

48

M E T I N G E N

OVER

HET VERSCHIJNSEL VAN HALL

IN BISMUTH.

PROEFSCHRIFT

DOOR

A. LEBRET.



LEIDEN. — EDUARD IJDO.
1895.

Diss Leiden

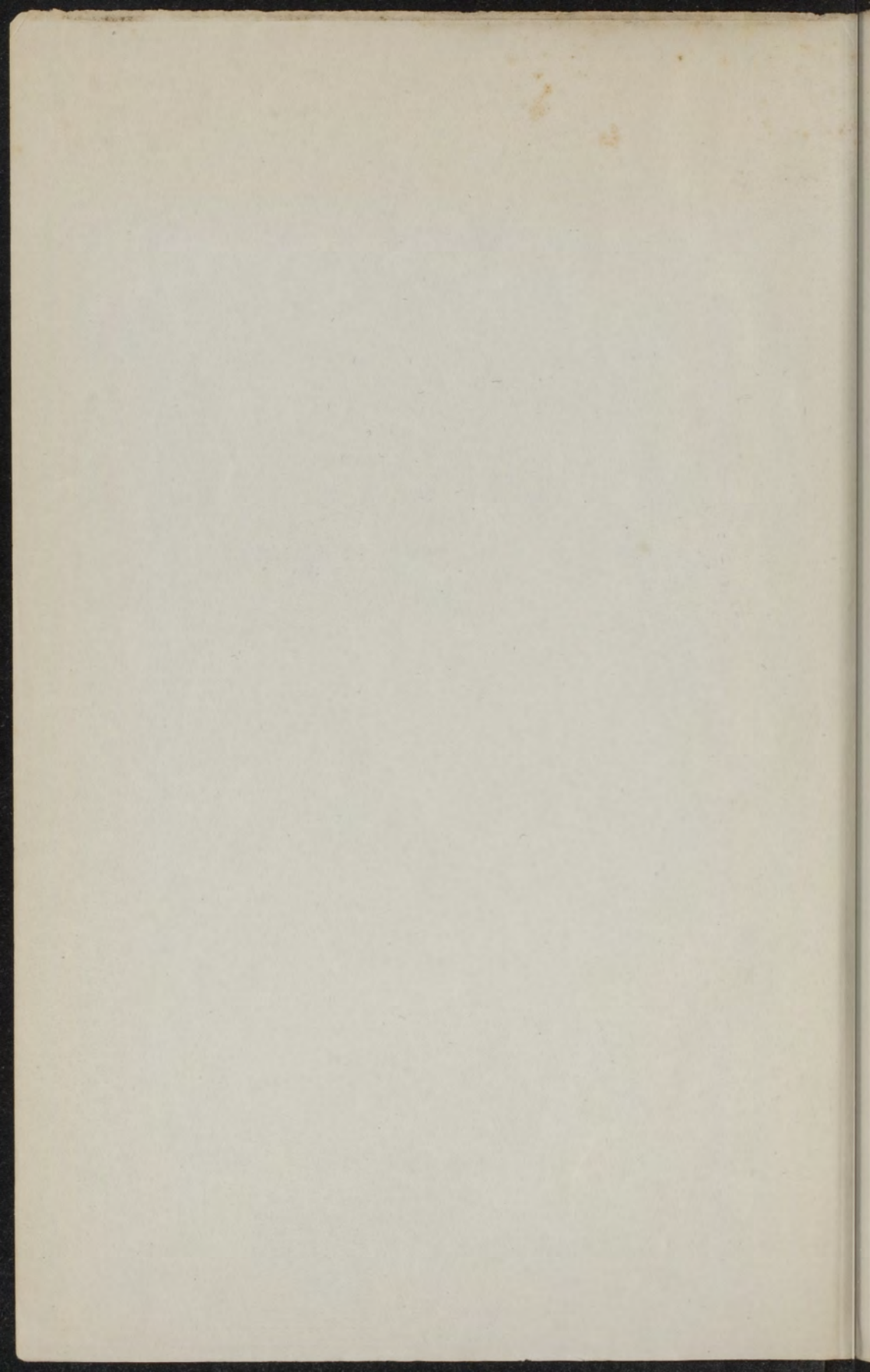
1895 nr 48

Universiteit Leiden



1 586 414 8

145
146



METINGEN OVER HET VERSCHIJNSEL VAN HALL IN BISMUTH.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

METINGEN

OVER

HET VERSCHIJNSEL VAN HALL
IN BISMUTH.

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. P. A. VAN DER LITH,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID,

VOOR DE FACULTEIT TE VERDEDIGEN

op Vrijdag 12 Juli 1895, des namiddags te 2 uur,

DOOR

ADRIAAN LEBRET.

GEBOREN TE DORDRECHT.

LEIDEN. — EDUARD IJDO.
1895.

HET VERZORGEN VAN HALL
W. BISMUTH.

DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE

STOOMDRUKERIJ VAN DE
ACAD. BIBL.

— LEIDEN.

ADRIAN LEBRET

Aan mijne Moeder

en

Aan de nagedachtenis van mijnen Vader.

Handwritten text, possibly a name or title, centered on the page.

Handwritten text, possibly a date or location, centered on the page.

Bij de voltooiing van mijn proefschrift is het mij een aangename taak de Hoogleeraren in de Faculteit der Wis- en Natuurkunde dank te zeggen voor het genoten onderwijs.

U, Hooggeleerde VAN GEER en LORENTZ heb ik daarenboven te danken voor de vriendschap, welke Gij mij zoo vele malen hebt betoond.

Maar vooral richt ik mij tot U, Hooggeleerde KAMERLINGH ONNES.

De tijd, dien ik onder Uwe leiding op het physisch laboratorium heb mogen besteden is voor mij het aangenaamste deel van mijnen studietijd geweest. Ook door de hulp, die Gij mij bij het samenstellen van mijn proefschrift hebt verleend, hebt Gij mij ten zeerste aan U verplicht.

INHOUD.

EERSTE AFDEELING.

Historisch Overzicht.

HOOFDSTUK I.

	Pag.
Het verschijnsel van HALL	1

HOOFDSTUK II.

Theorieën ter beschrijving van het verschijnsel van HALL	7
---	---

HOOFDSTUK III.

Methodes van waarneming.	25
----------------------------------	----

HOOFDSTUK IV.

Uitkomsten.	31
---------------------	----

HOOFDSTUK V.

Overige verschijnselen in het magnetisch veld, welke bij de meting van het effect van HALL in aanmer- king komen.	43
---	----

TWEEDE AFDEELING.

Eigen proefondervindelijk onderzoek.

HOOFDSTUK VI.

	Pag.
Het vervaardigen der plaatjes en het inrichten der proeven	51

HOOFDSTUK VII.

Methode van waarneming	66
----------------------------------	----

HOOFDSTUK VIII.

Uitkomsten mijner metingen omtrent het HALL-effect in Bismuth bij verschillende richtingen der magnetische kracht	83
---	----

HOOFDSTUK IX.

Uitkomsten bij verschillende temperaturen	94
---	----

DERDE AFDEELING.

Eigen theoretisch onderzoek.

HOOFDSTUK X.

Wijziging der mathematische beschrijving van het HALL-effect door de dissymetrie	106
--	-----

STELLINGEN	113
----------------------	-----

EERSTE AFDEELING.

Historisch Overzicht.

HOOFDSTUK I.

Het verschijnsel van Hall.

§ 1. INLEIDING.

CLERK MAXWELL maakt in zijn bekend standaardwerk "A Treatise on Electricity and Magnetism" ¹⁾ de opmerking dat men de krachten die eene constante magnetische kracht uitoefent op geleiders waardoor een elektrische stroom gaat, moet opvatten als eene werking, die wel de stoffelijke deelen van den geleider van plaats kan doen veranderen, maar die niet in staat is den elektrischen stroom te wijzigen, wanneer de geleider door uitwendige krachten op zijn plaats wordt gehouden.

Verschillende onderzoekers ²⁾ hebben getracht toch een

¹⁾ CLERK MAXWELL. Electricity and Magnetism II. p. 144, 1th ed., p. 146 2nd ed.

²⁾ MACH. CARL's Repertorium 6 p. 10, 1870. GORE. Phil. Mag. (IV) 48 p. 393, 1874.

zoodanige werking van de magneetkracht op den electricen stroom op te sporen, maar verkregen slechts negatieve resultaten. HALL te Baltimore evenwel vond in 1879 een verschijnsel, dat met MAXWELL's uitspraak in strijd scheen ¹⁾.

§ 2. GRONDPROEF VAN HALL.

Een zeer dun goudblaadje, ²⁾ uitgeknipt in den vorm van een kruis, wordt aan de vier armen in geleidend verband gebracht met metaaldraden. De draden die aan de lange armen zijn verbonden, loopen naar een galvanisch element, zoodat de electriche stroom in de richting der lengte door het plaatje gaat. De draden die aan de korte armen zijn verbonden, loopen naar een gevoeligen galvanometer. Wij onderstellen dat de beide punten in welke de laatste draden zijn bevestigd in eene lijn van denzelfden potentiaal liggen, zoodat er geen stroom door den galvanometer gaat. Wordt nu het goudblaadje in een magnetisch veld geplaatst, zóó dat de magnetische krachtlijnen loodrecht op het vlak van het plaatje zijn, dan vertoont de galvanometer eene blijvende uitwijking, aantoonende dat er een potentiaalverschil is ontstaan tusschen de punten aan welke de „secundaire” geleiding is bevestigd.

§ 3. WETTEN VAN HET VERSCHIJNSEL VOLGENS HALL.

Het potentiaalverschil verwisselt van teeken, zoo de magnetische kracht in richting wordt omgekeerd, en evenzoo

¹⁾ SILLIM. Journ. 19 p. 200, 20 p. 161 of Phil. Mag. 9 p. 225, 10, p. 301, 1880:

²⁾ Zie Plaat I figuur 1.

wanneer de „hoofdstroom” in richting wordt omgekeerd. Beschrijft men het verschijnsel als een draaiing van de æquipotentiaallijnen om een zekeren hoek, dan blijkt het dat die draaiing bij gebruik van goudblaadjes in tegenovergestelden zin is, als die van de stroomen van AMPÈRE, welke ter beschrijving der magnetische kracht worden aangenomen. Eene draaiing in den zin zooals zij bij goudblad geschiedt, zal negatief genoemd worden.

Het bleek aan HALL dat voor iedere gebruikte grondstof nagenoeg een standvastig getal wordt verkregen, indien het potentiaalverschil, berekend per lengteëenheid, gedeeld wordt door het produkt van magnetische kracht en stroomdichtheid (d. i. de stroomsterkte per eenheid van doorsnede), welke constante dezelfde is als wanneer men het geheele potentiaalverschil deelt door de magnetische kracht en de stroomsterkte en vermenigvuldigt met de dikte.

De wet van het verschijnsel zou dus luiden:

$$e = R M \frac{I}{d},$$

waarin e het potentiaalverschil voorstelt tusschen

de secundaire of HALL-electroden, R eene constante voor de gebruikte grondstof voorzien van het teeken van de draaiing die de æquipotentiaallijnen ondergaan, I de sterkte van den hoofdstroom en d de dikte van het plaatje.

Het potentiaalverschil treedt bij een plaatje niet in volle grootte op, wanneer de bevestiging der secundaire electroden niet aan de zijranden, maar meer naar het midden heeft plaats gevonden. Is de breedte van het plaatje b en de afstand der bevestigingspunten b' dan is het potentiaalverschil nagenoeg $\frac{b'}{b}$

× het bedrag dat men zou gevonden hebben bij bevestiging aan de randen.

§ 4. TOETSING DEZER WETTEN.

α . Wat de evenredigheid aangaat met de sterkte van den hoofdstroom, bleek de wet binnen de grenzen der waarnemingsfouten geheel bevestigd te worden zooals door HALL, LEDUC en VON ETTINGSHAUSEN en NERNST experimenteel werd nagegaan.

β . Ook de afhankelijkheid van d bleek volgens dezelfde onderzoekers juist te zijn aangegeven.

γ . De evenredigheid evenwel met de magnetische kracht komt bij enkele grondstoffen niet uit. Bij hooge waarden van de magnetische kracht is het potentiaalverschil kleiner, dan zou volgen uit de waarde bij kleine magnetische kracht verkregen.

Dit geldt in sterke mate voor bismuth, zooals door LEDUC ¹⁾, VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ²⁾ en HALL ³⁾ werd gevonden. Zelfs namen VON ETTINGSHAUSEN en NERNST een afname van het potentiaalverschil waar bij stijgende magnetische kracht, hetgeen evenwel later door VON ETTINGSHAUSEN aan het tegelijk optredende galvanomagnetische temperatuurverschil (zie Hoofdst. V § 4) werd toegeschreven ⁴⁾.

Ook blijkt de evenredigheid met de magnetische kracht

¹⁾ C. R. 102 p. 358, 1886.

²⁾ Wiener Sitzungsber. 94 p. 592, 1887.

³⁾ Sill. Journ. 36 p. 131 en 277, 1888.

⁴⁾ Wied. Ann. 31 p. 753.

Wij merken nog op dat VON ETTINGSHAUSEN en NERNST, om zich goed rekenschap te geven van het verminderen van den HALL-stroom bij toename van de magnetische kracht, die toename deden geschieden, terwijl de secundaire stroom gesloten bleef. Dit op zich zelf bewijst evenwel niets, daar de ook door hen opgemerkte dissymmetrie (Hoofdstuk IV § 3) sterk stijgt bij toename der magnetische kracht.

niet door te gaan bij nikkel, kobalt en ijzer, zooals voor nikkel reeds door HALL, voor alle drie metalen door VON ETTINGHAUSEN en NERNST werd gevonden.

Het gelukte aan HALL ¹⁾ niet bij nikkel eene andere magnetische grootheid te vinden met welke de HALL-stroom evenredig zou zijn. De magnetisatie scheen wel het best te voldoen, maar bij groote magnetische kracht blijft de magnetisatie toch nog sterker klimmen dan het potentiaalverschil van HALL.

KUNDT ²⁾ vindt dat voor ijzer, nikkel en kobalt de evenredigheid met de magnetisatie wel geheel uitkomt. Hij gebruikte bij zijn onderzoek doorzichtige plaatjes galvanoplastisch op geplatineerd glas neergeslagen en wel van ijzer, nikkel en kobalt. Nadat bij verschillende waarden van de magnetische kracht het potentiaalverschil van HALL is bepaald, meet hij bij diezelfde magnetische velden de draaiing van het polarisatievlak van door die plaatjes gezonden licht. Het bleek dat de gevonden potentiaalverschillen evenredig verlopen met de gevonden draaiingen van het polarisatievlak. En daar door DUBOIS ³⁾ is aangetoond dat de draaiingen van het polarisatievlak evenredig zijn met de magnetisaties, volgt hieruit dat ook de potentiaalverschillen van HALL met de magnetisaties evenredig moeten zijn.

HALL ⁴⁾ oppert tegen de proeven van KUNDT het bezwaar dat de potentiaalverschillen niet onmiddellijk met de magnetisaties zijn vergeleken en dat de waarnemingen slechts

¹⁾ Phil. Magaz. 12 p. 157, 1881.

²⁾ Wied. Ann. 49 p. 257, 1893.

³⁾ Wied. Ann. 31 p. 941, 1887.

⁴⁾ Proc. of the Americ. Acad. 20 p. 198, 1893.

bij de gewone temperatuur zijn verricht. Bij hooge temperaturen wordt voor ijzer het effect van HALL merkbaar sterker, terwijl het onmogelijk is dat de toename der magnetisatie hiermee gelijken tred houdt.

Wij merken hierbij op dat de verandering van de HALL-constante met de temperatuur niet geheel alleen door de verandering van de magnetisatie met de temperatuur behoeft te worden veroorzaakt en dat het dus heel goed mogelijk is dat bij iedere temperatuur de evenredigheid met de magnetisatie uitkomt, maar bij elke temperatuur een andere constante moet worden aangenomen.

Voor bismuth zijn geen waarnemingen of berekeningen gepubliceerd, die een eenvoudig verband aantonen van het effect van HALL met een der magnetische grootheden. Alleen maakt GOLDHAMMER ¹⁾ de opmerking dat volgens PLÜCKER ²⁾ ook de magnetisatie van bismuth bij groote magnetische kracht tot een maximum nadert, hetgeen niet in strijd is met GOLDHAMMER's meening dat bij dit metaal het potentiaal verschil met de magnetisatie evenredig zal zijn. Daar evenwel ook volgens latere onderzoekers zooals TÖPLER en v. ETTINGSHAUSEN de magnetische susceptibiliteit in bismuth slechts zeer weinig afneemt bij grooter worden der magnetische kracht, zelfs bijna constant kan genoemd worden, schijnt het ons dat er voor deze meening weinig grond bestaat.

¹⁾ Wied. Ann. 46 p. 97, 1892.

²⁾ Poggend, Ann. 91, p. 1, 1854.

HOOFDSTUK II.

Theorieën ter beschrijving van het verschijnsel van Hall.

§ 1. THEORIE VAN SHELFORD BIDWELL.

α. De eenige theorie, welke het verschijnsel van HALL beschrijft alleen met behulp van andere reeds bekende verschijnselen, is die van SHELFORD BIDWELL¹⁾.

S. BIDWELL neemt aan dat de plaat door de magnetische kracht eenigszins van vorm wordt veranderd. Overdreven voorgesteld zal de vorm worden, zooals in figuur 2 is afgebeeld²⁾. De geharceerde gedeelten zijn door de mechanische

¹⁾ Phil. Magaz. 17 p. 249, 1884.

²⁾ Wij laten hier volgen de door S. BIDWELL gehouden redeneering waardoor hij tot deze vervorming besluit: My first idea was that, since the magnetic force was strongest in the middle of the field, the lower half of the metallic sheet would be, on the whole, transversely compressed and the upper, half extended. But I immediately saw that strains of this nature would not explain HALL's phenomenon, unless indeed it turned out to be the case that lateral compression and extension produced opposite thermoelectric effects to those caused by a longitudinal compression and extension.

. On further consideration I came to the conclusion that no appreciable strains of the kind above referred to would be produced by the transverse force in the magnetic field. This force would be sen-

werking van de magnetische kracht wat samengedrukt, de andere gedeelten zijn uitgerekt.

Verdeelen wij de plaat in vier quadranten (zie figuur 3), dan zal de stroom, die van *A* naar *B* gaat in het quadrant *AC* van een samengedrukt naar een uitgerekt deel moeten overgaan, in het quadrant *CB* van een uitgerekt deel naar een samengedrukt, terwijl het quadrant *DB* zich als *AC* en *AD* zich als *CD* verhoudt.

Volgens de waarnemingen van THOMSON zal nu een PELTIER-effect optreden bij het overgaan van een electrischen stroom van een samengedrukt deel van het metaal naar het uitgerekte deel.

Hierdoor kan zich het geval voordoen, dat warmte wordt geëbsorbeerd in het quadrant *AC*, in welk geval in de quadranten *CB* en *AD* dan juist warmte zal worden ontwikkeld en in *DB* wederom warmte zal worden geëbsorbeerd.

Ten gevolge hiervan zullen dus de quadranten *AC* en *DB* kouder worden dan *CB* en *AD* en daardoor de weerstand in *AC* en in *DB* worden en die in *CB* en *AD* vermeerderen.

Lagen dus de punten *C* en *D* vóór het optreden van het magnetische veld op dezelfde æquipotentiaallijn, dan

sibly uniform across the whole of the middle portion of the strip, for the pole-pieces were flat and within a very short distance of each other, and the strip did not extend across their whole width. Considering the analogy of a beam of wood, rigidly fixed at both ends, and acted upon in the middle by a force perpendicular to its length, I imagined that the transverse force would tend to make the metallic strip assume a distorted form of the same character as that indicated in fig. 2. As thus distorted, the strip may be mapped out into six districts, in three of which the metal is, on the whole, subjected to longitudinal traction, while in the other three it undergoes compression.

zal dit na het ontstaan van het magnetisch veld niet meer het geval zijn.

Bij verscheidene metalen blijkt de gevonden richting van den HALL-stroom in overeenstemming te zijn met deze verklaring. Bij deze metalen is het teeken van de constante van HALL met dat van het PELTIER-effect bij het gaan van een stroom van het samengedrukte naar het uitgerekte deel van het metaal in overeenstemming.

β. Intusschen is het gebleken dat er belangrijke bezwaren tegen deze theorie kunnen worden ingebracht.

De zoo even genoemde overeenstemming van teeken wordt door HALL ¹⁾ bestreden voor aluminium en staal.

RIGHI ²⁾ merkt op dat bismuth door bijvoeging van zeer geringe hoeveelheden tin de eigenschap verkrijgt van bij hooge temperaturen een kleineren weerstand te hebben dan bij lagere, in tegenstelling van het zuivere bismuth. ³⁾ Volgens de theorie van BIDWELL zou dus het teeken van het HALL-effect bij het met tin verontreinigde bismuth tegengesteld moeten zijn aan dat bij het zuivere bismuth, hetgeen door de waarnemingen niet wordt bevestigd.

Verder zou door gewone mechanische krachten dezelfde uitwerking moeten worden teweeggebracht als door de magnetekracht, en wel in nog sterker mate. Toch gelukte het aan RIGHI niet die werking te verkrijgen.

HALL ⁴⁾ en VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ⁵⁾ kozen zulke

¹⁾ Sill. Journal 36 p. 131, 1888.

²⁾ Atti della R. Acc. dei Lincei Trans. 8 p. 331, 1884 of Journal de Physique 2^e Série p. 431, 1884.

³⁾ Toevoeging van tin aan bismuth doet ook de thermo electriche constante sterk veranderen. (Zie o. a. NERNST, Wied. Ann. 31 p. 782, 1887).

⁴⁾ Nature 30 p. 596, 1884.

⁵⁾ Wiener Sitzungsber. 94 p. 603, 1887.

modellen van plaatjes dat volgens BIDWELL's theorie geen of geringere werking moest optreden. Zoo namen b. v. VON ETTINGSHAUSEN en NERNST een halfcirkelvormig plaatje. De stroom trad in het middelpunt in en kon het plaatje aan den geheelen halfcirkelvormigen rand verlaten. Toch werd de gewone waarde van het HALL-effect gevonden.

LEDUC ¹⁾ merkte nog op, dat in strijd met de waarnemingen volgens de verklaring van BIDWELL de ontstaande potentiaalverschillen evenredig zouden moeten zijn aan het kwadraat van den hoofdstroom.

Wij meenen dat zij zelfs evenredig aan de derde macht van den hoofdstroom zullen moeten zijn. Immers de vervorming van de plaat is evenredig met den hoofdstroom. De constante van PELTIER is evenredig met de vervorming en dus ook met den hoofdstroom. De PELTIER-warmte is evenredig met de constante van PELTIER en met den hoofdstroom, dit wordt dus hier evenredig aan de tweede macht van den hoofdstroom. De weerstandsverandering ten gevolge van de PELTIER-warmte is dus ook evenredig aan de tweede macht van den hoofdstroom. En daar de secundaire stroom evenredig moet zijn aan den hoofdstroom en aan de weerstandsverandering, moet deze dus in het geheel evenredig aan de derde macht van den hoofdstroom zijn.

Verder nam LEDUC het potentiaal-verschil in een vloeistofbad even goed waar als in de lucht, hoewel de verwarming dan toch veel minder sterk te voorschijn zou moeten komen.

Wij voegen hierbij nog, dat zelfs in kokende vloeistoffen het verschijnsel van HALL even goed kan worden waargenomen en vestigen de aandacht op het bezwaar dat volgens

¹⁾ *Lumière électrique* 29 p. 230, 1888.

de verklaring van BIDWELL het optreden van den secundairen stroom niet onmiddellijk na het opwekken van het magnetische veld zou kunnen plaats hebben, daar de verwarming tengevolge van het PELTIER-effect eenigen tijd noodig heeft om tot een merkbaar bedrag te klimmen. Uit onze waarnemingen blijkt dat er geen tijd behoeft te verlopen om het verschijnsel in volle sterkte te doen optreden ¹⁾ zooals ook uit proeven van VON ETTINGSHAUSEN en NERNST met plotselinge ontlading van condensatoren kan worden afgeleid ²⁾.

§ 2. THEORIE VAN VON LOMMEL.

Een andere theorie, welke evenwel nieuwe hypothesen noodig maakt, werd door VON LOMMEL ³⁾ opgesteld. Wij geven deze weer in een eenigszins anderen vorm dan VON LOMMEL ze voordroeg.

Zoo een metaalplaatje in een magnetisch veld wordt gebracht en de krachtlijnen loodrecht zijn op het vlak van het plaatje, zal dit worden gemagnetiseerd. Denken wij ons dat die magnetisatie wordt voorgesteld door kringstroompjes van Ampère, dan zullen deze voor de werking naar buiten kunnen worden vervangen door een stroom om den rand van het plaatje heen. Zooals bekend is, bespeurt men van deze randstroomen niets, als er geen elektrische stroom door het plaatje heengaat, want men zal van een permanente

¹⁾ TOMLINSON stelde in Phil. Mag. 17, p. 402 1884 voor, de theorie van S. BIDWELL met het oog hierop te beproeven en te zien of men door omgeving van het plaatje met niet warmte geleidende stof eene vertraging in het optreden van het effect kan te voorschijn roepen.

²⁾ Wiener Sitzungsber. 94 p. 604, 1887.

³⁾ Wied. Ann. 48 p. 462, en 49 p. 320, 1893.

afwijking in een galvanometer, dienende ter meting van een HALL-stroom niets gewaar worden, als de hoofdstroom ontbreekt.

VON LOMMEL neemt evenwel aan dat die randstroomen wel eenig effect zullen hebben op een door het plaatje gaanden electricen stroom in dier voege, dat deze aan dien rand zal worden tegengewerkt waar de onderstelde randstroom een tegengestelde richting heeft. De randstroom moet dus als een wrijvingskracht fungeeren, hetgeen eene geheel nieuwe, overigens onbekende, werking van een stroom is. Het is duidelijk dat twee punten aan weerszijden van het plaatje, die zonder dat het magnetische veld is opgewekt, denzelfden potentiaal hebben, een potentiaalverschil zullen verkrijgen, wanneer men mag aannemen dat de bedoelde werking door de magnetische kracht op deze wijze plaats heeft. De wetten van het verschijnsel, wat betreft de afhankelijkheid van richting en grootte van magnetische kracht en stroomsterkte, volgen dan uit de theorie.

Het is mij niet gelukt een goede voorstelling te verkrijgen van de werking der randstroomen als wrijvingskrachten, welke vooral aan een rand, waar de stroom versterkt wordt, moeielijk is.

Er zijn verder nog meer bezwaren tegen VON LOMMEL's theorie te maken, maar afdoende schijnt ons de opmerking van HALL ¹⁾ toe dat bij nikkel als magnetisch metaal de randstroomen in positieven zin zullen moeten worden aangenomen en toch de draaiing der æquipotentiaallijnen in negatieven zin blijkt plaats te hebben.

¹⁾ Proceedings of the Americ. Acad. 20 p. 197, 1893.

§ 3. MATHEMATISCHE BESCHRIJVING VAN ROWLAND.

ROWLAND ¹⁾ geeft aan hoe de vergelijkingen van MAXWELL voor de electromotorische kracht bij rust van het medium, uitgedrukt in den vectorpotentialaal gewijzigd worden door de nieuwe electromotorische kracht door HALL gevonden.

$$\text{In plaats van: } P = -\frac{dF}{dt} \quad Q = -\frac{dG}{dt} \quad R = -\frac{dH}{dt},$$

worden ze nu:

$$P = -\frac{dF}{dt} + f \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b^1 & c^1 \end{vmatrix}$$

$$Q = -\frac{dG}{dt} + f \begin{vmatrix} c_1 & a_1 \\ c^1 & a^1 \end{vmatrix}$$

$$R = -\frac{dH}{dt} + f \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a^1 & b^1 \end{vmatrix}$$

a^1, b^1, c^1 zijn de componenten van den hoofdstroom,
 a_1, b_1, c_1 die van de magnetische kracht.
 f is eene constante.

§ 4. MATHEMATISCHE BESCHRIJVING VAN HOPKINSON.

HOPKINSON ²⁾ merkte op dat het verschijnsel van HALL niet behoeft te worden beschreven als een directe werking van de magneetkracht op den electricischen stroom afgescheiden van dien op den geleider, maar geheel overeenkomt met het optreden van den „rotatory coëfficiënt of resistance”, waarvan MAXWELL ³⁾ spreekt.

Deze geeft de volgende betrekkingen tusschen de com-

¹⁾ Americ. Journ. of Math. 3 p. 89, 1880 of Beiblätter 5 p. 313, 1881.

²⁾ Phil. Magaz. 10 p. 430, 1880.

³⁾ CLERK MAXWELL. Electr. and Magnet. I. p. 349 (1th ed.), p. 387 (2nd ed.).

ponenten van de electromotorische kracht en die van de stroomdichtheid

$$X = R_1 u + S_3 v + S_2 u - T v$$

$$Y = S_3 u + R_2 v + S_1 u + T u$$

$$Z = S_2 u + S_1 v + R_2 w$$

Hierin wordt T „rotatory coëfficiënt” genoemd. Het bestaan ervan was nooit proefondervindelijk gevonden ten tijde dat deze vergelijkingen werden opgesteld.

HOPKINSON neemt nu aan dat de T er alleen bij een magnetisch veld is en bij iedere waarde daarvan een bepaalde grootte heeft. ¹⁾

¹⁾ Wij nemen woordelijk van HOPKINSON over:

After obtaining these equations, MAXWELL goes on to say;—

»It appears from these equations that we may consider the electromotive force as the resultant of two forces, one of them depending on the coefficients R and S , and the other depending on T alone. The part depending on R and S is related to the current in the same way that the perpendicular on the tangent plane of an ellipsoid is related to the radius vector. The other part, depending on T , is equal to the product of T into the resolved part of the current perpendicular to the axis of T ; and its direction is perpendicular to T and to the current, being always in the direction in which the resolved part of the current would lie if turned 90° in the positive direction round T .

»Considering the current and T as vectors, the part of the electromotive force due to T is the vector part of the product $T \times$ current.

»The coefficient T may be called the rotatory coefficient. We have reason to believe that it does not exist in any known substance. It should be found, if any where, in magnets which have a polarization in one direction, probably due to a rotational phenomenon in the substance.”

Does not the »rotatory coefficient’ of resistance completely express the important facts discovered by Mr. HALL? Instead of expressing these facts by saying that there is a direct action of a magnetic field on a steady current as distinguished from the body conducting the current, may we not with equal convenience express them by saying that the effect of a magnetic field on a conductor is to change its coef-

§ 5. MATHEMATISCHE BESCHRIJVING VAN LORENTZ.

LORENTZ ¹⁾ toont aan, dat in plaats van de meer algemeene betrekkingen van MAXWELL de volgende reeds voldoende zijn ter beschrijving van het verschijnsel van HALL in een vlak plaatje.

$$\begin{aligned} X &= S u + T v \\ Y &= - T u + S v \end{aligned}$$

waarbij het plaatje gedacht wordt in het XY vlak te liggen.

Men vindt in dit geval een potentiaalverschil aan de tegenover elkaar gelegen vrije randen:

$e = T \frac{I}{d}$, zoodat hieruit het verband blijkt dat tusschen T en den coëfficiënt R van HALL moet bestaan. In teeken en grootte wordt T dan gelijk aan $R M$, als M de component is van de magnetische kracht loodrecht op het plaatje.

§ 6. MATHEMATISCHE BESCHRIJVING VAN BOLTZMANN.

α . BOLTZMANN ²⁾ gaat uit van de vergelijkingen van LORENTZ welke hij in den vorm opstelt

$$\begin{aligned} u + h v &= - k \frac{\partial p}{\partial x} \\ v - h u &= - k \frac{\partial p}{\partial y} \end{aligned}$$

Hij merkt op dat het voor de physische interpretatie niet

ficients of resistance in such wise that the electromotive force is no longer a self-conjugate-linear-vector function of the current?

¹⁾ Verslagen en Meded. K. A. v. W. 19 p. 217, 1883. Arch. Néerl. 19 p. 123, 1884.

²⁾ Anz. der kaiserl. Akad. d. W. zu Wien 13, 1886. of Wiener Sitzungsberichte 94 p. 644, 1887.

onverschillig is of de termen waarin h voorkomt in het eerste dan wel in het tweede lid der vergelijking komen te staan.

In het eerste geval zal men in het verschijnsel van HALL een verandering van de coëfficiënten van weerstand, in het tweede geval eene nieuwe electromotorische kracht moeten zien, die door het magnetisme wordt teweeggebracht ¹⁾.

Daar ook de gewone weerstand door het magnetisme wordt veranderd, kiest BOLTZMANN de eerste interpretatie ²⁾.

De behandeling der vergelijkingen wordt gemakkelijker door het invoeren van den hulphoek $\gamma = \text{tg } h$.

De stroomcomponenten uitgedrukt in het potentiaalverval worden:

$$u = - \frac{k}{\sqrt{1+k^2}} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \cos \gamma - \frac{\partial p}{\partial y} \sin \gamma \right)$$

$$v = - \frac{k}{\sqrt{1+h^2}} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \sin \gamma + \frac{\partial p}{\partial y} \cos \gamma \right)$$

De continuïteitsvergelijking

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \text{of}$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0$$

blijft bestaan evenals in het geval dat $h = 0$ was.

Verder heeft men de voorwaarde dat aan de vrije randen de stroom de richting moet hebben langs die randen.

β . Voor rechthoekige plaatjes geeft BOLTZMANN de oplos-

¹⁾ Zie ook Hoofdst. II, § 8.

²⁾ CLOUGH en HALL bespreken dit punt en de Proceed. of the Americ. Academ, 20 p. 190. De eerste opvatting noemen zij de statische, de tweede de kinetische. Ook zij verkiezen de eerste boven de tweede omdat zij meenen dat met de laatste opvatting de gebleken invloed van de temperatuur van het HALL-effect niet vereenigbaar is.

singen in twee grensgevallen. Denken wij ons aan de randen met de afmeting b een volmaakt geleidende reep metaal aangebracht. De randen met de afmeting l zijn geheel vrij.

Onderstellen wij nu als eerste geval dat b zeer groot is ten opzichte van l . Dan verdwijnt de voorwaarde aan den vrijen rand en zal de potentiaal in geen punt van het plaatje veranderen, vergeleken met de onderstelling dat $h = 0$ was en k dezelfde waarde had. Maar wel zal de strooming der electriciteit anders worden. De u wordt verkleind in de

reden $\frac{1}{1 + h^2}$, terwijl er een v bijkomt gelijk aan hu .

De richting van den stroom is over den hoek γ gedraaid.

γ . Als tweede geval onderstellen wij dat de afmeting b zeer klein is ten opzichte van l . Dan kan men over de geheele breedte van het plaatje aannemen dat de stroom in de richting langs de vrije randen verloopt. Dan blijft u dezelfde als wanneer $h = 0$ was en k dezelfde waarde had, terwijl $v = 0$ blijft. De stroomlijnen worden dus niet veranderd. Het potentiaalverschil evenwel van twee tegenover elkaar aan de vrije randen gelegen punten wordt gewijzigd met het bedrag $e = \frac{hI}{kd}$, h is dus gelijk aan Rmk , als R de constante van HALL is. De lijnen van gelijken potentiaal worden om den hoek γ gedraaid maar juist in tegengestelde richting als de stroomlijnen in het zooeven besproken geval gedraaid waren ¹⁾.

¹⁾ Men ziet gemakkelijk in dat deze uitkomst juist is als men in aanmerking neemt dat de aequipotentiaallijnen altijd denzelfden hoek γ met de stroomlijnen moeten maken. In het eerste geval stelden wij de voorwaarde dat de aequipotentiaallijnen in het tweede dat de stroomlijnen onveranderd moesten blijven.

In de praktijk komen deze grensgevallen niet voor. Maar men ver-

§. De oplossing van de vergelijkingen in meer algemeene gevallen geschiedt daardoor dat men uitgaat van de oplossing in het geval dat er geen h is, men voegt er daarna termen afhangende van h bij, zoo dat toch aan de condities voldaan wordt dat de stroom aan de vrije randen langs die randen is gericht.

ε . Het volgende resultaat kan nog uit de formules worden afgeleid.

Kiest men op een plaatje van willekeurigen vorm, maar overal even dik, vier punten waarvan er twee tegenover elkaar gelegene met den primairen stroomgeleider worden verbonden, dan zal het potentiaalverschil dat aan de beide andere punten bij de reeds bestaande waarde ervan komt steeds gelijk zijn aan $\frac{hI}{kd}$. Hieruit volgt dus dat bij gebruik van puntvormige electroden het effect steeds in volle grootte optreedt en ook dat men primaire en secundaire electroden onderling kan verwisselen en dan toch hetzelfde effect ontstaat. VON ETTINGHAUSEN en NERNST hadden deze stelling reeds experimenteel gevonden, vóór BOLTZMANN deze door berekening had bewezen ¹⁾.

§ 7. MATHEMATISCHE BESCHRIJVING VAN GOLDHAMMER.

GOLDHAMMER ²⁾ gaat uit van de betrekkingen die volgens

krijgt een grooter potentiaalverschil naarmate b kleiner is ten opzichte van l . Dit is door VON ETTINGHAUSEN en NERNST experimenteel bevestigd (Zie Wiener Sitz.berichte 94 p. 565, 1887). Als evenwel $\frac{b}{l} = \frac{2}{3}$ is, is de maximumwaarde voor het potentiaalverschil reeds zo goed als bereikt.

¹⁾ Wiener Sitzungsberichte 94 p. 568, 1887.

²⁾ Wiedem. Ann. 31 p. 370, 1887.

MAXWELL ¹⁾ in het algemeen tusschen potentiaalverval en de stroomdichtheid bestaan.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -K_{11} u - K_{12} v - K_{13} w$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -K_{21} u - K_{22} v - K_{23} w$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -K_{31} u - K_{32} v - K_{33} w$$

Er zijn drie onderling loodrechte assen te vinden waarvoor deze vergelijkingen worden:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -K_{11} u + H_3 v + H_2 w$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -H_3 u - K_{22} v + H_1 w$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -H_2 u - H_1 v - K_{33} w.$$

Voor een plaatje dat in het XY -vlak ligt, en waarin de hoofdstroom de richting van de X -as heeft, berekent GOLDHAMMER met toepassing van vereenvoudigingen, waarvan niet wordt opgegeven in welk geval ze mogen worden toegelaten, dat een potentiaalverschil zal ontstaan tusschen de punten van het voorvlak en achtervlak tengevolge van het aannemen van den coëfficiënt H_2 en een potentiaalverschil tusschen punten van den bovenrand en den onderrand tengevolge van het aannemen van den coëfficiënt H_3 .

Wanneer evenwel het theorema der spiegelbeelden zooals dat door LORENTZ ²⁾ is opgesteld doorgaat, kan er geen potentiaalverschil tusschen vóór en achtervlak optreden, zoodat dus $H_3 = 0$ moet zijn.

¹⁾ MAXWELL. Electr. and Magnet. I. p. 384.

²⁾ Zie Hoofdstuk II § 8 d.

Daardoor worden de vergelijkingen eenvoudiger en gaan over in

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -K_{11} u + H v$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -H u - K_{22} v.$$

Indien men nu nog aanneemt dat K_{11} en K_{22} aan elkaar gelijk zijn, verkrijgt men dezelfde vergelijkingen als door BOLTZMANN en LORENTZ zijn opgesteld.

Wij merken hierbij op dat de vergelijkingen dan voor alle onderling loodrechte richtingen in het XY -vlak geheel dezelfde blijven, met dezelfde twee constanten H en K .

§ 8. LOSSE SLOTOPMERKINGEN OMTRENT DE THEORIE.

α . Door VENSKE ¹⁾ is de berekening uitgevoerd den potentiaal in ieder punt van een wigvormige plaat op te geven met de vergelijkingen van BOLTZMANN als uitgangspunt.

β . LEDUC werkt zijne resultaten ²⁾ steeds om tot een andere grootheid D , welke evenzeer het HALL-effect bepaalt als de coëfficiënt R van HALL. Deze D definiëert hij als den hoek waarover de æquipotentiaallijnen door de magneetkracht worden gedraaid bij een magneetveld 1 ³⁾. Daar deze hoek aan zijn tangens gelijk kan gesteld worden, is deze D ook gelijk aan h voor een magnetisch veld 1 , dit is dus gelijk aan Rk .

LEDUC is tot het invoeren van D gekomen, omdat uit zijne waarnemingen over het HALL-effect in bismuth bij

¹⁾ GöTT. Nachrichte. p. 313, 1888.

²⁾ De meeste zijner resultaten zijn verzameld in *Lumière électrique* 29, p. 230, 1888.

³⁾ Zie figuur 4 als voorbeeld van den loop der krachtlijnen in het magnetische veld.

verhooging van temperatuur een afname werd gevonden, die ongeveer gelijk was aan de toename van het geleidingsvermogen van dit bismuth, zoodat dus $Rk = D$ voor eene bepaalde stof ongeveer constant zou zijn bij alle temperaturen.

Daar LEDUC zelf o. a. bij zilver constateerde dat zoowel R als k bij verhooging van temperatuur afnemen, dunkt ons dat voor het invoeren van deze nieuwe constante geen voldoende grond is te vinden. Overigens zal het door hem gebruikte bismuth, dat eene toename van het geleidingsvermogen opleverde, waarschijnlijk met tin gemengd zijn geweest ¹⁾.

Alleen moet worden toegegeven dat de constanten voor het HALL-effect door opgave van D in plaats van R voor verschillende grondstoffen een minder belangrijk verschil vertoonen, daar de grondstoffen met groote R allen een klein geleidingsvermogen k hebben.

γ. BOLTZMANN heeft in 1880 ²⁾ kort na het verschijnen van de eerste proeven van HALL met goudblad aangegeven hoe men bij bepaalde onderstellingen de absolute snelheid der electriciteit zou kunnen berekenen. Door te letten op het verschillend teeken dat de coëfficiënt van HALL voor verschillende grondstoffen later bleek te hebben, moest dit gewijzigd worden ³⁾ tot het berekenen van het verschil van positieve en negatieve electriciteit. In stoffen met positieve R zou de positieve, in die met negatieve R de negatieve electriciteit, de grootste snelheid hebben.

BOLTZMANN merkt op dat deze beschouwingen alleen doorgaan, zoo men de werking die bij het verschijnsel van HALL optreedt opvat als het direct ontstaan van een nieuwe elec-

¹⁾ Zie RIGHI, Journal de Physique 2e Serie p. 131, 1884.

²⁾ Wiener Anz. 2, 1880, p. 12.

³⁾ Wiener Sitz-berichte 94, p. 644, 1884.

tromotorische kracht die in het magneetveld ontstaat, en niet eerst door verandering van de weerstandscoefficienten te voorschijn wordt geroepen.

De onderstelling die hieraan wordt toegevoegd is, dat in een magnetisch veld op de beide electriche vloeistoffen eene werking wordt uitgeoefend, welke dezelfde wetten volgt als de ponderomotorische kracht welke op gewone stoffen werkt.

Deze werking wordt dus voor elk deel evenredig met de snelheid van de electriche stof en met de magnetische kracht gesteld en is loodrecht op beide naar dezelfde zijde gericht. Zoo beide electriche vloeistoffen dezelfde snelheid hadden, zou dus niets van een door de magneetkracht ontstaanden stroom kunnen worden bemerkt. Zoodra evenwel die snelheden verschillen zal die electriche vloeistof welke de grootste snelheid in het plaatje heeft, ook de grootste zijdelingsche kracht ondervinden en dus ten opzichte van de andere eene snelheid verkrijgen, waardoor een electriche stroom ontstaat, welke eerst ophoudt, als het daardoor ontstane potentiaalverschil eene gelijke kracht in tegengestelden zin te voorschijn brengt.

δ. LORENTZ ¹⁾ beschouwt het verschijnsel van HALL in verband met de volgende theorema's.

Bij het nagaan hiervan vat hij het HALL-verschijnsel op als het gevolg van eene in het magnetische veld op de electriche deeltjes direct uitgeoefende werking ²⁾.

1. De punten van een of ander stelsel verkeereren tengevolge van krachten, welke de deelen van het stelsel op elkaar uitoefenen, in beweging. Nemen wij op een bepaald

¹⁾ Verslagen en Mededeelingen K. A. v. W. 19 p. 217, 1883.

²⁾ Zie Hoofdstuk II § 6 z.

oogenblik de spiegelbeelden van alle punten van het stelsel ten opzichte van een vaststaand vlak, en onderstellen wij dat in dit nieuwe stelsel die punten van denzelfden physischen aard zijn als de oorspronkelijke en de krachten volgens dezelfde wetten tusschen de punten werken als in het eerste, dan zal het tweede stelsel steeds het spiegelbeeld van het eerste blijven.

Dit theorema komt voor verschijnselen waarbij electriche en magnetische werkingen tegelijk optreden, niet uit, tenzij men of alleen het bestaan van electriche stoffen aanneemt, zoodat de magnetische eigenschappen als een gevolg van bewegingsverschijnselen moeten worden opgevat of alleen het bestaan van magnetische stoffen aanneemt. De eerste onderstelling is dezelfde als die aan de theorie van AMPÈRE omtrent het wezen van het magnetisme ten grondslag ligt, en door deze aan te nemen wordt het spiegelbeeld van een magneetnoordpool een magneetzuidpool, waardoor dit theorema dan bij electro-magnetische verschijnselen en ook bij het verschijnsel van HALL uitkomt.

2. Indien in eenig stoffelijk stelsel de snelheden van alle punten op een zelfde oogenblik worden omgekeerd, zullen deze dezelfde banen in tegenovergestelde richting doorloopen als zij vóór de omkeering doorloopen hadden. Deze stelling behoeft b. v. niet door te gaan, als er krachten werken welke eene functie zijn van den tijd. Zij komt over het algemeen wel uit bij de gewone onderstellingen omtrent de krachten die de electriche verschijnselen teweegbrengen, en kan ook bij het verschijnsel van HALL worden toegepast.

3. Positieve en negatieve electriciteit gedragen zich op dezelfde wijze ten opzichte der ponderabele stof. Deze stelling is in het algemeen niet juist en komt ook bij het verschijn-

sel van HALL niet uit, zoodat dit ons noopt een verschil tusschen het gedrag van positieve en negatieve electriciteit aan te nemen.

ε. ROWLAND ¹⁾ en LORENTZ ²⁾ hebben de vergelijkingen welke het HALL-effect kunnen beschrijven, toegepast op de electricische trillingen welke het licht uitmaken.

Hierdoor kan berekend worden hoe groot in een elliptischen gepolariseerden lichtbundel, die na terugkaatsing door een gemagnetiseerden spiegel uit een lineair gepolariseerden lichtbundel ontstaat, de component is van het loodrecht op den invallenden bundel gepolariseerde gedeelte. Men zou aldus eene aaneensluiting krijgen van het verschijnsel van KERR aan dat van HALL.

Uit de waarnemingen blijkt evenwel, dat met de constanten die het HALL-verschijnsel ons geeft het verschijnsel van KERR niet is uit te drukken.

Zoo is noch bij bismuth, noch bij tellurium ³⁾, waarvoor de HALL-coëfficiënt zeer groot is het verschijnsel van KERR waar te nemen. Ook heeft bij nikkel en ijzer het effect van KERR hetzelfde teeken en het effect van HALL een verschillend teeken. Toch is aaneensluiting niet geheel onmogelijk, daar de constanten van het HALL-effect bij zeer snelle wisselstroomen anders kunnen worden. Of deze verandering experimenteel zou kunnen worden geconstateerd, hangt daarvan af of ze reeds belangrijk is bij wisselstroomen van de geringe frequentie, welke door ons kan worden verkregen en die zeer veel kleiner is dan die van de lichttrillingen.

¹⁾ Americ Journ. of Math 3 p. 89, 1880 of Beiblätter 5, p. 313, 1881.

²⁾ l. c. p. 234.

³⁾ P. ZEEMAN. Metingen over het verschijnsel van KERR, p. 8. Dissertatie Leiden, 1893.

HOOFDSTUK III.

Methodes van Waarneming.

§ 1. METHODE VAN HALL.

α . De meest gebruikte methode van waarneming is dezelfde als HALL volgde bij zijn grondproef. De afwijking van een gevoeligen galvanometer, welke met twee punten van de tegenover elkaar gelegen randen van het te onderzoeken plaatje is verbonden, wordt waargenomen bij commutering van het magnetische veld, terwijl de hoofdstroom blijft doorgaan die aan de beide andere zijden van het plaatje in- en uitreedt. De helft van de afwijking wordt aangenomen als te zijn die, welke het magnetische veld zou teweegbrengen, vergeleken met een magnetisch veld 0. Men moet nu de schaalwaarde kennen van den galvanometer om de grootte van den HALL-stroom in absolute maat te bepalen en ook den weerstand van de geheele geleiding meten waarin de galvanometer is opgenomen, om tot de waarde van het potentiaalverschil aan de randen te geraken. De waarde hiervan wordt met des te grooter benadering gevonden uit het produkt van stroomsterkte en weer-

stand, naarmate de weerstand van het plaatje geringer is, in verhouding tot den weerstand van het overige deel der geleiding.

Ter berekening van de constante R van HALL dient nu ook de hoofdstroom te worden gemeten, welke met een tangentenboussole onmiddellijk in absolute maat te vinden is, daarna ook de magnetische kracht welke het best voor en na de proef met een proefplaatje van ROWLAND wordt gevonden. Men trekt dit snel uit het magnetische veld en vergelijkt den in den ballistischen galvanometer verkregen inductiestoot met dien, welke een aardinductor van bekend oppervlak, die in dezelfde geleiding geplaatst is en 180° wordt gedraaid, aan dien galvanometer meedeelt.

Ten slotte moet men nog de dikte van het plaatje meten, wat dikwijls zeer veel zorg vereischt, daar men bij vele metalen een zeer dun plaatje noodig heeft om een waarneembaar effect te krijgen. In dat geval kan men de dikte trachten te vinden door het plaatje te wegen en het oppervlak te meten. Ook door den weerstand te meten, krijgt men eene uitkomst voor de dikte, welke nog al dikwijls blijkt af te wijken van de op de andere wijze gevonden meting. HALL nam van deze waarden het gemiddelde.

β . Men moet bij de hoofdmeting, die van den HALL-stroom, nog op enkele zaken letten, waarvan wij zullen noemen de directe werking van den magneet op den stand van den galvanometernaald, welke vóór de proef kan worden bepaald en later in rekening gebracht. Zoo de punten waaraan de secundaire electroden zijn bevestigd, niet op dezelfde æquipotentiaallijn liggen, zal de galvanometer reeds eene uitwijking verkrijgen bij een magnetisch veld 0. In dit geval werd deze door HALL tot eene geringe waarde teruggebracht door een stukje af te knippen van een der korte

armen van de door hem gebruikte kruisvormige plaatjes. SHELFORD BIDWELL ¹⁾ gebruikte een verschuifbare klem en verstellde die tot dat de uitwijking verdwenen was. VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ²⁾ verbonden aan twee punten der secundaire geleiding, welke door een kleinen weerstand zijn gescheiden, de toeleidingsdraden van een element van DANIÉLL, welke verbinding langs een weerstandsbank wordt geleid, waarin de weerstand gekozen wordt, zóó dat de afwijking in den galvanometer wordt opgeheven.

Deze methode wordt aanbevolen in het leerboek van MÜLLER-POUILLET ³⁾ en ook gebruikt door VAN AUBEL ⁴⁾. Zij eischt standvastigheid van den hoofdstroom en van de electromotorische kracht van het DANIÉLL-element.

γ. Door VON ETTINGSHAUSEN en NERNST werd ook wel de afwijking tot een klein bedrag gereduceerd, door een punt van den primairen met een van den secundairen stroom te verbinden langs een grooten weerstand, welke naar omstandigheden kan worden gekozen.

Deze door BOLTZMANN voorgestelde methode heeft het voordeel, ook bij veranderlijken hoofdstroom te kunnen dienen.

Wij zullen dezen stroom zijstroom noemen ⁵⁾.

¹⁾ l. c. p. 254.

²⁾ l. c. p. 572.

³⁾ MÜLLER-POUILLET, Lehrbuch der Physik III, p. 923.

⁴⁾ Arch. des Sciences phys. et nat. 33. n^o 3. Maart 1895.

⁵⁾ VON ETTINGSHAUSEN en NERNST hebben ook met den zijstroom het effect van HALL gemeten. (Zie Wiener Sitz. berichte 94 p. 576 1887). Zij gingen na hoeveel weerstand bij iedere richting der magnetische kracht in den zijstroom moest worden aangebracht om in het geheel geene afwijking in den galvanometer te verkrijgen en berekenden de constante van HALL met behulp van nog enkele andere te meten grootheden.

δ. Eene methode waardoor de inductiestroomen onschadelijk gemaakt worden, welke het langzamerhand verzwakkende magnetische veld in de secundaire stroomgeleiding teweegbrengt is door SHELFORD BIDWELL ¹⁾ meegedeeld. Hiertoe splitste hij één der twee draden van den secundairen stroom in tweeën en boog deze deelen om, zóó dat zij symmetrisch verliepen t. o. van den anderen draad. Deze twee gedeelten kwamen buiten het magnetisch veld weer bij elkaar. De in de beide gedeelten ontstane inductiestroomen zijn tegengesteld en zullen elkaar geheel kunnen opheffen bij volkomen symmetrische ligging der draden. Overigens kan men ook den weerstand van een van beide gedeelten wijzigen zooals S. BIDWELL zelf meestal uitvoert.

ε. LEDUC ²⁾ meet het potentiaalverschil van HALL onmiddellijk met een capillair-electrometer van LIPPMANN. Voor kleine potentiaal-verschillen is dit niet wel mogelijk, maar het voordeel van de methode is dat de fout in de weerstandsbeplating van de secundaire geleiding wordt vermeden en veranderingen in dien weerstand b.v. aan de contacten onschadelijk worden.

§ 2. METHODE VAN RIGHI.

α. RIGHI ³⁾ neemt een plaatje van willekeurigen vorm. De hoofdstroom treedt in één punt binnen het plaatje en verlaat het aan twee andere punten, waar draden zijn bevestigd, die naar een differentiaal-galvanometer loopen. Men kiest de twee laatste punten zóó dat zij het ontbreken

¹⁾ Phil. Mag. 17. p. 253, 1884.

²⁾ Lumière élect. 29. p. 232, 1888.

³⁾ Acc. dei Lincei Trasunti, 3 Juni 83, of Journ. de Physique 2. p. 512, 1883. 3. p. 127. 1884.

van het magnetisch veld op een zelfde æquipotentiaallijn liggen, zoodat in den differentiaalgalvanometer geene afwijking wordt waargenomen. Brengt men het plaatje in een magnetisch veld, dan wordt de gelijkheid van potentiaal in de twee bedoelde punten verbroken en eene afwijking van den galvanometer wordt waargenomen.

Deze methode werd door RIGHI aanbevolen voor stoffen waarvan moeielijk een dun plaatje in regelmatigen vorm kan worden gemaakt. Uit de stelling van BOLTZMANN ¹⁾ blijkt dat ook bij gebruik van de methode van HALL een regelmatige vorm onnoodig is.

β. VON ETTINGSHAUSEN ²⁾ heeft berekend met gebruikmaking der uitkomsten door BOLTZMANN verkregen, dat met de methode van RIGHI het potentiaalverschil aan de twee met den differentiaalgalvanometer verbonden punten de helft is van het potentiaalverschil, dat onder overigens gelijke omstandigheden volgens de gewone methode van HALL wordt verkregen. Hierbij wordt ondersteld dat de weerstand van het plaatje zeer klein is ten opzichte van die van de galvanometerklossen, of wel dat de beide klossen volkomen denzelfden weerstand hebben. Dit laatste was bij RIGHI niet geheel vervuld, daar de differentiaalgalvanometer bij onvolkomen aequipotentiaaliteit der twee gekozen punten, stroomloos werd gemaakt door een weerstand bij een der klossen te voegen.

γ. Experimenteel komt deze berekening zeer voldoende uit bij gebruik van rechthoekige bismuthplaatjes en keuze der drie electroden aan drie der punten waar bij de gewone methode van HALL de toeleidingsdraden zijn bevestigd.

¹⁾ Zie Hoofdstuk II § 6. ε

²⁾ Wiener Sitzungsberichte 94, p. 808. 1887.

Kiest men de twee punten welke aequipotentiaal moeten zijn op grooteren afstand van het instroomingspunt dan bij de zooeven genoemde inrichting, dan wordt met de methode van RIGHI meer dan de helft van het potentiaalverschil waargenomen, dan met de methode van HALL en zijn deze 2 punten dichter bij het instroomingspunt, dan wordt minder dan de helft dezer waarde gevonden.

Neemt men b. v. een plaatje in den vorm van een uitgesneden vlag (zie figuur 5.) dan kan men den stroom in *A* laten intreden en in *a* en *b* doen uittreden, in welk geval men een sterkere afwijking krijgt, dan wanneer men den stroom bij *B* laat intreden en evenzeer bij *a* en *b* uittreden. De som dezer afwijkingen is gelijk aan de afwijking welke in een even gevoeligen galvanometer wordt verkregen, zoo de hoofdstroom volgens de methode van HALL het plaatje binnentreedt en in *B* verlaat, terwijl *a* en *b* als secundaire electroden zijn gekozen.

HOOFDSTUK IV.

Uitkomsten.

§ 1. PROEVEN OVER HET HALL-EFFECT BIJ GEWONE TEMPERATUUR.

De volgende getallen zijn verkregen voor de constanten R van HALL.

	VON ETTINGSH. & NERNST.	HALL.
Tellurium	+ 530	
Bismuth.	— 10,1	— 8,6
Antimonium	+ 0,19	+ 0,11
Kool.	— 0,18	
Nikkel	— 0,24	— 0,15
Staal.	+ 0,017	+ 0,033 (hard) + 0,012 (week)
IJzer	+ 0,011	+ 0,008
Kobalt	+ 0,0046	+ 0,0025
Natrium	— 0,0025	
Palladium	— 0,0011	
Magnesium	— 0,00094	— 0,0035
Zilver.	— 0,00083	— 0,00086
Goud	— 0,00071	— 0,00066

Cadmium	+	0,00055	
Koper.	-	0,00052	- 0,00052
Zink	+	0,00041	+ 0,00082
Nieuwzilver	-	0,00053	
Aluminium	-	0,00038	- 0,00037
Platina	-	0,00024	- 0,00024
Lood	+	0,00009	0
Tin	-	0,00004	- 0,00002.

Deze cijfers zijn voor 20° of kamertemperatuur gevonden en de grootste zijn uitgekozen, zoo er verschil in getal bestaat bij materiaal uit verschillende bron afkomstig ¹⁾).

Al de grondstoffen waarvan in beide kolommen de getallen zijn opgegeven, zijn het eerst door HALL onderzocht, behalve bismuth, waarvan de voor dit verschijnsel sterk sprekende eigenschappen door RIGHI zijn ontdekt. De overige grondstoffen zijn door VON ETTINGSHAUSEN en NERNST het eerst onderzocht.

β. Legeeringen van zink en koper in verschillende verhoudingen werden door HALL ²⁾ beproefd en het bleek dat wel steeds getallen werden gevonden, welke tusschen die van zuiver zink en zuiver koper inlagen, maar dat de uit de procentische samenstelling berekende getallen steeds te groot waren, zoodat het koper op het cijfer van het HALL-effect een grooteren invloed uitoefent dan het zink.

Eene legering van bismuth en lood was reeds door

¹⁾ Deze verschillen zijn vooral voor bismuth zeer groot, blijkbaar afhangende van de zuiverheid. Zie Wiener Sitz berichte 94, p. 591—597. 1887. Ook de thermo-electrische eigenschappen van bismuth hangen zeer van de zuiverheid er van af. Zie o. a. NERNST, Wied. Ann. 31, p. 782 1889.

²⁾ Sill. Journ. 29, p. 117. 1885.

LEDUC ¹⁾ onderzocht vóór de resultaten van RIGHI bekend waren. Deze gaf kleinere waarden voor het HALL-effect dan het zilver. LEDUC meent hieruit te mogen concludeeren dat het verschijnsel van HALL met den kristallijnen toestand zou samenhangen.

γ. In de zooëven aangehaalde verhandeling van HALL maakt deze nog melding van een permanent effect in staal en later ²⁾ nog van een permanent effect in kobalt.

δ. RORTI ³⁾ onderzocht electrolyten. Er werd geen eigenlijk HALL-effect gevonden en alleen een potentiaalverschil dat langzamerhand ontstond waargenomen, en door hem aan de ponderomotorische werking van de magnetische kracht op de zoutdeeltjes wordt toegeschreven.

ε. Het HALL-effect in verdunde gassen, door welke men electrische ontladingen doet gaan is door BOLTZMANN ⁴⁾ onderzocht.

ζ. DRUDE en NERNST ⁵⁾ vonden geen HALL-effect in kwik.

§. Ten slotte zij nog opgemerkt dat KUNDT ⁶⁾ in electrolytisch uit bismuth-tartraat neergeslagen bismuth een HALL-effect vond, dat zeer vele malen kleiner was dan het effect in gegoten bismuth. VAN AUBEL ⁷⁾ bevestigt dit, maar vindt het gewone HALL-effect terug in het bismuth uit zuur bismuth-nitraat neergeslagen. Het resultaat met bismuth-tartraat schrijft hij toe aan eene bijmenging van kool.

¹⁾ Zie o. a. *Lumière électr.* 29 p. 233, 1888.

²⁾ *Sill. Journ.* 36. p. 277. 1888.

³⁾ *Atti della R. Acc. dei Lincei* 12. p. 397. 1882 of *Journ. de Physique*, 1883.

⁴⁾ *Wied. Ann.* 31, p. 789, 1887.

⁵⁾ *Wied. Ann.* 42. p. 568. 1891.

⁶⁾ *Wied. Ann.* 49 p. 269. 1893.

⁷⁾ *Arch. des Sciences phys. et nat. de Genève.* 15 Maart 1895.

§ 2. INVLOED VAN DE TEMPERATUUR OP HET HALL-EFFECT.

α. Deze invloed is het eerst door den ontdekker van het verschijnsel onderzocht ¹⁾. Het plaatje werd gebracht in een vloeistofbad, waartoe gebruik werd gemaakt van een bak, welke bestond uit twee cylinders, die door een plat gedeelte waren verbonden dat tusschen de magneetpolen kon worden geplaatst. Deze bak werd met water gevuld en gebracht op temperaturen tusschen 0° en 30°.

De magnetische metalen blijken eene toename, de niet of diamagnetische metalen een kleine afname van den HALL-coëfficiënt, met stijgen van de temperatuur, te vertoonen.

De getallen voor de magnetische metalen worden opgegeven en zijn voor de toename van het HALL-effect bij stijgen van de temperatuur met één graad:

IJzer . . .	0,007
Staal . . .	0,003
Kobalt . . .	0,010
Nikkel . . .	0,007

β. Door CLOUGH en HALL ²⁾ zijn tusschen ruimere temperatuurgrenzen n.l. 20° en 360° metingen verricht van het HALL-effect. De verwarming geschiedde in een luchtbad. De waarnemingen zijn door thermostroomen onzuiver, maar door van vele het gemiddelde te nemen, achten CLOUGH en HALL deze voor een groot gedeelte te zijn geëlimineerd.

De plaatjes hadden den vorm van een kruis met zeer

¹⁾ Phil. Mag. 12. p. 157. 1881.

Phil. Mag. 15. p. 341. 1883.

Sill. Journ. 29. p. 117. 1885.

²⁾ Proceed. of the Americ. Acad. 20 p. 189. 1893.

lange armen. De soldeerplaatsen werden buiten het verwarmde gebied gebracht. Bij de mededeeling der uitkomsten is rekening gehouden met de geschatte vermindering van het magnetisch veld door het zwakker worden van den stroom in den electro-magneet.

γ. Voor koper geven CLOUGH en HALL de volgende getallen:

Zij voor	23°	het HALL-effect	1,	dan
is het bij	210°		0,9	
	360°		1.	

Ook voor phosphorbrons schijnt de temperatuurcoëfficiënt 0 of zeer klein te zijn.

δ. Daarentegen geven de waarnemingen bij staal

18°	. . . . .	1
116°	. . . . .	2.8
199°	. . . . .	5.2
263°	. . . . .	7.6
319°	. . . . .	9.5

ε. Een zeer eigenaardig verloop toont nikkel. Uit de getallen welke CLOUGH en HALL geven, berekenen wij de volgende:

Temperatuur. HALL-effect. Dag van waarneming.

Magnetisch veld 1500 (c. g. s.)

18°	. . . . .	1	. . . . .	27 April	1892
20°	. . . . .	1.03	. . . . .	10 Mei	"
22°	. . . . .	0.94	. . . . .	6	" "
22°	. . . . .	1.00	. . . . .	7	" "
98°	. . . . .	1.53	. . . . .	6	" "
192°	. . . . .	2.40	. . . . .	6	" "

200°	1.73	9 Mei	1892
211°	1.27	9 "	"
257°	0.47	9 "	"
305°	0.13	9 "	"
316°	0.15	9 "	"

Magnetisch veld 3000 (c. g. s.)

20°	1	10 Mei	1892
22°	0.90	12 "	"
29°	1.15	18 "	"
128°	1.70	12 "	"
177°	2.50	18 "	"
213°	0.90	12 "	"
252°	0.51	16 "	"
345°	0.06	17 "	"
345°	— 0.12	18 "	"

Wij zien dus dat het HALL-effect toeneemt bij het stijgen van de temperatuur, totdat bij ongeveer 200° plotseling eene sterke afname intreedt ¹⁾.

ζ. De verandering van het HALL-effect met de temperatuur in bismuth is door LEDUC ²⁾ gemeten en het resultaat zijner waarnemingen verricht tusschen 0 en 70° geeft hij in de formule

$$R_t = R_o (1 + m t - n t^2)$$

waarin $m = 0.00541$

$n = 0.000093$ en

R_o de coëfficiënt van HALL bij 0° is.

¹⁾ Eene graphische voorstelling geeft figuur 6. De lijn *A* geeft het verloop van de HALL-constante in staal met de temperatuur, *B* en *C* dat van de HALL-constante in nikkel respectievelijk bij velden 1500 en 3000. De getallen bij de ordinaten geplaatst stellen schaaldeelen voor.

²⁾ C. R. 102. p. 358. 1886.

Hieruit zou volgen dat het maximum van den HALL-coëfficient bij 29° zou liggen. De weerstand van dit bismuth neemt bij stijgen van de temperatuur tusschen bepaalde grenzen af en wordt gegeven in de formule:

$$r_t = r_o (1 - p t + q t^2)$$

waarin $p = 0.00303$

$$q = 0.0000188.$$

Dezelfde waarnemer ¹⁾ vond bij zilver een afname van R van 0.4% per graad temperatuursverhoging.

z. Ook VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ²⁾ hebben bij bismuth den invloed van de temperatuur waargenomen. Bij twee plaatjes vonden zij afname van R van 0° tot 100° tot op de helft van het bedrag, en een toename van weerstand tusschen deze temperaturen, terwijl bij een derde plaatje toename van R bij stijgende temperatuur en afname van den weerstand werd gevonden.

l. Eindelijk is de temperatuur-coëfficient van dit metaal nog onderzocht door DRUDE en NERNST ³⁾ en wel over een grooter temperatuurgebied.

De hooge temperaturen werden verkregen door de dampen van kokend water en van benzoëzure amylaether (kookpunt 254°).

Het dampbad had eenen platten vorm (zie figuur 7), aan de bovenzijde waarvan een breed open gedeelte was gesoldeerd van zoodanige gedaante, dat het bovenaan om het smalle gedeelte heengrijpt, en dus met water gevuld, als koeler dient.

Het onderzochte bismuth was hetzelfde als dat waaruit

¹⁾ C. R. 98. p. 673. 1884.

²⁾ Wiener Sitz.berichte 94. p. 591. 1887.

³⁾ Wied. Ann. 42. p. 568. 1891.

het derde plaatje ¹⁾ van VON ETTINGSHAUSEN en NERNST was gemaakt. De toeleidingsdraden werden niet gesoldeerd, maar direct in het gesmolten bismuth gestoken, op het oogenblik dat het plaatje werd gegoten.

In plaats van een brander van BUNSEN werd voor de verwarming een geelkoperen buis gebruikt, door welke een mengsel van lichtgas en lucht werd geleid dat door vijf in de buis gemaakte openingen kon ontsnappen.

De polen van den magneet werden voor verwarming beschut door twee stukken asbest-papier. Het magnetische veld werd constant gehouden (ongeveer 7000 c. g. s.)

Een der exemplaren leverde de volgende getallen:

Temperatuur.	HALL-effect.
20°	1
254°	0.418
23°	1,005

Een ander plaatje gaf:

Temperatuur.	HALL-effect.
14°	1
243°	0,23
100°	1,23
14°	1,16

In gesmolten bismuth werd geen HALL-effect waargenomen.

Op dezelfde wijze werd ook antimonium aan een onderzoek onderworpen.

¹⁾ DRUDE en NERNST geven op het tweede, maar bedoelen waarschijnlijk het derde plaatje.

De volgende getallen werden verkregen:

Temperaturen.	HALL-effect.
17°	1
210°	0,78
250°	0,73
30°	0,76
23°	0.91

De temperatuur-coëfficiënt is bij dit metaal dus veel kleiner dan bij bismuth, wat mogelijk met het veel hoogere smeltpunt in verband kan worden gebracht.

§ 3. DISSYMMETRIE VAN HET HALL-EFFECT IN BISMUTH
BIJ VERSCHILLENDE RICHTINGEN VAN HET
MAGNETISCHE VELD.

Reeds door RIGHI ¹⁾ die het eerst dit metaal op het effect van HALL onderzocht, werd waargenomen dat de afwijkingen van den galvanometer bij het aanzetten van het magnetische veld voor de beide richtingen daarvan ongelijk was, ja zelfs voor deze beide in denzelfden zin gericht en alleen ongelijk in grootte was. RIGHI die zijne metingen verrichtte volgens de in Hoofdstuk III § 2 vermelde methode, schreef dit verschijnsel ten onrechte toe aan de weerstandsverandering welke bismuth door het magnetische veld ondergaat. Is het plaatje niet overal even dik, dan kan die toename van weerstand zich sterker aan de eene dan aan de andere zijde doen gevoelen, en RIGHI onderstelt dat dit op zich zelf reeds

¹⁾ Zie Journ. de Physique 2e serie, 8 pag. 131, 1884.

de andere stroomverdeeling teweegbrengt, welke in den differentiaal-galvanometer eene afwijking zou veroorzaken.

β Ook von ETTINGSHAUSEN en NERNST ¹⁾ kregen bij bismuth verschillende waarden van den HALL-stroom bij de beide richtingen van het magnetische veld. Deze onderzoekers namen waar volgens de methode van HALL, zoodat bij hunne waarnemingen de bovengenoemde verklaring van RIGHI niet doorgaat. Dit is het eenige wat door von ETTINGSHAUSEN en NERNST omtrent hunne proeven wordt vermeld.

γ HALL ²⁾ heeft naar aanleiding dezer proeven van ETTINGSHAUSEN en NERNST de dissymmetrie in bismuth ook onderzocht en deze bij waarden van het magnetisch veld die 8000 (c. g. s.) te boven gingen, kunnen bevestigen. Bij kleinere waarden was het niet mogelijk de dissymmetrie met juistheid te constateeren, bij een veld van 19000 was zij zeer goed merkbaar. Werd het plaatje omgekeerd, zóódat voor- en achtervlak ten opzichte van elkaar verwisseld werden, dan werd de dissymmetrie weer in dezelfde grootte waargenomen. Wat de richting betreft, HALL deelt hieromtrent niets mede.

δ De jongste onderzoekingen op dit gebied zijn door VAN AUBEL ³⁾ verricht. In een magnetisch veld van ongeveer 4750 (c. g. s.) verhielden zich de afwijkingen van den galvanometernaald bij de twee richtingen van het magnetische veld als 408 tot 138.5. Ook VAN AUBEL heeft de proef genomen het plaatje om te draaien en vindt evenzeer dat de

¹⁾ Zie hiervoor Beiblätter 11, pag. 357, 1887.

²⁾ Sill, Journ. 36, pag. 282, 1881.

³⁾ Arch. des Sciences nat. et phys. de Genève 33, 15 Maart 1895.

dissymmetrie dan dezelfde grootte behoudt, maar tevens dat zij van teeken omkeert, dat wil zeggen dat die richting van de magnetische kracht welke eerst 408 schaaldeelen uitwijking gaf, na het omdraaien eene uitwijking van 138.5 schaaldeelen teweegbracht en omgekeerd.

VAN AUBEL meent evenals RIGHI de dissymmetrie geheel te kunnen verklaren door de weerstandsvermeerdering welke het plaatje door het magnetische veld ondergaat. Hij heft de uitwijking, welke reeds in een niet magnetisch veld plaats heeft, omdat de secundaire electroden niet juist op dezelfde aequipotentiaallijn staan, op volgens de in Hoofdstuk III §1. β beschreven methode, en gebruikt daartoe een DANIELL-element. De invloed van het element op de waarde van den potentiaal aan de secundaire electroden hangt dan bij de door hem gekozen afmetingen van het bismuthplaatje van den weerstand van het plaatje af. Ten gevolge van de weerstandsverandering kan dan eene afwijking in den galvanometer worden waargenomen. Komt hierbij nu nog de HALL-stroom in dezelfde of in tegengestelde richting, dan treedt de dissymmetrie op. Volgens deze verklaring is de dissymmetrie dus geen verschijnsel eigen aan de stof. Kiest men de punten waar de bevestiging der secundaire leiding plaats heeft volkomen juist op eene aequipotentiaallijn, dan komt de dissymmetrie volgens hem niet te voorschijn.

Het bleek VAN AUBEL dat de richting der dissymmetrie bij het door hem gebruikte plaatje uitkomt met de richting waarin de genoemde afwijking door de weerstandsverandering zou plaats hebben. Ook de proef met het omdraaien van het plaatje in het magnetische veld is met deze beschouwingen niet in strijd.

Verdere waarnemingen over de dissymmetrie zijn door

mijzelven verricht en gepubliceerd in het zittingsverslag van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen van 18 April 1895. Zij worden ook beschreven in Hoofdstuk VIII van dit proefschrift en zijn niet met de verklaring van VAN AUBEL in overeenstemming.

HOOFDSTUK V.

Overige verschijnselen in het magnetisch veld,
welke bij de meting van het effect van Hall in aan-
merking komen.

§ 1. WEERSTANDSTOENAME.

Reeds in 1856 is door W. THOMSON ¹⁾ eene verandering van den weerstand in ijzer en nikkel tengevolge van het magnetische veld aangetoond.

Door latere onderzoekers ²⁾ is deze verandering ook geconstateerd voor andere grondstoffen zooals kobalt, bismuth, antimonium en tellurium ³⁾.

Voor verschillende temperaturen en bij zeer verschillende

¹⁾ W. THOMSON. Math. and Physic. Papers 2 p. 307,

²⁾ H. TOMLINSON, Proc. Roy. Soc. 33 p. 72, 1882; RIGHI, Journ. de physique (2) 3 p. 355, 1884; HURION, C. R. 98 p. 4257, 1884; LEDUC, C. R. 98 p. 673, 1884; VON ETTINGSHAUSEN en NERNST, Wiener Sitz. ber. 94 p. 560, 1887; VON ETTINGSHAUSEN, Wiener Sitz.ber. 95 p. 714, 1887; GOLDHAMMER, Wied. Ann. 31 p. 360, 1887, p. 804, 1886; LENARD u. HOWARD, Electrotechn. Zeitschr. 9 p. 341, 1889; LENARD, Wied. Ann. 39 p. 619, 1890; VAN AUBEL, Journ. de Phys. (3) 2 p. 407, 1893; BRÜGER, Industries, 12 Mai 1893.

³⁾ Wied. Ann. 51 p. 750, 1887.

waarden van het magnetische veld is de weerstandstoename in bismuth door HENDERSON ¹⁾ gemeten. Het resultaat dezer uitgebreide onderzoeking is dat de weerstandstoename ten gevolge der magnetische kracht bij lage temperaturen grooter is dan bij hooge; en bij kleine waarden van het magnetische veld bijna evenredig is met het kwadraat van de magnetische kracht en bij grootere waarden ervan evenredig wordt met de magnetische kracht zelf.

Bij 18° is de weerstandsvermeerdering door een veld van 38900 (c. g. s.) teweeggebracht, 2,334 malen de waarde van den weerstand buiten het magnetische veld ²⁾.

De weerstandsvermeerdering is bij verschillende richting van het magnetische veld niet dezelfde ³⁾.

Het verschijnsel van de weerstandstoename wordt door NERNST ⁴⁾ met den naam van „longitudinaal HALL-effect” bestempeld, daar het potentiaalverschil aan de primaire

¹⁾ Wied. Ann. 53 p. 912. 1894.

²⁾ Eene weerstandsverandering van veel geringer bedrag, welke alleen ten gevolge van het sluiten van den Hall-stroom ontstaat, is uit mathematische berekeningen voorspeld door BOLTZMANN ¹⁾ (Wiener Sitz. berichte 94, p. 657, 1887) en door VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ²⁾ (Wiener Sitz.berichte 95 p. 714, 1887) experimenteel bevestigd.

Deze weerstandsvermeerdering wordt waargenomen wanneer men eenige punten aan den bovenkant van een bismuthplaatje met de symmetrisch gelegene punten aan den onderkant door een korte sluiting verbindt.

De metingen van VON ETTINGSHAUSEN en NERNST geven voor de beide richtingen van het magnetische veld verschillende waarden voor de weerstandstoename, hetgeen niet te verwonderen is daar deze afhangt van den ontstaanden HALL-stroom, welke bij bismuth verschillende waarden voor de beide richtingen van de magnetische kracht levert (l. c. p. 728)

³⁾ Zie o. a. VON ETTINGSHAUSEN, Wied. Ann. 31 p. 745, 1887.

⁴⁾ Wied. Ann. 31 p. 783. 1887.

electroden door de toename van den weerstand in het magnetisch veld grooter moet zijn dan er buiten.

§ 2. TRANSVERSAAL THERMOMAGNETISCH EFFECT.

VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ¹⁾ zijn door verschillen, welke de HALL-stroom in bismuth bij twee tegengestelde richtingen van den hoofdstroom vertoonde, op het spoor gebracht van potentiaalverschillen die in een magnetisch veld door een warmtestroom worden teweeggebracht.

Wij hebben hierbij te letten eerst op potentiaalverschillen, die loodrecht op den warmtestroom ontstaan en daarna op die, welke in de richting ervan optreden.

Het transversale potentiaalverschil hangt af van de grootte en van de richting der magnetische kracht en van de grootte en richting van het temperatuurverval. De dikte van het plaatje is zonder invloed.

Wij kunnen er de wet voor opstellen

$$e = E_t M (t_1 - t_2)$$

waarin E_t eene constante, $t_1 - t_2$ het temperatuurverschil aan twee der zijranden en e het potentiaalverschil aan de beide andere randen is.

VON ETTINGSHAUSEN en NERNST maten het potentiaalverschil met gebruikmaking van verschillende metalen als electrode en vinden met allen dezelfde waarde, waaruit zij besluiten dat beide electroden dezelfde temperatuur hebben en dus het potentiaalverschil niet van thermo-electrischen aard is.

NERNST ²⁾ heeft dit effect nog gevonden in antimonium,

¹⁾ Wied. Ann. 29 p. 343, 1886.

²⁾ Wied. Ann. 31 p. 767, 1887.

ijzer, nikkel, kobalt, kool, koper en zink; VON ETTINGSHAUSEN ¹⁾ nam het waar in tellurium.

Ook LEDUC ²⁾ nam het verschijnsel waar door VON ETTINGSHAUSEN en NERNST het transversaal-thermomagnetisch effect genoemd, maar hij schrijft het potentiaalverschil der secundaire electroden aan thermo-electrische werking toe, welke zal optreden indien er door het magnetische veld een temperatuurverschil ontstaat (geheel analoog aan het potentiaalverschil van HALL) loodrecht op de richting van den warmtestroom, zoodat men het verschijnsel zou kunnen opvatten als een draaiing der isothermen door de magnetische kracht. Aan de proef van VON ETTINGSHAUSEN en NERNST waarbij deze verschillende metalen als secundaire geleidingsdraden gebruiken, hecht hij terecht niet veel, daar de electromotorische kracht van een thermo-element waarbij bismuth als het eene metaal wordt gebruikt, zeer weinig van de keuze van het andere metaal afhangt.

Wij moeten de beslissing omtrent dit punt aan nader onderzoek overlaten.

§ 3. LONGITUDINAAL THERMOMAGNETISCH EFFECT.

VON ETTINGSHAUSEN en NERNST vonden ook een potentiaalverschil in de richting van het temperatuurverval bij een bismuthplaatje dat in het magnetische veld wordt geplaatst, waarvan de krachtlijnen loodrecht op het vlak van het plaatje staan.

De richting van het potentiaalverschil was niet voor alle uit verschillende bron afkomstige stukken bismuth hetzelfde.

¹⁾ Wied. Ann. 34 p. 750, 1887.

²⁾ Journ. de Physique 6 p. 378, 1887.

Het is evenredig met het temperatuur-verval en met het kwadraat van de magnetische kracht, van de richting waarvan het niet afhangt.

Wij kunnen er de wet voor opstellen:

$$e = E_l M^2 (t_3 - t_4)$$

waarin $t_3 - t_4$ het temperatuurverschil voorstelt aan dezelfde punten, waarvan het potentiaalverschil e is genoemd E_l is een nieuwe constante.

Wij merken nog op dat dit potentiaalverschil kan worden gemeten door de bedoelde punten te verbinden met een geleiding b.v. van koperdraad, waarin ook een galvanometer is opgenomen. Maar dan zal tengevolge van het temperatuurverschil $t_3 - t_4$ een thermostroom moeten optreden. Komen nu met het ontstaan van het magnetische veld nieuwe potentiaalverschillen te voorschijn, dan zal zich dat openbaren door een wijziging van den thermostroom, zoodat het verschijnsel kan worden beschreven als eene verandering van het thermo-electrische vermogen door het magnetische veld. ¹⁾

NERNST ²⁾ heeft te vergeefs beproefd dit effect in andere grondstoffen aan te toonen.

¹⁾ Bij de proeven welke ik genomen heb om de oorzaak te vinden der dissymmetrie van het Hall-effect in twee richtingen van magnetisatie meende ik dat deze kon zijn ontstaan door eene wijziging van het thermo-electrisch vermogen door het magnetische veld. Ik beproefde dit en vond werkelijk steeds eene toename van den thermostroom bij aanzetten van het veld in beide richtingen. Den thermostroom had ik teweeggebracht door verwarming van de vloeistof waarin zich het plaatje bevindt aan de bovenzijde.

Bij nadere overweging bleek het mij dat ik eene herhaling had vericht van de hier bedoelde proeven van VON ETTINGSHAUSEN en NERNST.

In hoofdstuk VII § 4 A 2 wordt besproken hoe de fouten door dit effect veroorzaakt kunnen worden voorkomen.

²⁾ Wied. Ann. 31 p. 779, 1887.

§ 4. GALVANOMAGNETISCH TEMPERATUURVERSCHIL.

VON ETTINGSHAUSEN ¹⁾ heeft gevonden dat een temperatuurverschil ontstaat aan de secundaire electroden van een bismuthplaatje, waardoor een galvanische stroom gaat als dit plaatje op de gewone wijze tusschen de polen van een electromagneet is geplaatst, zooals bij het nemen van de proef van HALL.

Dit temperatuurverschil is evenredig met den hoofdstroom en wisselt van teeken, zoo de hoofdstroom van richting verandert.

Verder blijkt dat de grootte en de richting van de magnetische kracht steeds van invloed is op de grootte van het ontstaande temperatuurverschil. Keert men de richting van de magnetische kracht om, dezelfde grootte behoudende, dan keert meestal ook het teeken van het temperatuurverschil om; zonder evenwel een gelijke grootte te verkrijgen, ja zelfs komt het voor, dat het teeken niet omkeert en alleen de grootte verandert bij omwisseling van het veld. Een zeer sterke dissymmetrie ten opzichte van de magnetische kracht kenmerkt dus dit verschijnsel.

Vergelijkt men het temperatuurverschil bij ééne richting der magnetische kracht met het temperatuurverschil bij de andere richting der magnetische kracht, dan is het verschil dezer bedragen evenredig met de grootte der magnetische kracht. En dit verschil voldoet dan aan de wet;

$$t_3 - t_4 = E_e MI.$$

waarin E_e een nieuwe constante is.

Dit temperatuurverschil treedt niet onmiddellijk na het

¹⁾ Wied. Ann. 31 p. 737, 1887.

ontstaan van het magnetische veld op, maar naderde bij de proeven van VON ETTINGSHAUSEN in ongeveer 1 minuut tot een maximumwaarde.

Bij het meten van het effect van HALL geeft dit verschijnsel een belangrijke storing. Het ontstaande temperatuurverschil veroorzaakt n.l. een thermostroom, die den HALL-stroom verandert (meestal doet afnemen.)

Eenige vroeger door VON ETTINGSHAUSEN en NERNST gevonden verschijnselen laten zich door dit effect verklaren¹⁾.

1^{ste} dat bij toename van de magnetische kracht de secundaire stroom in de proef van HALL geringer kan worden.

Daar namelijk het HALL-effect niet en dit effect wel evenredig met de magnetische kracht toeneemt, zal bij grooter worden van de waarde der magnetische kracht, dit laatste effect de overhand kunnen krijgen.

2^{de} dat de secundaire stroom in de proef van HALL eenigen tijd noodig heeft om tot eene standvastige waarde te komen.

§ 5. INVLOED VAN HET MAGNETISCHE VELD OP WARMTESTROOMEN.

(Deze invloed is in het algemeen voorspeld door GOLDHAMER²⁾).

LEDUC³⁾ heeft gevonden dat in bismuth, evenals het electrische geleidingsvermogen ook het geleidingsvermogen voor warmte door het magnetische veld wordt verminderd.

LEDUC merkt op dat dit effect neerkomt op eene verschuiving der isothermen, terwijl het in § 2 van dit hoofd-

¹⁾ Wied. Ann. 34 p. 752, 1887.

²⁾ Wied. Ann. 34, p. 382, 1887.

³⁾ Journ. de Physique 6 p. 387, 1887.

stuk beschreven effect als eene draaiing der isothermen kan worden opgevat. Hierdoor is er dus in het plaatje een punt aan te wijzen, waar de temperatuur dezelfde moet blijven vóór en na het opwekken van het magnetische veld.

VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ¹⁾ hebben de vermindering van het geleidingsvermogen niet kunnen constateeren. LEDUC acht de verklaring hiervan mogelijk door aan te nemen dat deze onderzoekers de soldeerplaats hebben aangebracht dicht bij het punt waar de temperatuur onveranderd blijft. Deze verklaring onderstelt evenwel dat VON ETTINGSHAUSEN en NERNST het magnetische veld niet hebben omgekeerd, in welk geval het neutrale punt op eene andere plaats namelijk aan den anderen rand komt te liggen.

§ 6. INVLOED VAN HET MAGNETISCHE VELD OP DE TEMPERATUURVERDEELING. ²⁾

Een koperstaaf wordt aan het eene uiteinde verhit. Het andere uiteinde wordt gebracht tusschen de polen van een electromagneet. De temperatuur in de nabijheid van dit uiteinde nadert tot eene standvastige waarde.

NERNST heeft opgemerkt dat deze waarde wordt verlaagd zoo het magnetische veld wordt opgewekt.

Het verschijnsel eischt evenwel nog nader onderzoek.

¹⁾ Wied. Ann. 29 p. 343, 1886.

²⁾ Wied. Ann. 31 p. 787, 1887.

TWEEDE AFDEELING.

Eigen proefondervindelijk onderzoek.

HOOFDSTUK VI.

Het vervaardigen der plaatjes en het inrichten der proeven.

§ 1. BISMUTHPLAATJE.

z. Wij stelden ons ten doel het HALL-effect bij een of andere stof te meten bij zeer uiteenlopende temperaturen, in het bijzonder ook bij lagere temperaturen bij welke geene metingen verricht zijn. Wegens de groote waarde, die de HALL-coëfficiënt voor bismuth heeft, werd dit metaal uitgekozen. Onder de grondstoffen is alleen bij het tellurium de HALL-coëfficiënt nog grooter, maar het bismuth is veel gemakkelijker te verkrijgen en te behandelen.

In de eerste plaats moest een plaatje van bismuth geconstrueerd worden, dat aan enkele eischen voldoet, wat grootte en vorm betreft. Het is wenschelijk dat het plaatje, tusschen de polen van den beschikbaren magneet gebracht, niet daarbuiten uitsteekt, en het mocht bij mijne proeven

dus niet langer of breeder dan 3 c.M. zijn. Het is niet noodig de dikte tot een zeer klein bedrag terug te brengen, eene dikte van ongeveer 3,5 m.M. bleek voor ons de meest gewenschte te zijn. Wij behoeven dus niet onze toevlucht te nemen tot het electrolytisch neerslaan van bismuth, maar kunnen het metaal behandelen door het te smelten en uit te gieten in eene daarvoor bestemde afgesloten ruimte.

β. Vooreerst werd beproefd het bij 270° in een smeltkroes gesmolten bismuth uit te storten op een uiterst dun stukje glas, dat op een koperen plaat was gelegd. Vier platte glazen reepen, in den vorm van een rechthoek opgesteld, werden met koperdraad zeer stevig tegen dit glasstukje en de plaat gedrukt en sloten dus een ruimte in, binnen welke het gesmolten metaal kon worden uitgestort.

Hoewel het mogelijk bleek op deze wijze plaatjes te verkrijgen, was het toch moeilijk de glazen reepen vast in den juiste rechthoekigen vorm op te stellen, zóó dat zij volkomen tegen elkaar aansluiten en dus beletten dat een deel van het vloeibare bismuth naar buiten treedt.

Bovendien kon men het dunne glas dat het gesmolten bismuth tegen de directe aanraking met het koper beschut, niet van het bismuth, wanneer dit vast geworden was, afscheiden zonder het te breken, zoodat men voor elk plaatje nieuw glas noodig zou hebben.

γ. Hierom werd deze methode verlaten en beproefd om met mica de bedoelde afscheiding van het gesmolten bismuth en koper te verkrijgen. Mica heeft het voordeel te kunnen worden omgebogen om een krasstreep, welke men er met een fijne punt op trekt. Daardoor is het mogelijk niet alleen het grondvlak, maar ook de zijwanden van de bedoelde afgesloten ruimte van mica te maken. Hiertoe

gebruikte ik een stuk mica in den vorm van een vierkant, waarvan de afmeting ongeveer 7 c.M is. Hierop worden vier krasstrepen getrokken elk evenwijdig met een der zijranden en daarvan 2 c.M. verwijderd.

Aan de vier hoekpunten ontstaan dan kleine vierkantjes waarvan de afmeting 2 c.M. is. Deze worden met een schaar afgeknipt. De overblijvende kruisvormige figuur bestaat nu uit een quadratvormig middengedeelte, waarvan de afmeting 3 c.M. is, waaromheen vier rechthoekjes liggen. Worden deze om de krasstrepen omgebogen, dan ontstaat een bak, bij welken de aansluiting der zijwanden aan het grondvlak volkomen, maar onderling minder goed is.

De aansluiting der zijwanden wordt evenwel voldoende, wanneer men tegen deze glazen, of nog beter, koperen reepjes aandrukt.

Wat de dikte betreft van het te gebruiken mica, moet men een middelweg inslaan tusschen te dikke plaatjes, welke het nadeel hebben dat de lucht die zich tusschen de lagen ervan bevindt, deze bij de verwarming op enkele plaatsen bol doet staan, en te dunne plaatjes welke gemakkelijk, vooral op de ingekraste en omgebogen randen, inscheuren.

Is de mica-bak nu gereed en goed gereinigd, dan gaat men als volgt te werk.

Eene vlakke koperen plaat wordt op een ijzeren driehoek geplaatst en met behulp van een waterpas horizontaal opgesteld. De mica-bak wordt nu op de plaat gebracht en de zijwanden door vlakke koperen staafjes aan de vier zijden aangedrukt, zoodat ze allen loodrecht op het vlak van de plaat komen te staan.

Men stapelt eenige stellen van die staafjes op elkaar, zoodat door hunne zwaarte de zijwanden van den mica-bak staande

worden gehouden. Daarna verhit men de koperen plaat met den mica-bak erop totdat men zeker weet dat al het water dat zich nog op het mica kan bevinden, verdampt is.

Smelt men nu in een smeltkroes eene afgewogen hoeveelheid bismuth, ongeveer $1\frac{1}{2}$ maal zooveel als voor de verlangde dikte van het plaatje strikt noodig zou zijn, dan giet men dit uit in den nog goed warmen mica-bak waarbij het meeste bismuth-oxyd of andere verontreiniging in den smeltkroes achterblijft.

Men laat nu het gesmolten bismuth afkoelen en neemt het daarna uit den mica-bak, die hierbij meestal geheel ongeschonden overblijft en dus later weer kan worden gebruikt.

Aan de vier hoeken van den bovenkant is het bismuth tengevolge van de capillariteit afgerond en door de uitzetting welke het bij het vastworden ondergaat, ontstaan er in het midden kleine verhevenheden, zoodat men een laagje moet afvijlen om een scherpen vorm te verkrijgen.

§ 2. HET AANBRENGEN DER ELECTRODEN.

a. De toeleidingsdraden kunnen niet worden gesoldeerd, daar het dan niet mogelijk is waarneming te verrichten bij hooge temperaturen dicht bij het smeltpunt van bismuth.

Daarom werd beproefd om volgens de opgave van DRUDE en NERNST (zie Hoofdstuk IV § 2 S) de draden onmiddellijk in het gesmolten bismuth in te steken. Dit kan geschieden met behoud van den mica-bak, aan de vier zijwanden waarvan op de vereischte hoogte ronde openingen worden gemaakt, waarin de koperdraden juist passen. De mica-bak kan dan niet vele malen achter elkaar worden gebruikt, daar de

openingen uitslijten en dan het gesmolten bismuth doen ontsnappen. De vier koperdraden worden op stelfeltjes vastgelegd en op de vereischte hoogte en diepte ingestoken. Daarna wordt de mica-bak op de gewone wijze verwarmd en het gesmolten bismuth ingegoten.

De uitkomst leerde dat de toeleidingsdraden in het begin wel vast in het bismuth waren, maar door een oxyd-laag waren bedekt, althans de contact-weerstand aan twee contacten samen bedroeg niet minder dan 0,2 Ohm, hetgeen aan de secundaire contactplaatsen schadelijk is, wegens de aanzienlijke vermindering welke de stroomsterkte zal ondergaan, daar de weerstand van de geheele leiding ongeveer 1 Ohm is, en aan de primaire contactplaatsen, wegens de warmteontwikkeling die daar zal plaats hebben.

β. Wij hebben daarom beproefd het bevestigen der draden in een koolzuur atmosfeer te verrichten. Hiertoe werd een roodkoperen bak gemaakt in den vorm van een kubus waarvan de afmeting 30 cM. is. De voegen zijn met hardsoldeer gesloten, alleen het bovenzvlak is los en sluit door omgebogen randen als een deksel vrij goed op het ondergedeelte. In dit deksel zijn twee openingen gemaakt, waarvan ééne dient om een koperen buis door te laten, die tot den bodem reikt en een stroom koolzuurgas toeleidt, dat door de tweede opening weer kan ontsnappen.

Binnen in den koperen bak wordt de mica-bak horizontaal op den bodem opgesteld. De toeleidingsdraden worden op de vereischte hoogte ingestoken en op de goede plaats gehouden door eene kleminrichting, gemaakt uit eene dunne geelkoperen plaat. Deze is namelijk op dezelfde wijze als met het mica geschiedde, tot een bak omgebogen welke van zoodanige afmeting is, dat hij vrij ruim in den roodkoperen bak past.

Van het grondvlak van den geelkoperen bak is een gedeelte uitgesneden, zoodanig dat de mica-bak hierbinnen op den bodem van den roodkoperen bak kan worden opgesteld op de vroeger beschreven wijze. Op het gespaarde gedeelte van het grondvlak van den geelkoperen bak worden nu kleine stukjes uitgeslagen en hierin gaatjes gemaakt, waar de toeleidingsdraden doorheen kunnen gestoken worden. Hetzelfde gebeurt éénmaal aan ieder der opstaande wanden, zoodat de toeleidingsdraden elk door twee gaatjes, één op het zijvlak en één op het grondvlak aangebracht, op hunne plaats worden gehouden.

Het bismuth kan nu niet gesmolten worden ingegoten en wordt dus in vasten toestand in den mica-bak opgehoopt en hierin gesmolten. De warmte-toevoer geschiedde met een grooten brander van BUNSEN, welke onder den roodkoperen bak wordt opgesteld, nadat het deksel erop is aangebracht en de toevoer van koolzuur is begonnen.

Het gelukte mij niet een eenvoudigen indicator te vinden, die het oogenblik kon aanwijzen waarop het bismuth is gesmolten. Daarom werd de tijd opgenomen welke bij een voorloopige proef voor het smelten noodig bleek.

Het resultaat was niet evenredig aan de zorg en de moeite welke deze samengestelde inrichting vereischte. De som der contactweerstand en aan twee contactplaatsen was tot 0,1 Ohm teruggebracht.

Met het aldus verkregen plaatje werden eenige voorloopige proeven genomen, vooral om te onderzoeken welken invloed thermostroommen konden hebben. De geleiddraden, welke aan het plaatje waren vastgegoten, waren kort en werden door klemmen verbonden aan de langere draden, die naar den galvanometer voerden. Het bleek ons, dat toen het

plaatje in den damp van kokend water gehangen was, er zeer aanzienlijke thermostroomen optraden. Veel geringer werden deze, zoo het plaatje in de kokende vloeistof werd gedompeld. Thans waren ze zeer onregelmatig en bleken te wijten te zijn aan de ongelijkmatige verwarming van de klemmen, die aan de secundaire electroden vastgegoten draadjes met de galvanometerleiding waren verbonden. Deze klemmen werden namelijk nu eens door den ontsnappenden waterdamp verwarmd en dan weer door toevallige luchtstroomen afgekoeld.

Hieruit volgt dat het wenschelijk is zeer lange koperdraden aan het bismuthplaatje vast te maken, waardoor de contactplaatsen van deze met de galvanometerleiding buiten het verwarmde gedeelte kunnen blijven.

γ. Bij het nemen van de proef van HALL bij kamertemperatuur bleek zich een bezwaar van anderen aard op te doen. Zoolang het plaatje zich in het magnetische veld bevond en de secundaire stroom was gesloten, bleek het dat er niet een standvastige HALL-stroom optrad, maar de galvanometernaald sterk schommelde. De oorzaak hiervan was gelegen in inductiestroomen door veranderingen in het magnetische veld veroorzaakt. De magnetisatiestroom van den electromagneet werd geleverd door een dynamo, welke door een gasmotor wordt gedreven, en was in het geheel niet standvastig. Hoewel ook over eene accumulatorenbatterij beschikt kon worden, bij welke de veranderingen in stroomsterkte tot een onmerkbaar bedrag kunnen worden teruggebracht, besloten wij toch den in Hoofdst. III § 1 δ beschreven dubbelen draad van SHELFORD BIDWELL te gebruiken, waardoor de inductie in de galvanometerketen geheel vervalt.

De nieuwe eischen welke thans aan de toeleidingsdraden worden gesteld, maken het noodig eene nieuwe methode van bevestiging aan het bismuthplaatje te volgen. Er worden in de vier smalle zijden van het plaatje ongeveer 3 mM. diepe gaten geboord en met een schroefgang voorzien. Dit is niet gemakkelijk, tengevolge van de broosheid van het metaal. Intusschen gelukt het, indien het plaatje aanvankelijk wat dikker wordt genomen, ongeveer 5 à 6 mM., en eerst dan tot een dikte van 3,5 mM. wordt afgevijld, nadat de schroefgangen zijn ingesneden.

ε. De vijf toeleidingsdraden, dik 2 mM. en lang 1,20 M. worden op de volgende wijze behandeld.

Aan de uiteinden van drie der draden wordt een schroefgang gesneden. De twee overblijvenden, die den dubbelen draad moeten vormen, eischen meer uitvoerige behandeling. Van een hiervan wordt een stuk van 3 cM. aan het uiteinde vrij scherp rechthoekig omgebogen. De andere wordt nu met zilver er tegenaan gesoldeerd. De plaats waar de aanhechting ongeveer over eene lengte van 1 cM. tot stand komt, is voor den eenen draad gelegen even vóór het omgebogen gedeelte en voor den anderen draad aan het uiteinde. Nadat de aanhechting heeft plaats gehad, is dus één geheele draad van bijna 2,40 Meter verkregen, in het midden waarvan een stukje van 3 cM. lang loodrecht op de richting van den hoofddraad is komen te staan. Aan het uiteinde van dit kleine stukje wordt de schroefdraad gesneden.

Voor de stevigheid en de goede isolatie is het wensche-lijk de draden met glazen buizen te omgeven. Deze glazen buizen, waarvan eene lengte van 80 cM. voldoende is en de buitendiameter ongeveer 5 mM. werd gekozen, zijn bij de 3 enkele draden gemakkelijk aan te brengen. Bij de 2

aaneengesoldeerde worden 2 buizen gebruikt welke tot dicht bij het korte, rechthoekig omgebogen gedeelte tot elkaar naderen. En nu worden de draden met de glazen buizen mee, een kwartcirkel omgebogen zoodat zij van het omgebogen gedeelte af evenwijdig loopen. Hun afstand is met het oog op den bak waarin het plaatje komt te staan, beperkt. Het ombuigen geschiedt in eene roetende vlam en maakt eenige voorziening van den reeds ingesneden schroefdraad noodig, om dezen voor oxydeeren te behoeden.

Zijn nu nog twee der drie overige draden, welke beiden de primaire electroden zullen vormen, aan het uiteinde over eene lengte van ongeveer 1 cM. rechthoekig omgebogen, dan is alles gereed om het inschroeven der draden te beginnen, hetgeen zooals de ervaring leerde, niet wel anders dan in de nu te beschrijven volgorde kan plaats hebben.

Neem één der draden die als primaire electroden moeten dienen in de linkerhand, en het bismuthplaatje in de rechterhand. Schroef het bismuthplaatje op het korte omgebogen stuk, maar niet geheel tot het uiteinde. Keer daarna het plaatje om zóó dat de draad in de holte van de rechterhand komt en het plaatje in de vingers van die hand kan worden aangevat. Neem nu den tweeden primairen draad in de linkerhand en schroef het bismuthplaatje hierop. Hierbij zal de andere draad, die eveneens naar beneden blijft hangen, weer iets worden uitgeschroefd, zoodat men dus slechts enkele slagen mag omdraaien. Maar hierdoor is nu verkregen dat beide draden over een kleinen afstand in de ervoor bestemde holte zijn geschroefd, en men kan thans het plaatje verder stilhouden en de lange draden eenige slagen verder omdraaien, totdat ze geheel vastzitten.

Nu is de dubbele draad aan de beurt om ingeschroefd

te worden. De twee gedeelten worden bij het omdraaien niet door de primaire draden belemmerd. Eindelijk wordt nog de tweede secundaire draad, die geheel recht is gebleven, ingeschroefd en dan worden drie glazen buizen over de nog onbedekt gebleven draden geschoven.

De vijf glazen buizen worden bijeengehouden door eene kurk met vijf openingen, waarin deze buizen juist passen. Boven deze kurk worden nu de drie secundaire draden in de eene richting loodrecht op het vlak der draden en de twee primaire draden in de andere richting zoover omgebogen, als noodig is om de uiteinden te brengen op eene plaats waar zij gemakkelijk met de verdere geleiding kunnen worden verbonden ¹⁾.

Op deze wijze laat de inrichting weinig of niets aan stevigheid te wenschen over. De weerstand, gemeten van het uiteinde van een der draden af, tot het uiteinde van den anderen draad, bedraagt in het geheel steeds minder dan 0,1 Ohm. Aan de secundaire electroden werd deze weerstand nog verminderd door het aanbrengen van kleine roodkoperen contraemoertjes welke van tevoren aan den draad moeten worden geschroefd en later op den rand van het bismuthplaatje worden aangedraaid.

Toch bleek dat de weerstand na een kort gebruik zeer snel toeneemt en ook verandert bij aandrukken of bij een weinig omdraaien van de kurk die de glazen buizen bijeenhoudt.

Daarom werd het plaatje nog geheel in gips ingesloten. Op deze wijze werd bereikt dat de contracten althans gedurende een korte periode onveranderlijk worden en bij

¹⁾ Zie fig. 9.

langer gebruik niet te spoedig hunne geleidbaarheid verliezen. De gipslaag wordt begrensd door de beide uiterste glazen buizen en wordt gelijkmatig op de dikte van deze afgevijld, zoodat het plaatje zelf aan weerszijden slechts door eene gipslaag wordt bedekt, die minder dan 1 mM. dik is. Ook met klemelectroden werden proeven genomen. Het kostte mij echter eenige moeite deze in doelmatigen vorm te verkrijgen, zoodat zij alleen zijn toegepast toen zij voor een bepaald doel noodig bleken ¹⁾.

§ 3. BESCHRIJVING VAN DEN BAK.

De bak ²⁾ bestaat uit drie gedeelten, welke allen uit rood koper zijn vervaardigd, en met koper aan elkaar zijn gesoldeerd, zoodat de bak ook bij hooge temperatuur kan worden gebruikt.

Het middelste stuk *B* is plat van vorm, de dikte bedraagt binnenin gemeten 8 mM., en buiten gemeten 9 mM. De figuur 8 vertoont de vertikale doorsnede welke zoodanig is, dat aan de bovenzijde een vertikaal stuk *A* van 5,4 cM. diameter en onderaan een schuin stuk *C* van 3,7 cM. diameter er tegenaan past.

Het bovenste stuk *A* is 14 cM. lang en cilindervormig, zoodat er aan de onderzijde nog een vlakke bodem noodig is, waarvan een gedeelte is uitgesneden om er het platte stuk *B* in te doen passen. Bovenaan is het stuk *A* open.

Het onderste stuk *C* is 10 cM. lang en springt onder een hoek van 45° naar voren. Aan de bovenzijde is een gedeeltelijke vlakke dekking noodig, waarin weer een uitsnijding

¹⁾ Zie Hoofdstuk VIII § 5.

²⁾ Zie fig. 8 en 9.

is aangebracht, om er het stuk *B* in te doen passen en de onderzijde is bolvormig afgedekt.

Ten slotte is boven op den cylinder *A* nog een koperen bak in den vorm van een cylindermantel, dienende tot koeler, met gewoon soldeer bevestigd. In het buitenoppervlak van dien mantel zijn twee omgebogen koperen buisjes gestoken, waarin het water kan worden ingegoten. De koeler verricht goede diensten om te voorkomen, dat dampen die de kokende vloeistoffen in het vertrek brengen, te hinderlijk worden. Men bespeurt van die dampen in het geheel niets, zoo men eene circulatie van koud water in den koeler aanbrengt, maar de afkoeling van het bovenste gedeelte van de vloeistof is dan zóó sterk dat er hinderlijke thermostroomen in de geleiding van den HALL-stroom ontstaan. De ontsnappende dampen worden nog door de kurk tegengehouden, die de draden bijeen houdt, als deze op de opening past, en zijn dan niet hinderlijk, ook al kookt het water in den koeler, terwijl deze dan geen hinderlijke thermostroomen doet ontstaan, althans zoo er niet te weinig vloeistof in het gedeelte *A* aanwezig is.

De geheele bak, met uitzondering van den koeler, is met asbestpapier bekleed dat in den juisten vorm uitgeknipt, met dun koperdraad tegen het oppervlak van den bak is aangedrukt. Hierdoor wordt de uitstraling van warmte tegengegaan en het hanteeren van den bak bij hooge en bij lage temperaturen gemakkelijk. Alleen het onderste stuk van het gedeelte *C* is onbedekt.

Na opstelling van den bak tusschen de magneetpolen wordt deze met wol omgeven, behalve zoo het plan bestaat alleen bij gewone temperatuur waar te nemen. Een zorgvuldige beschutting van de wol is bij het gebruik van de

vlam noodig en niet moeielijk met asbestpapier te verkrijgen.

De geheele bak rust op eene in een statief ingeklemde houten of koperen vork, waarvan de tanden om het platte gedeelte *B* heengrijpen, en den bodem van het gedeelte *A* ondersteunen.

§ 4. VLOEISTOF GEBRUIKT BIJ HOOGTE TEMPERAATUUR.

Voor de hooge temperaturen werd glycerine gebruikt. Het kookpunt hiervan is niet standvastig, daar dit van het bijgemengde water afhangt, maar het bezwaar dat dit oplevert is niet groot, daar bij gebruik van een niet te groote vlam de stijging van het kookpunt zeer langzaam geschiedt. En men heeft nu het voordeel zonder verschillende vloeistoffen in den bak te brengen bij verschillende temperaturen den kokenden toestand te hebben, wat wenschelijk is om van thermostroomen bevrijd te zijn. Het blijkt dat de thermostroomen eene waarneming onmogelijk maken, zoolang de verwarming nog niet tot koken heeft geleid en in veel geringer graad te voorschijn komen, zoo de vloeistof reeds heeft gekookt en de temperatuur beneden het kookpunt daalt, doordat de vlam wordt weggenomen of verminderd.

Wil men nu alleen bij een betrekkelijk lage temperatuur b.v. 130° waarnemen, dan kan men wat water bij de glycerine voegen en dan reeds koking van de vloeistof verkrijgen bij een slechts weinig hoogere temperatuur. En men behoeft dan niet lang te wachten tot de vloeistof op de gewenschte temperatuur is afgekoeld.

§ 5. HET VERKRIJGEN VAN LAGE TEMPERATUREN.

De lage temperaturen worden verkregen door het oplossen van vast koolzuur in alcohol. Om zoo spoedig mogelijk en

dus bij zoo laag mogelijke temperatuur waar te nemen, zonder last te hebben van thermostroomen, wordt het gedeelte *C* van den bak met fijn vast koolzuur volgestampt, daarna de bak opgesteld en met wol omgeven, hierna het plaatje met de draden in den bak gebracht, en eerst dan het mengsel van alcohol en vast koolzuur boven in den bak gegoten. De thermostroomen zijn dan spoedig tot een zeer klein bedrag teruggebracht, hetgeen niet het geval is, zoo men nalaat het gedeelte *C* met vast koolzuur te vullen.

Thermostroomen welke optreden bij stijging van de temperatuur klimmen niet tot een hinderlijk bedrag zoo de bak goed met wol is omgeven.

§ 6. DE ELECTROMAGNEET.

De electromagneet is er een van RUHKORFF met platte poolstukken, waarvan de afstand 16,5 m.M. bedraagt. De as ¹⁾ van den electromagneet loopt van Noord naar Zuid. De sterkte van het magnetische veld was, zooals uit meting met een proefplaatje van ROWLAND bleek, ongeveer 3000 (c.g.s.), wanneer de magnetisatiestroom 9 Ampères bedroeg. De stroom werd meestal geleverd door eene batterij van accumulatoren.

§ 7. DE GALVANOMETER.

De galvanometer was er een van MEIJERSTEIN en heeft twee windingen, zoodat zij ook als differentiaalgalvanometer

¹⁾ NERNST (Wied. Ann. p. 764 1887) heeft den electromagneet vertikaal gesteld om zodoende geen werking op den galvanometer te hebben. Deze opstelling is bij onze proeven niet mogelijk wegens den vorm van den bak, maar ook onnoodig (Zie Hoofdst. VII § 4 B. 3)

kan worden gebruikt. Elk dezer windingen heeft een weerstand van ongeveer 1 Ohm.

De galvanometer is zoo opgesteld, dat de lijn die het midden ervan met het midden van den electromagneet verbindt, van Oost naar West loopt.

De aflezing van den galvanometer geschiedde volgens de spiegelmethode van GAUSS. De gebruikte schaal was 60 cM. lang. Eene uitwijking van een schaaldeel wordt bij gebruik van slechts eene der windingen door een stroom van $3,5 \times 10^{-6}$ Ampère veroorzaakt.

§ 8. DE HOOFDSTROOM.

De hoofdstroom wordt door twee draagbare accumulatoren geleverd en kan met de beschikbare weerstanden tusschen 1,5 en 7 Ampères worden gevariëerd.

HOOFDSTUK VII.

Methode van Waarneming.

§ 1 PLAN DER METHODE.

α. Daar als doel der metingen werd beschouwd niet zoozeer het meten van de absolute waarde van den coëfficiënt van HALL, als wel de verandering van die grootheid met de temperatuur, kan de methode van waarneming worden vereenvoudigd.

Vooreerst kan men de magnetische kracht constant houden. Het potentiaalverschil van HALL kan dan alleen nog veranderen door verandering van den coëfficiënt van HALL of wel door verandering van de intensiteit van den hoofdstroom.

Tot verdere vereenvoudiging kan men nu bij behoud van de gewone methode ook den hoofdstroom constant houden en zoo het verloop van de HALL-constante nagaan, zonder eene absolute bepaling van den hoofdstroom noodig te hebben. Wil men evenwel vrij zijn in het kiezen van de intensiteit van den hoofdstroom of gaat het moeielijk dien constant te houden, dan moet deze toch in een of andere maat gemeten worden en de verandering ervan bij het bepalen van het verloop van den coëfficiënt van HALL

uit het gemeten potentiaalverschil in rekening gebracht worden.

β. Richt men nu de waarnemingen direct in op het meten van $\frac{e}{J}$ of van eene grootheid die hiermee evenredig is, dan verkrijgt men toch de gewenschte vereenvoudiging, zonder verplicht te zijn den hoofdstroom constant te houden.

Wij verkrijgen dit door bij de waarnemingen den volgende weg in te slaan.

Wij nemen van den hoofdstroom een tak af door twee punten L en M , die langs den hoofdstroom door een kleinen weerstand W waren verbonden ¹⁾ nog eens te verbinden door een grooten weerstand W . Deze tak, dien wij compensatiestroom zullen noemen, gaat door den zelfden galvanometer als de HALL-stroom, evenwel langs een afzonderlijke winding waarmee de winding van den HALL-stroom niet in contact is.

Wij kiezen nu den grooten weerstand W zoodanig, dat de afwijking welke de genoemde tak aan den galvanometernaald geeft, juist de afwijking opheft, die de HALL-stroom aan den galvanometernaald geeft.

Drukken wij uit hoe groot deze afwijkingen elk zouden zijn.

De HALL-stroom kan gesteld worden $= \frac{e}{\sigma}$, als e het potentiaalverschil aan de electroden voorstelt en σ de weerstand van de leiding die de electroden verbindt.

De afwijking zal dan $Q \frac{e}{\sigma}$ zijn, als Q een coëfficiënt is, afhangende van den aard der windingen, van het mag-

¹⁾ Zie Plaat III Schemat. Voorstelling I.

netisch veld waarin de galvanometernaald schommelt enz.

De compensatiestroom kan bij zeer voldoende benadering gelijk gesteld worden aan $J \frac{w}{W}$ als J de hoofdstroom is.

Deze benadering is voldoende als W zeer vele malen (b. v. 10000) W is.

De afwijking van den galvanometernaald zal dan $PJ \frac{w}{W}$ zijn als P een coëfficiënt is afhingende van den aard van deze windingen en van het magnetisch veld waarin de galvanometernaald schommelt. P en Q zijn in het algemeen niet aan elkaar gelijk daar zij op verschillende windingen betrekking hebben, maar verlopen evenredig bij verandering van het magnetische veld.

Heffen nu de afwijkingen elkaar op dan moet

$$Q \frac{e}{\sigma} = P J \frac{w}{W} \text{ zijn, dus}$$

$$\frac{e}{J} = \frac{P}{Q} \sigma w \cdot \frac{1}{W}$$

Vervangen wij $\frac{P}{Q} \sigma w$ door een nieuwe constante N dan wordt

$$\frac{e}{J} = \frac{N}{W}$$

De grootheid $\frac{e}{J}$ blijkt dus omgekeerd evenredig te zijn aan den weerstand welke noodig is om den compensatiestroom juist zóó sterk te maken dat hij de afwijking van den galvanometernaald die de HALL-stroom alleen zou teweegbrengen weer opheft.

Laten wij dus de magnetische kracht constant en variëeren

de temperatuur dan zal het verloop dat wij voor $\frac{1}{W}$ vinden ook het verloop, dat voor de constante van HALL bij variatie der temperatuur moet bestaan.

γ. Deze methode heeft enkele voordeelen welke zullen blijken bij het bespreken der storingen die bij metingen van het effect van HALL optreden.

Hier noemen wij bovendien het voordeel dat wij met een nulmethode te doen hebben. Wij zijn dus vrijer in het kiezen van de gevoeligheid van den galvanometer. Bij een afwijkingsmethode moet die gevoeligheid gekozen worden ook in verband met de grootte van de schaal opdat de te verwachten afwijking niet buiten het veld van de schaal komt te liggen. En als nu door een toevallige verplaatsing van het nulpunt, gecombineerd met een grootere uitwijking dan waarop was gerekend, het beeld van de schaal buiten het gezichtsveld komt te liggen van den op den galvanometerspiegel gerichtten kijker, dan is men verplicht een ballastweerstand in te schakelen zooals o. a. v. ETTINGSHAUSEN en NERNST ¹⁾ deden. Bij onze methode zal dit nooit noodig zijn en wij kunnen onze gevoeligheid dus zoo kiezen als ons met het oog op welk belang ook wenschelijk voorkomt.

De voordeelen van de methode komen het sterkst uit bij relatieve bepalingen. Dit neemt niet weg, dat zij ook voor absolute bepaling volkomen geschikt is en dan evenals bij de relatieve bepaling kennis van de schaalwaarde van den galvanometer en meting van den primairen stroom onnoodig maakt.

¹⁾ Wiener Sitzungsber. 94 p. 1887.

§ 2. BESCHRIJVING VAN DEN STROOMLOOP BIJ DE
COMPENSATIE-METHODE ¹⁾).

α . De hoofdstroom kan in den kwikbak I worden gecommuteerd, en loopt behalve door het bismuthplaatje nog door de brug LM gevormd door 4 rheotandraden, die eenen weerstand van ongeveer 0,002 Ohm hebben.

Rheotandraad is gekozen wegens de zeer geringe verandering welke de weerstand daarvan ondergaat bij verandering van de temperatuur. Vier draden elk 13 cM. lang en met een diameter van 2,85 mM. zijn langs elkaar gespannen, waardoor verwarming volgens de wet van JOULE veel geringer is dan bij gebruik van een enkelen draad, en zijn in een oliebad ²⁾ gedompeld, om de verwarming tot een minimum terug te brengen.

β . De secundaire stroom die ten gevolge van het potentiaalverschil in C en D ontstaat, wordt door eene winding van den galvanometer geleid en kan worden gecommuteerd. De commutator is evenwel in de figuur niet aangegeven.

γ . De compensatiestroom, die door het potentiaalverschil in L en M ontstaat kan in den kwikbak II worden gecommuteerd, loopt door de andere winding van den galvanometer en kan in de weerstandsbank 1 worden geregeld.

δ . De zijstroom verbindt een punt K van den hoofdstroom met een punt F van den secundairen stroom langs

¹⁾ Zie de Schematische Voorstelling II.

²⁾ Bij gebruik gedurende korten tijd levert olie geen bezwaar op, terwijl petroleum bijzondere voorzorgen noodig maakt, daar in de nabijheid met vlammen moet worden gewerkt.

eene geleiding van grooten weerstand, welke door de weerstandsbank 2 wordt geleverd. Deze geleiding is aangebracht voor het geval dat *C* en *D* ook buiten het magnetisch veld niet *equipotentiaal* zijn en werd ook bij de door anderen gevolgde methode van waarneming gebruikt ¹⁾).

ε. Ook de richting van den magnetisatiestroom, welke in de schematische voorstelling niet is aangebracht, moet kunnen worden omgekeerd en daardoor wordt het aantal commutatoeren op vier gebracht. Het is zeer gemakkelijk zoo deze vier commutatoeren en bovendien de twee weerstandsbanken zoo zijn opgesteld dat zij met de hand bereikbaar zijn, terwijl men in den kijker de afwijkingen van den galvanometernaald waarneemt.

§ 3. GANG EENER WAARNEMING.

α. Voorbereiding.

Zorg er voor dat bij het sluiten van den magnetisatiestroom met open hoofdstroom en secundairen stroom, geene afwijking van den galvanometernaald plaats vinde.

Ook bij het sluiten van den hoofdstroom met open magnetisatiestroom, compensatiestroom en secundairen stroom, mag geen afwijking plaats vinden.

Sluit nu den secundairen stroom en laat den hoofdstroom geopend. Sluiten wij nu ook den magnetisatiestroom, dan zal er geen inductiestoot waargenomen worden, indien het bismuthplaatje midden tusschen de polen is geplaatst en de beide deelen, waarin de secundaire electrode is verdeeld, symmetrisch loopen ten opzichte van den in *C* bevestigden

¹⁾ Zie Hoofdstuk III § 1 *γ*.

draad. Door buigen van de draden is dit te verkrijgen.

Sluit nu bij reeds gesloten secundairen stroom ook den hoofdstroom, bij open magnetisatie- en compensatiestroom. Wij zullen eene afwijking zien, indien de secundaire electroden niet in eene æquipotentiaallijn liggen.

Zie in dit geval, welke der twee holtten van den kwikbak I, die hiervoor in aanmerking komen, moet verbonden worden met de daartoe gekozen secundaire electrode om die afwijking tegen te gaan. Kies daarna den weerstand in den zijstroom zoodanig dat die afwijking worde opgeheven ¹⁾.

β. Hoofdproef.

De geleiding van den zijstroom blijft altijd gesloten.

Sluit eerst den secundairen stroom. Eene kleine afwijking tengevolge van een thermostroom mag optreden. Sluit den magnetisatiestroom. Na de genomen voorzorgen zal hierbij slechts een kleine afwijking plaats hebben ²⁾. Sluit nu den compensatiestroom. Dit geeft in het geheel geen afwijking, want de hoofdstroom is geopend ³⁾.

Sluit nu den hoofdstroom, dan zullen tegelijk de secundaire en de compensatiestroom ontstaan. Een heel groote uitwijking zal niet plaats hebben, want de werkingen van beide stroomen op den galvanometernaald zijn tegengesteld.

¹⁾ Het opheffen van die afwijking is nu nog niet bij een magnetisch veld o verkregen ten gevolge van het remanent magnetisme. Wij zien daarom nog welke weerstand in den zijstroom moet worden aangebracht om bij het remanente magnetisme van tegengestelde richting die afwijking op te heffen en gebruiken bij de hoofdproef het gemiddelde van deze weerstanden.

²⁾ Zie onder de rubriek »fouten en storingen" A n^o 2.

³⁾ De richting waarin de compensatiestroom wordt gesloten moet goed gekozen worden, in verband met de richting van den reeds gekozen magnetisatiestroom. Door vroegere proeven moet men van tevoren die keuze weten te doen.

Zie nu welke van beide stroomen het wint en wijzig den weerstand in den compensatie-stroom zóó dat het verschil geringer wordt ¹⁾.

Weldra brengen wij het zoover dat eerst de secundaire stroom schijnt te winnen en (na den hoofdstroom wat langer te hebben laten doorgaan) daarna de compensatiestroom te sterk schijnt. In werkelijkheid is dan de secundaire stroom verminderd, ten gevolge van het optreden van het *galvano-magnetisch temperatuurverschil* ²⁾.

Wij zien dan b.v., direct na het sluiten, het beeld naar rechts, daarna naar links uitwijken. Neem nu iets minder weerstand in den compensatiestroom, dan zal die afwijking naar rechts kleiner zijn. Neem nu nog wat weerstand erbij (telkens een klein bedrag, zoo groote nauwkeurigheid wordt gewenscht), dan komt men eindelijk op een punt dat de naald eerst even stilstaat en daarna naar links gaat. Dan is de compensatie zoo volkomen mogelijk verkregen en behoort de in de weerstandsbank genomen waarde te worden genoteerd.

Men sluit nu den hoofdstroom in andere richting, waarbij de brug in kwikbak II blijft staan en ook de magnetisatiestroom niet wordt gecommuteerd.

Bepaal thans weer de waarde van den weerstand, in den compensatiestroom te kiezen.

Is ook deze waarde genoteerd, dan moet bij open hoofdstroom de magnetisatiestroom worden omgekeerd en ook de compensatiestroom (kwikbak II).

¹⁾ Wij sluiten den hoofdstroom telkens slechts een oogenblik, om niet noodeloos thermostroomen te doen ontstaan.

²⁾ Zie onder de rubriek »fouten en storingen», A. n^o 3.

Bepaal ook bij deze richting van de magnetische kracht de waarde, welke in de weerstandsbank dient te worden gekozen.

Dit levert nog eens twee getallen, welke met de twee reeds gevondene bij eene bepaalde temperatuur behooren.

Bij elke temperatuur worden deze vier waarnemingen gedaan en hiermee is ons materiaal verzameld, ter berekening van het verloop van de constante van HALL bij verschillende temperaturen.

§ 4. FOUTEN OF STORINGEN WELKE BIJ EENE
METING KUNNEN OPTREDEN.

Groep A. Thermomagnetische verschijnselen.

1. Potentiaalverschillen aan de secundaire electroden door warmtestroomen, in de richting van den hoofdstroom in het magnetisch veld ontstaande. (Transversaal thermomagnetisch effect van VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ¹⁾).

Wij gaven de wet hiervan in den vorm

$$e = E_t M(t_1, -t_2).$$

Alle warmteverschillen welke onafhankelijk zijn van de richting van den hoofdstroom zullen potentiaalverschillen veroorzaken, welke bij de eene richting van den hoofdstroom het HALL-effect versterken en bij de andere richting dat verzwakken. Door het gemiddelde te nemen van de twee waarden bij de *twee richtingen van den hoofdstroom*, wordt de fout, door dit effect veroorzaakt, geëlimineerd.

Voor warmteverschillen, ontstaan door het PELTIER-effect

¹⁾ Zie Hoofdstuk V § 2.

gaat dit niet door. Het hierdoor ontstane potentiaalverschil is in den vorm te schrijven

$$e = P E_t M J,$$

waarbij P een nieuwe constante, samenhangende met het PELTIER-effect, en I de hoofdstroom is. Dit potentiaalverschil hangt dus op dezelfde wijze van M en J af als het HALL-effect zelf en wordt bij de tot nu toe gevolgde methodes niet van het HALL-effect gescheiden.

Daar het PELTIER-effect evenwel tijd behoeft om op te treden, wordt de scheiding door onze *momentaan*-methode tot stand gebracht.

2. Potentiaalverschillen aan de secundaire electroden in het magnetisch veld ontstaande door warmtestroomen in de richting van den secundairen stroom.

(Longitudinaal thermomagnetisch effect van VON ETTINGSHAUSEN en NERNST ¹⁾).

Hiervoor gaven wij de wet in den vorm:

$$e = E_l M^2 (t_3 - t_4)$$

Wij merkten reeds op dat dit effect neerkomt op een wijziging van den thermostroom door het magnetische veld. Bij onze wijze van waarnemen valt de invloed ervan vanzelf weg, daar wij *den magnetisatiestroom steeds sluiten vóór den hoofdstroom* en wij dus een nieuw rustpunt krijgen ten opzichte waarvan wij de æquivalentie van den HALL-stroom en den compensatiestroom bepalen.

Anders zou door dit effect schijnbaar een dissymmetrie worden teweeggebracht bij verschillende richting van magnetisatie.

¹⁾ Zie Hoofdstuk V § 3.

3. Temperatuurverschil aan de secundaire electroden, ontstaande door den hoofdstroom en het magnetisch veld.

(Galvanomagnetisch temperatuurverschil van VON ETTINGSHAUSEN)¹⁾.

De wet welke dit verschijnsel kan beschrijven is:

$$t_3 - t_4 = E_e M J.$$

Dit temperatuurverschil geeft aanleiding tot een thermostroom, welke weer op dezelfde wijze van M en J afhangt als de HALL-stroom zelf en er dus moeilijk van is te scheiden.

Deze storing zal zich in hare volle grootte doen gevoelen bij de vroegere afwijkmethode.

Doordat onze methode *momentaan* is en het hier bedoelde effect tijd behoeft om op te treden kunnen wij reeds op het eerste oogenblik over de grootte van den secundairen stroom oordeelen, dus vóórdat deze door dit effect is gewijzigd.

Als wij iets te veel weerstand in den compensatiestroom hebben genomen zullen wij dus eerst den compensatiestroom door den secundairen stroom zien overwinnen. Maar na een oogenblik den hoofdstroom te hebben laten doorgaan, zal de waargenomen afwijking van richting veranderen, omdat de secundaire stroom nu is verminderd.

Door de eerst opgetreden afwijking, weten wij evenwel dat te veel weerstand was opgenomen voor een goede compensatie van den secundairen stroom, op het oogenblik dat deze nog vrij was van den invloed van het galvanomagnetische temperatuurverschil.

¹⁾ Zie Hoofdstuk V § 4.

4. Temperatuurverschillen ontstaande door het verschijnsel dat NERNST waarnam in de lucht tusschen de magneetpolen ¹⁾).

De onvolkomen wijze waarop dit verschijnsel is onderzocht maakt het voor ons onmogelijk de wet der eventueele fouten aan te geven.

Daar de *hoofdsom eerst gesloten wordt nadat het magnetische veld is opgewekt*, vervallen deze evenals die onder A 2.

Groep B. Andere Storingen.

1. Veranderlijkheid van den hoofdstroom gedurende de metingen. Daar altijd $\frac{e}{J}$ gemeten wordt, is deze zonder invloed op de bepaling van den coëfficiënt van HALL.

2. Verandering door toevallige oorzaken van het magnetisch veld, waarin de galvanometernaald zich beweegt.

Dit heeft eene verplaatsing van het nulpunt ten gevolge, die bij de vroegere methodes een fout geeft, omdat de daar te meten afwijking eenigen tijd tot constant worden behoeft, terwijl bij onze methode de HALL-stroom gemeten wordt op het oogenblik waarop hij ontstaat.

3. Verandering van het magnetisch veld, van den galvanometer door het aanzetten en omkeeren van den electromagneet.

Is eene verplaatsing van het nulpunt niet geheel vermeden, dan is dit toch zonder invloed als men eerst den magnetisatiestroom sluit, en het nieuwe nulpunt noteert. Dit geldt ook voor de door anderen gevolgde methode.

Het ontstaan en het commuteeren van het magnetisch veld zal ook de gevoeligheid van den galvanometer in het algemeen veranderen; bij onze opstelling ²⁾ was dit zelfs

¹⁾ Zie Hoofdstuk V § 6.

²⁾ Zie Hoofdstuk VI § 7.

in hooge mate het geval. Bij de door ons gevolgde waarnemingsmethode komt die gevoeligheid er minder op aan, want met elke gevoeligheid kan de æquivalentie van secundairen en compensatiestroom worden geconstateerd. Alleen zal, bij niet volkomen æquivalentie, de dan te voorschijn komende afwijking afhangen van de gevoeligheid, die telkens bestaat.

4. Verandering van het magnetisch veld van den galvanometer door het aanzetten en omkeeren van den hoofdstroom.

Voorzoover het nulpunt wordt veranderd is dit opgeheven zooals is vermeld in § 3 *z*. Was dit niet bereikt, dan zou de invloed van het gedeelte van den hoofdstroom, dat wij niet kunnen commuteeren schijnbaar een verschillend HALL-effect geven bij de twee richtingen van het magnetische veld, dus schijnbaar eene dissymmetrie. Schuilt de oorzaak in het wel te commuteeren deel van den hoofdstroom, dan is de fout te elimineeren door het gemiddelde te nemen van de waarden, bij de twee richtingen van den hoofdstroom verkregen.

Verandering van de gevoeligheid van den galvanometer door deze verandering van het magnetisch veld is bij de compensatie-methode niet van invloed, en wel om dezelfde redenen als in n^o. 3 zijn uiteengezet.

5. Verandering van het magnetisch veld, waarin het bismuthplaatje is geplaatst. Deze zal steeds een fout blijven geven. Het eenige redmiddel is: den magnetisatie-stroom constant te houden en zich daarvan te overtuigen met een Ampère-meter. ¹⁾ Is de stroom wat veranderd, dan moet men dezen met wat meer of minder weerstand weer regelen.

Men lette bij de aflezing van den Ampère-meter op het remanente magnetisme.

6. Thermostroomen, die reeds *bestaan* door een warmteverschil aan de secundaire electroden. Is de thermostroom gedurende den loop van eene waarneming constant, dan geeft dit geen fout. Alleen veranderingen erin geven fouten. Daar onze waarneming momentaan is, vervalt deze fout geheel, zoo men slechts waarneemt op een oogenblik dat de galvanometernaald in rust is.

Overigens wordt standvastigheid van den thermostroom nog daardoor bevorderd, dat de secundaire stroom bij de hoofdproeven steeds gesloten kan blijven (zie n^o 9).

7. Thermostroomen die *ontstaan* door den hoofdstroom.

a. Wordt aan de contactplaatsen van den hoofdstroom warmte volgens JOULE ontwikkeld, dan kan het gebeuren dat die warmte zich ongelijkmatig naar de secundaire electroden voortplant. Daardoor treedt dan een thermostroom op. Daar bij onze methode de hoofdstroom slechts een oogenblik wordt gesloten, heeft de thermostroom geen tijd tot een merkbaar bedrag te klimmen.

De invloed op de waarnemingen zou zijn een verschillende waarde van het HALL-effect bij verschillende richtingen van den hoofdstroom.

b. Wordt aan de contactplaatsen warmte volgens PELTIER ontwikkeld, dan kan dit op dezelfde wijze aanleiding geven tot thermostroomen.

Dezelfde opmerkingen gelden als bij a, alleen zou omkeeren van den hoofdstroom dit effect niet omkeeren en de invloed zijn een schijnbare dissymmetrie bij verschillende richtingen van de magnetische kracht.

8. Potentiaalverschillen welke reeds zonder magnetisch veld bij het doorgaan van den hoofdstroom aan de secundaire electroden optreden.

Deze ontstaan dus door niet volkomen juiste aanbrenging der secundaire electroden.

Op verschillende wijzen is de invloed hiervan te ontgaan.

a. Door eerst den hoofdstroom te sluiten, dan het rustpunt te bepalen en daarna eerst den magnetisatiestroom te sluiten. Dit heeft tegen, dat dan juist verschillende andere storingen plaats vinden. (Zie *A* 2.)

b. Door dit potentiaalverschil te meten met den compensatiestroom en het telkens in rekening te brengen. Dit werd voor contrôle van manier *d* wel eens aangewend.

c. Door dit potentiaalverschil op te heffen met een takstroom van een DANIELL-element, dien men door de secundaire stroomgeleiding laat gaan. ¹⁾

Dit heeft tegen, dat men het potentiaalverschil slechts voor ééne stroomsterkte opheft.

d. Door volgens de door BOLTZMANN voorgestelde methode den zijstroom aan te brengen, dus een verbinding met grooten weerstand te maken tusschen een primaire en een secundaire electrode en den weerstand hierin juist te kiezen ²⁾.

Deze laatste methode werd meestal door ons aangewend.

9. Inductiestroomten tengevolge van verandering der magnetische kracht gedurende de proef.

Deze zullen niet optreden, daar wij voor een der secundaire electroden den door SHELFORD BIDWELL voorgestelden zich in tweeën deelenden draad gebruikten. ³⁾

Overigens is de magnetische kracht wel zoo constant, dat wij zelfs bij gebruik van een enkelen draad deze in-

¹⁾ Zie Hoofdstuk III § 1 β .

²⁾ Zie Hoofdstuk III § 1 γ .

³⁾ Zie Hoofdstuk III § 1 δ .

ductiestroomen niet kunnen bemerken, maar de inrichting met een dubbelen draad behielden wij toch, omdat nu met steeds gesloten blijvenden secundairen stroom het magnetische veld kan worden gecommuteerd zonder dat een schok wordt waargenomen die de galvanometernaald geruimen tijd in hinderlijke schommeling zou houden.

10. Verandering van den weerstand der secundaire stroomgeleiding ten gevolge der temperatuur. Wat het plaatje zelf betreft, komt deze verandering niet in aanmerking, daar de weerstand slechts 0.0004 Ohm is, tegen 1 Ohm als weerstand der geheele leiding. Iets anders is het met den contactweerstand aan de beide electroden, welke in het ongunstigste geval in het geheel 0.2 Ohm bedroeg. Deze dient dus bij verschillende temperatuur gemeten te worden.

11. Verandering van den weerstand door de magnetisatie komt niet in aanmerking, daar die alleen op het bismuth-plaatje zijn invloed kan doen gelden en hiervan de weerstand zeer klein is.

12. De invloed van het remanente magnetisme maakt het onmogelijk de keuze van den weerstand in den zijstroom onmiddellijk te doen ¹⁾. Wij zien bij het remanente magnetisme van twee richtingen welke weerstand telkens in de weerstandsbank 2 noodig is, om bij het sluiten van den hoofdstroom geene afwijking te krijgen en nemen van die twee waarden van den weerstand het gemiddelde.

13. De magnetische kracht, die ontstaat door het optreden van den hoofdstroom alleen, kan nog maken dat ten slotte de keuze van den weerstand in den zijstroom niet bij een

¹⁾ Zie noot bij § 3 z.

magnetisch veld 0 heeft plaats gehad, maar bij het magnetische veld door dien hoofdstroom zelf bestaande. Omkeeren van dien hoofdstroom doet het er door ontstane HALL-effect niet omkeeren, daar de magnetische kracht dan ook erbij omkeert.

Wij overtuigden er ons evenwel van dat deze werking te klein is om waargenomen te worden.

Men zou namelijk het bestaan der werking kunnen aantonen door eerst een zeer geringen hoofdstroom te nemen en met dezen den weerstand in den zijstroom te kiezen. Nemen wij hierna een grooteren hoofdstroom, dan zou met dezen een andere keuze van weerstand noodig zijn. Wij konden evenwel het verschil niet bespeuren.

14. Aflezing van den thermometer, terwijl het reservoir zich niet volkomen op dezelfde plaats bevindt als het plaatje. De fouten hierdoor ontstaan komen bijna niet in aanmerking, daar bij eenigszins belangrijk verschil van temperatuur ook de thermostroomen zeer storend zijn en de waarnemingen niet werden verricht dan bij kleine waarden der thermostroomen.

15. Fouten in de thermometers. De thermometer voor lage temperaturen werd met den standaard waterstofthermometer vergeleken, die voor hooge temperaturen is er een van ALVERGNIAT (n^o. 27 van het Physisch Laboratorium).

16. Fout, veroorzaakt doordat de thermometerbuis buiten den vloeistofbak uitstak. Voor deze werd de steelcorrectie aangebracht.

HOOFDSTUK VIII.

Uitkomsten mijner metingen omtrent het Hall-effect in bismuth bij verschillende richtingen der magnetische kracht.

§ 1. VOORBEELD VAN WAARNEMING.

In den zijstroom noodig 22 Ohm.

Temperatuur 20°.

Na den magnetisatiestroom van 13,2 Ampères te hebben gesloten in eene richting die wij door *A* aanduiden, probeeren wij met de volgende weerstanden in den compensatiestroom, of een primaire stroom nog uitwijking geeft. Dezen sluiten wij in een richting welke wij negatief noemen.

63,8 Ohms geeft eene uitwijking eerst naar links, daarna naar rechts.

63,7 Ohms geeft evenzoo eene uitwijking eerst naar links, daarna naar rechts.

63,6 Ohms geeft eene kleinere afwijking.

63,5 Ohms geeft niet meer eene uitwijking naar links, maar wij zien eerst geene afwijking en daarna eene naar rechts.

Wij geven dus op: $A - 63,5$. Voor de andere richting van den hoofdstroom: $A + 63,6$. en na den magnetisatiestroom te hebben omgekeerd, verkrijgen wij:

$$B - 44,7.$$

$$B + 44,2.$$

§ 2. GEVOLGTREKKINGEN.

Het eerste wat bij deze waarneming zeer in het oog valt is het groote verschil dat de waarden bij de richting van magnetisatie A vertoonen, ten opzichte van de waarden bij de richting B verkregen.

De verschillen tusschen de waarden bij twee richtingen van den hoofdstroom verkregen, zijn veel geringer en bij andere waarnemingen, waarbij meer werk is gemaakt van zorgvuldige opstelling, is dit verschil nog minder.

Het verschil evenwel tusschen de waarden verkregen bij A en B , bleef bij de meest zorgvuldige opstelling steeds op hetzelfde bedrag. Er werd op goede isolatie van de stroomen gelet, het plaatje in lak ¹⁾ in plaats van in gips gebracht, maar alles was te vergeefs, steeds bleef het verschil zich op hetzelfde bedrag handhaven.

Ook namen wij nog waar volgens de door HALL en andere waarnemers gebruikte afwijkingsmethode, en vonden de dissymmetrie weder terug.

Andere bismuthplaatjes werden gemaakt en allen vertoonden deze dissymmetrie, hoewel niet allen volkomen even

¹⁾ Inlakken werd ook door NERNST toegepast bij het meten van het transversaal thermomagnetisch potentiaalverschil. Zie Wied. Ann. 31 p. 765, 1887.

sterk; de verhouding die voor den HALL-stroom bij verschillende richting der magnetisatie hieruit zou volgen, was soms als 3 tot 4, soms als 5 tot 6.

§ 3. FOUTENBRONNEN WELKE EENE DISSYMMETRIE Zouden
KUNNEN VEROORZAKEN.

Gaan wij nu na met behulp van het door ons opgestelde foutenlijstje aan welke oorzaken de dissymmetrie kan zijn te wijten.

Onder B 7b noemden wij thermostroomten ten gevolge van het PELTIER-effect. Daar deze alleen na een tijdlang doorgaan van den primairen stroom optreden, en onze methode momentaan werkt, is in deze de goede verklaring niet te vinden.

Ook is besproken de fout, die, door niet te letten op het remanent magnetisme, zou kunnen ontstaan, maar volgens B 12 is opgeheven.

Verder bleek ook volgens B 13, de invloed van de magnetische kracht van den hoofdstroom zelf niet de oorzaak te kunnen zijn.

Nu vinden wij onder A 2 nog het longitudinaal thermomagnetisch effect, waarvan de invloed evenwel geheel wordt opgeheven door eerst den magnetisatiestroom en dan den hoofdstroom te sluiten.

Onder B No. 3 vinden wij ten slotte een potentiaalverschil, dat reeds zonder magnetisch veld bestaat. Daar ter plaatse is echter ook aangegeven hoe dit potentiaalverschil door den zijstroom is opgeheven. Maar is het nu soms mogelijk dat de zijstroom de æquipotentialiteit wel geeft zonder magnetisch veld, maar die niet meer waarborgt als de weerstand van den tak, die door het bismuthplaatje gaat,

grooter wordt ten gevolge van het magnetisch veld? ¹⁾ Wij gingen dit na bij het eerste plaatje, dat ons de dissymmetrie te zien gaf en het bleek dat een vermeerdering van weerstand een dissymmetrie zou moeten geven van juist tegengestelde richting als werkelijk was waargenomen. Daar het plaatje zoo dik was en dientengevolge eene zeer geringen weerstand had, was het a priori ook niet waarschijnlijk dat dit de goede verklaring kon zijn. Evenwel werd nog, om vergissingen uit te sluiten, de geheele zijstroom weggelaten en nu de fout van onvolkomen æquipotentialiteit geëlimineerd door waar te nemen zooals in B 8a en 8b werd meegedeeld. Het bleek ons dat de dissymmetrie weer juist optrad als vóór dien tijd, zoodat noch in den zijstroom, noch in verandering van weerstand van het bismuthplaatje ten gevolge van het magnetische veld de oorzaak is te zoeken.

Ten overvloede merken wij nog op, dat bij onze compensatie-methode het verschil der gevoeligheden van den galvanometer bij de twee richtingen van magnetisatie niet van invloed kon zijn.

De magnetische kracht in beide richtingen werd met een proefplaatje van ROWLAND bepaald en bleek telkens dezelfde grootte te hebben. Uit dit alles volgt, dat wij met een verschijnsel te doen hebben, dat niet kan worden verklaard uit de verschijnselen, die ons tot dusverre bekend waren.

¹⁾ Zooals blijkt uit de mededeeling door VAN AUBEL in de Archives des sciences physiques et naturelles de Genève 3, 33, van 15 Maart '95 gepubliceerd, hield deze de weerstandsvermeerdering voor de goede verklaring van de dissymmetrie. Zie ook Hoofdstuk III § 3 d.

§ 4. PROEVEN OVER DE DISSYMMETRIE ONDER VERSCHILLENDE OMSTANDIGHEDEN.

α. Omkeeren van het plaatje zóó dat voorvlak en achtervlak van plaats verwisselen.

Wij nemen dus het plaatje uit den bak, draaien het om een vertikale as 180° om en zetten het er weer in.

Het blijkt dat de dissymmetrie nu juist is *omgekeerd*, dat dus het HALL-effect, dat vroeger bij eene magnetisatie-richting B het sterkst scheen, nu bij eene magnetisatie-richting A het sterkst schijnt. ¹⁾ De grootte van de dissymmetrie is dezelfde. Hieruit volgt, dat er eenig verschil, van welken aard dan ook, in het plaatje moet zijn, hetgeen in z'n bepaald wordt door den stand van den normaal, naar buiten getrokken van uit het voorvlak b. v.

β. Verwisseling van primaire en secundaire electroden, zóó dus dat de hoofdstroom van C naar D gaat en A en B secundaire electroden worden, en met den galvanometer verbonden worden.

Het blijkt dat ook nu de dissymmetrie wordt *omgekeerd* en dus het HALL-effect bij magnetisatie-richting A het sterkst scheen te zijn, terwijl het vóór dien tijd bij magnetisatie-richting B het sterkst was. Ook was weer de grootte van de dissymmetrie dezelfde ²⁾.

¹⁾ Deze proef is ook door HALL en VAN AUBEL genomen. Zie Hoofdstuk III § 3 γ en δ.

²⁾ Deze proef werd genomen met het oog op de mogelijkheid, dat de magnetische kracht, door den hoofdstroom zelf ontstaande, de bepaling van equipotentialiteit zonder magnetisch veld foutief had doen zijn. Toen was n.l. nog niet geconstateerd dat deze invloed te klein was om gemeten te worden. En wij ontgaan de werking van de magnetische kracht voor een groot gedeelte door gebruik te maken van de in twee deelen gescheiden electrode. In plaats evenwel van opheffing van de dissymmetrie, vonden wij omkeering.

§ 5. BEPALING EENER AS VAN SYMMETRIE.

Het verwisselen van primaire en secundaire electroden komt theoretisch neer op eene draaiing van het plaatje over een hoek van 90° in zijn eigen vlak.

Keert de dissymmetrie van teeken om bij een draaiing van 90° om den bepalenden normaal, dan moet zij ergens een waarde nul gehad hebben.

Daarom werd thans een rond bismuth-plaatje geconstrueerd, waaraan vier klemelectroden bevestigd konden worden ¹⁾.

Deze kunnen gemakkelijk worden losgemaakt en opnieuw worden bevestigd nadat men het plaatje wat heeft omgedraaid.

Met dit plaatje blijkt weer dat eene dissymmetrie optreedt, die van teeken verandert na draaiing van het plaatje in zijn eigen vlak om een hoek van 90° . En tusschen deze 2 standen werd nu werkelijk een stand gevonden waarbij de dissymmetrie was verdwenen.

Gerekend van af dezen fundamentalen stand van het plaatje ten opzichte van de primaire electroden, welke op het plaatje is aan te wijzen door een richtlijn, bleek bij draaiing in verschillenden zin een dissymmetrie van verschillend teeken op te treden. Deze dissymmetrie werd het grootst na draaiing

¹⁾ Deze klemelectroden bestonden uit twee kleine platte stukjes koper waarvan alleen de uiteinden rechthoekig waren omgebogen. Deze omgebogen stukjes grepen in een ronde gleuf welke in het bismuthplaatje concentrisch met den rand was ingesneden. Met twee schroefjes werden de beide deelen van deze klemmen naar elkaar toe gedrukt. De vervaardiging ervan was niet zeer gemakkelijk, daar de klemmen zeer smal moeten zijn. De aanhechting aan de draden kon met gewoon soldeer worden tot stand gebracht, daar deze proeven bij gewone temperatuur geschieden. Zal deze aanhechting tegen hoogere temperaturen bestand zijn, zoo is zij moeielijk goed te verkrijgen.

(steeds in het vlak van het plaatje) van 45° , van dien fundamenteelen stand af gerekend. Bij draaiing om een hoek van 90° is de dissymmetrie weer opgeheven, zoodat men ook dezen stand als fundamenteelstand had kunnen kiezen. Tusschen deze twee standen is het eenige verschil, dat bij draaiing van uit elk dier standen in denzelfden zin de dissymmetrie verschillend van teeken wordt.

Wanneer de electroden niet in den fundamenteelstand zijn aangebracht, krijgt men eene dissymmetrie, die van teeken omkeert, ook bij draaiing om een vertikale as, d. w. z. bij verwisseling van voor- en achtervlak.

Denkt men zich namelijk bovengenoemde richtlijn op het plaatje aangebracht, dan ziet men dat deze, gerekend van af de verbindingslijn der primaire electroden, een stand aanneemt die juist het spiegelbeeld is van dien welke vóór de verwisseling werd ingenomen, zoodat het resultaat van proef α § 4 met dat van de proef in deze paragraaf in overeenstemming is ¹⁾.

§ 6. INVLOED VAN DE WAARDE DER MAGNETISCHE KRACHT OP DE DISSYMMETRIE.

Bij het nagaan van den invloed van de magnetische kracht op de dissymmetrie werden de primaire electroden zoodanig aan het ronde bismuthplaatje bevestigd, dat de

¹⁾ Daar de klemmen weinig minder dik waren dan de ruimte binnen het platte stuk van den bak wijd was, werd voor de goede isolatie zorg gedragen door twee stukken micablad welke in den vorm van het platte gedeelte waren uitgeknipt en tegen de binnenwanden werden aangebracht. (Deze isolatie is ook door VON ETTINGSHAUSEN aangewend. Zie Wied. Ann. 31 p. 753, 1887).

Bij deze waarnemingen was de bak met glycerine gevuld.

verbindingslijn een hoek van 45° maakt met de richting van een der hoofdassen, opdat de waarde der dissymmetrie zoo groot mogelijk zou zijn.

De secundaire electroden werden in dier voege bevestigd dat in een niet magnetisch veld bijna geene afwijking van den galvanometer werd waargenomen.

Nagegaan werd hierna hoeveel weerstand in den compensatiestroom moest worden aangebracht, om bij elke richting van het remanente magnetische veld in het geheel geene afwijking te doen plaats hebben bij het sluiten van den primairen stroom. Hieruit kan worden afgeleid hoe groot de secundaire stroom bij een magnetisch veld 0 zou zijn.

Daarna werd bij verschillende waarden van de magnetische kracht en bij dezelfde richting A bepaald hoe groot de weerstand moet zijn, die in den compensatiestroom moest worden opgenomen, om de afwijking nul te doen zijn; en deze waarnemingen herhaald voor dezelfde sterkten van het magnetische veld, maar bij de omgekeerde richting B.

Nu kan de secundaire stroom bij elk van deze waarden van het magnetische veld en de beide richtingen worden berekend. Deze waarden werden gecorrigeerd met het berekende bedrag dat de secundaire stroom in een magnetisch veld 0 zou hebben. De hieruit volgende waarde is die van den HALL-stroom alleen.

Het bleek dat bij de richting A van de magnetische kracht de HALL-stroom zeer sterk toenam bij het grooter worden van de waarde der magnetische kracht.

Bij de richting B evenwel nam de waarde van den HALL-stroom bij sterker worden van het magnetische veld eerst toe en daarna af, zoodat bij de hoogste waarde waar-

toe wij het magnetische veld opvoerden, de HALL-stroom bijna was teruggebracht tot het bedrag dat bij de laagste gebruikte waarde van het magnetische veld bestond.

In het geheel werd bij vier waarden van het magnetische veld de HALL-stroom bepaald.

De waarden van de magnetische velden werden onderling vergeleken door een proefplaatje uit de ruimte tusschen de polen te trekken en de hierdoor in den galvanometer optredende inductiestooten waar te nemen. De verhoudingen der waarden van de magnetische kracht zijn juister bekend dan de absolute waarden ervan, en zijn in de eerste kolom van de hieronder voorkomende tabel opgenomen.

In de tweede kolom zijn opgenomen de gemiddelde waarden van den secundairen stroom bij de twee richtingen van de magnetische kracht, in de derde kolom de verschillen der waarden.

Als eenheid wordt aangenomen de gemiddelde waarde die de secundaire stroom heeft bij het kleinste magnetische veld.

M. ongeveer 1500.	Gemiddelde secund. stroom.	Vershil der secund. stroomen.
1	1	$0.38 = \frac{1}{2.65}$
1.44	1.23	$0.69 = \frac{1.82}{2.65}$
1.83	1.36	$0.98 = \frac{2.59}{2.65}$
2.32	1.42	$1.35 = \frac{3.58}{2.65}$

Het verschil der secundaire stroomen, dat wij de grootte der dissymmetrie kunnen noemen, neemt dus met de magnetische kracht toe en wel sterker dan de eerste macht van die grootte, maar niet zoo sterk als de tweede macht hiervan.

Ook de weerstandstoename, die het bismuth in het magnetische veld ondergaat, hangt op dezelfde wijze van de grootte der magnetische kracht af ¹⁾).

Het verloop van de dissymmetrie is eenigszins overeenkomend met het verloop van het produkt van de magnetische kracht en den gemiddelden secundairen stroom.

Om hiermee geheel overeen te komen zouden de getallen 0.69, 0.98 en 1.35 der derde kolom door 0.67, 0.95 en 1.25 moeten worden vervangen.

§ 7. OPMERKINGEN OMTRENT DE DISSYMMETRIE.

De vraag werpt zich op of de hoofdassen van een bismuth-plaatje door het HALL-effect mogelijk kunnen samenhangen met een of andere kristallographische as. Het is ons gebleken dat in een bismuth-plaatje de splijtingsvlakken in hoofdzaak dezelfde richting hadden, maar er zijn er ook die in andere richtingen loopen. Is de dissymmetrie hieraan te wijten, dan zal ze zich waarschijnlijk in veel sterker mate voordoen, zoo een plaatje wordt gesneden uit een groot kristal.

Hoewel ik getracht heb een groot kristal te verkrijgen, ben ik hierin nog niet geslaagd, zoodat dit onderzoek niet is uitgevoerd.

Ook was ik nog niet in de gelegenheid na te gaan of de dissymmetrie in alle plaatjes hetzelfde bedrag had.

In de door mij geconstrueerde plaatjes waren de assen van symmetrie soms ongeveer samenvallend met de diagonalen, soms lagen zij daar tusschen in.

¹⁾ Zie Hoofdstuk V, § 4.

§ 8. DISSYMMETRIE VAN HET GALVANOMAGNETISCH
TEMPERATUURVERSCHIL.

Uit onze waarnemingen is ons nog gebleken dat de storing, die het galvanomagnetisch temperatuurverschil teweegbracht bij het ronde plaatje dat in verschillende standen werd gebracht, niet in al die standen dezelfde was. Meestal was de invloed van dit verschijnsel zóódanig, dat de eruit ontstane thermostroom bij beide richtingen van magnetisatie den HALL-stroom tegenwerkte. Maar in enkele standen kwam het voor dat de HALL-stroom bij de eene richting van magnetisatie sterk werd tegengewerkt en bij de andere richting in mindere mate er door versterkt werd. Dit verschijnsel toont dus eene dissymmetrie, welke veel sterker is dan die van het HALL-effect. Ook VON ETTINGSHAUSEN ¹⁾ heeft deze dissymmetrie verscheidene malen in sterke mate opgemerkt, maar uit onze waarnemingen blijkt dat de dissymmetrie in hetzelfde plaatje verschillende waarden kan hebben, afhangend van de richting in welke de primaire electroden op het plaatje waren aangebracht.

Het is dus waarschijnlijk dat in een bismuthplaatje ook voor dit verschijnsel eene as van symmetrie bestaat. Onze waarnemingen waren er niet op ingericht om dit volkomen zeker aan te toonen, zoodat wij de beslissing over dit punt aan later onderzoek moeten overlaten.

Alleen is nog geconstateerd dat eene as van symmetrie voor het galvanomagnetisch temperatuurverschil van VON ETTINGSHAUSEN, zoo deze bestaat, niet samenvalt met eene as van symmetrie voor het effect van HALL.

¹⁾ Zie pag. 48.

HOOFDSTUK IX.

Uitkomsten bij verschillende temperaturen.

§ 1. VOORBEREIDING DER PROEVEN.

De methode van waarneming is beschreven in Hoofdstuk VII.

Twee bismuth-plaatjes werden onderzocht, vervaardigd van zuiver bismuth, uit verschillende bron afkomstig.

De weerstand van ieder der plaatjes werd bij drie temperaturen gemeten en wel van het uiteinde van den enkelen draad der secundaire geleiding tot het punt, waar de dubbele draadgeleiding tot één samenkomt, dus met inbegrip der contacten. Bij eene temperatuur van 20° bedroeg de weerstand van plaatje n^o. 1 0,02 Ohm; wat de geringste waarde is, welke wij bij eenig plaatje hebben bereikt; bij plaatje n^o. 2 bedroeg die weerstand 0,04 Ohm.

Bij 60° is de weerstand ongeveer 50% grooter dan bij 20° en bij 200° ongeveer 10% grooter.

De correctie welke dus voor het verschil der weerstanden bij uiteenlopende temperaturen moet worden aangebracht, is zeer klein, daar die verandering in vergelijking van den weerstand van de geheele geleiding van 1 Ohm slechts zeer gering is.

De waarnemingen bij de gewone temperatuur zijn niet

door thermostroomen gestoord, wat in geringe mate bij de waarnemingen boven 150° en bij die onder 50° het geval is, maar sterker bij de tusschen gelegene, waarbij deze tot een bedrag van 0,0003 Ampère klommen. Wij herinneren er nog aan, dat alleen de onstandvastigheid der thermostroomen eene fout doet ontstaan ¹⁾).

Het kleine verschil dat in den HALL-stroom optreedt bij het sluiten van den primairen stroom in de twee verschillende richtingen ²⁾ kan alleen bij de kamertemperatuur waargenomen worden. Dit verschil is bijna altijd kleiner dan 1% van het geheele bedrag, en wij hebben bij alle andere temperaturen dus den stroom altijd in dezelfde richting gesloten, waardoor tijdbesparing wordt verkregen.

De verschillen, die gevonden werden in de waarnemingen bij de beide richtingen van magnetisatie, zijn evenwel zóó belangrijk dat steeds de waarden bij de beide richtingen verkregen, werden genoteerd. Wij hebben er ons geen moeite voor gegeven den weerstand in den zijstroom steeds geheel juist te kiezen, omdat die bij verschillende temperaturen niet geheel dezelfde bleek te moeten zijn en het dus zeer veel tijd zou kosten, dien telkens goed te regelen. Wij bepaalden er ons toe, dien weerstand slechts ongeveer te bepalen en liefst zóó, dat de gemeten secundaire stroomen een niet zeer groot verschil vertoonen.

Hoe dus de dissymmetrie van de temperatuur afhangt, hebben wij niet nagegaan.

Voor iedere temperatuur zijn minstens drie waarnemingen noodig, ééne bij een der magnetisatierichtingen voorafgegaan

¹⁾ Zie Hoofdst. VII § 4 B. 6, pagina 79.

²⁾ Zie Hoofdst. VII § 4 A. 1, pagina 74.

en gevolgd door eene bij de andere magnetisatie-richting. Soms ook werden vijf waarnemingen, een enkele maal zeven waarnemingen bij ongeveer dezelfde temperatuur verricht.

§ 2. BEREKENING DER WAARNEMINGEN.

De gemiddelde waarden van de weerstanden, bij de magnetisatierichting A met behulp van de weerstandsbank ingelascht, werden om den weerstand der geleiding in rekening te brengen met één Ohm vermeerderd. Dit geschiedde ook met de waarde, welke voor magnetisatierichting B gesteld moest worden.

Het gemiddelde van de omgekeerde waarden dezer getallen behoort dus bij de gemiddelde temperatuur waarbij de waarnemingen plaats vonden en op deze wijze werden de volgende getallen gekregen, uitgedrukt in de waarde welke bij 21° moet gelden en die R_{21} genoemd wordt:

§ 3. UITKOMSTEN.

Magnetisch veld ongeveer 3000 (c. g. s.)

Plaatje Bismuth I.

R'_{21} duidt aan de waarde van R_{21} voor dit plaatje.

z. Lage temperaturen.

Temperatuur.	Constante van HALL.
— 74°	1.256 R'_{21}
— 72°	1.250
— 65.5°	1.245
— 58.5°	1.246
— 52.5°	1.244
— 47.5°	1.241

— 40.5°	1.211
— 36 °	1.211
— 27.5°	1.190
— 23 °	1.180
— 14 °	1.139
— 7.5°	1.110
0 °	1.056
+ 7 °	1.050
+ 11 °	1.046

β. Hooge temperaturen.

21 °	R ^I
246.5°	0.280 R ^I ₂₁
95 °	0.697
157.5°	0.411
198.5°	0.313
124 °	0.532
93 °	0.700
76 °	0.784
43.5°	0.927
11.5°	1.052

Plaatje Bismuth II.

R^{II}₂₁ duidt de waarde van R₂₁ voor dit plaatje aan.

α. Lage temperaturen.

— 69 °	0.866 R ^{II} ₂₁
— 64 °	0.889
— 59 °	0.915
— 51 °	0.970
— 47 °	0.985
— 41.5°	1.007

— 35.5°	1.016
— 31.5°	1.030
— 25 °	1.032
— 19.5°	1.034
— 12 °	1.040
— 8 °	1.034
— 4 °	1.034
+ 0.5°	1.034
+ 7.5°	1.028
+ 21.5°	1.002

β. Hooge temperaturen.

26.5°	0.980 R_{21}^U
203 °	0.288
242.5°	0.175
219 °	0.217
124.5°	0.540
105 °	0.634
84.5°	0.725
56.5°	0.869
22.5°	0.996
152 °	0.429

§ 4. OPMERKINGEN.

De getallen zijn gecorrigeerd met de bedragen die noodig geacht werden wegens de afname van de magnetische kracht door verwarming der klossen. Deze afname is zeer gering daar wij den magnetisatie-stroom ongeveer $1\frac{1}{2}$ uur lieten doorgaan vóór de eerste waarneming werd verricht. Ook de correctie voor de weerstandsverandering der secundaire ge-

leiding is aangebracht maar komt alleen bij lage temperaturen in aanmerking.

De rangschikking der waarneming is opgegeven in de volgorde waarin zij werden gedaan. Voor ieder plaatje is de benodigde tijd 2×3 uren, afgezien van de voorloopige proeven.

De verkregen resultaten zijn in een graphische voorstelling gerangschikt ¹⁾, waardoor het overzicht gemakkelijk wordt.

Het eerst valt in het oog dat de loop der lijnen niet dezelfde is. Zij komen bij de temperaturen tusschen 20° en 245° onderling in zooverre overeen, dat zij eene afname van R vertoonen bij het stijgen der temperatuur en niet eerst toename en later afname, zooals door DRUDE en NERNST werd gevonden.

Bismuth I schijnt bij verlagen van temperatuur tot een maximum te naderen, en bismuth II vertoont zeer duidelijk een maximum bij ongeveer -20° en bij de lagere temperaturen eene afname. In plaatje II is dus voor een bepaalde temperatuur een maximum gevonden en het is waarschijnlijk dat het in plaatje I zou gevonden zijn, zoo wij bij nog lagere temperatuur hadden waargenomen.

DRUDE en NERNST ²⁾ vonden ook een maximum, namelijk bij 100° . De waarde die na afkoeling teruggevonden werd is bij deze waarnemers evenwel niet dezelfde als vóór de verwarming.

CLOUGH en HALL ³⁾ vonden in nikkell een maximum waarde en men mag aannemen dat ook staal en kobalt die bij stijgende temperatuur een stijgend HALL-effect vertoonen,

¹⁾ Zie Plaat IV.

²⁾ Zie pag. 38.

³⁾ Zie pag. 35.

ook een maximum bij een of andere temperatuur zullen moeten hebben.

Mocht nu nog voor antimonium bij lage temperatuur een maximum gevonden worden, dan zou hiermee proefondervindelijk zijn bewezen dat het HALL-effect in alle metalen met een groote waarde van R bij eene bepaalde temperatuur een maximumwaarde van deze grootheid zoude hebben, welke vele malen grooter is dan de waarde bij temperaturen ver daarvan verwijderd.

§ 5. CHEMISCH ONDERZOEK.

Het verschil in gedrag tusschen de beide soorten van bismuth deed het vermoeden ontstaan dat de zuiverheid der grondstoffen te wenschen overliet.

De heer F. H. EYDMAN, werktuigkundig ingenieur en techn. stud. te Delft, heeft onder toezicht van prof. HOOGWERFF, hoogleeraar aan de Polytechnische School aldaar bereidwillig op zich genomen de gebruikte grondstof te onderzoeken ¹⁾. Beiden heeren betuig ik hierbij mijn hartelijken dank.

Het onderzoek leerde, dat in bismuth I sporen ijzer te vinden waren, te weinig om te kunnen worden gewogen, in bismuth II werden geen andere stoffen aangetroffen. Lood en tin kwamen in geen der beide plaatjes voor.

§ 6. ABSOLUTE WAARDE.

De berekening van de absolute waarde van $\frac{e}{J}$ kan met behulp geschieden van de formule gegeven in Hoofdstuk VII, § 1 β .

¹⁾ Aan den heer EYDMAN heb ik ook te danken de opmerking in § 7 van het vorige hoofdstuk omtrent de richting der splijtingsvlakken.

Wij vonden daar dat bij verkregen compensatie de voorwaarde moest zijn vervuld:

$$\frac{e}{J} = \frac{P}{Q} \sigma w \frac{1}{W}$$

Hierin moet nog bepaald worden de grootheid $\frac{P}{Q} w$, hetgeen als de klossen volkomen gelijk zijn, neer zal komen op de bepaling van w , den weerstand der rheotandraden.

Wij kunnen evenwel de waarde $\frac{P}{Q} w$ onmiddellijk bepalen door een stroom te doen gaan door de rheotandraden die een weerstand van ongeveer 0.02 Ohm hadden en door eenen weerstand van b. v. 0.01 Ohm uit een weerstandsbank. De beide uiteinden der rheotandraden worden zooals altijd door een grooten weerstand W_1 verbonden en de galvanometerklos van den compensatiestroom in de geleiding aangebracht.

Ook de uiteinden van den draad van 0,01 Ohm worden langs een grooten weerstand W_2 verbonden en de klos waardoor bij de meting van het HALL-effect de secundaire stroom ging in de geleiding gebracht. Nu wordt W_2 zóó gekozen dat bij sluiting van den stroom geene afwijking van de galvanometernaald wordt waargenomen in welk geval aan de voorwaarde moet voldaan zijn

$$\frac{0,01}{W_2} = \frac{P}{Q} \frac{w}{W_1}$$

of wel $\frac{P}{Q} w = 0.01 \frac{W_1}{W_2}$

W_1 was 25, W_2 101 Ohm dus $\frac{P}{Q} W = 0,0248$.

Nu moest bij het meten het HALL-effect bij 21° voor het bismuthplaatje I de weerstand in de compensatie-leiding zijn: 40,7 Ohm.

De weerstand van de geleiding van den secundairen stroom was 0,988 Ohm. zoodat

$$\frac{J}{e} = 0.00248 \times \frac{0.988}{40.7} = 0.00006$$

Uitgedrukt in (c. g. s.) eenheden wordt dit 6×10^4 .

Daar $\frac{J}{e} = R \frac{M}{d}$ wordt voor $M = 3000$ en

$$d = 0.35$$

$$R_{21} = 7.$$

Voor het tweede plaatje vinden wij

$$R_{21}^u = 13.$$

Deze laatste waarde is grooter dan ooit gevonden is.

De waarde van het magnetisch veld en ook de dikte zijn niet nauwkeurig gemeten, zoodat er in de absolute bepaling eene belangrijke fout kan schuilen. Maar men zal met onze methode bij nauwkeurige bepaling toch ook grootere waarden verkrijgen dan bij meting volgens de methode van HALL, daar de invloed van het galvanomagnetisch temperatuurverschil zich bij onze methode niet doet gevoelen.

Wat het groote verschil der getallen onderling betreft, merken wij op, dat dit ook door vroegere onderzoekers bij verschillende bismuthplaatjes is gevonden ¹⁾.

¹⁾ Zie o. a. VON ETTINGSHAUSEN en NERNST, Wiener Sitz.berichte 94 p. 591—597, 1887.

§ 7. AFHANKELIJKHEID VAN DEN WEERSTAND VAN
BISMUTH VAN DE TEMPERATUUR.

Er werd in een spiraalbuisje, dat vooraf was verwarmd, vloeibaar bismuth gegoten. Na het vast worden springt het glas meestal niet, waardoor een bismuthdraad wordt verkregen, die vrij lang en dun is en toch niet breekbaar. Aan de uiteinden van den draad liet ik kleine stukjes glas er van afspringen, waardoor ik klemschroefjes aan de uiteinden van den bismuthdraad kon aanbrengen.

Ik bracht den bismuthdraad in een bad van glycerine voor het onderzoek der hooge temperaturen, en in een bad van alcohol en koolzuur voor het onderzoek der lage temperaturen.

Denken wij ons een electrischen stroom, die door een bepaalden weerstand uit een weerstandsbank en door den bismuthdraad gaat.

Verbinden wij de uiteinden zoowel van den weerstand der weerstandsbank als die van den bismuthdraad door een grooten weerstand en nemen wij in ieder der geleidingen een der klossen van den galvanometer op. Dan kunnen wij weer bij een bepaalde verhouding der groote weerstanden in de leidingen van den galvanometer opgenomen, verkrijgen dat de galvanometernaald niet afwijkt bij het sluiten van den stroom.

Verandert de weerstand van den bismuthdraad, dan zal ook de verhouding der bedoelde groote weerstanden moeten veranderen, om de afwijking van den galvanometernaald niet te doen plaats hebben.

Wij bepaalden de verhouding dezer weerstanden bij de verschillende temperaturen, aan welke de bismuthdraad

werd blootgesteld en verkregen aldus de volgende getallen voor den weerstand vergeleken met die bij 8° , welke r_{18} zal worden genoemd.

Temperatuur.	Weerstand.
— 76 °.	$r_{18} \times 0.88$
— 71 °.	0.895
— 64 °.	0.89
— 44 °.	0.905
— 39 °.	0.91
— 25 °.	0.925
— 15,5 °.	0.935
— 5 °.	0.955
+ 7,5 °.	0.985
+ 10 °.	0.995
+ 20 °.	1.01
+ 51 °.	1.11
+ 99 °.	1.23
+ 147 °.	1.43
+ 174 °.	1.62
+ 217 °.	1.82
+ 246 °.	2.01

Deze getallen zijn verzameld in de graphische voorstelling 3.

Het blijkt uit deze graphische voorstelling, dat de weerstand steeds toeneemt bij verhooging van temperatuur; die toename bedraagt bij de lagere temperaturen zeer weinig, maar bij de hoogere temperaturen wordt zij zeer belangrijk.

Deze uitkomst is in strijd met de uitkomsten van LEDUC, besproken in Hoofdstuk I § 12 β . LEDUC vond afname van den weerstand bij verhooging van temperaturen en vindt hierin aanleiding om het effect van HALL met de grootheid

D in de plaats van met de grootheid R te beschrijven. De uitkomst van mijne metingen doet dus dezen grond vervallen.

Het bismuth dat voor de meting van den weerstand werd gebracht, was uit dezelfde bron afkomstig als het bismuthplaatje I.

Van het bismuth II had ik niet genoeg voorraad om ook hiervan den invloed van de temperatuur op den weerstand na te gaan.

DERDE AFDEELING.

Eigen theoretisch onderzoek.

HOOFDSTUK X.

Wijziging der Mathematische Beschrijving van het Hall-effect door de dissymmetrie.

§ 1. VERGELIJKING VOOR DE HOOFDASSEN.

De wijziging, die de mathematische beschrijving moet ondergaan, sluit zich het gemakkelijkst aan bij de vergelijkingen door GOLDHAMMER verkregen en vermeld in Hoofdstuk II, § 7.

GOLDHAMMER gaat uit van de vergelijkingen van MAXWELL;

$$\frac{\partial p}{\partial x} = - K_{11} u - K_{12} v - K_{13} w$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = - K_{21} u - K_{22} v - K_{23} w \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = - K_{31} u - K_{32} v - K_{33} w$$

en vindt dat er altijd drie onderling loodrechte assen zijn aan te wijzen, met welke als coördinaten-assen de termen

K_{12} , K_{13} en K_{23} gelijk met tegengesteld teeken worden aan K_{21} , K_{31} en K_{23} .

Bij een vlak plaatje zijn slechts twee coördinaten-assen noodig en er moeten nu steeds twee richtingen te vinden zijn, welke wij hoofdrichtingen noemen, voor welke de vergelijkingen worden

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= -K_{11} u - H v \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= H u - K_{22} v. \end{aligned} \quad (2)$$

GOLDHAMMER meent dat er geen reden is om aan te nemen dat K_{11} en K_{22} verschillend zijn. De waargenomen dissymmetrie meen ik nu te kunnen beschrijven juist door een verschil tusschen K_{11} en K_{22} aan te nemen.

De twee hoofdrichtingen waarvoor de vergelijkingen (2) gelden, vallen dan samen met de assen van symmetrie.

§ 2. VERGELIJKINGEN BIJ WILLEKEURIGE RICHTING VAN COÖRDINATENASSEN.

Wanneer de nieuwe assen ξ , η een hoek α met de oude maken is

$$\begin{aligned} x &= \xi \cos \alpha - \eta \sin \alpha \\ y &= \xi \sin \alpha + \eta \cos \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

Noemen wij de stroomcomponenten volgens de richtingen der nieuwe assen u_1 en v_1 dan is:

$$\begin{aligned} u &= u_1 \cos \alpha - v_1 \sin \alpha \\ v &= u_1 \sin \alpha + v_1 \cos \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

Verder is ook

$$\begin{aligned}\frac{\partial p}{\partial \xi} &= \frac{\partial p}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial p}{\partial y} \sin \alpha \\ \frac{\partial p}{\partial \eta} &= \frac{\partial p}{\partial x} \sin \alpha + \frac{\partial p}{\partial y} \cos \alpha.\end{aligned}\quad (5)$$

Deze waarden substitueerend verkrijgen wij

$$\begin{aligned}\frac{\partial p}{\partial \xi} &= u_1 (-K_{11} \cos^2 \alpha - K_{22} \sin^2 \alpha) + v_1 \left\{ -H + \frac{1}{2} (-K_{22} + K_{11}) \sin 2\alpha \right\}, \\ \frac{\partial p}{\partial \eta} &= u_1 \left\{ +H + \frac{1}{2} (-K_{22} + K_{11}) \sin 2\alpha \right\} + v_1 (-K_{11} \sin^2 \alpha - K_{22} \cos^2 \alpha)\end{aligned}\quad (6)$$

Wanneer wij nu in de richting van de as ξ een stroom doen gaan dan wordt het potentiaalverschil aan de secundaire elektroden alleen bepaald door den factor van v_1 en niet door dien van u_1 . Het potentiaalverschil wordt dan

$$e = \left\{ H - \frac{1}{2} \sin 2\alpha (-K_{22} + K_{11}) \right\} \frac{I}{d}$$

Nemen wij nu aan dat H evenredig is met de magnetische kracht en van teeken wisselt, zoo de richting der magnetische kracht wordt omgekeerd, en dat K_{11} en K_{22} niet afhangen van de richting der magnetische kracht, dan vertoont zich de dissymmetrie die bij het HALL-effect optreedt.

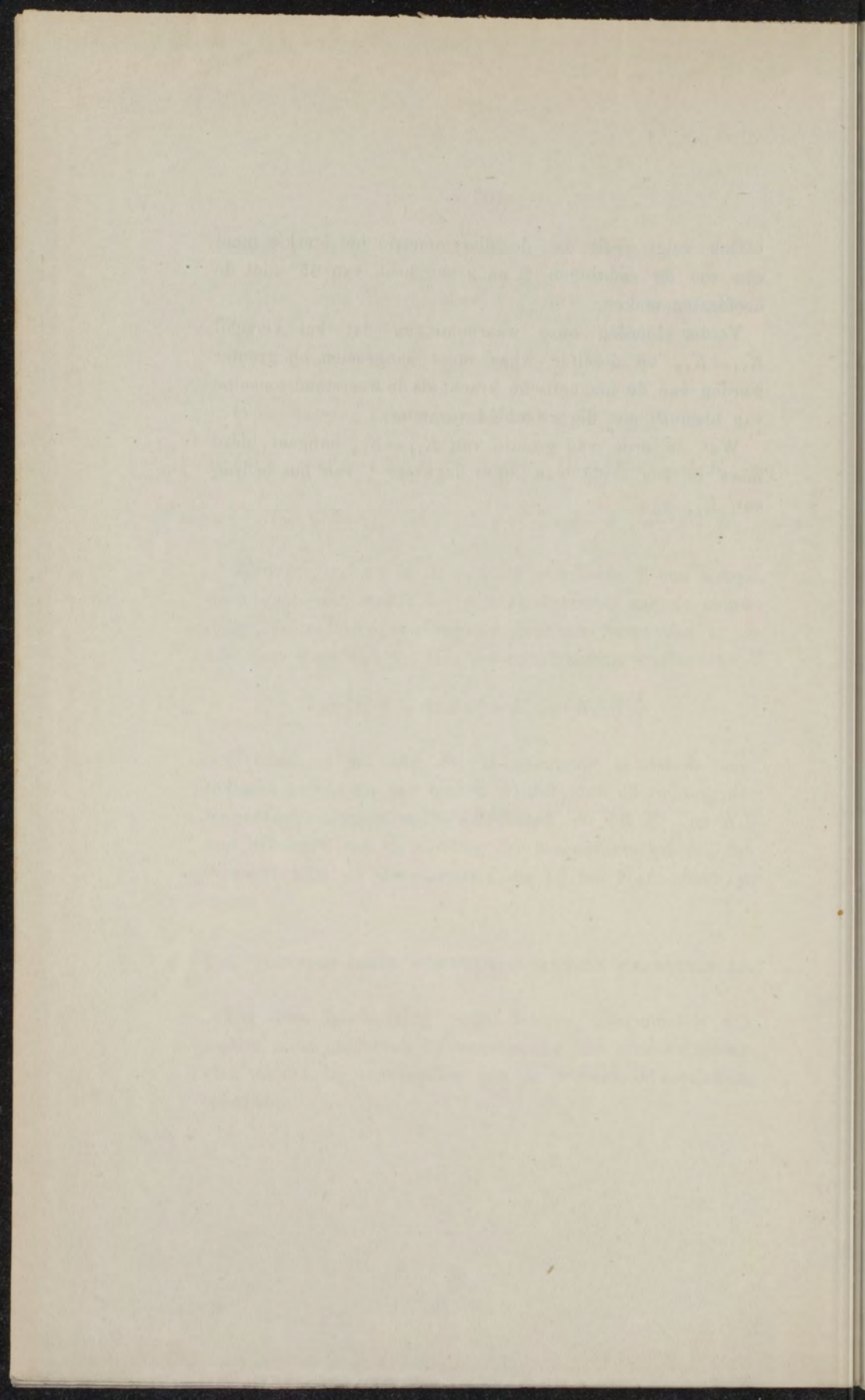
§ 3. TOETSING DEZER BESCHRIJVING AAN DE WAARNEMINGEN.

Uit deze beschrijving volgt dat de dissymmetrie van teeken moet omkeeren bij verwisseling van vóór- en achtervlak en ook bij verwisseling van de primaire en secundaire elektroden.

Ook volgt eruit dat de dissymmetrie het sterkst moet zijn zoo de richtingen ξ en η een hoek van 45° met de hoofdassen maken.

Verder leerden onze waarnemingen dat het verschil $K_{11} - K_{22}$ op dezelfde wijze moet aangroeien bij grooter worden van de magnetische kracht als de weerstandstoename van bismuth met die grootte verandert.

Wat de orde van grootte van $K_{11} - K_{22}$ aangaat, deze moet in een veld van 3000 ongeveer $\frac{1}{5}$ van het bedrag van K_{11} zijn.



STELLINGEN.

STEININGEN

STELLINGEN.

I.

De dissymmetrie van het HALL-effect in bismuth bij verschillende richting van magnetisatie is een verschijnsel eigen aan de stof en niet een gevolg van fout in de waarnemingsmethode.

II.

De oplossing, die door GOLDHAMMER (Wied. Ann. 31, p. 375, 1887) wordt gegeven van de differentiaalvergelijkingen welke het HALL-effect beschrijven, is mathematisch onjuist.

III.

Het verschijnsel van HALL kan eenvoudiger met behulp van de grootheid R van HALL worden beschreven dan met de grootheid D van LEDUC.

IV.

De theorieën van SHELFORD BIDWELL en van VON LOMMEL kunnen het verschijnsel van HALL niet verklaren.

V.

Ook voor de absolute waardebeplating van de grootheid R van HALL passe men de door mij gevolgde waarnemingsmethode toe.

VI.

Het toenemen van den weerstand van eenige metalen in het magnetische veld is niet hetzelfde verschijnsel als een „longitudinaal galvanomagnetisch effect.”

VII.

De bilifair-magnetische methode van KOHLRAUSCH ter bepaling van de horizontale intensiteit van het aardmagnetisme (Wied. Ann. 17 p. 737) kan worden verbeterd door aan den steel van het bilifair lichaam (zie p. 766) in plaats van één, twee spiegels te bevestigen, die een hoek van 180° met elkaar maken.

VIII.

Bij metingen van groote vertikale afstanden, zooals o. a. voorkomt bij de hierboven genoemde methode van KOHLRAUSCH, kunnen zeer goede diensten worden bewezen door een langen slinger, van welken door middel van de coïncidentie-methode de slingertijd kan worden vergeleken met een secunde-slinger.

IX.

Een systeem der mechanica, in hetwelk behalve de begrippen van ruimte en tijd, massa en energie alleen nog het principe van HAMILTON wordt aangenomen, voert tot onjuiste resultaten.

X.

VON LANG (Theoretische Physik p. 149) geeft op, dat zoo een biflair-magnetometer in hetzelfde vertrek is opgesteld met een apparaat dienende ter waarneming van veranderingen in de declinatie, de verbindingslijn der beide magneetstaven een hoek van $35^{\circ} 16'$ met den magnetischen meridiaan behoort te maken.

Deze stand is niet aan te bevelen.

XI.

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\Phi d\Phi}{\operatorname{tg} \Phi} = \frac{1}{2} \pi \log 2.$$

XII.

Een mechanisch model zooals door MAXWELL van de beweging der electriciteit wordt gegeven is didactisch van veel belang.

XIII.

Het is onnoodig om voor de verklaring der draaiende bewegingen in een wisselend homogeen electrisch veld toevlucht te nemen tot eene moleculaire constitutie der diëlectrica. Zie GRAETZ en FOMM (Sitz. ber. BAYER, Ak. d. Wiss. 23 p. 275, 1893).

XIV.

De interpretatie der proeven van GRAETZ en FOMM (Wied. Ann. 54, p. 626, 1895) is onjuist.

XV.

Het door GALITZINE (Wied. Ann. 47, p. 493) gegeven bewijs van de emissie-wet van CLAUSIUS is foutief.

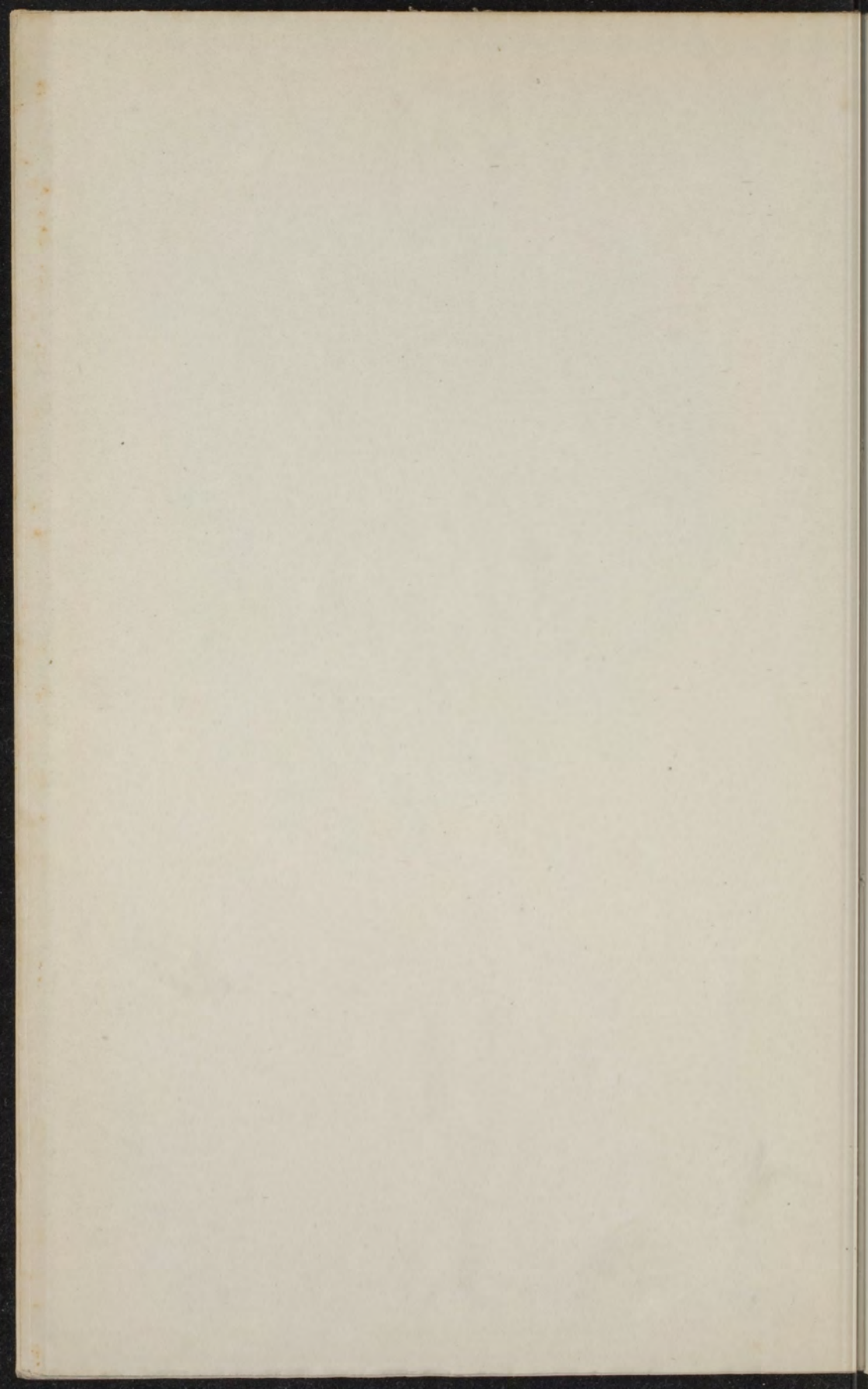
XVI.

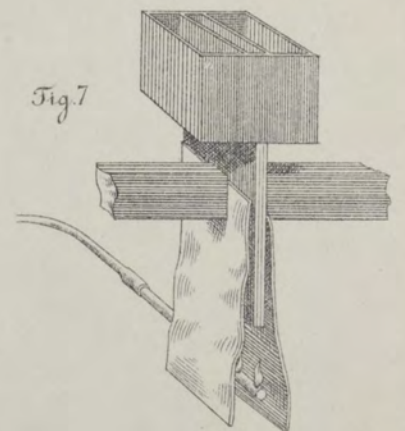
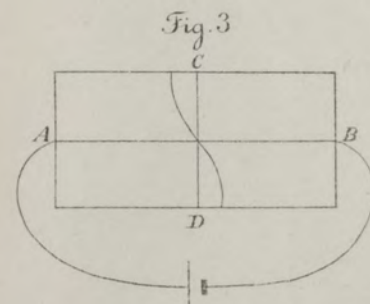
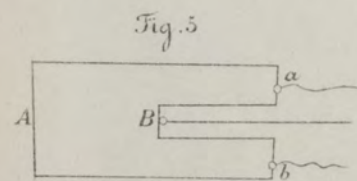
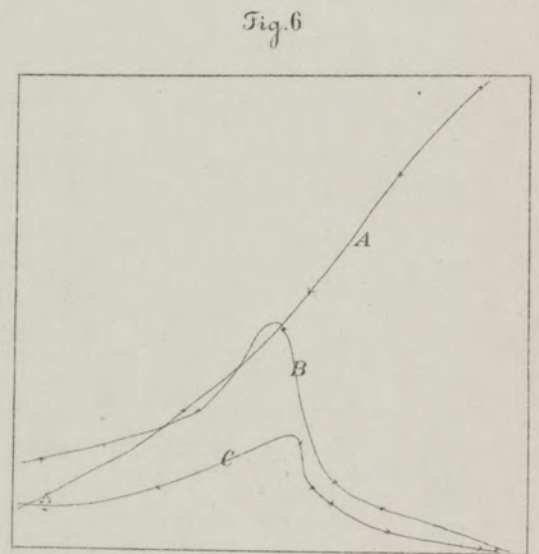
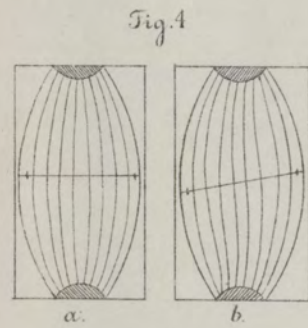
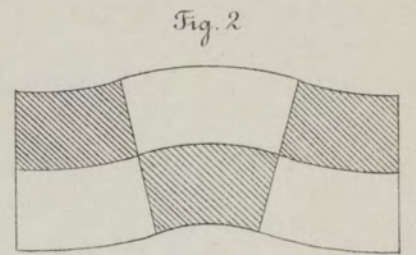
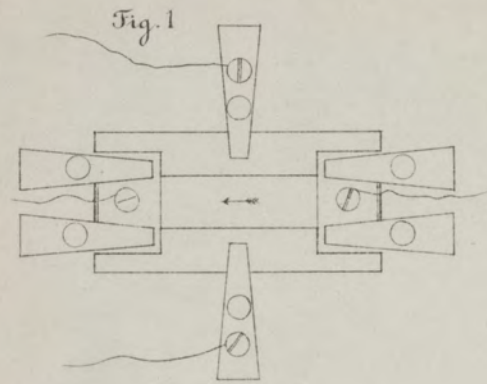
Uit het beginsel der dimensies volgt dat het optreden van den term $\frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t}$ in de theorieën over de magnetische draaiing van het polarisatievlak noodzakelijk moet samenhangen met het bestaan van momenten van hoeveelheid van beweging in het magnetisch veld.

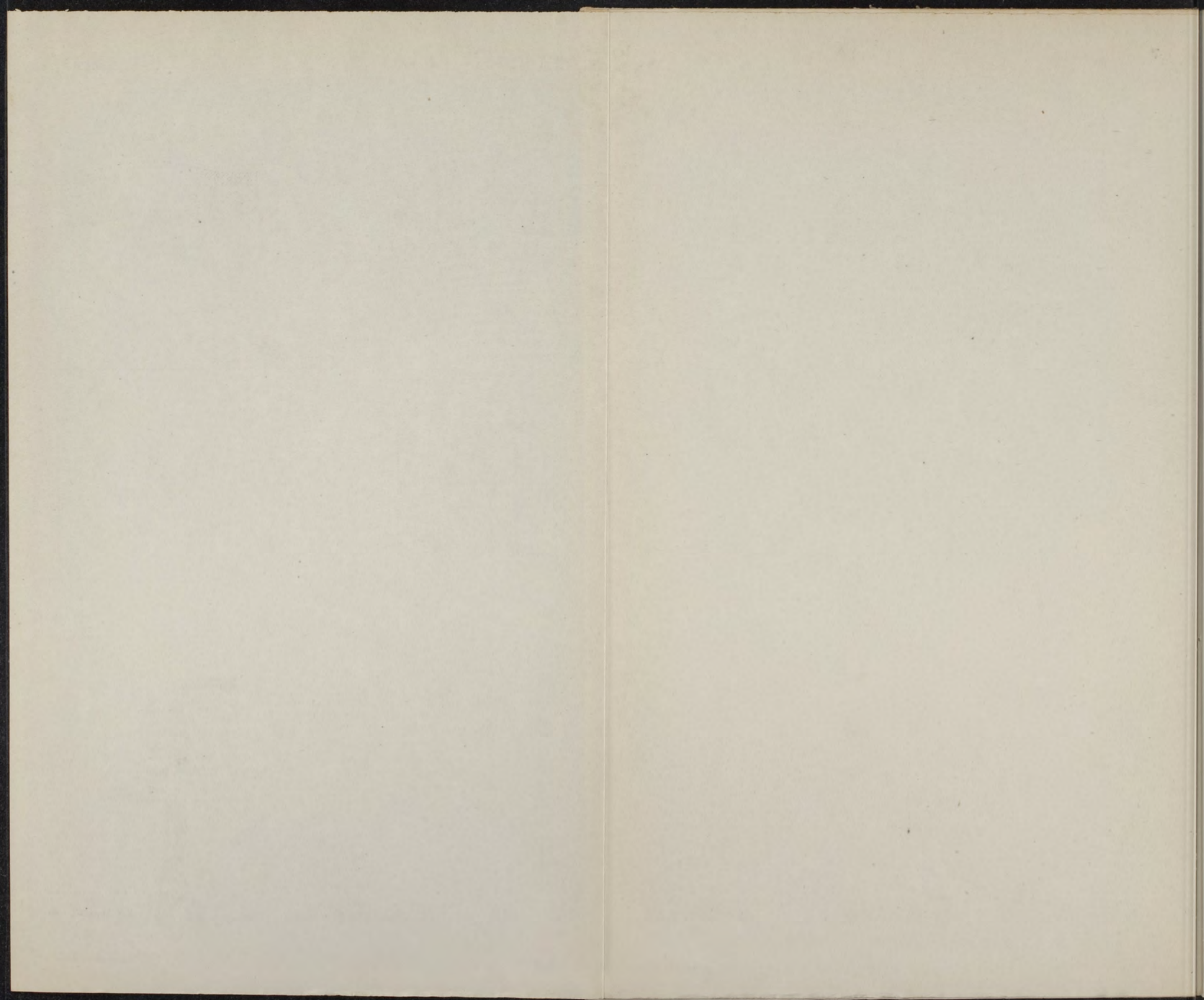
XVII.

„Therefore the true Logic for this world is the Calculus
„of Probabilities, which takes account of the magnitude of
„the probability (which is, or which ought to be in a
„reasonable man's mind). This branch of Mathematics,
„which is generally thought to favour gambling, dicing and
„wagering, and therefore highly immoral, is the only
„„Mathematics for practical Men” as we ought to be.”

(Brief van MAXWELL aan R. CAMPBELL, 1850).







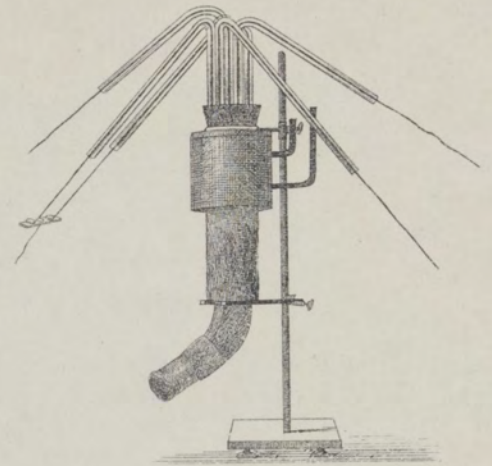


Fig. 9

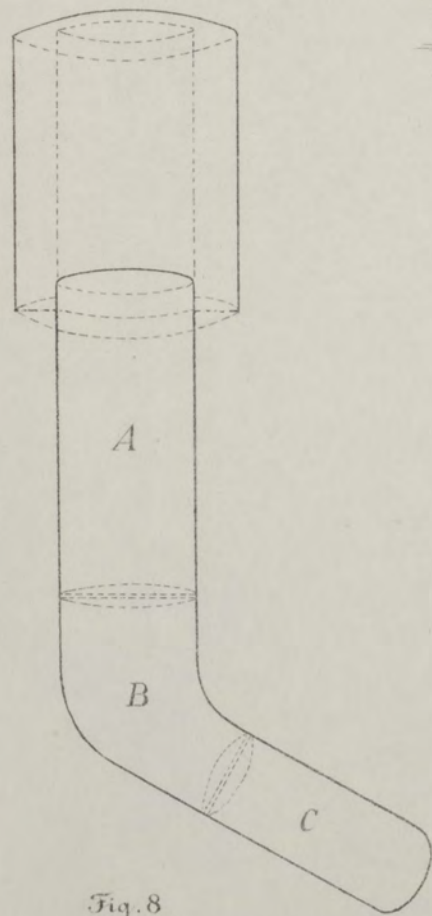
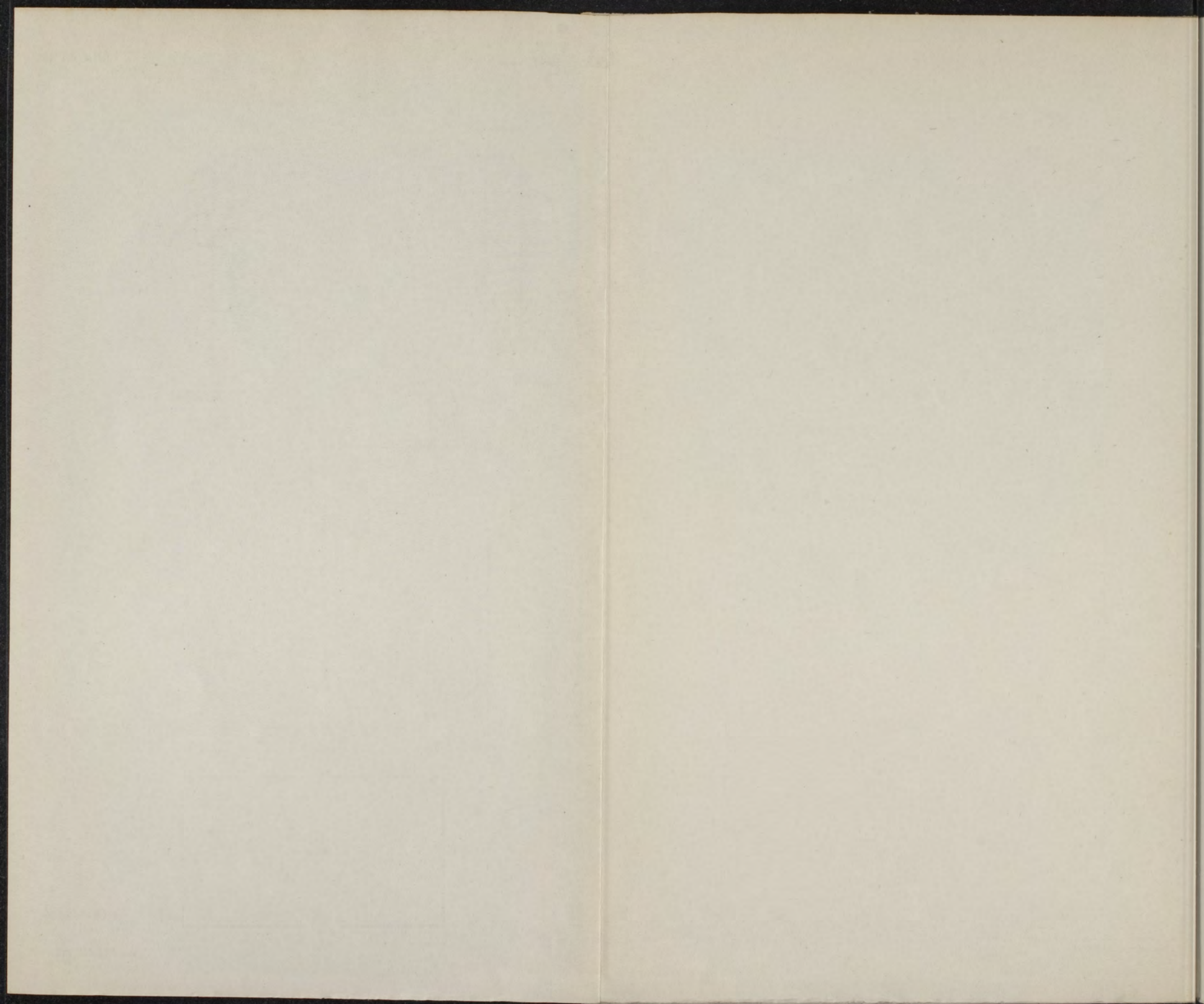
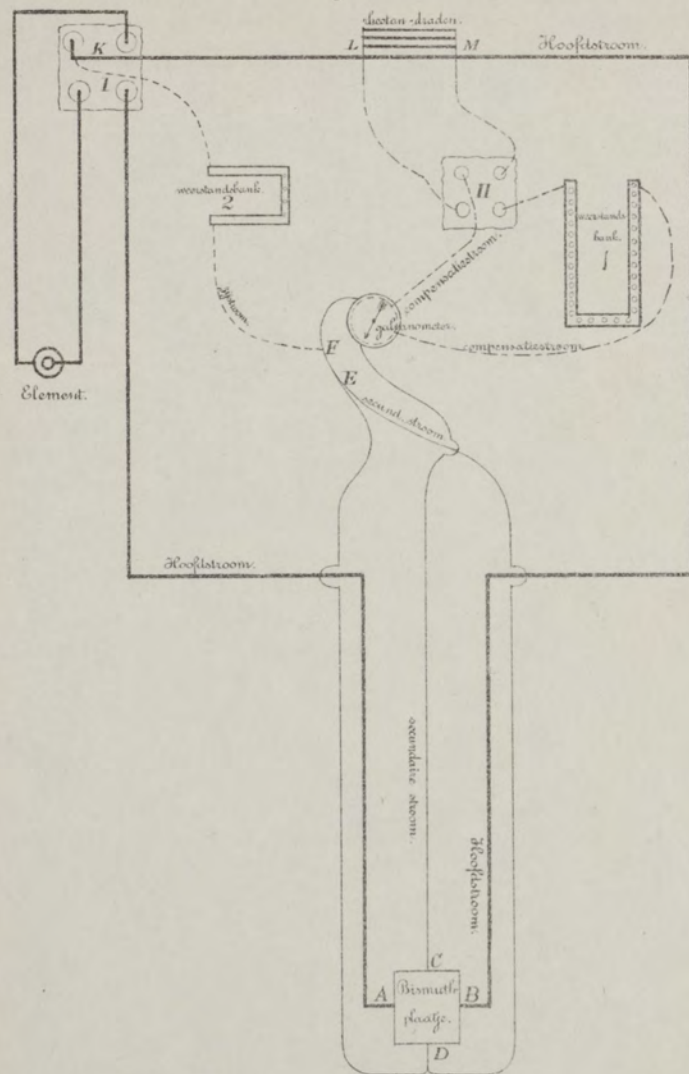


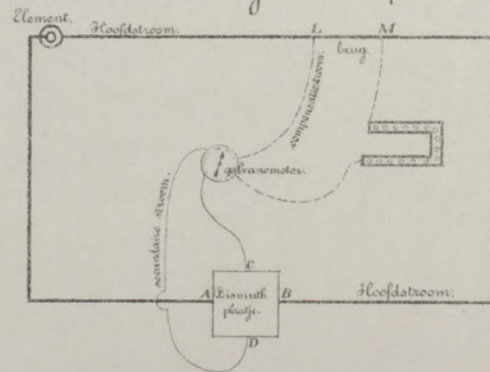
Fig. 8

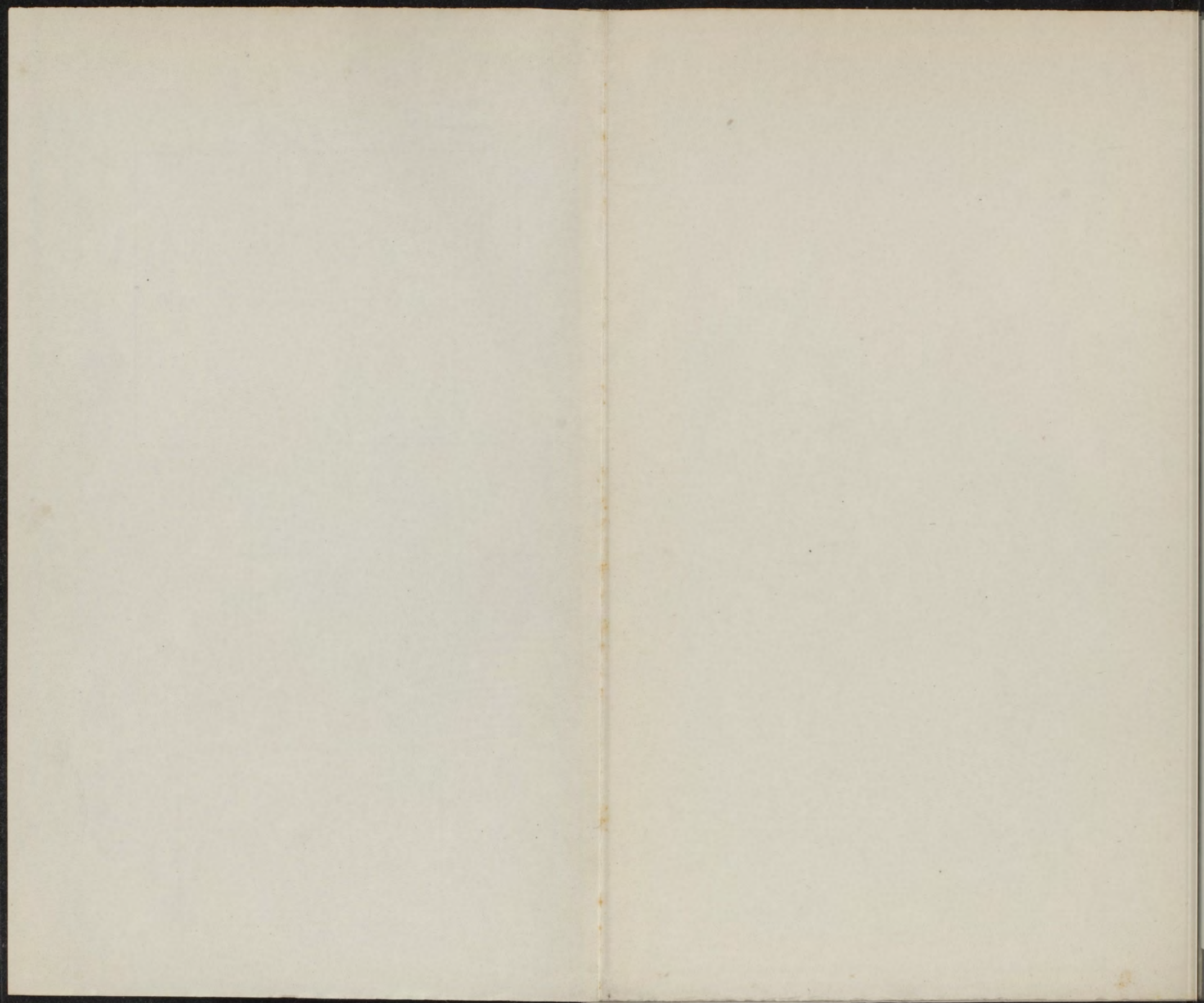


Schematische voorstelling 2 der Compensatiemethode

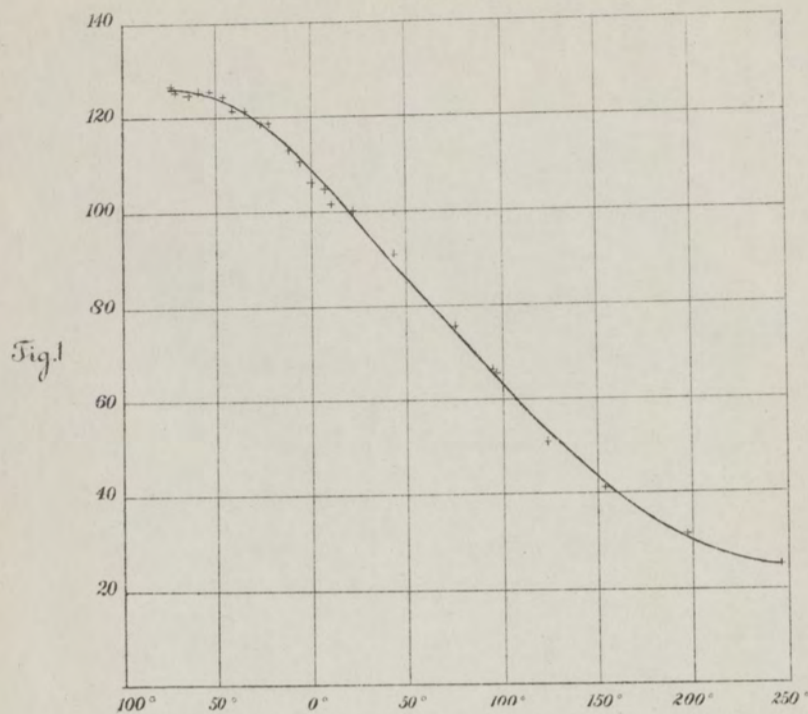


Schematische voorstelling 1 der Compensatiemethode

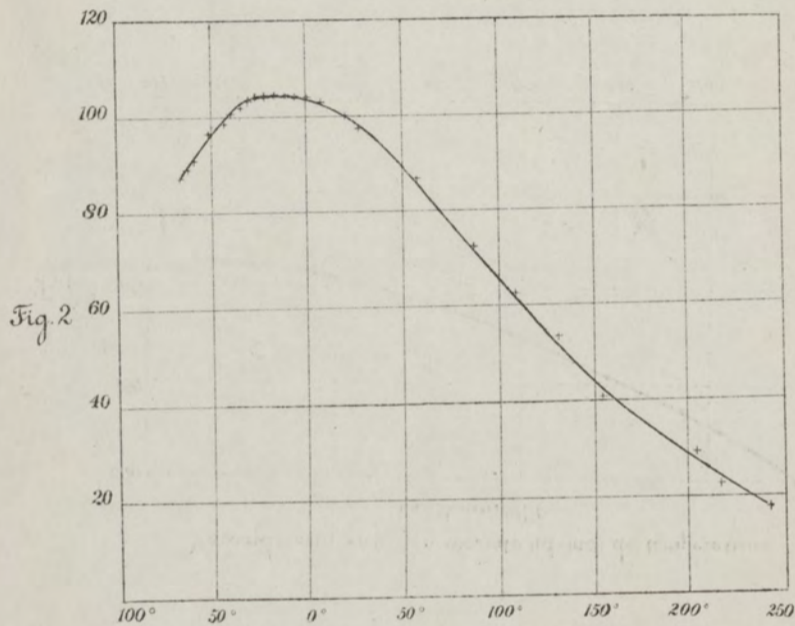




Verandering van het Hall-effect met de temperatuur in Bismuth I



Verandering van het Hall-effect met de temperatuur in Bismuth II.



Verandering van den weerstand met de temperatuur in Bismuth I

