10. Ueber die magnetischen Eigenschaften der Elemente; von Stefan Meyer.

(Aus den Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturw. Klasse; Bd. CVII. Abth. IIa. März 1899.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 2. März 1899.)

Die Magnetisirungszahlen der Elemente können sowohl aus Messungen an ihren Verbindungen, als auch durch directe Beobachtungen an den möglichst gereinigten Grundstoffen gewonnen werden. Zur Ermittlung genauer Werthe setzt der erstere Weg bei Anwendung von Lösungen die Kenntniss des Einflusses des Lösungsmittels und der chemischen Bindungen, bei directer Verwendung der ungelösten Substanzen auch noch denjenigen der Structur und des eventuell vorhandenen Krystallwassers, der zweite Weg diejenige nach der Structur im allgemeinen voraus.

Bisher sind nun die Suszeptibilitätscoefficienten einer grossen Zahl von Elementen nicht einmal qualitativ bestimmt worden, bei anderen sind die Ergebnisse infolge der beigemengten Verunreinigungen einander direct widersprechend. Zuletzt hat Hr. J. Königsberger¹⁾ eine ziemlich vollständige Zusammenstellung über die Magnetisirungszahlen der untersuchten Elemente gegeben und die Resultate in einer Tabelle nach der Atomgewichtsanzordnung vereinigt.

Da mir nun durch die Freundlichkeit des Hrn. Prof. F. Exner der grösste Theil der überhaupt erhältlichen Elemente in möglichst reinem Zustande zur Verfügung stand, habe ich zunächst die Grundstoffe selbst der Beobachtung unterzogen, während die Vervollständigung der Kenntniss der eingangs erwähnten Einflüsse den Gegenstand späterer Untersuchungen bilden soll.

Die mir überlassenen Substanzen waren vielfach dieselben, welche auch von den Herren F. Exner und E. Haschek²⁾

1) J. Königsberger, Wied. Ann. **66**. p. 732. 1898.

2) F. Exner u. E. Haschek, „Ueber die ultravioletten Funkenspectra der Elemente“, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien, mathem.-naturw. Klasse, seit 11. Juli 1895 fortgesetzt.

bezüglich ihrer Funkenspectra untersucht worden sind, wodurch mir die Möglichkeit gegeben ist, fast überall die meist nur spurenweise vorhandenen Beimengungen anderer Stoffe auszugeben.

Die Elemente lagen mir theils in Pulverform, theils in grösseren Stücken vor, was eine verschiedene Behandlung bedingt, die ihre Richtschnur hauptsächlich dadurch erhielt, dass das Material, da es noch zu weiteren Untersuchungen verwendet werden soll, in keiner Weise durch fremde Stoffe verunreinigt werden durfte.

A. Messungen an Pulvern.

Die angewandte Methode, die Magnetisirungszahl dieser Körper zu bestimmen, bestand darin, dass das betreffende Pulver in ein kleines cylindrisches Gläschen vom Querschnitte von nahezu $0,5 \text{ cm}^2$ bis zu einer gewissen Höhe eingefüllt wurde. Das Gläschen befand sich auf der einen Seite des Waagebalkens der eisenfreien Waage, deren Hr. G. Jäger und ich uns schon zur Bestimmung des Suszeptibilitätscoefficienten des Wassers¹⁾ bedient haben, und hing in einer Entfernung von fast 50 cm vom Waagebalken an einem gestreckten dünnen Aluminiumdraht derart in das früher schon einmal beschriebene magnetische Feld²⁾, dass es an die Stelle starken Potentialgefälles knapp über dem homogenen cylindrischen Theil des Gebietes zwischen den Polschuhen kam. Der Zug, bez. Auftrieb im Felde wurde durch entsprechende Gewichtsaufgabe auf der Waagschale der anderen Seite gemessen und mit dem Auftriebe verglichen, den frisch destillirtes Quecksilber, das bis zu der gleichen Höhe in das Gläschen eingefüllt war, erfuhr. Der absolute Werth des α für Quecksilber wurde genau so gefunden, wie dies für die Bestimmung der Magnetisirungszahl des Wassers mittels der Waage von Hrn. G. Jäger und mir kürzlich beschrieben worden ist.

Es ergab sich nach dieser Anordnung bei Anwendung eines Glasrohres vom Querschnitte $0,95 \text{ cm}^2$, das 14 cm hoch

1) G. Jäger u. St. Meyer, Wied. Ann. 67. p. 707. 1899.

2) G. Jäger u. St. Meyer, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien. 106. IIa, p. 595.

mit Quecksilber gefüllt war, nach Abzug der Wirkung auf Glas und Aufhängung aus mehreren Messungen der magnetische Zug $p = -0,289$ g. Das Feldstärkequadrat betrug dabei $291 \cdot 10^6$ (C.G.S.), die Temperatur 15° C. Vergleichende Messungen mit bis zu gleicher Höhe eingefülltem Wasser ergaben, dass die Einwirkung des Feldes auf das ausserhalb befindliche Ende des Quecksilbercylinders jedenfalls unter 1 Proc. von derjenigen auf das Ende zwischen den Polschuhen bleibt und daher vernachlässigt werden kann.

Die Magnetisirungszahl des Quecksilbers ergibt sich hieraus bei 15° C. zu

$$\kappa = -2,05 \cdot 10^{-6}.$$

Um aus den auf dem oben beschriebenen Wege gewonnenen Suszeptibilitätscoefficienten der Pulver vergleichbare Daten für die Elemente zu erhalten, ist es zweckmässig, dieselben auf das Atom der betreffenden Substanz zu beziehen. Hierzu bedarf es allerdings der Annahme, dass das Material in dem ganzen im Gläschen eingenommenen Volumen gleichmässig vertheilt sei, was natürlich nur in erster Annäherung zutrifft. Man bestimmt also das scheinbare specifische Gewicht aus dem Gewicht der Substanz und dem vom Pulver erfüllten Raum und berechnet den Werth des κ , der einer Raumerfüllung entspräche, wenn ein Grammatom im Liter vorhanden wäre.

Im Folgenden bezeichne ich mit κ den direct gefundenen Werth der Magnetisirungszahl, mit k denjenigen für den Atommagnetismus, wozu zu bemerken ist, dass ich denselben — wie dies bei Lösungen allgemein üblich ist — auf ein Grammatom im Liter beziehe, während z. B. Hr. J. Königsberger unter Atommagnetismus denselben rücksichtlich derselben Menge im Cubikcentimeter versteht.

So ergibt sich für das Quecksilber aus obigem Werthe von κ das $k = -0,0302 \cdot 10^{-6}$ (C.G.S.).

Bei einer Vergleichung sind nach dem Gesagten die Zahlen des Hrn. Königsberger mit 10^{-3} zu multipliciren.

Wo Beimengungen angegeben werden konnten, sind dieselben nach absteigender Menge geordnet angeschrieben.

Die Feldstärke war bei allen Messungen nahezu die gleiche und betrug an der betreffenden Stelle des Raumes rund 10000 (C.G.S.).

Untersucht wurden:

Beryllium, Yttrium, Niob, Lanthan, Cer, Didym, Erbium und Thorium als metallische Pulver, ferner Silicium, krystallinisch a) und amorph b) und Antimon regulus, der gepulvert wurde, bezogen von Merck; Bor als braunes Pulver von H. Moissan-Paris; Titan und Vanadin als Pulver, Zirkonium in krystallinischen Blättchen und metallisches Wismuth, das in Achat-schale gepulvert wurde, von Schuchardt; Selen, metallisch, gepulvert, von Trommsdorff, und Osmium als schwarzes Pulver von Heräus.

Die Resultate der Messungen giebt die folgende Tab. 1. wobei g die angewandte Gewichtsmenge in Grammen, a die

Tabelle 1.

Element	g	a	n	p	$\kappa \cdot 10^6$	$k \cdot 10^6$	t
Beryllium	0,489	423	46,9	+ 1,0205	+ 33,8	+ 0,72	15°
Bor	0,529	509,7	46,8	+ 0,067	+ 2,2	+ 0,047	15
Silicium a) ¹⁾	0,441	420	14,9	+ 0,011	+ 0,36	+ 0,024	16
„ b)	1,501	1384	48,9	+ 0,009	+ 0,30	+ 0,006	17
Titan	0,585	909	19,0	+ 0,413	+ 18,45	+ 0,97	17
Vanadin	0,481	464	9,08	+ 0,047	+ 1,56	+ 0,17	17
Selen	2,618	3680	46,7	- 0,0015	- 0,06	- 0,0013	15
Yttrium	0,526	740	8,34	+ 0,652	+ 26,7	+ 3,2	17
Zirkonium	1,235	1190	12,8	- 0,005	- 0,175	- 0,014	17
Niob ²⁾	0,499	1124	12,0	+ 0,107	+ 5,9	+ 0,49	18
Antimon	4,131	3980	33,3	- 0,0688	- 2,28	- 0,069	17
Lanthan	0,525	1184	8,59	+ 2,02	+ 111,9	+ 13,0	18
Cer	0,250	750	5,36	+ 2,39	+ 182,2	+ 34,0	16
Didym	0,527	1187	8,35	+ 2,37	+ 121,4	+ 14,5	18
Erbium	0,509	913	5,5	+ 5,63	+ 230,8	+ 41,8	17
Osmium ³⁾	1,647	1590	8,36	+ 0,020	+ 0,62	+ 0,074	16
Wismuth ⁴⁾	3,823	5375	25,8	- 0,128	- 5,25	- 0,203	15
Thorium	0,524	1182	5,1	+ 1,46	+ 81,0	+ 16,0	18

1) Enthält spurenweise Beimengungen von Fe, C und Ca im Funken-spectrum nachweisbar.

2) Spurenweise Beimengungen von Fe, Ni, Ba, Ca, Mg, Si, C, Sr, S und sehr viele Tantallinien im Spectrum nachgewiesen.

3) Spuren von Fe, Pb, Ba, Ca, Cu, Pt, Rh, Pd.

4) Spuren von Ca, Cu, Fe.

auf 1000 cm³ kommende Menge, n die Zahl der Grammatome, p der direct an der Waage abgelesene Zug, t die Versuchstemperatur bezeichnet und κ und k die oben angegebene Bedeutung haben.

B. Messungen an festen Stückchen.

Haben die Substanzen die Form fester Stückchen, so ist es am einfachsten, ein Verfahren analog der specifischen Gewichtsbestimmung anzuwenden. Hierzu brachte ich das Material in eine etwa 30 cm lange Eprouvete vom Querschnitte 0,95 cm², bez. 1,50 cm², deren Ende wieder, wie früher das Gläschen, in den unhomogenen Theil knapp über dem cylindrischen Gebiete des Feldes gebracht wurde, und bestimmte den magnetischen Zug, bez. Druck mittels der Waage. Sodann wurde das Glasrohr, ohne die Lage der am Boden derselben befindlichen Stückchen zu verrücken, mit Alkohol oder Wasser aufgefüllt und abermals der durch das Feld hervorgerufene Zug gemessen und schliesslich die Wirkung auf die Eprouvete, sowohl leer, als nur mit der Flüssigkeit gefüllt, an derselben Stelle des Feldes (M nahe gleich 10000 [C. G. S.]) beobachtet. Nennt man die Wirkung auf die Substanz, vermindert um diejenige auf das Glasrohr, a , diejenige auf Substanz und Flüssigkeit, vermindert um das Volumen des verdrängten Alkohols (bez. Wassers), b , diejenige auf die Flüssigkeit allein c , so ist der Zug auf das verdrängte Flüssigkeitsvolumen $c + a - b$ und indem wir den Zug auf das Element p_e , denjenigen auf den verdrängten Alkohol (Wasser) p_a nennen und den Magnetisirungszahlen dieselben Indices ertheilen,

$$\kappa_e = \kappa_a \frac{p_e}{p_a} = \kappa_a \frac{a}{c + a - b}$$

Die Magnetisirungszahl des Wassers wurde zu $-0,67 \cdot 10^{-6}$ bei 15° C. angenommen, diejenige des verwendeten Alkohols, gerade so wie die des Wassers¹⁾, aus dem Zuge in zwei Glasröhren vom Querschnitte 0,95 cm² und 1,50 cm² mittels der Waage bestimmt, ergab im Mittel $-0,55 \cdot 10^{-6}$ bei 15° C.

Die Resultate der Messungen ergibt die folgende Zu-

1) G. Jäger u. St. Meyer, Wied. Ann. 67. p. 707. 1899.

sammenstellung, in der γ das specifische Gewicht ist, α und k die frühere Bedeutung haben.

Tabelle 2.

Element	γ	$\alpha \cdot 10^6$	$k \cdot 10^6$	t
Kohle ¹⁾ (carbone sublimé)	1,77	— 2,49	— 0,017	18°
Ceylographit	2,25	— 8,97	— 0,048	18
Sibirischer Graphit ²⁾	2,14	— 7,3	— 0,041	18
Anthracit	—	+ 0,39	—	18
Titan ³⁾	4,87	+ 9,52	+ 0,094	17
Kupfer	8,9	— 0,66	— 0,0044	15
Molybdän ⁴⁾	8,6	+ 2,15	+ 0,024	17
Silber	—	— 1,3	—	—
Cadmium ⁵⁾	8,6	— 1,16	— 0,015	17
Zinn ⁶⁾	7,2	+ 0,256	+ 0,0042	17
Antimon	6,7	— 33,1	— 0,59	17
Tellur	6,4	— 0,6	— 0,012	18
Tantal ⁷⁾	10,4	+ 58,0	+ 1,02	18
Wolfram	19,1	+ 10,5	+ 0,10	16
Uran ⁸⁾	18,7	+ 16,3	+ 0,21	17

Von den angeführten Substanzen stammten die Kohle (carbone sublimé), Titan, Wolfram und Uran von H. Moissan in Paris; Cadmium, Zinn, Antimon von Merck; Molybdän, Tellur und Tantal von Schuchardt. Selen von Schuchardt erwies sich paramagnetisch und dürfte stark verunreinigt sein. Für das Kupfer habe ich sowohl paramagnetische Resultate, wie einen diamagnetischen Werth (den ich in der Tabelle angeführt habe) erhalten. Dasselbe enthielt von Verunreinigungen bloss Nickel im Spectrum nachweisbar, und müsste die geringe Beimengung dieser Substanz genügt haben, um das von anderen

1) Enthält Spuren von Ca, B, Ti, Ba, MgCu, Mn, Zr, Fe (l. c. 106. IIa. p. 354).

2) Enthält Ca, Fe, Si, Sr, Al, Mn, Cu, Mg. (l. c. p. 350).

3) Spuren von Ca, Sr, C, Al, und Fe (l. c. 107. IIa. p. 797)

4) Spuren von Wo und Ca (l. c. 105. IIa. p. 509).

5) Spuren von Fe, Ca und Pb (l. c. 106. IIa. p. 61).

6) Spuren von Fe und Ca (l. c. 106. IIa. p. 59).

7) Spuren von Fe, Ca, Sr, Na, K, Al, Pb und Ti (l. c. 107. IIa. p. 813).

8) Spuren von Fe und Ca.

Forschern als diamagnetisch beobachtete Element so weit zu modificiren. Das Silber lag in feinkörnigen Stückchen vor, die jedenfalls bei der angewendeten Verdrängungsmethode ein grösseres Volumen einnahmen, als ihrem specifischen Gewicht entspricht. Der Werth für α dürfte daher etwas zu klein sein.

C. Messungen bloss qualitativer Art.

An den folgenden Substanzen konnten wegen zu geringer vorliegender Mengen bloss qualitative Beobachtungen angestellt werden.

Es erwiesen sich:

<i>Gallium</i> von H. Winkler-Freiberg.	diamagnetisch,
<i>Germanium</i> von H. Winkler-Freiberg.	diamagnetisch,
<i>Ruthenium</i> von Heräus.	paramagnetisch,
<i>Rhodium</i> von Heräus.	paramagnetisch,
<i>Indium</i> von H. Winkler.	nicht nachweisbar,
<i>Iridium</i> von Heräus.	paramagnetisch,

Gold von Schuchardt erwies sich gleichfalls paramagnetisch, doch zeigte dasselbe im Funkspectrum Spuren von Ca, Cu, Ag und Eisen.

Ferner seien hier noch die Resultate an Pulvern von Scandiumoxyd, Samariumoxyd und Cäsiumchlorid angeführt, aus denen sich qualitative Schlüsse ziehen lassen.

Scandiumoxyd, Sc_2O_3 , von H. Nilson.

(Vom selben Materiale, das zur Atomgewichtsbestimmung diente.)

$$g = 0,081 \text{ g}, \quad a = 185$$

$$p = -0,0001 \text{ g}, \quad n = 1,36 \text{ Sc}_2\text{O}_3$$

$$\alpha = -0,006 \cdot 10^{-6}, \quad k = -0,004 \cdot 10^{-6} \text{ bei } 17^\circ \text{ C.},$$

woraus folgt, dass Scandium selbst diamagnetisch ist.

Samariumoxyd, Sa_2O_3 , von H. Cleve.

(Vom selben Materiale, das zur Atomgewichtsbestimmung diente.)

$$g = 1,202 \text{ g}, \quad a = 1160$$

$$p = +2,023 \text{ g}, \quad n = 3,33 \text{ Sa}_2\text{O}_3$$

$$\alpha = +66,8 \cdot 10^{-6}, \quad k = +20,1 \cdot 10^{-6} \text{ bei } 17^\circ \text{ C.}$$

Hieraus ist zu entnehmen, dass Samarium selbst ein paramagnetisches Element ist.

Cäsiumchlorid von Merck.

$$g = 1,744 \text{ g}, \quad a = 1680$$

$$p = -0,014 \text{ g}, \quad n = 10 \text{ CsCl}$$

$$\alpha = -0,47 \cdot 10^{-6}, \quad k = -0,047 \cdot 10^{-6} \text{ bei } 17^{\circ} \text{ C.}$$

Cäsium dürfte hiernach als diamagnetisch anzusehen sein.

Im Folgenden habe ich die Resultate für $k \cdot 10^6$ in einer Tabelle zusammengestellt, die sich der Anordnung anschliesst,

Tabelle der

				Li d. m. *	Be p. m. + 0,72	B p. m. + 0,047	C d. m. - 0,048	N ?	O p. m. *
				Na d. m. *	Mg d. m. *	Al p. m. *	Si p. m. + 0,006	P d. m. *	S d. m. * - 0,016
K d. m. *	Ca d. m. *	Sc d. m.	Ti p. m. + 0,09	V p. m. + 0,17	<div>Cr Mn Fe Co Ni</div> <div>stark paramagnetisch, am stärksten in der Mitte</div>				
Rb d. m. *	Sr d. m. *	Y p. m. + 3,2	Zr d. m. - 0,014	Nb p. m. + 0,49	Mo p. m. + 0,024		Ru p. m.	Rh p. m.	Pd p. m. * + 0,55
Cs d. m.	Ba d. m. *	La p. m. + 13	Ce p. m. + 34	Di p. m. + 14,5		Sa p. m.			
			Er p. m. + 41,8						
		Yb ?		Ta p. m. + 1,02	W p. m. + 0,1		Os p. m. + 0,074	Ir p. m.	Pt p. m. * + 0,227
			Th p. m. + 16		U p. m. + 0,21				

deren sich Hr. Königsberger bedient hat. Die mit einem Stern versehenen Angaben sind aus seiner Tabelle direct herübergenommen. Insbesondere habe ich angenommen, dass meine Messungen an Silber, Gold und Tellur stärker durch fremde Einflüsse beeinträchtigt seien, als die dort angeführten Werthe. Auffallend ist der starke Diamagnetismus von Kohle und Zirkon gegenüber den bisher erhaltenen Resultaten, die allerdings bei letzterem nicht an dem Elemente direct gewonnen waren. Bezüglich des Cadmiums ist die Entscheidung

Atommagnetismen.

Fl ?						
Cl ?						
Cu d. m.	Zn d. m.* - 0,0095	Ga d. m.	Ge d. m.	As ?	Se d. m. - 0,001	Br d. m.* - 0,0326
Ag d. m. - 0,0157	Cd d. m. - 0,015	In d. m.?	Sn p. m.? + 0,004	Sb d. m. - 0,069	Te d. m.* - 0,039	J d. m. - 0,040
Au d. m.* - 0,031	Hg d. m. - 0,030	Tl d. m.* - 0,093	Pb d. m.* - 0,0248	Bi d. m. - 0,203		

dahin erbracht, dass dasselbe als diamagnetisch anzusehen ist. Was die absoluten Zahlen anbelangt, so werden dieselben späterhin sicherlich noch erhebliche Correctionen erfahren, da einerseits das Material nie absolut rein ist, anderseits auch die angewandten Methoden nicht sehr genaue Werthe liefern. Immerhin lässt sich aus der Zusammenstellung doch im Grossen und Ganzen der Schluss ziehen, dass eine Abhängigkeit der Magnetisirungszahl vom Atomgewicht vorhanden sei.

(Eingegangen 5. Mai 1899.)