



De meting van het diëlektrische verlies van minerale oliën

<https://hdl.handle.net/1874/308864>

DE METING VAN HET DIËLEKTRIESE
VERLIES VAN MINERALE OLIËN

Diss.
Utrecht

1932

DE METING VAN HET DIËLEKTRIESE VERLIES VAN MINERALE OLIËN

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR
IN DE WIS- EN NATUURKUNDE AAN DE RIJKS-
UNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN
RECTOR-MAGNIFICUS Dr. L. S. ORNSTEIN, HOOG-
LEERAAR IN DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUUR-
KUNDE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAAT
DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN VAN
DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE TE
VERDEDIGEN OP WOENSDAG 6 JULI 1932 DES NA-
MIDDAGS TE 4 UUR, DOOR

JAN LOUIS HIDDINK,
GEBOREN TE DOETINCHEM

Aan mijn ouders.
Aan mijn verloofde.

Bij het beëindigen van mijn akademiese studie betuig ik gaarne mijn oprechte dank aan U, Oud-Hoogleraren, Hoogleraren en Lektoren in de fakulteit van Wis- en Natuurkunde voor het genoten onderwijs.

In het biezonder dank ik U, Hooggeleerde Ornstein, Hooggeachte Promotor, voor de voortdurende hulp en steun, die ik bij mijn werk mocht ondervinden.

Waarde ter Horst, Ginsel en Mulders, mijn hartelike dank voor Uw welgemeende vriendschap. De bereidwilligheid, waarmee Gij mij steeds terzijde hebt gestaan, stemt mij tot grote dankbaarheid.

Gaarne betuig ik mijn erkentelijkheid aan de Bataafse Petroleum Maatschappij voor het verstrekken van de verschillende oliën.

INHOUD.

HOOFDSTUK I.

	Pag.
Inleiding	9
De thermiese verliesmeting aan minerale oliën en olie- benzol mengsels	11
A. De opstelling	11
De generator	11
Het meetvat	13
De ontvanger	15
De frequentie-meter	15
De ijking van de frequentie-meter	17
B. De verliesmeting	18
De gebruikte oliën	18
Verliesmeting aan olie II-benzol-mengsels	23

HOOFDSTUK II.

Polarisatie-metingen aan minerale oliën	28
Inleiding	28
Meetmethode A	29
De generator	29
De meetkondensator	30
De meting	31
Toepassing van de theorie van Debye op olie V	34
Meetmethode B	35
Inleiding	35
De meting	36
De berekening van het gemiddelde dipoolmoment van het niet-geassocieerde molekuul van olie V	40
De meting van de diëlektriese-konstante in sterke velden	40
De opstelling	41
De meting	42

HOOFDSTUK III.

Inleiding	44
De opstelling	46
De meetkondensator	47
De triode-voltmeter	48
De ijking van de triode-voltmeter	49
De meting	49

	Pag.
De verlieshoekmeting aan olie V en destillaten van olie V	51
De verlieshoekmeting aan olie IV en geoxydeerde olie IV	55
De verlieshoekmeting aan glycerine	57
De verlieshoekmeting aan nitro-benzol en zwavelkool- stof	60

HOOFDSTUK IV.

De toetsing van de thermiese verliesmeting en de ver- lieshoekmeting	62
Zusammenfassung	65

INLEIDING.

Wanneer een isolerende stof zich bevindt in een wisselend elektrisch veld, dan blijkt dat het diëlektrikum energie absorbeert. Deze absorptie hangt zowel van de sterkte van het veld als van de frequentie af.

Voor de verschillende diëlektrika loopt de absorptie echter zeer sterk uiteen. Ter verklaring van dit verschijnsel bij vaste (niet vloeibare) diëlektrika zijn enige theoriën opgesteld, die alle wel is waar een kwalitatieve overeenkomst met het experiment geven, doch waarbij van hypothesen wordt uitgegaan, die slechts voor enkele stoffen aannemelijk zijn. Zo berust de theorie van Wagner ¹⁾ op de inhomogeniteit van de media. Hij toont aan, dat een inhomogeen medium gelijkwaardig is met een medium dat uit homogene lagen bestaat.

Voor vloeibare diëlektrika kunnen deze opvattingen niet gehandhaafd worden. Verder spelen in deze theoriën noch de temperatuur, noch de viscositeit een rol, wat geheel in strijd is met de werkelijkheid.

Debye ²⁾ heeft echter een verklaring gegeven voor de optredende verschijnselen bij vloeistoffen, door uit te gaan van de moleculaire eigenschappen van de stof. Daarbij toont hij aan, dat het karakteristieke voor de absorptie hierin gelegen is, dat de molekulen een konstant elektrisch moment hebben. Hij heeft, om het probleem mathematisch oplosbaar te maken, enige onderstellingen over de inwendige veldverdeling moeten invoeren, waaraan bij vele vloeistoffen zeker lang niet altijd voldaan is.

In dit proefschrift wordt nu de energie absorptie in minerale oliën besproken wanneer deze zich bevinden in een wisselend elektrisch veld. Bovendien is nagegaan in hoeverre de resultaten in overeenstemming zijn met de dipooltheorie van Debye.

Voor de absorptie-metingen zijn twee verschillende meetmethodes gebruikt. In hoofdstuk I is een opstelling beschreven, waarbij de absorptie, die zich als een warmte ontwikkeling manifesteert, thermo-elektrisch gemeten wordt.

Ter onderscheiding van de tweede meetmethode is deze de „thermische-verliesmeting” genoemd.

Hoewel deze meting zeer eenvoudig en overzichtelijk is, en het verlies als zodanig „direkt” gemeten wordt, heeft ze een prakties bezwaar, n.l., dat het soms niet mogelijk was voldoende hoge spanningen te krijgen, die voor enkele stoffen nodig waren.

Daarom is later overgegaan tot een opstelling zoals Weyers ³⁾ ook gebruikte bij zijn absorptie metingen aan vaste diëlektrika.

Hierbij wordt het verlies „indirekt” gevonden door het meten van een verlieshoek (zie hoofdstuk III). Verder is voor de verschillende oliën de polarisatie P bepaald, waaruit dan de grootte van het gemiddelde dipoolmoment μ te berekenen is. (Zie hoofdstuk II). Tevens is nagegaan of bij de oliën associatie optreedt.

Het grote bezwaar tegen alle theoretiese beschouwingen is, dat deze slechts gelden voor „ideale monomoleculaire vloeistoffen,” zodat we zeker geen kwantitatieve overeenkomst met de theorie mogen verwachten. Bovendien is van alle oliën de chemiese samenstelling zo goed als onbekend en weten we alleen, dat sommige uitsluitend uit alifaten, andere hoofdzakelijk uit aromaten bestaan.

De verkregen resultaten kloppen echter volkomen met elkaar en zijn kwalitatief geheel in overeenstemming met de dipooltheorie van Debye.

In hoofdstuk IV is de kwantitatieve overeenkomst van de resultaten, met beide verliesmetings opstellingen verkregen, aangetoond.

HOOFDSTUK I.

De thermiese verliesmetingen aan minerale oliën en olie-benzol mengsels.

A. De opstelling.

Zoals in de inleiding reeds is medegedeeld, was het doel de warmteontwikkeling in minerale oliën te meten, wanneer deze zich bevinden in een wisselend elektrisch veld. Deze warmteontwikkeling werd gemeten met behulp van een thermoelement.

De gebruikte wisselstromen werden opgewekt door middel van een triodegenerator. De elektromagnetische straling van deze triodegenerator werd met een ontvangapparaat opgevangen.

Hiermede was een frequentiemeter los gekoppeld.

De generator.

De generator (fig. 1) bestond uit een 150 Watt triode A. In de plaatkring van deze triode was een trillingsketen opgenomen, die bestond uit de verstelbare zelfinductie L_1 en capaciteit C_1 . Ten einde de trillingen in de keten te onderhouden, werd zij met behulp van spoel B gekoppeld met de roosterkring.

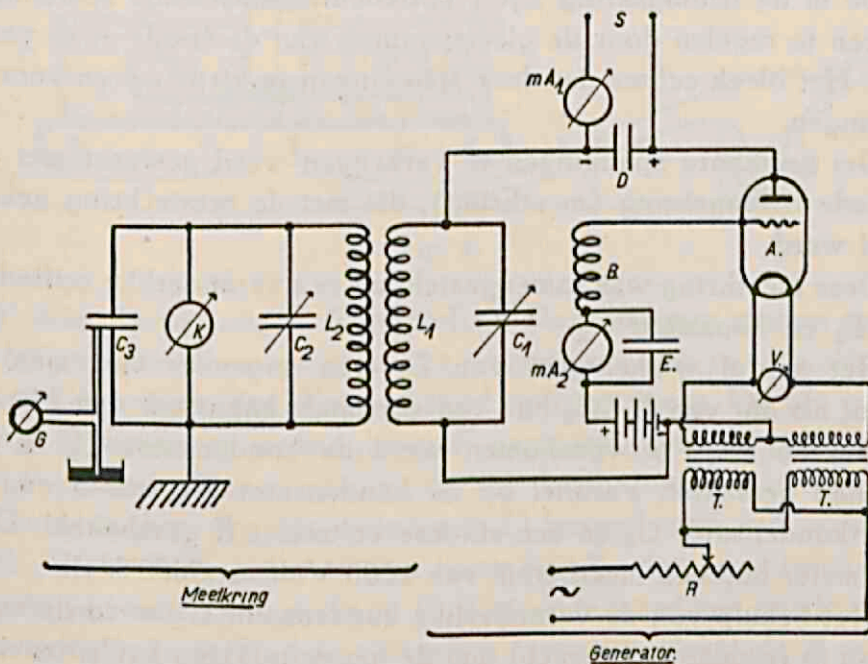


Fig. 1.

De plaatspanning werd geleverd door een 2000 Volt gelijk-

stroomdynamo S . De dynamo werd tegen de hoogfrequente stromen beschermd, door een condensator D , van $\frac{1}{2} \mu F$ parallel op de aansluitingen te schakelen. De anodestroom werd gemeten met een milliampèremeter mA_1 , die aan de aardezijde van de 2000 Volt was geschakeld.

Om de roosterstroom te kontroleren, was in de roosterkring een milliampèremeter mA_2 opgenomen, waarbij in shunt een condensator E was aangebracht. De karakteristiek van de triode maakte het noodzakelijk om het rooster een positieve spanning van 20 Volt ten opzichte van het midden van de gloeidraad te geven. De gloeistroom voor de triode werd geleverd door twee in serie geschakelde transformatoren T . De primaire winding van de transformatoren was aangesloten op de 125 Volt/50 perioden van het stadsnet. De sekundaire klemspanning bedroeg 20 Volt. Daar de gloeispanning geregeld moest kunnen worden van 12 Volt tot 15 Volt, werd de stroom van het 125 Volt-net over een regelbare weerstand R aan de klemmen van de primaire winding van de transformatoren toegevoerd. De gloeispanning werd op een hittedraad-voltmeter V afgelezen.

De in de trillingskring L_1C_1 optredende wisselende spanningen waren te regelen door de gloeispanning van de triode A te variëren. Het bleek echter dat deze spanningen te klein waren voor de metingen.

Om bruikbare spanningen te verkrijgen werd gewerkt met een tweede trillingskring (meetkring), die met de eerste kring gekoppeld werd.

Deze meetkring was samengesteld uit een veranderlike zelfinduktie L_2 en kapasiteit C_2 .

Het aantal wikkelingen van L_2 was ongeveer vier maal zo groot als dat van L_1 . C_2 had een maximale kapasiteit van 250 cm.

Om doorslag te voorkomen werd de condensator C_2 in een oliebad geplaatst. Parallel op de condensator C_2 waren nog de meetcondensator C_3 en een statiese voltmeter K geschakeld. Deze voltmeter had een meetbereik van 1000 Volt tot 5000 Volt.

Met behulp van de veranderlike condensator C_2 werd de meetkring in resonantie gebracht met de generatorkring L_1C_1 , teneinde op deze wijze maximale energie in de meetkring te krijgen.

Voor sommige metingen was het nodig de spanning boven de

5000 Volt op te voeren. De zo even genoemde voltmeter werd dan vervangen door een elektrometer, nauwkeurig in het gebied van 3000 Volt tot 10.000 Volt.

Het meetvat.

Fig. 2 geeft een doorsnede van het gebruikte meetvat. Dit bestond uit twee cirkelvormige messing elektroden *A* en *B*. De elektrode *A* had een diameter van 10 cm., terwijl de doorsnede van de elektrode *B* 6 cm. bedroeg.

Van beide elektroden waren de randen rondgebogen om hoge veldsterkten en dus dientengevolge doorslag te vermijden.

Op de onderste elektrode was een glazen cylinder *C* gekit van 8 cm. doorsnede en 3 cm. hoogte, zodat dit geheel het te onderzoeken diëlektrikum kon bevatten. Op de bovenste elektrode *B* was verder een glazen cylindertje *D* gekit met een hoogte van 4 cm. en een doorsnede van 1,5 cm. Aan dit cylindertje waren onder

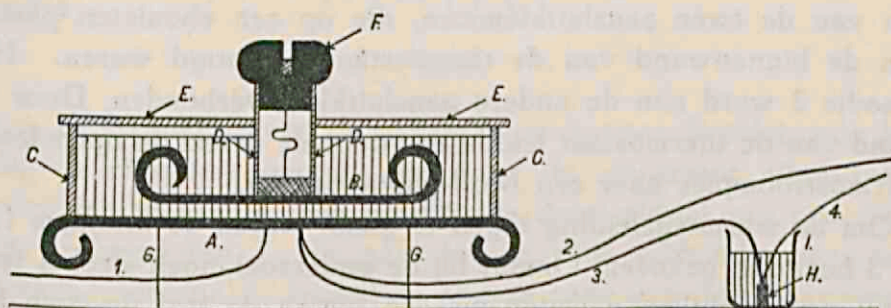


Fig. 2.

120° drie glazen armpjes *E* gesmolten. Deze armpjes rustten op de glazen cylinder *C* en zorgden dus tevens voor een onveranderlike afstand der elektroden. Deze afstand bedroeg 4 mm. Op het cylindertje *D* werd een messingknop *F* geplaatst. Aan de bovenzijde van *F* bevond zich een opening die met kwik gevuld was.

Op de bodem van het cylindertje *D* bevond zich een weinig kwik. Hierin hing een zeer dun koperdraadje dat gesoldeerd was aan de onderzijde van de knop *F*. Zodoende werd een goede elektrisch geleidende verbinding verkregen tussen de elektrode *B* en de knop *F*, terwijl de warmte geleiding tot een minimum beperkt werd.

In de elektrode *A* waren aan de onderzijde drie zeer fijne naaldvormige pootjes *G* gesoldeerd. Hiermee rustte het gehele meetvat op een glazen plaat, die op de bodem van een thermostaat lag. Op deze thermostaat wordt in het volgende nog terug gekomen. Om de warmtegeleiding van de onderelektrode *A* naar de bodem van de thermostaat zo gering mogelijk te maken, waren de pootjes *G* naaldvormig gemaakt.

Verder waren aan de onderelektrode *A* drie draadjes gesoldeerd namelijk twee koperdraadjes, in de figuur 2 aangegeven met 1 en 2 en een konstantaan draadje 3.

Het koperdraadje 1 diende als verbinding van de elektrode *A* met de meetkring, terwijl de draadjes 2 en 3 deel uitmaakten van het thermoelement. De andere zijde van het konstantaandraadje was gesoldeerd aan een messingblokje *H*, dat zich bevond in een bekglaasje *I*. Dit werd, evenals het meetvat, gevuld met het te onderzoeken diëlektrikum.

Vanaf het messingblokje *H* voerde een koperdraadje 4 naar één van de twee aansluitklemmen, die op een ebonieten plaatje aan de binnenwand van de thermostaat bevestigd waren. Het draadje 2 werd aan de andere aansluitklem verbonden. Door de wand van de thermostaat leidde een dubbele draad de optredende thermostroompjes naar een Moll-galvanometer.

Om de warmtegeleiding tegen te gaan, waren de draadjes 1, 2 en 3 heel dun gekozen. Omdat bij de onderzoeken slechts temperatuursverschillen gemeten werden tussen de stof die zich bevond in het meetvat en de stof die aanwezig was in het bekglaasje, moest er dus voor gezorgd worden, dat eventuele temperatuursschommelingen van buiten op beide thermoelementkontakten dezelfde invloed hadden. Om dit te bereiken waren de grootte van het messingblokje *H*, de hoeveelheid vloeistof in het bekglaasje *I* en in het meetvat, dusdanig gekozen, dat de waterwaarde van het gevulde meetvat gelijk was aan de waterwaarde van het messingblokje *H* plus bekglaasje *I*, gevuld met vloeistof.

Om grote temperatuursveranderingen van buiten te vermijden was het meetvat benevens het bekglaasje *I* in een thermostaat geplaatst zooals hierboven vermeld werd.

Deze thermostaat bestond uit een dubbelwandige houten kist, waarvan de tussenruimte was opgevuld met kurk. Deze kist werd

van boven afgesloten door een eveneens dubbelwandige deksel. Een opening in het midden van de deksel diende om een koperen staaf, omgeven door een dikke ebonieten omhulling, door te laten. Deze staaf voerde de spanning toe naar de knop F .

De ontvanger. (fig. 3).

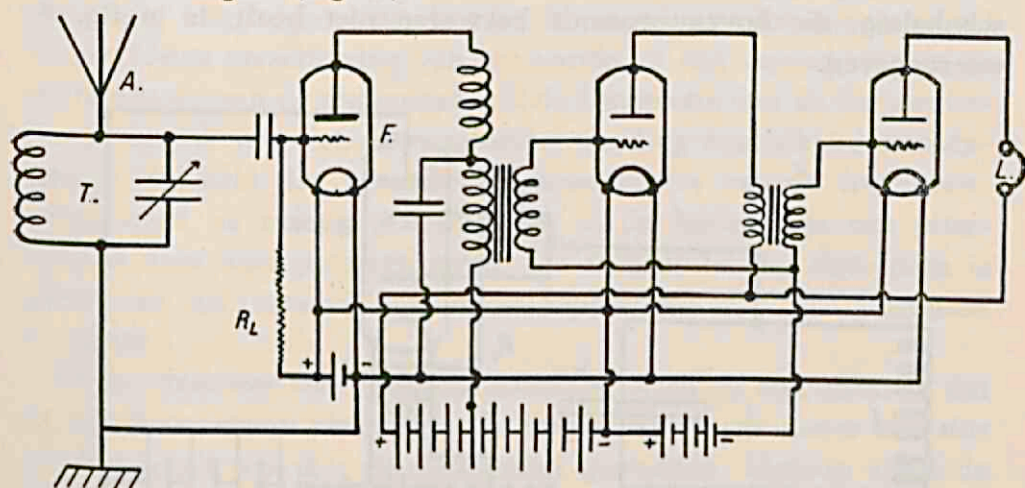


Fig. 3.

Om de frequentie van de generator te kunnen bepalen was het nodig de elektrische golven, die door de generator uitgestraald werden, op te vangen. Dit geschiedde door middel van een elektrische trillingskring T , die aan de ene zijde verbonden was met een kleine antenne A , terwijl de andere zijde van de trillingskring aan aarde was gelegd. Met behulp van een triode F , waarvan het rooster via een kondensator van 200 cm verbonden was met de trillingskring, werd de in de trillingskring optredende wisselstroom gelijkgericht en vervolgens in twee trappen versterkt. In de plaatkring van de tweede versterkertriode was een luidspreker L geplaatst.

Een schema (fig. 3) moge ter verduideliking dienen.

De frequentiemeter.

Als frequentiemeter werd een kleine generator gebruikt. De uitgestraalde frequenties moeten zeer konstant zijn. Derhalve kon een generator zoals in fig. 1 is aangegeven niet gebruikt worden. Hier is namelijk de koppeling tussen de trillingskring en het

rooster van de triode niet voldoende konstant, zodat frequentieveranderingen optreden. Tevens bleek dat een generator volgens het schema in fig. 1 niet geheel vrij van boventonen is. Deze boventonen waren wel is waar van geringe intensiteit. Zij mogen echter bij een frequentiemeter niet voorkomen, omdat zij daar tot een foutieve bepaling van de frequentie zouden kunnen voeren. Een schakeling, die bovengenoemde bezwaren niet heeft, is in fig. 4 weergegeven.

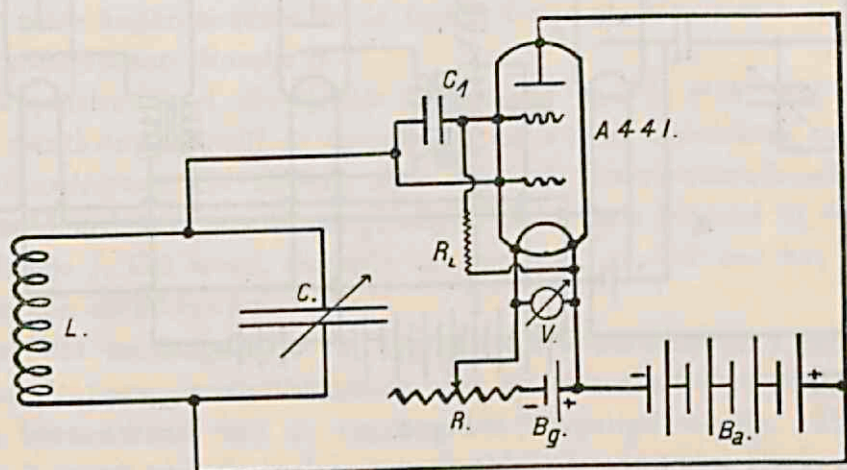


Fig. 4.

Als generatorlamp deed een dubbelroosterlamp (Philips A 441) dienst.

De anodespanning werd door een Varta akkumulator B_a van 20 Volt geleverd. Het voorrooster was over de zelfinductie L met de anode verbonden. De gloeistroom werd verkregen van een akkumulator B_g van 4 Volt.

Door middel van een regelbare weerstand R was het mogelijk de gloeispanning nauwkeurig in te stellen.

Deze gloeispanning werd afgelezen op een Voltmeter V en voortdurend op 3,6 Volt gehouden.

In de trillingskring van de frequentiemeter werden spoelen gebruikt van het honigraat type. De in de trillingskring opgenomen kondensator was variabel en had een maximale capaciteit van 500 cm.

Op de as van de draaibare platen van deze kondensator was een schijf bevestigd, voorzien van een zeer fijne schaalverdeling.

Bovendien was een nonius aangebracht. Hierdoor kon de stand van de kondensator heel nauwkeurig afgelezen worden.

De ijking van de frequentiemeter.

Om de frequentiemeter te ijken, werd deze geplaatst op enige meters afstand van het ontvangtoestel, daar de koppeling met de ontvanger niet te groot mocht zijn. Is dit n.l. niet het geval, zo zal bij een kleine verschuiving van het toestel of een verandering in de trillingskring van de ontvanger ook de frequentie van de frequentiemeter veranderen. Het ontvangtoestel werd op een bekend omroepstation ingesteld. De veranderlike kondensator van de frequentiemeter werd nu zolang gedraaid, tot in de luidspreker een interferentie-toon waargenomen werd. De frequentie van deze toon is gelijk aan het verschil tussen de frequenties van omroepstation en meter.

De kondensator van de frequentiemeter werd nu zo ingesteld, dat de interferentietoon verdween. De frequentie van de meter was dus gelijk aan die van het omroepstation geworden. Daarop werd de kondensatorstand en het nummer van de spoel, die in de trillingskring van de frequentiemeter was opgenomen, genoteerd.

Deze meting werd herhaald bij verschillende bekende omroepstations. Voor iedere spoel kon op deze wijze het verband tussen de frequentie van de meter en de stand van de veranderlike kondensator in grafiek gebracht worden.

Aldus werd een geijkt frequentiegebied verkregen, dat liep van $1,5 \cdot 10^5$ perioden/seconde tot $1,5 \cdot 10^6$ perioden/seconde. Om de meter voor een groter gebied te ijken, werd een kleine generator met een groot aantal boventonen gebouwd. Deze generator werd vervolgens zo ingesteld, dat de grondfrequentie in het gebied van $1,5 \cdot 10^5$ — $1,5 \cdot 10^6$ perioden/seconde viel.

Deze frequentie kon met behulp van de ontvanger en meter nauwkeurig bepaald worden.

Daarna werd met de ontvanger de eerste boventoon opgezocht, de frequentiemeter hierop ingesteld en het nummer van de spoel en de kondensatorstand weer genoteerd. Op dezelfde wijze werd gehandeld bij de verdere boventonen.

Om het gebied naar lagere frequenties uit te breiden werd de reeds genoemde generator zo ingesteld, dat enkele boventonen in

voor werd undecaan gekozen. De resultaten die hierbij verkregen werden staan in tabel II.

TABEL II.

ν	E	V	V/minuut	$\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$
$3,0 \cdot 10^5$	3,55	10	5	0,50
$5,2 \cdot 10^5$	3,7	19	9,5	0,90
$20,0 \cdot 10^5$	1,5	16	8.	3,55

Deze uitkomsten stemmen dus nagenoeg met die, aan olie IV verkregen, overeen.

Hierdoor rees het vermoeden dat er storingen in het spel waren.

Daarom werden de metingen op dezelfde wijze herhaald, nu echter zonder diëlektrikum in het meetvat. Deze resultaten waren in volkomen overeenstemming met de waarden in tabel II.

Het was echter onmogelijk deze storingen te elimineeren.

De waarden van $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ gevonden voor oliën I, II en III zijn voor deze storingen gekorrigeerd en respectivelik weergegeven in onderstaande tabellen III, IV en V.

TABEL III.

ν	E	V	V/minuut	$\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$	$\frac{\text{Watt} \times 60}{E^2}$
500				$1,9 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$
$5,0 \cdot 10^5$	1,5	25	25	11,1	10,5
$5,0 \cdot 10^5$	2,2	52	52	10,8	10,3
$9,3 \cdot 10^5$	1,55	58	58	24,0	22,8
$9,3 \cdot 10^5$	2,1	146	97	22,0	21,0
$10,8 \cdot 10^5$	1,65	78	78	29,0	27,5
$10,8 \cdot 10^5$	2,15	139	139	30,0	28,5
$15,4 \cdot 10^5$	1,25	73	73	47,0	46,7
$15,4 \cdot 10^5$	1,65	124	124	46,0	45,7
$20,0 \cdot 10^5$	1,7	89	178	65,0	65,0

TABEL IV.

ν	E	V	V/minuut	$\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$	$\frac{\text{Watt} \times 60}{E^2}$
500				$2,9 \cdot 10^{-1}$	$2,75 \cdot 10^{-1}$
$3,0 \cdot 10^5$	1,6	61	61	24	24,0
$3,0 \cdot 10^5$	2,0	95	95	24	24,0
$10,0 \cdot 10^5$	1,05	50	50	83	82,0
$10,0 \cdot 10^5$	2,05	170	170	81	82,0
$23,0 \cdot 10^5$	1,15	243	243	207	196,0
$23,0 \cdot 10^5$	1,4	430	430	212	200,0

TABEL V.

ν	E	V	V/minuut	$\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$	$\frac{\text{Watt} \times 60}{E^2}$
$3,0 \cdot 10^5$	1,6	11	5,5	2,15	$2,0 \cdot 10^{-1}$
$3,0 \cdot 10^5$	2,4	24	12	2,10	$2,0 \cdot 10^{-1}$
$9,0 \cdot 10^5$	1,5	38	19	8,5	$9,0 \cdot 10^{-1}$
$9,0 \cdot 10^5$	2,28	46	46	8,8	$8,5 \cdot 10^{-1}$
$15,4 \cdot 10^5$	1,0	19,5	19,5	19,5	$20,5 \cdot 10^{-1}$
$15,4 \cdot 10^5$	1,5	45	45	20,0	$19,0 \cdot 10^{-1}$
$22,3 \cdot 10^5$	1,1	35	35	29	$29,5 \cdot 10^{-1}$
$22,3 \cdot 10^5$	2,0	118	118	29,5	$30,0 \cdot 10^{-1}$

Uit deze tabellen blijkt dat het bij één bepaalde frequentie gemeten verlies per minuut, evenredig is met het kwadraat van de spanning E . Dus is $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ voor iedere frequentie een konstante.

In kolom 5 van bovenstaande tabellen zijn deze konstanten weergegeven, terwijl in kolom 6 deze waarden zijn uitgedrukt in de grootheden Watt, minuut en Kilo Volt.

In fig. 5 zijn de waarden van $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ grafies uitgezet tegen de frequentie ν .

voor werd undecaan gekozen. De resultaten die hierbij verkregen werden staan in tabel II.

TABEL II.

ν	E	V	V/minuut	$\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$
$3,0 \cdot 10^5$	3,55	10	5	0.50
$5,2 \cdot 10^5$	3,7	19	9,5	0,90
$20,0 \cdot 10^5$	1,5	16	8.	3,55

Deze uitkomsten stemmen dus nagenoeg met die, aan olie IV verkregen, overeen.

Hierdoor rees het vermoeden dat er storingen in het spel waren.

Daarom werden de metingen op dezelfde wijze herhaald, nu echter zonder diëlektrikum in het meetvat. Deze resultaten waren in volkomen overeenstemming met de waarden in tabel II.

Het was echter onmogelijk deze storingen te elimineeren.

De waarden van $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ gevonden voor oliën I, II en III zijn voor deze storingen gekorrigeerd en respectivelik weergegeven in onderstaande tabellen III, IV en V.

TABEL III.

ν	E	V	V/minuut	$\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$	$\frac{\text{Watt} \times 60}{E^2}$
500				$1,9 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$
$5,0 \cdot 10^5$	1,5	25	25	11,1	10,5
$5,0 \cdot 10^5$	2,2	52	52	10,8	10,3
$9,3 \cdot 10^5$	1,55	58	58	24,0	22,8
$9,3 \cdot 10^5$	2,1	146	97	22,0	21,0
$10,8 \cdot 10^5$	1,65	78	78	29,0	27,5
$10,8 \cdot 10^5$	2,15	139	139	30,0	28,5
$15,4 \cdot 10^5$	1,25	73	73	47,0	46,7
$15,4 \cdot 10^5$	1,65	124	124	46,0	45,7
$20,0 \cdot 10^5$	1,7	89	178	65,0	65,0

TABEL IV.

ν	E	V	V/minuut	V/minuut	$\text{Watt} \times 60$
				E^2	E^2
500				$2,9 \cdot 10^{-1}$	$2,75 \cdot 10^{-1}$
$3,0 \cdot 10^5$	1,6	61	61	24	24,0
$3,0 \cdot 10^5$	2,0	95	95	24	24,0
$10,0 \cdot 10^5$	1,05	50	50	83	82,0
$10,0 \cdot 10^5$	2,05	170	170	81	82,0
$23,0 \cdot 10^5$	1,15	243	243	207	196,0
$23,0 \cdot 10^5$	1,4	430	430	212	200,0

TABEL V.

ν	E	V	V/minuut	V/minuut	$\text{Watt} \times 60$
				E^2	E^2
$3,0 \cdot 10^5$	1,6	11	5,5	2,15	$2,0 \cdot 10^{-1}$
$3,0 \cdot 10^5$	2,4	24	12	2,10	$2,0 \cdot 10^{-1}$
$9,0 \cdot 10^5$	1,5	38	19	8,5	$9,0 \cdot 10^{-1}$
$9,0 \cdot 10^5$	2,28	46	46	8,8	$8,5 \cdot 10^{-1}$
$15,4 \cdot 10^5$	1,0	19,5	19,5	19,5	$20,5 \cdot 10^{-1}$
$15,4 \cdot 10^5$	1,5	45	45	20,0	$19,0 \cdot 10^{-1}$
$22,3 \cdot 10^5$	1,1	35	35	29	$29,5 \cdot 10^{-1}$
$22,3 \cdot 10^5$	2,0	118	118	29,5	$30,0 \cdot 10^{-1}$

Uit deze tabellen blijkt dat het bij één bepaalde frequentie gemeten verlies per minuut, evenredig is met het kwadraat van de spanning E . Dus is $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ voor iedere frequentie een konstante.

In kolom 5 van bovenstaande tabellen zijn deze konstanten weergegeven, terwijl in kolom 6 deze waarden zijn uitgedrukt in de grootheden Watt, minuut en Kilo Volt.

In fig. 5 zijn de waarden van $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ grafies uitgezet tegen de frequentie ν .

Met uitzondering van olie II hebben de krommen een kwadraties

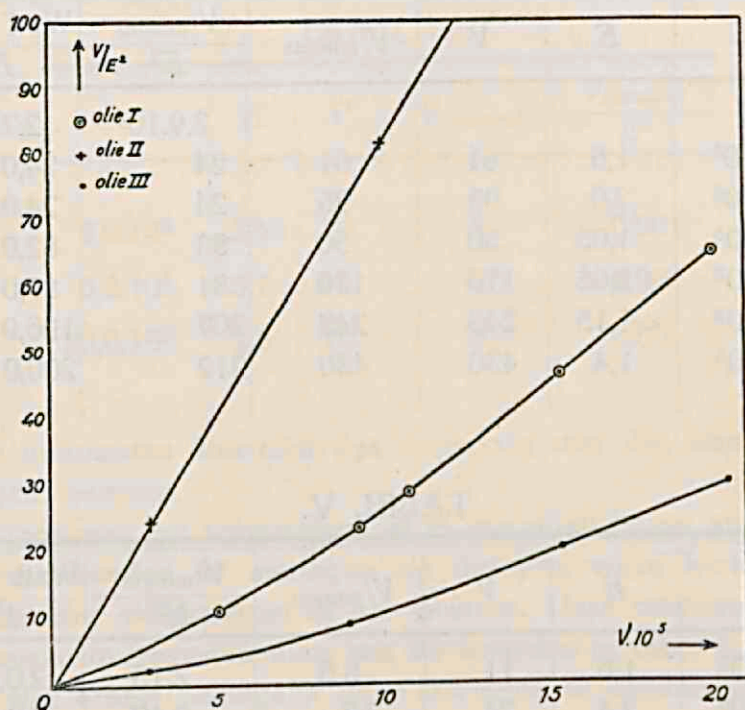


Fig. 5.

karakter. Dit gedrag is in volkomen overeenstemming met de formule die de dipooltheorie van Debye geeft. Voor deze theorie geldt:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(\varepsilon - n^2)x}{\varepsilon + n^2 x^2}$$

$$x = \frac{\varepsilon + 2}{n^2 - 2} \omega \tau \quad \text{en} \quad \tau = \frac{4\pi\eta a^3}{\kappa T}.$$

Hierin betekent $\operatorname{tg} \delta$ de tangens van de verlieshoek, ε de diëlektrische konstante, n de brekingsindex, $\omega 2\pi$ maal het aantal perioden van de wisselstroom per seconde, τ de z.g. relaxatie-tijd, η de viscositeit, a de straal van het molekule, κ de konstante van Boltzmann en T de absolute temperatuur.

In het hier gemeten frequentiegebied is echter $n^2 x^2 \ll \varepsilon$, zoodat de formule voor $\operatorname{tg} \delta$ overgaat in:

$$\operatorname{tg} \delta = A_1 \omega \tau.$$

Hierin is $A_1 = \frac{\varepsilon - n^2}{\varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon + 2}{n^2 - 2}$ een monotoom stijgende funktie

van ε .

Nu is $\frac{V/\text{minuut}}{E^2} = 60 C \omega \operatorname{tg} \delta$.

waarin C de kapasiteit van het gevulde meetvat voorstelt.

Dus $\frac{V/\text{minuut}}{E^2} = A_2 \omega^2$ en $A_2 = 60 A_1 C \tau$.

Voor een diëlektrikum met grotere diëlektrische konstante is dus $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ bij één bepaalde frequentie groter, dan bij een diëlektrikum met kleinere ϵ mits hun relaxatietijden τ dezelfde zijn.

Zooals de formule laat zien, neemt τ toe met toenemende viskositeit η .

De polarisatie-metingen (zie fig. 10) tonen aan, dat de diëlektrische konstanten van de oliën I, II en III afneemt in de volgorde II, I en III.

Dezelfde volgorde is voor de viskositeiten gevonden.

Kwalitatief zijn de resultaten dus in volkomen overeenstemming met de dipooltheorie van Delye. Het had geen zin voor alle onderzochte diëlektrika te onderzoeken in hoeverre de uitkomsten kwantitatief kloppen.

Het kwadratische verband tussen $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ en ν is voor de olie V nauwkeurig nagegaan (zie blz. 62).

Verliesmeting aan olie II-benzol mengsels.

Volgens fig. 5 bestaat er voor de olie II een lineair verband tussen $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ en ν .

Om nu na te gaan of dit te wijten kon zijn aan een bijzondere molekuul-groepeering in de stof, waardoor dan aan hypothesen in de dipooltheorie niet meer voldaan wordt, is olie II in verschillende concentraties met benzol gemengd. Benzol werd gekozen omdat het een niet polaire stof is.

Onderzocht werden de volgende concentratie-verhoudingen.

0 % II; 12½ % II; 25 % II; 50 % II; 75 % II en 100 % II.

Het frequentiegebied van de wisselstroom liep van $2.0 \cdot 10^4$ — $52.0 \cdot 10^4$ perioden/seconde. De resultaten zijn weergegeven in tabel

VI en figuur 6. Ter afkorting is voor $\frac{V/\text{minuut}}{E^2}$ gezet V/E^2 , terwijl

ν voorstelt het aantal perioden van de wisselstroom per seconde.

TABEL VI.

ν	V/E^2 voor 0% II	V/E^2 voor 12½% II	V/E^2 voor 25% II	V/E^2 voor 50% II	V/E^2 voor 75% II	V/E^2 voor 100% II
$2 \cdot 10^4$	0,2	2,8	3,8	4	4	1,6
$5 \cdot 10^4$	0,2	2,8	3,8	4,2	4,2	3,8
$15 \cdot 10^4$	0,2	3,0	4,0	4,4	4,4	10,6
$30 \cdot 10^4$	0,2	3,0	4,2	5,0	7,0	21,0
$52 \cdot 10^4$	0,2	3,0	4,4	6,6	14,4	36,6

In figuur 6 zijn ook de waarden voor V/E^2 uitgezet, die bij konstante spanning gevonden zijn. Deze blijken dus goed aan te sluiten bij de waarden door lineaire extrapolatie van de gevonden krommen verkegen.

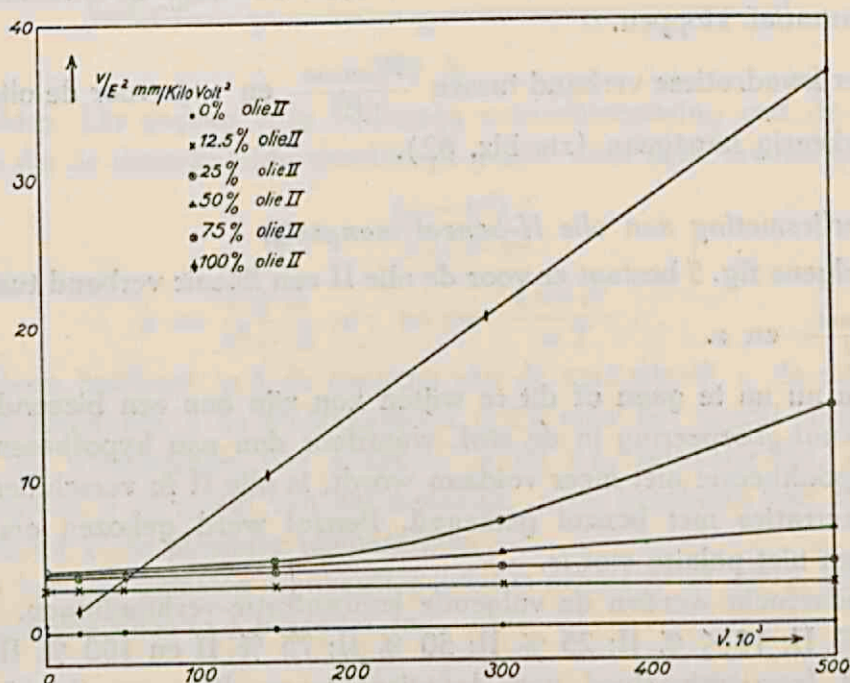


Fig. 6.

Alleen bij zuivere benzol en zuivere olie II treedt een kleine afwijking op. De uitkomsten van V/E^2 voor benzol zijn onafhankelijk

van ν en zijn dus uitsluitend aan de geleiding toe te schrijven. Dat hier geen dipoleffekt optreedt, was te verwachten, daar benzol niet polair is.

Ook de kromme voor $12\frac{1}{2}\%$ II verloopt nog horizontaal. De krommen voor grotere concentraties van II lopen in het gebied van de lagere frequenties nog horizontaal, doch buigen bij hogere frequenties naar boven af, terwijl de zuivere olie II weer het lineaire karakter toont. Het mengsel 75 % II heeft een duidelijk kwadratisch verloop.

De waarden van V/E^2 voor de verschillende mengsels gevonden bij konstante spanning worden groter bij toenemende concentratie van II, bereiken een maximum bij 50 % en 75 % II en liggen bij 100 % II aanzienlijk lager. Dit is een zuiver viskositeitseffekt op de geleiding. Om dit aan te tonen, werd de viskositeit van de mengsels door middel van een doorstroomproef in een glazen buis gemeten.

De resultaten zijn in fig. 7 weergegeven.

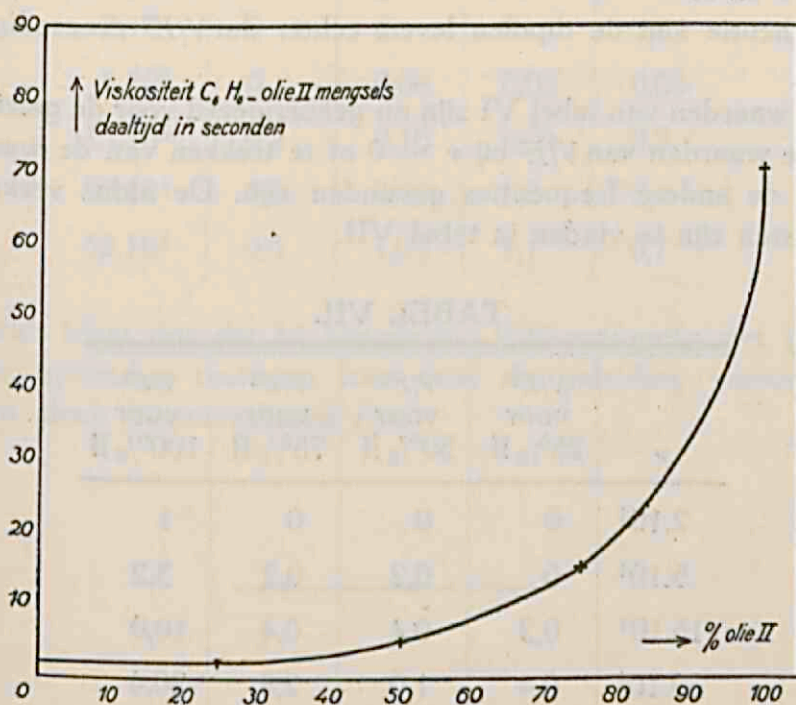


Fig. 7.

Langs de ordinaat-as zijn de tijden, die de mengsels gebruikten om een bepaalde afstand te doorlopen, afgezet.

Bij $\nu = 0$ is V/E^2 een maat voor de geleiding, immers het verlies $V = f I E$.

Hierin is I de stroomsterkte door het diëlektrikum, E de aangelegde spanning en f een evenredigheidsfaktor. Dus $V/E^2 = f \sigma$ als $\sigma = \frac{1}{R}$ en R de weerstand van het diëlektrikum in Ohms voorstelt.

Uit de waarden van V/E^2 bij $\nu = 0$ in tabel VI en uit fig. 7 volgt, dat bij benadering V/E^2 bij $\nu = 0$ evenredig is met $\frac{1}{\eta}$ als η de viskositeit van het diëlektrikum voorstelt.

Volgens de theorie van Debye ⁴⁾ betreffende de dispersie van het geleidingsvermogen van elektrolieten in een wisselend elektrisch veld, geldt dit tot zeer hoge frequenties, terwijl de geleiding bij nog hogere frequenties evenredig is met $\left(\frac{1}{\eta}\right)^p$, waarbij p ligt tussen 1 en 2.

De theorie van de dipolen levert echter dat V/E^2 evenredig met η is

Alle waarden van tabel VI zijn nu gekorrigeerd voor de geleiding, door de waarden van V/E^2 bij $\nu = 0$ af te trekken van de waarden die bij de andere frequenties gevonden zijn. De aldus verkregen uitkomsten zijn te vinden in tabel VII.

TABEL VII.

ν	V/E^2 voor 25% II	V/E^2 voor 50% II	V/E^2 voor 75% II	V/E^2 voor 100% II
$2 \cdot 10^4$	0	0	0	1
$5 \cdot 10^4$	0	0,2	0,2	3,2
$15 \cdot 10^4$	0,2	0,4	0,4	10,0
$30 \cdot 10^4$	0,4	1,0	2,8	20,4
$52 \cdot 10^4$	0,6	2,6	10,2	36,0

Met behulp van fig. 7 zijn nu de waarden van V/E^2 van de concentraties 50 % II, 75 % II en 100 % II voor de viskositeit ge-

korregeerd en terug gebracht tot de viskositeit van het mengsel 25 % II. door gebruik te maken van het feit, dat V/E^2 evenredig met η is.

Daar $V/E^2 = 60 C \omega \operatorname{tg} \delta$ en C is de kapasiteit van het gevulde meetvat, moesten dus de waarden van V/E^2 ook nog gekorregeerd worden voor de verandering van de diëlektrische konstante.

Deze korreksiefactoren waren de volgende:

Voor het mengsel 100 % II; $35 \times 1,46 = 51$

Voor het mengsel 75 % II; $7 \times 1,32 = 9,3$

Voor het mengsel 50 % II; $2 \times 1,28 = 2,5$

De gekorregeerde uitkomsten zijn opgegeven in tabel VIII.

TABEL VIII.

ν	V/E^2 voor 25% II	V/E^2 voor 50% II	V/E^2 voor 75% II	V/E^2 voor 100% II
$2 \cdot 10^4$	0	0	0	0,02
$5 \cdot 10^4$	0	0,08	0,02	0,06
$15 \cdot 10^4$	0,2	0,16	0,05	0,2
$30 \cdot 10^4$	0,4	0,40	0,3	0,4
$52 \cdot 10^4$	0,6	1,04	1,1	0,7

Hieruit blijkt dus dat bij benadering V/E^2 evenredig met η is en dat de gevonden verliezen niet door de geleiding veroorzaakt worden, doch dipoolverliezen zijn.

HOOFDSTUK II.

Polarisatie-metingen aan minerale oliën.

Inleiding: Om na te gaan in hoeverre de resultaten, bij de verliesmetingen verkregen, in overeenstemming zijn met de dipooltheorie van Debye, is het nodig van de oliën te onderzoeken of zij al dan niet polair zijn; d.w.z. of de molekulen van de oliën al of niet een konstant elektrisch moment μ hebben. Voor wij echter hierop in gaan, zullen we een kort overzicht geven van de polarisatietheorie van Debye. Deze theorie berust op de wet van Clausius-Mosotti, die als volgt luidt:

$$P = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3} N a.$$

Hierin is:

P de moleculaire polarisatie

ϵ de diëlektrische konstante

M het molekulaire gewicht

ρ de dichtheid

N het getal van Loschmidt

a de moleculaire polariseerbaarheid.

Debye toonde aan, dat de polariseerbaarheid a te splitsen is in 2 delen a_1 en a_2 ; a_1 wordt veroorzaakt door de deformatie van de molekulen, terwijl a_2 met de oriëntatie van de molekulen, tengevolge van hun konstant elektrisch moment μ , samenhangt. Debye vond voor de moleculaire polarisatie de volgende uitdrukking:

$$P = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3} N \left(a_1 + \frac{\mu^2}{3KT} \right),$$

waarin K de konstante van Boltzmann en T de absolute temperatuur voorstelt.

De bijdrage tot de moleculaire polarisatie, die toegeschreven moet worden aan het oriëntatie-effekt van de molekulen, blijkt af te hangen van de temperatuur. Deze formule is echter alleen geldig, als het diëlektrikum voldoet aan de voorwaarde waarop de wet

van Clausius-Mosotti berust en wel, dat de molekulen elkaar niet beïnvloeden.

Bovendien is bij de afleiding van bovenstaande formule ondersteld, dat het diëlektrikum een monomoleculaire stof is.

Voor de bepaling van de polarisatie P was het dus nodig de diëlektrische konstante ϵ van de olie te kunnen meten. Dit geschiedde met behulp van een elektrische trillingskring. Parallel op de in deze kring opgenomen kondensator werd een meetkondensator geschakeld, die de te onderzoeken olie bevatte.

In het volgende worden nu 2 methodes A en B besproken om de polarisatie P te bepalen. Bij de eerste methode werd de diëlektrische konstante ϵ gemeten als functie van de temperatuur T , terwijl met de tweede methode ϵ gemeten werd als functie van de dichtheid ρ . Daartoe werd de olie opgelost in een niet polaire vloeistof, waarvoor benzol genomen is. Deze laatste methode levert niet alleen het dipoolmoment van de niet-geassocieerde molekulen, doch geeft tevens een inzicht in de mate van de optredende associatie.

Meetmethode A.

Bij de metingen volgens de eerste methode werd een opstelling, uit de volgende onderdelen opgebouwd, gebruikt; een generator, waarvan het schema in fig. 8 is weergegeven, de ontvanger die reeds op blz. 15 besproken is en de in het vorige eveneens genoemde frequentiemeter (blz. 15).

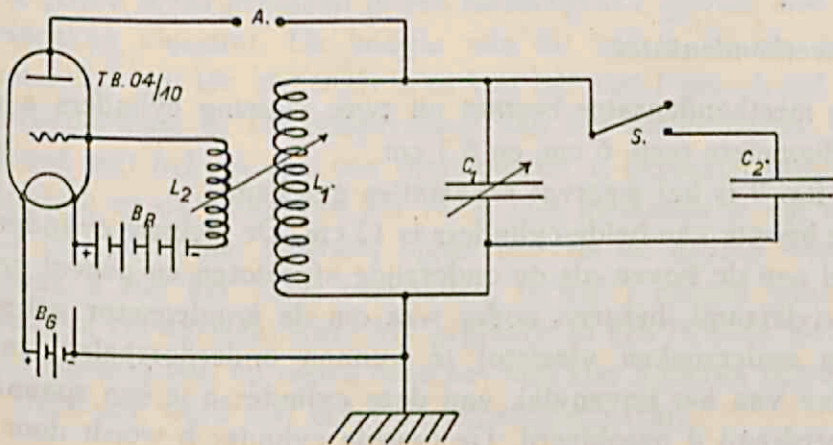


Fig. 8.

De generator. Een elektrische trillingskring, bestaande uit een

spoel L_1 en een veranderlike condensator C_1 was opgenomen in de plaatkring van een triode. Als triode werd gebruikt een Philips TB^{04}_{10} .

L_1 was een honigraatspoel van 100 windingen. De condensator C_1 was voorzien van een schaalverdeling met nonius en was met behulp van een fijnregeling nauwkeurig in te stellen. De kapasiteit van deze condensator was evenredig met de schaalindeling en bedroeg maximaal 500 cm.

De kring werd in trilling gehouden door deze met behulp van spoel L_2 met de roosterkring te koppelen. De gloeispanning van de triode, welke 6 Volt bedroeg, werd verkregen van een akkumulatorenbatterij B_g die tot op 1^0_{00} konstant was. De plaatspanning voor de triode werd geleverd door een akkumulatorenbatterij A van 220 Volt, eveneens tot op 1^0_{00} konstant.

Door voorlopige metingen was gevonden, dat zowel de gloei- als plaatspanning zeer konstant moesten zijn om de frequentie van de generator konstant te houden.

Een Varta-akkumulator B_r bracht het rooster van de triode op een potentiaal van -10 Volt t. o. v. het negatieve einde van de gloeidraad. De schakelaar S deed dienst om de meetkondensator C_2 parallel op de condensator C_1 te schakelen. De verbindingsdraden van de condensator C_1 naar de condensator C_2 waren zeer kort gehouden en zo gelegd, dat hun kapasiteit te verwaarlozen was t. o. v. de kapasiteit van C_2 .

De meetkondensator.

De meetkondensator bestaat uit twee messing cylinders a en b met diameters resp. 6 cm. en 6,3 cm.

In fig. 9 is het meetvat schematisch getekend.

De hoogte van beide cylinders is 12 cm. De kleinste cylinder a is zowel aan de boven als de onderzijde afgesloten en geheel gevuld met rivierzand, hetgeen nodig was om de condensator geheel in de te onderzoeken vloeistof te kunnen onderdompelen. In het midden van het bovenvlak van deze cylinder a is een spannings-toevoerdraad d gesoldeerd. De tweede cylinder b wordt door drie isolatie-blokjes c, zowel boven als onder aangebracht onder een hoek van 120° , op de juiste afstand van de binnenste elektrode

gehouden. De spanningstoevoerdraad e is aan de bovenzijde van de elektrode b gesoldeerd.

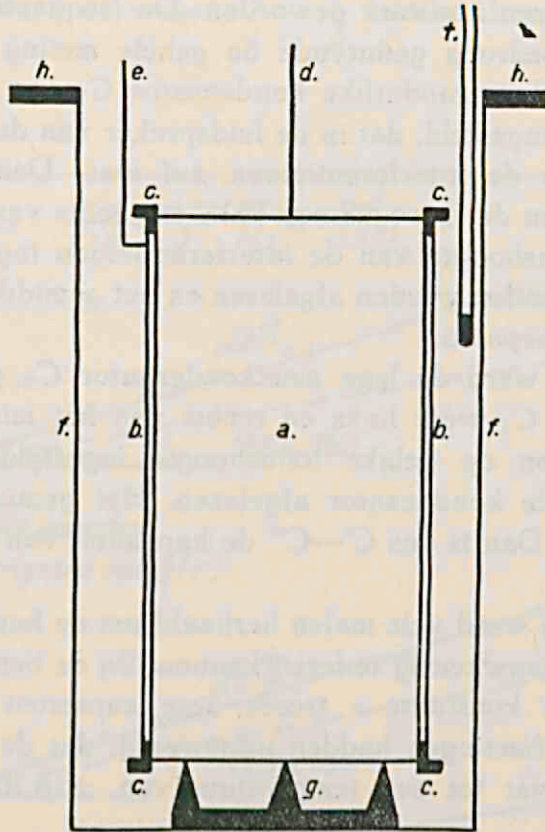


Fig. 9.

Het geheel werd geplaatst in een messingvat f, gevuld met de te onderzoeken vloeistof. De hoogte van dit vat is 16 cm. en de diameter 9,5 cm. De elektrode a is van het vat f geïsoleerd door het isolatieblok g. De temperatuur van het diëlektrikum werd afgelezen met behulp van een thermometer t, geplaatst tussen de elektrode b en de wand van het vat f. Het kwikbolletje ligt ongeveer 3 cm. onder het vloeistof oppervlak. Bij de meting werd de elektrode b met het vat f verbonden, terwijl f geaard was. Om het vat f te verwarmen, werd het geplaatst in een tweede, met olie gevuld messing vat, op welks rand het met vier koperen zijarmpjes rust. Deze olie werd met een Bunsenbrander verhit.

De meting.

Ongeveer een kwartier nadat de verschillende delen op spanning

waren gebracht werd met de metingen begonnen; dan toch was de temperatuur van de trioden en daarmee de frequenties van beide generatoren konstant geworden. De frequentie van de frequentiemeter bedroeg gedurende de gehele meting 10^6 perioden per sekonde. De veranderlike condensator C_1 van de meetgenerator werd zo ingesteld, dat in de luidspreker van de ontvanger de frequentie van de interferentietoon nul was. Daarna werd C_1 door middel van de fijnregelknop links en rechts van het minimum op gelijke toonhoogte van de interferentietoon ingesteld. Beide condensatorstanden werden afgelezen en het gemiddelde van beide aflezingen C' bepaald.

Vervolgens werd de lege meetcondensator C_2 parallel op C_1 geschakeld en C_1 weer links en rechts van het minimum van de interferentietoon op gelijke toonhoogte ingesteld en de beide standen van de condensator afgelezen. Het gemiddelde hiervan moge zijn C'' . Dan is dus $C' - C''$ de kapasiteit van het lege meetvat C_2 .

Deze meting werd vele malen herhaald om de kapasiteit van het lege meetvat nauwkeurig te leren kennen. Bij de bepaling toch van de diëlektrische konstante ϵ treedt deze kapasiteit als konstante deler op. Proefmetingen hadden uitgewezen, dat de kapasiteit van het lege meetvat tot een temperatuur van $\pm 130^\circ \text{ C}$ niet veranderde.

Daarna werd C_2 met olie gevuld en de beschreven metingen met het nu gevulde meetvat gedaan. Zijn de gevonden standen van de condensator C_1 nu C' en C''' , dan is:

$$\epsilon = \frac{C' - C'''}{C' - C''}.$$

De nulkapasiteit van C_1 speelt geen rol, daar alleen kapasiteitsverschillen gemeten worden. De kapasiteiten van het lege en gevulde meetvat, resp. $C' - C''$ en $C' - C'''$ werden gemeten in delen van de schaalverdeling van C_1 . Daar deze schaalverdeling evenredig was met de kapasiteit van C_1 , was het niet nodig de kapasiteiten van C_2 te bepalen in $\mu\mu$ Farads, omdat ϵ gevonden uit een kapasiteitsverhouding.

Vervolgens werd de olie in het meetvat langzaam verhit van kamertemperatuur tot $\pm 100^\circ \text{ C}$. Bij verschillende temperaturen

werd nu ε op de zoeven besproken wijze gemeten. Bij iedere temperatuur werd de waarde $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}$ berekend en uitgezet tegen $\frac{1}{T}$.

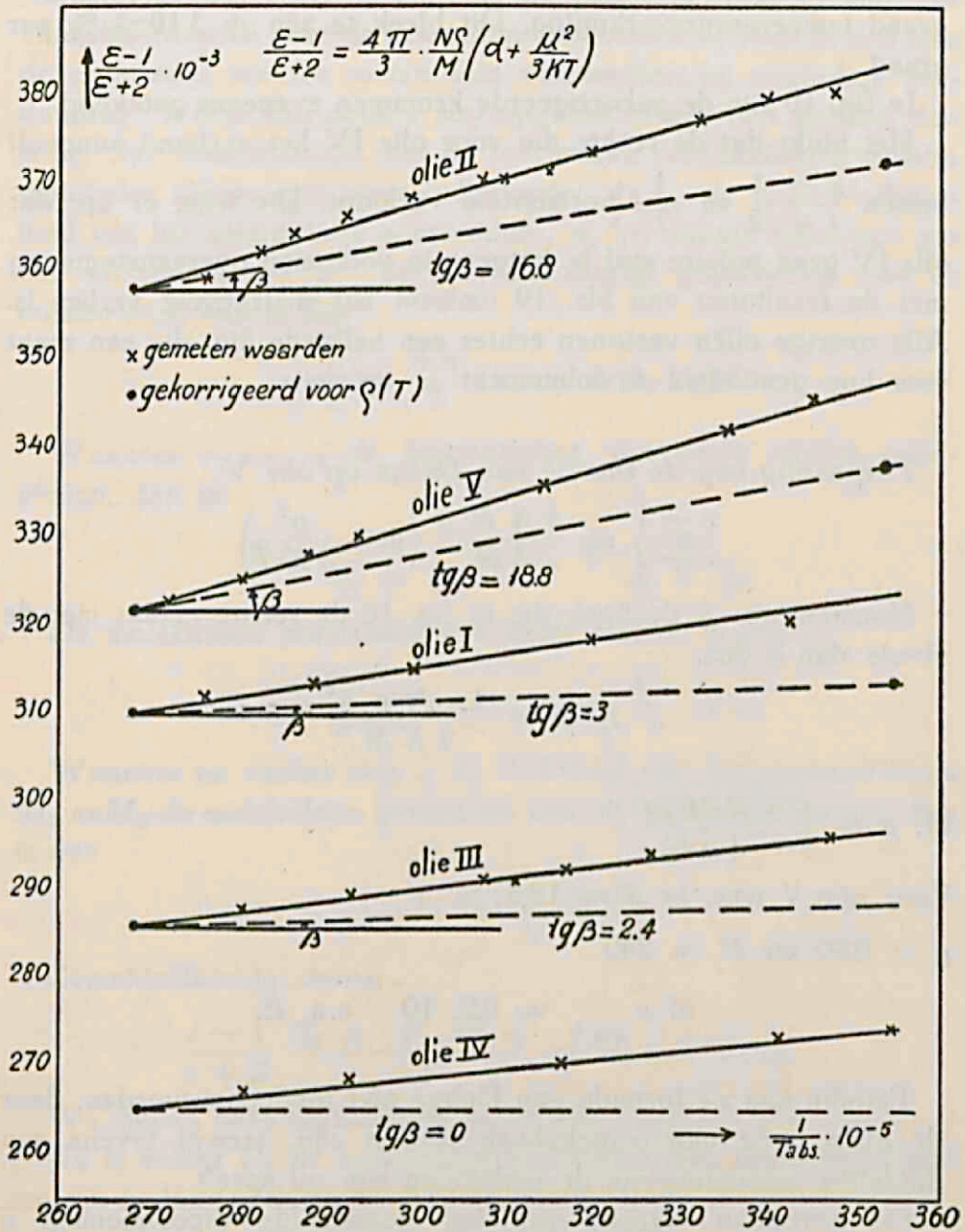


Fig. 10.

De verkregen resultaten zijn weergegeven in fig. 10; de grafiese voorstellingen blijken rechten te zijn.

Deze metingen zijn gekorrigeerd voor de verandering van de dichtheid ϱ bij de verschillende temperaturen en is voor iedere vloeistof de dichtheid teruggebracht op die bij 100° C.

Met een dilatometer werd de procentuele uitzetting bepaald per graad temperatuursverhoging. Dit bleek te zijn $\pm 3.10^{-2}$ % per graad.

In fig. 10 zijn de gekorrigeerde krommen eveneens getekend.

Het blijkt dat de rechte die voor olie IV het verband aangeeft tussen $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}$ en $\frac{1}{T}$ horizontaal verloopt. Dit wijst er op, dat olie IV geen polaire stof is, hetgeen in volkomen overeenstemming met de resultaten van blz. 19 omtrent het diëlektrische verlies is. Alle overige oliën vertonen echter een hellende lijn, die een maat voor hun gemiddeld dipoolmoment $\bar{\mu}$ oplevert.

Toepassing van de theorie van Debye op olie V.

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{4 \pi N \varrho}{3 M} \left(a + \frac{\mu^2}{3 K T} \right)$$

Noemen we β de hoek die in fig. 10 de rechte maakt met de abscis, dan is dus,

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{4 \pi N \varrho \mu^2}{9 K M}$$

$$\text{of: } \mu = \sqrt{\frac{9 K M \operatorname{tg} \beta}{4 \pi N \varrho}}$$

Voor olie V was, $\operatorname{tg} \beta = 18,8$;

$\varrho = 0,90$ en $M = 240$

$$\text{of } \bar{\mu}_{\text{olie V}} = 0,9 \cdot 10^{-18} \text{ e.s. E.}$$

Feitelijk kan de formule van Debye niet toegepast worden, daar de oliën geen monomoleculaire stoffen zijn, terwijl tevens een duidelijke associatie van de molekulen een rol speelt.

De gevonden waarde van het gemiddelde dipoolmoment $\bar{\mu}$ zal dus zeker afwijken van de gemiddelde waarde van deze groot-

heid bij het niet geassocieerde molecuul. Toch levert deze methode wel een bruikbaar criterium of een olie al dan niet uit polaire molekulen is opgebouwd.

Meetmethode B.

Inleiding. Om zeker te zijn dat de gebruikte onderstelling van Clausius-Mosotti over de inwendige veldverdeling juist is, zou men de polarisatie moeten meten van vloeistoffen bij oneindige verdunning. Wordt een polaire stof opgelost in een niet polaire, dan is het zeer waarschijnlijk, dat bij zeer sterke verdunning de polaire molekulen elkaar niet meer beïnvloeden. Is a_1 de polariseerbaarheid van het niet-polaire oplosmiddel, n_1 het aantal molekulen per cm^3 en zijn a_2 en n_2 de overeenkomstige grootheden voor de polaire stof, dan is dus

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{4\pi}{3} (n_1 a_1 + n_2 a_2)$$

Wanneer c_1 en c_2 de concentraties van beide stoffen voorstellen, dan is:

$$c_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \text{ en } c_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$$

De moleculaire polarisatie van beide stoffen is resp.:

$$P_1 = \frac{4\pi}{3} N a_1 \text{ en } P_2 = \frac{4\pi}{3} N a_2$$

Wanneer nu verder nog ρ de dichtheid van het mengsel is en M_1 en M_2 de moleculaire gewichten van de bestanddeelen zijn, dan is dus

$$\rho = \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2}{N}$$

Gemakkelijk volgt dan:

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \frac{M_1 c_1 + M_2 c_2}{\rho} = P_1 c_1 + P_2 c_2$$

We stellen deze uitdrukking gelijk aan $P_1 c_2$.

Nu is echter P_1 de moleculaire polarisatie van een niet polaire stof en is dus onafhankelijk van de concentratie.

$P_1 c_1$ neemt derhalve met c_1 af van P_1 tot 0.

Zet men dus de waarden van P_{12} uit tegen de concentratie c_2 en tevens die van P_{1c_1} tegen c_2 , dan geeft het verschil van de ordinaten de waarden van P_{2c_2} . Door deling door c_2 is hieruit P_2 te berekenen voor iedere concentratie c_2 .

Om nu de polarisatie van het niet geassocieerde molecuul te vinden, wordt lineair geextrapoleerd tot $c_2 = 0$. Dit betekent dus, dat men in dat concentratiegebied een associatie aanneemt, die evenredig is met de concentratie. Wanneer bij de dipolen geen associatie optreedt is echter P_2 ook onafhankelijk van c_2 .

De meting.

De opstelling, bij deze metingen gebruikt, was precies dezelfde als die bij de polarisatie-metingen onder A.

Gemeten werden de diëlektrische konstanten van olie IV- en olie V-benzol mengsels.

Het diëlektrikum had echter bij de metingen een konstante temperatuur.

In tabel IX zijn opgegeven de waarden van $\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}$ gevonden voor een olie IV-benzol mengsel en een olie V-benzol mengsel.

TABEL IX.

$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}$	% olie IV	$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}$	% olie V
$2,40 \cdot 10^{-1}$	1	$2,44 \cdot 10^{-1}$	1
$2,40 \cdot 10^{-1}$	2	$2,50 \cdot 10^{-1}$	2
$2,40 \cdot 10^{-1}$	4	$2,54 \cdot 10^{-1}$	4
$2,40 \cdot 10^{-1}$	8	$2,64 \cdot 10^{-1}$	8
$2,395 \cdot 10^{-1}$	20	$2,84 \cdot 10^{-1}$	20
$2,39 \cdot 10^{-1}$	40	$3,10 \cdot 10^{-1}$	40
$2,38 \cdot 10^{-1}$	60	$3,28 \cdot 10^{-1}$	60
$2,37 \cdot 10^{-1}$	80	$3,36 \cdot 10^{-1}$	80
$2,37 \cdot 10^{-1}$	100	$3,44 \cdot 10^{-1}$	100

In fig. 11 zijn deze waarden van $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}$ uitgezet tegen c_2 , waarin c_2 resp. de concentratie van olie IV en olie V betekent.

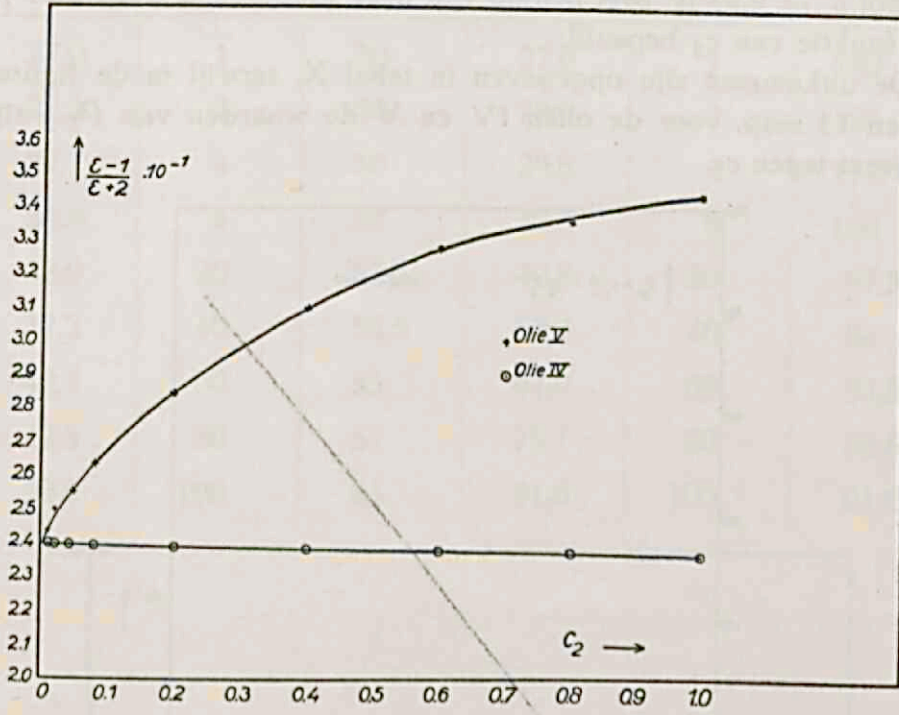


Fig. 11.

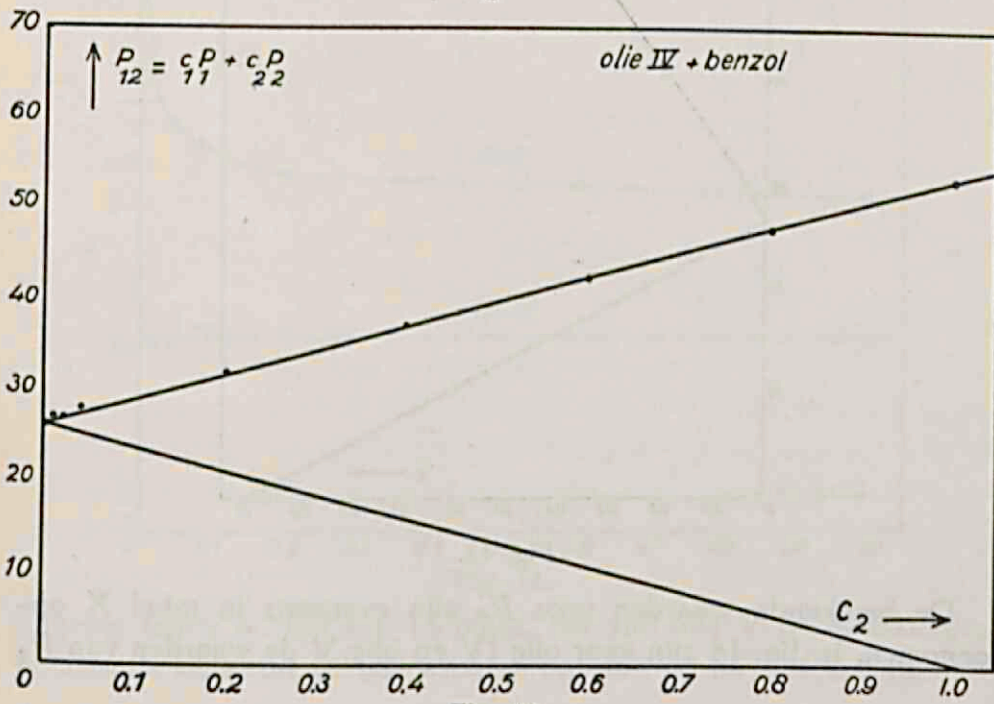


Fig. 12.

Voor olie IV werd als gemiddeld moleculair gewicht gevonden $M = 200$, terwijl voor olie V gevonden werd $M = 240$.

De dichtheid der oliën IV en V was $\rho = 0,90$, terwijl voor benzol $\rho = 0,89$ is. Met behulp van deze grootheden werd nu P_{12} als funktie van c_2 bepaald.

De uitkomsten zijn opgegeven in tabel X, terwijl in de figuren 12 en 13 resp. voor de oliën IV en V de waarden van P_{12} zijn uitgezet tegen c_2 .

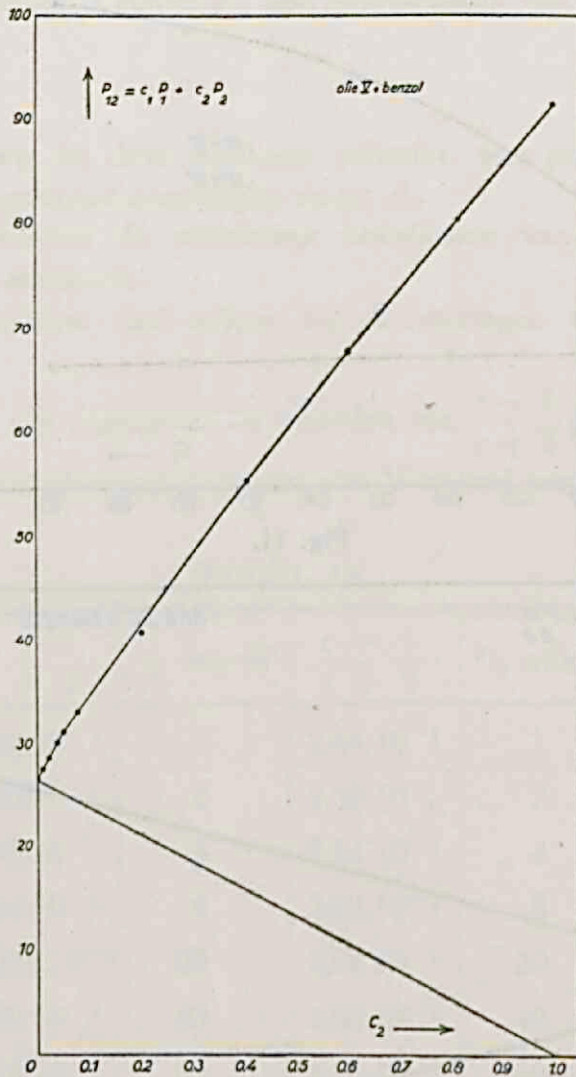


Fig. 13.

De berekende waarden voor P_2 zijn eveneens in tabel X opgenomen. In fig. 14 zijn voor olie IV en olie V de waarden van P_2

TABEL X.

P_{12}	% olie IV	P_2	P_{12}	% olie V	P_2
27,0	1	50	27,6	1	140
27,2	2	50	28,6	2	125
27,7	4	50	29,8	4	112
28,8	8	56	32,8	8	106
32,0	20	52,5	40,8	20	97,5
37,2	40	52,5	53,7	40	96
42,3	60	53	67,0	60	93,5
47,5	80	53	79,1	80	92,5
53,0	100	53	91,6	100	91,6

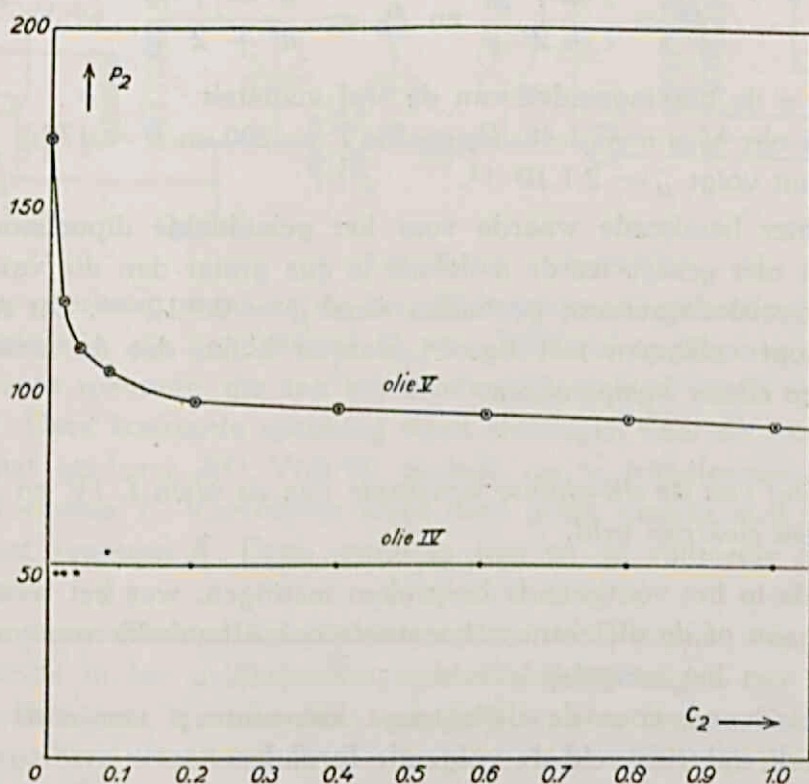


Fig. 14.

uitgezet tegen c_2 . Uit fig. 14 blijkt, dat van olie V de moleculaire polarisatie konstant is. Dit wijst er op, dat, zo de stof een dipool-

moment heeft, er geen associatie optreedt. De polarisatie-metingen onder A (zie blz. 34) hebben echter uitgewezen, dat het dipoolmoment van olie IV nul was. In overeenstemming met de polarisatiemeting onder A (zie fig. 10), blijkt hier dat olie V niet alleen polair is, doch dat er bovendien een associatie van de molekulen optreedt en wel zo, dat de momentvectoren van de molekulen elkaar opheffen.

Wanneer men de kromme voor olie V in fig. 14 lineair extrapoleert tot $c_2 = 0$, vindt men voor de gemiddelde polarisatie van het niet geassocieerde molekuul; $P_2 = 170$.

Berekening van het gemiddelde dipoolmoment van het niet geassocieerde molekuul van olie V.

Volgens Debye is:

$$\mu = 0,0127 \cdot 10^{-18} \sqrt{(P - P_0) T}$$

Hierin is:

$$P = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \frac{M}{\varrho} \text{ en } P_0 = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{\varrho}$$

waarin n de brekingsindex van de stof voorstelt.

Voor olie V is $n = 1,48$; $P_0 = 75$; $T = 290$ en $P = 170$.

Hieruit volgt $\bar{\mu} = 2,1 \cdot 10^{-18}$.

De hier berekende waarde voor het gemiddelde dipoolmoment van het niet geassocieerde molekule is dus groter dan die van het geassocieerde, waarvoor gevonden werd $\bar{\mu} = 0,9 \cdot 10^{-18}$. Dit resultaat klopt volkomen met fig. 14 waaruit blijkt, dat de momentvectoren elkaar compenseren.

Meting van de diëlektrische konstante van de oliën I, IV en V in een sterk elektrisch veld.

Na de in het voorgaande besproken metingen, was het wenselijk na te gaan of de diëlektrische konstante ook afhankelijk was van de sterkte van het aangelegde veld.

Debye vond voor de diëlektrische konstante ε van stoffen in een sterk elektrisch veld de volgende formule:

$$\varepsilon = \bar{\varepsilon} - \frac{4 \pi}{15} \left(\frac{\bar{\varepsilon} + 2}{3} \right)^4 \frac{n \mu^2}{K T} \left(\frac{\mu E}{K T} \right)^2$$

Hierin betekenen:

- ϵ de gemeten diëlektrische konstante,
- $\bar{\epsilon}$ de diëlektrische konstante bij kleine veldsterkte,
- n het aantal molekulen per cm^3 ,
- μ het dipoolmoment van het molekuul,
- K de konstante van Boltzmann,
- T de absolute temperatuur,
- E de aangelegde spanning.

De diëlektrische konstante werd weer gemeten met behulp van een elektrische trillingskring. Aan de meetkondensator werd tevens een hoge konstante spanning gelegd.

De opstelling.

Een schematische voorstelling van de gebruikte opstelling geeft fig. 15.

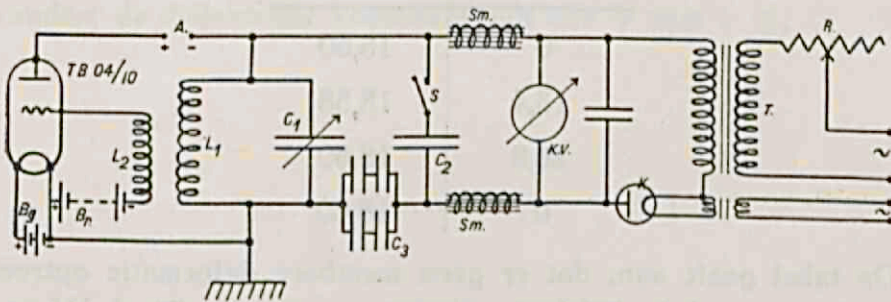


Fig. 15.

Als meetkring werd de op blz. 29 beschrevene gebruikt. Alleen is hierin nog een kondensator C_3 van 5000 cm opgenomen om de konstante spanning, die aan het meetvat C_2 gelegd werd, te blokkeren. Deze konstante spanning werd verkregen door de spanning van het stadsnet 200 Volt/50 periode op te transformeren met transformator T . Vervolgens werd deze gelijk gericht met behulp van het kenatron K . Deze spanning was op de voltmeter KV af te lezen.

De smoorspoelen Sm beletten, dat de stromen van hoge frequentie in het gelijkspanningsgedeelte doordrongen.

De konstante spanning kon geregeld worden door middel van een regelbare weerstand R , die in de primaire zijde van de transformator T is opgenomen. Zodoende werd aan de meetkondensator een konstante spanning verkregen, die van 1000 Volt tot 5000 Volt te regelen was.

Dit komt overeen met een spanningsgebied van 6,5 Kilo Volt/cm tot 33 Kilo Volt/cm. Bij hogere spanningen kon niet meer gemeten worden, omdat dan doorslag in het meetvat plaats vond.

De meting.

Allereerst werd nagegaan of de meetkondensator, onder de invloed van de hoge konstante spanning, van vorm veranderde.

Tabel XI toont de kapasiteit van het meetvat C_2 als funktie van de aangelegde spanning. De kapasiteit is uitgedrukt in schaaldelen van de veranderlike kondensator C_1 .

TABEL XI.

Kilo Volt/cm	C_2
0	18,60
13,4	18,58
26,8	18,60
0	18,60

De tabel geeft aan, dat er geen meetbare deformatie optreedt. Vervolgens werd de diëlektrische konstante van de oliën I, IV en V gemeten, als funktie van de aangelegde spanning.

De resultaten hiervan zijn resp. in de tabellen XII, XIII en XIV opgegeven. De meting van de diëlektrische konstante ϵ werd op volkomen dezelfde wijze uitgevoerd als op blz. 32 beschreven is.

TABEL XII

Kilo Volt/cm	ϵ
0	2,41
13,3	2,41
26,7	2,41
33,5	2,41
0	2,41

TABEL XIII

Kilo Volt/cm	ϵ
0	2,12
13,3	2,12
26,7	2,12
33,5	2,12
0	2,12

TABEL XIV

Kilo Volt/cm	ϵ
0	2,59
13,3	2,59
26,7	2,59
33,5	2,59
0	2,59

De polaire oliën I en V en de niet polaire olie IV tonen dus, dat de diëlektrische konstante in het hier gemeten spanningsgebied onafhankelijk is van de veldsterkte.

Volgens de theorie van Debye mochten we hier ook geen effect verwachten. Met toepassing van deze theorie is in het volgende berekend, met welk bedrag de diëlektrische-konstante van olie V verandert in het hier gemeten spanningsgebied. Tevens is nagegaan bij welke spanning de verandering van de diëlektrische-konstante van olie V 1 % zou bedragen.

Voor olie V is: $\bar{\epsilon} = 2,59$; $\bar{\mu} = 0,9 \cdot 10^{18}$; $n = 1,89^{21}$ en $T = 290$.

Hieruit volgt $\epsilon = 2,59 - 1,40 \cdot 10^{-10} E^2$.

Voor de hoogste aangelegde spanning n.l. $33,5 \cdot 10^3$ Volt/cm $= \pm 10$ e.s. eenh. zou de verandering van ϵ de waarde $1,4 \cdot 10^{-6}$ hebben, welke verandering dus niet meetbaar is.

Bij een spanning van $1,36 \cdot 10^4$ e.s. eenh. $= 4 \cdot 10^6$ Volt/cm verandert de diëlektrische konstante van olie V met 1 %.

HOOFDSTUK III.

Inleiding.

Wanneer men een zuivere kapasiteit d.w.z. een kondensator zonder verliezen in een wisselstroomketen schakelt, verricht de stroom geen arbeid. Er wordt dus geen energie verbruikt; stroom en spanning verschillen $\frac{\pi}{2}$ in fase. Heeft de kondensator echter een verlies, dan zal het fase-verschil tussen stroom en spanning kleiner dan $\frac{\pi}{2}$ worden. Is deze fase-hoek $\frac{\pi}{2} - \delta$, dan noemt men δ de verlieshoek.

Een kondensator met een verlies, kan men vervangen denken door een kondensator zonder verlies, gekombineerd met een parallel geschakelde weerstand (zie fig. 16).

Is de spanning aan de kondensatorklemmen E , dan is de kapasiteitsstroom $I_2 = E C \omega$, waarin C de zuivere kapasiteit van de kondensator en ω het aantal perioden van de wisselstroom in de tijd 2π is.

Deze stroom I_2 is de spanning E een bedrag $\frac{\pi}{2}$ in fase voor.

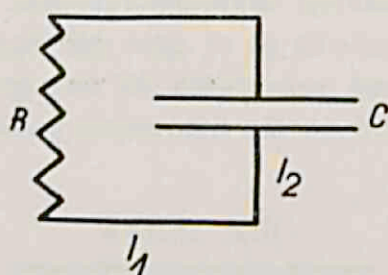


Fig. 16.

De verliesstroom is $I_1 = \frac{E}{R}$ waarin R de parallel gedachte weerstand voorstelt. I_1 is met E in fase.

De werkelijke stroom I loopt dus $\frac{\pi}{2} - \delta$ in fase voor E en

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{R C \omega} \quad (\text{fig. 17})$$

Noemt men $\frac{1}{R} = \sigma$ de geleiding van de condensator, dan is

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sigma}{C \omega}$$

In het volgende zal aangetoond worden hoe men, door een condensator met verlies op te nemen in een elektrische trillingskring, $\operatorname{tg} \delta$ uit direkt meetbare grootheden kan bepalen.

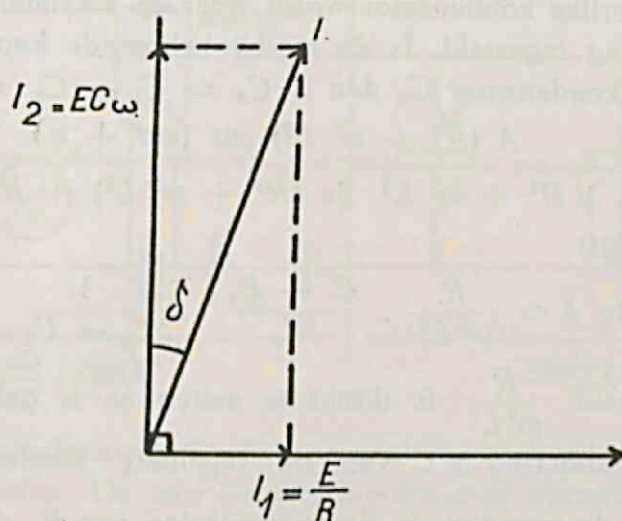


Fig. 17.

In een elektrische trillingskring, bestaande uit een verliesvrije, regelbare condensator met een capaciteit C en een spoel, waarvan L de coëfficiënt van zelfinductie en R de weerstand is, wordt met behulp van een triode-generator door inductie een elektromotorische kracht opgewekt. De koppeling tussen de generator en de trillingskring is echter zeer los, zodat de eigen trillingstijd van de kring alleen bepaald wordt door de grootheden L , R en C .

Men verandert nu in de trillingskring de capaciteit C van de regelbare condensator zo, dat de in die kring optredende spanning E maximaal wordt. Is E_1 de optredende spanning en C_1 de daarbij behorende capaciteit van de condensator, dan is

$$C_1 = \frac{L}{R^2 + L^2 \omega^2} \quad \text{en}$$

$$E_1 = \frac{A}{R} \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} \cos(\omega t + \varphi)$$

waarin A en φ willekeurige konstanten zijn en α gelijk aan 2π maal het aantal perioden van de wisselstroom is.

Vervolgens plaatst men parallel op de kondensator een tweede kondensator die een verlies heeft.

Is van deze kondensator de kapasiteit C_x en de geleiding σ , dan is,

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sigma}{\omega C_x}$$

De veranderlike kondensator wordt weer op maximale spanning E_2 in de kring ingesteld. Is de hierbij behorende kapasiteit van de regelbare kondensator C_2 dan is $C_x = C_1 - C_2$ en

$$E_2 = \frac{A (R^2 + \omega^2 L^2) \cos (\omega t + \varphi)}{\sqrt{R^4 + \omega^2 L^2 \{ \sigma (R^2 + \omega^2 L^2) + R \}^2}}$$

Hieruit volgt:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R}{\omega^3 L^2} \cdot \frac{E_1 - E_2}{E_2} \cdot \frac{1}{C_1 - C_2}$$

De grootheid $\frac{R}{\omega^3 L^2}$ is direkt te meten en is gelijk aan de kapasiteitsverandering ΔC van de regelbare kondensator, die nodig is om de spanning in de trillingskring van E_1 op $\frac{E_1}{\sqrt{2}}$ te laten dalen.

Derhalve vindt men dat:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\Delta C}{C_1 - C_2} \cdot \frac{E_1 - E_2}{E_2}$$

Bij de afleiding van deze formule is alleen gebruik gemaakt van de onderstellingen dat $\sigma R \ll 1$ en $R \ll \omega L$ is.

De opstelling.

De wisselstromen, die voor de meting nodig waren werden verkregen door middel van de triode-generator welke reeds op blz. 29 beschreven is. Het enige verschil met de daar gebruikte opstelling is, dat thans de kondensator C_2 ontbrak. De trillingskring, die voor de metingen diende werd met deze generator gekoppeld. De trillingskring bestaat uit een spoel L en een kondensator C , voorzien van een fijnregeling (zie fig. 18). Deze kondensator heeft een maximale kapasiteit van 500 cm. Er werden honigraatspoelen gebruikt, waarvan de weerstand R zeer klein is t.o.v. de impedantie

$L\omega$. De kondensator C heeft een kleine nulkapasiteit en een verwaarloosbaar verlies. Op de as van de draaibare platen van deze kondensator is een schaalverdeling aangebracht, die evenredig is met de kapasiteit van de kondensator en is voorzien van een nonius.

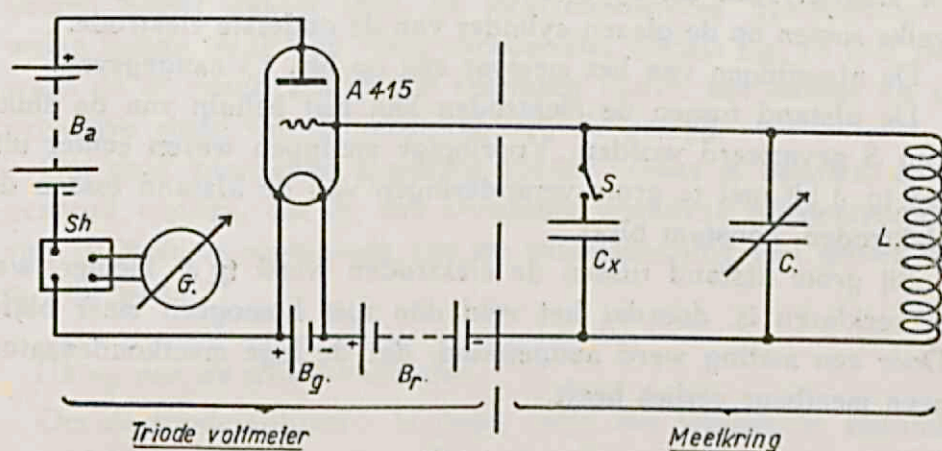


Fig. 18.

De meetkondensator C_x kon parallel op de kondensator C geschakel worden. De aan de meetkondensator optredende wisselspanningen werden met een triode-voltmeter gemeten.

De meetkondensator.

De meetkondensator (fig. 19) is ongeveer gelijk aan die, bij de thermiese verliesmeting gebruikt is.

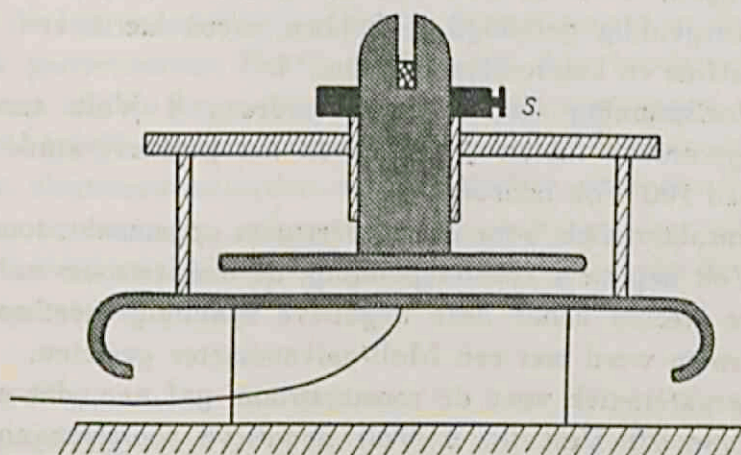


Fig. 19.

Het thermo-element ontbreekt hier echter, terwijl verder de bovenste elektrode uit een vlakke messing schijf van 7 cm diameter

bestaat. Een cilindervormig messing staafje van 1,5 cm dikte en 6 cm hoogte is in het midden hiervan gesoldeerd. De bovenkant van dit staafje is ingeboord en gevuld met kwik, teneinde een goed kontakt te verkrijgen. Een glazen cylindertje sluit nauwkeurig om dit staafje. Aan dit cylindertje zijn 3 glazen armpjes gesmolten welke rusten op de glazen cylinder van de onderste elektrode.

De afmetingen van het meetvat zijn op blz. 13 aangegeven.

De afstand tussen de elektroden kan met behulp van de sluitring *S* gevarieerd worden. Voorlopige metingen wezen echter uit, dat $\text{tg } \delta$ bij niet te grote veranderingen van de afstand tussen de elektroden, konstant bleef.

Bij grote afstand tussen de elektroden werd $\text{tg } \delta$ kleiner, wat te verklaren is, doordat het veld dan niet homogeen meer blijft. Door een meting werd aangetoond, dat de lege meetkondensator, geen meetbaar verlies heeft.

De triode-voltmeter. (zie fig. 18).

Voor het meten van de spanning aan de meetkondensator is een voltmeter van een grote nauwkeurigheid noodzakelijk; tevens mag deze voltmeter geen energie verbruiken.

Daarom is een triode-voltmeter gekozen. Als triode werd om de grote steilheid van zijn karakteristiek een Philips A415 gebruikt. Teneinde een goede isolatie tussen rooster en gloeidraad te verkrijgen, werd de huls van de triode verwijderd. Na het brugje zorgvuldig gereinigd te hebben, werd hierin een mengsel van paraffine en kolofonium gegoten. *)

De gloeispanning voor de triode bedroeg 4 Volt, terwijl het spanningsverschil tussen de anode en het positieve einde van de gloeidraad 100 Volt bedroeg.

Een karakteristiek, voor de anodestroom opgemaakt, toonde, dat bij 10 Volt negatieve roosterspanning, de anodestroom nul was en dat deze stroom vanaf deze negatieve spanning meetbaar werd. Deze stroom werd met een Moll-galvanometer gemeten.

De karakteristiek voor de roosterstroom gaf aan, dat er in het gebied van 20 Volt tot 4 Volt negatieve roosterspanning een konstante ionenstroom liep, veroorzaakt door de gasresten in de triode.

*) J. F. H. Custers. Diss. pag. 16. Utrecht 1931.

Bij sterkere vermindering van de negatieve roosterspanning nam de roosterstroom eerst nog iets toe. Dit is te verklaren uit het feit, dat door de toenemende anodestroom meer gasatomen worden aangeslagen.

Bij een negatieve roosterspanning van 1 Volt werd de ionenstroom echter geheel door de elektronenstroom gekompenseerd, welke laatste bij 0 Volt verre overheerste. Zooals fig. 18 laat zien, werd de te meten wisselende spanning tussen het rooster en het negatieve einde van de roosterbatterij Br gelegd.

Om deze wisselende spanning zonder verlies te bepalen, moest gezorgd worden, dat bij een konstante negatieve roosterspanning van 10 Volt de topwaarde van de wisselspanning niet groter dan 6 Volt was.

Ijking van de triode-voltmeter.

Om de triode-voltmeter te ijken, werd een wisselende spanning van 10 Volt en 50 perioden/sek. kort gesloten over een weerstandsbank van 1000 Ohm. Hiervan werden verschillende spanningen afgetakt en gelegd tussen het rooster van de triode en het negatieve einde van de roosterbatterij. Uit de verhouding van de afgetakte weerstand, de totale weerstand van de bank en de spanning, die op de gehele bank stond, kon dus de spanning aan de triode voltmeter berekend worden. Bij iedere spanning werd de galvanometeruitslag afgelezen. Zodoende kregen we een karakteristiek voor de voltmeter, die het verband aangaf tussen de spanningen en de uitslagen van de galvanometer. Het is duidelijk dat deze triode voltmeter te gebruiken is voor het meten van wisselende spanningen van zowel hoge als lage frequentie. Alleen bij zeer hoge frequenties gaan de eindige elektronensnelheden een rol spelen, doch tot dat gebied strekten de metingen zich niet uit. De verkregen karakteristiek is gecontroleerd met behulp van een Moll-konvertor, die te voren met gelijkstroom was geijkt.

De meting.

De meetkring werd door middel van de veranderlike condensator C op maximale spanning in de kring ingesteld. De stand C_1 van de condensator werd afgelezen. Uit de uitslag van de galvanometer was de spanning E_1 te bepalen. Daarna kon uit de karakteristiek

van de triode-voltmeter de uitslag van de galvanometer bepaald worden, die behoorde bij een spanning

$$\frac{E_1}{\sqrt{2}}$$

De condensator werd nu zolang naar rechts gedraaid, tot de galvanometer deze uitslag gaf.

Laat de stand van de condensator nu C' zijn. Vervolgens werd de condensator naar links gedraaid, tot de spanning weer de waarde $\frac{E_1}{\sqrt{2}}$ had.

De zo verkregen stand van de condensator zij C'' . Dan geldt: $\Delta C = C_1 - C' = C_1'' - C_1$, zodat ΔC uitgedrukt in schaaldelen van de condensator, gevonden is.

Daarop werd het, met het te onderzoeken diëlektrikum gevulde meetvat C_x parallel op de regelbare condensator C geschakeld en deze weer ingesteld op maximale spanning E_2 in de kring. Zij de hierbij behorende condensatorstand C_2 , dan is de gezochte waarde van $\operatorname{tg} \delta$ gegeven door de betrekking:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\Delta C}{C_1 - C_2} \cdot \frac{E_1 - E_2}{E_2}$$

De frequentie van de wisselstroom werden op dezelfde wijze bepaald als bij de thermiese verliesmeting.

Alvorens echter tot de metingen over te gaan, geven we in het onderstaande enige formules, die bij het bespreken van de resultaten gebruikt zullen worden.

Debye vond voor de tangens van de verlieshoek δ bij een polaire stof.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(\epsilon_0 - n^2) (n^2 + 2) (\epsilon_0 + 2) \omega \tau}{\epsilon_0 (n^2 + 2)^2 + n (\epsilon_0 + 2)^2 \omega^2 \tau^2} \quad (\text{formule I})$$

terwijl voor de diëlektriese-konstante ϵ de betrekking bestaat:

$$\epsilon = \frac{n^2 (\epsilon_0 + 2)^2 \omega^2 \tau^2 + \epsilon_0 (n^2 + 2)^2}{(n^2 + 2)^2 + (\epsilon_0 + 2)^2 \omega^2 \tau^2} \quad (\text{formule II})$$

Hierin betekent ϵ_0 de diëlektriese konstante bij konstante spanning, n de brekingsindex, ω 2π maal het aantal perioden van de wisselstroom per seconde en τ de relaxatie-tijd.

Voor de relaxatie-tijd τ geldt:

$$\tau = \frac{4 \pi \eta a^3}{K T} \quad (\text{formule III})$$

waarin a de straal van het molekuul, K de konstante van Boltzmann, T de absolute temperatuur en η de viscositeit is. Bij de afleiding van deze laatste formule is ondersteld dat de wet van Stokes voor de inwendige wrijving ook nog geldt als de roterende deeltjes molekulen zijn.

Verlieshoekmeting aan olie V.

Nadat de olie in het meetvat gedaan was, werd op de in het bovenstaande beschreven wijze, bij verschillende frequenties ν van de wisselstroom, de $\text{tg } \delta$ gemeten. De resultaten zijn opgegeven in tabel XII. Bovendien geeft fig. 20 het verband weer, dat er bestaat tussen $\text{tg } \delta$ en ν

TABEL XII.

ν	$\text{tg } \delta$	ϵ
$2,72 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	2,71
$15,4 \cdot 10^4$	$13,0 \cdot 10^{-3}$	2,71
$31,6 \cdot 10^4$	$18,0 \cdot 10^{-3}$	2,71
$80,0 \cdot 10^4$	$30,0 \cdot 10^{-3}$	2,64
$127,0 \cdot 10^4$	$40,0 \cdot 10^{-3}$	2,59

Hieruit blijkt, dat $\text{tg } \delta$ niet lineair met ν toeneemt. De kromme die het verband aangeeft tussen $\text{tg } \delta$ en ν is konvex van boven, d.w.z. deze kromme begin naar een maximum te streven. Hiermee klopt kwalitatief het verloop van de diëlektrische konstante ϵ (zie tabel XII-, die vanaf $\nu = 31,6 \cdot 10^4$ steeds afneemt.

Vervolgens is een hoeveelheid van deze olie in vacuo gefraktioneerd gedestilleerd, teneinde na te gaan welke molekuulgroepen van de olie voor de verliezen aansprakelijk zijn.

Het bleek dat bij een druk van 2 mm kwik en een temperatuur van 100° C. de lichtste frakties overdestilleerden.

De verwarming geschiedde zeer langzaam. Het gedeelte dat overdestilleerde in het temperatuursinterval $100^\circ \text{ C.} - 120^\circ \text{ C.}$ werd

in een glazen kolfje opgevangen. Daarna werd dit kolfje verwijderd en door een ander vervangen, waarin het gedeelte verzameld werd, dat overdestilleerde in het temperatuursinterval $120^{\circ}\text{C}.$ — $140^{\circ}\text{C}.$

Zodoende zijn er 5 verschillende frakties van olie V verkregen, die resp. overgedestilleerd zijn in de temperatuursintervallen. $100^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}; 120^{\circ}\text{C} - 140^{\circ}\text{C}; 140^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}; 160^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$ en $180^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}.$

In de destilleerkolf bleef een donkere massa over, die na afkoeling de viscositeit van stroop had.

Van deze frakties zijn vervolgens de waarden voor $\text{tg } \delta$ bepaald als functie van de frequentie ν , terwijl tevens de diëlektrische konstante ϵ bij iedere frequentie gemeten is.

In tabel XIII en fig. 20 vindt men de verkregen uitkomsten.

TABEL XIII.

ν	destillaatolie V ($100^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$)		destillaatolie V ($140^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}$)		destillaatolie V ($180^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$)		restantolie V	
	$\text{tg } \delta$	ϵ	$\text{tg } \delta$	ϵ	$\text{tg } \delta$	ϵ	$\text{tg } \delta$	ϵ
$2,72 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,08	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,20	$0,5 \cdot 10^{-3}$	2,37	$65,0 \cdot 10^{-3}$	2,56
$7,7 \cdot 10^4$							$72,0 \cdot 10^{-3}$	2,30
$15,4 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,09	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,20			$65,0 \cdot 10^{-3}$	2,30
$31,6 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,08	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,20	$4,0 \cdot 10^{-3}$	2,37	$53,0 \cdot 10^{-3}$	2,26
$80,0 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,08	$0,5 \cdot 10^{-3}$	2,20	$12,0 \cdot 10^{-3}$	2,37	$40,0 \cdot 10^{-3}$	2,18
$127,0 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,08	$1,0 \cdot 10^{-3}$	2,20	$19,0 \cdot 10^{-3}$	2,37	$38,0 \cdot 10^{-3}$	2,15

De verliezen, veroorzaakt door de lichtste frakties van olie V zijn dus te verwaarlozen. Het verlies wordt pas merkbaar bij het destillaat ($140^{\circ}\text{C}.$ — $160^{\circ}\text{C}.$).

Verder blijkt dat $\text{tg } \delta$ evenredig met de frequentie ν toeneemt, wat dus betekent, dat in dit frequentiegebied $\omega^2 \tau^2 \ll 1$ is. Volgens formule II op blz. 50 moet dus ϵ in dit frequentiegebied konstant zijn, wat ook in overeenstemming met de waarnemingen is. Een geheel afwijkend gedrag vertoont het restant van olie V.

Uit fig. 20 blijkt, dat $\text{tg } \delta$ een maximum bereikt bij $\nu = 8 \cdot 10^4$ perioden/seconde. De diëlektrische konstante van deze stof neemt monotoon met de frequentie af (zie tabel XIII), wat ook klopt met de formule II op blz. 50.

Als bijzonderheid valt hier op te merken, dat de diëlektrische konstanten van alle destillaten benevens die van het restant van olie V kleiner zijn dan de diëlektrische konstante van olie V. Voor de destillaten is dit begrijpelijk, omdat bij het destilleren eerst de

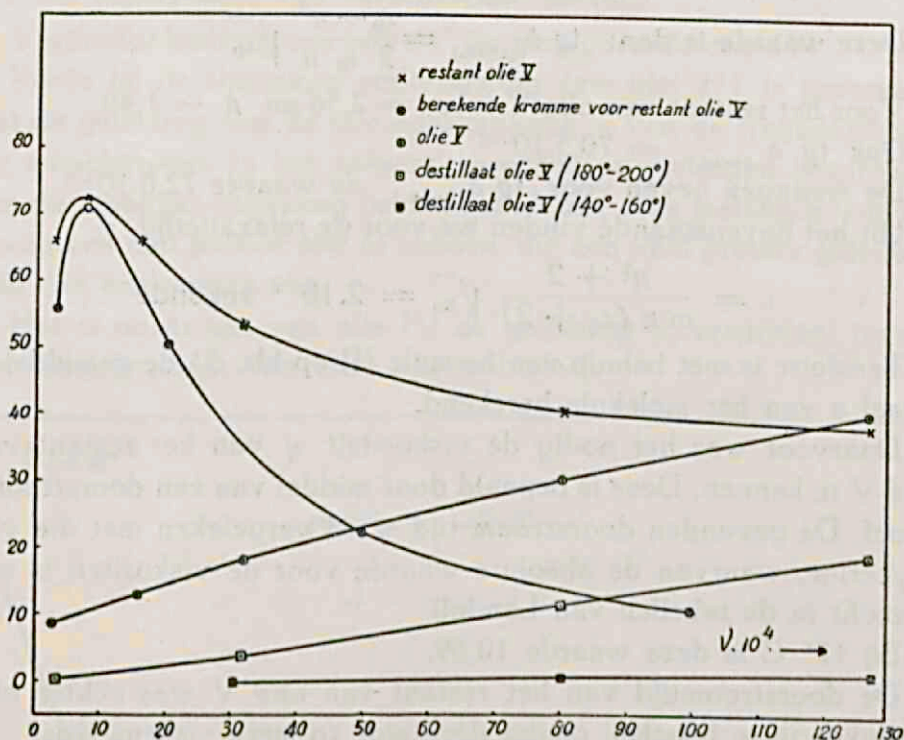


Fig. 20.

kleinste molekulen, dus de molekulen met het kleinste dipoolmoment, overgaan.

Bij het restant van olie V zou men verwachten dat het gemiddelde dipoolmoment van de molekulen groter zou zijn als bij olie V, zodat de diëlektrische konstante ook groter moet zijn

De waarnemingen bewijzen echter het tegendeel. Dit zou te verklaren zijn, door aan te nemen dat er bij het restant een sterke associatie optreedt, waardoor het gemiddelde dipoolmoment kleiner wordt. Deze aanname wordt gerechtvaardigd door de polarisatiemetingen (zie fig. 14) waaruit bleek dat reeds bij olie V zelf associatie optrad.

Hoewel we dus geen quantitative overeenkomsten met de dipooltheorie van Debye mogen verwachten, is toch in het onderstaande eens nagegaan in hoeverre de resultaten met deze theorie

in overeenstemming zijn. Uit formule I op blz. 50 volgt, dat $\text{tg } \delta$ maximaal wordt voor:

$$\omega \tau = \frac{n^2 + 2}{n(\epsilon_0 + 2)} \sqrt{\epsilon_0}$$

Deze waarde is dan: $\text{tg } \delta_{(\text{max.})} = \frac{\epsilon_0 - n^2}{2 \epsilon_0 n} \sqrt{\epsilon_0}$

Voor het restant van olie V is $\epsilon_0 = 2,56$ en $n = 1,49$.

Dus $\text{tg } \delta_{(\text{max.})} = 70,5 \cdot 10^{-3}$.

De metingen geven voor $\text{tg } \delta_{(\text{max.})}$ de waarde $72,0 \cdot 10^{-3}$

Uit het bovenstaande vinden we voor de relaxatietijd τ

$$\tau = \frac{n^2 + 2}{\omega n (\epsilon_0 + 2)} \sqrt{\epsilon_0} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ sekonde}$$

Tenslotte is met behulp van formule III op blz. 51 de gemiddelde straal a van het molekule berekend.

Daarvoor was het nodig de viskositeit η van het restant van olie V te kennen. Deze is bepaald door middel van een doorstroomproef. De gevonden doorstroom tijd werd vergeleken met die van glycerine, waarvan de absolute waarde voor de viskositeit is opgezocht in de tabellen van Landoll.

Bij 17° C is deze waarde 10,69.

De doorstroomtijd van het restant van olie V was echter niet nauwkeurig te bepalen, omdat deze stof zo sterk viskeus was.

Deze tijd was ongeveer honderd maal zo groot als die van glycerine.

Dus η (restant olie V) = 1070.

Voor de gemiddelde straal a van het molekuul is dan gevonden

$$a = 1,55 \cdot 10^{-8} \text{ cm.}$$

Deze waarde is erg klein, daar men bij deze stof met zijn groot molekulaair gewicht een vrij grote waarde voor a mag verwachten. Men kan dit aldus verklaren, dat bij de draaiing van het molekuul een kleinere viskositeit optreedt, als in werkelijkheid gemeten wordt. Het is niet onwaarschijnlijk, dat dit het gevolg is van de associatie.

In fig. 20 is de theoretiese kromme getekend, welke gevonden is, door van de verschillende frequenties ν , met de gegeven grootheden ϵ , n en τ uit de formule van Debye, de $\text{tg } \delta$ te berekenen. Deze berekende kromme ligt geheel beneden de experimenteel

gevondene. Dit zou men kunnen toeschrijven aan het feit, dat de theoretiese kromme alleen geldt voor een monomoleculaire stof, terwijl het restant van olie V molekulen van verschillende grootte bevat. Het experimenteel gevonden maximum is dan op te vatten als een superpositie van verschillende maxima.

Verlieshoekmeting aan olie IV en geoxydeerde olie IV.

Reeds bij de thermiese verliesmeting (zie blz. 27) is gevonden, dat de geleiding van de olie onafhankelijk is van de frequentie van de wisselstroom. In het volgende worden nu metingen besproken, die dit resultaat nagenoeg bevestigen. Voor deze metingen was het nodig een niet polaire olie te hebben, die een veel grotere geleiding had dan een polaire olie.

Het is nu gelukt van olie IV de geleiding te vergroten, terwijl het dipoolmoment van deze olie nul bleef.

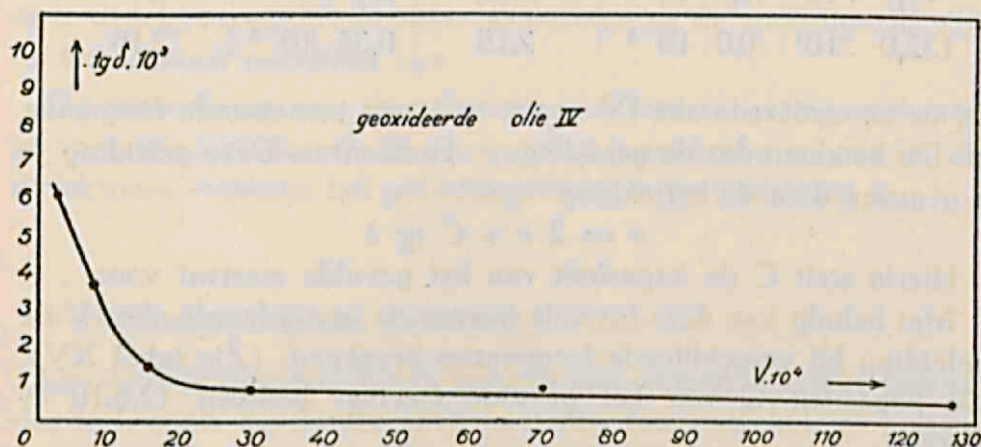


Fig. 21.

Dit is op de volgende manier bereikt. 2 Glazen kolfjes, beide van 100 cc, gevuld met olie IV, zijn gedurende 10 uur bij een temperatuur van 100°C gepompt. Daarna werd een van de kolfjes luchtdicht afgesloten. Het andere werd geplaatst in een oliebad van 130°C , waarna met behulp van een zuurstofcylinder een zuurstof-atmosfeer van 10 mm overdruk boven de olie gebracht werd. Na 8 uur was de olie sterk geoxydeerd, terwijl de kleur van blank in rood was overgegaan. Hierna werd het kolfje met de geoxydeerde olie gedurende 10 uur gepompt.

Van deze geoxydeerde en niet geoxydeerde olie IV is de geleiding bij konstante spanning gemeten. Het bleek, dat de geleiding

van de geoxydeerde olie IV 17,5 maar zo groot was als die van olie IV. Tevens is de diëlektrische konstante ϵ en $\text{tg } \delta$ bij verschillende frequenties bepaald. (Zie tabel XIV).

Tabel XIV.

ν	olie IV		geoxydeerde olie IV	
	$\text{tg } \delta$	ϵ	$\text{tg } \delta$	ϵ
$2,90 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,16	$6,10 \cdot 10^{-3}$	2,16
$7,7 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,16	$3,7 \cdot 10^{-3}$	2,16
$15,4 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,16	$1,4 \cdot 10^{-3}$	2,16
$31,6 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,16	$0,9 \cdot 10^{-3}$	2,16
$70,0 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,16	$0,9 \cdot 10^{-3}$	2,16
$132,0 \cdot 10^4$	$0,0 \cdot 10^{-3}$	2,16	$0,35 \cdot 10^{-3}$	2,16

Bij de geoxydeerde olie IV neemt $\text{tg } \delta$ met toenemende frequentie af. Dit betekent dat de geleiding σ konstant is. Deze geleiding σ is gegeven door de betrekking

$$\sigma = 2 \pi \nu C \text{tg } \delta$$

Hierin stelt C de capaciteit van het gevulde meetvat voor.

Met behulp van deze formule is voor de geoxydeerde olie IV de geleiding bij verschillende frequenties berekend. (Zie tabel XV). De capaciteit C van het gevulde meetvat bedroeg $12,6 \cdot 10^{-11}$ Farad.

TABEL XV

ν	$\text{tg } \delta$	σ	$R = \frac{1}{\sigma}$ (in Ohms)
$2,9 \cdot 10^4$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^6$
$7,7 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^6$
$15,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^6$
$31,6 \cdot 10^4$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^6$
$70,0 \cdot 10^4$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^6$
$132,0 \cdot 10^4$	$0,35 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^6$

Neemt men het gemiddelde van de voor R gevonden waarden, dan volgt dus hieruit dat de weerstand van de geoxydeerde olie IV in het meetvat $4,2 \cdot 10^6$ Ohm is.

Bij een konstante spanning van 500 Volt op de meetkondensator was de stroom door de olie $9,5 \cdot 10^{-5}$ Ampère. Dus $R = 5,25 \cdot 10^6$ Ohm.

Een betere overeenstemming verkrijgt men, als de weerstand bepaald wordt uit de waarden, bij de vier laagste frequenties gevonden. Dan vindt men $R = 5,1 \cdot 10^6$ Ohm. Derhalve zou er dus bij de hogere frequenties een kleine verandering in de geleiding optreden.

Volgens Debye ⁴⁾ treedt er bij sterke elektrolieten in een wisselend elektrisch veld van zeer hoge frequentie een toename van de geleiding op. Het is echter onmogelijk hier iets kwantitatiefs over te zeggen, omdat de zuurconcentratie en de waardigheid van de ionen totaal onbekend zijn.

De verandering van de geleiding is echter zo gering, dat men in vergelijking met de polaire oliën gerust mag besluiten dat bij de diëlektrische verliezen het geleidingseffekt te verwaarlozen is.

Verlieshoekmeting aan glycerine.

Om de diëlektrische verliezen van een niet monomoleculaire polaire vloeistof, zoals de meeste oliën, met een monomoleculaire polaire vloeistof te kunnen vergelijken, is een vloeistof genomen, die, wat viscositeit en dipoolmoment aangaat, niet veel met een polaire olie verschilt. Voor deze vloeistof is glycerine gekozen. De glycerine, die uit de handel verkregen werd, bleek echter zó niet geschikt voor de meting, omdat ze te veel water bevatte. Daarom is $1\frac{1}{2}$ liter glycerine enige malen achtereen in vacuo gedestilleerd. Bij de eerste destillatie kwam een hoeveelheid van ± 20 cc water vrij. De overblijvende glycerine is nog drie maal gedestilleerd, waarbij telkens de eerste 10 cc die overging in een apart kolfje werd opgevangen. Het gedeelte, dat na de laatste destillatie overbleef, is voor de metingen gebruikt. De verkregen resultaten zijn in tabel XVI te vinden. In fig. 22 is voor glycerine $\tan \delta$ uitgezet als functie van de frequentie ν .

Tabel XVI.

ν	$\operatorname{tg} \delta$ (gemeten)	$\operatorname{tg} \delta$ $\left(\begin{array}{c} \text{berekend uit} \\ \sigma = 13,2 \cdot 10^{-7} \end{array} \right)$	$\operatorname{tg} \delta$ $\left(\begin{array}{c} \text{dipool} \\ \text{bijdragen} \end{array} \right)$	ε
$2,9 \cdot 10^4$	$67 \cdot 10^{-3}$	$65 \cdot 10^{-3}$	0	40,0
$7,7 \cdot 10^4$	$24,5 \cdot 10^{-3}$	$24 \cdot 10^{-3}$	0	40,1
$15,4 \cdot 10^4$	$11,8 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	0	40,1
$31,6 \cdot 10^4$	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	39,7
$70,0 \cdot 10^4$	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	40,0
$132,0 \cdot 10^4$	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	39,8

Fig. 22 toont dat $\operatorname{tg} \delta$ ongeveer tot de frequentie $\nu = 30,0 \cdot 10^4$ voortdurend afneemt om vervolgens weer toe te nemen. Deze continue afname van $\operatorname{tg} \delta$ klopt volkomen met een konstante geleiding. Deze geleiding σ is berekend met de formule $\sigma = 2 \pi \nu C \operatorname{tg} \delta$ en is tot de frequentie $\nu = 25 \cdot 10^4$ gelijk aan de geleiding, gemeten bij konstante spanning. Uit tabel XVI volgt, dat de gemiddelde waarde van de geleiding is $\sigma = 13,2 \cdot 10^{-7}$, dus $R = \frac{1}{\sigma} = 7,5 \cdot 10^5$ Ohm.

Bij een konstante spanning van 220 Volt aan de elektroden van het meetvat was de stroom $2,72 \cdot 10^{-4}$ Ampère, dus $R = 8,1 \cdot 10^5$ Ohm.

In kolom 3 van tabel XVI zijn de waarden van $\operatorname{tg} \delta$ opgegeven, die berekend zijn met behulp van een geleiding $\sigma = 13,2 \cdot 10^{-7}$. Het verschil in de gemeten en berekende waarden voor $\operatorname{tg} \delta$ is een bijdrage tengevolge van het dipool-effect. Deze waarden zijn in de vierde kolom van tabel XVI te vinden.

Zoals uit fig 22 blijkt, is de dipoolbijdrage in $\operatorname{tg} \delta$ evenredig met ν . De formule voor $\operatorname{tg} \delta$ (zie blz. 50) wordt dus hier

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(\varepsilon_0 - n^2) (\varepsilon_0 + 2)}{\varepsilon_0 (n^2 + 2)} \omega \tau$$

Voor glycerine is gevonden $\varepsilon_0 = 40$ en $n = 1,48$. Met toepassing van bovenstaande formule van $\operatorname{tg} \delta$ is de relaxatie tijd voor glycerine berekend (zie tabel XVII).

Tabel XVII.

ν	$\text{tg } \delta$	τ
$40 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$ sekonde
$70 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$ sekonde
$132 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$ sekonde

Nemen we als gemiddelde waarde van de relaxatie tijd $\tau = 1,2 \cdot 10^{-10}$ sekonde, dan is met behulp van formule III van blz. 51 de straal a van het molekuul te berekenen. De temperatuur is $T = 298$, terwijl de viskositeit $\eta = 10,7$ is. Hieruit volgt voor de straal van het molekuul de waarde $a = 3,4 \cdot 10^{-9}$ cm.

Mizushima ⁵⁾ vond hiervoor $a = 3,5 \cdot 10^{-9}$ cm. Beiden waarden zijn echter te klein. Hiervoor zou weer eenzelfde verklaring te geven zijn als voor het restant van olie V (zie blz. 54).

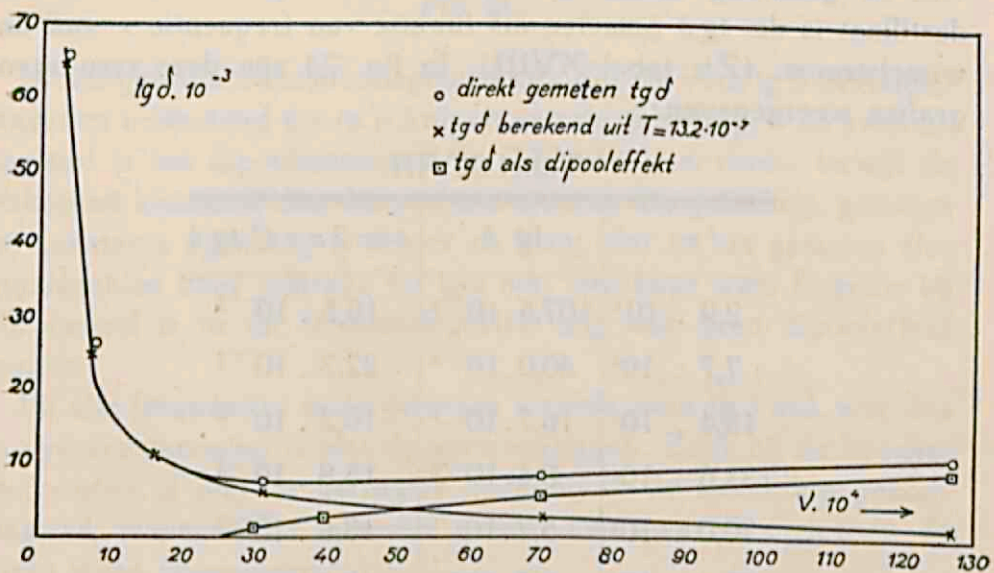


Fig. 22.

Verder dient nog opgemerkt te worden, dat bij glycerine de diëlektrische konstante ϵ onafhankelijk is van de frequentie van de wisselstroom en gelijk aan de waarde bij konstante spanning is. *)

Dit betekent dus dat $\text{tg } \delta$ evenredig met ν moet zijn wat in fig. 22 te zien is.

*) Deze waarde is gevonden uit de tabellen van Landoll.

Verlieshoekmeting aan nitrobenzol.

In verband met de voorgaande metingen aan polaire stoffen met vrij grote viskositeit, was het van belang hiernaast enige polaire vloeistoffen te onderzoeken waarvan de viskositeit veel kleiner was. De keuze viel op nitrobenzol en zwavelkoolstof. Nitrobenzol heeft een groot dipoolmoment ($\mu = \pm 3,8 \cdot 10^{-18}$ e.s. eenh.), doch de viskositeit is zo klein, dat volgens de theorie van Debye bij de hier toegepaste frequenties van de wisselstroom het dipool-effekt nog niet meetbaar is.

De uit de handel verkregen nitrobenzol had een zeer grote geleiding, wat waarschijnlijk moet toegeschreven worden aan het salpeterzuur, dat bij de bereiding gebruikt is.

Door middel van gefractioneerde destillatie is getracht het aanwezige water en zuur te verwijderen. Na een bepaalde hoeveelheid nitrobenzol verscheidene malen achtereen gedestilleerd te hebben was de geleiding echter bijna niets kleiner geworden. Van dit destillaat is de $\text{tg } \delta$ gemeten als funktie van frequentie ν van de wisselstroom. (Zie tabel XVIII). In fig. 23 zijn deze resultaten grafies weergegeven.

Tabel XVIII.

ν	$\text{tg } \delta$	$\sigma = 2\pi\nu C \text{ tg } \delta$
$2,9 \cdot 10^4$	$107,5 \cdot 10^{-3}$	$16,5 \cdot 10^{-7}$
$7,7 \cdot 10^4$	$40,0 \cdot 10^{-3}$	$22,3 \cdot 10^{-7}$
$15,4 \cdot 10^4$	$16,7 \cdot 10^{-3}$	$16,2 \cdot 10^{-7}$
$31,6 \cdot 10^4$	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$15,8 \cdot 10^{-7}$
$70,0 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$18,8 \cdot 10^{-7}$
$132,0 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$18,9 \cdot 10^{-7}$

De kapasiteit C van het gevulde meetvat was $C = 9,75 \cdot 10^{-11}$ Farad.

Hieruit volgt dus als gemiddelde waarde voor de geleiding: $\sigma = 18,0 \cdot 10^{-7}$. De weerstand van de nitrobenzol in het meetvat is dus

$$R = \frac{1}{\sigma} = 5,55 \cdot 10^5 \text{ Ohm.}$$

Bij een konstante spanning van 225 Volt aan de elektroden van het meetvat was de stroom $38,6 \cdot 10^{-5}$ Ampère; dus $R = 5,72 \cdot 10^5$ Ohm.

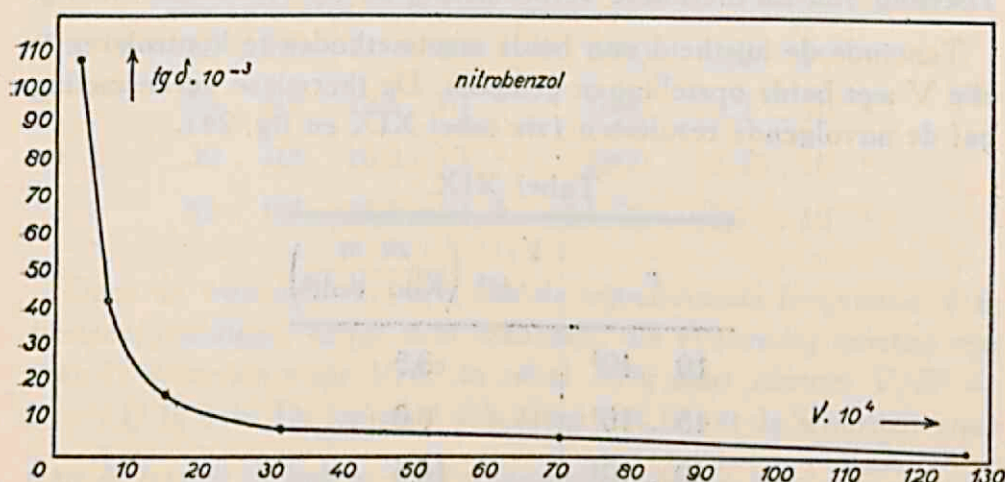


Fig. 23.

In het gebruikte frequentiegebied zijn dus de voor $\text{tg } \delta$ gevonden waarden uitsluitend toe te schrijven aan de geleiding. Van zwavelkoolstof is het dipoolmoment $\mu = 0,33 \cdot 10^{-8}$ e.s. eenh., terwijl de viskositeit kleiner is dan die van nitrobenzol. De geleiding, gemeten bij konstante spanning is echter zo klein, dat in het gemeten frequentiegebied haar bijdrage tot $\text{tg } \delta$ niet meetbaar was. Evenals bij nitrobenzol is in dit frequentiegebied nog van geen dipool-effekt sprake.

Bij alle frequenties is de gemeten waarde voor $\text{tg } \delta$ nul, wat dus in overeenstemming is met de verwachtingen. Zelfs bij de hoogste frequenties is niet de geringste demping in de meetkring geconstateerd, wanneer het meetvat, gevuld met zwavelkoolstof, in de kring werd opgenomen.

HOOFDSTUK IV.

Toetsing van de thermiese verliesmeting en de verlieshoekmeting.

Teneinde de juistheid van beide meetmethodes te kontroleren is olie V met beide opstellingen gemeten. De thermiese verliesmeting gaf de navolgende resultaten (zie tabel XIX en fig. 24).

Tabel XIX.

ν	$V/E^2 \left(\frac{m}{Kilo} \frac{m}{Volt^2} \right)$
$10 \cdot 10^4$	3,5
$15 \cdot 10^4$	6,0
$30 \cdot 10^4$	16,5
$53 \cdot 10^4$	35,0

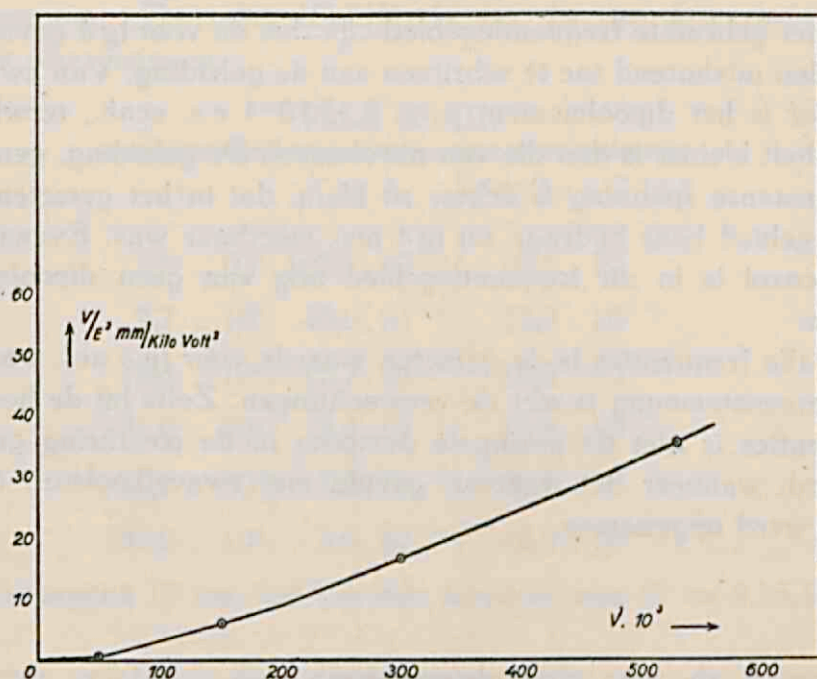


Fig. 24.

Uit fig. 20 zijn voor olie V de waarden voor $\text{tg } \delta$ bij bovengenoemde frequenties bepaald en opgegeven in de 2de kolom van tabel XX.

Tabel XX.

ν	$\text{tg } \delta$	$\nu \text{ tg } \delta$	$\frac{V/E^2}{\nu \text{ tg } \delta} = k$
$10 \cdot 10^4$	$11 \cdot 10^{-3}$	1100	$3,2 \cdot 10^{-3}$
$15 \cdot 10^4$	$12,5 \cdot 10^{-3}$	1880	$3,2 \cdot 10^{-3}$
$30 \cdot 10^4$	$16,0 \cdot 10^{-3}$	4800	$3,45 \cdot 10^{-3}$
$53 \cdot 10^4$	$21,5 \cdot 10^{-3}$	11400	$3,1 \cdot 10^{-3}$

Door de waarden van $\text{tg } \delta$ met de bijbehorende frequentie ν te vermenigvuldigen, krijgt men waarden, die evenredig moeten zijn met de waarden voor V/E^2 in tabel XIX daar immers $V/E^2 = 2 \pi \nu C \text{ tg } \delta$ is. De kolom 3 van tabel XX bevat de waarden voor $\nu \text{ tg } \delta$, terwijl in kolom 4 de uitkomsten voor $k = \frac{V/E^2}{\nu \text{ tg } \delta}$ zijn opgegeven.

Hieruit volgt dus, dat beide meetmethodes kwalitatief dezelfde resultaten opleveren.

In het volgende wordt bij de frequentie $\nu = 5 \cdot 10^5$ de kwantitatieve overeenstemming voor de beide methodes aangetoond. In de formule $V/E^2 = 2 \pi C \nu \text{ tg } \delta$ betekent V het verlies in het diëlektrikum, uitgedrukt in Watts; C de capaciteit van het gevulde meetvat, gebruikt bij de thermiese verliesmeting en E de hieraan aangelegde spanning in Volts.

Nu was $C = 77 \cdot 10^{-12}$ Farad en $\text{tg } \delta = 21 \cdot 10^{-3}$

$$\text{Dus } V/E^2 = 5,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Watt}}{\text{Volt}^2}$$

Bij de thermiese verliesmeting is het verlies, uitgedrukt in uitslagen van de galvanometer, bij $\nu = 5 \cdot 10^5$ en $E = 1000$ Volt gelijk aan 32,5 mm. Voor het thermoelement geldt de betrekking $dE = 26,9 \cdot 10^{-6} dT$, waarin dT het temperatuurverschil van de contactplaatsen, uitgedrukt in graden, aangeeft; dE is het daardoor optredende spanningsverschil in Volts.

De spanningsgevoeligheid van de Moll-galvanometer is, $1,42 \cdot 10^{-6}$ Volt/mm.

Het spanningsverschil aan de galvanometerklemmen is dus

46.10^{-6} Volt, waaruit dan voor de temperatuursverhoging van het diëlektrikum per minuut volgt: $dT = 1,72^{\circ} \text{ C.}$

De waterwaarde van het meetvat gevuld met de te onderzoeken olie is 44 kal/graad . De per sekonde in de olie ontwikkelde warmte is dus $\frac{1,72 \cdot 44}{60} \text{ kaloriën} = 5,25 \text{ Watt.}$

dus $76 \text{ kaloriën} = 5,25 \text{ Watt.}$

$$\text{Dus } V/E^2 = 5,25 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Watt}}{\text{Volt}^2}$$

Hieruit blijkt dus, dat beide meetmethodes, zowel kwalitatief als kwantitatief dezelfde resultaten geven.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die dielektrischen Verluste in mineralischen Ölen in Wechselfeldern von hoher Frequenz werden nach zwei Methoden gemessen. Bei der ersten Methode wird der Verlust thermoelektrisch bestimmt. Der Verlust V pro Sekunde war bei jeder Frequenz ν dem Quadrat der Spannung E proportional, während für die meisten Öle die Grösze V/E^2 dem Quadrat der Frequenz ν proportional war.

Weiter sind an den Ölen Polarisationsmessungen ausgeführt worden. Dabei stellte sich heraus, dass das Paraffinöl IV nicht polar ist. Alle aromatischen Öle zeigten aber eine Polarität. Die Polarisations- und Verlustmessungen widersprechen sich nirgends und die Öle stimmen in qualitativer Hinsicht zu der Debyeschen Theorie der dielektrischen Verluste in polaren Flüssigkeiten; d. h., nur die aromatischen Öle haben ausser einer konstanten Leitfähigkeit einen von der Frequenz bedingten Verlust, der der Polarität zuzuschreiben ist. Das Paraffinöl IV hatte lediglich eine konstante Leitfähigkeit. Die zweite Anordnung zur Messung der Verluste führte zu einer Bestimmung der Grösze $\operatorname{tg} \delta$ als Funktion der Frequenz des Wechselfeldes. Einige Destillate des polaren Öles V sind gemessen worden.

Der Rest des Öles V, der nach der Destillation übrig blieb, hatte für $\operatorname{tg} \delta$ ein Maximum bei einer Frequenz $\nu = 8 \cdot 10^4$ Perioden pro Sekunde. Daraus ergab sich unter Anwendung der Debyeschen Dipoltheorie ein mittlerer Molekülradius $a = 1,55 \cdot 10^{-8}$ cm.

An Glycerin ist $\operatorname{tg} \delta$ als Funktion der Frequenz gemessen worden. Erst bei hohen Frequenzen zeigten sich die Dipoleffekte. Auch hier war der berechnete Molekülradius viel zu klein. Nitrobenzol hat ausser einer konstanten Leitfähigkeit keinen Verlust, während sich der Verlust für Schwefelkohlenstoff wegen der ausserordentlich kleinen Viskosität nicht nachweisen liess.

LITERATUUR.

- 1) K. W. Wagner. Ann d Phys. 40, 1931. pag. 817.
Ann f El 2, 1914 pag. 371.
Ann f El 3, 1914 pag. 105.
- 2) P. Debye. Polare Molékelen.
- 3) Th. J. Weyers. Tijdschrift van het Nederlands Radio-genootschap.
- 4) P. Debye. Physik Ztschr. 5, 1928 pag. 121 en pag. 401.
- 5) I. Mizushima. Phys. Ztsch. 28, 1927 pag. 418.

STELLINGEN.

I.

De bewering van E. Lau en O. Reichenheim, dat de verhouding van het aantal atomen tot het aantal molekulen in een Woodse-buis evenredig met de aangelegde spanning is, is niet juist.

Ann. d. Phys. 1929. 5e Folge. Bd. 3. pag. 840.

II.

Bij de ijking van standaardlampen moet men zorgvuldig tocht vermijden.

III.

D. H. Menzel's bepaling van de zelfabsorptie in de chromosfeer is voor een aantal spektraallijnen onjuist, doordat hij geen rekening gehouden heeft met de demping.

Lick. Obs. Publ. 1931. 17. pag. 262.

IV.

Gedeeltelijk ten onrechte beweert C. T. Zahn, dat het verloop van de kromme, die bij waterdamp het verband aangeeft tussen $\varepsilon - 1$ en de druk p in strijd is met de theorie van de associatie (ε is de diëlektrische konstante).

Phys. Rev. 1926. vol. 27. pag. 329.

V.

De bepaling van de diëlektrische konstante van vloeistoffen, die een grote geleiding hebben, met behulp van een elektrische trillingskring, kan tot foutieve resultaten leiden.

VI.

Volgens Bruckman zijn de diëlektrische verliezen van een olie dezelfde, wanneer deze zich bevindt in een stikstof of een zuurstof atmosfeer. Dit is niet geheel juist.

Verslag: Conf. Int. d. Grands Réseaux Électr.
à Haute Tension, 1931.

VII.

Bij een goede transformatorolie zijn de dipoolverliezen ten opzichte van de geleidingsverliezen te verwaarlozen.

VIII.

De waarden, die E. J. Shaw vindt voor de veldsterkten van een elektromagneet zijn onjuist.

Rev. of Scientif. Instr. 1931. Vol. 2. pag. 611.

IX.

De bepaling van de gemiddelde elektronensnelheden in boogontladingen met behulp van een sonde geeft onjuiste resultaten.

