

**11. Ueber das thermomagnetische und thermoelektrische Verhalten des krystallinischen Wismuts;
von Louis Lownds.**

§ 1. Zur Begründung oder Prüfung einer Theorie der von v. Ettingshausen und Nernst¹⁾ entdeckten thermomagnetischen Phänomene scheint es erforderlich, die sämtlichen hier in Betracht kommenden Grössen an einer und derselben Metallplatte zu messen. Diese Aufgabe hat van Everdingen²⁾ für eine Platte aus elektrolytischem Wismut gelöst, doch sind die Beobachtungen in ziemlich engen Grenzen der Temperatur gemacht und besonders fehlen Bestimmungen bei sehr tiefen Temperaturen, bei welchen die Effecte stark anwachsen.

Hr. Prof. Groth hatte die grosse Freundlichkeit mir eine Platte aus einem grossen Wismutkrystall zur Verfügung zu stellen, wobei die krystallographische Hauptaxe in der Ebene der Platte lag. Ich beabsichtigte die fraglichen Messungen sämtlich, so weit es möglich ist, innerhalb möglichst weiter Grenzen der Temperatur und der Feldstärke an dieser Platte anzustellen. Die vorliegende Arbeit enthält die Bestimmungen des transversalen und longitudinalen thermomagnetischen Effectes sowie der thermoelektrischen Kraft.

§ 2. Nach Entfernung der Unregelmässigkeiten durch Abschleifen mit feinem Schmirgelpapier war die Platte 16 mm lang, 13,5 mm breit und 4 mm dick. Sie enthielt als einzigen Fehler einen kleinen Riss in der einen Ecke. Die krystallographische Hauptaxe lag in der Richtung der Länge. Eine chemische Analyse wurde noch nicht gemacht.

§ 3. Seien Figg. 1 und 2 OX , OY , OZ rechtwinklige Coordinatenaxen, $OABC$ der Krystall, OA die Richtung der

1) A. von Ettingshausen u. W. Nernst, Wied. Ann. 29. p. 343. 1886.

2) E. van Everdingen, Comm. Phys. Lab. Leyden Nr. 42. 1898; Nr. 48. 1899.

krystallographischen Hauptaxe. Wir halten die Bedingung fest, dass die magnetischen Kraftlinien senkrecht zur Richtung des Wärmestromes stehen und legen die Richtung der magnetischen Kraft in die x -Axe. Der Wärmestrom habe die Richtung der z -Axe. Folgende Fälle können dann untersucht werden.

I. Für den Longitudinaleffect:

1. Die krystallographische Hauptaxe OA hat die Richtung des Wärmestromes (Fig. 1). Drehung der Platte um OA (1a) bringt hier keinen neuen Fall hervor.

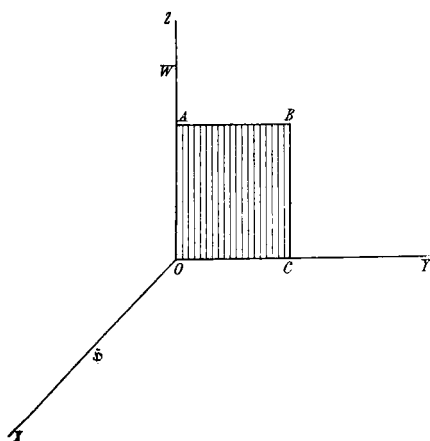


Fig. 1.

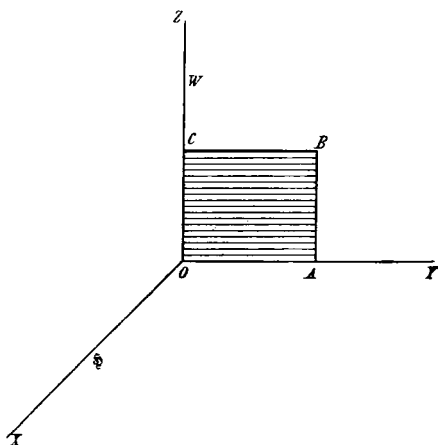


Fig. 2.

2. Die krystallographische Hauptaxe ist senkrecht zum Wärmestrom und entweder senkrecht zu den Kraftlinien (Fig. 2),
3. oder parallel zu den Kraftlinien, was durch Drehung um 90° um die Richtung des Wärmestromes erreicht wird.

II. Der transversale Effect, obgleich für ihn 1 und 1a sowie 2 und 3 verschieden sind, kann nur in den Fällen 1 und 2 untersucht werden, da die thermomagnetische Potentialdifferenz nur in der Richtung der Breite, nicht in der Richtung der Dicke gemessen werden kann.

III. Die thermoelektrische Kraft wurde in der Richtung der krystallographischen Hauptaxe und senkrecht zu dieser Richtung bestimmt.

§ 4. Die Einrichtung des Apparates wurde hauptsächlich durch die Forderung bestimmt, dass Lötungen an der Platte

grundsätzlich vermieden werden sollten. Fig. 3 zeigt schematisch einen verticalen Schnitt durch die Mitte der Platte und senkrecht zu ihrer Ebene. *A* ist ein cylindrisches Metallgefäß, 10 cm hoch und 3,7 cm im Durchmesser, aussen mit Filz bedeckt, zur Aufnahme der Kältemischung. An den Boden von *A* ist ein rechteckiges Stück Kupfer *B*, 1,5 cm lang,

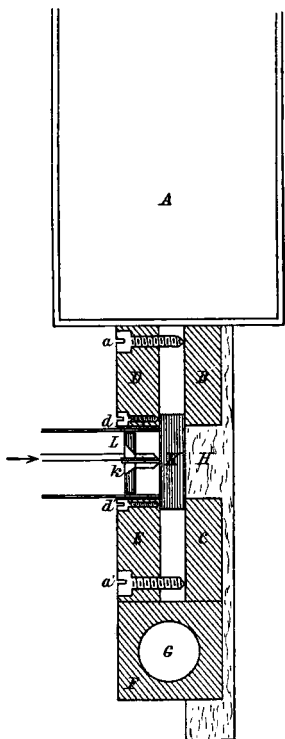


Fig. 3.

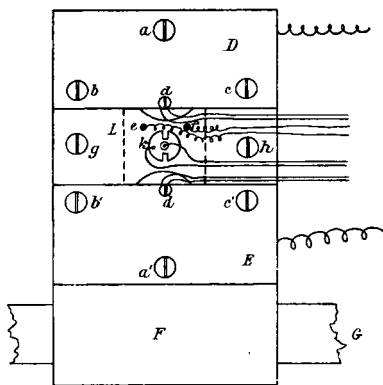


Fig. 4.

3,5 cm breit, 0,6 cm dick, gelötet. *C*, *D*, *E* sind Kupferstücke von denselben Dimensionen. Das Kupferstück *F* ist 3,5 cm breit und von 1,6 qcm Querschnitt. Es enthält einen Canal *G* von 0,5 cm Radius zum Durchleiten von Wasser von Zimmertemperatur. *C* ist an *F* angelötet. *C* und *F* werden in der gezeichneten Lage durch Schrauben gehalten, welche durch das Holzstück *H* in das Kupfer gehen. *H* ist an *B* durch zwei Schrauben befestigt. *D* und *E* sind jedes mit 3 Schrauben *a*, *b*, *c*; *a'*, *b'*, *c'* versehen, *b*, *c*, *b'*, *c'* sind in entsprechende

Löcher in den Kupferstücken *B* und *C* eingeschränkt (vgl. Fig. 4, eine Ansicht in der Richtung des Pfeiles Fig. 3). So konnte die Krystallplatte *K* zwischen *D* und *B* und zwischen *E* und *C* eingeklemmt werden, wobei die Schrauben *a* und *a'* guten Contact zwischen *D* und *A* sowie zwischen *E* und *F* herzustellen erlaubten. Um endlich den Contact der Backen mit der Krystallplatte zu verbessern und ein Brechen des Krystalles zu verhüten, waren Stanniolstreifen zwischen der Platte und den Backen eingelegt. Die Kupferstücke *D* und *E* dienten als Elektroden zur Messung des Longitudinaleffectes und der thermoelektrischen Kraft. Das Temperaturgefälle in der Platte wurde erzielt, indem in *A* flüssige Luft, Kohlensäureschnee mit Aether, Eis oder siedendes Wasser gebracht wurde, während durch *G* Wasser von Zimmertemperatur floss.

Die Temperaturen des oberen und unteren Plattenrandes wurden durch Eisenconstantanelemente gemessen. Die Lötstellen dieser Elemente wurden durch kleine Schrauben *d* und *d'*, welche durch *D* und *E* hindurchgingen, fest auf die Oberfläche der Platte gedrückt. Die von den Thermoelementen angegebenen Temperaturen wurden als die Temperaturen der Contactstellen der Kupferstücke mit dem Krystall angenommen. Die Elektroden zur Messung des Transversaleffectes waren zwei Kupferschrauben *e* und *f* (Fig. 4), 6 mm voneinander entfernt, welche durch eine genau zwischen die Kupferstücke *D* und *E* passende Ebonitplatte hindurchgingen. Durch zwei Messingschrauben *g* und *h* (Fig. 4), welche durch das Ebonit in das Holzstück gingen, wurden sie fest auf die Platte gedrückt. Das genannte Ebonitstück hielt noch ein drittes Eisenconstantanelement *k*, nämlich eine kleine Eisenschraube, durch deren Mitte ein Loch gebohrt war, durch dieses ging ein kautschukisolirter, an das Ende der Schraube gelöteter Constantandraht hindurch. Die Lötstellen der drei Thermoelemente *d*, *k*, *d'* lagen in derselben geraden verticalen Linie, wobei die Entfernung zwischen *d* und *k* sowie zwischen *k* und *d'* 6,5 mm betrug. Die horizontale Linie, welche die Elektroden *e* und *f* verband, ging mitten zwischen *d* und *k* senkrecht zu *dk* hindurch.

Das Ganze befand sich, sorgfältig in Baumwolle verpackt, zwischen den Polen des Elektromagneten, sodass die Kraftlinien die Platte senkrecht kreuzten.

Die elektromotorischen Kräfte wurden nach der Compensationsmethode gemessen.

§ 5. *Der Longitudinaleffect.* Derselbe wurde wie in meiner früheren Arbeit¹⁾ nach der Formel

$$p = (t_2 - t_1) n$$

berechnet, wo p die elektromotorische Kraft ist, welche durch das Feld zwischen zwei Punkten erregt wird, deren Temperaturen t_1 und t_2 sind, negativ oder positiv gerechnet, je nachdem die durch das Feld erregte elektromotorische Kraft die Richtung des Wärmestromes oder die entgegengesetzte hatte. Die elektromotorische Kraft zwischen den beiden Punkten wurde gemessen: 1. ohne Feld e_1 , 2. mit Feld in der einen Richtung e_2 , 3. mit Feld in der entgegengesetzten Richtung e_3 , 4. ohne Feld e_4 . Der absolute Wert von n ist dann

$$\frac{(e_2 + e_3) - (e_1 + e_4)}{2(t_2 - t_1)}$$

wo die elektromotorische Kraft in Mikrovolts, die Temperaturen in Centigraden ausgedrückt sind.

Fall 1 (§ 3). Der Wärmestrom ist parallel der krystallographischen Hauptaxe, die magnetischen Kraftlinien senkrecht zur Plattenebene. Tab. I enthält die Ergebnisse für die Mitteltemperaturen $53,3^\circ$, $4,8^\circ$, $-36,5^\circ$, -94° . Fig. 5 enthält die graphische Darstellung in den ausgezogenen Linien, n ist als Ordinate, ξ als Abscisse aufgetragen.

Fall 2. Der Wärmestrom und die Kraftlinien sind senkrecht zur Hauptaxe. Tab. II giebt die Resultate, die punktirten Linien, Fig. 5, die graphische Darstellung.

Man bemerkt in allen Tabellen, dass bei Umkehrung der Feldrichtung eine kleine Veränderung der Wirkung eintritt, welche im Fall 2 ausgeprägter ist als in Fall 1. Der Grund liegt wahrscheinlich darin, dass der Wärmestrom in Wahrheit nicht in der bezeichneten Richtung fließt. Eine Abweichung von dieser Richtung würde eine transversale Componente hervorbringen, welche mit der Feldrichtung das Zeichen wechselt

1) L. Lownds, Ann. d. Phys. 4. p. 776. 1901.

Tabelle I.

Longitudinaleffect

Hauptaxe \perp Kraftlinien } Fall 1. § 8.
Hauptaxe \parallel Wärmestrom }

Mitteltemperatur	53,3° C.			4,8° C.			-36,5° C.			-94° C.		
Temperaturen der Thermoelemente	d		d'	d		d'	d		d'	d		d'
	(1) 91,5° (8) 89,6	(2) 16,8° (9) 16,4		(1) 1,4° (8) 1,2	(2) 8,5° (9) 8,3		(1) -68,5° (8) -68	(2) -5° (9) -4,5		(1) -170,5° (7) -174	(2) -14,5° (8) -18,5	
$t_2 - t_1$	56,5°			5,5°			68,5°			156°		
Φ	n		Mittelwert	n		Mittelwert	n		Mittelwert	n		Mittelwert
	\rightarrow	\leftarrow		\rightarrow	\leftarrow		\rightarrow	\leftarrow		\rightarrow	\leftarrow	
6100	10,0	9,6	(3) 9,8	9,4	8,5	(3) 8,95	-12,4	-13,3	(3) -12,8	-39,1	-41,1	(3) -40,1
4940	8,0	7,6	(4) 7,8	8,7	8,0	(4) 8,95	-7,8	-8,1	(4) -7,7	-39,6	-32,8	(4) -38,2
3550	5,7	4,9	(5) 5,3	7,1	6,5	(5) 6,80	-2,5	-3,2	(5) -2,85	-24,9	-26,9	(5) -25,9
2375	3,1	2,7	(6) 2,9	4,8	4,2	(6) 4,50	+0,14	+0,30	(6) -0,08	-16,5	-18,5	(6) -17,5
1225	1,2	1,2	(7) 1,2	1,97	1,20	(7) 1,58	+0,74	+0,68	(7) +0,71	-	-	-

(1) (2) (3) . . . bezeichnen die Reihenfolge der Beobachtungen.

Tabelle II.
Longitudinaleffect.
Hauptaxe 1 Kräftelinien
Hauptaxe 1 Wärmestrom } Fall 2. § 8.

Mittel-temperatur	58,7° C.		44° C.		-41,9° C.		-94,7° C.					
Temperaturen der Thermoelemente	d	d'	d	d'	d	d'	d	d'				
	(1) 91,8°	(2) 15,6°	(1) 1,4°	(2) 7,1°	(1) -74°	(2) -8,5°	(1) -168,5°	(2) -19,5°				
	(8) 91,8	(9) 15,6	(8) 2	(9) 7,2	(8) -76	(9) -9	(4) -162,5 (8) -168 (9) -171 (12) -170,5 (16) -21	(6) -18,5 (9) -20,5 (18) -21 (16) -21				
t ₂ - t ₁	76,2°		5,45°		66,2°		(1)-(6) 143,5° (4)-(9) 145,7 (8)-(18) 149,2 (12)-(16) 149,7					
φ	°		Mittel-wert		°		Mittel-wert					
	→	←	→	←	→	←	→	←				
6100	-1,57	-2,55	(3) -2,06	-16,5	-9,0	(3) -12,7	-28,3	-16,3	(3) -22,3	-28,1	-22,3	(11) -25,2
4940	-0,85	-1,67	(4) -1,26	-19,1	-6,7	(4) -9,9	-23,2	-12,6	(4) -17,9	-24,6	-16,6	(10) -21,6
3550	-0,03	-0,83	(5) -0,42	-7,4	-8,4	(6) -5,4	-16,4	-7,8	(6) -12,1	-24,6	-18,5	(14) -21,6
2875	0,25	-0,38	(9) -0,04	-3,4	-1,2	(6) -2,8	-10,8	-8,8	(6) -7,0	-19,4	-18,6	(7) -16,5
1225	0,38	0,00	(7) +0,19	-1,56	-0,28	(7) -0,92	-4,1	-0,62	(7) -2,36	-14,1	-10,1	(6) -12,1
										-6,7	-8,5	(3) -5,1

und je nach dem Zeichen als eine Vermehrung oder Verminderung des Longitudinaleffectes erscheint.

An die in Fig. 5 niedergelegten Ergebnisse kann man folgende Bemerkungen knüpfen:

1. Die Curven, welche die Feldstärke \mathfrak{H} und den Longitudinaleffect n verbinden, sind für krystallinisches Wismut von ähnlicher Form wie für elektrolytisches, doch werden die negativen Werte bei viel höheren Temperaturen erhalten.

2. In dem Fall, für welchen sowohl der Wärmestrom wie die Kraftlinien senkrecht zur kristallographischen Hauptaxe

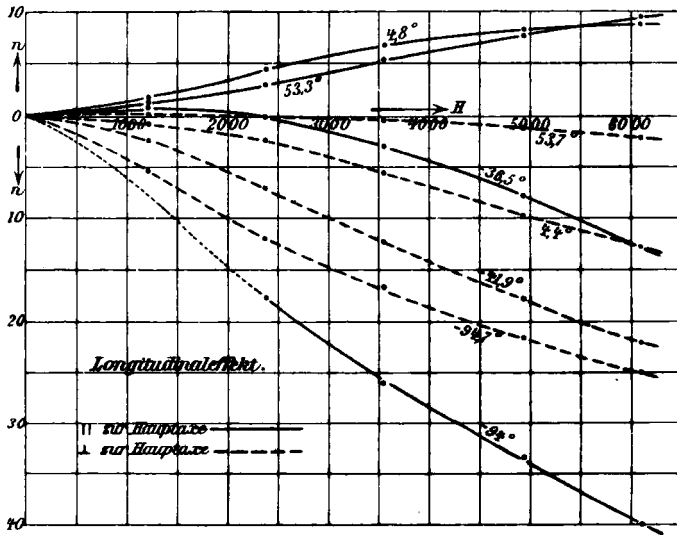


Fig. 5.

stehen, werden positive Werte des Longitudinaleffectes nur bei der höchsten Temperatur und sehr kleinen Feldstärken erhalten.

Obgleich der Fall 1a (§ 3) hier nichts Neues bringt, so schien es doch nicht überflüssig, ihn zu realisiren. Da aber die Platte hierbei mit ihrer Ebene parallel zu den Kraftlinien zu stehen kam, so mussten die Pole der Elektromagneten auf eine Entfernung von $3\frac{3}{4}$ cm gebracht werden, dadurch sank das höchste erreichbare Feld auf 4400 C.G.S. Tab. III zeigt die Ergebnisse für diesen Fall zusammen mit den aus Fig. 5 entnommenen entsprechenden Ergebnissen für Fall 1. Die beiden Ergebnisse stimmen, wie es sein soll, gut überein.

Tabelle III.

S	Fall 1 a		Fall 1	
	Temperatur	n	Temperatur	n
4400	} 51° C. {	+6,80	53° C. {	+6,70
2540		+3,36		+3,30
4400	} -31° C. {	-4,85	-36,5° C. {	-5,70
2540		-0,40		-0,40

Endlich wurden Beobachtungen für den Fall 3 gemacht, wobei aus demselben Grunde wie beim Fall 1 a nur Feldstärken bis 4400 C.G.S. erreicht wurden. Tab. IV giebt die Resultate zusammen mit den entsprechenden für Fall 2. Die beiden Ergebnisse sind, wie man sieht und wie nicht gegen die Erwartung ist, in beiden Fällen sehr verschieden.

Tabelle IV.

S	Fall 3		Fall 2	
	Temperatur	n	Temperatur	n
4400	} 51° C. {	+0,60	53,7° C. {	- 0,75
2540		+0,43		- 0,05
4400	} -38° C. {	-5,9	-42° C. {	-15,7
2540		-2,7		- 7,8

Defregger¹⁾ hat bereits einige Beobachtungen über den Longitudinaleffect an Krystallstäbchen gemacht, welche aus demselben Krystall wie meine Platte stammen. Die mittlere Temperatur ist nicht angegeben, lag aber wahrscheinlich bei ungefähr 50° C., da der Temperaturfall in den Stäbchen durch die Anwendung von Dampf und Wasser von Zimmertemperatur hervorgebracht wurde. Er beschreibt die Erscheinung als eine Veränderung der thermoelektrischen Kraft durch das Magnetfeld und verzeichnet die procentische Aenderung.

Zum Zweck der Vergleichung habe ich meine Ergebnisse für 2 Feldstärken nach dieser Form reducirt. Die folgende Tabelle enthält die Daten:

1) R. Defregger, Inaug.-Dissert. München 1897.

Hauptaxe \perp Kraftlinien	}	Fall 1. § 3.	
Hauptaxe \parallel Wärmestrom			
		Procentische Aenderung der thermoelektrischen Kraft	
§		Defregger	Lownds
2375		2,26	2,55
6100		6,95	8,54

Hauptaxe \perp Kraftlinien	}	Fall 2. § 3.	
Hauptaxe \perp Wärmestrom			
		Procentische Aenderung der thermoelektrischen Kraft	
§		Defregger	Lownds
2375		1,00 0,5	— 0,07
6100		0,69 — 0,06	— 3,5

In diesem Fall wurden zwei verschiedene Stäbchen von Defregger benutzt. Die gegebenen Zahlen sind die Mittelwerte aus den weit voneinander abweichenden Ergebnissen für die beiden entgegengesetzten Feldrichtungen.

Hauptaxe \parallel Kraftlinien	}	Fall 3. § 3.	
Hauptaxe \perp Wärmestrom			
		Procentische Aenderung der thermoelektrischen Kraft	
§		Defregger	Lownds
2540		0,58 0,35	0,62
4400		0,85 0,60	0,97

§ 6. *Der Transversaleffect.* Zur Berechnung der Beobachtungen setze ich mit Yamaguchi¹⁾

$$q = -\beta \frac{dt}{dx} \cdot m,$$

wo die positive x -Axe in die Richtung des Wärmestromes fällt, q die elektromotorische Kraft zwischen zwei um β voneinander entfernten, auf einer Linie senkrecht zum Wärmestrom gelegenen Punkten, und m eine Grösse ist, welche von der Feldstärke und der Temperatur abhängt, aber von dem Temperaturgefälle in erster Annäherung unabhängig ist.

1) E. Yamaguchi, Ann. d. Phys. 1. p. 214. 1900.

Die Richtung von q , wie sie von v. Ettingshausen und Nernst¹⁾ gefunden wurde, kann folgendermaassen bestimmt werden. Man stelle sich in die Richtung der magnetischen Kraft, sodass dieselbe vom Fuss nach dem Kopfe geht und blicke in der Richtung des Wärmestromes, dann ist die elektromotorische Kraft von links nach rechts gerichtet. Im Folgenden ist eine elektromotorische Kraft von dieser Richtung

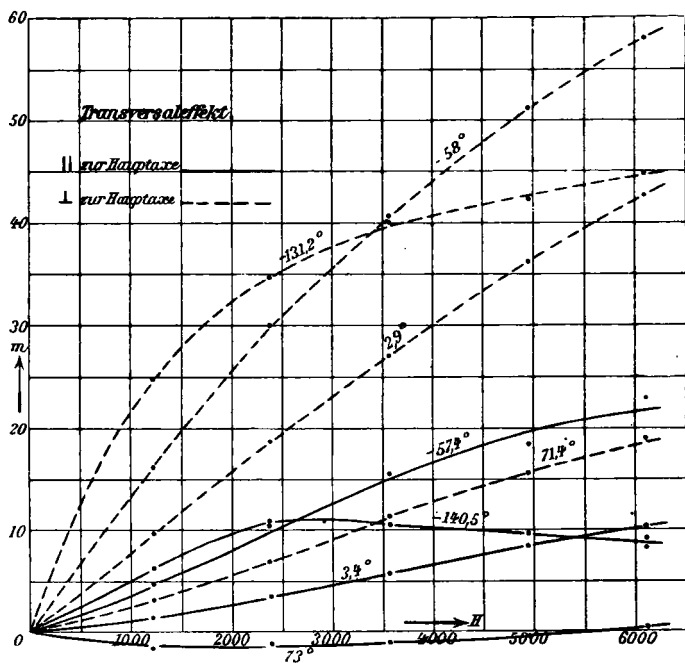


Fig. 6.

positiv gerechnet, indem van Everdingen und Yamaguchi auch Kräfte von der entgegengesetzten Richtung beobachtet haben. Die Elimination der Thermokräfte geschah ebenso wie bei Yamaguchi.²⁾

Die Ergebnisse, welche in den beiden Fällen 1 und 2 (§ 3) gewonnen wurden, sind in den Tab. V und VI niederlegt und in Fig. 6 graphisch dargestellt, wo die Abscissen den Feldstärken, die Ordinaten den m -Werten proportional gemacht

1) A. v. Ettingshausen u. Nernst, l. c.

2) E. Yamaguchi, l. c.

Tabelle V.

Transversaleffect.

Hauptaxe \perp Kraftlinien } Fall 1. § 3.
Hauptaxe \parallel Wärmestrom }

Temp.	73° C.				3,4° C.				-57,4° C.				-140,5° C.			
	d	k	d'	d	k	d'	d	k	d'	k	d	d'	d	k	d	d'
Temp. der Thermo- elemente	(1) 93,5°	(2) 51,9°	(3) 17,5°	(1) 1,2°	(2) 5,2°	(3) 8,3°	(1) -76,5°	(2) -38°	(3) -10°		(1) -180°	(2) -103,5°	(3) -31,5°			
											(6) -119,5°	(7) -102°	(8) -29,5°			
	(9) 94,2	(10) 53,1	(11) 18,8	(9) 1,8	(10) 5,3	(11) 8,3	(9) -76,5	(10) -38,5°	(11) -10		(11) -177,5	(12) -101,5	(13) -30,5			
											(16) -177	(17) -102	(18) -31			
$\frac{dt}{dx}$	68,6				5,8				58,5				117,5			
\bar{Q}	E.M.K.		m		E.M.K.		m		E.M.K.		m		E.M.K.		m	
	\rightarrow	\leftarrow	\rightarrow	\leftarrow	\rightarrow	\leftarrow	\rightarrow	\leftarrow	\rightarrow	\leftarrow	\rightarrow	\leftarrow	\rightarrow	\leftarrow	\rightarrow	\leftarrow
1225	- 121	13	(4) -1,5	5	5	(4) 1,4	180	175	(4) 5,0		476	484	(5) 6,4			
2375	- 48	-37	(5) -1,1	12	13	(5) 3,6	391	359	(5) 10,7		887	659	(9) 10,9			
3550	- 45	-24	(6) -0,9	18	21	(6) 5,6	559	521	(6) 15,4		926	557	(10) 10,5			
4940	- 30	3	(7) -0,35	28	31	(7) 8,4	690	593	(7) 18,4		865	486	(14) 9,7			
6100	- 14	30	(8) +0,2	36	38,5	(8) 10,7	981	648	(8) 23,2		{ 947	579	(4) 8,1			
											{ 983	578	(15) 9,4			

Tabelle VI.
Transversaleffect.
Hauptaxe 1 Kraftlinien } Fall 2. § 3.
Hauptaxe 1 Wärmestrom }

Temp.	71,4° C.			2,9° C.			-58° C.			-181,2° C.		
	<i>d</i>	<i>k</i>	<i>d'</i>	<i>d</i>	<i>k</i>	<i>d'</i>	<i>d</i>	<i>k</i>	<i>d'</i>	<i>d</i>	<i>k</i>	<i>d'</i>
Temp. der Thermo- elemente	(1) 92,2°	(2) 50,6°	(3) 15,6°	(1) 1,2°	(2) 4,6°	(3) 7,2°	(1) -78°	(2) -38,5°	(3) -10°	(1) -170,5°	(2) -93°	(3) -21°
	(9) 91,8	(10) 50,9	(11) 16,4	(9) 1,1	(10) 4,6	(11) 7,1	(7) -78	(8) -39,5	(9) -10	(6) -171,5	(7) -85	(8) -21,5°
	(9) 91,8	(10) 50,9	(11) 16,4	(9) 1,1	(10) 4,6	(11) 7,1	(10) -76	(11) -38	(12) -9	(12) -172,5	(13) -95	(14) -21,5
$\frac{dt}{dx}$	63,4			b,4			59,85			124		
δ	E.M.K.		<i>m</i>	E.M.K.		<i>m</i>	E.M.K.		<i>m</i>	E.M.K.		<i>m</i>
	→	←		→	←		→	←		→	←	
1325	147	128	(4) 3,6	84	29	(4) 9,7	610	595	(4) 16,7	1893	1791	(4) 24,8
2375	295	254	(5) 7,2	67	57	(5) 19,1	1136	1081	(5) 30,1	2580	2665	(10) 34,6
3550	459	399	(6) 11,3	97,5	79,5	(6) 27,2	1509	1410	(6) 40,5	2950	3004	(5) 40,0
4940	687	551	(7) 15,6	127,5	110,5	(7) 36,6	1865	1749	(13) 51,2	3034	3270	(9) 42,4
6100	794	673	(8) 19,3	145,5	132,8	(8) 42,8	2100	1999	(14) 56,1	3257	3426	(11) 44,9

wurden. Die ausgezogenen Linien beziehen sich auf den Fall, dass der Wärmestrom der Hauptaxe parallel läuft, die punktierten Linien auf den Fall, dass der Wärmestrom senkrecht zur Hauptaxe gerichtet ist. An diese Curven lassen sich folgende Bemerkungen knüpfen.

1. Der Transversaleffect ist kleiner, wenn der Wärmestrom der Hauptaxe parallel läuft, als wenn er senkrecht zu ihr gerichtet ist.

2. Im ersten Falle ist m negativ für eine Mitteltemperatur von 73° , wie es v. Everdingen und Yamaguchi für elektrolytisches Wismut fanden, aber

3. während Yamaguchi bei elektrolytischem Wismut den Transversaleffect mit abnehmender Temperatur stets wachsend fand, nimmt bei krystallinischem Wismut bei grossen Feldstärken und sehr tiefen Temperaturen der Effect mit sinkender Temperatur ab.

§ 7. *Die thermoelektrische Kraft.* Die Potentialdifferenz zwischen den beiden Kupferstücken D und E (Fig. 3) giebt die thermoelektrische Kraft für Kupfer-Wismut für die von den Eisen-Constantanelementen d und d' angezeigte Temperaturdifferenz. Diese Temperaturen wurden vor und nach der Messung der elektromotorischen Kraft bestimmt, wobei die Temperaturdifferenzen, so wie es in § 4 beschrieben ist, hervorgebracht wurden.

Tab. VII und VIII enthalten die Ergebnisse zwischen 0° und -70° parallel und senkrecht zur krystallographischen Hauptaxe. Die thermoelektrische Kraft ist positiv gerechnet, wenn der Strom vom Wismut zum Kupfer durch die wärmere Lötstelle fliesst.

Tabelle VII.

Parallel zur krystallographischen Hauptaxe.

$$\alpha = 130,2. \quad \beta = 0,3504. \quad t_n = -\frac{\alpha}{2\beta} = -185,8^{\circ}.$$

t_1	t_2	e (beobachtet)	e (berechnet)
— $2,3^{\circ}$	— $57,8^{\circ}$	5988 MV	6057 MV
— 3,8	— 66,8	6737	6644
— 24,7	— 67,8	4183	4207
— 32,2	— 69,8	3523	3551

Tabelle VIII.

Senkrecht zur krystallographischen Hauptaxe.

$$\alpha = 48,32. \quad \beta = 0,2988. \quad t_n = -\frac{\alpha}{2\beta} = -80,9^\circ.$$

t_1	t_2	e (beobachtet)	e (berechnet)
— 4,1°	— 63°	1663 MV	1665 MV
— 37,5	— 66,7°	506	503
— 37,9	— 66,6	496	491
— 42,3	— 72,2	417	422

Die Ergebnisse werden durch die Formel

$$e = \alpha(t_1 - t_2) + \beta(t_1^2 - t_2^2)$$

dargestellt, wo t_1 und t_2 die Temperaturen der beiden Lötstellen in Centigraden, e die thermoelektrische Kraft in Mikrovolt bedeutet. Die Constanten α und β wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Nach den Werten dieser Constanten ergeben sich die neutralen Temperaturen t_n für die beiden Fälle bez. zu $-185,8^\circ$ und $-80,9^\circ$. Doch stellt die obige Formel die Ergebnisse nicht mehr für so tiefe Temperaturen dar, wie sie durch Anwendung flüssiger Luft erzielt werden können. Das geht aus der folgenden Tabelle hervor.

Parallel zur krystallographischen Hauptaxe.

t_1	t_2	e (beobachtet)	e (berechnet) $\alpha = 130,2, \beta = 0,3504$
— 13,8°	— 160,2°	7851 MV	10135 MV
— 13,8	— 157,2	8012	10139

Senkrecht zur krystallographischen Hauptaxe.

t_1	t_2	e (beobachtet)	e (berechnet) $\alpha = 48,32, \beta = 0,2988$
— 15,7°	— 145,9°	397 MV	0
— 15,4	— 146,1	432	0

Data für Temperaturen zwischen -80° und -160° wurden gewonnen, indem man den Wasserstrom durch q aufhielt und Beobachtungen bei fallender Temperatur von d'

machte. Doch änderte sich die Temperatur zuweilen um 3° während der Beobachtung, was bei kleiner Temperaturdifferenz der Lötstellen beträchtliche Fehler verursachen konnte. Die gewonnenen Ergebnisse folgen hierunter und scheinen zum mindesten zu zeigen, dass die neutrale Temperatur im ersten Fall höher als $-185,8^{\circ}$ liegt.

Parallel zur krystallographischen Hauptaxe.

t_1	t_2	e	t_1	t_2	e
- 80°	-164°	966	-115°	-170°	-754
- 90	-166	372	-117	-169	-745
-100	-167	-205	-121	-170	-922
-111	-175	-747	-123	-171	-951

Senkrecht zur krystallographischen Hauptaxe.

t_1	t_2	e
- 65°	-155°	-1166
-108	-163	-1507
-123	-167	-1383
-132	-168	-1243
-136	-170	-1166

Fleming und Dewar¹⁾ fanden eine Discontinuität im Verhalten der thermoelektrischen Kraft bei tiefen Temperaturen für reines und käufliches Wismut. Doch war ihr „reines“ Wismut nicht elektrolytisch gewonnen und Angaben für solches sind mir nicht bekannt. Die Frage, ob die Discontinuität von Verunreinigungen herrührt, ist daher noch offen.

Perrot²⁾ hat bereits Beobachtungen der thermoelektrischen Kraft von Wismut parallel und senkrecht zur Hauptaxe zwischen $+10^{\circ}$ und $+100^{\circ}$ gemacht. Zum Vergleich machte ich Bestimmungen zwischen denselben Temperaturgrenzen an meinem Krystall.

Es ergab sich:

1. Parallel zur krystallographischen Hauptaxe

$$t_1 = 12,7^{\circ}, \quad t_2 = 91^{\circ}, \quad e = 9267 \text{ MV}$$

oder

$$118,35 \text{ MV pro } 1^{\circ}.$$

1) J. A. Fleming u. J. Dewar, Phil. Mag. **40**. p. 95. 1895.

2) F. L. Perrot, Arch. des sciences Phys. et Nat., August 1898.

2. Senkrecht zur krystallographischen Hauptaxe

$$t_1 = 15,3^\circ, \quad t_2 = 85,9^\circ, \quad e = 4377 \text{ MV}$$

oder

$$61,94 \text{ MV pro } 1^\circ.$$

$$\text{Verhältnis } \frac{\parallel}{\perp} = 1,91.$$

Perrot fand dieses Verhältnis zwischen 1,85 und 2,10 für die verschiedenen von ihm gebrauchten Prismen. Die von ihm als die besten bezeichneten Exemplare lieferten das Verhältnis 2,00.

Ich möchte zum Schluss Hrn. Prof. Warburg für seine vielfache Unterstützung meinen wärmsten Dank ausdrücken.

Berlin, Physik. Institut d. Univ.

(Eingegangen 25. Juni 1901.)