

Zonnevlammen

Andrea Bakker 6W

Inhoudsopgave:

Hoofd- en deelvragen:	2
Voorwoord:	3
Hoe is de zon ontstaan en wat is de samenstelling ervan?	4
De aanloop tot het eind van een ster:	5
Kernfusie:	6
Absorptie en emissie van elektromagnetische straling:	9
Zonnevlekken:	11
De levensloop van de Zon:	11
Hoe werkt magnetisme?	13
Elektromagnetisme:	14
Lorenzkracht:	14
De werking van een dynamo:	16
Hoe werkt het magnetisch veld van de Zon en de Aarde?	17
Het magnetisch veld van de Zon:	17
Het magnetisch veld van de Aarde:	20
De gevolgen van het magnetisch veld van de Aarde:	22
Wat zijn zonnevlammen en hoe komen die in het atmosfeer terecht?	23
Invloed van zonnevlammen op het magnetisch veld van de Aarde:	24
Conclusie:	27
Nawoord	29
Bronvermelding:	30

Onderwerp: Zonnenvlammen

Hoofdvraag: Welk effect hebben zonnenvlammen op het magnetisch veld van de aarde?

Deelvragen:

- Hoe is de Zon ontstaan en wat is de samenstelling ervan?
- Hoe werkt magnetisme?
- Hoe werken de magnetische velden van de Zon en Aarde?
- Wat zijn zonnenvlammen en hoe komen die in de atmosfeer terecht?

Hypothese: Door de lading van een zonnevlam wordt het magnetisch veld van de aarde afgebogen.

Voorwoord:

Ik heb dit onderwerp gekozen voor mijn profielwerkstuk omdat zonnevlammen een heel breed onderwerp is. Bovendien zijn gegevens over zonnevlammen pas sinds een aantal jaren bekend, waardoor het een relatief nieuw onderwerp is. Om zonnevlammen en hun werking met de Aarde te begrijpen is veel kennis nodig uit de natuurkunde en scheikunde.

Ik heb dit onderwerp gevonden doordat ik een tijdschrift aan het lezen was: National Geographic. Dit onderwerp sprak mij meteen al aan, aangezien ik verschijnselen in het heelal interessant vind. Toen ben ik op zoek gegaan naar informatie erover, om te controleren of het wel haalbaar was om op mijn niveau deze verschijnselen en processen te begrijpen, en dat was wel te doen.

Het wordt wel lastig om een praktijkonderdeel uit te voeren bij dit onderwerp. Daarom ben ik van plan om een model te maken van de zonnevlam in vergelijking met de Zon en een model van de zonnevlam in vergelijking met de Aarde. Ik kan deze twee modellen niet in één model maken aangezien het verschil in grootte tussen de Aarde en de Zon veel te groot is. (De zon zou dan zo groot moeten zijn als een voetbal en de Aarde zo groot als een knikker)

Hoe is de Zon ontstaan en wat is de samenstelling ervan?

De zon is de ster die het dichtst bij de aarde is. Ze heeft een diameter van 1.390.000 km en een massa van $1,989 \times 10^{30}$ kg

De zon geeft licht en warmte in het zonnestelsel; de temperatuur aan de oppervlakte bedraagt ongeveer 58×10^2 K en in de kern zelfs $13,6 \times 10^6$ K. Ze zou zo'n 5 miljard jaar geleden ontstaan zijn door het samentrekken van een gasvormige oernevel. Waarschijnlijk is onze zon ontstaan in een sterrencluster dichterbij het centrum van ons melkwegstelsel en is ze later naar buiten bewogen. Ze bevindt zich op dit moment op ongeveer 32.000 lichtjaar van het centrum van het melkwegstelsel en op 1 AE (ongeveer 150 miljoen kilometer) van de aarde. Eén omloop van de zon door de melkweg duurt zo'n 226 miljoen jaar.

De zon is een klasse G2-ster, wat betekent dat zij iets heter en zwaarder is dan de gemiddelde ster, maar veel kleiner dan de blauwe reuzensterren. Zo'n G2-ster heeft een geschatte levensduur van 10 miljard jaar. Gezien onze zon inmiddels zo'n 5 miljard jaar oud is zal zij nog 5 miljard jaar te gaan hebben.

Er is sprake van een krachtenevenwicht op de Zon. De energiestroom naar buiten levert een kracht op tegengesteld aan de gravitatiekracht die een gravitationele instorting tegenhoudt, en dus de zon in evenwicht houdt. De massa - lichtkrachtwet geeft het verband tussen de lichtkracht en de massa:

$\log(\text{massa in zonsmassa's}) = -0.1117 (M_{\text{bol}} - 4.77)$, hierin is M_{bol} de bolometrische magnitude en is een maat voor de helderheid van een ster. De lichtkracht van een ster is de energie die een ster uitstraalt per seconde.

Zodra een ster is ontstaan, zal ze voortgaan met het 'verbranden' van haar waterstof in het centrum. Zolang er voldoende waterstof aanwezig is, zal het ontstane evenwicht tussen gravitatie-druk en stralingsdruk daar niet onder lijden. De zon had bij haar ontstaan genoeg brandstof (waterstof) voor een 10 miljard jaar, waarvan nu ongeveer de helft over is. Niet elke ster bevat even veel materie (dus massa). In een ster met veel materie zal de gravitatie-druk veel groter zijn dan in een ster met minder materie. De gravitatie-druk neemt namelijk toe met de hoeveelheid materie. Dat betekent dat bij deze sterren de stralingsdruk ook groter zal moeten zijn om het evenwicht te behouden.

De temperatuur in het centrum van een 'zwaardere' ster hoeft daarvoor niet hoger te zijn. Er wordt gewoon per tijdseenheid meer waterstof verbrand dan in de minder 'zware' sterren. Een ster die tweemaal zwaarder is dan een andere ster zal meer dan tweemaal zoveel energie moeten uitstralen om het evenwicht te bewaren (uit de massa-lichtkrachtwet). Dat betekent dat de waterstof voorraad ook sneller uitgeput zal zijn. De 'zwaardere' sterren stralen dus feller en worden daardoor niet zo oud als de minder 'zware' sterren.

De aanloop tot het eind van een ster:

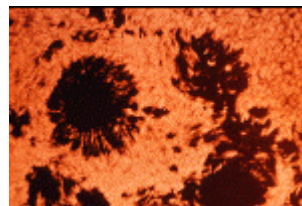
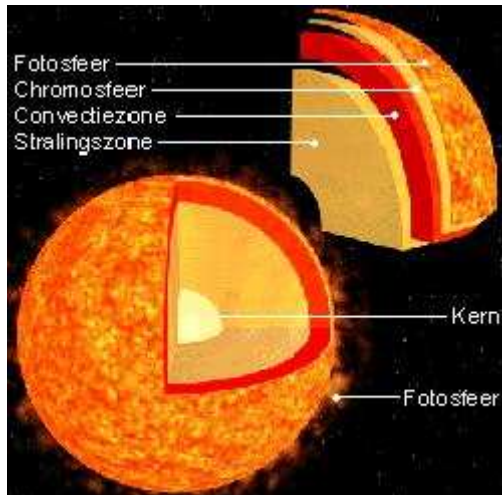
Een ster smelt in zijn kern waterstofatomen tot helium. Hierbij ontstaat druk die naar buiten gaat, de stralingsdruk, die de zwaartekracht die naar binnen gaat compenseert. Dit evenwicht houdt de ster in stand. Na zo'n 10 miljard jaar heeft de ster al zijn waterstofatomen opgebrand en valt de stralingsdruk weg en stort de ster in. Door die instorting gaan de atomen in de kern dichter op elkaar zitten er wordt het er warmer. Op een gegeven moment is de kern heet genoeg om de gemaakte helium om te zetten naar koolstof en zuurstof. Bij deze reactie ontstaat weer stralingsdruk. De ster zet uit en wordt een rode reus.

Na een miljoen jaar is al het helium opgebrand, en stort de ster in onder invloed van zijn zwaartekracht net als eerder, omdat de stralingsdruk weer verdwenen is. De ster stort in totdat hij zo groot is als onze aarde, maar een miljoen keer zo zwaar. Het overblijfsel van de ster wordt een witte dwerg genoemd. Dit is het eindstadium van hun bestaan.

De zon bestaat uit de kern, de stralingszone, de convectiezone, de chromosfeer en de corona. In de kern is de zon op haar heetst. Er heerst hier een temperatuur van maar liefst 17.000.000 °C. De druk in de kern is 250 miljard atmosfeer (250 mrd zo groot als die van de atmosfeer van de aarde). Dit zorgt voor kernreacties die de zonnestraling in stand houden. Buiten de kern is de stralingszone. Hierbuiten is de convectiezone. Hier wordt warmte door middel van convectie (circulerende materiële stroming) naar het oppervlak gebracht.

Nog verder naar buiten is de chromosfeer. Hier ontstaan een groot aantal spicules, opstijgende kolommen van hete gassen die met grote snelheid de corona binnendringen. Ze hebben een diameter van circa 1.000 km en kunnen een hoogte tot 20.000 km bereiken voordat ze verdwijnen of weer terugvallen op de zon. De corona is het buitenste deel van de atmosfeer van de zon. Dit gedeelte is zeer goed te zien tijdens een totale zonsverduistering of met speciaal apparaat. De corona strekt zich tot ver van de zon uit en ze gaat geleidelijk over in de ruimte of vacuum. Sommigen zeggen zelfs dat de corona tot ver

voorbij de aarde gaat. De temperatuur kan in de corona hoge temperaturen (10.000.000 °C) bereiken. Temperatuur is in feite een maat voor de bewegingssnelheid van atomen en moleculen en in de corona is de snelheid van deze bewegingen zeer groot, maar omdat de dichtheid zo gering is, is de hoeveelheid warmte-energie zeer beperkt.



Aan de oppervlakte van de zon, de fotosfeer genoemd, is de temperatuur ongeveer 5500 C. Zonnevlekken zijn "koele" gebieden, waar het maar 4000 °C is (de vlekken zien er alleen maar donker uit in vergelijking met de hetere en heldere omgeving). Zonnevlekken kunnen zeer groot worden, meer dan 50.000 km in diameter.

De zon is het grootste object in ons zonnestelsel en bevat ruim 99,8% van de massa van het complete zonnestelsel. De zon bestaat voor 92,1 molprocent/ 75 massaprocent uit waterstof. Een ander belangrijk element is helium, de zon bevat zo'n 7,8 molprocent of 25 massaprocent helium. De rest zijn 'metalen' die slechts 0,1% van de massa vertegenwoordigen. De samenstelling van de zon verandert doordat de Zon in de kern waterstof omzet in helium, dit proces wordt kernfusie genoemd. De omstandigheden in de kern van de zon zijn extreem. Het gas in de kern van de zon is samengedrukt tot een dichtheid van 150 keer water.

De druk in de zon in de verschillende lagen (kern, chromosfeer) kan berekend worden met behulp van de formules: $mg = m \cdot A \cdot F = \rho \cdot V \cdot g$ en $\rho = m/V \rightarrow p = F/A$. Voor de zon geldt: $\rho = m/V = 3m / 4\pi r^3$ en $g = Gm / r^2 \rightarrow p = \rho gh = (3m / 4\pi r^3) \times (Gm / r^2) \times h$. Verder is de massa te berekenen door $m = \rho \cdot h \cdot A$ Om de druk helemaal in de kern te berekenen moet voor de hoogte h de straal van de zon genomen worden: $696,0 \cdot 10^6 \text{ m}$.

$p = 3GM^2 / 4\pi R^4 = 3 \cdot 6,6726 \cdot 10^{-11} \cdot (1,989 \cdot 10^{30})^2 / 4\pi (696,0 \cdot 10^6)^4 = 2,7 \cdot 10^{14} \text{ Pa}$. In binas is gegeven dat de druk in de zon

$2,0 \cdot 10^{16}$ is, dit verschil in druk is waarschijnlijk te wijten aan mijn aanname van de gemiddelde dichtheid in de zon.

Een voorwaarde waaraan een moet worden voldaan voor er kernfusie optreedt, is een hoge temperatuur van 10^7 K en een grote deeltjesdichtheid.

Voor de zon geldt: $\rho/M = \text{deeltjesdichtheid}$. De gemiddelde dichtheid van de zon was gelijk aan $1,410 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. De molaire massa van waterstof is $1,008 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$. Dus $(1,410 \cdot 10^3) / (1,008 \cdot 10^{-3}) = 1,4 \cdot 10^6 \text{ mol/m}^3$. De deeltjesdichtheid voor geïoniseerd waterstof wordt gegeven door $\text{aantal mol}/V = 2,8 \cdot 10^6 \text{ mol/m}^3$.

De Temperatuur kan worden berekend door de algemene gaswet $p \cdot V = R \cdot n \cdot T$ $T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R} = (2,7 \cdot 10^{14}) / (2,8 \cdot 10^6 \cdot 8,31) = 1,1 \cdot 10^7 \text{ K}$

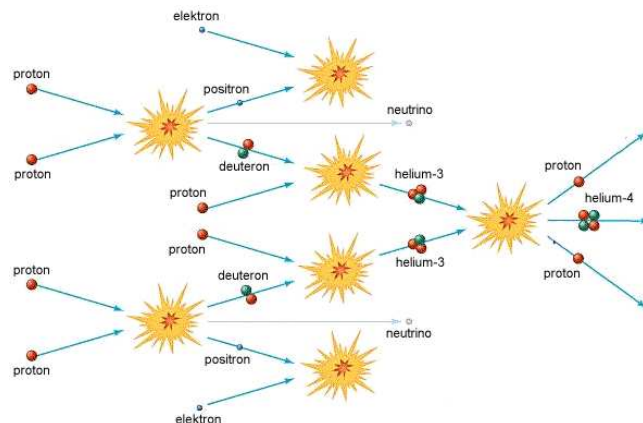
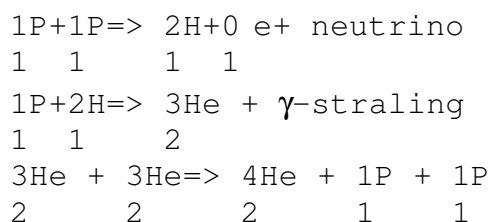
$$T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R}$$

Aan deze voorwaarde is voldaan, er zal dus kernfusie optreden in de zon.

Bij extreem hoge dichtheden verliest de algemene gaswet zijn geldigheid. De materie wordt dan zo sterk samengeperst dat de beschikbare energieniveaus van de elektronen vol raken. In dit geval moet gebruik worden gemaakt van de quantumfysica om het gedrag van deze materie (gedegenererde materie) te beschrijven. Gedegenererde materie speelt met name tegen het eind van de levensloop van sterren en in de kernen van grote sterren een rol. De zon is op dit moment zo tegen het midden van zijn levensloop en is bovendien een middelmatige ster qua grootte. De algemene gaswet is hier dus nog wel van toepassing.

Kernfusie is een nucleair proces waarbij kleinere kernen van atomen omgezet worden in grotere. De resultaatmassa is kleiner dan de oorspronkelijke massa. Het verschil in massa wordt omgezet in energie. Dit is te berekenen met de wet $E = m \cdot c^2$ van Einstein. Kernfusie is de bron van de zonneënergie die op haar beurt aan de basis ligt van bijna alle energie op aarde.

Kernfusie:



Bij dit proces vormen twee protonen samen een waterstofatoom onder afsplitsing van een elektron en een neutrino. Vervolgens reageert een ontstane waterstofatoom met een proton tot een heliumisotoop ${}^3\text{He}$ waarbij gamma-straling wordt uitgezonden.

2

De twee heliumisotopen vormen samen dan weer een heliumkern en twee protonen. Deze twee protonen beginnen dan weer van voren af aan.

Om de hoeveelheid energie te berekenen die vrijkomt bij kernfusie moet men eerst berekenen hoeveel massa 'verdwijnt' bij het ontstaan van 1 heliumkern.

De massa van 4-helium is: 4,002603 u (binas tabel 25)

De massa ervoor is: $4 \times 1,007825 \text{ u} = 4,031300 \text{ u}$ (binas tabel 25)

massa verlies van H - He = 0,028697 u

1 u = $1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

massa verlies dus: $1,66054 \cdot 10^{-27} \times 0,028697 = \underline{\underline{4,76525164 \cdot 10^{-29}}}$ **kg** per heliumkern.

De hoeveelheid energie die daarbij vrij komt is dan volgens de wet van Einstein $E = m \cdot c^2$:

$$E = 4,76525164 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \times (2,998 \cdot 10^8)^2 = \underline{\underline{4,283 \cdot 10^{-12} \text{ J}}}$$

Het vermogen van de zon is $4 \cdot 10^{26} \text{ W}$. (binas tabel 33 c) De totale hoeveelheid protonen die worden omgezet in hlium per seconde is dan:

$$4 \cdot 10^{26} \text{ W} = 4 \cdot 10^{26} \text{ J/sec.}$$

$$\text{aantal protonen per seconde} = \underline{\underline{3,736 \cdot 10^{38}}}.$$

Dat komt overeenkomt met $6 \cdot 10^{11} \text{ kg}$ waterstof aangezien er dus $3,736 \cdot 10^{38}$ protonen zijn en dus ook evenveel waterstof atomen (volgens de vergelijking)

$$1 \text{ waterstof atoom is } 1,007825 \text{ u} = 1,007825 \times 1,66054 \cdot 10^{-27} = 1,67353373 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

$3,736 \cdot 10^{38}$ waterstofatomen wegen dus

$$3,736 \cdot 10^{38} \times 1,67353373 \cdot 10^{-27} = \underline{\underline{6,252 \cdot 10^{11} \text{ kg}}} \text{ (per seconde)}$$

De totale zonsmassa is $1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ (binas tabel 33 c)

In een jaar zitten $3600 \times 24 \times 365$ seconden = $3,1536 \cdot 10^7$.

seconden. De Zon kan schijnen: = $\underline{\underline{1,009 \cdot 10^{11}}}$ jaar. =

100.000.000.000 jaar. Als de Zon helemaal uit waterstof bestaat kan hij dus 10^{11} jaar stralen.

De uitgestraalde zonne-energie heeft dus een bepaalde massa gelijk aan de verloren massa. De hoeveel kg massa die de zon per seconde verliest is dus:

$$E = m \cdot c^2$$

Massa Zon = 2×10^{30} kg

Vermogen Zon: 10^{26} Watt = 10^{26} Js⁻¹. (= E)

Dus: $10^{26} = M \cdot C^2$ $C^2 = (3 \times 10^8)^2$.

$M = 10^{26} / (3.0 \cdot 10^8)^2$ $M = 1,11 \cdot 10^9$.

Massa-afname dus : = $1,11 \cdot 10^9$ kgs⁻¹

Dit uitgedrukt in de zonsmassa is:

1 zonsmassa is $2 \cdot 10^{30}$.

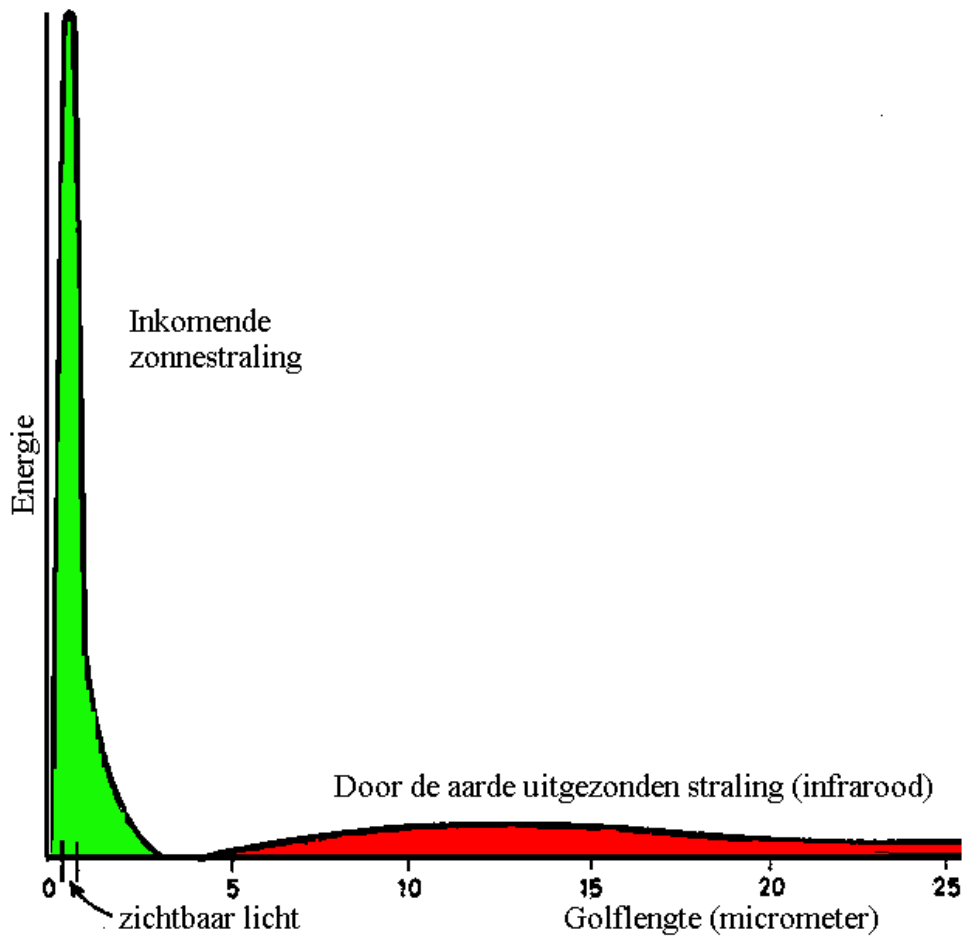
$1,11 \cdot 10^9$ is dus $1,11 \cdot 10^9 / 2 \cdot 10^{30} = \underline{5,55 \cdot 10^{-22}}$. **zonsmassa's**. per seconde.

(dit zijn $1,75 \cdot 10^{-14}$ zonsmassa's per jaar)

De energie die de zon verlaat is 386 miljard miljard megawatt. Deze energie wordt geproduceerd door kernfusie reacties. Elke seconde wordt ongeveer 700.000.000 ton waterstof omgezet in ongeveer 695.000.000 ton helium en 5.000.000 ton in energie onder de vorm van gammastraling. Terwijl de straling naar de oppervlakte stijgt wordt ze voortdurend geabsorbeerd en opnieuw uitgestraald aan steeds lagere temperaturen zodat aan de oppervlakte de straling voornamelijk bestaat uit zichtbaar licht. Tijdens die tocht naar 'buiten', die ongeveer 50 miljoen jaar duurt, neemt de frequentie van die stralingsenergie af. Daardoor wordt deze energiestroom voor een waarnemer uiteindelijk zichtbaar. Het laatste deel van de tocht naar buiten gebeurt door convectie. Hierbij stroomt materie Dit gebeurt in de fotosfeer, het oppervlak van de zon. Daar wordt $3,86 \cdot 10^{26}$ W in de vorm van straling (waaronder zichtbaar licht) de ruimte ingestuurd. Slechts een klein deeltje daarvan, ong. $1,8 \cdot 10^{17}$ W komt op de aarde terecht (buiten de dampkring).

Absorptie en emissie van elektromagnetische straling

Zonlicht bestaat voornamelijk uit kortgolvlige straling (maximale intensiteit bij een golflengte van ongeveer 500 nm). Wanneer deze straling interactie vertoont met materie, zal de energie van de straling worden geabsorbeerd door deze materie, mits er binnen de deeltjes energieovergangen bestaan die in grootte overeenkomen met de energie van de opvallende straling (Deze laatste wordt gegeven door de wet van Planck: $E = h \cdot f$, waarin f de frequentie van de straling in Hz en h de constante van Planck voorstelt). De energie van zonnestraling komt overeen met overgangen in elektronenenergieniveaus. Hierdoor komen de deeltjes in een aangeslagen toestand. Wanneer de deeltjes terugvallen naar de grondtoestand. Onderstaande figuur geeft het verschil weer in de intensiteitsverdeling van de kortgolvlige zonnestraling en de langgolvlige aardse straling.



Het licht van de Zon lijkt wit. Dat komt omdat de piek in het spectrum van de zonnestraling ligt bij een golflengte van ongeveer 500 nanometer, in het golflengtegebied van het zichtbare licht. Welke straling een voorwerp uitzendt, hangt af van de temperatuur. Hoe heter het materiaal, des te kleiner de golflengten waarmee het energie uitstraalt. De Zon, met aan het oppervlak een temperatuur van 6000 K, zendt vooral straling uit met een korte golflengte. De Aarde daarentegen heeft een veel lagere temperatuur en dus een grotere λ_{max} . $T \cdot \lambda_{\text{max}} = K_w$, met T = temperatuur in Kelvin, λ_{max} = de golflengte waarbij de stralingsintensiteit het grootst is en K_w = constante van Wien ($2,9 \cdot 10^{-3}$).

Aan de oppervlakte van de zon is de λ_{max} dus gelijk aan $2,9 \cdot 10^{-3} / 6000 = 500$ nanometer.

Tenslotte zendt de zon een dunne, continue stroom geladen deeltjes uit (elektronen en protonen) met een snelheid van ongeveer 500 km/s aan de evenaar, 750 km/s aan de polen). Dit zijn zonnewinden.

Zonnevlekken:

Het oppervlak van de zon vertoont donkere vlekken die men zonnevlekken noemt. Dit aantal varieert van een paar tot zelfs honderden. Zonnevlekken zijn "koele" gebieden van maar 4000 C is. De vlekken zien er alleen maar donker uit in vergelijking met de hetere en heldere omgeving. Toch zijn ze in het midden nog 5000 keer zo helder als de volle maan. Zonnevlekken kunnen zeer groot worden, meer dan 50.000 km in diameter. Hoe meer zonnevlekken er zijn hoe actiever de zon is. Met actief wordt bedoeld dat de zon korte explosies van energie produceert waarbij geladen deeltjes vrijkomen. zon: hoe meer er te zien zijn, hoe actiever de zon. Zonnevlekken gaan altijd gepaard met sterke magnetische velden waar in hoofdstuk 4 uitleg over gegeven zal worden.



De levensloop van de zon

De ideeën over de levensloop van sterren zijn inmiddels zo ver ontwikkeld dat er een duidelijk beeld bestaat van de geschiedenis van de zon, en de manier waarop die verder zal gaan.

Er was eens, zo'n vijf miljard jaar geleden, een koude wolk van langzaam roterend gas en stof (alles wat bestaat uit stofjes, druppels, klonten en stenen wordt in de sterrenkunde stof genoemd). Het gas was voor het grootste deel atomaire waterstof, het stof was ontstaan uit de resten van eerdere sterren, die door supernova-explosies waren verspreid door de interstellaire ruimte.

De wolk begon onder invloed van zijn eigen zwaartekracht samen te trekken, waarbij potentiële energie werd omgezet in thermische energie. De temperatuur begon dus te stijgen. Een deel van deze energie ging ook weer verloren, door infraroodstraling. Echter, naarmate de wolk kleiner werd ging

ook het samentrekken in sneller tempo, door de toenemende zwaartekracht. De temperatuur steeg dus door, met name in het centrum van de wolk.

Bij een omvang van 10^{10} m, ongeveer de huidige baan van Mercurius, was de temperatuur opgelopen tot een paar duizend Kelvin aan de rand en een paar miljoen Kelvin in het centrum van de wolk. Aan de buitenkant werd inmiddels zichtbaar licht uitgezonden, en in het centrum begonnen de kernfusieprocessen op gang te komen. Door de oplopende temperatuur en dichtheid in de wolk werd tenslotte een evenwicht bereikt tussen de zwaartekracht en de stralingskracht veroorzaakt door de drukverschillen. Het samentrekken stopte en in een paarhonderdduizend jaar is de wolk veranderd in een ster.

Het massabereik van sterren loopt van 120 tot 0,08 zonsmassa's. Er bestaan geen sterren met een grotere of kleinere massa dan die grenswaarden. Sterren met grotere massa verliezen door sterke sterwinden hun extra massa en sterren met een massa kleiner dan 0,08 zonsmassa hebben een te kleine druk en temperatuur in het centrum om kernfusie plaats te laten vinden. Het worden dan ook geen sterren.

Hoe werkt magnetisme?

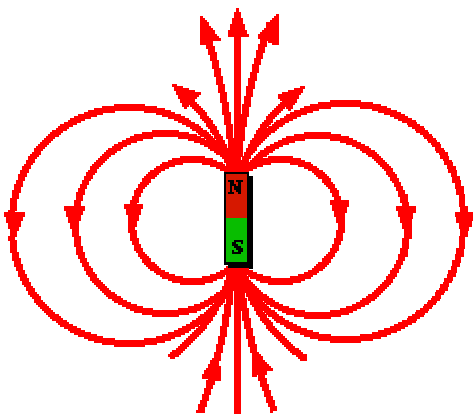
Magnetisme is een verschijnsel dat ontstaat als bewegende elektrische ladingen krachten op elkaar uitoefenen. Om dit uit te leggen is er kennis nodig van de begrippen:

- magnetisch veld
- magnetische veldlijnen
- magnetische inductie

Permanente magneten zijn meestal gemaakt van staal (ijzer met een hoog koolstofgehalte). Een magneet heeft altijd een noord- en een zuidpool, hierdoor oefenen twee magneten een kracht op elkaar uit. Deze kracht kan aantrekkend zijn (bij ongelijknamige magneetpolen) en afstotend (bij gelijknamige magneetpolen).

Een magneet kan niet alleen een kracht uitoefenen op een andere magneet, maar kan ook niet-magnetische stoffen die uit ijzer, nikkel of kobalt bestaan magnetisch maken. Dit heet magnetische influentie. Hierbij is de magnetische kracht altijd aantrekkend. Dit komt doordat stoffen als ijzer, nikkel en kobalt bestaan uit een verzameling kleine magneetjes: elementaire magneten. Deze magneten zijn ongeordend, maar als er een permanent magneet erbij wordt geplaatst oefent die een magnetische kracht uit op de elementaire magneten waardoor die geordend worden. De elementaire magneten worden aangetrokken door de permanente magneet waardoor hun noordpool tegenover een zuidpool van de permanente magneet gaat staan.

Een **magnetisch veld** is het gebied waar binnen een magneet een magnetische kracht uit kan oefenen. De **magnetische veldlijnen** van een magneet geven een model van het magnetisch veld van de magneet. Hierbij geldt dat de richting van een veldlijn de richting aangeeft waar de noordpool heenwijst. De magnetische veldlijnen lopen buiten de magneet van de noordkant naar de zuidkant. Binnen de magneet is dit precies andersom.



een magnetisch veldlijn geeft de richting van de magnetische inductie (of magnetische veldsterkte).

De sterkte van een magnetisch veld wordt gegeven door de **magnetische inductie**. De magnetische inductie is het grootst bij de polen aangezien daar de veldlijndichtheid het grootst is. De magnetische inductie is dus afhankelijk van het aantal veldlijnen/m² en is een vectorgrootheid. Dit betekent dat de magnetische inductie een grootte en een richting heeft. De raaklijn aan

Elektromagnetisme :

Een stroomspoel kan ook een magnetische werking hebben als er een elektrische stroom doorheen loopt. Dit wordt ook wel elektromagnetisme genoemd.

Het magnetisch veldlijnenpatroon van een stroomspoel is gelijk aan die van een permanente magneet. De veldlijnen lopen van noord naar zuid buiten de spoel en van zuid naar noord binnen de spoel. De richting van de magnetische veldlijnen en daarmee dus ook de magnetische inductie in een spoel kan worden vastgesteld als de richting van de stroom gegeven is. Hierbij geldt de **rechterhandregel voor een stroomspoel**:

De gekromde vingers van de rechterhand wijzen in de draairichting van de stroom door de windingen. De uitgestoken duim geeft dan de richting van de magnetische veldlijnen binnen de spoel.

De magnetische inductie in het magnetisch veld van een stroomspoel is afhankelijk van de stroomsterkte in de spoel en het aantal windingen per meter: $B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l}$

Hierin is B de magnetische inductie in Tesla, μ_0 een evenredigheidsconstant $= 1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ Tm/A}$, N het aantal windingen van een stroomdraad, I de stroomsterkte in A en l de spoellengte in m. Hieruit is af te leiden dat hoe groter de stroomsterkte I is, hoe groter de magnetische veldsterkte is.

Elektromagnetisme vindt ook plaats in een stroomdraad, aangezien een stroomspoel te maken is door een stroomdraad op te rollen. De magnetische veldlijnen om een stroomdraad is een verzameling cirkels om de stroomdraad heen. Om de richting van de magnetische veldsterkte te vinden geldt **de rechterhandregel voor een stroomdraad**:

De uitgestoken duim van de rechterhand geeft de richting van de stroom door de draad, de gekromde vingers wijzen in de richting van de magnetische veldlijnen.

Bij de magnetische inductie van een stroomdraad geldt hetzelfde als voor een stroomspoel, Hierbij is de magnetische inductie afhankelijk van de stroomsterkte van de draad en de afstand tot de draad.

Lorenzkracht :

Op een stroomdraad in een magnetisch veld van een magneet wordt een kracht uitgeoefend: de Lorenzkracht. De Lorenzkracht

FL is altijd loodrecht op de richting van de stroom en de magnetische inductie. Deze kracht is niet alleen van toepassing op een stroomdraad, maar op elk geladen deeltje in een magnetisch veld (want opzich bestaat een stroomdraad alleen uit een stroom geladen deeltjes). De Lorenzkracht is te bepalen met behulp van de **rechterhandregel voor de Lorenzkracht**:

De gestrekte vingers van de rechterhand wijzen in de richting van het magnetische veld, de gestrekte duim wijst in de richting van de stroom in de draad of spoel. De Lorenzkracht komt dan loodrecht uit de handpalm.

$$FL=B*I*L(*N)*\sin (a)$$

In deze formule is B de magnetische inductie in Tesla, I de stroomsterkte in A, l de lengte van de draad in m, N het aantal windingen (dit geldt alleen als het gaat om een stroomspoel in een magnetisch veld) en FL de Lorenzkracht in Newton (N)

De Lorenzkracht geldt alleen als de hoek tussen de magnetische inductie en de stroom in de draad 90° is ($\sin 90^\circ=1$). Bij een kleinere of grotere hoek dan 90° is de kracht kleiner dan uit de formule volgt. Bij een hoek tussen I en B van 180° is de Lorenzkracht zelfs gelijk aan nul ($\sin 180^\circ=0$)

Zoals hierboven gezegd wordt er een kracht uitgeoefend op een stroomspoel in een magnetisch veld van een magneet. Het deel van de magnetische velden dat zich binnen de spoel bevindt wordt de magnetische flux genoemd. Een verandering van de magnetische velden binnen de spoel door het verplaatsen van een permanente magneet of het in- of uitschakelen van een elektromagneet veroorzaakt een magnetische fluxverandering. Hierdoor ontstaat er een inductiespanning. De grootte van de magnetische flux hangt af van de magnetische inductie binnen de spoel en van het dwarsdoorsnedeoppervlak van de spoel. Hoe groter de dwarsdoorsnedeoppervlak en de magnetische inductie, hoe groter de magnetische flux is. De formule voor de magnetische flux is:

$\Phi=B*A*\cos(A)$, hierbij is B de magnetische inductie in Tesla, A het dwarsdoorsnedeoppervlak in m^2 en Φ de magnetische flux in Wb. Verder kan uit $\cos (A)$ worden opgemaakt dat de magnetische flux ook afhankelijk is van de richting van de magnetische inductie. Als de hoek tussen de magnetische inductie en de lengte-as van de spoel 0° is, dan is de magnetische flux maximaal.

Een verandering van de magnetische flux en het ontstaan van een inductiespanning kan verschillende oorzaken hebben. Dit kan voorkomen als de magneet naar de spoel toe beweegt, er vanaf beweegt, heen en weer beweegt, of ook maar enigszin verdraait. De inductiespanning hangt af van de snelheid van de fluxverandering, dus hoe snel de magneet naar de spoel toe of van de spoel af beweegt. Verder wordt de inductiespanning beïnvloed door de grootte van de magnetische veldsterkte:

$$U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

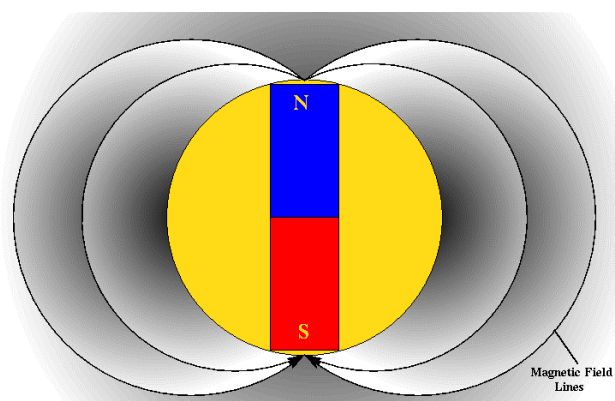
N is het aantal windingen, $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ is de fluxverandering per seconde

Zo'n elektromagneet is te gebruiken als een spanningsbron, als er een inductiespanning over de spoel is. Als de stroomkring van de spoel gesloten is zal er een inductiestroom ontstaan. De richting van de inductiestroom hangt af van de richting van de fluxverandering. Dit is gedefinieerd in de **wet van Lenz**: De inductiestroom heeft een zodanige richting dat de fluxverandering binnen de spoel wordt tegengewerkt.

Dus als de noordpool van de magneet naar de spoel toe beweegt betekent dit een toename van de magnetische inductie binnen de spoel. Dit wordt tegengewerkt door een magnetische inductie in de spoel richting de magneet. Uit de rechterhandregel voor een stroomspoel volgt dan de inductiestroom van de spoel en dus de plus- en minpool van de elektromagneet (aangezien de stroom van min naar plus stroomt).

De werking van een dynamo:

Een dynamo is een generator die mechanische energie omzet in elektriciteit.



De dynamo werd voor het eerst gemaakt door Michael Faraday. Het bestond uit een koperen schijf tussen de polen van een magneet. Als de schijf gedraaid werd, bewegen de vrije elektronen in het metaal en ontstond er een elektrische stroom. Dit principe is gebaseerd op magnetische inductie zoals

eerder uitgelegd. Dit wordt ook wel de wet van Faraday genoemd. Volgens de wet van Ampere ontstaat door een elektrische stroom een magnetisch veld. Een dynamo genereert dus niet alleen een elektrische stroom, maar ook een magnetisch veld.

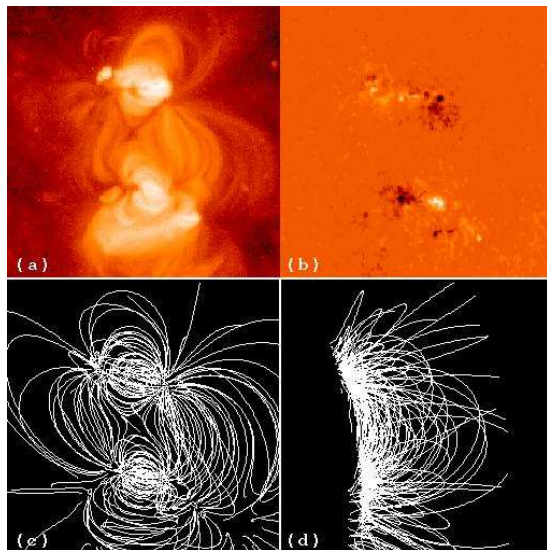
Hoe werkt het magnetisch veld van de Zon en Aarde?

Het magnetische veld van de Zon:

Het magnetische veld van de Zon is veel sterker dan dat van de Aarde. Dit komt onder andere door de verschillende samenstellingen van de Zon en de Aarde.

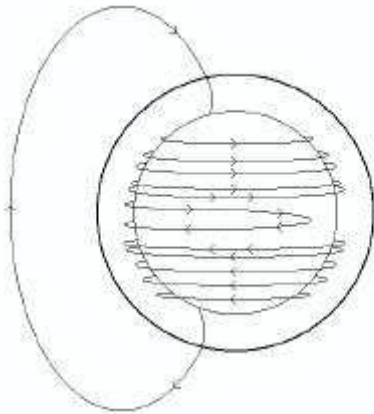
De Zon bestaat uit een kern die draait als een vast lichaam, terwijl de buitenlagen die bestaan uit een enorme geleidende gasvormige materie differentiele rotatie vertonen. Zij draaien met verschillende snelheden ten opzichte van elkaar. Aan de evenaar draait de zon sneller dan aan de polen. De omlooptijd aan de evenaar is ongeveer 25 dagen terwijl aan de polen de omlooptijd zo'n 36 dagen duurt.

De mate van activiteit wordt vrijwel geheel bepaald door de rotatie. Hoe sneller een ster roteert, hoe actiever zij is. Doordat de zon een differentiele rotatie vertoont zal de zon op bepaalde plaatsen actiever zijn dan op anderen. Gedurende het leven van de zon verliest de zon materie. Uit de formule voor behoud van impulsmoment betekent dat de Zon langzamer gaat draaien: dus hoe ouder een ster is, hoe minder actief zij is.



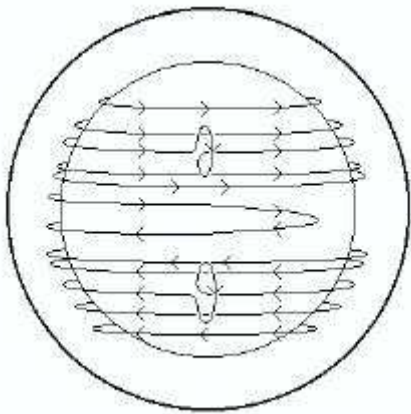
Door de variaties in activiteit op de Zon lijkt de grootte en sterkte van het magnetische veld erg verdeeld te zijn over het oppervlak. Vooral in een brede band rond de evenaar komen zowel magnetische noord- als zuidpolen voor. Het magnetische veld dicht bij de polen van de zon is meestal wel van één polariteit, en bij de ene pool tegengesteld aan de polariteit bij de andere pool. Maar het magnetische veld van de zon heeft niet een echt duidelijke dipoolstructuur als die van de Aarde.

Het grootschalige magnetische veld van de zon vertoont een cyclisch gedrag met een periode van circa 22 jaar. Dat wil zeggen dat de noord- en zuidpool van het magnetische veld elke 11 jaar van plaats verwisselen. De belangrijkste processen die een rol spelen zijn turbulentie in de convectiezone van de Zon en de rotatie in die schil. Door turbulentie en rotatie wordt het geïoniseerde gas in de zon verplaatst. Hierbij wordt het magnetische veld meegenomen. Hierbij worden de magnetische veldlijnen uitgerekt en vervormd.



Het omega effect

Het magneetveld van de zon ziet er zo uit gedurende een zonneminimum. Hierbij is het magneetveld om de zon heen gewikkeld. Dit komt door de differentiale rotatie van de Zon. Op bepaalde plaatsen beweegt de materie sneller dan op andere plaatsen.



Het alpha effect

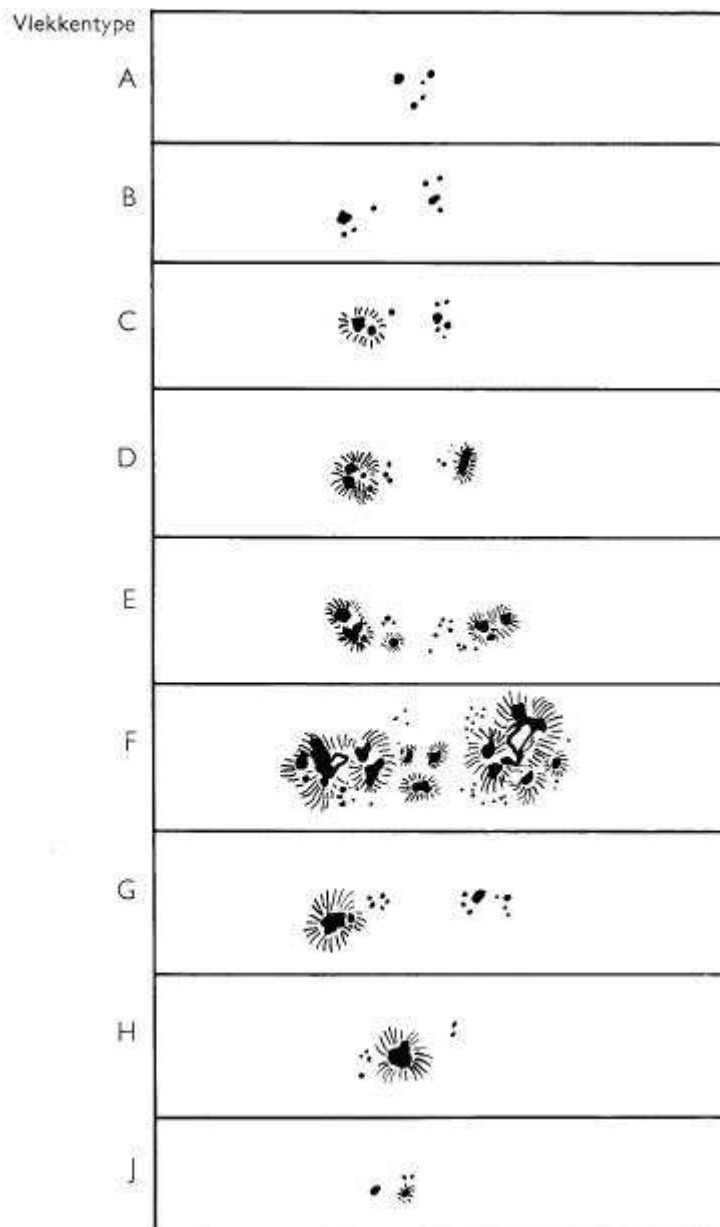
Zo ziet het magneetveld van de Zon eruit tijdens een zonnemaximum. Hoe dit precies veroorzaakt wordt is niet bekend, maar het heeft te maken met de grote hoeveelheid activiteit op deze tijden. Volgens de wet van Hale leidt dit tot ompoling van het magnetisch veld van de Zon. In tijden van grote activiteit zijn er veel zonnevlekkengroepen. Elke groep bestaat uit een Noord- en Zuidpool. Om de 11 jaar (dus 1 cyclus) zullen de groepen die van noord naar zuid staan van magnetische oriëntatie veranderen, en die van oost naar west hetzelfde blijven.

Het gemiddelde magneetveld nabij de polen van de zon is relatief zwak en bevat niet veel activiteit. Slechts ongeveer 1% van de totale magnetische flux (dus de magnetische-stroomdichtheid) bevindt zich bij de polen, terwijl 70% geconcentreerd is tussen 30 graden noorderbreedte en zuiderbreedte. De Aarde heeft een magneetveld gelijk aan 0,6 G, Het dipoolmagneetveld heeft een magneetveld gelijk aan 5 G.

Tijdens zonneminimum lijkt het magnetische veld van de Zon op dat van de Aarde. Het bestaat uit een dipoolmagneetveld, met grote gesloten lijnen dichtbij de evenaar en open gebiedslijnen dichtbij de polen. Bij zonneminimum is de activiteit het kleinst en is het toroïdaal magneetveld nauwelijks van invloed op het magnetisch veld van de aarde. Zelfs tijdens zonneminimum is het magnetische veld van de Aarde 100 keer zwakker dan dat van de Zon.

Tijdens de jaren rond een zonnemaximum ontstaan zonnevlekken. Dit zijn plaatsen waar de magnetische veldlijnen door de fotosfeer van de Zon heen komen. Deze gebieden zijn veel minder warm (zo'n 4000 K) dan de omgeving van geïoniseerd gas (5800 K), dat het donkere vlekken lijken. Deze magnetische velden zijn veel sterker dan de dipoolmagneetvelden. Zij worden een paar duizend G.

De zonnevlekken bewegen van oost naar west mee met de verschillende lagen van de Zon. Hierdoor bewegen zonnevlekken met verschillende rotatiesnelheden. Er bestaan verschillende



zonnevlekkentype's die aangeduid worden met de letters A tot J.

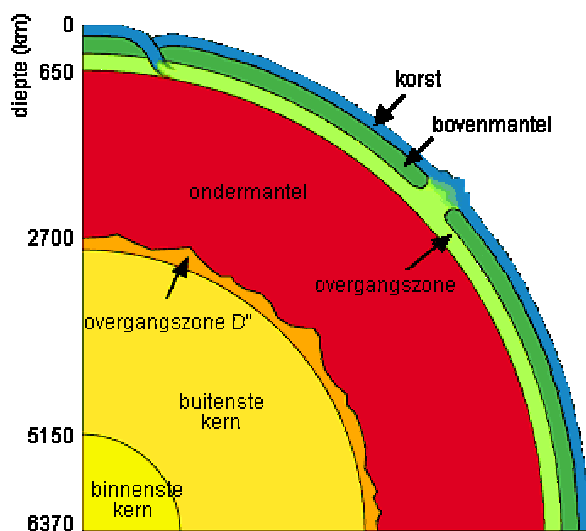
A categorie zonnevlekken bestaan uit een slechts een paar poriën die binnen korte tijd geheel verdwijnen. Een **B**-vlek bestaat uit veel grotere groepen zonnevlekken. Het magnetisch veld hiervan is tweepolig. De twee zwaartepunten van de afzonderlijke groepen zonnevlekken komen overeen met de noord- en zuidpool van het magnetisch veld. Bij een **C**-vlek zijn de zonnevlekken zo groot dat er in een van de twee hoofdvlekken een deel niet donker is. De

temperatuur is zo'n hof is veel groter (tot wel 1000 K hoger) dan die van de kern van de zonnevlek. De meest uitgebreide zonnevlek die men heeft waargenomen is die van het type **F**. Deze zonnevlekkengroep bestaat uit meer dan honderd vlekken. Bij verval van het magnetisch veld verandert een F-vlek in een G-, H- of J-vlek.

Het Magnetisch veld van de Aarde:

Het magnetische veld van de Aarde heeft een dipoolstructuur. Dit betekent dat het magneetveld van de Aarde maar één noord- en zuidpool heeft. Om dit te begrijpen moet eerst de samenstelling van de Aarde bekend zijn.

De Aarde bestaat uit de elementen ijzer (35%), zuurstof (30%), silicium (15%), magnesium (13%) en de elementen nikkel, zwavel, calcium, aluminium (die elk ongeveer 3% zijn).

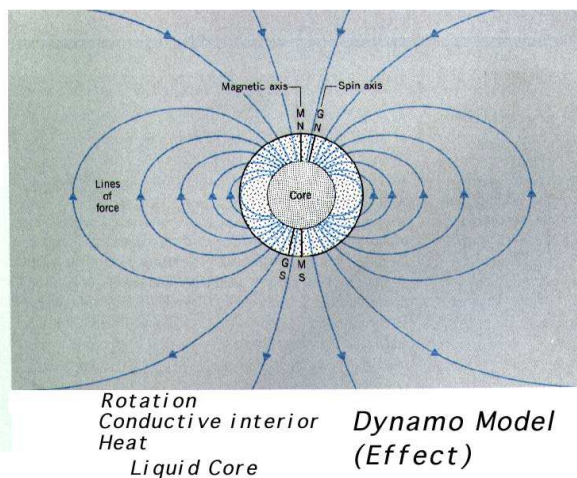


De aardkorst (de bovenste laag van de aarde) bestaat voornamelijk uit zuurstof (46%) en silicium (28%) en varieert in dikte tussen de 0-70 kilometer onder de werelddelen en 5-11 kilometer onder de oceanen.

De kern van de aarde bestaat vrijwel alleen uit ijzer. Het binnenste deel van de aardkern is vast, met een temperatuur van 5000 graden of zo'n 5273 K. Ijzer smelt normaal gesproken bij een temperatuur van 1811 K, maar door de enorme druk op deze diepte van $2740 \cdot 10^3$ meter is het ijzer vast. De buitenste kern is daarentegen vloeibaar, omdat de druk van al het gesteente erop minder groot is. Boven de buitenste kern bevinden zich de onder- en bovenmantel. Deze bestaan uit rotsen van verschillende dichtheid, temperatuur en samenstelling. Tussen de verschillende soorten rotsen is een

overgangszone. In de bovenmantel (op een diepte van $330 \cdot 10^3$ meter) is het gesteente klei-achtig. Bij temperaturen van rond de 1500 K smelten bepaalde bestanddelen van de rotsen en stijgen naar de oppervlak van de aarde (er vindt dus een vulkaanuitbarsting plaats). Daar bovenop bevindt zich de aardkorst. De aardkorst is een laag van maximaal $70 \cdot 10^3$ meter dik, wat in vergelijking met de straal van de aarde ($6,378 \cdot 10^6$ meter) erg dun is.

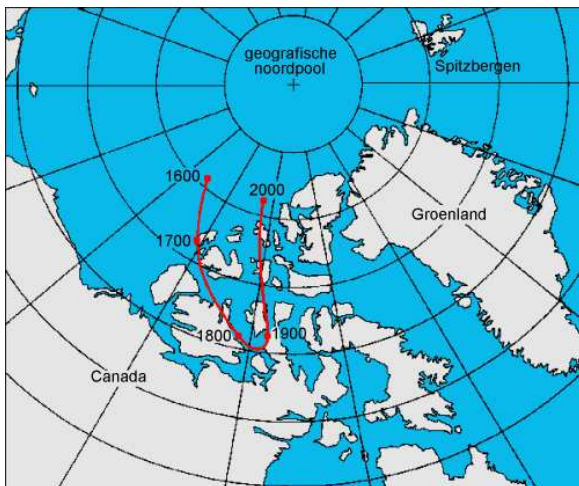
De ijzeren kern van de Aarde is te vergelijken met de koperen schijf van de in hoofdstuk 2 beschreven dynamo. De vloeibare buitenste kern van de Aarde gedraagt zich als de vrije elektronen in een dynamo. Door convection ontstaat een stroom van geladen deeltjes in de buitenste kern, die draaien om een vaste magneet (de vaste ijzeren binnenste kern) (bij de dynamo beweegt de kern, maar het principe is hetzelfde). Net als bij een dynamo ontstaat dan een elektrische stroom. Wat volgens de wet van Ampere leidt tot een magnetisch veld. De binnenste kern draait langzamer, maar is niet statisch. Dit heeft tot gevolg dat de elektronen in de kern bewegen ten opzichte van de elektronen in de mantel en de korst. Die beweging van de elektronen stellen natuurlijke dynamo in werking en daarmee een magnetisch veld.



De sterkte van het magnetisch veld H van de aarde is het sterkst bij de polen. De sterkte van het magnetische veld kan wel 0,6 oersted worden, wat gelijk is aan $7958 \cdot 10^1$ A/m (binas tabel 6).

De magnetische polen van de Aarde zijn niet gelijk aan de geografische noord- en zuidpool van de Aarde. Het magnetische noordpool bevindt zich op dit moment aan de westkust van Bathurst Island (Canada). Het magnetische zuidpool bevindt zich aan de kust van Antarctica in Adelie. Ook verschuift het

magnetisch veld naar het westen toe met een snelheid van 19 tot 24 km per jaar. Dit wordt toegeschreven aan het feit dat de binnenste kern van de Aarde dat vast is niet statisch, maar dynamisch is. Het beweegt veel langzamer dan de buitenste kern, waardoor het magnetisch veld steeds verder naar het westen toe beweegt. De kleine variaties in de sterkte en richting van het magnetisch veld ontstaan waarschijnlijk door kleine oneffenheden in de buitenkern.

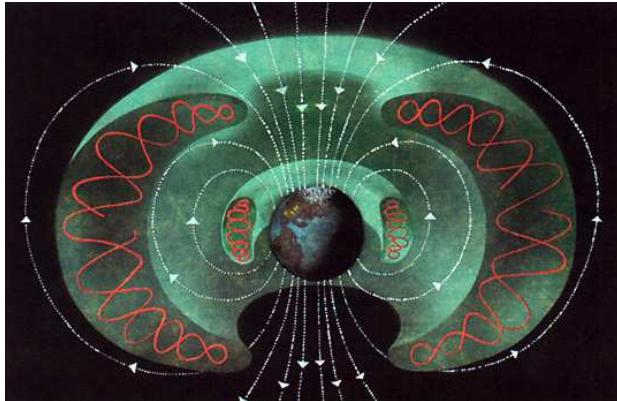


De verandering van het magnetische Noordpool door de jaren heen

De gevolgen van het magnetisch veld van de Aarde:

De Aarde wordt beschermt door het magnetisch veld. Zo worden andere planeten veel vaker door materie geraakt dan de Aarde. Dit komt doordat geladen deeltjes worden afgebogen in het Aardmagnetisch veld. Dit gebeurt op dezelfde manier als bij 'gewone magneten'. Geladen deeltjes in een magnetisch veld ondervinden een Lorentz-kracht. Deze kracht is loodrecht op bewegingsrichting van de deeltjes en loodrecht op het magnetische veld. Deze kracht is veel groter dan de zwaartekracht, omdat de massa van de deeltjes heel klein is, hierdoor bereiken deze deeltjes de Aarde niet.

Door de aanwezigheid van het magnetisch veld is de Aarde omringd door "isolerende gordels" die uit snel bewegende elementaire deeltjes bestaan. Deze geïoniseerde gordels worden de gordels van Van Allen genoemd, naar de Amerikaanse wetenschapper die ze heeft aangetoond. Het zijn er twee: de buitengordel en de binnengordel. Het aardmagnetisch veld houdt niet alle straling tegen. Ongeladen deeltjes en deeltjes die onder precies de goede hoek op de Aarde afkomen kunnen de Aarde bereiken.

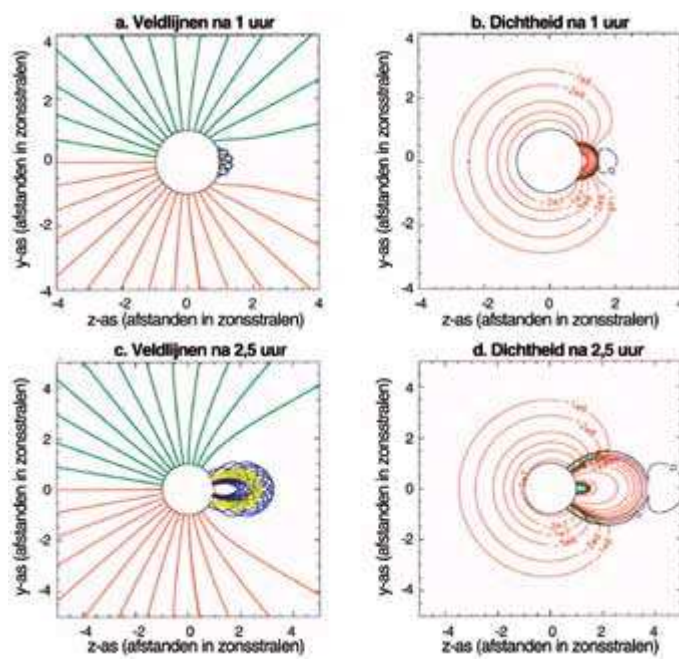


Banen van elementaire deeltjes in het magnetisch veld van de Aarde

Wat zijn zonnenvlammen en hoe komen die in de atmosfeer terecht?

De meeste zonnevlekken zijn omgeven door heldere, uitgebreide lichtgevende gebieden. Een magnetisch veld kan materie in de vorm van geïoniseerd gas (dus geladen deeltjes) meenemen in lussen die tot ver boven het oppervlak van de zon reiken. Dit worden zonnenvlammen genoemd. Bij het vervallen van deze toroidale magnetische velden vindt er reconnectie plaats van de magnetische velden onder het oppervlak van de zon. Hierbij wordt de materie uitgestoten het atmosfeer in. Aan de buitenkant van de corona is de aantrekkingskracht van de zon laag genoeg zodat de deeltjes aan de aantrekkende kracht kunnen ontsnappen. Er slingeren wolken geladen gasatomen weg. Als gevolg van zonnenvlammen, ontstaat een stroom van geladen deeltjes die zonnewind wordt genoemd.

Zonnenvlammen (CME's) zijn reusachtige bellen van elektrisch



geladen gas dat ook wel plasma wordt genoemd. Een plasma bestaat uit ionen en elektronen die los van elkaar kunnen bewegen, maar is als geheel neutraal geladen. Dit is het belangrijkste verschil tussen plasma's en gassen. Een gevolg hiervan is dat beide totaal verschillend reageren in aanwezigheid van elektromagnetische velden. Gassen geleiden niet en reageren nauwelijks op de aanwezigheid van elektrische en magnetische velden. Plasma's, daarentegen reageren juist heel sterk. Dit is dan ook de reden dat een magnetisch veld materie mee kan nemen. Zonnevlammen kunnen na uitstoting snelheden halen van 20 tot 2000 km/s. De massa die tijdens een CME wordt uitgestoten is in de orde van een miljard ton. De snelheid en dichtheid van zonnevlammen wordt groter naarmate de uitbarsting vordert.

Zonnevlammen kunnen worden ingedeeld naar uitgestraalde energie (in Watt/ m²):

X-klasse zonnevlammen geven een energie af van meer dan 10⁻⁴ Watt/ m²,

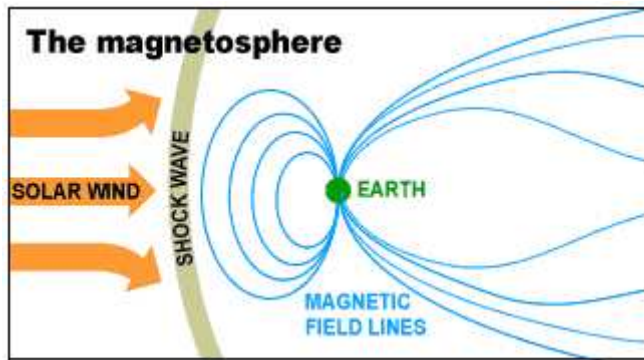
M-klassen geven een energie af tussen de 10⁻⁴ en 10⁻⁵ Watt/ m²

C-klasse zonnevlammen een energie tussen de 10⁻⁵ en 10⁻⁶ Watt/ m²

X-klasse zonnevlammen zijn uitbarstingen die effect hebben op de Aarde als die erop gericht zijn, M-klasse zonnevlammen zijn veel minder sterke uitbarstingen die rond de polen van de aarde enig effect hebben. C-klasse zonnevlammen hebben daarentegen helemaal geen invloed op de Aarde.

Invloed van zonnevlammen op het magnetisch veld van de Aarde:

Doordat plasma zich gedraagt als een stroom geladen deeltjes, en een magnetisch veld heeft, zullen deze zich twee samen gedragen als een stroomspoel in en magnetisch veld. Als een zonnevlam botst tegen het magnetisch veld van de Aarde zullen de geladen deeltjes een Lorenzkracht ondervinden. Hierdoor buigen zij af van de Aarde. Het magneetveld van de Aarde werkt hier als een schild. Zoals in hoofdstuk 2 is uitgelegd, kan de lorenzkracht nul zijn als de hoek van inval van de geladen deeltjes gelijk of tegengesteld is (dus een hoek van 0 of 180 graden) aan de richting van de magnetische inductie van het magnetisch veld van de Aarde. Hierbij komen de geladen deeltjes het magnetisch veld van de Aarde binnen. Als de hoek tussen de stroom geladen deeltjes en de magnetische veldsterkte 90 graden is, dan werkt de Lorenzkracht als middelpuntszoekende kracht. De geladen deeltjes worden is cirkelbanen langs de aarde geleid (de Allengordels) zoals beschreven in hoofdstuk 3.



Door de druk van een zonnevlam op het magnetisch veld wordt het magnetisch veld aan de achterzijde van de Aarde afgebogen en uitgerekt. Op de plaats van de botsing tussen het magnetisch veld van de aarde met de zonnevlam ontstaat een schokgolf die dit veroorzaakt.

Een ander verschijnsel dat kan optreden is dat er een connectie optreedt tussen het magnetisch veld van de Aarde en dat van de zonnevlam. Dit kan alleen als de zonnevlam zuidwaards gericht is op de Aarde, aangezien de Aarde een noordwaardse magnetische orientatie. Dit werkt net als magneten die tegen elkaar aan worden gezet:

Als de noordpool van een magneet tegen een zuidpool van een andere magneet wordt geplaatst, dan ontstaat er één magneet uit beiden. De magnetische veldlijnen lopen hierbij binnendoor van zuid naar noord, en buitenom van noord naar zuid.

Bij de connectie van een zonnevlam en de Aarde betekent dit dat de veldlijnen buitenom vanuit de noordpool van de Aarde naar de zuidpool van de zonnevlam lopen. Binnendoor gaan de magnetische veldlijnen vanaf de zuidpool van de zonnevlam naar de noordpool van de Aarde. Hierbij komen gigantische hoeveelheden geladen elementaire deeltjes vrij in het atmosfeer.

De ionosfeer bevindt zich op een hoogte van 80 tot meer dan 500 km. Deze laag vangt zonnestraling op en zorgt voor een sterke ionisering van deze laag. Hierdoor kan de ionosfeer goed elektrisch geleiden. Ionen kunnen radiogolven goed geleiden en reflecteren. De ionosfeer is dan ook geschikt voor het sturen van communicatienetwerken rond de Aarde. Tijdens hoge zonneactiviteit wordt de samenstelling van de ionosfeer beïnvloed door de geladen deeltjes, en worden de signalen niet weerkaatst, maar de ruimte in gestuurd.

Een poollicht bestaat uit een boog of stralenbundel van verschillende kleuren die te zien zijn bij de polen. Dit komt doordat een gedeelte van de geladen deeltjes die zich in de Van Allen gordels bevinden vrij komen bij de polen. Poollichten ontstaan door elektronen die de atmosfeer binnendringen en botsen op stikstof- en zuurstofmoleculen. Hierbij wordt de kinetische energie van het elektron omgezet

in een foton. De golflengte en dus de kleur van het licht is afhankelijk van de hoeveelheid opgenomen kinetische energie, dus het soort molecuul en de luchtdruk waarbij de botsing plaatsvindt. Als elektronen op zuurstofmoleculen botsen in gebieden in de atmosfeer met een lage druk, verschijnt er een geelgroen poollicht. Botsingen met zuurstof in gebieden met een lagere druk op grotere hoogten veroorzaakt rood licht. De interactie met atmosferische stikstof veroorzaakt een blauwe tint.

Conclusie:

Geomagnetische stormen (o.a zonnevlammen) hebben op grondniveau maar weinig invloed op het magnetisch veld van de Aarde. De veranderingen binnen de kern van de aarde zelf tellen hiervoor veel zwaarder mee.

Tijdens zonnemaxima komen zonnevlammen met een grote kracht en snelheid vrij uit de Zon. Als zij de Aarde na een paar dagen naderen wekken zij elektrische stromen op in de ionosfeer. Deze gaan gepaard met wisselende magnetische velden die op hun beurt aan het aardoppervlak elektrische stromen kunnen opwekken in goede geleiders met een grote uitgestrektheid: pijpleidingen en hoogspanningsleidingen. Ook satelieten komen bloot te staan aan de geladen deeltjes van de zonnevlam.

Toch is de invloed van magnetische stormen op de grootte en oriëntatie van het aardmagnetisch veld zelf erg klein en tijdelijk. Het gewone technische en wetenschappelijke gebruik van het magnetisch veld (in de navigatie en geologie) komt alleen bij extreem zware magnetische stormen in gevaar. Doorgaans is de invloed onbetekenend. Ook kan veilig worden aangenomen dat de kleine variaties niet worden waargenomen door dieren, waarover nog een discussie gaande is of zij dit

wel voelen (vissen die stranden doordat zij hun coördinatie kwijt zijn).



Dat is in het kort een schets van de invloed van de periodiek toenemende zonneactiviteit op het aardmagnetisch veld. De verklaring voor de betrekkelijke ongevoeligheid van dat veld is dat het op grondniveau voornamelijk onder invloed staat van de grote en nog grotendeels onbekende 'geomagnetische dynamo'

diep in de aarde. Het aardse magnetisme wordt opgewekt door een bewegende, gesmolten en goed geleidende massa rond de vaste aardkern.

De invloed van zonnevlammen op de ionosfeer is wel vrij groot. Het zijn haar variaties die een duidelijk meetbare elfjarige cyclus aan het aardmagnetisme toevoegen. De ionosfeer is het deel van de atmosfeer, ruwweg tussen 50 en 1000 kilometer hoogte met een 'maximum' op ongeveer 400 kilometer, dat voor

zijn typische eigenschappen sterk afhankelijk is van de zon. De ionosfeer bestaat uit verdunde gassen die onder invloed van zonnestraling (ultraviolette en hardere straling) voor een deel zijn geïoniseerd. De dagelijkse opwarming en afkoeling en een getijdenwerking (vergelijkbaar met de getijdenwerking die in zee eb en vloed veroorzaakt) wekken krachtige stromingen op. De door die stromende elektrische ladingen gegenereerde magnetische velden zijn aan het aardoppervlak meetbaar.

Zonnevlammen kunnen de gewone stromingen in de ionosfeer versterken. Of ze dat doen, is afhankelijk van de oriëntatie van het magnetisch veld dat de zonnevlam heeft. Men kan dit men de technieken op dit moment nog niet voorspellen.

De grootte van ons magnetisch veld is ongeveer 55.000 nanotesla. Magnetische stormen kunnen enige honderden nanotesla, in extreme gevallen meer dan duizend tesla verandering brengen in het magnetisch veld, en is dus een verwaarloosbaar kleine bijdrage.

Wel kan een kompasnaald een paar minuten enigszins afwijken van de noordpool, maar voor de gewone koersbepaling van schepen, die pas in gevaar zou komen als er een halve graad (dertig minuten) onverwachte afwijking in de richting van het veld optreedt, is dit van geen enkel belang. Voor de plaatsbepaling op zee wordt tegenwoordig niet van het kompas gebruikgemaakt. Ook vroeger speelde het kompas daarin een minimale rol. Men lette toen op uurwerk en sextant.

De gewone navigatie heeft dus weinig te vrezen van een plotseling oploeiende zonneactiviteit en de daarbij optredende magnetische stormen. Mogelijk moet er rekening mee worden gehouden in geologisch onderzoek van het soort waarbij de sterkte van het magnetisch veld aanwijzingen kan geven over de samenstelling van de ondergrond. Denkbaar is ook dat de militaire onderzeebootopsporing (waarbij ook van veranderingen van het lokale magnetische veld wordt gebruikgemaakt) last heeft van hevige magnetische stormen.

Het zijn vooral de elektrische effecten van magnetische stormen (in hoogspanningsleidingen en dergelijke) die een waarschuwingssysteem wenselijk maken. Voor een deel zijn zware magnetische stormen ook wel te voorspellen, want zonnevlammen en andere uitingen van toenemende zonneactiviteit zijn vanaf Aarde gewoon zichtbaar en een uitgeworpen gasmassa reist langzamer dan het licht.

Nawoord:

Tijdens het maken van mijn werkstuk kwam ik erachter dat het onderwerp 'Zonnevlammen' erg moeilijk was. Overal waar ik zocht (voornamelijk op internet: Nasa en Soho) stond dat er nog onderzoek naar gedaan werd en dat er nog geen resultaten waren. Het kwam er op neer dat onderzoekers zelf nog bezig zijn met het onderzoeken van dit verschijnsel en dus niets zeker wisten.

Alle informatie die ik erover kon vinden was té makkelijk of juist té moeilijk. Als ik bijvoorbeeld informatie zocht over het magnetisch veld van de Zon stond er 'het magnetisch veld van de Zon is vele malen groter dan dat van de Aarde' of alleen maar ingewikkelde berekeningen die ik niet nodig had.

Ik heb deze deelonderwerpen gekozen omdat zij alles bevatten dat te maken had met mijn hoofdvraag: "Welk effect hebben zonnevlammen op het magnetisch veld van de aarde?". Het eerste hoofdstuk was nodig om te laten zien waar de zonnevlammen vandaan komen. Het tweede hoofdstuk was bedoeld als basis voor de kennis die nodig was in de hoofdstukken die volgden. Om bijvoorbeeld de werking van het magnetisch veld van de Aarde te begrijpen was een goede kennis nodig van de werking van een dynamo en dus over magnetische inductie. Om te begrijpen hoe de geladen deeltjes van een zonnevlam afgebogen worden door het magnetisch veld van de Aarde moet men eerst goed begrijpen hoe geladen deeltjes zich gedragen in een magneetveld en hoe de Lorenzkracht werkt.

Ik heb erg veel geleerd over de kracht van de Zon en de werking van het magneetveld van de Aarde. Ik ben nu in ieder geval erg dankbaar dat die bestaat.

Bronvermelding:

De Zon:

<http://www.solarviews.com/eng/sun.htm>

<http://www.fusie-energie.nl/>

<http://www.infoster.be/negepl/sol.html>

Magnetisme:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Magnetisme>

Newton natuurkunde 2 VWO

Het magnetisch veld van de Zon en Aarde:

<http://www.ufoplaza.nl/modules.php?name=News&file=print&sid=2070>

http://www.ras.org.uk/pdfs/g_uk/pp2627.pdf

<http://www.xs4all.nl/~josvg/thesis/chapn2.html>

http://mediatheek.thinkquest.nl/~11125/nl/struct_nl.htm

Zonnevlammen:

<http://science.nasa.gov/ssl/pad/solar/cmes.htm>

<http://www.hao.ucar.edu/public/slides/slide13.html>

National geographic tijdschrift juli 2004 'The sun'