Samenvatting

Het veranderlijk karakter van de dampkring wordt geïllustreerd nadat eerst gewezen werd op de veelvuldigheid van de tastbare uitingen van de aardse atmosfeer. Vervolgens wordt de structuur en de samenstelling besproken zowel van de neutrale atmosfeer als van de ionosfeer. Het belang van deze laatste in verband met radio-elektrische telecommunicatie wordt in het licht gesteld. Na een overzicht gegeven te hebben van de magnetosfeer worden ten slotte de gevaren aangestipt waaraan de atmosfeer bloot staat ten gevolge van menselijke aktiviteiten.

Résumé

Le caractère variable de l'atmosphère terrestre a été illustré après avoir mis en évidence les différentes façons par lesquelles elle peut se manifester. Ensuite la structure et la composition ont été étudiées, aussi bien de l'atmosphère neutre qu'ionisée. L'importance de l'ionosphère pour la propagation radio-électrique en matière de télécommunication a été démontrée. Après avoir donné un aperçu général de ce que c'est la magnétosphère, les différents dangers ont été identifiés, auxquelles l'atmosphère terrestre est exposée par l'intervention humaine.

Abstract

The variability of the terrestrial atmosphere has been stressed after having identified the various ways by which it can be observed. Then the structure and the composition of the neutral atmosphere have been analyzed as well as that of the ionosphere. The importance of the latter for radio-electric telecommunication has been shown. Finally, after having given a general idea of the magnetosphere, the dangers of human intervention on the atmosphere have been considered more thoroughly.

DE DAMPKRING, EEN GEZELLIGE EN VEILIGE DEKEN

Dr. E. Aerts

1. Inleiding

De aanwezigheid van een dampkring rond de aarde kan men op velerlei wijzen vaststellen. Vooreerst is er de voor de hand liggende fysiologische bevinding dat de levende wezens op aarde ademen. De blauwachtige kleur van de hemelkoepel, gevolg van een selectieve refractie is een ander bewijs van zijn bestaan. De druk die hij overal uitoefent kan met eenvoudige proeven en toestellen aangetoond worden. Ten slotte, indien er nog twijfel mocht bestaan, werd deze volledig weggeveegd met de waarnemingen verricht met satellieten en aan boord van ruimtelaboratoria. Uit deze laatste bleek alras dat onze atmosfeer veel verder reikt dan men vroeger vermoedde. Niet tot op een honderdtal kilometer, niet op enkele duizendtallen, maar vele aardstralen ver hebben ruimtetuigen sporen van de dampkring teruggevonden. Alhoewel de onontbeerlijkheid van zijn bestaan voor het leven op aarde sedert lang erkend werd, is het slechts in de laatste eeuwen en vooral gedurende de laatste decennia dat men de nodige aandacht ging besteden aan de studie van de dampkring. Van de indrukwekkende feiten en gebeurtenissen die er zich in afspelen had men vóór de inzet van het ruimte-epos geen flauw idee. Het zal daarenboven ook blijken dat Gezelle's uitspraak dat voor wie aandachtig luistert "het al een tale spreekt", in casu voor de dampkring bewaarheid is geworden.

2. Definitie, ontstaan en evolutie

We kunnen de aardse dampkring best definiëren als een enorme pneumatische buffer waardoor het leven op aarde mogelijk is geworden. Hij beschermt ons tegen nefaste kosmische verschijnselen waarvan vreemd genoeg, deze van de zon afkomstig, het meest te vrezen zijn. We zullen verder in dit betoog dikwijls de gelegenheid hebben om de zeer sterke afhankelijkheid aan te tonen van de dampkring t.o.v. de zon.

Aangezien men vroeger betrekkelijk weinig aandacht schonk aan de dampkring is het niet te verwonderen dat men hem een eeuwig karakter toekende. De laatste jaren is men er evenwel zeer sterk van bewust geworden dat dit geenzins het geval is. Gassen van aardse oorsprong, die deel uitmaken van de atmosfeer verdwijnen ieder ogenblik onherroepelijk in het heelal terwijl anderzijds atomen en moleculen van velerlei oorsprong hem gaan verrijken, in die mate dat de huidige dampkring helemaal geen uitstaans heeft met de oorspronkelijke. Integendeel, hij heeft een totaal ander karakter gekregen: van reducerend, bij het ontstaan, is hij geëvolueerd naar oxyderend.

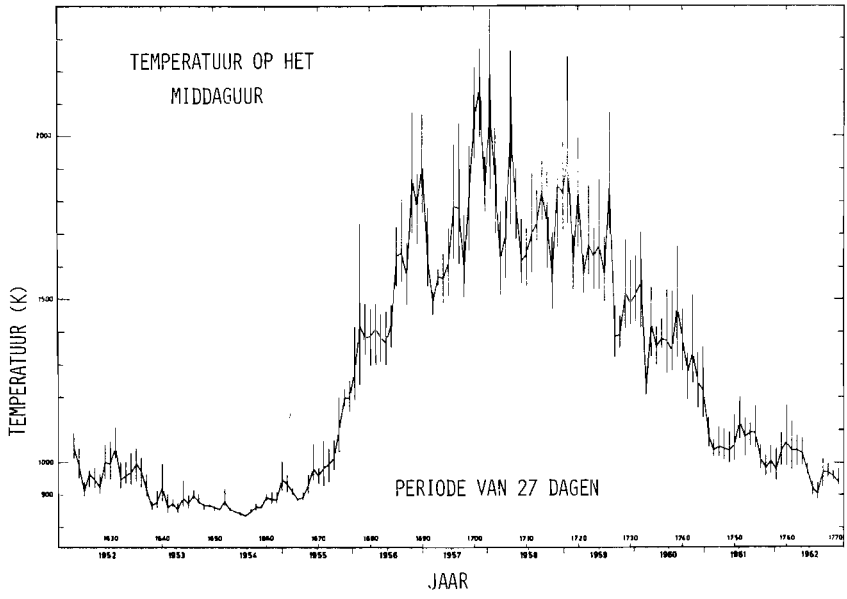

Fig. 4. Afhankelijkheid van de thermopauzetemperatuur van de zonneactiviteit.

4. Ionosfeer

Te midden van deze uitgestrekte gasmantel, hoofdzakelijk samengesteld uit neutrale atomen en moleculen doen zich enkele anomalieën voor. Hoofdzakelijk, ten gevolge van de ioniserende straling van de zon ontstaan er gelaagde gebieden waar een belangrijke hoeveelheid vrije ladingen aanwezig zijn. Weliswaar is hun concentratie betrekkelijk gering in vergelijking met die van de neutrale gassen, doch hun effect is van uitzonderlijk belang. Zij maken nl. radiotelecommunicatie op lange afstanden mogelijk, waarover straks meer.

Uit een nadere studie met behulp van ionosondes op aarde en aan boord van satellieten heeft men kunnen afleiden dat deze geïoniseerde deeltjes geconcentreerd zijn in 3 lagen nl. D, E en F lagen (fig.5). Samen vormen zij wat men de *ionosfeer* noemt. De D-laag is zowat op een tachtigtal km hoogte gelegen en heeft een dikte van enkele tientallen kilometer. De elektronendichtheid is betrekkelijk gering nl. 10^{10} m^{-3} doch blijkt voldoende om radiogolven met grote golflengte volledig te absorberen. De E-laag ligt op zowat 120 km hoogte en is ongeveer dubbel zo dik als de D-laag. De elektronenconcentratie is minstens 40 maal groter dan in de D-laag. Aangezien de dichtheid van de omliggende neutrale dampkring afgenomen is, neemt het relatief belang der geladen bestanddeeltjes toe. Dit is a fortiori het geval voor de daarbovenliggende F_1 en F_2 lagen. Laatstgenoemde is de belangrijkste; haar maximum is gelegen op 250 km hoogte en de elektronendichtheid is van de orde van 10^{12} deeltjes per m^3.

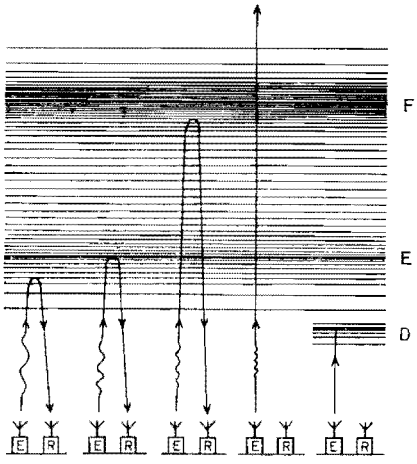

Fig. 5. De weerkaatsing en de absorptie van radiogolven door de verschillende ionosfeerlagen.
E: zendpost; R: ontvangstpost.

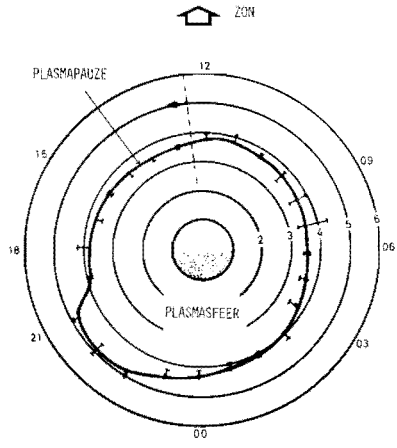

Fig. 6. Evenaarsdoorsnede van de plasmasfeer en de plasmapauze.

Deze hoogte en de concentratie zijn geen constanten; zij veranderen drastisch in functie van de zonneactiviteit en de geomagnetische onrust. Beneden het maximum der F_2 laag zijn de geladen bestanddelen innig verbonden met de neutrale atmosfeer. Erboven neemt deze invloed geleidelijk af en is het 't magnetisch krachtveld der aarde dat zich meer en meer doet gelden. De beweging der geïoniseerde deeltjes wordt uiteindelijk geheel beheerst door dit krachtveld dat ze dwingt rondom de aarde te draaien in een gebied dat men de *plasmasfeer* noemt en zich tot 4 aardstralen ver uitstrekt (fig. 6). De benaming is wel erg misleidend want bedoeld gebied heeft helemaal geen sferische vorm, doch is een overgrote ring. Met de begrenzing van de plasmasfeer kan men zeggen dat de ionosfeer eindigt.

De verschillende ionosferische lagen zijn van zeer groot belang voor de radioverbindingen. Zo bestaat b.v. de D-laag slechts overdag en slorpt zij practisch alle radiogolven op met grote en middelgrote golflengte. Op die manier zorgt zij dat op deze golflengten storingsvrije emissies en ontvangst plaats hebben via de zgn. grondgolf. De E-laag verstoort evenwel dit genoegen omdat zij hogervermelde golven weerkaatst. Deze laatste gaan interfereren met de grondgolven en veroorzaken de vervelende zwevingen. Op de F-laag worden daarentegen de korte golven weerkaatst. Het zijn zij die het mogelijk maken lange afstanden te overbruggen, ongestoord muziek te beluisteren, enz. Ten gevolge van uitbarstingen op de zon waardoor enorme plasmawolken de interplanetaire ruimte ingestuurd worden, meestal gepaard gaande met verhoogde ioniserende stralingen, kan de ladingsdichtheid der verschillende ionosferische lagen drastisch gewijzigd worden, in zulke mate zelfs dat alle radioverbindingen uitvallen.

5. Magnetosfeer

Het magnetisch veld van de aarde vormt een hindernis voor de zonnewind. Het is zodanig krachtig dat het de toegang tot de aarde ontzegt van deze supersonische zonnebestanddelen. Aldus ontstaat er een reusachtige holte in hogervermelde zonnewind; zij draagt de naam van *magnetosfeer* (fig.7). Zij is geen unicum voor de aarde; ook andere planeten met een magnetisch veld zijn omgeven door zulk een holte; dit is o.m. het geval voor Jupiter.

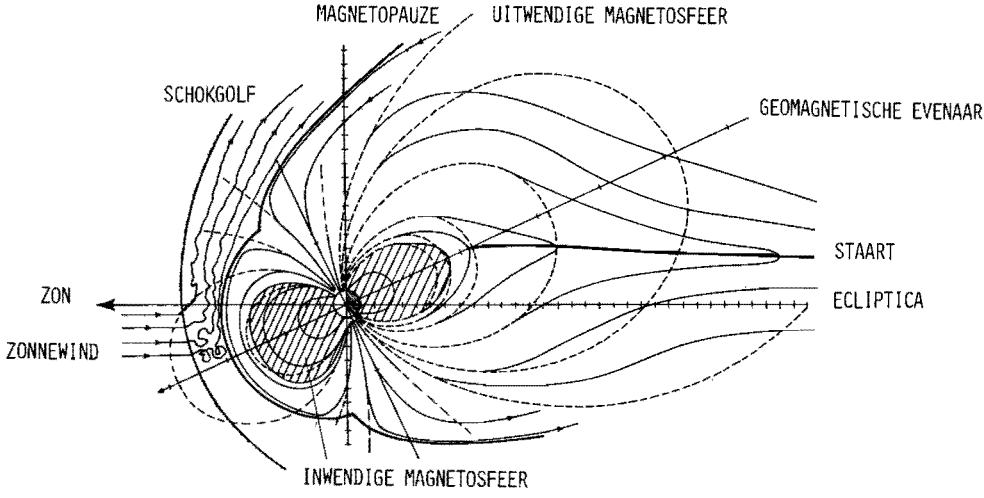

Fig. 7. Morfologie van de magnetosfeer (gesloten model).

De magnetosfeer wordt begrensd door de magnetopauze. Dit is de uiterste afbakening van de aardse dampkring, die aan de zonnekant tot 8 aardstralen ver kan reiken en aan de nachtzijde tot honderden aardstralen aanhoudt, zodanig zelfs dat men niet precies kan zeggen waar zij eindigt. Enkele aardstralen vóór de magnetopauze is een schokgolf gelegen die het gevolg is van de sterke afremming van de zonnewind door het geomagnetisch veld. Tussen schokgolf en magnetopauze ligt een gebied van wervelende stromingen, dat men de magnetische schede genoemd heeft.

Over de juiste vorm van de magnetosfeer is men het nog lang niet eens. Wel staat vast dat, zoals voor de plasmasfeer de benaming erg misleidend is. De magnetosfeer heeft helemaal geen bolvorm; integendeel, ze is eerder een uitdijende cilinder voorzien van een halfbolvormige kop aan de

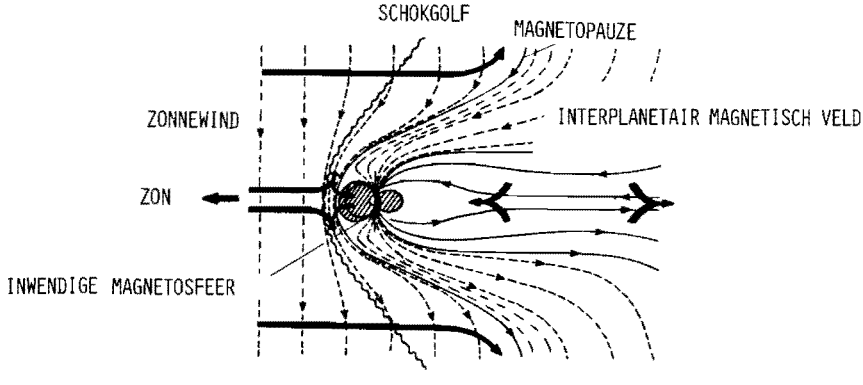

Fig. 8. Morfologie van de magnetosfeer (open model).

zonnekant. Ten gevolge van de zonnewind die langs de flanken strijkt, wijken de krachtlijnen van de magnetosfeer sterk af van het traditioneel patroon van een magnetisch veld. Men onderscheidt een kern van gesloten krachtlijnen in de nabijheid van de aarde en een staart met open krachtlijnen die ver reikt, helemaal voorbij de baan van de Maan die hem regelmatig doortrekt.

Hermetisch dicht is de magnetosfeer evenwel niet; er blijken toch kosmische bestanddelen door te dringen. Sommige geleerden opperen de mening dat bepaalde krachtlijnen van het geomagnetisch veld verbonden zijn met deze van het interplanetair magnetisch veld (fig. 8). In het BIRA houdt men er een andere mening op na. Men neemt aan dat de zonnewind niet homogeen is, doch sliertvormige materieconcentraties vertoont. Het zijn deze laatste die op impulsieve wijze in de magnetosfeer terecht komen en er in opgelost raken. Dit mechanisme zou een verklaring kunnen zijn voor het bestaan van de zgn. stralingsgordels, die zoveel stof deden opwaaien in de pionierstijd van de ruimtevaart toen ze door Van Allen ontdekt werden.

Om de morfologie van de magnetosfeer te beëndigen vermelden we nog het bestaan van een neutraal blad in de staart. Het is daar waar de polariteit van het magnetisch veld omkeert. Het is daarenboven aan weerszijden omgeven door een dikke laag energetisch plasma.

De magnetosfeer is een hoogst belangrijk plasmalaboratorium, vooral in het opzicht der begrenzing, een probleem dat de struikelblok vormt in het tot stand komen van thermonucleaire fusie. Er treden allerlei resonantieverschijnselen op tussen elektromagnetische golven en het plasma. Golven, ontstaan tijdens een bliksem, planten zich ongelijkmatig voort, gaande van het ene halfrond naar het andere. Zij kunnen opgevangen worden door radio-apparatuur en uiten zich door een gefluit. Door de onregelmatige verdeling van het plasma in de inwendige magnetosfeer ontstaan verschillende resonatoren - zoals de pijpen van een orgel -. Worden zij tot resonantie gebracht dan brengen zij lage tonen voort, de zgn. natuurlijke ULF en VLF emissies die hoorbaar kunnen gemaakt worden wanneer de opnamen in versneld tempo afgedraaid worden. Zij brengen dan ofwel sissende klanken voort (Eng. auroral hiss) ofwel doen ze door hun veeltonigheid vage vergelijkingen met een koor oproepen (Eng. chorus). We stellen dus vast dat voor wie luisteren wil, de magnetosfeer tot ons spreekt. De magnetosfeer is daarenboven een zeer labiel systeem. Zo kunnen morse-signalen instabiliteiten verwekken die zich eveneens openbaren in elektromagnetische signalen. Andere onthutsende vaststelling: de transmissie van elektrische stromen langs hoogspanningslijnen is in staat elektronenneerslag te veroorzaken.

De spectaculairste openbaring van de onrust die in de magnetosfeer heerst is wel het *poollicht*. Vroeger had men het alleen over het noorderlicht. Dezelfde verschijnselen doen zich evenwel voor in het zuidelijk halfrond. Vroeger dacht men dat het veroorzaakt werd door de directe indringing van kosmische bestanddelen in onze dampkring. Doordat de verschijnselen zich afspelen langs gesloten krachtlijnen is zulks uitgesloten. Wel zijn ze het onrechtstreeks gevolg van de zonne-activiteit. Door contractie van de staart der magnetosfeer wordt plasma naar de poolgebieden gestuwd en het is dit laatste dat vermoedelijk het poollicht veroorzaakt.

6. Gevaren die de atmosfeer bedreigen

Voor wie een weinig nadenkt baart het geen verwondering dat heel wat menselijke activiteiten dikwijls hun ongunstige weerslag vinden in de dampkring. Zo is er b.v. het luchtverkeer: de invloed is duidelijk merkbaar onder de vorm van talrijke condensatiestrepen die vliegtuigen bij hun doortocht in ondergekoelde lucht achterlaten en aldus neerslag en temperatuur beïnvloeden. Er is echter meer: de uitlaatgassen kunnen

reageren met de atmosferische bestanddelen. Voor vliegtuigen die in de stratosfeer vliegen zoals de supersonische en zelfs de gewone jets, wegens brandstofbesparing, betekent zulks dat deze gassen kunnen reageren met ozon en desgevallend deze laatste vernietigen. Destijds is hierover heel wat polemiek ontstaan in verband met de certificatie van de Concorde. In opdracht van de betrokken luchtvaartindustrieën heeft het BIRA objectieve studies hierover gedaan en is tot de bevinding gekomen dat het gevaar geringer was dan oorspronkelijk gedacht en dat onze huidige kennis nog onvoldoende is om hierop een definitief antwoord te geven.

Andere, vermeende gevaren schuilen in het gebruik van freonen onder allerlei gedaante: in spuitbussen, in afkoelsystemen van frigo's en dgl., als reinigers, enz. Deze freonen die zeer stabiel zijn, geen gevaar opleveren voor de mens doch niet door biologische processen afgebroken worden, komen ongewijzigd in de opperatmosfeer terecht waar zij ontbonden worden onder invloed van het zonlicht. De afbraakproducten gaan dan als catalysators werken in de ontbinding van ozon en zouden dus een werkelijke bedreiging vormen voor het ozon. Ook op dit gebied heeft het BIRA baanbrekend werk geleverd en aangetoond dat te vroeg alarm geslagen werd. Nogmaals werd onze onvoldoende kennis onderstreept van de chemische reacties in de dampkring.

In aëronomische kringen is men echter meer verontrust door het overmatig gebruik van stikstofverbindingen als kunstmest. Onverzadigde stikstofoxydes zoals NO en N_2O zijn eveneens reagentia die ozon vernietigen. Doch nogmaals is het thans onmogelijk met de huidige kennis verantwoorde voorspellingen te maken.

Ook de ionosfeer kan door menselijke ingrepen gewijzigd worden. Het volstaat daartoe waterdamp en waterstof aan te voeren waardoor de atomaire zuurstofionen der F-laag snel geneutraliseerd worden tot atomaire zuurstof. Waterdamp en waterstof zijn typische verbrandingsproducten van de rakettenpropergolen. Drastische verminderingen van de ladingsdichtheid der F-laag werden dan ook vastgesteld tijdens de lancering van Skylab en uitvoerig bestudeerd tijdens de jongste lancering van HEAO-3. De noodzakelijke studie zal iedereen duidelijk worden als men weet welk overvloedig gebruik van zware raketten men overweegt in de toekomst, en welke hun uitlaatgassen zullen lozen in de ionosfeer.

Verder stellen de geleerden zich vragen in verband met de steeds toenemende hoeveelheden CO_2, SO_2 en stof in de dampkring. Uit hun aanwezigheid worden vaak tegensprekelijke conclusies getrokken.

BESLUIT

De studie van de dampkring staat nog maar in haar kinderschoenen. Er zijn nog veel en onontbeerlijke metingen en waarnemingen te verrichten die dringend nodig zijn om tot een betere kennis te komen. Deze laatste is noodzakelijk om gemotiveerd advies te geven of verantwoorde voorspelligen te doen betreffende atmosferische en klimatologische problemen. België speelt hierbij een vooraanstaande rol dank zij het Belgisch Instituut voor Ruimte-aëronomie.

08.11.79