

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Ausdehnungsmessungen bei tiefen Temperaturen.

Von H. Ebert in Charlottenburg.

Mit 4 Abbildungen. (Eingegangen am 4. Februar 1928.)

Der Henningsche Apparat wird für Ausdehnungsmessungen bis zu der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs hergerichtet. Der Ausdehnungskoeffizient bis zu dieser Temperatur ist an verschiedenen Metallen, Gläsern und Porzellanen, sowie Glimmer bestimmt. Die bei ersteren gefundenen Ergebnisse sind mit einer aus der Theorie der festen einatomigen Körper gefolgerten Gleichung verglichen.

Zur Messung der Ausdehnung einiger Stoffe bis zur Temperatur des flüssigen Wasserstoffs ist der handliche und einfache Apparat von Henning* benutzt worden. Um seine Verwendung bei dieser Temperatur zu ermöglichen, ist er in ein besonderes Umhüllungsrohr eingebaut. Nach Einsetzen des zu untersuchenden Stabes X (s. Fig. 1) also, der bei den Versuchen im allgemeinen eine Länge von 150 mm hatte, wurde der Henningsche Apparat in das eng anschließende Glasrohr G gebracht, das in der Höhe der vertikal verlaufenden Schliffflächen S ein eingeschmolzenes, planparalleles Fenster F hatte. Nach dem Zuschmelzen am oberen Ende wurde G durch R evakuiert und mit gasförmigem Wasserstoff gefüllt. Nach dem Abschmelzen bei r ist die gesamte Anordnung in der üblichen Weise montiert.

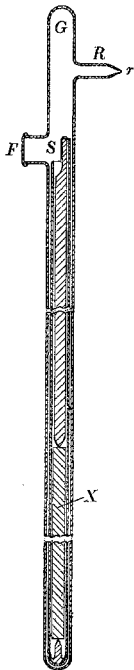


Fig. 1.

Die hier beschriebene Apparatur unterscheidet sich von der von Grüneisen und Goens** benutzten darin, daß in der jetzigen Anordnung der auch für hohe Temperaturen verwendbare Apparat unmittelbar gebraucht werden kann. Dadurch entfallen die von Grüneisen und Goens vorgeschlagenen Änderungen, insbesondere die Notwendigkeit des Anbringens einer Teilung auf der Innenwand des dem Rohr G entsprechenden Umhüllungsrohres.

Der zu den Ausdehnungsmessungen benutzte Apparat bestand aus Quarzglas, dessen Ausdehnung als Korrektionsgröße bei Berechnung der absoluten Ausdehnung der verschiedenen Materialien zu berücksichtigen ist. Es sind für die Ausdehnung des Quarz-

* Ann. d. Phys. (4) 22, 631, 1907.

** ZS. f. Phys. 29, 143, 1924.

glases die in den Wärmetabellen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt gegebenen Werte nach Scheel und Heuse benutzt. Der Ausdehnungskoeffizient α für die verschiedenen Temperaturintervalle ist durch Differentiation der Scheel-Heuseschen Gleichung

$$\frac{dl}{l_0} = 0,362 \cdot 10^{-6} \cdot t + 0,001813 \cdot 10^{-6} t^2 - 0,0000034 \cdot 10^{-6} t^3$$

nach t gewonnen und in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1.

t	$\alpha 10^7$	t	$\alpha 10^7$
+ 100 ⁰	+ 6,2	- 100	- 1,0
+ 50	5,3	- 150	- 4,1
0	3,6	- 200	- 7,7
- 50	+ 1,7	- 250	- 11,8

Zur Klärung der Frage, wie die Quarzgläser verschiedener Herkunft sich in bezug auf ihre Ausdehnung verhalten, sind auch Werte anderer Beobachter im folgenden zusammengestellt*. Tabelle 2 enthält Beobachtungen, die das Temperaturgebiet 100 bis - 250⁰ umfassen. In der ersten Spalte steht außer einer fortlaufenden Nummer die Temperatur, in der zweiten der Ausdehnungskoeffizient α , in der letzten der Beobachter und, soweit bekannt, die Vorbehandlung und Herkunft des Materials.

In Fig. 2 sind die Werte von Scheel und Heuse (s. Tabelle 1) als Kurve dargestellt, während die in Tabelle 2 enthaltenen Ausdehnungskoeffizienten unter Hinzufügung der laufenden Nummer dieser Tabelle als Punkte eingetragen sind. Man erkennt, daß, abgesehen von den zwei Quarzglasstücken 6a und c, die durch ihre thermische Vorbehandlung besonders ausgezeichnet sind, die übrigen Punkte sich recht gut der Kurve anschließen. Bei allen Beobachtungen ergibt sich ein kritischer Punkt, in dem das Vorzeichen des Ausdehnungskoeffizienten wechselt. Dieser Punkt liegt bei etwa - 80⁰. Da ohnehin die Ausdehnung des Quarzglases sehr klein ist, wird man bei Verwendung der Scheel-Heuseschen Werte zu sehr nahe richtigen Werten gelangen. Mithin können Bedenken, wie sie Keesom** bei Übertragung dieser Werte auf Stücke anderer Herkunft äußert, nicht wesentlich ins Gewicht fallen. Eine weitere Stütze, daß die auf diese Weise korrigierten Ausdehnungsbeträge, wie es im folgenden geschieht, zu richtigen Resultaten führen, zeigt die Über-

* Siehe W. Souder und P. Hidnert, *Scient. Pap. Bureau of Standards* No. 524, 1926.

** *ZS. f. phys. Chem.* **130**, 658, 1927.

Tabelle 2.

t	$\alpha 10^7$	Bemerkungen	t	$\alpha 10^7$	Bemerkungen
1. a)	0 ⁰	1. Dorsey	5.	0 ⁰	5. Valentiner
	- 40	a) klar, aber nicht		+ 4,5 ₇	und Wallot
	- 70	durchsichtig		- 1,5 ₀	Zeiss
	- 90			- 6,3 ₄	
	- 120		6. a) +	20	6. Souder
	- 160			0	und Hidneit
b)	0	b) klar und		2,0	geschmolzen
	- 40	durchsichtig		1,6	a) hoch erhitzt
	- 80			1,2	
	- 120			0,8	
	- 160			80	0,4
2. a)	+ 50	2. Scheel		- 100	- 0,1
	0	a) amorph	b) +	- 120	- 0,5
	- 100	Heraeus		20	+ 4,3
	- 190			0	3,4
b)	+ 50	b) geschmolzen		- 20	2,5
	0	Zeiss		- 40	1,7
	- 100			- 60	+ 0,8
	- 190			- 80	- 0,1
3. + 100... + 30 ⁰	+ 5,3	3. Kaye		- 100	- 0,9
+ 30... 0	4,2	geschmolzen	c) +	- 120	- 1,8
0... - 40	3,1			20	+ 5,9
- 40... - 80	+ 1,4			0	4,3
- 80... - 120	- 1,1			- 20	2,6
- 120... - 160	- 4,3			- 40	+ 1,0
4. a)	0 ⁰	4. Dorsey		- 60	- 0,6
	- 160	a) geschmolzen		- 80	- 2,2
b)	0	b) abgeschreckt		- 100	- 3,8
	- 160			- 120	- 5,5

einstimmung, die die von Kamerlingh Onnes gefundenen Werte bei Glas 16^{III} mit den später mitzuteilenden aufweisen.

Die unten aufgeführten Stoffe sind mit der angegebenen Apparatur im allgemeinen in folgendem Zyklus untersucht*: Zunächst wurde die Messung bei der Temperatur des schmelzenden Eises vorgenommen, dann bei der Temperatur der flüssigen Luft und endlich bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs. Darauf wurde die Messung bei flüssiger Luft wiederholt, dann die beim flüssigen Wasserstoff und darauf nochmals bei flüssiger Luft. Zum Schluß ist wiederum der Eispunkt genommen. So konnte die Ausdehnung unmittelbar sowohl zwischen 0 und - 190⁰ als auch zwischen 0 und - 253⁰ bestimmt werden. Überdies ist für alle

* Zu den Beobachtungen wurde zuerst der Technische Sekretär Schrickel, später der Technische Sekretär Sperling hinzugezogen.

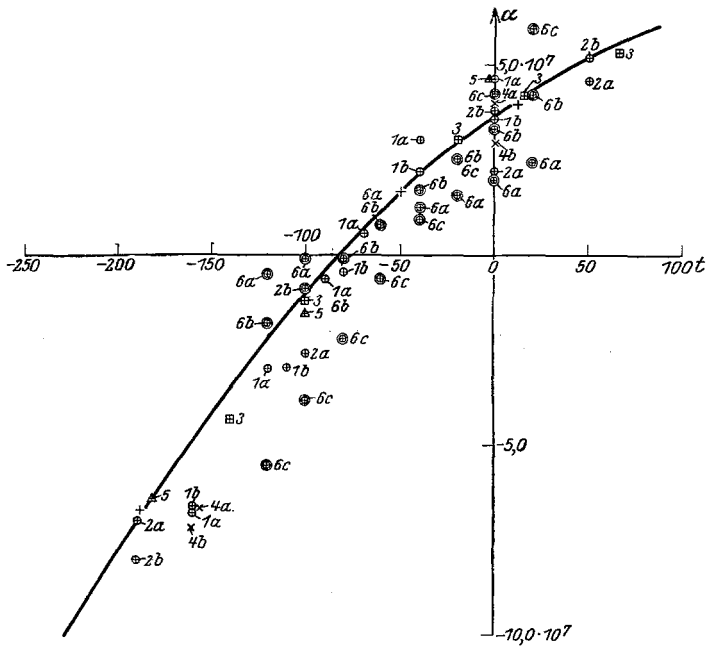


Fig. 2.

Linearer Ausdehnungskoeffizient des Quarzglases.

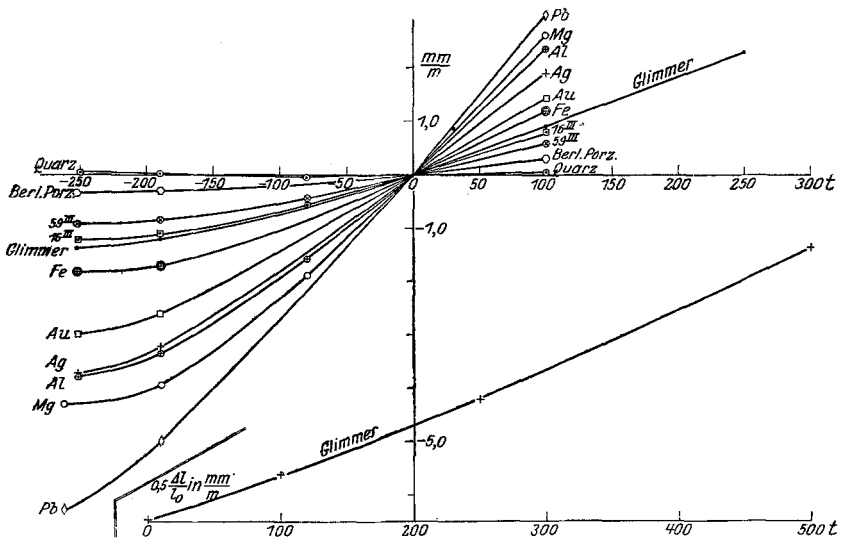


Fig. 3.

Lineare Ausdehnung verschiedener Stoffe in Abhängigkeit von der Temperatur.

Materialien (Gold ausgenommen) die Ausdehnung zwischen 0 und + 100°, für einige auch zwischen 0 und - 78° gemessen.

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle niedergeschrieben:

Tabelle 3. Lineare Ausdehnung verschiedener Materialien in mm/m zwischen 0 und t°.

t	Ag	Al			Au	Fe	Mg
		98 0/0	99,2 0/0	99,9 0/0			
- 253°	- 3,74	- 3,71	- 3,72	- 3,75	- 2,97	- 1,80	- 4,30
- 190	- 3,23	- 3,41	- 3,43	- 3,43	- 2,48	- 1,70	- 3,95
- 80	—	—	—	- 1,69	—	—	- 1,88
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ 100	+ 1,93	+ 2,36	+ 2,39	+ 2,36	+ (1,42)	+ 1,23	+ 2,61

t	Pb	Gläser		Berliner Porzellan			Glimmer
		16III	59III	SII	LII	H ₁₄	
- 253°	- 6,26	- 1,22	- 0,91	- 0,36	- 0,35	- 0,31	- 1,35
- 190	- 4,95	- 1,14	- 0,83	- 0,34	- 0,32	- 0,28	- 1,20
- 80	—	- 0,57	- 0,47	—	—	—	—
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ 100	+ 2,89	+ 0,81	+ 0,60	+ 0,30	+ 0,33	+ 0,32	+ 0,90
+ 250	—	—	—	—	—	—	2,30
+ 500	—	—	—	—	—	—	5,15

Eine graphische Darstellung dieser Tabelle zeigt Fig. 3, in der auch die Werte für die Ausdehnung des Quarzglases aufgenommen sind.

Für die Untersuchung sind möglichst reine Materialien verwendet*. Aluminium lag in drei verschiedenen Reinheitsgraden vor. Der Aluminiumgehalt der Proben ist in der Tabelle angegeben. Ein wesentlicher Unterschied in der Ausdehnung ist bei diesen drei Proben nicht festgestellt.

Auch Eisen stand in zwei verschiedenen Arten zur Verfügung: V₁₂₄ und V₄₀₆ VE. Ersteres ist Nitrateisen, hergestellt nach Angaben von Mylius, sehr rein und enthält viel Sauerstoff. Seine Koerzitivkraft beträgt nach der magnetischen Vorbehandlung 1 bis 1,2 Gauß. V₄₀₆ VE ist zweimal raffiniertes Elektrolyteisen von Griesheim-Elektron, mit Schwefelsäure gebeizt, dann im Vakuumofen zunächst in Wasserstoffatmosphäre, später im Vakuum geglüht. Der Stab selbst ist, ohne geglüht zu werden, gehämmert. Da sich beide Materialien in ihrer Ausdehnung nicht wesentlich

* Für die Überlassung des 99,9%igen Aluminium- und des Magnesiumstabes bin ich Herrn Grüneisen, für die der Eisenstäbe Herrn Steinhaus und für die der Porzellanstäbe der Staatlichen Porzellan-Manufaktur in Berlin, sowie für das Beschaffen des flüssigen Wasserstoffs (25 Liter) Herrn Meissner zu Dank verpflichtet.

unterscheiden, ist das Mittel aus den an ihnen gefundenen Werten in obiger Tabelle angegeben.

Die Berliner Porzellane S_{II} , L_{III} und H_{14} sollen für verschiedene Geräte Verwendung finden, und zwar S_{II} für Geschirr und kleinere technische Artikel ohne besondere Beanspruchung, L_{III} für technische Geräte und H_{14} mit hohem Erweichungs- und Schmelzpunkt für Pyrometer-schutzrohre.

Die Werte der Tabelle 3 stimmen mit den nur bis -190° ausgedehnten Angaben der Wärmetabellen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im wesentlichen überein*. Dagegen bestehen gegen die Lindemannschen Werte**, die ebenfalls durch relative Messung gegen Quarz gewonnen wurden, größere Abweichungen.

Die an den Metallen gewonnenen Ergebnisse sollen zunächst mit den aus der Theorie des festen Zustandes einatomiger Elemente (Grüneisen***) errechneten Größen verglichen werden. Zu diesem Zweck sind die Kurven der Fig. 3 graphisch differenziert****. Dadurch war der in die Theorie eingehende wahre lineare Ausdehnungskoeffizient α in Abhängigkeit von der Temperatur gegeben.

Grüneisen zeigt in seiner Theorie des festen Zustandes, daß

$$\frac{v_T - v_0}{v_0} = \frac{E}{Q_0 \left[1 - k \frac{E}{Q_0} \right]} \quad (1)$$

ist. Darin bedeutet $\frac{v_T - v_0}{v_0}$ die relative Volumenänderung des Körpers,

die im folgenden gleich 3α gesetzt ist, $E = \int_0^T C_v dT$ den Inhalt des Volumens v an molekularer Schwingungsenergie, Q_0 und k sind Konstanten.

Q_0 selbst = $\left(\frac{C_v}{1 \frac{\partial v}{\partial T}} \right)_{T=0}$, d. h. gleich dem Quotienten, dem das Verhältnis

von Molekularwärme zum Ausdehnungskoeffizienten bei sinkender Temperatur zustrebt. Die Konstante k ist nach der Theorie = $\frac{m + n + 3}{6}$,

* Die Werte für Al bei -80° und für Blei bei -190° sind gegen die früher gemessenen etwas kleiner.

** Phys. ZS. **12**, 1197, 1911.

*** Scheel und Geiger, Handb. d. Phys. X, 1, 1926; Ann. d. Phys. (4) **39**, 257, 1912; ebenda **55**, 371, 1918.

**** C. Runge, Graphische Methoden, S. 112 ff. Berlin und Leipzig, B. G. Teubner, 1915.

wo m und n die Exponenten im Mieschen Ansatz* des Potenzkraftgesetzes zwischen zwei Atomen bedeuten.

Nach (1) ergibt sich für den mittleren Ausdehnungskoeffizienten zwischen den absoluten Temperaturen T_2 und T_1

$$\frac{1}{l_0} \frac{\partial l}{\partial T} = \frac{1}{T_2 - T_1} \left\{ \frac{E_2}{3 Q_0 \left[1 - k \frac{E_2}{Q_0} \right]} - \frac{E_1}{3 Q_0 \left[1 - k \frac{E_1}{Q_0} \right]} \right\} \quad (2)$$

oder durch Differentiation von (1) der wahre Ausdehnungskoeffizient:

$$\frac{1}{l_0} \frac{\partial l}{\partial T} = \frac{\frac{\partial E}{\partial T}}{3 Q_0 \left[1 - k \frac{E}{Q_0} \right]^2}. \quad (3)$$

Die Zahlenwerte für Q_0 , k und Θ , der charakteristischen Temperatur, sind so gewählt, wie es Grüneisen in seiner Arbeit über die Ausdehnung regulär kristallisierender Körper angibt**. Die Zahlenwerte für E und $\frac{\partial E}{\partial T}$ wurden den Tabellen von Simon*** entnommen.

Die folgende Tabelle 4 enthält eine Gegenüberstellung der berechneten und beobachteten Größen. In der ersten Spalte steht das betreffende Metall mit Angabe der benutzten Werte Q_0 , Θ und k , in der zweiten Spalte die absolute Temperatur T , in den beiden folgenden der wahre lineare Ausdehnungskoeffizient α (berechnet und beobachtet) und dahinter die Differenz ber. — beob. In ihrem letzten Teile enthält die Tabelle die einzelnen Temperaturbereiche in °C mit der innerhalb dieser Bereiche gemessenen Längenänderung in mm/m, einmal beobachtet, das andere Mal berechnet nach Gleichung (2).

Man erkennt aus dieser Tabelle, daß die Grüneisensche Formel gut stimmt. Bei sehr tiefen Temperaturen sind im allgemeinen die beobachteten Werte etwas größer. Nur bei den beiden Metallen Fe und Mg bleibt die Übereinstimmung mit der Theorie noch befriedigend. Das tritt am deutlichsten hervor, wenn man die im zweiten Teile der Tabelle 4 wiedergegebenen Werte vergleicht.

Diese Tabelle zeigt, daß die beobachteten Werte für Fe und Mg nicht größer sind als die berechneten.

* Ann. d. Phys. **11**, 657, 1903.

** Ebenda (4) **55**, 375, 1918.

*** Scheel und Geiger, Handb. d. Phys. **X**, 367—368, 1926.

Tabelle 4.

	t	T	$\frac{1}{t_0} \frac{\partial l}{\partial T} \cdot 10^6$		Ber.-beob.	Temperaturbereich °C	Ausdehnung in mm/m	
			ber.	beob.			ber.	beob.
Aluminium: $\theta = 381^\circ \text{ abs.}$ $Q_0 = 86,1 \text{ kcal}$ $k = 2,7$	-225°	48	3,2	4,0	-0,8	+ 100/0 0/-78 -78/-190 -190/-253	+2,36 -1,63 -1,79 -0,27	+2,37 -1,65 -1,77 -0,31
	-200	73	7,9	8,2	-0,3			
	-150	123	15,0	15,0	0			
	-100	173	18,8	19,0	-0,2			
	-50	223	20,8	21,2	-0,4			
	0	273	22,2	22,5	-0,3			
	+100	323	23,2	23,4	-0,2			
Blei: $\theta = 92^\circ$ $Q_0 = 79,6 \text{ kcal}$ $k = 3,2_5$	-225°	48	21,1	21,5	-0,4	+ 100/0 0/-190 -190/-253	+2,87 -5,00 -1,23	+2,89 -4,95 -1,31
	-200	73	23,6	23,4	+0,2			
	-150	123	25,6	25,1	+0,5			
	-100	173	26,3	26,2	+0,1			
	-50	223	27,1	27,0	+0,1			
	0	273	27,9	27,8	+0,1			
	+100	323	28,8	28,4	+0,4			
Eisen: $\theta = 400^\circ$ $Q_0 = 170 \text{ kcal}$ $k = 3,8$	-225°	48	1,4	1,5	-0,1	+ 100/0 0/-190 -190/-253	+1,16 -1,68 -0,12	+1,23 -1,70 -0,10
	-200	73	3,7	3,8	-0,1			
	-150	123	7,3	7,1	+0,2			
	-100	173	9,2	9,1	+0,1			
	-50	223	10,4	10,3	+0,1			
	0	273	11,2	11,1	+0,1			
	+100	323	11,6	11,7	-0,1			
Gold: $\theta = 190^\circ$ $Q_0 = 145 \text{ kcal}$ $k = 3,0$	-225°	48	7,0	8,0	-1,0	+ 100/0 0/-190 -190/-253	+1,43 -2,48 -0,44	+1,42 -2,48 -0,49
	-200	73	10,1	10,2	-0,1			
	-150	123	12,3	12,4	-0,1			
	-100	173	13,2	13,0	+0,2			
	-50	223	13,8	13,5	+0,3			
	0	273	14,1	14,0	+0,1			
	+100	323	14,1	14,3	-0,2			
Magnesium: $\theta = 323^\circ$ $Q_0 = 81 \text{ kcal}$ $k = 2,2$	-225°	48	5,1	5,4	-0,3	+ 100/0 0/-78 -78/-190 -190/-253	+2,50 -1,81 -2,09 -0,38	+2,61 -1,88 -2,07 -0,35
	-200	73	10,8	10,6	+0,2			
	-150	123	18,0	18,0	\pm			
	-100	173	21,2	21,1	+0,1			
	-50	223	23,1	23,1	\pm			
	0	273	24,2	24,2	\pm			
	+100	323	25,1	25,3	-0,2			
Silber: $\theta = 223^\circ$ $Q_0 = 112 \text{ kcal}$ $k = 3,2$	-225°	48	7,3	8,0	-0,7	+ 100/0 0/-190 -190/-253	+1,89 -3,19 -0,47	+1,93 -3,23 -0,51
	-200	73	11,6	11,6	\pm			
	-150	123	15,4	15,3	+0,1			
	-100	173	17,0	17,2	-0,2			
	-50	223	17,8	18,0	-0,2			
	0	273	18,3	18,5	-0,2			
	+100	323	18,9	19,1	-0,2			

Keesom und Jansen* haben Ag bis zur Temperatur des flüssigen Wasserstoffs absolut gemessen und finden die Formel:

$$L_t = L_0 \left(1 + \left\{ a \left(\frac{t}{100} \right) + b \left(\frac{t}{100} \right)^2 + c \left(\frac{t}{100} \right)^3 + d \left(\frac{t}{100} \right)^4 \right\} \cdot 10^{-6} \right),$$

wo

$$a = 1779,066, \quad b = 34,641, \quad c = 59,343, \quad d = 35,743$$

ist. Durch Differentiation dieser Gleichung erhält man den linearen Ausdehnungskoeffizienten α . In Tabelle 5 sind die aus diesen Formeln berechneten Größen den hier beobachteten gegenübergestellt.

Tabelle 5.

Ausdehnung zwischen 0 und t^0	Keesom und Jansen	Ebert	T	Keesom und Jansen	Ebert
	mm/m	mm/m		$\alpha \cdot 10^6$	$\alpha \cdot 10^6$
- 253 ⁰	- 3,76	- 3,74	48	8,9	8,0
- 190	- 3,20	- 3,23	73	12,1	11,6
0	0,00	0,00	123	15,9	15,3
+ 100	+ 1,91	+ 1,93	173	17,5	17,2
			233	17,2	18,0
			273	17,8	18,5
			323	19,3	19,1

Die Ausdehnungsmessungen an den übrigen Materialien (Gläsern, Porzellanen und Glimmer) werden im folgenden den Werten anderer Beobachter gegenübergestellt.

Gläser. a) Jenaer Normalglas 16^{III}.

Formel:

$$l = l_0 \left(1 + \left\{ a \left(\frac{t}{100} \right) + b \left(\frac{t}{100} \right)^2 + c \left(\frac{t}{100} \right)^3 + d \left(\frac{t}{100} \right)^4 \right\} \cdot 10^{-6} \right),$$

Kamerlingh Onnes, Agt**: $a = 716,8, b = 48,33, c = 9,02, d = 10,9,$

Ebert: $a = 752,6, b = 45,1, c = -0,1, d = 9,5.$

Scheel***: bis -190^0 .

Tabelle 6. 16^{III} in mm/m.

t	Kamerlingh Onnes, Agt	Scheel	Ebert
- 253 ⁰	- 1,20	—	- 1,22
- 190	- 1,11	- 1,12	- 1,14
- 80	- 0,54	—	- 0,57
0	0,00	0,00	0,00
+ 100	+ 0,79	+ 0,81	+ 0,81

* Proc. Amst. 30, 576, 1927.

** Ebenda 28, 667, 1925.

*** ZS. f. Instrkde. 28, 106, 1908.

- b) 59^{III}: Scheel, Henning*: bis -190° ,
 Heuse**: bis -253° ,

als Versuchskörper diente ein 4 mm hohes Stück, das aus einem Gas-thermometergefäß herausgeschnitten war.

Formel:

$$\text{Heuse: } l = l_0 (1 + \{594\tau + 16,23\tau^2 - 29,91\tau^3\} \cdot 10^{-6}), \quad \tau = \frac{t}{100},$$

$$\text{Ebert: } l = l_0 (1 + \{642\tau + 28,3\tau^2 - 65,6\tau^3 - 12,9\tau^4\} \cdot 10^{-6}).$$

Tabelle 7. 59^{III}.

t	Scheel, Henning	Heuse	Ebert
-253°	—	$-0,92$	$-0,91$
-190	$-0,82$	$-0,87$	$-0,83$
-80	—	$-0,45$	$-0,47$
0	$0,00$	$0,00$	$0,00$
$+100$	$+0,59$	$+0,58$	$+0,60$

Berliner Porzellane. Früher: Scheel bis -190° .

- a) S_{II}, b) L_{III}, c) H₁₄.

Tabelle 8. Berliner Porzellane.

t	Scheel	Ebert		
		a	b	c
-253°	—	$-0,36$	$-0,35$	$-0,31$
-190	$-0,32$	$-0,34$	$-0,32$	$-0,28$
0	$0,00$	$0,00$	$0,00$	$0,00$
$+100$	$+0,30$	$+0,30$	$+0,33$	$+0,32$

Glimmer. Die Ausdehnung von Glimmer ist am reinsten Ruby-Glimmer ebenfalls im Henningschen Apparat relativ zu Quarzglas gemessen. Dazu diente als Ersatz für den sonst üblichen Stab ein aus dem Glimmervorrat hergerichtetes Kreuz von einer Form, wie sie für den Gebrauch von Widerstandsthermometern üblich ist.

Es wurde aus einer Platte ein Streifen (siehe Fig. 4), 12 mm breit, 250 mm lang und 0,8 mm dick, ausgeschnitten und in der Längsachse mit drei je 15 mm langen Schlitzern versehen. Ferner wurden zwei weitere Streifen hergestellt, die ebenso lang, aber nur halb so breit wie

* ZS. f. Instrkde. 28, 106, 1908; Ann. d. Phys. (4) 22, 638, 1907.

** Ebenda 35, 96, 1915.

der erste Streifen waren. Diese beiden schmalen Stücke trugen Ansätze, die nach Länge und Lage den Schlitzten des breiten Streifens entsprechen und in diese von beiden Seiten her eingeklemmt wurden. Oben und unten wurde das so entstandene Glimmerkreuz mit kleinen, 0,6 mm (später etwa 0,05 mm) dicken Glimmerscheibchen von 12 mm Durchmesser aus demselben Material belegt, damit das Kreuz sicher zwischen den Spitzen des Quarzstabes und Quarzrohres gelagert werden konnte.

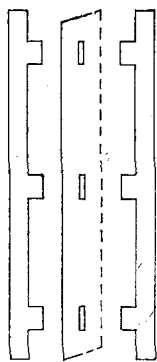


Fig. 4.

Das Ergebnis der Messungen ist in Tabelle 9 niedergeschrieben; dabei sind die Werte für hohe Temperaturen ein wenig höher als in einer früheren, vorläufigen Mitteilung*.

Tabelle 9. Glimmer.

t	mm/m	t	mm/m
- 253°	- 1,35	+ 100	+ 0,90
- 190	- 1,20	+ 250	+ 2,35
0	0,00	+ 500	+ 5,15

Die Genauigkeit dieser Versuche ist wegen der schwierigen Montierung und der Sprödigkeit des Materials auf 5 % geschätzt.

* ZS. f. Instrkde. 47, 325, 1927.