

Bestemmelse

af

Kviksølv søjlers elektriske Ledningsmodstande
i absolut elektromagnetisk Maal.

Af

L. Lorenz.

Vidensk. Selsk. Skr. 6. Række, naturvidenskabelig og matematisk Afd. II. 7.



Kjøbenhavn.

Bianco Lunos Kgl. Hof-Bogtrykkeri.

1885.

Paa Foranledning af den til Fastsættelsen af de elektriske Maalenheder i Oktober 1882 sammentraadte internationale Konference har der af Regeringen været bevilget mig en Sum af 5000 Kr. til Udførelsen af nærværende Undersøgelse, hvorved langt større Midler bleve satte til min Raadighed end dem, jeg ved mine tidligere til samme Maal sigtende Undersøgelser¹⁾ havde været i Besiddelse af. Officersskolens kemiske Laboratoriums Lokaler vare velvilligt stillede til min Disposition, ligesom en væsentlig Bistand har været mig ydet paa mangfoldige Maader af Laboratoriets Forstander Dr. H. Topsøe, som navnlig ogsaa har udført en stor Del af Maalingerne.

Til Bestemmelse af de absolute Grundenheder: Tid, Længde og Masse vare følgende Apparater anskaffede:

1. et Pendulkronometer, hvis Gang bestemtes ved Sammenligning med det astronomiske Observatoriums daglige Tidssignal,
2. en i Centimeter inddelt Normalmeter og et Kathetometer, begge fra Société Genevoise, den første med angiven Korrektion ($0,0237^{\text{mm}}$, rigtig ved $-1^{\circ},25 \text{ C.}$), som var bestemt ved Sammenligning med en af det internationale Bureau i Paris verificeret Meter,
3. Normalvægtlodder fra Westphal i Celle.

I. Metoder for Modstandsmaalingerne.

Absolute Maalinger. Den anvendte Methode er i Principet ganske den samme, som den jeg i mine tidligere Undersøgelser har benyttet. Derimod har jeg i Udførelsen af Forsøgene gjort væsentlige Forandringer, navnlig for Rotationsapparatets Vedkommende, som jeg har indrettet i Overensstemmelse med det af mig til den internationale Konference gjorte Udkast²⁾, og som nærmere vil blive omtalt i det følgende.

¹⁾ Overs. over d. K. D. Vidensk. Selsk. Forh. 1873, S. 1.

²⁾ Journal de phys., S. II, T. 1, p. 477, 1882.

Relative Maalinger. Til alle mine relative Modstandsmaalinger har jeg benyttet en særegen Methode, som har vist sig saavel bekvem i Udførelsen som i høj Grad nøjagtig, hvorfor jeg tør anbefale den fremfor de sædvanlig benyttede Metoder.

De to Modstande AB og CD , som skulle sammenlignes, forbindes ved en Ledning BC og indskydes tilligemed to Traadruller i en Strømkreds. Disse Traadruller ere i passende Afstand anbragte paa Bordet foran og bagved et Spejlgalvanometer. Fra to af de fire Punkter A , B , C og D afledes Strømmen til Galvanometret, saaledes at denne afledede Strøm virker modsat Hovedstrømmen i Traadrullerne paa Galvanometrets Naale. I den til Galvanometret førende Ledning er desuden indskudt en Rheostat, ved Hjælp af hvilken Modstanden forandres, indtil Galvanometerspejlet er ført tilbage til Skalaens Nulpunkt.

Modstanden i Galvanometret tilligemed dets Tilledningstraade være betegnet ved G , Rheostatmodstandene ved R , R_1 , R_2 , efter som man har afledet Punkterne AC , BD eller AD . Man vil da have

$$\begin{aligned} k.AC &= G + R \\ k.BD &= G + R_1 \\ k.AD &= G + R_2, \end{aligned}$$

idet $k + 1$ svarer til det konstante Forhold imellem Hovedstrømmens og den afledede Strøms Styrke. Heraf erholdes

$$\frac{CD}{AB} = \frac{R_2 - R}{R_2 - R_1}.$$

Forsøgene kunne varieres ved Afledning af andre Par Punkter, som AB og CD , hvorved erholdes en Kontrol for Rigtigheden af det fundne Resultat.

For tillige at kunne variere Konstanten k paa bestemte Maader var Traaden i Traadrullerne sammensat som et Kabel af 11 indbyrdes isolerede Traade. Kabelet var svagt snoet, ligesom ogsaa de over en Meter lange to Kabelender fra enhver af Rullerne vare sammensnoede og førte til Siden til en Kommutator, hvor de 22 tæt til hinanden førte Traadender kunde indbyrdes forbindes paa hvilken som helst Maade. Man var saaledes i Stand til ved uforandret Stilling af Traadrullerne at forstærke disses Virkning paa Galvanometret 2, 3, indtil 11 Gange. Selvfølgelig maatte det, naar disse Kombinationer benyttedes, paases, at hele den udenfor Traadrullerne værende Ledning for Hovedstrømmen ingen Virkning udøvede umiddelbart paa Galvanometret, hvilket opnaaedes ved Udskydelse af Traadrullerne af Ledningen og Kompensering af den øvrige Lednings Virkning ved Indstilling af en paa Ledningen nær Iagttageren anbragt Sløjfe.

Galvanometret var et Thomson'sk med Planspejl og Kikkertaffæsning. Det indeholdt to Traadruller, den underste, som omfattede en Sats af smaa Magnetnaale, havde en tyk Traad, den øverste, som alene benyttedes ved disse Forsøg, bestod af en dobbelt, tynd og lang Traad og omsluttede den paa Spejlet anbragte Magnet.

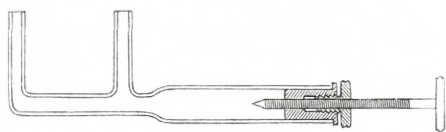
Alle Forsøg anstilledes i et ikke opvarmet Lokale. Forandringer under en Forsøgsrække af Galvanometrets Nulpunkt ophævedes ved Hjælp af en i Nærheden af Iagttageren anbragt Magnet. Rheostaten var en Siemens' med fra 1 indtil 10000 Enheder, hvortil undertiden blev føjet en anden fra $\frac{1}{10}$ til 1 Enhed. Ved Kalibrering viste den første Rheostat sig saa nøjagtig, at der ikke behøvedes at indføres nogen Korrektionstabel. Jeg skal tilføje, at Rheostaten dengang var ny, og at der et halvt Aar senere viste sig kjendelige Forandringer, som vilde have gjort en ny Justering nødvendig.

II. Kalibrering af Glasrør.

Alle Kalibreringerne ere udførte af Dr. Topsøe. I en lille Afstand fra det paa et Betonfundament opstillede Kathetometer var et Mahognibrædt anbragt vertikalt paa et ligeledes paa Beton hvilende Bord. I dette Brædt var Normalmeteren indlagt og ved Siden af denne det Rør, som skulde kalibreres.

Kalibreringen af de snævre Rør udførtes paa den Maade, at en lille Kviksølv søjle efterhaanden blev forskudt gennem Røret, idet hver Gang Søjleens nederste Endeflade netop tangerede dens øverste Endeflade i dens foregaaende Stilling. Dette lod sig bekvemt og nøjagtig udføre paa følgende Maade. Et Glasrør af den Form, som Figuren viser, var

Fig. 1.



indsat horisontalt i en Fordybning i ovennævnte Brædt. I den ombøjede Ende af Røret indsattes vertikalt det Rør, som skulde kalibreres, medens Apparatets anden vertikale Gren blev lukket med en Glasprop efter at have tjent til Indfyldningen af Kviksølv. Apparatet var lukket ved en med Pakskrue forsynet Prop, hvorigennem gik en lang og fin Skrue, alt af Staal. Ved Hjælp af denne Skrue kunde Kviksølvet trykkes op til en vilkaarlig Højde i det Rør, som skulde kalibreres. Dette sidste Rør var foroven dobbelt ombøjet og udtrukket i en Spids. Efter at Kviksølvet var drevet op indtil Spidsen, blev Søjlen atter trukket tilbage paa en saadan Maade, at der efter den sammenhængende Søjle fulgte en lille Luftblære og derefter en omtrent 2^{cm} lang Søjle. Med denne sidste blev Kalibreringen udført.

Efter endt Kalibrering blev den lille Søjle drevet ud af Røret, optagen i en Skaal og vejlet. Derefter blev en ved en Luftblære adskilt længere Kviksølv søjle opsøgt i Røret, idet Længden afpasses omtrent efter hele den kalibrerede Længde. Efter at denne Søjles Længde og Beliggenhed i Forhold til et Mærke paa Røret var maalt, blev Søjlen ligeledes

uddreven og vejjet. Endelig aftages Røret, afbrækkes nær ved det kalibrerede Stykkes Grænser og tilslibes konisk i begge Ender, hvorefter Rørets Længde maales.

De efter hinanden maalte Længder af den lille kalibrerende Kviksølvstøje vare $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ og

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = L.$$

Endvidere være L' Længden af den derefter indførte (store) Kviksølvstøje, λ'_1 og λ'_n de manglende Stykker i den kalibrerede Længde, saaledes at man har

$$L - \lambda'_1 - \lambda'_n = L'.$$

Ligeledes være L'' Længden af det afbrækkede Rør og λ''_1 og λ''_n de manglende Stykker i den kalibrerede Længde, altsaa

$$L - \lambda''_1 - \lambda''_n = L''.$$

Man vil da kunne udtrykke Modstanden R' af Kviksølvstøjen L'' ved

$$R' = r \left(\frac{\lambda_1 - \lambda'_1}{s_1} + \frac{\lambda_2}{s_2} + \dots + \frac{\lambda_{n-1}}{s_{n-1}} + \frac{\lambda_n - \lambda''_n}{s_n} \right),$$

idet r betegner Kviksølvets specifikke Ledningsmodstand, og s_1, s_2, \dots, s_n de til Midten af Søjlerne $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ svarende Gjennemsnit.

De til det tomme Rum reducerede Vægte af den lille kalibrerende Søjle og af Søjlen L' være w og W . De af disse Søjler indtagne Rum kunne betegnes ved $v - 2x$ og $V - 2x$, idet x er det lille Rum, som begrænses af Kviksølvstøjernes konvekse Endeflade, af en tangerende Plan til dennes Midtpunkt og af Rørets indre Cylinderflade. Naar altsaa Vægten af en Rumenhed Kviksølv ved 0° , som foreløbig antages for Forsøgets Varmegrad, betegnes ved ρ , saa er

$$w = \rho(v - 2x), \quad W = \rho(V - 2x),$$

hvoraf

$$W - w = \rho(V - v).$$

Tillige er

$$V = \left(n - \frac{\lambda'_1}{\lambda_1} - \frac{\lambda'_n}{\lambda_n} \right) v, \quad v = s_1 \lambda_1 = s_2 \lambda_2 = \dots$$

Sættes

$$\lambda_1 - \frac{L}{n} = \delta_1, \quad \lambda_2 - \frac{L}{n} = \delta_2, \quad \dots, \quad \lambda_n - \frac{L}{n} = \delta_n,$$

hvor Størrelserne δ blive meget smaa Størrelser, og indføres Betegnelsen

$$\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2 = \Sigma \delta^2,$$

saa vil man erholde

$$R'(W - w) = r \rho \left(n - 1 - \frac{\lambda'_1}{\lambda_1} - \frac{\lambda'_n}{\lambda_n} \right) \left(\frac{LL''}{n} - \lambda''_1 \delta_1 - \lambda''_n \delta_n + \Sigma \delta^2 \right).$$

Maalingerne af Længderne L' og L'' antages udførte ved Varmegraderne t' og t'' , den Varmegrad, ved hvilken Normalmaalestocken er rigtig, være t_0 ($-1^\circ, 25$); endvidere være de lineære Udvidelseskoefficienter for Messing og Glas betegnede ved b og g , og Kviksølvets

kubiske Udvidelseskoefficient ved γ . Man vil da have den til 0° reducerede Modstand R af Kviksølv søjlen bestemt ved

$$R = R' \frac{1 + b(t' + t'' - 2t_0) + g(2t' - t'')}{1 + \gamma t'}$$

De her benyttede numeriske Værdier af Konstanterne ere

$$\rho = 13,5952, \quad \gamma = 0,0001795, \quad b = 0,000018, \quad g = 0,0000084.$$

Med Hensyn til den ovenfor benyttede Konstant r bemærkes, at man vil erholde R udtrykt i sædvanlige Kviksølvenheder, naar Længderne angives i Millimeter, Vægtene i Milligram og r sættes lig $\frac{1}{1000}$.

Resultatet af Maalingerne vare:

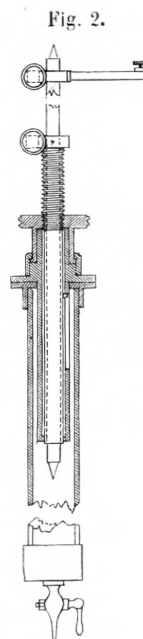
Rør Nr. 1.

$$\begin{aligned} L &= 368,119, & \lambda_1 &= 19,406, & \lambda_n &= 19,315^{\text{mm}}. \\ L' &= 357,042, & \lambda'_1 &= 4,685, & \lambda'_n &= 6,392^{\text{mm}}. \\ L'' &= 364,61, & \lambda''_1 &= -0,87, & \lambda''_n &= 4,38^{\text{mm}}. \\ n &= 19, & t' &= 10^\circ,0, & t'' &= 11^\circ,0. \\ W &= 1395,75^{\text{mgr}}, & w &= 75,40^{\text{mgr}}, & \Sigma \delta^2 &= 0,4714, \\ R &= 1,26612 \text{ Kviksølvenheder.} \end{aligned}$$

Rør Nr. 2.

$$\begin{aligned} L &= 445,36, & \lambda_1 &= 19,965, & \lambda_n &= 20,434^{\text{mm}}. \\ L' &= 442,32, & \lambda'_1 &= 3,06, & \lambda'_n &= -0,01^{\text{mm}}. \\ L'' &= 435,30, & \lambda''_1 &= -1,58, & \lambda''_n &= 11,66^{\text{mm}}. \\ n &= 22, & t' &= 9^\circ,6, & t'' &= 9^\circ,0. \\ W &= 351,72^{\text{mgr}}, & w &= 16,05^{\text{mgr}}, & \Sigma \delta^2 &= 1,1714. \\ R &= 7,42980 \text{ Kviksølvenheder.} \end{aligned}$$

Kalibreringen af de vide Rør, nemlig tre 1 Meter lange, 1, 2 og 3 Centimeter vide Glasrør, som skulde benyttes ved de absolute Modstandsmaalinger, udførtes paa følgende Maade. Rørene vare ved den ene Ende lukkede med et med Hane forsynet Jernlaag, og ved den anden Ende indfattede i en Jernbøsning. Naar et af Rørene skulde fyldes med Kviksølv, blev det først i horisontal Stilling ved et med Glashane forsynet Glasrør sat i Forbindelse med en Luftpumpe og pumpet saa luftomt som muligt, hvorefter Kviksølvet indsugedes gennem Jernhanen. Dernæst opstilledes det fyldte Rør vertikalt og paa den øvre Bøsning befæstedes det i Fig. 2 fremstillede Staalapparat, som bestod af et ydre faststaaende Hylster med en Slidse, et indre Hylster for neden med en af Slidsen styret Tap, for oven fint skrueskaaret og ført af en Møttrik, samt inderst af en i begge Ender tilspidset Staalstang, der vilkaarlig lod sig forskyde og fastholde. Alt var meget omhyggelig afdrejet. Den nederste Spids blev ført ned til Berøring med Kvik-



sølvets Overflade, hvilket iagttoges ved Kikkert, og derefter blev Kathetometrets Kikkert indstillet paa den øverste Spids og dens Højde maalt. Kviksølvet blev efterhaanden udtappet i passende, omtrent lige store Mængder, og Maalingerne fortsattes igjennem hele den Længde af Røret, som skulde kalibreres.

Det videste af de tre Rør var forsynet med 4, de andre med 2 fine, konisk borede Huller. Ethvert af disse Huller vare lukkede lufttæt med en lille Platinplade, som blev fastholdt med en Røret næsten omsluttende Urfjeder. Dennes ombøjede Ender spændtes sammen ved en Kobbertraad, der tillige tjente ved de følgende Forsøg til elektrisk Ledning. Naar ved Kalibreringen Kviksølvet netop var sunket ned under et af Hullerne, blev Urfjedren løsnet og forskudt, den nederste Staalspids indstillet paa Midten af Hullet, som endnu ret godt kunde iagttages i Kikkerten, hvorefter Højden af den øverste Spids blev maalt. Desuden blev særskilt Afstanden maalt imellem Hullerne, som alle laa i samme vertikale Linie.

Da smaa Temperaturforandringer ikke kunde undgaas under Forsøgene, bleve Maalingerne ved smaa Korrektioner henførte til en fælles Middeltemperatur.

Er L den kalibrerede Længde ved Middeltemperaturen t , W den tilsvarende Vægt af det udtappede Kviksølv, L' Afstanden mellem to Huller, maalt ved Temperaturen t' , saa kan Modstanden R' af Kviksølv søjlen imellem de to Huller, uden Temperaturkorrektion, bestemmes ved

$$R'W = r\rho LL'\mu,$$

hvor μ er et fra 1 kun lidt forskjelligt Tal, hvorved den af de enkelte Maalinger fremgaaede Korrektion med Hensyn til Rørets Afbøjelse fra Cylinderformen er angivet. Denne Korrektion er, som af det følgende vil ses, meget lille, hvorfor det ikke har været nødvendigt her at medtage de Maalingers Enkeltheder, der have ligget til Grund for Beregningen. Af den saaledes fundne Værdi for R' beregnes dernæst den til 0° svarende Modstand R paa samme Maade som ovenfor, idet i den angivne Formel t' og t'' forandres til t og t' .

Resultaterne af Maalingerne vare:

Rør Nr. I.

$$L = 525,93^{\text{mm}}, \quad t = 12^\circ 49, \quad W = 2312197^{\text{mgr}},$$

$$L' = 499,35^{\text{mm}}, \quad t' = 10^\circ 6, \quad \mu = 1,000071,$$

hvoraf

$$R = 0,00154180 \text{ Kviksølvenheder.}$$

Rør Nr. II.

Dette Rør indeholdt 4 Huller A , B , C , D . Modstandene ved 0° af de Kviksølv søjler, som befinde sig imellem disse Huller, betegnes henholdsvis ved AB , BC , CD .

$$AB. \quad L = 200,45^{\text{mm}}, \quad t = 11^\circ 70, \quad W = 2103229^{\text{mgr}},$$

$$L' = 199,79^{\text{mm}}, \quad t' = 9^\circ 0, \quad \mu = 1,000006.$$

$$BC. \quad L = 203,19^{\text{mm}}, \quad t = 10^\circ 79, \quad W = 2124558^{\text{mgr}},$$

$$L' = 199,97^{\text{mm}}, \quad t' = 9^\circ 0, \quad \mu = 1,000021.$$

CD.

$$L = 201,09^{\text{mm}}, \quad t = 11^{\circ}22, \quad W = 2082375^{\text{mgr}},$$

$$L' = 200,45^{\text{mm}}, \quad t' = 9^{\circ}0, \quad \mu = 1,000010,$$

hvoraf

$$AB = 0,00025836 \text{ Kviksølvenheder,}$$

$$BC = 0,00025964 \quad \text{»}$$

$$CD = 0,00026279 \quad \text{»}$$

Da det senere ved de absolute Modstandsmaalinger viste sig, at de nøjagtigste Resultater erholdtes ved de Kviksølvsejler, som havde den mindste Modstand, blev der ingen absolute Modstandsmaalinger udførte med det tredje Rør, hvis Modstand i Kviksølvenheder var 0,0062215.

III. Temperaturkoefficienten for Kviksølvets Ledningsmodstand.

Det til alle Forsøgene anvendte Kviksølv var af Dr. Topsøe fremstillet paa to forskellige Maader. Den ene Del var omhyggelig rensset paa sædvanlig Maade, dog uden Destillation; den anden Del var i større Mængde (16 Kilogram) fremstillet ved Destillation af Kviksølv, som var præpareret af rensset Kviksølv. Begge Præparater viste imidlertid ved gjentagne Forsøg ikke nogen som helst kjendelig Forskjel i elektrisk Ledningsevne.

Til nærværende Forsøg benyttedes to ikke kalibrerede Rør, hvis Ender vare udvidede til cylindriske Beholdere. Det ene omtrent 1 Meter lange, 1^{mm} vide Rør var vunden i Spiral, det andet var 260^{mm} langt, 0,1^{mm} vidt og bøjet U-formet.

Efterat Rørene vare fyldte med Kviksølv, bleve de først anbragte under en Luftpumpes Klokke, og Modstanden blev iagttaget, medens Luften blev udpumpet. Hvis der nemlig skulde være smaa Luftblærer tilstede, saa vilde disse udvide sig ved Luftfortyndingen og derved forøge Ledningsmodstanden af Kviksølvsejlen. Tillige skulde en ringe Modstandsforøgelse fremkomme alene ved Trykkets Formindskelse paa Kviksølvet, men jeg fandt tværtimod en konstant lille Aftagen af Modstanden, hvilken for det U-formede Rør beløb sig til 0,076 Procent. I andre Forsøg, som senere skulle omtales, og hvor der benyttedes lige, horisontalt stillede Rør, hvis Ender vare dækkede af Kviksølv, viste denne Anomali sig ikke, hvorfor jeg formoder, at den hidrører fra Udsugningen af Luften imellem Glasset og Kviksølvet i den øvre Del af Rørene. I ethvert Tilfælde viste Forsøgene, at der ingen kjendelige Luftblærer kunde være tilstede i Rørene.

Derefter indsattes et af Rørene i en med Alkohol fyldt Beholder, som befandt sig omgivet af en anden med Vand fyldt Beholder, og saaledes blev holdt paa konstant Varmegrad. Den første Beholder indeholdt tillige et i $\frac{1}{10}$ Grader inddelt Normalthermometer og en Rører.

Modstandsmaalingerne udførtes efter den ovenfor omtalte Methode. Ved *AB* er betegnet Modstanden af den i et Rørene ved Temperaturen *t* indesluttede Kviksølvsejle,

ved BC Modstanden af en Platintraad, som forbinder Røret med en Rheostat, hvori Modstanden CD i den første Forsøgsrække var 1, i den anden 30 Siemens Enheder.

Spiralrør.

	$t = 13^{\circ}28.$	$k.AB = G + 2464,2$
		$k.AD = G + 6671,5$
		$k.BD = G + 743,1,$
hvoraf		$G = 3464,2, \quad k.BD = 4207,3,$
		$k.AB = 5928,4$ (ber. 5928,3).
	$t = 10^{\circ}00.$	$k.AB = G + 2445,9$
		$k.AD = G + 6654,0$
		$k.BD = G + 743,0,$
hvoraf		$G = 3465,1, \quad k.BD = 4208,1,$
		$k.AB = 5911,0$ (ber. 5911,0).
	$t = 0^{\circ}.$	$k.AB = G + 2392,6$
		$k.AD = G + 6600,0$
		$k.BD = G + 741,8,$
hvoraf		$G = 3465,6, \quad k.BD = 4207,4,$
		$k.AB = 5858,2$ (ber. 5858,2).
	$t = 27^{\circ}32.$	$k.AB = G + 2537,8$
		$k.AD = G + 6746,0$
		$k.BD = G + 743,5,$
hvoraf		$G = 3464,7, \quad k.BD = 4208,2,$
		$k.AB = 6002,5$ (ber. 6002,5).

De beregnede Værdier ere udledede ved Formlen

$$k.AB = 5858,2 (1 + 0,0009013t),$$

og stemme, som man ser, næsten fuldkommen med de iagttagne.

U-formet Rør. Galvanometrets dobbelte Traad var her forenet til en.

	$t = 8^{\circ}32.$	$k.AD = G + 8773,1$
		$k.BD = G + 3961,2$
hvoraf		$k.AB = 4811,9$ (ber. 4811,9).
	$t = 33^{\circ}43.$	$k.AD = G + 8882,8$
		$k.BD = G + 3961,2$
hvoraf		$k.AB = 4921,6$ (ber. 4921,8).

$$t = 35^{\circ}31. \quad k.AD = G + 8891,3$$

$$k.BD = G + 3961,0$$

hvoraf $k.AB = 4930,3$ (ber. 4930,1).

Beregningen er udført efter Formlen

$$k.AB = 4775,6 (1 + 0,000916t).$$

De saaledes fundne Koefficienter for den apparente Modstandsforøgelse af Kviksølv i Glasrør ved en Opvarmning af 1° ere altsaa

$$0,0009013 \text{ mellem } 0^{\circ} \text{ og } 27^{\circ}32,$$

$$0,000916 \text{ mellem } 8^{\circ}32 \text{ og } 35^{\circ}31,$$

hvilke Koefficienter ere lidt større end den af Lenz fundne og temmelig nær overensstemmende med de af Siemens og for nylig af Mascart fundne Koefficienter.

IV. Kapillaritetens Indflydelse paa Kviksølvets Ledningsevne.

I et af den internationale elektriske Konferences Møder i 1882 henlede Becquerel¹⁾ Opmærksomheden paa ovennævnte Fejlkilde, i hvilken Anledning Helmholtz oplyste, at Siemens bestandig havde fundet den største Overensstemmelse mellem den iagttagne og den beregnede Modstand af Kviksølv søjler, hvis Diameter varierede fra 1 til 2^{mm}, ligesom ogsaa Bosscha meddelte, at Rink i Delft havde anstillet Sammenligninger med forskellige Rør og fundet en Overensstemmelse indtil $\frac{1}{7000}$. Da mine absolute Modstandsmaalinger skulde udføres med Søjler paa 2 og 3 Centimeters Diameter, medens Normalmaalet skulde henføres til en Søjle paa 1 Kvadratmillimeters Gjennemsnit, ansaa jeg det dog for nødvendigt selv ved nøjagtige Forsøg at undersøge, hvorvidt de molekulære Forandringer i Kviksølvets Overflade langs Glasrørets Vægge kunde hidføre nogen kjendelig Forandring i Kviksølvets Ledningsevne.

De første Forsøg anstilledes med et af tykke Spejlglasplader dannet Trug. Paa et Underlag af Spejlglas vare to, 1^{cm} høje slebne Glasstrimler befæstede med Fiskelim i en Afstand af 2^{cm} fra hinanden; to Staalplader dannede Enderne af det saaledes dannede Trug. Dette blev fyldt med Kviksølv og tæt over Kviksølvets Overflade var en Spejlglasplade anbragt. I denne befandt sig to større og to mindre Huller, i hvilke sidste to Synaale vare befæstede vinkelret paa Pladen. Disse vare forbundne med Galvanometret, medens en stærk Strøm lededes gennem Trugets Endeflader og de i Nærheden af Galvanometret opstillede to Traadruller. Modstanden af Kviksølv søjlen imellem de to Naalespidser blev saaledes bestemt ligesom i de tidligere Forsøg, og der undersøgte nu, hvilken Forskjel i Modstanden der indtraadte, naar Dækpladen førtes ned til Berøring med Kviksølvets Overflade.

¹⁾ Procès-verbaux, S. 68. 1882.

Der viste sig ogsaa herved stedse en lille Forandring af Modstanden, men denne var snart positiv, snart negativ, og det fremgik af Forsøgene, at denne Forandring hidrørte fra det paa Kviksølvet udøvede Tryk. Dette kunde nemlig, alt efter som Kviksølvet mere eller mindre fyldte Truget, snart være positivt, hvilket viste sig ved den udhævede Overflade af Kviksølvet i de to større Huller i Dækpladen, snart negativt, i hvilket Tilfælde Kviksølvets Overflade var indhævet. Men ved disse Tryk bleve Trugets Vægge lidt bøjede, saaledes at Gjennemsnittet blev større, Modstanden mindre ved et større indre Tryk, og omvendt. Af Maalingerne fremgik, at, hvis der overhovedet fremkom nogen Forandring i Modstanden alene ved Kviksølvets Berøring med Dækpladen, saa kunde denne Forandring ikke overstige $\frac{1}{10000}$ af hele Modstanden.

En Virkning af Kapillariteten vil have den Indflydelse paa Formlen for en Kviksølv-søjles Ledningsmodstand, at der til Søjle's Gjennemsnit vil blive at tilføje et med dens Perimeter proportionalt Led. Det ses deraf, at Virkningen fornemmelig maatte give sig tilkjende ved Forsøg med meget snævre Rør. Jeg har derfor ogsaa udført Maalinger med saadanne Rør, navnlig de ovenfor omtalte kalibrerede Rør Nr. 1 og 2, hvis Diametre vare 0,606 og 0,273^{mm}.

Røret anbragtes i et Hul i Midten af en kvadratisk Træklods (2^{cm} i Sidelinie, 1^{cm} tyk), som blev indsat i et lignende Trug af Spejlglassplader, som ovenfor er omtalt, men af den dobbelte Højde (2^{cm}). Truget fyldtes med Kviksølv tilligemed Røret, der tilvebragte Forbindelsen mellem de to Afdelinger af Truget. Ved Hjælp af Dækpladen kunde det lukkes lufttæt og pumpes lufttomt, medens Forandringerne af Modstanden bleve iagttagne. Paa den Maade sikrede jeg mig forud for enhver Maaling imod den mulige Tilstedeværelse af smaa Luftblærer i Røret. Derefter blev Laaget aftaget og Maalingerne udførte efter samme Methode, som tidligere, idet Hovedstrømmen lededes gennem Trugets Endeflader og en Siemens' Normalenhed, medens to Punkter af denne Ledning forbandtes med Galvanometret. Forsøgene viste, at der ingen Forskjel i den maalte Modstand indtraadte, naar begge Enderne af den til Galvanometret førende Ledning bragtes i Berøring med Kviksølvet paa hver Side af Træpladen og derfra efterhaanden flyttedes langs Rørets Vægge indtil dettes Endeflader, hvorimod en kjendelig Forandring strax indtraadte, saasnart Aflædningspunkterne førtes videre udenfor Endefladerne. Naar Aflædningspunkterne befandt sig i Nærheden af Træpladerne, saa kunde den maalte Potentialforskjel derfor siges nøjagtig at svare til den, som findes i to Punkter, der befinde sig ved Rørets Endeflader i dets Glasvægs ydre Omkreds.

Naar Glasvæggens Tykkelse kan betragtes som uendelig stor i Sammenligning med Rørets indre Diameter, saa vil den paa den nævnte Maade maalte Modstand svare til Modstanden af Rørets Kviksølv-søjle forlænget med 0,82 Gange dets indre Diameter. Dette af Lord Rayleigh beregnede Tal behøver for Rørvægge af endelig Tykkelse en Korrektion,

som jeg har forsøgt at bestemme saavel ved Beregning som ved Forsøg. Jeg skal dog her udelukkende holde mig til de sidste. Disse udførtes med et 300^{mm} langt, 2,724^{mm} indvendig og 4,2^{mm} udvendig vidt Rør, for hvilket Modstanden først bestemtes. Derefter blev Røret brækket over i to Dele paa omtrent 200 og 100^{mm} Længde, og disses Modstand bestemt, og endelig blev den større Del brækket midt over og Modstanden bestemt af hver Del. Betegnes Rørets indre og ydre Diametre ved d_i og d_e , saa fandtes ved disse Forsøg den empiriske Formel

$$0,82 - 0,35 \frac{d_i}{d_e}$$

som Udtryk for det Tal, der ved endelige Dimensioner træder i Stedet for det Rayleigh'ske Tal 0,82.

Det var min Hensigt paa samme Maade direkte at bestemme Korrektionen for Rør Nr. 1, men ved et Uheld gik Røret over, allerede førend de første Maalinger vare udførte. Begge Stykker bleve anbragte hvert i sin kvadratiske Træplade og nedsattes i Truget, som saaledes blev delt i tre Afdelinger. Afstanden imellem de to Rørender, som vendte mod hinanden, var omtrent 3^{cm}.

Betegnes ved R Modstanden af Kviksølv søjlerne i begge Rørene og det mellem-liggende Rum, S Modstanden af min Siemens' Normalenhed og x Modstanden af Forbindelsesledningen, saa gave Maalingerne, ved hvilke begge Galvanometrets Traade vare forenede til en:

$$\begin{aligned} t = 10^{\circ}10. \quad k(R + S + x) &= 9063,3 + G \\ k(R + x) &= 4766,8 + G \\ k(S + x) &= 3551,0 + G, \end{aligned}$$

hvoraf

$$R = 1,28297 S.$$

Ved direkte Forsøg fandtes endvidere Modstanden af Kviksølvet i det mellem begge Rørene liggende Rum lig 0,00009 S . Ved Reduktion til 0° ved Hjælp af Temperaturkoefficienten 0,00090 erholdes saaledes Modstanden af begge Rørene ved 0° lig

$$1,27132 S.$$

Den benyttede Siemens' Normalenhed var mærket: Dec. 82, Nr. 2713, $\alpha = 0,000340$, rigtig bei 15°. Ved Henføring til denne Temperatur reduceres den fundne Værdi til

$$1,26899 \text{ Siemens Enheder.}$$

Som Kontrol blev den benyttede Normalenhed sammenlignet med en B. A. Normalenhed (verificeret af Lord Rayleigh, Juni 1882, Nr. 54, $\alpha = 0,00025$, rigtig ved 11°5), hvorved fandtes

$$1 S. E. = 0,95411 B. A.,$$

medens af Lord Rayleigh og Mrs. Sidgewick¹⁾ ved Modstandsmaalinger af Kviksølv søjler af 1 til 2^{mm} Diameter er fundet

$$1 \text{ Kviksølv enhed} = 0,95418 \text{ B. A.}$$

Den ved Kalibrering fundne Modstand af Røret var (S. 7) 1,26612 Kviksølv enheder, og Korrektionen med Hensyn til de 4 Rørender, beregnet ved Hjælp af den ovenfor angivne Formel, idet $d_i = 0,6056^{\text{mm}}$ og $d_e = 3,2^{\text{mm}}$, beløb sig til 0,00315 Kviksølv enheder. Ved Kalibreringen erholdes altsaa Rørenes Modstand lig

$$1,26927 \text{ Kviksølv enheder.}$$

Forudsat, at min Siemens' Normalenhed nøjagtig svarer til Kviksølv enheden, er altsaa den iagttagne Modstand 0,022 Procent, og med Lord Rayleigh's Forsøg som Grundlag 0,029 Procent mindre end den theoretiske.

Det kalibrerede Rør Nr. 2 havde en Modstand af omtrent 7 S. E., og for nøjagtigere at kunne sammenligne denne med min Siemens' Normalenhed, indførtes der efterhaanden et forskjelligt Antal Vindinger af de to ydre Traadrullers Kabel, idet først ved tre forskellige Kombinationer Siemens' Normalenhed alene blev afledet til Galvanometret, og derefter ved en fjerde Kombination Røret, der paa den angivne Maade var anbragt i Truget med Kviksølv. Betegnes de to Modstande henholdsvis ved S og R , og Forholdet mellem Hovedstrømmens og den afledede Strøms Intensiteter ved $\frac{k'}{n}$, idet n er det Antal Gange, Vindingerne i Traadrullerne er forøget (her efterhaanden 9, 5, 2 og 10 Gange), saa kunne Maalingernes Resultater udtrykkes ved

$$\begin{aligned} t = 9^{\circ}32. \quad k'S &= 9(526,50 + G + S) \\ k'S &= 5(1635,60 + G + S) \\ k'S &= 2(5378,7 + G + S) \\ k'R &= 10(8504,7 + G + R). \end{aligned}$$

Paa højre Side kan med tilstrækkelig Nøjagtighed strax sættes $S = 1$ og $R = 7,51$, hvorefter findes

$$R = 7,51057 S.$$

Den til 0° reducerede Modstand af Røret er saaledes

$$7,43243 \text{ Siemens Enheder.}$$

Den ved Kalibrering fundne Modstand beløb sig til 7,42980 Kviksølv enheder. Rørets indre Diameter var 0,273^{mm}, dets ydre Diameter 3,3^{mm}, hvoraf Korrektionen med Hensyn til Rørets Ender, beregnet ligesom ovenfor, findes lig 0,00369 Kviksølv enheder. Den korrigerede Modstand beløber sig altsaa til

$$7,43349 \text{ Kviksølv enheder.}$$

¹⁾ On the specific resistance of mercury, Phil. trans. of the Roy. Soc., Part. I. 1883, p. 173.

Den ved direkte Maalinger bestemte Modstand er saaledes her 0,014 Procent mindre end den beregnede, naar Siemens' Normalenhed antages nøjagtig at svare til Kviksølvheden.

Da de saaledes fundne Afvigelser ere meget smaa og gaa i samme Retning, er Resultatet af denne Undersøgelse, at Kapillariteten næppe udøver nogen maalelig Indflydelse paa Kviksølvets Ledningsevne.

V. Kviksølvets Ledningsmodstand i absolut Maal.

Rotationsapparatet bestod af en paa et Brædt anbragt hul Messingcylinder, inden i hvilken befandt sig en paa en Axel befæstet Skive af Messing eller Kobber. Cylinderens Længde var 1^m,068, ydre Diameter 0^m,333, indre Diameter 0^m,322. I Cylinderens ydre Flade var paa Maskine indskaaren en Skruengang, hvori var nedlagt et af 7, $\frac{1}{2}$ ^{mm} tykke, Kobbertraade bestaaende Kabel; enhver af Traadene som ogsaa hele Kabelet var dobbelt ompunden med Silke. Dette Kabel gik i 472 Vindinger omkring Cylinderen og var fra Enderne ført tilbage til Midten af Cylinderen, hvor Traadenderne vare førte enhver til sin, paa Cylinderens Fodstykke anbragte, Klemkrue. Ved Maaling af Afstanden mellem hver 50 Skruvindinger viste Skruen sig fuldkommen nøjagtig, og den til de 472 Vindinger svarende Højde fandtes lig 998,70^{mm}.

Axlen, paa hvis Midte Skiven var anbragt, forløb konisk henimod Enderne, der hvilede i isolerede, i Cylinderens udskaarne Endeflader anbragte, Lejer. Den sattes i Omdrejning ved en Dynamomaskine, hvis Omdrejningsaxe var stillet i den første Axes Forlængelse, idet begge Axler ved to isolerende Universalled vare forbundne ved et 26^{mm} tykt, 4^m,3 langt Messingrør, som understøttedes i 4 faste Lejer. Ved de større Omdrejningshastigheder, der kunde drives indtil 30 Omdrejninger i Sekundet, frembragtes den elektriske Strøm af en anden Dynamomaskine med tyndere Traad, idet denne Maskine bevægedes ved Dampkraft, hvorimod der til de mindre Hastigheder kun udkrævedes Strømmen fra et galvanisk Batteri paa 10 til 20 Elementer, hvormed kunde opnaas 6 til 12 Omdrejninger i Sekundet. En Del af den til Dynamomaskinen førende Strøm var afledet til en Sideledning, hvori var indskudt en Rheostat. Ved at variere Modstanden i denne kunde Maskinens Omdrejningshastighed let reguleres.

Den i den roterende Skive inducerede elektromotoriske Kraft overførtes til en Ledning gennem to Kontakter, den ene anbragt ved Axlens ene Ende i Centret, den anden ved Skivens Periferi. Den første Kontakt bestod af en konisk Messingspids, som ved en Fjeder trykkes ind imod Axlens Midtpunkt, hvor den omskrevne Flade næppe udgjorde en Kvadratmillimeter. Den anden Kontakt bestod af en tynd, 1^{cm} bred, Strimmel af samme Metal som Skiven (Kobber eller Messing), der var loddet til en Stang ligeledes af samme Metal. Strimmelen var ført tværs over den 11,8^{mm} tykke Skive og trykkede meget let imod

den, idet Strimmelens Bagside var belagt med blødt, fingertykt Filt, som udfyldte Mellemrummet mellem den og Cylinderen. Stangen var ført udenfor Cylinderen og fastgjort. Begge Kontakterne bleve holdte smurte med Olie.

De ved Kontakterne opstaaede thermoelektriske Strømme viste sig ved denne Anordning temmelig svage og konstante, ligesom ogsaa den roterende Skive ikke opvarmedes kjendelig under Rotationen. Iøvrigt har der med Hensyn til Kontakterne fra først af været ikke faa Vanskeligheder at overvinde.

Fra den ene af disse to Kontakter førte en Ledning til den Kviksølv søjle, hvis Ledningsmodstand skulde bestemmes, derfra til et Galvanometer og herfra atter tilbage til den anden Kontakt. Kviksølvet var indesluttet i et af de ovenfor omtalte kalibrerede, 1^m lange, 2 eller 3^{cm} vide Glasrør. Dette var stillet vertikalt, helt fyldt med Kviksølv, og medens Hovedstrømmen gennemstrømmede hele Søjlen, skete Afledningen til Galvanometret fra to af de i Glasvæggen borede Huller igjennem de her om Røret spændte Urfjedre. Resultatet maatte iøvrigt være blevet det samme, hvis Hovedstrømmen var ledet gennem disse Huller, og den afledede Strøm taget fra Søjlen Endepunkter, men da denne Anordning ikke frembød praktiske Fordele, blev den ikke forsøgt.

Det er en Selvfølge, at de i Ledningen til Galvanometret indførte elektromotoriske Kræfter fra den roterende Skive og fra Kviksølv søjlen skulle være modsat rettede, idet Forsøgene, som bekjendt, gaa ud paa at maale Skivens Omdrejningshastighed, i det Øjeblik disse to modsatte elektromotoriske Kræfter netop ophæve hinanden.

Galvanometret var det tidligere omtalte Thomson'ske, idet her den underste Traadrulle med omtrent 0,7 Ohms Ledningsmodstand kom til Anvendelse. Jordmagnetismens Virkning paa Magnetaalene var ved disse Forsøg i Reglen ikke kompenseret ved den til Apparatet hørende ydre Magnet, da det var af større Vigtighed, at Svingningerne udførtes hurtigt (en enkelt Svingning udførtes i omtrent 3 Sekunder). Til en elektromotorisk Kraft af en Milliontedel Volt svarede et Udslag af omtrent 120^{mm} paa den i Kikkerten iagttagne Skala. Ved Bestemmelserne af Ledningsmodstanden af en Kviksølv søjle, som udgjorde 0,00024 Ohm, var Hovedstrømmens Strømstyrke 2,9 Ampère, altsaa den elektromotoriske Kraft, som skulde maales, omtrent 700 Milliontedel Volt, som saaledes vilde svare til 84000^{mm} paa Skalaen. Da Afvigelserne fra Skalaens Nulpunkt i de faa Sekunder, som forløb, medens Skivens Omløbs hastighed blev maalt, næppe oversteg 10^{mm}, vilde den tilsvarende Fejl kun naa op til $\frac{1}{84}$ Procent.

Kronografen. Foruden den ovenfor omtalte, midt inde i Cylinderen anbragte, Skive var der tæt udenfor Cylinderen anbragt en anden ganske lignende paa den roterende Axe. Disse to Skiver, hvoraf den ene var af Kobber, den anden af Messing, kunde ombyttes med hinanden. Et i Millimeter inddelt Papirbaand var lagt om den ydre Skives Rand, hvorved Skivens Omkreds blev delt i omtrent 940 Dele. I en ringe Afstand fra

Papirbaandet var stillet Enderne af to Platintraade, hvorfra elektriske Gnister gennem Papiret sprang over paa Skivens Rand for hver to Sekunder i den Tid, Rotationshastigheden skulde maales, og for at kunne ordne de saaledes erhholdte Mærker efter Tidsfølgen blev i alle Tilfælde, hvor dette var nødvendigt, de to Platintraade efter hver Gnist bragte i en anden Stilling. idet de vare anbragte i et om sin Axe bevægeligt Rør, saaledes at den ene Traadende befandt sig i Axen, den anden udenfor denne. Paa denne Maade bestemtes kun Brøkdelen af det i to Sekunder udførte Antal Omdrejninger. Det hele Tal kunde enten maales umiddelbart eller betragtes som bekendt, da en Fejl paa Bestemmelsen af dette overhovedet ikke var mulig.

De to Platintraade vare forbundne med Induktionsrullen af et Rhumkorff's Apparat, hvori Hovedstrømmen blev afbrudt hvert andet Sekund. Dette udførte jeg efter at have prøvet andre Methoder, som gave mindre gode Resultater, ved alle de endelige Forsøg paa følgende simple, men fuldkommen tilfredsstillende Maade. Foran det i Indledningen omtalte Pendulkronometer var opstillet et sædvanlig til Faldforsøg benyttet Pendulur, hvis Gang under Maalingerne hyppig sammenlignedes med Kronometrets ved Bestemmelsen af de sammenfaldende Pendulslag. Til Pendulets nederste Spids var befæstet en 1 til $1\frac{1}{2}$ Meter lang Silketraad, hvis anden Ende var fastgjort i samme Højde og i Pendulets Svingningsplan, saaledes at Traaden blev svagt strammet for hver dobbelt Svingning af Pendulet. Paa Midten af denne Traad var i en kort Silketraad ophængt en lille Bøjle af Kobbertraad, hvis Grene gennem to Øskener gik ned i to Cylinderglas, hvoraf det ene var fyldt helt med Kviksølv, det andet halvt med Kviksølv, halvt med Spiritus. Under Pendulets Svingninger hvilede den meste Tid Bøjlen paa Øsknerne, og først naar Snoren begyndte at strammes, blev Bøjlen med stor Hastighed kastet til Vejrs, og alt var afpasset saaledes, at Spidsen af Bøjlen ene Gren løftedes fra Kviksølvet over i Spiritusen i det Øjeblik, Hastigheden skjønedes at være størst. Ved denne Bevægelse blev det Rhumkorff'ske Apparats Hovedstrøm afbrudt, og samtidig sløge Induktionsgnisterne over paa den roterende Skive.

Forsøgsanordningen. Apparaterne vare opstillede i to Værelser, som vare skilte fra hinanden ved et mellemliggende tredie. I det største af disse befandt sig Rotationsapparatet, Dynamomaskinen, Kronografen og den Kviksølvøjle, hvis Modstand skulde maales. Rotationsapparatets og Dynamomaskinens fælles Axe var stillet tilnærmelsesvis i Øst—Vest, og alt Jern var fjernet fra Rotationsapparatets Nærhed. Fra disse Apparater førte alle Ledninger til det andet Værelse, hvor Galvanometret var opstillet i en Afstand af 10 Meter fra Rotationsapparatet og 15 Meter fra Dynamomaskinen. Desuden befandt sig her i Jagttagerens Nærhed forskellige Strømvendere, Nøgler og Rheostater. Til den ene Strømvender førte Ledningerne fra et Batteri paa 24 Bunsen'ske Elementer, som vare opstillede i den anden Ende af Bygningen. Fra Strømvenderen gik Ledningen til Rotationsapparatets Traadvindinger, herfra gennem en i Luften svævende Traad til Kviksølvøjlen og

videre tilbage til Strømvenderen. Nær denne var tillige indskudt en Nøgle, saaledes at Strømmen først sluttedes ved et Tryk paa denne.

Et andet Batteri paa 10 til 20 Bunsen'ske Elementer tjente som Drivkraft for Dynamomaskinen, hvortil førte en direkte Ledning. Denne forgrenede sig til en Sideledning, som førte ind til en i Nærheden af Iagttageren anbragt Vædske rheostat, der bestod af et højt, med en mættet Opløsning af svovlsurt Kobberilte fyldt Cylinderglas, hvori en som negativ Elektrode tjenende Kobberplade var anbragt i Bunden, medens en tyk Kobbertraad, som bekvemt kunde hæves og sænkes, tjente som positiv Elektrode. Undertiden var ogsaa ved Siden af denne indskudt en Prop rheostat. Paa denne Maade kunde uden Vanskelighed ved Pasning af Rheostatmodstanden Dynamomaskinens Hastighed reguleres og vedligeholdes konstant.

Til Rhumkorff's Apparat benyttedes 4 Elementer, hvorfra Ledningen var ført hen til en i Nærheden af Iagttageren anbragt Nøgle, ved Hjælp af hvilken Kronografen sattes i Virksomhed i de Øjeblikke, Rotationshastigheden skulde maales.

Endelig tjente en afledet Strøm fra et enkelt Daniell's Element til Kompensering af de thermoelektriske Strømme i den til Galvanometret førende Ledning. I Elementets Strømkreds var indskudt den fornødne Rheostatmodstand, medens et Stykke $\frac{1}{2}$ m lang, $\frac{3}{2}$ mm tyk Kobbertraad af denne Ledning var indført i Ledningen til Galvanometret. Den indskudte Rheostatmodstand beløb sig i Reglen til nogle tusinde Siemens' Enheder, og den til Kompensationen fornødne elektromotoriske Kraft oversteg sjælden 3 Milliontedele Volt. Tillige tjente denne afledede Strøm til at vise, hvorvidt Ledningen til Galvanometret var i Orden, idet Erfaringen snart lærte, hvilket Galvanometerudslag der skulde indtræde ved en given Forandring af Rheostatmodstanden.

Endnu skal kun tilføjes, at der ogsaa i Ledningen til Galvanometret var indført en Strømvender.

Forsøgene udførtes paa følgende Maade. Efterat Dynamomaskinen var sat i Gang, blev ved Trykket paa en Nøgle den til Rotationsapparatets Traadvindinger førende Batteristøm sluttet, og, idet Galvanometerudslaget iagttoges i Kikkerten, blev ved Hjælp af Vædske rheostaten Dynamomaskinens Omdrejningshastighed reguleret, indtil Galvanometerspejlet omtrent viste paa Nulpunktet. Nu blev Batteristømmen til Rotationsapparatet afbrudt og, medens Rotationen vedvarede, den thermoelektriske Strøm kompenseret paa den nylig angivne Maade. Derefter sluttedes paa ny Strømmen til Rotationsapparatet og Rotationen blev nøjagtig reguleret ved Vædske rheostaten. Naar da Galvanometerspejlet med ringe Hastighed passerede Nulpunktet, blev ved et Tryk paa den anden Nøgle Strømmen sluttet til det Rhumkorff'ske Apparat og saaledes Kronografen sat i Virksomhed. Efter to, undertiden flere, efter hinanden med Mellemrum af to Sekunder følgende Udladninger, som tydelig hørt af Iagttageren, bleve alle Strømmene afbrudte, Rotationen standsede og

Mærkerne af Gnisterne paa Papirbaandet noteredes. Strax derefter gjentoges Forsøget med forandret Strømretning til Rotationsapparatet, hvorpaa to tilsvarende Maalinger toges med Forandring af Ledningen til Galvanometret. Endelig viste det sig ogsaa nødvendigt at gjentage de samme fire Maalinger med den modsatte Rotationsretning, idet den til Dynamo-maskinens roterende Anker førende Ledning omvexledes. Saaledes kom der 8, umiddelbart efter hinanden følgende, Maalinger til at høre til en Forsøgsgruppe, af hvilke 8 Maalingsresultater Middeltallet toges.

Under Maalingerne iagttoges hyppig Kviksølv søjlens Temperatur paa et i $\frac{1}{10}$ Grader inddelt Normalthermometer. En Ombytning af de forskjellige Batteriers Poler blev oftere prøvet, men viste sig at være uden Indflydelse paa Enderesultatet.

Endnu skal kun bemærkes, at der ved Slutningen og Aabningen af den til Rotationsapparatet førende Batteristrom let fremkom Induktionsstød i Galvanometerledningen, som kunde besvære Iagttagelserne, men det var dog ikke vanskeligt at bringe disse Stød til at ophøre ved Forandring af Stillingen af den Del af Galvanometerledningen, som befandt sig i Nærheden af Rotationsapparatets Traadvindinger, og hvorfra disse Induktionsstød havde deres Udspring.

Beregning af Rotationsapparatets Konstant. Naar den afledede Kviksølv søjles Modstand betegnes ved R , det ved Maalingerne fundne Antal af Skivens Omdrejninger i Sekundet ved n , og Rotationsapparatets Konstant ved C , saa skal man have

$$R = nC.$$

Jeg kan her indskrænke mig til at angive Beregningen af denne Konstant for det Tilfælde, at den roterende Skive er uendelig tynd, at Skivens Centrum falder nøjagtig i Rotationsaxen og Cylinderens Axe, og at Centralkontakten ligeledes falder nøjagtig i denne Axe, idet de virkelige Afvigelser herpaa kun give saa forsvindende smaa Korrektioner, at en nærmere Angivelse af Beregningen af disse bliver ganske unødvendig.

Er d Højden af den Skruegang, hvori Traaden er nedlagt omkring Cylindren, r Traadvindingernes Radius, ρ Skivens Radius, a_1 og a_2 Skivens Afstande fra Traadvindingernes Endeflader, saa bliver Konstanten C at beregne af Formlen

$$C = \frac{2\pi}{d} \int_{-a_2}^{a_1} dx \int_0^{2\pi} d\theta \frac{r\rho \cos \theta}{\sqrt{x^2 + r^2 + \rho^2 - 2r\rho \cos \theta}}.$$

Sættes heri til Afkortning $\rho = qr$, $x^2 + r^2 = ar^2$, og tilsvarende $a_1^2 + r^2 = a_1 r^2$, $a_2^2 + r^2 = a_2 r^2$, samt

$$Qa = \int_1^a \frac{da}{\sqrt{a-1}} \int_0^{2\pi} \frac{d\theta \cos \theta}{\sqrt{a+q^2-2q \cos \theta}},$$

vil man erholde

$$C = \frac{\pi q r^2}{d} [Q_{a_1} + Q_{a_2}].$$

For ovenstaaende dobbelte Integral erhoides Rækkeudviklingen

$$Q_a = 2\pi q \sqrt{\frac{a-1}{a}} \left[1 + \frac{3q^2}{8a^2} + \frac{5q^4}{16a^4} \left(\frac{7}{4} - a \right) + \frac{35q^6}{128a^6} \left(\frac{33}{8} - \frac{9}{2}a + a^2 \right) + \dots \right],$$

hvor det medtagne Antal Led her er tilstrækkeligt for den numeriske Beregning, medens den fuldstændige Udvikling er

$$Q_a = 2\pi \sum_{m=0}^{m=\infty} q^{2m+1} \frac{1 \cdot 3 \dots 2m-1}{2 \cdot 4 \dots 2m} \cdot \frac{1}{1 \cdot 2 \dots m+1} \frac{d^m}{da^m} \left(\frac{a-1}{a} \right)^{m+\frac{1}{2}}.$$

Maalingernes Resultater. Maalingerne med Rotationsapparatet kunde først paabegyndes henimod Slutningen af Marts (1884), og Resultatet af de første Maalinger (1 Kviksølvenhed = 0,9417 Ohm) meddelte jeg den 28. April sammentrædende internationale Konference med Tilføjende, at dette Resultat kun maatte betragtes som foreløbigt, idet det endnu ikke var lykkedes mig at erholde en tilstrækkelig tilfredsstillende Overensstemmelse mellem de enkelte Maalinger indbyrdes. Det samme vedblev at vise sig i en Række følgende Maalinger, indtil jeg prøvede at gjentage Forsøgene med modsat Rotationsretning, hvorved jeg endelig opdagede den egentlige Grund til Maalingsfejlene. Jeg skal søge nærmere at gjøre Rede herfor.

En fuldkommen Isolation er ved elektriske Forsøg en Umulighed, men det er dog kun undtagelsesvis, at fuldkommen uundgaaelige Isolationsfejl kunne, saaledes som Tilfældet var her, faa en kjendelig Indflydelse paa Resultatet. Den til Galvanometret førende Ledning var i to Punkter, *A* og *B*, forbunden med den Kviksølv søjle, hvis Modstand skulde bestemmes, og som var gjennemstrømmet af en stærk elektrisk Strøm *i*. Modstanden *AB* var meget lille, nemlig fra 0,00026 til 0,0015 Kviksølvenheder. Er nu tillige et Punkt *C* af Galvanometerledningen kommen i en svagt ledende Forbindelse med et Punkt *D* af Hovedledningen, vil der ogsaa herigjennem kunne afledes en forholdsvis betydelig Del af Hovedstrømmen til Galvanometret. Betegnes nemlig ved *CD* Modstanden imellem de to Ledninger og ved *r* Modstanden af den Del af den sluttede Ledning til Galvanometret, som gaar fra *A* eller *B* til *C* ad den Vej, som ikke indeholder Galvanometret, saa vil den til Galvanometret afledede elektromotoriske Kraft *E*, som under Forsøgene holdes i Ligevægt ved den i samme Ledning inducerede elektromotoriske Kraft, tilnærmelsesvis kunne udtrykkes ved

$$E = i \cdot AB \left[1 \pm \frac{BD}{AB} \cdot \frac{r}{CD} \right],$$

idet der forudsættes, at Modstanden *AB* er meget lille i Sammenligning med *BD* og *r*, ligesom ogsaa at *CD* er meget stor i Sammenligning med de andre Modstande. Det øverste Fortegn svarer til det Tilfælde, at Galvanometret befinder sig i Ledningen fra *A* til

C , det underste, naar det er i Ledningen fra B til C . Naar Forsøget gjentages ved Rotation af Skiven i modsat Retning, saa maa Galvanometerledningens Ender i A og B ombyttes, hvorved i ovenstaaende Udtryk Fortegnet for det andet Led bliver det modsatte. Det ses heraf, at den fra Ledningen imellem C og D hidrørende Fejl kan elimineres ved at gjentage Forsøget med modsat Rotation og tage Middeltallet af de to Resultater.

Jeg skal som Exempel anføre det første af de ved modsatte Rotationer anstillede Forsøg. Hovedstrømmen gik 5 Gange omkring Rotationscylinderen, og Modstanden i denne Ledning, som paa det nærmeste maatte svare til Modstanden BD ovenfor, var 195 S. E. Tillige var i dette Forsøg $AB = 0,00154$ S. E. Antallet af Skivens Omdrejninger i 2 Sekunder var 14,6820 for Rotationen til højre, og 14,5751 for Rotationen til venstre, saa at Afvigelserne fra Middeltallet beløb sig til 0,37 Procent. Ifølge ovenstaaende Formel haves altsaa i dette Tilfælde

$$0,0037 = \frac{195}{0,00154} \cdot \frac{r}{CD},$$

hvoraf

$$CD = 34 \cdot 10^6 r.$$

Sættes heri efter et Skjøn $r = 0,5$ S. E., bliver altsaa Resultatet det, at en Isolationsfejl, ved hvilken Modstanden beløb sig til 17 Millioner Siemens' Enheder, vilde være tilstrækkelig til at forklare den Fejl, som Forsøgene med modsatte Rotationsretninger viste maatte være tilstede. Da de to Ledninger nødvendigvis saavel ved Rotationsapparatet som i Nærheden af Iagttageren maatte føres nær hen til hinanden, vare saa smaa Isolationsfejl næppe til at undgaa, og man maatte i det Sted søge ved Forsøgene selv at eliminere dem.

Isolationen af de enkelte Traade i Rotationsapparatets Kabel var fra først af, navnlig ved fugtig Luft, ikke tilfredsstillende, hvorfor Kabelet gjentagne Gange blev gennemtrukket af en tynd Skellakopløsning. Efter en Uges Forløb fandtes den mindste Modstand i de isolerende Lag imellem de 6 af Traadene indbyrdes og imellem disse og Cylinderen omtrent lig 500000 S. E., en Isolation, som her var tilstrækkelig. Den syvende Traad maatte derimod udskydes af Forbindelsen, og i Løbet af Forsøgene maatte senere ogsaa en af de andre Traade udskydes paa Grund af aftagende Isolation, saaledes at ved de endelige Forsøg kun 5 Traade kom til Anvendelse.

Udmaalingen af Rotationsapparatets enkelte Dele gav, idet Maalenheden overalt er 1 Centimeter, følgende Resultater.

Traadvindingernes Radius $R = 16,65$,

Skruevindingernes Højde $d = 0,211589$,

Afstandene fra Skivens Midte til hver af Traadvindingernes Endeflader $a_1 = 50,99$,

$a_2 = 49,80$.

Maalingerne forud for Forsøgene af Messingskivens Diameter 2ρ gave for 4 forskellige Steder

29,897, 29,909, 29,901, 29,913, Middelt 29,905.

Efter Udførelsen af et stort Antal Omdrejningsforsøg og umiddelbart forud for de endelige Forsøg fandtes

29,889 , 29,879 , 29,894 , Middel 29,8933 ,

eg efter Tilendebringelsen af alle Forsøgene

29,889 , 29,894 , 29,898 , Middel 29,8937 .

De sidste næsten identiske Resultater viste, at der intet kjendeligt Slid havde fundet Sted ved de endelige Forsøg. Derimod fremtraadte Virkningen af Slidet tydeligt ved Kobberskiven, for hvilken før og efter de endelige Forsøg fandtes følgende Diametre

29,867 , 29,871 , 29,872 , Middel 29,870 ,

29,856 , 29,853 , 29,859 , Middel 29,856 .

Den med disse numeriske Værdier efter den ovenfor udviklede Formel beregnede Konstant C , formindsket med den sammesteds omtalte Korrektion, som kun beløber sig til 0,6 Enheder, er for Messingskiven

39656,1 ,

og for Kobberskiven før og efter de endelige Forsøg

39594,1 og 39556,1 ,

af hvilke to Grænseværdier ved Interpolation er beregnet de til enhver af de tre med denne Skive anstillede Forsøgsrækker svarende Konstanter.

Denne for 0° beregnede Konstant gaar ved t° over til

$$C(1 + bt),$$

idet $b = 0,000018$ er Messingets lineære Udvidelseskoefficient.

Det Antal Omdrejninger, Skiven udførte i to af Kronografens Sekunder, være betegnet ved $m + \frac{n}{p}$, idet m er det hele Antal, n det paa Papirstrimlen aflæste Antal Millimeter imellem Mærkerne af to paa hinanden følgende Gnister, og p Længden af Papirstrimlen i Millimeter. Endvidere være σ Kronografsekunder lig 1 Sekund, s Antallet af de efter hinanden indskudte Traade i Kablet, R Kviksølvøjls Modstand i Kviksølvenheder ved 0° og γ ($= 0,00090$) den apparente Temperaturkoefficient for denne Modstand. Man vil da erholde

$$1 \text{ Kv. Enh.} = \frac{1}{2} \sigma \left(m + \frac{n}{p} \right) \frac{Cs(1+bt)}{R(1+\gamma t)} \text{ abs. Ohm.}$$

Jeg kan her indskrænke mig til at angive Resultaterne af mine endelige Maalinger, som alle bleve udførte i Dagene fra den 9. til den 13. Juni (1884), og som alene ere benyttede til Fastsættelsen af den efter mine Maalinger sandsynligste Værdi af den til Ohm'en svarende Modstand i Kviksølvenheder.

Rør Nr. I. Messingskive. Værdierne af n , hvorved efterhaanden Strømretningen til Rotationsapparatet og til Galvanometret blev vendt om, vare

491,0 , 583,7 , 514,0 , 571,0 ,

og ved Gjentagelse af de samme Maalinger

492,6, 581,3, 496,5, 592,6,

Middel 540,34.

Efter at Skivens Rotation var forandret til den modsatte, fandtes tilsvarende

651,1, 676,8, 626,4, 592,5,

663,1, 681,7, 648,2, 586,4,

Middel 640,77.

Heraf erholdes for den første Rotationsretning, idet $m = 14$, $p = 939,6$,

$$m + \frac{n}{p} = 14,5751,$$

og for den anden

$$m + \frac{n}{p} = 14,6820.$$

Endvidere var

$$s = 5, \quad \sigma = 1,01924, \quad t = 17^{\circ},06, \quad R = 0,0015418, \quad C = 39656,1,$$

hvorefter erholdes

$$1 \text{ Kviksølvenhed} = 0,94455 \text{ abs. Ohm.}$$

De følgende Forsøg blev anstillede med Kobberskiven og det kalibrerede Rør Nr. II, som indeholdt de tre Kviksølv søjler AB , BC og CD . Modstanden af enhver af disse Søjler var omtrent 6 Gange mindre end Modstanden af Røret Nr. I, og de 5 Traade af Rotationsapparatets Kabel vare derfor her forenede til en Traad. Herved var Kabelets Modstand formindsket 25 Gange, og Strømstyrken forøget 12 Gange. Det ses heraf, at skjøndt den maalte Modstand her var 6 Gange mindre end ved den første Forsøgsrække, saa var den maalte elektromotoriske Kraft dobbelt saa stor, hvorfor Nøjagtigheden af de følgende Forsøg ogsaa kan regnes omtrent som den dobbelte. Ligeledes maa ogsaa Forskjellen paa de ved de modsatte Rotationer erhholdte Resultater her, under Forudsætning af samme Isolationsfejl, blive betydelig mindre.

Rør II, AB , Kobberskive. Værdierne af n :

243,5, 253,0, 234,1, 239,8,

250,8, 258,6, 245,2, —

Middel 246,4.

Ved modsat Rotation:

271,6, 280,4, 269,8, 277,6,

260,0, 269,6, 270,0, 271,5,

Middel 258,9. Endvidere var

$$m = 12, \quad p = 939,5, \quad s = 1, \quad \sigma = 1,01977, \quad t = 17^{\circ},97, \quad R = 0,00025836,$$

$C = 39578,5$, hvorefter erholdes

$$1 \text{ Kviksølvenhed} = 0,94391 \text{ abs. Ohm.}$$

Rør II, *BC*, Kobberskive. Værdierne af n :

351,5, 325,2, 341,4, 324,6,

Middel 335,7.

Ved modsat Rotation:

349,8, 324,8, 343,8, 321,5,

Middel 335,0.

$m = 12$, $p = 940$, $s = 1$, $\sigma = 1,01915$, $t = 18^\circ,73$, $R = 0,00025964$,
 $C = 39571,0$, hvorefter erholdes

1 Kviksølvenhed = 0,94410 abs. Ohm.

Rør II, *CD*, Kobberskive. Værdierne af n :

432,8, 435,9, 436,1, 441,2,

Middel 436,5.

$t = 18^\circ,32$, $\sigma = 1,01935$.

Ved modsat Rotation:

487,7, 518,4, 496,0, 518,2,

495,8, 522,0, 484,2, 511,6,

Middel 504,24.

$t = 18^\circ,36$, $\sigma = 1,01945$.

$m = 12$, $p = 941,5$, $R = 0,00026279$, $C = 39562,2$,

hvorefter erholdes

1 Kviksølvenhed = 0,94391 abs. Ohm.

Af disse Maalingsresultater i Forening fremgaar som det sandsynligste Enderesultat

1 Kviksølvenhed = 0,9440 abs. Ohm

1 abs. Ohm = 1,0593 Kviksølvenhed.

Dette Resultat stemmer paa det nærmeste overens med de af F. Kohlrausch og Roiti fundne, medens de benyttede Metoder alle ere væsentlig forskellige. Overhovedet fremgaar det af samtlige Resultater, som have været forelagte den internationale Konference, — navnlig efter at nylig Wild ved Korrektionen af en Fejl er kommen til et Resultat, som er i nøje Overensstemmelse med Middelværdien af de øvrige, — at næppe nogen af de anvendte forskellige Metoder medføre konstante Fejl.

Jeg havde selv næret Betænkelighed ved Anvendelsen af variable Strømme, idet der var Mulighed for, at indre thermoelektriske Forskelligheder i en Leder kunde have samme Virkning som f. Ex. Polarisationen i en Elektrolyt og navnlig gjøre Modstanden ved variable Strømme mindre end ved konstante Strømme. Denne Betænkelighed kan jeg nu ganske opgive, og jeg er ogsaa ad andre Veje naaet til samme Resultat.

Saa vel ved mine relative som absolute Modstandsbestemmelser, der bleve udførte med konstante Strømme, har jeg nemlig hyppig gjentaget de samme Maalinger med intermitterende Strømme, men i intet Tilfælde har der vist sig nogen som helst Forskel i

Resultaterne. Hertil kan jeg føje endnu en Betragtning, som ikke er ganske uden Interesse. Hvis der findes nogen kjendelig Forskjel paa Ledningsevnen for konstante og variable Strømme, saa maatte denne ogsaa have Indflydelse paa en Leders Induktionskonstant. Ved tidligere Forsøg¹⁾ havde jeg i Virkeligheden fundet en lille Afvigelse af de iagttagne Induktionskonstanter fra de beregnede, idet de første fandtes gennemgaaende 5 til 6 Procent mindre end de sidste. Beregningen var udført paa sædvanlig Maade, nemlig uden at der var taget tilstrækkeligt Hensyn til den Omstændighed, at Strømtætheden ved variable Strømme er en Funktion af Afstanden fra Traadledningens Centrallinie. Efter at have taget denne Omstændighed med i Betragtning fandt jeg, at den paa sædvanlig Maade beregnede Induktionskonstant maatte formindskes med Traadens Længde, og denne Korrektion svarede paa det nærmeste netop til den fundne Afvigelse.

Naar saaledes Afvigelserne imellem de forskjellige Videnskabsmænds Bestemmelser af Ohm'en maa betragtes som tilfældige, saa bør ogsaa den af Konferencen vedtagne Ohm, nemlig

$$1 \text{ Ohm} = 1,06 \text{ Kviksølvenheder,}$$

der nærmest svarer til Middeltallet af alle Iagttagelserne, vistnok almindelig betragtes som den for Tiden nøjagtigste, ligesom der ved denne Bestemmelse sandsynligvis er opnaaet den oprindelig tilsigtede Grad af Nøjagtighed, nemlig af 1 Tusindedel.

¹⁾ Om Elektricitetens Forplantning, Overs. o. d. K. D. Vidensk. Selsk. Forh. 1879.