

# Zonnewind

N.G. Schultheiss

## 1 Inleiding

Deze module volgt op de module “De Zon” en wordt vervolgd met de module “Kosmische straling”.

## 2 Zonnewind

De Zon zendt niet alleen electromagnetische straling uit, maar ook zonnewind. De zonnewind bestaat uit deeltjes. Bij de kernfusie in de Zon komen deeltjes zoals positronen en neutrino's vrij. De neutrino's kunnen de Zon redelijk eenvoudig verlaten. Een deel van de zonnewind zal dus uit neutrino's bestaan. Positronen reageren vrij makkelijk met electronen, de zonnewind zal dus vrij weinig positronen bevatten. Als we de zonnewind onderzoeken, blijkt dat deze ook veel snel bewegende ionen bevat. Een niet onaanzienlijk deel hiervan bestaat uit protonen of waterstofkernen.

In de buurt van de aarde zijn er ongeveer 10 kosmische deeltjes per kubieke centimeter. De deeltjes vallen uiteen in twee groepen. De deeltjes die afkomstig zijn van de polen van de zon. Deze hebben een snelheid in de buurt van 400km/s. Verder zijn er deeltjes afkomstig van zonnevlekken, deze hebben een snelheid in de buurt van 800km/s.

**Opdracht 1:** *Op een bepaald moment zien we geen zonnevlekken op de zon. Bereken hoeveel deeltjes er in de buurt van de aarde door een oppervlak van  $1\text{m}^2$  gaan. Een dergelijke stroom deeltjes door  $1\text{m}^2$  wordt ook wel “flux” genoemd.*

## 3 Bewegingsenergie

We kunnen de snelheid van de zonnewinddeeltjes meten in m/s. Meestal wordt echter niet de snelheid, maar de energie van de zonnewinddeeltjes gemeten. In het geval van bewegende deeltjes is dit de bewegings- of kinetische energie. Volgens de klassieke natuurkunde kunnen we de bewegingsenergie van een deeltje op de volgende manier afleiden:

$$F\Delta t = m\Delta v \quad (3.1)$$

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Nu we de kracht op een deeltje weten, kunnen we de arbeid die deze kracht verricht berekenen:

$$W = Fs = m \frac{\Delta v}{\Delta t} s \quad (3.3)$$

Omdat arbeid een vorm van energieoverdracht is, kunnen we uitrekenen hoeveel de energie van een deeltje veranderd :

$$\begin{aligned} s &= v_{\text{gemiddeld}}(t_{\text{eind}} - t_{\text{begin}}) \\ \Delta E = W &= m \frac{v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}}{t_{\text{eind}} - t_{\text{begin}}} v_{\text{gemiddeld}}(t_{\text{eind}} - t_{\text{begin}}) \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$E_{\text{eind}} - E_{\text{begin}} = m(v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}) \frac{v_{\text{begin}} + v_{\text{eind}}}{2} \quad (3.5)$$

We nemen  $E_{\text{begin}} = 0\text{J}$ ,  $v_{\text{begin}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

$$E_{\text{eind}} = mv_{\text{eind}} \frac{v_{\text{eind}}}{2} \quad (3.6)$$

Generalizeren geeft:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.7)$$

**Opdracht 2:** Bereken de energie van een proton of waterstofkern met een massa van  $1.67262158 * 10^{-27}\text{kg}$  en een snelheid van  $400\text{km/s}$ .

Omdat de energie in J of Joule wordt uitgedrukt, krijgen we een heel klein getal. Meestal wordt de energie van deze deeltjes uitgedrukt in eV of electronVolt. Een volt is een maat voor de elektrische energie per lading:

$$1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}} \quad (3.8)$$

$$1\text{V} * 1\text{C} = 1\text{J} \quad (3.9)$$

De elementaire lading  $e = 1.60217646 * 10^{-19}\text{C}$ .

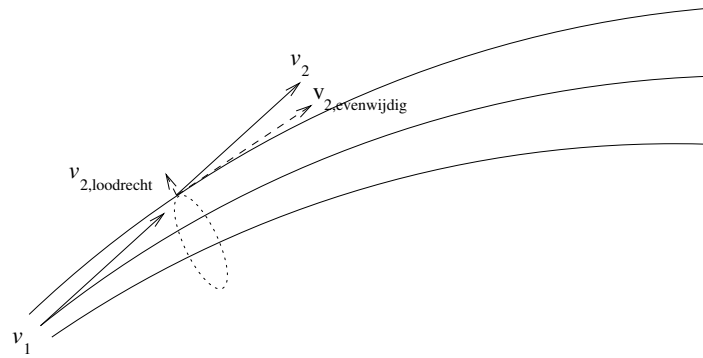
$$1\text{eV} = 1.60217646 * 10^{-19}\text{C} * 1\text{V} = 1.60217646 * 10^{-19}\text{J} \quad (3.10)$$

**Opdracht 3:** Bereken de energie van een proton of waterstofkern met een massa van  $1.67262158 * 10^{-27}\text{kg}$  en een snelheid van  $400\text{km/s}$  in eV.

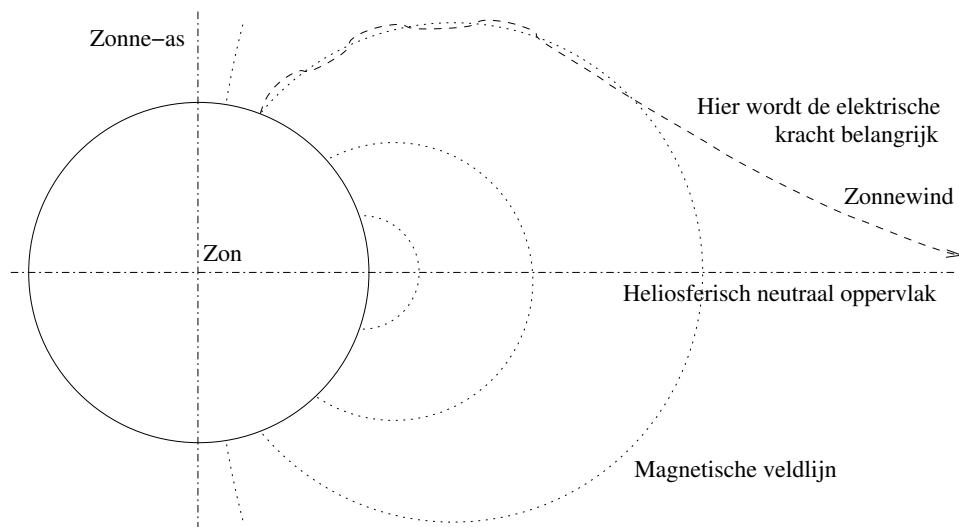
## 4 Magnetische velden.

### 4.1 Ladingen in magnetische velden

Als een lading in een magnetisch veld beweegt, ondervindt deze een Lorentzkracht loodrecht op de bewegingsrichting en de magnetische veldlijnen. Als een geladen deeltje met een snelheid  $v_1$  langs een kromme veldlijn beweegt, zal dit deeltje in eerste instantie rechtdoor gaan. Helaas wijkt de richting van de snelheid steeds meer af van de richting van de veldlijn. We kunnen de snelheid dan ontbinden in een component  $v_{2,\text{evenwijdig}}$  langs de veldlijn en een component  $v_{2,\text{loodrecht}}$  loodrecht op de veldlijn. De component loodrecht op de veldlijn en het magnetisch veld veroorzaken dan een Lorentzkracht. Het deeltje wil dan een beetje in de richting van de gestippelde cirkel bewegen. Omdat er ook nog een snelheid in de richting van de veldlijn is, begint het deeltje rond de veldlijn te spiraliseren.



Figuur 4.1: De Lorentzkracht in een divergerend veld



Figuur 4.2: Zonnewind zonder zonnevlekken in de omgeving van de zon

## 4.2 De Zon

De zon heeft evenals de aarde een magnetisch veld. Het magnetisch veld van de aarde keert af en toe om, in de afgelopen 2.000.000 jaar is dit 7 keer gebeurd. Bij de zon gebeurt dit om de 7 tot 15 jaar.

Als er geen zonnevlekken zijn hoeven we alleen met het magnetisch veld langs de zonne-as rekening te houden. Als een geladen deeltje door een magnetisch veld beweegt, ontstaat er een kracht die zorgt dat het deeltje wordt afgebogen. Deze kracht staat loodrecht op het veld en loodrecht op de snelheid van het deeltje. De geladen deeltjes hebben daarom de neiging om globaal langs de magnetische veldlijnen te spiraliseren.

Naast de magnetische kracht werkt er ook een elektrische kracht op de deeltjes. Deeltjes met een gelijke lading stoten elkaar af. Omdat de deeltjes zowel van de Noord- als van de Zuidpool afkomstig zijn, is deze elektrische kracht op een afstand van 3 maal de straal van de Zon niet meer te verwaarlozen. De deeltjes bewegen nu globaal in het vlak door de equator van de Zon, het heliosferisch neutraal oppervlak.

In het geval van zonnevlekken zijn er extra magnetische velden op de zon. Bij ieder zonnevlek is een magnetische pool te vinden. Het komt voor dat langs de veldlijnen van pool naar pool een gloeiend hete massa stroomt, een zonnevlam. Deze massa is echter kouder dan het gas van de fotosfeer. Als je boven op een zonnevlam kijkt, zie je een donkere vlek, een zonnevlek. Als er zonnevlekken zijn worden er ook zonnestralingsdeeltjes waargenomen met een snelheid van 800km/s.

**Opdracht 4:** Bereken de energie in eV als we aannemen dat deze deeltjes snelle protonen zijn.

### 4.3 De Aarde

Omdat de Aarde ook in dit vlak beweegt, komen deze deeltjes voor een deel op de Aarde. De lichte elektronen worden het eerst ingevangen in het magnetisch veld van de Aarde. Deze vormen de buitenste van Allen gordel. Zwaardere deeltjes, zoals protonen, hebben een grotere kracht nodig om af te buigen. Deze vliegen verder in het veld van de Aarde en vormen de binnenste van Allen gordel.

Een klein deel van de deeltjes wordt afgebogen en komt via de polen naar het Aardoppervlak. Omdat dit een convergerend veld is worden de deeltjes afgeremd. Rond de magnetische Zuid- en Noordpool van de Aarde komen deze deeltjes tot in de atmosfeer. De energie wordt hier door botsingen met de atomen in de atmosfeer omgezet in de Aurora Borealis of het poollicht.

Als er heel snelle geladen deeltjes in de richting van de Aarde bewegen, zal de straal van de baan zo groot worden dat de deeltjes het aardoppervlak bereiken. Deze deeltjes kunnen met een detector worden waargenomen.