

**9. Über die von Hrn. Majorana  
gefundene Doppelbrechung im magnetischen Felde;  
von August Schmauss.**

---

*Einleitung.* Die vorliegende Arbeit bildet die Fortsetzung einer früheren Notiz<sup>1)</sup> über diesen Gegenstand.

Der leitende Gesichtspunkt war die Frage, ob die von Hrn. Majorana<sup>2)</sup> gefundene Doppelbrechung im Magnetfelde wirklich das von ihm gesuchte „Analogon der elektrischen Doppelbrechung für ein magnetisches Feld“<sup>3)</sup> darstellt.

Seit Faraday haben sich eine Reihe von Forschern vergeblich bemüht, in einem der Wirkung eines Magnetfeldes ausgesetzten festen oder flüssigen Medium (leuchtende Gase und Dämpfe machen eine Ausnahme) eine senkrecht zu den Kraftlinien stattfindende Doppelbrechung nachzuweisen.

Hr. Voigt<sup>4)</sup> hatte gezeigt, daß die magnetooptische Theorie eine solche Doppelbrechung verlangt, deren GröÙe durch dieselbe Konstante bestimmt ist, wie die Drehung der Polarisationssebene in der Richtung der Kraftlinien (der Faradayeffekt). Bei Versuchen an schwerstem Flintglase fand Hr. Voigt bei einer Feldstärke von 13000 C.G.S.-Einh. eine magnetische Doppelbrechung, „die an der Grenze des überhaupt Wahrnehmbaren lag“<sup>5)</sup>

Danach schien die Untersuchung anderer Substanzen wenig Erfolg zu versprechen, vielleicht ausgenommen stark magnetischer Medien. Diese unterzog Hr. Majorana der Beobachtung. Eisenlamellen, Eisenchloridlösungen und andere *wohl definierte* Eisenverbindungen zeigten *keine* magnetische Doppelbrechung. Dagegen gelang es Hrn. Majorana *kolloidale* Eisenoxydhydratlösungen zu finden, die in einem Felde von

---

1) A. Schmauss, Ann. d. Phys. 10. p. 658. 1903.

2) Qu. Majorana, Rendic. Acc. dei Lincei 11. 1. sem. p. 374, 463, 531; 2. sem. p. 90, 139. 1902.

3) Vgl. Q. Majorana, l. c. die einleitenden Worte.

4) W. Voigt, Wied. Ann. 67., p. 345. 1899.

5) W. Voigt, l. c. p. 357.

18000 C.G.S.-Einh. bei einer Dichte von 1,001 in einem Trog von 7 cm Länge für grünes Licht einen Gangunterschied der parallel und senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Strahlen von 12 Wellenlängen ergaben

Frisch bereitetes Eisenoxydhydrat in kolloidaler Lösung ist eine optisch leere Flüssigkeit. Durch jahrelanges Stehen wandelt es sich in ein trübes Medium um, das, senkrecht zum einfallenden Licht, in der Einfallsebene polarisiertes Licht reflektiert. Physikalisch haben wir uns den Vorgang wohl in der Weise zu denken, daß die *Lösung* allmählich den Charakter einer *Suspension* annimmt.

Eigentümlicherweise zeigt *frisches* Eisenoxydhydrat *keine* magnetische Doppelbrechung, wohl aber *altes*. Mit dem Alter *wächst* die Doppelbrechung.

Die bisweilen außerordentliche Größe der Doppelbrechung, die Unsicherheit des Erfolges, mit der die Herstellung der „aktiven Lösungen“ behaftet war, der Umstand, daß gerade solche kolloidale Lösungen, über deren Konstitution wir wenig wissen, „aktiv“ sind, rechtfertigen, wie ich glaube, den bereits erwähnten Gedanken, die beobachtete Doppelbrechung ließe sich vielleicht anders erklären, als dies von Hrn. Majorana geschehen ist.

#### I. Abschnitt.

Es möge im folgenden über die Versuche berichtet werden, die diesem Gedanken eine experimentelle Grundlage geben sollten.

1. Käufliches „Bravaissches Eisen“ von der Dichte 1,012 wurde mit vier Teilen destillierten Wassers verdünnt und etwa eine gleiche Menge flüssiger Gelatinelösung beigegeben. Letztere war durch Aufgießen heißen Wassers auf Gelatine erhalten. Erst nachdem die Lösung Zimmertemperatur angenommen hatte, wurde das Bravaissche Eisen damit vermischt.

Die Doppelbrechung im Magnetfelde wurde in der Weise beobachtet, daß durch die gekreuzten Nicolschen Prismen, deren Polarisations Ebenen Winkel von  $45^\circ$  mit den Kraftlinien einschlossen, nach einer elektrischen Glühlampe gesehen wurde.

Die anfänglich vollständig flüssige Lösung erstarrt allmählich; es wurde an einer Reihe solcher Lösungen, die gleich nach der Herstellung in das Magnetfeld gebracht wurden, aber verschieden lang darin verweilten, beobachtet, wie lange die Doppelbrechung noch nach Verschwinden des magnetisierenden Stromes in der Lösung erhalten blieb.

Die Messungen wurden in der Weise gemacht, daß die Zeit  $t'$  beobachtet wurde, während welcher der Kohlefaden der Glühlampe noch deutlich sichtbar war, wenn nach der Zeit  $t$ , gerechnet vom Einbringen der frisch bereiteten, mit Gelatine versetzten Lösung in das Magnetfeld (Stärke 9000 C.G.S.-Einh.), der magnetisierende Strom für die Dauer dieser Zeit  $t'$  geöffnet wurde. Nachher wurde der Strom wieder geschlossen, bis eine zweite, gleiche Beobachtung angestellt wurde.

Die Tab. 1 gibt ein Bild dieser Messungen.

Tabelle 1.

$t$	0	10'	20'	35'	50'	55'	65'
$t'$	0	1—2"	3—5"	7"	8"	12"	dauernd doppel- brechend

Wie man sieht, bleibt die Doppelbrechung um so länger bestehen, als die Lösung zähflüssiger wird. Nach 65' blieb sie dauernd bestehen. Die Gelatinelösung war dabei noch vollkommen plastisch, sie konnte durch Neigen des Gefäßes ausgegossen werden.

Es war leicht, sich zu überzeugen, daß die Doppelbrechung in *voller Stärke* bestehen blieb, dadurch, daß man die Doppelbrechung der Lösung mit einem senkrecht zu den Kraftlinien gepreßten Glasstreifen kompensierte und sah, ob beim Ausschalten des Magnetfeldes der Glühfaden erschien. Das war *nicht* der Fall.

Je nach der Konzentration der beigegebenen Gelatinelösung hat man länger oder kürzer zu warten, bis die Doppelbrechung in voller Stärke bestehen bleibt.

Durch *Umrühren* ließ sich die remanente Doppelbrechung sofort *aufheben*.

Da die Lösung durch ihre Lage zu den Polen des Magneteten symmetrischen Temperatureinflüssen unterworfen ist, die eine etwaige Spannung und damit Doppelbrechung zur Folge haben könnten, war der Kontrollversuch, ob eine mit Gelatine versetzte Lösung zwischen den Polen *ohne* Magnetfeld doppelbrechend wird, geboten. Es trat keine Doppelbrechung auf, bis die Gelatine *fest* und dann selbst doppelbrechend wurde.

Denselben Erfolg wie die Beigabe von Gelatine hatte die Vermischung mit Hausenblase.

*Ohne* die Beigabe von Gelatine oder Hausenblase ließ sich die Doppelbrechung fixieren, wenn man eine Bravaissche Lösung auf einer Glasplatte im Magnetfelde *eintrocknen* ließ.

Da eingetrocknete Lösungen solcher kolloidaler Gebilde überhaupt doppelbrechend werden, allerdings mit keiner ausgezeichneten Richtung *in* der Ebene der Lamelle <sup>1)</sup>, wurde auch ohne Magnetfeld eine Lösung zwischen den Polen eingetrocknet. Diese zeigte die charakteristische Doppelbrechung nicht.

Das Ergebnis dieses ersten Teiles ist: *Es läßt sich durch geeignete Mittel, welche die Flüssigkeit zum Erstarren bringen, die im Magnetfelde in der Flüssigkeit beobachtete Doppelbrechung dauernd erhalten.*

2. Ferner ließ sich zeigen, daß auch das *Anwachsen* der Doppelbrechung in diesen zähflüssigen Lösungen bis zur vollen Stärke Zeit braucht.

Es wurde ein 10 cm hoher Glastrog benützt, der im Magnetfeld (Durchmesser des homogenen Feldes 2,5 cm) rasch auf und ab bewegt werden konnte, so daß stets neue Lösung in das Magnetfeld eintrat. Zuerst wurde die Stärke des magnetisierenden Stromes so gewählt, daß die Doppelbrechung der ruhenden Lösung gleich der des kompensierenden Glasstreifens, der Kohlenfaden der Lichtquelle also nicht sichtbar war. Dann wurde der Trog rasch auf und ab bewegt. Das Erscheinen des Kohlenfadens, der wieder verschwand, nachdem der Trog einige Zeit in Ruhe war, zeigte an, daß die *Doppelbrechung Zeit braucht, um in einer gelatinösen Lösung in voller Stärke zu erscheinen.*

---

1) Vgl. darüber P. Groth, Physikal. Krystallographie 2. Aufl. p. 133. 1885.

3. Es wurde eine frisch mit Gelatine versetzte Lösung in das Magnetfeld gebracht und beobachtet, bei welcher Stärke des magnetisierenden Stromes die Doppelbrechung der Lösung durch eine bestimmte Kompression des Glasstreifens kompensiert wurde. Hierauf wurde der Strom geöffnet, die Lösung zwischen den Polen belassen, bis die remanente Doppelbrechung verschwunden war und nach der Zeit  $t$  beobachtet, bei welcher Stromstärke jetzt die Doppelbrechung der Eisenlösung gleich der des Glasstreifens wurde. In Tab. 2 sind die Beobachtungen eingetragen.

Tabelle 2.

$t$	0	5'	10'	15'	20'	25'
Ampère zahl	5 Amp.	5 Amp.	6 Amp.	7 Amp.	8,25 Amp.	nicht mehr doppel- brechend

Wie man sieht, läßt es sich durch Beigabe von Gelatine, welche die Lösung allmählich zum Erstarren bringt, erreichen, daß die Lösung unter dem Einflusse des Magneten nicht mehr doppelbrechend wird.

Durch Aufgießen einiger Tropfen warmen Wassers und kräftiges Umrühren konnte der Lösung die ursprüngliche Doppelbrechung wiedergegeben werden. Wenn man nicht zu lange gewartet hat, genügt Umrühren allein. Diese Tatsache zeigt uns, daß es nicht eine dauernde *chemische* Änderung gewesen, welche der Lösung die Eigenschaft, im Magnetfelde doppelbrechend zu werden, benommen hat.

4. Bei dem Bestreben, den Temperaturkoeffizienten der Doppelbrechung zu bestimmen, zeigte sich das Resultat, daß die Bravaissche Lösung (ohne Gelatinezusatz) bei gewöhnlicher Temperatur *stark negativ* doppelbrechend war, mit steigender Temperatur nahm die Doppelbrechung ab, bei einer bestimmten Temperatur war *keine* Doppelbrechung vorhanden, darüber hinaus wurde sie *positiv*.

In folgender Tab. 3 bedeutet  $\vartheta$  die Temperatur der Lösung; bei der zugehörigen Ampèrezahl des magnetisierenden Stromes war die Doppelbrechung der Lösung so stark wie die des kompensierenden Glasstreifens.

Tabelle 3.

## a) Negative Doppelbrechung.

$\theta$	22°	26°	32°	37°	42°	45°	47°	52°
Ampère- zahl	4,5 A.	4,75 A.	6 A.	7 A.	9 A.	11,5 A.	15 A.	$\infty$

## b) Positive Doppelbrechung.

$\theta$	52°	59°	62°	65°	70°
Ampère- zahl	$\infty$	11 Amp.	10,5 Amp.	10 Amp.	9 Amp.

Der Umkehrpunkt lag also für diese Lösung zwischen 52° und 54°. Bei dieser Temperatur konnte die Lösung nicht doppelbrechend gemacht werden.

Es wurden verschiedene Konzentrationen hergestellt, und auch für diese der Umkehrpunkt bestimmt. Es ergab sich für alle *dieselbe* Temperatur, bei welcher eine Doppelbrechung nicht auftrat.

Auch diese positive Doppelbrechung der über 52° erhitzten Lösung läßt sich fixieren, wenn man auf einer Glasplatte im Magnetfeld die Lösung durch eine darunter gestellte Flamme erhitzt und eintrocknen läßt.

Dieses Resultat des Überganges der Doppelbrechung von negativer zu positiver bei einer Temperatur, die für alle Konzentrationen dieselbe war, erinnert an eine Beobachtung Majoranas<sup>1)</sup>, der bei manchen Lösungen einen durch *Erhöhung der Feldstärke* stattfindenden Übergang von positiver zu negativer Doppelbrechung feststellen konnte. Der Inversionspunkt zeigte sich hier für alle Konzentrationen derselben Lösung konstant in Bezug auf die *Feldstärke*.

5. *Abhängigkeit von Beimengungen* Die Doppelbrechung wurde durch Beigabe von Alkohol oder Glycerin (wenn letzteres kein Ausfällen des Eisenoxyds zur Folge hatte) nicht wesentlich verändert. Dagegen verminderte die Beigabe einer konzentrierten Gummilösung (Dichte 1,15) die Doppelbrechung. Gleichzeitig nahm die Lösung ein mehr rötliches Aussehen an, während eine wässrige Lösung gelb ist.

1) Q. Majorana, l. c. 11. 1. sem. p. 533.

Es wurden gleiche Volumenkonzentrationen von wässrigen und Gummilösungen (körniges Gummi arabicum) hergestellt. Um in der letzteren eine Doppelbrechung gleich der des Glasstreifens zu erreichen, war ein Feld von 7000 C.G.S.-Einh. notwendig, während in der wässrigen Lösung 6200 C.G.S.-Einh. genügten. Noch konzentriertere Gummilösungen (Dichte 1,2) eigneten sich besonders gut zu zeigen, daß die Doppelbrechung in solchen dickflüssigen Lösungen längere Zeit braucht, bis sie ganz verschwindet. Der Kohlefaden, der durch die gekreuzten Nicols beobachtet wurde, war noch etwa 20" nach Ausschalten des Stromes in abnehmender Helligkeit zu sehen. Rührte man die Gummilösung mit einem Glasstab um, dann war er sofort verschwunden.

Eine merkwürdige Einwirkung zeigte Eisenchloridlösung. Dieselbe bringt, wie andere Salzlösungen, das Eisenoxydhydrat zur Fällung. Gibt man jedoch nur einige Tropfen Eisenchlorid der Bravaisschen Lösung bei, dann zeigt sich die Doppelbrechung außerordentlich *verstärkt*. Es gelang z. B. die Doppelbrechung des Glasstreifens, die vorher in einem Felde von 7500 C.G.S.-Einh. kompensiert war, nach Beigabe von etwas Eisenchlorid schon bei 2500 C.G.S.-Einh. zu kompensieren. Nach etwa 5' wurde die Lösung trübe, dann nahm die Doppelbrechung rasch ab.

Es wurden auch für diese Lösungen die Temperatur bestimmt, bei welcher sie *nicht* doppeltbrechend waren. Für alkoholische, mit Glyzerin und Gummi versetzte Lösungen ergaben sich nahe dieselben Temperaturen. Dagegen lag die Temperatur für eine wässrige Lösung, der einige Tropfen Eisenchlorid beigegeben wurden, wesentlich höher, nämlich zwischen 62 und 64°.

6. Mit denselben Mitteln wie die magnetische Doppelbrechung läßt sich auch die von Hrn. Majorana gefundene „bimagnetische“ Drehung der Polarisationssebene fixieren. Es wurden solche Lösungen, die nach Angabe Hrn. Majoranas senkrecht zum Magnetfeld eine Drehung der Polarisationssebene, deren Sinn von der Richtung der Kraftlinien unabhängig ist, ergeben, mit Gelatine versetzt. *Die Drehung blieb bestehen*, wenn die Lösung zähflüssig geworden war

## II. Abschnitt.

Betrachten wir die erhaltenen Resultate, dann geht, wie ich glaube, daraus hervor, daß die von Hrn. Majorana gefundenen Erscheinungen eine andere Erklärung zulassen, als sie ihnen Hr. Majorana gegeben hat.

Die Tatsache, daß sich durch Beigabe zähflüssiger Medien die Doppelbrechung erhalten läßt, daß sich die Lösung ohne eine chemische Änderung in einen Zustand versetzen läßt, in welchem sie nicht doppelbrechend wird, scheint die Annahme zu rechtfertigen, daß suspendierte Teilchen unter dem Einflusse des Magnetfeldes *gerichtet* werden.

Das Gesetz, das Hr. Majorana für die Größe der Doppelbrechung aufgestellt hat

$$\beta = \frac{K \cdot l(\delta - 1) H^2 \lambda_{Na}^2}{\lambda^2},$$

worin  $K$  eine Konstante,  $l$  die Schichtdicke,  $(\delta - 1)$  die Konzentration,  $H$  die Feldstärke bedeutet, widerspricht unserer Annahme nicht.

In der Formel ist charakteristisch, daß die *Feldstärke* im *Quadrat* eingeht. Bekanntlich<sup>1)</sup> ist das Drehungsvermögen, das in einem magnetischen Felde auf aufgehängte Körper ausgeübt wird, proportional mit dem *Quadrat* der Feldstärke.

Sind die im I. Abschnitt in den Absätzen 1 bis 3 und 5 bis 6 mitgeteilten Tatsachen ohne weiteres mit der Vorstellung verträglich, daß es sich um die Richtung suspendierter Teilchen handelt, so bedarf der Absatz 4 näherer Erörterung.

Es wurde dort gezeigt, daß sich für eine bestimmte *Temperatur* der Sinn der Doppelbrechung umkehrt, und diese Erscheinung in Beziehung gesetzt zu dem Resultate Majoranas, daß manche Lösungen für ein bestimmtes *Feld* eine Umkehr ergeben.

Die „trüben Medien“, zu welchen auch das Bravaissche Eisen gehört, sind Suspensionen eines Mediums  $A$  in einem Medium  $B$ . Den beiden Bestandteilen werden wir verschiedene magnetische Permeabilität zuschreiben müssen. Dann er-

1) Vgl. G. Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität. 2. Aufl. 3. p. 1003. 1895.



innert das Verhalten der Lösungen bei Temperaturerhöhung an das bekannte magnetische Verhalten gewisser, aus magnetischen und diamagnetischen Substanzen gemengter Stoffe.<sup>1)</sup> Der eine Bestandteil, der sich bei gewöhnlicher Temperatur dem anderen gegenüber als magnetischer Körper verhält, erlangt bei höherer Temperatur infolge verschieden starker Abnahme des Magnetismus diamagnetische Eigenschaften. Waren die Teilchen *A* z. B. erst axial orientiert, dann werden sie sich jetzt in die äquatoriale Lagen begeben. Von Faraday<sup>2)</sup> wurde die magnetische Einstellung von Kristallen in verschieden stark magnetischen Flüssigkeiten eingehend untersucht.

Von dem gleichen Gesichtspunkt läßt sich das Resultat Majoranas betrachten, die *Änderung des Sinnes der Doppelbrechung* (Inversionspunkt) bei einer *bestimmten Feldstärke*: Auf der verschieden schnellen Annäherung der magnetischen Anziehung und diamagnetischen Abstoßung der Körper durch die Pole an ein Maximum mit wachsender magnetisierender Kraft beruht das eigentümliche Verhalten, welches Gemenge verschieden stark magnetischer Substanzen vor den Magnetpolen zeigen.<sup>3)</sup> An Stelle der vorherigen Anziehung kann Abstoßung eintreten. Die Bedingung für die Existenz eines solchen Inversionspunktes ist das Schneiden der beiden Kurven, welche für die beiden Bestandteile die Abhängigkeit der Magnetisierung von der magnetisierenden Kraft angeben.

Es erübrigte noch zu untersuchen, ob eingetrocknete oder mit Gelatine versetzte dauernd doppelbrechende Lösung magnetische Polarität zeigt. Mit einem Weberschen Magnetometer, dessen Empfindlichkeit ausreichte, um den Eisengehalt gewöhnlichen Kupfers festzustellen, konnte wohl paramagnetisches Verhalten, aber *keine* Polarität beobachtet werden. Die Abhängigkeit der Doppelbrechung von dem *Quadrate* der Feldstärke ließ das wohl voraussehen.

Dieses Resultat setzt sich in Beziehung zu folgendem Experiment: In der konzentrierten Gummilösung blieb die Doppelbrechung etwa 20'' bestehen. Man konnte daher rasch den magnetisierenden Strom umkehren, ehe die Doppelbrechung

---

1) G. Wiedemann, l. c. p. 1007.

2) M. Faraday, Pogg. Ann. **100**. p. 111 u. 439. 1857.

3) G. Wiedemann, l. c. p. 949.

verschwand. Waren die Teilchen polarmagentisch, dann mußte nach Umschalten des Stromes das Bild des Kohlefadens erst verschwinden und dann wieder erscheinen, was nicht der Fall war.

Es erscheint nicht überflüssig, zu bemerken, daß bei Beobachtung der Lösungen parallel zu den Kraftlinien linear-polarisiertes Licht nie eine Veränderung zeigte. Leider wich die Faradaysche Drehung der Polarisationssebene so wenig von der des Wassers ab, daß sie keinen Aufschluß geben konnte über die stete Veränderung der Zusammensetzung, welche das Medium durch das Richten der suspendierten Teilchen erleiden mußte.

### III. Abschnitt.

Da nach den vorliegenden Untersuchungen der *Suspensionscharakter* der Eisenlösungen von Bedeutung zu sein scheint, wurde gesucht, ob nicht andere kolloidale Lösungen die Erscheinung der Doppelbrechung im Magnetfelde zeigen.

Mastixtrübungen, Seifenlösungen, kolloidale Kieselsäure, Schwefellösungen<sup>1)</sup>, kolloidale Silber- und Goldlösungen<sup>2)</sup> zeigten *keine* Doppelbrechung.

### Resultat.

Die vorliegenden Untersuchungen lassen die Annahme zu, daß die von Hrn. Majorana gefundene Doppelbrechung im Magnetfelde dadurch erklärt werde, daß suspendierte Teilchen, deren Vorhanden in einer kolloidalen Eisenlösung wohl nicht zu bezweifeln ist, durch das Magnetfeld gerichtet werden.

München, Physikal. Institut der Universität, Mai 1903.

---

1) Hergestellt nach G. Quincke, Ann. d. Phys. 9. p. 991. 1902.

2) Hergestellt nach G. Bredig, Beibl. 25. p. 668. 1901.

(Eingegangen 20. Mai 1903.)