander vollständig unabhängigen Messungen:

bei I: 0,573, 0,591, 0,580, 0,567, 0,600, 0,561, im Mittel 0,578 mm,
„ II: 0,569, 0,576, 0,590, 0,577, 0,578, 0,570, „ „ 0,577 „

und ebenso für den Abstand der äußeren Ränder der *dunklen* Windschen Linien an der Grenze des Kernschattens der beiden Bilder:

bei I: 0,258, 0,238, 0,266, 0,237, 0,273, im Mittel 0,254 mm,
„ II: 0,260, 0,252, 0,247, 0,259, 0,248, „ „ 0,253 „

1) C. H. Wind, Kon. Akad. Amsterdam. Juni 24. 1898; Wied. Ann. 68. p. 884. 1899.

Auf Grund dieser Messungen kann man nun wohl behaupten, daß für die beiden Teillaufnahmen des Bildes I (mit entgegengesetztem Magnetfelde) die Verschiebung des Strahlenkegels auf der in 138 cm hinter dem letzten Punkte des Feldes aufgestellten photographischen Platte sicher kleiner als 0,005 mm, für jede dieser Aufnahmen also kleiner als 0,0025 mm gewesen sein muß, eine Zahl, die denn auch weiter unten zur Berechnung des Grenzwertes von Hr dienen wird.

Hier mag hinsichtlich der Optik meiner Versuche schließlich nur noch das erwähnt werden, daß zur möglichst starren Verbindung der beiden Spalte und der photographischen Platte wieder wie bei meinen Beugungsversuchen mit Röntgenstrahlen¹⁾ eine lange Metallschiene benutzt wurde, die aber diesmal, wo

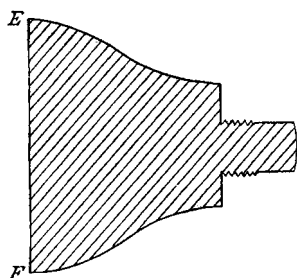


Fig. 1a. ($\frac{1}{3}$ nat. Gr.)

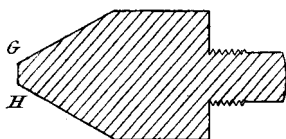


Fig. 1b. ($\frac{1}{3}$ nat. Gr.)

sie die Nähe eines starken magnetischen Feldes zu durchqueren hatte, nicht aus Eisen, sondern aus Messing bestand und ca. 330 cm lang, 2,5 cm hoch und 1 cm breit war. Oben auf derselben waren die Spalte und die photographische Platte mit geeigneten Metallstücken fest verschraubt; und es wurden ferner auch noch die beiden Enden und die Mitte der Schiene durch hölzerne Schraubzwingen an zwei festen Eichentischen befestigt. Die ganze Expositionszeit betrug übrigens bei jeder solchen Aufnahme nur je eine halbe Stunde. Als Röntgenröhre diente eine der nach meinen Angaben von C. H. F.

Müller hierselbst konstruierten Wasserkühlröhren, deren Härte, in Benoist-Walterscher Skala²⁾ gemessen, zwischen 5 und $5\frac{1}{2}$ schwankte.

Was sodann das bei diesen Versuchen benutzte *magnetische Feld* angeht, so wurde dasselbe auf Grund einer längeren Reihe von Feldstärkemessungen ausgebildet, die damit endeten,

1) B. Walter, Physik. Zeitschr. 3. p. 137. 1901.

2) B. Walter, Fortschr. auf d. Geb. d. Röntgenstrahlen 6. p. 68. 1902–1903.

für diese Beobachtungen ein Paar von Polschuhen anfertigen zu lassen, wie deren einer in den Figg. 1a und 1b in seinen beiden Hauptschnitten in $\frac{1}{3}$ natürlicher Größe abgebildet ist. Diese beiden Schuhe wurden an die beiden sich gegenüberstehenden, 16 qcm im Querschnitt haltenden Eisenkerne des Ruhmkorffschen Elektromagneten des Laboratoriums (von Edelmann in München) angeschraubt und in nur 2 mm Abstand voneinander gebracht.

Nur durch eine solche starke Annäherung der beiden Pole im Verein mit der aus Fig. 1b hervorgehenden starken Einschnürung des Eisenquerschnittes erzielt man nämlich das starke magnetische Feld, wie es für diese Versuche wünschenswert ist; und zwar hatte die Feldstärke in meinem Falle der ganzen Länge EF der Polschuhe nach (10 cm) eine Größe von rund 19 000 Gauss.

Bei den Ablenkungsbeobachtungen mit Röntgenstrahlen wurden die Polschuhe, wie in der Fig. 2 in $\frac{2}{75}$ nat. Größe angedeutet ist, nahe hinter dem Spalte S_2 angebracht, von dessen Längsausdehnung — wegen des kleinen Abstandes der Polschuhe — natürlich nur ein entsprechend kleiner Teil zur Abbildung gelangte. Die Entfernung der beiden Spalte S_1 und S_2 betrug 174 cm, diejenige der photographischen Platte PP von S_2 152 cm, die Länge y der von den Strahlen zwischen den Polschuhen zurückgelegten Strecke war 10,2 cm und der Abstand b des hintersten Punktes B dieser Strecke von PP endlich 138 cm.

Die Aufnahme bei erregtem Magnetfeld zerfiel, wie bereits gesagt, ebenso wie bei Strutt in zwei Teile, bei deren einem die Pole entgegengesetzt magnetisiert wurden wie beim anderen, so daß also dadurch die ablenkende Wirkung doppelt so groß war wie bei einmaliger Magnetisierung. Außerdem wurde noch der Kunstgriff benutzt, den Magnetisierungsstrom jedesmal zunächst bis auf etwa 30 Amp. zu steigern, ihn dann allmählich auf 20 Amp. sinken und hier stehen zu lassen. Man erhält dann wegen des remanenten Magnetismus ein um einige Prozent höheres Feld als bei

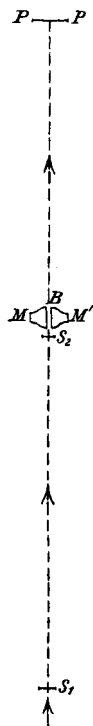


Fig. 2.
($\frac{2}{75}$ nat. Gr.)

direkter Einstellung des Stromes auf den genannten Endwert. Die Messungen der Feldstärke zeigten ferner, daß diese Größe bei solchen einander sehr nahe gegenüberstehenden Polen an der Grenze des zwischen beiden gelegenen Raumes in ganz außerordentlich steilem Maße abfällt, so daß man deswegen dieselben innerhalb dieses Raumes überall gleich 19 000 Gauss, außerhalb desselben dagegen gleich Null annehmen kann.

Unter dieser Annahme läßt sich dann der Krümmungsradius r der Kreisbahn, welche ein magnetisch ablenkbares Teilchen in dem gleichförmigen Magnetfeld zwischen M und M' beschreibt, aus der auf der photographischen Platte PP zu beobachtenden Ablenkung d sehr leicht berechnen. Stellen nämlich in der Fig. 3 die Punkte A und B diejenigen Stellen dar, bei welchen die Strahlen in das Magnetfeld eintreten bez. dasselbe verlassen, und ist PP ferner die die Strahlen auffangende photo-

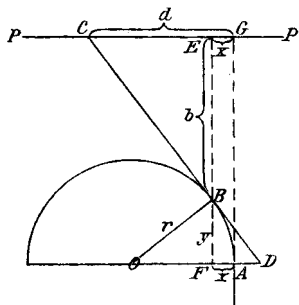


Fig. 3.

graphische Platte, so ersieht man zunächst, daß nach unseren oben eingeführten Bezeichnungen $FB = y$, $BE = b$, $CG = d$ und $OB = OA = r$ ist. Setzt man noch $FA = EG = x$, so wird bei kleinen Werten von x :

$$(1) \quad y^2 = 2rx$$

und ferner erhält man, da $\triangle CBE \sim BOF$ ist:

$$(2) \quad d - x : b = y : r - x.$$

Setzt man hierin aus (1) den Wert von x ein, so erhält man

$$(3) \quad r = \frac{y}{2d} \left[b + \frac{y}{2} + \sqrt{\left(b + \frac{y}{2}\right)^2 + 2d^2} \right],$$

also, wenn d gegen $b + y/2$ vernachlässigt werden kann:

$$(4) \quad r = \frac{y}{d} \left(b + \frac{y}{2} \right).$$

Bei den beschriebenen Ablenkungsversuchen mit Röntgen-

strahlen war nun $y = 10,2$ cm, $d < 0,00025$ cm, $b = 138$ cm, $H = 19\,000$ Gauss, mithin

$$Hr > 1,1 \cdot 10^{11} [\text{cm-g-sec}],$$

wie bereits oben angegeben wurde.

Schließlich mag noch erwähnt werden, daß sich die Genauigkeitsgrenze dieser Versuche ohne allzu große Mühe noch um ein ziemliches Stück erhöhen läßt, und zwar zeigt die Gleichung (4), daß man dazu neben b vor allem die Strecke y , d. h. die *Länge* des auf die Strahlen wirkenden Magnetfeldes zu vergrößern hat, wobei man aber natürlich, um nicht wieder an magnetischer Feldstärke zu verlieren, entweder die *Breite* G H (Fig. 1 b) dieses Feldes entsprechend verschmälern muß oder, was empfehlenswerter ist, einen Elektromagneten zu benutzen hat, der von vornherein einen größeren Eisenquerschnitt besitzt.

Für die 10 fache Größe des oben zur Anwendung gekommenen Wertes von y z. B. würde man bei gleichen Werten von b und H die Genauigkeitsgrenze der Beobachtungen noch wieder um mehr als das 16 fache erhöhen.

Hamburg, Physik. Staatslaboratorium, im Januar 1904.

(Eingegangen 1. Februar 1904.)
