

OVER HET METEN
VAN DEN
GALVANISCHEN
GELEIDINGSWEERSTAND.

DE WET

1854

DE WET

DE WET

OVER HET METEN
VAN DEN
GALVANISCHEN
GELEIDINGSWEERSTAND.

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT,

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE,

AAN DE HOOGESCHOOL TE LEIDEN;

OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

DR. R. DOZY,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER WIJSBEGEERTE EN LETTEREN,

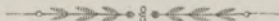
VOOR DE FACULTEIT TE VERDEDIGEN,

OP ZATERDAG DEN 12^{den} DECEMBER 1868, DES NAMIDDAGS TEN 3 URE,

DOOR

JAN SIRKS,

GEBOREN TE ROTTERDAM.



DEVENTER,
WED. P. DE LANGE.
1868.

OVER THE WATER

GALENA

AMERICAN WESTERN

ADVERTISING

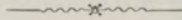
DOCTOR IS DR. WILSON

DR. WILSON

WILSON

WILSON

INHOUD.



	Bladz.
Inleiding.	1.
Eerste Hoofdstuk. De methoden van WHEATSTONE en BOSSCHA	5.
Tweede Hoofdstuk. Methoden ter weerstandsbepaling van vloeistoffen	18.
Derde Hoofdstuk. Weerstandsbepaling van eenige metaaldraden. Astatisme eener magneetnaald door een vasten magneet	30.
Vierde Hoofdstuk. Weerstandsbepalingen met oplos- singen van kopersulfaat	55.
Stellingen.	71.



OVER HET METEN
VAN DEN
GALVANISCHEN
GELEIDINGSWEERSTAND.

INLEIDING.

Door den in vergelijking met academische inrichtingen geringen omvang van de middelen, die mij op het atheneum te *Deventer* ten dienste staan, was de keus van een natuurkundig onderwerp, ter proefondervindelijke behandeling geschikt, vrij beperkt; gelukkig maakte de aanwezigheid van een paar goede galvanometers een dergelijken arbeid mogelijk, indien ik mij wilde wagen op een gebied, reeds sedert lang door velen betreden, maar op verre na nog niet in alle richtingen doorzocht. De verschijnselen, die de elektrische stroom in geleiders van verschillenden aard in het leven roept, zijn tamelijk nauwkeurig bekend. Schoon een aanhoudend onderzoek van deze werking nog veel moet leeren omtrent den innerlijken bouw van de stof, werd er reeds geruimen tijd geleden een

helder licht geworpen over de scheikundige samenstelling van talloze verbindingen. Doch de scheikunde heeft er het meeste voordeel van getrokken; tot de kennis van het wezen der electriciteit hebben de verschijnselen in de gesloten keten nauwelijks eene schrede doen naderen. Wel heeft de electrochemische theorie den gang der galvanische ontleding in woorden gebracht en naar de hypothese der electriche vloeistoffen verklaard; wel is de warmteontwikkeling en de dynamische werking van den electricen stroom in overeenstemming bevonden met het beginsel van behoud van arbeidsvermogen; maar, waarin het eigenaardige van den electricen toestand der stof bestaat, is tot nog toe een geheim gebleven; en de sluier, welke dit bedekt, wordt misschien eenmaal het best opgeheven door voortgezette beoefening van den invloed, dien de aard der doorloopen geleiders op den electricen stroom uitoefent. Eene nauwkeurige kennis van dezen invloed kan voor de theorie der electriciteitsleer worden, wat de verschijnselen van breking en terugkaatsing voor de leer van het licht geweest zijn.

Het onderscheid tusschen geleiders en nietgeleiders is slechts betrekkelijk; waar het electriche evenwicht gestoord kan worden, zal het zich ook met meerdere of mindere snelheid herstellen, naar gelang van den weerstand, dien de kleinste deeltjes hiertegen bieden; en in dit opzicht schijnen alle stoffen eene reeks te vormen, waarbij het geleidend vermogen met

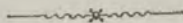
grooter of kleiner verval afneemt. Waarom de geleidingsweerstand van verschillende stoffen zoo sterk uiteenloopt, bij geringe inneming van vreemde bestanddeelen aanzienlijk veranderen kan, door mechanische invloeden gewijzigd wordt, met temperatuursverhooging, zoowel ten gevolge van den electrischen stroom als door uitwendige verwarming, bij alle metalen schijnt toe te nemen, daarentegen bij electrolyten te verminderen, zijn vragen die eerst dan voor volledige oplossing vatbaar worden, wanneer de waarden van die weerstanden met hare veranderingen voldoende bekend zullen zijn.

In deze richting zijn reeds verscheidene bepalingen gedaan; maar de onvermijdelijke bezwaren, die bij dergelijke onderzoekingen te voorschijn komen, zijn zoo hinderlijk, dat de graad van nauwkeurigheid der verkregen uitkomsten meestal vrij gering is. Niet alleen de onderzochte weerstand ondervindt gedurende de waarneming eene aanhoudende wijziging; ook de maat, waarmede hij vergeleken wordt, is aan dezelfde stoornis blootgesteld, en blijft derhalve niet standvastig, hetgeen zij oorspronkelijk was. Hierdoor ontzinkt den waarnemer op dit gebied de vaste grond, en beletten hem de omstandigheden uitkomsten te leveren, zoo juist als de wijze van onderzoek anders zou toestaan. Bij rechtstreeksche meting zijn deze bezwaren niet te ontgaan; hunne invloed kan door eene min of meer doelmatige wijze van handelen slechts verzwakt worden.

In de volgende bladzijden wordt een overzicht gegeven van eenige pogingen, ter bepaling van galvanischen geleidingsweerstand in het werk gesteld. In het eerste gedeelte is een en ander opgenomen over de methoden van weerstandsbeplating, die hare toepassing gevonden hebben bij de vervaardiging der weerstanden, voor de vergelijking met vochtzuilen bestemd; daarna is de wijze van onderzoek behandeld, die bij de waarnemingen met vochten gevolgd moest worden; aan het einde zijn eenige uitkomsten toegevoegd, bij metingen met kopersulfaat in verband met de oplossingssterkte verkregen.

Was het leveren eener zuiver wetenschappelijke bijdrage het doel dezer verhandeling, de mededeelingen over de vervaardiging en meting der later gebruikte weerstanden zouden grootendeels, even als wellicht die over de bepalingen met kopersulfaat achterwege gebleven zijn. Als uitkomsten onder ongunstige omstandigheden verkregen, kunnen de laatste slechts eenigermate strekken ter toelichting van de meerdere of mindere doelmatigheid der gevolgde handelwijze.

De schrijver hoopt dan ook, dat men zijn academisch proefschrift alleen beschouwen zal als eene eerste proeve van zelfstandig verrichten arbeid.



EERSTE HOOFDSTUK.

DE METHODEN VAN WHEATSTONE EN BOSSCHA.

Het doel van weerstandsbeplating kan bij metaaldraden tweeeërlei zijn, naar gelang men weerstanden van een zeker bedrag wil vervaardigen, of wel den weerstand wil bepalen van draden met gegeven afmetingen. In het eerste geval is de handelwijze van WHEATSTONE, in het laatste die van BOSSCHA, zooals de ondervinding geleerd heeft, door nauwkeurigheid of gemak van uitvoering boven alle andere te verkiezen. Eene uitvoerige beschrijving van beide methoden met hare voordeelen is reeds meermalen gegeven; hier is het dus voldoende, haar met een enkel woord te schetsen.

De handelwijze van WHEATSTONE is eene differentiaalmethodode, waarbij het gebruik van den differentiaalgalvanometer ontgaan is door de bekende ruitvormige draadschikking. Vier draden (fig. 1) *u*, *w*, *a*, *b* vormen de zijden van een vierhoek; twee tegenover elkander gelegen hoekpunten zijn met de pooldraden der batterij verbonden; tusschen de beide andere



Fig. 1.

bevindt zich eene elektrische brug c , waarin een galvanometer G is ingelascht; in u

wordt de onderzochte draad, in w de weerstandsmaat opgenomen. Onder welke voorwaarden de nauwkeurigste uitkomsten verkregen worden, kan uit de volgende beschouwing blijken; de weerstanden der draden zijn hierbij door ééne letter a , b , c , u en w , en de stroomsterkten in de verschillende takken door een aanwijzer ($I_c =$ stroomsterkte in c) aangegeven.

Zij E de electromotorische kracht van de gebruikte batterij, h hare weerstand benevens die van den verderen sluitdraad, dan verkrijgt men door middel van de wetten van KIRCHHOFF voor de sterkte van den hoofdstroom

$$I_h = \frac{E}{h + \frac{u \cdot w(a+b+c) + a \cdot b(c+u+w) + c(b \cdot u + a \cdot w)}{(a+b)(c+u+w) + c(u+w)}} \dots (1)$$

eveneens voor de stroomsterkte in de elektrische brug

$$I_c = \frac{a \cdot w - b \cdot u}{(a+b)(u+w) + c(a+b+u+w)} \times I_h \dots \dots (2)$$

$$= \frac{(a \cdot w - b \cdot u) E}{h \{ (a+b)(c+u+w) + c(u+w) \} + u \cdot w(a+b+c) + a \cdot b(c+u+w) + c(b \cdot u + a \cdot w)} \dots (3)$$

Voor $I_c = 0$ moet alzoo, daar de noemer van (3) altijd > 0 is,

$$a \cdot w = b \cdot u \text{ zijn}$$

$$\text{of } \frac{u}{w} = \frac{a}{b} \dots \dots \dots (4)$$

Bij het onderzoek van een in u ingelaschten draad zal derhalve volgens (4) $u = w$ zijn, indien bij gelijkheid van a en b de naald van den galvanometer G in rust is.

Zonder voorafgaande meting is deze gelijkheid van a en b niet te bereiken, daar evenlange stukken van denzelfden draad zeer verschillenden weerstand kunnen bezitten; intusschen kan men zelfs bij eenig verschil van a met b , door beide met elkander te verwisselen, toch tot gelijkheid van u en w geraken. In dit geval verkrijgt men namelijk voor de beide waarden van I_c vóór en na de omlegging volgens (3), zoo

$$h \{ (a + b) (c + u + w) + c(u + w) \} + u \cdot w (a + b + c) + a \cdot b (c + u + w) = A \text{ gesteld wordt,}$$

$$\left. \begin{aligned} I'_c &= \frac{(a \cdot w - b \cdot u) E}{A + c (b \cdot u + a \cdot w)} \\ I''_c &= \frac{(b \cdot w - a \cdot u) E}{A + c (a \cdot u + b \cdot w)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

Indien nu $I'_c = -I''_c$ is, vloeit uit (5) voort

$$\{ 2 \cdot a \cdot b \cdot c (u + w) + A (a + b) \} (u - w) = 0$$

of $u = w \dots \dots \dots (6)$

Om bij eenig verschil tusschen a en b toch tot de gelijkheid van u en w te geraken, moet men derhalve u zoolang wijzigen, tot bij de verwisseling van a en b $I'_c = -I''_c$ is.

De nauwkeurigheid dezer methode van weerstandsvergelij-

king hangt af van de waarde van a en b . Bij een gegeven verschil tusschen u en w zal de uitslag van de galvanometer-naald het maximum bereiken, wanneer de waarde van a beantwoordt aan

$$\frac{\partial I_c}{\partial a} = 0.$$

Nu is volgens (3), zoo $b = p \cdot a$ gesteld wordt

$$I_c = \frac{a(w - p \cdot u) E}{h \{ a(1+p)(c+u+w) + c(u+w) \} + u \cdot w \{ a(1+p) + c \} + p \cdot a^2(c+u+w) + a \cdot c \cdot p \cdot u + a \cdot c \cdot w} \dots (7)$$

$$= \frac{a(w - p \cdot u) E}{B}$$

$$\frac{\partial I_c}{\partial a} = \frac{B(w - p \cdot u) - a(w - p \cdot u) \frac{\partial B}{\partial a}}{B^2} E = 0$$

waaraan voor het maximum van I_c voldaan wordt door

$$B - a \frac{\partial B}{\partial a} = 0$$

of, na de ontwikkeling van $\frac{\partial B}{\partial a}$ en vereenvoudiging,

$$-p \cdot a^2(c+u+w) + c \cdot h(u+w) + c \cdot u \cdot w = 0$$

$$a = \sqrt{\frac{c(h \cdot u + h \cdot w + u \cdot w)}{p(c+u+w)}}$$

welke waarde $\frac{\partial^2 I_c}{\partial a^2}$ — maakt.

Ter benadering $a = w$, $p = 1$ stellend, vindt men dus:

$$a = \sqrt{\frac{c \cdot u (2h + u)}{c + 2u}} \dots \dots \dots (8)$$

voor het bedrag, dat ongeveer aan a en b gegeven moet worden, om zeker verschil tusschen u en w zich zoo scherp mogelijk op den galvanometer te doen verraden.

Bij ditzelfde verschil tusschen u en w hangt de uitslag der galvanometernaald bovendien, behalve van E , nog af van c , den galvanometerweerstand.

Uit (3), waar c niet in alle termen van den noemer voorkomt, blijkt dat I_c , altijd grooter is dan omgekeerd evenredig aan c . Kleine uitslagen van de galvanometernaald zijn evenredig aan I_c , en, zoolang de afstand der windingen niet te veel verandert, ook nagenoeg aan den weerstand van den galvanometer. Men dient derhalve een galvanometer met dunnen draad van aanzienlijke lengte te gebruiken, daar eerst bij eene zeer groote waarde van c I_c in omgekeerde verhouding van deze begint te veranderen.

De methode van WHEATSTONE wordt dus zoo voordeelig mogelijk toegepast, wanneer men bij uiteenloopende waarden van u , voor a en b draden kiest, wier weerstand door (8) aangegeven wordt, en een galvanometer gebruikt met groot aantal windingen.

De methode van BOSSCHA berust op het verband, dat er bij splitsing van een electrischen stroom bestaat tusschen de

weerstand en de stroomsterkten in beide. Wordt de weerstand van den eenen tak onveranderd gelaten, daarentegen die van den tweeden vergroot, maar de stroomsterkte hierin op hetzelfde bedrag gehouden, dan is uit de verandering van den hoofdstroom de vermeerdering van weerstand in den tweeden tak af te leiden.

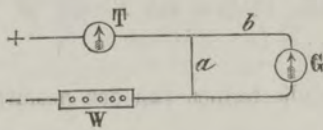


Fig. 2.

In fig. 2 zijn *a* en *b* de beide takken, T is de tangentenboussole, die de sterkte van den hoofdstroom aangeeft;

G is een galvanometer, W eene weerstandsbank in den hoofdstroom. Bij zekeren uitslag van G wordt de stand van T afgelezen = *I*; daarna wordt de weerstandsmaat *M* in *b* ingelascht, de galvanometernaald door middel van W in denzelfden stand *I_b* teruggebracht en T afgelezen = *I'*; hetzelfde geschiedt na vervanging van *M* door den te meten weerstand *M'*, waarbij de aflezing *I''* verkregen wordt.

Nu is, zoo de weerstand van den galvanometer = *c* gesteld wordt,

$$I_b \times (b + c) - I_a \times a = 0 \dots\dots\dots (9)$$

$$I_b \times (b + c + M) - I_a \times a = 0 \dots\dots\dots (10)$$

$$I_b \times (b + c + M') - I_a \times a = 0 \dots\dots\dots (11)$$

maar

$$I = I_a + I_b \dots\dots\dots (12)$$

$$I' = I'_a + I_b \dots \dots \dots (13)$$

$$I'' = I''_a + I_b \dots \dots \dots (14)$$

waardoor men, na verwijdering van I_a , I'_a , I''_a uit (9), (10) en (11), verkrijgt

$$(I' - I) (a + b + c) = I \cdot M$$

$$(I'' - I) (a + b + c) = I \cdot M'$$

$$\text{of } \frac{M'}{M} = \frac{I'' - I}{I' - I} \dots \dots \dots (15)$$

Daar, bij het gebruik van een galvanometer met aanzienlijken weerstand, de betrekkelijke verandering van $b + c$ en dus ook de verschillen $I'' - I$ en $I' - I$ gering blijven, bracht BOSSCHA eene nevensluiting f (fig. 3) aan, zoodat nu, schoon

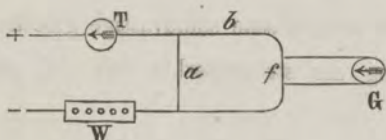


Fig. 3.

met den galvanometer hetzelfde doel, namelijk de standvastigheid van I_b bij de drie aflezingen van T , bereikt wordt, in plaats van c slechts de geringe weerstand $\frac{c f}{c \pm f}$ aan b wordt toegevoegd.

De groote waarde van deze methode komt vooral uit, wanneer de onderzochte weerstand M' weinig van den legger M verschilt; gelijk H. W. SCHROEDER VAN DER KOLK aangetoond en door metingen bewezen heeft, kan er in dat geval een

hooge graad van nauwkeurigheid mede bereikt worden. Deze neemt nog eenigszins toe, indien men de tangentenboussole niet in den hoofdstroom, maar in a opneemt, en derhalve I_a afleest.

Volgens (15) toch is

$$\frac{M'}{M} = \frac{I'' - I}{I' - I}$$

waarvoor overeenkomstig (12), (13) en (14) ook geschreven kan worden

$$\frac{M'}{M} = \frac{I''_a - I_a}{I'_a - I_a} \dots\dots\dots (16)$$

I''_a kan even groot gemaakt worden als I'' , zoodat de waarde van teller en noemer in (16) grooter is dan in (15), waar ieder der termen eene standvastige grootheid I_b bevat, en de wijziging der stroomsterkte dus niet zoo aanzienlijk kon zijn.

Bij het bepalen van zeer groote weerstanden, zooals bij het ijken van eene weerstandsbank voorkomt, wordt de volgens deze methode bereikbare nauwkeurigheid geringer, omdat het verschil $I'' - I$ dan wel aanzienlijk, maar $I' - I$ des te kleiner is, en eene fout in I' of I zich hierin derhalve sterk doet gevoelen. In dit geval dient men eenen weg in te slaan, waarbij I en niet I'' het grootst is, zoodat voor dezelfde weerstanden M en M' de waarde van $I - I'$ veel aanzienlijker wordt, zonder verandering in het verschil tusschen I'' en I . Hiertoe geraakt men, wanneer de te vergelijken

weerstand en niet in b , maar in a worden opgenomen. Wel is bij de drie aflezingen de stroomsterkte in de vergeleken draden dan niet even groot; maar, dat de weerstand (afgezien van temperatuursverhooging) afhankelijk is van de stroomsterkte, schijnt nooit waargenomen te zijn.

De wijze van onderzoek blijft verder dezelfde. Bij zekeren

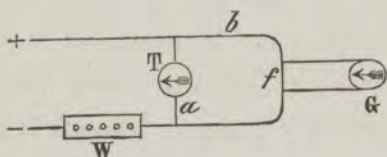


Fig. 4.

stand van G (fig. 4)

wordt de tangentenboussole T in a afgelezen = I ; daarna wordt de legger M in a ingelascht, door

middel van de weerstandsbank W de stand van den galvanometer en dus ook I_b op hetzelfde bedrag gehouden, en T op nieuw afgelezen = I' ; de verwisseling van M met M' geeft eindelijk bij dezelfde waarde van I_b de derde aflezing I''

Dan is wederom

$$I \times a - I_b \times b - I_f \times f = 0$$

$$I' \times (a + M) - I_b \times b - I_f \times f = 0$$

$$I'' \times (a + M') - I_b \times b - I_f \times f = 0$$

waaruit $I \times a = I' \times (a + M) = I'' \times (a + M')$

of
$$\frac{M'}{M} = \frac{I' (I - I'')}{I'' (I - I')} \dots \dots \dots (17)$$

De graad van nauwkeurigheid der alzo verkregen verhouding $\frac{M'}{M} = x$ is, hetzij de weerstanden in b of in a worden opgenomen, gemakkelijk na te gaan.

Door differentiatie van (16) en (17) verkrijgt men

$$\left. \begin{array}{l} \text{uit (16)} \\ \frac{\partial x}{\partial I} = \frac{I'' - I'}{(I' - I)^2} \\ \frac{\partial x}{\partial I'} = -\frac{I'' - I}{(I' - I)^2} \\ \frac{\partial x}{\partial I''} = \frac{1}{(I' - I)} \end{array} \right\} \cdot (18)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{uit (17)} \\ \frac{\partial x}{\partial I} = -\frac{I'(I' - I'')}{I''(I - I')^2} \\ \frac{\partial x}{\partial I'} = \frac{I(I - I'')}{I''(I - I')^2} \\ \frac{\partial x}{\partial I''} = -\frac{I \cdot I'}{I''^2(I - I')} \end{array} \right\} \cdot (19)$$

Indien nu bij de vergelijking van de weerstanden $M = 1$, $M' = x$ de door spiegeling waargenomen grootst mogelijke uitslag $\pm p$ en de kleinste $\pm q$ millimeter bedraagt, is in

$$(16) \quad \frac{I}{I''} = \frac{q}{p} \quad p > q$$

$$(17) \quad \frac{I}{I''} = \frac{p}{q}$$

en dus

$$\frac{M'}{M} = x = \frac{p - q}{I' - q} \quad \frac{M'}{M} = x = \frac{I'(p - q)}{q(p - I')}$$

$$\text{of } I' = \frac{p + (x - 1)q}{x} \quad I' = \frac{x \cdot p \cdot q}{p + (x - 1)q}$$

Hierdoor worden

$$(18) \quad \left. \begin{array}{l} \frac{\partial x}{\partial I} = \frac{x \cdot (x - 1)}{p - q} \\ \frac{\partial x}{\partial I'} = -\frac{x^2}{p - q} \\ \frac{\partial x}{\partial I''} = \frac{x}{p - q} \end{array} \right\} \cdot (20)$$

$$(19) \quad \left. \begin{array}{l} \frac{\partial x}{\partial I} = -\frac{x \cdot (x - 1) \cdot q}{p(p - q)} \\ \frac{\partial x}{\partial I'} = \frac{\{p + (x - 1)q\}^2}{p \cdot q(p - q)} \\ \frac{\partial x}{\partial I''} = -\frac{x \cdot p}{q(p - q)} \end{array} \right\} \cdot (21)$$

De invloed van eene aflezingsfout in I , I' of I'' valt het

best in het oog, bij het voor een bepaald geval in cijfers uitdrukken van de waarde dezer differentiaalquotienten.

Zij de grootste uitslag, die op de tangentenboussole afgelezen kan worden, ± 750 millimeter, en de weerstand van den tak, waarin de vergeleken draden M en M' worden opgenomen, zoo gekozen, dat de kleinste aflezing ± 100 millimeter bedraagt, dan is, voor eene verhouding $\frac{M'}{M} = 100$ en 50 , de invloed van eene aflezingsfout van $-\frac{1}{4}$ millimeter op de waarde van $\frac{M'}{M}$, volgens

	(20)		(21)	
voor $\frac{M'}{M} =$	100	50	100	50
in $I = +$	3.8	+ 0.94	in $I = -$	0.51 — 0.12
$I' = -$	3.8	— 0.96	$I' = +$	0.58 + 0.16
$I'' = +$	0.038	+ 0.02	$I'' = -$	0.29 — 0.14

Voor het vergelijken van zeer uiteenloopende weerstanden de methode van BOSSCHA op de beschreven manier wijzigende, kan men derhalve ook in dit geval eene aanzienlijke nauwkeurigheid bereiken.

De in de vorige bladzijden behandelde methoden van WHEATSTONE en BOSSCHA bezitten boven alle andere het voordeel, dat zij onafhankelijk zijn van innerlijke verandering der bat-

terij; maar onderling vergeleken, verdient de laatste, hoewel in gebruik niet zoo eenvoudig, meestal de voorkeur.

In het algemeen moet de methode, waarbij de onderzochte weerstand met tot hetzelfde bedrag aan weerstand aaneengeschakelde draden vergeleken wordt, achterstaan bij de weerstandsbepaling uit verandering van stroomsterkte, die slechts ééne weerstandsmaat vordert. De moleculaire wijziging toch, waaraan alle metalen, behalve kwikzilver, door aanhoudend gebruik, of door invloed van den tijd onderworpen schijnen, maakt eene voortdurende vergelijking van de ter meting aangewende weerstanden met den legger noodig; en dergelijk onderzoek is bij weerstandsbanken natuurlijk veel tijdroovender dan voor een enkelen draad. Nu vordert de methode van WHEATSTONE het gebruik van rheochord en weerstandsbank. Wel kan men bij het onderzoek van dit laatste werktuig een soortgelijk ontberen, en bij opklimming iederen klos door de kleinere meten, wanneer men een der pooldraden der batterij met de boven dezen klos geplaatste stop verbindt, en deze stop b. v. door een stukje papier aan de eene zijde isoleert, zoodat de stroom gedwongen wordt zich in den te onderzoeken klos en de reeds bekende (langs u en w , fig. 1) te verdeelen; maar dan gaan al de fouten van de kleinere in den grooteren over. Afgezien van het gebruik eener rheochord, is dus eene volgens de methode van BOSSCHA onderzochte weerstandsbank bij die van WHEATSTONE onmisbaar.

Door de moeielijke reiniging van het bij dit instrument gebruikelijk contact is men echter, gelijk zelfs bij goede aanzetting der stoppen bleek, nooit van eene behoorlijke aanraking volkomen verzekerd, zoodat de aanwending van de weerstandsbank in haren tegenwoordigen vorm, die bovendien geene voldoende verbetering voor de temperatuur toelaat, tot stroomverzwakking beperkt is, waarvoor zij groot gemak aanbiedt.

Alleen voor het afpassen van normaaldraden is de methode van WHEATSTONE, die geene berekening vordert, verkieselijk; maar het zou misschien even doelmatig zijn, voor standaardmaten draden van zekere lengte te leveren met opgave van den juisten weerstand.

In nagenoeg alle omstandigheden kan de methode van WHEATSTONE derhalve met voordeel door die van BOSSCHA vervangen worden; en uit het hierna vermeld onderzoek met kopersulfaat blijkt wellicht, of de laatste, behoorlijk gewijzigd, ook bij weerstandsbepaling van vochten voor die van WHEATSTONE behoeft onder te doen.

TWEEDE HOOFDSTUK.

METHODEN TER WEERSTANDBEPALING VAN VLOEISTOFFEN.

Alvorens met de weerstandsbepaling van vochten te kunnen beginnen, was de vervaardiging van eene weerstandsbank die hier op het kabinet ontbrak, een noodwendig vereischte, daar deze metingen volgens het eerste plan naar de methode van WHEATSTONE beproefd zouden worden.

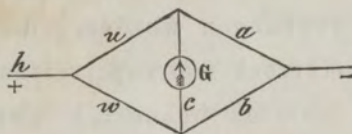


Fig. 1.

Twee vochtzuilen van gelijke doorsnede, maar verschillende lengte zouden in u en w (fig. 1) ingelascht worden; in w moest bovendien nog de weerstandsbank worden opgenomen. Is nu de lengte en weerstand van de eerste vochtzuil l en r , en die van de andere $n.l$ en $n.r$, dan moet, indien er in w nog een weerstand W vereischt wordt om de galvanometernaald op het nulpunt te houden, bij gelijkheid van a en b ook

$$u + r = w + n \cdot r + W \text{ zijn}$$

of voor $u = w$

$$r = \frac{W}{1 - n}$$

Deze vochtzuilen werden te midden van dezelfde massa vloeistof afgezonderd. In een cilindervormig glazen vat was op den bodem eene schijf platinablad als electrode neergelegd, op wier rand een verticale metaaldraad, ter isolering van eene dunne glazen buis omgeven, was vastgesoldeerd. Op het platinablad werden twee gelijke, aan beide einden open glazen buizen van ongeveer 30 millimeter inwendige middellijn en 200 hoogte rechtop neergezet. In iedere van deze hing een passend horizontaal platinaschijfje, als tweede electrode op het uiteinde van een dikken koperdraad gesoldeerd; deze draden, van schroef voorzien, waren door onderling geïsoleerde moeren gestoken, welke in een op het glazen vat sluitend deksel bevestigd waren. In dit vat werd zooveel van het te onderzoeken vocht gegoten, dat de rand der twee glazen buizen er nog even boven uitstak, en de vloeistof er binnen, voor zoover zij niet door de onderste gemeenschappelijke electrode was afgesloten, slechts van onderen met het vocht in het vat in aanraking was. Door het op- en neerschroeven van de twee platinaschijfjes verkreeg men dus twee vochtzuilen van een bepaald lengteverschil.

De geleidraad der onderste electrode werd verbonden (fig. 1)

met den pooldraad h ; de twee draden van de beide bovenste electroden met de uiteinden van de electriche brug c ; bovendien kon of bij de eene of bij de andere vochtzuil de weerstandsbank worden opgenomen. In c werd een spiegelgalvanometer van Meyerstein met groot aantal windingen ingesloten. Voor a en b werden twee draden van gelijken weerstand gekozen, overeenkomstig formule (8).

Bij het onderzoeken van zwavelzuur was echter de gasopstapeling onder de bovenste electroden niet te verhinderen, zelfs niet, toen zij eenigszins hellend werden geplaatst, of er een rand ter breedte van eenige millimeters was afgeknipt. Voor bepalingen met metaalzouten had deze toestel daarentegen goede diensten kunnen bewijzen, indien de vervaardigde weerstandsbank voor nauwkeurige metingen niet ongeschikt was geweest.

Ter samenstelling van deze bank werd een paar duizend el dun koperdraad genomen, die op het kabinet voorhanden lag. Voor ieder der klossen van $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 British Association Units werd, na eene voorloopige bepaling die ruim 3,4 meter draad = 1 B. A. U. deed vinden, een stuk van te groote lengte afgemeten en op den klos gewonden, om daarna volgens de methode van WHEATSTONE op de behoorlijke lengte gebracht te worden. Hierbij werd aan a en b (fig. 1) ongeveer de waarde gegeven die formule (8) vereischt, en in c een goede galvanometer van Deleuil

opgenomen, die $\frac{1}{3}^\circ$ aflezing toelaat, maar waarvan de weerstand slechts 3 B. A. U. bedraagt; de gelegenheid stond het gebruik van den spiegelgalvanometer nog niet toe. In *w* werd de absolute weerstandseenheid, de reeds genoemde British Association Unit, die te *Londen* verkrijgbaar is, en in *u* de onderzochte draad opgenomen; vervolgens de stand van de galvanometernaald, ook bij omkeering van den stroom, afgelezen, en hetzelfde na verwisseling van *a* en *b* herhaald. Men verkrijgt alzoo bij den stand *a boven, b onder* (fig. 1) den uitslag I'_c , bij den stand *a onder, b boven* I''_c . Nadat dan van den onderzochten draad een stuk van bepaalde lengte was afgeknipt, kon uit de verandering van $\frac{1}{2} (I'_c + I''_c)$ benaderd worden, hoeveel de draad nog te lang was. Indien de gelijkheid van *u* en *w* hierdoor niet volkomen bereikt was, werd de handeling herhaald.

Wil men de omlegging van *a* en *b* ontgaan, dan moet men beide gelijk maken, hetzij door verkorting, hetzij door b. v. voor *a* en *b* één stuk draad te nemen, waarvan het midden zoolang door een kwikbakje getrokken wordt, hetwelk bovendien den tweeden pooldraad der batterij opneemt, totdat de uitslag van den galvanometer bij omlegging niet meer verandert.

Daar in het algemeen bij het gebruik van 1—3 Daniell's elementen eene verkorting van den onderzochten draad met $\frac{1}{2} \%$ eene verandering in I_c van ongeveer 2° te weeg bracht, werd de gelijkheid, van storende invloeden afgezien, tot op $\frac{1}{2000}$ à $\frac{1}{3000}$ bereikt.

Ten einde de moeielijkheid van juiste wijziging eener geringe draadlengte te vermijden, waren op de drie kleinste klossen 2, 4 en 8 stukken van 3,5 meter lengte naast elkander gewonden, waarvan de uiteinden, nadat ieder stuk aan 1 B. A. U. gelijk gemaakt was, aaneengesoldeerd werden, zoodat zij een weerstand van $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ en $\frac{1}{8}$ B. A. U. vertegenwoordigen.

Bij het op maat brengen der klossen met grooteren weerstand moesten de reeds vervaardigde kleinere tot het verlangde bedrag in w worden ingevoegd; al de fouten van deze gingen dus in de grootere over, hetgeen trouwens vergoed kon worden door de juiste waarde van iederen klos later volgens de methode van BOSSCHA te bepalen. Inmiddels bleek het, dat de waarde van 1 B. A. U. voor den aangewenden koperdraad tusschen 3,1 en 3,5 meter uiteenliep. De klossen werden op de bekende wijze in eene doos opgesteld, en de uiteinden der draden aan vrije stukken koper verbonden, die door stoppen in leidende gemeenschap gebracht konden worden.

Het zou eene doellooze moeite zijn, hier de metingen terug te geven, die later naar de op pag. 13 behandelde wijze op de schillende klossen volbracht werden. Vele uitkomsten toch waren verdacht, omdat er in de verschillende takken nog koperdraad, en voor stroomwisseling in de tangentenboussole een commutator met veeren aangewend werd; andere liepen sterk uiteen ten gevolge van de natuur van den draad. De aanzienlijke wijziging, die zijn weerstand bij temperatuursver-

andering ondergaat, zou te begrooten wezen, indien zijne temperatuur met zekerheid te bepalen ware; maar dit laat een in lagen opgewonden draad niet met de noodige scherpte toe.

Als maat kon derhalve de vervaardigde weerstandsbank niet gebruikt worden, schoon zij ter demping van den hoofdstroom een zeer geschikt hulpmiddel bleef.

Gebrek aan ondervinding, niet door nabijzijnden raad en hulp vergoed, had alzoo een geruimen tijd slechts aan oefening dienstbaar gemaakt; en de voorgenomen weerstandsbepalingen van zoutoplossingen moesten of gestaakt worden, totdat de voor eene nieuwe weerstandsbank bestelde nieuwzilverdraad was ontvangen, of zij moesten op andere wijze worden voortgezet.

De gebruikelijke methoden ter weerstandsbepaling van vochten zijn alle, behalve die van LENZ met inductiestroomen, gebouwd op de handelwijze van HORSFORD ter vermindering van den invloed der polarisatie. Een electriche stroom van waargenomen sterkte wordt door de te onderzoeken vochtzuil geleid; bij verkorting dezer zuil moet er zekere weerstand in de keten opgenomen worden, om de stroomsterkte op hetzelfde bedrag te houden. Daar nu in beide gevallen de polarisatie der elektroden dezelfde is, komt de weerstand van de uitgesloten vochtzuil met dien van den ingelaschten draad overeen. Bij al deze methoden is derhalve eene weerstandsbank noodig; maar men kan het gebruik hiervan ontgaan, door het onderzoek ongeveer naar de methode van BOSSCHA voor metalen

in te richten, en dan uit vier aflezingen van de tangentsboussole met behulp van éézelfden weerstand de verlangde grootheid bepalen.

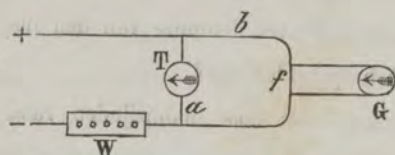


Fig. 4.

Hiertoe wordt in b (fig.4) een bak met de vloeistof opgenomen, die zoo ingericht is dat er ergens b. v. op $\frac{1}{4}$ van de lengte eene

derde electrode, waartoe eene der beide andere kan dienen, ingeschoven kan worden. Door de beide uiteinden van b of met de uiterste electroden of met eene van deze en de derde te verbinden, kan men derhalve of de geheele vochtzuil w of het gedeelte $n \cdot w$ of de rest $(1 - n) w$ in b opnemen. De tangentsboussole T staat weder in a . Achtereenvolgens worden de geheele vochtzuil w , het gedeelte $(1 - n) w$, de rest $n \cdot w$ en eindelijk deze rest benevens de weerstandsmaat O in b ingelascht, waarbij telkens, nadat I_b door de weerstandsbank W op hetzelfde bedrag is teruggebracht, de stand van de tangentsboussole wordt afgelezen. Men verkrijgt alzoo vier waarnemingen I, I', I'', I''' , waaruit de begeerde weerstand van de geheele vochtzuil overeenkomstig de volgende beschouwing is af te leiden.

Zij E_p de electromotorische kracht door polarisatie der electroden in de vloeistof ontstaan, dan is

$$I_b (b + w) + I_f \times f - I \times a = - E_p \dots (22)$$

$$I_b \{ b + (1 - n) w \} + I_f \times f - I' \times a = - E_p \dots (23)$$

$$I_b (b + n w + O) + I_f \times f - I'' \times a = - E_p \dots (24)$$

$$I_b (b + n w) + I_f \times f - I''' \times a = - E_p \dots (25)$$

(22) — (25) geeft

$$I_b (1 - n) w = (I - I''') a \dots \dots \dots (26)$$

(22) — (23)

$$I_b \times n w = (I - I') a \dots \dots \dots (27)$$

(24) — (25)

$$I_b \times O = (I'' - I''') a \dots \dots \dots (28)$$

(26) : (28)

$$(1 - n) w = \frac{I - I'''}{I'' - I'''} \times O \dots \dots \dots (29)$$

(27) : (28)

$$n w = \frac{I - I'}{I'' - I'''} \times O \dots \dots \dots (30)$$

(29) + (30)

$$w = \frac{2 I - I' - I''}{I'' - I'''} \times O \dots (31)$$

waarbij (29) of (30), zoo n bekend is, nog tot controle kan dienen.

De bereikte graad van nauwkeurigheid blijkt wederom uit de waarde der differentiaalquotienten van (31)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial I} &= \frac{2}{I'' - I'''} \times O \\ \frac{\partial w}{\partial I'} &= -\frac{1}{I'' - I'''} \times O \\ \frac{\partial w}{\partial I''} &= -\frac{2I - I' - I'''}{(I'' - I''')^2} \times O \\ \frac{\partial w}{\partial I'''} &= \frac{2I - I' - I''}{(I'' - I''')^2} \times O \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (32)$$

Kiest men, nadat w bij benadering gevonden is, O zoo, dat I'' ongeveer $= I$ is, waardoor, gelijk bij de verrichte bepalingen met kopersulfaat, de waarde van I , I' , I'' en I''' omtrent 700, 500, 700, 200 millimeter bedraagt, dan geeft eene aflezingsfout van $\frac{1}{3}$ millimeter volgens (32)

in I aan w eene vermeerdering van $+\frac{1}{10}\%$

I' " " " " $-\frac{1}{20}\%$

I'' " " " " $-\frac{1}{15}\%$

I''' " " " " $+\frac{1}{30}\%$

De invloed van de waarschijnlijke som der aflezingsfouten is dus in vergelijking van die, welke uit den aard der bepalingen voortvloeien, zeker vrij gering.

Behalve w kan men door substitutie van I_b , die uit (28) afgeleid wordt, in (22) ook de waarde der polarisatie E_p berekenen, indien men het bedrag van de weerstanden a en f bij de waarneming kent. I_f mag hierbij meestal aan I_b ge-

lijk gesteld worden, uithoofde van de geringe waarde van I_c bij een grooten weerstand c van den galvanometer G. Deze weerstand werd voor den later gebruikten multiplicator G bepaald, door bij twee waarnemingen volgens de draadschikking

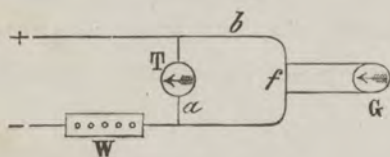


Fig. 4.

van BOSSCHA (fig. 4)

zijn stand af te lezen, eerst toen G alleen met de uiteinden van f verbonden was, daarna

toen er nog een weerstand van 504 B . A . U bij was opgenomen, en hierbij, terwijl a , b en f onveranderd bleven, de afwijking van de tangentenboussole T op hetzelfde bedrag te houden. Bij de geringe uitslagen van $212\frac{1}{2}$ en $153\frac{7}{8}$ millimeter (ongeveer 3° en 2°) den multiplicator als tangentenboussole beschouwend, verkreeg men,

daar $I_f \times f = I'_c \times c = I''_c \times (c + 504)$ moest zijn, voor zijnen weerstand c 1270 B . A . U. Daar f hierbij eene waarde had van ongeveer $\frac{1}{5}\frac{1}{10}$ B . A . U, onderging I_f geene merkbare verandering.

Bij de zooeven behandelde wijze van weerstandsbepaling van vochten is de uitkomst onafhankelijk van wijziging des hoofdstrooms, hetgeen overigens slechts het geval is bij die differentiaal-methode, volgens welke in ieder der takken u en w (fig. 1) een trog geplaatst wordt. Boven deze heeft zij voor, dat men

het gebruik van eene weerstandsbank ontgaat, en met de halve hoeveelheid vocht den weerstand van de geheele zuil, in den trog aanwezig, bepaalt; terwijl, ingeval de weerstand van de stroomsterkte niet onafhankelijk is, door (28) de waarde van I_b , waarvoor de bepaling geldt, gevonden wordt. Bij de genoemde differentiaalmethodo staat zij echter in zoover achter, dat een tweetal waarnemers, hoewel niet noodzakelijk, toch gewenscht is.

Dat het kleinste gedeelte $n . w$ van de vochtzuil driemaal aan de werking van den electricchen stroom blootgesteld wordt, is van minder bezwaar, daar de invloed van eene fout in I'' volgens (32) gering is. Door het andere gedeelte moet de aangewende stroom tweemaal gezonden worden, even als bij de genoemde differentiaalmethodo om verschil in polarisatie in beide troggen te ontgaan. Immers moet het gebruik van sterke stroomen, die de polarisatie tot een maximum opvoeren, uithoofde van de teweeggebrachte scheikundige verandering zooveel mogelijk vermeden worden.

NEUMANN heeft voor de bepaling van den overgangsweerstand, dien de electricche stroom aan de oppervlakte der electroden zou ondervinden, eene omslachtige methodo moeten aanwenden, om het bedrag van overgangsweerstand en polarisatie te splitsen. Deze handelwijze wordt in WIEDEMANN'S Galvanismus I, pag. 456 uitvoerig beschreven. Het bestaan van dergelijken overgangsweerstand is intusschen volgens an-

deren vrij onwaarschijnlijk; indien deze werkelijk aanwezig is, zou hij het gevolg zijn van scheikundige werking. Maar afgezien hiervan, biedt het eerste gedeelte van deze methode een middel aan ter weerstandsbeplating van vochten.

NEUMANN nam de vochtzuil, waarvan hij den weerstand W moest bepalen in

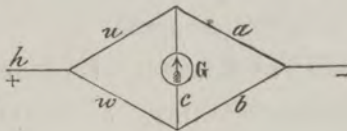


Fig. 1.

den tak u (fig. 1) van WHEATSTONE'S draad-schikking op, en

bracht door middel van eene weerstandsbank in w de galvanometernaald in de brug op het nulpunt; daarna maakte hij de lengte der zuil n maal kleiner, en moest vervolgens om G weder op 0° te brengen, aan de bank zekeren weerstand r ontnemen. Bij gelijkheid van a en b is dan, indien de sterkte van den hoofdstroom volgens eene tangentenboussole door middel van een rheostaat op hetzelfde bedrag gehouden is, de weerstand van de verwijderde vochtzuil = de weerstand aan de bank ontnomen, of

$$W = \frac{n}{n-1} \times r.$$

Voordeelen schijnt deze handelwijze niet aan te bieden; behalve dat de lengte van de onderzochte zuil kleiner is dan volgens de methode op pag. 24 vermeld, vordert ook zij eene weerstandsbank; bovendien moet het in de uitvoering moeielijk

wezen, den galvanometer in c door verandering van w op het nulpunt te brengen, en daarna den uitslag van de tangentenboussole in den hoofdstroom op hetzelfde bedrag terug te voeren, omdat de polarisatie hierbij weder verandert. Eerst na herhaald gebruik van de weerstandsbank en den rheostaat zal de galvanometernaald op het nulpunt komen, en tijdsverlies strekt het onderzochte vocht niet ten goede.

Tegen de methode van BOSSCHA, overeenkomstig pag. 24 ter weerstandsbepaling van vochten gebruikt, schenen alzoo in vergelijking met andere handelwijzen geene overwegende bezwaren te bestaan. Hare toepassing mocht dus toonen, in hoever zij in de uitvoering voor deze behoeft onder te doen.

DERDE HOOFDSTUK.

WEERSTANDBEPALING VAN EENIGE METAALDRADEN.
ASTATISME EENER MAGNEETNAALD DOOR EEN VASTEN MAGNEET.

Voor de zoo even behandelde aanwending der methode van BOSSCHA waren eenige weerstanden noodig, waarmede die van vochtzuilen gemeten konden worden. Hiertoe werden een

drietal aanwezige stukken nieuwzilverdraad van ongeveer 5, 10 en 20 meter lengte en 0,75 millimeter dikte behoorlijk geïsoleerd op drie wijde reageerbuizen gewonden; deze werden daarna rechtop in enge cilinderglazen gesteld en de tusschenruimten met stearine volgegoten. De beide uiteinden der draden waren van te voren aan dikke koperdraden vast gesoldeerd, die boven het glas uitstaken, en na ombuiging in de daarvoor bestemde kwikbakjes reikten. Een thermometer, in water binnen in de reageerbuis geplaatst, gaf de temperatuur van den draad aan, die door de aanwezigheid van het water gedurende waarnemingen nooit merkbaar veranderde.

Daarna moest de waarde dezer weerstanden No. 1, 2 en 3 bepaald worden, hetgeen overeenkomstig pag. 13 geschiedde; maar alvorens de hierbij verkregen uitkomsten mede te deelen, is het noodig op de inrichting der gebruikte galvanometers terug te komen.

De aangewende multiplicator G (fig. 3) is, even als de tangentenboussole T, door MELJERSTEIN vervaardigd. De magneetnaald is ringvormig, aan de polen met ooren voorzien; zij wordt aan het einde van een koperen beugel binnen de windingen gedragen. Deze beugel, die als een staande halve cirkel om de bovenste helft der windingen heenreikt, en het omslaan van de naald belet, hangt met het andere einde aan eenen draadbundel, en is daar voorzien van eenen spiegel. Om meer lichtsterkte te verkrijgen, werd deze spiegel met voordeel

door geplatineerd spiegelglas vervangen; maar ongelukkig schijnt dit niet vlak genoeg in den handel voor te komen. De cylinder met draadwindingen, waarvan de weerstand volgens pag. 27 gelijk 1270 B. A. U gevonden was, wordt omgeven door een zwaren koperen demper, die dus de windingen onzichtbaar maakt. De werking van dezen demper is voortreffelijk; na weinige schommelingen komt de naald tot rust. Eene houten omhulling met glazen dekplaat weert luchtstroomen af. De schaal, waarvan de verdeeling vóór het opplakken gedrukt scheen en daarbij 1 % gekrompen was, werd op 1.59 meter afstand opgesteld, zoodat de kijker eene aflezing van $\frac{1}{4}$ millimeter toeliet. Door de aanhoudende onrust van het aardmagnetisme gedurende het einde van Augustus en het begin van September bleek toen ten minste eene scherpere aflezing met zeer enkele uitzonderingen overbodig.

Verbeteringen behoeften bij het gebruik van dezen galvanometer niet aangebracht te worden, daar hij slechts moest verraden, of de stroom tot dezelfde sterkte was teruggevoerd.

Bij de tangentenboussole is de naald op dezelfde wijze ingericht en opgehangen; de demper doet door afwezigheid van windingen zijnen invloed nog sterker gevoelen. Schaal en kijker, op eenen afstand van 2.50 meter geplaatst, lieten ook hierbij de aflezing van $\frac{1}{4}$ millimeter met gemak toe. Ongelukkig bestond de geleiding slechts uit een koperen band met eene middellijn van 600 millimeter, zoodat bij de geringe sterkte, die voor de

vergelijking van standaardmaten aan den stroom gegeven dient te worden, de grootste uitslagen slechts 100 millimeter bedroegen. Daar de draad, noodig voor het omleggen van een grooter aantal windingen, niet voorhanden was, moest de gevoeligheid van de boussole op andere wijze verhoogd worden.

Gedeeltelijke opheffing der richtende kracht van het aardmagnetisme op de naald was het bekende middel, dat hier goede diensten scheen te beloven. De berekening diende echter eerst uit te maken, in hoever bij den kleinen afstand, waarop de beschikbare magneetstaaf geplaatst moest worden om het astatische voldoende op te voeren, de werking der staaf evenredig was aan de sinus van de afwijking der naald.

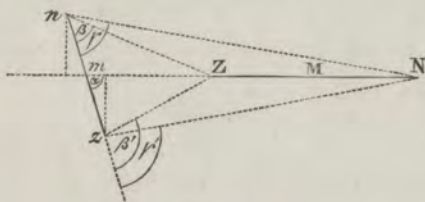


Fig. 5.

Zij nz (fig. 5) de in m opgehangen magneetnaald, NZ de in hetzelfde horizontale vlak liggende magneetstaaf.

$$\begin{aligned} \text{Zij verder de afstand } m M &= a, & n Z &= b, \\ m n &= l, & n N &= c, \\ Z M &= L, & z Z &= b', \\ & & z N &= c', \end{aligned}$$

+ q = de wederzijdsche werking van twee ongelijknamige polen op de eenheid van afstand,

$n / Z =$ de component van de werking tusschen n en Z
loodrecht op $n z$;

dan is:

$$\begin{aligned} n / Z &= + \frac{q}{b^2} \sin \beta & z / Z &= - \frac{q}{b'^2} \sin \beta', \\ n / N &= - \frac{q}{c^2} \sin \gamma & z / N &= + \frac{q}{c'^2} \sin \gamma', \end{aligned} \left. \dots (33) \right\}$$

maar

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \frac{a-L}{b} \sin \alpha & \sin \beta' &= \frac{a-L}{b'} \sin \alpha, \\ \sin \gamma &= \frac{a+L}{c} \sin \alpha & \sin \gamma' &= \frac{a+L}{c'} \sin \alpha, \end{aligned} \left. \dots (34) \right\}$$

waaruit door substitutie van (34) in (33)

$$\begin{aligned} n / Z &= + q \frac{a-L}{b^3} \sin \alpha & z / Z &= - q \frac{a-L}{b'^3} \sin \alpha, \\ n / N &= - q \frac{a+L}{c^3} \sin \alpha & z / N &= + q \frac{a+L}{c'^3} \sin \alpha. \end{aligned}$$

Men vindt alzoo voor de kracht P , die loodrecht op nz in eene der polen aangrijpend de geheele werking van NZ op nz voorstelt:

$$\begin{aligned} P &= -n / Z - n / N + z / Z + z / N \\ &= q \sin \alpha \left\{ - (a-L) (b^{-3} + b'^{-3}) + (a+L) (c^{-3} + c'^{-3}) \right\} \\ &= q \sin \alpha \left\{ a [- (b^{-3} + b'^{-3}) + (c^{-3} + c'^{-3})] + L [(b^{-3} + b'^{-3}) + (c^{-3} + c'^{-3})] \right\} \dots (35) \end{aligned}$$

Nu is volgens fig. 5:

$$\begin{aligned} b^2 &= l^2 \sin^2 \alpha + (a-L+l \cos \alpha)^2, \\ b'^2 &= l^2 \sin^2 \alpha + (a-L-l \cos \alpha)^2, \\ c^2 &= l^2 \sin^2 \alpha + (a+L+l \cos \alpha)^2, \\ c'^2 &= l^2 \sin^2 \alpha + (a+L-l \cos \alpha)^2, \end{aligned}$$

hetgeen door ontwikkeling wordt

$$\begin{aligned} b^2 &= \\ b'^2 &= \\ c^2 &= \\ c'^2 &= \end{aligned} \left(a^2 \mp 2aL + L^2 \right) + \left(l^2 \pm 2al \cos \alpha \mp 2Ll \cos \alpha \right) = x + y \dots (36)$$

Ter ontwikkeling van $\left. \begin{matrix} b^{-3} \\ b^{-3} \\ c^{-3} \\ c^{-3} \end{matrix} \right\} = (x + y)^{-\frac{3}{2}}$ als binomium, heeft men overeenkomstig (36)

$$x = a^2 \frac{\pm}{+} 2aL + L^2 = \left(a \frac{\pm}{+} L \right)^2$$

$$x^{-\frac{3}{2}} = a^{-3} \frac{\pm}{+} 3a^{-4}L + 6a^{-5}L^2 \frac{\pm}{+} 10a^{-6}L^3 + 15a^{-7}L^4 \frac{\pm}{+} 21a^{-8}L^5 + \dots$$

$$x^{-\frac{5}{2}} = a^{-5} \frac{\pm}{+} 5a^{-6}L + 15a^{-7}L^2 \frac{\pm}{+} 35a^{-8}L^3 + 70a^{-9}L^4 + \dots$$

$$x^{-\frac{7}{2}} = a^{-7} \frac{\pm}{+} 7a^{-8}L + 28a^{-9}L^2 \frac{\pm}{+} 84a^{-10}L^3 + \dots$$

$$x^{-\frac{9}{2}} = a^{-9} \frac{\pm}{+} 9a^{-10}L + 45a^{-11}L^2 + \dots$$

Eveneens overeenkomstig (36)

$$y = l^2 \frac{\pm}{+} 2al \cos \alpha \frac{\mp}{+} 2Ll \cos \alpha,$$

$$y^2 = 4l^2 a^2 \cos^2 \alpha \frac{\pm}{+} 4l^3 a \cos \alpha \frac{\mp}{+} 8l^2 a L \cos^2 \alpha \pm l^4 \frac{\mp}{+} 4l^3 L \cos \alpha + 4l^2 L^2 \cos^2 \alpha,$$

$$y^3 = \frac{\pm}{+} 8l^3 a^3 \cos^3 \alpha + 12l^4 a^2 \cos^2 \alpha \frac{\mp}{+} 24l^3 a^2 L \cos^3 \alpha \frac{\pm}{+} 6l^2 a \cos \alpha \frac{\mp}{+} 24l^4 a L \cos^2 \alpha \frac{\pm}{+} 24l^3 a L^2 \cos^3 \alpha.$$

Hieruit verkrijgt men door vermenigvuldiging voor de termen der binomia $(x+y)^{-\frac{3}{2}} = \begin{cases} b^{-3} \\ b'^{-3} \\ c^{-3} \\ c'^{-3} \end{cases}$,
die in (35) voorkomen:

$$x^{-\frac{5}{2}}y = \frac{\pm}{\pm} 2l \cos \alpha a^{-4} + \left(l^2 \frac{\pm}{\pm} 8lL \cos \alpha \right) a^{-5} + \left(\frac{\pm}{\pm} 5l^2 L \frac{\pm}{\pm} 20lL^2 \cos \alpha \right) a^{-6} + \left(15l^2 L^2 \frac{\pm}{\pm} 40lL^3 \cos \alpha \right) a^{-7} \\ + \left(\frac{\pm}{\pm} 35l^2 L^3 \frac{\pm}{\pm} 70lL^4 \cos \alpha \right) a^{-8} + \dots$$

$$x^{-\frac{7}{2}}y^2 = +4l^2 \cos^2 \alpha a^{-5} + \left(\frac{\pm}{\pm} 20l^2 L \cos^2 \alpha \frac{\pm}{\pm} 4l^3 \cos \alpha \right) a^{-6} + \left(60l^2 L^2 \cos^2 \alpha \frac{\pm}{\pm} 24l^3 L \cos \alpha + l^4 \right) a^{-7} \\ + \left(\frac{\pm}{\pm} 140l^2 L^3 \cos^2 \alpha \frac{\pm}{\pm} 84l^3 L^2 \cos \alpha \frac{\pm}{\pm} 7l^4 L \right) a^{-8} + \dots$$

$$x^{-\frac{9}{2}}y^3 = \frac{\pm}{\pm} 8l^3 \cos^3 \alpha a^{-6} + \left(12l^4 \cos^2 \alpha \frac{\pm}{\pm} 48l^3 L \cos^3 \alpha \right) a^{-7} \\ + \left(\frac{\pm}{\pm} 6l^5 \cos \alpha \frac{\pm}{\pm} 84l^4 L \cos^2 \alpha \frac{\pm}{\pm} 168l^3 L^2 \cos^3 \alpha \right) a^{-8} + \dots$$

Nu is volgens (36), in de oorspronkelijke vergelijking (35) de waarde van

$$\begin{cases} b^{-3} \\ b'^{-3} \\ c^{-3} \\ c'^{-3} \end{cases} = (x+y)^{-\frac{3}{2}} = x^{-\frac{3}{2}} - \frac{3}{2} x^{-\frac{5}{2}} y + \frac{15}{8} x^{-\frac{7}{2}} y^2 - \frac{35}{16} x^{-\frac{9}{2}} y^3 + \dots$$

Hierin de bovengevonden waarden substitueerend, verkrijgt men

$$\left. \begin{matrix} b^{-3} + b'^{-3} \\ c^{-3} + c'^{-3} \end{matrix} \right\} = 2a^{-3} + 6La^{-4} + (15l^2 \cos^2 \alpha - 3l^2 + 12L^2)a^{-5} \pm (75l^2 L \cos^2 \alpha - 15l^2 L + 20L^3)a^{-6} \\ + (-\frac{1}{2} \cdot 5 l^4 \cos^2 \alpha + \frac{1}{4} 5 l^4 + 225 l^2 L^2 \cos^2 \alpha - 45 l^2 L^2 + 30L^4)a^{-7} \\ \pm (-\frac{7}{2} \cdot 5 l^4 L \cos^2 \alpha + \frac{1}{4} 5 l^4 L + 525 l^2 L^3 \cos^2 \alpha - 105 l^2 L^3 + 42 L^5)a^{-8} + \dots$$

Derhalve

$$a \left[- \left(b^{-3} + b'^{-3} \right) + \left(c^{-3} + c'^{-3} \right) \right] = -12La^{-3} + (-150l^2 L \cos^2 \alpha + 30l^2 L - 40L^3)a^{-5} \\ + (735 l^4 L \cos^2 \alpha - \frac{1}{2} 5 l^4 L - 1050 l^2 L^3 \cos^2 \alpha + 210 l^2 L^3 - 84 L^5)a^{-7} + \dots$$

$$L \left[+ \left(b^{-3} + b'^{-3} \right) + \left(c^{-3} + c'^{-3} \right) \right] = +4La^{-3} + (30l^2 L \cos^2 \alpha - 6l^2 L + 24L^3)a^{-5} \\ + (-105 l^4 L \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} 5 l^4 L + 450 l^2 L^3 \cos^2 \alpha - 90 l^2 L^3 + 60 L^5)a^{-7} + \dots$$

De substitutie van deze twee laatste vergelijkingen in (35) geeft voor de waarde der kracht P, die loodrecht op nz (fig. 5) in eene der polen aangrijpend, de werking van NZ op nz voorstelt:

$$P = q \sin \alpha \left\{ -8La^{-3} + (-120l^2 L \cos^2 \alpha + 24l^2 L - 16L^3)a^{-5} \right. \\ \left. + (630l^4 L \cos^2 \alpha - 45l^4 L - 600l^2 L^3 \cos^2 \alpha + 120l^2 L^3 - 24L^5)a^{-7} + \dots \right\}$$

$$= -\frac{8q \cdot L \cdot \sin \alpha}{a^3} \left\{ 1 + \frac{2L^2 - 3l^2 + 15l^2 \cos^2 \alpha}{a^2} + \frac{3L^4 - 15l^2 L^2 + 75l^2 L^2 \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} 5 l^4 - \frac{3}{4} 5 l^4 \cos^2 \alpha}{a^4} + \dots \right\} \dots (37)$$

$$= -\frac{8q \cdot L \cdot \sin \alpha}{a^3} \left\{ 1 + f + g \right\} \dots \dots \dots (38)$$

De richtende kracht door de magneetstaaf NZ (fig. 5) op de naald uitgeoefend, is alzoo volgens (38) niet volkomen evenredig aan de sinus van den uitslag der naald. Hoeveel zij hiervan afwijkt, zal straks voor een bepaald geval aangetoond worden, waarbij ook blijken zal, dat eene grootere toenadering tot deze evenredigheid te bereiken is, wanneer de staaf boven de naald geplaatst wordt.

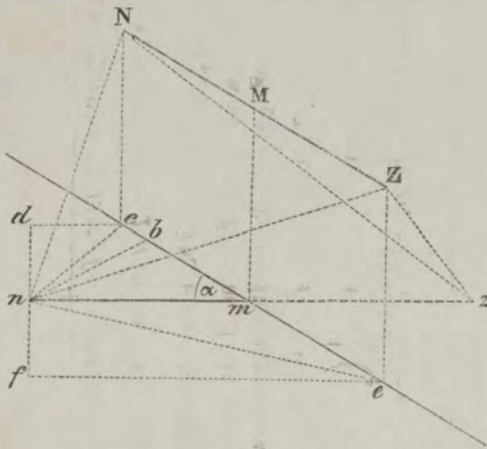


Fig. 6.

Zij NZ (fig. 6) de staaf, zoo boven de naald nz geplaatst, dat de middelpunten M en m in dezelfde verticaal liggen; zij verder ce de snijlijn van het horizontale vlak,

waarin de naald zweeft, met een verticaal vlak, dat door de staaf gaat.

$$\begin{aligned} \text{Stel } m M &= a', & n Z &= b = z N, \\ m n &= l, & n N &= c = z Z, \\ Z M &= L, \end{aligned}$$

+ q = de wederzijdsche werking van twee ongelijknamige polen op de eenheid van afstand,

Trekt men uit n in het horizontale vlak twee lijnen nd en nb loodrecht op nm en cm , dan is, zoo n/N de volgens nd gerichte component van de horizontale werking van N op n voorstelt:

$$n/N = -\frac{q}{c^2} \times \cos \angle Nnc \times \cos \angle cnd = z/Z,$$

$$n/Z = +\frac{q}{b^2} \times \cos \angle Zne \times \cos \angle enf = z/N.$$

Nu is

$$\cos \angle Nnc = \frac{nc}{c}$$

$$\cos \angle Zne = \frac{ne}{b},$$

$$\cos \angle cnd = \sin \angle cnm = \frac{L}{nc} \sin \alpha$$

$$\cos \angle enf = \sin \angle enm = \frac{L}{ne} \sin \alpha.$$

Door substitutie van deze waarden wordt

$$n/N = -\frac{q \cdot L}{c^3} \sin \alpha$$

$$n/Z = +\frac{q \cdot L}{b^3} \sin \alpha;$$

$$\text{maar } c^2 = nc^2 + Nc^2$$

$$b^2 = ne^2 + Ze^2$$

$$nc^2 = nb^2 + bc^2$$

$$ne^2 = nb^2 + be^2$$

$$nb = l \sin \alpha$$

$$nb = l \sin \alpha$$

$$bc = L - l \cos \alpha$$

$$be = L + l \cos \alpha$$

$$nc^2 = L^2 - 2Ll \cos \alpha + l^2$$

$$ne^2 = L^2 + 2Ll \cos \alpha + l^2$$

$$c^2 = L^2 - 2Ll \cos \alpha + l^2 + a'^2$$

$$b^2 = L^2 + 2Ll \cos \alpha + l^2 + a'^2$$

$$n/N = -\frac{q \cdot L \cdot \sin \alpha}{(L^2 - 2Ll \cos \alpha + l^2 + a'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$n/Z = +\frac{q \cdot L \cdot \sin \alpha}{(L^2 + 2Ll \cos \alpha + l^2 + a'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

waaruit voor de kracht P' , die loodrecht op nz in eene der polen aangrijpend, de geheele werking van NZ op nz voorstelt:

$$P' = 2 \left\{ -n / N + n / Z \right\}$$

$$= 2q \cdot L \cdot \sin \alpha \left\{ [(a'^2 + L^2) + (l^2 - 2Ll \cos \alpha)]^{-\frac{3}{2}} + [(a'^2 + L^2) + (l^2 + 2Ll \cos \alpha)]^{-\frac{3}{2}} \right\} \dots (39)$$

$$= 2q \cdot L \cdot \sin \alpha \left\{ [x + y]^{-\frac{3}{2}} + [x + z]^{-\frac{3}{2}} \right\} \dots (40)$$

Ter ontwikkeling dezer binomia heeft men overeenkomstig (39)

$$\left. \begin{aligned} x^{-\frac{3}{2}} &= (a'^2 + L^2)^{-\frac{3}{2}} = a'^{-3} - \frac{3}{2} a'^{-5} L^2 + \frac{15}{8} a'^{-7} L^4 - \frac{35}{16} a'^{-9} L^6 + \dots \\ x^{-\frac{5}{2}} &= a'^{-5} - \frac{5}{2} a'^{-7} L^2 + \frac{35}{8} a'^{-9} L^4 + \dots \\ x^{-\frac{7}{2}} &= a'^{-7} - \frac{7}{2} a'^{-9} L^2 + \dots \\ x^{-\frac{9}{2}} &= a'^{-9} + \dots \end{aligned} \right\} \dots (41)$$

en

$$\left. \begin{aligned} \frac{y}{z} &\left\{ = l^2 \mp 2Ll \cos \alpha \right. \\ \frac{y^2}{z^2} &\left\{ = l^4 \mp 4Ll^3 \cos \alpha + 4L^2 l^2 \cos^2 \alpha \right. \\ \frac{y^3}{z^3} &\left\{ = l^6 \mp 6Ll^5 \cos \alpha + 12L^2 l^4 \cos^2 \alpha \mp 8L^3 l^3 \cos^3 \alpha \right. \end{aligned} \right\} \dots (42)$$

Nu is

$$\left. \begin{aligned} (x+y)^{-\frac{3}{2}} &= x^{-\frac{3}{2}} - \frac{3}{2} x^{-\frac{5}{2}} y + \frac{15}{8} x^{-\frac{7}{2}} y^2 - \frac{35}{16} x^{-\frac{9}{2}} y^3 + \dots \\ (x+z)^{-\frac{3}{2}} &= x^{-\frac{3}{2}} - \frac{3}{2} x^{-\frac{5}{2}} z + \frac{15}{8} x^{-\frac{7}{2}} z^2 - \frac{35}{16} x^{-\frac{9}{2}} z^3 + \dots \end{aligned} \right\} \dots (43)$$

Voor de waarde der termen van (43) verkrijgt men uit (41) en (42)

$$x^{-\frac{3}{2}} = a'^{-3} - \frac{3}{2} a'^{-5} L^2 + \frac{1}{8} a'^{-7} L^4 - \frac{3}{16} a'^{-9} L^6 + \dots$$

$$\left. \begin{aligned} -\frac{3}{2} x^{-\frac{5}{2}} y \\ -\frac{3}{2} x^{-\frac{5}{2}} z \end{aligned} \right\} = -\frac{3}{2} (l^2 \mp 2Ll \cos \alpha) a'^{-5} + \frac{1}{8} L^2 (l^2 \mp 2Ll \cos \alpha) a'^{-7} - \frac{1}{16} L^4 (l^2 \mp 2Ll \cos \alpha) a'^{-9} + \dots$$

$$\left. \begin{aligned} +\frac{1}{8} x^{-\frac{7}{2}} y^2 \\ +\frac{1}{8} x^{-\frac{7}{2}} z^2 \end{aligned} \right\} = \frac{1}{8} (l^4 \mp 4Ll^3 \cos \alpha + 4L^2 l^2 \cos^2 \alpha) a'^{-7} - \frac{1}{16} L^2 (l^4 \mp 4Ll^3 \cos \alpha + 4L^2 l^2 \cos^2 \alpha) a'^{-9} + \dots$$

$$\left. \begin{aligned} -\frac{3}{16} x^{-\frac{9}{2}} y^3 \\ -\frac{3}{16} x^{-\frac{9}{2}} z^3 \end{aligned} \right\} = -\frac{3}{16} (l^6 \mp 6Ll^5 \cos \alpha + 12L^2 l^4 \cos^2 \alpha \mp 8L^3 l^3 \cos^3 \alpha) a'^{-9} + \dots$$

Hierdoor wordt (43)

$$\left. \begin{aligned} (x+y)^{-\frac{3}{2}} \\ (x+z)^{-\frac{3}{2}} \end{aligned} \right\} = a'^{-3} - \left(\frac{3}{2} L^2 + \frac{3}{2} l^2 \mp 3L \cos l \alpha \right) a'^{-5} + \dots \quad (\text{zie volgende bladzijde.})$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{1}{8} L^4 - \frac{1}{2} L^3 l \cos \alpha + \frac{1}{4} L^2 l^2 + \frac{1}{2} L^2 l^2 \cos^2 \alpha - \frac{1}{2} L l^3 \cos^2 \alpha + \frac{1}{8} l^4 \right) a'^{-7} \\
& - \left(\frac{3}{16} L^6 + \frac{1}{8} L^5 l \cos \alpha + \frac{1}{16} L^4 l^2 + \frac{1}{4} L^4 l^2 \cos^2 \alpha - \frac{1}{8} L^3 l^3 \cos \alpha + \frac{1}{16} L^2 l^4 \right. \\
& \quad \left. + \frac{3}{2} L^3 l^3 \cos^3 \alpha + \frac{1}{4} L^2 l^4 \cos^2 \alpha - \frac{1}{8} L l^5 \cos \alpha + \frac{3}{16} l^6 \right) a'^{-9}
\end{aligned}$$

Na optelling, $(x + y)^{-\frac{3}{2}} + (x + z)^{-\frac{3}{2}}$ in (40) substitueerend, vindt men:

$$\begin{aligned}
P' &= \frac{4q \cdot L \cdot \sin \alpha}{a'^3} \left\{ 1 - \frac{\frac{3}{2}(L^2 + l^2)}{a'^2} + \frac{\frac{1}{8}(L^4 + 4L^2 l^2 \cos^2 \alpha + 2L^2 l^2 + l^4)}{a'^4} \right. \\
& \quad \left. - \frac{\frac{3}{16}(L^6 + 12L^4 l^2 \cos^2 \alpha + 3L^4 l^2 + 12L^2 l^4 \cos^2 \alpha + 3L^2 l^4 + l^6)}{a'^6} + \dots \right\} \quad (44) \\
&= \frac{4q \cdot L \cdot \sin \alpha}{a'^3} \left\{ 1 + h + i + k + \dots \right\} \dots \dots (45)
\end{aligned}$$

eene reeks, die bij eene goed gekozen verhouding tusschen l , L , en a even als (38) zeer sterk convergeert.

Bij de beschikbare magneetstaaf bedroeg de afstand $2L$ der polen 17 centimeter, bij de ringvormige magneetnaald 3,4 centimeter. Toen deze staaf op een afstand $a' = 0,42$ meter

boven het midden van de naald geplaatst werd, was de gezamenlijke werking van aardmagnetisme en staaf op de naald ongeveer $= \frac{1}{8}$ van de richtende kracht, door de aarde alleen uitgeoefend.

De betrekkelijke waarde van l , L en a' was dus 1, 5, 25, zoodat bij uitslagen α van 0° , 10° , 20° het bedrag van h , i en k in (45) is als volgt:

		α		
		0°	10°	20°
}	$a' = 25$	$h = -0.062400$	-0.062400	-0.062400
		$i = +0.003725$	$+0.003710$	$+0.003669$
		$k = -0.000227$	-0.000225	-0.000219
		$1 + h + i + k =$	0.941097	0.941085

waardoor (45) wordt

$$P' = \frac{4q \cdot L \cdot \sin \alpha}{a'^3} \times 0.9411 \dots \dots \dots (46)$$

welke laatste factor zelfs bij een uitslag van 20° slechts $\frac{1}{20000}$ kleiner wordt.

Om door middel van eene in het verlengde der naald geplaatste staaf hetzelfde astatisme te verkrijgen, zou

(46) = (38) moeten zijn, of

$$\frac{4q \cdot L \cdot \sin \alpha}{25^3} \times 0.9411 = \frac{8q \cdot L \cdot \sin \alpha}{a^3} (1 + f + g) \dots (47)$$

waaruit men, voorloopig in f en g $a = 25$ stellend en met de gevonden waarde de bewerking herhalend, verkrijgt

$$a = 32,75.$$

Bij uitslagen van 0° , 10° , 20° wordt met deze waarde van a het bedrag der termen f en g in (38)

		α		
		0°	10°	20°
$a = 32,75$	{	$f = 0,0578$	$0,0574$	$0,0562$
		$g = 0,0028$	$0,0028$	$0,0027$
		$1 + f + g = 1,0606$	$1,0602$	$1,0589$

Om derhalve met dezelfde magneetstaaf van straks, in het verlengde van de as der naald geplaatst, het astatisme even hoog op te voeren, moest deze staaf op een afstand van $32,75 \times 1,7$ of bijna 56 centimeter gelegd worden, een afstand waarbij hare werking met een uitslag α van 10° ongeveer $\frac{1}{2500}$ vermindert, en dus de totale richtende kracht van aardmagnetisme en magneetstaaf op de naald $\frac{1}{3}$ % afneemt. Een uitslag van 750m^m (ruim 8°) wordt hierdoor omtrent 2 millimeter te klein afgelezen, hetgeen daarentegen, zoo de staaf boven de naald geplaatst is, minder dan $\frac{1}{30}$ m^m bedraagt.

Ten einde in het gemis aan windingen bij de tangentenboussole te gemoet te komen, mocht er dus, ter bereiking van een voldoende astatisme, eene magneetstaaf op de beschreven wijze boven geplaatst worden; maar een onvermijdelijk kwaad voert dit hulpmiddel met zich mede bij onrust van het aardmagnetisme.

Gelijk toch uit (45) bleek, kan men de horizontale werking, door eene magneetstaaf, welke zoo boven eene naald geplaatst

is dat de middelpunten van beide in dezelfde vertikaal liggen, op deze naald uitgeoefend, voorstellen door eene kracht P' , die loodrecht op de naald in eene der polen aangrijpend gelijk is aan:

$$P' = \frac{4q \cdot L \cdot \sin \alpha}{a^3} \{1 + h + i + k + \dots\}$$

$$= \frac{4q \cdot L \cdot \sin \alpha}{a^3} \times A \dots \dots \dots (48)$$

Hierin was

q = de werking tusschen eene pool van de staaf en eene van de naald op den afstand van 1 centimeter,

L = de halve afstand tusschen de beide polen der staaf,

α = de hoek, dien de richtingen van staaf en naald met elkander maken,

a = de verticale afstand tusschen de middelpunten der beide magneten,

h = de halve afstand tusschen de beide polen der naald.

Zij verder M en m het magnetisme in eene der polen van staaf en naald opgehoopt,

dan is in (48)

$$q = m \cdot M$$

Het moment Q van de werking der staaf ten opzichte der naald is alzoo

$$Q = P \cdot l = \frac{4 A \cdot m \cdot M \cdot l \cdot L}{a^3} \sin \alpha \dots \dots (49)$$

Noemt men verder

X het moment der horizontale werking van het aardmagnetisme op eene naald, waarvan het magnetisch moment $= 1$ is,

β den hoek, dien de naald met den magnetischen meridiaan maakt,

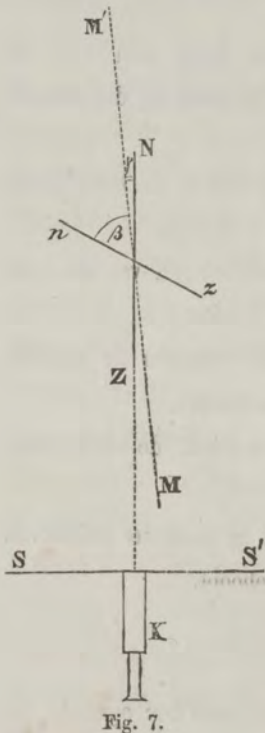


Fig. 7.

dan is het moment R van de werking der horizontale intensiteit van het aardmagnetisme op de gegeven naald

$$R = 2 X \cdot m \cdot l \cdot \sin \beta \dots (50)$$

In fig. 7 stellen NZ , nz , MM' de richtingen der staaf, der naald en van den magnetischen meridiaan voor, in hetzelfde horizontaal vlak geprojecteerd.

Daar de momenten Q en R in tegengestelde richting werken, zal dus de naald nz , indien men den invloed der torsie buiten rekening laat, in evenwicht zijn voor

$$R = Q,$$

of volgens (49) en (50)

$$2 X . m . l . \sin \beta = \frac{4 A . m . M . l . L}{a^3} \sin \alpha;$$

maar $\alpha = \beta + \gamma$, derhalve

$$X \sin \beta = \frac{2 A . M . L}{a^3} \sin (\beta + \gamma) \dots \dots (51)$$

of stellende $\frac{2 A . M . L}{a^3} = B$,

$$X \sin \beta = B \sin (\beta + \gamma),$$

waaruit

$$\operatorname{tng} \beta = \frac{1}{\frac{X}{B} \cos \gamma} \sin \gamma \dots \dots (52)$$

Hierin is $\frac{X}{B} =$ de verhouding tusschen de maxima van de momenten der horizontale intensiteit van het aardmagnetisme en der gegeven staaf ten opzichte van de naald nz .

Wanneer nu de staaf NZ b. v. bij den gemiddelden stand van de naald zoo boven deze geplaatst wordt, dat de aflezing der schaal SS' in het veld van den kijker K (fig. 7) dezelfde blijft, dan vallen op dat oogenblik de magnetische assen van de staaf en de naald met den meridiaan samen. In dat geval zijn β en $\gamma = 0$.

Bij verandering der richting van den magnetischen meridiaan krijgt γ (de verandering in declinatie) zekere waarde, en de overeenkomstige waarde van $\operatorname{tng} \beta$ blijkt, daar $\cos \gamma = 1$ gesteld kan worden, volgens (52) evenredig te zijn aan $\sin \gamma$.

Nu moest, ter bereiking van een voldoende astatisme bij de

tangentenboussole, volgens het vroeger behandelde, de staaf zoo geplaatst worden, dat

$$\frac{X}{B} \text{ ongeveer} = \frac{9}{8} \text{ was.}$$

Naar (52) verplaatste zich de magneetnaald bij verandering van declinatie dus omtrent achtmaal meer, en bij geringe stoornis van het aardmagnetisme werd het nulpunt der naald gedurende de metingen zoo gewijzigd, dat er aan geene weerstandsbeplating te denken viel. Bij het werken met zwakke stroomen is derhalve eene tangentenboussole met een gepast aantal windingen wenschelijk. Het astatisch maken van de naald door een magneet is een hulpmiddel, dat in veel gevallen meer nadeel dan voordeel kan aanbrengen.

De aanwending van een magneet, in het verlengde eener naald geplaatst, is om bovengenoemde reden als een geschikt middel voorgeslagen tot nauwkeurige bepaling der verandering in declinatie van den magnetischen meridiaan.

Hiertoe is het intusschen, zooals vroeger gebleken is, verkieslijk, de staaf boven de naald te plaatsen, daar de werking der staaf op de naald dan standvastiger is. Indien nu de staaf oorspronkelijk zoo is neergelegd, dat de richtingen der magnetische assen van staaf en naald met den magnetischen meridiaan samenvielen, is volgens (51) de naald op ieder oogenblik in evenwicht voor

$$X \sin (\alpha - \gamma) = \frac{2 A \cdot M \cdot L}{a^3} \sin \alpha \dots \dots \dots (53)$$

waarin X de intensiteit, γ de verandering in declinatie van het aardmagnetisme voor het tijdstip der aflezing α voorstelt.

Nu is voor de gegeven magneetstaaf de slingeringstijd

$$t = \pi \sqrt{\frac{T}{2 \cdot M \cdot L \cdot X_1}}$$

waarin T = het traagheidsmoment der staaf

$2 \cdot M \cdot L$ = het magnetisch " " "

X_1 = het gemiddelde moment der horizontale werking van het aardmagnetisme gedurende deze slingering op eene staaf, waarvan het magnetisch moment = 1 is,

$$\text{of } M \cdot L = \frac{\pi^2 \cdot T}{2 t^2 \cdot X_1}.$$

Dit in (53) gesubstitueerd zijnde, geeft

$$X \cdot X_1 \sin (\alpha - \gamma) = \frac{A \cdot \pi^2 \cdot T}{a^3 \cdot t^2} \sin \alpha \dots \dots \dots (54)$$

waaruit, voor $\cos \gamma = 1$,

$$\sin \gamma = \left\{ 1 - \frac{A \cdot \pi^2 \cdot T}{a^3 \cdot t^2 \cdot X \cdot X_1} \right\} \text{tng } \alpha \dots \dots \dots (55)$$

Indien de horizontale intensiteit van het aardmagnetisme X en X_1 bij deze bepaling als standvastig aangenomen mag worden, doet de waarneming van α de verandering in declinatie γ voor dat tijdstip volgens (55) kennen.

Het magnetisch moment der staaf wordt hierbij, gelijk zulks

ook bij het gebruik van den biflairmagnetometer het geval is, standvastig verondersteld. Zoo noodig, is het intusschen door schommelingsproeven altijd op nieuw te bepalen; maar onder gunstige omstandigheden schijnt deze grootheid, zelfs gedurende een tijdsverloop van eenige jaren, slechts aan geringe wijziging onderworpen. Dit blijkt b. v. uit de magnetische intensiteitsbepalingen van LANGBERG (Pogg. Ann. LXIX 1846, pag. 264).

Wilde men, bij de bepaling der declinatie volgens deze methode, den invloed van verandering der horizontale intensiteit ontgaan, dan zou men gelijktijdig twee overeenkomstige waarnemingen moeten doen.

Voor eene tweede magneetstaaf en naald op dezelfde wijze en tijd opgesteld, verkrijgt men namelijk, zoo de overeenkomstige factoren door een accent worden aangeduid, volgens (54)

$$X' \cdot X'_1 \sin(\alpha' - \gamma') = \frac{A' \cdot \pi^2 \cdot T'}{a'^3 \cdot t'^2} \sin \alpha' \dots \dots \dots (56)$$

Zijn de slingeringsproeven met beide staven, even als de aflezingen α en α' , op hetzelfde oogenblik geschied, dan is

$$X' = X \quad X'_1 = X_1 \quad \gamma' = \gamma,$$

zoodat (56) wordt

$$X \cdot X_1 \sin(\alpha' - \gamma) = \frac{A' \cdot \pi^2 \cdot T'}{a'^3 \cdot t'^2} \sin \alpha' \dots \dots \dots (57)$$

Uit (54) : (57) vloeit dan voort

$$\frac{a^3 \cdot t^2 \cdot A \cdot T}{a'^3 \cdot t'^2 \cdot A' \cdot T'} \alpha' \cdot \sin(\alpha - \gamma) = \sin \alpha \cdot \sin(\alpha' - \gamma)$$

of

$$C \sin \alpha' \cdot \sin (\alpha - \gamma) = \sin \alpha \cdot \sin (\alpha' - \gamma),$$

waaruit

$$\operatorname{tng} \gamma = \frac{(C-1) \sin \alpha \cdot \sin \alpha'}{C \sin \alpha' \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha'} \dots \dots \dots (58)$$

Door gelijktijdige waarneming der standen van twee magneetnaalden wordt alzoo de declinatie van het aardmagnetisme, volgens de beschreven handelwijze, onafhankelijk van de horizontale intensiteit gevonden.

Bij ontwikkeling van (54) verkrijgt men,

$$\frac{A \cdot \pi^2 \cdot T}{a^3 \cdot l^2} = D \text{ stellend,}$$

$$X \cdot X_1 = D \times \frac{\sqrt{1 + \operatorname{tng}^2 \gamma}}{1 - \cot \alpha \cdot \operatorname{tng} \gamma}.$$

Hierin de waarde van $\operatorname{tng} \gamma$ uit (58) overbrengend, vindt men bovendien voor de horizontale intensiteit X van het aardmagnetisme op het oogenblik der aflezingen α en α'

$$X \cdot X_1 = \frac{D}{\sin(\alpha' - \alpha)} \sqrt{C^2 \sin^2 \alpha' + \sin^2 \alpha - 2C \sin \alpha \cdot \sin \alpha' \cdot \cos(\alpha' - \alpha)} \dots (59)$$

Daar het om verschillende redenen wenschelijk zou zijn, beide magneetstaven zoowel als de naalden zooveel mogelijk van denzelfden vorm en sterkte te kiezen, zou derhalve de voor eene goede bepaling vereischte verhouding tusschen α en α' grootendeels door plaatsing der magneetstaven op verschillende afstand a en a' verkregen moeten worden. Hierbij zou men echter, omdat die verhouding voor gelijktijdige in-

tensiteitsbepaling noodwendig hooger opgevoerd zou moeten worden, dan voor declinatiebepaling alleen, nog moeten nagaan, in hoever de aangrijpingspunten van de werking dezer staven op de naalden als onveranderlijk aangenomen mogen worden.

Door snelheid van uitvoering kan deze methode ter magnetische intensiteitsbepaling misschien eenig voordeel boven slingerproeven, en door vermindering van den invloed der verandering in declinatie, boven de aanwending van den biflairmagnetometer aanbieden. De bruikbaarheid van (59), overigens bij eene gepaste verhouding van α en α' ter intensiteitsbepaling geschikt, zou echter vóór alles door een afzonderlijk onderzoek, met veronderstellingen omtrent de getalwaarden der verschillende factoren, aangetoond moeten worden; maar zulks zou geheel buiten het bestek van dit werkje vallen.

In de gegeven omstandigheden moest bij de bepaling der later te gebruiken weerstanden No. 1, 2 en 3 de naald door een magneet astatisch gemaakt worden, wilde men de draden niet aan de werking van sterke stroomen blootstellen. Daar uit de voorafgaande beschouwing gebleken is, welke onzekerheid dit hulpmiddel bij magnetische storingen ten opzichte van de ligging van het nulpunt invoert, werden deze metingen zooveel mogelijk op rustige dagen gedaan, en wel volgens de methode, op pag. 13 behandeld. De uitslagen der tangenten-

boussole werden volgens de door H. W. SCHROEDER VAN DER KOLK in zijne dissertatie berekende formules verbeterd; en daar de aflezingen slechts tot op $\frac{1}{4}$ millimeter geschieden, behoeften de kleine correcties voor de tangentenwet en de dikte van den glazen spiegel niet aangebracht te worden na de verbetering voor den halven hoek. Zij konden, van te voren voor verschillende uitslagen berekend, in eens samengetrokken en in eene tabel opgesteld worden.

De verbetering voor de glazen dekplaat in de houten omhulling des dempers verviel, omdat dit glas overbodig bleek.

De kijkers van tangentenboussole en galvanometer waren met de oculairen bijeen, ongeveer loodrecht op elkander opgesteld, zoodat één waarnemer voor beide instrumenten toereikend was, en de magneetnaalden toch ver genoeg van elkander verwijderd waren, om geene wederzijdse werking uit te oefenen. Voor iedere waarneming werd het nulpunt van beide instrumenten afgelezen, en hetzelfde daarna herhaald. Had het nulpunt van den galvanometer zich tusschentijds verplaatst, dan was de stroomsterkte I_b (fig. 4) niet even groot gebleven als bij de vorige waarneming; maar, bij het kleine verschil van hoogstens $\frac{1}{4}$ millimeter de uitslagen van den galvanometer evenredig stellende aan de stroomsterkte, kon men uit de aflezingen van de tangentenboussole de waarden van I , I' en I'' berekenen voor eene gemiddelde I_b bij alle waarnemingen.

De weerstand a (fig. 4) was zoo gekozen, dat bij deze me-

tingen, waarbij No. 1, 2 en 3 onmiddellijk met de British Association Unit ($= M$) vergeleken werden, I ongeveer 700, I' 480 millimeter bedroeg. I'' was dan, naar gelang No. 1, 2 en 3 afzonderlijk of te zamen in a opgenomen werden, omtrent 360, 250, 160 en 100 millimeter. De vermeerdering (in B.A.U.), die de berekende weerstand ($= \frac{M'}{M}$ B.A.U.) zou ondergaan, was dus volgens (19) bij elk der drie draden:

	1	2	3	1+2+3
voor $I + \frac{1}{4} m^m$	- 0.001	- 0.002	- 0.005	- 0.01
$I' + \frac{1}{4} m^m$	+ 0.003	+ 0.006	+ 0.012	+ 0.02
$I'' + \frac{1}{4} m^m$	- 0.003	- 0.005	- 0.016	- 0.03

Daar de aflezing van den multiplicator G ongeveer 500 millimeter bedroeg, was men ten opzichte van dezen, in de uitkomst tot op $\frac{1}{1000}$ zeker

Uit de waarnemingen, alle met kwikzilver-contact en nieuwzilverdraad in de vertakkingen a , b en f (fig.4) verricht, werden voor de weerstandsmaten No. 1, 2 en 3 de volgende uitkomsten berekend, in B. A. U. uitgedrukt:

	1	2	3	1 + 2 + 3	Temperatuur der draden. 18 3° C.
23 Aug.	2.027	3.824	7.445	niet waargenomen	18 3° C.
23 „	2.028	3.830	7.471	„	17.8
24 „	2.033	3.848	7.456	„	17.4
6 Sept.	2.027	3.829	7.509	13.346	22.8
12 „	niet waargenomen		7.486	13.375	18.4
Gemiddeld	2.029	3.833	7.473	13.36	19.0

Invloed van de temperatuurverschillen is er niet bij waar te nemen; volgens opgaven vermeerderd dan ook de weerstand van nieuwzilver voor 1° met slechts $\frac{1}{25}\%$, die van de B. A. U. met $\frac{1}{36}\%$.

De weerstand der draden kon dus bij 19° vastgesteld worden:

No. 1	=	2.03	B. A. U.
2	=	3.84	„
3	=	7.48	„
No. 1 + 2 + 3	=	13.35	„

VIERDE HOOFDSTUK.

WEERSTANDBEPALINGEN MET OPLOSSINGEN VAN KOPERSULFAAT.

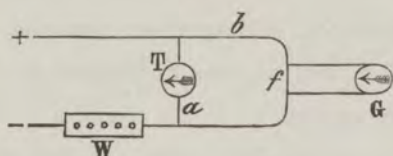
Deze bepalingen werden verricht naar de op pag. 24 beschreven methode. Het zout werd door herhaald omkristalliseeren gereinigd; na het afgieten van de laatste moederloog, werden de fijne kristallen, volgens de handelwijze van STAS, als een dikke brij in een trechter gegoten, en, nadat deze met eene kurk in den hals van een ontvanger bevestigd was, door de luchtpomp van het laatste vocht bevrijd. Volgens onderzoek,

door den Heer C. H. N. SMITS, assistent aan het scheikundig laboratorium der h. burgerschool alhier, welwillend gedaan, bleek het volkomen ijzer- en zinkvrij te zijn. Bij gebruik werd het telkens als watervrij zout afgewogen, en in eene bekende hoeveelheid water gestort. Na oplossing en bekoeling werd een goed sluitend stopfleschje van ongeveer 145 K.C. inhoud gevuld, en ter bepaling van het soortelijk gewicht afgewogen.

De bak, voor de ontvangst van het vocht bestemd, was uit afgeslepen platen spiegelglas opgebouwd, die daartoe in een gegoten vorm van gips, met vuurlak doortrokken, werden opgesteld. Het weinige vernis, dat in de goed sluitende voegen opgezogen werd, maakte deze volkomen tegen lekkage bestand. Inwendig was deze bak 202 millimeter lang, 70 hoog en 52 breed. Tegen de beide lange binnenwanden werden twee losse zijstukken van glas gesteld, die 65 m^m hoog waren; eene derde plaat, als tweede bodem neergelaten, hield deze stukken staande. In elk van deze zijstukken waren drie verticale groeven geslepen, twee aan de uiteinden, de derde 52 millimeter van eene der andere verwijderd. De electroden, hierin neergeschoven, konden alzoo de geheele vochtzuil of een der beide deelen afsnijden. Deze electroden waren uit één stuk koperblad geknipt, en daarna galvanisch verkoperd, zoodat de oppervlakte bij gebruik volkomen zuiver bleef. Twee glazen dekstukken, op de losse zijwanden rustend, bepaalden de boven-

vlakke der vochtmassa, waarvan de juiste afmetingen bij den uitersten stand der electroden $193\frac{1}{2} \times 61\frac{3}{4} \times 44$ millimeter bedroegen.

Fig. 4.



Behalve deze trog werd in de vertakking b (fig. 4) als weerstandsmaat eerst No. 3, later No. 1 + 2 + 3 op-

genomen. Daar de stroom in a nu sterker mocht wezen, werd de magneet boven de tangentenboussole T verwijderd, en a bij iedere bepaling met een nieuw vocht zoo genomen, dat de waarde van I 600 à 700 millimeter bedroeg. De schaal van den multiplicator G liet een uitslag van 500 m^m toe, en hiernaar werd f geregeld.

Daar de aflezings van de tangentenboussole en multiplicator na elkander moesten geschieden, was het, ook door verandering van declinatie der magneetnaald, meestal onmogelijk I_b bij de vier metingen met eenezelfde oplossing volkomen op dezelfde waarde terug te brengen. Intusschen liepen de aflezings van den multiplicator zelden meer dan $\frac{1}{2} m^m$ uiteen; en dewijl het bleek, dat zelfs bij een veel grooter verschil de evenredigheid der stroomsterkten in de tangentenboussole en den multiplicator, door het geringe bedrag van de polarisatie der koperelectroden, voldoende bleef bestaan, konden de

aflezingen I, I', I'', I''' van de tangentenboussole zonder merkbare fout tot eenzelfden uitslag op den multiplicator worden herleid.

In de volgende tabel A zijn voor verschillende oplossingen de samenstelling, de aflezingen I, I', I'', I''' na het aanbrennen der vereischte verbeteringen, de waarde der weerstandsmaat O in B. A. U. [zie pag. 24], benevens de temperatuur T van het onderzochte vocht opgenomen.

Ter berekening van de stroomsterkte I_b en de polarisatie E_p zijn er de waarden van f en a (fig. 4) in B. A. U. bijgevoegd.

In de voorlaatste rij is het soortelijk gewicht *s. g.* met de temperatuur t , waarvoor deze bepaling geldt, aangegeven. (*s. g.* H_2O bij $4^\circ = 1$).

De laatste rij wijst de volgorde der oplossingen aan, naar het zoutgehalte gerangschikt.

Tabel A.

DATUM.	GEWICHTSDELEN		I	I'	I''	I'''	O	T	f	α	$s.g.$	t	N ^o .
	H ₂ O	CuSO ₄											
28 Aug.	947.35	217.89	687 $\frac{1}{2}$	525 $\frac{3}{8}$	510 $\frac{3}{8}$	202 $\frac{1}{2}$	7.48	17.6	0.3	6	1.1915	19.1	9
29 "	100.—	12.522	673 $\frac{1}{2}$	522 $\frac{3}{8}$	499 $\frac{7}{8}$	200	"	17.9	"	"	1.1127	95.0	7
1 Sept.	545.9	16.52	695 $\frac{3}{8}$	534 $\frac{5}{8}$	424 $\frac{1}{2}$	205 $\frac{1}{2}$	"	"	"	"	1.1080	19.3	3
2 "	562.25	40.03	683 $\frac{1}{2}$	523 $\frac{1}{2}$	420 $\frac{1}{2}$	201 $\frac{3}{8}$	13.35	19.9	0.75	2.2	1.0254	20.6	5
2 "	574.25	10.71	701 $\frac{1}{2}$	539 $\frac{3}{8}$	348 $\frac{3}{8}$	198 $\frac{3}{8}$	"	20.1	"	6	"	20.1	2
3 "	577.1	34.57	646 $\frac{3}{8}$	494 $\frac{3}{8}$	320 $\frac{7}{8}$	183 $\frac{7}{8}$	"	20.1	0.5	1.2	1.0614	20.3	4
3 "	599.8	54.17	478 $\frac{1}{2}$	359 $\frac{1}{2}$	230 $\frac{3}{8}$	126 $\frac{3}{8}$	"	20.0	"	"	1.0153	20.3	6
4 "	575.1	103.76	678 $\frac{3}{4}$	530 $\frac{7}{8}$	472	203	"	20.1	0.5	2.2	1.0513	20.3	8
5 "	584.3	5.63	640 $\frac{5}{8}$	489 $\frac{5}{8}$	411 $\frac{1}{2}$	179 $\frac{7}{8}$	"	20.1	0.75	"	1.0774	20.6	1
			679 $\frac{1}{2}$	530 $\frac{3}{4}$	527	206	"	"	"	"	1.0449	85.7	
			673	528 $\frac{1}{2}$	525	205 $\frac{1}{2}$	"	20.9	0.5	1.2	1.1523	20.7	
			670	521	698 $\frac{1}{2}$	205 $\frac{1}{2}$	"	"	"	"	1.1541	17.4	
			656	508 $\frac{3}{8}$	691 $\frac{1}{2}$	201 $\frac{3}{8}$	"	"	"	"	"	"	
			651 $\frac{1}{2}$	500 $\frac{1}{2}$	687 $\frac{1}{2}$	199 $\frac{1}{2}$	"	"	"	"	"	"	
			287 $\frac{3}{8}$	216 $\frac{1}{2}$	305 $\frac{3}{8}$	78 $\frac{3}{8}$	"	"	0.06	6	"	"	
			446 $\frac{1}{2}$	335 $\frac{7}{8}$	158 $\frac{3}{4}$	116 $\frac{1}{2}$	"	21.8	0.5	12.	1.0065	22.0	
			444 $\frac{3}{4}$	334 $\frac{1}{2}$	158	115 $\frac{1}{2}$	"	"	"	"	"	"	

Hieruit het watervrij zoutgehalte n op 100 gewichtsdeelen water, en volgens (31), (28) en (22) den weerstand w van de geheele vochtzuil, benevens I_b en E_p berekenend, verkrijgt men voor iedere der 9 oplossingen.

Tabel B.

No.	n	w in B. A. U.	w gemiddeld	T	I_b	E_p
1	0.963	138.3	138.1	21.8	38	48
		138.0			38	40
2	1.865	86.1	85.6	20.1	38.1	46
		85.1			35.7	44
3	3.026	59.35	59.8	19.9	24.8	54
		59.95			22.7	48
		60.20			47.1	27
4	5.990	35.16	35.22	20.0	41.1	49
		35.29			38.3	40
5	7.120	30.95	30.95	20.1	24.3	51
6	9.031	25.86	25.72	20.1	28.9	48
		25.57			28.8	58
7	12.522	22.18	22.06	17.9	175	245
		21.95			175	212
8	18.042	16.61	16.48	20.9	44.5	43
		16.39			44	43
		16.46			44	34
		16.47			102	42
9	23.000	15.72	15.64	17.6	246	185
		15.56			240	230

De eenheid, waarin I_b hier is uitgedrukt, is de sterkte van den stroom, die op de gebruikte tangentenboussole een uitslag van één millimeter teweegbrengt. De stroom, die in 1 minuut 1 K.C. knalgas ontwikkelt, is dan volgens onderzoek ongeveer = 51.

De eenheid van electromotorische kracht is die, welke bij een weerstand van 1 B. A. U. de bovenstaande eenheid van stroomsterkte in het leven roept. Hiermede vergeleken was de gemiddelde electromotorische kracht van een der gebruikte Bunsensche elementen = 1016.

De graad van nauwkeurigheid der uitkomsten in *B* is volgens (32) te berekenen; zoo ondergaat de weerstand van No. 1 en No. 9 omstreeks de volgende vermeerdering

	No. 1	No. 9
voor $I + \frac{1}{4} m^m$	+ 0.1%	+ 0.1%
$I' + \frac{1}{4} m^m$	— 0.05	— 0.05
$I'' + \frac{1}{4} m^m$	— 0.6	— 0.1
$I''' + \frac{1}{4} m^m$	+ 0.5	+ 0.05

De uitkomsten zijn alzoo des te onzekerder, naar gelang de weerstand van het vocht toeneemt. Voor eene gewenschte waarde van *O* was dan ook de beschikbare nieuwzilverdraad No. 1 + 2 + 3 bij eene geringe oplossingssterkte veel te kort.

Hoewel uiteenlopend, was de stroomsterkte in de vochtzuil meestal vrij gering, zoodat gedurende de waarneming geene temperatuursverandering te midden der vloeistof te bespeuren was. Eene wijziging van den weerstand hierdoor of ten gevolge van scheikundige werking is dan ook uit de waarnemingen, die met hetzelfde vocht soms bij zeer verschillende stroomsterkten I_b herhaald werden, niet met eenige zekerheid

af te leiden. Voor eene juiste bepaling van E_p hadden de weerstanden α met meer zorg gemeten moeten worden. Uit No. 7 en 9 blijkt intusschen wel, dat de polarisatie met de stroomsterkte aanzienlijk toenam.

Ter eliminatie van den invloed der vrij groote temperatuurverschillen zijn de in B gevonden weerstanden eigenlijk niet talrijk genoeg. Intusschen belette de hervatting der lessen het lokaal, dat mij door de welwillendheid van den Directeur der h. burgerschool ingeruimd was, langer aan zijne bestemming te onttrekken.

Over den invloed van de temperatuur op den weerstand van Cu SO_4 bestaan echter eenige opgaven, waaronder die van HANKEL (Pogg. Ann. LXIX 1846 pag. 259) het meeste vertrouwen schijnen te verdienen.

Uit zijne waarnemingen met drie oplossingen I, II en III geeft de berekening het volgende verband tusschen weerstand en verandering van temperatuur (in de oorspronkelijke verhandeling volgens R.).

	Temperatuur C.	Weerstand.	
I. 100 deelen H ₂ O	0°	1	
+ 20 deelen Cu SO ₄	15°	0.651	
	33 $\frac{3}{4}$	0.417	
	83	0.277	
II. 100 H ₂ O	0°	1	} × 1.32
+ 12 Cu SO ₄	15°	0.66	
III. 100 H ₂ O	0°	1.	} × 2.03
+ 6.6 Cu SO ₄	13 $\frac{3}{4}$	0.663	
	31 $\frac{1}{4}$	0.458	
	84 $\frac{1}{4}$	0.31	

De oplossingssterkte schijnt hierbij alzoó weinig invloed te hebben.

Voor I wordt de weerstand x bij t° , zoo die bij $0^\circ = 1$ gesteld is, uitgedrukt door de formule

$$x = 1 - 0,0302 t + 0,000508 t^2 - 0,00000300 t^3 \dots (60)$$

Voor III geschiedt hetzelfde door

$$x' = 1 - 0,0316 t + 0,000559 t^2 - 0,00000335 t^3 \dots (61)$$

Hieruit verkrijgt men:

	volgens (60)	volgens (61)
voor $t = 18^\circ$	$x = 0.604$	$x' = 0.593$
20°	0.575	0.565
22°	0.549	0.540
25°	0.516	0.511

Met deze cijfers zijn de volgens tabel B gevonden weerstanden w tot de temperatuur van 20° herleid, nadat nog eene verbetering was aangebracht voor de dikte der electrode in den middelsten stand, waardoor bij splitsing der onderzochte vochtzuil de gezamenlijke lengte $\frac{7}{16}$ millimeter korter werd.

In de aldus verkregen tabel C (pag. 65) is wederom No. het volgnommer der oplossing,

$s.g$ haar soortelijk gewicht bij 20° ,

n	}	(aan CuSO_4 op 100 gram water,
p			„ $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ op 100 gram water,
q			„ CuSO_4 in 100 gram van de oplossing,
r			„ $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ in 100 gram van de oplossing,
u			„ CuSO_4 in 0.1 kub. decimeter van de oplossing,
v			„ $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ in 0,1 kub. decim. van de oplossing,

w haar gemiddelde weerstand volgens B,

w' „ „ „ verbeterd voor de dikte der electrode,

W „ weerstand door (60) en (61) herleid tot 20° , met inachtneming der temperatuur van O .

Tabel C.

No.	<i>s. g.</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>r</i>	<i>u</i>	<i>v</i>
1	1.0073	0.963	1.515	0.954	1.493	0.961	1.503
2	1.0155	1.865	2.949	1.831	2.865	1.859	2.909
3	1.0257	3.026	4.817	2.937	4.596	3.013	4.714
4	1.0515	5.990	9.701	5.652	8.843	5.941	9.297
5	1.0614	7.120	11.608	6.647	10.401	7.055	11.039
6	1.0778	9.031	14.891	8.283	12.961	8.928	13.969
7	1.1075	12.522	21.085	11.128	17.413	12.325	19.285
8	1.1527	18.042	31.434	15.284	23.916	17.618	27.568
9	1.1910	23.000	41.363	18.699	29.260	22.271	34.848

No.	<i>w</i>	<i>w'</i>	<i>W</i>
1	138.1 B. A. U.	137.8 B. A. U.	143.7 B. A. U.
2	85.6 "	85.4 "	85.5 "
3	59.8 "	59.7 "	59.6 "
4	35.22 "	35.14 "	35.15 "
5	30.95 "	30.88 "	30.95 "
6	25.72 "	25.66 "	25.72 "
7	22.06 "	22.01 "	20.95 "
8	16.48 "	16.44 "	16.79 "
9	15.64 "	15.61 "	14.45 "

Hieruit vindt men, bij opklimmende waarde van *n* (het gehalte aan CuSO_4 , op 100 gewichtsdeelen H_2O), voor den weerstand *W* bij 20° van de geheele vochtzuil, wier afmetingen pag. 57 gegeven zijn:

Tabel D.

	<i>n</i>	<i>W</i>		<i>n</i>	<i>W</i>	
	1	139.1	B. A. U.	13	20.45	B. A. U.
	2	81.20	"	14	19.53	"
	3	60.—	"	15	18.72	"
	4	48.—	"	16	18.—	"
	5	40.35	"	17	17.35	"
	6	35.10	"	18	16.79	"
	7	31.23	"	19	16.25	"
	8	28.15	"	20	15.77	"
	9	25.78	"	21	15.31	"
	10	24.04	"	22	14.87	"
	11	22.68	"	23	14.45	"
	12	21.50	"			

De weerstand van kopersulfaat neemt bij vermeerdering van oplossingssterkte ook volgens deze bepalingen vertragend af, zonder ergens een minimum te bezitten. Een eenvoudig verband schijnt er echter tusschen zoutgehalte en weerstand niet te bestaan, hetzij men het gehalte aan watervrij of gekristalliseerd zout berekent, of wel de hoeveelheid zout in aanmerking neemt, die in de eenheid van volume der oplossing aanwezig is.

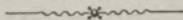
Moeielijk kunnen de in tabel D verkregen uitkomsten met de bestaande opgaven over het geleidend vermogen van CuSO_4 vergeleken worden. Sommige dezer laatste toch zijn afgeleid uit waarnemingen, waarbij de invloed der polarisatie niet behoorlijk ontgaan is, of de afmetingen der onderzochte vochtzuilen te klein waren; andere zijn vermeld zonder vol-

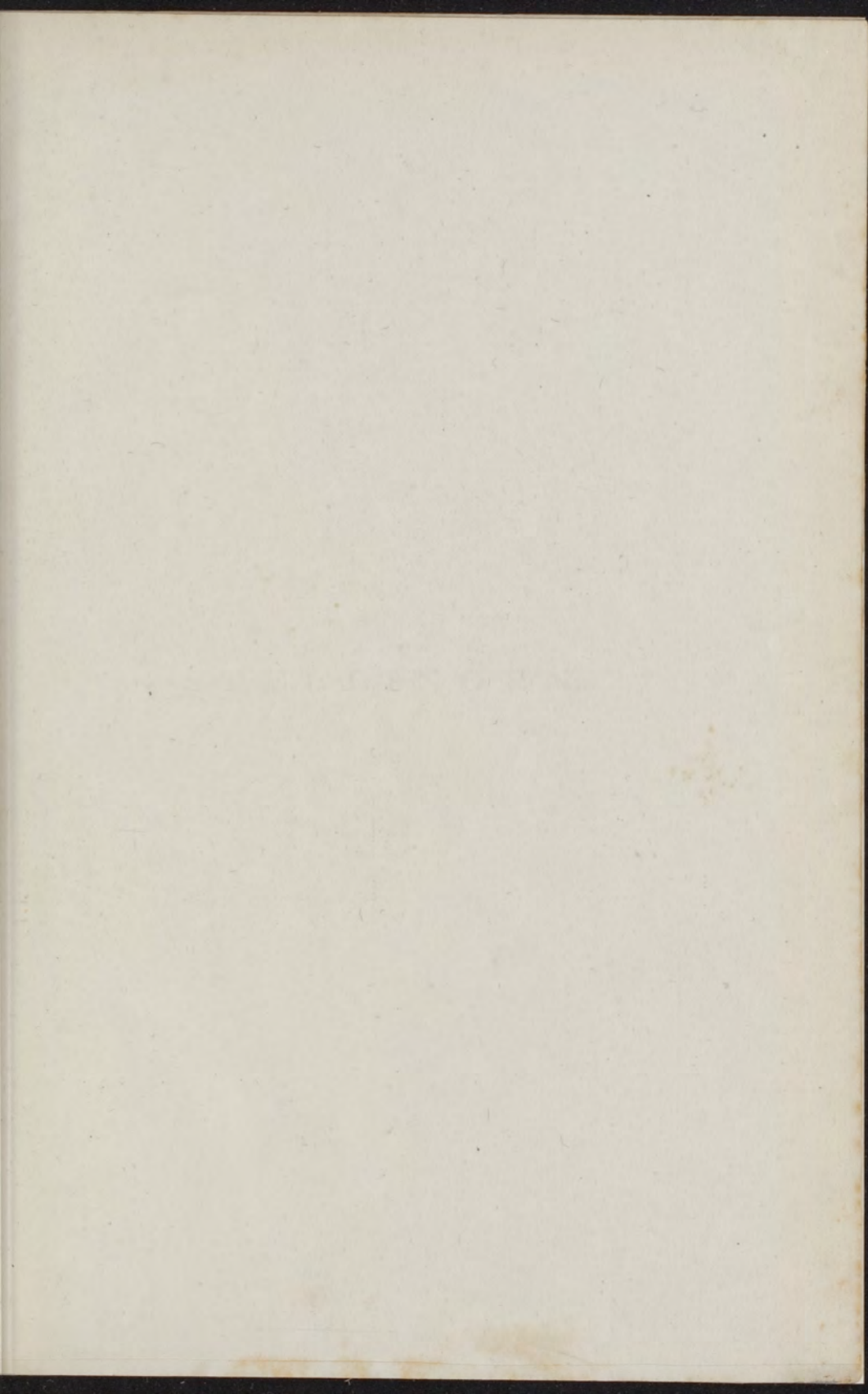
doende inlichting omtrent de temperatuur of het zoutgehalte der oplossing, terwijl de maat, waarin de weerstand uitgedrukt is, willekeurig gekozen was. En daar het geleidend vermogen van metalen, behalve van kwikzilver, volgens de voorhanden bepalingen, naar gelang van den toestand waarin het metaal verkeert, zeer onstandvastig schijnt te zijn, dienen de gebruikte weerstandsmaten of onmiddellijk met kwikzilver of met eene goede normaalmaat vergeleken te worden, indien men de verkregen uitkomsten absoluut wil uitdrukken.

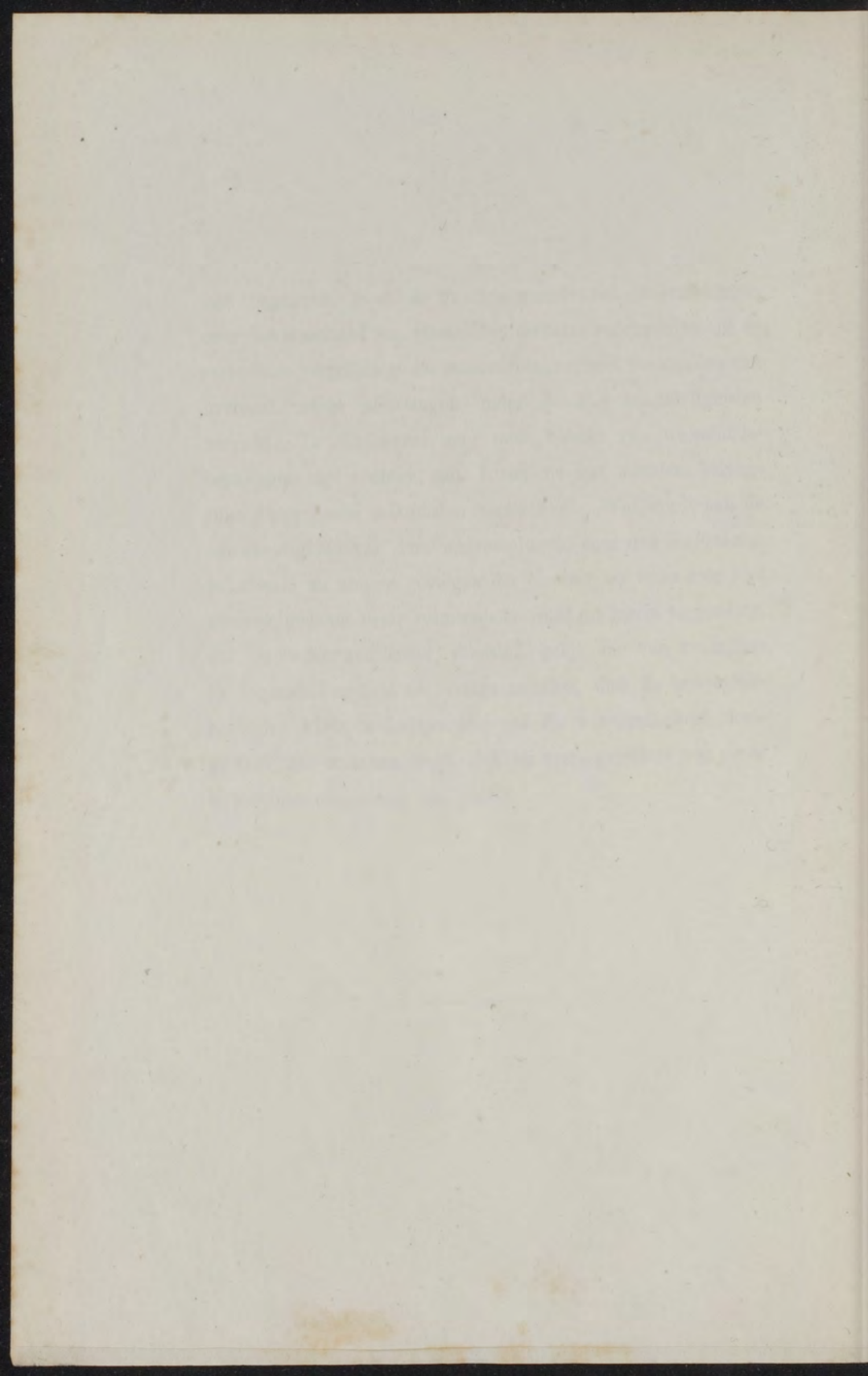
Maar bovendien is eene vergelijking van de uitkomsten, met vochtzuilen van zeer uiteenloopende afmetingen door verschillende waarnemers verkregen, onvruchtbaar, zoolang niet voldoende bewezen is, in hoever de stroomverdeeling in de geheele doorsnede der vochtzuil gelijkmatig plaats grijpt. A priori is het laatste niet te verwachten, schoon dit bij alle methoden ter weerstandsbepaling van vloeistoffen stilzwijgend als waarheid wordt aangenomen. En hoewel onder de noodige voorzorgen de afwijking gering zal zijn, is hare grenswaarde zelfs nog niet bij benadering bekend. Immers hebben de voorloopige onderzoekingen van HORSFORD (Pogg. Ann. LXX, 1847, pag. 238) de gelijkmatige stroomverdeeling in eene electrolyt niet met die nauwkeurigheid aangetoond, waarvoor weerstandsbepalingen van vochten onder gunstige omstandigheden vatbaar zijn.

Zoolang de wetten dezer stroomverdeeling niet zorgvuldiger

zijn nagegaan, moet de grootste waarde van onderzoeken over den weerstand van vloeistoffen derhalve voortspruiten uit de onderlinge vergelijking der waarnemingen, met vochtzuilen van overeenkomstige afmetingen onder dezelfde omstandigheden verricht. In dit geval mag men terecht van weerstands-bepalingen met vochten, zelfs boven die met metalen, belangrijke theoretische uitkomsten verwachten. Wel wordt aan de nauwkeurigheid van deze waarnemingen, door den invloed der polarisatie en andere gevolgen der electrolyse, soms zeer veel afbreuk gedaan; maar ruimschoots vindt dit hierin vergoeding, dat de weerstand eener vloeistof, gelijk die van kwikzilver in tegenstelling met de overige metalen, door de beweeglijkheid der kleinste deeltjes niet aan die wisselvalligheid blootgesteld is, waarvan men zich bij vaste geleiders nog geene behoorlijke rekenschap kan geven.





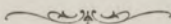


STELLINGEN.

STELLINGEN.

STELLINGMA

STELLINGEN.



I.

De methode van BOSSCHA, op de weerstandsbepaling zoowel van metalen als van vloeistoffen toegepast, doet (in nauwkeurigheid voor geene der overige handelwijzen onder.

II.

Bij rechtstreeksche weerstandsbepaling van vochten is „eine „völlig genügende Methode, bei welcher alle chemischen „Veränderungen der Flüssigkeiten während der Bestimmung „ihres Leitungswiderstandes vermieden werden können” (WIEDEMANN'S Galvanismus I, 171) onbestaanbaar.

III.

Met het oog op onderlinge vergelijking der uitkomsten is het volstrekt noodzakelijk, de afmetingen der te onderzoeken vochtzuilen grooter te nemen, dan gewoonlijk het geval was.

IV.

De weerstand eener vloeistof kan niet aan die wisselvalligheid onderhevig zijn, waarvan men zich bij den weerstand van metalen nog geene rekenschap weet te geven.

V.

Afgezien van scheikundige werking aan de oppervlakte der electroden, is het bestaan van overgangsweerstand nog niet overtuigend aangetoond.

VI.

Het bedrag der absolute weerstandseenheid (British Association Unit) is voor haar gebruik als standaardmaat te gering.

VII.

In plaats van stalen dezer eenheid verkrijgbaar te stellen, ware het eenvoudiger, draden van ongeveer denzelfden weerstand met juiste opgaaf van zijn bedrag te leveren.

VIII.

De weerstandsbank geeft in haren tegenwoordigen vorm weinig waarborgen voor nauwkeurigheid; zij moest een kwikzilver-contact bezitten, en hare temperatuurverandering

gedurende het gebruik door behoorlijke dikte van den draad en door inwendige luchtbeweging of afkoeling met water zooveel mogelijk tegengestaan worden.

IX.

Het astaticsch maken der galvanometernaald door eene vaste magneetstaaf is bij metingen van eenigen duur, zooals b. v. bij weerstandsbepalingen uit stoomsterkten, af te keuren,

X.

Het astatisme eener opgehangen magneetnaald, door een vasten magneet teweeggebracht, biedt een geschikt middel aan ter bepaling der verandering in declinatie van het aardmagnetisme.

XI.

Hetzelfde middel kan ook bij de voortdurende bepaling der intensiteit van het aardmagnetisme goede diensten bewijzen.

XII.

De rechtstreeksche bepaling van het kookpunt van zoutoplossingen kan slechts onzekere uitkomsten geven.

XIII.

De bepaling der dampspanning verdient voor het onderzoek

van den innerlijken bouw eener vloeistof en de veranderingen, die daarin plaats grijpen, veel grooter vertrouwen.

XIV.

Bij deze bepaling kan misschien met vrucht hiervan partij getrokken worden, dat twee zoutoplossingen, in dezelfde afgesloten ruimte geplaatst, wederzijds water afstaan en opnemen, tot zij dezelfde dampspanning bezitten.

XV.

De nieuwere theorie van het wezen der gassen geeft opheldering van het verschijnsel, dat de opslorping van een gas door eene vloeistof alleen afhankelijk is van de drukking, die hetzelfde gas er op uitoefent.

XVI.

De volksmeeningen over den invloed van de maan op het weder berusten wel op waarnemingen; maar de even talrijke verschijnselen, die het tegendeel dier meeningen bewijzen, worden niet opgemerkt en derhalve niet in rekening gebracht.

XVII.

Opgaven zooals die van lineaire uitzetting naar SMEATON (POUILLET-MÜLLER, Lehrb. d. Phys. II, 559) hebben slechts waarde tot in de zesde decimaal.

XVIII.

De onderzoekingen van WIEDEMANN (Pogg. Ann. XCIX, 229) geven geen recht tot het besluit, dat de galvanische weerstand van oplossingen aan het zoutgehalte der vloeistof omgekeerd, en aan hare taaigheid rechtstreeks evenredig is.

XIX.

De onderzoekingen van HORSFORD over de stroomverdeeling in de doorsnede eener electrolyt (Pogg. Ann. LXX, 238) zijn niet verricht met die nauwkeurigheid, waarvoor een dergelijke arbeid vatbaar is.

XX.

Ook met het oog op de weerstandsbepaling van vloeistoffen is eene herhaling van dit onderzoek dringend noodzakelijk.

XXI.

De schijnbare voortreffelijkheid van de dispersieformule van CH. BRIOT (Essais sur la théorie mathématique de la lumière) is het gevolg van het verzuim van termen, die niet verwaarloosd mochten worden.

XXII.

Onderzoekingen over de betrekking tusschen snelheid van

beweging en wederstand zijn ter beoordeeling van de mogelijkheid van luchtvaart van groot belang.

XXIII.

De algemeene aantrekkingskracht moet in de hoogere streken des hemels volgens dezelfde functie van den afstand werken als op aarde.

XXIV.

Het aannemen eener statische en dynamische eenheid van kracht is eene kunstmatige onderscheiding, die met de gewone wijze van omschrijving der eenheden strijdt.

XXV.

Bij de behandeling van den slinger wordt door POUILLET-MÜLLER (*Lehrb. d. Phys. I, 288*) het onderscheid tusschen de begrippen van massa en gewicht niet behoorlijk in het oog gehouden.

XXVI.

De staande golfbeweging der luchtzuil in eene orgelpijp is niet de onmiddellijke oorzaak van het geluid, maar dient slechts tot regeling en versterking van den toon.

XXVII.

De gebruikelijke koppeling van zuigerstang en kruk werkt

onvoordeelig ten opzichte van de omzetting der levende kracht van den stoom in nuttig arbeidsvermogen.

XXVIII.

De methode van BERNARD ter bepaling van den brekings-exponent eener glasplaat is, zooals zij door DAGUIN (*Traité élémentaire de physique* IV, § 2009) beschreven wordt, ongerijmd.

XXIX.

Bij de verklaring der aardsche oogbuis (DAGUIN, *Tr. d. phys.* IV, fig. 1637) is het beloop der stralen in verband met den vorm der lenzen en de plaatsing der diaphragma's misteekend.

XXX.

Het scheikundig onderwijs behoort aan alle scholen in de eerste plaats naar de nieuwere inzichten gegeven te worden.

XXXI.

Tot nog toe kan men het verschil in samenstelling der talloze verbindingen, die in het plantaardig en dierlijk organisme rondgevoerd worden, aan geene andere oorzaak toeschrijven, dan aan den invloed, dien de bouw van den celwand op de osmotische werking uitoefent.

XXXII.

Het triklinische stelsel is een noodstelsel, waarin alle kristalvormen opgenomen zijn, die niet in de natuurlijke groepen passen.

XXXIII.

De mogelijkheid van een behoorlijken toevoer en verwijdering der stoffen, tot onderhoud van het dierlijk leven vereischt en gebruikt, is door de wetenschap reeds voldoende bevestigd. Men kan er bovendien gevolg aan geven, zonder aan de eischen der staathuishoudkunde tekort te doen.

