

14D
69

36

METINGEN BETREFFENDE
PLATINATHERMOMETERS
TUSSEN 0°C EN -183°C

B. G. DAMMERS

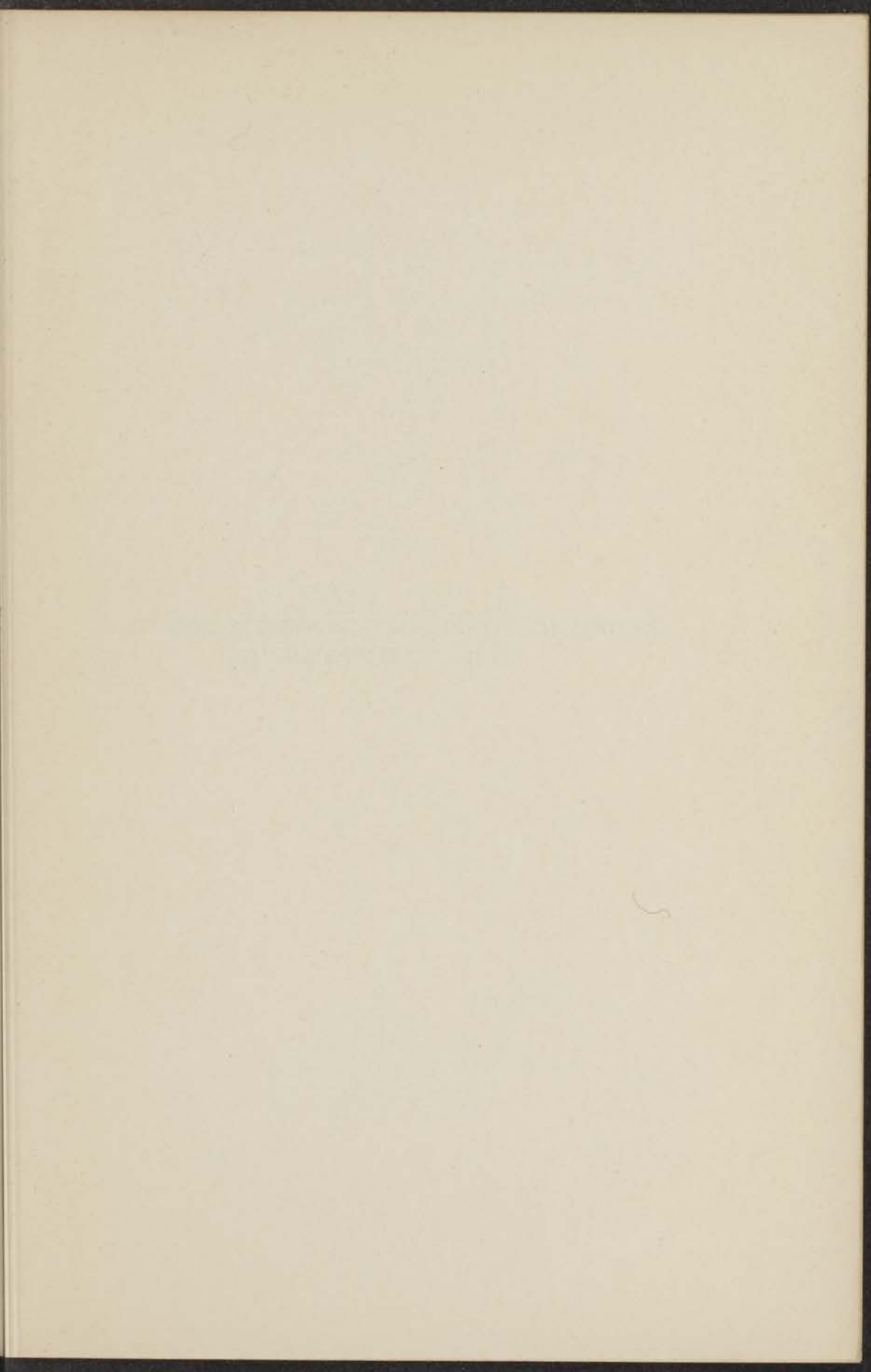
**BIBLIOTHEEK
GORLAEUS LABORATORIA**

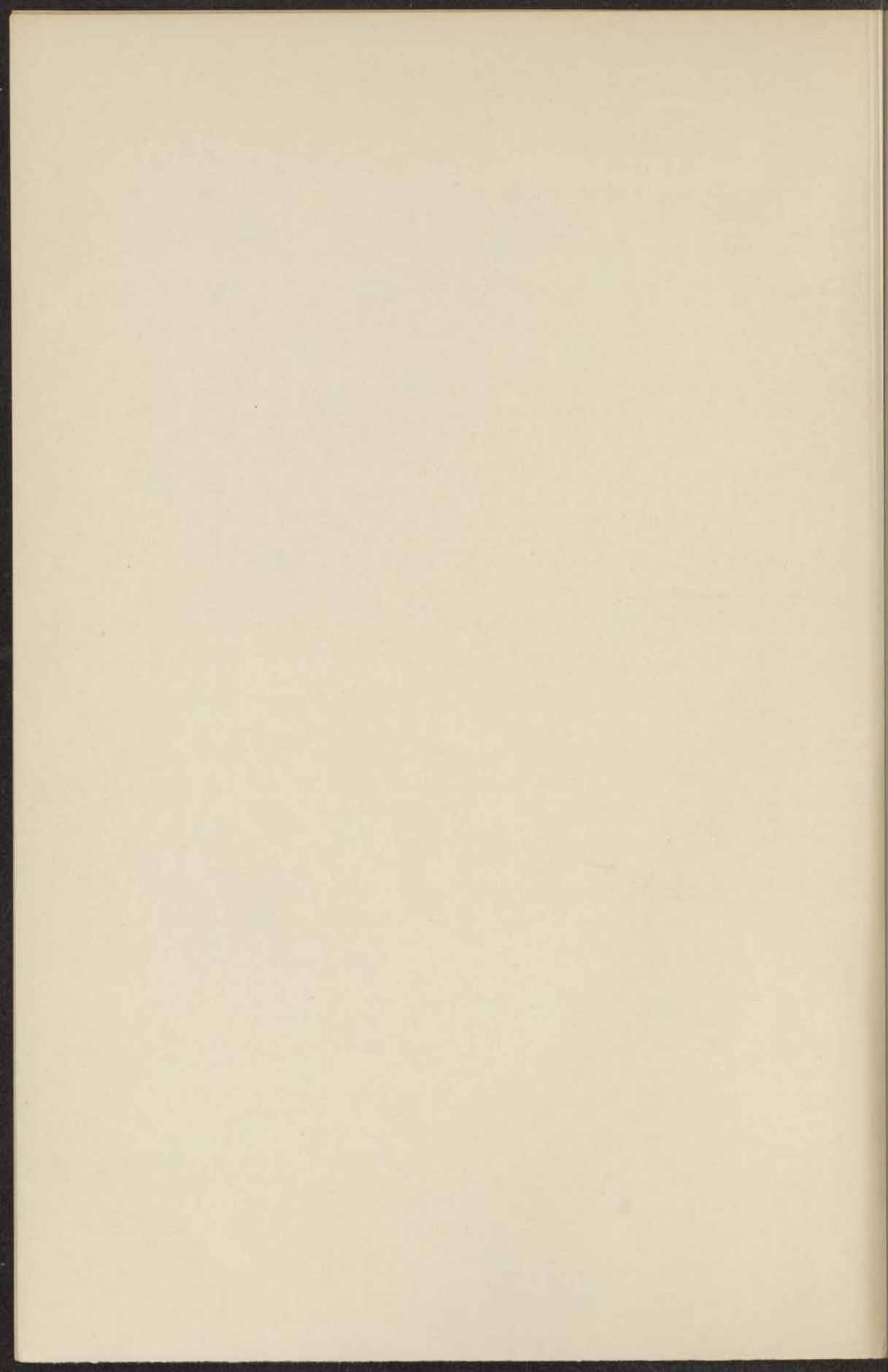
Postbus 9502
2300 RA LEIDEN
Tel.: 071 - 527 43 66 / 67

Universiteit Leiden



1 395 614 4





METINGEN BETREFFENDE PLATINATHERMOMETERS
TUSSCHEN 0°C EN -183°C

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
PRESS

METINGEN BETREFFENDE PLATINATHERMOMETERS TUSSCHEN 0°C EN -183°C

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE
AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE LEIDEN, OP
GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS
MR. A. S. DE BLÉCOURT, HOOGLEERAAR IN
DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID,
VOOR DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUUR-
KUNDE TE VERDEDIGEN OP WOENSDAG
22 JANUARI 1936, DES NAMIDDAGS TE 3 UUR

DOOR

BERNHARDUS GERHARDUS DAMMERS

GEBOREN TE ROTTERDAM

AMSTERDAM — 1936

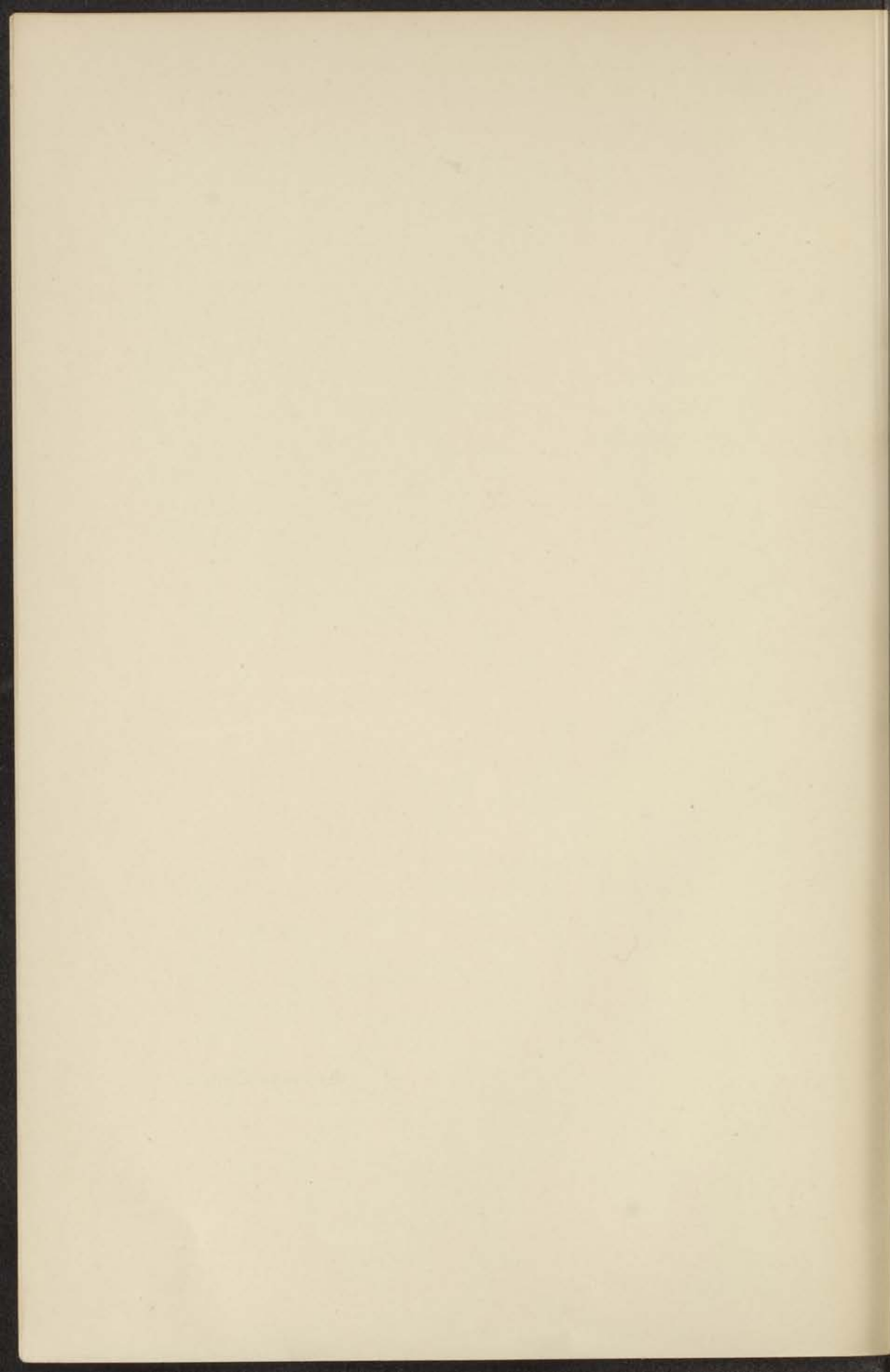
N.V. NOORD-HOLLANDSCHE UITGEVERSMACHT

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM 1630 TO 1880

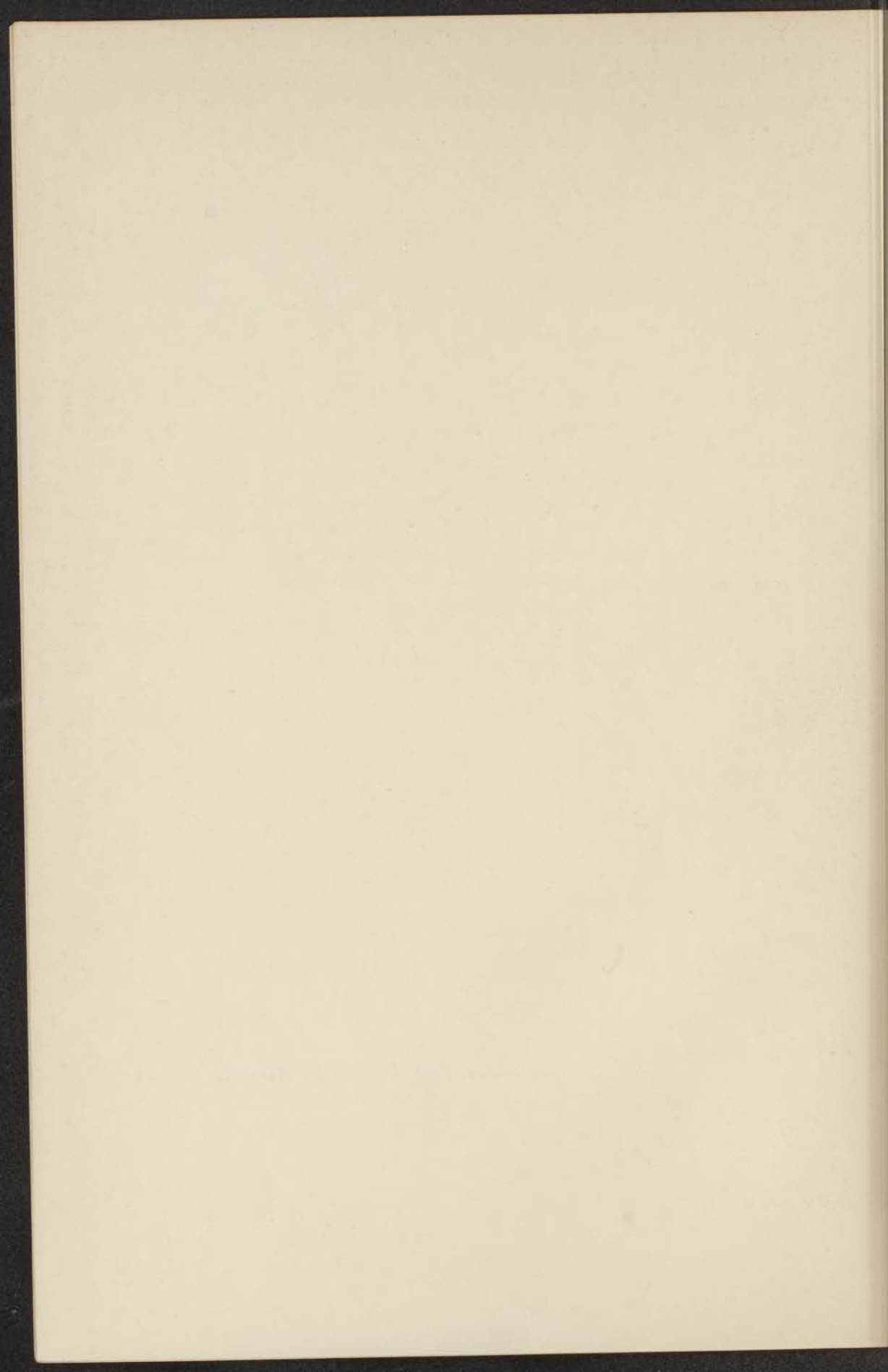
BY
JOHN H. COOPER
Author of "The History of the City of Boston from 1630 to 1880"
and "The History of the City of Boston from 1630 to 1880"

NEW YORK: G. P. PUTNAM'S SONS, 1880.

Aan mijn Ouders.



Promotor: Prof. Dr. W. H. Keesom.



INHOUD

BLADZ.

HOOFDSTUK I. Overzicht	1
§ 1. Inleiding	1
§ 2. Avogadro-schaal	1
§ 3. Historisch overzicht van de onderzoekingen, die voorafgingen aan de definitie van de „Internationale Temperatuurschaal” in het temperatuurgebied van -190°C tot 660°C	5
a. Boven 0°C	5
b. Beneden 0°C	6
§ 4. Definitie van de „Internationale Tempera- tuurschaal” in het temperatuurgebied van -190°C tot 660°C	8
§ 5. Eischen, die moeten worden gesteld aan de „Internationale Temperatuurschaal”	10
§ 6. Discussie van de basis, waarop de definitie van de „Internationale Temperatuurschaal” berust	10
§ 7. Formuleering van het onderzoek	11
HOOFDSTUK II. A. De platinathermometer	13
§ 1. a. Kort overzicht	13
b. Constructie van platinathermometers te Leiden	14
§ 2. Voorschriften met betrekking tot de inter- nationale temperatuurschaal voor den platinathermometer	16
§ 3. Ouderen van den platinathermometer	16
§ 4. Berekening van de constanten van den platinathermometer en invloed van de meet- fouten van de calibratiepunten	24
§ 5. De weerstandsmetingen	29
§ 6. Ijspunt	30
§ 7. Stoompunt	31
§ 8. Zwavelpunt	35
§ 9. Zuurstofpunt	40
§ 10. Ijking van de thermometers	42

	B. De heliumthermometer	48
	§ 11. Apparatuur	48
HOOFDSTUK III.	Vergelijking van den platinathermometer met den heliumthermometer	51
	§ 1. Beschrijving van cryostaat en apparatuur om baden van constante temperatuur te verkrijgen	51
	§ 2. Vergelijking van de platinathermometers met den heliumthermometer	55
	§ 3. De resultaten van de metingen	56
HOOFDSTUK IV.	Bespreking van de resultaten	63
	§ 1. Vergelijking van platinathermometers onderling	63
	§ 2. Vergelijking van de platinathermometers met den heliumthermometer	64
	§ 3. Vergelijking met de resultaten van andere onderzoekers	68
	§ 4. Verloop van de weerstandslijnen	69
	Summary	72

HOOFDSTUK I.

Overzicht.

§ 1. *Inleiding.*

In 1927 werd op de „7e Conférence Générale des Poids et Mesures”, te Parijs gehouden, het besluit genomen een temperatuurschaal vast te leggen in het temperatuurgebied van -190°C tot 3400°C . Deze schaal werd de „Internationale Temperatuurschaal” genoemd¹⁾.

Het voorstel tot het nemen van dit besluit ging uit van: het „Bureau of Standards” te Washington, het „National Physical Laboratory” te Teddington en de „Physikalisch-Technische Reichsanstalt” te Charlottenburg. Wat betreft de lage temperaturen, hadden deze instellingen overleg gepleegd met het „Kamerlingh Onnes Laboratorium” te Leiden.

Het doel, hetwelk met het vastleggen van de internationale temperatuurschaal werd nagestreefd, is het volgende:

In de eerste plaats zal de internationale temperatuurschaal moeten dienen als basis voor de ijking van instrumenten om de temperatuur te meten. Ook zullen de laboratoria van de betrokken staten deze schaal gebruiken als basis voor temperatuurmetingen in wetenschappelijke onderzoekingen. Aan andere wetenschappelijke onderzoekers wordt aangeraden hetzelfde te doen²⁾.

Het is niet de bedoeling de Avogadro-temperatuurschaal³⁾ te vervangen door de internationale temperatuurschaal.

§ 2. *Avogadroschaal*⁴⁾.

Om de Avogadroschaal te definieeren, nemen we aan, dat er in

¹⁾ Voor de definitie van deze schaal zie § 4, hoofdstuk I.

²⁾ Comptes Rendus des Séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures, 1927, blz. 94.

G. K. BURGESS, Bur. Stand. J. Res., 1, 640, 1928.

F. HENNING en J. OTTO, Z. Phys., 49, 729, 1928; Reichsministerialblatt, 3 April 1928, N^o. 17.

³⁾ Zie hoofdstuk I, § 2.

⁴⁾ Zie J. J. M. VAN SANTEN, Diss. Leiden 1934, hoofdstuk I.

een bepaald temperatuurgebied één of meer gassen bestaan, waarvoor in een gebied van kleine dichtheden, binnen de grenzen van een bepaalde nauwkeurigheid, de wet van BOYLE geldt. De toestand, waarin het gas dan verkeert, wordt de Avogadrotoestand van het gas genoemd¹⁾.

De eigenschappen van een gas, wat betreft temperatuur, druk en volume, kunnen met voldoende nauwkeurigheid worden beschreven met de empirische toestandsvergelijking van KAMERLINGH ONNES²⁾,

$$pv_A = A_A \left(1 + \frac{B}{v_A} + \frac{C}{v_A^2} + \dots \right) \dots \dots (1)$$

waarin A_A , B , C , ... nog slechts functies van de temperatuur zijn. In den Avogadrotoestand voldoet het gas binnen de grenzen van de experimenteele nauwkeurigheid aan de betrekking:

$$pv_A = A_A \dots \dots \dots (2)$$

Men kan zich voorstellen, dat met een gasthermometer, gevuld met gas in den Avogadrotoestand, temperaturen worden gemeten. Men kan dan invoeren eene schaal van temperaturen T_A , waarvoor geldt:

$$T_{A_1} : T_{A_2} = A_{A_1} : A_{A_2} \dots \dots \dots (3)$$

Wordt het verschil in temperatuur van smeltend ijs en kokend water, beide onder normale omstandigheden³⁾, 100 genoemd, dan is:

$$T_A = \frac{A_A \times 100}{A_{A_{100}} - A_{A_0}} \dots \dots \dots (4)$$

1) H. KAMERLINGH ONNES en W. H. KEESOM, Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, Suppl. N^o. 23, § 39 en § 82a.

H. KAMERLINGH ONNES, Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, N^o. 156a, § 2.

W. H. KEESOM en H. KAMERLINGH ONNES, Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, Suppl. N^o. 51a, blz. 4.

2) H. KAMERLINGH ONNES, Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, N^o. 71.

3) Voor een nauwkeuriger omschrijving van hetgeen wordt verstaan onder smeltend ijs en kokend water, beide onder normale omstandigheden, zie hoofdstuk II, § 6 en § 7.

Deze schaal van temperaturen wordt genoemd de theoretische Avogadroschaal¹⁾.

Als instrument om nauwkeurig temperaturen te meten, wordt de gasthermometer gebruikt. Onder den normalen heliumthermometer verstaat men een gasthermometer van constant volume²⁾, gevuld met helium onder een druk van $\frac{100}{76} \times$ de normale atmosfeer bij 0°C³⁾.

De temperatuurschaal, welke is gebaseerd op de aanwijzingen van den normalen heliumthermometer, en gedefinieerd wordt door de betrekking:

$$T_{n. He} = \frac{P}{P_{100} - P_0} \cdot 100, \dots \dots \dots (5)$$

wordt de schaal van den normalen heliumthermometer genoemd⁴⁾.

Men voere de volgende grootheden in:

$$a_A = \frac{1}{T_0} = \frac{A_{100} - A_0}{100 A_0} \quad 5) \dots \dots \dots (6)$$

$$a_{n. He}^{0-100} = \frac{P_{100} - P_0}{100 p_0} \dots \dots \dots (7)$$

$a_{n. He}^{0-100}$ = fundamenteele spanningscoëfficiënt,

$a_{n. He}^{0-100}$ = (fundamenteele) normale spanningscoëfficiënt, als

$$p_0 = \frac{100}{76} \times \text{normale atmosfeer.}$$

¹⁾ We merken op, dat de theoretische Avogadroschaal overeenstemt met de Kelvinschaal, (vgl. Suppl. N^o. 51a; J. J. M. VAN SANTEN, Diss. Leiden 1934, blz. 3.)

²⁾ P. G. CATH, Diss. Leiden 1917, blz. 41; Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, N^o. 152a, fig. 1.

³⁾ De normale atmosfeer bedraagt te Leiden: 75.9529 cm Hg.

W. H. KEESOM en H. KAMERLINGH ONNES, Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, Suppl. N^o. 51a, blz. 11, noot 1.

⁴⁾ W. H. KEESOM en H. KAMERLINGH ONNES, Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, Suppl. N^o. 51a, blz. 7.

⁵⁾ Ter vereenvoudiging worden in de volgende formules de grootheden

$$A_{A_{100}}, A_{A_0}, \text{ enz.}$$

vervangen door

$$A_{100}, A_0, \text{ enz.}$$

De volgende temperatuurschalen kunnen dan worden gedefinieerd:
De Celsius-Avogadroschaal door:

$$t_{A.\alpha} = \frac{1}{\alpha_A} \frac{A - A_0}{A_0} = T_{A.\alpha} - \frac{1}{\alpha_A} \dots \dots \dots (8)$$

De Celsiusschaal van den normalen heliumthermometer door:

$$t_{n.He} = \frac{p - p_0}{p_{100} - p_0} 100 = \frac{1}{\alpha_{n.He}^{0-100}} \frac{p - p_0}{p_0} = T_{n.He} - \frac{1}{\alpha_{n.He}^{0-100}} \dots (9)$$

Men kan afleiden:

$$\alpha_{n.He}^{0-100} = \alpha_A + \frac{(1 + 100 \alpha_A)}{100} \cdot \frac{100}{76} \cdot (B_{100} - B_0) \dots \dots (10)$$

(vgl. Suppl. N^o. 78, formule 15)¹⁾

Met behulp van betrekking (10) kan α_A worden berekend uit:

$$\alpha_{n.He}^{0-100} = 0.0036607^2 \quad 2).$$

$$B_{100} - B_0 = -0.021^4 \cdot 10^{-3} \quad 3)$$

Voor α_A vindt men dan:

$$\alpha_A = 0.0036610^7, \text{ waaruit volgt: } T_0 = 273.14^4.$$

De correcties van de Celsiusschaal van den normalen heliumthermometer tot de Celsius-Avogadroschaal worden gegeven door de betrekking:

$$t_{A.\alpha} - t_{n.He} = -t \frac{\alpha_A^{0-100} - \alpha_{n.He}}{\alpha_A} - T (B - B_0) \frac{100}{76} = \left. \begin{aligned} &= \{ 3.731 t \alpha_A (B_{100} - B_0) - T (B - B_0) \} \frac{100}{76} \end{aligned} \right\} \dots (11)$$

(vgl. Suppl. N^o. 78, formules 14 en 16)

¹⁾ W. H. KEESOM en W. TUYN, Trav. et Mém. du bur. int., t. 20; Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, Suppl. N^o. 78.

²⁾ W. H. KEESOM, Miss H. v. D. HORST en K. W. TACONIS, Physica, 's-Grav., 1, 324, 1933—1934; Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, N^o. 230d, blz. 8.

³⁾ W. H. KEESOM en J. J. M. VAN SANTEN, Proc. roy. Acad. Amsterdam, 36, 813, 1933; Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, N^o. 227b.

Deze correcties kunnen worden berekend uit de vorige gegevens en uit de kennis van $B - B_0$ ¹⁾.

Men kan dus uit een bepaling van een druk p , gedaan met een gasthermometer van constant volume, en uit de kennis van p_0 , $\alpha_{n, He}$, $B_{100} - B_0$ en $B - B_0$ de daarbij behorende temperatuur $t_{A, \alpha}$ berekenen.

§ 3. *Historisch overzicht van de onderzoekingen, die voorafgingen aan de definitie van de „Internationale Temperatuurschaal” in het temperatuurgebied van -190°C tot 660°C .*

a. *Boven 0°C .*

CALLENDAR en GRIFFITHS^{2) 3)} vonden voor de afhankelijkheid van den weerstand van een platinadraad als functie van de temperatuur voor $0^\circ\text{C} < t < 500^\circ\text{C}$

$$t = \frac{R_t - 1}{\alpha} + \delta \frac{t}{100} \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \dots \dots (12)$$

waarin

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} \dots \dots \dots (13)$$

De constante α wordt bepaald uit een weerstandsmeting bij het kookpunt van water, terwijl δ wordt bepaald uit een weerstandsmeting bij het kookpunt van zwavel.

Door HEYCOCK en NEVILLE⁴⁾ werd hetzelfde verband gevonden.

Waidner en BURGESS⁵⁾ ijkten platinathermometers onder de aanname, dat het kookpunt van zwavel bij $444,7^\circ\text{C}$ ligt.

Chappuis en Harker⁶⁾ vergeleken 2 platinathermometers

¹⁾ W. H. KEESOM en W. TUYN, Trav. et Mém. du bur. int., t. 20; Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, Suppl. N^o. 78.

²⁾ H. L. CALLENDAR en E. H. GRIFFITHS, Phil. Trans., 182A, 119—157, 1891.

³⁾ H. L. CALLENDAR, Phil. Trans., 178A, 161—230, 1887.

⁴⁾ C. T. HEYCOCK en J. H. NEVILLE, Phil. Trans., 189A, 25—69, 1897.

⁵⁾ C. W. Waidner en G. K. BURGESS, Bull. Bur. Stand., 6, 149—230, 1910.

⁶⁾ P. CHAPPUIS en J. H. HARKER, Phil. Trans., 194A, 27—134, 1900; Trav. et Mém. du bur. int., 12, 1—98, 1902.

$\left(\frac{R_{100}}{R_0} = 1.386\right)$ met een stikstofthermometer van constant volume. Onder de aanname, dat het kookpunt van zwavel ligt bij 445.27°C , stemden tusschen 0 en 100°C de aanwijzingen van de platinathermometers overeen met de internationale waterstofschaal¹⁾ tot op 0.01 à 0.02 graad. Boven 200°C bedroeg het verschil in aanwijzing 0.1 à 0.2 graad.

DICKINSON en MUELLER²⁾ vergeleken bij 30, 40, 50, 60 en 70°C platinathermometers met kwikthermometers, die direct waren vergeleken met den internationalen waterstofthermometer. De temperaturen, berekend uit de kwadratische formule, stemden tot op 0.002 graad overeen met de temperatuuraanwijzingen van de kwikthermometers.

HOLBORN en HENNING³⁾ vergeleken 2 platinathermometers $\left(\frac{R_{100}}{R_0} = 1.391\right)$ tusschen 200°C en 400°C met den stikstofthermometer van constant volume en vonden, dat in dit temperatuurgebied de kwadratische formule, binnen de grenzen van de nauwkeurigheid van waarneming met den gasthermometer, volledig werd bevestigd.

In 1921 vergeleken HENNING en HEUSE⁴⁾ deze 2 platinathermometers met den gasthermometer tusschen 0 en 100°C ; het verschil tusschen de temperatuur, berekend uit de kwadratische formule, en die der thermodynamische schaal, bedroeg maximaal 0.01 graad.

b. Beneden 0°C .

In 1901 had HOLBORN⁵⁾ beneden 0°C den platinathermometer vergeleken met den gasthermometer. Hij vond, dat beneden -40°C de kwadratische formule haar geldigheid verliest. Bij de temperatuur van vloeibare lucht (-193°C) zijn de temperaturen berekend uit de kwadratische formule ongeveer 2 graad te laag.

¹⁾ De internationale waterstoftemperatuurschaal werd gebaseerd op de temperatuuraanwijzingen van een waterstofthermometer van constant volume, gevuld met waterstof onder een druk van $\frac{100}{76} \times$ de normale atmosfeer bij 0°C .

²⁾ H. C. DICKINSON en W. MUELLER, Bull. Bur. Stand., 3, 641—661, 1907.

³⁾ L. HOLBORN en F. HENNING, Ann. Physik., (4) 35, 761—774, 1911.

⁴⁾ F. HENNING en W. HEUSE, Z. Phys., 6, 215, 1921; Wissenschaftliche Abhandlungen der PTR, Charlottenburg, 5, 341, 1922.

⁵⁾ L. HOLBORN, Ann. Physik, (4) 62, 42, 1902.

VAN DUSEN¹⁾ stelt den weerstand R_t van een platinathermometer als functie van de temperatuur tusschen 0 en -190°C voor door de betrekking:

$$t = \frac{R_t - 1}{\alpha} + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100} + \beta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t^3}{100^3}. \quad (14)$$

α en δ hebben dezelfde beteekenis als in vergelijking (12), terwijl β wordt bepaald uit een meting van den weerstand van den platinathermometer bij het kookpunt van zuurstof.

HENNING²⁾ vergeleek in 1913 diverse platinathermometers met den waterstofthermometer. Voor één van zijn thermometers (*Pt 32*) stelde hij een tabel samen van den weerstand als functie van de temperatuur. Tusschen de gereduceerde weerstanden $r \left(= \frac{R_t}{R_0} \right)$ van 2 platinathermometers bestaat het volgende verband:

$$\Delta r = M(r-1) + N(r-1)^2,$$

M en N zijn constanten. Zij werden bepaald door de thermometers te vergelijken bij het sublimatiepunt van CO_2 en het kookpunt van O_2 . Verder bepaalde hij³⁾ met 2 van zijn thermometers het kookpunt van zuurstof.

In 1924 vergeleken HENNING en HEUSE⁴⁾ opnieuw den platinathermometer met den heliumthermometer.

Hun resultaten konden worden voorgesteld door de formule:

$$\frac{R_t}{R_0} = 1 + at + bt^2 + ct^4.$$

a , b en c zijn constanten, te bepalen uit:

- 1^o. Stolpunt van kwik,
- 2^o. Sublimatiepunt van koolzuur,
- 3^o. Kookpunt van zuurstof.

1) M. S. VAN DUSEN, J. chem. Soc., 47, 326, 1925.

2) F. HENNING, Ann. Physik, (4) 40, 635, 1913.

3) F. HENNING, Ann. Physik, (4) 43, 282, 1914.

4) F. HENNING en W. HEUSE, Z. Phys., 23, 95, 1924.

Deze formule geeft de resultaten van hun metingen vrij goed weer. Eveneens werd het kookpunt van zuurstof nog eens bepaald door een directe meting met den heliumthermometer¹⁾. Het resultaat dezer meting wordt vermeld bij de bespreking van het zuurstofpunt (hoofdstuk II, § 9).

HOLST²⁾ vond, dat de temperatuurschaal van het Leidsche Laboratorium bij -40°C 0.05 graad hoger is dan die van de PTR. Een vergelijking van den PTR-platinathermometer N^o. 32 met een Leidschen platinathermometer gaf inderdaad dit verschil.

KEYES, TOWNSHEND en YOUNG³⁾ vonden, dat de Callendar-temperatuur⁴⁾ bij -40°C 0.05 graad lager was dan de Celsius-Avogadrotemperatuur; bij -88°C waren ze gelijk, beneden -88°C werd de Callendar-temperatuur hoger dan de Celsius-Avogadro-temperatuur. De gebruikte platinathermometer voldeed niet aan de voorschriften van de internationale temperatuurschaal (zie § 4), $\frac{R_{100}}{R_0}$ was nl. < 1.39 ; bovendien was de thermometer niet spanningsvrij gewikkeld. Het afwijkend gedrag van dezen platinathermometer kan hierdoor worden verklaard.

§ 4. Definitie van de „Internationale Temperatuurschaal” in het temperatuurgebied van -190°C tot 660°C .

De internationale temperatuurschaal is gebaseerd op een serie vaste, gemakkelijk te verwezenlijken evenwichtstemperaturen, en op de aanwijzingen van interpolatie-instrumenten, geijkt bij die basispunten.

Voor het bovengenoemde temperatuurgebied komen als basispunten in aanmerking:

a. Evenwichtstemperatuur van vloeibare en gasvormige zuurstof bij een druk van één normale atmosfeer:

$$t = -182.97^{\circ}\text{C} \text{ (zuurstofpunt).}$$

¹⁾ F. HENNING en W. HEUSE, Z. Phys., 23, 105, 1924.

²⁾ G. HOLST, Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, N^o. 148a, 8—10, 1915.

³⁾ F. G. KEYES, B. TOWNSHEND en L. H. YOUNG, J. of Math. and Phys., Massach. Inst. of Technology, 1, 243, 1922.

⁴⁾ De Callendartemperaturen zijn de temperaturen, die worden gegeven door formule (12) van dit hoofdstuk, § 3.

b. Temperatuur van ijs van gedestilleerd water in evenwicht met gedestilleerd water, dat is verzadigd met lucht, bij een druk van één normale atmosfeer:

$$t = 0.000^{\circ}\text{C} \text{ (ijspunt).}$$

c. Temperatuur van vloeibaar water in evenwicht met zijn damp bij een druk van één normale atmosfeer:

$$t = 100.000^{\circ}\text{C} \text{ (stoompunt).}$$

d. Temperatuur van vloeibare zwavel in evenwicht met haar damp bij een druk van één normale atmosfeer:

$$t = 444.60^{\circ}\text{C} \text{ (zwavelpunt).}$$

I. Van het ijspunt af tot aan 660°C wordt de temperatuur $t_{int.} = t$ afgeleid uit den weerstand R_t van een platinathermometer door middel van de betrekking:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) (15)$$

De constanten A , B en R_0 worden bepaald door ijking van den thermometer bij het ijspunt, het stoompunt en het zwavelpunt.

De zuiverheid van den platinadraad moet zoodanig zijn dat:

a. $\frac{R_t}{R_0}$ grooter is dan 1.39 voor $t = 100^{\circ}\text{C}$,

b. $\frac{R_t}{R_0}$ grooter is dan 2.645 voor $t = 444.6^{\circ}\text{C}$.

II. Van -190°C tot aan het ijspunt wordt de temperatuur t afgeleid uit den weerstand R_t van een platinathermometer door middel van de betrekking:

$$R_t = R_0 \{1 + At + Bt^2 + Ct^3(t-100)\} . . . (16)$$

R_0 , A en B worden op dezelfde wijze bepaald als onder I is aangegeven, waarbij dan de term met C wordt weggelaten; C wordt bepaald door den thermometer te ijken bij het kookpunt van zuurstof.

De zuiverheid van den platinadraad moet zoodanig zijn, dat:

- a. Voldaan wordt aan de onder I genoemde voorwaarden,
- b. $\frac{R_t}{R_0}$ kleiner is dan 0.250 voor $t = -183^\circ\text{C}$.

De verdere voorschriften met betrekking tot de internationale temperatuurschaal worden ter sprake gebracht bij de meer uitvoerige beschrijving van de basispunten en van den platinathermometer.

§ 5. *Eischen, die moeten worden gesteld aan de „Internationale Temperatuurschaal”.*

Het is duidelijk, dat men aan de internationale temperatuurschaal, waarop men nauwkeurige temperatuurmetingen wil vastleggen, de volgende eischen moet stellen:

- a. De temperatuurschaal moet reproduceerbaar zijn en wel met de nauwkeurigheid, die men bij de metingen bereikt.

Voor de in § 4 gedefinieerde temperatuurschaal wil dit zeggen, dat 2 platinathermometers, die voldoen aan de gestelde eischen en zijn geijkt volgens de voorschriften van de internationale temperatuurschaal, dezelfde aanwijzingen moeten geven binnen de grenzen van de meetnauwkeurigheid, indien men ze op dezelfde temperatuur houdt.

- b. De internationale temperatuurschaal moet overeenkomen met de Avogadroschaal (zie § 2) binnen de grenzen van de experimenteele nauwkeurigheid, tenzij men de verschillen tusschen de Avogadroschaal en de internationale temperatuurschaal bepale met denzelfden graad van nauwkeurigheid.

Eisch a. is een voorwaarde sine qua non.

Over de te bereiken meetnauwkeurigheid wordt in hoofdstuk II een uitvoeriger beschouwing gegeven.

§ 6. *Discussie van de basis, waarop de definitie van de „Internationale Temperatuurschaal” berust.*

Door KEESOM¹⁾ werd in 1929 een uitvoerige beschouwing gegeven over de experimenteele basis²⁾, waarop de internationale

¹⁾ W. H. KEESOM, *Physica*, 's-Grav., 9, 385, 1929; *Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden*, Suppl. N^o. 67b.

²⁾ Over de experimenteele gegevens na 1929 zij verwezen naar hoofdstuk IV, § 3 van dit proefschrift.

temperatuurschaal berust, wat betreft het gebied van de lage temperaturen.

Hieraan wordt het volgende ontleend:

Een analyse van de experimenteele gegevens, waarop de internationale temperatuurschaal berust, toont aan, dat het niet zeker is, dat deze schaal reproduceerbaar is met een graad van nauwkeurigheid van 0.02 graad en dat de overeenstemming met de Avogadro-schaal slechts zeker kan worden genoemd met een nauwkeurigheid van 0.04 graad.

In het bijzonder zijn de onderzoeken van VAN DUSEN¹⁾ wat betreft § 5 eisch *b* zeer onvolledig geweest. Het experimenteele materiaal, dat ten dienste staat om de internationale temperatuurschaal te vergelijken met de Avogadroschaal is zeer gering. Bovendien kan de vergelijking slechts op zeer indirecte wijze gebeuren; een directe vergelijking van den platinathermometer met den gasthermometer heeft niet plaats gevonden. Ook zijn de experimenteele gegevens niet voldoende om te beoordeelen, of platinadraden van verschillende herkomst een reproduceerbare temperatuurschaal geven. Het experimenteele materiaal heeft n.l. slechts betrekking op draden van dezelfde herkomst.

Op grond hiervan kon het Kamerlingh Onnes-Laboratorium te Leiden voorsnog niet overgaan tot het standaardiseeren van zijn temperaturen op de „Internationale Temperatuurschaal”.

§ 7. *Formuleering van het onderzoek.*

Gewenscht was dus een onderzoek, waarbij het volgende op den voorgrond trad:

a. Vervaardiging van een aantal platinaweerstandsthermometers, die voldoen aan de voorschriften, geformuleerd in § 5.

De draden van deze thermometers moeten van verschillende herkomst zijn.

β. Een onderzoek naar de reproduceerbaarheid van de internationale temperatuurschaal, voor zoover deze gebaseerd kan worden op deze platinathermometers.

γ. Een onderzoek naar het onder § 5 sub *b* genoemde, waarbij moet worden opgemerkt, dat vooral is gewenscht, een onderzoek in te stellen bij een temperatuur van ongeveer -150°C .

¹⁾ M. S. VAN DUSEN, J. chem. Soc., 47, 326, 1925.

De term $Ct^3(t-100)$ heeft dan een waarde van ongeveer 0.8 à 0.9 graad in plaats van 0.08 graad bij -78°C , de temperatuur, waarbij VAN DUSEN zijn vergelijking heeft uitgevoerd.

Er moet op gewezen worden, dat in het bijzonder een directe vergelijking met den gasthermometer plaats vinde.

In de volgende hoofdstukken wordt een zoodanig onderzoek nader beschreven.

HOOFDSTUK II.

A. De platinathermometer.

§ 1. a. Kort overzicht.

In de litteratuur worden diverse vormen van platinathermometers beschreven.

De eerste platinathermometer werd vervaardigd door SIEMENS¹⁾; een platinadraad gespiraliseerd op een aarden pijp, beschermd door een ijzeren buis. Deze vorm voldeed echter niet in de practijk.

CALLENDAR²⁾ construeerde een thermometer door een draad te wikkelen op een lichaam van mica. Dit model wordt in Engeland nog zeer veel gebruikt.

JAEGER en VON STEINWEHR³⁾ gebruikten een met zijde geïsoleerden draad, getrokken door een metalen capillaire buis. Deze constructie heeft het groote bezwaar, dat de thermometer niet vrij is van groote thermokrachten.

Bij het Bureau of Standards is voor zeer nauwkeurige thermometrische doeleinden het zoogenaamde „strain-free type” in gebruik; een platinadraad spanningsvrij gewonden op een geraamte van mica. Een uitvoerige beschrijving geeft SLIGH⁴⁾.

De PTR gebruikt in het algemeen een lichaam van porcelein, hetzij een kruisvorm, hetzij een cylinder, waarin een spiraal is gegroefd. Deze modellen zijn beschreven door HENNING en HOLBORN^{5) 6) 7)}.

De eerste platinathermometer te Leiden⁸⁾ was een platinadraad,

¹⁾ W. V. SIEMENS, Proc. roy. Soc. London, 19, 351, 1871.

²⁾ H. L. CALLENDAR, Phil. Mag., (5) 32, 104, 1891.

³⁾ H. JAEGER en W. VON STEINWEHR, Z. Instrum.-kde, 26, 237, 1906.

⁴⁾ F. S. SLIGH, Sci. Pap. Bur. Stand., 17, 49, 1921.

⁵⁾ L. HOLBORN, Ann. Physik, (4) 6, 242, 1901.

⁶⁾ L. HOLBORN en F. HENNING, Ann. Physik, (4) 35, 761, 1911.

⁷⁾ F. HENNING, Ann. Physik, (4) 40, 635, 1913.

⁸⁾ B. MEILINK, Versl. Kon. Akad. Amsterdam, Febr. 1902; Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, N^o. 77.

bifilair gelegd in een spiraalvormigen groef in een glazen cylinder. J. A. HALL¹⁾ heeft het volgende model beschreven: een platina-draad bifilair gewikkeld op een kwartskruis met rechthoekige tanden.

b. Constructie van platinathermometers te Leiden.

10. Gebruikt werd een porceleinen cylinder, waarin een dubbel-spiraalvormige groef was gebakken²⁾. In het lichaam zijn aan het ééne uiteinde gaatjes geboord voor het bevestigen van de toevoerdraden. De draad wordt zooveel mogelijk spanningsvrij bifilair in den groef aangebracht. Aan ieder uiteinde van den draad worden met een zuurstofvlam 2 toevoerdraden van platina gelascht (fig. 1).

20. Ook werd een thermometer vervaardigd, waarbij een platina-draad bifilair werd gewikkeld op een kwartskruis. Deze constructie is analoog aan die, beschreven door J. A. HALL¹⁾.

Het kwartskruis werd op de volgende wijze vervaardigd: In 4 kwartsreepen (zie fig. 2a) werden rechthoekige tanden uitgefraisd, die werden omgesmolten met een zuurstof-waterstofvlam. In de boven-uiteinden van deze kwartsreepen werden gaatjes geboord om de toevoerdraden te bevestigen. Afmetingen van de kwartsreepen: Lengte 120 mm, breedte 5 mm, dikte 1.2 mm, diepte tanden 0.5 mm. De 4 kwartsreepen werden aan de uiteinden bevestigd in houders van kwarts (zie fig. 2b), waarin ze werden vastgesmolten met een zuurstof-waterstofvlam. Na de constructie werden kwartskruis en de daarop gewonden draad gedurende 24 uur behandeld met kokend salpeterzuur, daarna uitgekookt in gedestilleerd water. Na het ouderen van den thermometer werd deze geplaatst, of in een gesloten hardglazen buis van 50 cm lengte, of in een beschermingsbuisje, voorzien van gaatjes, om in onmiddellijk contact te zijn met het vloeistofbad. Voor de metingen bij 0, 100 en 444.6°C moest deze buis worden vervangen door een gesloten buis. Aan het uiteinde van de gesloten hardglazen buis is een fibrering *F* bevestigd, die 4 houders *K* draagt om de platinatoevoerdraden te bevestigen. Aan deze houders worden de toevoerdraden van koper gesoldeerd (zie fig. 3). Deze houders werden omgeven door een metalen huis *H*; op deze wijze werden de contactplaatsen van het platina

¹⁾ J. A. HALL, J. sci. Instrum., 1, 4, 1933.

²⁾ H. KAMERLINGH ONNES en G. HOLST, Commun. Kamerlingh Onnes Lab. Leiden, N^o. 141a, § 4.

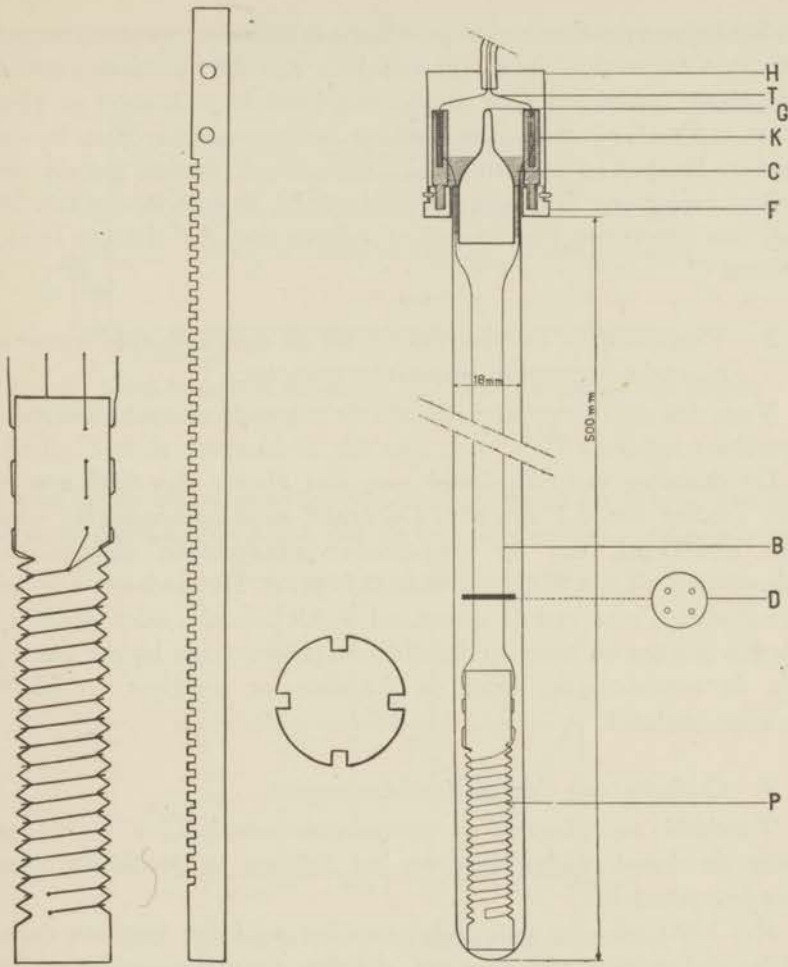


Fig. 1.

Fig. 2a.

Fig. 2b.

Fig. 3.

Fig. 1. *Porceleintje met platinadraad.*

Fig. 2. *Kwartsreep (2a), Houder van Kwarts (2b).*

Fig. 3. *Volledig gemonteerde thermometer.*

P = porceleintje met platinadraad.

D = glasplaatje.

B = toevoerdraad.

F = fibrering.

C = de Khotinski cement.

K = houder ter bevestiging van den platinadraad en toevoerdraad.

G = glazen buisje, dat, nadat de thermometer met helium is gevuld, wordt afgesmolten.

T = toevoerdraad.

H = koperen huis.

en het koper op uniforme temperatuur gehouden en werden thermocrachten vermeden. In de glazen buis zijn de toevoerdraden *B* van elkaar geïsoleerd door middel van hardglazen buisjes en glasplaatjes *D*; deze laatste dienen tevens om convectiestromen te vermijden. De buizen werden goed geëvacueerd; daarna gevuld met helium onder een druk van 50 cm kwik bij kamertemperatuur. De kop van den thermometer werd afgesloten met de Khotinski cement *C*.

§ 2. *Voorschriften met betrekking tot de internationale temperatuurschaal voor den platinathermometer.*

Voor den platinathermometer zijn de volgende voorschriften vastgesteld:

De diameter van den draad mag niet kleiner dan 0.05 mm en niet grooter dan 0.2 mm zijn. De draad moet op zoodanige wijze zijn gewikkeld, dat bij temperatuurveranderingen mechanische spanningen tot een minimum worden beperkt. Het gedeelte van den thermometer, waarvan de weerstand wordt bepaald, moet geheel uit platina bestaan en moet op dezelfde temperatuur zijn bij een meting. Na de vervaardiging moet de thermometer minstens op 660°C worden gegloeid.

§ 3. *Ouderen van den platinathermometer.*

Teneinde reproduceerbare temperatuurmetingen te verkrijgen, moet de draad, nadat deze op het lichaam is gewikkeld, eerst worden geouderd.

Het blijkt n.l., dat tengevolge van het wikkelen van den draad kleine deformaties zijn ontstaan, die den draad ongeschikt maken voor nauwkeurige temperatuurmetingen.

Uit onderzoekingen van CREDNER¹⁾ is het volgende gebleken: Wordt van een gedeformeerden draad de weerstand bij het smeltpunt van ijs gemeten vóór- en nadat deze draad op een bepaalde temperatuur is gegloeid, dan is de weerstand in deze 2 gevallen niet dezelfde; hij is na het gloeien kleiner dan daarvoor.

Na eenige uren gloeien op die temperatuur neemt de ijspuntsweerstand een constante waarde aan. Wordt de gloeitemperatuur

¹⁾ F. CREDNER, Z. Physik. Chemie, 82, 4, 457—504, 1913.

hooger genomen, dan blijkt de daling van den ijspuntsweerstand groter te zijn (zie fig. 4).

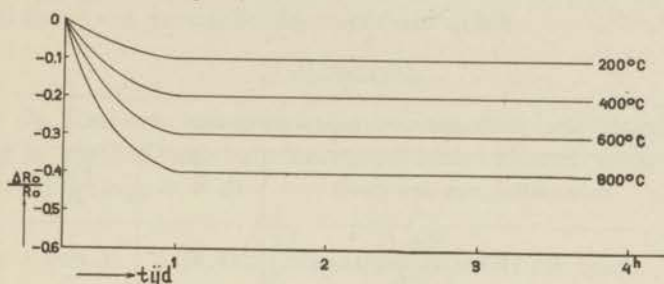


Fig. 4. Veranderingen in % van R_0 als functie van den tijd van gloeien.

In fig. 5 is de eindwaarde, die men voor $\frac{\Delta R_0}{R_0}$ verkrijgt (na lang gloeien op de betreffende temperatuur), uitgezet als functie van de gloeitemperatuur. Het blijkt, dat de ijspuntsweerstand een minimum

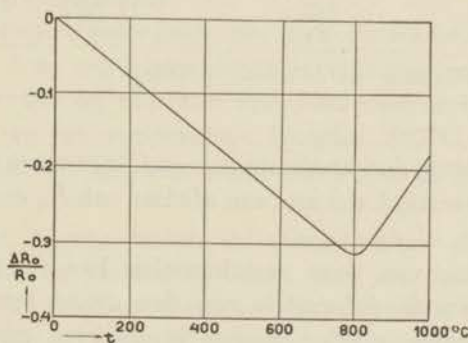


Fig. 5. $\frac{\Delta R_0}{R_0}$ in % als functie van de gloeitemperatuur.

wordt, als de draad wordt gegloeid op ongeveer 840°C . Deze waarden hebben steeds betrekking op een platinadraad.

Gloeit men een platinadraad boven 840°C , dan neemt de ijspuntsweerstand weer snel in waarde toe¹⁾.

¹⁾ Litteratuur over deze verschijnselen in het algemeen:

F. CREDNER, Z. Physik. Chemie, **4**, 457—504, 1913.

P. COHN, Wiedemann Ann., **41**, 71, 1890.

BERGMANN, Wiedemann Ann., **36**, 783, 1889.

Over platina in het bijzonder:

L. HOLBORN, Ann. Physik, (4) **59**, 145, 1919.

Deze conclusies werden door ons getoetst aan een platinadraad, gewonden op een kwartskruis. De resultaten zijn vermeld in tabel I.

TABEL I.

Ouderen van een platinadraad.		
Behandeling van den draad.	R_0 in Ω .	$\frac{R_{100}}{R_0}$
Draad van HERAEUS, gewikkeld.	19.3017	1.3893
5 uur gegloeid op 750°C in N ₂ .	19.2477	1.3905
5 840	19.2317	1.3907 ⁵
10 840 ¹⁾	19.2262 ⁴	1.3907 ⁷
8 840	19.2263 ⁴	1.3907 ⁴
5 870	19.2472	1.3905 ⁵
Nauwkeurigheid van de meting 0.0001 Ω .		

Tabel I bevestigt de waarnemingen van CREDNER en van HOLBORN; tevens werd bevestigd, dat met een afname van R_0 een toename van α_0^{100} samengaat.

De verklaring van deze verschijnselen kan de volgende zijn: Tengevolge van de deformatie van den draad treden scheurtjes op; bij het gloeien worden nieuwe kristallieten gevormd, die de scheurtjes opvullen. Naarmate de gloeitemperatuur stijgt, worden er meer kristallieten gevormd, die het proces voltooien; de weerstandsafname kan nu worden verklaard door het verdwijnen van deze scheuren. Dit proces zet zich voort tot 840°C, bij welke temperatuur een ander verschijnsel begint op te treden, n.l. het sterk groeien van sommige kristallieten ten koste van de andere; hierdoor ontstaan in den draad nieuwe breuken, hetgeen een toename van R_0 tengevolge heeft.

Dat met de afname van R_0 een toename van α_0^{100} samengaat, kan

¹⁾ Het blijkt dus, dat na 5 uur gloeien op 840°C de ijspuntsweerstand van een platinadraad nog niet constant is geworden.

worden verklaard met behulp van den regel van MATTHIESSEN^{1) 2)}. Zooals bekend is, luidt deze regel, dat voor draden van een bepaald metaal maar van verschillende zuiverheid geldt:

$$\Delta R_t = \Delta R_0 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

d.w.z. de door een verontreiniging veroorzaakte weerstandsverandering is onafhankelijk van de temperatuur. Hieruit volgt na een korte berekening:

$$\frac{\Delta R_0}{R_0} = - \frac{\Delta \alpha_0^{100}}{\alpha_0^{100}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

Hieruit zien we dus, dat met een afname van R_0 een toename van α_0^{100} samengaat.

Uit de resultaten van tabel I kan worden afgeleid, dat de gemeten waarden van ΔR_0 binnen 6 % met de volgens formule (2) berekende overeenstemmen.

Uit de proeven blijkt verder, dat men de maximale waarde van α_0^{100} verkrijgt door een platinadraad te verhitten op 840°C; het is ook gebleken, dat R_0 dan een constante waarde blijft behouden. Verhit men tot een temperatuur beneden 840°C, dan blijft R_0 daarna constant, als men den draad niet boven de gloeitemperatuur brengt.

Tijdens het gloeien waren de thermometers geplaatst in een kwartsbuis, die in verbinding stond met een kwikdiffusiepompe. Tusschen de kwikdiffusiepompe en de kwartsbuis was een kwikvanger, omgeven door vloeibare lucht, geplaatst.

Aangezien boven 600°C platina begint te verstuiven, werd in een gasatmosfeer gegloeid; eerst tot 500°C in zuurstof, om oxydeerbare verontreinigingen te verwijderen; daarna werd dit weggepompt en vervangen door stikstof.

De thermometers werden herhaaldelijk in vloeibare lucht gedompeld, totdat dit geen verandering van R_0 meer tengevolge had. Daarna werden de thermometers op de in § 1 beschreven wijze afgemonteerd om te kunnen worden gebruikt voor de metingen met betrekking tot de internationale temperatuurschaal.

¹⁾ A. MATTHIESSEN en C. VOGT, Pogg. Ann., 122, 19, 1864.

²⁾ Zie J. DE BOER, Diss. Leiden, 1935, blz. 2.

In de tabellen II—VII worden de resultaten van het ouderings-procédé vermeld, alsmede de bijzonderheden van deze thermometers. De weerstandsmetingen zijn uitgevoerd met een relatieve nauwkeurigheid van 0.0001Ω volgens de methode van de overgrijpende nevensluiting volgens KOHLRAUSCH.

TABEL II.

Pt 68. Draad van HERAEUS, klos I, 0.1 mm diameter, gewonden op een porceleinen cylinder.			
Datum	R_0 in Ω .	$\frac{R_{100}}{R_0}$	Behandeling.
5—III—'34	12.5009 ⁷		
10—III— ..		1.3894 ³	
13—III— ..			3 uur gegloeid op 480°C in O ₂ .
14—III— ..	12.4949 ⁵		
15—III— ..			3 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 9 uur gegloeid op 725°C in N ₂ .
17—III— ..	12.4521 ⁰		
19—III— ..		1.3908 ⁸	Gekoeld in vloeibare lucht.
20—III— ..			3 uur gegloeid op 450°C in O ₂ .
21—III— ..			8 uur gegloeid op 840°C in N ₂ .
22—III— ..	12.4437 ⁷		
23—III— ..			Gekoeld in vloeibare lucht.
24—III— ..			3 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 6 uur gegloeid op 660°C in N ₂ .
26—III— ..	12.4425 ¹	1.39118 ⁵	
9—IV— ..			2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur gegloeid op 660°C in N ₂ .
23—IV— ..	12.4427 ¹		

De thermometer werd geplaatst in een hard-glazen beschermingsbuis, en gevuld met helium van 50 cm. kwikdruk bij kamertemperatuur; uitwendige diameter beschermingsbuis is 18 mm.

TABEL III.

Pt 71. Draad van HERAEUS, klos I, 0.1 mm diameter, gewonden op een porceleinen cylinder.		
Datum.	R_0 in Ω .	Behandeling.
23-IV-'34	12.5602 ²	2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 5 uur op 800°C in N ₂ . 2 uur gegloeid op 800°C in N ₂ . 3 uur gegloeid op 840°C in N ₂ .
27-IV-..		
28-IV-..		
30-IV-..		2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 10 uur op 800°C in N ₂ .
2-V-..	12.4954 ⁷	
11-V-..		Gekoeld in vloeibare lucht.
14-V-..	12.4950 ⁵	
23-V-..		2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ . 8 uur gegloeid op 840°C in N ₂ .
25-V-..	12.4952 ⁸	
26-V-..		2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur op 840°C in N ₂ .
28-V-..		
4-VI-..		2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur op 840°C in N ₂ .
7-VI-..	12.4932 ⁸	
14-VI-..	12.4932 ²	

De thermometer werd geplaatst in een hard-glazen beschermingsbuisje, dat diverse openingen bezat, zoodat direct warmtecontact tusschen vloeistofbad en thermometerdraad kon plaats vinden.

TABEL IV.

Pt 69. Draad van HERAEUS, klos II, 0.1 mm diameter, gewonden op een kwartskruis.			
Datum.	R_0 in Ω .	$\frac{R_{100}}{R_0}$	Behandeling.
1-III-'34	15.4954 ⁰	1.3891 ⁴	2 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 8 uur op 800°C in N ₂ . 8 uur gegloeid op 800°C in N ₂ .
19-III-..	15.4954 ⁴	1.3892 ³	
22-III-..		1.3904 ⁶	2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 6 uur op 840°C in N ₂ .
23-III-..			
24-III-..	15.4391 ⁶	1.3907 ⁵⁰	3 uur gegloeid op 450°C in O ₂ . 10 uur gegloeid op 800°C in N ₂ .
26-III-..			
28-III-..	15.4327 ¹	1.3907 ⁵⁵	Gekoeld in vloeibare lucht.
10-IV-..			
11-IV-..		2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur op 800°C in N ₂ . 2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur op 400°C in N ₂ .	
12-IV-..	15.4320 ⁰		
14-IV-..		15.4324 ⁷	
18-IV-..			
22-IV-..		15.4323 ⁹	
25-IV-..			
26-IV-..			

De thermometer werd in een gesloten hard-glazen beschermingsbuis geplaatst, gevuld met helium van 50 cm kwikdruk bij kamertemperatuur; uitwendige diameter beschermingsbuis is 15 mm.

TABEL V.

Pt 70. Draad van Bureau of Standards, 0.2 mm diameter, gewonden op porceleinen cylinder.			
Datum	R_0 in Ω .	$\frac{R_{100}}{R_0}$	Behandeling.
19—III—'34	3.4965 ²		
20—III— ..		1.3895 ⁴	
28—III— ..			2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur op 800°C in N ₂ .
11—IV— ..	3.4894 ⁵	1.3914 ⁷	
12—IV— ..			2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur op 800°C in N ₂ .
13—IV— ..			8 uur gegloeid op 840°C in N ₂ .
16—IV— ..	3.4881 ⁶	1.39153 ⁴	
17—IV— ..			2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur op 840°C in N ₂ .
20—IV— ..	3.4880 ⁶	1.39153 ⁹	
21—IV— ..			Gekoeld in vloeibare lucht.
23—IV— ..			2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 6 uur op 800°C in N ₂ .
25—IV— ..	3.4880 ⁴		
2—V— ..	3.4882 ⁴		
10—V— ..			Gekoeld in vloeibare lucht.
11—V— ..			2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 6 uur op 800°C in N ₂ .
14—V— ..	3.4881 ⁷		
			Thermometer gebroken, daarna opnieuw geconstrueerd.
20—IX— ..	3.4309 ⁵	1.39095 ⁶	
21—IX— ..			2 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 9 uur op 820°C in N ₂ .
27—IX— ..	3.4268 ⁶		
1—X— ..			1½ uur gegloeid op 500°C in O ₂ .
25—X— ..			2 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 3 uur op 700°C in N ₂ .
27—X— ..			Gekoeld in vloeibare lucht.
29—X— ..	3.4269 ³		
30—X— ..	3.4270 ¹		
1—XI— ..			2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 7 uur op 780°C in N ₂ .
7—XI— ..	3.4270 ⁹		

De thermometer werd in een gesloten hard-glazen buis geplaatst, gevuld met helium van 50 cm kwikdruk bij 15°C; uitwendige diameter beschermingsbuis is 18 mm.

TABEL VI.

Pt 73. Draad van HERAEUS, klos II, 0.1 mm diameter, gewonden op een porceleinen cylinder.		
Datum.	R_0 in Ω .	Behandeling.
22—II—'34	12.5973 ⁸	
6—III— ..		8 uur gegloeid op 750°C in N ₂ .
9—III— ..	12.6452 ⁸	De weerstandstoename te wijten aan verontreinigingen van koolstof.
19—IX— ..		8 uur gegloeid op 800°C in O ₂ .
20—IX— ..	12.5753 ⁵	
21—IX— ..		2 uur gegloeid op 450°C in O ₂ ; 8 uur op 800°C in N ₂ .
27—IX— ..	12.5744 ⁵	
28—IX— ..		2 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 6 uur op 660°C in N ₂ .
13—X— ..	12.5725 ⁹	
17—X— ..		2 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 6 uur op 700°C in N ₂ .
19—X— ..	12.57327	
De thermometer werd in een gesloten hard-glazen buis geplaatst, gevuld met helium van 50 cm kwikdruk bij 15°C; uitwendige diameter beschermingsbuis is 18 mm.		

TABEL VII.

Pt 74. Draad van JOHNSON en MATTHEY, 0.1 mm diameter, gewonden op een porceleinen cylinder.		
Datum.	R_0 in Ω .	Behandeling.
22—X—'34	4.6835 ⁸	
29—X— ..		2 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 8 uur op 800°C in N ₂ .
2—XI— ..	4.67977	
13—XI— ..		2 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 8 uur op 840°C in N ₂ .
16—XI— ..	4.6786 ⁸	
18—XI— ..		Gekoeld in vloeibare lucht.
20—XI— ..	4.6786 ²	
21—XI— ..		Gekoeld in vloeibare lucht.
22—XI— ..		2 uur gegloeid op 500°C in O ₂ ; 8 uur op 840°C in N ₂ .
26—XI— ..	4.6788 ⁵	
De thermometer werd in een gesloten hard-glazen beschermingsbuis geplaatst, gevuld met helium van 50 cm kwikdruk bij 15°C; uitwendige diameter beschermingsbuis is 14 mm.		

De thermometers, die op deze wijze werden geouderd, bleven goed constant. Uit de resultaten van de ijking van de thermometers bij de standaardpunten blijkt dit nader.

De thermometers *Pt 68*, *Pt 69*, *Pt 70*, *Pt 71* en *Pt 74* zijn bestemd om te worden vergeleken met den gasthermometer, terwijl *Pt 73* dient als vergelijkingsthermometer bij de ijspuntsbepalingen.

§ 4. *Berekening van de constanten van den platinathermometer en invloed van de meetfouten van de calibratiepunten.*

a. De weerstand R_t van een platinathermometer als functie van de temperatuur t wordt gegeven door de betrekking:

$$R_t = R_0 (1 + A t + B t^2) \quad 0^\circ\text{C} < t < 660^\circ\text{C}. \quad (3)$$

(Vergelijk formule (15), hoofdstuk I, § 4).

CALLENDAR geeft voor hetzelfde temperatuurgebied de volgende formule:

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0} + \delta \left(\frac{t}{100} \right) \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \quad (4)$$

(Vergelijk formule (12), hoofdstuk I, § 3).

Vergelijking van deze 2 formules leidt na een kleine herleiding tot de volgende betrekkingen:

$$A = a \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) \quad (5)$$

$$B = - \frac{\alpha \delta}{100^2} \quad (6)$$

Definieeren wij nog de volgende grootheden:

$$\alpha_0^{100} = \alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} \quad (7)$$

(Vergelijk formule (13), hoofdstuk I, § 3).

$$t_p = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0} \quad (8)$$

$$\alpha_0^t = \frac{R_t - R_0}{t R_0} \quad (9)$$

De weerstand R_t van een platinathermometer in het temperatuur-
gebied van 0°C tot -190°C wordt gegeven door de betrekking:

$$R_t = R_0 \{1 + At + Bt^2 + Ct^3(t-100)\} \dots (10)$$

(Vergelijk formule (16), hoofdstuk I, § 4).

Bepaling van de coëfficiënten in de formules (3) en (10):

R_0 volgt uit een bepaling van den weerstand bij het ijspunt.

De meting van R_{100} stelt ons in staat de waarde van a te bere-
kenen volgens formule (7).

De meting van $R_{444.60}$ geeft met de waarde $t=444.60$ gesub-
stitueerd in de „Callendar”-vergelijking (formule (4)) de waarde
van δ .

De waarden van A en B kunnen worden berekend met behulp
van de vergelijkingen (5) en (6).

De waarden van $R_{-182.98^3}$ en $t=-182.98^3$ gesubstitueerd in ver-
gelijking (10), terwijl A en B dezelfde waarden hebben als in ver-
gelijking (3), geeft de waarde van den coëfficiënt C .

b. De volgende betrekkingen bestaan:

$$R_{100} = R_0 (1 + 100A + 100^2 B) \dots (11)$$

$$R_{444.60} = R_0 (1 + 444.6 A + 444.6^2 B) \dots (12)$$

$$R_{-182.98^3} = R_0 (1 - 182.98^3 A + 182.98^3^2 B + 182.98^3^3 \times 282.98^3 C) (13)$$

Elimineert men uit de vergelijkingen (10), (11), (12) en (13)
 A , B en C , dan vindt men een betrekking, die op de volgende wijze
kan worden geschreven:

$$t = t(R_t, R_0, R_{100}, R_{444.6}, R_{-182.98^3}) \dots (14)$$

Gevraagd wordt nu:

Als bij de metingen van R_t , R_0 , R_{100} , $R_{444.60}$ en $R_{-182.98^3}$ respec-
tiefelijk de fouten ΔR_t , ΔR_0 , ΔR_{100} , $\Delta R_{444.60}$ en $\Delta R_{-182.98^3}$
worden gemaakt, hoe groot is dan de fout Δt in een temperatuur
 t ($0^\circ\text{C} > t > -190^\circ\text{C}$), die wordt berekend volgens formule (10).

Ter bekorting vervangen we 444.60 door 444 en -182.98^3 door
 -183 .

De fout Δt bedraagt, berekend uit vergelijking (14),

$$\Delta t = \left. \begin{aligned} & \left(\frac{\partial t}{\partial R_t} \right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_{-183}} \Delta R_t + \left(\frac{\partial t}{\partial R_0} \right)_{R_{100}, R_{444}, R_{-183}, R_t} \Delta R_0 + \\ & + \left(\frac{\partial t}{\partial R_{100}} \right)_{R_0, R_{444}, R_{-183}, R_t} \Delta R_{100} + \left(\frac{\partial t}{\partial R_{444}} \right)_{R_0, R_{100}, R_{-183}, R_t} \Delta R_{444} + \\ & + \left(\frac{\partial t}{\partial R_{-183}} \right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_t} \Delta R_{-183} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Berekening van de coëfficiënten van deze vergelijking:

$$\text{I.} \quad \left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial t}{\partial R_t} \right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_{-183}} &= \left(\frac{\partial t}{\partial R_t} \right)_{R_0, A, B, C} = \\ &= \frac{1}{R_0 \{ A + 2Bt + 4Ct^2(t-75) \}} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$\text{II. Berekening van } \left(\frac{\partial t}{\partial R_0} \right)_{R_{100}, R_{444}, R_{-183}, R_t} :$$

De vergelijkingen (11), (12), (13) en (10), gedifferentieerd naar R_0 , geven respectievelijk de vergelijkingen (17), (18), (19) en (20).

$$0 = \frac{R_{100}}{R_0} dR_0 + R_0 \cdot 100 dA + R_0 \cdot 100^2 dB \quad \dots \quad (17)$$

$$0 = \frac{R_{444}}{R_0} dR_0 + R_0 \cdot 444 dA + R_0 \cdot 444^2 dB \quad \dots \quad (18)$$

$$0 = \frac{R_{-183}}{R_0} dR_0 - R_0 \cdot 183 dA + R_0 \cdot 183^2 dB + R_0 \cdot 183^3 \cdot 283 dC \quad (19)$$

$$0 = \frac{R_t}{R_0} dR_0 + R_0 t dA + R_0 t^2 dB + R_0 t^3 (t-100) dC + \left. \begin{aligned} & + \left(\frac{\partial R_t}{\partial t} \right)_{R_0, A, B, C} dt \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Uit vergelijking (20) volgt, dat:

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial t}{\partial R_0}\right)_{R_{100}, R_{444}, R_{-183}, R_t} &= - \left(\frac{\partial t}{\partial R_t}\right)_{R_0, A, B, C} \left\{ \frac{R_t}{R_0} + \right. \\ &+ R_0 t \left(\frac{\partial A}{\partial R_0}\right)_{B, C, R_t} + R_0 t^2 \left(\frac{\partial B}{\partial R_0}\right)_{A, C, R_t} + \\ &\left. + R_0 t^3 (t-100) \left(\frac{\partial C}{\partial R_0}\right)_{A, B, R_t} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Uit de vergelijkingen (17), (18) en (19) volgt, dat:

$$\left(\frac{\partial A}{\partial R_0}\right)_{B, C, R_t} = \frac{-444^2 R_{100} + 100^2 R_{444}}{100 \times 444 \times 344 R_0^2} \dots \quad (22)$$

$$\left(\frac{\partial B}{\partial R_0}\right)_{A, C, R_t} = \frac{-100 R_{444} + 444 R_{100}}{100 \times 444 \times 344 R_0^2} \dots \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial C}{\partial R_0}\right)_{A, B, R_t} &= \frac{1}{R_0^2} \left(\frac{-R_{-183}}{183^2 \times 283} + \right. \\ &\left. + \frac{R_{444}}{444 \times 344 \times 183^2} - \frac{627 R_{100}}{183^2 \times 283 \times 344 \times 100} \right) \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

De betrekkingen (22), (23) en (24) worden gesubstitueerd in vergelijking (20); dit geeft na eenige herleiding:

$$\text{II.} \left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial t}{\partial R_0}\right)_{R_{100}, R_{444}, R_{-183}, R_t} &= - \\ - \left(\frac{\partial t}{\partial R_t}\right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_{-183}} &\frac{(t-100)(t+183)(-627t^2+627 \times 183t-444 \times 183^2)}{183^3 \times 444 \times 100} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Op analoge wijze kan worden afgeleid:

$$\text{III. } \left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial t}{\partial R_{100}} \right)_{R_0, R_{444}, R_{-183}, R_t} = - \\ - \left(\frac{\partial t}{\partial R_t} \right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_{-183}} \frac{t(t+183)(627t^2 - 627 \times 283t + 444 \times 183 \times 283)}{344 \times 183^2 \times 283 \times 100} \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

$$\text{IV. } \left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial t}{\partial R_{444}} \right)_{R_0, R_{100}, R_{-183}, R_t} = - \\ - \left(\frac{\partial t}{\partial R_t} \right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_{-183}} \frac{t(t-100)(t+183)(-t+183)}{344 \times 444 \times 183^2} \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

$$\text{V. } \left(\frac{\partial t}{\partial R_{-183}} \right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_t} = - \left(\frac{\partial t}{\partial R_t} \right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_{-183}} \frac{t^3(t-100)}{183^3 \times 283} \quad (28)$$

Men kan de grootheid ΔR_0 in vergelijking (15) op de volgende wijze schrijven:

$\Delta R_0 = A R_0 \Delta t_0$, waarin Δt_0 dan kan worden genoemd de fout in R_0 uitgedrukt in graden.

Op deze wijze kan men voor vergelijking (15) schrijven:

$$\Delta t = \left(\frac{\partial t}{\partial R_t} \right)_{R_0, R_{100}, R_{444}, R_{-183}} \Delta R_t + f_0(t) \Delta t_0 + f_{100}(t) \Delta t_{100} + \left. \begin{aligned} + f_{444}(t) \Delta t_{444} + f_{-183}(t) \Delta t_{-183} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Hierin stellen Δt_0 , Δt_{100} , Δt_{444} en Δt_{-183} de fouten voor respectievelijk in R_0 , R_{100} , R_{444} en R_{-183} , uitgedrukt in graden.

In tabel VIII zijn de waarden van de functies $f_0(t)$, $f_{100}(t)$, $f_{444}(t)$ en $f_{-183}(t)$ berekend, waarbij voor de constanten A , B en C van de platinathermometers zijn gekozen de waarden:

$$\left. \begin{aligned} A &= 0.003970 \\ B &= -0.585 \times 10^{-6} \\ C &= -4.3 \times 10^{-12} \end{aligned} \right\}$$

Den grootsten invloed blijken te hebben fouten gemaakt in R_0 , R_{100} en R_{444} , bij een temperatuur van -120°C .

TABEL VIII.

t in °C	$f_0(t)$	$f_{100}(t)$	$f_{444}(t)$	$f_{-183}(t)$
0	-1.000	0.000	0.000	0.000
- 10	-1.124	0.127	-0.006	0.000
- 20	-1.242	0.253	-0.013	-0.001
- 30	-1.365	0.390	-0.021	-0.002
- 40	-1.480	0.522	-0.030	-0.005
- 50	-1.598	0.650	-0.039	-0.011
- 60	-1.715	0.772	-0.048	-0.020
- 70	-1.788	0.884	-0.057	-0.034
- 80	-1.858	0.981	-0.065	-0.053
- 90	-1.903	1.061	-0.072	-0.082
-100	-1.917	1.118	-0.077	-0.121
-110	-1.895	1.147	-0.080	-0.172
-120	-1.830	1.144	-0.082	-0.228
-130	-1.716	1.118	-0.080	-0.301
-140	-1.568	1.015	-0.075	-0.390
-150	-1.312	0.879	-0.066	-0.511
-160	-1.007	0.687	-0.052	-0.622
-170	-0.529	0.435	-0.033	-0.769
-183	0.000	0.000	0.000	-1.000

§ 5. *De weerstandsmetingen.*

De weerstandsmetingen zijn verricht met een Diesselhorst¹⁾ compensatiebank, waarvan de calibratiegegevens door onderlinge, trapsgewijze vergelijking werden gecontroleerd.

De onbekende weerstand en de normaalweerstand worden door denzelfden stroom doorlopen. Het potentiaalverschil tusschen de

¹⁾ H. DIESELHORST, Z. Instrum.kde, 26, 207, 1906.

uiteinden van ieder van deze weerstanden, wordt met de compensatiebank bepaald; het quotiënt van deze potentiaalverschillen, die geen van beide absoluut bekend behoeven te zijn, stelt den onbekenden weerstand voor, uitgedrukt in den normaalweerstand. De waarde van den normaalweerstand is afhankelijk van de temperatuur. Daarom was de normaalweerstand in een oliebad geplaatst, dat door middel van een thermostaat op constante temperatuur werd gehouden. Het is belangrijk, dat tijdens een weerstandsmeting de compensatiebank niet van temperatuur verandert; de compensatiebank was daarom ingebouwd in een groote dubbelwandige kist.

De meetstroom, die de weerstanden doorloopt, bepaalt de nauwkeurigheid van de weerstandsmeting. Echter wordt aan het opvoeren van den meetstroom een grens gesteld door de warmteontwikkeling in den draad (bepaald door $i^2 r$).

We namen daarom:

Voor de weerstanden, waarvoor $R_0 > 10 \Omega$ meetstroom 1 mA.
 " " " " " $10 \Omega > R_0 > 3 \Omega$ " 2 mA.

De opwarming tengevolge van den meetstroom kan experimenteel worden bepaald. Deze bedraagt voor den hier gekozen meetstroom ongeveer 0.001 graad.

De waarde van den normaalweerstand bedroeg 10Ω . Tusschen de uiteinden van dezen weerstand bedroeg dan het potentiaalverschil 0.01 V bij een meetstroom van 1 mA.

We gebruikten een Zernike galvanometer, 10^{-8} V correspondeerde met een uitslag van den galvanometer van 0.7 à 0.8 mm. Een weerstandsbepaling kon dus worden uitgevoerd met een nauwkeurigheid van c.a. 10^{-4} %, hetgeen overeenkomt met een nauwkeurigheid in de temperatuur van $3 \cdot 10^{-4}$ graad.

§ 6. Ijspunt.

Voorschriften voor de verwezenlijking van het ijspunt.

De temperatuur van smeltend ijs ($t = 0.000^\circ\text{C}$) is die temperatuur, waarbij zuiver, fijn verdeeld ijs van gedestilleerd water in evenwicht is met zuiver, met lucht verzadigd water onder een druk van één normale atmosfeer. Drukvermindering geeft een ver-

hooging van de smelttemperatuur van 0.007 graad per atmosfeer¹⁾.

De metingen.

Wij verkregen het ijspunt op de volgende wijze²⁾:

Gedestilleerd water werd zorgvuldig bevroren. Daarna werd het ijs gesneden met een door een motor gedreven ijssnijder³⁾.

De te iken platinathermometers werden geplaatst in een met ijs gevulden, poreuzen, aarden pot, die zorgvuldig was geïsoleerd. Tijdens de metingen werd het ijs nat gehouden door het geregeld te overgieten met door ijs gekoeld, gedestilleerd water, dat verzadigd was met lucht. De zuiverheid van het ijs werd onderzocht met zilvernitraat.

De resultaten.

Uit de resultaten van de metingen bleek (zie tabellen X—XV):

1^o. De temperatuur van het ijs, waargenomen over één dag bleef constant binnen 0.0015 graad.

2^o. De verschillen in aanwijzingen van de platinathermometers onderling waren niet grooter dan 0.0015 graad.

3^o. De middelbare fout in den ijspuntsweerstand per waarneming bedroeg ongeveer 0.002 graad, terwijl de maximale spreiding (verschil van de uiterste waarden) 0.006 graad bedroeg.

§ 7. *Stoompunt.*

Voorschriften voor de verwezenlijking van het stoompunt.

De temperatuur van kokend water wordt experimenteel verkregen door een hypsometer te gebruiken. Deze moet zoodanig geconstrueerd zijn, dat oververhitting van den stoom rondom den thermometer wordt vermeden.

Indien aan deze voorwaarde is voldaan, moet de temperatuur

¹⁾ Comptes Rendus des Séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures, 1927, blz. 94.

²⁾ Voor zeer constante temperaturen in de nabijheid van het ijspunt zou men gebruik kunnen maken van het tripel-punt van water. MICHELS en COETERIER (vgl. Proc. roy. Acad. Amsterdam, 30, 1017, 1927) brachten tusschen de wanden van een dubbelwandig glazen vat (door uitkoken) van lucht bevrijd, gedestilleerd water. Dit water werd bevroren. In het binnenste glas werd de temperatuur gemeten. Deze bleek constant te zijn op 0.0001 graad. Onderzoekingen van MOSER (Ann. Physik, (5) 39, 341, 1929) bevestigen deze resultaten.

³⁾ W. H. KEESOM, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 195b; Proc. roy. Acad. Amsterdam, 32, 20, 1929.

onafhankelijk zijn van de hoeveelheid warmte, die wordt toegevoerd, tenzij deze warmtehoeveelheid den druk binnen den hypsometer beïnvloedt.

De invloed van den druk op de kookpuntstemperatuur wordt gegeven door de formule:

$$t_p = t_{760} + 0.0367(p - 760) - 0.000023(p - 760)^2 \text{ } ^1)$$

waarin: $t_{760} = 100.000^\circ\text{C}$, ($680 \text{ mm} < p < 780 \text{ mm}$)

p = de druk binnen den hypsometer,

t_p = de temperatuur, waarbij water en damp met elkaar in evenwicht zijn bij den druk p .

De metingen.

We gebruikten den hypsometer, beschreven in Commun. N^o. 188a²⁾, blz. 7, eenigszins gewijzigd door VAN SANTEN³⁾.

VAN SANTEN had het volgende gevonden:

1^o. Geen verschil in kookpuntstemperatuur werd gevonden als de toegevoerde warmtehoeveelheden werden gevarieerd.

2^o. Veel of weinig koelen, wat invloed heeft op de snelheid, waarmee de stoom condenseert en op de temperatuur van het terugvallende water, bleek een kleinen invloed op den overdruk in het toestel te hebben. Deze overdruk wordt bepaald met een watermanometer. De thermometer volgde de temperatuurverandering tengevolge van die drukverandering na eenigen tijd.

Deze resultaten werden door ons bevestigd door de genoemde experimenten te herhalen met een platinathermometer.

Tijdens de weerstandsmetingen met den platinathermometer werd de kwikbarometer afgelezen; de gemeten drukken werden herleid op 0°C , en op normale zwaartekracht met den factor 1.00062.

We gebruikten gedestilleerd water, dat nog eenmaal extra onder toevoeging van KMnO_4 werd gedestilleerd.

De berekening van de waarde R_{100} uit de bepaling van R_t bij een kooktemperatuur t geschiedt als volgt:

$$\text{Stel } t - 100 = \Delta t.$$

¹⁾ Comptes Rendus des Séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures 1927, blz. 94.

²⁾ W. H. KEESOM en Mej. H. V. D. HORST, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 188a, blz. 7, fig. 1.

³⁾ J. J. M. VAN SANTEN, Diss. Leiden, 1934, blz. 30 en 31.

Uit de formules (4), (7) en (9), (hoofdstuk II, § 4), kan men afleiden:

$$\alpha_0^{100} = \alpha_0^t \left(1 + \frac{\delta}{10^4} \frac{\alpha_0^{100}}{\alpha_0^t} \Delta t \right).$$

Hieruit volgt:

$$\alpha_0^{100} = \alpha_0^t \left(1 + \frac{\delta}{10^4} \Delta t + \dots \right).$$

De termen van hogere orde kunnen worden weggelaten, want voor onze metingen is $\delta \sim 1.5$ en $\Delta t < 0.6$.

Een fout van 0.001 graad in het honderdpunt komt overeen met een fout van $\sim 39 \times 10^{-9}$ in α_0^{100} .

Uit de resultaten van de metingen van het zwavelpunt blijkt, dat $\delta \sim 1.5$ met een maximale afwijking van $4^0/_{00}$ (zie tabel XVII, § 10). De maximale fout in α_0^{100} door deze benadering veroorzaakt bedraagt $4^0/_{00}$ van $0.0039 \times 1.5 \times 10^{-4} \times 0.6 \sim 4^0/_{00}$ van $39 \times 10^{-9} \sim 1.6 \times 10^{-9}$. Deze fout kan verwaarloosd worden.

Als benadering schrijven we dus:

$$\alpha_0^{100} = \alpha_0^t \left(1 + \frac{1.5}{10^4} \Delta t \right).$$

α_0^t kunnen we uit R_t berekenen; uit α_0^{100} volgt dan R_{100} .

De resultaten.

Uit de tabellen X—XIV blijkt, dat de middelbare fout in R_{100} overeenkomt met 0.002 graad; de maximale spreiding bedraagt 0.005 graad. De grootere afwijkingen in R_{100} zijn in het algemeen het gevolg van grootere schommelingen in den barometerstand, die niet voldoende door den platinathermometer in den hypsometer werden gevolgd; in tegenstelling hiermede volgden de platinathermometers in den hypsometer bij kleinere schommelingen zeer goed de aanwijzingen van den barometer.

Bij de berekening van R_{100} werd gebruik gemaakt van de kookpunttemperaturen van water uit de gegevens van:

Afwijkingen van R_{100} van de gemiddelde waarde, omgerekend in graden, als functie van den barometerstand.

○ Pt 70; △ Pt 74; □ Pt 69; [Pt 71; F Pt 68.

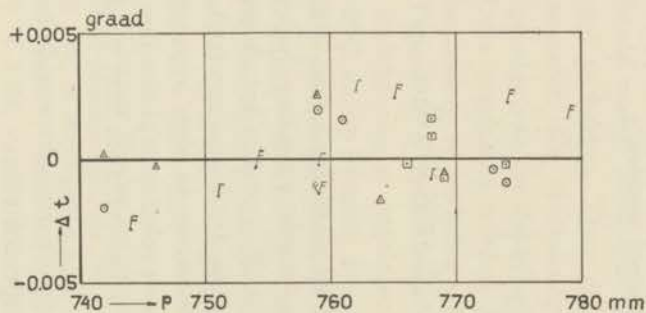


Fig. 6a. Waarden van R_{100} berekend uit de gegevens van de internationale temperatuurschaal.

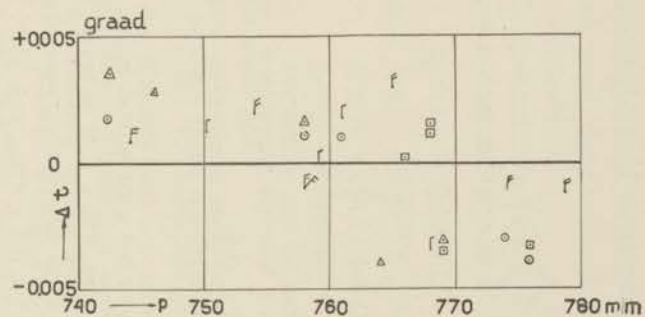


Fig. 6b. Waarden van R_{100} berekend uit de gegevens van CHAPPUIS-VOLET.

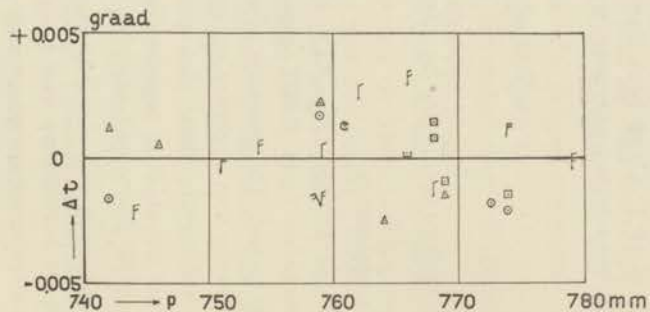


Fig. 6c. Waarden van R_{100} berekend uit de gegevens van de Wärmetabellen.

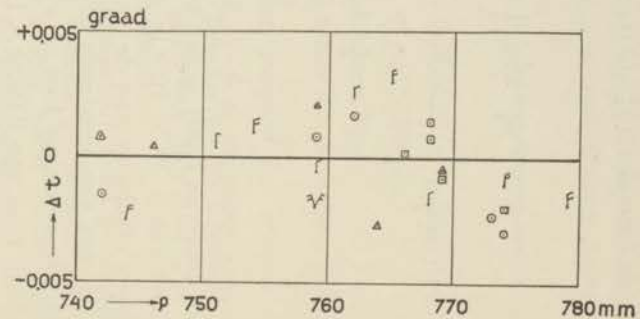


Fig. 6d. Waarden van R_{100} berekend uit de gegevens van MOSER.

10. de internationale temperatuurschaal¹⁾).

20. CHAPPUIS-VOLET²⁾).

30. de Wärmetabellen³⁾).

40. MOSER:

$$t = 100.000 + 0.03687 (p - 760) - 0.000022 (p - 760)^2 \dots^4).$$

In de figuren 6a—6d zijn de afwijkingen van R_{100} van de gemiddelde waarde, omgerekend in graden, als functie van den barometerstand geteekend.

Uit deze figuren besluiten we tot het volgende:

10. In fig. 6a (berekend volgens de internationale temperatuurschaal) zijn de systematische afwijkingen van R_{100} van de gemiddelde waarde niet grooter dan overeenkomt met een temperatuurverschil van 0.001 graad.

20. Volgens fig. 6b, dat de door CHAPPUIS-VOLET opgegeven kookpunttemperaturen bij een druk van 740 mm ongeveer 0.003 graad te laag en bij een druk van 780 mm ongeveer 0.003 graad te hoog zijn.

30. De kookpunttemperaturen volgens de Wärmetabellen zijn in goede overeenstemming met onze waarnemingen (zie fig. 6c).

40. Onze waarnemingen stemmen binnen ± 0.001 graad overeen met de kookpunttemperaturen van MOSER (zie fig. 6d).

§ 8. Zwavelpunt.

Voorschriften voor de verwezenlijking van het zwavelpunt.

Het zwavelpunt wordt experimenteel verwezenlijkt onder inachtneming van de volgende voorschriften:

De kookbuis is van glas en heeft een inwendigen diameter van minstens 4 cm en niet meer dan 6 cm. De dampkolom moet zoo lang zijn, dat de onderzijde van het stralingsscherm minstens 6 cm blijft beneden de bovenzijde van het isolatiemateriaal, dat de buis omgeeft. Het verwarmen kan het best electricch geschieden, hoewel gas kan worden gebruikt; echter moet de verwarmingsbron en al het

1) Comptes Rendus des Séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures, 1927, blz. 94.

2) CHAPPUIS-VOLET, Trav. et Mém. du bur. int. des Poids et Mesures, 1930.

3) Wärmetabellen der P.T.R., Charlottenburg, 1909.

4) H. MOSER, Ann. Physik, (5) 14, 1790, 1932.

warmtegeleidende materiaal ermee in contact zijnde, minstens 4 cm blijven beneden het oppervlak van de vloeibare zwavel. Er moet voor gezorgd worden, dat de druk van den zwaveldamp gelijk is aan den barometerstand. De zwavel mag niet meer dan 0.02 % verontreiniging bevatten. Selenium is een veel voorkomende verontreiniging; 0.1 % Se geeft een kookpuntsverhoging van ± 0.1 graad. Het stralingsscherm moet cilindrisch zijn en aan de onderzijde open; aan de bovenzijde moet het voorzien zijn van een kegelvormig gedeelte, dat de beschermingsbuis van den thermometer nauw omsluit. Het cilindrisch gedeelte moet een diameter hebben, die 1.5 à 2.5 cm grooter is dan die van de beschermingsbuis van den thermometer, en minstens 1 cm kleiner dan die van de kookbuis. De cylinder moet aan iedere zijde de lengte van den thermometer met minstens 1.5 cm overtreffen. Tusschen het kegelvormig gedeelte en de bovenzijde van den cylinder moet een opening zijn voor de vrije circulatie van den zwaveldamp. Het inwendige van het scherm moet een slechte reflector zijn. Het scherm kan worden vervaardigd van plaatijzer, grafiet enz. De zwavel wordt aan het koken gebracht en de verwarming zoo geregeld, dat het dampniveau minstens 1 cm hoger is dan de bovenzijde van het isolatiemateriaal. De thermometer met stralingsscherm wordt dan in den damp geplaatst. Wanneer het dampniveau zijn oorspronkelijke hoogte weer heeft bereikt, worden gelijktijdig waarnemingen van weerstand en druk gedaan. Er moet altijd worden nagegaan of de temperatuur onafhankelijk is van verticale verplaatsingen van thermometer en scherm.

De evenwichtstemperatuur tusschen vloeibare en dampvormige zwavel is afhankelijk van den druk p . Het verband wordt gegeven door de formule:

$$t = t_{760} + 0.0909 (p - 760) - 0.000048 (p - 760)^2, \quad ^1)$$

waarin $t_{760} = 444.60^\circ\text{C}$. De formule geldt voor $680 \text{ mm} < p < 780 \text{ mm}$.

In tabel IX zijn de waarden van het kookpunt van zwavel, gevonden door diverse waarnemers, verzameld. Zij loopen nogal uiteen.

¹⁾ Comptes Rendus des Séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures, 1927, blz. 94.

Men moet echter bedenken, dat de nauwkeurigheid van den gas-thermometer in dit temperatuurgebied niet grooter is dan 0.1 graad. De relatieve meetnauwkeurigheid is grooter, deze bedraagt ongeveer

TABEL IX.

Bepalingen van het kookpunt van zwavel.				
Naam van den onderzoeker.	Vulling van den gasth.	Constante p of v	p_0 in mm	t_{760} in °C
CALLENDAR en GRIFFITHS ¹⁾	Lucht	p	760	444.94
CHAPPUIS en HARKER ²⁾	N ₂	v	530	444.8
EUMORFOPOULOS ³⁾	Lucht	p	760	444.96
HOLBORN en HENNING ⁴⁾	He, H ₂	v	620	444.51
" " " ⁴⁾	N ₂	v	620	444.59
DAY en SOSMAN ⁵⁾	N ₂	v	502	444.58
DICKINSON en MUELLER ⁶⁾	—	—	—	444.41
CHAPPUIS ⁷⁾	N ₂	v	560	444.63

0.02 graad. Men heeft als temperatuur van het kookpunt van zwavel gedefinieerd $t_{760} = 444.60^\circ\text{C}$.

Er zijn door de verschillende onderzoekers voorschriften vastgesteld om het zwavelpunt zoo goed mogelijk reproduceerbaar te maken. Hier moeten we vooral noemen de onderzoekingen van MEISSNER ⁸⁾ en van MUELLER en BURGESS ⁹⁾. Het resultaat van hun

¹⁾ H. L. CALLENDAR en E. H. GRIFFITHS, Phil. Trans., 182A, 119—157, 1891.

²⁾ P. CHAPPUIS en J. A. HARKER, Phil. Trans., 194A, 37—134, 1900.

³⁾ N. EUMORFOPOULOS, Proc. Roy. Soc., 81, 339—362, 1908.

⁴⁾ L. HOLBORN en F. HENNING, Ann. Physik, (4) 35, 761—774, 1911.

⁵⁾ A. L. DAY en R. B. SOSMAN, Ann. Physik, (4) 38, 849—869, 1912.

⁶⁾ H. C. DICKINSON en E. F. MUELLER, J. Washington Acad., 2, 176—180, 1912.

⁷⁾ P. CHAPPUIS, Trav. et Mém. du bur. int. des Poids et Mesures, 16, 44, 1916.

⁸⁾ W. MEISSNER, Ann. Physik, (4) 39, 1230, 1912.

⁹⁾ E. F. MUELLER en G. BURGESS, Sci. Pap. Bur. Stand., 15, 163—184, 1919/1920.

onderzoekingen gaf de reeds genoemde voorschriften. Deze onderzoekers hebben vooral de diverse vormen van het stralingsscherm nagegaan. Zij vonden, dat een ijzeren scherm, dat aan de onderzijde open is, het best voldoet. De afhankelijkheid van de evenwichtstemperatuur van den druk is nagegaan door HOLBORN en HENNING¹⁾ en door HARKER en SEXTON²⁾. Hun waarnemingen stemmen goed overeen.

Apparatuur gebruikt bij de metingen te Leiden.

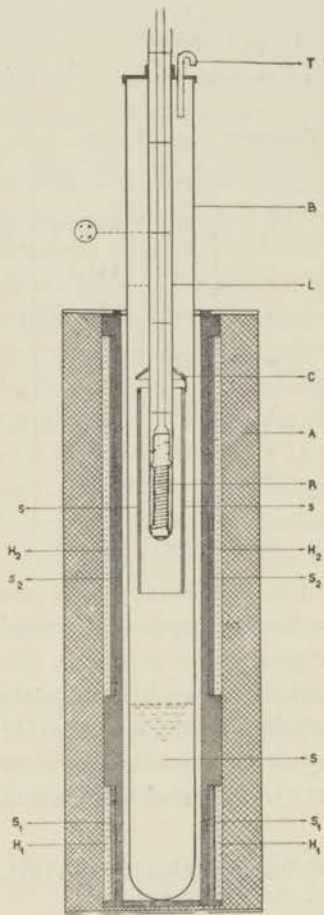


Fig. 7. Zwavelapparaat.

Het gebruikte apparaat is schematisch aangegeven in fig. 7. De kookbuis *B* is vervaardigd van hard glas, de inwendige diameter bedraagt ± 52 mm; de lengte 64 cm. Voor minstens 15 cm hoogte werd de buis gevuld met zwavel *S* van Kahlbaum (onzuiverheid volgens opgave $< 0.02\%$). De oven is op de volgende wijze geconstrueerd: 2 stookspiraalen H_1 en H_2 zijn gewikkeld respectievelijk op de ijzeren cylinders S_1 en S_2 . Hoogte S_1 9 cm; hoogte S_2 28 cm. Deze cylinders zijn aan de binnenzijde bekleed met een laag asbest. Tusschen H_1 en H_2 is een cylinder asbest aangebracht om oververhitting van den damp te voorkomen; hoogte van dezen cylinder 7 cm.

Het stralingsscherm *s* heeft een lengte van 16 cm; inwendige diameter 36 mm. Het is vervaardigd van ijzer, aan de binnenzijde zwart gemaakt, aan de buitenzijde gepolijst. De afstand van het

¹⁾ L. HOLBORN en F. HENNING, Ann. Physik, (4) 26, 859, 1908; (4) 35, 772, 1911.

²⁾ J. A. HARKER en F. P. SEXTON, Report British Association, 1908, p. 521.

zwaveloppervlak tot de onderzijde van het stralingsscherm bedraagt minstens 7 cm. Aan de bovenzijde draagt het stralingsscherm een conus C die nauw om de thermometerbuis sluit. De afstand tusschen het cilindrisch gedeelte van s en het conisch gedeelte C bedraagt 7 mm. De onderzijde van s is open. De buis B wordt afgesloten met een deksel; het verbindingsbuisje t dient om te zorgen, dat de druk in de buis gelijk is aan den barometerstand.

De totale lengte van den oven bedraagt 46 cm.

Verloop van de metingen.

De verwarmingsspiralen H_1 en H_2 worden in bedrijf gesteld. H_1 dient voor verwarming van de zwavel, H_2 voor voorverwarming van den zwaveldamp. Voordat de buis met zwavel in den oven wordt geplaatst, wordt de zwavel eerst gesmolten in een gasvlam. Bij een temperatuur van 95°C zet zwavel n.l. zeer sterk uit. De zwavel wordt van boven af gesmolten om springen van de buis te voorkomen; om dezelfde reden wordt bij de afkoeling van de zwavel de buis uit den oven gebracht en in hellende positie gelegd. Is de zwavel gesmolten, dan wordt de buis in den oven geplaatst; komt de zwaveldamp boven den rand van het isolatiemateriaal, dan worden de thermometer R en het stralingsscherm s centrisc in de buis B geplaatst. Bij de metingen mag de voorverwarmingsspiraal niet worden gebruikt; deze wordt kort na het inbrengen van de buis buiten werking gesteld. Nadat de zwaveldamp weer op zijn niveau L is gekomen, kan worden begonnen met de weerstandsmetingen en de barometeraflezingen.

Experimenten.

Het toestel bleek aan de voorschriften te voldoen. Verplaatsing van thermometer en scherm over een afstand van 6 cm gaven geen grootere temperatuurveranderingen dan 0.005 graad. Verandering van de hoeveelheid zwavel en verandering van de warmtetoevoer bleken geen invloed te hebben op de temperatuuraanwijzingen. Het ijzeren scherm werd vervangen door een aluminiumscherm, voorzien van een stralingsscherm aan de onderzijde; ook dit gaf geen grootere veranderingen in de temperatuur dan 0.005 graad. Het zwavelpunt

is zeer goed reproduceerbaar; uit de metingen blijkt, dat de grootste spreiding op verschillende meetdagen 0.02 graad bedraagt.

Berekening van $R_{444.60}$ uit een meting van R_t bij een kooktemperatuur t van zwavel.

Stel $t = 444.60 + \Delta t$ en $R_t = R_{444.60} + \Delta R_t$.

Uit vergelijking (4), hoofdstuk II, § 4 kan men afleiden:

$$\Delta t = \frac{\Delta R_t}{a R_0} + \delta \left(\frac{2t}{100^2} - \frac{1}{100} \right) \Delta t.$$

Voor $t = 444.60$ vindt men:

$$\Delta R_t = a R_0 \left(1 - \frac{2t}{100^2} \delta + \frac{\delta}{100} \right) \Delta t = 0.88^2 a R_0 \Delta t$$

$$(\delta \sim 1.5).$$

Men moet dus achtereenvolgens berekenen uit R_t en p , de temperatuur t , daarna Δt en $\Delta R_t = 0.88^2 a R_0 \Delta t$, en tenslotte $R_{444.60} = R_t - \Delta R_t$.

§ 9. Zuurstofpunt.

Voorschriften voor de verwezenlijking van het zuurstofpunt.

De evenwichtstemperatuur van vloeibare en gasvormige zuurstof wordt experimenteel het best volgens de statische methode verwezenlijkt; de te ijken platinathermometer wordt vergeleken met den zuurstofdampspanningsthermometer in een bad van vloeibare zuurstof¹⁾.

De evenwichtstemperatuur van vloeibare en gasvormige zuurstof is afhankelijk van den druk. Het verband wordt gegeven door de formule:

$$t_p = t_{760} + 0.0126(p - 760) - 0.000065(p - 760)^2,$$

waarin p de druk voorstelt en t_p de evenwichtstemperatuur bij dien druk.

De formule geldt voor $680 \text{ mm} < p < 780 \text{ mm}$.

¹⁾ Comptes Rendus des Séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures, 1927, blz. 94.

Bij de definitie van de internationale temperatuurschaal werd aangenomen $t_{760} = -182.970^{\circ}\text{C}$. Deze waarde stemt overeen met de gemiddelde waarde van de Leidsche resultaten, indien aan de waarde -182.97° een gewicht 2 wordt toegekend (zie onderstaande tabel).

1908 H. KAMERLINGH ONNES en C. BRAAK ¹⁾	. . .	-182.970°C
1918 P. G. CATH ²⁾	-182.954°C
1927 W. H. KEESOM, H. V. D. HORST en A. F. JANSSEN ³⁾	-182.977°C

Verder noemen we nog:

1914 F. HENNING ⁴⁾	-182.970°C
1924 F. HENNING en W. HEUSE ⁵⁾	-183.000°C

De Leidsche waarde $t_{760} = -182.970$ is echter berekend met de waarde voor $\alpha_{n,\text{He}}^{0-100} = 0.0036611$ ⁶⁾; de correctie voor de Celsius-Avogadroschaal bedroeg 0.015 graad⁷⁾.

Dus komt $t_{A,\alpha}^{(1927)} = -182.970$ overeen met $t_{n,\text{He}}^{(1927)} = -182.985$.

In 1934 vond een nieuwe bepaling van den spanningscoëfficiënt plaats met als resultaat $\alpha_{n,\text{He}}^{0-100} = 0.00366072$ ⁸⁾.

Met deze waarde vindt men $t_{n,\text{He}} = -183.003$.

Uit de nieuwe bepaling van $B_{100} - B_0$ in 1934⁹⁾ volgen nieuwe correcties op de Celsius-Avogadroschaal¹⁰⁾.

1) H. KAMERLINGH ONNES en C. BRAAK, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 107a.

2) P. G. CATH, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 152d.

3) W. H. KEESOM, H. V. D. HORST en A. F. JANSSEN, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 203b.

4) F. HENNING, Ann. Physik, (4) **43**, 282, 1914.

5) F. HENNING en W. HEUSE, Z. Phys., **23**, 105, 1924.

6) W. H. KEESOM en H. V. D. HORST, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 188a.

7) Zie Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 156a, tabel IV of Suppl. N^o. 51a, tabel Xa.

8) W. H. KEESOM, H. V. D. HORST en K. W. TACONIS, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 230d.

9) W. H. KEESOM en J. J. M. VAN SANTEN, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 227b.

10) W. H. KEESOM en W. TUYN, Trav. et Mém. du bur. int. t. 20; Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden Suppl. N^o. 78.

Deze geven: $t_{A,\alpha} (1934) = -182.98^3$.

Een nieuwe bepaling van het kookpunt van zuurstof onder normale omstandigheden, door ons uitgevoerd met een met den heliumthermometer gecalibreerden platinathermometer, gaf -182.98^5 ; deze waarde stemt goed overeen met de bovengenoemde.

In de verdere berekeningen werd de waarde -182.98^3 gebruikt.

De metingen.

De metingen werden uitgevoerd in een bad van vloeibare zuurstof. In dit zuurstofbad waren geplaatst:

1^o. Een dampspanningsthermometer¹⁾, gevuld met zuivere zuurstof.

2^o. Een platinathermometer om de temperatuur van het zuurstofbad te regelen.

3^o. De te ijken platinathermometers.

De zuurstof werd bereid door verhitting van kaliumpermanganaat; de zuurstof werd gezuiverd door herhaalde, gefractioneerde destillatie.

Bepaling van de drukken en de weerstanden.

De drukken van den zuurstofdamp werden gemeten met behulp van een kathetometer, de weerstanden met de compensatiebank.

Gemeten werd bij eenige drukken in de buurt van 760 mm.

De waarde van den weerstand van den platinathermometer bij 760 mm werd bepaald uit een grafiek²⁾, waarin de weerstand tegen den druk was uitgezet. De meetnauwkeurigheid bedroeg 0.002 à 0.003 graad.

§ 10. *Ijking van de thermometers.*

De resultaten van de ijking van de platinathermometers zijn gegeven in de tabellen X—XV (zie pag. 43—47).

¹⁾ Zie Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 152d, blz. 46.

²⁾ De formule van blz. 40 werd bij de berekening van $R_{-182.98^5}$ niet gebruikt, omdat deze berekening niet zoo eenvoudig kon worden uitgevoerd als bij de berekening van R_{100} en $R_{444.6}$ het geval was.

TABEL X.

Basispunten van Pt 68. Weerstand in Ω .						
Datum	1-VI-'34	4-VI-'34	11-VI-'34	12-VI-'34	15-VI-'34	18-VI-'34
R_0	12.44206	12.44218	12.44198	12.44206	12.44205	12.44215
Datum	21-VI-'34	25-VI-'34	27-VI-'34	28-VI-'34	2-VII-'34	3-VII-'34
R_0	12.44213	12.44218	12.44204	12.44221	12.44221	12.44219
Datum	4-VII-'34	5-VII-'34	6-VII-'34	12-VII-'34	13-VII-'34	26-IX-'34
R_0	12.44221	12.44213	12.44210	12.44223	12.44216	12.44209
Datum	28-IX-'34	12-XI-'34	14-XI-'34	23-XI-'34	29-XI-'34	4-XII-'34
R_0	12.44220	12.44228	12.44207	12.44208	12.44207	12.44207
Datum	7-XII-'34	27-VI-'35	17-VII-'35			
R_0	12.44213	12.44210	12.44216			
Datum	5-VI-'34	12-VI-'34	25-VI-'34	4-X-'34	14-XI-'34	10-I-'35
R_{100}	17.30908	17.30915	17.30934	17.30914 ⁷	17.30920 ³	17.30933 ³
Datum	19-I-'35					
R_{100}	17.30930 ³					
Datum	6-VI-'34	8-VI-'34	19-VI-'34	20-VI-'34	28-XI-'34	29-XI-'34
$R_{444.6}$	32.96468	32.96465	32.96499	32.96500	32.96504	32.96459
$R_{-182.983}$	3.06722 ⁵					
Gemiddelden: $R_0 = 12.44212^7 \pm 1.4 \times 10^{-5}$; $R_{100} = 17.30922^2 \pm 3.9 \times 10^{-5}$; $R_{444.6} = 32.96482^5 \pm 8.4 \times 10^{-5}$; $R_{-182.983} = 3.06722^5 \pm 4.3 \times 10^{-5}$.						

TABEL XI.

Basispunten van <i>Pt</i> 71. Weerstand in Ω .						
Datum	2-VII-'34	3-VII-'34	4-VII-'34	5-VII-'34	13-VII-'34	28-XI-'34
R_0	12.49389	12.49387	12.49377	12.49389	12.49370	12.49398
Datum	29-XI-'34	22-I-'35	14-II-'35	17-VII-'35		
R_0	12.49392	12.49370	12.49396	12.49386		
Datum	4-VII-'34	20-XII-'34	30-I-'35	12-II-'35		
R_{100}	17.38374	17.38370	17.383907	17.38376		
Datum	6-VII-'34	9-VII-'34	12-VII-'34	11-II-'35		
$R_{444.6}$	33.10967	33.10990	33.10907	33.10962		
$R_{-182.983}$	3.07434 ⁵					
Gemiddelden: $R_0 = 12.49385 \pm 3.3 \times 10^{-5}$; $R_{100} = 17.383777 \pm 4.6 \times 10^{-5}$; $R_{444.6} = 33.109565 \pm 13^9 \times 10^{-5}$; $R_{-182.983} = 3.074345 \pm 10 \times 10^{-5}$.						

TABEL XII.

Basispunten van <i>Pt</i> 69. Weerstand in Ω .						
Datum	12-XI-'34	15-XI-'34	26-XI-'34	29-XI-'34	22-I-'35	1-II-'35
R_0	15.43987	15.43970	15.43967	15.43962	15.43989	15.43987
Datum	5-II-'35	27-VI-'35	17-VII-'35			
R_0	15.43988	15.43974	15.43982			
Datum	19-XI-'34	28-XI-'34	25-I-'35	9-II-'35	11-II-'35	
R_{100}	21.47272 ⁶	21.47272	21.47282	21.47286	21.47276	
Datum	28-XI-'34	29-XI-'34	12-II-'35			
$R_{444.6}$	40.88034 ³	40.88035	40.88008 ⁵			
$R_{-182.983}$	3.81834 ⁵					
Gemiddelden: $R_0 = 15.43979 \pm 3.5 \times 10^{-5}$; $R_{100} = 21.472776 \pm 2.7 \times 10^{-5}$; $R_{444.6} = 40.880259 \pm 8.5 \times 10^{-5}$; $R_{-182.983} = 3.818345 \pm 10 \times 10^{-5}$.						

TABEL XIII.

Basispunten van Pt 70. Weerstand in Ω .						
Datum	28—XI—'34	29—XI—'34	4—XII—'34	6—XII—'34	7—XII—'34	19—XII—'34
R_0	3.427411	3.427449	3.427431	3.427462	3.427459	3.427395
Datum	9—I—'35	21—I—'35	28—I—'35	11—II—'35	12—II—'35	21—II—'35
R_0	3.427372	3.427427	3.427469	3.427351	3.427375	3.427487
Datum	27—II—'35	28—II—'35	1—III—'35	4—III—'35	11—III—'35	13—III—'35
R_0	3.427422	3.427408	3.427496	3.427446	3.427467	3.427446
Datum	22—III—'35	17—VII—'35				
R_0	3.427415	3.427420				
Datum	29—XI—'35	7—XII—'34	22—I—'35	28—II—'35	21—III—'35	
R_{100}	4.769103	4.769089	4.769136	4.769109	4.769141	
Datum	10—I—'35	14—II—'35	25—III—'35	28—III—'35		
$R_{444.6}$	9.085343	9.085436	9.085409	9.085245		
$R_{-182.983}$	0.842625					
Gemiddelden: $R_0 = 3.427432 \pm 0.9 \times 10^{-5}$; $R_{100} = 4.769116 \pm 1.1 \times 10^{-5}$; $R_{444.6} = 9.085378 \pm 4.3 \times 10^{-5}$; $R_{-182.983} = 0.842625 \pm 1.6 \times 10^{-5}$.						

TABEL XIV.

Basispunten van Pt 74. Weerstand in Ω .						
Datum	21—II—'35	27—II—'35	28—II—'35	1—III—'35	5—III—'35	6—III—'35
R_0	4.680177	4.680168	4.680154	4.680265	4.680167	4.680187
Datum	7—III—'35	11—III—'35	13—III—'35	20—III—'35	23—III—'35	14—VI—'35
R_0	4.680153	4.680222	4.680208	4.680244	4.680213	4.680205
Datum	28—II—'35	1—III—'35	13—III—'35	14—III—'35	22—III—'35	
R_{100}	6.511817	6.511812	6.511805	6.511782	6.511860	
Datum	27—III—'35	28—III—'35	15—VII—'35			
$R_{444.6}$	12.403976	12.403563	12.403580			
$R_{-182.983}$	1.151360					
Gemiddelden: $R_0 = 4.680197 \pm 1.0 \times 10^{-5}$; $R_{100} = 6.511815 \pm 1.3 \times 10^{-5}$; $R_{444.6} = 12.403706 \pm 13.5 \times 10^{-5}$; $R_{-182.983} = 1.151360 \pm 0.5 \times 10^{-5}$.						

TABEL XV.

Ijspuntsweerstand van Pt 73. Weerstand in Ω .					
Datum R_0	1—XI—'34 12.57913	2—XI—'34 12.57915	7—XI—'34 12.57914	12—XI—'34 12.57918	13—XI—'34 12.57909
Datum R_0	14—XI—'34 ¹⁾ 12.57924	14—XI—'34 ²⁾ 12.57904	15—XI—'34 12.57884	21—XI—'34 12.57882	23—XI—'34 12.57904
Datum R_0	25—XI—'34 12.57910	29—XI—'34 ¹⁾ 12.57923	29—XI—'34 ²⁾ 12.57915	4—XII—'34 12.57892	5—XII—'34 12.57907
Datum R_0	6—XII—'34 ¹⁾ 12.57916	6—XII—'34 ²⁾ 12.57913 ⁵	7—XII—'34 12.57923	10—XII—'34 12.57911 ⁵	10—XII—'34 12.57907
Datum R_0	20—XII—'34 12.57920	9—I—'35 12.57901	21—I—'35 12.57916	22—I—'35 12.57919	28—I—'35 12.57926
Datum R_0	5—II—'35 12.57943	11—II—'35 12.57909	12—II—'35 12.57921	6—III—'35 12.57921	7—III—'35 12.57936
Datum R_0	13—III—'35 12.57926	20—III—'35 12.57926			
Gemiddelde: $R_0 = 12.57914^3 \pm 2.3 \cdot 10^{-5}$.					

De resultaten van de tabellen X—XIV zijn samengevat in tabel XVI.

TABEL XVI.

Basispunten van Pt 68, 71, 69, 74, en 70. Weerstand in Ω .				
Pt	R_0	R_{100}	$R_{444.60}$	$R_{-182.98^3}$
68	12.44212 ⁷	17.30922 ²	32.96482 ⁵	3.06722 ⁵
71	12.49385	17.38377 ⁷	33.10956 ⁵	3.07434 ⁵
69	15.43979	21.47277 ⁶	40.88025 ⁹	3.81834 ⁵
74	4.68019 ⁷	6.51181 ⁵	12.40370 ⁶	1.15136 ⁰
70	3.42743 ²	4.76911 ⁶	9.08537 ⁸	0.84262 ⁵

Uit tabel XVI zijn de verhoudingen $\frac{R_t}{R_0}$ bij de basispunten en de grootheden α en δ berekend. Deze waarden worden gegeven in tabel XVII.

TABEL XVII.

Verhoudingen $\frac{R_t}{R_0}$, benevens α en δ , voor de platinathermometers.					
Pt	$\frac{R_{-182.98^3}}{R_0}$	$\frac{R_{100}}{R_0}$	$\frac{R_{444.60}}{R_0}$	α	δ
68	0.246519 ⁴	1.391178 ⁷	2.649452 ⁵	0.00391178 ⁷	1.49715 ⁶
71	0.246068 ⁰	1.391386 ⁵	2.650068 ⁶	0.00391386 ⁵	1.5014 ⁹¹
69	0.247305 ⁶	1.390743 ¹	2.647721 ⁹	0.00390743 ¹	1.4953 ⁸⁶
74	0.246006 ⁸	1.391354 ⁹	2.650253 ⁰	0.00391354 ⁹	1.4961 ⁹⁶
70	0.245847 ³	1.391454 ⁶	2.650782 ⁹	0.00391454 ⁶	1.4944 ⁷³

Deze thermometers blijken dus alle aan de voorschriften van de internationale temperatuurschaal te voldoen; zie hoofdstuk I, § 4. De constanten van de vergelijking

$$R_t = R_0 \{ 1 + At + Bt^2 + Ct^3(t-100) \}$$

voor de platinathermometers zijn gegeven in tabel XVIII.

TABEL XVIII.

Constanten van de platinathermometers.					
Pt	R_0 in Ω .	A	B	C	
68	12.44212 ⁷	0.00397035 ³	-0.58565 ⁵⁵ . 10 ⁻⁶	-4.247 ⁴⁶ . 10 ⁻¹²	
71	12.49385	0.00397263 ¹	-0.58766 ³³ ..	-4.228 ²⁰ ..	
69	15.43979	0.00396586 ²	-0.58431 ¹⁸ ..	-4.293 ⁹² ..	
74	4.68019 ⁷	0.00397210 ⁴	-0.58554 ³⁶ ..	-4.360 ⁴⁵ ..	
70	3.42743 ²	0.00397304 ⁴	-0.58498 ⁰⁰ ..	-4.364 ¹⁴ ..	

B. De heliumthermometer.

§ 11. Apparatuur.

Thermometer en manometer komen in hoofdzaak overeen met de apparatuur, beschreven in Commun. N^o. 152a¹⁾.

De apparatuur is afgebeeld in fig. 8.

Het reservoir is vervaardigd van Jenaglas 16^{III}; het volume bij 0°C bedraagt 108.578 cm³. De lengte van de glascapillair bedraagt 57 cm en de inhoud 46.1 mm³. Het volume bij de stalen spits heeft een grootte van 568.2 mm³, het volume der staalcapillair is 454.0 mm³. Teneinde een uniforme doorsnede te waarborgen, is het korte manometerbeen uitgeboord; het heeft een doorsnede van 195.77 mm², terwijl de diameter 15.8 mm bedraagt.

De drukmetingen werden op dezelfde wijze verricht als is beschreven in Commun. N^o. 188a; alleen werd het vacuum in het lange manometerbeen verkregen met een kwikdiffusiepomp en gecontroleerd met een MacLeod. De aflezingen van de toppen en de randen van de menisci geschieden met een kathetometer en een schaal. De gebruikte schaal was vergeleken met een invar standaardschaal, gecalibreerd door de Société Gènevoise. De kijkers van den kathetometer waren voorzien van micrometerschroeven, waarmede de drukaflezingen konden geschieden met een

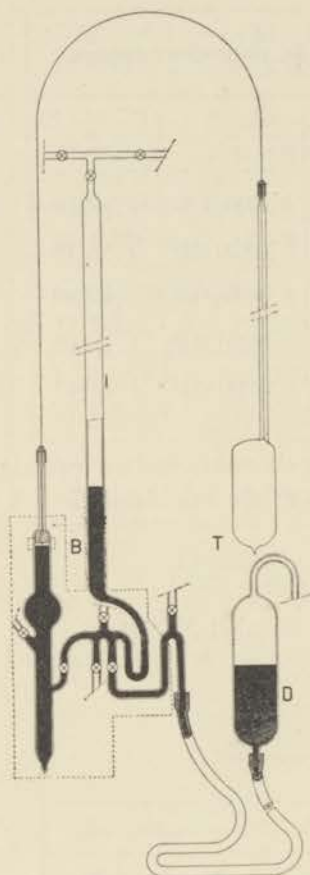


Fig. 8. Heliumthermometer.

nauwkeurigheid van 0.002 mm. De aflezingen van den druk werden gecorrigeerd op 0°C en op de normale schaal. Als uitzettings-

¹⁾ P. G. CATH en H. KAMERLINGH ONNES, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 152a.

coëfficiënt van kwik tusschen 0 en 20°C werd $1.8183 \cdot 10^{-4}$ 1) gebruikt. De temperatuur van het kwik werd bepaald met nauwkeurig gecalibreerde kwikthermometers. De correctie op de normale schaal wordt gegeven door den factor 1.00062 2).

Correctie voor de glasuitzetting:

Deze correctie werd aangebracht met de gegevens van Commun. N^o. 203a 3).

De bepaling van de temperatuur van de glascapillair geschiedde met behulp van een hulpcapillair 4).

De correctie voor het volume tusschen het horizontale vlak, gebracht door het uiteinde van de stalen spits en het kwikoppervlak, werd berekend met de gegevens van PALACIOS 5).

Door BIJL werd met dezen thermometer voor den normalen spanningscoëfficiënt van helium gevonden: $a_{nHe}^{0-100} = 0.0036607$. Deze waarde stemt goed overeen met die, vermeld in Commun. N^o. 230d, nl. $a_{nHe}^{0-100} = 0.0036607$ 2 6). Bij de berekeningen werd de laatste waarde gebruikt.

De nulpuntsdruk van den gasthermometer bedroeg:

$$991.74^1 \pm 0.016 \text{ mm.}$$

Voor de herleiding van de temperaturen op de Celsius-Avogadro-schaal werd gebruik gemaakt van de reducties vermeld in het rapport van KEESOM en TUYN over de gasthermometerschaal 7). Zie hoofdstuk I, § 2.

Deze reducties volgen in achterstaande tabel.

1) J. J. M. VAN SANTEN, Diss. Leiden 1934, blz. 26 en 53.

2) H. KAMERLINGH ONNES en W. H. KEESOM, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden Suppl. N^o. 51a.

3) W. H. KEESOM en A. BIJL, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 203a.

4) P. G. CATH en H. KAMERLINGH ONNES, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 152a.

5) M. PALACIOS, Ann. de la Soc. de Y Quien, 27, 275, 1919.

6) W. H. KEESOM, Miss H. V. D. HORST en K. W. TACONIS, Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden N^o. 230d.

7) W. H. KEESOM en W. TUYN, L'échelle des thermomètres à gaz, Trav. et Mém. du bur. int. des Poids et Mesures, t. 20; Commun. Kamerlingh Onnes Lab., Leiden Suppl. N^o. 78.

t in $^{\circ}\text{C}$.	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
$t_{A.\alpha} - t_{n.He}$ in 10^{-3} grad.	0	0	+ 1	+ 1	+ 2	+ 3	+ 3	+ 4	+ 4	+ 5
t in $^{\circ}\text{C}$.	-100	-110	-120	-130	-140	-150	-160	-170	-180	-190
$t_{A.\alpha} - t_{n.He}$ in 10^{-3} grad.	+ 6	+ 7	+ 8	+ 9	+11	+13	+15	+17	+19	+21

HOOFDSTUK III.

Vergelijking van de platinathermometers met den heliumthermometer.

§ 1. *Beschrijving van cryostaat en apparatuur om baden van constante temperatuur te verkrijgen.*

Er werd een thermostaat vervaardigd, geschikt om temperatuurmetingen te verrichten in het temperatuurgebied van 0 tot -150°C .

Een soortgelijk toestel is het eerst beschreven door R. B. SCOTT en F. G. BRICKWEDDE¹⁾. Hier volgt een korte beschrijving van de apparatuur. Het toestel is afgebeeld in fig. 9.

Het dubbelwandige glas V_1 , (inwendige diameter 9 cm), dat is gevuld met petroleumaether of pentaan, is omgeven door het met vloeibare lucht gevulde vacuumglas V_2 . Het binnenste glas is door middel van een gummiring G bevestigd aan de vlakke koperen plaat K , die aan een tafel is bevestigd. Het buitenglas rust op een steltafel.

Wanneer tot een bepaalde temperatuur, waarbij men een meting wil verrichten, is afgekoeld, wordt de mantel van V_1 leeggepompt. De mantel staat daartoe door een buis M in verbinding met een

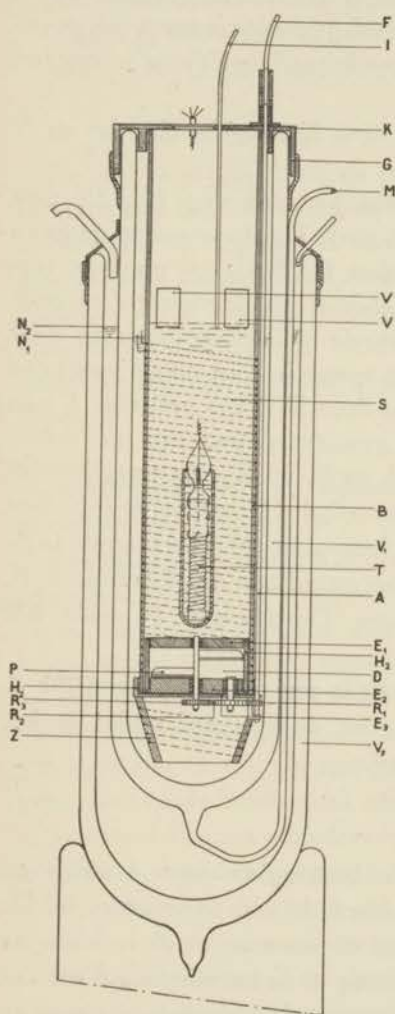


Fig. 9. Cryostaat voor temperaturen van 0 tot -150°C .

¹⁾ R. B. SCOTT en F. G. BRICKWEDDE, J. Res. Bur. Stand., 6, 401, 1931.

kwikdiffusiepompe. Centrisch in het binnenglas V_1 is een bakeliëtbuis B aangebracht; lengte 37 cm, inwendige diameter 7 cm, wanddikte 0.25 cm. In deze bakeliëtbuis bevinden zich op 24 cm hoogte van den bodem 4 vensters V , waardoor de vloeistof kan uitstroomen. Afmetingen van V : lengte 2.5 cm, breedte 1.5 cm. In den wand van de bakeliëtbuis is een spiraalvormige groef gesneden, waarin een stookdraad S bifilair is gewikkeld. De stookdraad heeft een weerstand van 30Ω .

Beneden in de bakeliëtbuis is een doos D aangebracht, die op de volgende wijze is geconstrueerd:

De zijwand wordt gevormd door een koperen ring H_1 , die past in de buis B (hoogte van $H_1 = 3.6$ cm). De doos wordt gesloten door het deksel E_1 en door den bodem E_2 , beide uit pertinax vervaardigd. In E_1 en E_2 zijn gaten geboord om de vloeistof te laten doorstromen. De buis B wordt aan de onderzijde omsloten door den koperen ring H_2 ; hieraan is de eveneens van gaten voorziene koperen bodem E_3 gesoldeerd. In de doos D is een propeller P van nieuwzilver aangebracht. Deze is gesoldeerd aan een as, die is gelagerd in babbitts, welke centrisch in E_1 en E_2 zijn aangebracht. Op dezelfde as is het rondsel R_3 bevestigd. Het geheel wordt door middel van de rondsels R_2 en R_1 in beweging gebracht door de as A .

De as A is buiten den cryostaat bevestigd aan een flexibele as F , die is gekoppeld aan een electromotor. De propeller P maakt 400 omwentelingen per minuut.

Aan den bodem van de bakeliëtbuis is een conisch verlengstuk Z bevestigd, teneinde te voorkomen, dat de vloeistof onder in het vacuumglas niet zou worden geroerd.

Werking van het toestel.

Het niveau van de vloeistof in het binnenglas wordt aangegeven door N_1 , $\pm \frac{1}{2}$ cm lager dan de onderzijde van de vensters V . De propeller P stuwt de vloeistof door de opening in Z en door de gaten in de platen E_3 , E_2 en E_1 omhoog in de bakeliëtbuis B tot aan de vensters V ; door deze vensters stroomt de vloeistof weg naar de buitenzijde van de bakeliëtbuis.

De propeller P kan een niveauverschil van $3\frac{1}{2}$ cm tusschen de vloeistof binnen en buiten de bakeliëtbuis tot stand brengen. Door

deze circulatie wordt voortdurend nieuwe vloeistof in de bakelietbuis gebracht.

Vloeistoffen:

Als vloeistoffen werden gebruikt:

Van 0°C tot -100°C petroleumaether,
van -100°C tot -150°C pentaan.

Wijze van afkoelen.

Bij het vergelijken van de platinathermometers met den heliumthermometer begint men bij de laagste temperatuur, die men wenschte te bereiken. In den mantel van het binnenglas V_1 wordt lucht toegelaten. Het buitenglas V_2 wordt tot ongeveer het niveau N_2 met vloeibare lucht gevuld. In ongeveer $2\frac{1}{2}$ uur kan men van kamertemperatuur afkoelen tot -150°C . Daarna wordt de mantel van V_1 geëvacueerd, zoodat er nog slechts een geringe afkoeling plaats vindt.

Beschrijving van de relaischakeling en de regeling van den stroom (zie fig. 10).

Binnen de bakelietbuis B is een platinathermometer T ($R_0 = 50 \Omega$) aangebracht, die de temperatuur van het vloeistofbad aangeeft. Deze thermometer is met den weerstand W opgenomen in eene schakeling volgens KOHLRAUSCH (overgrijpende nevensluiting). De weerstandsveranderingen van T , die het gevolg zijn van temperatuurveranderingen in den cryostaat, worden aangewezen door den galvanometer G . Op het spiegeltje S van den galvanometer valt een geconcentreerde lichtbundel, afkomstig van een 50-kaars autolampje L ; het beeld van het gloeidraadje van de lamp wordt afgebeeld door een lens L_1 , via het spiegeltje S en een prisma P .

Een verschuiving van 3 cm van het lichtbeeldje correspondeert met een temperatuurverandering van 0.01 graad.

Na het evacueeren van den mantel van V_1 , wordt de afkoeling van het vloeistofbad gecompenseerd door warmte toe te voeren in den stookdraad S . De stroom wordt zoo geregeld, dat de platinathermometer T nog een geringe temperatuurdaling aangeeft. De temperatuurregeling vindt als volgt plaats:

Bij een temperatuurdaling van het vloeistofbad valt het lichtbeeldje op een photoëlectrische cel. (Caesiumcel, importrice N.V. Hoffman's Radio 's-Gravenhage). Hierdoor ontstaat een photoëlectrische stroom. Deze wordt versterkt met behulp van de trioden *A 415* en *B 406* (zie fig. 10). De versterkte stroom schakelt het relais R_1 in werking, R_1 op zijn beurt het relais R_2 . Door het inschakelen van het relais R_2 wordt over *S* een weerstand W_1 geshunt. De grootte van dezen weerstand is zoodanig gekozen, dat door het inschakelen van R_2 , de stroom zooveel wordt vergroot, dat deze een temperatuurstijging van het vloeistofbad bewerkstelligt. Het lichtbeeldje schuift tengevolge van deze temperatuurstijging weg van de cel, waardoor de relais R_1 en R_2 worden uitgeschakeld. Met behulp van deze installatie is het mogelijk de temperatuur binnen de bakeliëtbuis op 0.001 à 0.002 graad constant te houden.

Met een platinathermometer werd de temperatuurverdeling binnen de bakeliëtbuis onderzocht. De gemeten temperatuurverschillen zijn kleiner dan 0.001 graad. Gedurende de metingen wordt het niveau N_2 van de vloeibare lucht op constante hoogte gehouden.

In de meetruimte binnen *B* is plaats voor den heliumthermometer met hulpcapillair en 3 te ijen platinathermometers.

§ 2. *Vergelijking van de platinathermometers met den heliumthermometer.*

Meetmethode.

De te vergelijken platinathermometers werden met den heliumthermometer in den cryostaat geplaatst. Tijdens een meting werden de volgende grootheden bepaald:

druk van het helium in den heliumthermometer,
de weerstanden van de platinathermometers.

De metingen van den heliumthermometer werden herleid als is aangegeven in § 11 van hoofdstuk II.

t_{int} werd berekend uit de formule:

$$R_t = R_0 \{ 1 + A t + B t^2 + C t^3 (t - 100) \}.$$

De waarden van de constanten R_0 , A , B en C werden reeds opgegeven in tabel XVIII, § 10, hoofdstuk II.

Het grootste gedeelte van onze metingen bestaat uit directe vergelijkingen van de platinathermometers met den heliumthermometer. Daarna vond nog een vergelijking plaats van platinathermometers onderling.

§ 3. *De resultaten van de metingen.*

De resultaten van de metingen zijn vermeld in de tabellen XIX—XXIV. Voor de verschillende platinathermometers zijn de verschillen $t_{A,\alpha} - t_{int}$ als functie van de temperatuur berekend. Deze verschillen zijn opgegeven in de laatste kolom van de tabellen XX—XXIV. In de figuren 11—15 zijn deze verschillen als functie van de temperatuur uitgezet.

De bespreking van de resultaten vindt plaats in hoofdstuk IV.

TABEL XIX.

Vergelijking van platinathermometers onderling. 10 Oct. 1935. Weerstand in Ω .							
Pt 71		Pt 68		Pt 69		Pt 70	
R_t	t_{int}	R_t	t_{int}	R_t	t_{int}	R_t	t_{int}
10.35050	— 42.899	10.30893	— 42.899				
10.35042	— 42.901					2.83938	— 42.899
10.34997	— 42.914			12.79471	— 42.914		
7.71535	— 94.780	7.68589	— 94.779				
7.71555	— 94.776			9.54539	— 94.761		
7.71545	— 94.778					2.11636	— 94.775
5.46886	— 138.052	5.45031	— 138.054				
5.46850	— 138.059			6.77461	— 138.029		
5.46839	— 138.061	5.44988	— 138.063				
5.46849	— 138.058					1.49985	— 138.059

TABEL XX.

Vergelijking van Pt 68 met den heliumthermometer.					
Datum	$t_{A,\alpha}$ in °C	R_t	$\frac{R_t}{R_0}$	t_{int} in °C	$t_{A,\alpha} - t_{int}$
8-VII-'35	- 17.699	11.56474	0.929482	- 17.715	+0.016 °C
8-VII- ..	- 30.336	10.93588	0.878940	- 30.352	+0.016
8-VII- ..	- 46.703	10.11713	0.813135	- 46.728	+0.025
3-V- ..	- 58.919	9.50267	0.763744	- 58.958	+0.039
3-V- ..	- 65.801	9.15585	0.735875	- 65.835	+0.034
3-V- ..	- 73.696	8.75614	0.703750	- 73.739	+0.043
8-VII- ..	- 81.243	8.37322	0.672973	- 81.288	+0.045
3-V- ..	- 83.951	8.23587	0.661934	- 83.991	+0.040
2-V- ..	- 84.881	8.18832	0.658112	- 84.926	+0.045
2-V- ..	- 90.846	7.88450	0.633694	- 90.889	+0.043
2-V- ..	- 97.099	7.56579	0.608078	- 97.127	+0.028
6-V- ..	-104.500	7.18679	0.577617	-104.523	+0.023
6-V- ..	-117.301	6.52845	0.524705	-117.306	+0.005
6-V- ..	-130.452	5.84749	0.469975	-130.439	-0.013
6-V- ..	-139.296	5.38597	0.432882	-139.285	-0.011
4-VII- ..	-147.365	4.96272	0.398864	-147.357	-0.008
4-VII- ..	-151.844	4.72699	0.379918	-151.834	-0.010

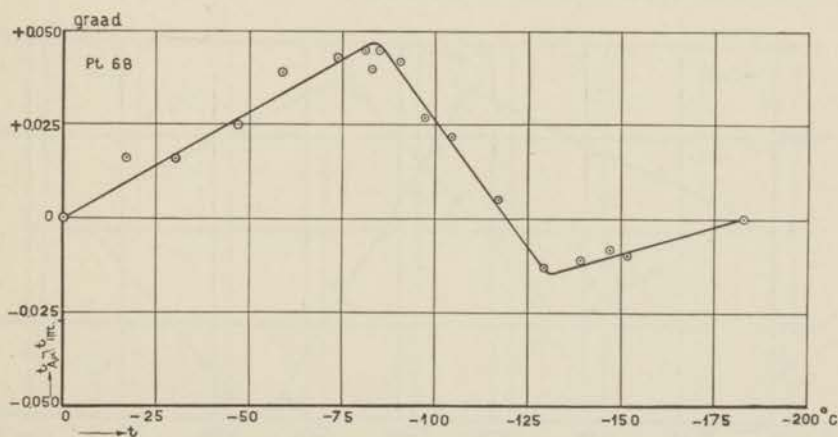


Fig. 11. Vergelijking van de internationale temperatuurschaal Pt 68 met de thermodynamische schaal.

TABEL XXI.

Vergelijking van Pt 69 met den heliumthermometer.					
Datum	$t_{A.\alpha}$ in °C	R_t	$\frac{R_t}{R_0}$	t_{int} in °C	$t_{A.\alpha} - t_{int}$
8-VII-'35	- 17.698	14.35275	0.929595	- 17.706	+0.008 °C
8-VII- "	- 30.346	13.57211	0.879035	- 30.362	+0.016
8-VII- "	- 46.708	12.55780	0.803340	- 46.729	+0.021
3-V- "	- 58.916	11.79716	0.764071	- 58.943	+0.027
3-V- "	- 65.831	11.36479	0.736072	- 65.860	+0.029
3-V- "	- 73.691	10.87187	0.704146	- 73.724	+0.033
8-VII- "	- 81.242	10.39688	0.673382	- 81.279	+0.037
3-V- "	- 83.894	10.22921	0.662523	- 83.940	+0.046
2-V- "	- 84.885	10.16711	0.658501	- 84.925	+0.040
2-V- "	- 90.849	9.79155	0.634177	- 90.872	+0.023
2-V- "	- 97.109	9.39590	0.608551	- 97.120	+0.011
6-V- "	-104.445	8.93060	0.578415	-104.445	0.000
6-V- "	-117.254	8.11400	0.525525	-117.235	-0.019
6-V- "	-130.451	7.26751	0.470700	-130.406	-0.045
6-V- "	-139.314	6.69412	0.433563	-139.265	-0.049
4-VII- "	-147.365	6.17089	0.399675	-147.319	-0.046
4-VII- "	-151.869	5.87629	0.380594	-151.833	-0.036

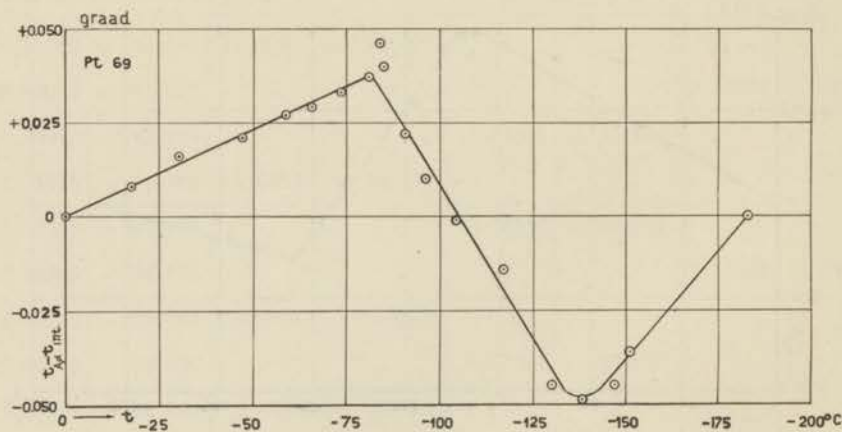


Fig. 12. Vergelijking van de internationale temperatuurschaal Pt 69 met de thermodynamische schaal.

TABEL XXII.

Vergelijking van Pt 70 met den heliumthermometer.					
Datum	$t_{A.\alpha}$ in °C	R_t	$\frac{R_t}{R_0}$	t_{int} in °C	$t_{A.\alpha} - t_{int}$
14-VI-'35	- 26.065	3.070917	0.895982	- 26.079	+0.014 °C
14-VI- ..	- 42.489	2.844732	0.829989	- 42.513	+0.024
14-VI- ..	- 54.205	2.682714	0.782718	- 54.229	+0.024
14-VI- ..	- 63.158	2.558432	0.746457	- 63.183	+0.025
14-VI- ..	- 72.804	2.458180	0.717208	- 72.841	+0.037
14-VI- ..	- 80.863	2.311209	0.674327	- 80.903	+0.040
7-VI- ..	- 82.900	2.282717	0.666013	- 82.936	+0.036
7-VI- ..	- 95.598	2.104347	0.613972	- 95.627	+0.029
24-VI- ..	-109.099	1.913807	0.558379	-109.103	+0.004
24-VI- ..	-122.083	1.729067	0.504479	-122.082	-0.001
24-VI- ..	-134.313	1.554178	0.453453	-134.285	-0.028
18-VI- ..	-146.765	1.374202	0.400942	-146.752	-0.013
20-VI- ..	-150.366	1.322053	0.385729	-150.347	-0.019

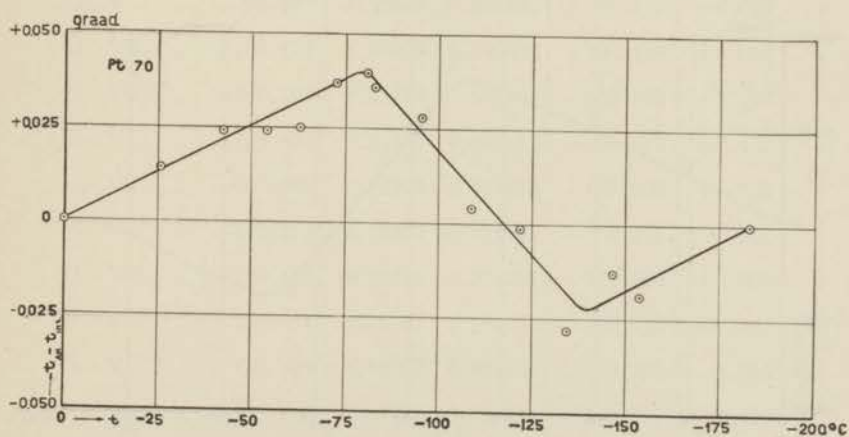


Fig. 13. Vergelijking van de internationale temperatuurschaal Pt 70 met de thermodynamische schaal.

TABEL XXIII.

Vergelijking van <i>Pt</i> 74 met den heliumthermometer.					
Datum	$t_{A.\alpha}$ in °C	R_t	$\frac{R_t}{R_0}$	t_{int} in °C	$t_{A.\alpha} - t_{int}$
12-VII-'35	- 27.529	4.16603 ⁸	0.890145	- 27.543	+0.014°C.
12-VII- ..	- 39.653	3.93818 ⁴	0.841457	- 39.672	+0.019
12-VII- ..	- 51.538	3.71432 ⁶	0.793626	- 51.566	+0.028
12-VII- ..	- 64.922	3.46019 ⁴	0.739327	- 64.956	+0.032
12-VII- ..	- 76.590	3.23799 ⁸	0.691851	- 76.626	+0.036
12-VII- ..	- 89.507	2.99070 ⁴	0.639012	- 89.549	+0.042
11-VII- ..	-100.122	2.78685 ⁹	0.595458	-100.148	+0.026
12-VII- ..	-100.274	2.78405 ²	0.594858	-100.292	+0.018
11-VII- ..	-107.074	2.65271 ⁹	0.566796	-107.092	+0.018
11-VII- ..	-120.453	2.39332 ⁶	0.511373	-120.452	-0.001
11-VII- ..	-132.107	2.16590 ⁹	0.462782	-132.089	-0.018
11-VII- ..	-143.598	1.93978 ⁰	0.414466	-143.582	-0.016
11-VII- ..	-153.375	1.74612 ⁷	0.373088	-153.358	-0.017

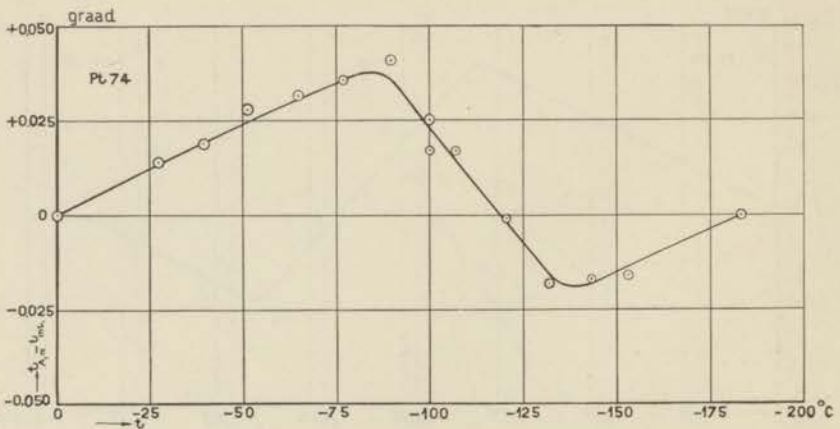


Fig. 14. Vergelijking van de internationale temperatuurschaal *Pt* 74 met de thermodynamische schaal.

TABEL XXIV.

Vergelijking van Pt 71 met den heliumthermometer.					
Datum	$t_{A.\alpha}$ in °C	R_t	$\frac{R_t}{R_0}$	t_{int} in °C	$t_{A.\alpha} - t_{int}$
12-VII-'35	- 27.507	11.12211	0.890206	- 27.522	+0.015 °C.
12-VII- ..	- 39.651	10.51278	0.841436	- 39.672	+0.021
12-VII- ..	- 51.522	9.91474	0.793570	- 51.548	+0.026
14-VI- ..	- 54.206	9.77862	0.782675	- 54.235	+0.029
3-V- ..	- 58.910	9.54139	0.763687	- 58.937	+0.027
14-VI- ..	- 63.161	9.32559	0.746414	- 63.198	+0.037
12-VII- ..	- 64.928	9.23628	0.739266	- 64.961	+0.033
3-V- ..	- 65.833	9.19017	0.735576	- 65.870	+0.037
3-V- ..	- 73.684	8.79121	0.703643	- 73.722	+0.038
12-VII- ..	- 76.603	8.64239	0.691732	- 76.645	+0.042
3-V- ..	- 83.872	8.27137	0.662035	- 83.916	+0.044
12-VII- ..	- 89.520	7.99373	0.639813	- 89.561	+0.041
2-V- ..	- 90.850	7.91478	0.633492	- 90.884	+0.034
2-V- ..	- 97.089	7.59488	0.607890	- 97.117	+0.028
11-VII- ..	-100.123	7.43909	0.595420	-100.145	+0.022
12-VII- ..	-100.265	7.43174	0.594832	-100.288	+0.023
6-V- ..	-104.485	7.21410	0.577412	-104.512	+0.027
11-VII- ..	-107.080	7.16904	0.573806	-107.100	+0.020
6-V- ..	-117.273	6.55363	0.524549	-117.272	-0.001
11-VII- ..	-120.458	6.38796	0.511288	-120.463	+0.005
6-V- ..	-130.454	5.86761	0.469640	-130.442	-0.012
6-V- ..	-139.323	5.40307	0.432458	-139.309	-0.014
11-VII- ..	-143.610	5.17705	0.414368	-143.599	-0.011
11-VII- ..	-153.310	4.66425	0.373324	-153.298	-0.012

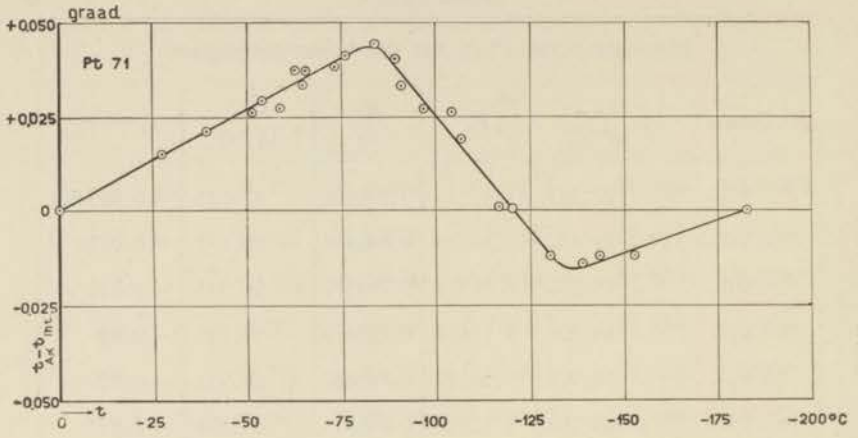


Fig. 15. Vergelijking van de internationale temperatuurschaal Pt 71 met de thermodynamische schaal.

HOOFDSTUK IV.

Bespreeking van de resultaten.

§ 1. *Vergelijking van platinathermometers onderling.*

In tabel XIX, zie hoofdstuk III, § 3, zijn de resultaten van de directe vergelijking van platinathermometers onderling vermeld.

Voor deze vergelijking heeft het feit, dat voor het zuurstofpunt de waarde -182.98^3 (zie hoofdstuk II, § 9) in plaats van -182.97^0 werd gebruikt, geen invloed.

Uit tabel XIX is tabel XXV, waarin de verschillen in aanwijzingen van thermometers met die van *Pt 71* zijn verzameld, afgeleid.

TABEL XXV.

Verschillen in aanwijzingen van platinathermometers.			
<i>t</i> °C	<i>Pt 68</i> – <i>Pt 71</i> in graden	<i>Pt 69</i> – <i>Pt 71</i> in graden	<i>Pt 70</i> – <i>Pt 71</i> in graden
– 43	0.000	0.000	+0.002
– 95	+0.001	+0.015	+0.003
–138	{ +0.002 +0.002	+0.030	–0.001

Uit tabel XXV besluiten we het volgende:

a. De aanwijzingen van *Pt 68* en *Pt 71*, thermometers, die zijn vervaardigd van denzelfden klos platina van HERAEUS, stemmen binnen 0.002 graad met elkaar overeen.

β. De aanwijzingen van *Pt 70* (draad van Bureau of Standards) en die van *Pt 71* (draad van HERAEUS) stemmen binnen 0.003 graad met elkaar overeen.

γ. De aanwijzingen van *Pt 69* en *Pt 71*, vervaardigd van draad van HERAEUS van verschillenden datum van levering, verschillen 0.03 graad bij -138°C .

§ 2. *Vergelijking van de platinathermometers met den heliumthermometer.*

De berekende waarden van t_{int} verschillen in zooverre van de exacte temperaturen van de internationale temperatuurschaal, zooals deze tot nu toe is gedefinieerd, dat het zuurstofpunt werd genomen als -182.98° in plaats van -182.97° .

Tabel XXVI geeft de correcties, die men aan de opgegeven temperaturen heeft aan te brengen, indien men wenscht over te gaan tot de temperaturen van de officiële internationale temperatuurschaal (zuurstofpunt -182.97°).

TABEL XXVI.

Correcties aan te brengen om over te gaan naar de officiële internationale temperatuurschaal.						
t in $^{\circ}\text{C}$	-90	-100	-120	-140	-160	-183
$\Delta t \cdot 10+^3$	1.1	1.6	3.0	5.1	8.1	13.0

Uit de figuren 11—15 is tabel XXVII afgeleid, die de afgeronde verschillen $t_{A. \alpha} - t_{int}$ als functie van de temperatuur geeft.

Conclusies.

a. Uit de figuren 11—15 is de middelbare fout van de waarnemingen op verschillende dagen berekend (voor *Pt* 69 op 5 dagen). We besluiten hieruit, dat de middelbare fout van een aflezing met den heliumthermometer 0.004 graad bedraagt.

Dit kan beschouwd worden als de nauwkeurigheid, waarmee de platinathermometer kan worden gec calibreerd door één vergelijking met den heliumthermometer. Deze nauwkeurigheid bedraagt slechts weinig minder dan de nauwkeurigheid (0.002 tot 0.003 graad), waarmee men de basispunten van den platinathermometer: ijspunt, stoompunt, zuurstofpunt, kan bepalen door directe vergelijking. Dit getal echter heeft betrekking op de vergelijking van den platinathermometer met de schaal van één bepaalden heliumthermometer. Uit de gegevens van Commun. N^o. 203*b*, § 4 en Commun. N^o. 239*d*, § 6, leiden we af, dat in Leiden de aflezingen van verschillende heliumthermometers (gedurende een tijdsverloop van 27 jaar) bij

TABEL XXVII.

Vergelijking van de platinathermometers met den heliumthermometer. Afgeronde waarden.					
$t_{A.\alpha} - t_{int}$ in 0.001 graden.					
t	Pt 68	Pt 71	Pt 69	Pt 70	Pt 74
0	0	0	0	0	0
- 10	+ 6 ⁵	+ 5 ⁵	+ 4 ⁵	+ 5	+ 5
- 20	+12 ⁵	+10 ⁵	+ 9	+10	+10
- 30	+18 ⁵	+16	+14	+14 ⁵	+15
- 40	+24 ⁵	+21	+18	+20	+20
- 50	+30 ⁵	+26 ⁵	+23 ⁵	+24 ⁵	+25
- 60	+36	+31 ⁵	+28	+29 ⁵	+29 ⁵
- 70	+41 ⁵	+37	+32 ⁵	+34	+34
- 80	+45 ⁵	+42	+37 ⁵	+39	+38 ⁵
- 90	+39 ⁵	+37 ⁵	+27 ⁵	+32 ⁵	+40
-100	+25 ⁵	+24 ⁵	+ 7 ⁵	+19 ⁵	+25
-110	+12	+11 ⁵	-10 ⁵	+ 6	+11 ⁵
-120	- 1	0	-28	- 7	- 2
-130	-13 ⁵	-12	-45	-20	-15
-140	-11 ⁵	-14 ⁵	-49 ⁵	-23 ⁵	-20
-150	- 9	-11	-40	-18	-15 ⁵
-160	- 6 ⁵	- 7 ⁵	-28	-12 ⁵	-10 ⁵
-170	- 3 ⁵	- 4 ⁵	-15 ⁵	- 7	- 6
-180	- 1	- 1	- 3 ⁵	- 2	- 1 ⁵
-183	0	0	0	0	0

het zuurstofpunt zoodanig overeenkomen, dat de middelbare fout van een bepaling met een heliumthermometer ongeveer 0.009 graad bedraagt.

β . In de figuren 16a—16d zijn de verschillen in aanwijzingen, telkens van twee platinathermometers uitgezet. We zien hieruit, dat de middelbare fout van die verschillen ongeveer 0.006 graad bedraagt. In deze middelbare fout is nog de middelbare fout van 2 aflezingen van den heliumthermometer aanwezig ten bedrage van elk 0.004 graad (§ 2 onder α).

We kunnen opmerken, dat de aanwijzingen van *Pt* 74, vervaardigd van draad van JOHNSON en MATTHEY, en die niet direct is vergeleken met de andere platinathermometers, binnen de nauwkeurigheid van de aflezingen van den heliumthermometer overeenstemt met *Pt* 68 en *Pt* 71. Wat de overeenstemming van de aanwijzingen van de andere platinathermometers onderling betreft, verwijzen we naar § 1.

γ . Voor onze algemeene conclusie, betreffende de reproduceerbaarheid van de internationale temperatuurschaal in het door ons beschouwde temperatuurgebied, zullen we niet een te grooten nadruk leggen op het afwijkende gedrag, dat is gevonden voor *Pt* 69. Indien we de resultaten verkregen met dezen thermometer buiten beschouwing laten, zou onze conclusie zijn, dat de aanwijzingen van platinathermometers, vervaardigd van draad van verschillende herkomst, met elkaar overeenstemmen binnen 0.01 graad.

Beschouwen we *Pt* 69 echter als een thermometer, die voldoet aan de voorschriften, geformuleerd in de definitie van de internationale temperatuurschaal, dan zien we op het moment nog redenen om voorzichtig te zijn; immers de gevonden verschillen (0.03 graad bij -138°C) wijzen erop, dat het niet onmogelijk is, dat platinadraden van verschillende herkomst, dus met mogelijk verschillende verontreiniging, hoe klein deze ook moge zijn, verschillende temperatuur-aanwijzingen kunnen geven.

Verder onderzoek zal moeten leeren of een zelfde gedrag voor andere draden wordt gevonden, en of, indien zulks het geval is, nog verdere voorschriften kunnen worden voorgesteld, betreffende de zuiverheid van den draad, om zulke afwijkingen te vermijden.

Een andere oplossing zou kunnen worden gevonden door aan de vergelijking

$$R_t = R_0 \{ 1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t - 100) \}$$

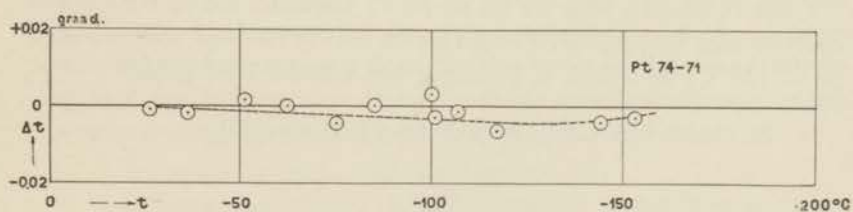
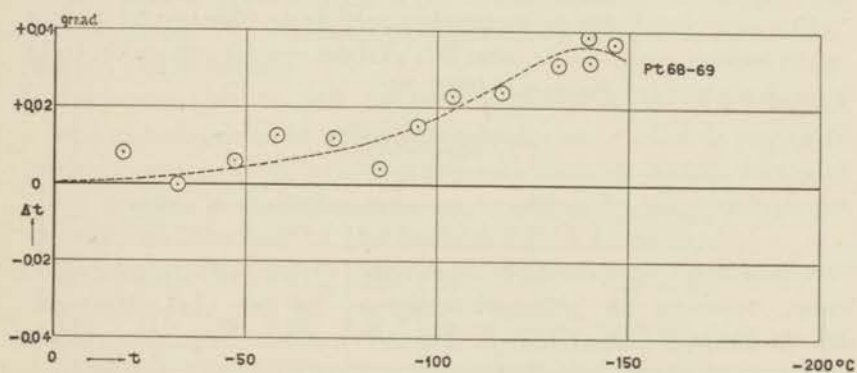
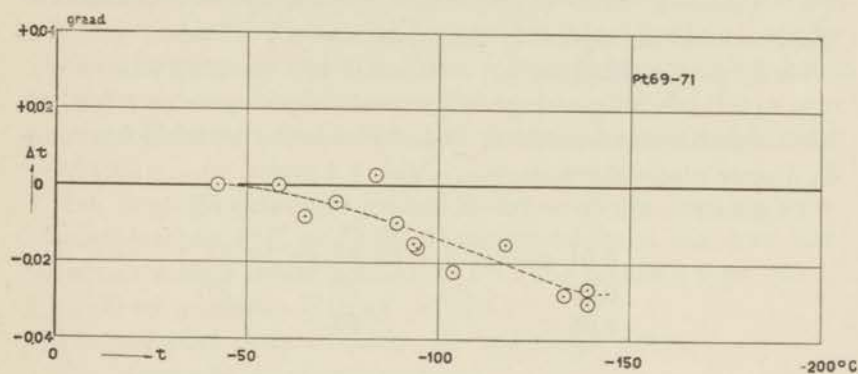
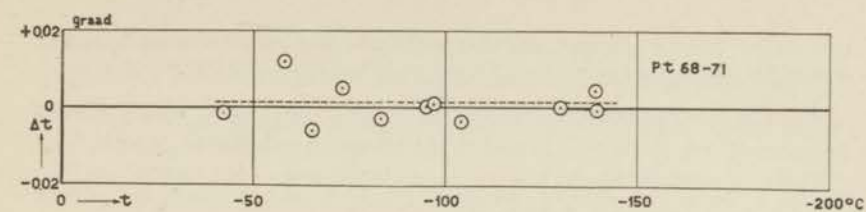


Fig. 16a—16d. Verschil in aanwijzingen van platinathermometers.

een term toe te voegen en de nieuwe constante in dien term te bepalen door middel van een nieuw basispunt.

δ . De internationale temperatuurschaal ligt voor temperaturen tusschen 0 en -100°C beneden de thermodynamische schaal.

Deze afwijking heeft haar maximale waarde bij -80°C en bedraagt daar ongeveer 0.04 graad.

ε . Tusschen -120°C en het zuurstofpunt ligt de internationale temperatuurschaal boven de thermodynamische schaal.

De maximale afwijking ligt tusschen -130 en -140°C .

η . Het verschil tusschen de internationale temperatuurschaal en de thermodynamische schaal, bedoeld onder ε , verschilt iets voor de diverse platinathermometers. (Vgl. § 1 onder γ .)

Tusschen -130 en -140°C bedraagt het verschil:

ca. 0.01 graad voor <i>Pt</i> 68 en <i>Pt</i> 71,
„ 0.02 „ „ „ 70 „ „ 74,
„ 0.05 „ „ „ 69.

§ 3. *Vergelijking met de resultaten van andere onderzoekers.*

Om onze resultaten te vergelijken met de resultaten van andere onderzoekers, geven we in tabel XXVIII die van HEUSE en OTTO¹⁾ voor den platinathermometer *PTR* 29.

TABEL XXVIII.

Vergelijking van <i>PTR</i> 29 met de thermodynamische schaal.						
t in $^{\circ}\text{C}$	-42	-45	-73	-78	-108	-129
$t_{A.\alpha} - t_{int}$ in 0.001 graden	40	26	32	39	51	15

Onze resultaten voor *Pt* 68 en *Pt* 71 stemmen tot op 0.01 graad overeen met de resultaten van HEUSE en OTTO voor temperaturen tot -108°C ; bij -129°C bedraagt het verschil 0.03 graad.

¹⁾ W. HEUSE en J. OTTO, Ann. Physik, (5) 9, 486, 1931.

§ 4. *Verloop van de weerstandslijnen.*

In tabel XXIX zijn voor de verschillende thermometers de waarden van $\frac{R_t}{R_0}$ als functie van de temperatuur verzameld. Zeer eigen-

aardig is daarbij het verloop van de weerstandslijnen ($\frac{R_t}{R_0}$ als functie van de temperatuur) van den thermometer *Pt 71* (draad van HERAEUS) en *Pt 74* (draad van JOHNSON en MATTHEY) t.o.v. elkaar. De weerstandslijnen van deze thermometers snijden elkaar behalve bij 0°C nog tusschen 100 en 444°C en bij -160°C. Het is zeer gewenscht van deze thermometers de weerstanden te meten beneden -190°C.

Een dergelijk gedrag is ook door ons gevonden voor de weerstandslijnen van *Pt C* en *Pt 59*; de weerstandslijnen van deze thermometers snijden elkaar behalve bij 0°C nog tusschen 0 en 100°C, bij -30 en tusschen -216 en -252°C.

Platinadraden onderscheiden zich van elkaar door:

- 1^o. chemische verontreinigingen,
- 2^o. plaatselijke storingen in het kristalrooster, die we, als pendant van de onder 1^o. genoemde, korthedshalve fysieke verontreinigingen zullen noemen.

De vraag rijst, in welk temperatuurgebied spelen de chemische verontreinigingen en in welk temperatuurgebied spelen de fysieke verontreinigingen een overwegende rol. Hierover is nog weinig of niets bekend. Wel vonden we voor de fysieke verontreinigingen de wet van MATTHIESEN (zie hoofdstuk II, § 3) gevolgd.

Verder gaf NORBURY¹⁾ den regel, geldend voor chemische verontreinigingen, dat bij mengkristalvorming de atomaire weerstandsverhooging toeneemt, indien de horizontale afstand in het periodiek systeem tusschen het verontreinigende metaal en het oplosmiddel toeneemt. LINDE²⁾ heeft op grond van zijn metingen aan Ag, Cu en Au legeringen den regel opgesteld, dat de atomaire weerstandsverhooging van deze metalen volgens een kwadratische wet van den horizontalen afstand van de metalen afhangt, indien het verontreinigende metaal geen overgangselement is.

¹⁾ A. L. NORBURY, *Trans. Far. Soc.*, **16**, 570, 1921.

²⁾ J. O. LINDE, *Ann. Physik*, (5) **10**, 52, 1931; (5) **14**, 353, 1932; en (5) **15**, 219, 1932.

Bij het ouderingsproces is de onderstelling gerechtvaardigd, dat de invloed van de physische verontreinigingen wordt verminderd.

Naar onze meening zou het gewenscht zijn een onderzoek in te stellen, inzake het verloop van de weerstandslijn in het temperatuurgebied van -270°C tot 100°C , nadat de platinadraad op verschillende temperaturen is gegloeid.

Het zou mogelijk kunnen zijn, dat uit de resultaten van een dergelijk onderzoek voorschriften kunnen worden voorgesteld, zoodat door deze voorschriften een reproduceerbare temperatuurschaal wordt gewaarborgd en een afwijkend gedrag zooals dat van *Pt 69* (zie dit hoofdstuk, § 3 onder γ) wordt uitgesloten.

TABEL XXIX.

t in $^{\circ}\text{C}$	$\frac{R_t}{R_0}$ <i>Pt 71</i>	$\frac{R_t}{R_0}$ <i>Pt 68</i>	$\frac{R_t}{R_0}$ <i>Pt 69</i>	$\frac{R_t}{R_0}$ <i>Pt 74</i>	$\frac{R_t}{R_0}$ <i>Pt 70</i>
444.6	2.650067	2.649452	2.647722	2.650253	2.650783
100	1.391387	1.391179	1.390743	1.391355	1.391455
0	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
-5	0.980112	0.980122	0.980146	0.980115	0.980108
-10	0.960194	0.960216	0.960265	0.960200	0.960189
-15	0.940246	0.940277	0.940355	0.940255	0.940239
-20	0.920267	0.920309	0.920407	0.920280	0.920261
-25	0.900257	0.900311	0.900434	0.900273	0.900248
-30	0.880215	0.880279	0.880427	0.880234	0.880205
-35	0.860139	0.860217	0.860385	0.860166	0.860129
-40	0.840034	0.840120	0.840318	0.840062	0.840021
-45	0.819891	0.819989	0.820214	0.819923	0.819878
-50	0.799712	0.799824	0.800070	0.799759	0.799701
-55	0.779502	0.779622	0.779899	0.779544	0.779487
-60	0.759253	0.759386	0.759685	0.759300	0.759237
-65	0.738967	0.739111	0.739436	0.739016	0.738949

TABEL XXIX. (Vervolg).

t in °C	$\frac{R_t}{R_0}$ Pt 71	$\frac{R_t}{R_0}$ Pt 68	$\frac{R_t}{R_0}$ Pt 69	$\frac{R_t}{R_0}$ Pt 74	$\frac{R_t}{R_0}$ Pt 70
-70	0.718639	0.718798	0.719147	0.718695	0.718622
-75	0.698274	0.698443	0.698817	0.698332	0.698255
-80	0.677868	0.678047	0.678448	0.677930	0.677848
-85	0.657425	0.657617	0.658060	0.657491	0.657407
-90	0.636965	0.637173	0.637643	0.637021	0.636961
-95	0.616461	0.616687	0.617185	0.616517	0.616450
-100	0.595911	0.596153	0.596678	0.595967	0.595894
-105	0.575313	0.575569	0.576125	0.575370	0.575291
-110	0.554665	0.554937	0.555519	0.554720	0.554633
-115	0.533964	0.534253	0.534878	0.534018	0.533927
-120	0.513174	0.513480	0.514113	0.513227	0.513125
-125	0.492404	0.492722	0.493386	0.492451	0.492345
-130	0.471538	0.471869	0.472562	0.471584	0.471469
-135	0.450607	0.450932	0.451676	0.450649	0.450534
-140	0.429592	0.429925	0.430701	0.429637	0.429529
-145	0.408510	0.408860	0.409643	0.408551	0.408435
-150	0.387364	0.387726	0.388514	0.387394	0.387274
-155	0.366150	0.366529	0.367315	0.366172	0.366045
-160	0.344849	0.345257	0.346044	0.344877	0.344742
-165	0.323512	0.323916	0.324112	0.323508	0.323368
-170	0.302082	0.302497	0.303284	0.302063	0.301920
-175	0.280573	0.281004	0.281793	0.280539	0.280391
-180	0.258986	0.259430	0.260226	0.258936	0.258779
-183	0.245995	0.246446	0.247232	0.245933	0.245774

SUMMARY.

In 1927 the „7th General Conference of Weights and Measures“ decided to fix a temperature scale, called the „International Temperature Scale“, which for temperatures from -190°C to 660°C depends on readings of the platinum thermometer. As a result of an analysis of the experimental basis on which the definition of the international temperature scale rests, the Kamerlingh Onnes Laboratory decided not to accept that temperature scale. At the same time we decided to construct from wires of different origin a set of platinum thermometers, which satisfy the exigencies mentioned in the definition of the international temperature scale, and to compare them from 0 to -183°C with the helium thermometer. The details of construction and measurement of the basic points are described.

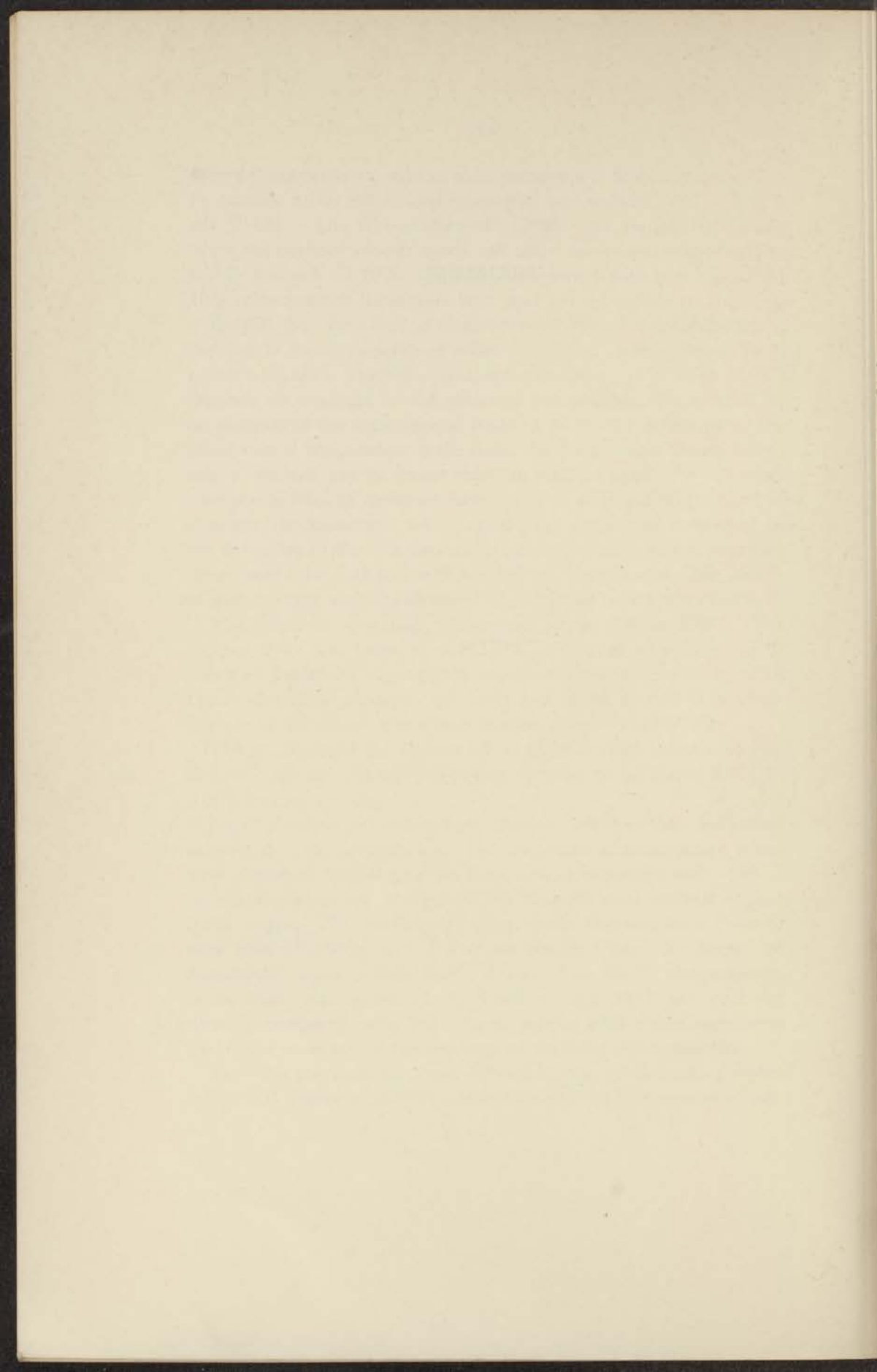
The optimum annealing temperature lies at 840 to 850°C . The oxygen point was taken at -182.983°C , derived as an average of previous Leiden determinations recalculated with recent values of the fundamental pressure coefficient and of the second virial coefficients of helium. A new determination gave -182.985°C .

The accuracy of the calibration of the platinum thermometer at the ice-, steam- and oxygen-points appears to be about 0.002 to 0.003 degree.

Five platinum thermometers, which satisfy the conditions stipulated in the definition of the international temperature scale, were compared with the helium thermometer between 0 and -183°C in a cryostat giving a temperature constant and uniform within 0.002 degree. The readings of three of the thermometers (two of wire from HERAEUS, one of wire we obtained from the Bureau of Standards) agree within 0.003 degree. The fourth thermometer, made from wire furnished by JOHNSON and MATTHEY and not directly compared with the others, agrees with those mentioned within the accuracy of the readings of the helium thermometer.

The fifth thermometer, from HERAEUS wire, gives reading which differ 0.03 degree at -138°C from those of the first mentioned set.

The international temperature scale lies for temperatures between 0 and -100°C below the thermodynamic scale to an amount of about 0.04 degree at -80°C . Between -120 and -183°C the international temperature scale lies above the thermodynamic scale. Maximum deviation between -130 and -140°C . Amount of the deviation as shown by the four first mentioned thermometers 0.01 to 0.02 degree.



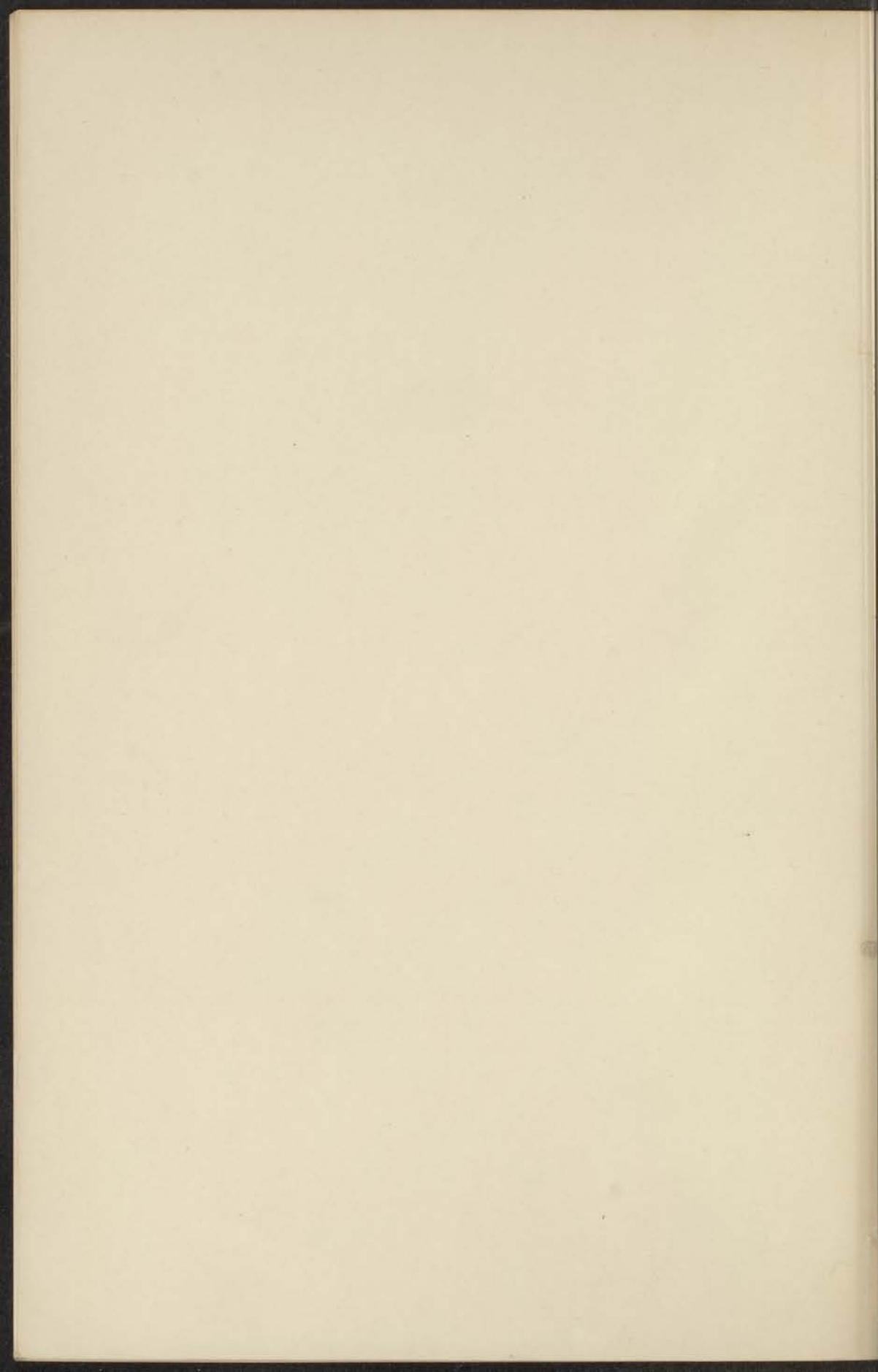
THE HISTORY OF

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
BY NATHANIEL BENTLEY

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
BY NATHANIEL BENTLEY

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
BY NATHANIEL BENTLEY

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
BY NATHANIEL BENTLEY



STELLINGEN

I.

Voor een nauwkeuriger bepaling van het ijspunt op de absolute temperatuurschaal is het gewenscht de metingen van de compressibiliteit van kwik bij 100°C te herhalen.

P. W. BRIDGMAN, Proc. Amer. Acad., 47, 347, 1911.

P. CARNAZZI, Il nuovo Cimento, 5, 180, 1903.

J. J. M. VAN SANTEN, Diss. Leiden 1934, blz. 20.

II.

Het is gewenscht den uitzettingscoëfficiënt van kwarts bij zeer lage temperaturen te meten.

W. H. KEESOM en DOBIESLAW DOBORZYŃSKI, Physica 's Grav., 1, 1085, 1934; 1, 1089, 1934.

W. J. DE HAAS en TH. BIERMASZ, Physica 's Grav., 2, 673, 1935.

III.

Bij de bewering van LAMB, dat een bolvormige golf kan worden opgebouwd uit vlakke golven, die zich naar alle richtingen voortplanten, dient men te bedenken, dat op deze wijze uit loopende vlakke golven een staande bolvormige golf zou ontstaan.

H. C. LAMB, Hydrodynamics p. 496. Cambridge University Press. 6th Edit: 1932.

IV.

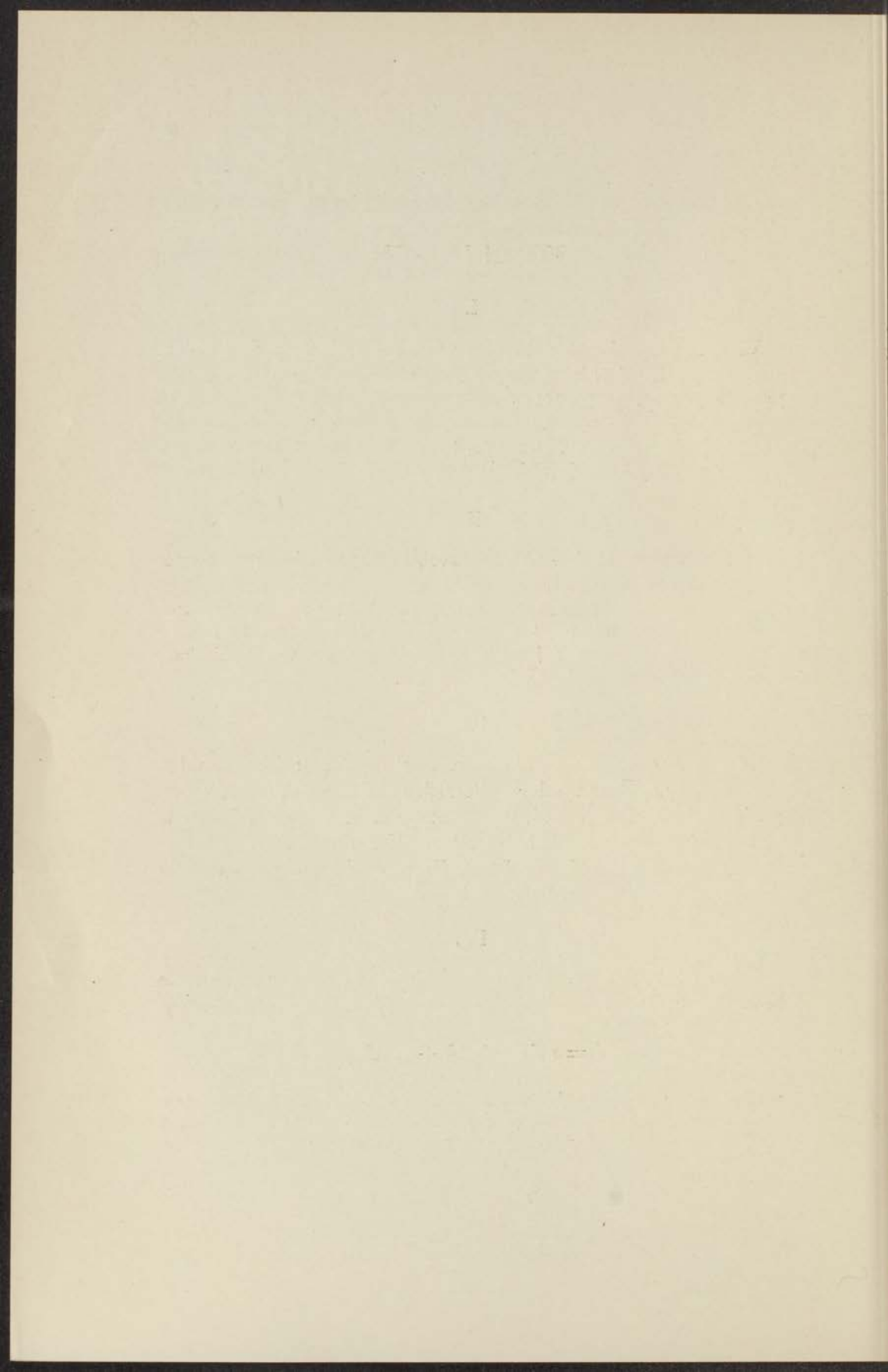
De door F. en H. LONDON afgeleide vergelijking, voor de beschrijving van de verschijnselen optredende bij de suprageleiding,

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} - \frac{1}{4c} [\mathbf{A} + \text{grad } \lambda],$$

verliest haar geldigheid voor snel wisselende elektrische velden.

F. en H. LONDON, Physica 's Grav., 2, 341, 1935;

Proc. roy. Soc. London, 149, 71, 1935.



V.

De suprageleidende galvanometer, beschreven door SMITH en TARR, is onoeconomisch ingericht.

H. GRAYSON SMITH and F. G. TARR, Reviews of Modern Physics VII, 4, 250, 1935.

VI.

Het is onjuist de contravariante n -vectordichtheid $\mathcal{G}^{\lambda_1 \dots \lambda_n}$ van het gewicht $+1$ en de covariante n -vectordichtheid $\mathcal{G}_{\lambda_1 \dots \lambda_n}$ van het gewicht -1 als onderling onafhankelijk te beschouwen.

J. A. SCHOUTEN und D. J. STRUIK, Einführung in die neueren Methoden der Differentialgeometrie, blz. 29.

VII.

In verband met metingen betreffende de soortelijke warmte van Hf en Ge , is het gewenscht de magnetisatie van deze elementen beneden $75^\circ K$ te onderzoeken.

SILVIA CRITESCU en F. SIMON, Z. phys. Chemie, 25, 273, 1934.

VIII.

Oprichting van een instituut voor de ijking van wetenschappelijke instrumenten, die worden gebruikt in de industrie, zou in Nederland zeer gewenscht zijn.

