VI. *Ueber das magnetische Verhalten des Nickels und des Kobaltes; von W. Hankel.*

(Aus den Berichten der math. phys. Klasse der K. Sächs. Ges. der Wiss. 1875 vom Herrn Verfasser mitgetheilt.)

Die magnetischen Eigenschaften des Nickels und Kobaltes zu bestimmen, sind allerdings schon mehrfache Versuche gemacht worden; indess waren die geprüften Metalle wohl selten rein und niemals in grösseren Stücken vorhanden.

Durch die Güte des Hrn. Professor Dr. Winkler in Freiberg bin ich in den Stand gesetzt worden, zwei möglichst reine und grosse Parallelepipeda der genannten beiden Metalle auf ihr magnetisches Verhalten zu prüfen, und es wird die Mittheilung der erhaltenen Resultate, eben weil die Messungen an möglichst reinen und grossen Massen ausgeführt sind, nicht ohne Interesse sein.

Die beiden Metallstücke waren von Hrn. Professor Dr. Winkler im Jahre 1867 nach der im Zusatze von ihm selbst beschriebenen Methode für die Pariser Ausstellung dargestellt worden.

Das von mir zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften des Nickels und Kobaltes angewandte Verfahren war einfach folgendes:

Ein an einem Coconfaden aufgehängener magnetischer Stahlspiegel befand sich in einer als Dämpfer dienenden Kupferkugel, welche auf der Spiegelseite durchbrochen war. Hinter diesem Spiegel stand eine mehrere hundert Windungen enthaltende Drahtrolle, welche mit dem magnetischen Spiegel ein Galvanometer bildete; vor dem Spiegel in der Richtung senkrecht auf den magnetischen Meridian befand sich in einem Abstände von 1824 Mm. eine Spirale aus dickem Kupferdrahte ($3\frac{1}{2}$ Pfd.). Dieser Draht war auf eine Messinghülse von 168 Mm. Länge gewunden, deren innerer Hohlraum der Grösse und Gestalt der bei-

den Parallelepipeda aus Nickel und Kobalt entsprach, so dass beide (namentlich das etwas dickere Nickelstück) noch eben eingeschoben werden konnten.

Zuerst wurde nun die Stärke des Stromes eines oder mehrerer constanter Zinkplatinelemente gemessen, indem derselbe durch die Galvanometerrolle ging; sodann durchlief derselbe (ohne durch die Galvanometerrolle zu gehen) die Spirale aus dickem Drahte. Die durch diese Spirale erzeugten Ablenkungen des Spiegels mussten den durch die Galvanometerrolle erzeugten Ausschlägen proportional sein. Darauf wurden die zu magnetisirenden Parallelepipeda in die Spirale geschoben und die Ablenkungen des Spiegels gemessen, und zwar unter Umkehrung der Richtungen des Stromes und der Lage der Metallstücke. Zum Schluss wurde wieder die Wirkung der Spirale allein und endlich die der Galvanometerrolle gemessen, um die Constanz des Stromes während der Versuche beurtheilen zu können. Durch Subtraction der durch die Spirale allein erzeugten Ablenkung von der nach dem Einlegen der Metalle erhaltenen wurde ein Maass für den temporären Magnetismus der letzteren gewonnen.

Der etwa im Metallstücke zurückbleibende permanente Magnetismus liess sich bestimmen, indem nach Unterbrechung des Stromes dasselbe in seiner Lage umgekehrt wurde.

Um den Magnetismus des Nickels und Kobaltes mit dem des Eisens bei gleichen Stromstärken vergleichen zu können, liess ich zwei Eisenparallelepipeda von sehr nahe gleicher Grösse und Gestalt mit dem Nickel- und Kobaltstücke anfertigen, und bestimmte ihren Magnetismus jedesmal unmittelbar nach den Versuchen mit dem Nickel und Kobalt.

Nickel.

Das Parallelepipedum aus Eisen, mit welchem das Nickelstück verglichen werden sollte, hatte 168.0 Mm. Länge, 42.5 Mm. Breite und 13.7 Mm. Dicke. Das Nickelstück war ihm nahe gleich; seine Länge betrug gleichfalls

168 Mm.; seine Breite maass im Mittel an dem einen Ende 41,1 Mm., blieb so bis gegen die Mitte, und nahm dann nach dem anderen Ende hin bis 40,1 Mm. ab, seine Dicke schwankte zwischen 13,1 bis 13,5 Mm. An dem einen Ende fanden sich ferner mehrere kleine Gruben, während auf der anderen Hälfte nur einige sehr kleine Grübchen bemerklich waren.

Das Gewicht des Eisenstückes betrug 774,50 Gr., seine Dichtigkeit 7,800; das Gewicht des Nickelstückes 780,36 Gr., seine mittlere Dichtigkeit 8,520; hieraus folgt das Volumen des Eisenstückes 99,29 und des Nickels 91,59 Cc.

In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate der oben beschriebenen Messungen zusammengestellt. In der ersten Spalte stehen die Ausschläge des Spiegels durch die Galvanometerrolle, in der zweiten die Ausschläge des Spiegels durch die blosse Spirale; beide können als Maass für die Stärke des electricen Stromes dienen.¹⁾ In der dritten Spalte finden sich die durch die Spirale und das Nickel, und in der vierten die durch die Spirale und das entsprechende Eisenstück erhaltenen Ausschläge.²⁾

Galvanometer.	Spirale allein.	Spirale mit Nickel.	Spirale mit Eisen.
455.2	38.8	168.7	277.8
243.2	21.2	124.9	148.2
121.9	10.6	80.1	74.4
63.3	5.5	37.1	38.5
32.5	2.9	19.1	19.2
18.8	1.7	11.0	11.2

Durch Subtraction der Zahlen der zweiten Spalte von denen der dritten und vierten werden die durch den

1) Die Galvanometerrolle wurde überhaupt nur aufgestellt, um die Stromstärke mit grösserer Genauigkeit, als wie solche aus dem viel geringeren Ausschlage durch die Spirale entnommen werden konnte, zu bestimmen.

2) Sämmtliche im Folgenden angeführte Ausschläge sind auf die doppelten Tangenten des Ablenkungswinkels reducirt.

Magnetismus des Nickels und des Eisens allein erzeugten Ablenkungen erhalten.

Stärke des Stromes.	Magnetismus des Nickels.		Magnetismus des Eisens.
	beobachtet.	reducirt.	
455.2	129.9	133.4	239.0
243.2	103.7	106.5	127.0
121.9	59.5	61.1	63.8
63.3	31.6	32.4	33.0
32.5	16.2	16.6	16.3
18.8	9.3	9.5	9.5

Zur leichteren Uebersicht sind in der Zeichnung p. 290 diese Werthe durch die ausgezogenen Linien dargestellt; die Stromstärken wurden als Abscissen genommen, und die beobachteten Magnetismen des untersuchten Nickel- und Eisenstückes als Ordinaten aufgetragen.

Da das Nickelstück etwas kleiner war als das Eisenstück, mit welchem es verglichen wurde, so habe ich den Magnetismus des Nickels auf ein dem Eisen gleiches Volumen reducirt, indem ich die Magnetismen den Cubikwurzeln aus dem Volumen proportional setzte.¹⁾ Die so

1) Für Eisenstücke von gleicher Länge und nur wenig von einander verschiedenem Querschnitt ist die obige Correction brauchbar. Wird der Magnetismus des später beschriebenen zweiten Eisenstückes, welches mit dem Kobaltstücke nahe gleichen Querschnitt hat, auf ein dem obigen (ersten) Eisenstücke gleiches Volumen nach jener Proportion reducirt, so ergibt sich z. B. für einen Galvanometeraus Schlag von 455.2 Scalentheilen der Werth 238.3, welcher sehr nahe mit dem beim ersten Eisenstück beobachteten (239.0) übereinstimmt. Ich hatte ferner noch zwei Eisenstücke von 168 Mm. Länge anfertigen lassen, von denen das eine (dritte) in der Breite 20.55 Mm. und in der Dicke 12.25 Mm., das andere (vierte) aber in der Breite 40.83 Mm. und in der Dicke 6.05 Mm., maass; jedes hatte also sehr nahe ein halb so grosses Volumen, als das zuvor genannte zweite grosse Eisenstück. Leider war das zu ihnen verwendete Eisen von einem etwas geringeren specifischen Gewichte, so dass genaue Vergleichen nicht möglich sind. Dagegen genügen die mit ihnen ausgeführten Messungen zum Nachweise der Zulässigkeit der obigen Correction.

reducirten Werthe finden sich in der vorstehenden Tabelle unter der Ueberschrift „reducirt“ und sind in der Zeichnung durch punktirte Linie dargestellt worden.

Man erkennt sogleich, dass die für das Eisen gefundenen Werthe auf einer geraden Linie liegen, dass also in dem dicken Eisenstücke innerhalb der angewandten Stromstärken der Magnetismus noch in aller Strenge proportional mit jenen Stromstärken zunahm. Anders verhält sich das Nickel: während es anfänglich, d. h. bei schwachen Strömen, nahe dieselbe magnetische Kraft zeigt, wie das Eisen, beginnt sein Magnetismus doch sehr bald in geringerem Grade zu wachsen als beim Eisen, so dass bei der stärksten angewandten Stromstärke derselbe wenig über die Hälfte des im Eisen entwickelten beträgt.

Beide untersuchten Metallstücke, sowohl das Nickel als auch das Eisen, besaßen fast keine Coercitivkraft. Beim Nickel blieb z. B. nach dem zweitstärksten Strome, welcher ihm den temporären Magnetismus 103.7 ertheilte, nur ein Rest von permanentem Magnetismus 0.3; und beim Eisen betrug dieser Rest nach dem stärksten angewandten Strome nur 0.1. In Bezug auf Coercitivkraft verhielt sich also dieses Nickelstück fast ganz wie weiches Eisen.

Kobalt.

Das Kobaltstück war zwar nur wenig kleiner als das zuvor beschriebene Stück Nickel; um jedoch eine strengere Vergleichung seines Magnetismus mit dem des Eisens zu ermöglichen, habe ich ein zweites Parallelepipedum aus

Bei gleicher Stromstärke erhielt das zweite Eisenstück den Magnetismus 125.04, das dritte 95.16, und das vierte 109.81. Die Aenderung der Breite und Dicke hat also nicht gleichen Einfluss; nimmt man das Mittel von 95.16 und 109.81, so ist $125.04 : 102.48 = 1 : 0.819$, während $1 : \sqrt[3]{\frac{1}{2}} = 1 : 0.794$. Da nun die Metallstücke, deren Magnetismus oben auf ein gegebenes Volumen reducirt werden sollen, nur wenig in Breite und Dicke verschieden sind, so dürfte die angewandte Correction eine für die vorliegenden Zwecke hinreichende Annäherung gewähren.

weichem Eisen, welches dem Kobaltstücke in seinen Dimensionen möglichst nahe kam, anfertigen lassen.

Die Länge dieses Eisens war 168 Mm., die Breite 41.0 Mm. und die Dicke 12.2 Mm. Das Kobaltstück hatte bei einer Länge von gleichfalls 168 Mm. an dem einen

Ende eine Breite von 41.0 und an dem anderen von 40.2 Mm.; seine Dicke variierte von 12.0 bis 11.1 Mm. An beiden Enden des Kobaltstückes fanden sich mehrere Gruben, besonders an dem einen Ende eine ziemlich ausgedehnte.

Das absolute Gewicht des Eisens betrug 653.48 Gr., die Dichtigkeit 7.790; das Gewicht des Kobaltes war 568.85 Gr., die mittlere Dichtigkeit 7.177; hieraus

folgt das Volumen des Eisens 83.83 und des Kobaltes 79.26 Cc.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Messungen; die Bedeutung der Zahlen in den einzelnen Spalten ist dieselbe wie in der vorhergehenden Tabelle.

Galvanometer.	Spirale allein.	Spirale mit Kobalt.	Spirale mit Eisen.
460.1	39.2	124.0	266.9
244.7	21.2	75.4	142.7
124.4	10.7	41.6	72.5
65.3	5.5	21.6	37.7
33.5	2.9	10.1	19.2
19.2	1.7	5.4	10.9

Hieraus ergeben sich die Beziehungen zwischen der Stärke des electrischen Stromes und dem Magnetismus des Kobaltes und Eisens:

Stärke des Stromes.	Magnetismus des Kobaltes.		Magnetismus des Eisens.	
	beobachtet.	reducirt.	beobachtet.	reducirt.
460.1	84.8	91.4	227.7	240.9
244.7	54.2	58.4	121.5	128.6
124.4	30.9	33.3	61.8	65.4
65.3	16.0	17.2	32.1	34.0
33.5	7.2	7.8	16.3	17.2
19.2	3.7	4.0	9.2	9.7

In der p. 290 befindlichen Zeichnung sind die Zahlenwerthe der zweiten und vierten Columnne in gleicher Weise, wie zuvor beim Nickel, durch die ausgezogene Linie dargestellt. In der dritten und fünften Columnne der obigen Tabelle finden sich unter der Bezeichnung „reducirt“ die Werthe, welche der Magnetismus eines Kobalt- und Eisenstückes von dem Volumen des ersten Eisenstückes (Volumen 99.29 Cc.) bei den in der ersten Columnne angegebenen Stromstärken zeigen würde. Den Verlauf dieser Werthe für Kobalt zeigt die punktirte Linie; die Werthe für Eisen fallen mit der Linie des ersten zum Nickel gehörigen Eisenstückes zu-

sammen. Diese letztere Linie, sowie die beiden punktirten Linien stellen also die Magnetismen gleicher Parallelepipeda von Eisen, Nickel und Kobalt dar.

Die Curve für die magnetische Kraft des Kobaltes liegt anfangs gegen die Abscissenaxe etwas convex; erst nach der dritten Messung (vom schwächsten Strome aus gerechnet) beginnt sie ihre concave Seite der genannten Axe zuzuwenden. Dieser anfängliche Gang der Curve ist durch den Umstand bedingt, dass das Kobaltstück nicht ohne Coercitivkraft ist.

Das Kobalt gleicht dem Nickel darin, dass auch bei ihm bereits bei mässig starken Strömen der Magnetismus in geringerem Grade zunimmt als die Stromintensität, unterscheidet sich aber von ihm durch eine viel geringere Stärke des Magnetismus innerhalb der angewandten Stromstärken. Bei der beträchtlicheren Zunahme des Magnetismus im Kobalt gegen die beim Nickel von der vorletzten bis zur letzten Beobachtung wäre es jedoch nicht unmöglich, dass bei sehr starken electricischen Strömen der Magnetismus des Kobaltes grösser würde als der des Nickels.

Auf das Verhalten des permanenten Magnetismus im Kobalt werde ich bei einer anderen Veranlassung zurückkommen, und bemerke hier nur, dass der Strom 244.7, welcher dem Kobaltstück einen temporären Magnetismus von 54.2 ertheilte, einen zuvor vorhandenen permanenten Magnetismus 2.5¹⁾ nicht soweit zu vernichten vermochte, dass bei beiden Stromrichtungen gleiche Reste von permanentem Magnetismus verblieben; hatte der obige Strom eine solche Richtung, dass er den Kobaltstab in entgegengesetztem Sinne wie die bereits vorhandene Polarität magnetisirte, so blieb ein Rest 7.1 in diesem entgegengesetzten Sinne, während gleich darauf ein ebenso starker Strom in der anderen Richtung, bei welcher also die temporäre Magnetisirung mit der ursprünglichen übereinstimmte, einen Rest 7.9 von permanentem Magnetismus im ursprünglichen

1) Es war dies ein Rest einer früheren etwas stärkeren Magnetisirung, welche durch einen Strom bis 2.5 geschwächt worden.

Sinne zurückliess. Dagegen blieb unter Anwendung des stärksten Stromes 460.1 bei beiden Richtungen desselben der gleiche Rest von permanentem Magnetismus 10.5; da der durch diesen Strom erzeugte temporäre Magnetismus 84.8 betrug, so war ungefähr der achte Theil desselben permanent geblieben.

Hr. Professor Dr. Winkler in Freiberg hatte die Güte, mir über die Darstellung der im Vorstehenden untersuchten Nickel- und Kobaltstücke Folgendes mitzuthemen.

„Es hatte die Darstellung dieser strengflüssigen Metalle in grösseren und dabei dichten, blasenfreien Gusstücken ihre ganz bedeutenden Schwierigkeiten und im Verlauf der hierüber angestellten Versuche sind von jedem der in Rede stehenden Metalle wohl an 100 Kgr. in Mengen von je 2 bis 5 Kgr. eingeschmolzen und gegossen worden.

Inbesondere galt es:

1. die Erzeugung einer hinlänglich hohen Temperatur;
2. die Herstellung feuerfester Schmelzgefässe;
3. die Fernhaltung von Kohlenstoff und Silicium von den schmelzenden Metallen;
4. das Giesen in sauerstofffreier Atmosphäre, weil die Anwesenheit sauerstoffhaltiger Luft stets ein Saugen der Metalle und die Erzeugung blasiger Gusstücke zur Folge hatte.

Als Schmelzapparat diente ein runder feuerfester Ofen mit hoher Esse, worin statt eines Rostes eine durchlochte Eisenplatte eingelegt worden war, welche gleichzeitig die Decke eines Windreservoirs bildete. Die Construction war eine ähnliche, wie diejenige des bekannten Deville'schen Gebläseofens. In die Mitte der eisernen Platte kam auf einen sogenannten Käse aus feuerfestem Thon der beschickte Tiegel zu stehen, worauf der Ofen mit Holzkohlen gefüllt und zu mässiger Rothgluth erhitzt wurde. Nachdem dies geschehen, ward Kohle und Asche entfernt, der ganze Ofen gut gereinigt, frische Holzkohle aufgegeben und nun von unten der Wind eines Cylindergebläses zugeführt, welches pro Minute 3—400 Cubikfuss Luft lieferte.

Die Verbrennung erfolgte jetzt auf das lebhafteste unter Entwicklung hoher Hitze; durch fortwährendes Einstossen eines eisernen Stabes in das Brennmaterial wurde das Hohlbrennen und das Kaltblasen des Tiegels sorgfältigst zu verhindern gesucht.

Holzkohle allein gab zu flüchtige Hitze; Cokes allein liess bald Verschlackung eintreten; es wurde deshalb mit dem Brennmaterial derart gewechselt, dass man

5 Minuten lang mit reiner Holzkohle

5 " " " 2 Vol. Holzkohle und 1 Vol. Cokes

5 " " " 1 Vol. Holzkohle und 1 Vol. Cokes

5 " " " reinen Cokes

schmolz.

Bei Beobachtung dieser Regel erzielte man vollkommene, für das Auge ganz unerträgliche Blauglut und vermochte innerhalb 20 Min. 5—6 Kgr. Kobalt oder Nickel sicher in dünnen Fluss zu bringen, ohne dass der Ofen zuschlackte.

Es wurde sodann der Wind abgestellt, der thönerne Vorsetzer, welcher die Brust des Ofens bildete, abgenommen, das Brennmaterial behend herausgezogen und dem Tiegel, welcher zumeist vollkommen erweicht war, eine halbe Minute zu oberflächlicher Erstarrung gegönnt, worauf man ihn mit der Zange fassen und herausheben konnte. Der fest aufgeschmolzene Deckel wurde dann sofort mit Meissel und Hammer entfernt und das in blendender Gluth befindliche Metall in eine Form aus trockenem Sand oder gebranntem Thon gegossen.

Die beim Schmelzen angewendeten Tiegel wurden nach vielen Variationen am zweckmässigsten durch eine Combination mehrerer Tiegel aus verschiedenem Material erhalten. Einfache Tiegel, selbst die besten englischen Graphittiegel, widerstanden der Hitze nie, sondern flossen zusammen.

Man setzte deshalb in einen derartigen Tiegel einen hessischen Thontiegel, füllte die Zwischenräume mit Chamotte aus und bettete in den Thontiegel mit Hülfe eines

Magnesiafutters wieder einen grossen Tiegel aus Elgersburger Porcellan ein. Es kam nur selten vor, dass alle drei Tiegel geschmolzen gewesen wären; gewöhnlich war der Graphittiegel ganz verschwunden und der hessische stark angegriffen, immerhin aber doch nur so, dass er im Verein mit dem Magnesiafutter noch eine hinlänglich schützende Hülle für den Porcellantiegel bildete.

Die Deckel mussten die Stärke gewöhnlicher Mauerziegel haben, wenn sie nicht wegschmelzen sollten. Nachdem der Tiegel gefüllt war, wurde der Deckel aufgesetzt und das Ganze bis auf eine kleine Oeffnung mit einem Gemenge von gebranntem und ungebranntem Porcellanthon und Wasserglas lutirt. Hierauf musste wenigstens 24 Stunden lang stark getrocknet und sehr vorsichtig angewärmt werden.

Die Tiegelbeschickung war folgende: Zunächst wurde reines geglühtes und gemahlenes Kobalt- oder Nickeloxydul mit 10—12 % reiner Stärke oder feinstem Weizenmehl innig gemischt und dieses Gemenge in einen Tiegel gebracht, welchen man in einen zweiten setzte, so dass alle Zwischenräume mit Holzkohlenpulver gefüllt werden konnten. Es wurde hierauf bis zum mässigen Glühen erhitzt und erkalten gelassen. Der innere Tiegel enthielt dann Kobalt- oder Nickelmetall in Gestalt eines zarten Pulvers, welches jedoch etwas kohlenstoffhaltig war. Im übrigen enthielt es nur Spuren von Verunreinigungen, war frei von Eisen, Kupfer, Arsen, Schwefel u. s. w. und das Kobalt enthielt ca. 0.3 % Nickel, wie umgekehrt das Nickel 0.3—0.5 % Kobalt enthalten mochte.

Das feine Metallpulver wurde nun mit 25—30 % seines Gewichtes reinen Kobaltoxyduls, beziehungsweise Nickeloxyduls innig gemengt, das Gemenge in den in gedachter Weise umhüllten Porcellantiegel gebracht und, wie beschrieben, eingeschmolzen. Der Sauerstoff der zugesetzten Oxyde verbrannte hierbei den geringen Kohlenstoffgehalt der Metalle vollständig und man fand schliesslich

nicht allein das reine Metall, sondern auch den zugesetzten Oxydüberschuss in vollkommenem Flusse.

Beim Giessen begann das Metall, sobald es in die Form gebracht worden war und erstarren wollte, gewöhnlich lebhaft zu schäumen und zu spritzen, wahrscheinlich weil es Sauerstoff absorbirt hatte, den es nun plötzlich fahren liess. Man erhielt infolge dessen stets undichte, blasige Güsse.

Es wurde deshalb um den Einguss der Form ein starker Baumwollendocht gelegt, der mit Theer oder Petroleum getränkt war. Bei der Annäherung des heissen Tiegels entzündeten sich diese und bildeten eine grosse reducirende Flamme, durch die hindurch das Giessen erfolgte. Auf solche Weise gelang es, das Metall vom absorbirten Sauerstoff zu befreien und Güsse zu erhalten, die dicht, oder doch fast ganz dicht waren.

Die Gusstücke liess man langsam erkalten, befreite sie oberflächlich vom anhaftenden Sande und nahm dann mit Hülfe der Hobelmaschine an allen Seiten 5—6 Mm. weg, wodurch die sogenannte Gusschwarte vollkommen beseitigt wurde.

VII. *Ueber die Abhängigkeit der Reibung der Gase von der Temperatur; von J. Puluj.*

(Aus den Wien. Ber. zweite Abth. LXXIII. Mai-Heft. Jahrg. 1876; vom Herrn Verfasser mitgetheilt.)

Reibungsapparat.

Die Untersuchungen über die Reibung der Gase, welche hier mitgetheilt werden sollen, wurden im physikalischen Institute in Strassburg ausgeführt. Es diente mir zu denselben ein Apparat, den Hr. Professor Dr. Kundt mir bereitwilligst zur Verfügung stellte. Derselbe ist von einer