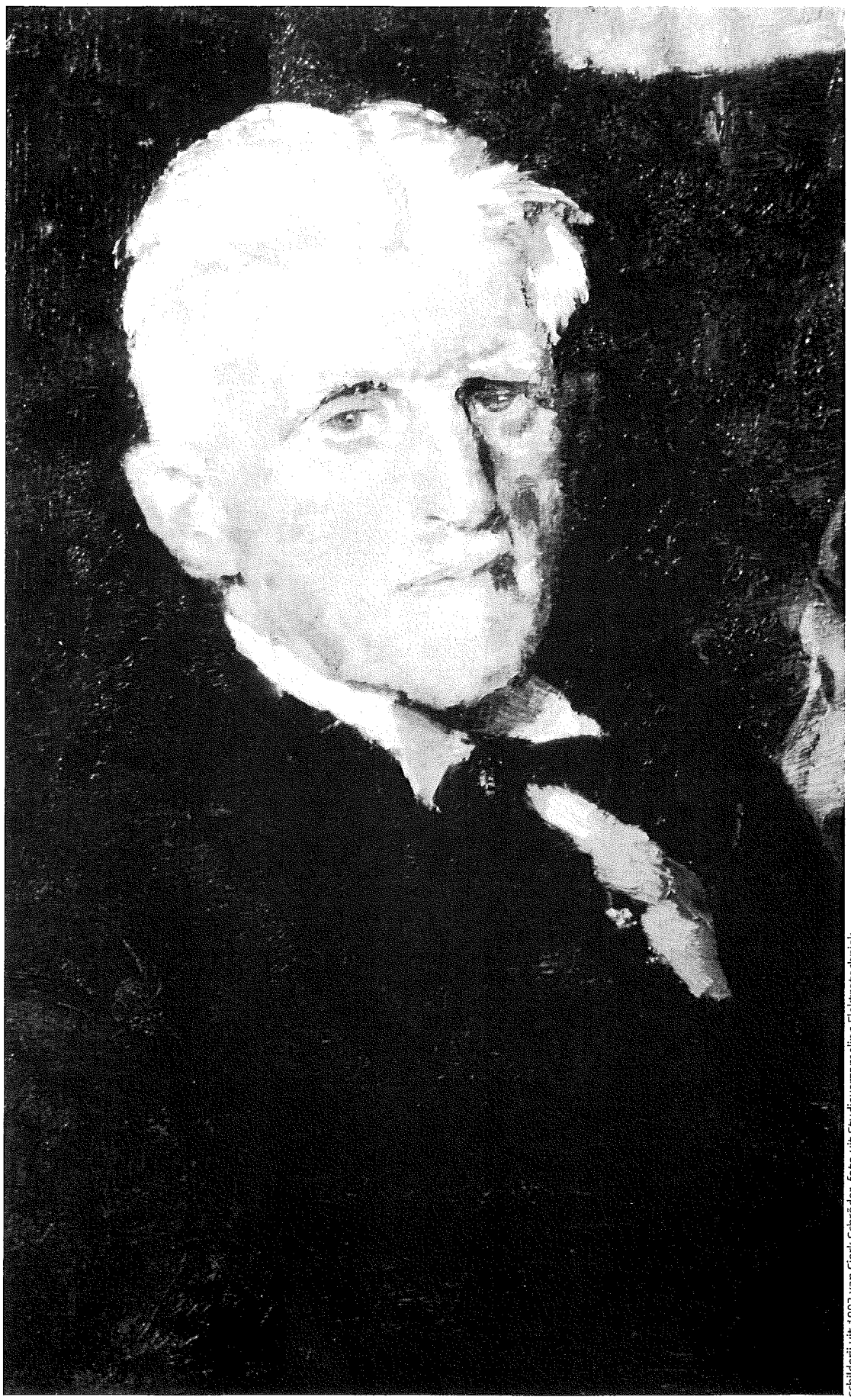


schilderij uit 1903 van Sierk Schröder, foto uit Studieverzameling Elektrotechniek

Prof. Jhr. dr. G.J. Elias (1879-1951)
hoogleraar wisselstroomtheorie en theoretische elektriciteitsleer van 1916 tot 1950

3

GERHARD JOAN ELIAS

Wisselende stromen en krijtformules

door A. T. de Hoop

Om bevestiging van zijn werk aan ionosferische radiopropagatie te krijgen, liet de fysische mathematicus G. J. Elias in zijn Laboratorium voor Theoretische Elektriciteitsleer een proefopstelling maken die bestond uit een ontvanger die radiosignalen van omroepzenders opving.
Zijn werk en hoogtepeilingen van de ionsofeer worden ook in het buitenland beschouwd als baanbrekend. Prof. Elias en de wetenschap in de vroege elektrotechniek: decennia lang metingen in de hoogte verrichten, vóór de opkomst van de raket. 'De radio-engelen zingen magneten in mij wakker.'

Wat hier op het bord
verscheen was duidelijk
van een andere orde.

Een college in 1949

Met grote zorgvuldigheid verschenen in krijt de formules op het bord, geschreven met een vanzelfsprekendheid die als het ware hún vanzelfsprekendheid tot uitdrukking bracht. Niettemin leek, zo nu en dan, een toelichting op haar plaats. Dan wendde de hoogleraar zich om, peilde met vorsende blik wat in de zaal misschien niet begrepen zou kunnen zijn en lichtte toe. Professor Jhr. dr. G. J. Elias gaf college: *'Zenderveld I'*, onderdeel van het hogerejaars-programma van de studierichtingen elektrotechniek en technische natuurkunde.

Op de massief houten klapstoelen van de massief houten banken in collegezaal E van het gebouw voor Elektrotechniek aan de Kanaalweg 2b te Delft zat hooguit een tiental studen-ten. Het vak was een keuzevak en niet iedere ingeschrevene die het diploma van elektrotechnisch of natuurkundig ingenieur wilde behalen, voelde zich aangetrokken tot de abstracte magie waarvan de geheimen hier op zachte, doch besliste toon werden onthuld. Op het bord ontrolde zich de berekening van het elektromagnetische veld dat door een antenne, opgesteld boven het aardoppervlak, wordt uitgestraald. Berekeningen van deze aard waren van direct belang voor de radio-omroep, waar de uitzendende instanties vanzelfsprekend op alle plaatsen in Nederland een veld moesten garanderen dat sterk genoeg was om een radio-ontvangtoestel te kunnen laten spelen.

Basis voor de berekening van het elektromagnetische veld waren – en zijn nog steeds – de natuurkundige wetten van de Schotse geleerde James Clerk Maxwell (1831-1879), zoals die in zijn *A Treatise on Electricity and Magnetism* (Maxwell, 1873) waren gepubliceerd en door de Engelse elektrotechnicus Oliver Heaviside (1850-1925) in hun voor verdere toepassingen in de elektrotechniek geschikte vorm waren gebracht (Heaviside, 1893, 1899, 1912). Om het verloop van de berekeningen op college te kunnen volgen, waren kennis van en vaardigheid met de vectoranalyse en de zgn. *complexe rekenwijze* ter behandeling van periodiek met de tijd veranderende stromen, spanningen en elektromagnetische velden vereist, wat de niet-geïnteresseerde bij het vak vandaan hield. Wat hier op het bord verscheen was duidelijk van een andere orde dan waar de ter weerszijden aan de muur bevestigde marmeren schakelborden van spraken. Daar repten de koperen klemmen van de schakelaars en de vervaarlijke stroom- en spanningsmeters van de elektriciteitsvoorziening van die andere elektrotechniek waar de ambachtelijkheid nog de boventoon voerde. Dit college was een toevluchtsoord voor die studenten die inzicht in de wetenschappelijke achtergronden van het vakgebied wensten te verwerven. Vaak maakten, naast de colleges van Elias, ook de vakken *Theoretische Natuurkunde I en II* van dr. R. Kronig en diverse wiskundecolleges deel van hun vakkenpakket uit, stuk voor stuk gedoceerd door hoogleraren die een beroep deden op inzicht en niet op feiten of weetjes.

Jonkheer Gerhard Joan Elias werd op 5 oktober 1879 te Arnhem geboren. Hij werd in 1897 ingeschreven bij de Polytechnische School te Delft, maar al spoedig daarna ging hij aan de Rijksuniversiteit Utrecht wis- en natuurkunde studeren. In 1905 legde hij daar het doctoraalexamen af en in 1909 promoveerde hij er, cum laude, op het proefschrift *Anomale magnetische draaiingsdispersie in verband met selectieve absorptie*.

Maxwell

In 1916 achtte de Afdeling der Elektrotechniek van de Technische Hogeschool Delft de tijd daar om aan de studie, die tot dan toe haar enting op de werkuigbouwkunde nauwelijks kon verhullen, een meer fundamentele fysische basis te geven. Per slot van rekening is de gehele elektrotechniek in haar concrete uitvoering niets anders dan een toepassing van de reeds

genoemde twee wetten van Maxwell, aangevuld met de fysische modellen voor het elektromagnetische gedrag van de materie. Prof. Elias werd aangesteld met de leeropdacht *Wisselstroomtheorie en Theoretische Elektriciteitsleer* en ging met grote voortvarendheid en na zorgvuldige voorbereiding college in deze vakken geven.

In de jaren die volgden, voegde hij steeds de nieuwste ontwikkelingen van het vakgebied aan zijn reeds indrukwekkende arsenaal van collegestof toe. Zo ontstonden tussen 1916 en 1940 college-aantekeningen over de meest uiteenlopende onderwerpen, de keuze waarvan steeds bepaald werd door de in het vooruitzicht gestelde toepassing in de elektrotechniek en de inmiddels tot bloei gekomen elektronica. Een belangrijk deel van deze aantekeningen is te vinden in de imposante boeken *Theorie van het Electromagnetische Veld I* (1946) en II (1948) van zijn hand. Het voor iedere student verplichte vak Wisselstroomtheorie I was in hoofdzaak gericht op de berekening van met de tijd periodiek veranderende elektrische stromen en spanningen in elektrische netwerken en transmissielijnen (verbindingskabels). De elektrische netwerken vormden de basis voor de toenmalige elektronica, de transmissielijnen de basis voor de overdracht van signalen in de toenmalige telegrafie en telefonie. Door de periodiek met de tijd veranderende elektrische stromen en spanningen weer te geven via hun reeks van Fourier, ontstond het standaardrekenschema van die tijd. Het uitvoeren van de daarvoor benodigde berekeningen was echter een tijdrovende bezigheid. Er bestonden immers nog geen elektronische rekenmachines en alles moest met de hand gebeuren! In Elias boek *Theorie der wisselstroomen* (1943), zijn diverse van deze rekenschema's – voor een deel door Elias zelf ontwikkeld – nog te vinden. Dit boek bevat ook onderwerpen die in het vervolgcollege *Wisselstroomtheorie II* aan de orde kwamen, zoals de in- en uitschakelverschijnselen in elektrische netwerken en transmissielijnen. Hierbij paste Elias de zgn. operatorenrekening van Heaviside toe, zoals die in het proefschrift van zijn latere opvolger Prof. dr. ir. J. P. Schouten (1933), die bij hem was gepromoveerd, was opgezet. Uit het 'Voorwoord' van Elias' boek citeren wij:

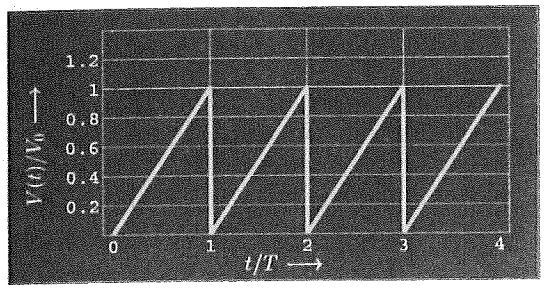
> ...Gedurende mijn werkzaamheid aan de Technische Hogeschool heb ik mij met verschillende onderwerpen bezig gehouden, die plegen onder de 'theorie der wisselstroomen' in engeren zin te worden gerangschikt, welke onderwerpen in mijn colleges ter sprake kwamen. Reeds lang kwam het mij gewenscht voor hierover het een en ander te boek te stellen en ten slotte ben ik hiertoe, mede onder aandrang van buiten af, overgegaan...

'Zwarte tentamens'

Deze 'aandrang van buiten af' waren de omstandigheden gedurende de Duitse bezetting tijdens de Tweede Wereldoorlog. De Technische Hogeschool was ge-sloten en Elias was met de uitgever overeengekomen dat alleen die studenten die een door hem afgegeven verklaring konden overleggen, een exemplaar bij de boekhandel konden aanschaffen. Zo waren zij toch in de gelegenheid de stof te bestuderen en konden zij desgewenst in het geheim bij Elias 'zwart' tentamen afleggen. Na de herwinning der vrijheid in 1945 werden deze tentamens 'gelegaliseerd'. Het behoeft geen betoog, dat deze regeling zowel voor Elias als voor de studenten in kwestie niet zonder gevaar was.

DE REEKS VAN FOURIER

In de elektrotechniek, de elektronica, de telecommunicatietechniek en de computertechniek treden veelvuldig elektrische spanningen en stromen op van een zich met de tijd periodiek herhalende vorm. Hoe willekeurig hun vorm ook mag wezen, de periodieke grootheden kunnen worden voorgesteld als een optelsom (superpositie) van de eenvoudigste periodieke functies die de wiskunde kent, nl. de *cosinus* en de *sinus*. Voor deze functies, die op elke grafische zakrekenmachine voorhanden zijn, geldt $\cos(x + 2\pi) = \cos(x)$ en $\sin(x + 2\pi) = \sin(x)$ voor alle x (in rad), d.w.z. zij zijn periodiek met de periode 2π rad. Laat nu T de duur van de *periode* (in s) van de beschouwde spanningen of stromen zijn en $f = 1/T$ (in Hz) de bijbehorende *herhalingsfrequentie*, dan zijn kennelijk de functies $\cos(2\pi nt/T)$ en $\sin(2\pi nt/T)$ met n een geheel getal, periodieke functies van de tijd t (in s). De Franse wiskundige Jean Baptiste Joseph Fourier (1780-1830) ontdekte in 1821 dat deze rij van functies gebruikt kan worden om – voorzien van passende amplitude – een periodieke functie met (tamelijk) willekeurig profiel voor te stellen.



Figuur 1: Zaagtandspanning met amplitude V_0 en periode T.

Als voorbeeld nemen wij de '*zaagtandspanning*' $V(t)$ die in iedere televisie-ontvanger wordt opgewekt om op het scherm van de televisiebeeldbuis om de T seconde een beeld te genereren. Met de amplitude V_0 wordt dan de formule voor deze zaagtandspanning (Figuur 1)

$$V(t) = V_0(t/T) \quad \text{voor } 0 < t < T \qquad (1)$$
$$\text{en } V(t+T) = V(t) \quad \text{voor alle } t.$$

De bijbehorende reeks van Fourier is

$$V_F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{N}[a_n \cos(2\pi nt/T) + b_n \sin(2\pi nt/T)], \qquad (2)$$

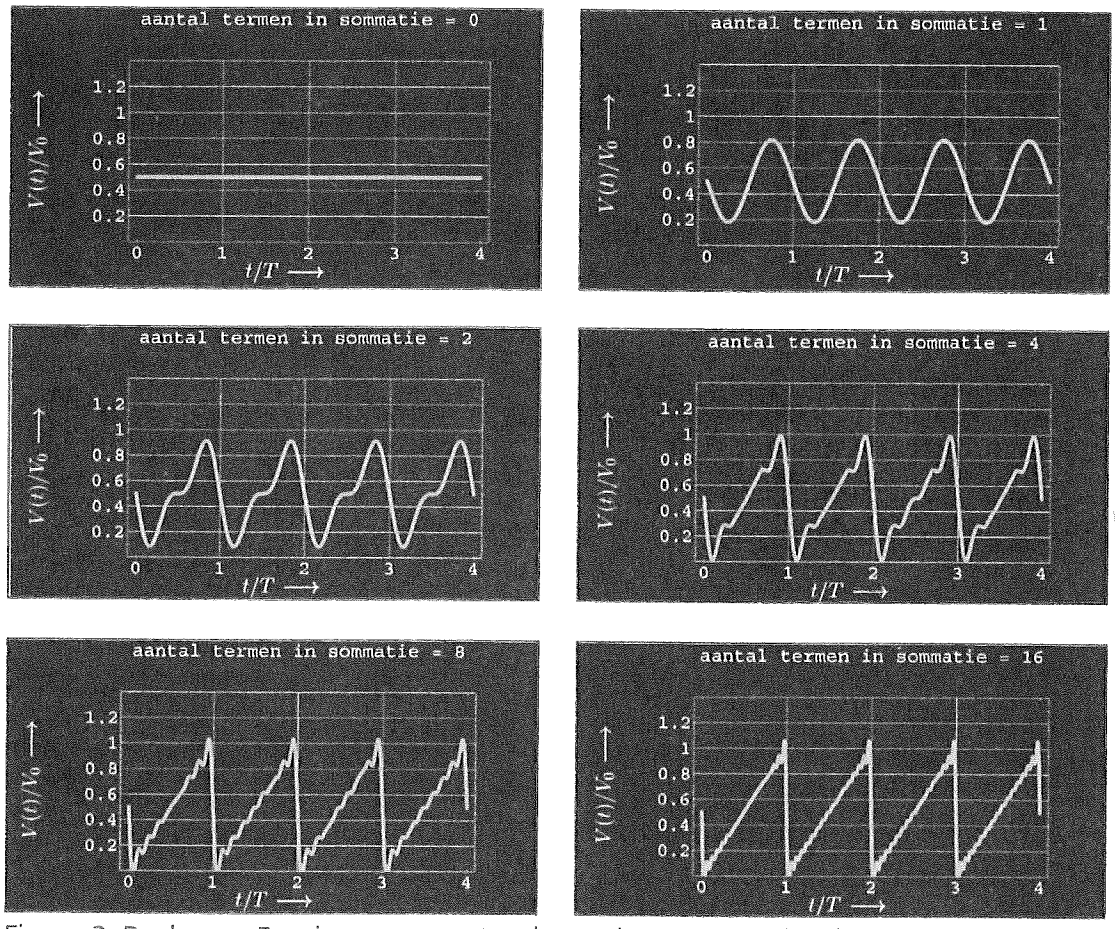
waarin de amplitudes van de veschillende termen worden gegeven door

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_0^{2\pi} V(t)\mathrm{d}t = \frac{T}{2}, \qquad (3)$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^{2\pi} V(t)\cos(2\pi nt/T)\mathrm{d}t = 0, \qquad (4)$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^{2\pi} V(t)\sin(2\pi nt/T)\mathrm{d}t = -\frac{T}{n\pi}. \qquad (5)$$

In Figuur 2 is weergegeven hoe $V_F(t)$ er voor verschillende waarden van het aantal meegenomen termen N in de sommatie uitziet. Naarmate N groter wordt, benadert $V_F(t)$ steeds beter $V(t)$. De 'franje' in de buurt van de knik van de voorgestelde functie staat bekend als het 'verschijnsel van Gibbs'.



Figuur 2: Reeks van Fourier voor zaagtandspanning met amplitude V0 en periode T.

Tentamen/examen 1949

Mondeling tentamen of examen afleggen placht bij Prof. Elias geheel volgens de geldende etiquette te gaan. De examinandus verscheen gekleed in jacquetkostuum, gaf zijn visitekaartje af bij de concierge die hem vervolgens bij Zijne Hooggeleerde aandiende. Kort daarna werd hij binnengeroepen en hem werd verzocht achter een klein tafeltje plaats te nemen. Zijn examinator schoof het geheel tegen de muur, ging tegenover hem zitten en de ondervraging begon. Na 1945 beschikten de meeste studenten niet meer over een jacquetkostuum of over vrienden die zo'n kledingstuk tot hun garderobe mochten rekenen en geen van hen had nog gedrukte visitekaartjes. Van het dragen van een jacquet werd uiteraaard dispensatie verleend, maar het aandienen bij de hoogleraar kon niet zonder een passend kaartje. In deze handicap werd als volgt voorzien: de student meldde zich bij de concierge, die vervolgens uit een blanco vel papier een stukje ter grootte van een visitekaartje knipte en daarop de naam van de student schreef. Voorzien van dit document vervulde hij daarop zijn aanmeldingsplicht. Het protocol vereiste verder, dat men zich bij binnenkomst netjes voorstelde, waarop Zijne Hooggeleerde zich ervan ver-

gewiste of de zich mondeling voorstellende persoon inderdaad dezelfde was als de schriftelijk aangediende. Eenmaal gezeten en aangeschoven, kon zich een dialoog over de examenstof ontwikkelen in een buitengewoon ontspannen en plezierige sfeer, mits... men de stof beheerste.

Ionosfeeronderzoek

Zoals reeds is opgemerkt, was het gedrag van radiogolven op hun weg van zender naar ontvanger van groot belang voor de radio-omroep. Doorgaans bleken radiogolven zich bij hun propagatie langs het aardoppervlak geheel te gedragen volgens hetgeen de wetten van Maxwell voorspelden voor een model dat bestond uit een vlakke dan wel bolvormige aarde (voor propagatie op korte, respectievelijk lange afstand) met eenvoudige *diëlektrische* en geleidingseigenschappen, met daarboven een uniforme atmosfeer die in elektromagnetisch opzicht nauwelijks van het vacuüm afwijkt. Tot grote verrassing van de experimentatoren bleken echter radiogolven van bepaalde frequenties meetbare signalen over te dragen over afstanden waar volgens de theorie het signaal al tot onmeetbaar klein zou moeten zijn afgezwakt. Om dit verschijnsel te verklaren, lanceerden de Engels/Amerikaanse onderzoeker A. E. Kennelly (1861-1939) en de reeds genoemde Oliver Heaviside in 1902 de hypothese, dat zich in de bovenste lagen van de atmosfeer een elektrisch geleidende laag zou bevinden die schuin omhoog uitgezonden radiogolven weer terugkaatste naar de aarde, die op haar beurt de golven weer omhoogkaatste, enz. Een fysische verklaring voor de aanwezigheid van zo'n 'spiegel' was echter niet voorhanden.

Omstreeks 1921 ging Elias zich met dit probleem bezighouden. Hij onderstelde, dat de gassen waaruit de hogere luchtlagen bestaan, op die hoogte onder invloed van het zonlicht konden worden geïoniseerd. Bij dit proces worden elektronen losgewerkt van hun atoomkern, waarna zij min of meer vrijelijk (er blijven natuurlijk botsingen optreden) kunnen bewegen onder invloed van de door een elektromagnetisch veld uitgeoefende kracht. Deze beweging veroorzaakt een elektrische convectiestroom (elektrische stroom = bewegende elektrische lading), die naar zijn aard in wisselwerking met het aanwezige elektromagnetische veld (in ons geval een radiogolf) staat. Het aldus ontstane medium wordt een (elektronen)plasma genoemd. De propagatie-eigenschappen van een plasma vinden hun uitdrukking in de brekingsindex; deze blijkt frequentieafhankelijk te zijn. In de formule van deze brekingsindex blijkt de deeltjesdichtheid van de elektronen als parameter op te treden.

Deze dichtheid verandert met de hoogte boven het aardoppervlak, waardoor de in het elektronenplasma doordringende radiogolven geleidelijk in horizontale richting worden afgebogen en, na in richting horizontaal te zijn geworden, weer naar beneden afbuigen. De atmosferische laag waar dit zich afspeelt wordt ionosfeer genoemd. Doorslaggevend voor de gehele theorie is hoe de elektronendichtheid varieert met de hoogte boven het aardoppervlak. Hierover heeft Elias een theorie ontwikkeld, die in een aantal artikelen in het Tijdschrift van het Nederlands Radiogenootschap ((1922) en volgende) werd gepubliceerd. Deze publicaties kunnen als baanbrekend worden beschouwd voor de theorie van de ionosferische radiopropagatie. Zijn beschouwingen werden ook geplaatst in de buitenlandse vakliteratuur (Elias, 1925).

Terzelfdertijd werkte de Engelse onderzoeker S. Chapman aan een soortgelijke theorie, die door hem – in uitvoeriger vorm – in een Engels tijdschrift werd gepubliceerd (Chapman, 1931). In de literatuur wordt alom de desbetreffende laag in de ionosfeer als 'Chapman lager' aangeduid, hoewel men op grond van prioriteit de benaming *Eliaslaag* zou kunnen verdedigen.

Na aldus een theorie voor het hoogteprofiel van de brekingsindex van de ionosfeer te hebben opgesteld, wijdde Elias zich in een aantal vervolgpublicaties aan de theorie van de uitbreiding van radiogolven in zo'n medium. Toen die eenmaal was opgesteld kon zij als diagnos-

tisch middel voor de samenstelling van de ionosfeer dienen en konden experimenten een aanvang nemen, die op hun beurt weer een basis voor de verklaring van de propagatie van radiogolven over grote afstanden verschafte.

DE BREKINGSINDEX VAN EEN ELEKTRONENPLASMA (IONOSFEER)

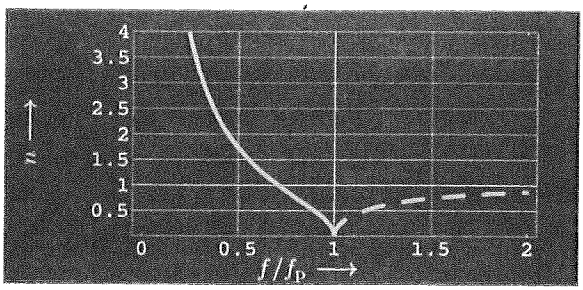
Door de bewegingsvergelijking van Newton (kracht = massa × versnelling) op een elektron toe te passen en voor de erop werkende kracht de elektrische kracht (= elektrische lading × elektrische veldsterkte) te nemen, wordt voor de brekingsindex n van een elektronenplasma de volgende formule gevonden

$$n = \left[1 - (f_p/f)^2\right]^{1/2}, \tag{6}$$

waarin f de frequentie van de radiogolf voorstelt en

$$f_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{Ne^2}{\epsilon_0 m_e}\right)^{1/2} \tag{7}$$

de *plasmafrequentie* van het elektronenplasma. Deze laatste grootheid wordt bepaald door de deeltjesdichtheid N van de elektronen (= aantal elektronen per eenheid van volume), de elektronlading e ($e = 1.602 \times 10^{-19}$ coulomb), de permittiviteit van het vacuüm E_0 die door het Internationale Stelsel van Eenheden (SI) is vastgesteld ($E_0 = \mu_0 c_0^2$, met $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ henry/meter als de permittiviteit van het vacuüm en $c_0 = 299792458$ m/s als de lichtsnelheid in vacuüm) en de elektronmassa $m_e = 9.109 \times 10^{-31}$ kg. In het frequentiebereik $f < f_p$ is $n^2 < 0$ en laat het plasma geen golven door (weerkaatst ze); voor $f > f_p$ is $n^2 > 0$ en laat het plasma de golven gewoon door (Figuur 3).



Figuur 3: Brekingsindex van een plasma als functie van de frequentie f (f_p = plasmafrequentie).

Elias en de hoogtepeilingen van de ionsofeer

Om bevestiging van zijn theoretische werk aan ionosferische radiopropagatie te verkrijgen, liet Elias in zijn Laboratorium voor Theoretische Elektriciteitsleer een proefopstelling vervaardigen die bestond uit een in de Wippolder te Delft opgestelde ontvanger die radiosignalen van omroepzenders opving en de sterkte van het ontvangen signaal relateerde aan de aanwe-

zigheid van een uit elektronenplasma bestaande ionosfeer. Deze experimenten gaven een positief resultaat te zien ten aanzien van correlatie met de inval van zonnestraling op een bepaalde hoogte. Daar de deeltjesdichtheid van de gassen in de atmosfeer met toenemende hoogte afneemt en de inval van zonnestraling met de hoogte in een 24-uursritme varieert, verandert de elektronendichtheid van de ionosfeer (en daarmee haar plasmafrequentie) met de hoogte boven het aardoppervlak. Beschouwt men de propagatie van radiogolven in eerste aanleg als de propagatie van een elektromagnetische straal (naar analogie van een lichtstraal), dan zal de baan van zo'n straal in een variërend medium geen rechte lijn zijn, maar zal er afbuiging optreden. De baan van zo'n straal is te berekenen uit de daarvoor geldende wet van Snellius, die ook uit de breking van lichtstralen aan een grensvlak van twee media bekend is. Verder valt uit de looptijd van de radiogolf langs zo'n baan - via een wiskundige berekening - het hoogteprofiel van de elektronendichtheid af te leiden. Op dit gebied heeft Elias enkele decennia lang ionosfeermetingen verricht, metingen die na zijn aftreden als hoogleraar nog geruime tijd door zijn opvolger Prof. dr. ir. J. P. Schouten werden voortgezet. Met de komst van raketten die door de ionosfeer heen omhoog geschoten konden worden, was het tijdperk van de directe meting van de ionosfeereigenschappen aangebroken en zijn de proefnemingen - die alleen langs indirecte weg gegevens omtrent de ionosfeer konden opleveren - gestopt.

DE WET VAN SNELLIUS VOOR DE STRALENTHEORIE VAN RADIOGOLVEN

Laat een op de hoogte z_0 boven het aardoppervlak opgestelde zendantenne een elektromagnetische straal onder een hoek θ_0 met de verticaal uitzenden en laat $n(z, f)$ de met de hoogte z boven het aardoppervlak en de frequentie f variërende brekingsindex van de ionosfeer zijn. Bij verwaarlozing van de kromming van het aardoppervlak geldt dan de *wet van Snellius*

$$n(z, f)\sin(\theta) = n(z_0, f)\sin(\theta_0) = C_0, \tag{8}$$

waarin C_0 de baanconstante van de straal is. C_0 ligt vast door de hoogte z_0 en de hoek θ_0 van lancering van de straal. Verder geldt voor het horizontaal afgelegde traject x van een naar het aardoppervalk terugkerende straal die opgevangen wordt door een ontvangstantenne de formule

$$x = 2\int_{z_0}^{z_{\text{hor}}} \frac{C_0}{\left[n^2(z, f) - C_0^2\right]^{1/2}} \mathrm{d}z, \tag{9}$$

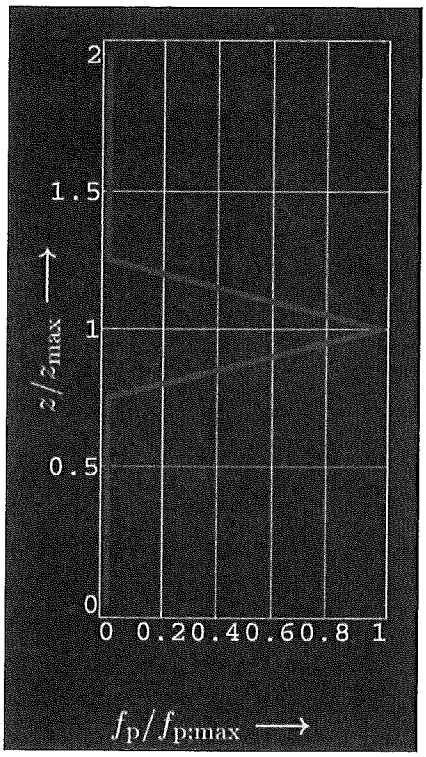
waarin z_{hor} de hoogte boven het aardoppervlak is waar de straal horizontaal loopt. Als voorbeeld beschouwen wij de stralengang in een model van de ionosfeer met een zgn. *'driehoekig profiel'* voor de elektronendichtheid. In een ionosfeerlaag ter dikte d en maximale elektronendichtheid N_{max} op hoogte z_{max} boven het aardoppervlak geldt voor dit profiel (Figuur 4a).

$$f_{\text{p}}^2 = f_{\text{p;max}}^2 \left[1 - \left(\frac{2|z - z_{\text{max}}|}{d}\right)\right], \tag{10}$$

met

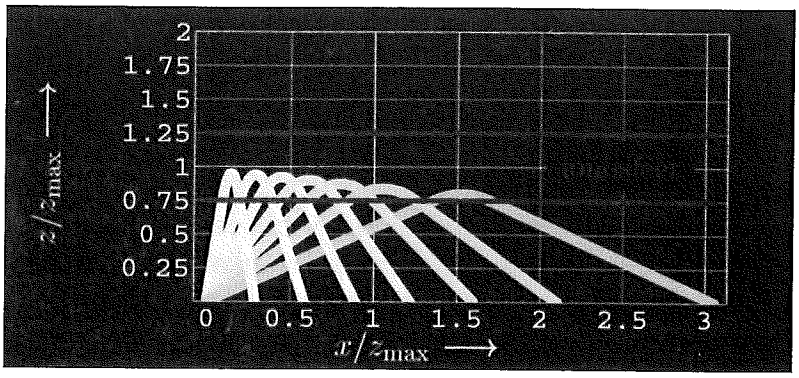
$$f_{\mathrm{p;max}}^2 = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{N_{\mathrm{max}}e^2}{\epsilon_0 m_{\mathrm{e}}}\right)^{1/2}. \tag{11}$$

Enkele kenmerkende waarden zijn: $f_{\mathrm{p;max}} = 3.5$ MHz, $z_{\mathrm{max}} = 100$ km en d = 50 km.

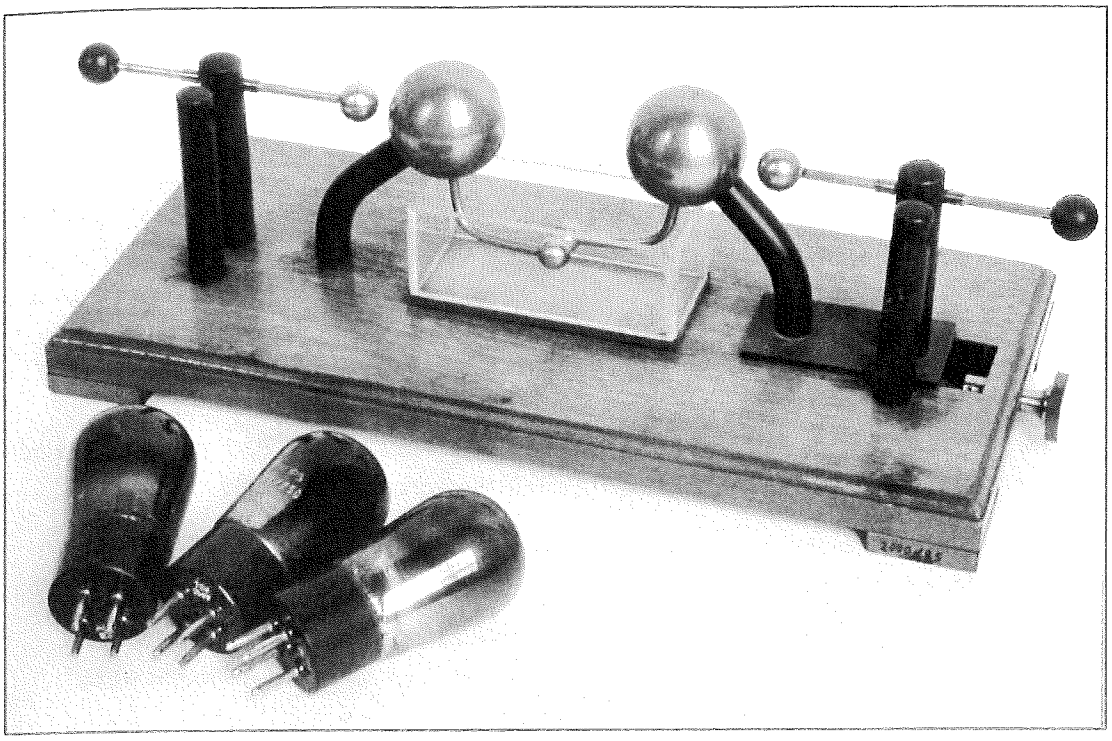


Figuur 4a: Driehoekig profiel van de elektronendichtheid in een ionosfeerlaag als functie van de hoogte z boven het aardoppervlak f_{p} = plasmafrequentie, $f_{\mathrm{p;max}}$ = maximale plasmafrequentie in de laag).

Voor $f/f_{\mathrm{p;max}} = 0.9$ geeft Figuur 4b een waaier van stralen weer die door de laag naar beneden worden afgebogen.



Figuur 4b: Een waaier van stralen teruggekaatst door een ionosfeerlaag met elektronendichtheidsprofiel van Figuur 4a ($f/f_{\mathrm{p;max}} = 0.9$ f = werkfrequentie van de radiogolf, $f_{\mathrm{p;max}}$ = maximale plasmafrequentie in de ionosfeerlaag).



Radiobuizen, ca. 1925.
In 1930 werd door toedoen van Elias het onderwijs in de radiocommunicatie aangescherpt, waarbij onder meer eigenschappen en de bouw van radiolampen aan de orde kwamen.

In radioland

Op een aantal posten heeft Prof. Elias radioland in Nederland gediend. Hij was de eerste voorzittter van het in 1920 opgerichte Nederlands Radiogenootschap (thans 'Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap'). In het Tijdschrift van dit Genootschap publiceerde hij regelmating over zijn onderzoek. Hij bewerkstelligde, dat het Genootschap de officiële vertegenwoordiger van Nederland was bij de Union Radio Scientifique Internationale (URSI), waar doorgaans de Academies van Wetenschappen de vertegenwoordiging van hun land tot taak hadden.

'Dodende straal'

Voor een ontwikkeling op ander terrein zorgden de in 1924 en volgende jaren in de Nederlandse en Duitse pers verschijnende berichten waarbij gewag gemaakt werd van de uitvinding van een 'dodende straal' (kennelijk van elektromagnetische aard). Hierdoor gealarmeerd, stelde de regering in 1924 in allerijl de *Commissie voor Physische Strijdmiddelen* in, die onderzoek naar dit wapen moest instellen. Professor Elias werd voorzitter. Al spoedig bleken de krantenberichten geen steek te houden, maar het door de Commissie gestarte defensie-onderzoek werd voortgezet, met o.a. in 1936 als resultaat de eerste proeve van een radarapparaat. Bij de Duitse inval in 1940 werd de Commissie opgeheven; de resultaten van het onderzoek werden per marinevaartuig naar Engeland overgebracht, dan wel op tijd vernietigd. Na de bevrijding in 1945 werd het defensie-onderzoek ondergebracht bij de Rijksverdedigingsorganisatie van TNO.

In volle strengheid

In 1950 werd aan prof. Elias eervol leeftijdsontslag verleend als hoogleraar. Aan dit aftreden werd een speciaal nummer van het Tijdschrift van het Nederlands Radiogenootschap

gewijd. Vele prominenten hebben in dit tijdschrift een eerbetoon aan Elias gepubliceerd. Zijn opvolger, prof. dr. ir. J. P. Schouten, schreef het volgende:

> ...Toen ik in 1923 voor het eerst kennis maakte met de door Prof. Elias gedoceerde wetenschap en geïmponeerd door de grootsheid van het theoretische gebouw, dat hij in volle strengheid voor ons optrok, tegen hem opzag, kon ik niet vermoeden dat hij eens mijn promotor zou zijn en nog minder dat hij mij eens naast zich zou roepen om mij een onderwijstaak op de schouders te leggen... Het strenge critische denken, dat overal en altijd van hem uitstraalt en waardoor een zo groot aantal ingenieurs in hun ontvankelijke jaren blijvend zijn beïnvloed is van onschatbare waarde geweest voor de technische wetenschap in ons land...

Kort na zijn pensionering, op 5 juni 1951, overleed Elias. Naar verluidt had hij – op een kladblaadje – de avond tevoren de tekst van zijn overlijdensadvertentie opgesteld.

Als epiloog een gedicht van Gerrit Achterberg:

TELEFUNKEN

De radio-engelen zingen
magneten in mij wakker
op golflengte van de dood;
een ebonieten vloot
gelijkgerichte krachten,
die met u wisselstroomt,
onmeetlijke afstanden.

Hun diamanten kelen
geven in mij de stoot
tot duizenden juwelen,
waaraan uw sferen hangen.
Ik voel mij overgroot
van ruimte overmannen.
Uw wezen overkomt
het mijne ultra-kort.

Gerrit Achterberg, *Verzamelde gedichten*,
Amsterdam, Querido, 1984, p. 552.

literatuur

CHAPMAN, S., 1931, "The Absorption and Dissociative or Ionizing Effect of Monochromatic Radiation in an Atmosphere on a Rotating Earth", *The Proceedings of the Physical Society*, Vol. 43, Part I, pp. 26 - 45; Part 11, pp. 483 - 501.
ELIAS, G. J., 1922, "Enkele beschouwingen over de Heaviside-laag", Tijdschrift van het Nederlands Radiogenootschap, 2, pp. 2 - 14.
ELIAS, G. J., 1925, "Über den Stand unserer Kenntnisse über die Heavisideschicht", *Elektrische Nachrichtentechnik*, 2, pp. 351 - 358.
ELIAS, G. J., 1943, Theorie der Wisselstroomen, P. Noordhoff, Groningen -Batavia, 572 pp.
ELIAS, G. J., 1946, Theorie van het Electromagnetische Veld I, P. Noordhoff, Groningen, Batavia, 304 pp.
ELIAS, G. J., 1948, Theorie van het Electromagnetische veld II, P. Noordhoff, Groningen, Batavia, 399 pp.
HEAVISIDE, O., 1893, Electromagnetic Theory, Londen, *The Electrician*, Vol. I, 466 pp.
HEAVISIDE, O., 1899, Electromagnetic Theory, Londen, *The Electrician*, Vol. II, 542 pp.
HEAVISIDE, O., 1912, Electromagnetic Theory, Londen, Butterworth, Vol. III, 519 pp.
KENNELLY, A. E., 1902, *On the Elevation of the Electrically Conducting Strata of the Earth's Atmosphere*, The Electrical World and Engineer, Vol. 39, p. 473.
MAXWELL, J., C., 1873, A Treatise on Electricity and Magnetism, Oxford, Clarendon Press, Vol. I, xxix + 425 pp.; Vol. II, xxiii + 444 pp.
SCHONGS, W. W., 1997, *Professor Jhr. dr. Gerhard Joan Elias: 1879 -1951, Fysisch mathematicus, docent theoretische electriciteitsleer THD*, Tijdschrift van het Nederlands Electronica- en Radiogenootschap, Deel 62, p. 94 - 97.
SCHOUTEN, J. P., 1933 Over de grondslagen van de operatorenrekening volgens Heaviside, Dissertatie Technische Hogeschool, Delft, 154 pp.

De schrijver stelt er prijs op mw. L. Sutin en mr. dr. K. F. van Eijk van de Bibliotheek TU Delft te bedanken voor de hulp die zij geboden hebben bij het opsporen van de benodigde documentatie.