**10. Über den Einfluß der Magnetisierung
auf die thermische Leitfähigkeit des Nickels;
von G. Schmaltz.**

Die Frage der Änderung des thermischen Leitvermögens im Magnetfelde hat durch neuere Arbeiten einen bemerkenswerten Zusammenhang mit der Elektronentheorie und dadurch erneute Aufmerksamkeit gefunden.¹⁾

Für paramagnetische Körper ist die Erscheinung meines Wissens bis jetzt nur bei Eisen untersucht und kann, trotz der zum Teil widersprechenden älteren Untersuchungen²⁾ nach den Untersuchungen von Schweitzer³⁾ als sicher nachgewiesen gelten.

Die Einwände, die Lafay⁴⁾ gegen die de Sénarmontsche Methode erhoben hat, sind, wie folgende Untersuchung zeigt, wenigstens für die hier angewandte Modifikation der Methode nicht als stichhaltig zu betrachten.

Ob bei Nickel ein Wendepunkt der Kurve der Wärmeleitfähigkeiten bei steigender Magnetisierung vorhanden ist, wie ihn Barlow⁵⁾, Dongier⁶⁾, Knott und Ross⁷⁾ für den analogen elektrischen Effekt nachweisen, konnte im Verlauf vorliegender Untersuchung nicht nachgewiesen werden.

1) D. A. Goldhammer (Wied. Ann. **31**. p. 383 ff. 1887) bemerkt: Die Untersuchung der Änderung der Wärmeleitfähigkeit müsse daher besonders auf Wismut und Nickel ausgedehnt werden.

2) Zusammenstellung bei G. Wiedemann, Elektrizität. 2. Aufl. Bd. III. § 1070 ff.; vgl. auch D. Korda, Compt. rend. **128**. p. 418 ff. u. 575. 1899.

3) A. Schweitzer, Inaug.-Diss. Zürich 1900. 61 S.

4) A. Lafay, Compt. rend. **136**. p. 1308. 1903.

5) G. Barlow, Proc. Roy. Soc. **71**. p. 30—42. 1902; Beibl. **27**. p. 475. 1903.

6) R. Dongier, Soc. franç. de phys. Nr. 188. p. 3. 1903; Beibl. **27**. p. 677. 1903.

7) C. G. Knott u. P. Ross, Edinb. Proc. **24**. p. 501. 1903; Beibl. **28**. p. 438. 1904.

Zur Untersuchung wurde die de Sénarmontsche Methode in der Modifikation von Röntgen¹⁾ benutzt.

Die untersuchte Nickelplatte stammte aus dem Nickelwalzwerk von Basse & Selve, Altena, Westfalen.

Eine chemische Analyse²⁾ ergab einen Reingehalt von 98,9 Proz. Ni.

Daneben waren noch Spuren von Kupfer, Mangan und Eisen, letzteres in etwas größerer Menge, nachzuweisen. Das spezifische Gewicht der Platte fand sich zu 8,873.

Die Platte war 110×100 mm groß, 5 mm stark und hochglänzend poliert. In der Mitte war ein ca. 7 mm starkes Gewinde eingeschnitten, in welches ein 5 mm starkes Messingrohr mit aufgelötetem Ringe paßte. Durch das Rohr wurde Wasserdampf zur Heizung geleitet. Die Schraube des Rohres paßte so fest in die Platte und wurde stets so stark angezogen, daß ein ungleichmäßiger Wärmeaustausch nach verschiedenen Richtungen der Platte kaum zu befürchten war.

Es war noch auf verschiedene andere Weise versucht worden, die Platte von einem Punkt aus zu heizen. So wurde sie auf die amalgamierte Endfläche eines rechtwinklig nach oben gebogenen Messingstabes aufgelegt, der unter das Brett, auf dem die Platte lag, geführt und dort geheizt wurde. Weiterhin wurde versucht, eine geheizte spitze Feder von unten her auf die Platte aufdrücken zu lassen. Auch dies bewährte sich nicht. Eine anscheinend besonders für kleine Kristalle recht brauchbare Methode ist die, mit Hilfe eines Prismas oder Spiegels und einer großen Linse von unten her auf die Mitte der berußten Platte das Bild eines Kohlelichtbogens, aus dem man dann ein geeignetes Stück herausblendet, zu entwerfen. Die Methode gab mit Glasplatten kleine, außerordentlich scharfe regelmäßige Kurven. Für Metalle scheint sie kaum brauchbar zu sein.

Auf dem Rand der Platte war ein quadratischer Schutzring von Zinkblech gegen Strahlungseinflüsse oder von außen

1) W. C. Röntgen, Pogg. Ann. 151. p. 603. 1874.

2) Für die gütige Ausführung derselben im chemisch-technologischen Laboratorium der Hochschule bin ich Hrn. Prof. Häussermann zu besonderem Danke verpflichtet.

kommende Luftströme aufgelegt. Auf diesen war eine durchbohrte Glasplatte gesetzt.

Zwischen den Polschuhen und der Platte verhinderten mehrere Lagen Fließpapier den Wärmeabfluß.

Die Platte lag auf den flachen Polschuhen des Ruhmkorffschen Elektromagneten an beiden Seiten ca. 2 mm auf.

Die Behauchung der Platte wurde anfänglich mit einem Luftstrom vorgenommen, der durch siedendes Wasser gepreßt war. Es zeigte sich jedoch, daß die durchaus unregelmäßige Form der so erzeugten Kurven auf diese Methode der Behauchung zurückzuführen war, da die geringste Ungleichheit in der Größe der niedergeschlagenen, mikroskopisch kleinen Tropfen die Kurven ungünstig beeinflusst. Eine durchaus zuverlässige Behauchung wurde sodann in der Weise erzielt, daß man die Platte in Eis 1—2 Min. lang abkühlte und sich dann von selbst mit Wasserdampf aus der Atmosphäre beschlagen ließ. Die so erzeugten Tropfen sind unter dem Mikroskop betrachtet ganz gleichmäßig 0,02—0,03 mm groß. Eine Hauptbedingung regelmäßiger Kurvenbildung ist allerdings gleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit, die durch öftere Reinigung mit warmer Kalilauge und destilliertem Wasser erzielt wurde. Nach der Ausbildung der Kurven und Unterbrechen des Dampfstromes wurde das bei ca. 120° getrocknete und im Exsiccator aufbewahrte Lycopodium aufgestreut. Dann wurde die Platte abgeklopft und bei schwacher Vergrößerung unter dem Komparator ausgemessen. Der Durchmesser der Kurven betrug ca. 30—50 mm.

Zu den Hauptversuchen wurde aus der Platte durch schwaches Glühen jede Spur von remanentem Magnetismus entfernt. Es wurden dann in der angegebenen Weise je zwölf Kurven erzeugt, von denen jeder der vier Durchmesser je dreimal ausgewertet wurde. Es waren zu dem Zwecke auf der Platte durch den Mittelpunkt je vier Linien unter 45° gezogen. Ebenso wurden bei erregtem Magnete zwölf Kurven erzeugt und gemessen, wobei die Platte in derselben Weise — Durchmesser Nr. 1 senkrecht zu den Kraftlinien — orientiert war. Die mittlere Stärke des erzielten Feldes betrug, mit der Himstedt-Stengerschen Methode gemessen, ca. 1200 C.G.S.

Die Berechnung wurde in folgender Weise vorgenommen: Es seien d_1, d_2, d_3, d_4 die Mittelwerte aus der dreimaligen Messung jedes der vier Durchmesser. Dann finden sich die prozentischen Abweichungen der drei letzten in bezug auf d_1 , der äquatorial orientiert war, zu

$$\frac{d_2 - d_1}{d_1} 100, \quad \frac{d_3 - d_1}{d_1} 100 \text{ etc.}$$

Diese prozentischen Abweichungen sollten für alle Kurven innerhalb des magnetischen bez. unmagnetischen Zustandes dieselben Werte haben. Sie finden sich samt den aus ihnen berechneten Fehlern in Tab. I und II. Diese Fehler sind offen-

Tabelle I.

Nickelplatte — unmagnetisch.

Nr. der Kurve	d_1	d_2	d_3	d_4	Abweichung gegen d_1 in Proz.		
					$100 \frac{d_2 - d_1}{d_1}$	$100 \frac{d_3 - d_1}{d_1}$	$100 \frac{d_4 - d_1}{d_1}$
1	40,2	40,0	38,2	39,4	-0,5	-4,9	-1,8
2	35,9	35,8	34,6	35,6	-0,3	-3,7	-0,9
3	39,5	39,4	39,1	39,7	-0,3	-1,0	+0,6
4	37,8	37,7	37,9	36,7	-0,4	-0,1	-3,0
5	30,9	31,2	30,2	31,4	+0,8	-1,8	+1,8
6	44,1	44,5	43,9	44,2	+1,0	-0,5	+0,3
7	45,0	45,3	43,4	44,7	+0,6	-3,4	-0,5
8	41,0	42,3	40,2	41,5	+3,2	-1,9	+1,1
9	38,7	39,0	38,9	39,0	+0,7	+0,6	+0,8
10	45,6	46,1	44,0	44,5	+1,2	-3,4	-2,3
11	42,8	42,1	42,3	44,3	-1,8	-1,2	+3,5
12	41,1	42,0	40,9	43,4	+1,9	-0,6	+5,6
Mittelwert:					+0,6	-1,82	+0,43
Zugehöriger mittlerer Fehler $f =$					$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$

bar in ganz geringem Grade von eigentlichen Beobachtungsfehlern bedingt, sondern in der Hauptsache auf nie ganz auszuschließende, stets wechselnde äußere Einflüsse zurückzuführen, die die Kurvenausbildung zu stören geeignet sind. Ihre Berechnung gibt uns daher ein Maß für die Gleichförmigkeit der letzteren. Die Differenzen der Mittel aller prozentischen Abweichungen stellen — innerhalb der berechneten

Fehlergrenze des Resultates — die Gestaltsänderung der mittleren Kurve durch das Magnetisieren dar. Sie finden sich in Tab. III. Die nach Tab. I schon im unmagnetischen Zustand der Platte vorhandene ausgesprochene Anisotropie dürfte sich vielleicht auf den Walzvorgang zurückführen lassen. Ein schon vorhandener magnetischer Zustand war bestimmt nicht nachzuweisen.

Tabelle II.

Nickelplatte — magnetisch.

(Durchmesser 1 senkrecht zu den Kraftlinien.)

Nr. der Kurve	d_1	d_2	d_3	d_4	$100 \frac{d_2 - d_1}{d_1}$	$100 \frac{d_3 - d_1}{d_1}$	$100 \frac{d_4 - d_1}{d_1}$
1	43,6	42,4	41,1	43,2	-2,8	-5,6	-0,9
2	46,9	45,5	43,4	44,0	-3,0	-7,4	-6,1
3	42,7	41,7	41,4	41,8	-2,3	-3,0	-2,0
4	45,7	44,8	44,0	46,0	-2,1	-3,7	+0,5
5	47,9	48,0	46,4	47,2	+0,2	-3,2	-1,4
6	48,7	47,0	46,1	47,0	-3,5	-5,4	-3,6
7	44,4	43,5	41,7	42,2	-2,1	-6,2	-5,0
8	45,8	46,3	44,2	45,1	+0,9	-3,5	-1,7
9	44,7	44,0	42,8	44,0	-1,6	-4,4	-1,6
10	45,3	44,3	42,7	44,4	-2,2	-5,7	-2,1
11	48,9	49,7	47,8	49,2	+1,9	-2,1	+0,5
12	50,2	50,8	50,0	50,7	-1,1	-0,4	+0,8
Mittelwert:					-1,28	-4,22	-1,12
Zugehöriger mittlerer Fehler $f =$					$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$

Tabelle III.

Nickelplatte.

Mittlere Gestaltsänderung der Kurven beim Magnetisieren.

	Mittelwert von:		
	$100 \frac{d_2 - d_1}{d_1} \pm f_1$	$100 \frac{d_3 - d_1}{d_1} \pm f_2$	$100 \frac{d_4 - d_1}{d_1} \pm f_3$
Ohne Magnetisierung	$+0,57 \pm 0,4$	$-1,82 \pm 0,4$	$-0,43 \pm 0,6$
Mit Magnetisierung	$-1,28 \pm 0,3$	$-4,22 \pm 0,3$	$-1,12 \pm 0,4$
Differenz und mittlerer Fehler des Resultates }	$-1,85 \pm 0,5$	$-2,40 \pm 0,5$	$-1,55 \pm 0,8$

Unter der Voraussetzung, daß die Radien der Kurven **direkt** proportional sind den Wärmeleitfähigkeiten in deren **Richtung** ¹⁾, finden sich die thermischen Leitfähigkeiten k_2, k_3, k_4 in der Richtung der Radien r_2, r_3, r_4 wie folgt:

$$k_2 = k_1 \cdot \frac{(100 - 1,85)^2}{100^2} = k_1 \cdot 0,9624 \pm 0,0098 k_1,$$

also die Änderung der Leitfähigkeit in der Richtung von r_2

$$\Delta k_2 = 3,76 \text{ Proz.} \pm 0,98 \text{ Proz.};$$

in derselben Weise berechnet sich aus Tab. III

$$\Delta k_3 = 4,74 \text{ Proz.} \pm 0,97 \text{ Proz.}$$

und

$$\Delta k_4 = 2,98 \text{ Proz.} \pm 1,48 \text{ Proz.}$$

Leider erlaubt die vorliegende Methode offenbar nur eine **angenäherte** quantitative Bestimmung der Totaländerung der **thermischen Leitfähigkeit**, als welche die eben erhaltenen Zahlenwerte zu betrachten sind.

Ob diese Differenzen **aber** auf eine Änderung des Wärmeleitvermögens nur in der Richtung einer der beiden Achsen — **parallel** oder **senkrecht** zu den Kraftlinien — zurückzuführen sind, oder ob sie sich aus zwei in beiden Achsen und zwar **im entgegengesetzten Sinne** auftretenden Wirkungen **zusammensetzen** ²⁾, darüber gibt uns die Methode ersichtlicherweise **keinen Aufschluß**.

Zur Prüfung der Einwände, die Lafay ³⁾ gegen die Methode erhoben hat, wurde eine Messingplatte, von der man offenbar annehmen durfte, daß sie den fraglichen Effekt nicht in meßbarer Weise zeigen werde, unter denselben Versuchsbedingungen wie die Nickelplatte untersucht. Die Platte zeigte bei einer Prüfung an einem empfindlichen Wiedemannschen Galvano-

1) Vgl. P. Jannettaz, Compt. rend. 99. p. 1022. 1884.

2) Für diese Annahme spricht vielleicht die Beobachtung Bambergers (Inaug.-Dissertation Berlin 1901), der für das elektrische Leitvermögen bei Nickel eine Verringerung senkrecht zu den Kraftlinien und eine Vergrößerung in der Richtung derselben als Folge der Magnetisierung nachweist.

3) A. Lafay, Compt. rend. 136. p. 1309 f. 1903. Eine wesentliche Stütze seiner Beobachtungen durch W. Nernst, Wied. Ann. 31. p. 787. 1887 und E. Aschkinass, Physik. Zeitschr. 4. p. 206. 1903 ist Lafay offenbar entgangen.

meter keinen Magnetismus. Die Ergebnisse in derselben Weise wie oben dargestellt, sind folgende:

Tabelle IV.

Messingplatte.

Mittlere Gestaltsänderung der Kurven beim Magnetisieren.

	Mittelwert aus 10 Kurven		
	$100 \frac{d_2 - d_1}{d_1} \pm f_1$	$100 \frac{d_3 - d_1}{d_1} \pm f_2$	$100 \frac{d_4 - d_1}{d_1} \pm f_3$
Ohne Magnetisierung	$-0,74 \pm 0,49$	$-1,12 \pm 0,84$	$-0,84 \pm 0,76$
Mit Magnetisierung	$-0,08 \pm 0,70$	$+0,62 \pm 0,67$	$+0,90 \pm 0,69$
Differenz und mittlerer Fehler des Resultates }	$+0,66 \pm 0,85$	$+1,74 \pm 1,30$	$+1,83 \pm 1,02$

Wenn man den hier auftretenden Differenzen, obwohl sie hart an der Grenze der mittleren Fehler liegen, Realität zusprechen wollte, würden sie also ein Auftreten der Luftströme genau *in dem entgegengesetzten Sinne der Behauptung Lafays* andeuten und demgemäß die Größe des nachgewiesenen Effektes noch um eine Kleinigkeit erhöhen.

Weiterhin wurde noch auf anderem Wege versucht, ein Urteil über die Existenz der von Lafay behaupteten Luftströmungen zu gewinnen. Es wurde eine Mellonische Thermosäule mit ihrer einen Endfläche einmal senkrecht zur Plattenebene und zur Richtung der Kraftlinien in dem Schutzring, das andere Mal in der Platte, ebenfalls in äquatorialer Richtung, in ein zu dem Zwecke in die Platte geschnittenes Loch isoliert eingebaut.

Die Anordnung war so empfindlich, daß ein berußter, mit siedendem Wasser gefüllter Lesliescher Würfel bei 500 mm Abstand einen Ausschlag von ca. 145 Skt. ergab. Es wurde nun, nachdem die Strahlungseinflüsse der geheizten Platte das Galvanometer auf einen konstanten Wert gebracht hatten, wechselweise in bestimmten Zeiträumen das eine Mal mit, das andere Mal ohne Magnetisierung das Galvanometer abgelesen. Es ergab sich bei zwei Versuchsreihen keine Differenz zwischen magnetischem und unmagnetischem Zustand; nur bei einer Versuchsreihe, als die Säule mit ihrer Endfläche in der Ebene

der Platte lag, zeigte sich eine Abkühlung von 3,7 Skt. beim Magnetisieren, die, wenn man ihr trotz der Empfindlichkeit der Methode überhaupt Bedeutung zuspricht¹⁾ ebenfalls *im entgegengesetzten Sinne unseres Effektes* liegt. Es ergibt sich also auch hier dasselbe Resultat wie bei der Messingplatte.

Versuche mit der Luftpumpe, die nach Lafays Vorgänge auch begonnen waren, wurden wieder abgebrochen, da das dabei erzeugte Feld wegen der Größe der zwischen die Pole einzuführenden Glasglocke offenbar zu schwach wird, um zu beweisenden Ergebnissen zu führen.

Resultate.

1. Nachweis der Brauchbarkeit der Röntgenschen Modifikation der de Sénarmontschen Methode für die fraglichen Erscheinungen.

2. Die Einwürfe Lafays sind wenigstens bei der angewandten Versuchsanordnung nicht zutreffend.

3. Nickel erleidet im Magnetfeld eine Totalverminderung seiner Wärmeleitfähigkeit in axialer Richtung gegenüber der äquatorialen von ca. 5 Proz. bei einer Feldstärke von ca. 1200 C.G.S.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Prof. K. R. Koch, auch an dieser Stelle für die Anregung zu vorliegender Arbeit, sowie seine unermüdliche Unterstützung durch Rat und Tat während derselben meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Stuttgart, Physik. Institut d. Hochschule, Juli 1904.

1) Dem Sinne nach würde diese Differenz anscheinend mit der von Aschkinass, l. c. beobachteten zusammentreffen.

(Eingegangen 12. Januar 1905.)