

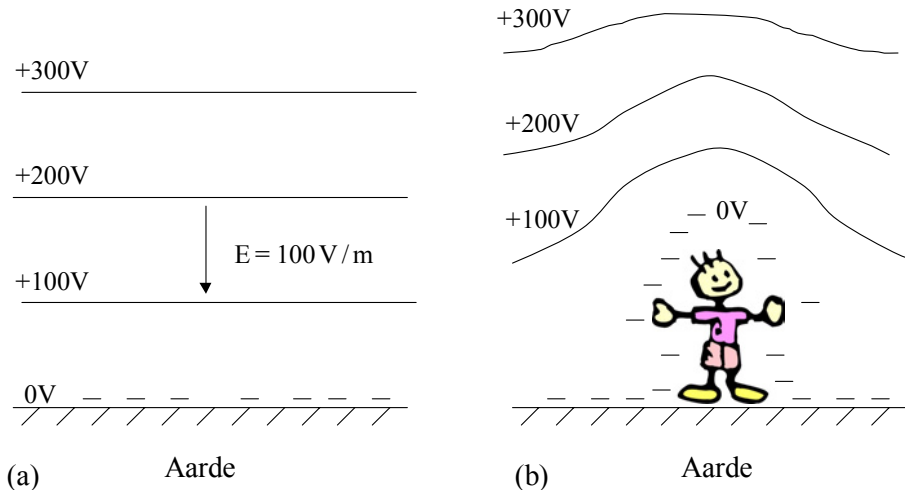
Stefan Kowalczyk

De aarde als condensator

De ionosfeer is één plaat van een erg grote condensator, terwijl de aarde de andere is. Hoe bliksem ontstaat heeft hier alles mee te maken. Recent zijn nieuwe atmosferische lichtverschijnselen boven de wolken ontdekt die nauwelijks zichtbaar zijn voor het menselijk oog op aarde. Ze worden sprites en blauwe jets genoemd.

Het elektrisch veld van de atmosfeer

Als je vanaf het oppervlak van de aarde omhoog gaat, stijgt de elektrische potentiaal met ongeveer 100 Volt per meter. De potentiaal ter hoogte van je hoofd is 200 Volt hoger dan de potentiaal bij je voeten! Je vraagt je nu misschien af waarom je geen schok krijgt als je op straat loopt, als er *echt* een potentiaal verschil van 200 Volt tussen je neus en je voeten is. Vergeleken met lucht is je lichaam een relatief goede geleider. Het effect hiervan is dat er (bijna) geen potentiaalverschil tussen jou en het aardoppervlak zal zijn. Het potentiaalverschil tussen je hoofd en je voeten zal in werkelijkheid dus nul blijven. Wat er gebeurt is dat de equipotentiaalvlakken worden vervormd.



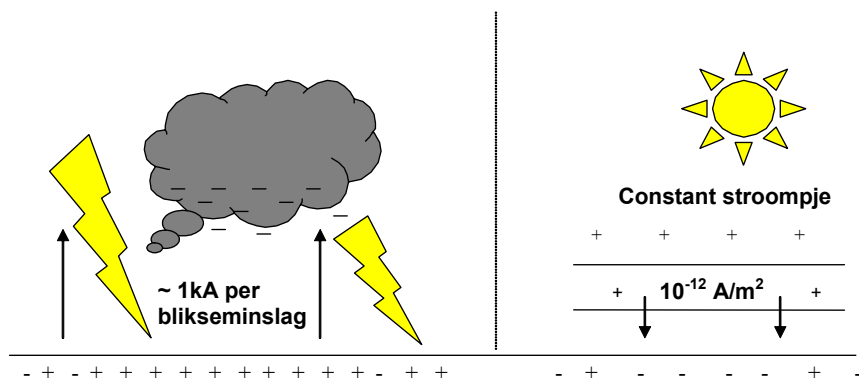
Figuur 1 - (a) Equipotentiaalvlakken boven het aardoppervlak zijn recht. (b) In aanwezigheid van een mens zullen ze vervormd worden, omdat je lichaam vergeleken met lucht een relatief goede geleider is.

Maar dit is nog niet het hele verhaal. Stel je maar eens een waslijn voor die op twee meter hoogte hangt. Aan weerskanten staan isolerende palen. Het potentiaalverschil tussen de waslijn en de aarde zal zo'n 200 Volt worden.

Waarom krijg je dan geen schok als je zo een waslijn aanraakt? Van belang voor het wel of niet krijgen van een schok is de lading die overspringt. Een waslijn heeft niet echt veel capaciteit om lading vast te houden. Er springt maar weinig lading over en daarom voel je geen schok.

Stroompjes in de atmosfeer

Het elektrisch veld wordt zwakker met de hoogte. Het potentiaalverschil tussen het aardoppervlak en de ionosfeer (op een hoogte van ruim tachtig kilometer) is rond de half miljoen Volt. De aarde en de ionosfeer vormen samen een grote condensator, met daartussen een isolatielaag (ook wel diëlektricum genoemd). De ionosfeer is de positieve pool en het aardoppervlak de negatieve. De isolatielaag bestaat uit lucht en isoleert niet perfect aangezien er zich ionen in de lucht bevinden (kosmische straling). Er zullen (lek-)stroompjes van de ionosfeer naar de aarde gaan. De totale stroom die de aarde bereikt is op elk moment bijna constant 1600 Ampère. Dit komt neer op 10^{-12} Ampère per vierkante meter. Met zo een stroom duurt het minder dan een uur om de aarde te ontladen! Het evenwicht lijkt dus verstoord te worden. Het elektrisch veld in de atmosfeer bestaat echter al wat langer dan een uur en we weten dus dat er wel degelijk evenwicht is. Hoe houdt het potentiaalverschil zich in stand? Het zijn bliksems die hiervoor zorgen. Als bliksem inslaat wordt er een grote hoeveelheid negatieve lading naar het aardoppervlak vervoerd. Er loopt dus een stroom van van de aarde naar de wolk. We zouden kunnen zeggen dat onweer de aarde oplaadt.

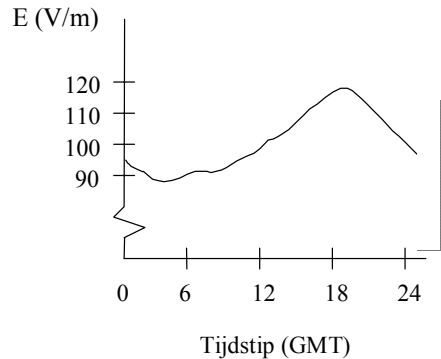


Figuur 2 - Met een stroom van 10^{-12} Ampère per vierkante meter duurt het minder dan een uur om de aarde te ontladen. Bliksem zorgt ervoor dat het elektrisch veld in de atmosfeer wordt behouden.

De ontlading vindt vervolgens plaats in gebieden waar het rustig weer is door constante stroompjes in de atmosfeer (zie figuur 2).

De activiteit van bliksems vertoont een maximum om 19.00 GMT.

De sterkte van het elektrisch veld vertoont een dagelijks terugkerend patroon (zie figuur 3). Het elektrisch veld en daarmee de stroom is het grootste rond 19.00 Greenwich tijd (GMT). Het maakt dus niet uit *waar* je op aarde meet. De activiteit van bliksem bereikt bijna tegelijkertijd op de hele wereld een maximum. Eigenlijk is dit niet zo vreemd. De atmosfeer is op grote hoogte goed geleidend. Hierdoor moet het potentiaalverschil tussen de aarde en de top van de atmosfeer op elke locatie praktisch hetzelfde zijn. Een logisch gevolg hiervan is dat de precieze plaats op aarde niet uitmaakt. Als je alleen het beeld van de aarde en de atmosfeer die samen een condensator vormen voor ogen hebt, is het moeilijk te verklaren waarom dit patroon zich op dagelijkse basis herhaalt. Het gaat erom dat er processen zijn die zich op dagelijkse basis herhalen, denk bijvoorbeeld aan de wind. Er zijn plaatsen waar van negen tot vijf altijd een harde oosterwind staat. Ook de temperatuur speelt geen onbelangrijke rol. In de Sahara is het overdag bloedheet terwijl het 's nachts ijskoud is. Dit soort verschijnselen kunnen verklaren waarom de sterkte van het elektrisch veld een zich dagelijks herhalend patroon heeft.

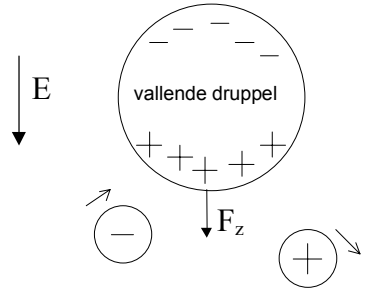


Figuur 3 - Schets van de gemiddelde sterkte van het elektrisch veld tussen de aarde en de ionosfeer, gerelateerd aan Greenwich tijd.

Het mechanisme dat ladingen in een wolk scheidt

We zullen nu een blikseminslag in meer detail bekijken. Overigens komt bliksem niet alleen op aarde voor. Op Saturnus en Jupiter zijn bliksemschichten waargenomen en geen kleintjes ook : sommige met een lengte van meer dan 1500 km. Bij ons op aarde is bliksem gemiddeld zo een 6 km lang. Zoals al gezegd brengt bliksem (meestal) een grote hoeveelheid negatieve lading met zich mee richting aardoppervlak. Dit komt dan doordat het onderste gedeelte van een wolk negatief geladen is (en de bovenkant positief). De scheiding van ladingen is nog niet erg goed begrepen. Een interessante theorie is die van C.T.R.Wilson (de man van het Wilsonvat). Voor de beschrijving van deze theorie zullen we van waterdruppels gebruik maken, maar het had net zo goed met ijs of hagel gekund. Stel je een vallende waterdruppel voor. Aangezien er een elektrisch veld aanwezig is, zal de druppel een geïnduceerd dipoolmoment hebben met de onderkant van de druppel positief en de bovenkant negatief.

De druppel zal op zijn weg naar beneden ionen tegenkomen, aangezien die vrij rondzweven door de lucht. Als zo een ion positief is zal die worden afgestoten door de onderkant van de druppel en opzij worden geduwd. Een negatief ion daarentegen zal juist worden aangetrokken en meegenomen door de druppel. Negatieve lading zal zo naar de onderkant van de wolk worden gebracht door de vallende druppels. Deze scheiding van ladingen gebeurt altijd als het regent. De reden dat het niet altijd onweert als het regent komt door de hoge doorslagspanning van lucht, die maar liefst drie miljoen Volt per meter bedraagt.



Figuur 4 - Wilson's theorie van de scheiding van ladingen in een onweerswolk.

Bliksems

Als we nog even terugdenken aan figuur 1(b) kunnen we meteen de werking van een bliksemafleider begrijpen. Een bliksemafleider is een geleider met een zeer lage weerstand. Het zijn meestal dunne metalen staven van ongeveer een meter. De invloed ervan op de verschuiving van de equipotentiaal vlakken is dus gering. Het is daarom een misverstand om te denken dat een bliksemafleider bliksem aantrekt. De metalen staaf wordt via een dikke draad (met lage weerstand) verbonden met de grond. Mocht er dan een blikseminslag in het gebouw plaatsvinden, dan wordt de stroom via deze draad afgevoerd naar de aarde, zonder schade te veroorzaken.

Het spektakel begint met een voorontlading. Dat houdt in dat de geleiding in een dun 'kanaal' sterk toeneemt. Plaatselijke vonken, die vanwege de onregelmatige verdeling van ladingen in een wolk ontstaan en hierbij ionisatie veroorzaken, zijn hiervoor verantwoordelijk. Er loopt nog niet echt veel stroom. De lading schuift af

en toe iets verder op, waarbij het kanaal telkens oplicht. Omdat het kanaal geleidend is zal de spanning daarin ongeveer gelijk zijn aan de spanning van de wolk, waardoor de veldsterkte boven de grond behoorlijk zal oplopen. Als op een gegeven moment de doorslagspanning wordt overtroffen volgt de hoofdontlading die ook wel terugslag wordt genoemd. Je moet hierbij denken aan snelheden in de orde van een derde van de lichtsnelheid. De terugslag begint bij de aarde een schiet naar boven. De daalsnelheid van de voorontlading is 'slechts' 1500 km/s. Het is dan ook niet



Figuur 5 - Een blikseminslag vlak voor de lancering van de STS-8 op het Kennedy Space Center.

vreemd dat wat wij zien, zich van de wolk naar de aarde lijkt te bewegen. De hoofdontlading beweegt de andere kant op en gaat veel te snel om er een richting in te kunnen zien. De knal komt door de hoge temperatuur (~30.000 graden) van de ontlading, waardoor de lucht snel uitzet. Elke seconde wordt de aarde gemiddeld door zeventig bliksems getroffen. Dit aantal lijkt te stijgen in de loop van de tijd, maar men denkt dat dit een schijneffect is veroorzaakt door steeds betere meetinstrumenten. Afhankelijk van de samenstelling van de lucht kun je bliksems, vanwege de ionisatie van luchtmoleculen, in verschillende kleuren zien. Op de voorkant van deze Scoop zie je een heel extreem geval.



Figuur 6 - Deze blauwe jet is zo een 40 km lang. Dit is de eerste foto die ooit van een blauwe jet is genomen (NASA, 30 juni 1994).

Sprites en blauwe jets

Op dit moment wordt nog volop onderzoek gedaan naar elektriciteit in de atmosfeer. Waarnemingen beperkten zich vroeger tot dicht bij het aardoppervlak, terwijl er op dit moment satellieten en geavanceerde (video)camera's beschikbaar zijn. Hiermee kunnen we verschijnselen waarnemen die niet of nauwelijks met het blote oog waarneembaar zijn. In 1993 schreef een piloot in zijn logboek dat hij vreemde bundels blauw licht omhoog zag schieten. "Het was het meest spectaculaire en onverwachte verschijnsel dat ik ooit heb gezien," verklaarde hij. Het verschijnsel dat de piloot zag wordt tegenwoordig een blauwe jet genoemd. Een blauwe jet beweegt zich met zo een 100 km/s van een wolk richting ionosfeer.

Andere recent ontdekte atmosferische lichtverschijnselen zijn sprites en elven. Sprites ontstaan aan de voet van de ionosfeer en bewegen met ruim 10^7 m/s naar beneden. Het is mogelijk dat door deze elektrische ontladingen de kloof tussen een onweerswolk en de ionosfeer wordt gedicht. Experimentele gegevens, zie [3], zijn nog onvoldoende om conclusies te trekken over het feit of sprites en/of jets verantwoordelijk zijn voor een direct pad van elektrisch contact tussen het wolkendek en de ionosfeer.

Referenties:

- [1] Feynman, The Feynman Lectures on Physics, Vol. II
- [2] Natuur en Techniek, september 2003, Bliksems boven de wolken
- [3] Nature, 14 maart 2002, Charging up the ionosphere.