

## Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld.

Von **Walther Gerlach** in Frankfurt a. M. und **Otto Stern** in Rostock.

Mit sieben Abbildungen. (Eingegangen am 1. März 1922.)

Vor kurzem<sup>1)</sup> wurde in dieser Zeitschrift eine Möglichkeit angegeben, die Frage der Richtungsquantelung im Magnetfeld experimentell zu entscheiden. In einer zweiten Mitteilung<sup>2)</sup> wurde gezeigt, daß das normale Silberatom ein magnetisches Moment hat. Durch die Fortsetzung dieser Untersuchungen, über die wir uns im folgenden zu berichten erlauben, wurde die Richtungsquantelung im Magnetfeld als Tatsache erwiesen.

Versuchsordnung. Methode und Apparatur waren im allgemeinen die gleichen wie bei unseren früheren Versuchen. Im einzelnen wurden jedoch wesentliche Verbesserungen<sup>3)</sup> vorgenommen, welche wir in Ergänzung unserer früheren Angaben hier mitteilen. Der Silberatomstrahl kommt aus einem elektrisch geheizten Öfchen aus Schamotte mit einem Stahleinsatz, in dessen Deckel zum Austritt des Silberstrahls eine  $1\text{ mm}^2$  große kreisförmige Öffnung sich befand. Der Abstand zwischen Ofenöffnung und erster Strahlenblende wurde auf  $2,5\text{ cm}$  vergrößert, wodurch ein Verkleben der Öffnung durch gelegentlich aus dem Öfchen spritzende Silbertröpfchen wie auch ein zu schnelles Zuwachsen durch das Niederschlagen des Atomstrahls verhindert wurde. Diese erste Blende ist annähernd kreisförmig und hat eine Fläche von  $3 \cdot 10^{-3}\text{ mm}^2$ .  $3,3\text{ cm}$  hinter dieser Lochblende passiert der Silberstrahl eine zweite spaltförmige Blende von  $0,8\text{ mm}$  Länge und  $0,03$  bis  $0,04\text{ mm}$  Breite. Beide Blenden sind aus Platinblech. Die Spaltblende sitzt am Anfang des Magnetfeldes. Die Öffnung der Spaltblende liegt unmittelbar über der Schneide *S* (vgl. hierzu Fig. 1) und ist zur ersten Lochblende und zur Ofenöffnung so justiert, daß der Silberstrahl parallel der  $3,5\text{ cm}$  langen Schneide verläuft. Unmittelbar am Ende der Schneide trifft der Silberatomstrahl auf ein Glasplättchen, auf dem er sich niederschlägt.

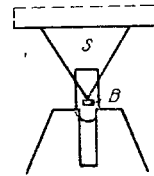


Fig. 1.

<sup>1)</sup> O. Stern, ZS. f. Phys. 7, 249, 1921.

<sup>2)</sup> W. Gerlach u. O. Stern, ebenda 8, 110, 1921.

<sup>3)</sup> Diese konnten in gemeinsamer Arbeit während der Weihnachtsferien ausgearbeitet und erprobt werden. Die endgültigen Versuche mußten infolge Wegganges des einen von uns (St.) von Frankfurt von dem anderen (G.) allein ausgeführt werden.

Die beiden Blenden, die beiden Magnetpole und das Glasplättchen, sitzen in einem Messinggehäuse von 1 cm Wandstärke starr miteinander verbunden, so daß ein Druck der Pole des Elektromagneten weder eine Deformation des Gehäuses noch eine Verschiebung der relativen Lage der Blenden, der Pole und des Plättchens verursachen kann.

Evakuiert wird wie bei den ersten Versuchen mit zwei Volmer-schen Diffusionspumpen und Gaede-Hg-Pumpe als Vorpumpe. Bei dauerndem Pumpen und Kühlen mit fester Kohlensäure wurde ein Vakuum von etwa  $10^{-5}$  mm Hg erreicht und dauernd gehalten.

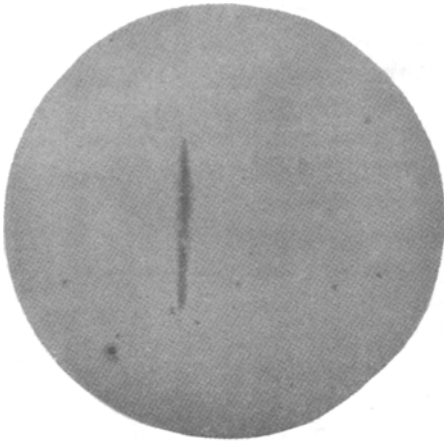


Fig. 2.

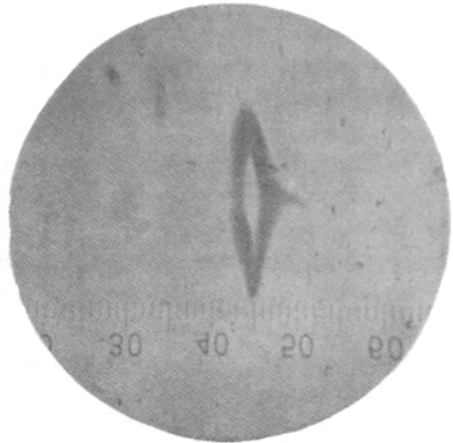


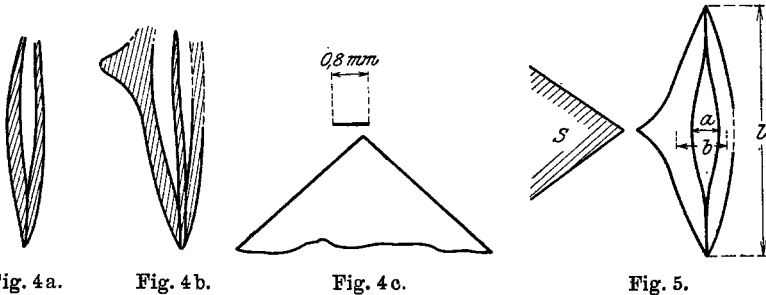
Fig. 3.

Die „Belichtungszeit“ wurde auf acht Stunden ohne Unterbrechung ausgedehnt. Aber auch nach achtstündiger Verdampfung war wegen der sehr engen Blenden und der großen Strahllänge der Niederschlag des Silbers auf der Auffangeplatte noch so dünn, daß er — wie früher mitgeteilt — entwickelt werden mußte.

Ergebnisse. Fig. 2 gibt zunächst eine Aufnahme mit  $4\frac{1}{2}$ stündiger Bestrahlungszeit ohne Magnetfeld; die Vergrößerung ist ziemlich genau 20fach. Die Ausmessung des Originals im Mikroskop mit Okularmikrometer ergab folgende Dimensionen: Länge 1,1 mm, Breite an der schmalsten Stelle 0,06 mm, an der breitesten Stelle 0,10 mm. Man sieht, daß der Spalt nicht ganz genau parallel ist. Es sei aber darauf hingewiesen, daß die Figur den Spalt selbst in 40facher Vergrößerung darstellt, da das „Silberbild“ des Spaltes schon doppelte Dimension hat; es ist schwierig, einen solchen Spalt in einer Fassung von wenigen Millimetern herzustellen.

Fig. 3 gibt eine Aufnahme bei achtstündiger Belichtungszeit mit Magnetfeld in 20facher Vergrößerung (20 Skt. des Skalenbildes = 1 mm). Es ist dies die am besten gelungene Aufnahme. Zwei andere Aufnahmen ergaben in allen wesentlichen Punkten das gleiche Ergebnis, jedoch nicht mit dieser vollkommenen Symmetrie. Es muß hier gesagt werden, daß eine sichere Justierung so kleiner Blenden auf optischem Wege sehr schwierig ist, daß zur Erzielung einer so vollkommen symmetrischen Aufnahme wie in Fig. 3 schon etwas Glück gehört; Falschstellungen einer Blende um wenige hundertstel Millimeter genügen schon, eine Aufnahme völlig zum Scheitern zu bringen.

Die Ergebnisse der zwei anderen Versuche seien schematisch in Fig. 4a und 4b gegeben. Bei Fig. 4a verlief der Silberstrahl absichtlich in etwas größerer Entfernung von der Schneide als in dem Versuch der Fig. 3. Die Spaltblende war hier nicht vollständig „ausgefüllt“.



Bei Fig. 4b war auf derselben Platte ein Niederschlag eines Versuches ohne Feld und mit Feld; der Strahl ging sehr nahe an der Schneide vorbei, war aber in Richtung senkrecht zum Feld um etwa 0,3 mm verschoben (Fig. 4c). Bezüglich der Klarheit der Bilder, der vollständigen Aufspaltung und aller anderen Einzelheiten stehen aber auch diese Aufnahmen der in Fig. 3 wiedergegebenen in nichts nach.

Die Aufnahmen zeigen, daß der Silberatomstrahl im inhomogenen Magnetfeld in der Richtung der Inhomogenität in zwei Strahlen aufgespalten wird, deren einer zum Schneidenpol hingezogen, deren anderer vom Schneidenpol abgestoßen wird. Die Niederschläge zeigen folgende Einzelheiten (vgl. hierzu die schematische Fig. 5).

a) Die Dimensionen des Originals wurden im Mikroskop bestimmt: Länge  $l$  1,1 mm, Breite  $a$  0,11 mm, Breite  $b$  0,20 mm.

b) Die Aufspaltung des Atomstrahles im Magnetfeld erfolgt in zwei diskrete Strahlen. Es sind keine unabgelenkten Atome nachweisbar.

c) Die Anziehung ist etwas stärker als die Abstoßung. Die angezogenen Atome kommen näher an den Pol und damit in Zonen größerer Inhomogenität, so daß die Ablenkung während des Vorbeifliegens immer größer wird. Fig. 3 und 4b zeigen die ganz beträchtlich erhöhte Ablenkung direkt an der Schneide des einen Magnetpoles. In unmittelbarer Nähe der Schneide wird die Anziehung sehr groß, so daß die zur Schneide zeigende scharf zugespitzte Ausbuchtung entsteht.

d) Die Breite der abgelenkten Streifen ist größer als die Breite des unabgelenkten Bildes. Letzteres ist einfach das auf das Glasplättchen von der Blende  $B_1$  aus projizierte Bild der Spaltblende  $B_2$ . Der abgelenkte Streifen wird infolge der Geschwindigkeitsverteilung der Silberatome verbreitert.

e) Dieser Umstand verschärft den Nachweis dafür, daß unabgelenkte Atome nicht in merkbarer Menge vorhanden sind [vgl. b)]. Denn der Nachweis der auf kleiner Fläche zusammenfallenden unabgelenkten Atome ist viel empfindlicher als der auf breiterer Fläche auseinandergesetzten abgelenkten Atome. Die Stellung der magnetischen Achse senkrecht zur Feldrichtung scheint somit nicht vorhanden zu sein.

Wir erblicken in diesen Ergebnissen den direkten experimentellen Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld.

Eine ausführliche Darstellung der Versuche und Resultate unserer bisherigen kurzen Mitteilungen wird in den Annalen der Physik erscheinen, sobald wir auf Grund genauerer Ausmessungen der Inhomogenität des Magnetfeldes eine quantitative Angabe der Größe des Magnetons machen können.

Den für diese Versuche benötigten Elektromagneten beschafften wir mit Mitteln aus einer Stiftung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Physik, dessen Direktor, Herrn A. Einstein, auch hier unser herzlichster Dank ausgesprochen werden soll. Ferner danken wir der Vereinigung von Freunden und Förderern der Universität Frankfurt a. M. ergebenst für die reichen Mittel, die sie uns so bereitwillig zur Weiterführung der Versuche zur Verfügung gestellt hat.

Frankfurt a. M. und Rostock i. M., im Februar 1922.