III. *Ueber den Einfluss der Temperatur auf die ferromagnetische Circularpolarisation;* *von Emil Hirsch.*¹⁾

(Mitgetheilt aus dem physikal. Institut der Universität Berlin.)

(Hierzu Taf. V Fig. 13–18.)

§ 1. **Einleitung.**

Hr. Kundt wies schon, als er die Circularpolarisation für Eisen als Function der magnetisirenden Intensität bestimmt hatte, auf die Wichtigkeit hin, auch die Beziehung zwischen der Drehung und der Magnetisirung der Schichten kennen zu lernen.²⁾

Dieser Frage wandte sich dann Hr. du Bois³⁾ zu und gelangte zu der Gleichung

$$\epsilon = \Psi(\mathfrak{J} \cdot d),$$

worin ϵ die Drehung der Polarisationsebene, $(\mathfrak{J} \cdot d)$ die Zunahme des „Magnetisirungspotentials“ von einer Seite der Schicht zur anderen bezeichnet; für den Proportionalitätsfactor Ψ wurde später⁴⁾ der Name „Kundt'sche Constante“ vorgeschlagen, der seitdem auch von anderen Autoren adoptirt worden ist.

Die temporäre Magnetisirung von Eisen, Kobalt und Nickel wird bekanntlich im allgemeinen durch Temperaturänderungen beeinflusst, und bei höheren Temperaturen, die für die drei Metalle sehr verschieden sind, schwindet sie fast vollständig. Es ist nun von Interesse zu ermitteln, welchen Einfluss die Temperatur auf die Circularpolarisation in den drei ferromagnetischen Metallen ausübt. Die Versuche, die ich zur Lösung dieser Frage im hiesigen physikalischen Institut angestellt habe, bilden den Gegenstand vorliegender Arbeit.

1) Nach des Verf. Inauguraldissertation (Berlin 1893) für die *Annalen* bearbeitet.

2) Kundt, Wied. Ann. **23**. p. 228. 1884; **27**. p. 197. 1886.

3) du Bois, Wied. Ann. **31**. p. 941. 1887.

4) du Bois, Wied. Ann. **39**. p. 40. 1890.

Bevor ich indessen zur Darstellung meiner Versuche übergehe, ist es mir Bedürfniss, auch an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Geheimrath Kundt, der die Anregung zu dieser Arbeit gegeben, für das derselben gütigst gewidmete Interesse meinen ehrerbietigsten Dank abzustatten. Auch bin ich den Hrn. Arons und du Bois, die mich durch werthvolle Rathschläge in liebenswürdigster Weise unterstützt haben, zu grossem Danke verpflichtet.

§ 2. Versuchsanordnung.

Die durchsichtigen Metallschichten wurden in der gewohnten Weise ¹⁾ hergestellt. Auf ca. 2 mm dicke, nicht doppelbrechende Glasplatten wurde eine durchsichtige Platin-schicht eingebrannt. Auf diese platinirten Gläser wurden dann die Metallschichten galvanoplastisch niedergeschlagen. Zur Bestimmung der Circularpolarisation wurde ein Lippich'scher Halbschattenapparat verwandt. Der Winkel zwischen den beiden Hauptschnitten wurde gewöhnlich auf 15° eingestellt. Als Lichtquelle diente ein Zirkonbrenner, dessen Strahlen vor dem Eintritt in den optischen Apparat eine Linse und ein rothes Glas durchsetzten. Das magnetische Feld lieferte ein grosser verticaler Electromagnet. Die spitzen Polstücke waren in ca. 4 mm lichter Weite durchbohrt. Durch einen Strom von 33 Amp. aus dem städtischen Leitungsnetz konnte zwischen denselben, wenn sie einander auf 4 mm genähert waren, noch ein Feld von 22 000 C. G. S. erzeugt werden. Da ich jedoch durch die im Folgenden beschriebene Heizvorrichtung gezwungen war, mit den Polen weiter auseinander zu gehen, erreichte ich nicht ganz 9000 C. G. S.-Einheiten. Ueber den ganzen Electromagnet wurde ein grosses, seitlich offenes Holzgestell aufgebaut, sodass nur oben die Polstücke freilagen. Der Lippich'sche Apparat sowie der Analysator waren direct an dasselbe angeschraubt.

Die Heizvorrichtung hatte folgenden Bedingungen zu genügen. Vor allem musste sie eine gleichmässige Erwärmung der Schichten ermöglichen. Dann musste sie gestatten, nacheinander eine Stelle des Platinglases, welche mit der Metall-

1) Vgl. Kundt, Wied. Ann. **23**. p. 231. 1884.

schicht bedeckt war, und eine solche, welche beim galvanoplastischen Niederschlag nicht mit Metall überzogen war, in das Gesichtsfeld zu bringen. Sie musste ferner so construiert sein, dass die Metallschichten in horizontaler wie in verticaler Richtung beliebig justirt werden konnten. Endlich musste erreicht werden, dass während eines Versuches immer wieder dieselbe Stelle der Metallschichten in das Gesichtsfeld gelangten, da die Schichten an verschiedenen Stellen verschiedene Dicke aufweisen konnten.

Mit Rücksicht darauf wurde folgender Apparat construiert. Ein hart gelötheter Messingkasten (Fig. 13 a) von 0,2 cm Wandstärke, 21 cm Länge, 4,7 cm Höhe und 1,6 cm Breite trug in der Mitte der Längswände vorn und hinten zwei Oeffnungen von ca. 2 cm Durchmesser, die durch aufschraubbare Deckgläser verschlossen werden konnten. Die eine der Seitenwände *a* war nicht mit dem Kasten fest verbunden; sie wurde nur durch eine Schraube *c*, die in ein massives Ansatzstück von *a* hineinfasste, am übrigen Theil des Apparates festgehalten. Diese Seitenwand *a* sowie die ihr gegenüberliegende *b* waren in ca. 0,2 cm Höhe vom Boden des Apparates durchbohrt und liessen durch die entstandenen Oeffnungen eine cylindrische Messingstange *m* von 0,5 cm Durchmesser und 42 cm Länge frei hindurchgehen. Diese Messingstange trug den wesentlichsten Theil des Apparates (Fig. 13 b). In der Mitte derselben war eine Messingplatte *l* von 0,2 cm Dicke, 3,7 cm Höhe und 4,4 cm Länge hart gelöthet. An dieser Platte *l*, die in 0,7 cm Höhe von der Stange einen rechteckigen Ausschnitt *o* zeigte, wurden die zu untersuchenden, mit Metallschichten belegten Glasplatten durch zwei Federn *n* aus Neusilber festgehalten. Letztere durften nur leicht auf die Gläser drücken, da sonst Doppelbrechung in denselben aufgetreten wäre.

Um ein Schwanken des beschriebenen Schlittens nach hinten zu verhüten, trug die Platte *l* oben einen Ansatz *r* von der Breite des nach der Hinterwand noch freien Zwischenraumes. Eine Bewegung der Platte nach vorn war dadurch ausgeschlossen, dass die in der Mitte ausgebuchteten Federn *n* die Vorderwand bereits streiften.

Die Einführung der mit den Metallschichten belegten

Glasstücke in den Apparat geschah in folgender Weise. Zuerst wurden die Gläser vorsichtig unter die Federn geschoben, sodass der Ausschnitt von *l* theilweise durch die Metallschicht, theilweise durch eine vom Niederschlag freie Stelle des Platinglases bedeckt wurde. Dann wurde die Seitenwand *a* vom Kasten gelöst, die Verschiebungsvorrichtung so weit hineingeschoben, dass die Messingstange *m* aus der Durchbohrung der gegenüberliegenden Wand *b* herausragte, darauf *a* über das andere Ende von *m* geschoben und der Kasten geschlossen. Dass bei einer Versuchsreihe die Drehung immer genau an derselben Stelle der Metallschicht bestimmt werden konnte, wurde durch zwei Anschläge bewirkt, die auf der Messingstange *m* verschoben und mit Schrauben auf ihr befestigt werden konnten. Mittels dieser Anschläge wurde nacheinander Metallschicht und Platinglas in den Strahlengang gebracht. Die Beobachtung der Drehung in den den Kasten schliessenden Deckgläsern wurde vor und nach jeder Versuchsreihe für eine bestimmte Temperatur vorgenommen.

Zur Heizung dienten zwei Bunsenbrenner, die zu beiden Seiten der Polstücke am Gestell des Electromagneten befestigt waren. Die Temperatur wurde zunächst mit zwei Thermometern bestimmt, die von oben durch Röhrenansätze in den Heizkasten hineinragten; deren Quecksilbergefässe befanden sich also zu beiden Seiten der Metallschichten. Vor jeder Beobachtungsreihe wurde gewartet, bis die Thermometer eine halbe Stunde lang keine merklichen Temperaturschwankungen gezeigt hatten. Bei den Versuchen mit Eisen und Kobalt, bei denen es, wie sich zeigen wird, nur auf eine angenäherte Kenntniss der Temperatur ankam, genügte die thermometrische Bestimmung. Bei den meisten Beobachtungen am Nickel hingegen wurden genaue Temperaturwerthe auf thermoelectrischem Wege ermittelt, und zwar in folgender Weise.

Benutzt wurde eine Eisen-Neusilberkette; sie zeigte innerhalb des von mir benutzten Bereichs von 100° bis 350° vollkommene Proportionalität zwischen Temperaturdifferenz ihrer Löthstellen und Galvanometerausschlag. Auch bei wiederholten Kalibrirungen, die einer jeden Beobachtung vorausgingen, traten keine Abweichungen hervor. Zur Kalibrirung wurden

sieben Geissler'sche Stickstoffthermometer — jedes für ein Bereich von etwa 50° gültig — benutzt, die in der physikalisch-technischen Reichsanstalt geacht waren. Ihre Theilung erlaubte noch Fünftelgrade abzulesen.

Um sicher zu sein, dass die Löthstelle wirklich die Temperatur der Metallschicht annahm, musste man erstere direct an letztere anlegen. Die Kette wurde daher in der durch Fig. 14a und 14b dargestellten Weise in den Heizapparat eingeführt. Fig. 14a zeigt zunächst den Kasten mit eingeführter Thermokette im Längsdurchschnitt. *A* ist ein Aufsatz auf dem Kasten, der durch ein Korkstück dicht geschlossen wurde. Durch dieses gingen, durch Glasröhren isolirt, die Drähte, die zu der einen Löthstelle der Thermokette führten, hindurch. Der Zwischenraum, der oben an der Vorderseite der Platte *l* zwischen dieser und der Vorderwand des Kastens sich befand, genügte reichlich, die 0,7 mm starken Zuleitungsdrähte der Thermokette hindurchzuführen. Die Art, wie die Löthstelle auf dem Spiegel auflag, veranschaulicht Fig. 14b im Querschnitt. *l* ist wieder die Messingplatte, *m* die Glasplatte mit der Metallschicht und *t* die Thermokette. Diese war hinter ihrer Eintrittsstelle in den Apparat etwas ausgebogen, sodass sie nur mit der Löthstelle *L* (Fig. 2a) auf der Metallschicht etwas unterhalb der von dem Lichtbündel durchstrahlten Stelle fest auflag. Die Galvanometerbeobachtungen wurden bei nicht erregtem Electromagneten vor und nach den einzelnen magneto-optischen Beobachtungsreihen vorgenommen.

Die Temperatur im beschriebenen Apparate durfte die niedrigste „Anlaufftemperatur“ des benutzten Metalls offenbar nicht überschreiten. Nach Vorversuchen hatte sich jene (bei kurzer Erhitzung) für Eisen zu 220° , für Kobalt zu 280° ergeben. Beim Nickel beobachtete ich bei der höchsten angewandten Temperatur von ca. 340° C. noch keine Oxydation. Um auch die Versuche für Eisen und Kobalt über die angegebenen Grenzen hinaus ausdehnen zu können, musste die Erwärmung in Wasserstoff ausgeführt werden. Es wurde zuerst versucht, dies in der bereits beschriebenen Heizvorrichtung auszuführen; es zeigte sich jedoch bald, dass dies unmöglich war. Die Undichtigkeiten an der aufgeschraubten Seitenwand wie an den Durchbohrungen für den Schlitten liessen sich trotz aller

Sorgfalt nicht völlig beseitigen, und die Metallschichten oxydirten sich infolgedessen beim Erhitzen.

Nach vielen vergeblichen Versuchen einen Weg zu finden, auf dem man eine Oxydation vermeiden könnte, gelang dies endlich mit folgendem Apparate, der äusserlich nicht viel von dem früher benutzten abwich. Fig. 15 zeigt zunächst das Gesamtbild desselben. Wesentliche Aenderungen weist nur der Schlitten auf. Die mittlere Messingplatte *l* hatte eine Stärke von 0,6 cm, eine Länge von 4,4 cm und eine Höhe von 3,3 cm. In der Mitte zeigte sie einen rechteckigen Ausschnitt von 1 cm Höhe und 3 cm Breite. Auf der Hinterseite dieses Ausschnittes lag eine planparallele, nicht doppelt brechende, 0,1 cm starke Glasplatte, durch zwei Neusilberstreifen leicht an die Messingplatte gedrückt. Auf der Vorderseite waren in gleicher Weise durch zwei Neusilberfedern die Versuchsobjecte befestigt, wobei die Metallschicht der Innenseite des kleinen so entstehenden Hohlraumes zugekehrt war. Durch den letzteren wurde durch zwei Messingröhren *m*, die gleichzeitig als Verschiebungsstangen dienten, das Gas geleitet. Die Röhren hatten je eine Länge von 21 cm, einen lichten Durchmesser von 0,3 cm und waren luftdicht in die Seitenwände der Platte *l* eingeschraubt. Dieser Apparat mag im Folgenden zur Unterscheidung von Apparat I — dem vorher beschriebenen — Apparat II genannt werden.

Zur Bestimmung der Feldintensität wurden direct die Platingläser benutzt, die vorher mit einer geaichten Etalonglasplatte verglichen waren. Die Aichung der letzteren geschah in der gewohnten Weise. Es wurde in demselben Felde die Drehung in Wasser für Natriumlicht und die Drehung in einer etwa 1 cm starken Flintglasplatte für das bei den Versuchen benutzte rothe Licht bestimmt. Ich fand auf diese Weise, dass ein Grad einfacher Drehung des rothen Lichtes im Flintglase einem Felde von rund 1100 C. G. S.-Einheiten entsprach. Mittels dieses Factors sind die im Folgenden angegebenen Werthe der Feldintensität berechnet. Die Platingläser wie die Deckgläser des Apparates waren bei den Vorversuchen auch während des Heizens und nach dem Erkalten auf Doppelbrechung untersucht worden. Es hatte sich dabei gezeigt, dass bei vorsichtigem Erwärmen und langsamem Erkalten der Eintritt einer Doppelbrechung ganz zu vermeiden war.

§ 3. Beobachtungen und Resultate.

Die Circularpolarisation wächst bekanntlich in Eisen, Kobalt und Nickel nicht proportional der Intensität des magnetischen Feldes, sondern sie strebt einem Maximum zu, welches streng genommen erst bei unendlicher Feldintensität erreicht wird, von dem aber schon in viel schwächeren Feldern die Drehung sich für unsere Zwecke nicht mehr merklich unterscheidet. Diese Verhältnisse lassen sich am besten durch eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen Feldintensität und Magnetisirung, wie sie in § 4 angegeben ist, veranschaulichen. Im Anschlusse daran wurde daher bei den Versuchen unterschieden zwischen Beobachtungen in Feldbereichen, bei denen das betreffende Metall seine Maximalmagnetisirung genügend nahe erreicht hat (Bereich B) und solchen, bei denen es sich noch bedeutend unterhalb dieses Maximums befindet (Bereich A, vgl. Fig. 17). Die Versuche im Bereiche des angenäherten Drehungsmaximums konnten sich nur auf Nickel erstrecken, da, wie oben angedeutet, bei der gewählten Anordnung Felder über 9000 C. G. S. nicht zu Gebote standen und man sich der Maximaldrehung für Eisen und Kobalt erst bei höheren Werthen derselben nähern kann.

A. Eisen, Kobalt und Nickel im Feldbereiche A.

Untersucht wurden sechs Eisen-, sechs Kobalt- und zwei Nickelschichten. Die Versuche für die Eisen- und Kobaltschichten I—IV wurden in dem Apparate I in Luft ausgeführt, die für die Schichten V und VI im Apparate II in einer Wasserstoffatmosphäre. Für die beiden Nickelschichten, die im Apparate I untersucht wurden, wurde die thermoelectrische Temperaturbestimmung benutzt. Bei Eisen und Kobalt wurde die höchste erzielbare Feldintensität (ca. 8400 C. G. S.) gewählt; bei Nickel Felder von 4500 und 3700 C. G. S.

Unter Drehung ist im Folgenden immer die Doppeldrehung (bei Commutiren des Stromes) verstanden. Für jede Ablesung wurden zehn Einstellungen gemacht, aus denen dann der Mittelwerth genommen wurde, sodass für jeden in den Tabellen gegebenen Werth 20 Einstellungen nöthig waren. Die Ein-

stellungen variirten untereinander; doch betrugen die Abweichungen höchstens 5'. Die Einstellungen für die Platingläser und Deckgläser waren ungleich genauer; sie variirten im allgemeinen nur um 2'. In den Tabellen sind in Spalte 1 die Temperaturen angegeben; 2. gibt die Drehung in Metallschicht, Platinglas und Deckgläsern zusammen; 3. diejenige in Deckgläsern und Platinglas; 4. in den Deckgläsern allein. In der 5. Spalte sind die durch die Subtraction von 2 und 3 gefundenen Werthe der Drehung in der Metallschicht allein verzeichnet, während die 6. Spalte die in gleicher Weise aus der Differenz von 3 und 4 erhaltenen Drehungen im Platinglas allein gibt. In den Tab. 1 und 2 für die Eisen- und Kobaltschichten V und VI addiren sich zu den Drehungswerthen für die Platingläser noch diejenigen der hinteren Verschlussglasplatte.

In Tab. 3 (die beiden Nickelspiegel betreffend) geben die einzelnen Spalten dieselben Werthe, nur dass in der ersten noch die Ausschläge des Galvanometers verzeichnet sind. Die Drehungsbemerkungen in den Deckgläsern und infolgedessen auch die aus der Differenzbestimmung gewonnenen Werthe im Platinglas allein fallen fort. Denn es war, wie aus den Fig. 14a und 14b ersichtlich, nicht möglich, die Platte *l* wie bei den anderen Beobachtungen gänzlich aus dem Gesichtsfelde zu verschieben, da die Löthstelle in einer Höhe mit den Federn *n* auf dem Versuchsobjecte auflag. Bei Eisen und Kobalt sind die angegebenen Feldintensitäten aus den Drehungswerthen der letzten Spalte, wie schon erwähnt, durch Vergleichen mit der Etalonglasplatte berechnet. Bei dem fast constanten Werthe der Feldintensität während der Beobachtung an einer Schicht konnte davon abgesehen werden, sie für jede Versuchsreihe bei jeder einzelnen Temperatur anzugeben. Die vorhandenen Abnahmen der Drehung der Platingläser zeigen durch ihren regelmässigen Verlauf wie durch ihr Zurückgehen beim Sinken der Temperatur, dass sie lediglich durch Erhöhung der letzteren hervorgerufen sind. Dass die Feldintensität selbst unter dem Einfluss der erhöhten Temperatur abgenommen hätte, war ausgeschlossen, denn die Polstücke wiesen bei den höchsten Temperaturen des Kastens nur eine Erwärmung von 10° bis 15° auf. Für die in Tab. 3 angeführten Beobachtungen

mit Nickelschichten wurden die Feldintensitäten vor Beginn und nach Ende des Versuches direct mit der Etalonglasplatte bestimmt.

Tabelle 1.

Eisen. Feldbereich A.

Temperatur	Drehung im Fe + Platinglas + Deckglas	Drehung im Platinglas + Deckglas	Drehung im Deckglas	Drehung im Fe	Drehung im Platinglas
Eisenschicht I. Feldint.: 8410 C. G. S.					
23°	5° 16,4'	3° 11,4'	1° 57,8'	2° 5,0'	1° 13,6'
95°	5° 16,6'	3° 10,9'	1° 57,4'	2° 5,7'	1° 13,5'
150°	5° 15,4'	3° 10,0'	1° 56,8'	2° 5,4'	1° 13,2'
200°	5° 13,9'	3° 9,1'	1° 56,1'	2° 4,8'	1° 13,0'
25°	5° 16,8'	3° 11,7'	1° 57,9'	2° 5,1'	1° 13,8'
Eisenschicht II. Feldint.: 8430 C. G. S.					
22°	6° 17,3'	3° 20,2'	1° 58,2'	2° 57,1'	1° 22,0
110°	6° 17,0'	3° 19,8'	1° 57,8'	2° 57,2'	1° 22,0
155°	6° 16,6'	3° 19,1'	1° 57,0'	2° 57,5'	1° 22,1
210°	6° 14,4'	5° 17,9'	1° 56,1'	2° 56,5'	1° 21,8
22°	6° 17,2'	3° 20,3'	1° 58,1'	2° 56,9'	1° 22,2
Eisenschicht III. Feldint. 8400 C. G. S.					
24°	4° 53,3'	3° 1,2'	1° 57,5'	1° 52,1'	1° 3,7'
97°	4° 53,0'	3° 1,1'	1° 57,4'	1° 51,9'	1° 3,7'
142°	4° 53,2'	3° 0,8'	1° 57,2'	1° 52,4'	1° 3,6'
203°	4° 52,1'	3° 0,3'	1° 56,8'	1° 51,8'	1° 3,5'
23°	4° 53,6'	3° 1,4'	1° 57,4'	1° 52,2'	1° 4,0'
Eisenschicht IV. Feldint.: 8830 C. G. S.					
24°	5° 43,8'	3° 17,9'	2° 4,3'	2° 25,9'	1° 13,6'
105°	5° 44,0'	3° 17,6'	2° 4,2'	2° 26,4'	1° 13,4'
162°	5° 42,8'	3° 17,0'	2° 3,6'	2° 25,8'	1° 13,4'
207°	5° 42,6'	3° 16,6'	2° 3,5'	2° 26,0'	1° 13,1'
24°	5° 44,2'	3° 17,9'	2° 4,3'	2° 26,3'	1° 13,6'
Temperatur	Drehung im Fe + Platinglas + Deckglas + Verschlussgl.	Drehung im Platinglas + Deckglas + Verschlussgl.	Drehung im Deckglas	Drehung im Fe	Drehung im Platin- glas + Ver- schlussgl.
Eisenschicht V. Feldint.: 8410 C. G. S.					
Zimmertemp.	6° 41,08'	4° 5,32'	1° 57,88	2° 35,76	2° 7,44'
205°	6° 38,80'	4° 2,92'	1° 55,96	2° 35,88	2° 6,96'
263°	6° 37,00'	4° 2,08'	1° 55,36	2° 34,92	2° 6,72'
347°	6° 36,28'	4° 0,88'	1° 54,52	2° 35,40	2° 6,36'
Zimmertemp.	6° 40,24'	4° 4,84'	1° 57,48	2° 35,40	2° 7,36'

Temperatur	Drehung im Fe + Platinglas + Deckglas + Verschlussgl.	Drehung im Platinglas + Deckglas + Verschlussgl.	Drehung im Deckglas	Drehung im Fe	Drehung im Platin- glas + Ver- schlussgl.
------------	---	---	---------------------------	------------------	--

Eisenschicht VI. Feldint.: 8810 C. G. S.

Zimmertemp.	6° 18,92'	3° 59,60'	2° 4,28'	2° 19,32'	1° 55,32'
220°	6° 16,52'	3° 57,56'	2° 2,60'	2° 18,96'	1° 54,96'
282°	6° 15,08'	3° 56,72'	2° 1,88'	2° 18,36'	1° 54,84'
351°	6° 14,24'	3° 55,52'	2° 0,92'	2° 18,72'	1° 54,60'
Zimmertemp.	6° 18,92'	3° 59,84'	2° 4,58'	2° 19,08'	1° 55,26'

Tabelle 2.

Kobalt. Feldbereich A.

Temperatur	Drehung im Co + Platinglas + Deckglas	Drehung im Platinglas + Deckglas	Drehung in Deckglas	Drehung im Co	Drehung im Platinglas
------------	--	---	---------------------------	------------------	-----------------------------

Kobaltschicht I. Feldint.: 8410 C. G. S.

25°	4° 38,40'	3° 9,72'	1° 57,84'	1° 28,68'	1° 11,88'
98°	4° 36,84'	3° 8,52'	1° 56,64'	1° 28,32'	1° 11,88'
208°	4° 36,24'	3° 7,08'	1° 55,68'	1° 29,16'	1° 11,40'
262°	4° 35,40'	3° 5,64'	1° 54,72'	1° 29,76'	1° 10,92'
24°	4° 38,88'	3° 9,48'	1° 57,72'	1° 29,40'	1° 11,76'

Kobaltschicht II. Feldint.: 8450 C. G. S.

24°	4° 11,48'	3° 6,92'	1° 58,52'	1° 4,56'	1° 8,40'
107°	4° 10,64'	3° 5,72'	1° 57,56'	1° 4,92'	1° 8,16'
222°	4° 8,96'	3° 3,92'	1° 56,36'	1° 5,04'	1° 7,56'
259°	4° 7,16'	3° 2,48'	1° 55,40'	1° 4,68'	1° 7,08'
26°	4° 10,88'	3° 6,68'	1° 58,40'	1° 4,20'	1° 8,28'

Kobaltschicht III. Feldint.: 8820 C. G. S.

23°	4° 6,32'	3° 14,00'	2° 4,2 '	52,32'	1° 9,80'
121°	4° 4,52'	3° 12,56'	2° 3,44'	51,96'	1° 9,12'
227°	4° 3,92'	3° 11,36'	2° 2,96'	52,56'	1° 8,40'
263°	4° 2,96'	3° 10,28'	2° 2,24'	52,68'	1° 8,04'
25°	4° 6,44'	3° 14,36'	2° 4,64'	52,08'	1° 9,72'

Kobaltschicht IV. Feldint.: 8400 C. G. S.

24°	4° 38,40'	3° 2,40'	1° 57,6 '	1° 36,0 '	1° 4,80'
105°	4° 36,68'	3° 1,20'	1° 56,64'	1° 35,48'	1° 4,56'
210°	4° 35,88'	2° 59,76'	1° 55,68'	1° 36,12'	1° 4,08'
266°	4° 34,32'	2° 58,56'	1° 54,84'	1° 35,76'	1° 3,72'
25°	4° 38,16'	3° 2,04'	1° 57,36'	1° 36,12'	1° 4,68'

30*

Temperatur	Drehung im Co + Platinglas + Deckglas + Verschlussgl.	Drehung im Platinglas + Deckglas + Verschlussgl.	Drehung im Deckgl s	Drehung im Co	Drehung im Platin- glas + Ver- schlussgl.
Kobaltschicht V. Feldint.: 8800 C. G. S.					
Zimmertemp.	5" 53,24'	4" 9,68'	2" 4,04'	1" 43,56'	2" 5,64'
225°	5" 50,00'	4" 6,08'	2" 1,76'	1" 43,92'	2" 4,32'
278°	5" 49,04'	4" 4,88'	2" 1,04'	1" 44,16'	2" 3,84'
354"	5" 47,24'	4" 3,70'	2" 0,32'	1" 43,54'	2" 3,38'
Zimmertemp.	5" 53,34'	4" 9,74'	2" 3,98'	1" 43,60'	2" 5,76'
Kobaltschicht VI. Feldint.: 8410 C. G. S.					
Zimmertemp.	5" 25,20'	4" 6,60'	1" 57,84'	1" 18,60	2" 8,76'
254"	5" 20,64'	4" 1,68'	1" 54,72'	1" 18,96	2" 6,96'
313"	5" 18,84'	4" 0,60'	1" 54,20'	1" 18,24	2" 6,40'
348"	5" 18,12'	3" 59,64'	1" 53,28'	1" 18,48	2" 6,36'
Zimmertemp.	5" 25,08'	4" 6,24'	1" 57,72'	1" 18,84	2" 8,52'

Tabelle 3.

Nickel. Feldbereich A.

Ausschlag am Galvano- meter	Temperatur	Drehung im Ni + Platinglas + Deckglas	Drehung im Platinglas + Deckglas	Drehung im Ni
Nickelschicht IX. Feldint.: 4520 C. G. S.				
	Zimmertemp.	2" 34,46'	1" 32,18'	1" 2,28'
	109°	2" 33,92'	1" 31,88'	1" 2,04'
219 mm	173°	2" 33,80'	1" 31,40'	1" 2,40'
456 mm	254°	2" 33,66'	1" 30,91'	1" 2,75'
618 mm	309°	2" 30,14'	1" 30,46'	59,68'
650 mm	321"	2" 1,88'	1" 30,38'	31,50'
695 mm	336"	1" 29,98'	1" 30,22'	— 0,24'
	Zimmertemp.	2" 34,28'	1" 32,16'	1" 2,12'
Nickelschicht V. Feldint.: 3710 C. G. S.				
	Zimmertemp.	1" 57,12'	1" 20,84'	36,28'
	112"	1" 56,48'	1" 20,52'	35,96'
231 mm	178°	1" 56,31'	1" 20,13'	36,18'
436 mm.	247"	1" 55,56'	1" 19,80'	35,76'
609 mm	306°	1" 55,92'	1" 19,58'	36,34'
634 mm	315°	1" 46,38'	1" 19,49'	26,89'
698 mm	337°	1" 19,86'	1" 19,38'	+ 0,48'
	Zimmertemp.	1" 57,25'	1" 20,79'	36,46'

Für Eisen und Kobalt zeigt nun das in Tab. 1 und 2 zusammengestellte Beobachtungsmaterial in dem untersuchten

Temperaturintervall bis ca. 350° eine innerhalb der Fehlergrenze vollkommene Unabhängigkeit der Circularpolarisation von Temperaturänderungen.

Ein gleiches Verhalten zeigen nach Tab. 3 die Nickelschichten, bis bei einer Temperatur von etwas über 300° ein plötzlicher Abfall der Drehung eintritt. Ob diese absolut verschwindet, ist nicht zu ersehen; die bald positiven, bald negativen Differenzen der Werthe aus Spalte 3 und 4 liegen innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler. Für Nickel sind die Resultate oberhalb 250° in Fig. 16 graphisch dargestellt.

Tabelle 4.
Nickel. Feldbereich B.

Temperatur	Drehung im Ni + Platinglas + Deckglas	Drehung im Platinglas + Deckglas	Drehung im Deckglas	Drehung im Ni	Drehung im Platinglas
Nickelschicht I. Feldint.: 8440 C. G. S.					
23"	4° 4,64'	3° 9,44'	1° 58,2'	0° 55,2'	1° 11,24'
100"	4° 4,68'	3° 9,24'	1° 58,08'	0° 55,44'	1° 11,16'
200"	4° 3,36'	3° 8,52'	1° 57,6'	0° 54,84'	1° 10,92'
277"	4° 1,92'	3° 6,72'	1° 56,28'	0° 55,2'	1° 10,44'
315"	3° 55,08'	3° 6,36'	1° 56,04'	0° 48,72'	1° 10,32'
24"	4° 4,92'	3° 9,60'	1° 58,32'	0° 55,32'	1° 11,28'
Nickelschicht II. Feldint.: 8380 C. G. S.					
23"	4° 15,60'	3° 4,56'	1° 57,24'	1° 11,04'	1° 7,32'
120"	4° 14,76'	3° 4,08'	1° 56,88'	1° 10,68'	1° 7,20'
210"	4° 14,40'	3° 2,88'	1° 56,16'	1° 11,52'	1° 6,72'
295"	4° 12,12'	3° 1,20'	1° 54,96'	1° 10,92'	1° 6,24'
320"	3° 23,20'	3° 0,84'	1° 54,84'	0° 22,36'	1° 6,00'
25"	4° 15,60'	3° 4,20'	1° 57,12'	1° 11,40'	1° 7,08'
Nickelschicht III. Feldint.: 8430 C. G. S.					
23"	4° 3,92'	2° 59,84'	1° 58,16'	1° 4,08'	1° 1,68'
125"	4° 2,60'	2° 58,88'	1° 57,56'	1° 3,72'	1° 1,32'
227"	4° 0,24'	2° 57,72'	1° 56,60'	1° 3,52'	1° 1,12'
298"	4° 0,68'	2° 56,60'	1° 55,64'	1° 4,08'	1° 0,96'
323"	3° 35,46'	2° 55,88'	1° 55,04'	0° 39,76'	1° 0,84'
23"	4° 4,12'	2° 59,68'	1° 58,04'	1° 4,44'	1° 1,64'
Nickelschicht IV. Feldint.: 8430 C. G. S.					
24"	3° 48,72'	2° 24,24'	1° 58,08'	1° 24,48'	1° 26,16'
120"	3° 47,40'	2° 23,28'	1° 57,36'	1° 24,12'	1° 25,92'
230"	3° 47,04'	2° 23,08'	1° 56,64'	1° 24,96'	1° 25,44'
320"	3° 30,00'	2° 20,64'	1° 55,68'	1° 9,36'	1° 24,96'
25"	3° 49,04'	2° 24,20'	1° 57,96'	1° 24,84'	1° 26,24'

Tabelle 5.

Nickel. Feldbereich B.

Galvano- meter- ausschlag	Temperatur	Drehung im Ni + Platin- glas + Deckglas	Drehung im Platinglas + Deckglas	Drehung im Ni
Nickelschicht V. Feldint.: 8420 C. G. S.				
	Zimmertemp.	4° 22,28'	3° 3,96'	1° 18,32'
779 mm	294 °	4° 18,00'	2° 59,76'	1° 18,24'
852 mm	312 °	4° 14,52'	2° 59,40'	1° 15,12'
894 mm	323 °	3° 40,80'	2° 58,68'	42,12'
914 mm	328,5°	3° 14,40'	2° 58,20'	16,20'
942 mm	335,5°	2° 57,48'	2° 57,96'	-0,48'
	Zimmertemp.	4° 21,48'	3° 3,60'	1° 17,88'
Nickelschicht VI. Feldint. 8440 C. G. S.:				
	Zimmertemp.	4° 9,60'	3° 12,00'	57,60'
779 mm	294 °	4° 4,80'	3° 6,96'	57,84'
852 mm	312 °	3° 58,80'	3° 6,48'	52,32'
874 mm	318 °	3° 38,40'	3° 5,88'	32,52'
910 mm	327,5°	3° 16,80'	3° 5,28'	11,52'
934 mm	333,5°	3° 5,04'	3° 4,56'	-0,48'
	Zimmertemp.	4° 9,60'	3° 11,52'	58,08'
Nickelschicht VII. Feldint.: 8410 C. G. S.				
	Zimmertemp.	4° 6,0 '	2° 58,08'	1° 7,92'
828 mm	298 °	4° 3,60'	2° 55,20'	1° 8,40'
874 mm	309 °	4° 0,48'	2° 54,84'	1° 5,64'
936 mm	323,5°	3° 22,92'	2° 54,60'	28,32'
963 mm	330 °	3° 3,60'	2° 54,24'	9,36'
992 mm	336,5°	2° 54,12'	2° 53,88'	+0,24'
	Zimmertemp.	4° 5,88'	2° 57,84'	1° 8,04'
Nickelschicht VIII. Feldint.: 8440 C. G. S.				
	Zimmertemp.	3° 51,72'	3° 2,28'	49,44'
830 mm	299 °	3° 48,00'	2° 58,20'	49,80'
856 mm	305 °	3° 45,60'	2° 57,84'	47,76'
898 mm	314,5°	3° 27,62'	2° 57,36'	30,26'
946 mm	326 °	3° 3,60'	2° 57,12'	6,48'
970 mm	332 °	2° 57,24'	2° 56,88'	+0,36'
	Zimmertemp.	3° 51,84'	3° 2,52'	49,32'
Nickelschicht IX. Feldint.: 8430 C. G. S.				
	Zimmertemp.	4° 12,12'	2° 52,08'	1° 20,04'
860 mm	304 °	4° 7,92'	2° 48,12'	1° 19,80'
916 mm	317 °	4° 2,04'	2° 47,76'	1° 14,28'
948 mm	324,5°	3° 32,52'	2° 47,40'	45,12'
982 mm	332,5°	2° 52,08'	2° 47,04'	5,04'
1008 mm	338,5°	2° 46,20'	2° 46,68'	-0,48'
	Zimmertemp.	4° 12,00'	2° 51,72'	1° 20,28'

Sowohl die Platingläser wie die Deckgläser des Heizapparates weisen bei Erhöhung der Temperatur eine Abnahme der Drehung auf. Es ist dies vollkommen in Uebereinstimmung mit den Resultaten anderer Beobachter.¹⁾ Dass die Deckgläser viel mehr durch die Temperatur beeinflusst werden wie die Platingläser, dürfte durch die Verschiedenheit der Glassorten bedingt sein.

B. Nickel im Feldbereiche B.

Es wurden hier neun Nickelschichten untersucht. Die Temperaturbestimmung für die Schichten I—IV ist thermometrisch gemacht worden.²⁾ Die Resultate sind nur bis etwa 300° mitgetheilt, da es bis dahin auf eine genaue Temperaturkenntniss nicht ankommt. Für die Schichten V—IX wurde die Temperatur thermoelectrisch gemessen. In den Tab. 4 und 5 haben die einzelnen Spalten dieselbe Bedeutung wie in Tab. 3. Die Resultate oberhalb 270° sind in Fig. 18 graphisch dargestellt.

Die Zahlen zeigen auch hier übereinstimmend vollkommene Constanz der Werthe der Circularpolarisation bis zu den Temperaturen, bei denen der plötzliche Abfall eintritt. Die Art dieses Abfalles zeigen die Curven der Fig. 18. Die Abweichung, die der Verlauf der Curve Ni 8 von denen der übrigen zeigt, dürfte vielleicht darin ihren Grund haben, dass die Löthstelle der Thermokette in diesem Falle nicht fest genug an der Mittelschicht gelegen hatte. Die chemische Beschaffenheit des Nickels kann die Verschiedenheit nicht bewirkt haben, da die fünf Schichten aus demselben Bade niedergeschlagen waren.

§ 4. Discussion der Resultate.

Um aus den Ergebnissen der Versuche Schlüsse ziehen zu können, sei folgende Betrachtung vorausgeschickt. Wie Hr. du Bois³⁾ gezeigt hat, stellt für den Fall einer senkrecht

1) Vgl. Lüdte, Pogg. Ann. **137.** p. 287. 1869; Bichat, Ann. de l'école norm. **2.** p. 292. 1873.

2) Die betreffenden Beobachtungen lagen zeitlich vor den unter (A) mitgetheilten. Erst nach den damit gemachten Erfahrungen wurde zur thermoelectrischen Temperaturbestimmung geschritten.

3) du Bois, Wied. Ann. **31.** p. 952. 1887.

zu einem gleichförmigen magnetischen Felde aufgestellten, unbegrenzten Platte die Gleichung

$$(1) \quad \mathfrak{J} = \frac{1}{4\pi + \frac{1}{\kappa}} \mathfrak{H}$$

die Beziehung zwischen der Transversalmagnetisirung $\mathfrak{J}$ und der Intensität des äusseren magnetischen Feldes $\mathfrak{H}$ dar, wobei κ die magnetische Susceptibilität des Materials bedeutet. Hr. du Bois wies darauf hin, dass, solange κ gross ist im Vergleich zu $1/4\pi$, die der Gleichung entsprechenden Curven unmerklich wenig von einer Geraden abweichen, deren Richtungsconstante $1/4\pi$ ist; der Einfluss des Materials fällt fast ganz weg; die Gerade ist fast dieselbe für Eisen, Kobalt und Nickel. Ist die Beziehung zwischen κ und $\mathfrak{J}$ empirisch gegeben, so kann man $\mathfrak{J} = \text{funct.}(\mathfrak{H})$ graphisch darstellen (Fig. 17).¹⁾ Man sieht, dass scharf zu unterscheiden ist zwischen dem Feldbereiche A, in dem die Magnetisirung fast genau proportional der magnetisirenden Intensität wächst, und dem Bereiche B der angenäherten magnetischen „Sättigung“.

Wenn die Magnetisirung $\mathfrak{J}$ in dem Bereiche A unabhängig davon ist, ob die Platte aus einem Material grösserer oder geringerer magnetischer Susceptibilität besteht, so muss sie a fortiori auch unabhängig davon sein, ob die Susceptibilität eines gegebenen Materials nach der einen oder der anderen Seite hin nur durch Temperaturvariationen beeinflusst ist, wenigstens insofern jene Zahl immer noch gross bleibt im Vergleich zu $1/4\pi$.²⁾ Im Bereiche A ist daher bei Temperaturänderungen nach der Theorie

$$(2) \quad \mathfrak{J} = \text{const.} \quad \left(\kappa \gg \frac{1}{4\pi} \right).$$

Ebenso kann nun die von mir experimentell gefundene Unabhängigkeit der Drehung ϵ in Eisen, Kobalt und Nickel von der Temperatur im Bereiche A durch die Gleichung

1) du Bois, Wied. Ann. **31**. p. 952. 1887; auch Phil. Mag. (5) **29**. p. 302. 1890.

2) Wir werden diese Bedingung durch das Symbol:

$$\left(\kappa \gg \frac{1}{4\pi} \right)$$

veranschaulichen.

$$(3) \quad \varepsilon = \Psi \cdot (\mathfrak{N} d) = \text{const.} \quad \left(\kappa > > \frac{1}{4\pi} \right)$$

dargestellt werden. Aus (2) und (3) folgt aber ohne weiteres

$$\Psi = \text{const.}^1) \quad \left(\kappa > > \frac{1}{4\pi} \right).$$

In Worten:

Die Kundt'sche Constante Ψ ist innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler von der Temperatur unabhängig (wofern $\kappa > > 1/4\pi$).

Wir machen nun ferner die hiernach nicht ungerechtfertigte Annahme, dass diese Unabhängigkeit der Kundt'schen Constante von der Temperatur noch gewahrt bleibt, wenn die Susceptibilität soweit herabgedrückt wird, dass der Bedingung ($\kappa > > 1/4\pi$) nicht mehr genügt wird. Wir können dann die durch Tab. 4 und 5 (Fig. 18) gegebenen Nickelcurven, die sich auf das Feldbereich B beziehen, ohne weiteres als solche betrachten, welche die Magnetisirung als Function der Temperatur darstellen, indem wir die Ordinaten durch $\Psi \cdot d$ dividirt denken. Wir erhalten dann durch die vorliegenden Beobachtungen direct den Verlauf der thermomagnetischen Curven einer Nickelplatte im „Sättigungsbereiche“ B.

Es wäre nun von Interesse gewesen, den für Nickel erhaltenen Resultaten diejenigen der ausgedehnten vorliegenden thermomagnetischen Untersuchungen gegenüberzustellen. Indessen gestatten die letzteren einen Vergleich aus zwei Gründen nicht. Vor allem erstrecken sie sich nicht bis zu Feldern von der in vorliegender Arbeit benutzten Intensität. Sie reichen vielmehr nicht über Felder von einigen 100 C. G. S.-Einheiten hinaus. Dann ist es aber auch die Plattengestalt, die eine so principielle Verschiedenheit der beschriebenen Versuche von den ausschliesslich mit Stab- und Ringmagneten angestellten thermomagnetischen bedingt, dass ein Vergleich ohne weiteres nicht durchführbar ist.

Berlin, physikal. Inst. der Univ., 10. Januar 1892.

1) Die Dicke der Schicht d bleibt allerdings infolge der Ausdehnung des Metalls mit der Temperatur nicht absolut constant. Indessen liegen die hierdurch hervorgerufenen Aenderungen vollkommen innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler.