

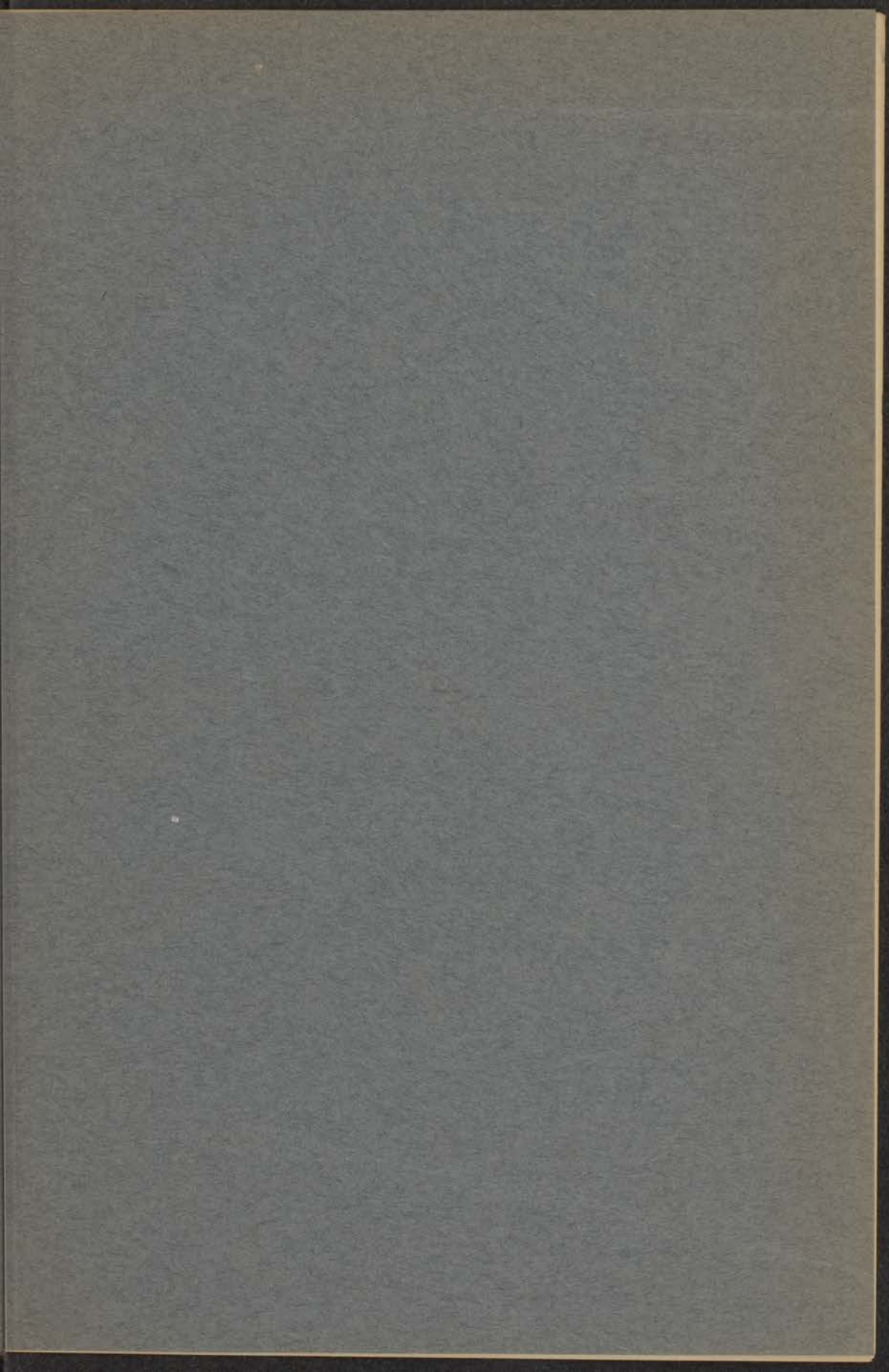
Weerstandsmetingen
in vloeibaar helium.

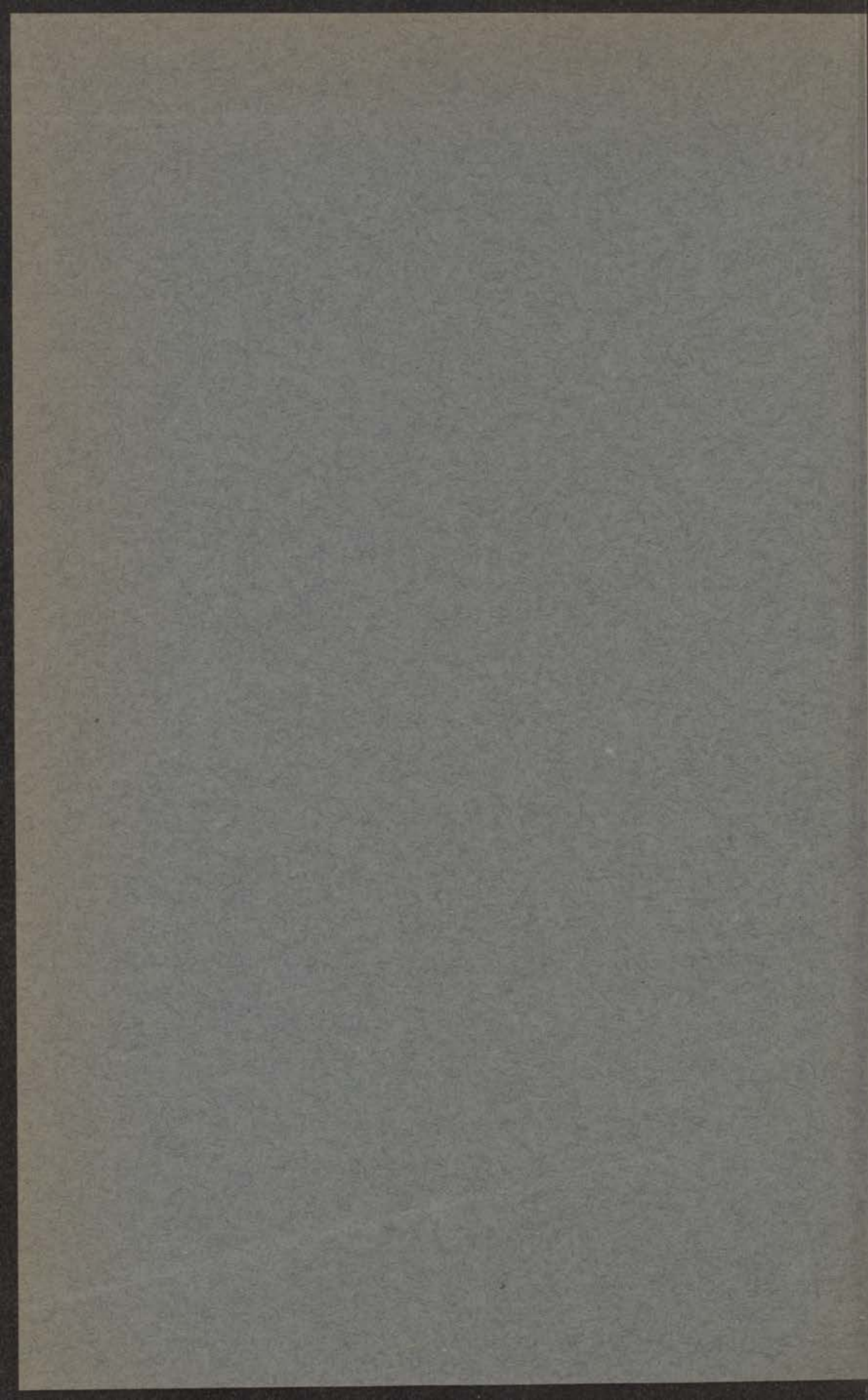
W. TUYN.

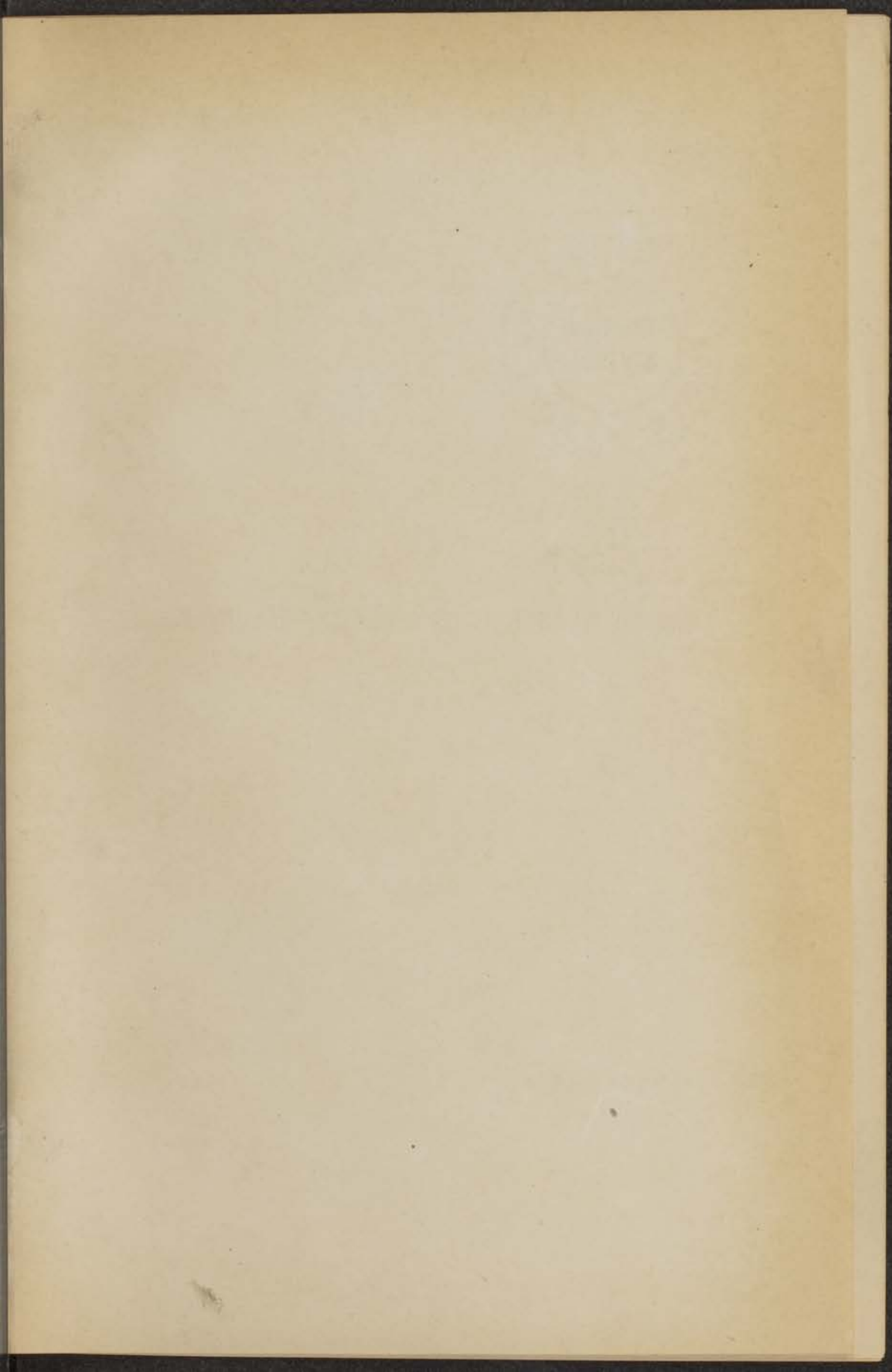
Universiteit Leiden

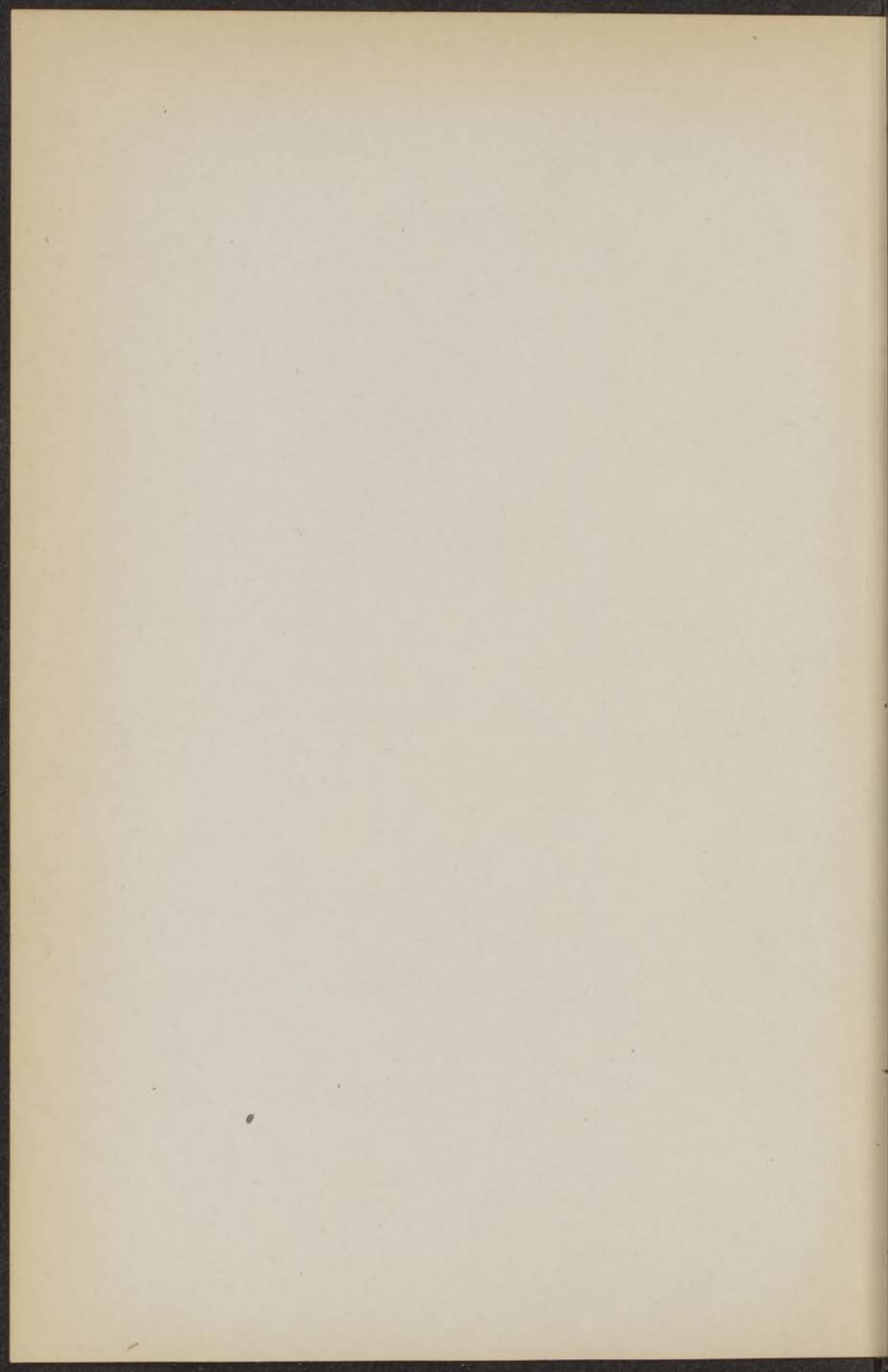


1 481 424 3











WEERSTANDSMETINGEN IN VLOEIBAAR HELIUM.



kast dissertaties

BOEK- EN STEENDRUKKERIJ EDUARD IJDO — LEIDEN.

Weerstandsmetingen in vloeibaar helium.

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD
VAN DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE AAN DE
RIJKS-UNIVERSITEIT TE LEIDEN, OP GEZAG VAN
DEN RECTOR-MAGNIFICUS Mr. H. KRABBE, HOOG-
LEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTS-
GELEERDHEID, VOOR DE FACULTEIT DER
WIS- EN NATUURKUNDE TE VERDEDIGEN OP
VRIJDAG 11 JULI 1924, DES NAMIDDAGS TE 3 UUR,

DOOR

WILLEM TUYN,
GEBOREN TE URSEM.



LEIDEN. — EDUARD IJDO. — 1924.

Wetenschappelijke inleiding





AAN MIJNE OUDERS.

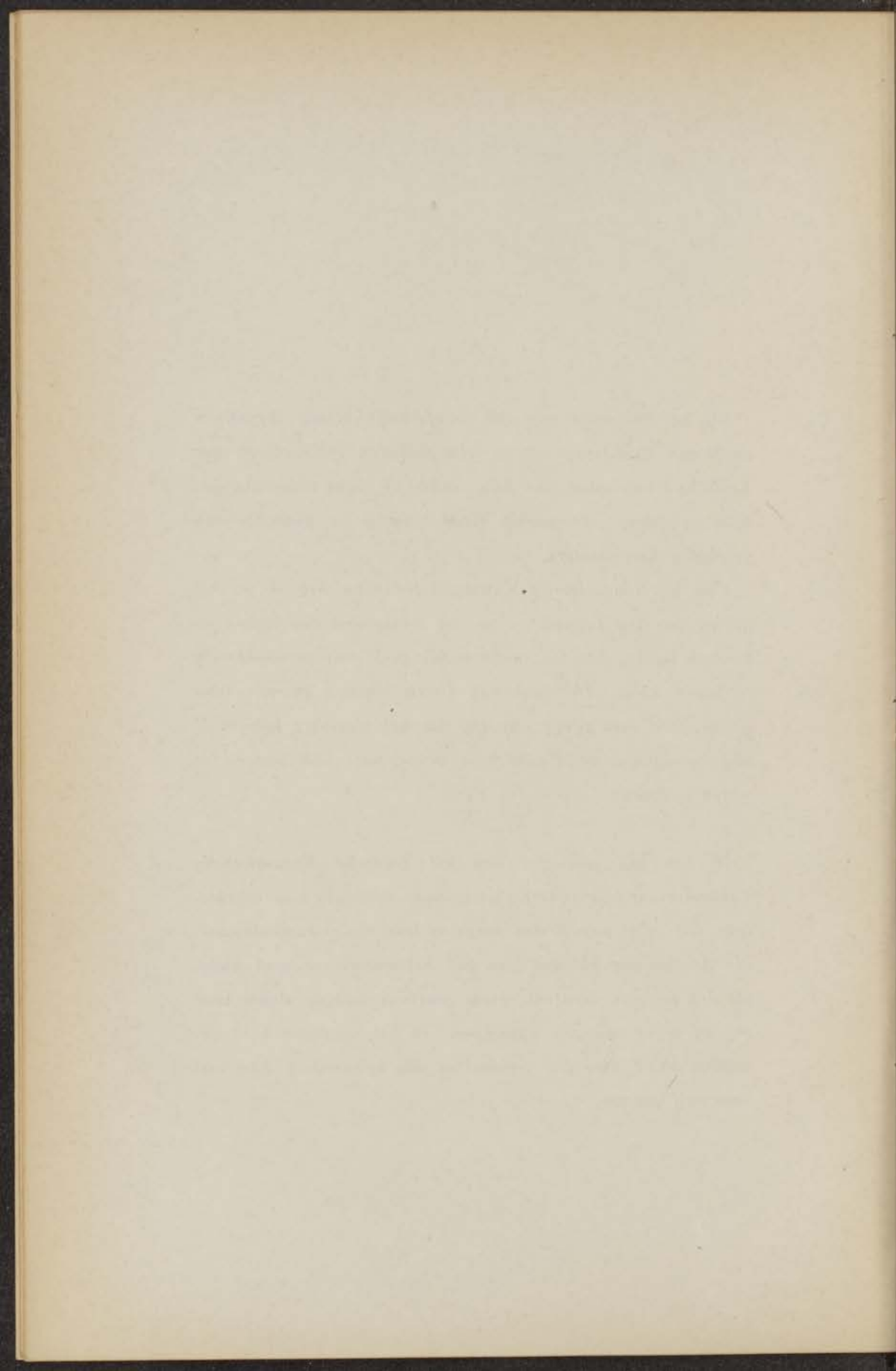
THE END OF THE WORLD

Bij het voltooien van dit proefschrift betuig ik mijnen dank aan Oud-Hoogleraren, Hoogleraren en Lectoren der Leidsche Universiteit voor hun aandeel in mijne wetenschappelijke opleiding; weemoedig stemt daarbij de gedachte aan overleden Leermeesters.

Van U, Hooggeleerde KAMERLINGH ONNES, heb ik op het gebied van Uw leervak — en ook menigmaal daarbuiten — kunnen leeren, dat een onvermoeide geest alle moeilijkheden te boven komt. De dank van Uwen laatsten promovendus ga gepaard met zijnen wensch, dat het vloeibare helium U nog menigmaal op Uwen post vinde, om door meten tot weten te komen.

Ik ben het personeel van het Leidsche Natuurkundig Laboratorium voor zijne hulp bij mijne metingen zeer erkentelijk. Dit geldt zoowel den jongsten leerling-instrumentmaker, die de dampdrukkingen van het heliumbad constant hield, als den oudsten assistent, wiens gastvrije woning steeds voor mij en mijne collega's openstond. In het bijzonder hebt gij, waarde FLIM, door Uw aandeel in alle heliumwerk zeer veel voor mij gedaan.





INHOUD.

	Bladz.
INLEIDING	1

HOOFDSTUK I.

Het opsporen van supra-geleidende metalen	5
A. Zuivere metalen	5
B. Legeeringen	60

HOOFDSTUK II.

De verstoring der supra-geleiding door magneetvelden en stroomen. De hypothese van SILSBEE	67
A. De magnetische drempelwaarde	68
B. De stroomdrempelwaarde	95
C. Verdere proeven	105

HOOFDSTUK III.

Persisteerende stroomen	112
STELLINGEN	129



INDEX

1. Introduction

CONTENTS

2. The first part of the book

3. The second part of the book

4. The third part of the book

APPENDIX

5. The first appendix

6. The second appendix

7. The third appendix

8. The fourth appendix

REFERENCES

9. The first reference

10. The second reference

INLEIDING.

De meest verrassende uitkomst der onderzoekingen, die het werken met vloeibaar helium mogelijk maakt, is tot heden de ontdekking der supra-geleiding¹⁾.

In een aantal verhandelingen, dateerende uit de jaren 1911 en 1913, behandelt Professor KAMERLINGH ONNES den electrischen weerstand van zuiver kwikzilver bij helium-temperaturen. Zijn de eerste resultaten der metingen onvolledig²⁾, de teekening op p. 23 van Leiden Comm. N^o. 124c is de duidelijke aanwijzing, dat van $T=4^{\circ}.21$ tot $4^{\circ}.19$ K. van een kwikdraad de electrische weerstand zeer snel afnam, om bij $T=4^{\circ}.19$ K. te verdwijnen, terwijl hij daarentegen van $T=4^{\circ}.29$ tot $4^{\circ}.21$ K. nog verminderde op de wijze, als metingen in vloeibare waterstof deden verwachten. Ofschoon in deze mededeeling niet vermeld wordt, met welke stroomsterkte gewerkt is, doet § 4 der verhandeling reeds vermoeden, dat de weerstand beneden $T=4^{\circ}.21$ K. in hooge mate afhangt van de sterkte van den stroom, die door den draad loopt. Dit is later bevestigd³⁾. Hier verliest de wet van OHM hare geldigheid en moet men onder den opgegeven weerstand verstaan potentiaal-verschil, gedeeld door stroomsterkte. De met groote moeite verkregen

1) Wij gebruiken de benamingen, zooals deze in de loop der onderzoekingen zijn ingevoerd. Ook de naam „sprongpunt”, welke wijst op een discontinuïteit, waarvan het bestaan tot heden niet is aangetoond, behielden wij.

2) Leiden Comm. N^o. 120b, 122b en 123 (1911).

3) Leiden Comm. N^o. 133a (1913).

figuren 6 en 7 van Leiden Comm. N^o. 133a stellen genoemde afhankelijkheid in het licht. Er moet bij iedere temperatuur een stroomsterkte zijn, door Professor ONNES „drempelwaarde” genoemd, waarbij de kwikdraad weer een meetbaren weerstand *begint* te krijgen; deze grootte, evenals de stroomdichtheid¹⁾ blijkt verschillende waarden te bezitten voor verschillende draden. Het terugkeeren van den weerstand wordt geweten aan locale verwarming van „slechte plaatsen”; zodoende kan men moeilijk eene standvastige drempelwaarde voor verschillende draden verwachten. Een volgende ontdekking²⁾ noodzaakte, naast deze „drempelwaarde van den stroom” nog in te voeren een „drempelwaarde van het magneetveld”, daar het bleek, dat een supra-geleider beneden de „sprongpunttemperatuur” weder weerstand krijgt, als hij gebracht wordt in een magneetveld van bepaalde sterkte; de grootte van dit veld is afhankelijk van de temperatuur en van de ligging der windingen van den geleider ten opzichte van de richting van het veld³⁾. Deze magnetische metingen zijn verriecht met weerstanden van lood en tin; Leiden Comm. N^o. 133d leert, dat ook deze metalen het verschijnsel der supra-geleiding vertoonen, dus zich, wat hun electricisch geleidingsvermogen betreft, beneden zekere temperatuur — voor ieder der metalen verschillend — als kwikzilver gedragen.

Na de ontdekking der supra-geleiding van lood en tin werd met deze metalen verder gewerkt en verdwenen vele der moeilijkheden, welke het experimenteren met weerstanden van vast kwik meebrengt⁴⁾. Voor de proeven, die ten doel hadden, de grootte van den in een supra-geleider blijvenden weerstand op te sporen door bepaling van den extinctie-tijd van den in een supra-geleidenden ring door

1) Gewoonlijk opgegeven in amp. per mm².

2) Leiden Comm. N^o. 139f (1914).

3) Zoogenaamd transversaal en longitudinaal effect.

4) Leiden Comm. N^o. 133a (1913), p. 4.

inductie opgewekten stroom¹⁾, gebruikte Professor ONNES dan ook steeds lood als metaal.

Indien in 1914 de oorlog, met zijn eischen tot beperking op menig gebied²⁾, niet tusschenbeide gekomen was, zou de studie der supra-geleiding niet enkele jaren stilgestaan hebben. Als lichtpunt mocht gelden, dat de gewijzigde voorstellingen, welke men zich van de elektrische geleiding in metalen ging vormen, voor een groot deel voortkwamen uit de nieuwere opvattingen omtrent den bouw van het atoom en de kennis hiervan in de laatste tien jaren zeer toenam; de uit die kennis ontstane opvatting, dat de elektrische geleiding in metalen tot stand komt door den overgang van niet geheel vrije electronen van atoom op atoom, doet de moeilijkheid verdwijnen, die de groote vrije weglengte bij supra-geleiding, volgens de theorie der vrije electronen biedt³⁾. De nieuwe theorie wacht nog op theoretische behandeling⁴⁾.

Nadat in April 1919 de metingen in vloeibaar helium hervat waren, zijn meerdere proeven over de supra-geleiding gedaan; zij betreffen het opsporen van supra-geleidende metalen — daar men niet zeker is, dat alle metalen bij ge-

1) Leiden Comm. N^o. 140b en c, en N^o. 141b (1914).

2) Omtrent de moeilijkheden, welke de oorlog aan het Nat. Lab. bracht, zie men de vlot geschreven inleiding van Prof. ONNES voor de demonstratie van vloeibaar helium op 25 April 1919, ter gelegenheid van het XVIIde Ned. Nat. en Geneesk. Congres; Handelingen van dit Congres, p. 152, Leiden Comm. Suppl. N^o. 43c (1919). Gedurende de vier oorlogsjaren is er slechts één keer vloeibaar helium geweest.

3) Leiden Comm. N^o. 133c (1913), § 12β.

4) De samenvattende overzichten over de elektrische geleiding in metalen zijn talrijk; men zie bijvoorbeeld J. CLAY, Jahrb. Rad. und El. 8 (1911), p. 383; 12 (1915) p. 259, benevens W. MEISZNER, Ibidem 17 (1920), p. 229. Het IVde Conseil-SOLVAY, in April 1924 te Brussel gehouden, had de elektrische geleiding tot onderwerp. De rapporten, door verschillende natuurkundigen van naam voor dit Conseil gemaakt, zullen eerlang den stand van het vraagstuk van meerdere zijden belichten; zoo gaf Prof. BRIDGMAN een schets der verschillende theorieën sinds DRUDE.

noegzaam lage temperatuur bedoelde eigenschap verkrijgen — den invloed van magneetvelden en stroomen op de supra-geleiding, alsook het zoeken van een mogelijken restweerstand der metalen in den supra-geleidenden toestand met behulp van persisterende stroomen.

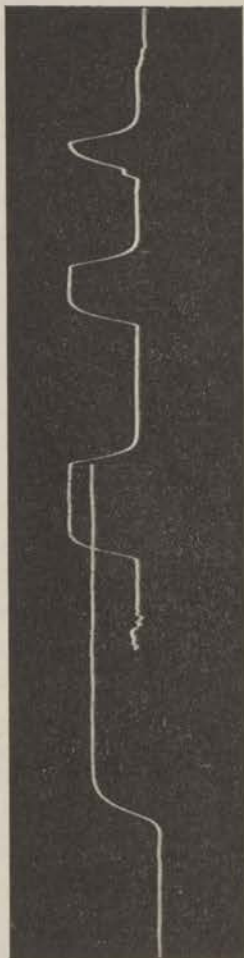


Fig. 1.

De indruk, dien de verstoring der supra-geleiding, zoowel door verwarming als door magneetvelden op den waarnemer maakt, wordt weergegeven door de fotografische registratie in fig. 1 (10 Februari 1922). Zij laat de uitslagen zien van een galvanometer, als in een aan dezen parallel geschaakelden, kleinen tinweerstand *Sn-1922-F* ($W = 0.00042 \Omega$ bij $T = 4^{\circ}.21 \text{ K.}$) de supra-geleiding wordt verstoord. De lijn, die aan den onderkant der figuur begint — men leze deze van beneden naar boven — behoort bij de verstoring der supra-geleiding door het opwarmen van den cryostaat, de lijn, die midden op de figuur begint, bij de verstoring en het herstel der supra-geleiding door het bijbrengen en weer verwijderen van een magneet, drie malen achtereen; de onregelmatige gedaante van den derden uitslag geeft zekere aarzeling in het bijbrengen weer. Wij vestigen de aandacht op de gelijke grootte der uitslagen. De gedaante der lijnen is slechts een maat voor den grooten slingertijd van den galvanometer, niet voor de snelheid der verstoring.

De resultaten der metingen volgen gedeeltelijk hierachter; voor een goed overzicht is daarbij meermalen naar de Leidsche Communications van vóór den oorlog verwezen.

HOOFDSTUK I.

HET OPSPOREN VAN SUPRA-GELEIDENDE METALEN.

A. Zuivere metalen ¹⁾.

1. Kwikzilver.

§ 1. Nieuwe metingen zijn niet verricht. Gegevens betreffende de sprongpunttemperatuur van kwik vindt men in de Leiden Comm. N^o. 122*b*, 124*c* en 133*a*.

2. Tin.

§ 2. *De sprongpunttemperatuur.* Aan tin kunnen de eigenschappen der supra-geleiding op voortreffelijke wijze onderzocht worden, zoowel door de ligging der sprongpunttemperatuur als door de eigenschappen van het metaal. Het laat zich tot handelbare draden spuiten, die slechts langzaam aan de buitenlucht oxydeeren en gemakkelijk tot band te walsen zijn. Verder troffen wij in gespoten tindraden meermalen einden één-kristal-draad aan; ook in dezen toestand is het electrisch gedrag van tin dus na te gaan. Bovendien is het maken van tinlassen niet moeilijk. De temperatuur, waarbij de weerstand begint te verdwijnen, behoort bij de heliumdampspanning van 480 mm Hg. De kleine drukveranderingen, die zelfs bij de zorgvuldigste regeling niet te vermijden zijn, veroorzaken bij deze spanning en nog ver daar beneden slechts kleine temperatuurschommelingen van het

¹⁾ Enkele gedeelten van hoofdstuk I A zijn ook gepubliceerd in Leiden Comm. N^o. 160*a* en *b* (1922) en 167*a* (1923); Verslagen Kon. Ac. v. Wet. Amsterdam XXXI (1922) p. 467 en 475, XXXII (1923) p. 660.

bad; een groot voordeel, daar het verschijnsel hiervoor uiterst gevoelig is. Bovendien is het gebied van $T = 3^{\circ}.8$ tot $1^{\circ}.5$ K. met de ten dienste staande zuigpompen van het Nat. Lab. gemakkelijk te verwezenlijken, zoodat met tinweerstand de supra-geleiding zonder groote technische bezwaren nog ruim twee graden beneden hunne sprongpunttemperatuur bestudeerd kan worden.

Een gering nadeel is het *kleine* breukdeel van den nul-puntsweerstand, die tindradsen even boven hunne sprongpunttemperatuur nog slechts hebben; voor eene nauwkeurige meting moet de draad daarom van behoorlijke afmetingen zijn.

Met het oog op onderzoekingen betreffende den electrischen weerstand van supra-geleiders in een wisselend magneetveld¹⁾ is met een der hierbij gebruikte tindradsen het verdwijnen van den weerstand bij de sprongpunttemperatuur opnieuw vastgelegd²⁾. Een draad, gespoten uit tin „Kahlbaum“³⁾, diameter 0.1_{\circ} mm, is in ongeveer 60 windingen bifilair op glas gewonden, met zijde en geparaffineerd papier als isolatie. De vier, voor de meting noodige uiteinden zijn verkregen op de wijze, als beschreven bij de vervaardiging der thalliumweerstand⁴⁾. De aldus ontstane weerstand *Sn-1922-M* had bij kamertemperatuur⁵⁾ 4.7Ω weerstand. De gebruikte meetmethode is die der compensatie van de potentiaal aan de uiteinden van den onbekenden en een

1) De resultaten dezer onderzoekingen, waarbij met G. BREIT, Nat. Res. Fellow U. S. A. en Prof. ONNES werd samengewerkt, zijn nog niet gepubliceerd.

2) Waarnemingen van vóór den oorlog omtrent de sprongpunttemperatuur van tin vindt men in Leiden Comm. N^o. 133d (1913).

3) Tin „Kahlbaum“ 1911, bevatte volgens F. MYLIUS, Z. f. Anorg. Chem. 74 (1912), p. 407, de volgende verontreinigingen: 0.0012 % Cu, 0.0013 % Pb, 0.0009 % Fe en een spoor S.

4) Zie § 12 van dit proefschrift.

5) De weerstand bij 0° C. is niet bepaald.

bekenden weerstand, in serie geschakeld, met behulp van een thermokrachtvrij compensatie-apparaat volgens DIESELHORST, geleverd door O. WOLFF; steeds werd gemeten bij beide, met elkaar overeenkomende stroomrichtingen in de ketens van weerstanden en compensatietoestel. De stroom door den weerstand was $4_{,0}$ mA sterk.

De weerstand was gebracht in den van een roerinrichting voorzienen cryostaat, afgebeeld in Leiden Comm. N^o. 124c, fig. 4. De dampdrukkingen van het heliumbad werden op een gesloten of open kwikmanometer met den kathetometer afgelezen¹⁾; hieruit volgden de temperaturen met behulp van de formule uit Leiden Comm. N^o. 147b (1915), p. 33²⁾. De dampdrukkingen, en dus de temperaturen, werden zoo goed mogelijk constant gehouden met behulp eener kraan, waarmee men het wegstroomen van het verdampte helium regelde. Veranderde de druk, blijktens de aanwijzingen van den oliereguleur, beschreven in Leiden Comm. N^o. 119, dan trachtte men dezen door geringe draaiing der kraan tot zijne eerste waarde terug te brengen. Om en bij de sprongpunttemperatuur weerspiegelt zich dit in een voortdurend bewegen van het beeld der schaal in den kijker, waarmee de stand van den galvanometer wordt afgelezen. Dan is dus zelfs deze regeling nog niet fijn genoeg.

De resultaten volgen in tabel I; zie ook fig. 2.

1) De meeste dezer aflezingen danken wij aan de hulp van den assistent G. P. NIJHOFF.

2) Deze formule is berekend uit metingen, verricht in 1913. Neemt men naast deze metingen die van 1911 in aanmerking en interpoleert grafisch, dan krijgt men temperaturen, welke van die, berekend met de formule, soms aanzienlijk afwijken. Wij hebben de formule gebruikt, indien het tegendeel niet wordt vermeld; echter zijn ook de afgelezen dampspanningen opgegeven.

TABEL I. Sn-1922-M.

Datum.	$p_{\text{helium}}^{1)}$ in mm Hg.	$T.$	$W_{\text{Sn-1922-M}}^{2)}$.
28 April 1922	765	4.21 K.	0.0045 ₂ Ω
	480.2	3.76	0.0044 ₃
	476.7 ₅		0.0042 ₃
	474.5		0.0039 ₄
	471.8		0.0032 ₇
	470.1		0.0024 ₃
	467.5		0.0012 ₉
6 April 1922	466.7 ₅		0.0011 ₂
	465.6 ₅		0.0006 ₇
28 April 1922	465.4 ₅		0.0007 ₀
6 April 1922	463.2		0.0003 ₀
28 April 1922	463.1		0.0002 ₄
6 April 1922	461.9	3.73	0.0001 ₈
	461.5		0.0000 ₇
28 April 1922	461.1		0.0001 ₀
	458.6		0.0000 ₃
	456.1	3.72	0.0000 ₀

§ 3. *Metingen in vloeibaar helium boven de sprongpunttemperatuur.* Wij maakten reeds melding van den kleinen weerstand van tindraden boven hunne sprongpunttemperatuur; ten bewijze daarvan dient tabel II. De hierin vermelde ³⁾ weerstanden zijn vervaardigd uit draad, gespoten

1) Hier en verder wordt, indien niet het tegendeel is vermeld, onder „mm Hg” verstaan „int. mm Hg”; Leiden Comm. Suppl. N^o. 23 (1912), p. 12, Enc. Math. Wiss. V, 10, p. 626.

2) Hier en verder zijn de potentiaalverschillen, gemeten beneden de sprongtemperatuur, omgerekend tot weerstanden, alsof de wet van Ohm gold.

3) Twee dezer weerstanden zijn gebruikt bij de metingen, beschreven in § 32 van dit proefschrift.

Ih

uit tin „Kahlbaum“; onderzoek leerde, dat deze draad meerdere stukken één-kristal-draad rijk was. Daarom geven wij in dezelfde tabel enkele resultaten voor den één-kristal-

W

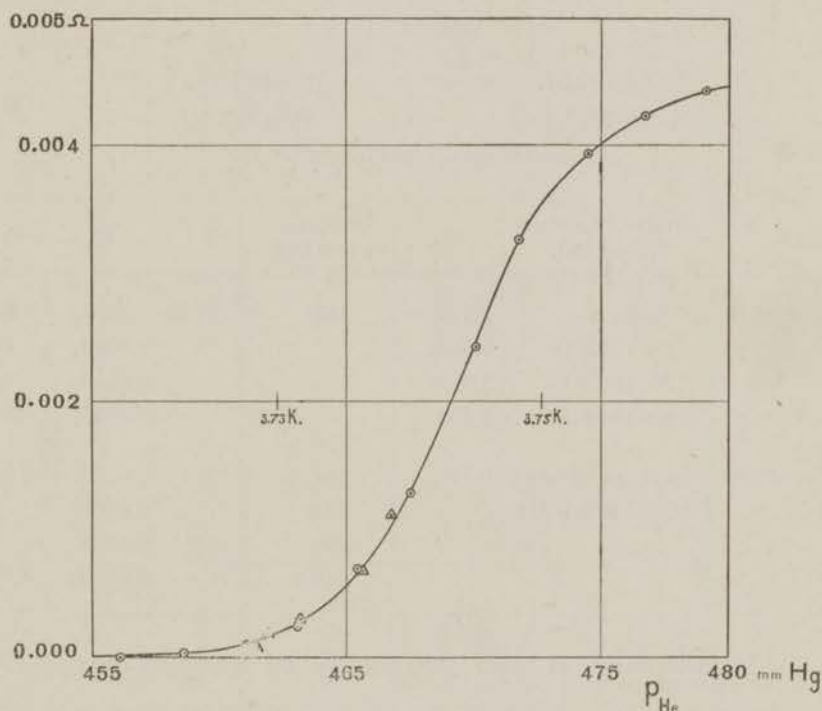


Fig. 2.

Sn-1922-M. $\left\{ \begin{array}{l} \triangle 6 \text{ April } 1922. \\ \odot 28 \text{ April } 1922. \end{array} \right.$

draad Sn-verhit-1922-VIII'; deze is uit tin „Kahlbaum“ in het Nat. Lab. der N. V. PHILIPS-Gloeilampenfabrieken te Eindhoven vervaardigd. De tinnen stroomtoevoerdraden zijn aangesmolten aan de uiteinden, de tinnen spanningsdraden

met koperen beugeltjes op den één-kristal-draad geklemd op zoodanige afstanden der uiteinden, dat de verwarming bij bovengenoemd aansmelten de structuur van het te meten stuk niet kon veranderen.

TABEL II.

Sn-1922-I. Sn-1922-V.
 Sn-1922-IV. Sn-1922-VI.
 Sn-kristaldraad-verhit-1922-VIII'.

Datum.	Naam van den weerstand.	W_0 .	P_{helium} in mm Hg.	T .	W .	$\omega = \frac{W}{W_0}$.
7 Febr. 1923	<i>Sn-1922-I.</i>	2.221 Ω	487	3.77 ₅ K.	0.0017 ₅ Ω	0.0007 ₃
	<i>Sn-1922-IV.</i>	0.856 ₃			0.0006 ₄	0.0007 ₅
	<i>Sn-1922-V.</i>	2.338			0.0019 ₁	0.0008 ₂
	<i>Sn-1922-VI.</i>	3.995			0.0032 ₁	0.0008 ₀
14 Nov. 1923	<i>Sn-kristaldraad-verhit-1922-VIII'.</i>	0.126 ₀	754	4.18	0.0003 ₃	0.0027
			484	3.77	0.0003 ₃	
			456	3.72	0.0002 ₁	
			449.8	3.71	0.0000 ₀	0.0000 ₀

Volgens tabel II zou, juist boven de sprongpunttemperatuur van tin, $\frac{W}{W_0}$ van den één-kristaldraad grooter zijn dan die der gewone tindradsen. Echter vertrouwen wij het één-kristal-zijn van *Sn-1922-VIII'* niet zoo vast ¹⁾, dat wij door het gevonden resultaat van de gedachte zouden afzien,

¹⁾ De groote weerstand kan ook zijn oorzaak hebben in overgangsweerstand op de klemplaatsen. Van dit opklemmen der toeleidingsdraden ondervonden wij veel last. Meestal was na een proefafkoeling in vloeibare lucht en de daarop volgende opwarming het contact slechter

TABEL III.

Sn-1922-A. Sn-kristal-onverhit-1922-VII.

Datum.	$T.$	$W_{Sn-1922-A}$	$W_{Sn-1922-VII}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Sn-1922-A}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Sn-1922-VII}$	$\Delta\omega_{VII-A}$
13 Oct. 1922	273.09 K.		0.1182 ₁ Ω			
22 Dec. 1922		5.769 ₅ Ω				
23 en 24 Febr. 1923	20.44 ₅	0.0670 ₂	0.0015 ₇	0.0116 ₂	0.013 ₃	0.001 ₇
	18.14	0.0482 ₂	0.0011 ₈	0.0083 ₆	0.010 ₀	1 ₆
	16.48	0.0367 ₄	0.0009 ₆	0.0063 ₇	0.008 ₂	1 ₈
	14.20	0.0236 ₂	0.0006 ₉	0.0040 ₉	0.005 ₈	1 ₇
8 Dec. 1922	4.23	0.0057 ₈		0.0010 ₀		
	3.76	0.0057 ₃		0.0009 ₉		
	3.49	0.0000 ₀				

dat de tindraden hun kleinen $\frac{W}{W_0}$ bij heliumtemperaturen aan de mate der rekristallisatie bij het spuiten danken.

§ 4. *Metingen in vloeibare waterstof.* De weerstanden der meeste, in dit proefschrift vermelde draden zijn ook gemeten in het temperatuurgebied van vloeibare waterstof en zuurstof¹⁾. Het is de bedoeling, de uitkomsten hiervan ter anderer plaatse te publiceeren. Enkele er van — voor *Sn-1922-A* — worden hier vermeld, omdat wij het electrisch gedrag van een lood-tin-legeering bij lage temperatuur met dat zijner samenstellende metalen willen vergelijken²⁾. Nog meenden wij goed te doen in dezelfde tabel III de getallen van den één-kristal draad *Sn-onverhit-1922-VII* op te geven³⁾; ook deze draad is te Eindhoven vervaardigd. Men lette op de standvastige waarde van $\Delta\omega$ in de laatste kolom.

3. Lood en Uraniumlood.

§ 5. De ligging der sprongpunttemperatuur van lood maakt de supra-geleiding van dit element even belangrijk als die van tin; men zal dit metaal gebruiken voor die proeven, welke genomen moeten worden bij temperaturen

en de weerstand grooter geworden. Daardoor is *Sn-verhit-1922-VIII'* dikwijls in handen geweest en kan zijn structuur geleden hebben. Bovendien braken meerdere der ontvangen één-kristal-draden — zij waren alle op glas gewikkeld — reeds bij de eerste afkoeling; alleen de zeer los gewondene bleven heel.

1) Bij deze metingen — in vloeibare waterstof en zuurstof — is het regelen en meten der temperaturen met behulp van platina-thermometers steeds verricht door de assistente Mej. H. v. D. HOEST; voor hare toewijding bij dit dikwijls eentonige, doch steeds uiterst belangrijke onderdeel van zoodanige metingen betuigen wij haar ook hier onzen dank.

2) Zie § 11 en 26 van dit proefschrift.

3) De weerstand *Sn-1922-A* is beschreven in § 32 van dit proefschrift, de weerstand *Sn-kristal-onverhit-1922-VII* is op dezelfde wijze gemonteerd als *Sn-1922-VIII'*.

ver beneden de sprongpunttemperatuur. In Leiden Comm. N^o. 133*d* § 13 β wordt vermeld, dat lood „Kahlbaum” bij het kookpunt van vloeibaar helium supra-geleidend was en dit bleef bij $T = 4^{\circ}.3$ K., de hoogste temperatuur, met den gebruikelijken cryostaat voor vloeibaar helium bereikbaar; in § 15 derzelfde Comm. werd uit de grootte der stroomdrempelwaarde bij $T = 4^{\circ}.25$ K. de sprongpunttemperatuur geschat op ongeveer 6° K. Het hieronder vermelde onderzoek had tot doel, de sprongpunttemperatuur van lood nauwkeuriger vast te stellen, alsmede een verschil in sprongpunttemperatuur van lood en uraniumlood (*Ra G*) op te sporen en het verloop van den weerstand van lood met de temperatuur, boven het sprongpunt en zoo mogelijk tot aan $T = 14^{\circ}.0$ K., de laagste vloeibare waterstof-temperatuur, na te gaan. Betreffende een mogelijkerwijs verschillende sprongpunttemperatuur voor isotopen leek het niet onmogelijk, dat het ontstaan der supra-geleiding door de kernmassa werd beïnvloed ¹⁾.

Voor de vervaardiging der weerstanden gebruikten wij lood „Kahlbaum” en uraniumlood (*Ra G*), waarvan Prof. HÖNIGSCHMID te Weenen ons zeer welwillend 16.5 gram ter beschikking stelde; gewoon lood van niet radio-actieve bronnen heeft een atoomgewicht 207.20, het gebruikte *Ra G* uit Bröggerit heeft een atoomgewicht 206.06 ²⁾. Van beide

1) Zie omtrent de eigenschappen van isotopen het artikel van K. FAJANS in het Elster-Geitel-Festschrift (Vieweg) en het Presidential Address tot the American Association at Baltimore, Dec. 1918 van T. W. RICHARDS.

2) Volgens schrijven der firma, dd. 17 Mei 1916, bevat lood „Kahlbaum” een spoor Cu en Fe, de totale verontreiniging is minder dan 0.01 %; in het schrijven, dd. 8 Dec. 1916, geeft zij nader op een verontreiniging met 0.002 % Cu en Fe. Zie ook het artikel van F. MYLIUS, Z. f. Anorg. Chem. 74 (1912), p. 407. Voor een overzicht van het atoomgewicht van loodisotopen zie F. W. ASTON „Isotopes”, London 1922.

soorten lood zijn draden gespoten en hiervan weerstanden vervaardigd op de wijze, als bij de vervaardiging der thalliumweerstanden beschreven¹⁾; de chemische eigenschappen van het metaal maakten het onnoodig, alle weerstanden in een glazen buisje met heliumgas van de buitenlucht af te sluiten. Gebruikt zijn de weerstanden *Pb-1919-B*, diameter 0.5 mm en niet ingesloten in eene heliumomgeving, *Pb-1919-I*, diameter 0.1₂ mm en ingesloten in eene heliumomgeving en *Isotoop Pb-1919-I*, in afmetingen zooveel mogelijk aan *Pb-1919-I* gelijk en op dezelfde wijze behandeld.

§ 6. *Inrichting van den cryostaat.* De cryostaat, waarmede de proeven gedaan zijn, vervaardigd door en onder toezicht van den bedrijfschef van het Nat. Lab. G. J. FLIM, gelijk in grove trekken op die, beschreven in Leiden Comm. N^o. 124*b*. Kenmerkend voor haar is, dat de te meten voorwerpen zich bevinden in heliumdamp of -gas (dit laatste van zeer lage temperatuur); door hare ingebruikneming is het temperatuurgebied tusschen het kookpunt van helium (4^o.2 K.) en de laagste temperatuur, met vloeibare waterstof bereikbaar (14^o.0 K.), voor de eerste maal overbrugd. Voor hare inrichting zie fig. 3. In het geheel verzilverde vacuümglas *A* hangt in omgekeerden stand een geheel verzilverd vacuümglas *B*, uitmondend in een enkelvoudige verzilverde glazen buis; de klokvormige ruimte binnen dit glas is de experimenteer ruimte. In deze ruimte bevinden zich de weerstanden (in fig. 3 is er slechts één, *W*, geteekend) en de heliumgasthermometer *Th*. Het bovineinde van *B* mondt uit buiten den cryostaat en is verbonden met den gashouder; *B* heeft daar een regelkraan *K* voor het afblazen (niet op de tekening zichtbaar). Het vloeibare helium

1) Zie § 12 van dit proefschrift.

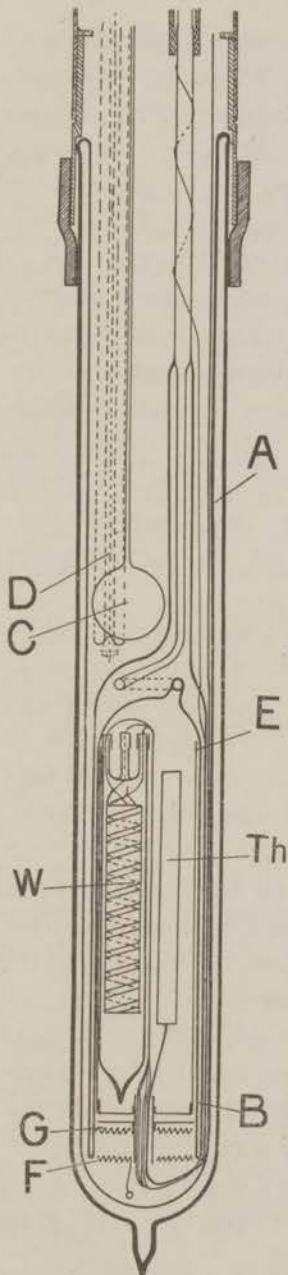


Fig. 3.

komt binnen door de inlaat *D*; de vlotter *C* geeft de hoogte van den heliumspiegel aan. Staat de kraan *K*, voerende naar den gashouder, open, dan vult het helium zoowel *A* als *B*; men kan bij de aanvang der proef dus meten bij het kookpunt van vloeibaar helium. Wordt de kraan *K* gesloten, dan drijft in korten tijd de zich vormende heliumdamp het vloeibare helium uit de klokvormige cryostaatruimte; door openen der kraan *K* en aanzetten van de elektrische verwarming in de stookspiraal *F* wordt het mogelijk, een constanten damp- of gasstroom door de cryostaatruimte te zenden, welke stroom door elektrische verhitting met behulp van de verwarmingsspiraal *G* op de gewenschte temperatuur wordt gebracht; de vloeistofspiegel van het verdampende helium bevindt zich dus tusschen *F* en *G*. De koperen mantel *E* binnen de klok draagt bij tot het verkrijgen eener gelijke temperatuur hierin; op zijn weg naar deze ruimte moet het helium die tusschen *E* en *B* doorgaan, hetgeen den invloed van *E* ten goede komt. Nadere proeven moeten uitwijzen, in hoever deze gelijkheid reeds met de beschreven inrichting bereikt is. De eerste afkoeling verbruikt zeer veel vloeibaar helium.

§ 7. *Weerstands- en temperatuurbepaling.* Daar de compensatiebank defect was, zijn de weerstanden gemeten door vergelijking der uitslagen van den galvanometer, wanneer verbonden met de uiteinden van een onbekenden en bekenden weerstand; de weerstanden zijn evenredig met de gemiddelden der uitslagen in beide stroomrichtingen, gelijk uit de vergelijking der uitslagen voor 0.001 en 0.01 Ω volgt.

De temperaturen zijn bepaald met een heliumgasthermometer van constant volume met hulpvolume en open kwikmanometer, de barometerstand is afgelezen op een aneröide. Bij de meting op 18 Mei 1920 bedroeg de nulpuntsdruk van den thermometer ongeveer 1140 cm; daar deze druk niet geschikt was voor nauwkeurige bepaling, is die bij de temperatuur van het vloeibare helium als ijkingspunt aangenomen (deze temperatuur volgde uit de dampspanning van het bad).

Om minder hinder te hebben van de correcties op de voorloooige internationale KELVIN-schaal, welke correcties in en beneden het gebied van vloeibare waterstof onvoldoende bekend waren, werd voor de metingen op 28 Mei 1920 de nulpuntsdruk van den thermometer verminderd tot 290 cm; als ijkingspunten doen dienst de spanningen van den thermometer, geplaatst in vloeibaar helium (28 Mei 1920) en in vloeibare waterstof (29 Mei 1920); de temperaturen dezer punten volgen wederom uit de dampspanningen van het bad, onder gebruik der gegevens in Leiden Comm. N^o. 147b en N^o. 156b.

Voor de correctie der aanwijzingen van den thermometer op de voorloopige internationale KELVIN-schaal bij waterstof- en heliumtemperaturen stonden ter beschikking de data van Leiden Comm. Suppl. N^o. 34a, p. 17, noot 4 (verkregen uit de gegevens van Leiden Comm. N^o. 102c), waarbij $B_{-254^{\circ}\text{C.}} = 0$ gesteld is, alsmede nog uit Leiden Comm. N^o. 119 § 5b

$B_{4^{\circ}29\text{ K}} = -0.000047$ ¹⁾; tabel V van Leiden Comm. N^o. 156a geeft een overzicht der correcties, met bovenstaande gegevens berekend. Volgens noot 1 en 3, p. 27, Leiden Comm. N^o. 156a is hierbij genomen $B_0 = 0.000499$, $B_{100} = 0.000476$, $\alpha_{i\text{ He}} = 0.0036614$ en is de invloed der C 's verwaarloosd. Men moet aan deze waarden voor B_0 , B_{100} en $\alpha_{i\text{ He}}$ vasthouden, om de correcties op de voorloopige internationale KELVIN-schaal te krijgen. Metingen wijzen reeds uit, dat juister gebruikt hadden kunnen worden $B_0 = 0.000513$, $B_{100} = 0.000492$ en $\alpha_{i\text{ He}} = 0.0036613$ (Leiden Comm. N^o. 102b, tabel I en Leiden Comm. N^o. 156a, p. 22, noot 1); dit zou leiden tot een *tweede* voorloopige internationale KELVIN-schaal (helium-Avogadro-schaal) en daarom behouden wij de eerste B 's.

Nieuwe bepalingen van helium-isothermen bij $T = 20^{\circ}.5$ ²⁾, $4^{\circ}.2$ en $3^{\circ}.7$ K. ³⁾ leverden nieuwe waarden voor B , die dus ook weder andere correcties op de voorloopige internationale KELVIN-schaal medebrengen. Volledigheidshalve mogen zij in tabel IV volgen.

1) De $B = -0.000047$ is die, afgeleid volgens $pv = RT + \frac{B}{V}$; de verder in deze § genoemde B 's zijn echter die volgens $pv = RT \left(1 + \frac{B}{V}\right)$, overeenkomstig de in noot 360 van Leiden Comm. Suppl. N^o. 23 (1912), Enc. Math. Wiss. V. 10, vermelde wijziging in de notatie.

2) Leiden Comm. N^o. 164 (1923), p. 25.

3) De isothermen bij de twee laatste temperaturen vormen het onderwerp eener mededeeling van H. KAMERLINGH ONNES en J. D. A. BOKS; de hier opgegeven waarden voor de B 's moeten als *voorloopige* beschouwd worden.

TABEL IV.

T.	B.		$\Delta t^1)$ (Nulpuntsdruk helium- thermometer = 1000 m m).	
	Oude waarnemingen.	Nieuwe waarnemingen.	Oude waarnemingen.	Nieuwe waarnemingen.
20.5 K.		- 0.00010		+ 0.04 ₅
19.1	0.00000		+ 0.03 ₉	
4.29	- 0.00305		+ 0.05 ₁	
4.21		- 0.0034		+ 0.05 ₂
3.72		- 0.0044		+ 0.05 ₃

Wij maken verder gebruik van de nieuw berekende Δt 's en leiden hiermede af tabel V.

TABEL V.

Vulling I. $p_{0^{\circ}\text{C.}} = 1140$ cm. 10 Mei 1920.				
$T_{\text{dampsp.}}$	ΔT	$T_{\text{He, ongecor-rigeerd.}}$	p in loc. mm Hg.	$\frac{p}{T_{\text{He}}}$
4.20 K.	0.00 0.16	3.60 3.94	151.8	42.1 28.5 ₇
Vulling II. $p_{0^{\circ}\text{C.}} = 290$ cm. 28 en 29 Mei 1920.				
$T_{\text{dampsp.}}$	ΔT	$T_{\text{He, ongecor-rigeerd.}}$	p in loc. mm Hg.	$\frac{p}{T_{\text{He}}}$
20.37 K.	0.13 0.04	20.24 20.33	209.7	10.3 ₂
4.22	0.15 0.06	4.07 4.16	42.7	10.4 10.1 ₆

1) $\Delta t = (T - T_0) \left(\frac{T_{100} B_{100} - T_0 B_0}{100 v_g} \right) - \left(\frac{T B_T - T_0 B_0}{v_g} \right)$, waarin v_g is het gasvolume in den thermometer, uitgedrukt in het theoretisch normaalvolume; de C 's zijn volgens berekening zelfs bij groote dichtheid te verwaarloozen. In tabel V is dan: $\Delta T = \Delta t + \frac{1}{v_g} - \frac{1}{v_g}$, in welke formule ΔT is de correctie van de heliumgas thermometer-schaal op de voorloopige internationale Avogadro = Kelvin-schaal, Δt die van de heliumgas thermometer-schaal op de voorloopige internationale Celsius-schaal op de voorloopige internationale Avogadro-schaal en $\frac{1}{v_g}$ de spanningscoëfficiënt van helium. ΔT , Δt en $\frac{1}{v_g}$ hangen af van den druk $p_{0^{\circ}\text{C.}}$ van den gekuitten helium thermometer. Ten slotte is $\frac{1}{v_g}$ de spanningscoëfficiënt van helium in den Avogadro-bestand.

§ 8. *De sprongpunttemperatuur.* Op 18 en 28 Mei 1920 bleken alle drie de weerstanden supra-geleidend in vloeibaar helium en gedroegen zich dus als gewoonlijk. Terwijl een der lood-weerstanden ingeschakeld bleef, werd vervolgens de cryostaat door elektrische verwarming van het verdampte helium geleidelijk op hooger temperatuur gebracht. Op zeker oogenblik verliep de galvanometer snel over 35 cm op de schaal en was blijkbaar het sprongpunt bereikt; de plotselinge uitslag pleit voor de bruikbaarheid van den cryostaat bij niet te hooge eischen. Herhaling van het opwarmen (op langzamer wijze) bevestigde het eerste resultaat. Onder standvastig houden der temperatuur werd de thermometer bij het sprongpunt afgelezen. De resultaten zijn neergelegd in tabel VI.

TABEL VI.

Datum.	Vulling.	P_{gas} thermometer in loc. mm Hg.	T_{He} , ongecorrigeerd.	ΔT	T .
18 Mei 1920	I	263.6	6.84 0.2	0.24 0.58	7.08 6.9 K.
28 Mei 1920	II	73.9	a. 7.0 1/2	0.06 0.15	a. 7.2
			b. 7.1 1/2	0.15 0.06	b. 7.26

Bij vulling II is *a.* berekend door ^{gebruik te maken van het} ~~interpolatie~~ ^{20.24} tussen de ijkingspunten bij $T = 20^{\circ}.24$ en $4^{\circ}.07$ K., *b.* door ~~alleen~~ ^{4.52} gebruik te maken van het ijkingspunt bij $T = 20^{\circ}.24$ K., op dezelfde wijze als bij vulling I alleen gebruik ~~moest~~ ^{worden} ~~worden~~ ^{20.00} gemaakt van het ijkingspunt bij $T = 20^{\circ}.00$ K.

De overeenstemming tusschen de metingen met vulling I en II is slecht. Berekent men bij vulling II met de druktoeneming 10.3₆ mm per graad de temperatuur van het

~~vloeibare helium op 28 Mei 1920, dan levert deze berekening $T = 4^{\circ}.27$ K., terwijl de dampspanning $T = 4^{\circ}.22$ K. gaf (tabel V); dit pleit voor de metingen op 28 Mei 1920. Neemt men verder in aanmerking de groote ΔT 's bij vulling I, dan verdient een bepaling met vulling I minder vertrouwen dan een met vulling II. Wij nemen $T_{\text{sprongpuntlood}} = 7^{\circ}.2$ K.; een nauwkeuriger bepaling blijft echter gewenscht, waarbij tevens getracht moet worden, een kromme op te maken, als in fig. 2 voor tin is afgebeeld.~~

§ 9. *Vergelijking der sprongpunttemperaturen van lood en uraniumlood (Ra G).* Op 18 Mei 1920 werd de kruisdraad van den kathetometer ingesteld op den kwikmeniscus in het open been van den thermometer bij den druk, behoorende bij de sprongpunttemperatuur van *Pb-1919-I* (de meniscus in het gesloten been moet natuurlijk steeds op hetzelfde merkteeken ingesteld zijn). Na daling der temperatuur werd *Isotoop Pb-1919-I* in den weerstandskring geschakeld en de temperatuur opgevoerd. Verliep de galvanometer, omdat de weerstand door het sprongpunt ging, dan passeerde ook de meniscus in het thermometerbeen den kruisdraad; dit verschijnsel was zeker tot op 1 mm Hg: lood „KAHLBAUM”, atoomgewicht 207.20 en uraniumlood (Ra G), atoomgewicht 206.06 hebben met een nauwkeurigheid van $\frac{1}{40}$ graad dezelfde sprongpunttemperatuur. Dit resultaat leverde ook *Pb-1919-B*; een invloed der kleinere stroomdichtheid wegens den grooteren diameter viel niet te bespeuren (de meetstroom bedroeg steeds 7.8 mA).

§ 10. *Metingen boven de sprongpunttemperatuur in den heliumdampcryostaat.* De resultaten dezer metingen zijn neergelegd in fig. 4 en in tabel VII; het meest rechtsche, binnen een vierkant geplaatste punt is het resultaat eener

meting in vloeibare waterstof. Als sprongpunttemperatuur is $T = 7^{\circ}.2$ K. genomen. Voor een goede aansluiting der kromme aan die in het gebied van vloeibare waterstof moet zij getrokken worden als op de teekening; daardaar is hare aansluiting aan de geteekende punten gebrekkig. De kruisjes hebben de volgende beteekenis: het gevonden verschil in sprongpunttemperatuur op 18 en 28 Mei 1920 worde geheel geweten aan een te groot berekende druktoeneming per graad als gevolg eener te groot genomen ΔT op 18 Mei; alle andere temperaturen moeten dan ook omgerekend worden en deze omrekening levert de kruisjes. Hoewel deze benadering theoretisch gedeeltelijk onjuist is, omdat niet T , maar $T - \Delta T$ procentsgewijze bij elke temperatuur evenveel zou moeten toenemen, pleit haar resultaat voor de geopperde veronderstelling ¹⁾.

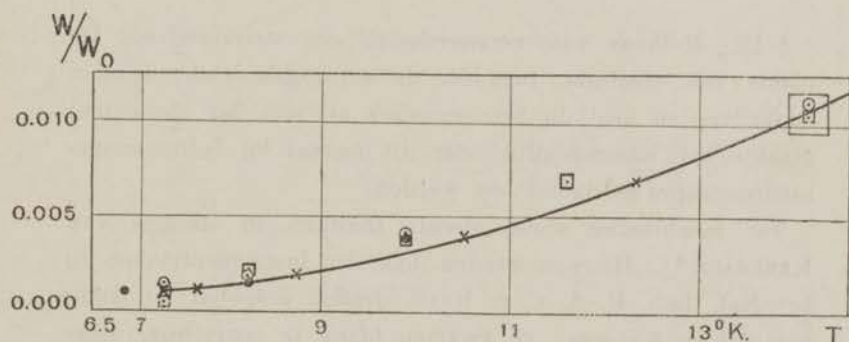


Fig. 4.

- *Pb-1919-I*,
 - *Isotoop Pb-1919-I*,
 - *Pb-1919-B*,
 - ◻ *Pb-1919-B*,
 - × Herleide waarnemingen: § 10.
- } 18 Mei 1920.
} 28 Mei 1920.

¹⁾ Op 28 Mei verhinderde tijdgebrek ons, deze metingen te herhalen.

§ 11. *Metingen in vloeibare waterstof.* Wij geven in tabel VII een overzicht der metingen van eenige loodweerstand in vloeibare waterstof, met de bedoeling het gedrag eener lood-tin-legering met dat zijner componenten te vergelijken¹⁾. In dezelfde tabel vindt men de uitkomsten der metingen in den heliumdamperystaat; de waarden van T , tusschen haakjes geplaatst, zijn de niet-omgerekende. Wij maken opmerkzaam op de vrijwel constante verschillen $\Delta\omega$ van *Isotoop Pb-1919-I* en de weerstanden, uit gewoon lood vervaardigd. De weerstanden bij 0° C. bedragen, van *Pb-1919-B* 2.2193 Ω , van *Pb-1919-I* 13.852 Ω en van *Isotoop Pb-1919-I* 14.957 Ω ; de beide eerste weerstanden zijn gemeten op 28, de derde op 29 Januari 1920.

4. Thallium.

§ 12. *Methode van vervaardiging der weerstanden.* De plaats van thallium, tusschen de supra-geleidende metalen kwikzilver en lood, in het periodiek systeem der elementen, maakte het waarschijnlijk, dat dit metaal bij heliumtemperaturen supra-geleidend zou worden.

Ter beschikking stond slechts thallium in stangen van KAHLBAUM²⁾. Hiervan werden door den instrumentmaker bij het Nat. Lab. P. J. v. D. BAAN, draden gespoten ter dikte van 0.2 en 0.5 mm; zij kwamen blank te voorschijn, maar liepen snel aan en werden grauw van kleur. Op eenige cm

¹⁾ Zie hiertoe §§ 4 en 26 van dit proefschrift.

²⁾ Volgens schrijven der firma bevatte dit thallium het gewone loodgehalte; over andere verontreinigingen werd niets gemeld. Volgens hetzelfde schrijven voerde de firma geen „extra” zuiver product. M. LEVIN geeft aan (*Z. f. Anorg. Chem.* 45 (1905), p. 31), dat het thallium van KAHLBAUM 99.91% Tl bevat, N. KURNAKOW, S. ŽEMCŽUŽNY en V. TARARIN (*Z. f. Anorg. Chem.* 83 (1913), p. 200), geven alleen op, zuiver Tl van KAHLBAUM te hebben gebruikt.

TABEL VII.

Pb-1919-B. Pb-1919-I. Isotoop Pb-1919-I.

Datum.	$T.$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Pb-1919-B.}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Pb-1919-I.}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Isotoop Pb-1919-I.}$	$\Delta\omega_{Isotoop Pb - Pb.}$
20 Dec. 1919	20.45 K.	0.0295 ₅	0.0298 ₁	0.0302 ₂	0.0004 ₁
en 22 Jan. 1920	17.46		0.0201 ₇	0.0205 ₆	3 ₉
	17.43	0.0198 ₁			
	16.50	0.0169 ₆	0.0171 ₇	0.0175 ₇	4 ₀
	14.33	0.0111 ₂	0.0113 ₃	0.0117 ₇	4 ₄
	14.09	0.0104 ₆	0.0107 ₈	0.0112 ₁	4 ₃
18 Mei 1920	12.2 (11.6)	0.0070			
	10.4 (9.8)	0.0039	0.0040	0.0042	0.0002
	8.7 (8.2)	0.0022	0.0018	0.0019	1
	7.6 (7.3)	0.0011	0.0011	0.0015	4
	7.2 ₆ (6.8 ₆)		0.0010		

afstand van de uiteinden van iederen draad werd aan dezen met een klein gasvlammetje een tweede, korte draad gesmolten; hierbij beschutte gesmolten kaarsvet het thallium voor oxydatie. De draad werd dan bifilair gewonden op een porceleinen buisje met gebakken, dubbelen schroefdraad (de buisjes waren vervaardigd door de Königliche Porzellan-Manufaktur te Berlijn¹) en vervolgens werden de vier thallium-uiteinden gesoldeerd ieder aan een koperdraad, te voren aan het buisje aangebracht. De zoo vervaardigde weerstand werd door den chef-glasblazer bij het Nat. Lab. O. KESSELRING ingesloten in een glazen buisje op de volgende wijze. De uiteinden, waardoor de koperdraden naar buiten staken, werden verplatineerd, verkoperd, van koperen dopjes voorzien en dichtgesoldeerd²). Ter verwijdering der oxyde-laag op den draad werd de weerstand door middel van de opening aan het andere einde der glazen buis gespoeld en gedroogd met vochtvanger en koolbuis; een inmiddels aan dit uiteinde aangebrachte kraan werd dan gesloten. Met behulp van een TÖPLER-pomp en een geschikt stel glazen verbindingsstukken werd daarna de weerstand tweemaal met helium gespoeld en tenslotte dit gas tot een druk van 51 cm Hg toegelaten; daarna werd het glazen buisje bij de daarin reeds bestaande vernauwing dichtgesmolten. Voor den definitieven vorm zie fig. 3 van dit proefschrift. Aldus werden vervaardigd *TL-1916-VIII*, diameter 0.2 mm, met een lasch in den bifilairen draad, en *TL-1916-IX*, diameter 0.5 mm.

§ 13. *Nulpuntsbepalingen.* Ter bepaling der nulpunten werden de weerstanden geplaatst in glazen buizen, gevuld

1) Zij worden ook reeds genoemd in Leiden Comm. N°. 152c (1917), § 2.

2) Zie ook Leiden Comm. N°. 133d (1913), p. 60.

met petroleum (wegens den crisistoestand was geen isopentaaan beschikbaar) of met gedistilleerde benzine; de buizen waren afgesloten met kurken, waarover een paraffine-laag was gebracht. Geplaatst in fijn geschaafd duinwaterijs, werd iederen meetdag de eerste meting verricht twee uur na de plaatsing in het ijs en deze dan met tussenpoozen van ongeveer een half uur herhaald. De gebruikte meetmethode is òf die der overgrijpende nevensluiting volgens KOHLRAUSCH, òf die, genoemd in § 2 van dit proefschrift. De resultaten der nulpuntsbepalingen vindt men in tabel VIII; zij zijn gedeeltelijk afkomstig van Dr. J. M. BURGERS, thans hoogleeraar te Delft. Na de metingen in 1919, in welk jaar de supra-geleiding van thallium was gevonden, is de nulpunts-

TABEL VIII. Nulpuntsbepalingen.

Tl-1916-VIII en -IX.

Datum.	Tl-1916-VIII.	Tl-1916-IX.
5 Januari 1917		1.149 ₀ Ω
6 Januari 1917	4.439 Ω	
	Gedompeld in vloeibare lucht.	
8 Januari 1917	4.441 ₅ Ω	
	Gedompeld in O ₂ liq. en H ₂ liq.	
30 Januari 1917		1.150 ₇ Ω
2 Februari 1917	4.447 ₅ Ω	
6 Februari 1917	4.448	1.150 ₅
13 Februari 1919	4.446	
19 Februari 1919	4.446	
20 Februari 1919		1.150 ₂
9 Mei 1924	4.815	
10 Mei 1924	4.814	
14 Mei 1924		1.151 ₇
15 Mei 1924		1.151 ₈

waarde eerst weer in 1924 bepaald; deze bleek toegenomen, zij het van beide weerstanden in verschillende mate.

§ 14. *Metingen in vloeibaar helium; bepaling van de sprongpunttemperatuur.* Voor den gebruikten cryostaat, de bepaling der temperaturen van het bad en de methode der weerstandsmeting verwijzen wij naar § 2 van dit proef-schrift; alleen zij opgemerkt, dat de sterkte van den stroom door de weerstanden 3, mA was en dat, als sneller omtrent supra-geleiding beslissend, bij metingen beneden de sprongpunttemperatuur, de galvanometer waargenomen werd, als slechts in de keten der weerstanden de stroom gecommuteerd werd; in geval van supra-geleiding mocht dan geen verandering in stand gezien worden. Verder is bij deze metingen *alleen* voor de bepaling der dampdrukkingen bij het sprongpunt de kathetometer gebruikt.

Hieronder volgt het diagram eener reeks waarnemingen voor het drukverloop in het bad op 5 Juni 1919; in dit temperatuurgebied is ongeveer 0.01 graad = 1.3 mm Hg.

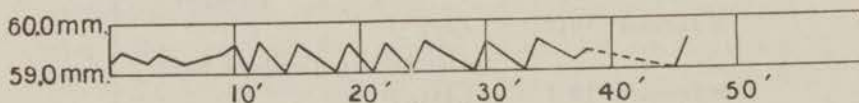


Fig. 5.

Ondanks het feit, dat de draden niet direct in aanraking met het vloeibare helium waren, reageerde bij hunne weerstandsmeting de galvanometer verrassend snel op de temperatuurschommelingen van het bad. De resultaten zijn neergelegd in tabel IX; zie ook fig. 6.

Hieruit blijken constante verschillen $\Delta \omega$ te bestaan bij alle temperaturen; ondanks dezen additieven weerstand¹⁾

1) Neemt men dezen additieven weerstand constant, dan wordt hij $0.00083 W_0 = 0.0037 \Omega$; voorshands moeten wij aannemen, dat hij grootendeels van de lasch afkomstig is.

TABEL IX. Tl-1916-VIII en -IX.

Phelium in mm Hg.	$T^1)$.	$W_{Tl-1916-VIII}$	$W_{Tl-1916-IX}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Tl-1916-VIII}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Tl-1916-IX}$	$\Delta\omega = \omega_{Tl-VIII} - \omega_{Tl-IX}$
	273.09 K.	4.4462 Ω	1.1502 Ω			
780	4.23	0.0075	0.0009 ₆	0.0016 ₈	0.0008 ₄	0.0008 ₄
249	3.26	0.0069	0.0008 ₈	0.0015 ₅	0.0007 ₂	8 ₃
80	2.62	0.0067	0.0007 ₉	0.0015 ₁	0.0006 ₉	8 ₂
70	2.55	0.0067		0.0015 ₁		
65	2.52	0.0066 ₅	0.0007 ₈	0.0015 ₀	0.0006 ₈	8 ₂
60	2.48	0.0066	0.0007 ₆	0.0014 ₉	0.0006 ₆	8 ₃
59.3		schommelt van 0.006 ₆ tot 0.002	schommelt om 0.0007	schommelt van 0.0014 ₉ tot 0.0004 ₅	schommelt om 0.0006	
58.6	2.47	0.0000 ₀	0.0000 ₀	0.0000 ₀	0.0000 ₀	

1) De kolom der temperaturen wijkt iets af van die in Leiden Comm. N^o. 160a (1922), Table II, om de reden, genoemd in noot 2, p. 7 van dit proefschrift.

van *TL-1916-VIII* ten opzichte van *TL-1916-IX* worden beide bij dezelfde temperatuur supra-geleidend. Het gedrag van *TL-1916-VIII* bevestigt de vroeger met *Pb*-draden opgedane

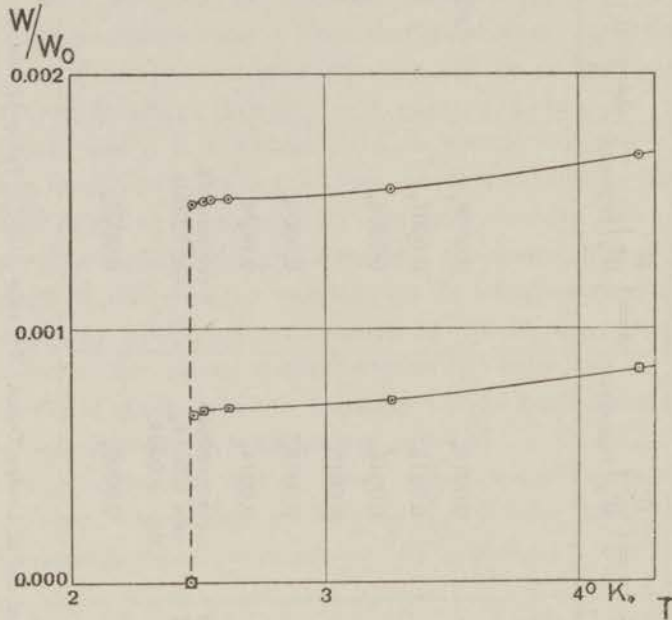


Fig. 6.

○ *TL-1916-VIII*.

□ *TL-1916-IX*.

ervaring ¹⁾, dat lassen in een draad aan het supra-geleidend worden niet schaden. Het schommelen van den weerstand tusschen $T = 2^{\circ}.48$ en $2^{\circ}.47$ K. wordt veroorzaakt door de drukschommelingen in het bad over 0.6 mm Hg, overeenkomende met 0.008 graad; thallium is dan in het gebied als voor tin is afgebeeld in fig. 2. Bij $T = 2^{\circ}.47$ K. is alle meetbare weerstand verdwenen.

¹⁾ Leiden Comm. N^o. 133*d* (1913), § 15.

5. Indium.

§ 15. Toen bleek, dat thallium een supra-geleider was, lag het voor de hand, een zelfde onderzoek met indium te doen; hierbij werd voortgebouwd op de gedachte, dat de plaats van dit metaal in het periodiek systeem der elementen — boven thallium en naast tin — een aanwijzing kon zijn voor zijn supra-geleidend worden.

4 gram chemisch zuiver indium was geleverd door E. DE HAËN, G. m. b. H. ¹⁾. Uit hiervan, ter dikte van 0.1₇ mm gespoten draad vervaardigden wij op de wijze, als beschreven in § 12 van dit proefschrift, de weerstanden *In-1922-I*, $W_0 = 4.704_7 \Omega$, *In-1922-II*, $W_0 = 3.708_7 \Omega$ en *In-1922-III*, $W_0 = 3.799_7 \Omega$; de weerstanden werden echter niet opgesloten in heliumgas. Een vierde weerstand, *In-1922-A*, $W_0 = 4.609_6 \Omega$, werd verkregen door een ander stuk van denzelfden draad eveneens bifilair op een glazen buisje te wikkelen; zijden draad diende hier tot isolatie²⁾. De waarden W_0 zijn bepaald 22 December 1922 op de wijze, in § 13 van dit proefschrift beschreven.

§ 16. *Metingen in vloeibaar helium.* Voor den gebezigten cryostaat en de meting der weerstanden en temperaturen wordt verwezen naar § 2 van dit proefschrift. Alleen zij opgemerkt, dat de sterkte van den stroom door alle vier weerstanden steeds 4₀ mA was en dat de dampdrukkingen beneden 400 mm Hg kathetometrisch zijn bepaald.

De resultaten der metingen volgen in de tabellen X, XI, XII en XIII. Dicht bij het sprongpunt, waar de opvolgende

1) Het hooge bedrag van $\left(\frac{W}{W_0}\right)_{T=4^{\circ}2\text{ K}}$ van alle hieruit vervaardigde weerstanden deed ons aan de zuiverheid van het geleverde indium twifelen. Bij navraag deelde de firma bij schrijven dd. 22 Maart 1923 mede, „chemisch zuiver Indiummetaal geleverd te hebben, dat vrij van verontreinigingen was”.

2) Oude indiumdraden laten zich ter verkrijging der vier benodigde uiteinden moeilijk aaneensmelten; behandeling met *HCl* heft deze moeilijkheid op.

TABEL X. In-1922-I.

Datum.	Phelium in mm Hg.	T.	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{In-1922-I}$	
8 December 1922	775	4.22 K.	0.1373 ₂	
20 December 1922	394.5	3.60	0.1372 ₃	
	339.4	3.48	0.1371 ₄	
	310.1	3.42	0.1370 ₈	
	308.8		0.1370 ₇	
	307.4		0.1367 ₈	
	306.9		0.1357 ₂	
	305.5		0.1364 ₀	
	304.0	3.40	0.1363 ₆	
	301.6		0.1359 ₇	
	299.6		0.132	
	8 December 1922	299.5		0.120
	20 December 1922	298.2		0.016
295.5		3.38	0.0000 ₃	
8 December 1922	12.4	1.87	0.00000	

TABEL XI. In-1922-II.

Datum.	Phelium in mm Hg.	T.	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{In-1922-II}$
20 December 1922	394.4	3.60 K.	0.03392
	339.6	3.48	0.03387
	309.8	3.42	0.03387
	308.7		0.03385
	307.4		0.0202
	306.9		0.0067
	306.0		0.0000 ₀
	304.0	3.40	0.0000 ₀

TABEL XII. In-1922-III.

Datum.	Phelium in mm Hg.	$T.$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{In-1922-III.}$
8 December 1922	775	4.22 K.	0.03390
	334.0	3.46	0.03380 ₅
	310.5	3.42	0.03380 ₅
	309.1		0.03377
	307.7	3.41	0.0207
	305.9		0.0001 ₈
	304.8		0.0000 ₀
	12.4—12.6	1.87	0.00000

TABEL XIII. In-1922-A.

Datum.	Phelium in mm Hg.	$T.$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{In-1922-A.}$
20 December 1922	760	4.20 K.	0.03420
	394.4	3.60	0.03418
	339.6	3.48	0.03415
	309.7	3.42	0.03392
	308.9		0.0297
	307.1		0.0013
	307.0		0.0001 ₄
	306.2		0.0000 ₃
	304.0	3.40	0.00000

temperatuurverschillen klein zijn, geven wij alleen de dampspanningen. Soms wordt hier de weerstand in minder decimalen opgegeven dan elders; de geringste verandering in aanwijzing van den in Leiden Comm. N°. 119 beschreven oliereguleteur is oorzaak, dat de galvanometer in het gebied der groote weerstandsafneming niet tot rust komt.

De tabellen wijzen uit — zie ook fig. 7 —, dat de rest-

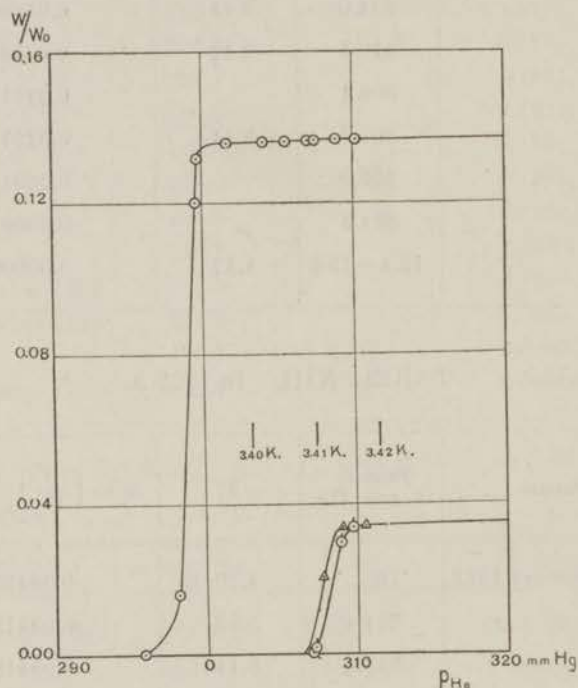


Fig. 7.

- *In-1922-I.*
- △ *In-1922-III.*
- ⊙ *In-1922-A.*

weerstand van *In-1922-I* boven zijne sprongpunttemperatuur veel grooter is dan die der andere draden, dat voor *In-1922-I*

de temperatuur, waarbij de weerstand het sterkst valt, ongeveer 0.02 graad is verschoven ten opzichte van de overeenkomstige voor *In-1922-II* en *-III* en dat de val over een grooter temperatuurgebied plaats grijpt. Berekeningen met de ten dienste staande gegevens aan de hand der hypothese van SILSBEE¹⁾ maken onwaarschijnlijk, dat genoemde verschuiving wordt veroorzaakt door oxydatie van *In-1922-I* over zijn geheele lengte in zulk eene mate, dat slechts een kleine kern indium bleef²⁾; de verhouding der W_0 's van *In-1922-I*, *-II* en *-III* laat dit niet toe³⁾. Sterke aantasting van een kort deel van den draad is onwaarschijnlijk, omdat dan de vraag rijst, waarom de weerstand van het betere deel van *In-1922-I* niet verdwijnt bij de sprongpunttemperatuur der beide andere indiumweerstand. Dit leidt tot de opvatting, dat de groote restweerstand van *In-1922-I* gelijkmatig over den geheelen draad verdeeld is; de kristallen van den draad, ook de inwendige, kunnen aangetast zijn, waardoor de electriciteitsovergang van het eene naar het andere kristal wordt bemoeilijkt. De onderlinge gelijkheid der kleinere restweerstand van de andere drie draden

1) F. B. SILSBEE. Scient. Pap. Bur. of Stand., Vol. 14, N^o. 307 (1917).

2) *In-1922-I* vertoont in tegenstelling met de andere draden een dof, oxyde-achtig oppervlak. Na de vervaardiging in Juli 1922 werd de weerstand in benzine bewaard; hoewel deze gedistilleerd heette te zijn, schijnt zij verontreinigingen te hebben bevat, die den draad hebben aangetast.

3) Metingen met *In-1922-A* over de afhankelijkheid der magnetische drempelwaarde van de temperatuur geven voor indium ruw een benodigd veld van 2.8 gauss voor eene sprongpuntverschuiving van 0.02 graad. i is steeds 4.0 mA. Wil in aansluiting aan de hypothese van SILSBEE het eigen magneetveld van *In-1922-I* 2.8 gauss grooter zijn dan dat van *In-1922-II*, dan moet door oxydatie de straal van *In-1922-I* tot ongeveer 0.003 mm zijn verminderd, hetgeen onverenigbaar met de verhouding der W_0 's is, indien men er op let, dat beide weerstanden in lengte niet veel verschillen. Wij komen op genoemde hypothese in hoofdstuk II van dit proefschrift terug.

maakt het vrijwel zeker, dat hunne restweerstand uniform verdeeld is. Uit de tabellen blijkt ook een verschil van 0.002 graad in sprongpunttemperatuur tusschen *In*-1922-*A* ter eener en *In*-1922-*II* en *-III* ter anderer zijde te bestaan. De verklaring door temperatuurverschillen in het heliumbad lijkt ons niet aannemelijk; op een poging tot een andere verklaring komen wij terug in § 42 van dit proefschrift.

§ 17. *De plaats der tot heden bekend zijnde supra-geleiders in het periodiek systeem der elementen.* Toen een groepeerling der vijf bekende supra-geleiders in het periodiek systeem te onderkennen viel, lag het voor de hand, allereerst het electrisch geleidingsvermogen der hen omringende metalen bij heliumtemperaturen te bestudeeren, voorzover dit niet reeds gedaan was. De verkregen feiten voerden tot de vraag, of de sprongpunttemperatuur een periodiek karakter had en daardoor weer tot een volgende, of alle metalen supra-geleidend konden worden. Opgemerkt werd ¹⁾, dat genoemde temperatuur stijgt, zoowel van *In* (atoomnummer 49) naar *Sn* (50), als van *Tl* (81) naar *Pb* (82) gaande, waarbij te bedenken is, dat in het periodiek systeem *In* boven *Tl*, *Sn* boven *Pb* ligt. Let men verder op de sprongpunttemperatuur van *Hg* (4°.2 K.), *Tl* (2°.5 K.) en *Pb* (7°.2 K.) — atoomnummers 80, 81 en 82 —, dan gaat deze van *Tl* naar beide zijden omhoog; zet deze stijging zich voort, dan moet *Au* (79) bij hoogere temperatuur dan *Hg* supra-geleidend worden, hetgeen met de metingen in strijd is, daar *Au* tot $T = 2^{\circ}.2$ K. gewonen weerstand bezit ²⁾. Hieruit vloeit dan voort, dat *Au* — met meerdere metalen

1) Leiden Comm. N°. 167a (1923), § 3.

2) Leiden Comm. N°. 120b (1911), § 2; zie ook Leiden Comm. Suppl. N°. 29 (1911), fig. 13.

misschien — niet supra-geleidend worden kan. *De onderzoekingen hebben uitgewezen, dat behalve de vijf supra-geleiders en het twijfelachtige cadmium alle tot op heden onderzochte metalen nog gewonen weerstand hebben bij de laagste temperatuur, waarbij zij gemeten zijn.* Zooals de geschiedenis leert, brengt voortgezette afkoeling soms groote verrassingen; niettemin is het moeilijk aan te nemen, dat al deze onderzochte metalen eene sprongpunttemperatuur beneden $T = 1^{\circ}.5$ K. zouden hebben. Dan heeft het ook weinig beteekenis meer, tenzij in zeer beperkten zin, van een periodiciteit der sprongpunttemperaturen te spreken; het blijft echter de verdienste der veronderstelling, dat mede zij de gedachte aan een verband tusschen periodiek systeem en supra-geleiding naar voren drong en tevens de aandacht afleidde van de oude, steeds weer opduikende poging, het niet supra-geleidend worden van sommige elementen door bijmengselen te verklaren.

De resultaten betreffende de verder onderzochte metalen laten wij volgen. Wij merken op, dat de weerstanden, indien geen methode wordt vermeld, zijn gemeten op de wijze en in den cryostaat, als beschreven in § 2 van dit proefschrift, terwijl de dampdrukkingen van het heliumbad beneden 500 mm met den kathetometer afgelezen werden, waaruit dan met behulp der reeds meermalen genoemde formule¹⁾ de temperaturen berekend zijn.

6. Cadmium.

§ 18. *Metingen van verschillende cadmiumweerstanden in vloeibaar helium.* Een uit cadmium „Kahlbaum” vervaar-

¹⁾ Leiden Comm. N^o. 147b (1915), p. 33.

digde weerstand is vroeger bij $T=4^{\circ}.2$ K. gemeten en behield toen gewonen weerstand ¹⁾. Voor een nieuw onderzoek werd uit den voorraad aanwezig metaal, vóór 1914 vermoedelijk geleverd door KAHLBAUM, draad gespoten, dik 0.2_2 mm en hieruit de weerstand *Cd-1919-I* op de wijze der thalliumweerstand en vervaardigd (dus ook ingesloten in eene heliumomgeving). Het verrassende resultaat van het onderzoek op 20 December 1922 ²⁾ was, dat de weerstand van $T=3^{\circ}.7$ tot 2.3° K. geleidelijk verminderde en nul werd, hierbij geheel den indruk eener langzaam ontstaande supra-geleiding gevend. Daar de meting van den weerstand bij $T=4^{\circ}.2$ K. op dien dag onjuist was wegens eene storing, even na den aanvang der metingen ontdekt, en dus niet bekend was, of de afneming reeds begon bij hooger temperatuur dan $T=3^{\circ}.70$ K., werd eerst gedacht aan kortsluiting, doordat misschien een onzichtbaar laagje tinsoldeer, bij de vervaardiging op het porcelein gemorst, supra-geleidend werd bij $T=3^{\circ}.7$ K., juist even beneden de sprongpunttemperatuur van tin gelegen. Daarom werd het porceleinen buisje, waarop de draad gewikkeld was, uit het glazen omhulsel genomen, het buisje op verdachte plaatsen schoongemaakt en de draad daarvan geïsoleerd door paraffine. Metingen op 19 en 30 Januari 1923 gaven geen nieuwe uitkomst; alleen bleek de val te beginnen bij hooger temperatuur dan $T=3^{\circ}.7$ K.; dat het hier supra-geleiding betref, bewezen de metingen met verschillende stroomsterkten en die, waarbij de weerstand in een magneetveld geplaatst was. Zie voor de resultaten tabel XIV en fig. 8.

1) Leiden Comm. N^o. 142a (1914).

2) Deze draad was ook in 1920 gemeten, maar door een storing alleen bij het kookpunt van helium.

TABEL XIV. Cd-1919-I.

Datum.	Helium in mm Hg.	T.	Bijzonder- heden omtrent stroom- sterkte en magneetveld.	$W_{Cd-1919-I}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Cd-1919-I}$
22 Dec. 1922		273.09 K.		1.9264 Ω	
19 Jan. 1923	787	4.24	4.0 mA	0.0056 ₈	0.0029 ₂
30 Jan. 1923	775	4.22		0.0055 ₉	0.0029 ₀
	484	3.77		0.0052 ₄	0.0027 ₂
19 Jan. 1923	484	3.77		0.0052 ₈	0.0027 ₄
20 Dec. 1922	354.0	3.51		0.0048 ₂	0.0025 ₀
	339.3	3.48		0.0047 ₈	0.0024 ₈
19 Jan. 1923	310.8	3.42		0.0046 ₁	0.0023 ₉
30 Jan. 1923	310.4	3.42		0.0045 ₆	0.0023 ₇
20 Dec. 1922	247.7	3.26		0.0040 ₂	0.0020 ₉
	227.8	3.20		0.0037 ₁	0.0019 ₈
	198.8	3.11		0.0033 ₆	0.0017 ₄
	178.3	3.04		0.0030 ₁	0.0015 ₆
	159.1	2.98		0.0028 ₁	0.0014 ₆
	138.0	2.90		0.0019 ₁	0.0009 ₉
	117.5	2.81		0.0012 ₂	0.0006 ₈
	80.0	2.62	0.0001 ₂	0.0000 ₆	
30 Jan. 1923	79.5	2.62	0.0000 ₀	0.0000 ₀	
20 Dec. 1922	39.8	2.30	0.00000	0.00000	
20 Dec. 1922	450	3.70	9.8 mA	0.0054 ₂	0.0028 ₁
19 Jan. 1923	310.8	3.42	{ 4.0 mA 6 gauss	0.0051 ₁	0.0026 ₅
30 Jan. 1923	310.4	3.42		0.0052 ₆	0.0027 ₈

Deze uitkomst leek vreemd, daar op 8 December 1922 *Cd-1920-I* was onderzocht en deze over het bereikbare heliumgebied een vrijwel constanten weerstand had; deze weerstand was vervaardigd uit draad, ter dikte van 0.2₅ mm gespoten

uit cadmium „Kahlbaum“, in 1920 ontvangen. Voor de uitkomsten zie men tabel XV en fig. 8; bij iedere temperatuur, behalve de laatste, is de weerstand gemeten met stroomsterkten van 4.₀ en 9.₈ mA.

TABEL XV. Cd-1920-I.

Datum.	ρ_{hellum} in mm Hg.	T .	$W_{Cd-1920-I}$.	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Cd-1920-I}$.
22 Dec. 1922		273. ⁰ 09 K.	1.9381 Ω	
8 Dec. 1922	775	4.22	0.0027 ₇	0.0014 ₈
	333.7	3.46	0.0027 ₄	0.0014 ₁
	299.5	3.39	0.0027 ₃	0.0014 ₁
	12.5	1.87	0.0027 ₂	0.0014 ₀
	4.4	1.46	0.0027 ₂	0.0014 ₀

Voor verder onderzoek werd uit de in 1919 gespoten en reeds genoemde hoeveelheid draad een nieuwe weerstand vervaardigd, *Cd-1923-I*, die zich dus moest gedragen als *Cd-1919-I* en dit bij meting ook deed; bovendien werd uit ook reeds genoemd cadmium „Kahlbaum“ 1920 nieuwe draad gespoten en hiervan vervaardigd de weerstand *Cd-1923-II*; deze gedroeg zich als *Cd-1920-I*. Hiermede was een verschil in gedrag, naargelang van het gebruikte cadmium, opnieuw aangetoond.

De verkregen kromme voor *Cd-1919-I* wijst uit, dat de vermindering van weerstand zich inzet boven de sprongpunt-temperatuur van tin en dat, indien men het vreemde gedrag van *Cd-1919-I* aan een verontreiniging wil toeschrijven, eerder lood dan tin in het spel is. Gedacht werd aan de mogelijkheid, dat sommige draden gespoten waren door eene opening, die voorheen bij de vervaardiging van looddraden was gebruikt. Ofschoon de chemische reactie op lood —

evenals die op kwik en tin — bij de verdachte draden negatief uitviel, en de veronderstelling bovendien onwaarschijnlijk leek, werd toch, en thans opzettelijk, door eene

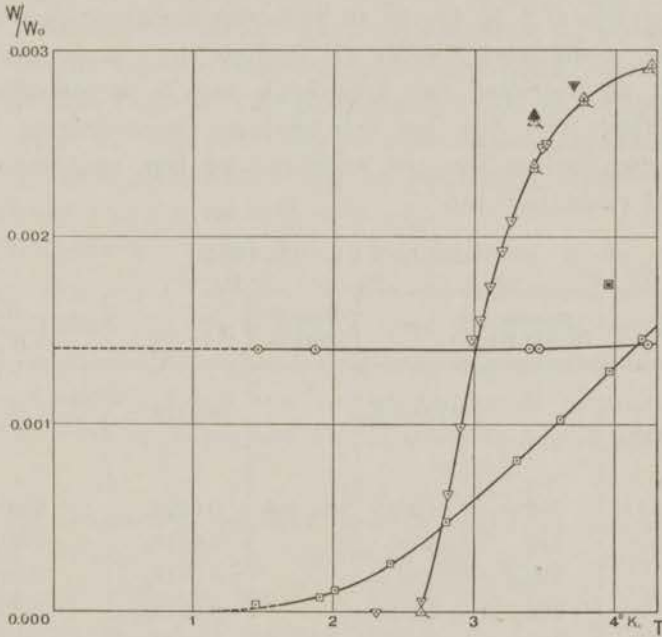


Fig. 8.

- | | | | |
|------------|---|---|--------------------------------------|
| Cd-1919-I. | } | ▽ | 4.0 mA, 20 December 1922. |
| | | △ | 4.0 mA, 19 Januari 1923. |
| | | △ | 4.0 mA, 30 Januari 1923. |
| | | ▽ | 9.8 mA, 20 December 1923. |
| | | △ | 9.8 mA, 19 Januari 1923. |
| | | △ | 4.0 mA. en 6 gauss, 30 Januari 1923. |
| Cd-1920-I. | | ○ | 8 December 1923. |
| Cd-1924-I. | } | □ | 4.0 mA, 21 Maart 1924. |
| | | □ | 19.9 mA, 21 Maart 1924. |

opening eerst lood gespoten en daarna cadmium „Kahlbaum“ 1920, dat gelijk gezegd de niet-supra-geleidende draden had geleverd. De weerstand *Cd-1924-I*, uit den aldus verkregen draad vervaardigd, vertoont een val in weerstand, die reeds boven $T = 4^{\circ}.2$ K. begint en zich over eenige graden uitstrekt, zooals tabel XVI en fig. 8 doen zien; in dit gebied blijkt de weerstand ook afhankelijk van de stroomsterkte. *Cd-1924-I* leert dus, hoe eene geringe verontreiniging het electrisch gedrag van een weerstand bij lage temperaturen totaal veranderen kan.

TABEL XVI. Cd-1924-I.

Datum.	p_{helium} in mm Hg.	T .	Stroom- sterkte.	$W_{Cd-1924-I}$.	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Cd-1924-I}$.
21 en 22 Mei 1924		273.09 K.		1.5772 Ω	
21 Maart 1924	752	4.18	4.0 mA	0.0022 ₈	0.0014 ₈
	599	3.96		0.0020 ₈	0.0012 ₉
	399.3	3.61		0.0016 ₈	0.0010 ₃
	261.8	3.30		0.0012 ₇	0.0008 ₁
	116.0	2.80		0.0007 ₅	0.0004 ₈
	50.6	2.40		0.0004 ₁	0.0002 ₆
	18.5	2.01		0.0001 ₉	0.0001 ₂
	8.5	1.90		0.0001 ₂	0.0000 ₈
	3.3—3.5	1.43— 1.45 ¹⁾		0.0000 ₇	0.0000 ₄
	599	3.96		19.0	0.0027 ₆	0.0017_{5}

1) Berekend met behulp der formule

$$\log_{10} p \text{ (in atm.)} = -\frac{2.70}{T} + 2.5 \log T - 0.86,$$

afgeleid door Prof. VERSCHAFFELT.

Leek de oplossing nabij, wij mochten niet tevreden zijn, voor was aangetoond, dat het cadmium van vóór den oorlog en vermoedelijk van Kahlbaum, *niet* supra-geleidende draden leverde, indien gespoten door een *niet* verontreinigde opening; zoodoende ontstond *Cd-1924-III*, waarvan de uiteinden niet aan de koperen toeleidingsdraden gesoldeerd, maar gesmolten zijn, zulks om alle aanraking met lood te vermijden. Ook werd uit een stuk van hetzelfde materiaal tusschen nieuwzilveren platen band gewalst en hieruit, weder met vermindering van alle soldeer, vervaardigd *Cd-1924-IV*¹⁾; ook hier kon geen loodverontreiniging parten spelen. Mocht men denken, dat *Cd-1924-III* en *-IV* niet supra-geleidend zouden worden, dit bleek bij de meting op 4 April 1924 wel het geval, zoodat het verschil in gedrag der beide cadmiumsoorten niet opgelost is; indien eene verontreiniging de oorzaak is, was deze reeds aanwezig, toen het materiaal de fabriek verliet.

§ 19. *Discussie; metingen van Cd-1923-I in vloeibaar helium.* Overziet men de resultaten, dan is de supra-geleiding van cadmium twijfelachtig, èn door het uitblijven der supra-geleiding bij sommige draden, èn door de wijze, waarop zij bij andere tot stand komt. Houdt men er aan vast, dat de supra-geleiding een eigenschap van het cadmium zelf is, dan dringt de gedachte zich op, dat dit metaal aan den zelfkant der supra-geleiders ligt²⁾.

1) Deze en de meeste andere weerstanden zijn gemaakt door den draad of het band bifilair op glas te wikkelen, met zijde en paraffine tot isolatie; de aldus gemaakte weerstanden nemen veel minder ruimte in den cryostaat in dan die, op porceleinen buisjes gewikkeld.

2) Men wordt in deze gedachte versterkt door de teekeningen van Dr. H. A. KRAMERS voor het rapport KAMERLINGH ONNES aan het IVde Conseil-SOLVAY (1924); zij stellen den afstand voor van twee naburige atomen en de grootte der electronenbanen voor een vrij atoom.

Veel pleit voor de hypothese, dat cadmium tot $T = 1^{\circ}.5 \text{ K.}$ niet supra-geleidend is, maar dat de waargenomen supra-geleiding haar oorzaak heeft in de hoeveelheid lood, die als verontreiniging bij de chemische bereiding er in achterbleef. Inderdaad bevat cadmium „Kahlbaum” volgens MYLIUS lood¹⁾; dan zou er volgens deze hypothese meer lood in het oude cadmium dan in het cadmium „Kahlbaum” (1920) zitten en in iedere soort juist zooveel, dat de eerste, oude soort nog wel, de tweede (1920) niet meer supra-geleidend wordt; dat de verontreiniging bij de tweede soort minder dan bij de eerste is, volgt ook hieruit, dat de restweerstand van den niet-supra-geleidenden *Cd-1920-I* bijna de helft is van dien van den supra-geleidenden *Cd-1919-I* (zie tabellen

bovendien de grens, waarbinnen zich het electron met het azimuthale quanten-getal 1 beweegt; indien de ruimte tusschen de atomen — bij de supra-geleiders volgens deze teekeningen groot — van invloed is, zal men aan cadmium een kans geven. Volgens hetzelfde rapport wordt het tot stand komen der supra-geleiding in een tindraad, blijkens de verhooging der sprongpunttemperatuur, door uitrekking bevorderd; bij een cadmiumdraad uit het supra-geleidende metaal was dit volgens een onderzoek van den assistent G. J. Sizoo niet het geval.

1) Volgens F. MYLIUS, Z. f. Anorg. Chem. 74 (1912), p. 407, bevatte cadmium „Kahlbaum” van 1911 een spoor Zn, 0.001 % Fe en 0.005 % Pb; cadmium van Kahlbaum bevatte volgens hem in 1899 0.05 % verontreiniging.

Deze opgave voor cadmium „Kahlbaum” is vrijwel gelijk aan latere in het „Tätigkeitsbericht der P. T. R. im Jahre 1917”, Z. f. Instr.-kunde 38 (1918), p. 100.

Aan Prof. Ir. P. D. C. KLEY te Delft, die ons meermalen met de grootste bereidwilligheid over metallurgische zaken inlichtte, danken wij de mededeeling, dat hem bij onderzoek der beide soorten cadmium gebleken is, dat een stukje supra-geleidend cadmium (van vóór den oorlog) bij het etsen met eene oplossing van 5 % *HCl* in alcohol veel sneller aangetast wordt dan een stukje niet-supra-geleidend cadmium („Kahlbaum” 1920); in analogie met andere gevallen kan dit op verontreiniging wijzen.

Het aantoonen, langs spectroscopischen weg, van de aanwezigheid van lood in beide cadmiumsoorten danken wij aan de bereidwilligheid van den assistent A. C. S. VAN HEEL.

XIV en XV, en fig. 8) ¹⁾). Hier zou zich dan het geval voordoen, dat een alliage van cadmium en een zeer geringe hoeveelheid lood supra-geleidend wordt. De belangrijkheid van het verschijnsel deed ons talrijke metingen verrichten aan *Cd-1923-I* met verschillende stroomsterkten en magneetvelden: de resultaten zijn vervat in tabel XVII en fig. 9. De gestreepte lijnen in deze figuur geven de uitkomsten, bij gebruik van verschillende stroomsterkten, de getrokken die bij gebruik van verschillende magneetvelden weer; de meetstroom is bij de laatste soort metingen steeds 4.0 mA sterk. De magneetvelden, transversaal ten opzichte der weerstandswikkelingen, zijn aangebracht met behulp van eenen draadklos, geplaatst om den cryostaat; de as van het glazen buisje, waarop de draad gewikkeld was, viel met die van den draadklos samen, hetgeen ook van de middens der beide assen geldt. Vanwege den grooten diameter van den klos neemt de veldsterkte van het midden naar de uiteinden snel af, maar omdat het deel van het buisje, dat met wikkelingen bedekt was, slechts 36 mm mat, bedroeg de veldsterkte aan het uiteinde der wikkelingen nog 98.7 % van de maximale sterkte in het midden; wij weten niet, hoe de weerstand van het magneetveld afhangt en geven daarom in tabel XVII de gemiddelde veldsterkte over genoemde 36 mm, zijnde deze 99.6 % van de maximale ²⁾).

1) Met den tijd verandert de restweerstand; zie hiertoe noot 1 op p. 47 van dit proefschrift. Daar echter beide weerstanden lang na de vervaardiging gemeten zijn, mogen wij aannemen, dat deze factor voor beide van hetzelfde belang is.

2) De klos is lang 188.5 mm en bevat 8 lagen van 86 windingen, met middellijn der buitenste en binnenste winding 16.4 en 13.6 cm. De veldsterkte in een punt der as is berekend met

$$H_z = 4 \pi ni \cdot \frac{1}{2} \left\{ \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} - \frac{z-l}{\sqrt{R^2 + (z-l)^2}} \right\},$$

waarin o en l de coördinaten der uiteinden zijn.

TABEL XVII. Cd-1923-I.

Datum.	Phelium in mm Hg.	T.	Stroom- sterkte.	Magneetveld + 0.4 gauss voor de verticale com- ponente van het aardmagneetveld.	$W_{Cd-1923-I}$.
19 Dec. 1923	773	4.22 K.	4.0 mA	0.4 gauss	0.0026 ₂ Ω
			47.4	0.4	0.0026 ₇
			4.0	21.8	0.0026 ₈
27 Nov. 1923	770	4.21	2.0	0.4	0.0025 ₉
			4.0	0.4	0.0026 ₂
			9.9	0.4	0.0026 ₇
			19.9	0.4	0.0026 ₈
			4.0	5.6	0.0026 ₇
			4.0	11.1	0.0026 ₈
19 Dec. 1923	622	4.00	4.0	0.4	0.0025 ₆
			47.4	0.4	0.0026 ₅
			4.0	21.8	0.0026 ₆
27 Nov. 1923	619	3.99	2.0	0.4	0.0024 ₉
			4.0	0.4	0.0025 ₈
			19.9	0.4	0.0026 ₅
			4.0	5.6	0.0026 ₃
			4.0	11.1	0.0026 ₅
19 Dec. 1923	499	3.80	4.0	0.4	0.0024 ₈
			47.4	0.4	0.0026 ₃
			4.0	21.8	0.0026 ₅
			4.0	36.1	0.0026 ₈

Datum.	p_{helium} in mm Hg.	T .	Stroom- sterkte.	Magneetveld + 0.4 gauss voor de verticale com- ponente van het aardmagneetveld	$W_{\text{Cd-1923-I}}$
27 Nov. 1923	479	3.76 K.	2.0 mA	0.4 gauss	0.0023 ₃ Ω
			4.0	0.4	0.0024 ₅
			9.9	0.4	0.0025 ₆
			19.9	0.4	0.0026 ₂
			4.0	5.6	0.0025 ₇
			4.0	11.1	0.0026 ₂
19 Dec. 1923	342.9—343.2	3.49	2.0	0.4	0.0019 ₆
			4.0	0.4	0.0022 ₄
			9.9	0.4	0.0024 ₄
			19.9	0.4	0.0025 ₂
			47.4	0.4	0.0025 ₉
			4.0	5.8	0.0024 ₈
			4.0	11.1	0.0025 ₆
			4.0	21.8	0.0026 ₂
19 Dec. 1923	165.0—165.2	3.00	4.0	0.4	0.0012 ₈
			4.0	21.8	0.0025 ₃
			4.0	36.1	0.0026 ₀
1) 4 Dec. 1923	163.8—164.1	3.00	2.0	0.4	0.0005 ₁
			4.0	0.4	0.0012 ₇
			9.9	0.4	0.0019 ₃
			19.9	0.4	0.0022 ₂
			47.4	0.4	0.0024 ₄
			4.0	5.8	0.0021 ₄
			4.0	11.1	0.0023 ₇
4.0	21.8	0.0025 ₈			

1) Zie noot 1 op p. 46 van dit proefschrift.

Datum.	P_{Helium} in mm Hg.	T .	Stroom- sterkte.	Magneetveld + 0.4 gauss voor de verticale com- ponente van het aardmagneetveld.	$W_{\text{Cd-1923-I}}$
19 Dec. 1923	112.9—113.0	2.79 K.	2.0 mA	0.4 gauss	0.0000 ₀ Ω
			4.0	0.4	0.0004 ₉
4 Dec. 1923	76.8	2.59	2.0	0.4	0.00000
			4.0	0.4	0.0000 ₀
			9.9	0.4	0.0008 ₄
			19.9	0.4	0.0015 ₇
			47.4	0.4	0.0021 ₁
			4.0	5.8	0.0015 ₂
			4.0	11.1	0.0020 ₃
19 Dec. 1923	76.6—76.7	2.59	9.9	0.4	0.0008 ₂
			4.0	36.1	0.0025 ₂
¹⁾ 19 Dec. 1923	44.8—44.8 ₅	2.35	9.9	0.4	0.0000 ₂
19.9			0.4	0.0007 ₇	
47.4			0.4	0.0017 ₃	
4.0			5.8	0.0009 ₅	
4.0			11.1	0.0017 ₄	
4.0			21.8	0.0022 ₇	
4.0			36.1	0.0024 ₂	

¹⁾ Hier worde opgemerkt, dat na het wegnemen van den om den cryostaat geplaatsten klos *Cd-1923-I* nog slechts half in het helium stond. De voortreffelijke warmtegeleiding — en hier ook de regen van heliumdruppels, dien de roeder over den weerstand stort, — doet volgens proeven, een metalen voorwerp als den draad over zijn geheele lengte de temperatuur van het heliumbad houden.

Bij de tabel moet worden opgemerkt, dat in de opgave der velden 0.4 gauss voor de verticale componente van het aardmagnetisme in rekening gebracht is. Verder bleek bij iedere volgende heliummeting — tusschen deze was *Cd-1923-I* op kamertemperatuur — de restweerstand verminderd. Daarom vermenigvuldigden wij bij de opstelling van de tabel alle bedragen der weerstanden, gevonden op 27 Nov., met 0.98₅ en die, gevonden op 4 Dec. met 0.99. Tot deze kleine verbetering achtten wij ons door herhaalde meting gerechtigd; dan nog bleek genoemde vermindering in den loop der jaren zeer aanzienlijk, daar van *Cd-1923-I* bij eene stroomsterkte van 4₀ mA op 30 Januari 1923 $W_{T=4^{\circ}.22 \text{ K.}} = 0.0029_7 \Omega$ en op 27 November 1923 $W_{T=4^{\circ}.21 \text{ K.}} = 0.0026_6 \Omega$ was ¹⁾.

Volgens fig. 9 komen alle krommen eerst samen bij eene temperatuur, veel hooger dan die van het heliumkookpunt; men denkt terstond aan de sprongpunttemperatuur van lood (7^o.2 K.). Met deze krommen vergelijkte men die, door de meting van kwikdraden verkregen ²⁾. Prof. ÖNNES schrijft in zijn rapport aan het IV^{de} Conseil-SOLVAY, dat dunne laagjes eene lagere sprongpunttemperatuur hebben dan draden; het zou de moeite loonen, door een stelselmatig onderzoek na te gaan, of de supra-geleiding dezer laagjes niet gelijkt op die van *Cd-1923-I*, namelijk, dat men hier niet met een verlaging der sprongpunttemperatuur, maar met een verschuiving der temperatuur van de grootste

1) Hetzelfde is opgemerkt bij *Cd-1919-I*; bij een stroomsterkte van 4₀ mA was op 12 Maart 1920 $\left(\frac{W}{W_0}\right)_{T=4^{\circ}.21 \text{ K.}} = 0.0032$, en op 30 Januari 1923 $\left(\frac{W}{W_0}\right)_{T=4^{\circ}.22 \text{ K.}} = 0.0029_6$; dit is niet toe te schrijven aan de verandering van W_0 , daar deze op 30 Januari 1920 1.9249 Ω en op 22 December 1922 1.9264 Ω was. Verwacht mag worden, dat rekristallisatie in het spel is.

2) Leiden Comm. N^o. 133a (1913), fig. 6 en 7.

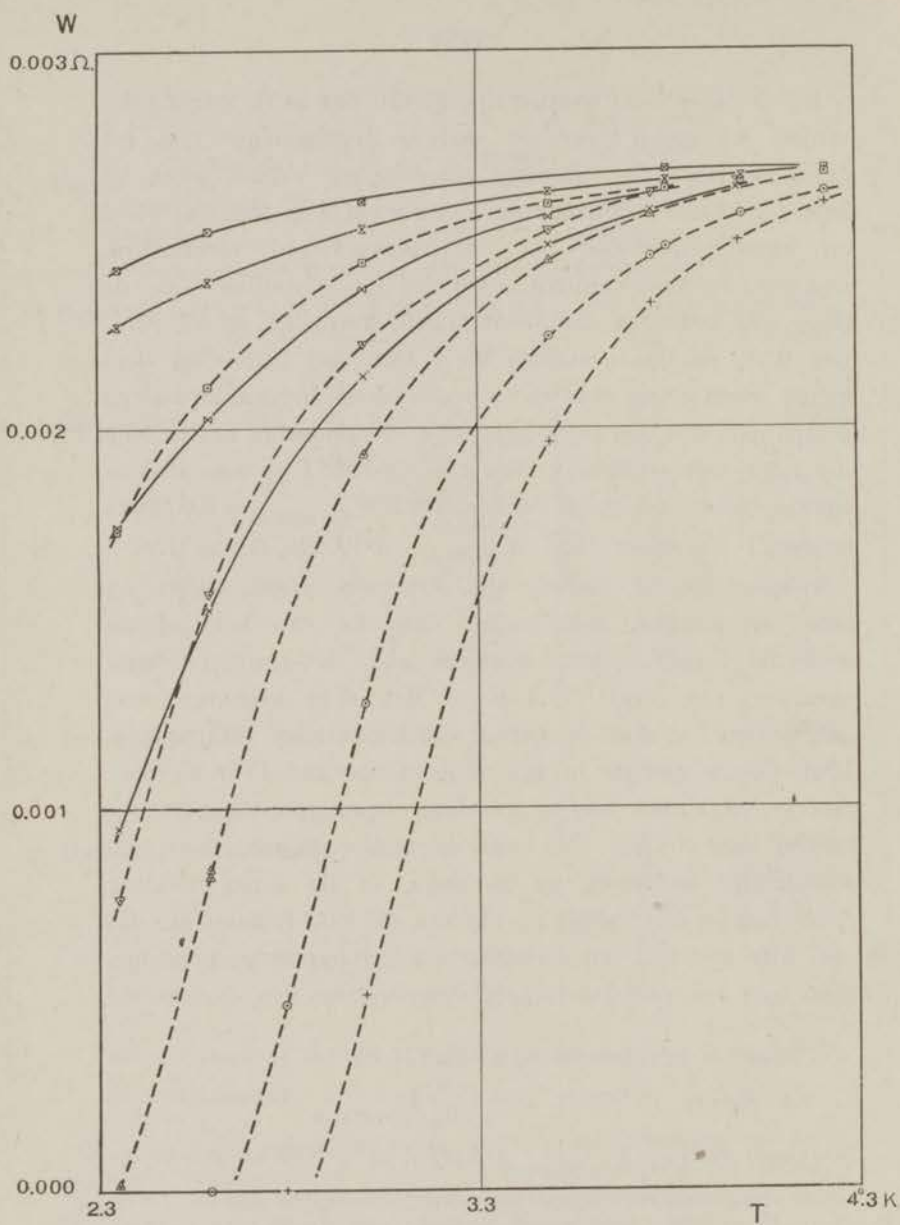


Fig. 9.

Cd-1923-I.

- | | | |
|-----------|--------------|---------------|
| + 2.0 mA. | ∇ 19.9 mA. | ⊗ 11.1 gauss. |
| ⊙ 4.0 mA. | □ 47.4 mA. | ⊠ 21.8 gauss. |
| △ 9.9 mA. | × 5.6 gauss. | ⊞ 36.1 gauss. |

weerstandsvmindering te doen heeft. In verband met die der magneetvelden valt de groote invloed der kleine stroomsterkten op; om dit na te gaan, passe men slechts de hypothese van SILSBEE¹⁾ toe.

Tegen de veronderstelling, dat men de waargenomen verschijnselen aan het werken met een cadmium-lood-legering moet toeschrijven, pleit eenigszins, dat een supra-geleider als het gebruikte thallium-metaal zeker ook lood bevat²⁾, en zich tot aan zijn sprongpunttemperatuur toch behoorlijk gedraagt.

7. Zink.

§ 20. Voor de vervaardiging van zink-weerstanden gebruikten wij Zn „Kahlbaum“³⁾. Door de slechte ervaringen, die wij met gespoten draden opdeden, daar sommige reeds bij het winden en alle andere bij het afkoelen in vloeibare lucht scheurden of braken⁴⁾, gebruikten wij weerstanden, vervaardigd uit getrokken draad. Zink, dat tot ongeveer 150 à 200° C. verwarmd en dan eenigen tijd gehamerd wordt, laat zich betrekkelijk goed tot draad trekken⁵⁾; zoo verkregen wij draden van 0.4 mm dikte, die bij het afkoelen heel bleven, en waaruit wij den in vloeibaar helium gemeten Zn-1921-I vervaardigden. Als soldeer, bij het aanbrengen der koperen toeleidingsdraden, gebruikten wij

1) Zie voor deze hypothese hoofdstuk II van dit proefschrift.

2) Zie noot 2 op p. 22 van dit proefschrift.

3) Volgens F. MYLIUS, Z. f. Anorg. Chem. 74 (1912), p. 407, bevatte zink „Kahlbaum“ van 1911 een spoor Cu, 0.0005 % Fe, 0.0033 % Pb en 0.005 % Cd.

4) H. SCHIMANK, Proefschrift (1913), p. 29, deed met zinkdraden een dergelijke ervaring op.

5) Vermoedelijk staat dit in verband met het door G. TAMMANN, Gött. Nachr. (1918), p. 7, gevonden feit, dat de rekristallisatiesnelheid en de korrelgrootte van zink tusschen 150 en 300° C. een minimum heeft.

tinsoldeer, als laschmiddel, bij het maken der vier uiteinden, *HCl*.

TABEL XVIII. Zn-1921-I.

Datum.	p_{helium} in mm Hg.	T .	$W_{\text{Zn-1921-I}}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{\text{Zn-1921-I}}$
16 Nov. 1921		273.09 K.	0.5762 Ω	
6 Jan. 1922		273.09	0.5763	
16 Juni 1922	772	4.22	0.0037 ₈	0.0065 ₆
	299	3.38	0.0037 ₈	0.0065 ₆
	2.8	1.40 ¹⁾	0.0037 ₈	0.0065 ₆
30 Juni 1922	774	4.22	0.0037 ₈	0.0064 ₇

Tot $T=1^{\circ}.40$ K. behield Zn-1921-I gewonen weerstand. Ook hier is, evenals bij Cd-1923-I werd opgemerkt, de restweerstand bij de tweede meting kleiner dan bij de eerste; voor een getrokken draad is hij klein.

8. Gallium.

§ 21. Prof. JAEGER te Groningen stond aan het Nat. Lab. te Leiden 2.1 gram van het door hem bereide zuivere gallium in bruikleen af. Door vulling van een glascapillair met een gedeelte van dezen voorraad vervaardigde de chef-glasblazer O. KESSELRING een weerstand, die op de kwikweerstand gelek. De weerstand bezweek bij de afkoeling tot heliumtemperaturen, waarschijnlijk omdat het metaal

¹⁾ Berekend met de formule van Prof. VERSCHAFFELT; zie noot 1, p. 40 van dit proefschrift.

meer inkrimpt dan het glas; hierop wijst althans de aard der breuk. Wij kozen voor verder onderzoek een andere methode, namelijk het opwekken van een inductie-stroom in een gallium-ring door verzwakking van het magneetveld, waarin de ring geplaatst is; in geval van supra-geleiding moet de stroom blijven loopen, hetgeen wij zouden kunnen nagaan aan het constant blijven van den hoek, over welken de opgehangen ring in het overgebleven magneetveld gedraaid is. Op deze methode komen wij terug in hoofdstuk III, § 49 van dit proefschrift; hier vermelden wij, *dat de gallium-ring bij $T = 1^{\circ}.6 K.$ ($p_{\text{helium}} = 6 \text{ mm Hg}$) in een veld van 17 gauss niet supra-geleidend was.*

9. Germanium.

§ 22. Dr. D. COSTER te Haarlem verschafte ons 0.63 gram germanium, afkomstig van DENNIS te Massachusetts. De vijf stukjes werden gesloten in een glazen buisje, lang 30, dik 7 mm. Zij werden op supra-geleiding onderzocht door het induceeren hierin van stroomen door verandering van het magneetveld, waarin het buisje aan een veer opgehangen was.

Bij het onderzoek dient de eigenschap, dat de banen der persisterende stroomen, die in geval van supra-geleiding ontstaan, in het metaal vast liggen; zie hiertoe de proeven, beschreven in hoofdstuk III, § 48 en 49 van dit proefschrift. Draait men dus na verzwakking van het veld den magneet, dan moet het glazen buisje meedraaien. Echter geschiedt dit eveneens, indien de stof para-magnetisch is, maar een versterking van dit veld — in zijn nieuwe richting — kan tusschen persisterende stroomen en para-magnetisme doen beslissen; immers, is de stof para-magnetisch, dan stelt het buisje zich meer in de richting der krachtlijnen, is zij supra-geleidend, dan draait het buisje terug òf door het

induceeren van tegengesteld gerichte stroomen, òf door het bereiken der magnetische drempelwaarde. Verzwakking van genoemd veld zal ook tot eene beslissing leiden. De supra-geleiding van looden korrels bij $T = 4^{\circ}.2$ K. was volgens deze methode gemakkelijk aan te toonen¹⁾.

Na meerdere proeven op 28 Maart 1924 bij $T = 4^{\circ}.2$ K. met negatief resultaat voor het supra-geleidend zijn, werd het buisje in een veld van 574 gauss gebracht; de richting van dit veld maakte met de lengte-as van het buisje een hoek. Daarna werd de temperatuur in den cryostaat verlaagd tot $T = 2^{\circ}.3_5$ K. ($p_{\text{helium}} = 45$ mm Hg). Na draaiing van den magneet keerde het buisje, bij de toen volgende verzwakking van het veld geleidelijk in den beginstand terug. De waarnemingen leeren dus, dat — tenzij de supra-geleiding bij iedere veldsterkte door het para-magnetisme was bedekt — *het gebruikte germanium bij $T = 2^{\circ}.3_5$ K. niet supra-geleidend was*, en dät het gebruikte metaal, daar germanium dia-magnetisch heet te zijn²⁾, een geringe para-magnetische verontreiniging schijnt te hebben.

10. Aluminium.

§ 23. Wij ontvingen dit metaal van het Bureau of Standards, Washington³⁾. Er werd draad van getrokken, dik 0.5 mm. Om een glazen buis van 1.1 cm diameter is een stuk van dezen draad enkelvoudig gewonden, met een spoed van ongeveer 0.3 cm. Het lasschen van het metaal,

1) Zie hiertoe hoofdstuk III, § 49 van dit proefschrift.

2) LANDOLT—BÖRNSTEIN, Phys. Chem. Tabellen II (1923), p. 1198; volgens deze tabellen hebben lood en germanium ongeveer dezelfde specifieke susceptibiliteit.

3) In Circ. Bur. of Stand. 66 (1917) wordt voor dit aluminium een zuiverheid van 99.66 % opgegeven; de voornaamste verontreinigingen zijn 0.18 % Fe en 0.15 % Si.

ter verkrijging der vier benoodigde uiteinden, geschiedde met Al-laschmiddel, dat ook bij het aansmelten der koperen toeleidingsdraden diende; een en ander leverde nogal moeite¹⁾. De aldus vervaardigde Al-1924-I is hierna niet verhit. De resultaten der meting volgen in tabel XIX.

TABEL XIX. Al-1924-I.

Datum.	<i>Phelium</i> in mm Hg.	<i>T.</i>	$W_{Al-1924-I}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Al-1924-I}$
6 Mei 1924		273.09 K.	0.0655 ₆ Ω	
4 April 1924	777	4.22	0.0044 ₄	0.067 ₇
	468.5-468.6	3.74	0.0044 ₈	0.067 ₆
	79.8- 80.0	2.62	0.0044 ₃	0.067 ₆
	3.5 \rightarrow 3.0	1.4 ₄ \rightarrow 1.4 ₁ ²⁾	0.0044 ₃	0.067 ₆
			0.0044 ₄	0.067 ₇

Van supra-geleiding is bij Al-1924-I tot $T = 1^{\circ}.4$ K. geen sprake. Tot meerdere zekerheid is de eerste meting bij $T = 1^{\circ}.4$ K. verricht met een stroom van 4.₀, de tweede met een van 2.₀ mA; binnen de grenzen der nauwkeurigheid had de draad beide malen denzelfden weerstand. De restweerstand schijnt groot, indien men deze vergelijkt met de kleinste, door HOLBORN gevonden waarde $\left(\frac{W_0}{W}\right)_{T=20^{\circ}K.} = 0.0427$,

1) P. W. BRIDGMAN, Proc. Am. Ac. of A. and Sc. 52 (1917), p. 597, vermeed deze moeilijkheid bij een dunneren draad, door de toevoerdraden met behulp van veeren op den meetdraad te klemmen.

2) Berekend met de formule van Prof. VERSCHAFFELT; zie noot 1, p. 40 van dit proefschrift.

doch zijn metaal was zuiverder en de door hem gebruikte draden zijn na het trekken vermoedelijk verhit ¹⁾).

11. Platina.

§ 24. De eerste in vloeibaar helium gemeten draad Pt_B had bij $T=1^{\circ}.5$ K. nog weerstand ²⁾). Toen de heliummetingen in 1919 werden hervat, schreef men het niet supra-geleidend worden van metalen, als goud en platina meestal toe aan het feit, dat zij met hunne verontreinigingen vaste oplossingen vormen. Voor den geest zweefden daarbij de onderzoekingen van MATTHIESSEN over het electrisch geleidingsvermogen der alliages bij gewone temperatuur ³⁾); dezelfde oorzaak, die bij de metalen, welke met hunne verontreiniging vaste oplossingen vormen, het electrisch geleidingsvermogen drukt, zou bij hen ook het tot stand komen der supra-geleiding verhinderen. In dit verband is het begrijpelijk, dat men platina nog eens supra-geleidend hoopte te zien en ieder nieuw monster van dit metaal — voorzoover zijn zuiverheid toegenomen heette — onderzocht. Zodoende werden in 1919 gemeten $Pt-23-1915$, een der weerstandsthermometers, op het Nat. Lab. gebruikt, en ver-

1) „Tätigkeitsbericht der P. T. R. im Jahre 1919“, Z. f. Instr.kunde 40 (1920), p. 144, L. HOLBORN, Ann. d. Phys. (4) 59 (1919), p. 145; de temperaturen in tabel 2 dezer laatste publicatie wijzen op eene nabehandeling door verhitting. Het zuiverste aluminium gebruikte P. W. BRIDGMAN, Proc. Am. Ac. of A. and Sc. 58 (1923), p. 153; door de geringe verontreiniging van 0.024 % kon hij aantoonen, dat ook bij aluminium — in tegenspraak met L. HOLBORN l.c. — de temperatuur-coëfficiënt van den weerstand met toenemende zuiverheid grooter wordt. Voor de metallografie van Al zie men R. J. ANDERSON, Journ. of the Franklin Inst. 187 (1919), p. 1, P. D. MERICA, R. G. WALTENBERG and J. R. FREEMAN JR., Sc. Pap. Bur. of Stand, Vol. 15, 337 (1919), p. 105.

2) Leiden Comm. N^o. 119B (1911).

3) Pogg. Ann. 110 (1860), p. 190.

vaardigd uit platina-draad, door HERAEUS als uiterst zuiver geleverd ¹⁾. Verder werden onderzocht twee platina-draden, *Pt-1914-C* en *-D*, die vóór den oorlog door SCHUIJZE van de P. T. R. naar Leiden heetten gezonden te zijn, maar over welke herkomst wij geen volkomen zekerheid konden krijgen. Daar behalve de resultaten in Leiden Comm. N^o. 119 *B*, van platina geen andere vermeld zijn, geven wij de onze in

1) Deze draad is een der thermometers uit de collectie, in 1915 vervaardigd, en waarvan er enkele beschreven zijn in Leiden Comm. N^o. 152a (1917). Daar het alleen om een onderzoek op supra-geleiding, niet om eene ijking te doen was, kan de keuze van *Pt-23-1915* bedenkelijk lijken door zijn grooten $\frac{W}{W_0}$ bij waterstoftemperaturen — zulks in vergelijking met dien der andere thermometers, in geciteerde Comm. vermeld. Deze thermometers waren echter in 1919, òf in bruikleen afgestaan, òf defect geraakt. Wij hebben de zekerheid, dat het verschil in restweerstand niet schuilt in een grootere onzuiverheid van den draad, maar vermoedelijk in een der laschplaatsen; immers toen *Pt-23-1915* in 1923 bezweek, is de draad iets ingekort, opnieuw gewonden en gelascht en de aldus verkregen *Pt-23'-1915* opnieuw gec calibreerd. De nieuwe weerstanden hiervan blijken volgens tabel XX veel kleiner dan de oude, vermeld in tabel XXII van dit proefschrift, zoodat een groote additieve weerstand verdwenen is.

TABEL XX. Pt-23'-1915.

Datum.	<i>T.</i>	$W_{Pt-23'-1915}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Pt-23'-1915}$
20 Oct. 1923 } 20 Nov. 1923 }	273.09 K.	60.806 Ω	
30 Oct. 1923	20.55	0.7724	0.01270
	18.81	0.6859	0.01128
	17.14	0.6219 ₅	0.01023
	14.18	0.5572	0.00916 ₄

TABEL XXI. Pt-1914-C en -D.

Datum.	Phelium in mm Hg.	T.	$W_{Pt-1914-C}$	$W_{Pt-1914-D}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Pt-1914-C}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Pt-1914-D}$	$\Delta\omega_{C D}$
24 Juni 1919		273.09 K.	2.7666 Ω	2.8877 Ω			
13 en 14 Juni 1919		20.47	0.0576 ₁	0.0544 ₅	0.0208 ₁	0.0189 ₆	0.0018 ₆
		18.04	0.0523 ₈	0.0490 ₉	0.0189 ₃	0.0170 ₀	19 ₈
		16.47	0.0497 ₄	0.0463 ₇	0.0179 ₈	0.0160 ₆	19 ₂
		14.16	0.0469 ₁	0.0434 ₀	0.0169 ₆	0.0150 ₃	19 ₃
27 Mei 1919	779	4.23	0.0431 ₂	0.0396 ₁	0.0155 ₉	0.0137 ₂	0.0018 ₇
	249	3.26		0.0395 ₃		0.0136 ₉	
	80	2.62	0.0430 ₄	0.0395 ₂	0.0155 ₆	0.0136 ₀	18 ₇
	2.3	1.3 ₆ ¹⁾		0.0395 ₅		0.0137 ₀	

1) Berekend met de formule van Prof. VERSCHAFFELT; zie noot 1, p. 40 van dit proefschrift.

tabel XXI en XXII, met vermelding der weerstanden in het gebied der vloeibare waterstof.

TABEL XXII. Pt-23-1915.

Datum.	T .	$W_{Pt-23-1915}$.	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Pt-23-1915}$.
31 Januari 1919	273.09 K.	63.099 Ω	
21 Juni 1918	20.49	1.1251	0.01784
	19.65	1.0782	0.01709
	18.03	0.9992	0.01584
	16.49	0.9382	0.01487
	14.10	0.8667	0.01374
15 April 1919	4.20	0.7725	0.01224
	2.62	0.7709	0.01222

Ook deze soorten platina worden dus niet supra-geleidend. Overigens is het onwaarschijnlijk, dat men het boven aangeduide kenmerk voor de scheiding der metalen in supra-geleiders en niet supra-geleiders kan handhaven.

§ 25. *Zuivere metalen, door andere waarnemers onderzocht.* Volledigheidshalve vermelden wij de overige metalen, wier elektrische weerstand in vloeibaar helium door anderen reeds is onderzocht. *Geen dezer metalen is supra-geleidend geworden.*

12. Goud.

Leiden Comm. N°. 119B (1911); Idem Suppl. N°. 29 (1911), fig. 12 en 13. Onderzocht tot $T = 2^{\circ}.2$ K.

13. Koper.

Leiden Comm. N^o. 142a (1914); onderzocht tot $T = 1^{\circ}.1 \text{ K}^1$). Het materiaal was electrolytisch handelskoper. Prof. ONNES was zoo vriendelijk, mij mede te deelen, dat nog onderzocht zijn natuurlijke koperkristallen, hem door W. WIEN te Würzburg toegezonden; de uitkomsten van dit onderzoek waren niet gepubliceerd, doch mogen hier in tabel XXIII een plaats vinden. Ter berekening van W_0 , noodig voor het opmaken van de laatste kolom, is als temperatuur-coëfficiënt 0.004 gebruikt.

TABEL XXIII. Cu-kristal-b-Wien.

$T.$	$W_{Cu-b.}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0} \right)_{Cu-b.}$
287.6 K	$0.613.10^{-3} \Omega$	
20.3	$1.57. 10^{-6}$	0.0027
14.4	$1.18. 10^{-6}$	0.0020
4.25	$0.62. 10^{-6}$	0.0014
1.5	$0.62. 10^{-6}$	0.0011

Uit dezelfde verzameling natuurlijke koperkristallen maten wij in vloeibare waterstof die, genaamd *Cu-kristal-Wien-I, -III* en *-IV*. Zij bestaan niet uit één kristal, maar ieder uit één stuk van aaneengelegen kristallen van verschillende grootte. Door autogeen lasschen zijn de koperen toeleidingsdraden aangebracht op zoodanige wijze, dat in den gemeten weerstand niet die van een der laschplaatsen schuilen kan. De resultaten, vermeld in tabel XXIV, moeten nog worden aangevuld met de mededeeling, dat volgens meting van 3 April 1922 voor *Cu-I* $W_0 = 73.5. 10^{-6} \Omega$ voor *Cu-III* $W_0 = 175.0. 10^{-6} \Omega$ en voor *Cu-IV* $W_0 = 307.0. 10^{-6} \Omega$ is.

1) Waarschijnlijk berust deze lage temperatuur op een misverstand.

TABEL XXIV. Cu-kristal-Wien-I, -III en -IV.

Datum.	T .	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Cu-I}$.	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Cu-III}$.	$\omega = \left(\frac{W}{W_0}\right)_{Cu-IV}$.	$\Delta\omega_{I-III}$.	$\Delta\omega_{IV-III}$.
10 Mei 1922	20.52 K.	0.0042	0.0015	0.0018	0.0027	0.0003
	18.03	0.0041	0.0013	0.0013	28	0
	16.46	0.0035	0.0011	0.0012	24	1
	14.32	0.0037	0.0010	0.0008	27	-2

De weerstand der natuurlijke koperkristallen is dus reeds bij waterstoftemperaturen zeer klein ¹⁾.

14. IJzer.

Leiden Comm. N°. 142a (1914). Onderzocht tot $T = 1^{\circ}.1$ K. ²⁾; het materiaal was Kolswa-ijzer.

15. Zilver.

Leiden Comm. N°. 142b (1914). Onderzocht tot $T = 2^{\circ}.8$ K.

16. Nikkel.

Leiden Comm. N°. 142b (1914). Onderzocht tot $T = 2^{\circ}.8$ K.

17. Bismuth.

Leiden Comm. N°. 142b (1914). Onderzocht tot $T = 4^{\circ}.25$ K.; het materiaal was electrolytisch bismuth-poeder. Opnieuw onderzocht door den assistent G. J. Sizoo tot $T = 1^{\circ}.5$ K. als dun, door verstuiving verkregen laagje, werd het metaal ook toen niet supra-geleidend. Hierover is nog geen mededeeling verschenen.

18. Kalium.

Rapport au IVⁱème Conseil-SOLVAY par H. KAMERLINGH ONNES (1924). Onderzocht tot $T = 1^{\circ}.5$ K.

1) De $\frac{W}{W_0}$ van het door SCHOTT gemeten koperkristal bedraagt 0.0012 bij $T = 20^{\circ}.4$ K. en is hiermede in goede overeenstemming; R. SCHOTT, Verh. D. Phys. Ges. 18 (1916), p. 27.

2) Zie noot 1, p. 58 van dit proefschrift.

19. Natrium.

Zie bij Kalium.

20. Lithium.

Onderzocht door den assistent G. J. Sizoo tot $T = 1^{\circ}.7$ K.; het metaal werd niet supra-geleidend. Hierover verscheen nog geen mededeeling.

B. Legeeringen.

§ 26. Het onderzoek van het electrisch gedrag der legeringen in vloeibaar helium bleef tot een enkel geval beperkt. Vóór den oorlog onderzocht Prof. ONNES dat van kwik, verontreinigd door goud of cadmium¹⁾; de sprongpunttemperatuur bleek dezelfde als die van zuiver kwik. Ook is nog geamalgameerd tinblad onderzocht²⁾.

In de nieuwe theorie der electrische geleiding in metalen, waarbij de electronen niet meer geheel vrij zijn, maar bij den electrischen stroom van atoom op atoom overgaan, heeft men zich dezen overgang bij de supra-geleiding zonder energie-verbruik gedacht, meestal door een volkomen aan elkaar sluiten der electronenbanen van opvolgende atomen. Volgens deze theorie zou de supra-geleiding bij legeringen, waarvan een der metalen supra-geleider is, alleen dan tot stand kunnen komen, als de atomen van dit metaal een aaneengesloten reeks vormen, die niet verbroken is door tusschengeschoven atomen van een tweeden component. Zelfs al is deze aaneengesloten reeks aanwezig, dan zou de afstand der atomen hierin toch anders dan bij het zuivere metaal, en de aansluiting der electronenbanen niet aanwezig

1) Leiden Comm. N°. 133b (1913) § 9; zie voor het kwik-goud-diagram LANDOLT—BÖRNSTEIN, Phys. Chem. Tabellen I (1923), p. 541, voor het kwik-cadmium-diagram Ibidem I (1923), p. 552.

2) Leiden Comm. N°. 133d (1913), § 13 γ ; zie voor het kwik-tin-diagram LANDOLT—BÖRNSTEIN, Phys. Chem. Tabellen I (1923), p. 569.

kunnen zijn ¹⁾). Het onderzoek van zekere alliages is dus van veel belang.

Toetsing van oude opvattingen was echter allereerst gewenscht. Volgens deze zou ieder zuiver metaal supra-geleidend kunnen worden en meende men het niet supra-geleidend worden van goud te mogen verklaren door het vormen eener vaste oplossing van dit metaal met zijne verontreinigingen. Daarbij werd uitgegaan van de onderzoekingen van MATTHIESSEN over het geleidingsvermogen van dergelijke legeringen bij gewone temperatuur. Volgens deze wordt het geleidingsvermogen van goud door een spoor verontreiniging sterk verminderd; de restweerstand — die bij $T=0^{\circ}$ K. —, neemt in overeenstemming hiermede, bij lage temperatuur met aangroeiende verontreiniging toe. Men meende, dat de gewone geleiding niet zoo hoog kon worden opgevoerd, dat deze bij heliumtemperaturen supra-geleiding werd, doch dat dit bij toenemende zuiverheid te bereiken was. Grondt men dit vermoeden op de grootte van den restweerstand, dan zou de supra-geleiding van goud bij dalende temperatuur inderdaad tot stand kunnen komen, zij het zeer geleidelijk; het is echter de vraag of bij voortgezette afkoeling niet zoozeer het nul worden van den weerstand, doch de snelheid, waarmede dit plaats vindt ²⁾, benevens andere verschijnselen, als verstoring door stroomen en magneetvelden geen juistere kenmerken voor de supra-geleiding zijn. In het algemeen wijzen de proeven uit, dat de grootte van den rest-

1) Zie H. KAMERLINGH ONNES, Leiden Comm. Suppl. N^o. 44a (1921), p. 46, A. EINSTEIN, Gedenkboek 1922, p. 429, W. ROSENHAIN, Thirteenth May Lecture to the Institute of Metals (1923), p. 1 en 16.

2) Bezieet men de geëxtrapoleerde weerstandskromme van een zuiveren gouddraad in Leiden Comm. N^o. 119 (1911), Plate III, dan moet de weerstand bij voortgang langs deze kromme steeds van hoogere orde van grootte blijven dan die, voor supra-geleiders gevonden.

weerstand het ontstaan der supra-geleiding niet noemenswaard beïnvloedt¹⁾; bij vaste oplossingen zou deze afhankelijkheid dan echter moeten bestaan.

Ongeacht deze bezwaren tegen de vaste oplossingen-hypothese kan men aan haar blijven vasthouden en moeten dus proeven over haar beslissen. Voor het onderzoek kozen wij het eutecticum-lood-tin. Volgens het diagram²⁾ zijn beide metalen zeer beperkt in elkaar oplosbaar; het eutecticum is een conglomeraat van twee soorten vaste oplossingen. Het materiaal was lood en tin „Kahlbaum“; na de vervaardiging van het eutecticum werd hieruit draad gespoten. Prof. Ir. P. D. C. KLEY te Delft, dien wij hier voor zijne meermalen verleende theoretische en practische hulp hartelijk dank zeggen, onderzocht voor ons een stuk der vervaardigde legering en den daaruit gespoten draad. Volgens zijne mededeeling hadden wij het eutectisch mengsel goed getroffen. De hieruit gespoten draad vertoonde echter in den microscoop een geheel ander beeld. Er had zich bij het spuiten primair tin afgescheiden, waartusschen de loodrijke bestanddeelen lagen als dunne korte draadjes; hier is het mooie eutecticum verdwenen.

Toen wij de metingen verrichtten, was dit ons niet bekend. Voor ons doel — het nagaan, of supra-geleiding in vaste oplossingen mogelijk is — hindert het echter niet; het loodrijke deel, dat in onze proeven de grootste rol speelt, wordt door Prof. KLEY een conglomeraat van twee vaste oplossingen geacht. Op de uitkomsten der metingen in vloeibare waterstof is de veranderde bouw wel van invloed. Wij hebben uit dezen draad vervaardigd den weerstand *Pb-Sn-1921-I*, $W_0 = 5.3379 \Omega$

1) Zie hiertoe het gedrag van indium, in § 16 van dit proefschrift.

2) Wij houden ons aan het diagram van LANDOLT—BÖRNSTEIN, Phys. Chem. Tabellen I (1923), p. 581.

en uit draad, gespoten uit een ander eutectisch mengsel, de weerstanden *Pb-Sn-1922-I*, $W_0 = 7.5628 \Omega$ en *Pb-Sn-1922-II*, $W_0 = 9.4698 \Omega$. Alle draden zijn op porceleinen buisje gewikkeld.

§ 27. *Metingen in vloeibaar helium.* De weerstanden *Pb-Sn-1921-I* en *Pb-Sn-1922-II* zijn gemeten in vloeibaar helium en bleken beide bij $T = 4^\circ.3 \text{ K.}$ supra-geleidend; hier was dus een conglomeraat van twee vaste oplossingen reeds supra-geleidend bij een temperatuur, waarbij de eene component tin dit nog niet is. Vervolgens werd voor *Pb-Sn-1921-I* bij deze temperatuur en een meetstroom van 4_0 mA de magnetische drempelwaarde bepaald; de resultaten volgen in tabel XXV.

TABEL XXV. *Pb-Sn-1921-I.*

$$p_{\text{helium}} = 815 \text{ mm Hg.} \quad T = 4^\circ.27 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4_0 \text{ mA.}$$

Klos *W.*

$$1) A_{\text{max.}} = 0.783, \quad A_{\text{min.}} = 0.765, \quad \text{verhouding} = 0.977.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.776, \quad H_{\text{gem.}} = 35.5_7 i \quad (i \text{ in amp.}).$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Pb-Sn-1921-I.}}$
19 Mei 1922	640 gauss	0.046 ₄ Ω
	587	0.046
	534	0.043
	462	0.025
	445	0.018
	427	0.010
	409	0.003 ₇
	391	0.002 ₀

1) Voor de beteekenis van *A* zie men de formule op p. 69 van dit proefschrift.

Lettende op de grootte der velden, lijkt het gedrag der gebruikte draden iets van dat van zuivere looddraden af te wijken ¹⁾).

§ 28. *Metingen in vloeibare waterstof.* Ten einde het gedrag der legering beter te kunnen nagaan, volgen in tabel XXVI de metingen in vloeibare waterstof.

TABEL XXVI. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Pb-Sn-1921-I.} \\ \text{Pb-Sn-1922-I.} \\ \text{Pb-Sn-1922-II.} \end{array} \right.$

Datum.	$T.$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0} \right)_{\text{Pb-Sn-1921-I.}}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0} \right)_{\text{Pb-Sn-1922-I.}}$	$\omega = \left(\frac{W}{W_0} \right)_{\text{Pb-Sn-1922-II.}}$
10 Mei 1922	20.52 K.			0.02662 ₅
15 Febr. 1922	20.48 ₅	0.02451	0.02809	
10 Mei 1922	18.02 ₅			0.02222
15 Febr. 1922	17.99	0.02005	0.02356	
10 Mei 1922	16.46			0.01982
15 Febr. 1922	16.45	0.01762	0.02108	
10 Mei 1922	14.32			0.01703
15 Febr. 1922	14.24	0.01471	0.01811	

De weerstandskrommen der legering loopen in fig. 10 bijna evenwijdig aan die van tin; echter zijn de eerste door een additieven weerstand ten opzichte van de laatste naar boven verschoven. In verband met de afscheiding van het primaire tin in de gespoten draden is zulk een gedrag hier te verwachten. Bij $T = 4^{\circ}.27$ K. vinden wij voor de grootste waarde van $\frac{W}{W_0}$, door een magneetveld in *Pb-Sn-1921-I*

¹⁾ Voor het gedrag van loodweerstand in een magneetveld zie men de tabellen XXXVIII tot en met XLI van dit proefschrift.

teruggebracht, 0.0087; in fig. 10 is dit punt geïsoleerd geteekend. Neemt men aan, dat de weerstandskromme beneden de sprongpunttemperatuur, bij verstoring der supra-geleiding,

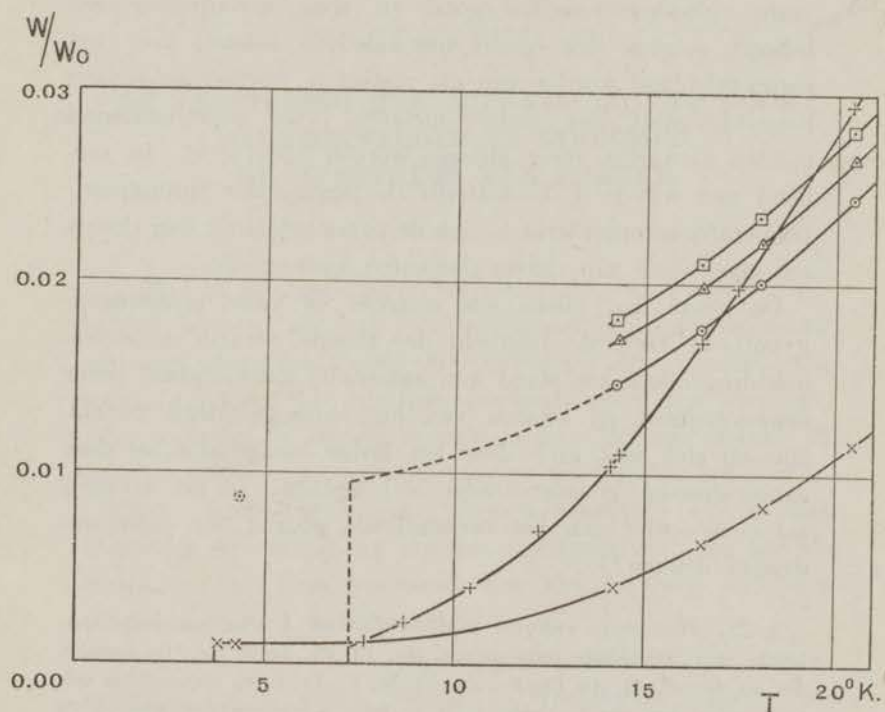


Fig. 10.

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| + <i>Pb-1919-B.</i> | □ <i>Pb-Sn-1922-I.</i> |
| × <i>Sn-1922-A.</i> | △ <i>Pb-Sn-1922-II.</i> |
| ○ <i>Pb-Sn-1921-I.</i> | |

een voortzetting is van die boven genoemde temperatuur, dan is hare gedaante voor *Pb-Sn-1921-I* ongeveer die der gestreepte lijn. De grootte der magnetische drempelwaarde maakt het waarschijnlijk, dat de sprongpunttemperatuur van den draad niet veel lager dan die van het zuivere lood ligt;

in fig. 10 namen wij beide gelijk¹⁾). Als resultaat der metingen is gevonden, dat een conglomeraat van vaste oplossingen supra-geleidend kan worden. De vorming eener vaste oplossing tusschen goud en zijne verontreinigingen behoeft volgens deze proef niet als een beletsel voor het supra-geleidend worden van dit metaal te worden aangezien; hetzelfde geldt voor andere metalen. Voor eene beslissing moeten natuurlijk meer alliages worden onderzocht. In verband met wat in § 17 omtrent de ligging der sprongpunttemperaturen opgemerkt is, zou de supra-geleiding dan slechts een eigenschap van enkele elementen kunnen zijn.

De proef zegt alleen iets omtrent de vaste oplossingen-hypothese. Over de juistheid der theorie, waarin de supra-geleiding alleen tot stand kan komen bij aanwezigheid eener aaneengesloten rij atomen van het supra-geleidend metaal, laat zij zich niet uit; door het hooge loodgehalte zal deze aaneensluiting in onze draden wel bestaan. In dit verband zal men eerder aan het verschillende gedrag der cadmiumdraden denken²⁾).

§ 29. *Beknopte inhoud van hoofdstuk I.* De tot heden bekende supra-geleidende metalen zijn *Hg, Tl, Pb, In* en *Sn*. De metalen *Zn, Ga, Ge, Al, Pt, Au, Cu, Fe, Ag, Ni, Bi, K, Na, Li* en vermoedelijk ook *Cd* werden niet supra-geleidend bij de laagste temperatuur, waarbij zij onderzocht zijn. Onderzoek bij nog lagere temperatuur is gewenscht, om uit te maken, of de supra-geleiding een eigenschap van slechts enkele elementen is. Een *Pb-Sn*-legeering, conglomeraat van twee vaste oplossingen, werd supra-geleidend, zoodat de vorming eener vaste oplossing door een metaal met zijne verontreiniging — ten minste volgens deze proef — de supra-geleiding van dit metaal niet behoeft te storen.

1) In verband met deze, iets kleinere magnetische drempelwaarde, wijzen wij op *Cd-1923-I*; zie hiertoe § 19 van dit proefschrift. De storende magneetvelden zijn voor dezen weerstand, waarin men lood als oorzaak der supra-geleiding vermoedt, veel kleiner dan die voor zuiver lood.

2) Zie p. 42 van dit proefschrift.

HOOFDSTUK II.

DE VERSTORING DER SUPRA-GELEIDING DOOR MAGNEETVELDEN EN STROOMEN. DE HYPOTHESE VAN SILSBEE.

§ 30. In de inleiding is vermeld, dat bij iedere temperatuur beneden die van het sprongpunt de supra-geleiding van een weerstand door het opvoeren der stroomsterkte wordt verstoord¹⁾; ditzelfde geschiedt door een magneetveld, waarvan de sterkte bepaald is door de temperatuur en door de veldrichting ten opzichte van de draadwikkelingen²⁾.

Prof. ONNES sprak van „drempelwaarden” en verstaat hieronder de sterkte van stroom of magneetveld, die aan de uiteinden van den weerstand het kleinste, nog meetbare potentiaalverschil terugbrengt³⁾.

Toen te Leiden door den oorlog het onderzoek der supra-geleiding rustte, wekte SILSBEE te Washington hiervoor belangstelling door zijne hypothese, dat „*de drempelwaarde van den stroom gelijk is aan die waarde, waarbij het magneetveld, door den stroom opgewekt, gelijk is aan de magnetische drempelwaarde*”⁴⁾. Tegen een zijner collega's, in 1922 te

1) Leiden Comm. N^o. 133a (1913).

2) Leiden Comm. N^o. 139f (1914).

3) Deze bepaling ware aan te vullen door het stellen van bepaalde voorwaarden aan de afmetingen van den weerstand en aan de grootte van bedoeld potentiaalverschil.

4) F. B. SILSBEE, Journ. Wash. Ac. of Sc. 6 (1916), p. 597; Sc. Pap. Bur. of Stand., Vol. 14, N^o. 307 (1917).

Leiden werkzaam, noemde SILSBEE deze hypothese „een wilde gedachte”. Niettemin was zij zeer belangwekkend, daar hare juistheid de stroomdrempelwaarde zou doen verdwijnen. Hoewel er nog vragen overblijven, spreken de proeven voor haar.

Slechts aan enkele gegevens kon SILSBEE zijne hypothese toetsen. Voor tin scheen de betrekking tusschen de drempelwaarden van stroom en magneetveld te bestaan, voor lood niet, terwijl voor kwik geen magnetische metingen bestonden. Overtuigender dan de vergelijking der beide drempelwaarden waren de berekeningen, dat bij de kritische stroomsterkte het eigen magneetveld aan het oppervlak van kwikdraden van verschillenden diameter een veel constanter grootheid was dan de stroomdichtheid in dit geval, vooropgesteld, dat men metingen, behoorende bij dezelfde temperatuur, met elkaar vergeleek; hetzelfde vond SILSBEE voor tin- en looddraden¹⁾.

Na de hervatting der heliummetingen zijn vele gegevens verzameld, niet uitsluitend om SILSBEE's hypothese te toetsen, doch mede hiervoor geschikt. In de eerste plaats is veel tijd besteed om voor lood, tin en indium de afhankelijkheid der magnetische drempelwaarde van de temperatuur vast te leggen, dan is in een enkel geval voor thallium-, lood- en tindraden de kritische stroomsterkte bepaald en tenslotte is getracht, weerstanden te meten, waarvan het eigen magneetveld op zeer bijzondere wijze is verzwakt.

A. De magnetische drempelwaarde.

§ 31. *De magneetvelden; de invloed van het aardmagneetveld.* Voor het tot stand brengen der magneetvelden ge-

1) De benamingen „eigen magneetveld”, „kritische stroomsterkte” en „kritisch magneetveld” spreken voor zich zelf.

bruikten wij vier verschillende klossen. De veldsterkte op de as, voor een punt met coördinaat z , is berekend met de formule:

$$H_z = 4\pi ni \cdot \frac{1}{2} \left\{ \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} - \frac{z-l}{\sqrt{R^2 + (z-l)^2}} \right\} = 4\pi ni \cdot A_z,$$

waarin o en l de coördinaten der uiteinden van den klos zijn.

De twee eerste klossen zijn van zoodanige afmeting, dat zij juist om het luchtglas van den heliumeryostaat passen.

1. K l o s B; lengte 25.5 cm, diameter 13.7 cm, totaal aantal windingen 140, $A_z = \frac{1}{2}l = 0.881$.
2. K l o s W; lengte 18.8₅ cm, diameter 13.6 — 16.4 cm, totaal aantal windingen 8×86 , in 8 lagen, $A_z = \frac{1}{2}l = 0.783$.

De twee laatste klosjes hebben kleinere afmetingen, daar het de bedoeling was, ze *in* den heliumeryostaat te brengen; zij zijn vervaardigd door geëmailleerd koperdraad op een penhouder te wikkelen, de windingen voor het bijeenblijven te paraffineeren en ze — na het wegtrekken van den penhouder — met zijden draad in de lengterichting, tot meerdere soliditeit, samen te binden.

3. K l o s H; lengte 63 mm, diameter 7 mm, totaal aantal windingen der eerste laag 100, der tweede 94, $A_z = \frac{1}{2}l = 0.993$; de middens der beide lagen vallen samen.
4. K l o s ~~H~~; lengte 75 mm, gemiddelde diameter der twee lagen 9 mm, totaal aantal windingen 260, $A_z = \frac{1}{2}l = 0.994$.

De sterkte der stroomen, die door de klossen ging~~t~~ is ~~in~~ gemeten met behulp van Weston Ampère-meters.

De velden der klossen zijn niet homogeen. Door de lengte der buisjes, waarop de weerstandsdraden gewikkeld zijn, zoo kort mogelijk te kiezen en de buisjes in het middengedeelte van den klos te plaatsen, komt men aan dit bezwaar tegemoet. De inhomogeniteit is hinderlijk, omdat iedere winding zich bevindt in een magneetveld van andere sterkte en een bepaalde stroom door den klos in iedere winding van den draad dus een ander gedeelte van den weerstand terugbrengt. Wij hebben de gemiddelde veldsterkte ingevoerd, dat is de veldsterkte, die het gemiddelde is van de veldsterkten over het deel der as, dat door den weerstand is ingenomen; met behulp der formule van p. 69 kan men deze berekenen.

Overigens moeten de velden een correctie ondergaan voor de aanwezigheid van het aardmagneetveld. Voor de metingen bij temperaturen, slechts even onder die van het sprongpunt gelegen, is deze correctie procentsgewijze groot. Wij hebben den invloed van het aardmagneetveld op de supra-geleiding van *Sn-1922-M* vastgesteld bij $T = 3^{\circ}.72$ K. ($p_{\text{helium}} = 455.8$ mm Hg). Gebruikt zijn de klossen *B* en *H*; door omkeering der stroomrichting konden hunne velden gelijk of tegengesteld aan dat der aarde gericht worden. Bij beide veldrichtingen zochten wij het verband tusschen weerstand en magneetveld — met verwaarloozing van dat der aarde — en verkregen twee krommen, die door een verschuiving langs de as der veldsterkten tot bedekking te brengen zijn. In deze verschuiving over ongeveer 0.8 gauss vindt men den invloed der verticale componente van het aardmagneetveld dus terug, zelfs quantitatief. Het bovenstaande wordt toegelicht door fig. 11.

Tenslotte het transversaal en longitudinaal effect; hieronder verstaat Prof. ONNES den invloed van het magneetveld op geleiders, waarvan de windingen loodrecht op of

evenwijdig aan de veldrichting zijn. Het is moeilijk, beide effecten geheel te scheiden, daar iedere weerstandsdraad

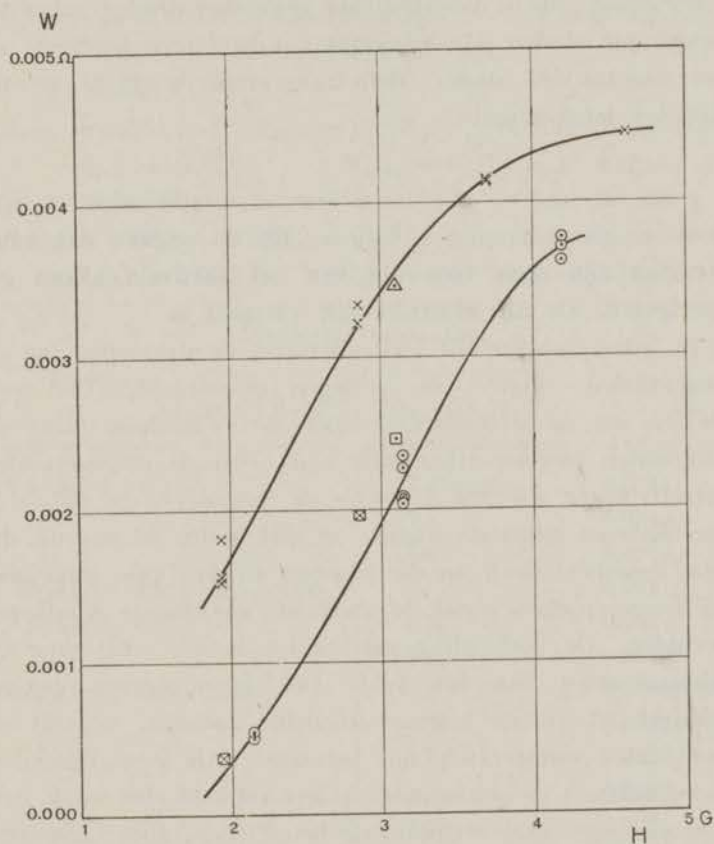


Fig. 11.

- | | | |
|---|---|---------|
| × | } | Klos B. |
| ⊠ | | |
| ○ | } | Klos H. |
| ◻ | | |
| △ | | |

steeds meerdere windingen heeft. Bij de transversaal gewonden draden is zodoende de schroefvormige wikkeling een foutenbron, van de longitudinaal gewonden draden zullen de omgebogen einden der langgerekte wikkelingen loodrecht op het magneetveld staan. Het transversale effect is grooter dan het longitudinale.

§ 32. *Metingen.* Wij laten hieronder tabellarisch de uitkomsten onzer metingen volgen. **Bij de opgave der veldsterkten zijn deze voor die van het aardveld alleen gecorrigeerd, als dit uitdrukkelijk vermeld is.**

In iedere tabel vindt men allereerst de dampspanning en temperatuur, waarbij de metingen geschiedden. Dan vermelden wij de stroomsterkte door den weerstand, daar de uitkomsten hiervan afhankelijk zijn. Wat de magneetvelden betreft, geven wij van A — zie de formule op p. 69 — de maximale en minimale waarde op, dat is dus de waarde, die deze grootheid heeft op die plaatsen in den klos, waar zich bij symmetrischen stand de middelste en uiterste windingen bevinden. De verhouding van beiden is een maat voor de inhomogeniteit van het veld. Ook is opgegeven de gemiddelde A en de hiermee afgeleide formule, waaruit de gemiddelde veldsterkten zijn berekend. Als geen bijzonderheden omtrent de weerstanden elders vermeld zijn, vindt men deze met een enkel woord in de betreffende tabel opgegeven.

Wij mateñ het terugkeeren van den weerstand alleen voor tin, lood en indium; voor kwik en thallium zijn zoodanige metingen nog niet verricht. Vanwege de gelijkvormigheid der krommen hebben wij ons bij de grafische afbeelding tot een enkel geval beperkt.

1. Tin.

TABEL XXVII. Sn-1922-M, transversaal¹⁾.

$$p_{\text{helium}} = 455.5 - 455.8 \text{ mm Hg.} \quad T = 3^{\circ}.72 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos B.

$$A_{\text{max.}} = 0.881, \quad A_{\text{min.}} = 0.878, \quad \text{verhouding} = 0.996.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.880. \quad H_{\text{gem.}} = 6.07 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Klos H.

$$A_{\text{max.}} = 0.993, \quad A_{\text{min.}} = 0.984, \quad \text{verhouding} = 0.991.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.992. \quad H_{\text{gem.}} = 40.3_2 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.		$W_{\text{Sn-1922-M.}}$
	Met klos B.	Met klos H.	
6 April 1922		17.6 gauss	0.0044 ₈ Ω
		17.4	0.0044 ₇
		13.2	0.0044 ₀
28 April 1922	9.7 ₇ gauss ²⁾		0.0044 ₅
6 April 1922		8.5 ₅	0.0044 ₁
28 April 1922		6.0 ₅	0.0043 ₇
	5.0 ₃		0.0044 ₅
	4.1 ₂		0.0041 ₅
		3.7 ₇	0.0037 ₀
	3.2 ₇		0.0032 ₃
		2.7 ₂	0.0021 ₆
	2.4 ₃		0.0019 ₆
2.3 ₆		0.0016 ₃	
	1.7 ₂	0.0005 ₂	
1.5 ₂		0.0003 ₇	

1) Bijzonderheden omtrent dezen weerstand in § 2 van dit proefschrift.

2) Bij de metingen op 28 April 1922 is de verticale component van het aardmagneetveld (0.4₂ gauss) in rekening gebracht; zijn invloed was hier groot. Daar de veldsterkten op 6 April 1922 groter dan de kritische waren, kon toen het veld der aarde buiten beschouwing blijven. Op een drietal na, is ieder getal uit tabel XXVII door herhaalde meting bepaald.

TABEL XXVIII. Sn-1922-A, transversaal.

$$T = 3^{\circ}.42 \text{ K.}$$

De weerstand is vervaardigd uit tinband, verkregen door gespoten tindraad te walsen. Materiaal is tin „Kahlbaum’’. De band is semi-bifilair¹⁾ gewonden op glas en geïsoleerd door paraffine. Dikte = 0.0₅ mm.

Klos *H*.

$$A_{max.} = 0.993, \quad A_{min.} = 0.977, \quad \text{verhouding} = 0.984.$$

$$A_{gem.} = 0.989. \quad H_{gem.} = 40.2_2 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Gemiddelde veldsterkte.	8 December 1922.	19 Januari 1923.	19 Januari 1923.
	Phelium = 310.4—310.7 mm Hg. Meetstroom = 4. ₀ mA. <i>W</i> _{Sn-1922-A.}	Phelium = 310.6—312.0 mm Hg. Meetstroom = 4. ₀ mA. <i>W</i> _{Sn-1922-A.}	Phelium = 310.0—311.0 mm Hg. Meetstroom = 2. ₀ mA. <i>W</i> _{Sn-1922-A.}
60.3 gauss		0.0056 ₂ Ω	0.0056 ₁ Ω
56.3		0.0056 ₀	0.0055 ₉
52.3		0.0055 ₈	0.0055 ₉
48.3	0.0055 ₉ Ω	0.0055 ₄	0.0055 ₉
46.2 ₅	0.004 ₆	0.005 ₃	0.0055 ₅
45.2 ₅			0.0055 ₁
44.2	0.001 ₃	0.002 ₉	0.002 ₉
43.2		0.000 ₅	
42.2	0.000 ₃	0.0000 ₀	0.000 ₂
40.2	0.0000 ₀	0.0000 ₀	

¹⁾ Hieronder verstaan wij, dat de windingen inductief gewonden zijn, doch de lagen om en om in tegengestelde richting.

TABEL XXIX. Sn-1922-I, transversaal.

$$p_{\text{helium}} = 309.8 - 310.1 \text{ mm Hg.}$$

$$T = 3^{\circ}.41_5 \text{ K.}$$

De weerstand is vervaardigd uit draad, gespoten uit tin „Kahlbaum“. Deze draad is bifilair gewonden op glas en geïsoleerd door paraffine en zijde. Diameter = 0.1₅ mm.

Klos W^1).

$$A_{\text{max}} = 0.770, \quad A_{\text{min.}} = 0.678, \quad \text{verhouding} = 0.880.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.732. \quad H_{\text{gem.}} = 33.5_7 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum. 7 Febr. 1923.	Meetstroom = 2.0 mA.	Meetstroom = 4.0 mA.	Meetstroom = 6.5 mA.
Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1922-I}}$	$W_{\text{Sn-1922-I}}$	$W_{\text{Sn-1922-I}}$
53.7 gauss.	0.0018 ₀ Ω		0.0017 ₅ Ω
50.4	0.0017 ₆	0.0017 ₅ Ω	0.0017 ₅
47.0	0.0017 ₅	0.0017 ₂	0.0016 ₉
43.6	0.001 ₅	0.001 ₀	0.000 ₉
40.3		0.000 ₃	0.000 ₂
36.9		0.0001 ₇	0.0000 ₉
35.3	0.0001 ₁		
33.6	0.0001 ₀	0.0000 ₄	0.0000 ₆
30.2			0.0000 ₂

1) Bij deze metingen viel door een misverstand het midden der lengte-as van den weerstand niet samen met dat van den klos.

TABEL XXX. Sn-1922-V, longitudinaal.

$$p_{\text{helium}} = 309.8 - 310.1 \text{ mm Hg.} \quad T = 3^{\circ}.41_5 \text{ K.}$$

De weerstand is vervaardigd uit draad, gespoten uit tin „Kahlbaum". Deze draad is bifilair, langgerekt gewonden op mica; de isolatie bestaat uit paraffine en zijde. Diameter = 0.2_4 mm.

Klos $W^1)$.

$$A_{\text{max.}} = 0.783, \quad A_{\text{min.}} = 0.678, \quad \text{verhouding} = 0.866.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.749. \quad H_{\text{gem.}} = 34.3_5 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum	Meetstroom = 2.0 mA.	Meetstroom = 4.0 mA.	Meetstroom = 6.5 mA.
7 Febr. 1923.			
Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1922-V.}}$	$W_{\text{Sn-1922-V.}}$	$W_{\text{Sn-1922-V.}}$
51.5 gauss.	$0.0018_8 \Omega$	$0.0018_7 \Omega$	$0.0018_9 \Omega$
49.8	0.001_6	0.001_7	
48.1	0.0009_5	0.001_1	0.001_5
44.7		0.0000_8	0.0001_5
41.2	0.0000_2	0.0000_3	0.0000_7

1) Bij deze metingen viel door een misverstand het midden der lengte-as van den weerstand niet samen met dat van den klos.

TABEL XXXI. Sn-1922-A, transversaal.

8 Dec. 1922. $p_{\text{helium}} = 119.0$ mm Hg. $T = 2^{\circ}.81_8$ K. ¹⁾.19 Jan. 1923. $p_{\text{helium}} = 118.2 - 118.8$ mm Hg. $T = 2^{\circ}.81_4 - 2^{\circ}.81_7$ K.Meetstroom = 4.0 mA.Klos H . $A_{\text{max.}} = 0.993$, $A_{\text{min.}} = 0.977$, verhouding = 0.984. $A_{\text{gem.}} = 0.989$. $H_{\text{gem.}} = 40.2_2$ i (i in amp.).

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1922-A}}$
19 Januari 1923	160.9 gauss	0.0056 ₅ Ω
8 December 1922	160.9	0.0056 ₁
19 Januari 1923	148.8	0.0056 ₄
8 December 1922	140.8	0.0055 ₈
19 Januari 1923	136.7 ₅	0.0056 ₀
	132.7	0.0055 ₉
	128.7	0.0055 ₀
8 December 1922	124.7	0.0054 ₅
19 Januari 1923	124.7	0.0053 ₆
8 December 1922	120.7	0.002 ₂
19 Januari 1923	120.7	0.001 ₄
8 December 1922	116.6	0.000 ₆
19 Januari 1923	116.6	0.000 ₃
8 December 1922	112.6	0.0000 ₇
19 Januari 1923	112.6	0.0000 ₀

1) De duizendste graden dienen in deze en in de volgende tabellen alleen, om de constantheid van het heliumbad te demonstreeren; meer betekenis hebben zij niet.

TABEL XXXII. Sn-1922-A, transversaal.

$$p_{\text{helium}} = 40.4 - 40.5 \text{ mm Hg.} \quad T = 2^{\circ}.31_3 - 2^{\circ}.31_4 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos *H*.

$$A_{\text{max.}} = 0.993, \quad A_{\text{min.}} = 0.977, \quad \text{verhouding} = 0.984.$$

$$A_{\text{gen.}} = 0.989. \quad H_{\text{gen.}} = 40.2_2 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1922-A}}$
30 Januari 1923	241.3 gauss	0.0056 ₈ Ω
	201.1	0.0056 ₂
8 December 1922	201.1	0.0055 ₈
30 Januari 1923	186.0	0.0055 ₈
	181.0	0.005 ₅
8 December 1922	181.0	0.005 ₄
	177.0	0.004 ₇
	173.0	0.001 ₁
	168.9	0.000 ₃
30 Januari 1923	164.9	0.000 ₃
8 December 1922	164.9	0.0000 ₈
	162.9	0.0000 ₀

TABEL XXXIII. Sn-1922-I, transversaal.

 $p_{\text{helium}} = 40.7$ mm Hg. $T = 2^{\circ}.31_6$ K.Meetstroom = 4_0 mA.Klos W^1). $A_{\text{max.}} = 0.783$, $A_{\text{min.}} = 0.758$, verhouding = 0.968. $A_{\text{gem.}} = 0.776$, $H_{\text{gem.}} = 35.5_9$ i (i in amp.).

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1922-I}}$.
7 Februari 1923	202.9 gauss	0.0017 ₄ Ω
	199.3	0.0017 ₅
	195.8	0.0017 ₅
	192.2	0.0017 ₅
	181.5	0.0016 ₉
	178.0	0.001 ₄
	174.4	0.0001 ₇
	170.8	0.0001 ₁
	167.3	0.0000 ₈

1) Het midden der lengte-as van den weerstand viel niet samen met dat van den klos.

TABEL XXXIV. Sn-1922-V, longitudinaal.

 $p_{\text{bellum}} = 40.7$ mm Hg. $T = 2^{\circ}.31_6$ K.Meetstroom = 4.0 mA.

Klos W.

 $A_{\text{max.}} = 0.783$, $A_{\text{min.}} = 0.678$, verhouding = 0.866. $A_{\text{gem.}} = 0.756$. $H_{\text{gem.}} = 34.6_7 i$ (i in amp.).

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1922-V}}$.
7 Februari 1923	201.1 gauss	0.0019 ₁ Ω
	197.6	0.0019 ₀
	194.2	0.001 ₇
	190.7	0.001 ₅
	187.2	0.001 ₂
	183.8	0.000 ₈
	180.3	0.0000 ₈
	176.8	0.0000 ₅
	173.4	0.0000 ₈
	156.0	0.00000

TABEL XXXV. Sn-1923-I, longitudinaal.

De weerstand is vervaardigd uit draad, gespoten uit tin „Kahlbaum“. De draad is bifilair, langgerekt gewonden op een glazen buisje van zoodanige dikte, dat het nog in klos *H* kan geplaatst worden. Diameter = 0.1₄ mm.

$$p_{\text{helium}} = 39.9 - 40.0_5 \text{ mm Hg.} \quad T = 2^\circ.30_s - 2^\circ.30_0 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos *H*.

$$A_{\text{max.}} = 0.993, \quad A_{\text{min.}} = 0.975, \quad \text{verhouding} = 0.982.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.989, \quad H_{\text{gem.}} = 40.2_0 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1923-I}}$
23 October 1923	221.1 gauss	0.0010 ₅ Ω
	211.0	0.0010 ₆
	193.0	0.0010 ₅
	186.9	0.0010 ₈
	184.9	0.0010 ₆
	180.9	0.0001 ₁
	176.9	0.0000 ₈
	160.8	0.00000

TABEL XXXVI. Sn-1922-A, transversaal.

$$p_{\text{helium}} = 11.7_5 \text{ mm Hg.} \quad T = 1^\circ.85 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos H.

$$A_{\text{max.}} = 0.993, \quad A_{\text{min.}} = 0.977, \quad \text{verhouding} = 0.984.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.989, \quad H_{\text{gem.}} = 40.2_2 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1922-A}}$
30 Januari 1923	241.3 gauss	0.0056 ₂ Ω
	225.2	0.0055 ₆
	221.2	0.0055 ₆
	217.2	0.005 ₃
	213.2	0.002 ₉
	209.1	0.000 ₉
	205.1	0.0000 ₉
	203.1	0.0000 ₀

TABEL XXXVII. Sn-1922-I, transversaal.

$$p_{\text{helium}} = 4.6 \text{ mm Hg.} \quad T = 1^\circ.52 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos W¹⁾.

$$A_{\text{max.}} = 0.783, \quad A_{\text{min.}} = 0.758, \quad \text{verhouding} = 0.968.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.776. \quad H_{\text{gem.}} = 35.5_9 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Sn-1922-I}}$
7 Februari 1923	249.1 gauss	0.0017 ₁ Ω
	245.6	0.0016 ₃
	242.0	0.001 ₃
	238.5	0.001 ₀
	231.3	0.000 ₃
	224.2	0.0001 ₄
	213.5	0.0000 ₈

1) Het midden der lengte-as van den weerstand viel niet samen met dat van den klos.

§ 33.

2. Lood.

Door de hoge sprongpunttemperatuur van het lood moet men bij het helium-kookpunt reeds velden van eenige honderden gauss aanwenden, om de supra-geleiding van dit metaal te verstoren. Vanwege de ligging hunner sprongpunttemperaturen vullen metingen met lood- en tin-weerstanden elkaar in dit geval aan. Tot onze spijt konden wij met loodweerstand en geen metingen beneden $T = 3^{\circ}.77$ K. doen; het Nat. Lab. bezat geen klos, waarmee de vereischte, sterke velden te verkrijgen waren, terwijl voor de vervaardiging er van geen geld beschikbaar was.

TABEL XXXVIII. Pb-1923-I, transversaal.

De weerstand is vervaardigd uit draad, gespoten uit lood „Bureau of Standards''; de draad is bifilair op glas gewonden, met paraffine en zijde tot isolatie. Diameter = 0.1₈ mm.

$$p_{\text{helium}} = 834 \text{ mm Hg.} \quad T = 4^{\circ}.30 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos W.

$$A_{\text{max}} = 0.783, \quad A_{\text{min.}} = 0.766, \quad \text{verhouding} = 0.978.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.778. \quad H_{\text{gem.}} = 35.6_8 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Pb-1923-I}}$
12 Maart 1924	606.6 gauss	0.0034 ₈ Ω
	570.9	0.0033 ₄
	553.0	0.003 ₂
	535.2	0.002 ₃
	517.4	0.001 ₃
	499.5	0.0001 ₂
	492.4	0.0000 ₄
	463.8	0.0000 ₀
	428.2	0.00000

TABEL XXXIX. Pb-1923-I, transversaal.

$$p_{\text{helium}} = 750 - 753 \text{ mm Hg.} \quad T = 4^{\circ}.18 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos W.

$$A_{\text{max.}} = 0.783, \quad A_{\text{min.}} = 0.766, \quad \text{verhouding} = 0.978.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.778. \quad H_{\text{gem.}} = 35.6_8 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Pb-1923-I}}$
23 October 1923	570.9 gauss	0.003 ₁ Ω
	553.0	0.002 ₅
	535.2	0.001 ₄

TABEL XL. Pb-1923-III, longitudinaal.

Deze weerstand is vervaardigd uit draad, gespoten uit lood „Bureau of Standards”; de draad is bifilair op mica gewonden, met paraffine en zijde tot isolatie. Diameter = 0.1₃ mm.

$$p_{\text{helium}} = 750 - 753 \text{ mm Hg.} \quad T = 4^{\circ}.18 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos W.

$$A_{\text{max.}} = 0.783, \quad A_{\text{min.}} = 0.774, \quad \text{verhouding} = 0.988.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.781. \quad H_{\text{gem.}} = 35.8_2 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Pb-1923-III}}$
23 October 1923	626.9 gauss	0.002 ₅ Ω
	608.9	0.002 ₀
	573.1	0.000 ₂
	537.3	0.0000

TABEL XLI. Pb-1923-I, transversaal.

$$p_{\text{helium}} = 460.7 - 460.8 \text{ mm Hg.} \quad T = 3^{\circ}.73 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos W.

$$A_{\text{max.}} = 0.783, \quad A_{\text{min.}} = 0.766, \quad \text{verhouding} = 0.978.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.778. \quad H_{\text{gem.}} = 35.6_8 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{Pb-1923-I}}$
12 Maart 1924	595.9 gauss	0.0005 ₆ Ω
	574.4	0.0000 ₄
	570.9	0.0000 ₂
	535.2	0.00000

§ 34.

3. Indium.

TABEL XLII. In-1922-A, transversaal¹⁾.

$$p_{\text{helium}} = 119.3 - 119.5 \text{ mm Hg.} \quad T = 2^{\circ}.81_9 - 2^{\circ}.82_0 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos K.

$$A_{\text{max.}} = 0.993, \quad A_{\text{min.}} = 0.975, \quad \text{verhouding} = 0.982.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.988. \quad H_{\text{gem.}} = 43.0_6 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{In-1922-A}}$
30 Januari 1923	90.4 gauss	0.1568 ₁ Ω
	86.1	0.1562 ₈
	81.8	0.13 ₆
	77.5	0.10 ₇
	73.2	0.07 ₅
	68.9	0.05 ₉
	64.6	0.01 ₉
	60.3	0.009 ₆
	56.0	0.003 ₆
	51.7	0.001 ₃
	47.4	0.0002 ₄

1) Bijzonderheden omtrent dezen weerstand in § 15 van dit proefschrift.

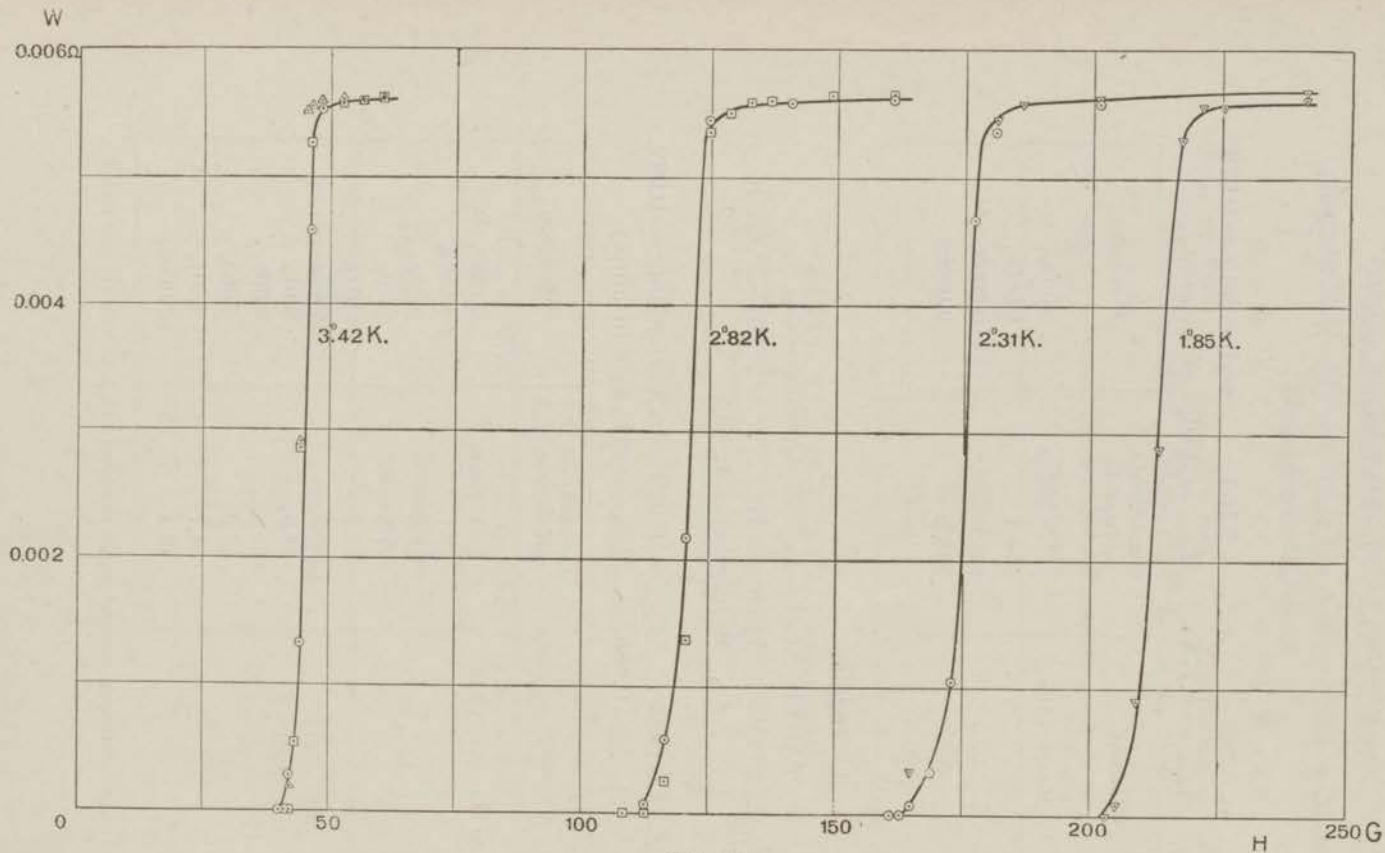


Fig. 12.

Sn-1922-A.

- | | |
|---|--|
| \odot $i = 4.0$ mA. 8 December 1922. | \square $i = 4.0$ mA. } 19 Januari 1923. |
| ∇ $i = 4.0$ mA. 30 Januari 1923. | \triangle $i = 2.0$ mA. } |

TABEL XLIII. In-1922-A, transversaal.

$$p_{\text{hellum}} = 40.3 - 40.5 \text{ mm Hg.} \quad T = 2^{\circ}.31_2 - 2^{\circ}.31_4 \text{ K.}$$

$$\text{Meetstroom} = 4.0 \text{ mA.}$$

Klos K.

$$A_{\text{max.}} = 0.993, \quad A_{\text{min.}} = 0.975, \quad \text{verhouding} = 0.982.$$

$$A_{\text{gem.}} = 0.988. \quad H_{\text{gem.}} = 43.0_6 i \text{ (} i \text{ in amp.)}$$

Datum.	Gemiddelde veldsterkte.	$W_{\text{In-1922-A}}$
30 Januari 1923	146.4 gauss	0.1562 ₇ Ω
	142.1	0.1562 ₈
	137.8	0.13 ₂
	129.2	0.05 ₀
	116.3	0.04 ₀

Voor de grafische voorstelling beperken wij onze keuze tot die der tabellen, behorende bij Sn-1922-A. Zie hiertoe fig. 12.

§ 35. *Opmerkingen.* Wegens de inhomogeniteit van het veld geven de metingen slechts bij benadering het juiste verband tusschen magneetveld en weerstand. Men kan uit ze opmaken, dat het gevonden verschil tusschen begin- en eindveld niet geheel zijn oorzaak in deze inhomogeniteit vindt. In het beginveld denken wij ons den eersten meetbaren weerstand, in het eindveld den geheelen restweerstand¹⁾ terug; hierbij moet men rekenen met „gemiddelde veldsterkten” of eenvoudiger, met de hierbij behorende stroomsterkten in den klos. Laat ons veronderstellen, dat een homogeen veld de restweerstand bij één veldsterkte H_k , de

1) Hiermede is niet de restweerstand bij $T = 0^{\circ}$ K., doch de weerstand, even boven de sprongpunttemperatuur, bedoeld.

kritische, terugbrengt, dan zal bij onze metingen — met het inhomogene veld — deze sterkte voor de middelste weerstandswikkelingen bij den begin-, voor de uiterste bij den eindstroom door den klos, bereikt zijn; bij iedere temperatuur zal dan de mate der inhomogeniteit, zooals deze uit de verhouding der A 's volgt, de grootte van dit stroomverschil bepalen. Dan moet immers gelden

$$\begin{aligned} H_k &= A_{max.} 4\pi ni_{begin.} \\ &= A_{min.} 4\pi ni_{einde.} \end{aligned}$$

Het door ons *gemeten* verschil is grooter dan het *berekende*¹⁾; dit wijst bij een meetstroom van 4.0 mA nog op een niet-sprongsgewijze terugkeeren van den weerstand. De grootte van den meetstroom is echter van invloed, doch het zou voorbarig zijn, uit de opgedane ervaring bij het longitudinaal effect²⁾ — door extrapolatie naar een meetstroom nul — reeds tot sprongsgewijze terugkeeren te besluiten.

1) Men kan dit vinden uit fig. 12 voor $Sn-1922-A$. Hier is uitgezet $H_{gem.} = A_{gem.} 4\pi ni$. Om het verschil te constateeren, moet men echter hebben voor de beginwaarde:

$$H_{begin} = \frac{A_{max.}}{A_{min.}} \cdot 4\pi ni_{begin} = 1.004 H_{gem. (begin)},$$

voor de eindwaarde:

$$H_{einde} = \frac{A_{min.}}{A_{gem.}} \cdot 4\pi ni_{einde} = 0.988 H_{gem. (einde)}.$$

Voor alle vier krommen is H_{einde} grooter dan H_{begin} .

2) De snelle, haast sprongsgewijze stijging van den weerstand der longitudinale tindrads bij toenemende veldsterkte is verrassend. Zet men de waarnemingen van $Sn-1923-I$ (tabel XXXV) grafisch uit, dan valt dit terstond op. De velden, waarin $Sn-1922-V$ gemeten is (tabellen XXX en XXXIV), zijn zeer inhomogeen; verbetert men de eind- en beginwaarden met behulp der A 's uit genoemde tabellen, dan worden de krommen van $Sn-1922-V$ even steil als die van $Sn-1923-I$. De noodzakelijkheid van het werken met een homogeen veld komt hier sterk uit.

Uit tabel XXVIII¹⁾ en duidelijker nog uit tabel XXIX blijkt bij het transversaal effect de invloed der sterkte van den meetstroom. Gewerkt is met 2.₀, 4.₀ en 6.₅ mA; met *sterkeren* meetstroom kwam de supra-geleiding nog in *sterker* veld tot stand. Het tegengestelde gebeurde volgens tabel XXX bij het longitudinale effect. Door te werken met 2.₀, 4.₀ en 6.₅ mA, bleek de supra-geleiding bij *sterkeren* meetstroom slechts in *zwakker* veld te ontstaan. Qualitatief is een en ander te verklaren door samenwerking van eigen en uitwendig magneetveld, quantitatief voorloopig niet.

Beschouwt men bij iedere temperatuur het verschil tusschen begin- en eindveld, verbeterd voor de inhomogeniteit, dan schijnt dit — en misschien op eenvoudige wijze — toe te nemen met dalende temperatuur, dus met grootere kritische veldsterkte. In de grafische voorstelling van *Sn-1922-A*, fig. 12, beteekent dit, dat de krommen bij dalende temperatuur meer gaan hellen ten opzichte van de horizontale as. De vraag blijft echter bestaan, of dit verschil bij stroomen, zwakker dan 4.₀ mA, ook optreedt. Door de groote gevoeligheid voor temperatuurschommelingen²⁾ is de juiste gedaante der krommen uiterst moeilijk te bepalen; het gemis aan eene theoretische formule, die op de krommen overeenkomstige punten aanwijst, doet zich hier gevoelen.

Dit gemis treft eveneens, als men de waarde van het eindveld wil vaststellen, daar ook boven de kritische waarden de weerstand met aangroeiend magneetveld toeneemt³⁾. Dit geldt algemeen, ook voor niet-supra-geleiders⁴⁾. Hier raakt men meteen de vraag naar den aard van den overgang van supra-geleiding in gewone geleiding.

1) Zie ook fig. 12.

2) Zie hiertoe ook §§ 2 en 16 van dit proefschrift.

3) De vorm der krommen in Leiden Comm. N^o. 139f (1914), fig. 2, is waarschijnlijk foutief.

4) Leiden Comm. N^o. 142b (1914).

De grootte van het beginveld is eveneens moeilijk te vinden. Practisch geldt het bezwaar der wisselende thermo-krachten, theoretisch dat der definitie van het beginveld. Kiest men hiervoor het veld, waarin de eerste, meetbare weerstand terug is, dan heeft dit voor verschillende weerstanden slechts dezelfde beteekenis, als de weerstand met het afnemen der veldsterkte snel en dus niet asymptotisch tot nul nadert. Wel wijzen het verloop der meeste krommen en de vergelijking van stroomdrempelwaarden met magnetische ¹⁾ op een snel afnemen, maar zekerheid heeft men niet.

§ 36. *De afhankelijkheid der magnetische drempelwaarde van de temperatuur.* Uit iedere tabel kan men het magneetveld afleiden, waarin de weerstand voor de helft terug is. *Wij deden het met behulp van grafieken en trachtten met de correctie voor de inhomogeniteit van het veld rekening te houden; de tabellen leeren, dat deze soms aanzienlijk is.* Door het kiezen dezer middelwaarde, $H_{(\frac{1}{2})}$ ontgingen wij de moeilijkheden der vaststelling van de begin- en eindvelden en hadden bovendien op de verschillende krommen overeenkomstige punten ²⁾.

Fig. 13 geeft een afbeelding der resultaten voor het transversale effect bij lood, tin en indium. De waarde van T voor $H=0$ is die van het sprongpunt. De drie lijnen vertoonen groote overeenkomst. Zij keeren hare holle zijde naar de T -as en hare kromming neemt toe met het afnemen van T , althans tot $T=1^{\circ}.5$ K.; de indiumlijn van $T=3^{\circ}.41-2^{\circ}.31$ K. bedekt bij verschuiving de tinlijn van $T=3^{\circ}.41-2^{\circ}.31$ K. Wij laten de resultaten volgen in de tabellen XLIV tot en met XLVIII.

1) Zie p. 102 van dit proefschrift.

2) Deze waarde is eene andere dan de door Prof. ONNES gedefinieerde „magnetische drempelwaarde“.

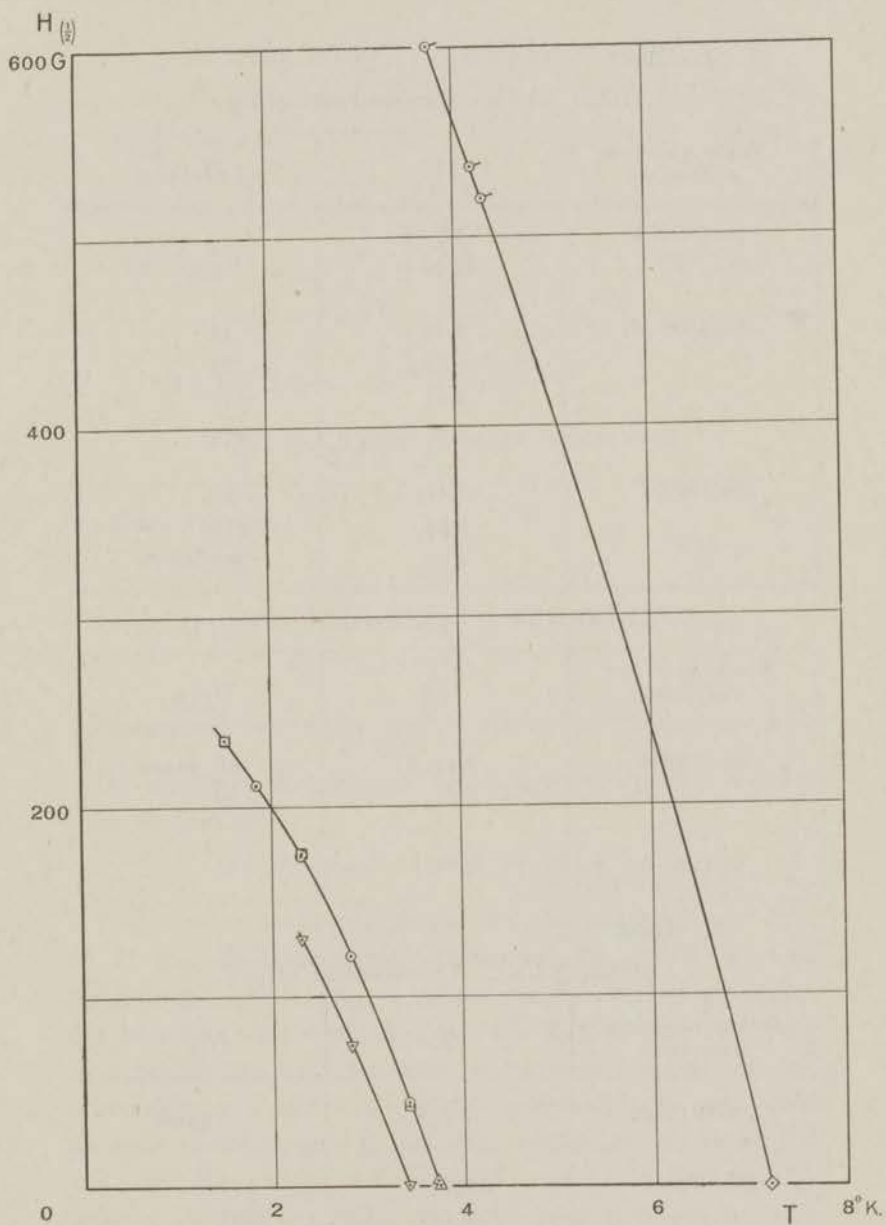


Fig. 13.

\triangle Sn-1922-M.

\square Sn-1922-I.

\odot Pb-1923-I.

\circ Sn-1922-A.

\diamond Pb-1919-I.

∇ In-1923-A.

$\frac{9}{2}$

1. Tin.

TABEL XLIV. Transversaal effect.

Naam van den weerstand.	T .	$H_{(\frac{1}{2})}$.
<i>Sn-1922-M.</i>	3.74 K.	0 gauss
	3.72	2.5
<i>Sn-1922-A.</i>	3.42	44
	2.82	121
	2.31	174
	1.85	212
<i>Sn-1922-I.</i>	3.41 ₅	42
	2.31 ₅	175
	1.52	235

TABEL XLV. Longitudinaal effect.

Naam van den weerstand.	T .	$H_{(\frac{1}{2})}$.
<i>Sn-1922-V.</i>	3.41 ₅ K.	46 gauss
	2.31 ₅	180
<i>Sn-1923-I.</i>	2.31	182

2. Lood.

TABEL XLVI. Transversaal effect.

Naam van den weerstand.	T .	$H_{(\frac{1}{2})}$.
<i>Pb-1919-I.</i>	7.2 K.	0 gauss
<i>Pb-1923-I.</i>	4.30	520
	4.18	537
	3.73	601

TABEL XLVII. Longitudinaal effect.

Naam van den weerstand.	T .	$H_{(\frac{1}{2})}$.
<i>Pb-1923-III.</i>	4.18 K.	595 gauss

3. Indium.

TABEL XLVIII. Transversaal effect.

Naam van den weerstand.	T .	$H_{(\frac{1}{2})}$.
<i>In-1922-A.</i>	3.41 K.	0 gauss
	2.82	74
	2.31	130

De resultaten uit tabel XLIV kunnen voorgesteld worden door de formule:

$$H_{(\frac{1}{2})} = -20.3 T^2 + 281.4.$$

Voor verder onderzoek zetten wij de waarden van $H_{(\frac{1}{2})}$ en T^2 voor de transversale effecten van tin, indium en lood grafisch uit. Voor tin en indium vonden wij rechte lijnen, die ongeveer evenwijdig loopen; zie hiertoe fig. 14. Voor lood hebben wij weinig punten, maar deze kunnen met dat, overeenkomende met de sprongpunttemperatuur, zeer goed op eene rechte liggen, zij het dan, dat de helling dezer lijn van die der andere waarschijnlijk verschilt. Men zal begrijpen, dat het ons spijt, voor lood geen metingen beneden

$T = 3^{\circ}.8$ K. te hebben kunnen doen¹⁾; deze en die boven het kookpunt van helium zijn van groot belang.

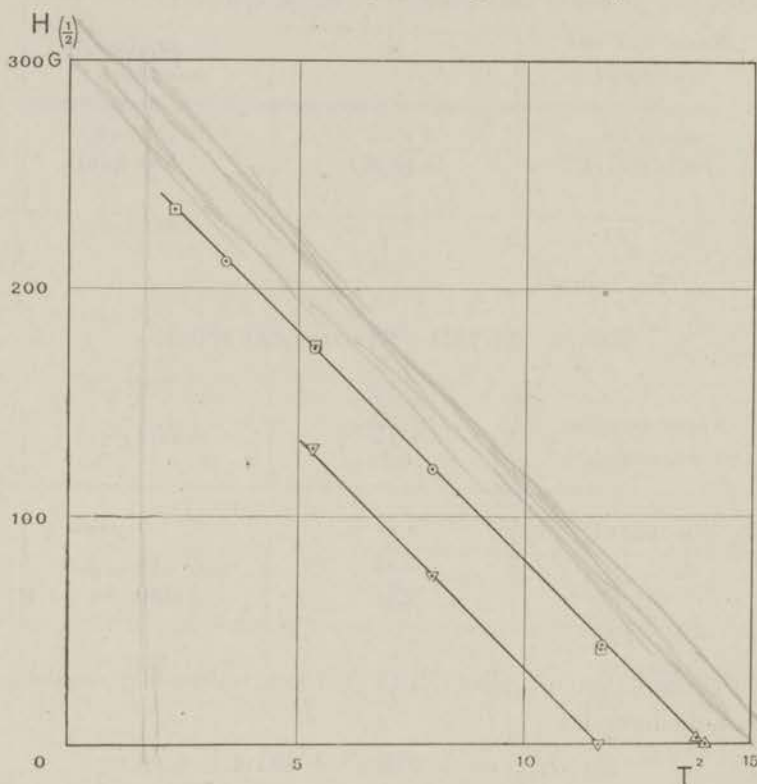


Fig. 14.

- | | |
|------------------------|----------------------|
| \triangle Sn-1922-M. | \square Sn-1922-I. |
| \odot Sn-1922-A. | ∇ In-1922-A. |

Uit de waarnemingen over het *transversale* effect van tin en indium mogen wij afleiden:

$$H(\frac{1}{2}) = -hT^2 + H_0(\frac{1}{2}),$$

1) Voor lood zijn er wel oude metingen bij $T = 2^{\circ}$ K., Leiden Comm. N°. 139f (1914), maar de velden zijn tot stand gebracht met den WEISS-magneet, en bij deze veldsterkten is het werken met draadklossen verre te verkiezen boven dat met den magneet.

waarin $H_{0(\frac{1}{2})}$ de waarde van $H(\frac{1}{2})$ bij $T = 0^\circ$ K. is. Zij T_s de sprongpunttemperatuur, dan is

$$H_{0(\frac{1}{2})} = h T_s^2,$$

waardoor de formule overgaat in

$$H(\frac{1}{2}) = h(T_s^2 - T^2).$$

Deze eenvoudige formule geeft — althans volgens onze tot heden verrichte metingen — het verband tusschen het magnetische drempelveld en de temperatuur¹⁾. Een aanvullend onderzoek moet volgen. Eene vergelijking van de grootheid h der verschillende supra-geleiders kan niet uitblijven. Daarnaast wachten nog betrekkingen voor de begin- en eindvelden, tenminste, als deze niet samenvallen bij gebruik van eenen oneindig kleinen meetstroom.

§ 37. De hypothese van SILSBEE kan alleen door magnetische metingen niet bevestigd worden. Wel leert het gevonden eenvoudige verband, dat het magneetveld voor de verstoring der supra-geleiding van primair belang zal zijn.

B. De stroomdrempelwaarde.

§ 38. Bij enkele temperaturen is getracht, de stroomdrempelwaarde te bepalen²⁾. De methode bestond in het meten van het potentiaalverschil aan de uiteinden van den weerstand met behulp van een compensatietoestel van DIESELHORST, vervaardigd door O. WOLFF, terwijl de stroomsterkte door den weerstand werd opgevoerd; het

1) In het Rapport au IV^{ième} Conseil-SOLVAY par H. KAMERLINGH ONNES (1924) werd het verband als eerste benadering lineair genoemd.

Uit theoretische beschouwingen leidt P. W. BRIDGMAN af

$$T^s - T_s^s = CH^2.$$

Journ. of the Wash. Ac. of Sc. Vol. 11 (1921), p. 455. Naar aanleiding van de overwegingen van BRIDGMAN zijn door Prof. KEESOM Röntgenogrammen gemaakt van lood, geplaatst in vloeibare waterstof en helium; deze wijzen grootendeels op een niet veranderde structuur van dit metaal. Rapport au IV^{ième} Conseil-SOLVAY par H. KAMERLINGH ONNES (1924).

2) Voor de definitie zie men § 30 van dit proefschrift.

eenige verschil met de andere weerstandsmetingen is het gebruik van veel sterker stroomen. Door hare gewaagheid zijn de metingen zeer tijdrovend; bij een terugkeer van den weerstand grijpt al spoedig een zoo groote warmte-ontwikkeling plaats, dat eerst de draad en bij diens doorsmelten de galvanometer gevaar loopt. Temperatuurschommelingen van het bad zijn zelfs bij de nauwgezetste regeling onvermijdelijk; de geringe stijging bij een schommeling is soms reeds voldoende, alles te bederven. De warmte, die bij terugkeer van den weerstand in den draad wordt ontwikkeld, vertoont zich in een plotseling opkoken van het heliumbad¹⁾.

§ 39. *Metingen.*

1. **Tin.**

Een stuk tindraad is aan beide einden gelascht aan looddraden en hieraan weer de vier looden uiteinden; de draden zijn gespoten uit materiaal „Kahlbaum”²⁾. Ondanks de beide lood-tin-lassen was een potentiaalverschil aan de uiteinden van den weerstand beneden de sprongpunttemperatuur van tin bij gebruik van 4.₀ mA niet merkbaar. Aan het einde van een meetdag konden wij nog een stroomdrempelwaarde bepalen.

TABEL II. Sn-1922-F.

$$2r = 0.2_0 \text{ mm.} \quad \pi r^2 = 0.03_1 \text{ mm}^2.$$

Datum.	p_{helium} in mm Hg	T .	Drempelstroom in amp.	Dichtheid van den drempelstroom in amp. per mm ² .	$\frac{2i}{r}$ in $\frac{\text{amp.}}{\text{mm}}$.
2 Maart 1922	257	3.28 K.	2.2	70	44
	71	2.56	> 2.25	> 72	> 45

1) Zie ook Leiden Comm. N°. 133a (1913), p. 17.

2) Met dezen weerstand is de fotografische registratie verricht, die in fig. 1 afgebeeld is.

2. Lood.

TABEL L. Pb-1919-I en -B¹⁾.

<i>Pb-1919-I.</i>	<i>Pb-1919-B.</i>
$2r = 0.1_4$ mm.	$2r = 0.4_7$ mm.
$\pi r^2 = 0.01_4$ mm ² .	$\pi r^2 = 0.1_7$ mm ² .

Datum. 28 Mei 1920.	Drempelstroom in amp.		Dichtheid van den drempelstroom in amp. per mm ² .		$\frac{2i}{r}$ in $\frac{\text{amp.}}{\text{mm.}}$		
<i>T.</i>	<i>Pb-1919-I.</i>	<i>Pb-1919-B.</i>	<i>Pb-1919-I.</i>	<i>Pb-1919-B.</i>	<i>Pb-1919-I.</i>	<i>Pb-1919-B.</i>	
7.0 ₇ K.	0.10 ₇	0.4 ₆	6.7	2.7	3.0	4.0	
7.0 ₄	1.1 ₃	> 3.0 ₀	70.5	> 17.3	31.8	> 26.1	
7.1 ₀	0.3 ₃ —0.7 ₉	0.3 ₃ —1.0 ₁	20.1—49.4	1.9—5.9	9.3—20.3	2.9—8.8	
Gemiddeld.	7 ^o .0 ₇ K.	0.6 ₀	> 1.3 ₃	37.3	> 8.0	16.9	> 12.0

Deze uitkomsten zijn verre van schitterend. De temperatuurschommelingen in den heliumdamperystaat zijn voor dit soort metingen misschien nog te groot; de warmte-ontwikkeling in de toeleidingsdraden kan daarbij van invloed zijn.

Met een anderen, bifilair gewonden weerstand *Pb-1919-A*, vervaardigd uit gespoten draad van lood „Kahlbaum”, bepaalden wij bij $T = 4^{\circ}.21$ K. en toenemende stroomsterkte het terugkeerend potentiaalverschil aan de uiteinden. De resultaten vindt men in tabel LI; zie ook fig. 15.

¹⁾ Met deze weerstanden was de sprongpunttemperatuur van lood bepaald.

TABEL LI. Pb-1919-A.

 $p_{\text{helium}} = 764 \text{ mm Hg.}$ $T = 4^{\circ}.21 \text{ K.}$

Stroomsterkte.	Potentiaal- verschil.
20 A	0. 10^{-7} V
25	3
26	7.5
27	14.5
28	29
29	51

Toen de meting met 29 A bijna beëindigd was, verdween de schaalverdeling uit het gezichtsveld van den kijker. De draad was door het terugkeeren van den weerstand opgewarmd en de gevolgen hiervan waren noodlottig. Bij het demonteren van den cryostaat bleek de looddraad doorgesmolten, de gestolde loodbolletjes aan zijn uiteinden — op de defecte plaats — leverden het bewijs; elders was weer de zijden

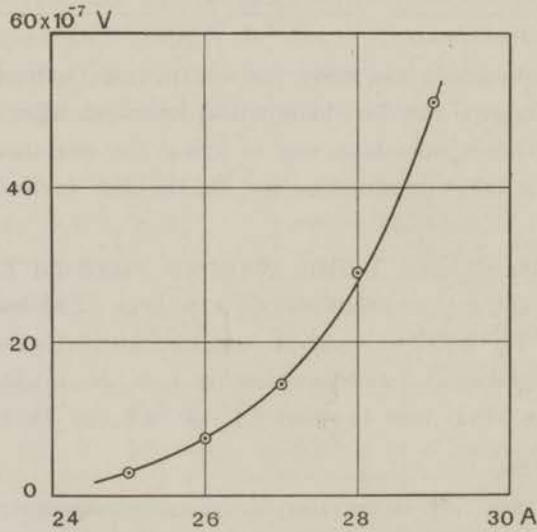


Fig. 15.

⊙ Pb-1919-A.

draad, die de loodwikkelingen op hare plaats hield, geschroeid. De diameter wisselde over den geheelen draad van 0.2₈ mm tot 0.2₇ mm; de minimum-dikte naast de doorgesmolten plaats was niet veel kleiner dan die op andere. Uit fig. 15 leiden wij voor den drempelstroom eene sterkte van 24 A af.

TABEL LII. Pb-1919-A.

$$l = 1186 \text{ mm.} \quad 2r = 0.2_7 \text{ mm.} \quad \pi r^2 = 0.05_9 \text{ mm}^2.$$

Datum.	T.	Drempelstroom in amp.	Dichtheid van den drempelstroom in amp. per mm ² .	$\frac{2i}{r}$ in $\frac{\text{amp.}}{\text{mm.}}$
12 Maart 1920	4.21 K.	24	407	356

3. Thallium.

TABEL LIII.

$$\begin{array}{ll} \text{Tl-1916-VIII}^1). & \text{Tl-1916-IX}^1). \\ 2r = 0.2_0 \text{ mm.} & 2r = 0.5_0 \text{ mm.} \\ \pi r^2 = 0.03_1 \text{ mm}^2. & \pi r^2 = 0.19_6 \text{ mm}^2. \end{array}$$

Datum.	p_{helium} in mm Hg.	T.	Naam van den weerstand.	Drempelstroom in amp.	Dichtheid van den drempelstroom in amp. per mm ² .	$\frac{2i}{r}$ in $\frac{\text{amp.}}{\text{mm.}}$
25 April 1919	2 ₃	1.3 ₆ K. ²⁾	Tl-1916-VIII	1.5 ₇	50	31
27 Mei 1919	2 ₆	1.3 ₈ ²⁾	Tl-1916-IX	3.6	18	29
5 Juni 1919	54	2.43		0.6 ₃	3.2	5 ₀
27 Mei 1919	55 à 56	2.45		0.2 ₅	1.3	2 ₀
5 Juni 1919	58	2.47		0.1 ₃	0.6	1 ₀

1) Voor bijzonderheden omtrent de gebruikte weerstanden zie men § 12 van dit proefschrift.

2) Berekend met de formule van Prof. VERSCHAFFELT; zie noot 1, p. 40 van dit proefschrift.

§ 40. *De hypothese van SILSBEE.* Ter toetsing dezer hypothese beschouwen wij de draden als recht. Is $H = \frac{2i}{r}$ voor draden van verschillende diameter bij dezelfde temperatuur constant, als door hen drempelstroomen gaan, dan spreekt dit reeds zeer voor de hypothese van SILSBEE.

Onze metingen zijn gering in aantal, doch kunnen vergeleken worden met die, welke SILSBEE uit vroegere Leidsche waarnemingen bijeenverzamelde en die wij in noot 1 weer-

1) F. B. SILSBEE. Sc. Pap. Bur. of Stand., Vol. 14, 307 (1917), p. 305. Critical Values of Current for Various Metals and Temperatures. (From data by H. K. ONNES).

Mercury.

Temperature, degrees K.	Area.	Threshold-current.	Threshold-current density.	Maximum magnetic field.
	mm ² .	amp.	amp. p. mm ² .	gausses
4.1	0.0016	0.17	107	15
	.0025	.17	69	12
	.0055	.23	42	11
	.0055	.32	58	15
3.6 .....	.0016	1.00	625	89
	.0025	1.07	427	76
	.004	> 1.04	> 260	> 59
	.0052	.78	151	39
Tin. $H_{crit.} = 200$ at 2° K.				
1.6 .....	.0143	1.0	70	a430
	.0143	8.0	560	b240
Lead. $H_{crit.} = 600$ at 4° 2 K.				
4.25.....	.025	9	680	b385
	.014	> 4	> 300	c> 110
	.014	.6	41	a375
1.7 .....	.014	.84	60	a550
	.014	11.1	790	b330

a. Coil.

b. Straight wire.

c. In vacuo.

Wij hebben de getallen van $H_{crit.}$ hier vermeld, zooals SILSBEE ze uit Leiden Comm. N°. 139f (1914) aanhaalde.

geven. Uit tabel L blijkt, ondanks de geringe nauwkeurigheid, $\frac{2i}{r}$ bij $T = 7^{\circ}.0_7$ K. voor *Pb-1919-I* en *-B*, draden van uiteenlopenden diameter, veel constanter te zijn dan de dichtheid der drempelstroomen. Bij $T = 4^{\circ}.21$ K. — zie tabel LII — klopt de waarde van $\frac{2i}{r}$ voor *Pb-1919-A* met die, uit de tabel van SILSBEE voor andere weerstanden; overeenstemming tusschen de grootte der drempelstroomen of die hunner dichtheden bestaat ook hier niet. Verder wijzen de beide eerste waarnemingen van tabel LIII uit, dat bij gelijke temperatuur ook voor *Tl-1916-VIII* en *-IX* — men lette op het verschil in diameter — de waarden van $\frac{2i}{r}$ weer bijna aan elkaar gelijk zijn.

Aan de hypothese van SILSBEE geven deze metingen grooten steun. Daar echter alle draden cirkelvormig waren, maken wij een klein voorbehoud. Indien men aanneemt, dat bij supra-geleiding de stroom alleen in een uiterst dun laagje aan of langs het oppervlak van den draad loopt en ieder element der doorsnede van dit laagje bij zekere stroomverzadiging, afhankelijk van de temperatuur, ophoudt supra-geleidend te zijn, geeft sommeering over de geheele laag den drempelstroom en komt men ook voor draden van verschillende diameter tot de standvastigheid van $\frac{2i}{r}$. Deze aanneming van stroomverzadiging langs het oppervlak kan echter het door SILSBEE geopperde verband tusschen de drempelwaarden van stroom en magneetveld niet verklaren.

Voor dit verband moet men nog de waarde van $H = \frac{2i}{r}$ uit den drempelstroom vergelijken met de magnetische drem-

pelwaarde. Daarbij stuit men op moeilijkheden. Prof. ONNES heeft de stroom- en magnetische drempelwaarde bepaald als die grootheden, waarbij men het eerste, meetbare potentiaalverschil terugvond. In deze beide gevallen behoeft de onderwerpelijke draad dan niet in denzelfden toestand te verkeeren. Houden wij hiertoe een oogenblik vast aan de wet van OHM. Wij meten het magneetveld, dat genoemd potentiaalverschil, bij een stroom van 4 mA door den draad, terugbrengt en den drempelstroom, dikwijls meerdere ampères sterk, die dit ook doet. Waar de potentiaalverschillen gelijk waren, moet de teruggekeerde weerstand in het eerste geval veel grooter zijn dan in het laatste. Wel gaat de wet van OHM hier niet op, maar men kan voorloopig vasthouden aan eene formule $E = i \times r$, waarin r bij dezelfde temperatuur niet constant is. Verder lijkt het niet gewaagd te veronderstellen, dat een supra-geleider bij iedere temperatuur dan in denzelfden toestand is, als hij denzelfden weerstand heeft en niet, als men hetzelfde potentiaalverschil aan zijn uiteinden meet, welke wet hier dan ook moge gelden. Dan zal men — zelfs al geldt de hypothese van SILSBEE — geen overeenstemming kunnen verwachten tussehen de magnetische drempelwaarde en tussehen $H = \frac{2i}{r}$ uit den drempelstroom¹⁾; de berekende waarde van H zal steeds de kleinste zijn. *Dat men nog vrij goede overeenstemming vindt, moet wijzen op een plotseligen, althans zeer snellen terugkeer van weerstand in den draad met aangroeiend magneetveld*; dan wordt ook duidelijk, waarom men bij deze metingen met draden van verschillende lengte toch overeenstemmende resultaten vindt. Het kunnen combi-

1) Dat de waarden van $H = \frac{2i}{r}$ bij verschillende draden en één temperatuur ongeveer gelijk zijn, is nog wel in te zien: de i 's verschillen hier minder.

neeren van SILSBEE's hypothese met den aard van dezen terugkeer is verblijdend. Het is nog te verwachten, dat de warmte-ontwikkeling in den draad bij groote stroomsterkten stoort; daarom moet de berekende H ook kleiner zijn dan die uit magnetische metingen. Het meest zal dit het geval zijn bij die draden, welke niet onmiddellijk met het vloeibare helium in aanraking zijn, zooals thalliumdraden; hoe voortreffelijk hun weerstand op de temperatuurschommelingen van het bad reageert¹⁾, de warmte-afgifte aan de omgeving zal in de opsluiting in heliumgas een beletsel vinden.

Thans de getallen. Voor *Sn-1922-F* volgt uit tabel II bij $T = 3^{\circ}.28$ K. voor $H = \frac{2i}{r}$ 44 gauss; de magnetische drempelwaarde is 56. Voor *Pb-1919-A* — tabel LI — is bij $T = 4^{\circ}.21$ K. $H = \frac{2i}{r} = 356$ gauss, dus in overeenstemming met de getallen uit de tabel van SILSBEE²⁾; de magnetische drempelwaarde is 430. De magnetische drempelwaarde van thallium is nog niet bepaald; let men op de helling der lijnen voor indium en tin in fig. 14, en neemt men die voor thallium daaraan ten naaste bij gelijk, dan blijft volgens tabel LIII, ook bij $T = 1^{\circ}.4$ K., $H = \frac{2i}{r} = 30$ gauss beneden de magnetische drempelwaarde. Met de hypothese van SILSBEE is dus geen dezer metingen in strijd.

§ 41. *De micro-residueele weerstand.* Na de ontdekking der supra-geleiding is het begrip „micro-residueele weerstand” ingevoerd³⁾; als bovenste grens van dezen werd opgegeven de weerstand, gevonden uit het quotient van minimaal waar-

1) Zie § 14 van dit proefschrift.

2) Zie deze tabel in noot 1 op p. 100 van dit proefschrift.

3) Leiden Comm. N^o. 133b (1913), p. 30.

neembaar potentiaalverschil en stroomdrempelwaarde, alsof de wet van OHM gold. Thans, nu de drempelstroom van secundaire beteekenis en zijn magneetveld de primaire factor wordt, heeft het weinig zin meer, dit begrip te handhaven.

Het verband, dat men tusschen de bovenste grens van dezen weerstand voor de verschillende supra-geleiders trachtte te zoeken, laat zich aldus vinden. Zij het minimaal waarneembaar potentiaalverschil V , de drempelstroom i en de bovenste grens van den micro-residueelen weerstand w , dan is volgens definitie

$$w = \frac{V}{i}.$$

Neem i hierin gelijk aan de waarde uit $H = \frac{2i}{r}$, waarin H de magnetische drempelwaarde is; dit sluit, volgens de beschouwingen van § 40, eene bijna discontinue verstoring der supra-geleiding in zich. Neem verder aan, dat evenals voor $H(\frac{1}{2})$, ook hier geldt

$$H = h_1(T_s^2 - T^2),$$

dan wordt

$$w = \frac{2V}{rH} = \frac{2V}{h_1 r (T_s^2 - T^2)}.$$

Inderdaad is dus de betrekking voor w vrij samengesteld, gelijk het zich voor een secundaire grootheid laat verwachten ¹⁾.

1) Men kan deze betrekking gemakkelijk op de proef stellen. Neem de waarden voor *Pb*-1919-*A* uit tabel LII. Dan is $V = 1.10^{-8}$ V, $r = 0.13_s$ mm, $T_s = 7^{\circ}.2$ K. en $T = 4^{\circ}.2$ K., h_1 nemen wij 15 (dit getal is nog onzeker). Nu wordt $w = 0.3 \cdot 10^{-8} \Omega$. Aldus wordt $\frac{w}{w_n} = \frac{0.3 \cdot 10^{-8}}{3.7} = 8.10^{-10}$; bij een draad met grooteren w_n zal deze verhouding nog kleiner worden, als maar r dezelfde blijft. Verdere toepassingen, als de bepaling van h_1 voor kwik uit vroegere metingen, laten wij achterwege; hiertoe is de nauwkeurigheid te klein.

C. Verdere proeven.

§ 42. *Proef met indiumdraden, op verschillende wijze gewikkeld.* Ter bevestiging van SILSBEE's hypothese deden wij nog enkele proeven. Als zoodanig beschouwen wij allereerst het waarnemen van een verschil van 0.002 graad tussehen de sprongpunttemperaturen van *In-1922-A* ter eener en *In-1922-II* en *-III* ter anderer zijde; zie de tabellen XI, XII en XIII, benevens fig. 16. Verklaring door het aannemen van temperatuurverschillen in het heliumbad lijkt onwaarschijnlijk. Wat den invloed van het eigen magneetveld betreft, bij *In-1922-A* liggen de windingen op 0.4, bij *In-1922-II* en *-III* op 2.2 mm afstand; in bepaalde deelen van doorsnede en oppervlak eener winding wordt het eigen magneetveld verzwakt door dat der naastgelegen windingen en meer, naarmate deze nauwer aan een liggen. De hoogere sprongpunttemperatuur van *In-1922-A* kan hierdoor veroorzaakt worden, doch bij berekening blijkt genoemde verzwakking, te gering, om ook quantitatief de hypothese te kunnen bevestigen.

§ 43. *De supra-geleiding van een tin-cylinder, beïnvloed door het magneetveld van een stroom langs de cylinderas.* SILSBEE's hypothese zal aannemelijk zijn, zoodra uit proeven blijkt, dat een weerstand, die door overschrijding van den drempelstroom ophield supra-geleidend te zijn, dit weer wordt, dank zij het aanbrengen van een uitwendig magneetveld, dat het eigen magneetveld van den drempelstroom in ieder punt van den weerstand verzwakt. Bij het inrichten van dergelijke proeven zoekt men in de eerste plaats naar gelijkvormige velden. Beter dan bij den bifilair gewonden draad van § 42 verkrijgt men deze met het volgende toestel.

Een tinband *B* is gerold om een glazen buisje, waardoor een koperdraad *A* gestoken is; het geheel lijkt op een

hollen tincylinder *B* met koperen as *A*. Door *B*, afgekoeld tot beneden zijne sprongpunttemperatuur, zendt men stroom, grooter dan den drempelstroom, zoodat de supra-geleiding is verstoord en men aan de uiteinden van *B* een potentiaalverschil

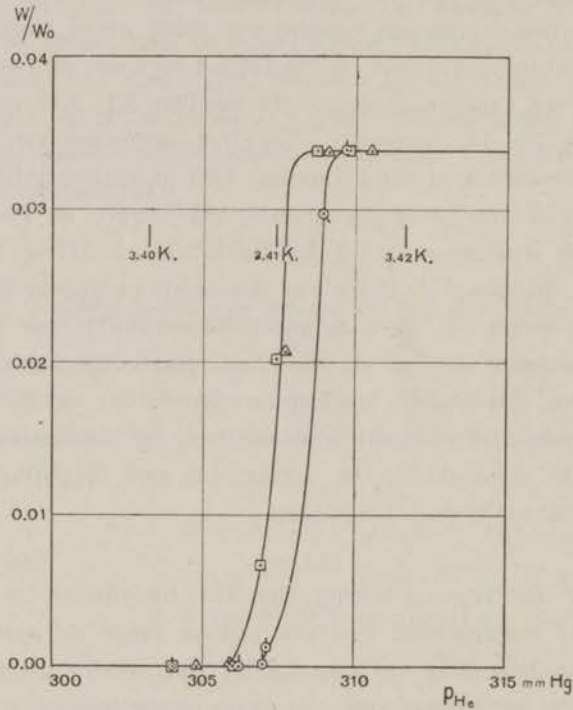


Fig. 16.

- \square *In-1922-II.*
- \triangle *In-1922-III.*
- \odot *In-1922-A.*

meet. Door *A* leidt men in tegengestelde richting een stroom, waarvan het magnetveld en dat van den stroom door *B* elkaar hier verzwakken, ginds opheffen. Het gewicht van de gelijkvormigheid der velden springt in het oog. Ontleent de

drempelstroom zijn macht tot verstoring der supra-geleiding aan zijn magneetveld, dan moet in *B* — ondanks de sterke stroomen — de supra-geleiding hersteld kunnen worden. Bij onze metingen ¹⁾ gebruikten wij twee dergelijke toestellen van ongelijke afmetingen. Bij het eerste — G_1 — was de lengte van den tinycylinder 10 cm, zijne dikte 0.09₄ mm, zijn uitwendige diameter 5 mm, bij het tweede — G_2 —, vervaardigd door den bedrijfschef G. J. FLIM, en afgebeeld in fig. 17, waren deze afmetingen respectievelijk 10 cm, 0.09₃ mm en 0.8 mm. Het gedeelte van den koperdraad *A*, dat in het eerste toestel door het met tin bedekte glas omringd was, is in het tweede vervangen door een looddraad *C* van 0.1 mm diameter, gestoken door een glaseapillair, waarop de tinband was gerold; bij de metingen blijft deze draad supra-geleidend. Bij gelijke stroomsterkte werkt men in het tweede toestel met sterker velden. Om deze velden zoo min mogelijk te deformeerren, is de horizontale afvoertak van *A* 2.5 cm lang. Het aantal van buiten komende stroomtoevoerdraden vermindert met één — en hierdoor de warmtetoevoer —, door een dezer draden van *B* aan *A* te soldeeren, als links onder in fig. 17 is te zien. Voor den vorm der uiteinden van den tinband zie men dezelfde figuur; deze lipvorm is gekozen ter uniforme stroomverdeling langs het te meten deel van den tinband.

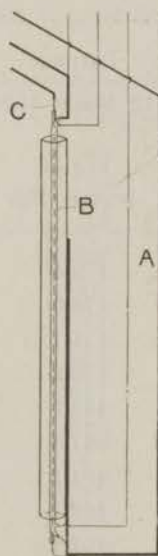


Fig. 17.

Met beide toestellen is het verdwijnen van den weerstand in den tinycylinder gevolgd bij de sprongpunttemperatuur,

1) Wegens ongesteldheid op een der meetdagen danken wij een deel dezer metingen aan de hulp van den assistent W. VAN GULIK.

eerst als een stroom van 2.50 A uitsluitend door den tin-cylinder ging, daarna als bovendien een stroom van dezelfde sterkte in tegengestelde richting langs de cylinderas liep. Hoewel aan het buitenoppervlak van den tin-cylinder bij de tweede reeks metingen geen magneetveld bestaat, blijkt het dan gemeten potentiaalverschil steeds grooter dan het bij dezelfde temperatuur behoorende uit de eerste reeks. De resultaten van 12 Maart 1924 in tabel LIV geven het gemeten potentiaalverschil aan de uiteinden van tin-cylinder G_1 weer.

TABEL LIV. Tin-cylinder G_1 .

Datum. 12 Maart 1924.	T .	$i = 2.50$ A, uitsluitend door den cylinder.	$i = 2.50$ A, door den cylinder en langs diens as terug.
P_{helium} in mm Hg.		Potentiaal- verschil.	Potentiaal- verschil.
479.4	3.76 K.	515.10 ⁻⁷ V	512.10 ⁻⁷ V
478.0			
474.1			495
473.5		479	
469.7		422	
467.8			380
464.1		244	
462.7			191
461.1		124	
459.2		57	
459.0			51
456.5			8
453.8	3.71 ₅	0	

Vervolgens werd op 17 April 1924 de volgende proef genomen. Door den tin-cylinder G_2 , afgekoeld tot eene tempe-

ratuur, beneden die van het sprongpunt, werd een stroom van 2.0 A en vervolgens door de looden cylinderas stroomen van verschillende sterkte in tegengestelde richting gezonden. De potentiaalverschillen, gemeten aan de uiteinden van den cylinder, gaan door een minimum, dat bij de laagste temperatuur zelfs nul is. De uitkomsten dezer metingen, vermeld in tabel LV, worden weergegeven door fig. 18.

TABEL LV. Tinecylinder G_2 .

Datum 17 April 1924. <i>p</i> _{helium} in mm Hg.	<i>T</i> .	Stroom door den tinecylinder.	Stroom door de looden cylinder-as in tegengestelde richting.	Potentiaal- verschil.
425.7—426.4	3.66 K.	2.0 A	0.0 A	114.10 ⁻⁷ V
		2.0	0.0	83
		2.0	0.5	12
		2.0	1.0	12
		2.0	1.5	150
		2.0	1.8	401
		2.0	2.0	741
		2.0	2.0	676
		2.0	3.2	2157
		2.0	4.0	2518
430.2—430.5	3.67	2.0	0.0	463.10 ⁻⁷
		2.0	1.0	20
		2.0	2.0	1033
439.4—439.6	3.69	2.0	0.0	1399.10 ⁻⁷
		2.0	0.7	168
		2.0	1.0	257

Zooals de hypothese van SILSBEE verlangt, wordt hier de supra-geleiding, die verstoord was door overschrijding van

den drempelstroom, door het aanbrengen van een uitwendig magneetveld hersteld. Alle proeven wijzen er op, dat de drempelstroom zijne beteekenis slechts ontleent aan het kritische magneetveld, dat hij voortbrengt. Op grond der thans bekende resultaten meenen wij de hypothese als juist te moeten aanvaarden.

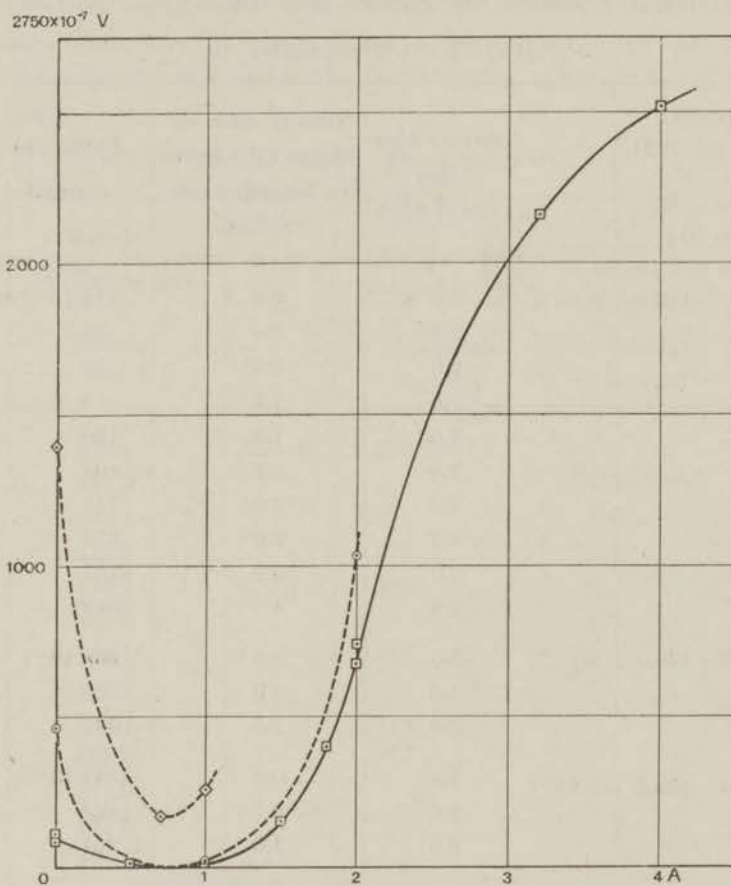


Fig. 18.

□ $T = 3^{\circ}.66 \text{ K.}$ ○ $T = 3^{\circ}.67 \text{ K.}$ ◇ $T = 3^{\circ}.69 \text{ K.}$

Wat de proef zelf betreft, fig. 18 wijst uit, dat bij het herstel der supra-geleiding de eene stroom bijna de helft van den anderen is; ergens in den cylinder is dus een oppervlak, waar $H=0$ is; aan weerszijden hiervan zijn de resulterende veldrichtingen tegengesteld. Waar het oppervlak $H=0$ ligt, weten wij nog niet, daar de dichtheidsverdeling over de cylinderdoorsnede onbekend is. Als men aanneemt, dat bij de gevonden verhouding der beide stroomen het magneetveld de supra-geleiding zoo weinig mogelijk stoort, zullen dergelijke proeven misschien iets omtrent deze verdeling kunnen leeren.

Het binnendringen van het magneetveld van den centralen stroom in den tin-cylinder moet gepaard gaan met inductiestroomen; het is gewenscht, na te gaan, of deze in sommige gevallen als persisterende stroomen van invloed op de uitkomsten kunnen zijn.

§ 44. *Beknopte inhoud van hoofdstuk II.* Uit metingen met tin-, indium- en loodweerstand wordt, bij het transversale effect, voor het verband tusschen magnetische drempelwaarde en temperatuur gevonden:

$$H_{(1)} = -hT^2 + H_{0(1)}$$

of

$$H_{(1)} = h(T_s^2 - T^2).$$

De vergelijking van oude en nieuwe stroomdrempelwaarden met elkander en daarnaast de vergelijking van deze met magnetische drempelwaarden verleenen steun aan de hypothese van SILSBEE. Deze vindt ook bevestiging in de proef, dat een weerstand, waarin de supra-geleiding door overschrijding van den drempelstroom verstoord is, weer supra-geleidend kan worden, als een geschikt gekozen, uitwendig magneetveld het eigen magneetveld verzwakt of opheft. De drempelstroomen zelf, of hunne dichtheden, hebben de uiteenloopendste waarden.

HOOFDSTUK III.

PERSISTEERENDE STROOMEN.

§ 45. Als in een supra-geleidenden looden ring een inductiestroom wordt opgewekt, blijft deze rondloopen. In de verzwakking van dezen stroom met den tijd vindt men eene maat voor den in een supra-geleider overgebleven weerstand. Prof. ONNES vond, dat deze verzwakking minder dan 1 % per uur moet bedragen¹⁾. De gevolgde methode was in het kort de volgende. Een looden klos of ring is opgehangen in den heliumeryostaat en geplaatst in het veld van den WEISS-magneet. De cryostaat wordt met vloeibaar helium gevuld, zoodat de loodweerstand supra-geleidend wordt, vervolgens wordt het veld afgezet en de magneet verwijderd. De door inductie opgewekte stroom verraadt zijne aanwezigheid door de werking op een magneetnaald. Deze werking wordt gecompenseerd door een stroom, loopende in een klos, die aan de andere zijde van de naald geplaatst is; met dezen stroom meet men de constantheid van den „persisteerenden” stroom²⁾. Dat de magnetische werking aan het rondloopen van eenen stroom te danken was, werd bewezen door het uitslaan van een ballistischen galvanometer bij het

1) Leiden Comm. N^o. 140*b* en *c* (1914) en 141*b* (1914).

2) Over eene verandering, die de persisteerende stroom nog door het aan- en afzetten van den compensatiestroom kon ondergaan, wordt niets vermeld.

openen van de supra-geleidende keten ¹⁾. Opgemerkt zij nog, dat de contactweerstand van twee supra-geleidende loodstukken zoo klein is, dat men bij de laatste proef ook van een supra-geleidenden stroomsleutel gebruik maken kon ²⁾.

§ 46. *Beschrijving van het gebruikte toestel; duurproeven.*

Met de bedoeling, nauwkeuriger gegevens te verkrijgen over de verzwakking der persisterende stroomen met den tijd werd, op aanwijzing van Prof. ONNES, gebruik gemaakt van een ringsysteem van supra-geleiders, waarin persisterende stroomen door inductie worden opgewekt; de verandering der ponderomotorische krachten is een maat voor de constantheid der stroomen.

Het toestel, opgebouwd door den bedrijfschef G. J. FLIM, ziet er uit, als fig. 19 en 20 doen zien. Een cirkelvormige, looden ring *A*, opgehangen aan een glazen staaf *C*, kan om een verticale as draaien in een anderen, cirkelvormigen looden ring *B*. Van *A* zijn de uitwendige diameter 30.0, de inwendige 22.7 en de dikte 4.9 mm, van *B* zijn deze 40.8, 33.0 en 5.2 mm; de doorsnede van *A*, zoowel als van *B*, is rechthoekig. De glazen staaf *C* wordt gedragen door een phosphorbronzen veer *D*, die bij de eerste proeven niet, bij de laatste wel voorzien was van dempers, welke in het oliebakje *E* staken. Door een phosphorbronzen bandje te spannen tusschen *A* en een aan *B* gezet glazen buisje, wordt de stabiliteit van *A* verhoogd.

Bij het begin der proef zijn de vlakken van *A* en *B* evenwijdig. De magneet, tusschen welks polen *A* en *B* hangen, is niet de groote WEISS-magneet, doch slechts een dubbel omgebogen stuk week ijzer, voorzien van poolstukken,

¹⁾ Leiden Comm. N°. 141b (1914), § 9.

²⁾ Ibidem § 11.

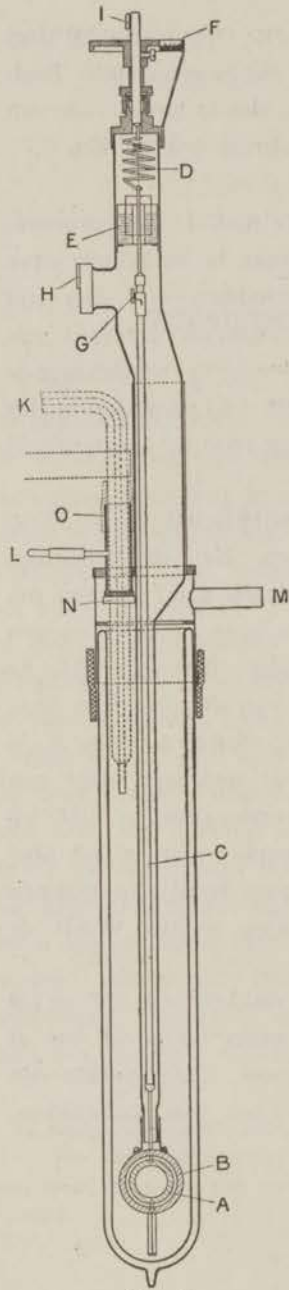


Fig. 19.

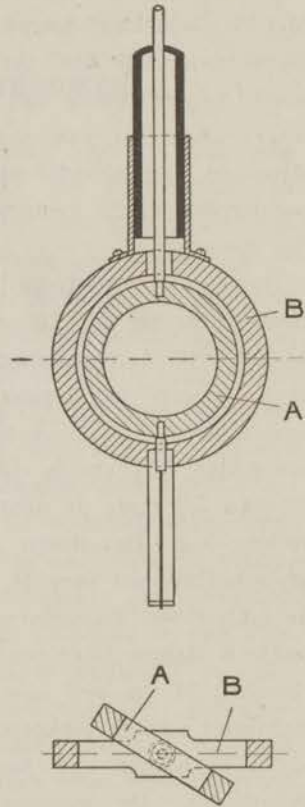


Fig. 20.

en omgeven door draadklossen¹⁾; volgens onze tegenwoordige kennis der magnetische drempelwaarde²⁾ is het hiermede te bereiken veld van voldoende sterkte. In het reeds koude, supra-geleidende ringsysteem worden bij het aanzetten van het veld stroomen geïnduceerd, die spoedig uitsterven, omdat wij het veld grooter dan het drempelveld namen; daarna wordt dit veld verwijderd en loopen er „persisteerende” stroomen. Vervolgens draait men den torsiekop *F* — waarvan de rand in 180 deelen verdeeld is — zóó ver, dat de beide ringen een hoek van 30 graden met elkaar maken (zie fig. 20). Hiertoe moet men den torsiekop meer dan 30 graden draaien en dit meerdere is eene maat voor de aantrekking tusschen *A* en *B*. Bij het draaien van *A* worden in beide ringen inductiestroomen opgewekt, die de reeds bestaande versterken; in hoeverre deze kunnen blijven loopen, hangt hiervan af, of het eigen magneetveld der persisteerende stroomen op eenige plaats de drempelwaarde overschrijdt. Nadat aldus het toestel is ingesteld, laat men het aan zichzelf over en gaat eene verplaatsing van *A* door spiegelaflezing na met behulp van den spiegel *G*. Met den vasten spiegel *H* neemt men kleine verplaatsingen van het geheele toestel waar. De spiegel *I*, boven aan den torsiekop *F*, dient om het terugglijden van de torsie-as in den pakking-ring te kunnen constateeren.

Reeds bij de eerste metingen bleek iedere magnetische storing bij de duurproeven vermeden te moeten worden; het op en neergaan van den roerder, zelfs het langs den cryostaat bewegen van sleutels, was voldoende, om de grootte der persisteerende stroomen te veranderen. Dit noodzaakte

1) Bij de proeven van vóór den oorlog is steeds de WEISS-magneet gebruikt.

2) In dit hoofdstuk bezigen wij verder de uitdrukking „drempelwaarde”.

ons, eerst na afloop der gewone weerstandsmetingen met de duurproeven te beginnen; zij werden voortgezet tot het ringsysteem door de verdamping van het helium opgehouden had supra-geleidend te zijn. De warmtegeleiding der looden ringen bleek zoo voortreffelijk, dat *A* eerst begon te draaien, als de heliumspiegel nog slechts 1 em *boven* den onderkant van den buitensten ring stond; zijne beweging was niet uitgestorven, vóór de spiegel 1.5 em *onder* dit punt gedaald was. Hingen de ringen echter gedeeltelijk buiten het helium, dan was de geringste warmtestraling voldoende, om ze tijdelijk eenigen weerstand te bezorgen en de persisterende stroomen te verzwakken. Gedurende de geheele proef mocht men den cryostaat dus ook niet te dicht naderen.

De uitkomst der eerste proef — op 14 November 1923 — drong de vroeger gevonden, bovenste grens der constantheid reeds terug. Om de ringen 30 graden uit elkaar te draaien, moest men de veer 44.4 graad tordeeren. De schaalverdeling, waarneembaar in spiegel *G*, stond op 235 em afstand van dezen; in den kijker verplaatste de schaal zich slechts 1 mm per uur, *A* draaide dus minder dan 44 sec. per uur. Het product der stroomsterkten was dus in dien tijd met minder dan $\frac{1}{3500}$ zijner waarde afgenomen, iedere stroom — bij gelijk veronderstelde sterkte¹⁾ — met minder dan $\frac{1}{7000}$.

De volgende duurproeven — op 27 November en 4 December 1923 —, die nog langer duurden dan de eerste, verliepen onder gelijke omstandigheden; ofschoon volgens deze proeven de constantheid der stroomen grooter bleek te zijn dan volgens de eerste, laten wij de uitkomsten achterwege, omdat zij reeds op 19 December 1923 door eene betere achterhaald werden.

Op dien dag zette Prof. ONNES door het transport van

¹⁾ Zie noot 2, p. 121 van dit proefschrift.

vloeibaar helium een nieuwen stap op den weg der volmaking van het cryogene laboratorium¹). Daar het overbrengen van vloeibaar helium van den beginne af voorzat, was het ring-systeem reeds bij de eerste proeven geplaatst in den transportabelen cryostaat, vervaardigd door en onder leiding van den bedrijfschef G. J. FLIM. Deze cryostaat werd door middel van de hevelbuis *K* (zie fig. 19) met vloeibaar helium vanuit den vasten cryostaat gevuld; tijdens de eerste duurproeven ervoer men, dat dit zeer gemakkelijk ging. Om den cryostaat los te maken van de hevelbuis en af te sluiten van de buitenlucht, laat men hem zakken, tot het ondereinde van de buis *O* beneden de hevelbuis gekomen is, schuift met de daarvoor bestemde inrichting de klep *N* voor genoemd ondereinde en maakt den cryostaat van de overige verbindingen los. De hevelbuis *K* wordt aan het einde in den vasten cryostaat door een kraan gesloten. Door de zijbuis *M* ontwijkt het verdampte helium. Als de cryostaat, ter vulling, weer aan de hevelbuis gezet wordt, dient het buisje *L*, om de ruimte binnen de buis *O* en de hevelbuis luchtledig te zuigen, voordat de klep *N* wordt geopend. Ter verduidelijking is in fig. 19 de hevelbuis nog in den reeds losgemaakten cryostaat geteekend.

Op 19 December 1923 is deze cryostaat, waarin vloeibaar helium en het beschreven toestel, overgebracht naar den juist gereed gekomen „kelder voor constante temperaturen”; in dit vertrek is — na het aanbrengen der oliedemping *E* — spiegelaflezing tot op 0.1 mm mogelijk, terwijl de temperatuur van de veer bovendien constant blijft²). De afstand der spiegels *G* en *H* tot de bijbehorende schaalverdeelingen

1) Hierdoor is het mogelijk geworden, vloeibaar helium elders te demonstreeren. Leiden Comm. N^o. 140b (1914), p. 15.

2) Men zou kunnen denken, dat de veer een zeer lage temperatuur had. Proeven wijzen uit, dat dit niet het geval is en dat in den kop van het toestel kamertemperatuur heerscht.

was 395 en 335 cm; spiegel *I* ontbrak. Daar het ringsysteem reeds koud was, werden de persisterende stroomen met een veld van 659 gauss, grooter dus dan het drempelveld, in de evenwijdige ringen opgewekt. Evenals bij de vorige proeven was $T = 4^{\circ}.2$ K. Vervolgens is ring *A* over een hoek van 30 graden gedraaid; de veer moest hiertoe 48.6 graden getordeerd worden. Gedurende de eerste $13\frac{1}{2}$ minuut na de instelling verliep de schaalverdeeling in den kijker eerst snel, dan langzamer over totaal 12.2 cm, hetgeen op een afnemen der stroomen duidde. Dit verschijnsel hangt af van de wijze, waarop de weerstand bij afnemende veldsterkte verdwijnt¹⁾. Daarna kwam de schaal in den kijker tot stilstand en bewoog zich later in tegengestelde richting, en wel gedurende 5 uur en 32 minuten over 6.8 mm; in dien zelfden tijd verliep de schaalverdeeling in den vasten spiegel over $\frac{395}{335} \times 2.2 = 2.6$ mm. Uit de verplaatsingen zou men moeten opmaken, dat door het sterker worden der stroomen de verdeeling over 4.2 mm. verliep. Slechts het slippen der torsie-as in den pakking-ring en de elastische nawerking der veer kunnen hiervan de oorzaak zijn. De daaruit voortkomende beweging van *A* is tegengesteld aan die, welke bij het verminderen der stroomen zou plaats grijpen; en dus zou de eerste beweging de laatste kunnen bedekken. De grootte van het slippen, benevens de elastische nawerking moeten dus bekend zijn. Daar spiegel *I* nog ontbrak, berekenen wij de grootte van het slippen uit de waarnemingen van 7 Februari 1924 op 1 mm. De metingen over de elastische nawerking der veer zijn nog niet afgesloten; volgens de ten dienste staande getallen zal zij slechts een verloop van 3 à 4 mm kunnen

1) Daar na het opwekken der persisterende stroomen de instelling nog eenige minuten vordert, kan men van dit verschijnsel slechts een gedeelte waarnemen. Door het groote veld hebben de ringen blijkbaar eerst een oogenblik gewonen weerstand.

veroorzaken. De persisterende stroomen zijn constant gebleven, als de som van bovengenoemde verplaatsingen kleiner dan 4.2 mm is. Dezen indruk krijgt men inderdaad; wij meenen dan ook de grootst mogelijke verplaatsing gedurende $5\frac{1}{2}$ uur op 1 mm te mogen stellen. Dit komt overeen met een draaiing van A over 26 sec. en daar de torsie 48.6 graden was, bleef het product der stroomsterkten constant tot op $\frac{1}{40000}$ per uur en iedere stroom tot op $\frac{1}{80000}$ per uur¹⁾. Zelfs al bewijzen voortgezette metingen over de elastische nawerking der veer, dat dit resultaat te mooi is, dan nog blijft de constantheid der stroomen zeer groot. Bij deze proef waren de persisterende stroomen bij $T=4^{\circ}.2$ K. zoo sterk mogelijk en had men dus de meeste kans — door het werken tegen het drempelveld aan — weerstand te kunnen aantoonen. Bij gebruik van zwakkere velden moet deze kans kleiner zijn.

§ 47. *De grootte der persisterende stroomen.* Bij iedere temperatuur is de grootte der persisterende stroomen afhankelijk van het gebruikte magneetveld en van de drempelwaarde. Ver beneden de drempelwaarde zijn de verschijnselen omkeerbaar, en doet eene verzwakking van het veld dien persisterenden stroom verdwijnen, welke door een even groote versterking opgewekt was. Bij het gebruik van zwakke velden moet men eerst het magneetveld aanbrengeu, dan den cryostaat met helium vullen en vervolgens den magneet verwijderen. Voor het vaststellen der betrekking tusschen de sterkte der stroomen en het induceerend magneetveld moet men dus de ringen bij zwakke velden steeds weer boven de sprongpunttemperatuur brengen, zoodat deze proeven een groot verbruik van vloeibaar helium meebrengen. De gevonden resultaten, die het verband tusschen induceerend

¹⁾ Zie noot 2, p. 121 van dit proefschrift.

magneetveld en torsiekoppel aangeven, vindt men in tabel LVI en fig. 21.

TABEL LVI. Ringsysteem I.

Datum.	Induceerend magneetveld.	Torsie der veer in graden.
27 November 1923	50 gauss	2.4
	100	10.8
4 December 1923	162	18.8
	234	32.8
14 November 1923	385	46.4
27 November 1923	533	56.6
	600	55.2
19 December 1923	659	50.6

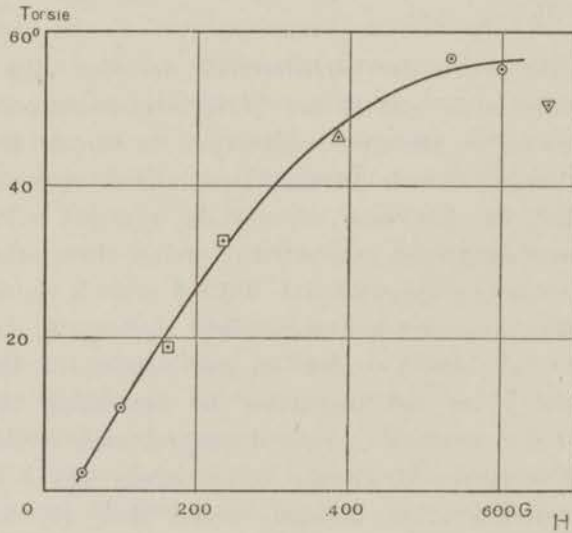


Fig. 21.

- △ 14 Nov. 1923. □ 4 Dec. 1923.
 ○ 27 Nov. 1923. ▽ 19 Dec. 1923.

In fig. 21 gaat de kromme niet door den oorsprong; de oorzaak hiervan moet liggen in de gebrekkige methode, om de grootte van het koppel vast te stellen, niet in inductiestroomen, die zich door de draaiing van A over 30 graden — bij de instelling — nog bij de overige voegen; na correctie hiervoor komt de kromme juist ongunstiger te liggen. Het torsiekoppel, als maat van het product der stroomsterkten, is in den beginne evenredig met het induceerende veld. Bij het aangroeien hiervan verdwijnt deze evenredigheid en blijven de stroomsterkten tenslotte dezelfde bij gebruik van drempelvelden en sterkere¹⁾. Nog op één ding dient gewezen. Bij de instelling met behulp eener spiegelaflezing moet A gewoonlijk heen en weer gedraaid worden, voor de schaal in den kijker zichtbaar is; bij deze draaiingen veranderen de stroomsterkten en is de richting der laatste beweging van groot belang. Door het aanbrenge van verbeteringen zal men ook deze methode eerlang kunnen gebruiken om het verband tusschen drempelwaarde en temperatuur vast te leggen.

Wat de sterkte der persisterende stroomen betreft, volgens de calibratie komt een stroom van 70 A in iederen ring overeen met een torsie van 4.4 graden. Uit tabel LVI volgt dan, dat bij $T=4^{\circ}.2$ K. het grootste product der stroomsterkten ongeveer 250×250 is geweest²⁾; met behulp eener

1) Een meermalen herhaald inducereen met steeds sterkere velden — terwijl de ringen koud blijven — maakt de verschijnselen ingewikkeld. Bij een zoodanige proef op 27 November 1923 liepen de stroomen tegengesteld, zoodat de ringen elkander afstootten. Waarschijnlijk vloeit dit voort uit het bereiken der drempelwaarde bij een der ringen.

2) De sterkte der stroomen in beide ringen is natuurlijk niet dezelfde. Met behulp der formules

$$\begin{aligned} L_1 i_1 + M i_2 &= -N_1 \\ M i_1 + L_2 i_2 &= -N_2 \end{aligned}$$

waarin L_1 en L_2 de coëfficiënten van zelfinductie (50 en 31), M

bifilaire ophanging vonden wij in dat geval voor de grootte van het koppelmoment $12.5 \text{ gr} \times \text{cm}$.

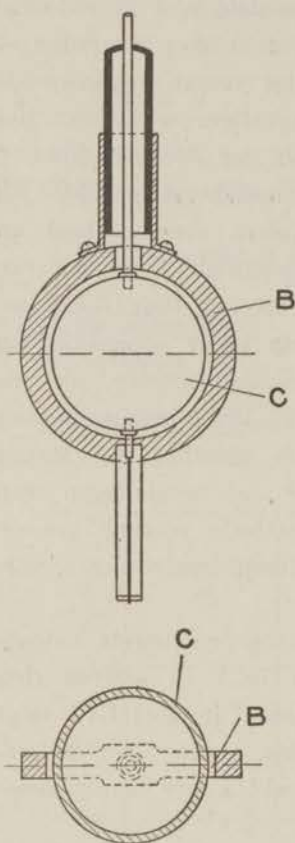


Fig. 22.

§ 48. *De onveranderlijke verdeling der persisteerende stroomen over een supra-geleidenden bol, die in een magneetveld geplaatst is.* Toen door verfijning der methode de supra-geleidende ringen steeds weerstandslouzer bleken te zijn, bracht dit Prof. ONNES tot de gedachte, dat de banen der persisteerende stroomen, zelfs bij aanwezigheid van uitwendige magneetvelden, in het metaal vastliggen.

Tot onderzoek hiervan werd de looden ring *A* uit het toestel, beschreven in § 47, vervangen door een hollen looden bol *C*, dik 0.4 mm, met uitwendigen diameter van 29.0 mm (zie fig. 22). Hij was gemaakt door gesmolten lood tusschen twee glazen bollen te gieten en den buitensten hiervan te verwijderen. De gebruikte toestellen, de methode en plaats van

die van wederzijdse inductie (18_s) en N_1 en N_2 de aantallen inductielijnen door de ringen zijn, berekenen wij, dat de stroom i_1 door den buitensten ring 370 A, de stroom i_2 door den binnensten 170 A sterk was. De formules stellen echter eene volkomen supra-geleiding voorop. Voor de formules, gebruikt ter berekening van L_1 , L_2 en M zie men J. C. MAXWELL. Treatise on EL and Magn. II (1881), p. 315 en A. WINKELMANN. Handbuch der Physik III, 2 (1895), p. 375, voor de inductie van persisteerende stroomen in geleiders G. LIPPMANN. C. R. Vol. 168 (1919), p. 73.

waarneming zijn dezelfde, als in § 47 vermeld. Na bij $T = 4^{\circ}.2$ K. met een veld van 659 gauss, sterker dan het drempelveld, stroomen te hebben geïnduceerd, werd de bol 30 graden gedraaid; daarvoor moest de veer over 17 graden getordeerd worden. Over ring en bol loopen stroomen, die door hunne aantrekking deze torsie veroorzaken en in stand houden. De afstanden der spiegels G , H en I tot de bijbehorende schaalverdelingen waren 390, 285 en 290 cm. Met de proef werd niet begonnen, voor de temperatuur der veer die van den kelder was.

Gedurende de vijf eerste minuten na de instelling van A nam het koppel zichtbaar af, evenals bij de proef met de beide loodringen.

Daarna veranderde de plaats der schaalverdelingen in den kijker niet meer. Van de vele aflezingen zijn de volgende de voornaamste; het koppel neemt af, als in de kolom van G de getallen grooter worden.

Datum.	Draaibare spiegel G .	Vaste spiegel H .	Spiegel aan den schroef- kop I .
7 Febr. 1924, 7 u.51 n.m.	23.50 cm	19.68 cm	10.79 cm
10 u.32	23.41	19.63	10.68
8 Febr. 1924, 2 u.22 v.m.	23.42	19.67	10.68
4 u.32	23.39	19.67	10.67
Vervolgens verloop, eerst langzaam, dan sneller ¹⁾ .			
5 u.55	24.00	19.67	10.67
6 u.55 $\frac{1}{2}$	100.00	19.67	10.67

Alle verplaatsingen zijn dus klein. Het slippen der torsie-as is gering, de elastische nawerking hoogstwaarschijnlijk

¹⁾ Bij het begin van het verlopen is er volgens p. 116 van dit proefschrift reeds zooveel helium verdampd, dat ring en bol nog slechts gedeeltelijk in de vloeistof hangen.

lijk miniem, daar zij dan steeds even groot als de verzwakking der stroomen geweest zou moeten zijn, en dit ware zeer merkwaardig. Van 7 u. 51 tot 10 u. 32 schijnt er nog eenige vermindering geweest te zijn, daarna binnen de waarnemingsgrenzen niet meer; het torsiekoppel is ongeveer constant tot op $\frac{1}{50000}$ per uur, ieder der gelijk gedachte stroomen op $\frac{1}{100000}$ per uur¹⁾). Wij wezen reeds op het voorloopige van dit resultaat, daar de elastische nawerking der veer iets grooter zou kunnen uitvallen dan gedacht is.

Inderdaad is dus de opvatting van Prof. ONNES, dat de banen der persisterende stroomen op de supra-geleiders vastliggen en door matige magneetvelden niet kunnen vervormd worden, juist gebleken²⁾).

§ 49. *Het opsporen van supra-geleidende metalen met behulp van persisterende stroomen.* De vervaardiging van weerstanden uit metalen is wegens de physische of chemische eigenschappen of de beschikbare hoeveelheid soms moeilijk. Men kan de eigenschappen der persisterende stroomen benutten, om deze metalen op supra-geleiding te onderzoeken.

a. Als het mogelijk is, uit het aanwezige metaal een ring te maken, kan men deze aan een veer in vloeibaar helium ophangen, en nagaan of er met behulp van een induceerend magneetveld persisterende stroomen in op te wekken zijn;

1) Zie noot 2, p. 121 van dit proefschrift.

2) Prof. LORENTZ heeft aangetoond, dat persisterende stroomen op een supra-geleidenden bol onder den invloed van een nitwendig veld een precessie-beweging zullen hebben, als het HALL-effect niet nul is. Deze beweging moet het koppel veranderen; door uit de resultaten der proef eene bovenste grens voor de hoeksnelheid bij de precessie-beweging aan te nemen, vindt Prof. LORENTZ, dat er practisch geen HALL-effect geweest kan zijn en komt hij vanwege deze ongevoeligheid voor transversale magneetkrachten tot de veronderstelling, dat de electronen-beweging der persisterende stroomen niet die van geheel vrije kan zijn. H. A. LORENTZ. Leiden Rapport IVde Int. Koude-Congres (1924), p. 207.

dit moet blijken uit de constante afwijking, die het systeem dan in het overgebleven magneetveld ondervindt.

Op deze wijze onderzochten wij de supra-geleiding van gallium ¹⁾. In eene cirkelvormige groef van een ivoren plaatje lag een gallium-ring, waarvan de uitwendige diameter 28.0, de inwendige 24.6 en de dikte 1.7 mm was. Het plaatje vervangt in het ringtoestel ²⁾ den binnensten loodring; den buitensten loodring, welks persisterende stroomen door hun magneetveld de supra-geleiding van het gallium zouden kunnen storen, vervingen wij door een halven, cirkelvormigen koperen ring. Ook is de veer van het ringtoestel hier door een acht maal zwakkere vervangen ³⁾. De magneet kon zóó geplaatst worden, dat zijne krachtlijnen eenen hoek van 30 graden met de as van den ring maakten. Bij het verzwakken der velden kreeg de ring inductiestooten, doch keerde snel in den evenwichtsstand terug. Wij hebben hieruit besloten, dat de ring bij $T = 1^{\circ}.6 \text{ K.}$ in een veld van 16.5 gauss niet supra-geleidend was en dat de constante grootte der inductiestooten op een vrijwel constanten weerstand van $T = 4^{\circ}.19$ tot $1^{\circ}.6 \text{ K.}$ wijst.

b. Is het metaal slechts in stukjes of als poeder verkrijgbaar, dan kan men er persisterende stroomen in opwekken, wier banen volgens § 48 vastliggen; het bestaan der stroomen neemt men waar door de afwijking in een magneetveld. Door het bestaan der drempelwaarden is deze afwijking van die door magnetische eigenschappen te scheiden.

Op deze wijze kon de supra-geleiding van korrels uit lood „Kahlbaum” duidelijk aangetoond worden. Hun volume was 0.3 cm^3 . Zij waren van elkander gescheiden door vernis en geplaatst in een glazen buisje van 30 mm lengte en 7 mm diameter; dit buisje hing aan een gevoelige veer. Gebracht in een magneetveld ontstonden er bij verandering hiervan persisterende stroomen, wier banen volgens de proef met den looden bol in het metaal vastlagen en wier bestaan, bij draaiing van het overgebleven veld, door een uitwijking van het buisje gemakkelijk aan te toonen was. Bij een eerste, niet zeer nauwkeurige proef, gelukte het reeds, aan te toonen, dat de persisterende stroomen in de korrels, dank

1) Zie ook § 21 van dit proefschrift.

2) Zie de fig. 19 en 20, p. 114 van dit proefschrift.

3) Zie § 47 van dit proefschrift.

zij het bestaan van een drempelveld, bij $T = 4^{\circ}.2$ K. begonnen te verzwakken in een veld van 500 gauss en bij 585 gauss vernietigd waren; de overeenstemming van het gemiddelde dezer waarden met $H_{(1)}$ is volgens tabel XLVI bevredigend.

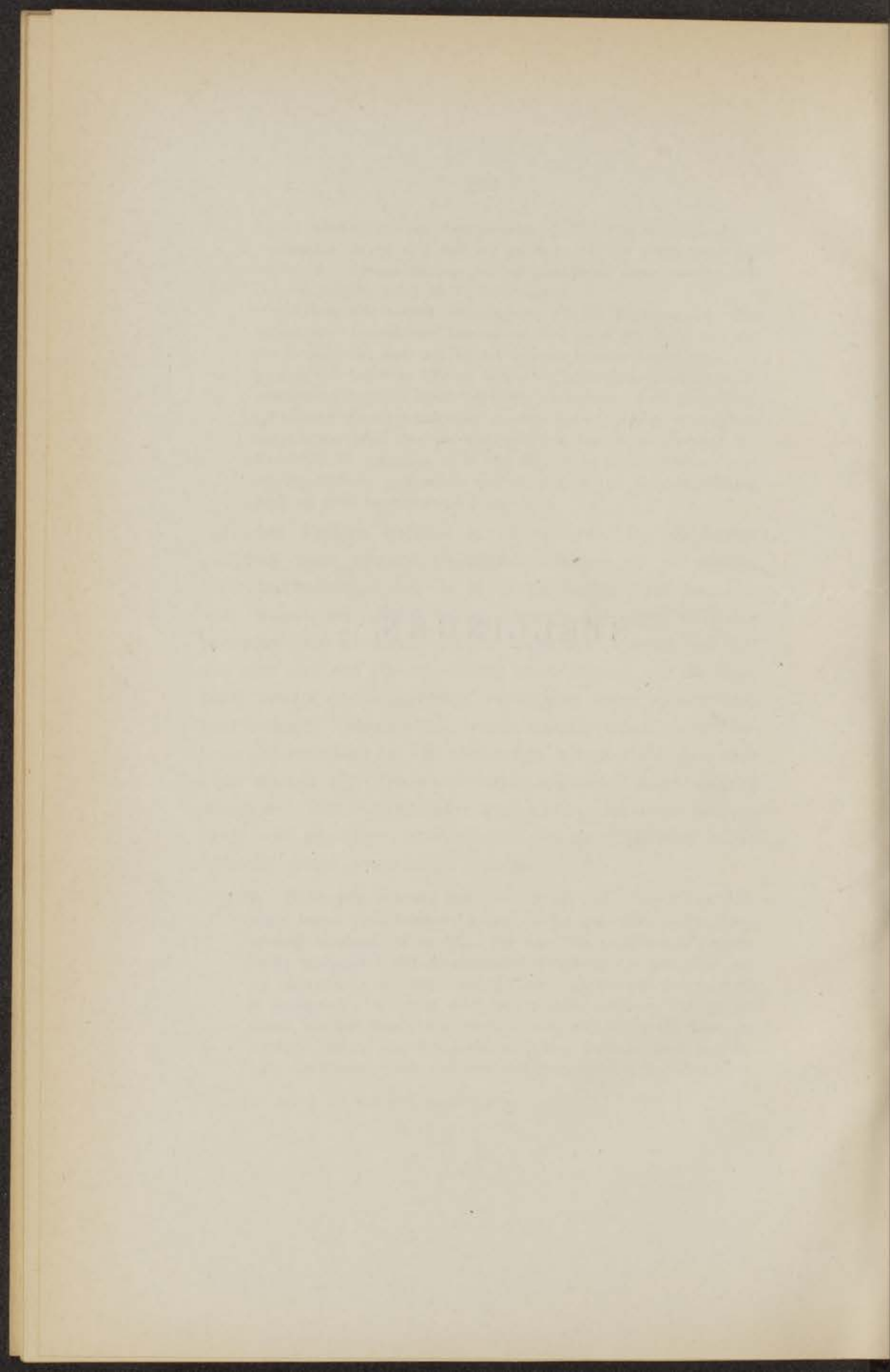
Met hetzelfde toestel onderzochten wij het germanium¹⁾. Het volume der beschikbare hoeveelheid was bijna de helft van dat der loodkorrels; daar wij bij het onderzoek dezer korrels eene uitwijking van ongeveer 100 cm kregen — bijzonderheden omtrent de waarnemingsmethode laten wij weg —, zou met deze hoeveelheid germanium de supra-geleiding er van, zelfs al lag de sprongpunttemperatuur lager dan die van lood, wel aan te toonen zijn. Tot $T = 2^{\circ}.35$ K. ($p_{\text{helium}} = 45$ mm Hg) werd het germanium niet supra-geleidend; wel vonden wij eenig para- of ferromagnetisme, dank zij eene verontreiniging misschien.

In het huidige stadium is de methode, om de supra-geleiding door gewone weerstandsmetingen op te sporen, zeker nauwkeuriger dan de boven geschetste. Het magneetveld, waarin het toestel hangt, alsmede het eigen veld der persisterende stroomen kunnen hinderlijk worden, als het om meer dan een ruwe beslissing gaat. Nemen wij als voorbeeld slechts de nauwkeurige vastlegging eener sprongpunttemperatuur. Vanwege de drempelwaarde zullen de persisterende stroomen en het uitwendige magneetveld dan zeer klein moeten zijn; para- of ferromagnetisme stoort daarbij misschien. Wij mogen echter verwachten, dat door het gebruik van gevoeliger instrumenten deze moeilijkheden in de toekomst zullen overwonnen worden.

§ 50. *Beknopte inhoud van hoofdstuk III.* Bij $T = 4^{\circ}.2$ K. blijft iedere persisterende stroom in het gebruikte looden ring-systeem constant tot op $1/60000$ per uur; dit getal wordt gegeven onder voorbehoud, dat de elastische nawerking der gebruikte veer bij nauwkeurige calibratie niet grooter blijkt te zijn dan in § 46 is opgegeven. De banen der persisterende stroomen op een geleider worden door magneetvelden van matige sterkte niet gewijzigd. Het is mogelijk gebleken, kleine metaalstukken met behulp van persisterende stroomen op supra-geleiding te onderzoeken.

1) Zie ook § 22 van dit proefschrift.

STELLINGEN.



STELLINGEN.

I.

De wijze, waarop CLAUSIUS zijn entropie-begrip invoert, verdient de voorkeur boven die van PLANCK in zijn „Lehrbuch der Thermodynamik“.

II.

Het gebruik van zeer vochtig ijs bij nulpuntsbepalingen vergroot hare nauwkeurigheid.

III.

Platina-thermometers zijn, ondanks het verloop hunner weerstand tusschen -200° en -217° C., ook in dit gebied zeer bruikbaar.

IV.

De gedaante der isothermen van waterstof, gemeten door CROMMELIN en SWALLOW, maakt het zeer waarschijnlijk, dat de kritische temperatuur van dit gas ruim 0.1 graad lager ligt dan tot heden aangenomen is.

Leiden Rapport IVde Int. Koude-Congres Londen 1924, p. 33.

V.

In de nabijheid van het kritische punt is de rechtlijnige diameter van waterstof waarschijnlijk gekromd.

VI.

Blijkens hunne kritiek op de bepaling van de correcties der waterstof-thermometerschaal op de absolute door KAMERLINGH ONNES en BRAAK, hechten KEYES, TOWNSHEND en YOUNG te weinig waarde aan de gebezigde reeksontwikkeling en aan het gebruik van standaardpunten bij metingen.

Journ. Math. and Phys., 1 (1922), p. 261.

VII.

De regel van PASCAL over de additiviteit der dia-magnetische susceptibiliteiten van *organische* stoffen is met de metingen tot heden niet in strijd.

VIII.

Indien de afmetingen van den elementair-kubus van lood bij zeer lage temperaturen door een minimum gaan en dit voor meerdere stoffen geldt, kan de maximum-dichtheid van vloeibaar helium eene aanwijzing voor de onbestaanbaarheid van vast helium zijn.

IX.

Een onderzoek naar het gedrag van supra-geleidende metalen in elektrische velden is gewenscht.

X.

Volgens de ervaring schaadt de afschaffing der Werktuigkunde als verplicht leervak en als eindexamenvak op de Hoogere Burgerscholen het propaedeutisch Natuurkundeonderwijs van vele medische studenten.

XI.

Van de luchtspiegelingen, waarneembaar door *geringe* temperatuurverschillen der luchtlagen boven een *uitgestrekte*, vlakke bodem, zijn die in Noord-Hollands polderland een typisch voorbeeld.

XII.

In meerdere harer onderdeelen heeft de Proefondervindelijke Natuurkunde behoefte aan eene betere internationale samenwerking.

