

OORSPRONKELIJKE BIJDAGEN

OPSTELLEN OVER ELECTRODIAGNOSTIEK EN ELECTROTHERAPIE IN DE TANDHEELKUNDE

DOOR

RENÉ HAMER

616.314 085.84

Het spreekt wel van zelf, dat de geneeskunde zoo oud is als het lijden. Na het weinig bekende tijdperk van den primitieven mensch, waarin de heekunde zich slechts bepaalde tot eenvoudige, maar toch doelmatige hulp na letsel, zooals dat ook bij de hooger ontwikkelde dieren gevonden wordt, ziet men de beoefenaars der magie — langzamerhand gesteund door terloops opgedane ervaring — met min of meer succes ook inwendige ziekten bestrijden. De onbeduidendheid der kennis werd toen, juist zooals dat ook nog bij den hedendaagschen kwakzalver het geval is, verborgen achter veel hocus-pocus. Uit dien tijd dateert de electrotherapie. Immers het blijkt, dat het zoeken naar genezing van allerlei kwalen door middel van de onbegrepen electriciteit zeer, zeer oud is. Reeds honderden en honderden jaren geleden, maakte men gebruik van elektrische baden, d.w.z. men dompelde zieken in vijvers, waarin een groot aantal sidderroggen (raja torpedo) rondzwom. Bij aanraking van zoo'n gedrocht, krijgt men een electrischen schok en men verwachtte, dat dit onbegrepen phenomeen niet nalaten zou een gunstigen invloed op het zieke organisme uit te oefenen. Wellicht berustte deze overtuiging op hetzelfde eigenaardige geloof, dat onze voorouders verleidde hun zieken een flinke aframmeling te geven, opdat de

booze geest — de verwekker van alle narigheid — op de vlucht zou slaan.

Omstreeks 600 jaar vóór Christus wist Thales van Milete, de Grieksche wijsgeer, dat barnsteen (ἤλεκτρον) door wrijving de eigenschap krijgt om lichte voorwerpen aan te trekken. De Romeinsche dichter Lucretius verhaalt, hoe de Grieken den magnetischen steen, die zich kenmerkt door ijzer vast te houden, vonden bij de stad Magnesia in Ionië. Dit is zoo ongeveer alles, wat in de oudste tijden over magnetische en electricische verschijnselen bekend was. Het duurde tot ± 1600 eer *Gilbert* — een Engelschman — ontdekte, dat behalve de bovengenoemde stof ook diamant, bergkristal, glas, zwavel en hars electricisch te maken zijn; om hun lading te controleeren, bediende hij zich van een metalen naald, die op een spil bevestigd was, zoodat hij gemakkelijk kon bewegen. Eerst in den loop van de XVIIIde eeuw begint men met eenig positief resultaat de statische electriciteit te bestudeeren. Tal van gewichtige ontdekkingen op dit gebied volgen dan elkander op en in 1786 doet *Galvani* zijn zoo beroemd geworden waarneming, als hij bemerkt, dat er in de achterpooten van pas geslachte kikvorschen spiercontracties optreden, zoodra men het ruggemerg en het vleesch van die extrimiteit door twee draden van verschillend metaal in geleidend verband brengt. Dit feit werd eerst verkeerd uitgelegd; Galvani meende namelijk, dat spieren in normalen toestand electricisch geladen waren en dat de contracties slechts het gevolg waren van ontladingen. Het verloop van de reactie meende hij te kunnen vergelijken met de ontlading van een Leidsche flesch (*Cuneus en Musschenbroek* 1746), waarvan men binnen- en buitenbeksels met elkander verbindt. *Volta* zag echter in de beide draden van verschillend metaal de bron van de electromotorische kracht en ten bewijze van de juistheid zijner zienswijze construeerde hij zijn alom bekende *zuil van Volta*. Dit was de eerste deugdelijke batterij, die in staat bleek te zijn een voortdurenden electricischen stroom te geven.

Praktische resultaten op medisch gebied blijven echter voor-

alsnog uit, dit is deels te wijten aan de hoogst primitieve instrumenten, deels ook aan de toen ter tijde nog zoo uiterst geringe kennis der ziekteprocessen.

De XIXde eeuw zag eindelijk de geleidelijke opbloei van de electrodiagnostiek en electrotherapie. De natuurkundigen *Ampère, Faraday, Maxwell, Orsted* en *Ohm* wijden zich allen met groot succes aan de bestudeering van de nog zoo verborgen eigenschappen van den electricischen stroom. Van enorm groot belang voor de physiologie was de galvanometer omstreeks 1830 door *Nobili* geconstrueerd; sindsdien steeds meer en meer verbeterd, totdat onze beroemde landgenoot *Prof. Einthoven* den uiterst gevoeligen snaargalvanometer ontwierp, waarmede vrijwel het ideaal bereikt is. De physiologen *Mateucci, Du Bois Reymond, Pflüger*, enz. doen hun talrijke onderzoekingen en ook de clinici *Benedikt, de Boulogne, Duchenne, Erb, Remak, Ziemssen* en anderen zorgen voor de verdere wetenschappelijke ontwikkeling. Dit tijdperk van snellen vooruitgang wordt besloten door de ontdekkingen van *Hertz, Tesla* en *Röntgen*. *Hertz* bestudeerde in 1888 den samenhang tusschen licht en electriciteit en vestigde daartoe speciaal zijn aandacht op de electricische trillingen. Hij verkreeg er met een trillingsgetal van 5×10^8 per seconde. *Tesla* ontdekte in 1892 „die electricische Wellenphänomene“, die optreden bij hoog gespannen wisselstroomen. De golflengte dezer Hertzsche golven is zeer verschillend, de kortste zijn golven met een lengte van $\pm 0,002$ M. en 5×10^{10} trillingen per seconde; bij de draadlooze telegraphie van *Marconi* gebruikt men veelal golven van 200 à 300 M., maar men kan ze desgewenscht verlengen tot 5000 M., ja zelfs tot 50 K.M. toe. *Tenslotte* vond *Röntgen* in 1895 de naar hem genoemde stralen. Vooral deze laatste ontdekking was van enorme beteekenis voor een meer nauwkeurige diagnostiek en — door zijn funeste werking op kiemende cellen — ook voor de therapie van gezwellen, waarbij hun invloed o.a. op de kleurlooze bloedlichaampjes niet uit 't oog verloren mag worden. Deze meer uitgebreide kennis en de verfijning der techniek

kwamen natuurlijk de snelle ontwikkeling van de toepassingen der electriciteit ten goede en zoo ontstond een belangrijk onderdeel van de geneeskunde.

De opgedane ervaringen hebben menigeen in staat gesteld de lijdende menschheid groote diensten te bewijzen, al ontbreekt er nog veel aan ons weten en al wordt ook soms kwaad gedaan aan de reputatie van de electrotherapie door een zekere neiging om telkens, wanneer een nieuw instrument in den handel wordt gebracht, dit voor te stellen als een panacée, hetgeen natuurlijk tot groote teleurstellingen moet leiden.

De eerste goede elektrische machine speciaal voor gebruik bij de tandheelkunde was „the electro magnetic mallet” in 1874 door *William G. A. Bonwill* samengesteld.

Electrodiagnostiek.

De diagnose heeft ten doel ziekte of beschadiging van de weefsels te onderkennen en te beoordeelen en — in zooverre dit geschiedt met behulp van electriciteit of van door electrischen stroom gedreven instrumenten — heet dit electrodiagnostiek, die vooral bij onderzoek van afwijkingen in het zenuwstelsel en hartaandoeningen (snaargalvanometer v. Einthoven) een voorname plaats inneemt.

Men gebruikt daarbij de electriciteit vooreerst als lichtbron en wel 1) voor de inspectie als kamer- of hoofdlamp, 2) voor endoscopie, om in verbinding met spiegels moeilijk te bereiken plaatsen te belichten, 3) voor diascopie (anthrum) en 4) voor 't vervaardigen van Röntgenbeelden, hezij op een scherm van bariumplatinocyanuur of een gevoelige plaat.

Volledigheidshalve zij hier vermeld, dat bij de percussie en auscultatie de electriciteit soms toepassing vindt ter versterking of overbrenging der geruischen. Het is bekend, dat de toestand, waarin de omgeving van de apex verkeert, invloed uitoefent op het geluid, dat ontstaat, wanneer men een tand beklopt. We zijn dus nu in staat, zoo men wil, deze geluiden beter waar te nemen en gemakkelijker te onderscheiden door middel van een telephoon.

Voor het onderzoek van spieren, motorische en sensibele zenuwen wordt geprikkeld met electrischen stroom, bovendien wordt de weerstand, die de verschillende deelen van het lichaam aan dien stroom bieden, gecontroleerd en daarnaar conclusies genomen. Hierbij geldt als algemeene regel, dat het onderzoek links en rechts plaats heeft om de reactie van het zieke en gezonde orgaan te vergelijken; immers het reageeren op electrische prikkels is zeer subjectief en er bestaat nog geen standaard meetinstrument, dat algemeen gebruikt wordt. Bij onderzoek van de tandpulpa kan men zoowel galvanischen als faradischen — dus van een inductorium den primairen of den secundairen draad — gebruiken ¹⁾.

In de electrotherapie vindt, naast behandeling met galvanische, faradische en andere stroomsoorten, ook het blootstellen van den patiënt aan condensatorontladingen plaats. Wanneer men een electrischen stroom door het lichaam (= een geleider met een zeer groot oppervlak) leidt, onderscheidt men 2 perioden; de eerste gedurende welke het lichaam geladen wordt, de tweede, waarin het lichaam geladen is en dit is dan slechts te beschouwen als geleider van een constanten stroom. Daar nu de prikkelverschijnselen, welke de sensibele en motorische organen vertoonen, voornamelijk gedurende de éérste periode optreden, ligt het voor de hand de laatste uit te schakelen; daarom gebruikt men dus ontladingen van condensators; deze zijn gelijk te stellen met het telkens weer sluiten van den stroom. Hun uitwerking vertoont zeer veel overeenkomst met die van den faradischen stroom, maar aanzien wij vooral b.v. in de diagnostiek bij het bepalen van den toestand, waarin de pulpa van een zeker element verkeert, onze bevindingen gaarne in absolute maten zouden zien uit-

¹⁾ W. J. C. Fuyt. Over de toepassing van zwakke inductiestroomen ter opsporing van sommige ziekten der tandpulpa. Ned. T. v. Geneeskunde 1902 deel 1. No. 3.

Franz Duyvensz. The varadic current as a means of diagnosis in dental practise. Archives of the Röntgen Ray and allied phenomena. May 1909.

gedrukt, ter vergelijking, lijkt 't mij uitermate aanbevelenswaardig, deze methode daarbij toe te passen. Immers bekend zijn dan de sterkte van den voedenden stroom, de capaciteit in microfarads van den condensator. Men bepaalt dus de spanning, waarbij de stroom even gevoeld wordt en berekent dan de vergelijkbare waarden (*Coëfficiënt van Hoorweg of Weiss*).

Electrotherapie.

De electrotherapie is de toepassing van de electriciteit in de geneeskunde en heeft ten doel:

1. het begrijpen van de geneeskrachtige werking van de electriciteit,
2. het verzamelen van gegevens daaromtrent en men onderscheidt:

A. een directe en B. een indirecte toepassing van de electriciteit op het menselijk lichaam.

A. Directe toepassing van de electriciteit.

Magnetisme, statische electriciteit, galvanische stroomen, inductie enz. worden in de verhandelingen over natuurkunde afzonderlijk besproken, zoo ook vinden al deze verschillende vormen, waaronder de elektrische energie zich aan ons voor doet toepassing in de electrotherapie.

Magnetisme vindt in de oogheekunde en in de oorlogschirurgie ter verwijdering van ijzerdeeltjes toepassing. Aankwending van statische electriciteit is bekend als *Franklinisatie*. Een influentiemachine geeft een opeenhoping van electriciteit, die zich door een vonk ontlad. De lading stijgt daarbij van nul tot een zeer hooge spanning. De hoeveelheid electriciteit is echter slechts gering. De persoon, die behandeld moet worden, wordt geïsoleerd en vervolgens positief of negatief geladen. De spanning stijgt, zijn haren rijzen ten berge, lichte voorwerpen worden door zijn hand aangetrokken; nadert men nu den patiënt met een vlakken, spitsen of knopvormigen

geleider, dan heeft ontlading plaats en onder knetterend geraas, kunnen vonken overspringen. Een doelmatige ontlading gaat gepaard met een zeer sterke prikkeling van de huid; in de tandheelkunde vindt deze wijze van electriseeren geen toepassing.

Galvanischen stroom kunnen wij verkrijgen uit een element, een accumulator of een dynamo. In de electrotherapie gebruikt men stroommen met een spanning van slechts weinig volts, maar er worden dan naar verhouding groote hoeveelheden electriciteit in het lichaam gevoerd. De inwerking van den galvanischen stroom op het menschelijk organisme is driedelig: physisch, chemisch en physiologisch.

Als voorbeeld van de physische werking dient de warmteontwikkeling (*Joulesche warmte*) bij het doorstroomen van een geleider het eerst genoemd te worden; de hoeveelheid warmte (W) is in de volgende formule

$$W = ci^2 Rt \quad (1)$$

uitgedrukt, waarin c = een constante grootheid, die van de keuze der eenheden afhangt; i = stroomsterkte; R = weerstand in den geleider en t = de tijd; $i^2 Rt$ stelt een aantal Watt's voor.

Een ander voorbeeld van natuurkundige werking is de cataphorese of iontophorese; deze berust op de eigenschap van den galvanischen stroom om bij het doorstroomen van een electrolyt of een geleider, vloeistof moleculen en zelfs, daarin opgeloste partikeltjes, zooals die in kleurstoffen aanwezig zijn, in de richting van den stroom te leiden, dus van de $+$ naar de $-$ pool; dit is geheel iets anders dan het gedrag van de ionen in electrisch gedissocieerde stoffen. (*Quincke*)

Het is gelukt om door middel van cataphorese kinine, jodium, joodzouten, kwikzilver en cocaïne (20 % oplossing in guajacol of glycerine) in het lichaam te brengen. In de tandheelkunde werd vooral voor plaatselijke verdooving met cocaïne de cataphorese toegepast bij gevoelig dentine; tegenwoordig is deze methode in onbruik geraakt. Misschien nog eens van nut ter remineralisatie van het glazuur der tanden

met „Pulvis dentifricus Dr. Andresen” (Ph. W.bld. 18-10-1924). Dit zou dan moeten geschieden met twee polen, waarvan één buccaal of labiaal en één lingual geplaatst wordt, om zoo het doorstroomen van de zachte teere weefsels, die den tand in de alveolus bevestigd houden, zooveel mogelijk te voorkomen. Immers 't is denkbaar, dat de warmte, die ontwikkeld wordt en de electrolyse der weefselsappen, die plaats grijpt, wanneer men gedurende eenig verloop van tijd, den stroom laat passeeren, de cellen van pulpa en periodontium beschadigen.

Behalve gevoelig tandbeen behandelde men soms periodontitis met cataphorese en gebruikte daarbij als oplossing: cocaïnum hydrojodicum. Ook bij het bleeken van tanden met pyrozon (hydrogenium superoxydatum 25 %) paste men de cataphorese toe.

De chemische werking komt tot uiting bij de electrolyse; men maakt daar gebruik van bij de electrosterilisatie van wortelkanalen ¹⁾ of van „*pyorrhoea pockets*”, zooals aanbevolen door *Sturridge* ²⁾.

De physiologische werking treedt op den voorgrond bij het prikkelen van motorische zenuwen door openen en sluiten van den galvanischen stroom.

Een bijzonder geval van een intermitterenden galvanischen stroom is een stroom van 2 tot 4 milliampère en 30 à 40 Volt, die ongeveer 100 à 200 maal per secunde onderbroken wordt, terwijl de stroom gedurende $\frac{1}{10}$ de gedeelte van de periode wordt doorgelaten; deze stroom is bekend onder den naam van *Leduc'schen stroom* ³⁾. Toegepast op het menschelijk lichaam wordt het zenuwstelsel buiten werking gezet, zonder dat het beschadigd wordt, zoodat men daarmee een algemeene anaesthesie verkrijgt.

¹⁾ Electro-Sterilization of Root-Canals.

By Hermann Prinz. Dental Cosmos for April 1917.

²⁾ Periodontal disease and its treatment by ionic medication.

By Ernest Sturridge. Lea and Febiger. Phila and New York 1919.

³⁾ E. Castex. Electricité médicale.

Lamarre. Paris. Editeur.

Om dit te bereiken plaatst men een groote positieve electrode op den rug van den patiënt en een kleine negatieve op het voorhoofd. Gedurende het verloop van den stroom zijn ook de motorische centra verlamd; de extremiteiten zijn niet stijf, de pols blijft vrij wel normaal, de ademhaling is iets moeilijker; op 't oogenblik, dat de stroom uitgeschakeld wordt, functioneeren de hersenen weer normaal. Bij locale anaëthesie van den hand b.v. wordt de + electrode om den arm; de — op den handwortel geplaatst. Mogelijk zou deze methode om gevoelloosheid te verkrijgen in de tandheelkunde toegepast kunnen worden, in gevallen, waarin injectie gecontraïndiceerd is. Bij de onderkaak zou de positieve electrode tegen de ramus ascendens gezet moeten worden, de negatieve op het foramen mentale; voor de bovenkaak de + pool op het foramen infraorbitale, de negatieve op het foramen incisivum. Tegenover het nadeel electroden en draden in den mond bij operatief ingrijpen staan de twee belangrijke voordeelen dezer methode namelijk: men brengt niets in het milieu intérieur van den patiënt — dus geen gevaar voor vergiftiging noch infectie — en ten alle tijden kan gedurende het verloop der operatie desgewenscht de anaëthesie opgeheven en onmiddellijk weer te voorschijn geroepen worden door den stroom in of uit te schakelen. De groote moeilijkheid zal echter zijn het bevestigen der electroden, zoodat deze Leduc'sche stroomen in de tandheelkunde vooralsnog slechts theoretische waarde bezitten.

De faradische stroom opgewekt met een inductorium of de door een centrale geleverden wissel- of draaistroom (3 phasenstroom) heeft een zeer goed waarneembaar physiologisch effect namelijk: tetanische contractie van spieren met ten gevolge daarvan verhoogde stofwisseling, vermeerderde warmteproductie en betere bloedvoorziening der betreffende spieren. Indien men bedenkt, dat de spiermassa een der voornaamste factoren voor het onderhoud der stofwisseling is, dan begrijpt men gemakkelijk, welk een grooten invloed systematisch faradiseeren op het geheele organisme heeft. Naast dit

krampachtig samentrekken van spieren bewerkt het prikkelen met secundairen stroom een vermindering der gevoeligheid voor pijn, de overige sensibiliteit wordt eerst verzwakt, later versterkt. Gedurende eenigen tijd is men van meening geweest, dat met behulp van deze stroomen pijnlooze extracties te verrichten waren. Deze methode vond een warm voorstander o.a. in den persoon van *Francis* (1858), die speciaal voor dat doel extractietangen ontwierp; waarschijnlijk berustte het effect uitsluitend op afleiden van de aandacht.

Tenslotte komen de toepassingen van wisselstroomen met groote frequentie en zeer hooge spanning. Wanneer er meer dan 10.000 trillingen per seconde zijn, is men in het gebied der hoogfrequente stroomen. 't Hoogste bereikte aantal is 10^{10} per seconde. *d'Arsonval* gebruikte 't eerst zulke stroomen (\pm 1890) ter onderzoek van hun invloed op levend weefsel en men onderscheidt:

1. a. algemeene darsonvalisatie — de patiënt staat te midden van een draadspiraal, waardoor hoogfrequente wisselstroomen geleid worden.
- b. plaatselijke darsonvalisatie en wel directe afleiding of door middel van een condensatorelectrode.
2. diathermie, transthermie of thermopenetratie, waarbij de stroomsterkte grooter is (3—5 Amp.) maar de spanning geringer dan bij 1; men gebruikt 2 of meer elektroden.
3. thermocoagulatie, electrocoagulatie, fulguratie door middel dier stroomen b.v. bij bloeding ¹⁾ of om de wondvlakte na operatie te schroeien.

Dit zijn alle vormen van thermotherapie, waarbij elektrische energie gebruikt wordt om een hoogere temperatuur in de dieper gelegen weefsels te verkrijgen. Het groote verschil met de andere in de tandheilkunde gebruikte middelen — zooals warme pap, heete vijg, lijnzaadomslag, spoelen met heete

¹⁾ T. v. T. 1924 bladz. 292.

Bloeding na kiesextractie behandeld met electrocoagulatie. Door F. J. Frederiks.

camillen, antiphlogistine — is, dat men geen warmte, maar electriciteit toevoert, deze elektrische energie doet warmte ontstaan ter plaatse. Het principe der hoogfrequente wisselstroomen is: men verkrijgt de snelle wisseling door vonkenontladingen (electrische trillingen) tusschen condensators; deze trillingen leidt men door een of meerdere solenoïdes, zoodat door inductie zeer hoge spanningen opgewekt worden.

B. Indirecte toepassing van de electriciteit.

Hieronder worden gerangschikt:

α . Electriciteit omgezet tot drijfkracht van motoren voor boor- en polijstmachines, centrifuges, luchtcompressors, ventilators, massage toestellen, enz.

β . Electriciteit omgezet in warmtestralen voor kachels, warmwaterkranen, sterilisatoren, porceleinovens, droogstoven, vulcanisators, guttapercha-excavators, wortelkanaaldrogers (vullen met paraffine), wasspatel, knopvormige instrumenten, rahinator, enz.

γ . Electriciteit omgezet in Röntgenstralen of radiologie; hieronder behoort ook behandeling met radioactieve stoffen.

δ . Electriciteit omgezet in chemische (actinische) stralen of bestraling met ultraviolet licht (hoogtezon).

De meeste tandheelkundigen gebruiken geregeld een elektrische boormachine en een galvanocauter. De andere toestellen onder α) en β) genoemd, treft men hier en daar aan.

De X of Röntgenstralen zijn te gevaarlijk, dan dat 't ooit wenschelijk zou zijn, dat zij voor behandeling door den tandarts gebruikt zouden worden.

Ter oriëntatie volgt hier een overzicht van de verschillende soorten stralen met maximum en minimum golflengte uitgedrukt in Angström-eenheden.

(1 A°.E. = 10^{-8} c.M. = 1 tienmillioenste m.M.)

Röntgenstralen	0,05 A°.E. — 100 A°.E. (golflengte)
Ultraviolette stralen	1000 A°.E. — 4000 A°.E.
Zichtbaar Spectrum	4000 A°.E. — 8000 A°.E.
	(violet) (rood)
Warmte Spectrum	8000 A°.E. — 4.000.000 A°.E.

Men heeft een onderbreking tusschen 100 A°E en 1000 A°E en tusschen 4×10^6 A°E en 2 m.M. De golflengte der elektrische trillingen varieert van 2 m.M. tot 50 K.M. Al deze trillingen bewegen zich voort met een snelheid van 3×10^{10} c.M. per seconde.

Reeds de Romeinen kenden de zonnebaden. De groote physioloog *Jacob Moleschott* wees (Licht und Leben. Rede) op de physiologische werking van het licht namelijk: de stofwisseling, de spierkracht en de prikkelbaarheid van het zenuwstelsel worden verhoogd onder de inwerking van het licht. Ook de blinde dieren ondergaan dien invloed. De menschelijke huid reageert op de inwerking van sterk licht door pigmentvorming; pigment absorbeert licht. Licht werkt ook doodend of verzwakkend op bacteriën. Deze physiologische werking wordt 't sterkst uitgeoefend door de blauwe, violette en ultraviolette stralen, dus stralen met korte golflengte. De ultraviolette stralen hebben echter slechts geringe dieptewerking. De Deensche arts *Finsen* maakte zich beroemd door de behandeling van lupus met ultraviolette stralen; hij had daartoe in Kopenhagen een algemeen bekend instituut voor lichtbehandeling. Behalve lupus werden ook andere bacterieele huidziekten behandeld; een groote moeilijkheid bij de behandeling is het feit, dat bloed de therapeutisch werkzame stralen geheel opneemt, daarom moet men, wanneer men plaatselijk aan de oppervlakte wil werken, het weefsel zooveel mogelijk bloedloos maken.

Men verkrijgt de ultraviolette stralen door middel van een kwarts kwiklamp; de kwikdamp aanwezig in een luchtledige buis wordt door den electrischen stroom op hooge temperatuur gebracht; in den handel zijn twee algemeen bekende types.

1. Hoogtezon (alpinesun) — kwiklamp met luchtkoeling.
2. Kromayerlamp — kwiklamp met waterkoeling.

De zon geeft vooral ultraviolet licht van . . .	2930 A°E.
Kromayerlamp	2000 A°E.
Hoogtezon	1850 A°E.

Hoe kleiner de golflengte des te grooter de chemische activiteit. De bestraling met ultraviolet licht verheugt zich, vooral sinds de publicaties van Prof. *Luigi Arnone* in de algemeene tandheelkundige belangstelling ¹⁾).

Eenige algemeene feiten uit de electrophysiologie.

De fundamenteele eigenschappen van alle levende materie — bij de hooger ontwikkelde dieren meer gecentraliseerd in bepaalde organen — zijn het vermogen tot: assimilatie en dissimilatie; contractiliteit en expansie; prikkelbaarheid en geleidbaarheid; uitoefenen van de formatieve functie en voortplanting.

Prikkelbaarheid is het vermogen om op uitwendige impulsen — prikkels — te reageeren met een plotselinge productie van energie. Elke verstoring van het moleculair evenwicht van het protoplasma, van welken aard die ook zij, werkt als een prikkel, tenminste wanneer die actie aan bepaalde voorwaarden voldoet, namelijk: een bepaalde snelheid bezit, niet kleiner blijft dan een zeker minimum — drempelwaarde genoemd — en een bepaald maximum niet overschrijdt.

Men kent allerlei prikkels, vooreerst physische zooals: mechanische, thermische, photische, acustische, electriche; verder chemische en eindelijk physicochemische b.v. osmotische prikkels. Het gevolg van den prikkel — de energie productie — kan op zijn beurt weer aanleiding zijn tot anabolisme, dus is trophische prikkel.

Tot het goed in ontvangst nemen van de tallooze prikkels, die uit de buitenwereld tot ons komen, is het menschelijk organisme uitgerust met vele zintuigen. Het zintuig is voor de natuurlijke of adaequate prikkel zeer gevoelig b.v. de

¹⁾ Ultraviolet rays; their properties-their use.

By Luigi Arnone. Published by Guilio Giannini and Son. Florence, T. v. T. 1921. blad. 8.

Ultraviolette stralen in de mondheelkunde door dr. H. de Groot.

oogen voor het licht, de ooren voor het geluid. Wordt er met steeds maar sterker wordende prikkel geëxperimenteerd, dan vindt men tenslotte een punt, waarbij de intensiteit van den prikkel zoo groot wordt, dat het zintuig niet meer in staat is, de prikkel behoorlijk te verwerken. Wel kunnen dan pijngewaarwordingen opgewekt worden. Pijn is een gewaarwording sui generis, d.w.z. van een zeer bepaalden aard en gaat gepaard met een duidelijke negatieve gevoelston en een uitgesproken onlustgevoel. Of er dus op een prikkel een effect zal volgen hangt — behalve van den aard, de intensiteit en duur van den prikkel — ook van den toestand der ontvangstorganen; van het centrale zenuwstelsel, van de organen, die het effect teweeg moeten brengen, en van de diersoort.

Magnetische en electriche prikkels zijn geen adaequate prikkels voor een der menschelijke organen; het zijn indifferente prikkels, wel kunnen zij bij voldoende sterkte werken als inadaequate prikkel en zoo toch tot eenige energie productie aanleiding geven. Men kan dit feit gemakkelijk onderzoeken door met een electrode van een inductorium over de huid te gaan; we krijgen dan zeer verschillende gewaarwordingen — namelijk tast-, warmte- en kougevoel — sterke prikkels geven pijngewaarwordingen en bij het oog het optreden van phosphenen. Daarbij werkt niet de intensiteit van den stroom prikkelend, maar de verandering van de intensiteit in den tijd. (*du Bois Reymond*).

Als prikkels komen dus op de eerste plaats stroomschommelingen en wel openen en sluiten, versterken en verzwakken, omwenden van den electricen stroom; doorstromen is geen prikkel. De galvanischen stroom wordt gekarakteriseerd door de spanning. Bij gebruik van galvanischen stroom blijkt het menschelijk lichaam een geleider te zijn.

Men onderscheidt in de natuurkunde geleiders van de eerste en tweede klas; geleiders van de eerste klas zijn stoffen, die de eigenschap bezitten de electriciteit te geleiden, zonder dat daarbij eenige verandering in de stof optreedt; wel wordt daarbij, zooals wij zagen, warmte opgewekt, maar na opening

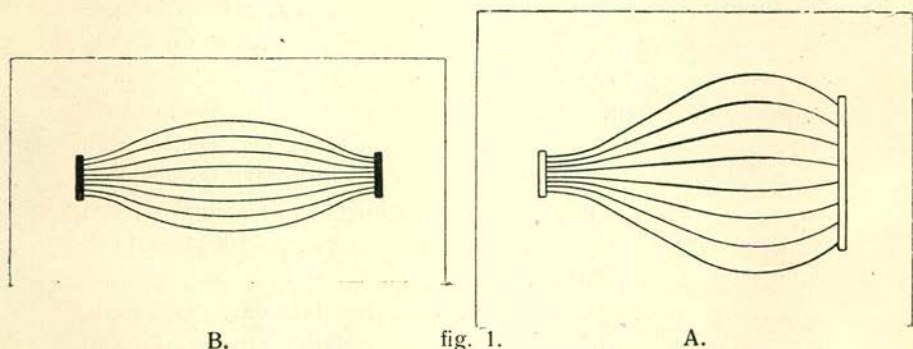
van den stroom vindt men de stof altijd weer geheel in den oorspronkelijken staat terug; geleiders van de tweede klas daarentegen zijn stoffen, die de electriciteit geleiden, maar daarbij een chemische verandering ondergaan; men noemt ze gewoonlijk electrolyten; tot deze categorie behoort het menschelijk lichaam. Totaal uitgedroogd been- of vetweefsel, haren, nagels, eelt geleiden den stroom niet. De lichaamssappen, waarin allerlei stoffen zijn opgelost, geleiden de electriciteit (*Nernst*); de wetten, die de electricische en chemische verschijnselen in hun onderling verband beheerschen, zijn hier dus van toepassing.

Zouten zijn in oplossing in ionen gesplitst, dit noemt men electrolytische dissociatie. Ionen zijn atomen of atoomgroepen, welke geladen zijn met een zekere hoeveelheid electriciteit — positief en negatief. Zij gedragen zich geheel anders, dan de vrije moleculen en worden respectievelijk door de kathode en anode aangetrokken en vormen dus den electricischen stroom; het water is alleen maar het medium. Eerst nadat de ionen hun lading hebben afgestaan, zullen de moleculen, die ontstaan hun specifieke eigenschappen weer gaan vertoonen. Kationen zijn b.v. de metaalionen zooals: Na. K. Ca. en Mg., verder H-ionen en de groep NH_4 -ionen; halogeën-ionen verder OH-ionen, SO_4 -ionen; HPO_4 -ionen en H_2PO_4 -ionen. De snelheid is voor verschillende ionen niet dezelfde. De geleidbaarheid van een electrolyt is bij benadering evenredig aan de concentratie en neemt toe met de verdunning. De hoeveelheid stof, welke door electrolyse ontleend wordt, is evenredig aan de stroomsterkte, de tijd en het electrochemisch equivalent. (*Faraday*) De eenheid van stroomsterkte = een Ampère = de electricische stroom, die in staat is om uit een waterige oplossing van zilvernitraat per seconde 0,001118 gram zilver neer te slaan.

Wordt er door een electrolyt een galvanische stroom geleid, dan vormen zich uit de ionen, anders geladen stoffen, die aan de anode en kathode vrijkomen. 't Komt nu voor, dat deze stoffen een zekere neiging bezitten om weer in de eerst aan-

wezige kationen en anionen over te gaan; dus dan zal, wanneer de stroom geopend wordt, een stroom in tegenovergestelde richting ontstaan, die men polarisatie stroom noemt, de electroden zijn polariseerbaar; de polarisatiestroom werkt den galvanischen stroom tegen, vandaar het gebruik van onpolariseerbare electroden in de physiologie. Een toepassing van dit feit is het laden van accumulators.

Daar in de weefselsappen allerlei zouten in zeer verdunden toestand voorkomen, zijn zij zeer sterk gedissocieerd. De snelheid der ionen, de dichtheid van den stroom zal bij de electroden 't grootst zijn en naar het midden van den afstand tusschen de electroden toe afnemen. Het oppervlak van de electrode, dat met het lichaam in aanraking is, is dus van belang, immers: hoe kleiner de electrode des te grooter de dichtheid van het electriche veld daar ter plaatse. Men kan dus theoretisch afleiden, dat verdunde zuren, die gedurende eenigen tijd electrochemisch op de huid inwerken, deze tot op een bepaalde diepte zullen etsen (gevaar bij cataphorese) bij gebruik van een kleine electrode. Bij zwakke stroomen en korten duur van inwerking kan men het verbranden van de huid voorkomen door de electrode, die men gebruikt, met water te bevochtigen. Het verdient aanbeveling de bekleeding van de electroden dikwijls te vernieuwen.



Men kent bij het behandelen met galvanischen stroom, twee wijzen van toepassing namelijk: de unipolaire en de bipolaire.

Bij de unipolaire heeft men een kleine en een groote electrode *fig. 1A*. De krachtlijnen van het electriche veld zijn dan zeer dicht aaneengesloten bij de kleine electrode — divergeeren, om tenslotte weer een weinig te convergeeren naar de groote pool toe. Bij de bipolaire *fig. 1B* worden twee kleinere electroden van gelijke afmetingen genomen. De krachtlijnen verspreiden zich en vereenigen zich weer naar de tweede electrode.

Galvanische stroom heeft invloed op het protoplasma, op de zenuwen — sensible en motorische — op de lichaams-sappen, op de spieren en op 't lichaam als geheel. De invloed op het protoplasma is moeilijk na te gaan, gezien het feit, dat niet bekend is, wat levend protoplasma precies is, maar is het wel een vereischte, dat het in praktijk brengen van de een of andere methode wachten moet op de volkomen oplossing van alle vraagstukken? Immers neen. Als men langs empirischen weg er in kan slagen 't lijden te verminderen, dan is men alleszins gerechtigd, die methode toe te passen. 't Is zeker, dat de protoplasma-ionen in beweging gebracht worden door den electriche prikkel; de electriche prikkel blijkt dus de prikkel bij uitnemendheid te zijn ter plotselinge verstoring van het evenwicht. Daar de stroom, de toestand in de weefselsappen verandert, zal hij ook de wisselwerking tusschen cellen en die vloeistoffen (diffusie door semipermeable wanden) beïnvloeden; assimilatie en dissimilatie aanzetten en wel in dien zin, dat ionen, die door de diffusie de menbraan niet kunnen passeeren, bij aanwending van galvanischen stroom dit wel kunnen. De snelheid van den bloedstroom is onvergelykelyk grooter dan de snelheid van de ionen. Kruist dus een bloedvat de stroomrichting, dan zullen met het bloed ionen worden meegesleurd; wil men dus door middel van den electriche stroom in beweging gekomen ionen plaatselyk laten inwerken, dan moet men den bloedstroom afsnoeren.

Maakt men een spierzenuwpraeparaat en verbindt de zenuw met de uiteinden van een stroomgeleider, dan schokt de

spier bij openen en sluiten van den stroom. De wetten van Pflüger leeren ons, hoe de zenuw zich gedragen zal, wanneer hij door galvanischen stroom geprikkeld wordt. De werking is tweeledig, namelijk de stroom verhoogt en vermindert de prikkelbaarheid. Dit is verschillend naarmate de stroom zwak, sterk of zeer sterk is, de richting van den stroom door de zenuw naar de spier toe of van de spier af is en tenslotte of men zich bevindt in de omgeving intree- of uittreemplaats van den stroom. ¹⁾

Faradische stroom heeft weinig physiochemisch effect; physiologisch blijkt het een sterke protoplasma prikkel te zijn voor motorische zenuwen, er volgt tetanische contractie, verhoogde stofwisseling, verhoogde warmteproductie, verhoogde doorbloeding. Deze verschijnselen zijn zintuigelijk waarneembaar, zooals de contractie der spieren, de vermeerderde O₂ opname en CO₂ en N afscheiding, verhoogde temperatuur en het rood worden. Zwakke faradische prikkels kunnen ook zintuigen prikkelen, maar verwekken nergens specifieke gewaarwordingen.

Voor warmteproductie is de galvanische stroom ongeschikt; men krijgt pijn en chemisch etsen van de weefsels, evenmin de faradische, die pijn en hevige contractie der spieren veroorzaakt. We zullen dus — willen wij warmte verwekken met behulp van den electricischen stroom — onze toevlucht moeten nemen tot de hoog frequente wisselstromen.

Om gevoelszenuwen te onderzoeken gebruikt men liefst faradische stroomen, omdat de galvanische, zooals we gezien hebben, tegelijkertijd als electricische en als chemische prikkel zouden werken.

Hoogfrequente stroomen en hun toepassing.

Eerst zal behandeld worden darsonvalisatie. Ik zal hiertoe beginnen eenige fundamenteele feiten uit het hoofdstuk der

¹⁾ Leidraad voor het physiologisch practicum.

Spieren, zenuwen, zintuigen door Dr. G. van Rijnberk.

Physiologische chemie door Dr. B. C. P. Jansen.

electriciteit te rangschikken, zooals mij dat wenschelijk voorkwam om op dit natuurkundig overzicht een uiteenzetting te laten volgen van een toestel, waarmede hoogfrequente wisselstroomen kunnen opgewekt worden. Hierbij zullen ook, voorzover dat noodig geacht wordt, eenige physische grondslagen mathematisch ontwikkeld worden; de afleiding van de formules zal niet altijd gegeven worden, om niet al te uitgebreid te worden. Men wordt daarvoor verwezen naar de bestaande werken over physica.

Electriciteit is een bepaalde vorm van energie.

Het gedrag van den electrischen stroom is 't beste te vergelijken met een stroom water, waarbij het verval van den stroom de spanning en de hoeveelheid water de stroomsterkte voorstelt. De intensiteit van een electrischen stroom (I) is recht evenredig aan de electromotorische kracht (E) en omgekeerd evenredig aan den weerstand der keten (R);

$$I = \frac{E}{R} = \frac{\text{electromotorische kracht (of potentiaalverschil)}}{\text{(weerstand)}} \quad (2)$$

dit is de wet van Ohm.; I wordt uitgedrukt in Ampères en E in Volts ¹⁾.

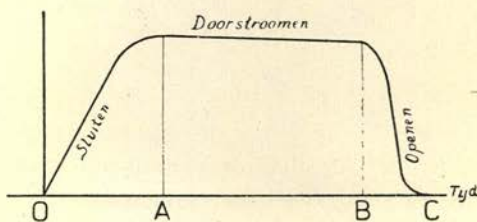


fig. 2.

Het sluiten, doorstromen van een geleider en openen van een galvanischen stroom kan men graphisch voorstellen als een horizontale evenwijdig met de abscis voorafgegaan en gevolgd door een kromme. Fig. 2. De vorm van de kromme wordt bepaald door de snelheid, waarmede de stroom tot

¹⁾ 1 Ohm = weerstand van een kwikzilver zuil van 1 m.M.² doorsnede 1,06 M. lengte bij een temp. van 0° C.

zijn maximum aanwast, respectievelijk tot nul daalt. Op de x-as is de tijd in onderdeelen van seconden, op de y-as de stroomsterkte afgezet. OA stelt dus de tijd noodig voor opening; BC voor sluiting voor. Niet alleen langs den draad, maar ook in de omgeving treden natuurkundige verschijnselen op.

Wanneer men evenwijdig met een magneetnaald, die zich in den magnetischen meridiaan in rust bevindt, maar zich vrij bewegen kan, een koperdraad, waar men een electrischen stroom door loopen laat, houdt, dan zal de noordpool van den magneet een afwijking van zijn stand vertoonen. (*Oersted* 1820) Dit wordt toegeschreven aan een bijzonderen toestand van de middenstof, die zich tusschen den magneet en den koperdraad bevindt en genoemd: een electromagnetisch veld. Rondom een magneet vinden wij ook zulk een veld; deze beide velden zijn gelijksoortig.

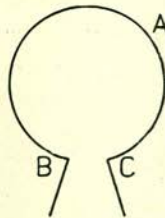


fig. 3.

Wij kunnen in dit electromagnetische veld krachtlijnen trekken, de richting van de krachtlijnen is buiten den geleider loodrecht op de richting van den electrischen stroom, zoodat, wanneer wij een kringvormigen geleider BAC, *fig. 3*, beschouwen, waar een stroom doorheen gaat, de krachtlijnen door dien geleider omvat worden, zooals een bundel staafjes door een ring kan omsloten worden, terwijl de richting van die krachtlijnen zich verder aanpast aan de richting van den stroom, die door de winding gaat en wel in dien zin, dat, wanneer we zien naar het stroomvlak (= het vlak van de winding) langs de electromagnetische krachtlijnen

(d.i. in de richting van de magnetische kracht op een noord-pool) de stroomrichting volgens de wijzers van de klok is. Faraday ontdekte, dat een magnetisch veld onder geschikte omstandigheden in een geleider elektrische stroomen — inductiestroomen — kan opwekken.

In fig. 3 is — zooals gezegd — BAC een gebogen koperdraad; er wordt nu een inductiestroom opgewekt, wanneer de draad BAC krachtlijnen doorsnijdt, d.w.z. wanneer het aantal krachtlijnen, dat door den geleider omspannen wordt, verandert i. e. toef of afneemt. Beweegt men een stroomlozen geleider in een magnetisch veld (1) dan komt er een stroom in den geleider; deze stroom geeft weer een veld (2). Dit veld (2) werkt het veld (1) tegen, zoodat men arbeid moet verrichten, die is $= idN$, waarin i de stroomsterkte en dN de verandering van het aantal krachtlijnen in den oneindig kleinen tijd voorstelt; dus de arbeid, dien de stroom verricht $= - idN$. Deze arbeid is geen arbeid voor luchtweerstand, wrijving of iets dergelijks te overwinnen, maar alleen electrisch arbeidsvermogen.

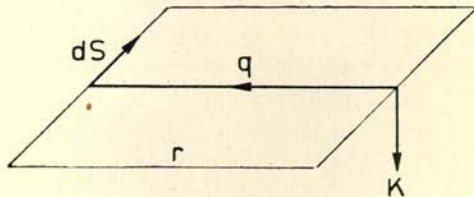


fig. 4.

Bewijs.

Is in fig. 4 dS een oneindig kleine stroomgeleider, waarin de stroom i ; q de magnetische kracht, die een veld oplevert loodrecht op dS , dan is de kracht k uitgeoefend op den geleider door stroom en magnetisch veld

$$K = \frac{i d S q}{r^2} \quad (\text{Wet van Biot en Savart})$$

$$\frac{q}{r^2} = H = \text{veldsterkte} \quad (3)$$

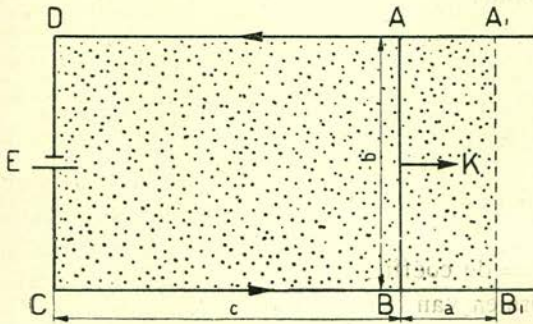


fig. 5.

In *fig. 5* is ABCD een stroomgeleider; b de lengte van een beweglijken geleider, die zich \parallel met DC naar links en rechts bewegen kan door den geleider gaat een stroom in de richting der pijlen. Pas de linkerhand regel toe (duim, wijsvinger en middenvinger onderling loodrecht) midden vinger = richting stroom; wijsvinger = richting magnetische kracht, dan zal de geleider volgens de richting van den duim verplaatst worden. Is H -veldsterkte (magnetische kracht per c.M.²) loodrecht op het vlak van den geleider, dan is de kracht uitgeoefend op den beweglijken geleider volgens het bovenstaande = ibH beweegt b nu over een afstand a en is het aantal krachtlijnen in stand ABCD van den beweglijken geleider gelijk N_1 en in stand $A_1B_1CD = N_2$, dan is de arbeid voor deze beweging = kracht \times weg = $ibHa = i(N_2 - N_1)$, waaruit volgt:

$$dA = idN \quad (4)$$

Heeft men nu een stroom van de spanning E en stroomsterkte i , dan is het arbeidsvermogen, dat deze stroom in den tijd dt kan leveren — $Eid dt$, dit is zooals wij zagen gelijk aan den arbeid, dien de stroom verricht, wanneer men een stroomloozen geleider in een magnetisch veld beweegt.

$$Eid dt = - i dN \quad E = - \frac{dN}{dt} \quad (5)$$

De electromotorische kracht van den inductiestroom in BAC *fig. 3* opgewekt is dus evenredig aan de verandering van het

aantal omspannen krachtlijnen met den tijd, waarin de stroom zijn maximum bereikt. Wanneer de intensiteit van een stroom, die door een keten geleid wordt, toeneemt, dan zal ook de sterkte van het omringende veld in dezelfde verhouding toenemen en i en N zijn dus evenredig. Wanneer dus L de getallenwaarde is voor het omvatte veld van den stroom $= i$ dan kan men dus N gelijk stellen aan Li .

$$N = Li \quad (6)$$

waarin L = de coëfficiënt van zelfinductie, die afhankelijk is van de vormen van den geleider en gewijzigd wordt door de aanwezigheid van ijzer.

$$dN = L di \text{ zet dit in (5)}$$

$$\text{dan is: } E = - \frac{dN}{dt} \quad (7)$$

t is hier de tijd, dat de stroom gesloten is.

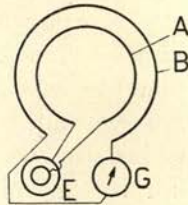


fig. 6.

Heeft men 2 draadwindingen A en B *fig. 6* en laat men door de draadwinding A een galvanischen stroom gaan, terwijl B met een galvanometer verbonden is, dan ziet men — zooals men na het voorafgaande verwacht — dat op 't oogenblik, dat in A de stroom gesloten wordt, de galvanometer G een uitslag vertoont ten teeken, dat er in B ook een stroom is opgewekt door het electromagnetische veld van A. De stroom in A noemt men de hoofd, inducerende of primaire stroom, die in B de inductie, secundaire of sluitingsstroom (openingsstroom). De richting van dezen inductiestroom is tegengesteld aan de richting van den hoofdstroom. De stroom in B bestaat slechts in 't uiterst geringe tijdsdeel, waarin de stroom in A

naar zijn maximum klimt; zoodat het aantal krachtlijnen, dat door B gaat, toeneemt: zoolang de stroom gelijkmatig doorvloeit, gebeurt er niets. Bij opening van den stroomkring A ontstaat wederom een secundaire stroom in B — de openingsstroom — deze inductiestroom is in gelijken zin met den hoofdstroom. Oorspronkelijk zijn deze werkingen van stroomen op stroomen aangetoond door Ampère met behulp van zijn toestel met draadfiguren.

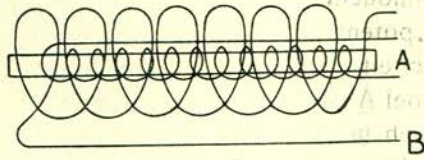


fig. 7.

Neemt men, zooals in een inductorium van Ruhmkorff, in plaats van 2 ringen 2 draadklossen, waarvan de middelste A (fig. 7) van dikken draad en weinig windingen en weekijzere kern heeft en de buitenste B vele dunne windingen bezit, dan kan, wanneer door den middensten klos een intermitterende stroom gezonden wordt, in den buitensten een hooge inductie potentiaal worden opgewekt. De weekijzere kern van den primairen klos bestaat uit verschillende staafjes, die door vernis van elkander geïsoleerd zijn, de krachtlijnen worden daarin geconcentreerd, maar verdwijnen met den stroom, zij zijn gescheiden om het ontstaan van kleine doch tegenwerkende inductiestroompjes (*Foucaultsche stroomen*) te verhinderen.

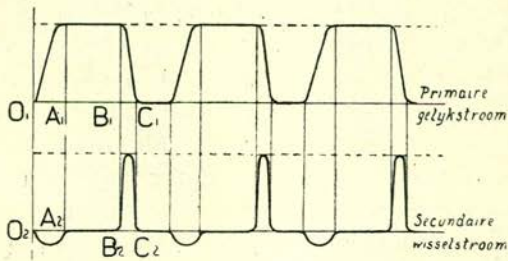


fig. 8.

In *fig. 8* zijn de perioden van den primairen stroom en de stroomstooten van den secundairen graphisch voorgesteld. O_1A_1 sluiting; B_1C_1 opening. Is het aantal perioden van den primairen stroom n . per secunde; dan is het aantal stooten in den secundairen draad $2n$ per secunde. Om een hoog potentiaal verschil aan de uiteinden van den secundairen draad voort te brengen, heeft men dezen zeer vele windingen gegeven. 't Verschil in duur tusschen den openingsinductiestroom en den sluitingsinductiestroom komt, zooals *fig. 8* uitwijst ten goede aan het potentiaal verschil, daar de hoeveelheid verplaatste electriciteit in twee opeenvolgende stooten gelijk is. Wordt nu in spoel A van *fig. 7* de stroom gesloten, dan zal niet alleen in een zich in de nabijheid bevindende spoel B, maar ook in de windingen van spoel A zelf een inductiestroom optreden. Deze inductiestroom, ook extrastroom genoemd, is tegengesteld aan den hoofdstroom gericht en vertraagt dan het ontstaan van dezen laatsten, waardoor de inductiestroom in B opgewekt, zich over langeren tijd verdeelt en zwakker is ($E = - \frac{dN}{dt}$) (5), dan bij een oogenblikkelijk bereiken van

het maximum het geval zou wezen. Bij het openen van den hoofdstroom heeft wederom zelfinductie plaats, doch thans is de extrastroom gelijk gericht met den hoofdstroom. Om den tijd nog korter te maken, wordt op aanraden van *Fizeau* in den interruptor voor den primairen geleider een condensator geschakeld, die den zelfinductiestroom van den primairen draad bij het afbreken van den stroom grootendeels opneemt.

Voor een solenoïde met stroom i is het aantal omvatte krachtlijnen $= HSn$, waarin $S =$ doorsnede van de solenoïde; $n =$ aantal windingen; $H =$ veldsterkte opgeroepen door stroom i .

$$N = HSn.$$

De veldsterkte binnen een solenoïde van de lengte l en n windingen $= H = 4 \pi i \frac{n}{l}$ dus:

$$N = 4 \pi i \frac{n}{l} \times Sn$$

We zagen $N = Li$ (6) dus:

$$4 \pi i \frac{n}{1} S n = L i$$

zoodat $L = 4 \pi \frac{n^2 S}{1}$

Om de potentialen van verschillende condensators evenveel te doen stijgen zijn verschillende hoeveelheden electriciteit noodig; dit is het begrip capaciteit van een condensator; zij is een constante en hangt af van vorm en grootte van den condensator. Als maat van de capaciteit van den condensator dient de *hoeveelheid* electriciteit vereischt om den potentiaal van den condensator met de eenheid te verhoogen.

Als $c =$ capaciteit van een condensator; $v =$ potentiaal, waartoe de condensator wordt geladen dan is $e =$ hoeveelheid electriciteit op den condensator aanwezig $= cv$.

Bij het ontladen van een condensator treden electriche trillingen op; dit werd het eerst door *Feddersen* met proeven bewezen. Is bij een Leidsche flesch het binnenbekselsel positief geladen en met het buitenbekselsel met een draad verbonden, dan zal de electriciteit gedreven door de diëlectrische veerkracht door den draad stroomen en de snelheid van die beweging zal toenemen, totdat een maximum bereikt wordt op het moment, dat de flesch ontladen is. De beweging gaat dan echter een oogenblik voort, evenals een slinger, die door den evenwichtstand heenslaat, en een nieuwe lading tegengesteld aan de eerste — zoodat nu het binnenbekselsel negatief geladen zal zijn — zal er het gevolg van wezen. Ontlading heeft weer plaats enzoovoort; dit zou tot in 't oneindige voortgaan, indien de draad geen weerstand bood en ook bij de ontlading door de lucht de overspringende vonk geen arbeidsvermogen zou verliezen, maar er ontstaan hierbij — afgezien van de energie noodig om den weerstand te overwinnen — verschijnselen van warmte, licht en geluid en Hertz'sche golven. Deze ontladingen noemt men *disruptieve of oscillatorische* ontladingen.

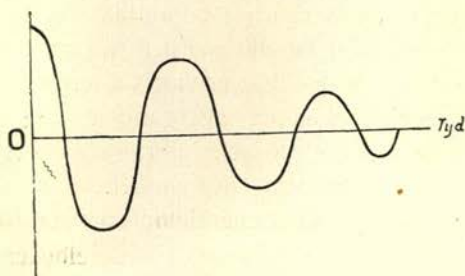


fig. 9.

Electric trillingen zijn in *fig. 9* graphisch voorgesteld; zij vertoonen de gedaante van een gedempte sinuslijn. Feddersen vond voor zijn batterij van 10 flesschen en een draad van 25 M. een trillingstijd van 4×10^{-6} secunde. Hertz verkreeg later trillingen van een frequentie van 5×10^8 per secunde! De mogelijkheid, dat een lichaam periodieke krachten ondervindt van een tweede lichaam, dat in een bepaalde trilling verkeert — bekend uit de geluidsleer (klankkast van een stemvork) — bestaat ook voor draadklossen, die een electriche trilling geleiden.

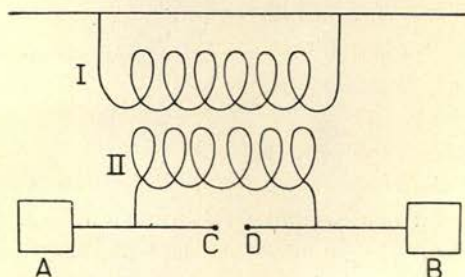


fig. 10.

In *fig. 10* zijn I en II twee van elkander geïsoleerde draadwindingen. Deelt men nu door middel van I aan II een lading mede, dan zal b.v. telkens, wanneer in I de stroom verbroken wordt, de plaat A positief en de plaat B negatief geladen worden. C en D zijn 2 koperen bollen; wanneer de afstand tusschen C en D (de slagwijdte van de vonkenbrug) niet te

groot is, zal bij stijging van het potentiaal verschil tusschen C en D weldra een punt bereikt worden, waarbij de spanning den weerstand van de lucht overwint; er ontstaat een vonk en er hebben eenige heen en weergangen van electriciteit plaats. Dit toestel is de elektrische vibrator (Hertz'sche Erreger). Men kan ter vergrooiting der capaciteit van AC en DB; de platen A en B door Leidsche flesschen vervangen.

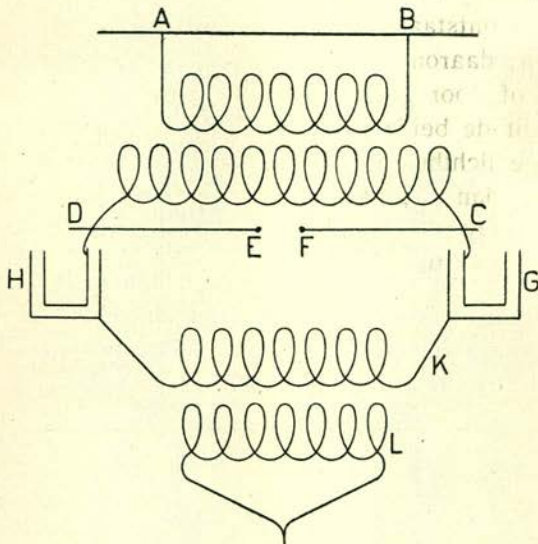


fig. 11.

Tesla verbond den secundairen draad CD *fig. 11* van een inductorium met de binnenbekleedsels van twee Leidsche flesschen G en H. De buitenbekleedsels dezer flesschen, welke tegengesteld geladen zijn, worden met een solenoïde K, die vervaardigd is uit een betrekkelijk dikken en korten draad — dus geringen weerstand — verbonden. In dezen stroomkring is een vonkenbrug EF geplaatst; springt er een vonk over, dan worden de Leidsche flesschen ontladen. Hierdoor worden in den draadklos K elektrische trillingen van groote stroomsterkte opgewekt, wier aantal eenige millioenen per seconde

bedraagt. Brengt men naast den primairen klos K een secundairen L, bestaande uit een zeer dunnen, doch zeer langen draad, met inachtneming der regels, die het meetrillen vereischt, dan zullen in L geïnduceerde trillingen ontstaan met een zeer korten trillingstijd en een buitengewoon hooge spanning, omdat de primaire stroom — in dit geval oscillatorische ontladingen van Leidsche flesschen — in zoo'n korten tijd (millioenste secunde) in intensiteit verandert. Wegens de hooge spanning, die ontstaat moeten de draadklossen zeer goed geïsoleerd zijn; daarom worden zij soms in een bak met olie gedompeld of door groote tusschenruimte van elkander gescheiden. Uit de beide polen van klos L stroomen vertakte blauwachtige lichtbundels. Brengt men de beide polen naar elkander toe, dan ontstaat er een schitterend lichtverschijnsel — een fijn netwerk van glinsterende draden; de spanning bedraagt bij krachtige toestellen millioenen volts; Geislersche buizen in de nabijheid van het toestel gebracht beginnen te lichten en last not least zijn deze enorm hooge spanningen merkwaardiger wijze voor den mensch gevaarloos! Voor de meeste menschen geldt: 110 volt is te verdragen; 500 volt wordt gevaarlijk; 2000 volt gelijk- of wisselstroom is doodelijk. Laat men deze hoogfrequente wisselstroom door een keten van menschen gaan, die in hun midden een gloeilamp houden, dan zal die lamp licht geven, terwijl de personen zich niet bewust worden, dat er stroom door hun lichaam gaat.

In de electrotherapie wordt de groote weerstand, dien de opperhuid aan den electricen stroom biedt, altijd als een moeilijk te overwinnen nadeel der behandelingswijze onderhouden, immers dit maakt meestal het gebruik van sterke stroomen, die weer een gevaar voor verbranding van weefsels meebrengen, noodzakelijk. Nu is de weerstand van het slijmvlies wel geringer, maar het verschil is niet zoo groot. De hoogfrequente wisselstroom overwinnen echter gemakkelijk den weerstand van de lucht, zoodat nu de weerstand van de epitheelbedekking geen rol meer speelt. 't Is de groote verdienste van d'Arsonval, dit ingezien en de eerste proeven

genomen te hebben om den invloed dier stroomen op het levend organisme te bestudeeren.

De „Electricitäts Gesellschaft Sanitas” — brengt o.a. een apparaat in den handel onder den naam „Radiofor”, dat aanbevolen wordt voor behandeling met hoogfrequente wisselstroomen in de tandheelkunde. Daar schrijver dezes de beschikking kreeg over zulk een toestel, is hij aan de hand daarvan deze studie begonnen.

Fig. 12 is een afbeelding van het genoemde apparaat; *fig. 13* vertoont iets van de inwendige constructie en *fig. 14* is een naar dit laatste beeld ontworpen schema, aan de hand hiervan zal het stroomverloop in het toestel verklaard worden. De gebruikte „Radiofor” was voor 220 Volt gelijkstroom.

De netleiding A (*fig. 13* en *14*) zendt haar stroom door den klos B, die zeer vele windingen van fijnen draad heeft. De weekijzeren kern van deze spoel B wordt hierdoor magnetisch en trekt den veerenden hamer H aan, waardoor in den vonkenbrug V de stroom onderbroken wordt. Dit heeft tengevolge, dat de krachtlijnen in het veld B verdwijnen en den boven besproken extrastroom oproepen, die de condensators laadt en bij V een onderbrekingsvonk verwekt.

Is de coëfficiënt van zelfinductie van den klos $B = L$ en de stroom i , dan is — zooals we gezien hebben op bladz. 25 — het aantal omvatte krachtlijnen $N = Li$ (6). We weten ook

dat $E = -\frac{dN}{dt}$ (5) dus:

$$\text{(de extrastroom) } E = -L \frac{di}{dt} \quad (7)$$

t is afhankelijk van den stand van den hamer H; namelijk is de schroef L los gedraaid, dan is H ver van de kern van B en zal bij trillen de tijd t van aanraking in V telkens zeer

kort zijn, dit zal de breuk $\frac{di}{dt}$ vergrooten, echter bij een zeer

korten tijd van stroom doorlaten zal i „verschwindend” klein worden, want deze neemt volgens een logarithmische kromme met den tijd toe; zie *fig. 15*.

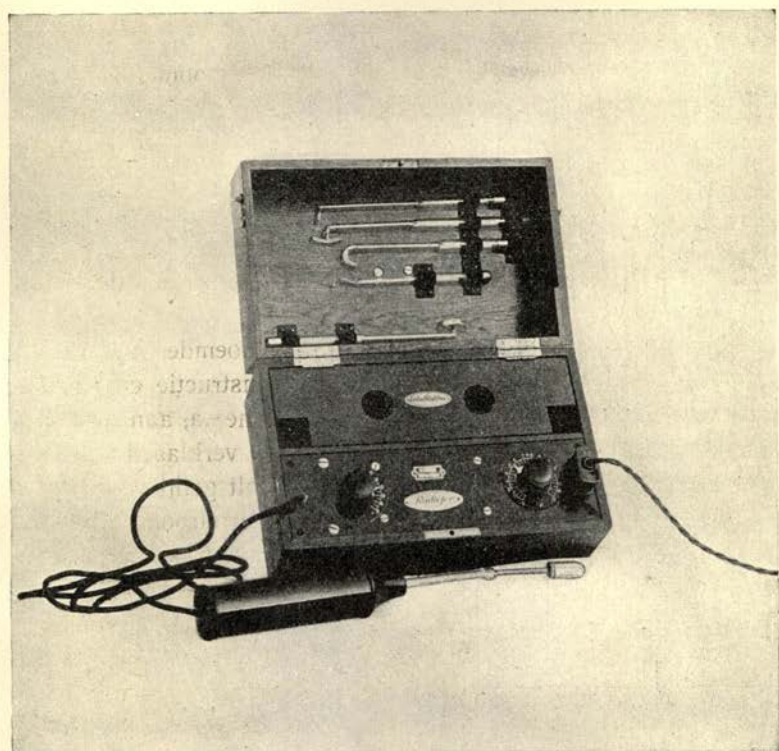


fig. 12.

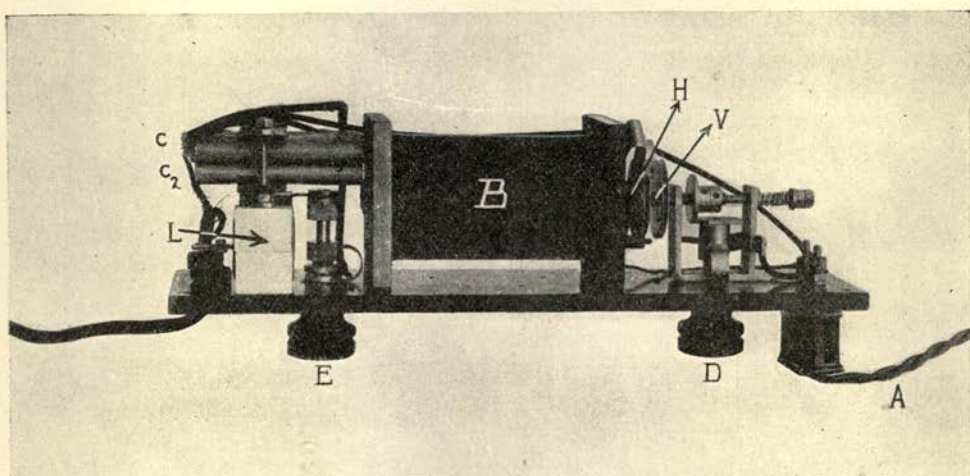


fig. 13.

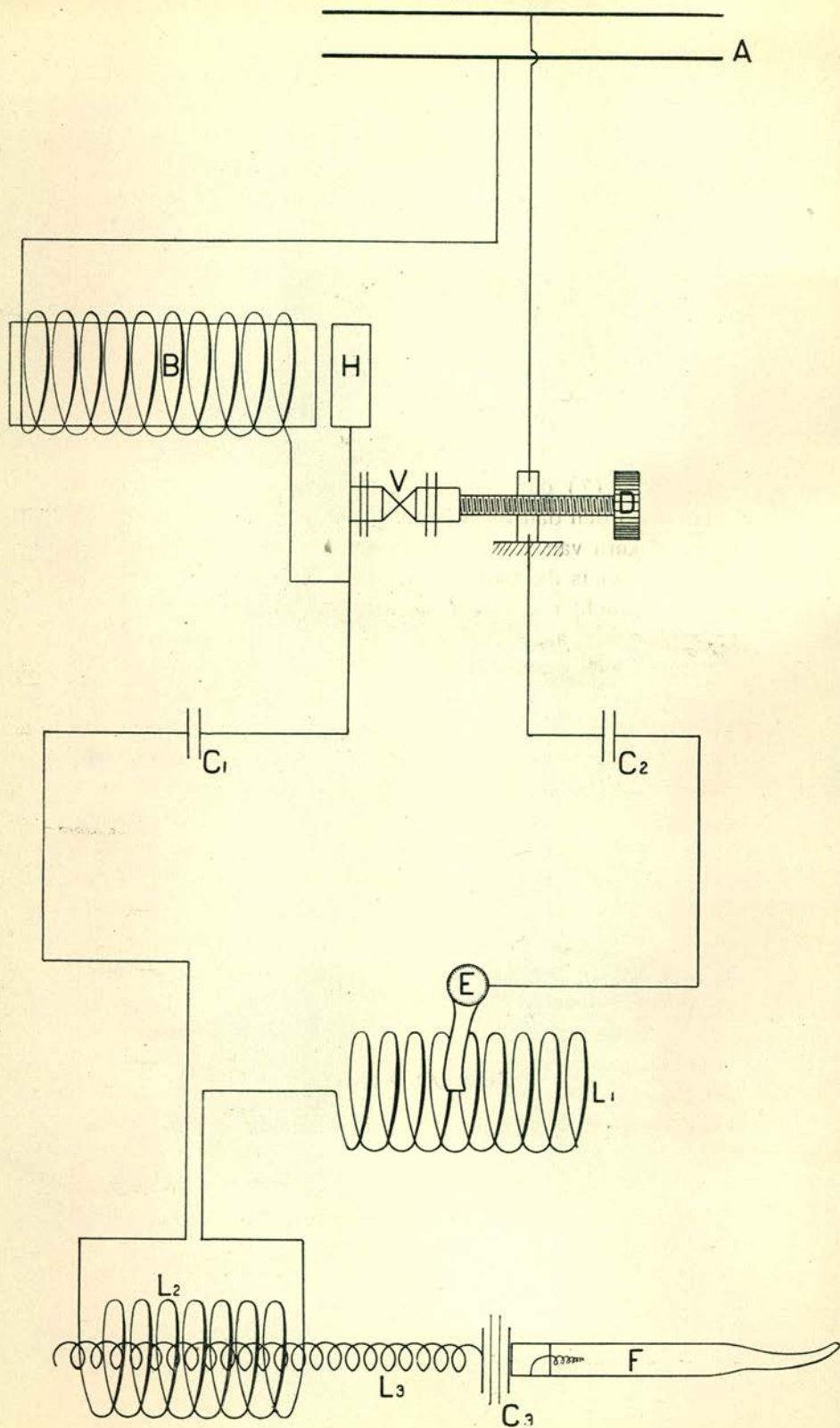


fig. 14.

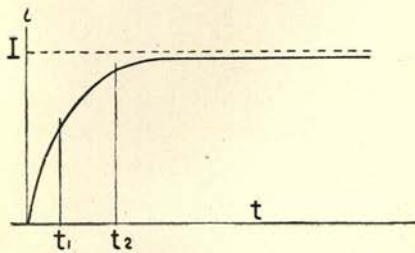


fig. 15.

Om E in (7) dus groot te maken, doen we beter i groot te laten worden dan t klein en drukken dus den hamer dichter tegen de kern van B . De veerkracht, die den hamer tegen den schroef duwt is dan ook grooter, dus er is ook grootere aantrekkingskracht noodig om den stroom in V te onderbreken. Deze grootere aantrekking en grootere veerkracht doen de trillingen met groote snelheid verlopen, terwijl de tijd van aanraking in V toch zoolang is, dat de stroomsterkte in den klos B hoog oploopt. Dit is een vereischte om een sterke vonk bij onderbreking in V te krijgen. Bij meting blijkt er een optimum te bestaan. Evenals bij de Leidsche flesch van Feddersen krijgen we een oscilleerende ontlading tusschen de condensators c_1 en c_2 , de vonkenbrug V en de zelfinductie spoelen L_1 en L_2 . Het arbeidsvermogen, dat verloren gaat door den weerstand van de lucht en den geleider dempt deze oscillatorische ontladingen, maar voordat ze geheel verdwenen zijn, heeft de hamer reeds weer een trilling gemaakt en een nieuwe vonkenserie opgewekt.

De keten, waar deze wisselstroom doorgaan, bevat behalve de condensators c_1 en c_2 , een zelfinductiespoel L_1 , die met den knop E in en uit te schakelen is, en een zelfinductiespoel L_2 , die in het ebonieten handstuk, dat in fig. 12 te zien is, ingebouwd is; dit is een *Teslaspoel*, waarbij de binnenste klos bestaat uit langen dunnen draad, de buitenste uit korten dikken draad (zeer weinig windingen!). Al deze onderdeelen zijn in serie geschakeld. De trillingstijd (een heen en weergang) in zoo'n trillingsketen beantwoordt aan de betrekking:

$$T = 2 \pi \sqrt{L c} \quad (8)$$

Afleiding dezer formule: stel, dat er geen weerstand in de trillingsketen is, dan blijft het totale arbeidsvermogen constant.

Het arbeidsvermogen voor de zelfinductie = $\frac{1}{2} Li^2$.

Het arbeidsvermogen voor den condensator = $\frac{1}{2} cv^2$.
zoodat:

$$\frac{1}{2} Li^2 + \frac{1}{2} cv^2 = \text{constant}$$

differentieeren naar t

$$L i \frac{di}{dt} + cv \frac{dv}{dt} = 0. \quad (9)$$

$e = cv$ (bladz. 32) gedifferentieerd geeft dit: $de = cdv$ (10)
verder is bij het laden van een condensator:

$$idt = de \quad (11)$$

Uit (10) en (11) volgt:

$$i = c \frac{dv}{dt} \text{ en} \quad (12)$$

$$\frac{di}{dt} = c \frac{d^2v}{dt^2} \quad (13)$$

Zet nu weer (12) en (13) in (9):

$$L c \frac{dv}{dt} c \frac{d^2v}{dt^2} + cv \frac{dv}{dt} = 0$$

$$L c \frac{d^2v}{dt^2} + V = 0 \quad \text{of:}$$

$$\frac{d^2v}{dt^2} = - \frac{V}{Lc} \quad (14)$$

Stel ter oplossing voor deze differentiaal vergelijking:

$$\text{Potentiaal v/d condensator) } V = a \sin. bt \quad (15)$$

$$\frac{dv}{dt} = - a b \cos bt$$

$$\frac{d^2v}{dt^2} = - a b^2 \sin bt$$

Vul dit in (14) in en deel door $a \sin bt$

$$b^2 \frac{1}{Lc} \quad \text{of} \quad b = \frac{1}{\sqrt{Lc}} \quad (16)$$

Stel (16) weer in (15)

$$V = a \sin \frac{t}{\sqrt{Lc}}$$

Hieruit blijkt, dat de potentiaal van den condensator in een trillingsketen sinusoidaal verloopt, daar $\sin \frac{t}{\sqrt{Lc}} = 0 \rightarrow 1 \rightarrow 0 \rightarrow -1 \rightarrow 0$ bij het doorloopen van een hoek van 0° tot 360° . Daar we met een slinging van de potentiaal te doen hebben, is voor één trilling:

$$\text{één trillingstijd} = 360^\circ = 2\pi = \frac{t}{\sqrt{Lc}}$$

de trillingstijd T is dus:

$$T = 2\pi \sqrt{Lc} \quad \text{q. e. d.}$$

Waarin L de coëfficiënt voor zelfinductie en c de capaciteit van den condensator voorstelt.

Hebben de condensators uit het schema fig. 14 capaciteiten c_1 en c_2 en de spoelen L_1 en L_2 coëfficiënten voor zelfinductie L_1 en L_2 dan is:

$$T = 2\pi \sqrt{(L_1 + L_2) \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}} \quad (\text{voor het toestel.}) \quad (17)$$

Hebben we 2 condensators achter elkander geschakeld, die beide met een hoeveelheid electriciteit e geladen zijn, terwijl zij een capaciteit c_1 en c_2 hebben, dan zal de potentiaalsprong voor den eenen zijn:

$$V_1 - V_2 = \frac{1}{c_1}$$

$$\text{voor den anderen: } V_2 - V_3 = \frac{1}{c_2}$$

$$+ \text{-----}$$

dus de totale potentiaalsprong $= V_1 - V_3 = e \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \right)$

is C de capaciteit van het geheel dan is:

$$V_1 - V_3 = \frac{e}{C} = e \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \right)$$

$$\text{waaruit volgt: } C = \left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right)$$

Aan de capaciteit der condensators kunnen wij niets veranderen, maar wel kan de inductieklos L_1 uitgeschakeld worden; de trillingstijd wordt dan dus korter. De stroomsterkte van den hoogfrequente wisselstroom i op een bepaald oogenblik t is dan:

$$i = I \sin \omega t \text{ waarin } \omega = \frac{2 \pi}{T} \quad (18)$$

immers ω is een hoeksnelheid, is een aantal graden per tijds-eenheid doorloopen. $i = I \sin \omega t$ is slechts een voorstelling voor een wisselstroom, waarin I is de maximale stroomsterkte; deze wordt bereikt daar de sinus varieert van 0 tot 1

$$\sin \omega t = 1 \text{ voor } \omega t = 90^\circ = \frac{1}{2} \pi$$

Voor een heele trilling wordt $\omega t = 2 \pi$ dus trillingstijd T

$$T = \frac{2 \pi}{\omega} \text{ of } \omega = \frac{2 \pi}{T} \text{ q. c. d.}$$

Veronderstellen we nu, dat de klos L_2 een hoeveelheid krachtlijnen N_2 omvat en zij de coëfficiënt van zelfinductie voor den klos L_3 , die weer binnen de klos L_2 zit en welke vele fijne windingen heeft = M ; dan kunnen wij weer schrijven:

$$N_2 = M i = M I \sin \frac{2 \pi}{T} t$$

de electromotorische kracht van den stroom in L_3 is nu door differentiatie van N_2 naar t geworden:

$$E = \frac{dN}{dt} = M I \frac{2 \pi}{T} \cos \frac{2 \pi}{T} t \quad (19)$$

Deze hooggespannen, hoogfrequente wisselstroom trilt nu door een micacondensator in de met dun gas gevulde buis. We zien uit (19), dat door T te verkleinen (L_1 uit te schakelen (17)) E grooter wordt en dat I evenredig is met E . Deze stroomsterkte I is natuurlijk evenredig met de stroomsterkte van den extrastroom in B , die weer met den hamer te regelen is.

Nog verdient aandacht het feit, dat de plaatsing van de condensators c_1 en c_2 zóó is, dat de netstroom A niet in de

trillingsketen kan worden opgenomen. De vonkenbrug V is voorzien van koelribben, om oververhitting door de vonken te voorkomen. Een fout in de constructie van het besproken toestel is nog, dat de condensators bij langdurig gebruik veel te warm worden.

Dus in 't kort komt het gebruik van de „Radiofor” praktisch hierop neer: dat men *de frequentie* van de hoogfrequente wisselstroomen regelt met knop E, er wordt een maximum bereikt, wanneer de pijl van E op 5 staat. *De stroomsterkte* van de hoogfrequente wisselstroom regelt men met knop D — den hamer — en dan zien wij bij meting, dat de stroomsterkte in de primaire keten op stand 9,5 een optimum bereikt van 0,24 Ampère bij een gelijkstroom van 220° Volt. Over dat punt en vóór dat punt is de uitslag van den Ampèremeter minder. De weerstand in de primaire spoel is te schatten op ± 1000 Ohm.

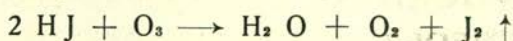
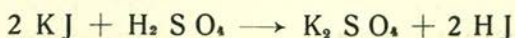
Verder is *gemeten de stroomsterkte in de electrode*, die bij behandeling gebruikt wordt. Daartoe werd een milli-ampèremeter gebezigd, die voorzien was van een thermo-element. Gebruikt werd gelijkstroom van 220 Volt. In de eerste kolom staat de stand van de knop E bij 1 loopt de stroom geheel door spoel L₁ bij 5 is spoel L₁ geheel uitgeschakeld; in de tweede kolom is *i* uitgedrukt in milliampères, gemeten tusschen micacondensator en electrode.

stand knop E	<i>i</i> in milliampères.
5	30 „ „
4	28 „ „
3	15 „ „
2	3 „ „

Er is gebleken, dat bij metalen de indringdiepte geringer wordt bij stijgende frequentie.

De glazen electroden zijn luchtledig; de verdunning is niet gelijk; er zijn er ook, die met neon gevuld zijn.

Laat men het toestel werken, dan kan men onmiddellijk ruiken, dat er ozon gevormd wordt. Een nat joodkalistijfsel papiertje, gehouden tegen de lichtende buis, wordt onmiddellijk gekleurd, waarmede ozonvorming chemisch is aangetoond volgens:



het jodium kleurt stijfsel blauw.

Een nauwkeurig uitgevoerde quantitative ozonbepaling zou naast directe meting een methode zijn om een doseering uit te werken.

De ultraviolette stralen, die uitgezonden worden zijn gemakkelijk, door hun chemische werking op photographische platen of fluoresceerende lichamen aan te toonen.

Litteratuur:

Bosscha, Leerboek der Natuurkunde.

Frankenhäuser, Physiologische Grundlagen und der Technik der Electrotherapie.

Grimsehl, Lehrbuch der Physik.

Holleman, Leerboek der anorganische chemie.

Kramers, Leerboek der algemeene scheikunde.

Lorentz, Beginselen der Natuurkunde.

Luciani, Physiologie des Menschen.

Saberton, Modern methods of treatment. Diathermie in medical and surgical practise.

Stadt van de, Beknopt leerboek der Natuurkunde.

Zwaardemaker, Leerboek der physiologie.