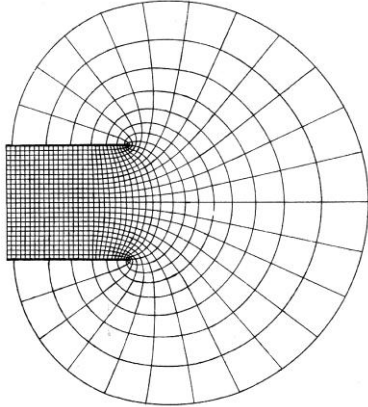


Equipotentiaalijnen

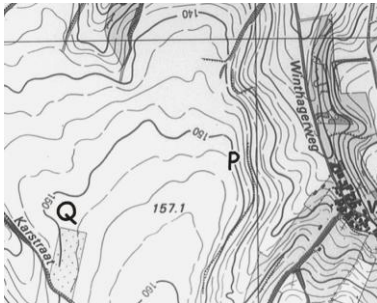
Het elektrisch veld van een condensator is tussen de platen vrijwel homogeen, maar aan de randen niet. Maxwell maakt daar in zijn boek *A treatise on Electricity and Magnetism* deze figuur bij:



Behalve de veldlijnen die van plaat naar plaat oversteken, zijn ook de '(equi)potentiaalijnen' te zien. Deze staan overal loodrecht op de veldlijnen. Als een geladen deeltje zich verplaatst langs zo'n lijn, staat de elektrische kracht loodrecht op de weg en wordt er dus geen arbeid verricht (zie p. 113).

Hoogtelijnen

Potentiaalijnen kun je vergelijken met de hoogtelijnen op een aardrijkskundige kaart. Waar die dicht bij elkaar lopen, kun je beter niet afdalen; de helling is daar groot ('zwarte piste'). Veldlijnen zijn hier de lijnen van snelste afdaling. Bij P bevindt zich een steile helling. Bij Q is het veiliger, daar is het verval minder groot. Zolang je op één hoogtelijn blijft, verandert je zwaarte-energie niet. De arbeid die de zwaartekracht verricht, hangt niet af van de gekozen weg af, maar alleen van begin- en eindpunt. De hoogtelijnen zijn hier op 2,5 m van elkaar getekend. Als 1 kg dus naar een volgende hoogtelijn gaat, verandert zijn zwaarte-energie met $1 \cdot 9,8 \cdot 2,5 = 25 \text{ J}$.



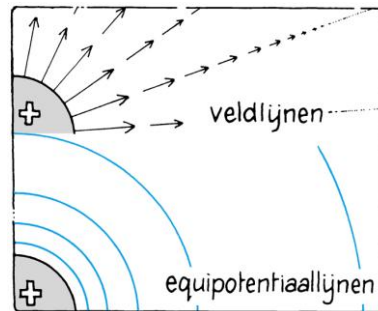
Hoogteverschil en spanning

In de figuur van Maxwell zijn er 25 potentiaalijnen te zien als je de platen zelf ook meetelt. Als de spanning tussen de platen 60 V zou zijn, betekent dat 24 stappen van 2,5 V. Als een lading van 1 C dus naar een volgende potentiaalijn gaat, verandert zijn elektrische energie met $1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ J}$.

Potentiaalijnen en veldlijnen

Het werken met potentiaalijnen is vaak makkelijker dan het werken met veldlijnen, want bij veldlijnen heb je te maken met vectoren; bij de potentiaalijnen gaat het om scalars, 'gewone getallen'.

Bij een positieve bol, bijvoorbeeld een atoomkern, zien veldlijnen en potentiaalijnen er zo uit:



Onweer

Een wolk in de vorm van een bloemkool (cumulo nimbus) kan een naderend onweer aankondigen. Als vochtige, warme lucht snel opstijgt, kunnen op grote hoogte onderkoelde waterdruppels ontstaan. Als dan hagel van nog grotere hoogte valt, vriezen deze druppels daaraan vast en daarbij splitsen zich ijssplinters af die positief geladen zijn. De negatieve rest maakt de onderkant van de wolk negatief. Deze lading bevindt zich op een paar kilometer hoogte en zorgt voor een elektrisch veld met een sterkte van ruim 10^4 V/m; dit veld is omhoog gericht.

Bij een ontlading beweegt meestal de vóór-ontlading naar de aarde toe en de eigenlijke ontlading van de aarde af. De snelheid van de eigenlijke ontlading kan oplopen tot zo'n 30% van de lichtsnelheid. De lengte van de flits is enkele kilometers; de diameter maar een paar centimeter. Omdat de geluidssnelheid zoveel kleiner is dan de lichtsnelheid, komt de donder pas later. De geluidsgolf ontstaat door de plotselinge temperatuurstijging; daardoor zet de lucht zeer snel uit en is een drukgolf het resultaat. Over de hele aarde verspreid treffen per dag duizenden bliksems de aarde. Zij zorgen voor een gemiddelde stroomsterkte van ongeveer 1800 A. In de tropen onweert het vaak en hevig; aan de polen bijna nooit. Op het platteland is de kans op inslag negen keer zo groot als in de stad. Op plaatsen waar de atmosfeer rustig is, heerst tussen de ionosfeer op 50 km hoogte en de aarde een veld omlaag met een sterkte van ≈ 100 V/m. Dit veld zorgt voor een stroomdichtheid van ≈ 3 pA/m² waardoor de netto stroomsterkte nul is.

Bliksemafleider

Blikseminslag is niet te voorkomen, hoogstens te leiden. Vandaar dat hoge gebouwen verlengd worden met koperen spitsen. Door die spitsen te aarden, wordt de bliksem een makkelijker weg geboden en blijft het gebouw gespaard. Dit is een uitvinding van Franklin uit 1752. Hij zette zijn leven op het spel door tijdens een onweer een vlieger op te laten aan een metalen draad. Het Empire State Building wordt gemiddeld eens per twee weken door bliksem getroffen. Vlak na de start van de Apollo-12 naar de maan – op een paar km hoogte – sloeg de bliksem in en kronkelde 16 s lang tussen raket en lanceerbasis.

Zelf ben je een geleider en als je rechtop staat, verstoor je de equipotentiaalvlakken rond de aarde, zeker als je een paraplu gebruikt.



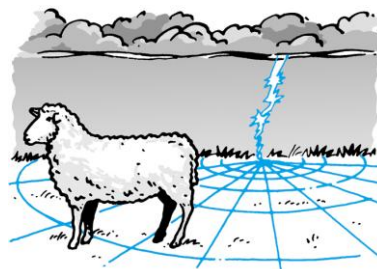
Zoek daarom liever een gebouw of auto op (kooi van Faraday!), of ga midden in een bos staan, niet te dicht bij een stam. Beuken worden net als andere bomen wel door de bliksem getroffen, maar ze lopen minder schade op. Hun gladde, bij onweer vaak natte stam, is een natuurlijke bliksemafleider.

Buchen soll mann suchen, von Eichen soll mann weichen.

De antenne van een tv-aansluiting moet vóór het onweer los, tenzij je kabel hebt, want die is beveiligd net als de telefoonleiding. Raak geen kraan aan en neem geen douche. Op een boot moet het anker uit, of een metaalleiding in het water vanaf de voorstag. Ga vooral niet het water in, zeker niet in binnenmeren waar het water slecht geleidt. Blijf bij de mast vandaan.

In het open veld

Heb je geen mogelijkheid om te schuilen, hurk dan neer, met je voeten bij elkaar. Als de bliksem inslaat, ontstaat er namelijk een elektrisch veld langs het oppervlak van de aarde. Er zou dan een potentiaalverschil tussen je voeten kunnen ontstaan, of tussen hoofd en voeten als je ging liggen. Er zijn eens ruim 500 schapen tegelijk gedood door zo'n indirecte inslag. Slachtoffers van onweer zijn in 70% van de gevallen te redden door ze te beademen.



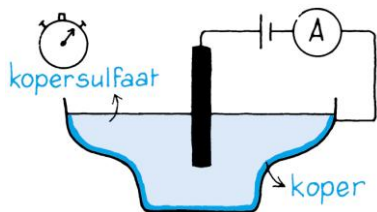
Bolbliksem

Een nog niet goed verklaard verschijnsel is de bolbliksem, zo'n 20 cm in diameter en roodachtig van kleur. Deze komen meestal binnenshuis voor en blijven enkele seconden bestaan waarbij ze soms door kieren weten te kruipen. Men denkt aan een spinsel van geladen draadjes, bijvoorbeeld van verdampt en daarna gecondenseerd metaal, een soort gloeiende pannenspons.

De jacht op het elektron

In de loop van de 19e eeuw werd het steeds duidelijker dat je een stof niet eindeloos kunt blijven delen, maar dat er een grens bereikt is als je bij de atomen en de moleculen bent gekomen. Niet iedereen was overtuigd van het bestaan van atomen en moleculen. Mach en Ostwald weigerden verschijnselen te verklaren met behulp van dingen die je niet kunt zien. Toch ging men in de natuur- en scheikunde steeds meer over tot het atomaire model. Zo is de druk van een gas het makkelijkst te begrijpen als je uitgaat van botsende deeltjes.

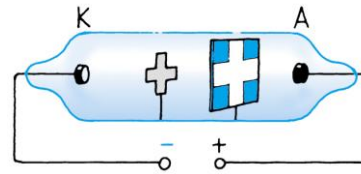
Maar als er kleinste deeltjes materie bestaan, dan zijn er wellicht ook kleinste deeltjes elektriciteit. Om dat te onderzoeken deed Faraday elektrolyseproeven. Hij leidde stromen door allerlei oplossingen en woog hoeveel materiaal m daarbij vrijkwam aan de elektroden. Het produkt van stroomsterkte en tijd leverde hem de lading q die gepasseerd was. Hij ontdekte dat de breuk q/m voor één soort metaal altijd dezelfde waarde opleverde.



Of hij nu met kopersulfaat of met kopernitrat werkte, met verdunde of geconcentreerde oplossingen, steeds vond hij voor koper: $q/m = 3,0 \cdot 10^6 \text{ C/kg}$. Door velen werd dat als een aanwijzing gezien dat ook lading wel eens een korrelstructuur zou kunnen hebben.

Kathodestrallen

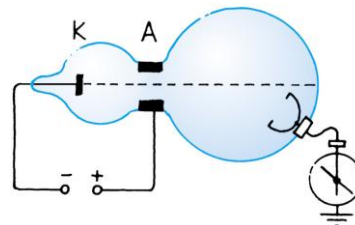
Faraday had al proeven gedaan met een glazen buis met daarin twee elektroden. De buis kon worden 'leeggezogen'. Als je bij normale druk zo'n 30 kV op de elektroden zet, gebeurt er niets. Maar bij leegpompen beginnen er opeens 'bliksemschichten' over te springen. Bij een vrij lage druk is de buis donker, op een paarse gloed bij de anode na. Omstreeks 1870 werden deze proeven herhaald met betere pompen. Bij zeer lage druk (10^{-3} Pa) is de hele buis donker, maar de glazen wand van de buis licht groen op, behalve direct achter de anode. Het lijkt net of de anode een schaduw geeft voor 'stralen' die uit de kathode komen. Als de buis mineralen bevat en het vacuüm hoog genoeg is, gaan die licht geven. Crookes plaatste een scherm van uraanglas in de buis dat groen oplichtte, behalve waar een obstakel de weg versperde.



Door deze proeven ging men van 'kathodestrallen' spreken. De vraag was: hebben we hier te maken met een soort straling of met deeltjes? Perrin werkte in 1895 met een holle anode, zodat de kathodestrallen konden worden opgevangen in een metalen bus, die verbonden was met een elektroscop. Tijdens de proef kreeg de elektroscop een uitslag en nader onderzoek toonde aan dat er een negatieve lading op was gekomen.

De proef van Thomson

Thomson verbeterde die opstelling. Hij zette de opvangbus niet recht achter de holle anode A maar opzij. Door een magneetveld in te schakelen, kon hij de bundel op de elektroscop terecht laten komen.



Vooraf doordat het materiaal van de kathode geen invloed had, was Thomson ervan overtuigd dat hij met negatief geladen deeltjes te maken had en niet met een soort straling. De lading van een deeltje noemde hij $-e$. Door deze proef kon hij een schatting maken van de verhouding van lading en massa. Hij vond $e/m = 10^{11} \text{ C/kg}$ en dat klopte met de waarde die Zeeman en Lorentz langs geheel andere weg gevonden hadden. Later bleek de waarde $1,76 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$ te zijn, ongeveer 2000 keer groter dan die van het kleinste ion, H^+ . Dat betekende dat óf de lading veel groter, óf de massa veel kleiner was dan die van H^+ . Thomson vermoedde dat het laatste het geval was en dat uit een atoom zeer kleine deeltjes kunnen worden losgeslagen. Hij noemde deze deeltjes elektronen. Door zijn proef wordt hij wel de ontdekker van het elektron genoemd, maar Crookes en Perrin hebben met hun proeven natuurlijk ook tot die ontdekking bijgedragen. Pas toen Millikan aantoonde dat lading altijd voorkomt in veelvoud van $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ was ook de massa van het elektron bekend: $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.